

Proračun armiranobetsne zgrade

Vuković, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:402016>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-09**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

PRORAČUN ARMIRANOBETONSKE ZGRADE

DIPLOMSKI RAD

Petra Vuković

Zagreb, veljača 2024.



TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta:

Petra Vuković

JMBAG:

0082061675

Diplomski rad iz predmeta:

Betonske konstrukcije 3

Naslov teme
diplomskog rada:

HR	Proračun armiranobetonske zgrade
ENG	Design of reinforced concrete building

Opis teme diplomskog rada:

Diplomski rad treba sadržavati sljedeće točke:

1. Tehnički opis zgrade
2. Nacrte zgrade i planove pozicija
3. Statički proračun ploče, jedne grede i stubišta karakterističnog kata
4. Analiza nosivog sustava za preuzimanje horizontalnih i vertikalnih opterećenja
5. Proračun seizmičkog opterećenja na zgradu
6. Statički proračun nosive konstrukcije zgrade
7. Planove armature ploče karakterističnog kata, grede, stubišta te nosive konstrukcije zgrade (zidova)

Proračun je potrebno provesti uz pomoć računalnog 3D modela, a dimenzioniranje karakterističnih elemenata provesti i "ručno" prema važećim normama.

Datum:

19. 4. 2022.

Komentor:

Dr. sc. Tvrtko Renić

(Ime i prezime komentora)

Mentor:

Prof. dr. sc. Tomislav Kišiček

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Diplomski rad

PRORAČUN ARMIRANOBETONSKE ZGRADE

DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BUILDING

Mentor:

prof.dr.sc. Tomislav Kišiček

Komentor:

dr.sc. Tvrtko Renić

Student:

Petra Vuković

Zagreb, veljača 2024.

Zahvala

Ovim putem se prvenstveno želim zahvaliti svojim roditeljima Duški i Milanu, sestri Silviji i babi Mariji koji su mi uvijek tokom studiranja bili podrška i bez kojih ovaj studij ne bi bio moguć. Veliko hvala svim mojim prijateljima na svoj pruženoj pomoći i na svim zabavnim trenucima tokom godina studiranja, a posebno hvala Ani na svakodnevnim druženjima i Matei koja je uvijek spremna biti tu kada je potrebno. Mom dečku veliko hvala na svim savjetima i na velikoj pomoći pri računanju tablica u ovom diplomskom radu.

Kolegicama i prijateljicama Ani, Anamariji i Mateji posebno hvala za strpljenje i pomoć u najgorim vremenima studiranja, ali i na svim lijepim uspomenama koje ću zauvijek čuvati.

Veliko hvala mojem mentoru prof. dr. sc. Tomislavu Kišičeku i komentoru dr. sc. Tvrtku Reniću na svom podarenom znanju, razumijevanju i vremenu kako bi uspješno napisala ovaj diplomski rad.

Sažetak

Diplomski rad prikazuje proračun stambene zgrade smještene u Zagrebu. Građevina je armiranobetonska te se sastoji od 5 etaža (prizemlja i četiri kata). Stubište, ploča karakterističnog kata i greda proračunate su i dimenzionirane samo na vertikalno djelovanje, dok su armiranobetonski zid i prostorni model zgrade proračunati i dimenzionirani na vertikalno i potresno djelovanje prema važećim propisima. Rad se sastoji od tehničkog opisa, proračuna konstrukcijskih elemenata, proračuna seizmičkog djelovanja na građevinu, građevinskih nacrti i armaturnih planova dimenzioniranih elemenata.

Ključne riječi: armirani beton, proračun, dimenzioniranje, seizmičko djelovanje, plan armature

Abstract

This master's thesis depicts the analysis of a residential building located in Zagreb. The building is made of reinforced concrete and consists of 5 floors (ground floor and four additional levels). The staircase, representative floor slab and beam are analyzed and designed only for vertical loads, while the reinforced concrete wall and spatial model of the structure were analyzed and designed for vertical and seismic loads following the current regulations. This paper consists of a technical description, structural analysis of structural elements, a seismic load analysis on the building, construction blueprints and reinforcement drawings of designed structural elements.

Keywords: reinforced concrete, structural analysis, design, seismic load, reinforcement layout

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Tehnički opis	2
2.1. Općenito	2
2.2. Konstrukcija	2
2.2.1. Temeljna konstrukcija.....	2
2.2.2. Vertikalna konstrukcija.....	2
2.2.3. Stubište.....	2
2.2.4. Ploče i grede.....	3
2.2.5. Krovna konstrukcija.....	3
2.3. Proračun	3
3. Statički proračun stubišta.....	4
3.1. Stubišni krak.....	4
3.1.1. Analiza opterećenja	4
3.1.2. Statički proračun.....	6
3.1.2.1. Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila	6
3.1.2.2. Proračunske vrijednosti momenata savijanja i poprečne sile	7
3.1.3. Dimenzioniranje uzdužne armature.....	8
3.1.4. Dimenzioniranje poprečne armature	10
3.2. Podest	11
3.2.1. Analiza opterećenja	11
3.2.2. Statički proračun.....	13
3.2.2.1. Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila	13
3.2.2.2. Proračunske vrijednosti momenata savijanja i poprečne sile	13
3.2.3. Dimenzioniranje uzdužne armature.....	14
3.2.4. Dimenzioniranje poprečne armature	16

4. Statički proračun karakteristične ploče kata	17
4.1. Analiza opterećenja	17
4.2. Statički proračun	19
4.3. Dimenzioniranje armature.....	44
4.4. Rekapitulacija odabrane armature ploče	58
4.5. Proračun poprečne armature.....	59
5. Proračun grede pozicije GY1	61
5.1. Analiza opterećenja	61
5.2. Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila.....	63
5.3. Proračunske vrijednosti momenata savijanja i poprečne sile (reakcije)	65
5.4. Dimenzioniranje armature.....	66
5.4.1. Dimenzioniranje uzdužne armature u polju.....	67
5.4.2. Dimenzioniranje uzdužne armature nad osloncem.....	68
5.4.3. Dimenzioniranje poprečne armature	69
6. Proračun seizmičkog opterećenja na zgradu.....	72
6.1. Opis seizmičkog modela zgrade.....	72
6.2. Zadane mase i smanjenje krutosti betonskih elemenata.....	74
6.3. Određivanje krutosti tla.....	76
6.4. Spektar odziva	79
6.5. Određivanje faktora ponašanja.....	82
6.6. Modalna analiza	84
7. Statički proračun i dimenzioniranje AB zida.....	88
7.1. Određivanje proračunskih sila.....	88
7.2. Dimenzioniranje zida u prizemlju	90
7.2.1. Uzdužna sila u zidu.....	90
7.2.2. Armatura hrpta.....	90

7.2.2.1. Horizontalna armatura hrpta	90
7.2.2.2. Vertikalna armatura hrpta	91
7.2.2.3. Minimalna i maksimalna armatura hrpta	91
7.3. Određivanje armature kritičnog područja zida	92
7.4. Provjera nosivosti zida na moment savijanja u ravnini	95
7.5. Zahtijevana duktilnost zida u prizemlju	99
7.6. Određivanje duktilnosti zida u prizemlju	100
7.7. Određivanje proračunskih sila zida 1.kata	102
7.8. Dimenzioniranje zida 1.kata.....	103
7.8.1. Uzdužna sila u zidu.....	103
7.8.2. Armatura hrpta.....	103
7.8.2.1. Horizontalna armatura hrpta	104
7.8.2.2. Vertikalna armatura hrpta	104
7.8.2.3. Minimalna i maksimalna armatura hrpta	105
7.9. Određivanje armature kritičnog polja zida na 1. katu	105
7.10. Provjera nosivosti zida 1. kata na moment savijanja u ravnini	107
7.11. Zahtijevana duktilnost zida 1.kata.....	111
7.12. Određivanje duktilnosti zida 1.kata.....	112
7.13. Rekapitulacija odabrane armature zida	114
8. Zaključak.....	115
9. Literatura.....	116
Popis slika	117
Popis tablica	120
Grafički prilozi.....	121

1. Uvod

Tema ovog diplomskog rada je proračun armiranobetonske stambene građevine na 5 etaža smještene u Zagrebu prema važećim propisima za projektiranje konstrukcija. Spoj čelika s betonom pri armiranobetonskoj gradnji poboljšava svojstva samog betona i uobičajena je praksa u seizmički aktivnim područjima. Takva gradnja je također ekonomski prihvatljiva, relativno lako dostupna te je oblikovanje građevina raznoliko.

Pri projektiranju prethodno spomenute građevine, uzeta su u obzir sva djelovanja na koja bi konstrukcija mogla biti izložena tokom uporabnog vijeka trajanja. U skladu s normom za projektiranje betonskih konstrukcija HRN EN 1992-1-1 dimenzionirano je stubište, ploča karakterističnog kata i greda. Potresno opterećenje pokazalo se kao mjerodavno s obzirom na lokaciju konstrukcije pa su se za proračun zgrade na potresno djelovanje pratile smjernice iz norme za projektiranje potresne otpornosti konstrukcija HRN EN 1998-1. Norma je također korištena pri dimenzioniranju AB zidova koji preuzimaju seizmičku silu. Potrebna armatura prikazana je grafički na armaturnom planu dimenzioniranog elementa zgrade.

Dimenzioniranje elemenata provedeno je „ručno“, dok se računalni program „SCIA Engineer 22.1“ koristio pri proračunu reznih sila potrebnih za dimenzioniranje i modalnoj analizi zgrade.

2. Tehnički opis

2.1. Općenito

Napravljen je statički proračun i dimenzioniranje višestambene zgrade u Zagrebu. Građevina je maksimalnih tlocrtnih dimenzija $20,87 \times 14,70$ m i ukupne visine 14,00 m. Visina svake etaže iznosi 2,80 m, odnosno 2,60 m svijetle visine.

Građevina se sastoji od prizemlja i četiri kata. Tlocrtna površina svih etaža iznosi $246,52 \text{ m}^2$, a svaki kat predstavlja jednu stambenu jedinicu. U prizemlju se nalaze i četiri garažno-parkirna mjesta površina $20,88 \text{ m}^2$. Hodnik sa stubištem te lift nalaze se na sredini zgrade sa sjeverne strane.

2.2. Konstrukcija

2.2.1. Temeljna konstrukcija

Temeljna konstrukcija je temeljna ploča debljine 50 cm i zaštitnog sloja betona 3,5 cm. Izvodi se u nivou prizemlja od betona razreda C35/45 te se armira armaturnim mrežama B500B. Pretpostavlja se temeljno tlo srednje krute do krute gline dopuštenog naprezanja do 100 kN/m^2 .

2.2.2. Vertikalna konstrukcija

Vertikalnu konstrukciju čine armiranobetonski zidovi debljine 20 cm koji se izvode od betona razreda C35/45. AB zidovi se armiraju armaturnim mrežama i vilicama prema proračunu s zaštitnim slojem od 3,0 cm. Svi vanjski zidovi obrađeni su toplinskom zaštitom i površinskom obradom fasade. Za prirodno osvjetljenje i ventilaciju predviđeni su fasadni plastificirani aluminijski prozori s vanjskim roletama kao zaštitom od sunca.

2.2.3. Stubište

Stubište je monolitna armiranobetonska ploča debljine 15 cm, izvodi se od betona razreda C35/45 i armira armaturnim šipkama B500B. Ploča kraka stubišta oslanja se na podest od armiranog betona izveden od betona razreda C35/45 i armiranog armaturnim šipkama B500B debljine 20 cm. Zaštitni sloj betona iznosi 2,0 cm.

2.2.4. Ploče i grede

Međukatnu konstrukciju čine armiranobetonske ploče debljine 20 cm od betona razreda C35/45. Ploče se armiraju armaturnim mrežama u dvije zone prema proračunu. Slobodni rubovi ploča se armiraju s otvorenim U vilicama $\phi 8/20$ cm. Zaštitni sloj je 2,0 cm.

Armiranobetonske grede pravokutnog poprečnog presjeka širine 20 cm i visina 65-130 cm izvode se od razreda betona C35/45 i armiraju armaturnim šipkama B500B prema proračunu. Zaštitni sloj je 2,0 cm.

2.2.5. Krovna konstrukcija

Krov je ravni neprohodni krov na kojem se predviđa izvedba blago kose konstrukcije s rebrastim limom radi bolje odvodnje.

2.3. Proračun

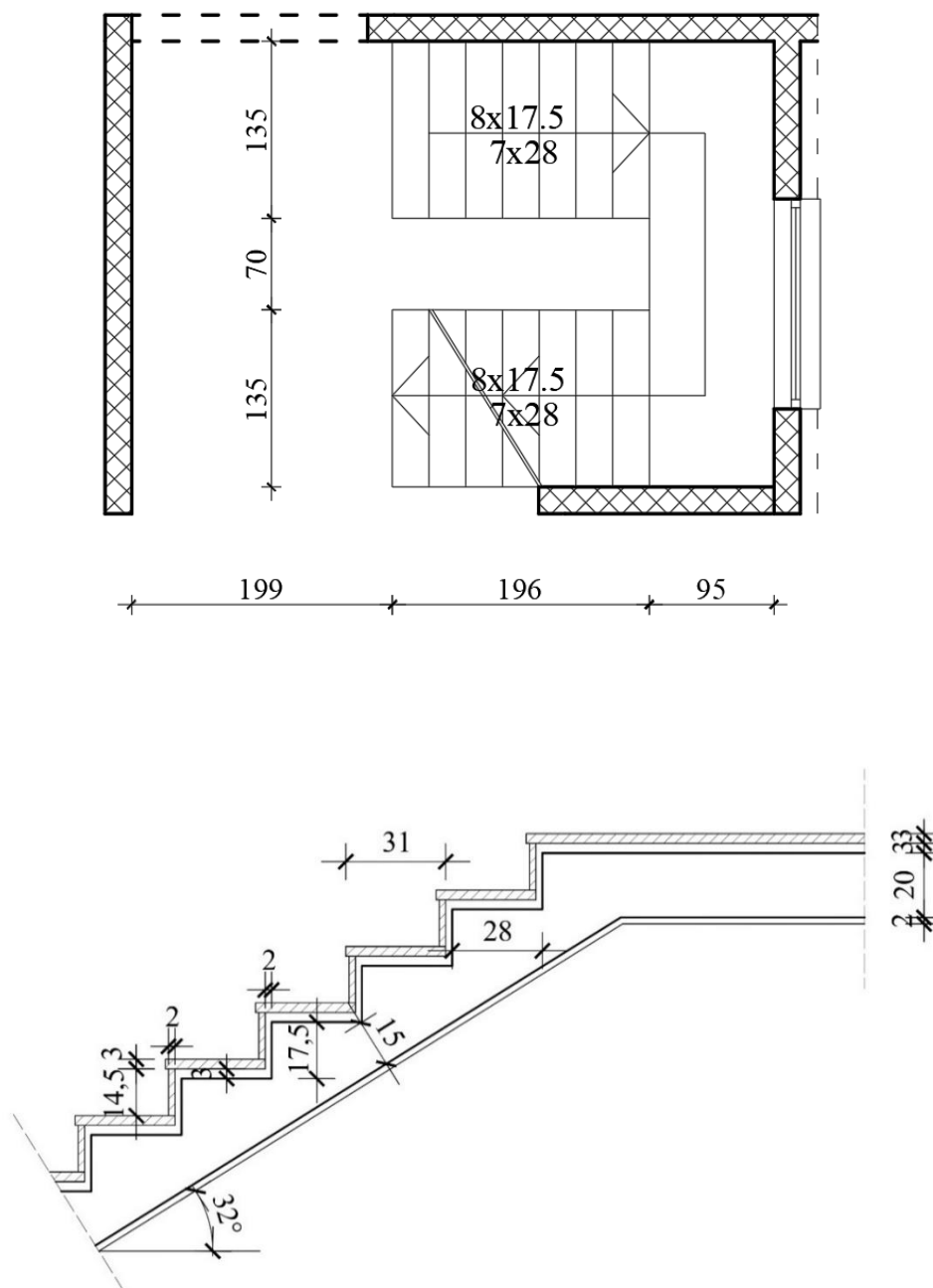
Statički proračun i dimenzioniranje elemenata proveden je za sljedeća djelovanja: vlastita težina, korisno opterećenje, snijeg i potres. Radi velike vlastite težine konstrukcije opterećenje vjetrom se zanemaruje. Projektirani vijek trajanja konstrukcije građevine je 50 godina.

Provedena je modalna analiza i seizmički proračun prema HRN EN 1998-1 te se svi elementi dimenzioniraju prema HRN EN 1992-1 i HRN EN 1998-1. Vršno ubrzanje tla za grad Zagreb za povratno razdoblje od 475 godina iznosi $a_{gR} = 0,255g$, tj. objekt je u IX seizmičkoj zoni prema MCS-64 za povratni period od 500.

3. STATIČKI PRORAČUN STUBIŠTA

3.1. Stubišni krak

3.1.1. Analiza opterećenja



Slika 1. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta

Stalno opterećenje:

Korišteni izrazi:	a	širina stube [m]
	a_n	širina nagazne površine [m]
	b	visina stube [m]
	b_v	visina vertikalne nagazne površine [m]
	h	visina AB ploče [m]
	d	debljine slojeva [m]
	γ	jedinične težine materijala [kN/m ³]
Parket na nagaznoj površini:	$d_p \cdot \frac{a_n}{a} \cdot \gamma_P = 0,03 \cdot \frac{0,31}{0,28} \cdot 6,5 =$0,22 kN/m ²
Parket vertikalne gazišta:	$d_p \cdot \frac{b_v}{a} \cdot \gamma_P = 0,02 \cdot \frac{0,145}{0,28} \cdot 6,5 =$0,07 kN/m ²
Estrih na nagaznoj površini stube:	$d_M \cdot \gamma_M = 0,03 \cdot 21 =$0,63 kN/m ²
Cementna žbuka na vertikali stube:	$d_M \cdot \frac{b}{a} \cdot \gamma_M = 0,02 \cdot \frac{0,175}{0,28} \cdot 21 =$0,26 kN/m ²
Stube:	$\frac{b}{2} \cdot \gamma = \frac{0,175}{2} \cdot 25 =$2,19 kN/m ²
AB ploča 15 cm:	$\frac{h \cdot \gamma}{\cos \alpha} = \frac{0,15 \cdot 25}{\cos 32^\circ} =$4,42 kN/m ²
Žbuka – podgled:	$\frac{d \cdot \gamma_M}{\cos \alpha} = \frac{0,02 \cdot 18}{\cos 32^\circ} =$0,42 kN/m ²

Ukupno stalno..... $g_k = 8,21$ kN/m²

Korisno opterećenje:

Uporabno opterećenje za stubišta:3,00 kN/m²

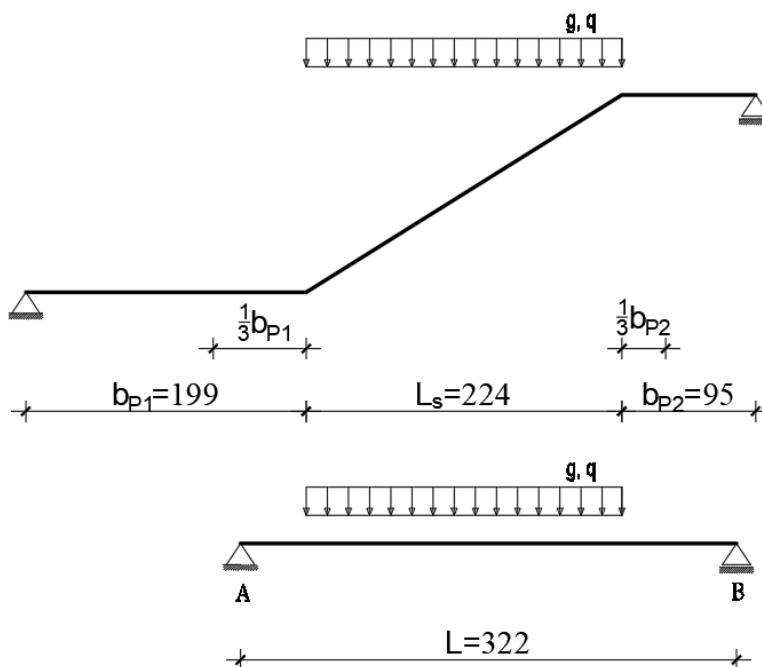
Ukupno korisno..... $q_k = 3,00$ kN/m²

3.1.2. Statički proračun

3.1.2.1. Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila

Oslanjanje na podest je elastično i posredno pa se za raspon kraka stubišta L uzima horizontalni raspon L_s s pridodanom vrijednošću $1/3$ horizontalne širine podesta b_{P1} i b_{P2} :

$$L = L_s + \frac{b_{P1}}{3} + \frac{b_{P2}}{3}$$



Slika 2. Statička shema opterećenja stubišta

Karakteristične vrijednosti reakcija i poprečnih sila nad ležajem A:

$$R_k^g = V_k^g = \frac{g_k \cdot L_s \cdot \left(\frac{L_s}{2} + \frac{b_{P2}}{3} \right)}{L} = \frac{8,21 \cdot 2,24 \cdot \left(\frac{2,24}{2} + \frac{0,95}{3} \right)}{3,22} = 8,21 \text{ kN/m}$$

$$R_k^q = V_k^q = \frac{q_k \cdot L_s \cdot \left(\frac{L_s}{2} + \frac{b_{P2}}{3} \right)}{L} = \frac{3,00 \cdot 2,24 \cdot \left(\frac{2,24}{2} + \frac{0,95}{3} \right)}{3,22} = 2,99 \text{ kN/m}$$

Položaj maksimalnog momenta savijanja u polju:

Dijagram poprečne sile je horizontalan od oslonca do početka kraka (nema opterećenja). Položaj nultočke je određen od mjesta gdje počinje krak (dijagram poprečnih sila ima nagib).

$$x = \frac{V_k^g}{g} = \frac{8,21}{8,21} = 1,00 \text{ m}$$

→ Položaj je proračunat za stalno opterećenje; stalno i korisno opterećenje su na istom mjestu na nosaču, pa bi se isti rezultat dobio za korisno i za proračunsko opterećenje.

Udaljenost maksimalnog momenta savijanja od ležaja A:

$$x' = \frac{b_{P1}}{3} + x = \frac{1,99}{3} + 1,0 = 1,66 \text{ m}$$

Karakteristične vrijednosti momenata savijanja u polju:

$$M_k^g = R_k^g \cdot x' - \frac{g_k \cdot x'^2}{2} = 8,21 \cdot 1,66 - \frac{8,21 \cdot 1,0^2}{2} = 9,52 \text{ kNm/m}$$

$$M_k^q = R_k^q \cdot x' - \frac{q_k \cdot x'^2}{2} = 2,99 \cdot 1,66 - \frac{3,00 \cdot 1,0^2}{2} = 3,46 \text{ kNm/m}$$

3.1.2.2. Proračunske vrijednosti momenata savijanja i poprečne sile

Proračunska poprečna sila nad ležajem A:

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot V_k^g + 1,5 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot 8,21 + 1,5 \cdot 2,99 = 15,57 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja u polju:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_k^g + 1,5 \cdot M_k^q = 1,35 \cdot 9,52 + 1,5 \cdot 3,46 = 18,04 \text{ kNm/m}$$

3.1.3. Dimenzioniranje uzdužne armature

Materijal:

Beton: **C35/45**

$(f_{ck}/f_{ck,cube}$ – karakteristična čvrstoća betona valjka/kocke)

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{35}{1,5} = 23,33 \text{ N/mm}^2 = 2,33 \text{ kN/m}^2$$

Čelik: **B500B**

$(f_{yk}/f_{tk} = 500/540$ – karakteristična granica popuštanja čelika za armiranje

/karakteristična vlačna čvrstoća čelika za armiranje)

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika za armiranje

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,478 \text{ kN/m}^2$$

Visina ploče stubišta: $h = 15,0 \text{ cm}$

Zaštitni sloj betona (razred izloženosti XC1): $c = 2,0 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature: $d_1 = c + \phi/2 = 2,0 + 1,2/2 = 2,6 \text{ cm}$

Statička visina presjeka: $d = h - d_1 = 15,0 - 2,6 = 12,4 \text{ cm}$

Glavna armatura:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1804}{100 \cdot 12,4^2 \cdot 2,33} = 0,050 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,055$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,8 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,083$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,970$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1804}{0,970 \cdot 12,4 \cdot 43,478} = 3,45 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdjelna armatura:

$$A_{s1,raz} = 0,2 \cdot A_{s1,prov} = 0,2 \cdot 3,45 = 0,69 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura za polje:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 12,4 = 1,61 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 12,4 \cdot \frac{3,2}{500} = 2,06 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

 f_{ctm} – srednja osna vlačna čvrstoća betona

Maksimalna armatura za polje:

$$A_{s1,max} = 0,040 \cdot A_c = 0,040 \cdot 100 \cdot 15 = 60,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100 \cdot 15 = 33,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 12,4 \cdot \frac{23,33}{434,78} = 24,29 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Glavna armatura – donja zona:**ODABRANO:** $\phi 12/22 \text{ cm } (A_{s1,prov}=5,14 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req}=3,45 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 2,06 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov}=5,14 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max}=24,29 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Glavna armatura – gornja zona:**ODABRANO:** $\phi 12/22,5 \text{ cm } (A_{s1,prov}=5,03 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req}=3,45 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 2,06 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov}=5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max}=24,29 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdjelna armatura:

ODABRANO: $\phi 8/25 \text{ cm}$ ($A_{s1,prov} = 2,19 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,69 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Napomena: Proračunatom armaturom za polje armira se i područje spoja podesta i kraka stubišta.

Prema Hrvatskom nacionalnom dodatku za HRN EN 1992-1-1 razmak glavne armature mora biti manji ili jednak $1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 15 = 22,5 \text{ cm}$ i manji ili jednak 25 cm (uzima se manja vrijednost), a razmak razdjelne armature mora biti manji ili jednak $3,0 \cdot h = 3,0 \cdot 15 = 45 \text{ cm}$ i manji ili jednak 40 cm (uzima se manja vrijednost).

3.1.4. Dimenzioniranje poprečne armature

Nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{124}} = 2,27 > 2,0$$

$$A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2$$

— ploština vlačne armature u ploči

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{5,03}{100 \cdot 12,4} = 0,00406 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

— širina ploče u vlačnom području

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00406 \cdot 35)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 124 = 72082,69 = 72,08 \text{ kN}$$

Minimalna vrijednosti za $V_{Rd,c}$ je:

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0,586$$

$$V_{Rd,c,\min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,586 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 124 = 72664 \text{ N} = 72,66 \text{ kN}$$

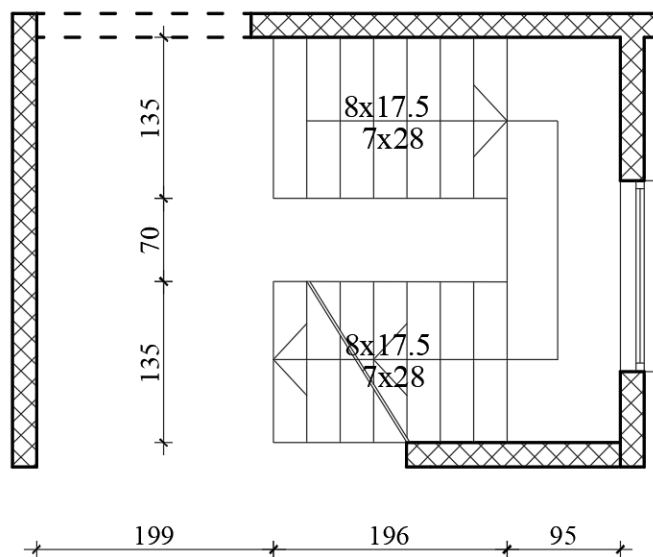
Provjera:

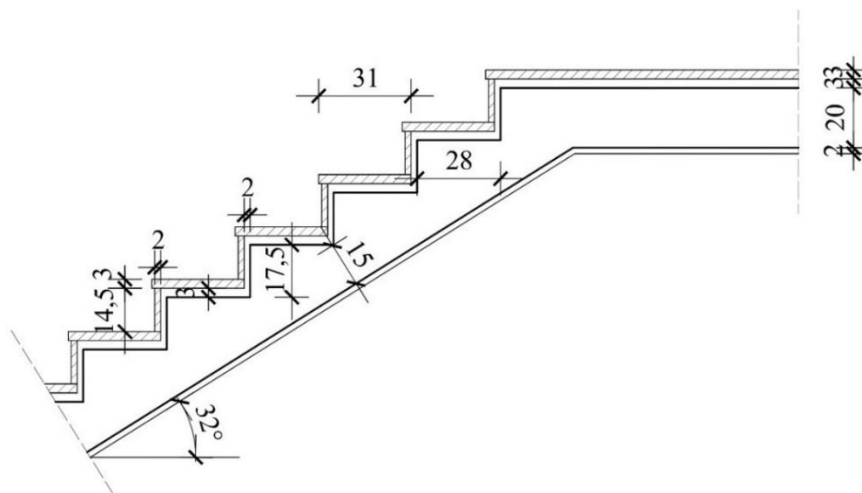
$$V_{Ed} = 15,57 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 72,66 \text{ kN}$$

Nije potrebno proračunati poprečnu armaturu jer je $V_{Ed} < V_{Rd,c}$, uzima se minimalna poprečna armatura.

3.2. Podest

3.2.1. Analiza opterećenja





Slika 3. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta

Stalno opterećenje:

Parket na nagaznoj površini: $d_P \cdot \gamma_P = 0,03 \cdot 6,5 = \dots\dots\dots 0,20 \text{ kN/m}^2$

Estrih na nagaznoj površini stube: $d_M \cdot \gamma_M = 0,03 \cdot 21 = \dots\dots\dots 0,63 \text{ kN/m}^2$

Žbuka: $d \cdot \gamma_M = 0,02 \cdot 18 = \dots\dots\dots 0,36 \text{ kN/m}^2$

AB ploča 20 cm: $h \cdot \gamma = 0,20 \cdot 25 = \dots\dots\dots 5,0 \text{ kN/m}^2$

Ukupno stalno..... **$g_k = 6,19 \text{ kN/m}^2$**

Korisno opterećenje:

Uporabno opterećenje za stubišta: **$3,00 \text{ kN/m}^2$**

Ukupno korisno..... **$q_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$**

3.2.2. Statički proračun

3.2.2.1. Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila

Proračunska duljina ploče podesta:

$$L_p = L + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot h = 340 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 = 355 \text{ cm}$$

U gornjem izrazu: L – duljina podesta u smjeru nosivosti
 h – debljina ploče

Karakteristične vrijednosti reakcija i poprečnih sila nad ležajem:

$$R_k^g = V_k^g = \frac{g_k \cdot L_p}{2} + \frac{R_{k,\text{stub}}^g \cdot L_p}{2 \cdot b_{p1}/3} = \frac{6,19 \cdot 3,55}{2} + \frac{8,21 \cdot 3,55}{2 \cdot 1,99/3} = 32,96 \text{ kN/m}$$

$$R_k^q = V_k^q = \frac{q_k \cdot L_p}{2} + \frac{R_{k,\text{stub}}^q \cdot L_p}{2 \cdot b_{p1}/3} = \frac{3,00 \cdot 3,55}{2} + \frac{2,99 \cdot 3,55}{2 \cdot 1,99/3} = 13,33 \text{ kN/m}$$

Karakteristične vrijednosti momenata savijanja u polju:

$$M_k^g = \frac{g_k \cdot L_p^2}{8} + \frac{R_{k,\text{stub}}^g \cdot L_p^2}{8 \cdot b_{p1}/3} = \frac{6,19 \cdot 3,55^2}{8} + \frac{8,21 \cdot 3,55^2}{8 \cdot 1,99/3} = 29,25 \text{ kNm/m}$$

$$M_k^q = \frac{q_k \cdot L_p^2}{8} + \frac{R_{k,\text{stub}}^q \cdot L_p^2}{8 \cdot b_{p1}/3} = \frac{3,00 \cdot 3,55^2}{8} + \frac{2,99 \cdot 3,55^2}{8 \cdot 1,99/3} = 11,83 \text{ kNm/m}$$

U gornjim izrazima: $R_{k,\text{stub}}^g$ – karakteristična reakcija kraka stubišta nad ležajem
 A od stalnog opterećenja
 $R_{k,\text{stub}}^q$ – karakteristična reakcija kraka stubišta nad ležajem
 A od uporabnog opterećenja
 b_{p1} – širina podesta

3.2.2.2. Proračunske vrijednosti momenata savijanja i poprečne sile

Proračunska poprečna sila nad ležajem:

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot V_k^g + 1,5 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot 32,96 + 1,5 \cdot 13,33 = 64,49 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja u polju:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_k^g + 1,5 \cdot M_k^q = 1,35 \cdot 29,25 + 1,5 \cdot 11,83 = 57,23 \text{ kNm/m}$$

3.2.3. Dimenzioniranje uzdužne armature

Materijal:

Beton: **C35/45**

$(f_{ck}/f_{ck,cube}$ – karakteristična čvrstoća betona valjka/kocke)

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = 1,0 \cdot \frac{35}{1,5} = 23,33 \text{ N/mm}^2 = 2,33 \text{ kN/m}^2$$

Čelik: **B500B**

$(f_{yk}/f_{tk} = 500/540$ – karakteristična granica popuštanja čelika za armiranje
/karakteristična vlačna čvrstoća čelika za armiranje)

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika za armiranje

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,478 \text{ kN/m}^2$$

Visina ploče podesta:

$$h = 20,0 \text{ cm}$$

Zaštitni sloj betona (razred izloženosti XC1):

$$c = 2,0 \text{ cm}$$

Udaljenost do težišta armature u polju podesta:

$$d_1 = c + \phi/2 = 2,0 + 1,4/2 = 2,7 \text{ cm}$$

Statička visina presjeka polja podesta:

$$d = h - d_1 = 15 - 2,7 = 12,3 \text{ cm}$$

Udaljenost do težišta armature na ležaju podesta:

$$d_1 = c + \phi_k + \phi/2 = 2,0 + 1,4 + 1,2/2 = 4,0 \text{ cm}$$

Statička visina presjeka na ležaju podesta:

$$d = h - d_1 = 15 - 4,0 = 11,0 \text{ cm}$$

POLJE:

Glavna armatura:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5723}{100 \cdot 12,3^2 \cdot 2,33} = 0,162 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,166$ očitano:

$$\varepsilon_c = -3,5 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,226$$

$$\varepsilon_{s1} = 12,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,906$$

Potrebna površina armature u polju

$$A_{s1, \text{req}} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5723}{0,906 \cdot 12,3 \cdot 43,478} = 11,82 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura za polje:

$$A_{s1, \text{min}} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 12,3 = 1,60 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1, \text{min}} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 12,3 \cdot \frac{3,2}{500} = 2,05 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Maksimalna armatura za polje:

$$A_{s1, \text{max}} = 0,040 \cdot A_c = 0,040 \cdot 100 \cdot 20 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1, \text{max}} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100 \cdot 20 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1, \text{max}} = \omega_{\text{lim}} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 12,3 \cdot \frac{23,33}{434,78} = 24,09 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Glavna armatura:

ODABRANO: $\phi 14/12\text{cm}$ ($A_{s1, \text{prov}} = 12,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1, \text{req}} = 11,82 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1, \text{min}} = 2,05 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1, \text{prov}} = 12,83 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1, \text{max}} = 24,09 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdjelna armatura:

Razdjela armatura je uzdužna iz kraka stubišta: $\phi 12/22 \text{ cm}$.

LEŽAJ:

Moment savijanja nad ležajem se uzima kao četvrtina momenta savijanja u polju.

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,25 \cdot 5723}{100 \cdot 11,0^2 \cdot 2,33} = 0,051 < \mu_{\text{lim}} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,055$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,9 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,087$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,968$$

Potrebna površina armature u polju

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{0,25 \cdot 5723}{0,968 \cdot 11,0 \cdot 43,478} = 3,09 \text{ cm}^2$$

ODABRANO: $\phi 10/22,5 \text{ cm}$ ($A_{s1,prov} = 3,49 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 3,09 \text{ cm}^2/\text{m}$

3.2.4. Dimenzioniranje poprečne armature

Nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{110}} = 1,35 < 2,0$$

$$A_{s1,prov} = 13,99 \text{ cm}^2$$

– ploština vlačne armature u ploči

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{12,83}{100 \cdot 11,0} = 0,01166 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

– širina ploče u vlačnom području

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,01166 \cdot 35)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 110 = 93566,92 = 93,57 \text{ kN}$$

Minimalna vrijednosti za $V_{Rd,c}$ je:

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2,0^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,586$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,586 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 110 = 64460 \text{ N} = 64,46 \text{ kN}$$

Provjera:

$$V_{Ed} = 64,49 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 93,57 \text{ kN}$$

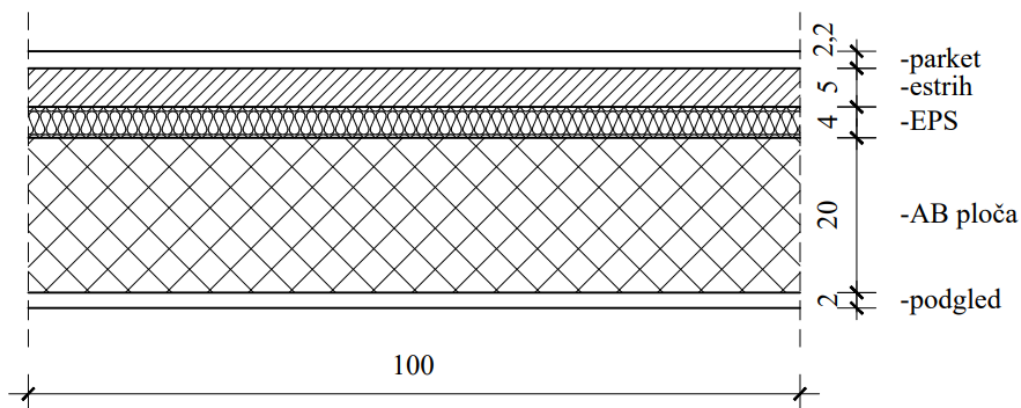
Nije potrebno proračunati poprečnu armaturu jer je $V_{Ed} < V_{Rd,c}$, uzima se minimalna poprečna armatura.

4. STATIČKI PRORAČUN KARAKTERISTIČNE PLOČE KATA

4.1. Analiza opterećenja

STALNO OPTEREĆENJE:

Stambeni prostor:

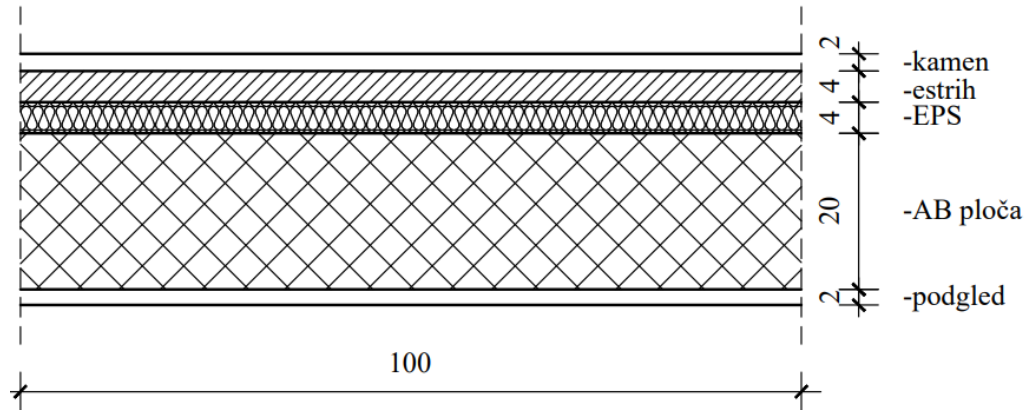


Slika 4. Presjek AB ploče - stambeni prostor

Parket, lijepljen 2,2 cm ($0,022 \cdot 8$) =.....	0,18 kN/m ²
Estrih 5 cm ($0,05 \cdot 21$) =.....	1,05 kN/m ²
Elastični polistiren 4 cm ($0,04 \cdot 4$) =.....	0,16 kN/m ²
AB ploča 20 cm ($0,20 \cdot 25$) =.....	5,00 kN/m ²
Podgled 2 cm ($0,02 \cdot 18$) =.....	0,36 kN/m ²

Ukupno stalno..... $g_k = 6,75$ kN/m²

Hodnik zgrade:

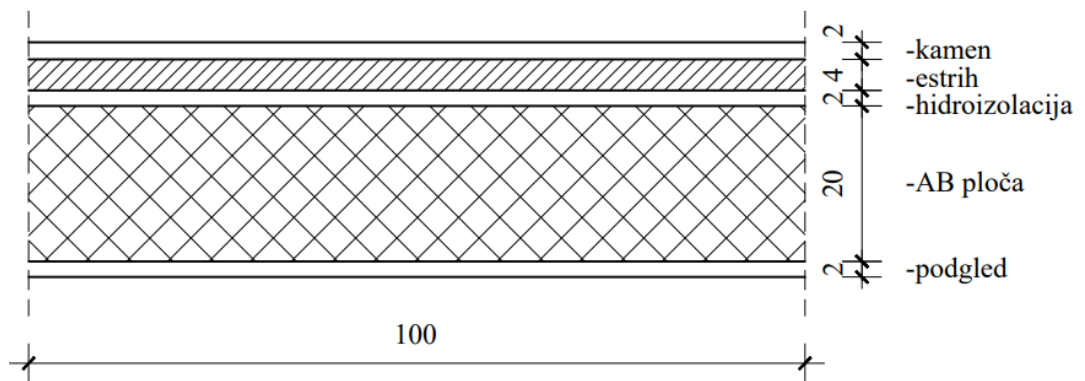


Slika 5. Presjek AB ploče - hodnik

Kamen 2 cm ($0,02 \cdot 30$) =.....	0,60 kN/m ²
Estrih 4 cm ($0,04 \cdot 21$) =.....	0,84 kN/m ²
Elastični polistiren 4 cm ($0,04 \cdot 4$) =.....	0,16 kN/m ²
AB ploča 20 cm ($0,20 \cdot 25$) =.....	5,00 kN/m ²
Podgled 2 cm ($0,02 \cdot 18$) =.....	0,36 kN/m ²

Ukupno stalno..... $g_k = 6,96$ kN/m²

Natkrivena terasa:



Slika 6. Presjek AB ploče - natkrivena terasa

Kamen 2 cm (0,02 · 30) =.....	0,60 kN/m ²
Estrih 4 cm (0,04 · 21) =.....	0,84 kN/m ²
Hidroizolacija 2 cm (0,02 · 12) =.....	0,24 kN/m ²
AB ploča 20 cm (0,20 · 25) =.....	5,00 kN/m ²
Podgled 2 cm (0,02 · 18) =.....	0,36 kN/m ²
Ukupno stalno	g_k = 7,04 kN/m²

Opterećenje od stubišta:

reakcija kraka stubišta na podest (ležaj A) – određeno prema točki 3.1.2.1.:

$$g_{\text{stubište}} = R_k^g = \frac{g_k \cdot L_S \cdot \left(\frac{L_S}{2} + \frac{b_{P2}}{3}\right)}{L} = \frac{8,21 \cdot 2,24 \cdot \left(\frac{2,24}{2} + \frac{1,99}{3}\right)}{3,37} = 9,73 \text{ kN/m}$$

KORISNO OPTEREĆENJE:

Uporabno opterećenje za uobičajene stambene prostorije.....2,00 kN/m²

Uporabno opterećenje hodnika.....3,00 kN/m²

Uporabno opterećenje terase.....4,00 kN/m²

Uporabno opterećenje stubišta:

reakcija kraka stubišta na podest (ležaj A) – određeno prema točki 2.1.2.1.:

$$q_{\text{stubište}} = R_k^q = \frac{q_k \cdot L_S \cdot \left(\frac{L_S}{2} + \frac{b_{P2}}{3}\right)}{L} = \frac{3,00 \cdot 2,24 \cdot \left(\frac{2,24}{2} + \frac{1,99}{3}\right)}{3,37} = 3,56 \text{ kN/m}$$

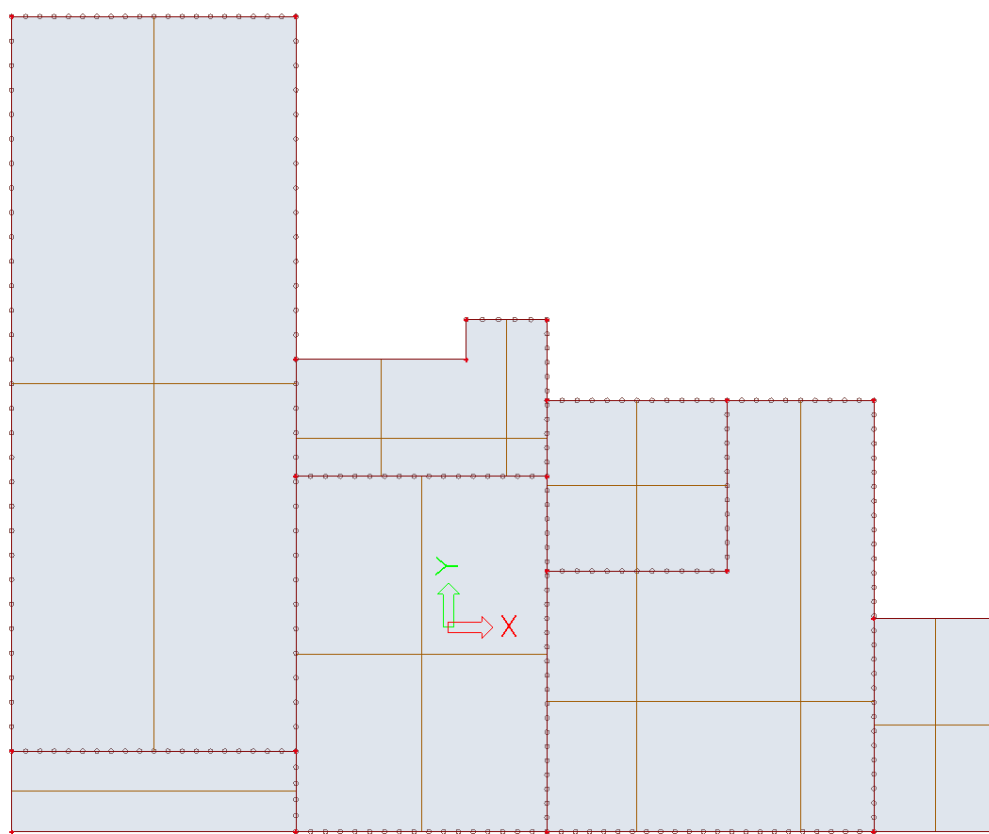
4.2. Statički proračun

Statički proračun za stalno i korisno opterećenje proveden je u računalnom programu „SCIA Engineer 22.1“.

Ploča je zadana s vlastitim rubnim dimenzijama prema nacrtu tlocrta karakterističnog kata (grafički prilog) i debljinom od 20 cm. Na mjestima vanjskih zidova, unutarnjih nosivih zidova i greda su zadani linijski oslonci. Zadan je i podest stubišta (hodnik) koji se nastavlja na katnu ploču na čijem vanjskom rubu nije zadan oslonac.

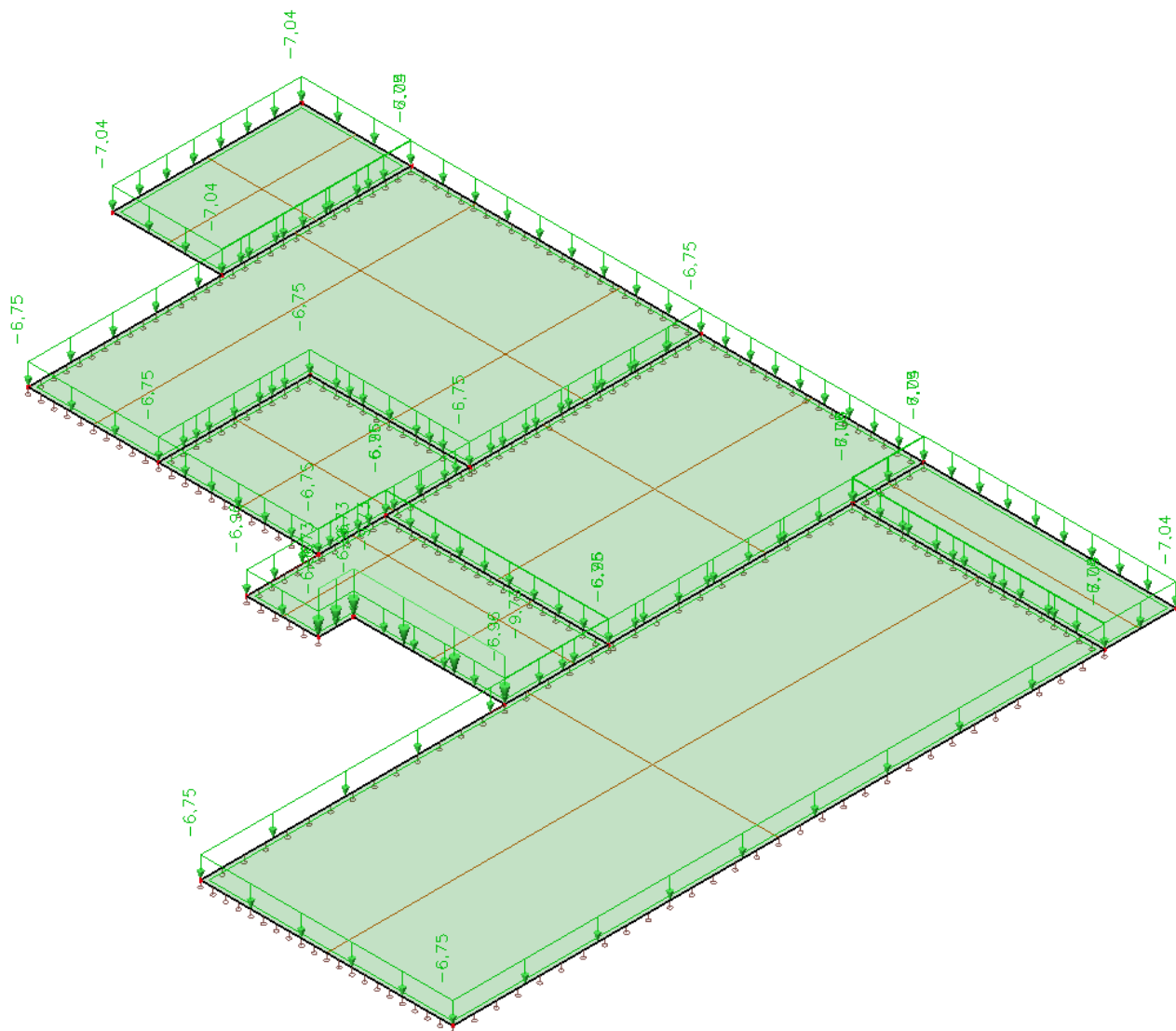
Ploča je opterećena karakterističnim vrijednostima opterećenja prema analizi opterećenja provedenoj u prethodnoj točki. Za slučaj stalnog opterećenja svaka pozicija je opterećena pripadajućim stalnim opterećenjima (po m^2). Vanjski rub podesta je opterećen opterećenjem stubišta (reakcijom kraka po m'). Za slučaj uporabnog opterećenja svaka se pozicija opterećuje pripadajućim uporabnim opterećenjima (po m^2) kod određivanja momenta savijanja u polju, a za proračun momenta savijanja nad ležajem opterećuju se okolne pozicije pripadajućim uporabnim opterećenjima. U nastavku su prikazani izlazni podatci grafički i tablično.

Utjecaji u ploči su također prikazani tablično i dijagramima.

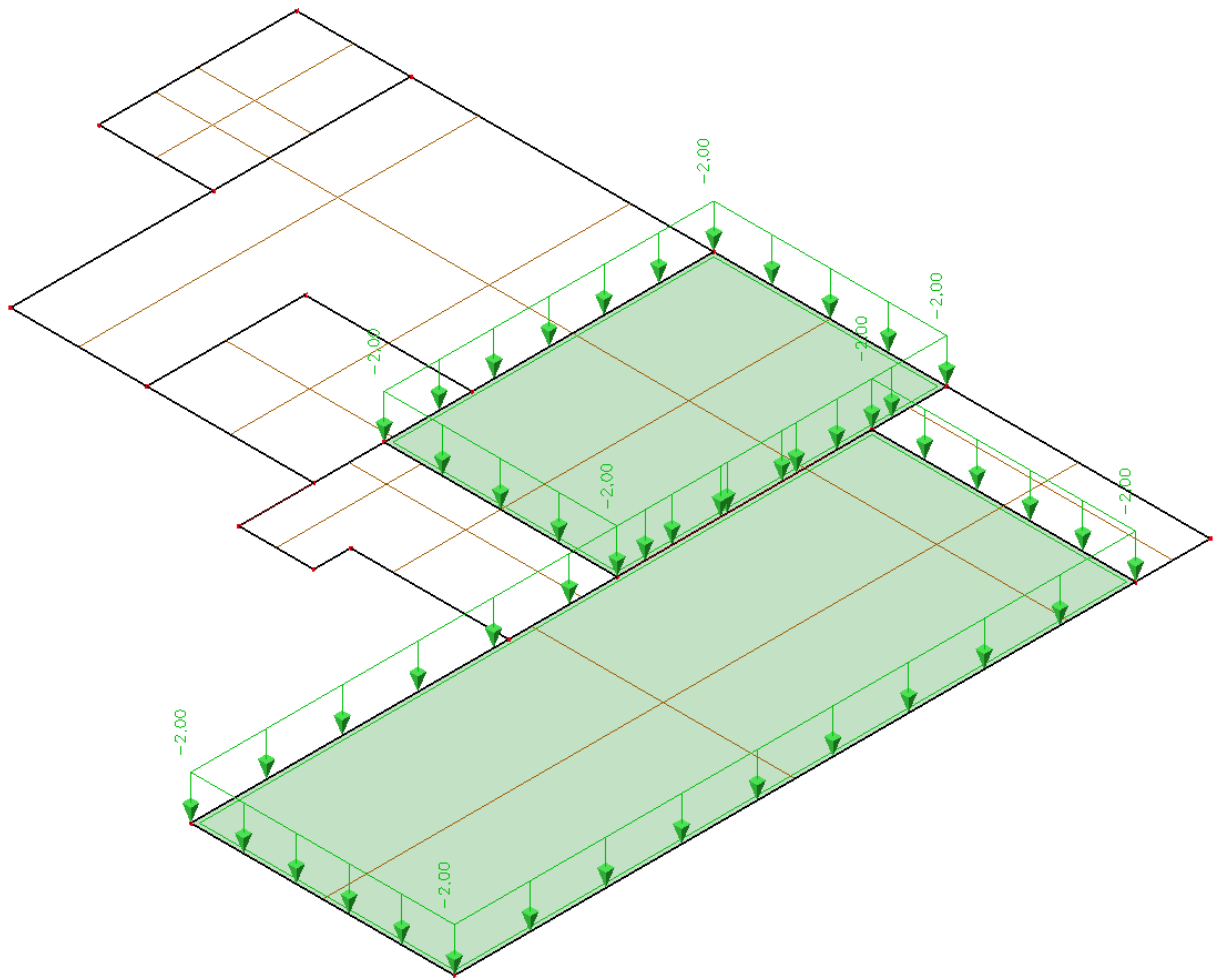


Slika 7. Prikaz modela ploče

Shema stalnog opterećenja:

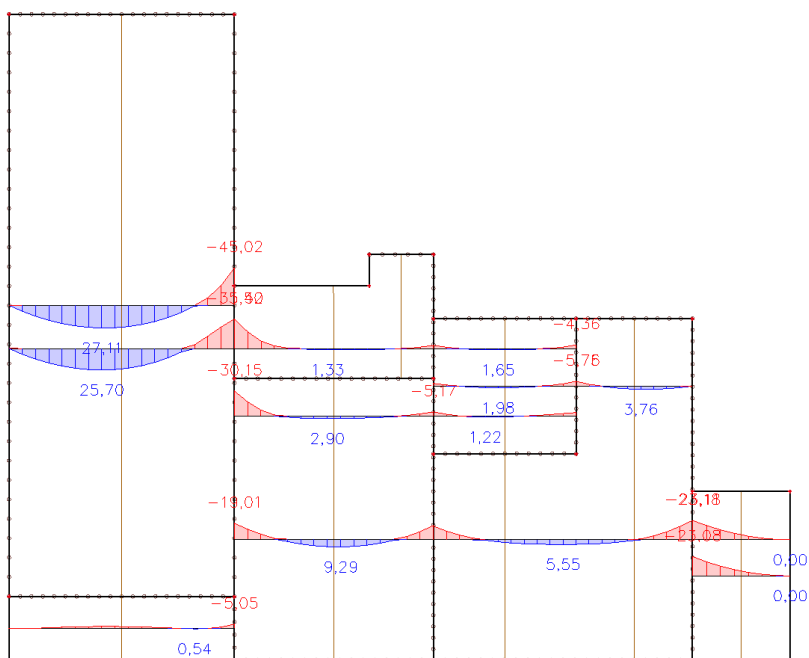


Slika 8. Prikaz stalnog opterećenja

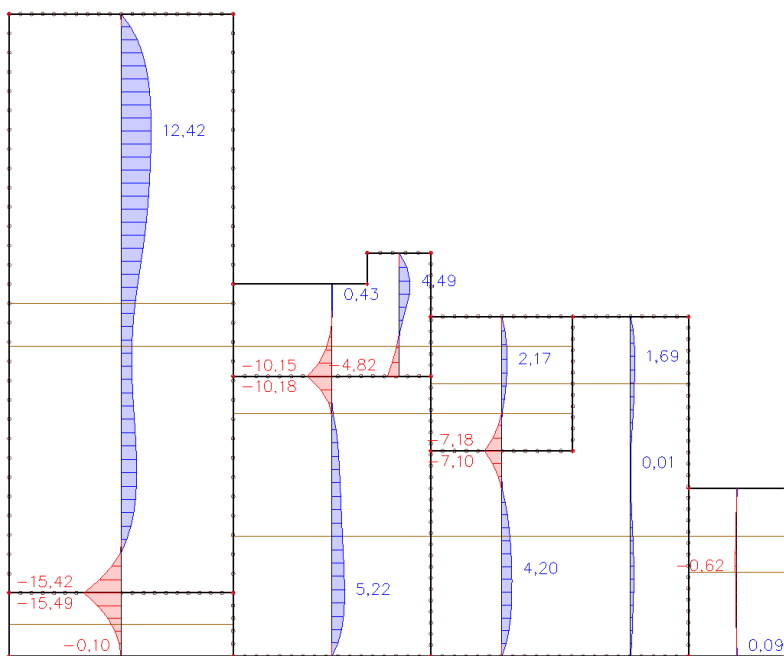


Slika 9. Prikaz dodatno stalnog opterećenja

Momenti savijanja uslijed stalnog opterećenja:



Slika 10. Momenti u smjeru x [kNm]



Slika 11. Momenti u smjeru y [kNm]

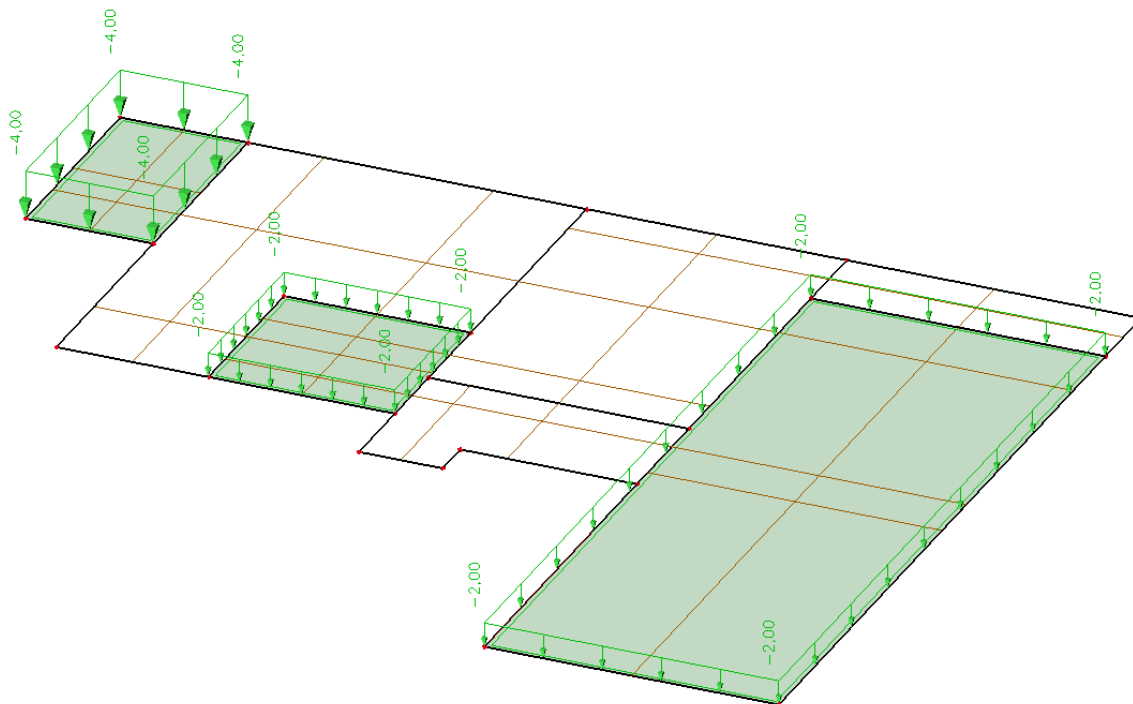
Tablica 1. Momenti savijanja u polju od stalnog opterećenja

POZICIJA	M_x [kNm]	M_y [kNm]
401	27,11	12,42
402	0,54	0,00
403	1,33	4,49
404	9,29	5,22
405	1,98	2,17
406	5,55	4,20
407	0,00	0,09

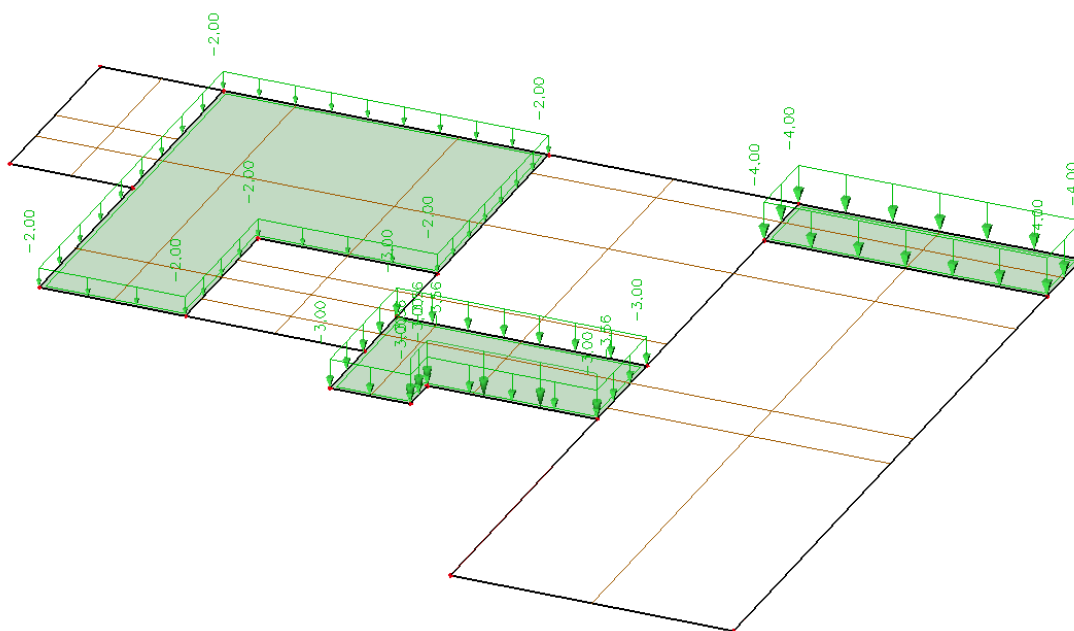
Tablica 2. Momenti savijanja nad ležajevima od stalnog opterećenja

POZICIJA	M [kNm]
401 – 402	-15,49
401 – 403	-45,02
401 – 404	-19,01
402 – 404	-5,05
403 – 404	-10,18
403 – 405	-3,78
404 – 405	-5,17
404 – 406	-16,41
405 – 406	-7,18
406 – 407	-23,18

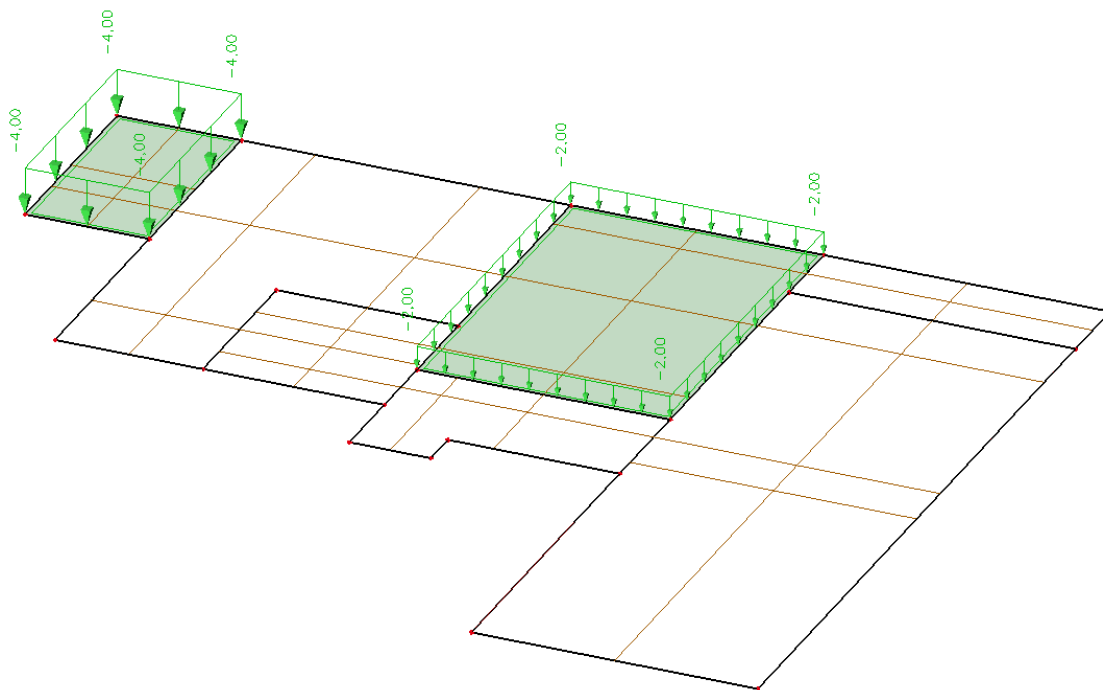
Shema uporabnog opterećenja za momente u polju:



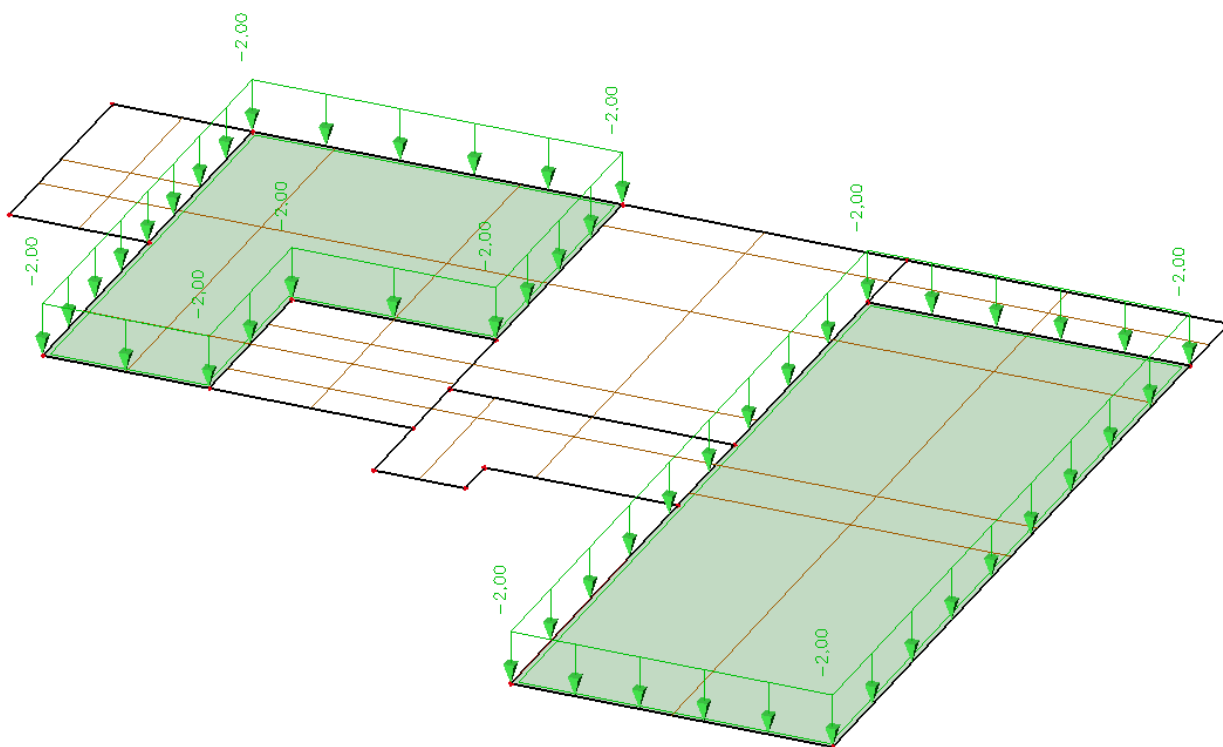
Slika 12. Opterećenje na pozicijama 401, 405 i 407



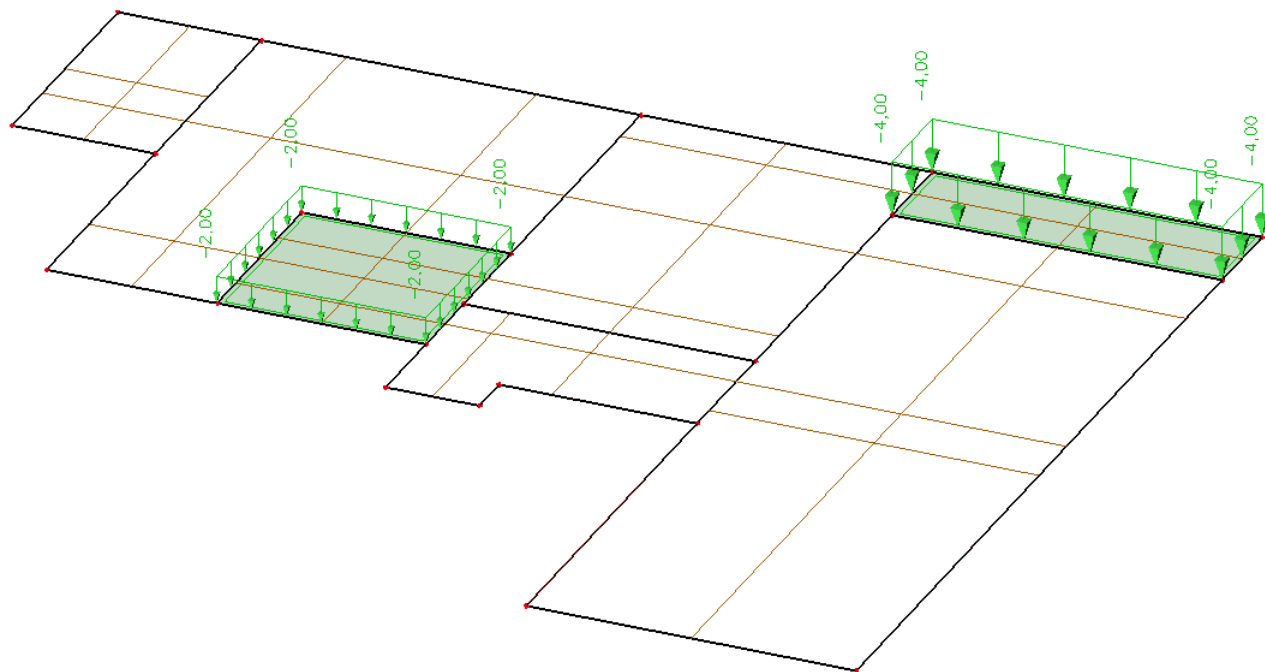
Slika 13. Opterećenje na pozicijama 402, 403 i 406



Slika 14. Opterećenje na pozicijama 404 i 407

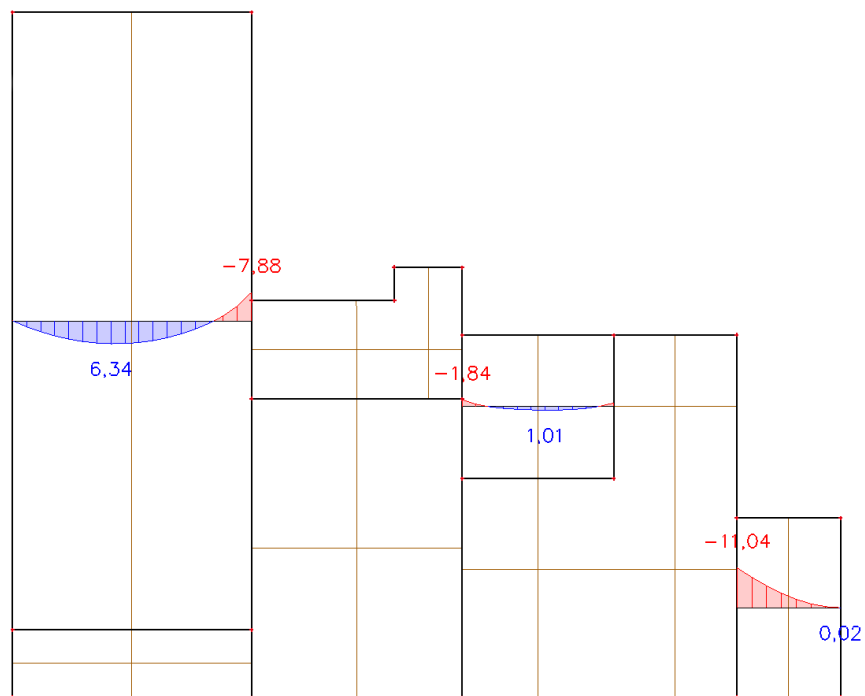


Slika 15. Opterećenje na pozicijama 401 i 406

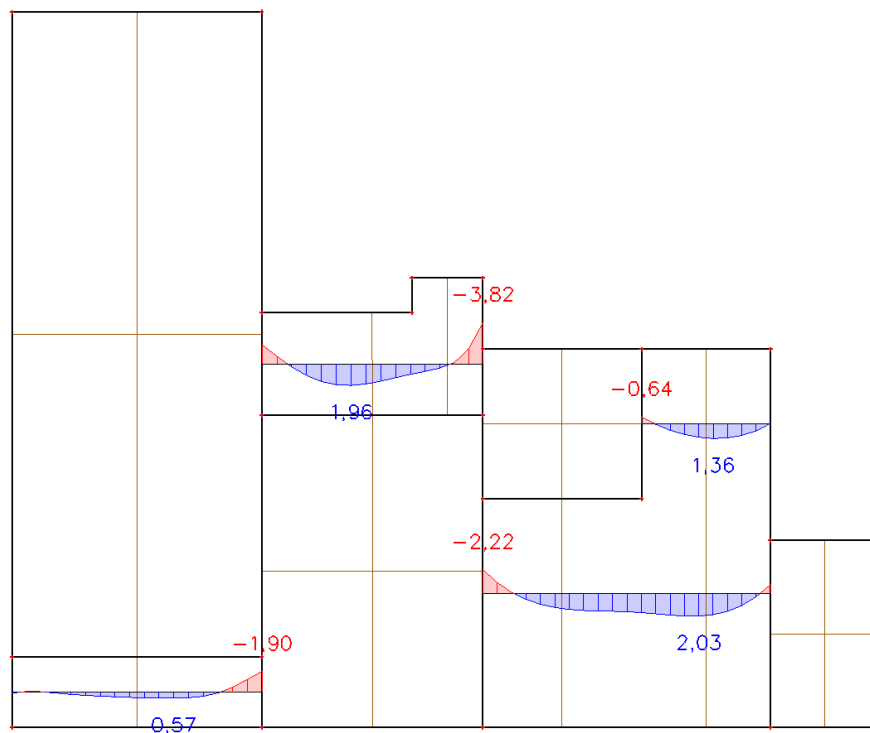


Slika 16. Opterećenje na pozicijama 402 i 405

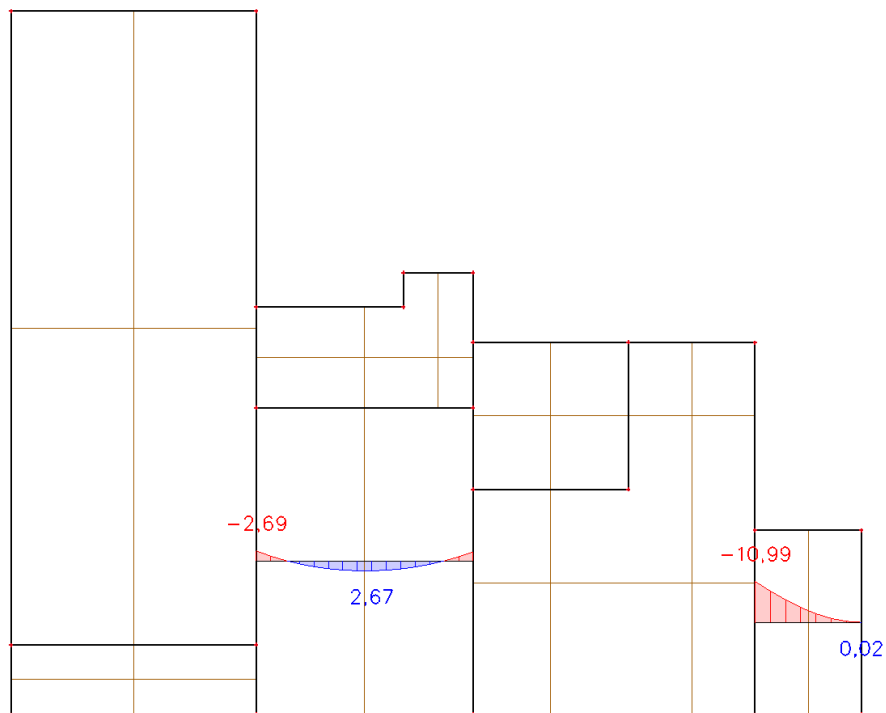
Momenti savijanja u polju uslijed uporabnog opterećenja:



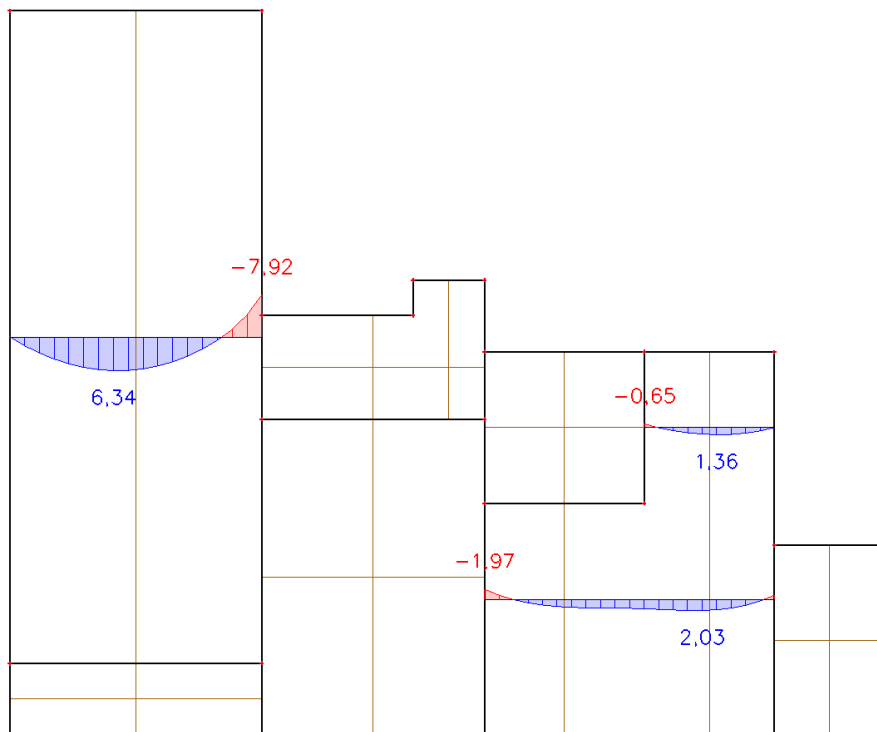
Slika 17. Momenti u smjeru x za poz. 401, 405 i 407



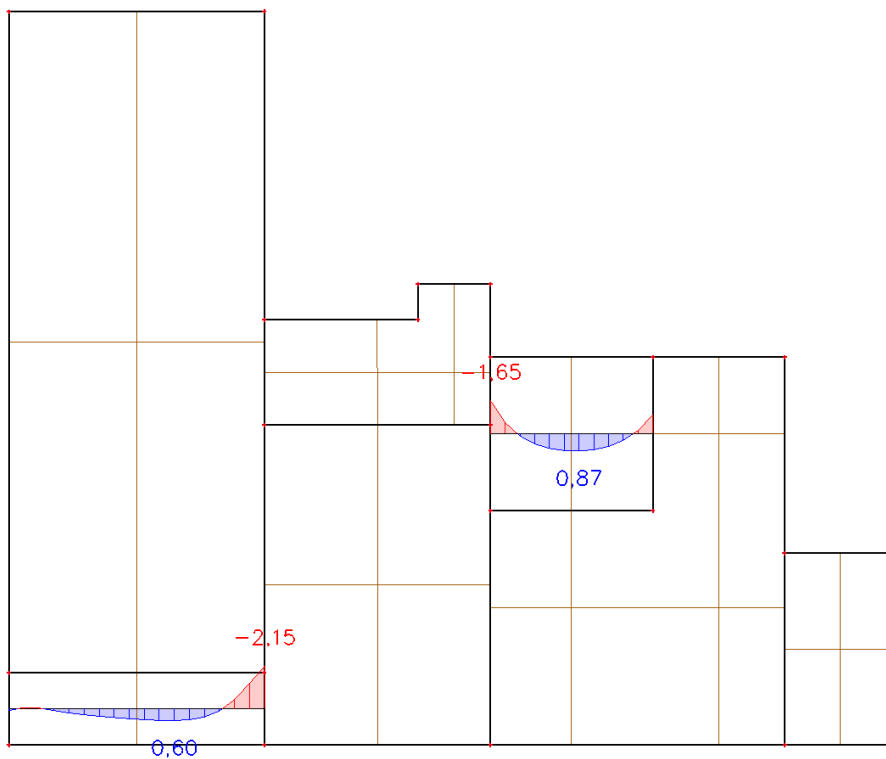
Slika 18. Momenti u smjeru x za poz. 402, 403 i 406



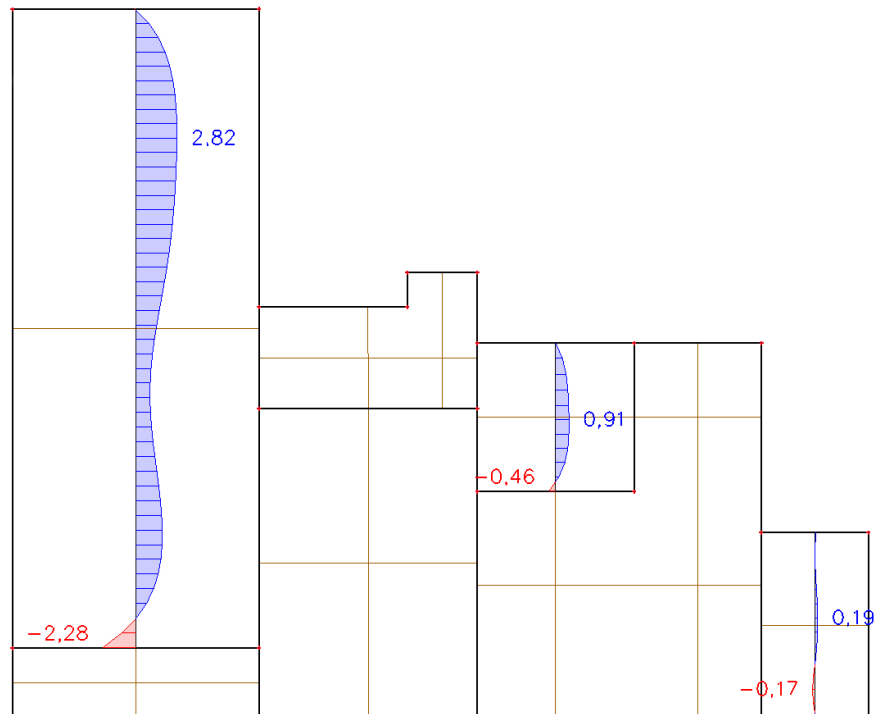
Slika 19. Momenti u smjeru x za poz. 404 i 407



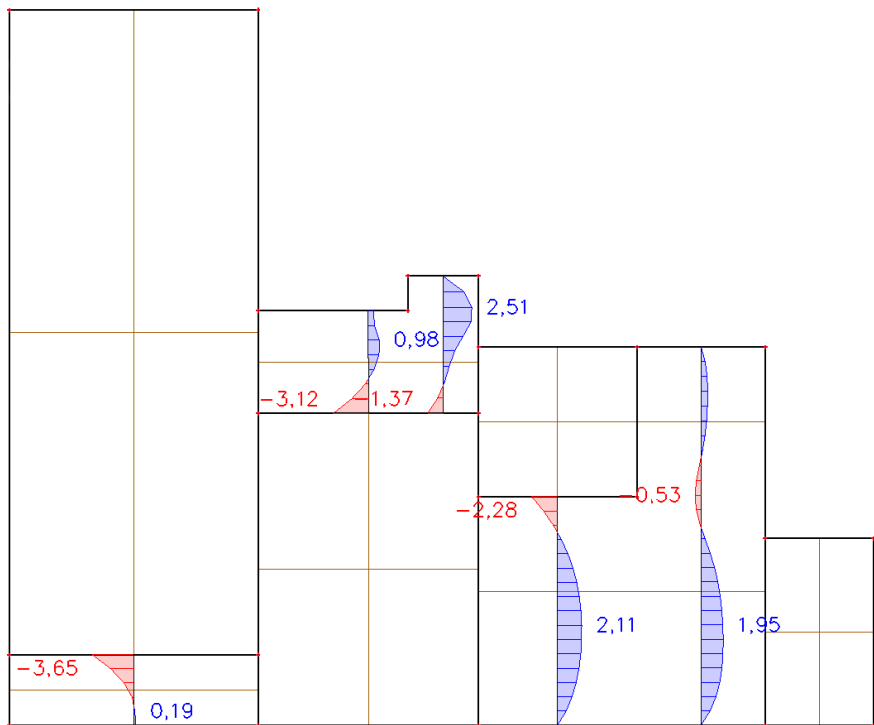
Slika 20. Momenti u smjeru x za poz. 401 i 406



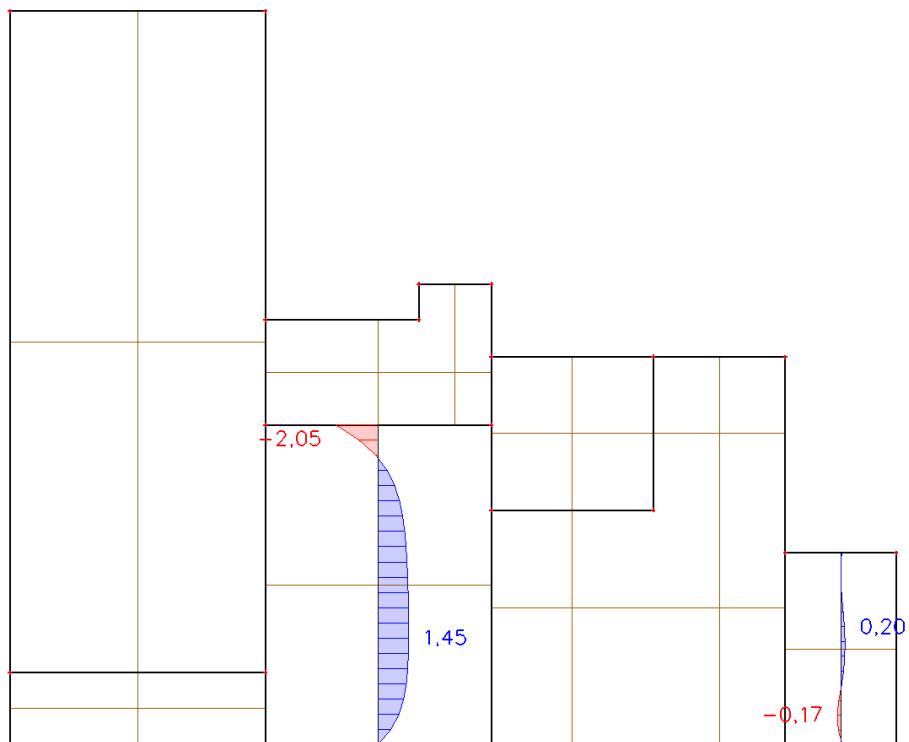
Slika 21. Momenti u smjeru x za poz. 402 i 405



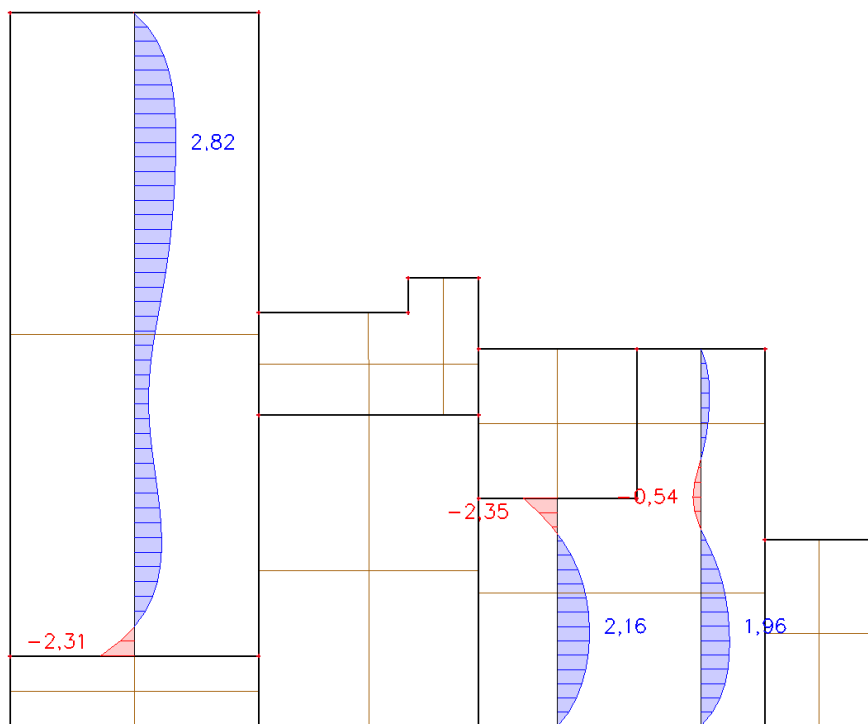
Slika 22. Momenti u smjeru y za poz. 401, 405 i 407



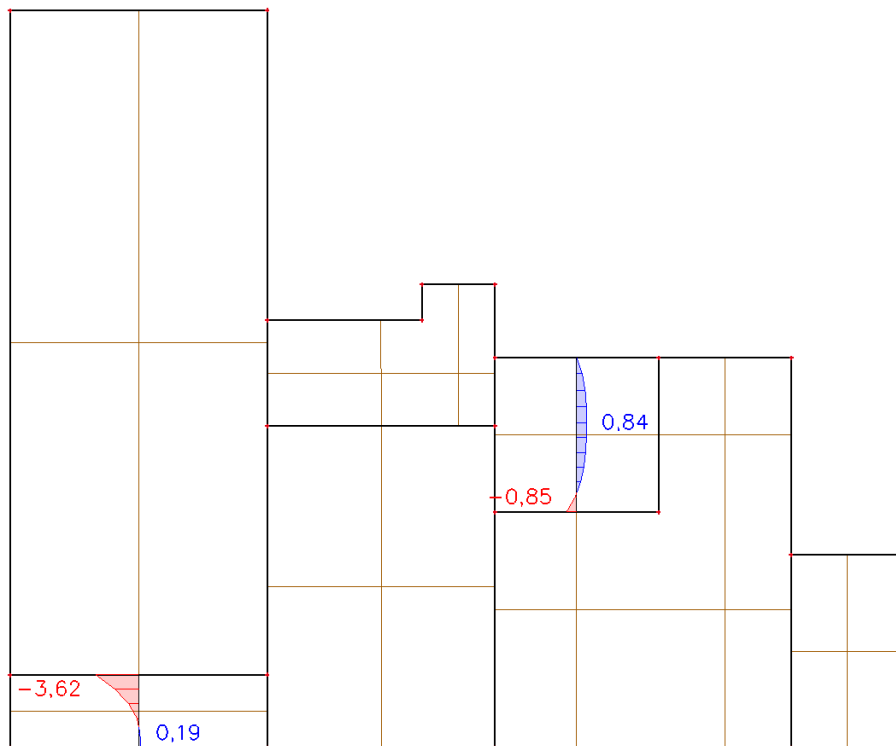
Slika 23. Momenti u smjeru y za poz. 402, 403 i 406



Slika 24. Momenti u smjeru y za poz. 404 i 407



Slika 25. Momenti u smjeru y za poz. 401 i 406

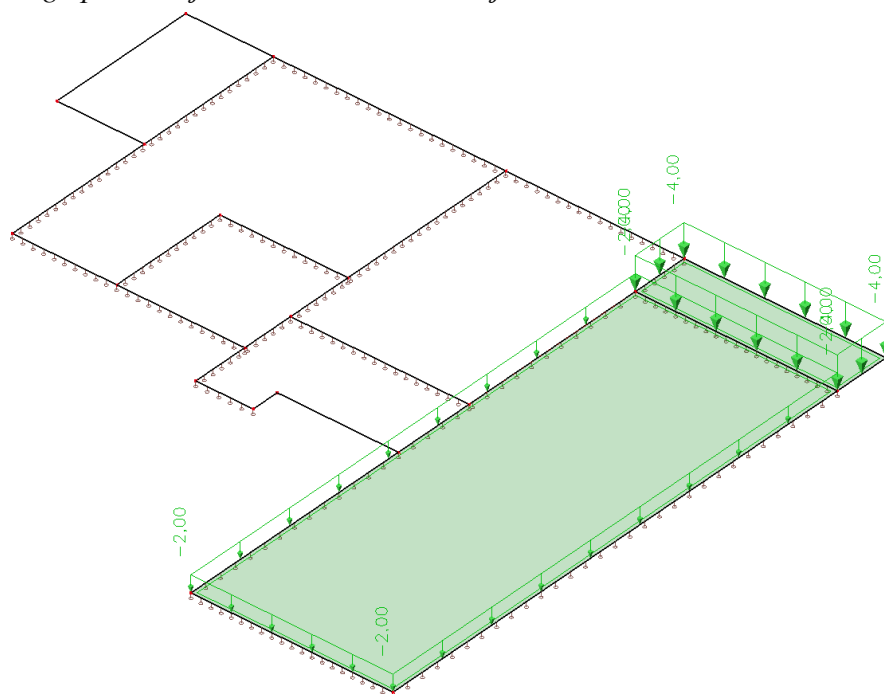


Slika 26. Momenti u smjeru y za poz. 402 i 405

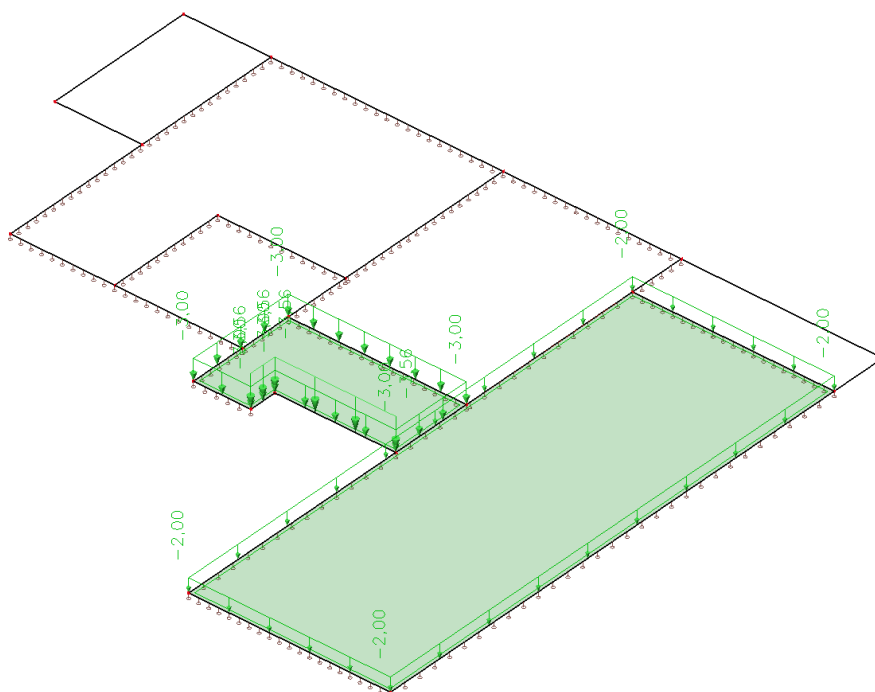
Tablica 3. Momenti savijanja u polju od uporabnog opterećenja

POZICIJA	M_x [kNm]	M_y [kNm]
401	6,38	2,82
402	0,60	0,19
403	1,96	2,51
404	2,67	1,46
405	1,00	0,91
406	2,03	2,16
407	0,02	0,20

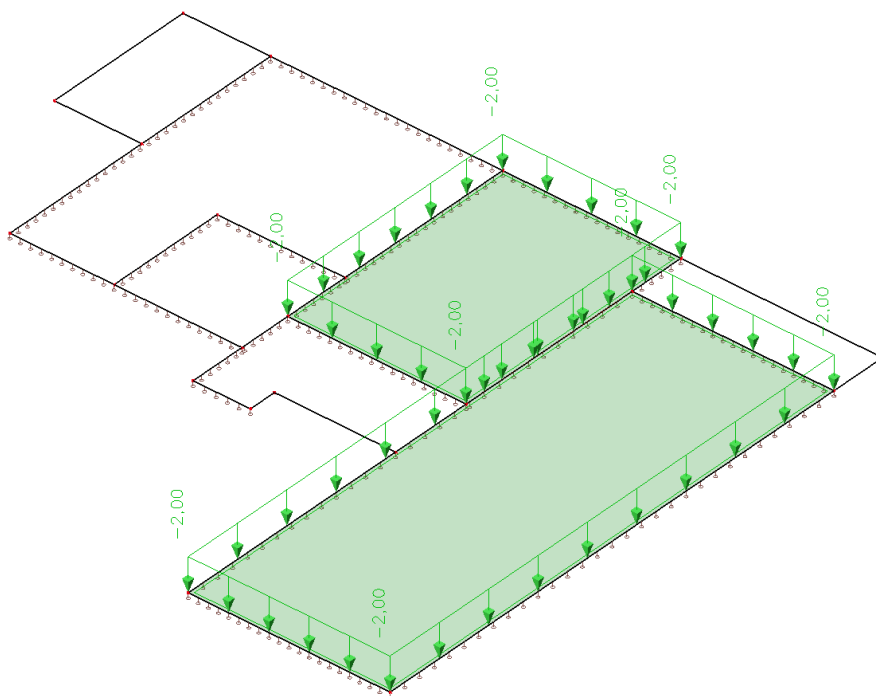
Shema uporabnog opterećenja za momente nad ležajem:



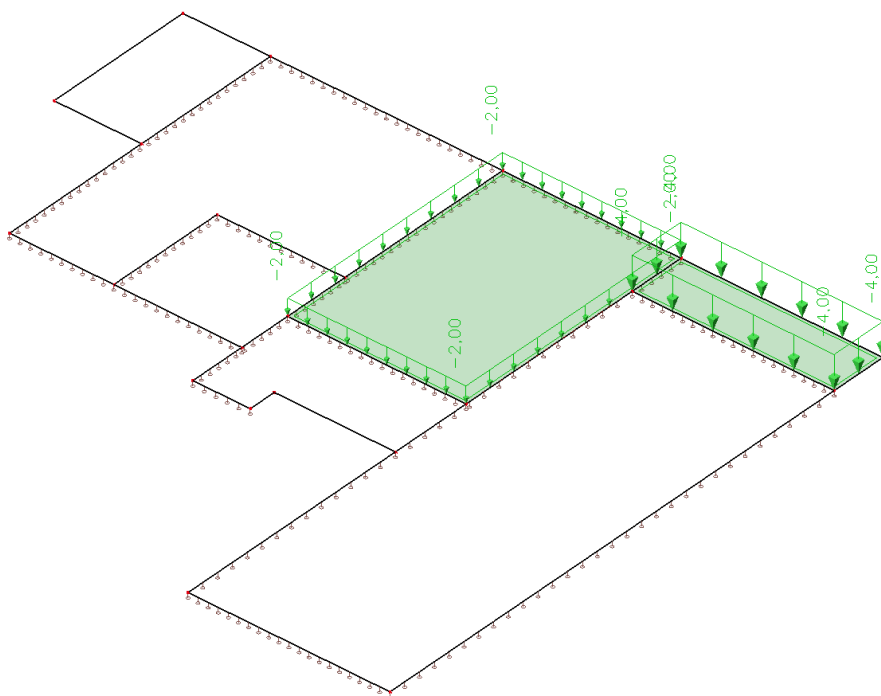
Slika 27. Uporabno opterećenje na poz. 401 - 402



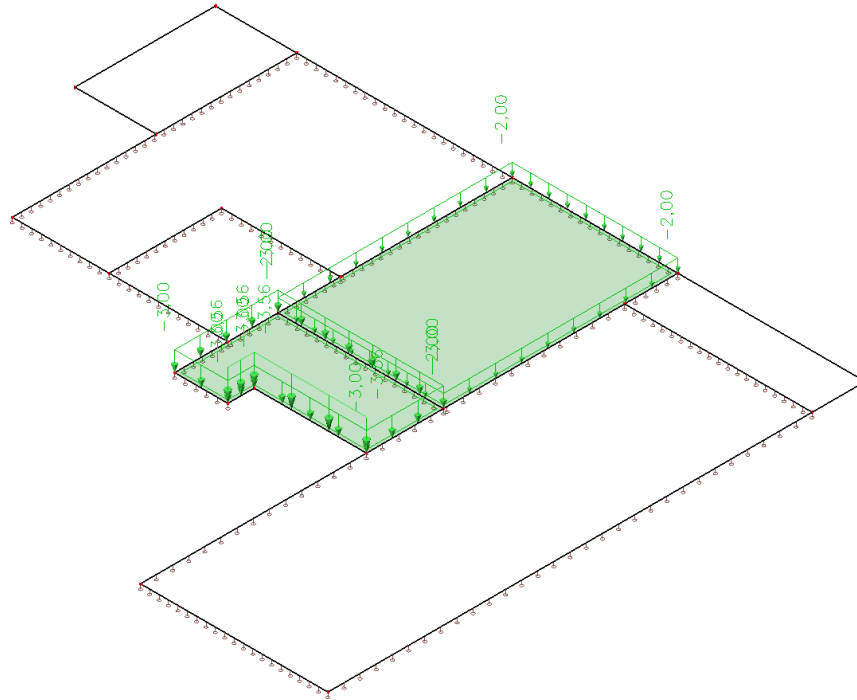
Slika 28. Uporabno opterećenje na poz. 401 - 403



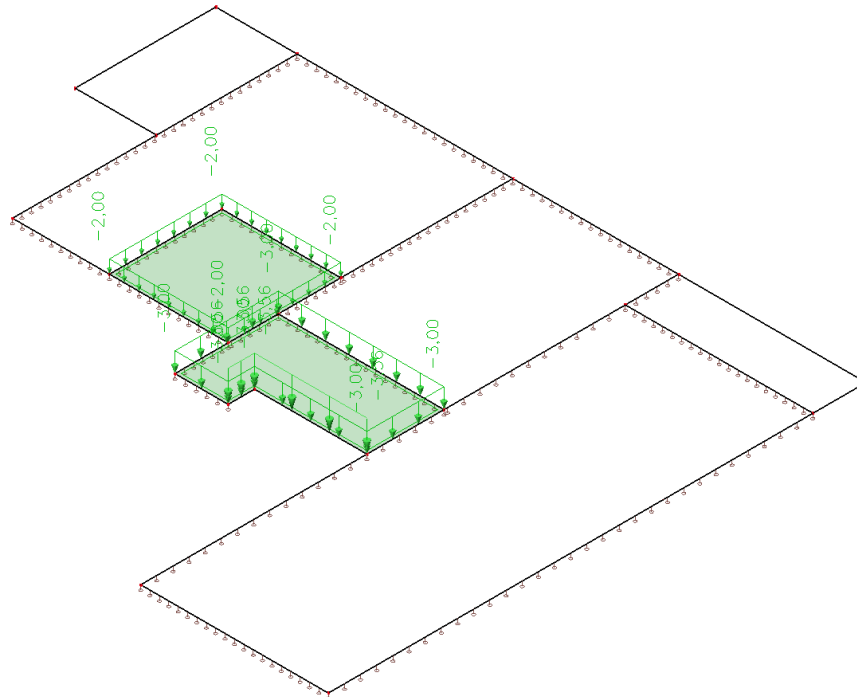
Slika 29. Uporabno opterećenje na poz. 401 - 404



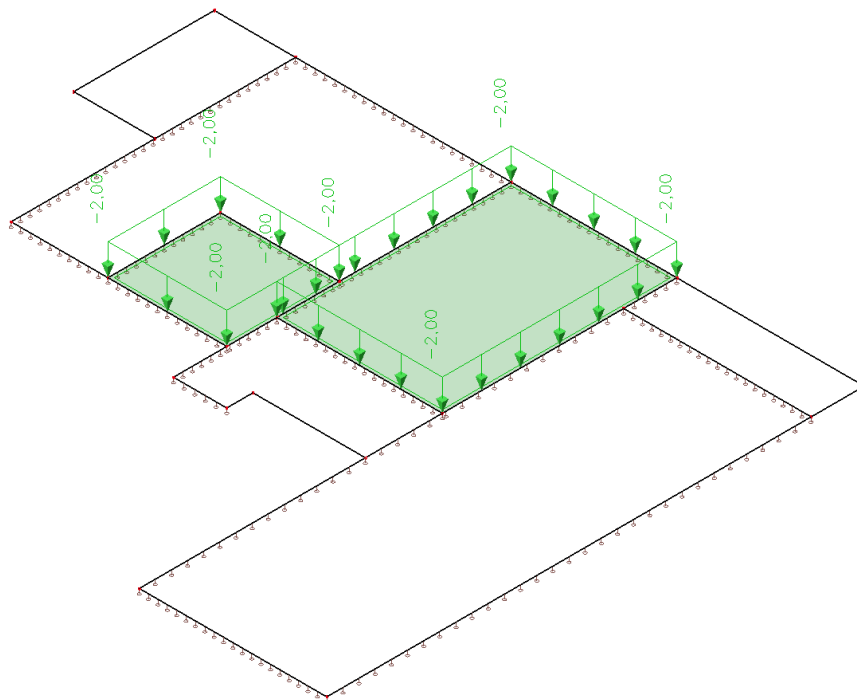
Slika 30. Uporabno opterećenje na poz. 402 - 404



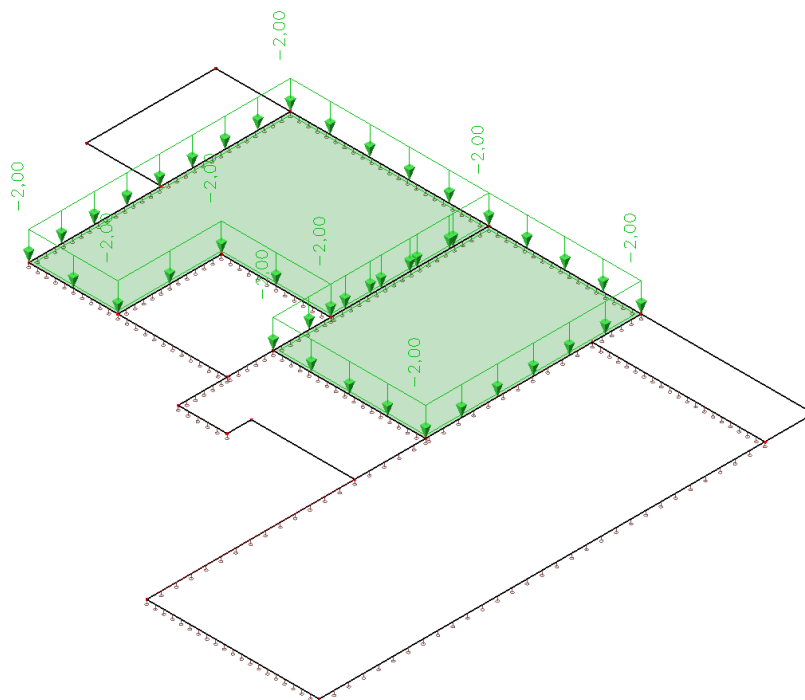
Slika 31. Uporabno opterećenje na poz. 403 - 404



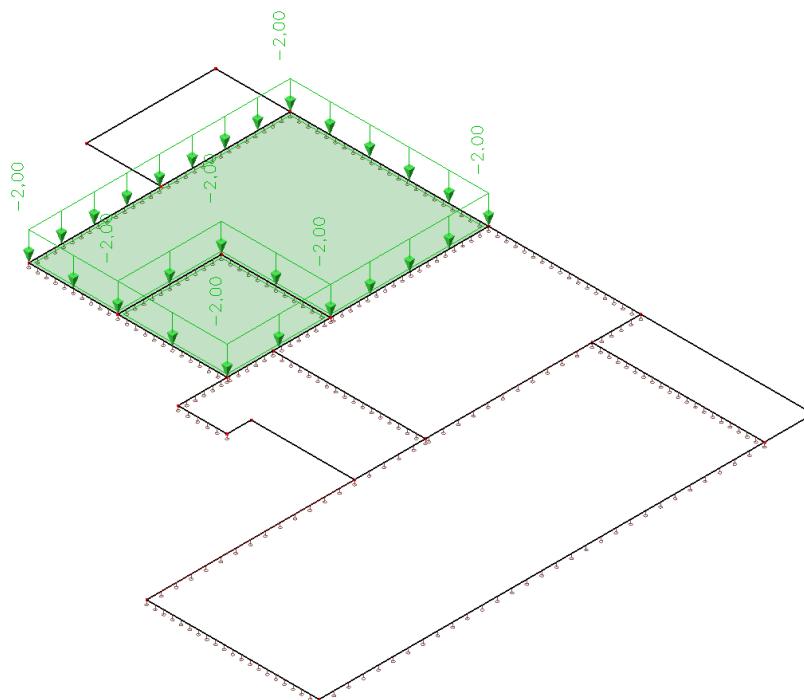
Slika 32. Uporabno opterećenje na poz. 403 - 405



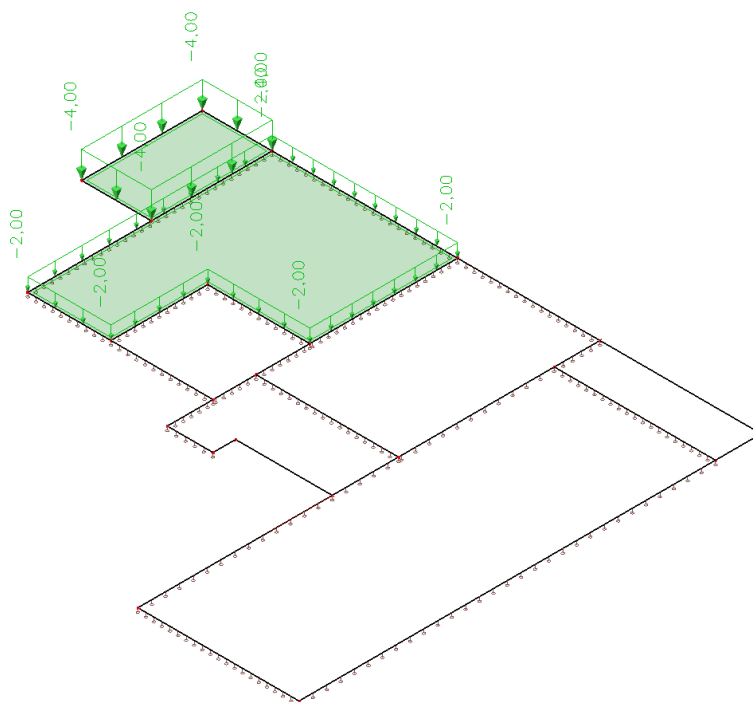
Slika 33. Uporabno opterećenje na poz. 404 - 405



Slika 34. Uporabno opterećenje na poz. 404 - 406

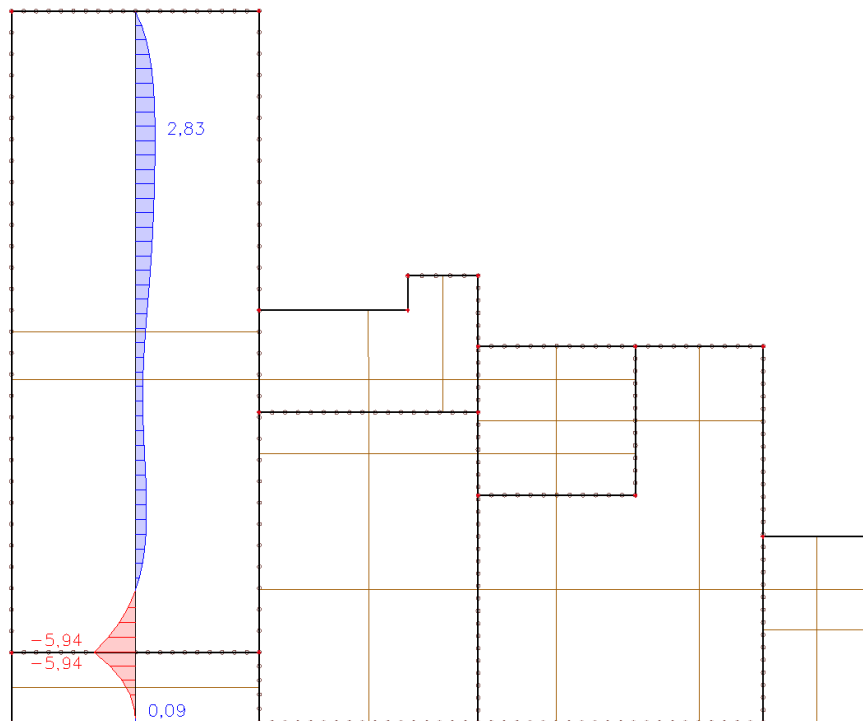


Slika 35. Uporabno opterećenje na poz. 405 - 406

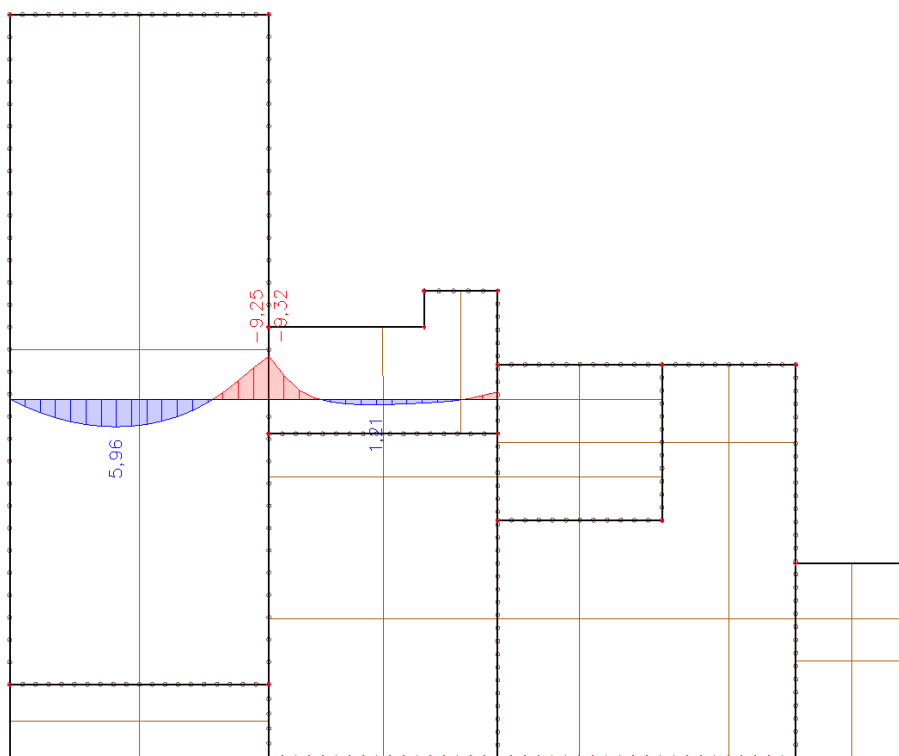


Slika 36. Uporabno opterećenje na poz. 406 – 407

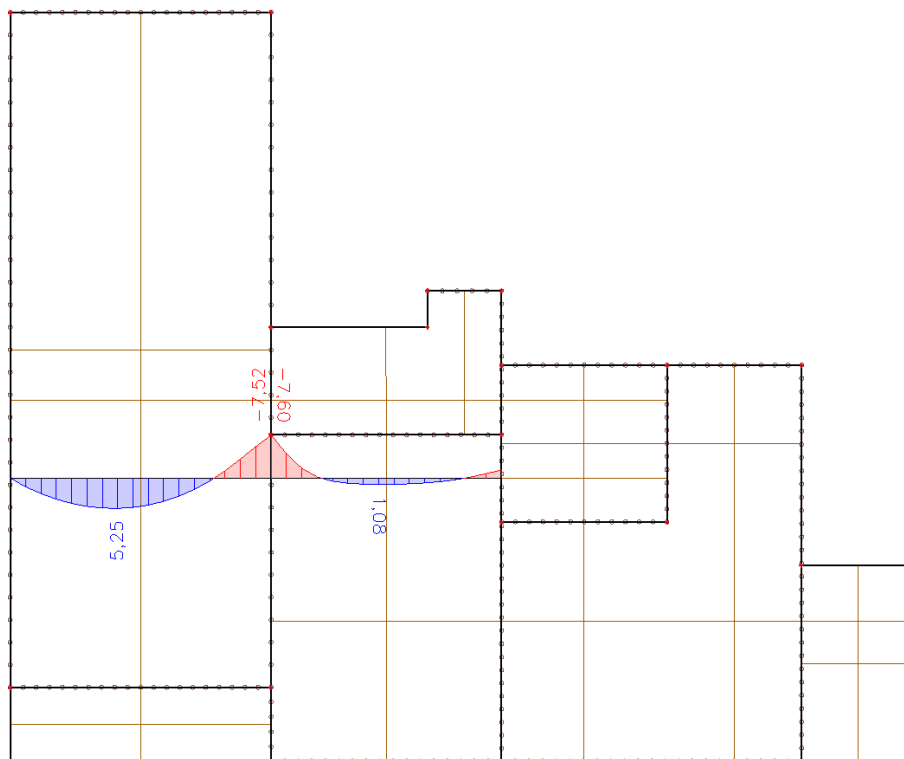
Momenti savijanja nad ležajem uslijed uporabnog opterećenja:



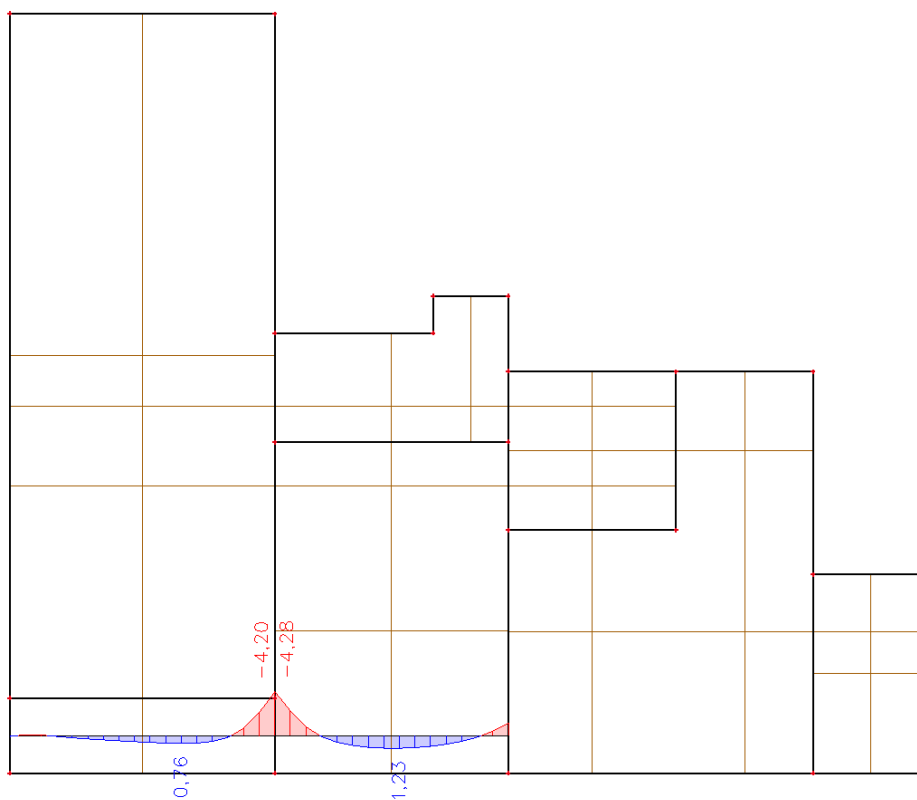
Slika 37. Moment nad ležajem poz. 401 - 402



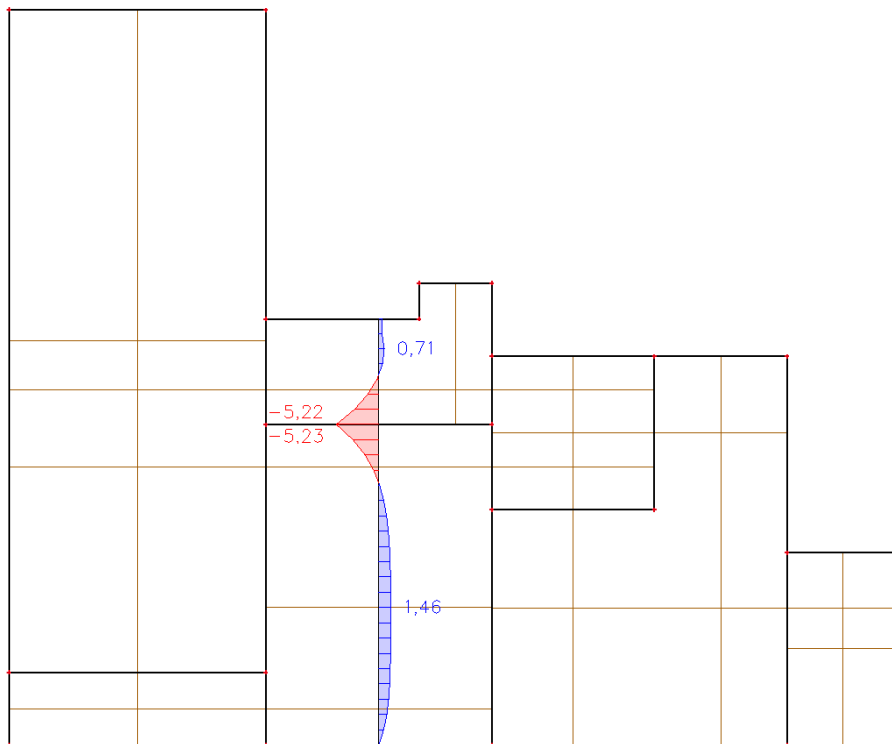
Slika 38. Moment nad ležajem poz. 401 - 403



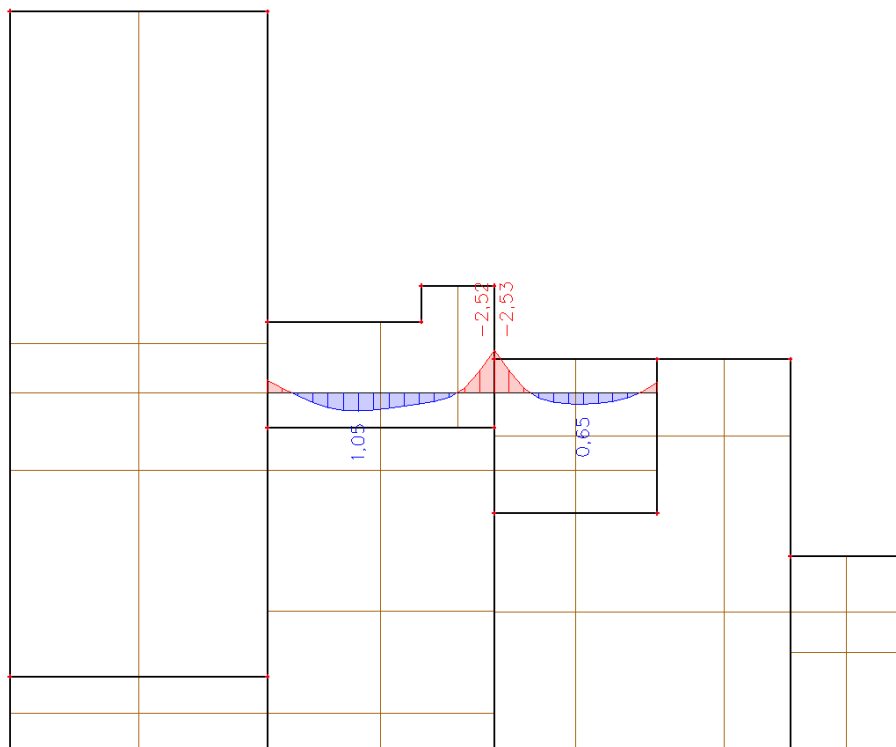
Slika 39. Moment nad ležajem poz. 401 - 404



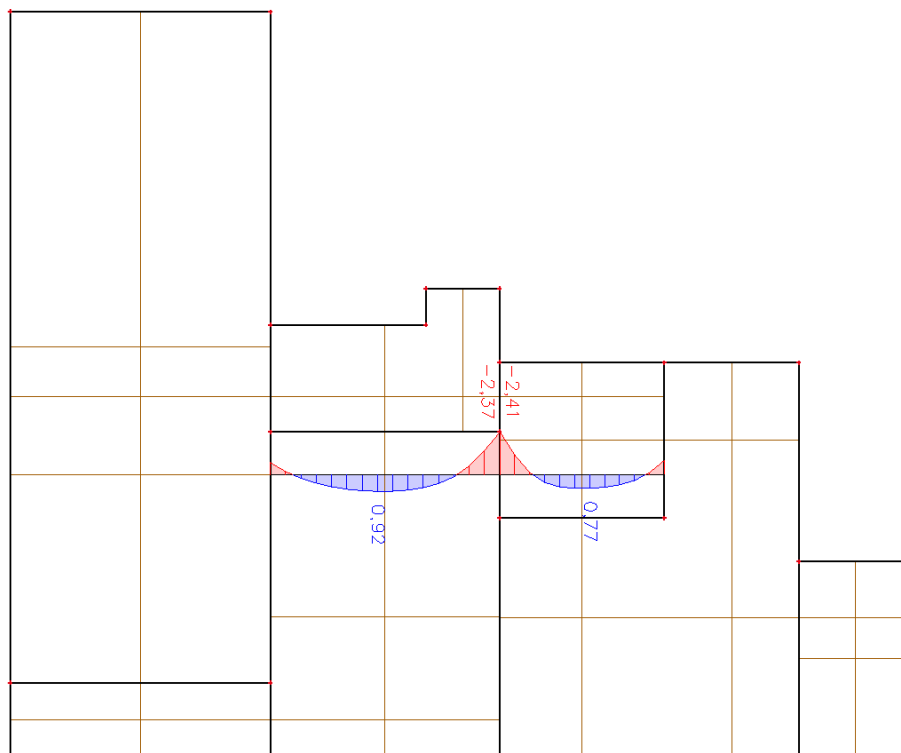
Slika 40. Moment nad ležajem poz. 402 - 404



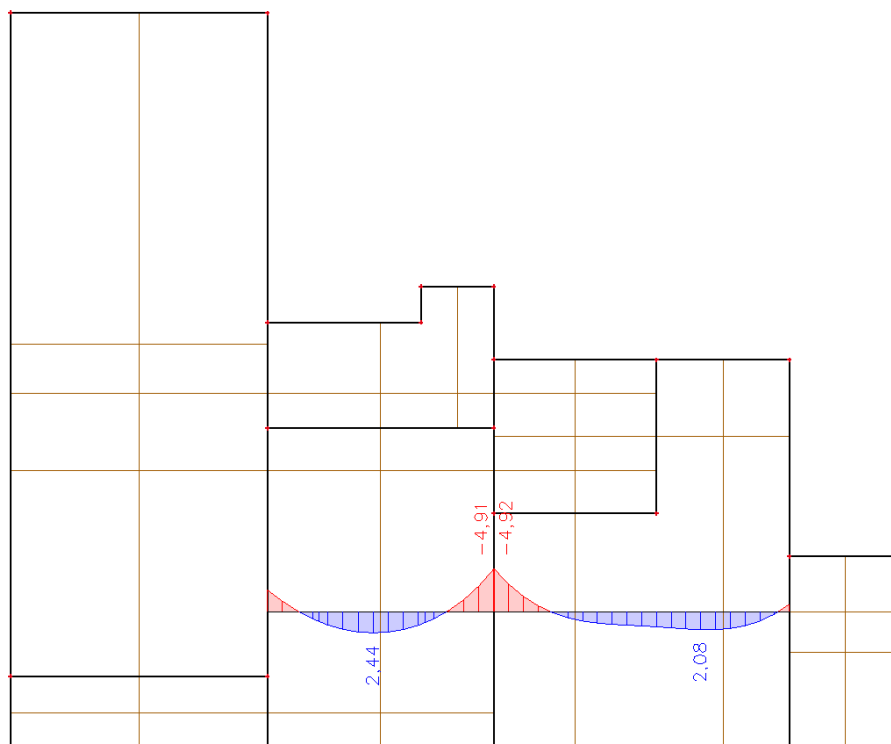
Slika 41. Moment nad ležajem poz. 403 - 404



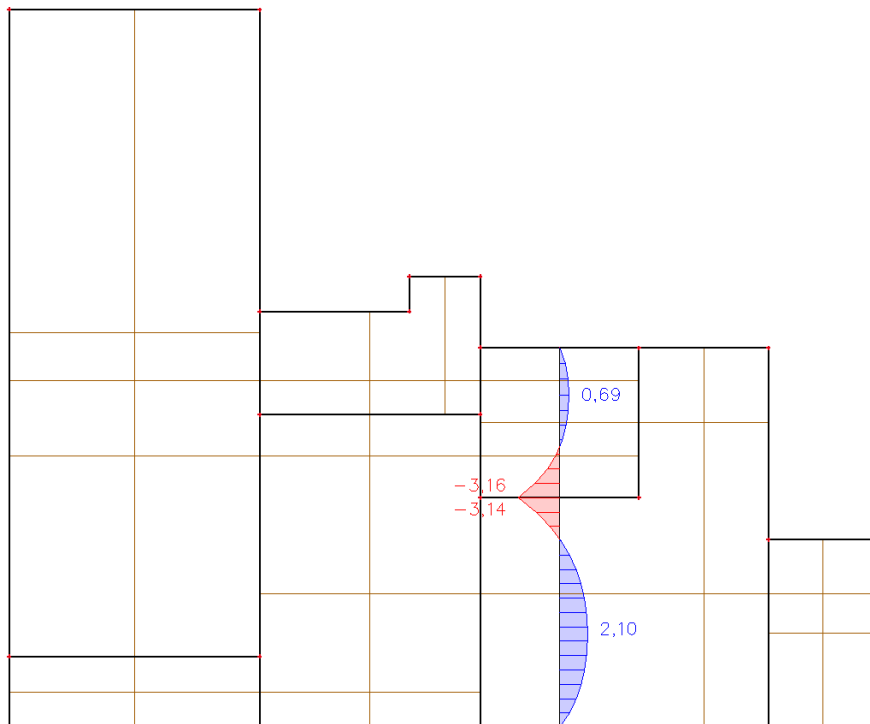
Slika 42. Moment nad ležajem poz. 403 - 405



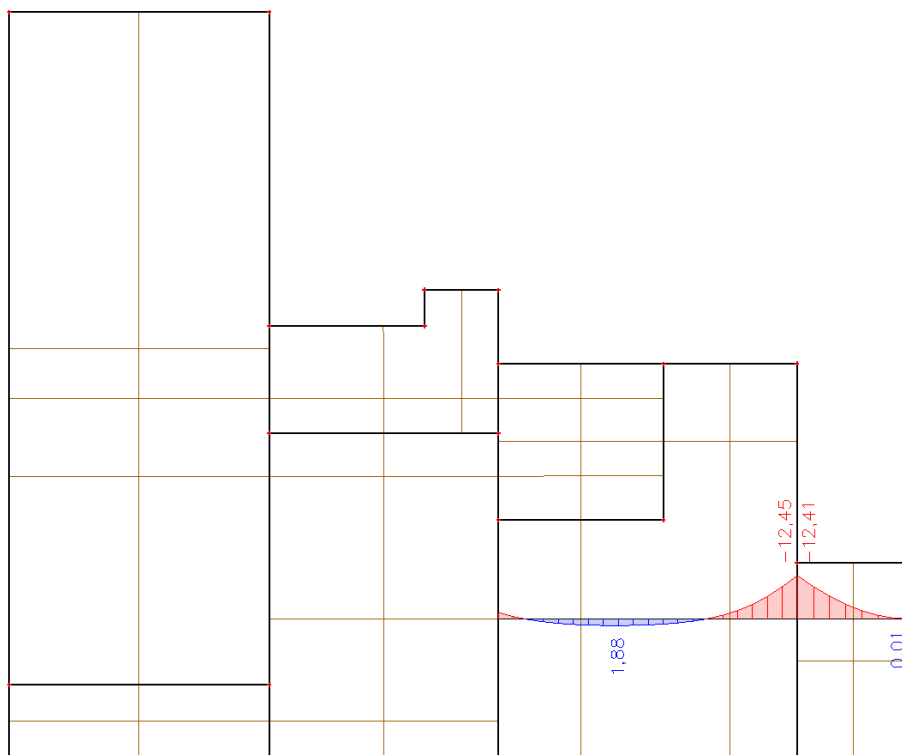
Slika 43. Moment nad ležajem poz. 404 - 405



Slika 44. Moment nad ležajem poz. 404 - 406



Slika 45. Moment nad ležajem poz. 405 - 406



Slika 46. Moment nad ležajem poz. 406 – 407

Tablica 4. Momenti savijanja nad ležajevima od uporabnog opterećenja

POZICIJA	M [kNm]
401 – 402	-5,94
401 – 403	-9,32
401 – 404	-7,61
402 – 404	-4,28
403 – 404	-5,23
403 – 405	-2,53
404 – 405	-2,41
404 – 406	-4,92
405 – 406	-3,16
406 – 407	-12,45

Proračunske vrijednosti momenata savijanja:

Tablica 5. Proračunske vrijednosti momenta savijanja u polju

POZICIJA	M_x [kNm]	M_y [kNm]
401	46,17	21,00
402	1,63	0,29
403	4,74	9,83
404	16,55	9,24
405	4,17	4,30
406	10,54	8,91
407	0,03	0,42

Tablica 6. Proračunske vrijednosti momenta savijanja nad ležajem

POZICIJA	M[kNm]
401 – 402	-29,82
401 – 403	-74,76
401 – 404	-37,08
402 – 404	-13,24
403 – 404	-21,59
403 – 405	-8,90
404 – 405	-11,01
404 – 406	-29,53
405 – 406	-14,43
406 – 407	-49,97

4.3. Dimenzioniranje armature

Materijal:

Beton: **C35/45**

$(f_{ck}/f_{ck,cube}$ – karakteristična čvrstoća betona valjka/kocke)

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{35}{1,5} = 23,33 \text{ N/mm}^2 = 2,33 \text{ kN/m}^2$$

Čelik: **B500B**

$(f_{yk}/f_{tk} = 500/540$ – karakteristična granica popuštanja čelika za armiranje
/karakteristična vlačna čvrstoća čelika za armiranje)

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika za armiranje

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,478 \text{ kN/m}^2$$

Visina ploče kata:	$h = 20,0 \text{ cm}$
Zaštitni sloj betona (razred izloženosti XC1):	$c = 2,0 \text{ cm}$
Udaljenost do težišta armature:	$d_1 = c + \phi/2 = 2,0 + 1,0/2 = 2,5 \text{ cm}$
Statička visina presjeka:	$d = h - d_1 = 20,0 - 2,5 = 17,5 \text{ cm}$

Minimalna i maksimalna armatura ploče u polju:

Minimalna armatura u polju:

$$A_{s1,\min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 17,5 = 2,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 17,5 \cdot \frac{3,2}{500} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

f_{ctm} – srednja osna vlačna čvrstoća betona

Maksimalna armatura za polje:

$$A_{s1,\max} = 0,040 \cdot A_c = 0,040 \cdot 100 \cdot 20 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100 \cdot 20 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\max} = \omega_{\lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 17,5 \cdot \frac{23,33}{434,78} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Minimalna i maksimalna armatura ploče nad osloncem:

Minimalna armatura nad osloncem:

$$A_{s1,\min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 17,5 = 2,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 17,5 \cdot \frac{3,2}{500} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

f_{ctm} – srednja osna vlačna čvrstoća betona

Maksimalna armatura nad osloncem:

$$A_{s1,\max} = 0,040 \cdot A_c = 0,040 \cdot 100 \cdot 20 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100 \cdot 20 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\max} = \omega_{\lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 17,5 \cdot \frac{23,33}{434,78} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

POZICIJA 401**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4617}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,065 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,066$ očitano:

$$\varepsilon_c = -2,2 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,099$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,962$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{4617}{0,962 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 6,31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2100}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,029 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,030$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,3 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,061$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,978$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2100}{0,978 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: Q 636 ($A_{s1,prov} = 6,36 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 6,36 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 402**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{163}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,002 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,002$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,3 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,015$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,995$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{163}{0,995 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,22 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{29}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,000 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,000$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,1 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,005$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,998$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{29}{0,998 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,04 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Potrebna armatura je manja od minimalne.

ODABRANO: Q 335 ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 403

Napomena: Za ovu poziciju armatura je već određena kod proračuna stubišta. Potrebno je provjeriti zadovoljava li momente savijanja.

Smjer x

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{474}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,007 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,008$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,6 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,029$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,990$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{474}{0,990 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,63 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{983}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,014 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,016$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,9 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,043$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,985$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{983}{0,985 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: Armatura u smjeru x $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2$

Armatura u smjeru y $A_{s1,prov} = 13,99 \text{ cm}^2$

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 13,99 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 404**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1655}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,023 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,023$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,1 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,052$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,982$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1655}{0,982 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,22 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{924}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,013 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,013$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,8 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,038$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,987$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{924}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,23 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: Q 335 ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 405**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{417}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,006 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,5 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,992$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{417}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{430}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,006 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,016$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,5 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,992$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{430}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,57 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: Q 335 ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 406**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1054}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,015 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,016$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,9 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,043$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,985$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1054}{0,985 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,41 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{891}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,012 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,013$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,8 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,038$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,987$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{891}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,19 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: Q 335 ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 407**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,000 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,000$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,1 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,005$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,998$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3}{0,998 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,004 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{42}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,000 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,000$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,1 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,005$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,998$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{42}{0,998 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,055 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: Q 335 ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 401 - 402

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2982}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,042 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,042$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,6 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,074$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,973$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2982}{0,973 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 4,03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: R 424 ($A_{s1,prov} = 4,24 \text{ cm}^2$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 4,24 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 401 – 403

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7476}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,105 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,106$ očitano:

$$\varepsilon_c = -3,3 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,142$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,942$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{7476}{0,942 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 10,43 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: 2*R 524 ($A_{s1,prov} = 10,48 \text{ cm}^2$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 10,48 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 401 – 404

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3708}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,052 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,055$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,9 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,087$$

$$\varepsilon_{s1} = 20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,968$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3708}{0,968 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: R 524 ($A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 402 - 404

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1324}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,019 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,020$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,048$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,983$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1324}{0,983 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,77 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: R 335 ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 403 – 404

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2159}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,030 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,030$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,3 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,061$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,978$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2159}{0,978 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,90 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: R 335 ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 403 – 405

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{890}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,013 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,013$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,8 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,038$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,987$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{890}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,19 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: R 335 ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 404 – 405

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1101}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,015 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,016$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,9 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,043$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,985$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1101}{0,985 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,47 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: R 335 ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 404 – 406

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2953}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,041 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,042$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,6 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,074$$

$$\varepsilon_{s1} = 18,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,973$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2953}{0,973 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 3,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: R 424 ($A_{s1,prov} = 4,24 \text{ cm}^2$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 4,24 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 405 – 406

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1443}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,020 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,020$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,048$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,983$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1443}{0,983 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: R 335 ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 404 – 406_3

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4997}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,33} = 0,070 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,070$ očitano:

$$\varepsilon_c = -2,3 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,103$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,960$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{4997}{0,960 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 6,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: R 785 ($A_{s1,prov} = 7,85 \text{ cm}^2$)

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 7,85 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

4.4. Rekapitulacija odabrane armature ploče

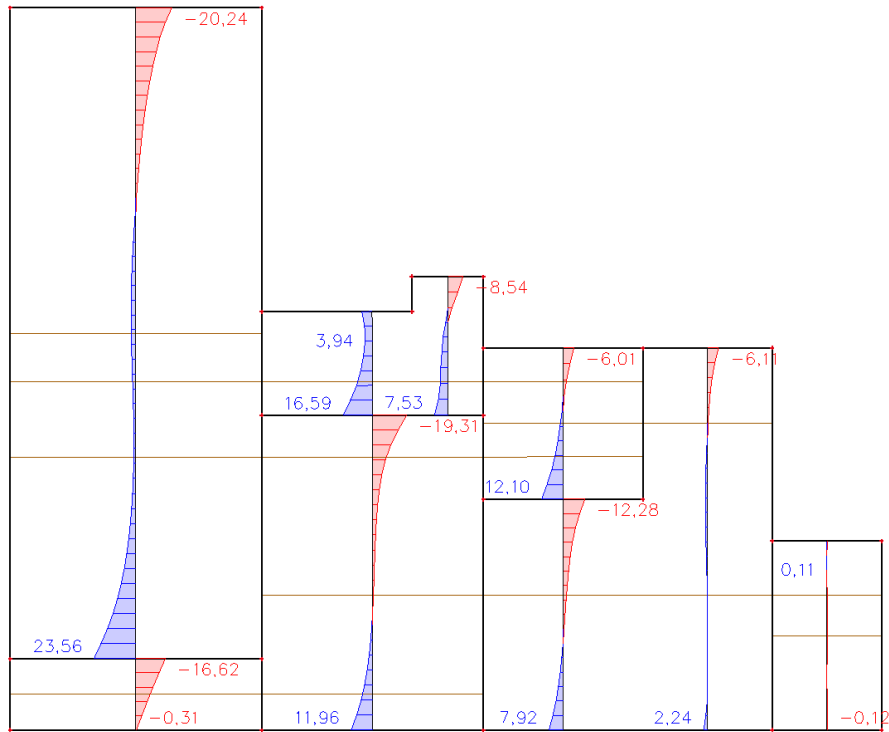
Tablica 7. Odabrana armatura u polju

POZICIJA	ODABRANA ARMATURA
401	Q 636
402	Q 335
403	armatura podesta
405	Q 335
405	Q 335
406	Q 335
407	Q 335

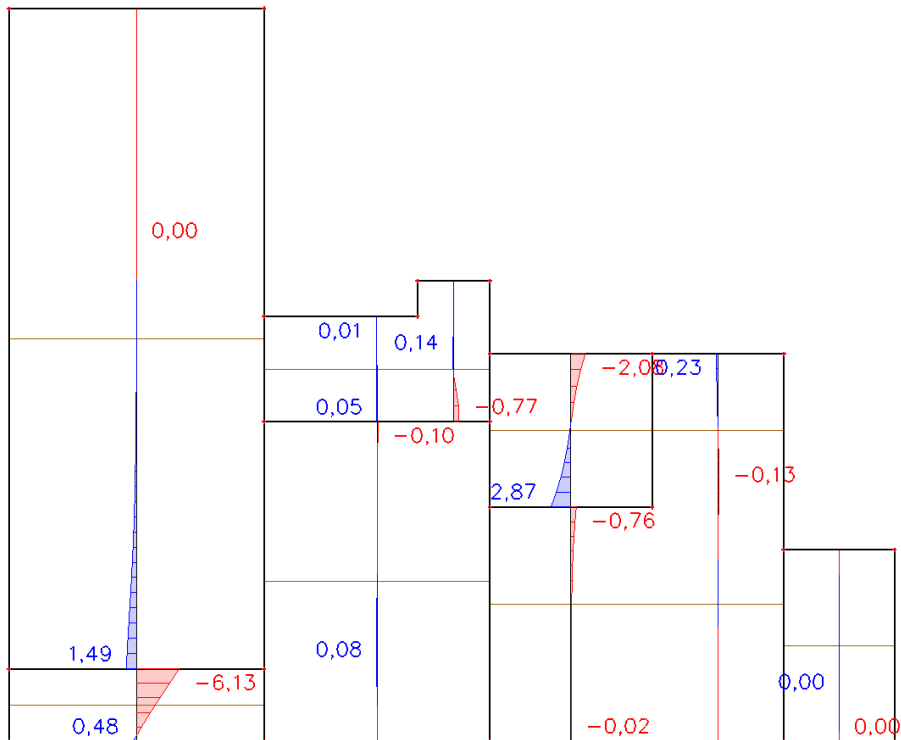
Tablica 8. Odabrana armatura nad ležajem

POZICIJA	ODABRANA ARMATURA
401 – 402	R 424
401 – 403	2*R 524
401 – 404	R 524
402 – 404	R 335
403 – 404	R 335
403 – 405	R 335
404 – 405	R 335
404 – 406	R 424
405 – 406	R 335
406 – 407	R 785

4.5. Proračun poprečne armature



Slika 47. Poprečna sila nad ležajevima od stalnog opterećenja



Slika 48. Poprečna sila nad ležajevima za mjerodavno uporabno opterećenje

Proračunska vrijednost mjerodavne poprečne sile:

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot V_k^g + 1,5 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot (-16,62) + 1,5 \cdot (-6,13) = -31,63 \text{ kN/m}$$

Nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{125}} = 2,26 > 2,0$$

$$A_{s1,prov} = 10,48 \text{ cm}^2$$

– ploština vlačne armature u ploči

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{10,48}{100 \cdot 17,5} = 0,00599 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

– širina ploče u vlačnom području

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00599 \cdot 35)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 175 = 115810,4 \text{ N} = 115,81 \text{ kN}$$

Minimalna vrijednosti za $V_{Rd,c}$ je:

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2,332^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,736$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,736 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 175 = 128800 \text{ N} = 128,8 \text{ kN}$$

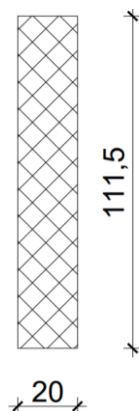
Provjera:

$$V_{Ed} = 31,63 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 128,8 \text{ kN}$$

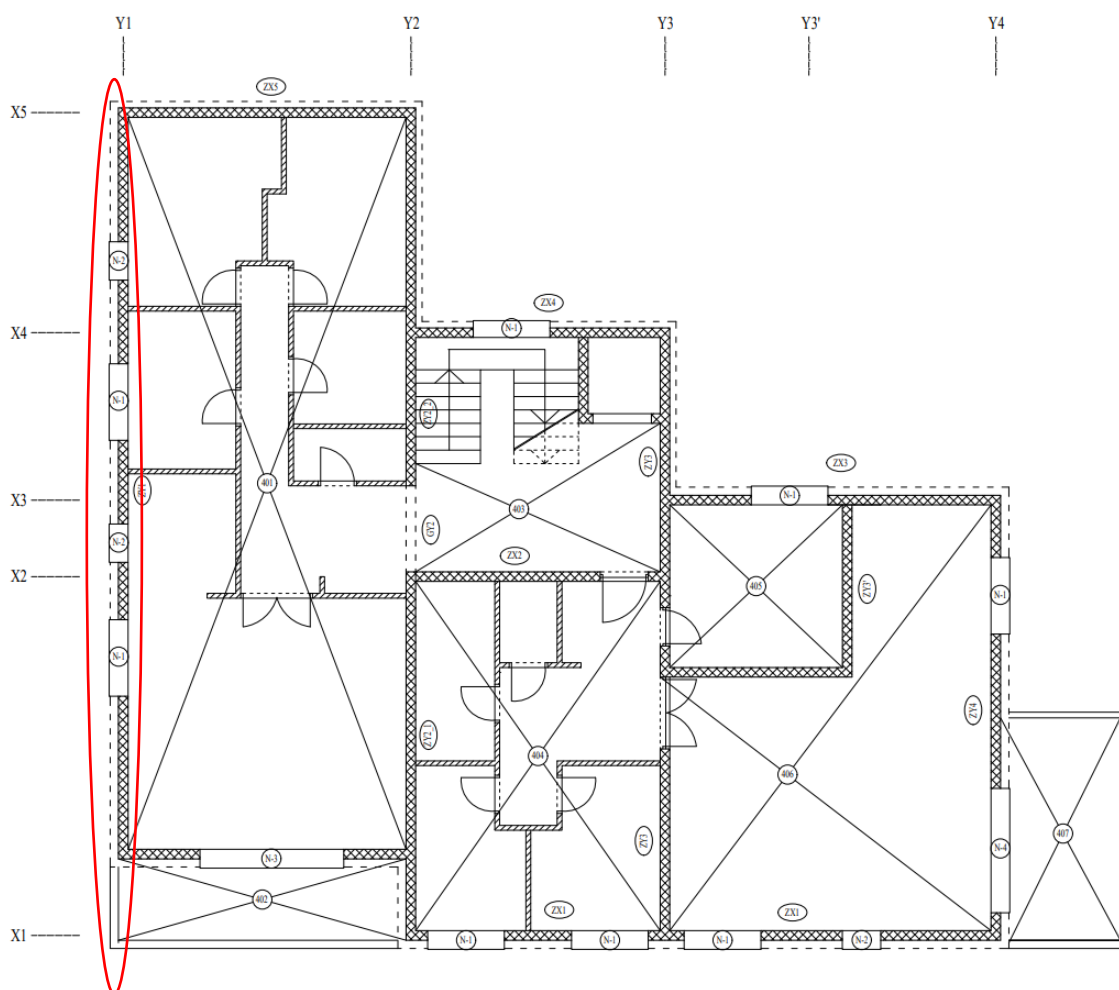
Nije potrebno proračunati poprečnu armaturu jer je $V_{Ed} < V_{Rd,c}$.

5. PRORAČUN GREDE POZICIJE GY1

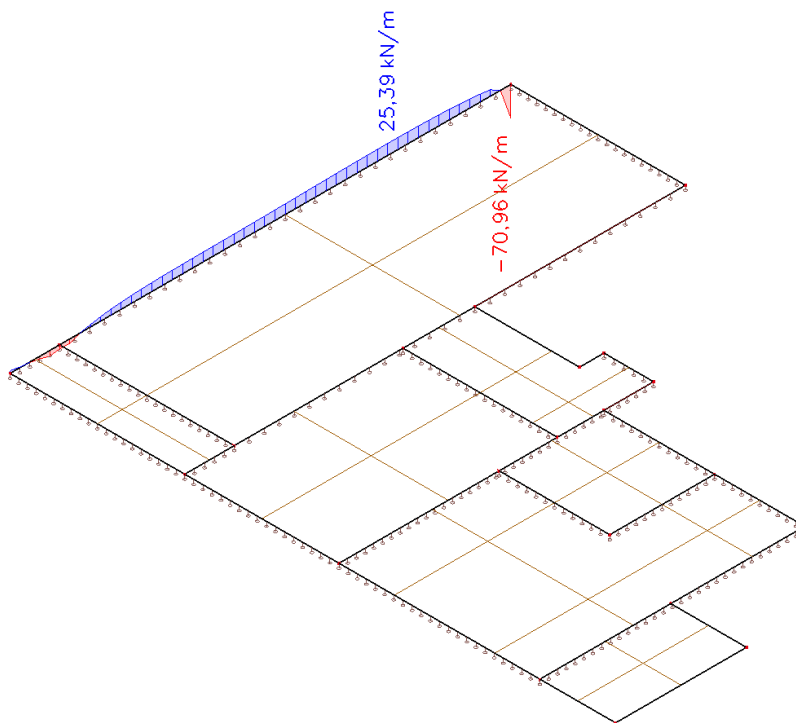
5.1. Analiza opterećenja



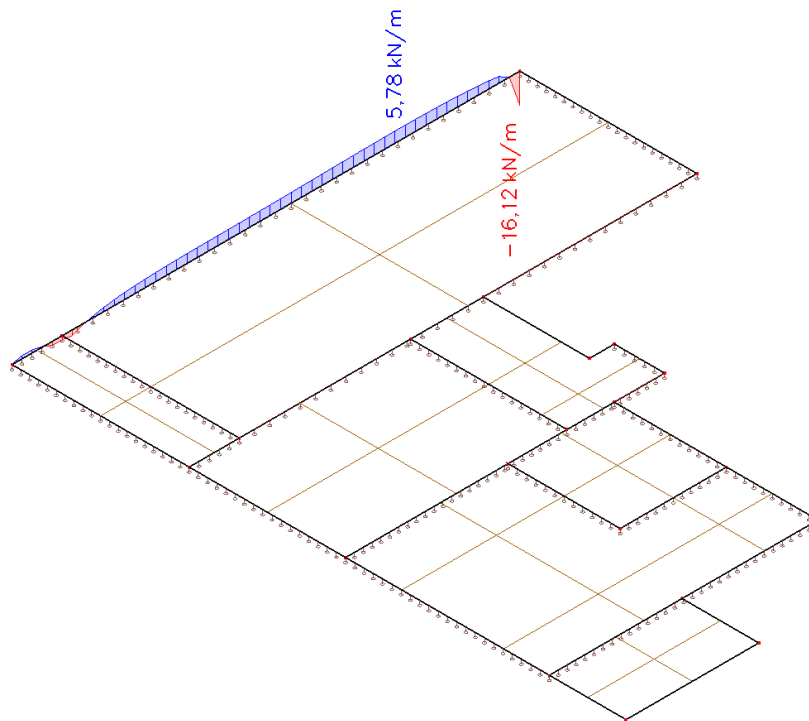
Slika 49. Poprečni presjek grede pozicije GY1



Slika 50. Položaj grede GY1 u tlocrtu



Slika 51. Reakcija ploče od stalnog opterećenja [kN/m]



Slika 52. Reakcija ploče od mjerodavnog uporabnog opterećenja [kN/m]

Stalno opterećenje:

Vlastita težina grede $0,2 \cdot 1,15 \cdot 25 = \dots\dots\dots 5,75 \text{ kN/m}$

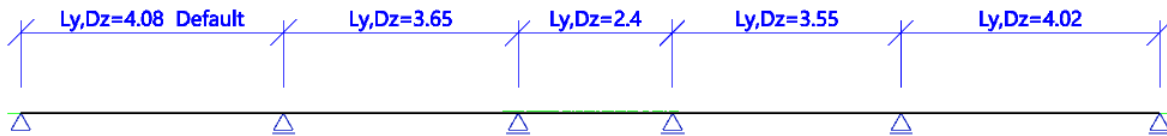
Reakcija ploče = $\dots\dots\dots 25,39 \text{ kN/m}$

Ukupno stalno $\dots\dots\dots g_k = 31,14 \text{ kN/m}$

Uporabno opterećenje:

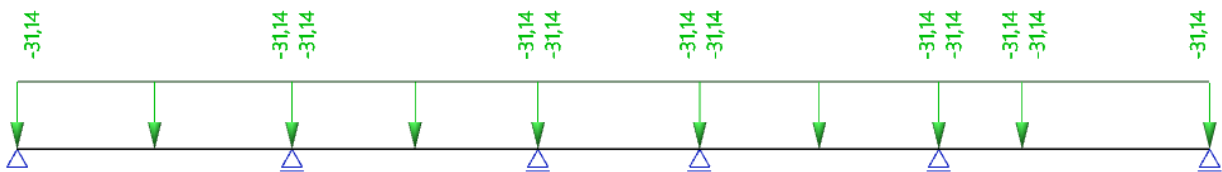
Ukupno uporabno opterećenje $\dots\dots\dots q_k = 5,78 \text{ kN/m}$

5.2. Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila

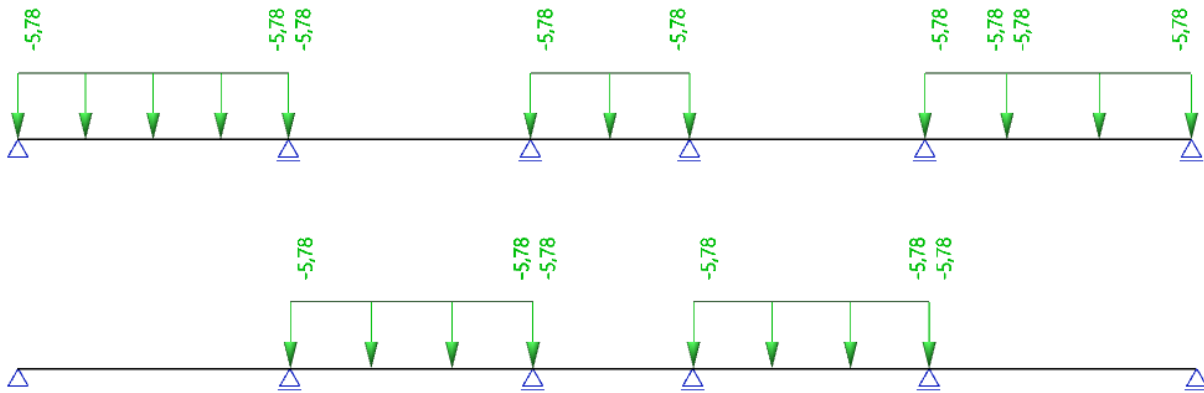


Slika 53. Statički sustav grede poz. GY1

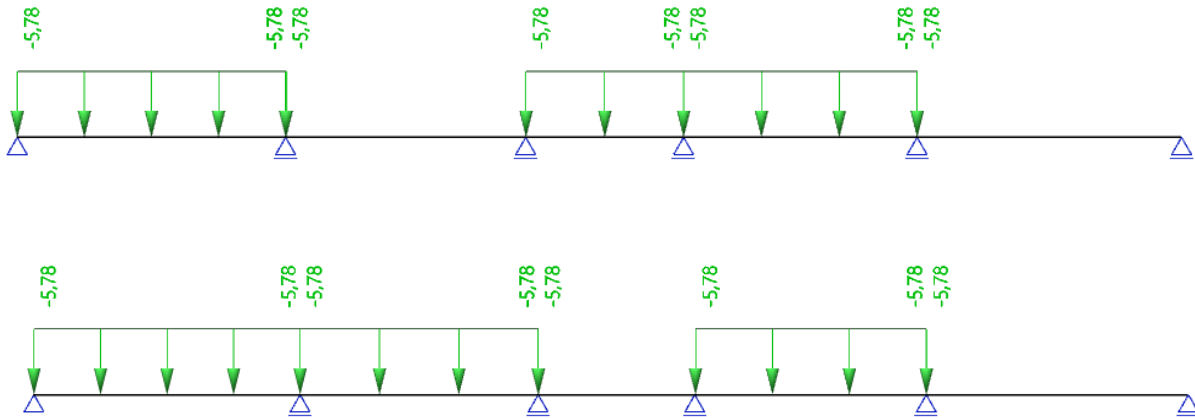
Karakteristične vrijednosti momenta savijanja i poprečne sile dobivene su iz programa „SCIA Engineer 22.1.“



Slika 54. Raspored stalnog opterećenja



Slika 55. Raspored uporabnog opterećenja za $M_{q,p}$



Slika 56. Raspored uporabnog opterećenja za $M_{q,l}$ i V_q

Moment savijanja od stalnog opterećenja u prvom, drugom i trećem polju (s lijeva):

$$M_{g,p,1} = 41,80 \text{ kNm}$$

$$M_{g,p,2} = 16,23 \text{ kNm}$$

$$M_{g,p,3} = 1,16 \text{ kNm}$$

Moment savijanja od stalnog opterećenja nad drugim i trećim osloncem:

$$M_{g,2} = 51,00 \text{ kNm}$$

$$M_{g,3} = 21,88 \text{ kNm}$$

Moment savijanja od uporabnog opterećenja u prvom, drugom i trećem polju (s lijeva):

$$M_{q,p,1} = 9,20 \text{ kNm}$$

$$M_{q,p,2} = 5,88 \text{ kNm}$$

$$M_{q,p,3} = 4,03 \text{ kNm}$$

Moment savijanja od uporabnog opterećenja nad drugim i trećim osloncem:

$$M_{q,2} = 9,76 \text{ kNm}$$

$$M_{q,3} = 6,07 \text{ kNm}$$

Karakteristična poprečna sila (reakcija) od stalnog opterećenja na prva tri oslonca:

$$V_{g,1} = 51,03 \text{ kN}$$

$$V_{g,2} = 140,83 \text{ kN}$$

$$V_{g,3} = 86,74 \text{ kN}$$

Karakteristična poprečna sila (reakcija) od uporabnog opterećenja na prva tri oslonca:

$$V_{q,1} = 10,33 \text{ kN}$$

$$V_{q,2} = 26,72 \text{ kN}$$

$$V_{q,3} = 21,06 \text{ kN}$$

5.3. Proračunske vrijednosti momenata savijanja i poprečne sile (reakcije)

Proračunska vrijednost poprečne sile:

$$V_{Ed,1} = 1,35 \cdot V_k^{g,1} + 1,5 \cdot V_k^{q,1} = 1,35 \cdot 51,03 + 1,5 \cdot 10,33 = 84,39 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed,2} = 1,35 \cdot V_k^{g,2} + 1,5 \cdot V_k^{q,2} = 1,35 \cdot 140,83 + 1,5 \cdot 26,72 = 230,2 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed,3} = 1,35 \cdot V_k^{g,3} + 1,5 \cdot V_k^{q,3} = 1,35 \cdot 86,74 + 1,5 \cdot 21,06 = 148,69 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja u polju:

$$M_{Ed,p,1} = 1,35 \cdot M_k^{g,p,1} + 1,5 \cdot M_k^{q,p,1} = 1,35 \cdot 41,8 + 1,5 \cdot 9,2 = 70,23 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,p,2} = 1,35 \cdot M_k^{g,p,2} + 1,5 \cdot M_k^{q,p,2} = 1,35 \cdot 16,23 + 1,5 \cdot 5,88 = 30,73 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,p,3} = 1,35 \cdot M_k^{g,p,3} + 1,5 \cdot M_k^{q,p,3} = 1,35 \cdot 1,16 + 1,5 \cdot 4,03 = 7,61 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja nad ležajem:

$$M_{Ed,l,2} = 1,35 \cdot M_k^{g,2} + 1,5 \cdot M_k^{q,2} = 1,35 \cdot 51,0 + 1,5 \cdot 9,76 = 83,49 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,l,3} = 1,35 \cdot M_k^{g,3} + 1,5 \cdot M_k^{q,3} = 1,35 \cdot 21,88 + 1,5 \cdot 6,07 = 38,64 \text{ kN/m}$$

5.4. Dimenzioniranje armature

Materijal:

Beton: **C35/45**

$(f_{ck}/f_{ck,cube}$ – karakteristična čvrstoća betona valjka/kocke)

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = 1,0 \cdot \frac{35}{1,5} = 23,33 \text{ N/mm}^2 = 2,33 \text{ kN/m}^2$$

Čelik: **B500B**

$(f_{yk}/f_{tk} = 500/540$ – karakteristična granica popuštanja čelika za armiranje

/karakteristična vlačna čvrstoća čelika za armiranje)

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika za armiranje

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,478 \text{ kN/m}^2$$

Visina grede: $h = 115,0 \text{ cm}$

Zaštitni sloj betona (razred izloženosti XC1): $c = 2,0 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature: $d_1 = c + \phi_v + \phi_s/2 = 2,0 + 0,8 + 1,4/2 = 3,5 \text{ cm}$

Statička visina presjeka: $d = h - d_1 = 115,0 - 3,5 = 111,5 \text{ cm}$

Minimalna i maksimalna armatura grede:

Minimalna armatura u polju:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 20 \cdot 111,5 = 2,90 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 20 \cdot 111,5 \cdot \frac{3,2}{500} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

f_{ctm} – srednja osna vlačna čvrstoća betona

Maksimalna armatura za polje jednostruko armiranog presjeka:

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot b_w \cdot h = 0,022 \cdot 20 \cdot 111,5 = 49,06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5.4.1. Dimenzioniranje uzdužne armature u polju

Prvo polje:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7023}{20 \cdot 111,5^2 \cdot 2,33} = 0,012 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,013$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,8 \text{ ‰} & \zeta &= 0,038 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,987 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{7023}{0,987 \cdot 111,5 \cdot 43,478} = 1,47 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: $3\phi 14$ ($A_{s1,prov} = 4,62 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 4,62 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 49,06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Drugo polje:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3073}{20 \cdot 111,5^2 \cdot 2,33} = 0,005 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,006$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,5 \text{ ‰} & \zeta &= 0,024 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,992 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3073}{0,992 \cdot 111,5 \cdot 43,478} = 0,64 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: $3\phi 14$ ($A_{s1,prov} = 4,62 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 4,62 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 49,06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Treće polje:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{761}{20 \cdot 111,5^2 \cdot 2,33} = 0,001 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,001$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,2 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,010$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,997$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{761}{0,997 \cdot 111,5 \cdot 43,478} = 0,158 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: $3\phi 14$ ($A_{s1,prov} = 4,62 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 4,62 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 49,06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5.4.2. Dimenzioniranje uzdužne armature nad osloncem**Drugi oslonac:**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{8349}{20 \cdot 111,5^2 \cdot 2,33} = 0,014 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,016$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,9 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,043$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,985$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{8349}{0,985 \cdot 111,5 \cdot 43,478} = 1,75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: $3\phi 14$ ($A_{s1,prov} = 4,62 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 4,62 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 49,06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Treći oslonac:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3864}{20 \cdot 111,5^2 \cdot 2,33} = 0,007 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,08$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,6 \text{ ‰} \quad \xi = 0,029$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,990$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3864}{0,990 \cdot 111,5 \cdot 43,478} = 0,81 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: $3\phi 14$ ($A_{s1,prov} = 4,62 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 3,71 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 4,62 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 49,06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5.4.3. Dimenzioniranje poprečne armature

Nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1115}} = 1,42 < 2,0$$

$$A_{s1,prov} = 4,62/2 = 2,31 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{2,31}{20 \cdot 111,5} = 0,0011 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,42 \cdot (100 \cdot 0,0011 \cdot 35)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 200 \cdot 1115 = 59556,34 \text{ N} = 59,56 \text{ kN}$$

Minimalna vrijednosti za $V_{Rd,c}$ je:

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,42^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0,350$$

$$V_{Rd,c,\min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,350 + 0,15 \cdot 0) \cdot 200 \cdot 1115 = 78050 \text{ N} = 78,05 \text{ kN}$$

Maksimalna vrijednost poprečne sile:

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

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 1115 = 1003,5 \text{ mm}$$

$$\theta = 39,8^\circ$$

$$V_{Rd,\max} = 1,0 \cdot 200 \cdot 1003,5 \cdot 0,516 \cdot 20 \cdot \frac{1}{\text{ctg}(39,8^\circ) + \text{tg}(39,8^\circ)} = 1018598,42 \text{ N} = 1018,60 \text{ kN}$$

Provjera:

$$V_{Rd,c} = 78,05 \text{ kN} < V_{Ed,1} = 84,39 \text{ kN} < V_{Rd,\max} = 1018,60 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 78,05 \text{ kN} < V_{Ed,2} = 230,2 \text{ kN} < V_{Rd,\max} = 1018,60 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 78,05 \text{ kN} < V_{Ed,3} = 148,69 \text{ kN} < V_{Rd,\max} = 1018,60 \text{ kN}$$

Potrebno je proračunati poprečnu armaturu (spone) za preuzimanje naprezanja od poprečne sile.

Proračun poprečne armature:

Pretpostavljaju se dvorezne ($m = 2$) spone.

$$A_{sw}^1 = 2 \cdot 0,5 = 1,01 \text{ cm}^2$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\theta = 39,8^\circ$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 1115 = 1003,5 \text{ mm}$$

$$f_{ywd} = \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,478 \text{ kN/m}^2$$

Razmak spona nad prvim osloncem:

$$s_1 = \frac{A_{sw}}{V_{Ed,1}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \operatorname{ctg}\theta = \frac{1,01}{84,39} \cdot 100,35 \cdot 43,478 \cdot 1,2 = 62,66 \text{ cm}$$

Razmak spona nad drugim osloncem:

$$s_1 = \frac{A_{sw}}{V_{Ed,2}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \operatorname{ctg}\theta = \frac{1,01}{230,2} \cdot 100,35 \cdot 43,478 \cdot 1,2 = 22,97 \text{ cm}$$

Razmak spona nad trećim osloncem:

$$s_1 = \frac{A_{sw}}{V_{Ed,3}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \operatorname{ctg}\theta = \frac{1,01}{148,69} \cdot 100,35 \cdot 43,478 \cdot 1,2 = 35,56 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona (minimalna poprečna armatura):

a) Prema HRN EN 1992-1-1:

$$\rho_{w,\min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{35}}{500} = 0,00095$$

b) Prema hrvatskom nacionalnom dodatku:

$$\rho_{w,\min} = 0,15 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \right) = 0,15 \cdot \left(\frac{3,2}{434,78} \right) = 0,0011$$

$$s_{1,\max} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,\min} \cdot b_w \cdot \sin\alpha} = \frac{1,01}{0,0011 \cdot 20 \cdot 1,0} = 45,9 \text{ cm}$$

c) Prema tablici 5.11 (*Betonske konstrukcije 1; Sorić, Kišiček*), najveći uzdužni razmak spona:

$$V_{Ed} = 65,37 \text{ kN} < 0,30 \cdot V_{Rd,\max} = 0,30 \cdot 1018,6 = 305,58 \text{ kN}$$

$$s_{1,\max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 111,5 = 83,63 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$$

Mjerodavan maksimalan razmak spona prema uvjetu c) iznosi **30 cm**.

ODABRANO: $\phi 8/30,0 \text{ cm}$, $m = 2$ – nad prvim i trećim osloncem

$\phi 8/20,0 \text{ cm}$, $m = 2$ – nad drugim osloncem

6. PRORAČUN SEIZMIČKOG OPTEREĆENJA NA ZGRADU

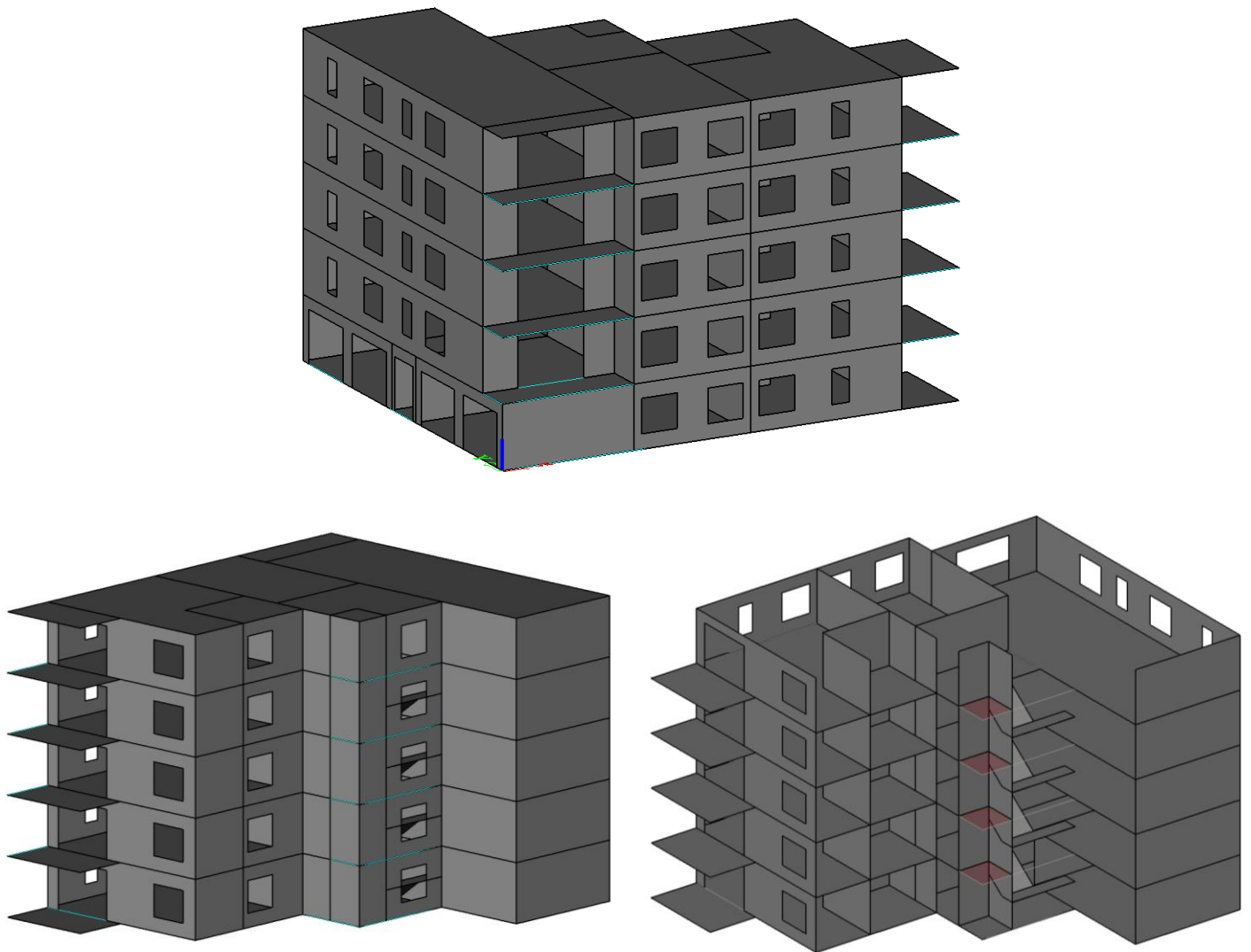
6.1. Opis seizmičkog modela zgrade

Seizmički proračun zgrade je proveden na prostornom modelu zgrade metodom višemodalne spektralne analize programskim paketom „SCIA Engineer 22.1“.

Višemodalna spektralna analiza je metoda kod koje se prvo modalnom analizom određuju periodi, a potom se spektralnom analizom određuje ukupno djelovanje (kombiniranjem SRSS ili CQC metode). U ovom primjeru je korištena CQC metoda za određivanje načina kombiniranja različitih modova. Faktor prigušenja uzet u proračunu je $\zeta = 0,05$, tj. 5% koji vrijedi za betonske konstrukcije. Višemodalnom spektralnom analizom se dinamička svojstva djelovanja i materijala u proračunu uzimaju implicitno, a sile u konstrukciji su određene na temelju spektra pseudoubrazanja.

Zgrada ima ukupno 5 etaža koje čine prizemlje i 4 kata. Osnovnu vertikalnu nosivu konstrukciju čini sustav armiranobetonskih zidova međusobno povezanih horizontalnim armiranobetonskim pločama. Armiranobetonski zidovi i stropne konstrukcije modelirani su kao plošni elementi debljine $d = 20$ cm. Armiranobetonske grede su modelirane kao štapni elementi opcijom „rib (hrv. rebro)“ pravokutnog presjeka širine $b = 30$ cm i visine $h = 30$ cm. Visina rebra odgovara udaljenosti od donjeg ruba grede do donjeg ruba ploče. Za grede je zadana i odgovarajuća sudjelujuća širina prema izračunu u ovisnosti od raspona te je definiran oblik (T ili L-presjek).

Armiranobetonska temeljna ploča debljine $d = 50$ cm se oslanja cijelom površinom na tlo vertikalne krutosti $2,73 \text{ MN/m}^3$ prema procjeni krutosti tla provedene u nastavku (poglavlje 6.2.).



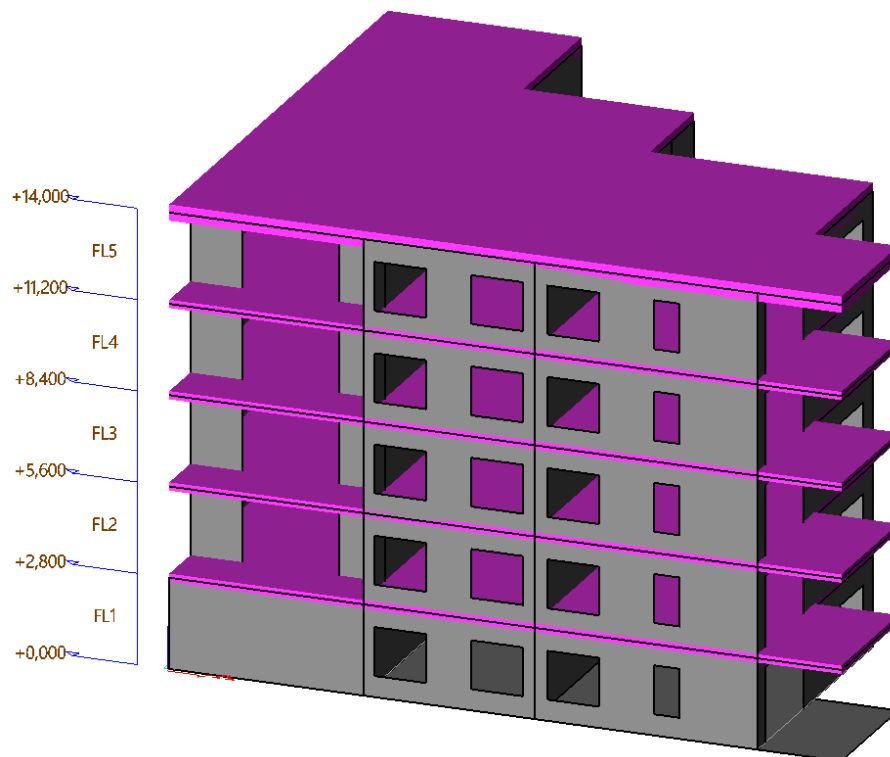
Slika 57. Izometrija - prostorni model zgrade

6.2. Zadane mase i smanjenje krutosti betonskih elemenata

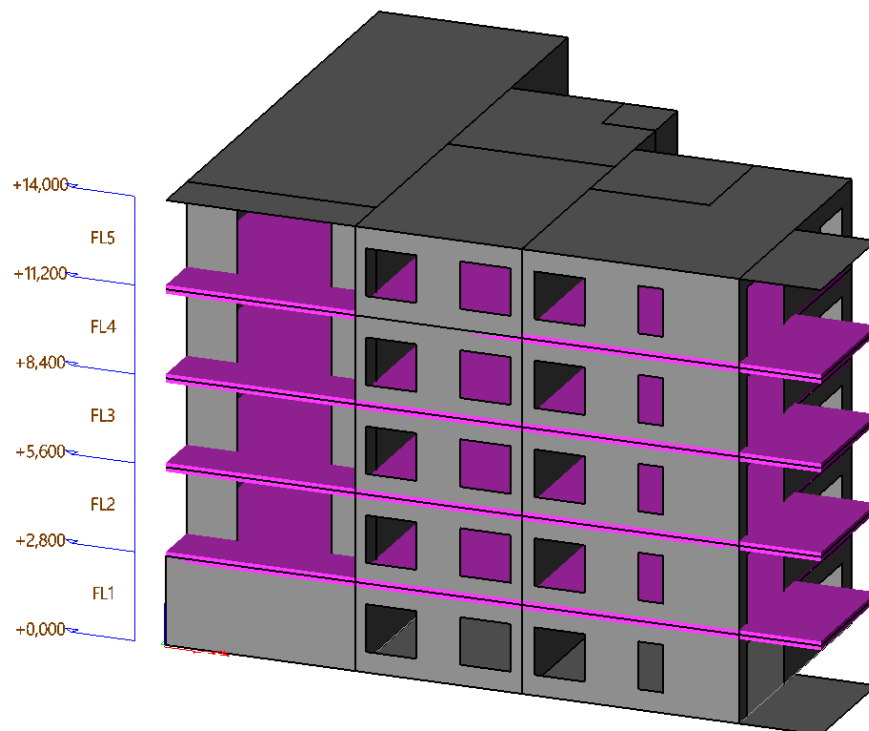
Za provođenje modalne analiza potrebno je prvo definirati mase koje su generirane automatski iz zadanih opterećenja, a potom odrediti kombinacije masa. Uporabno opterećenje je zadano preko cijele ploče za potrebe generiranja mase od uporabnog opterećenja. Također, u modalnoj analizi se koriste mase iznad razine tla, a zanemaruju se mase u i ispod razine tla pa se iz tog razloga u ovom primjeru ne koristi masa temeljne ploče. Za pravilno generiranje masa rastavljeno je opterećenje na temeljnu ploču od ostalih katova. Za modalnu analizu se koristi kombinacija masa vezana za nazovistalnu kombinaciju opterećenja zbog čega se zanemaruje opterećenje snijegom (faktor $\psi_2 = 0$). Kako na krovu ne postoji uporabno opterećenje, a faktor ψ_2 a za snijeg koji opterećuje samo krov je 0, za uporabno opterećenje na krovu se ne generiraju mase.

U obzir je uzeto i smanjenje krutosti betonskih elemenata uslijed mogućeg raspucavanja tijekom potresa, ali i prije nastupanja potresa zbog skupljanja, utjecaja temperature i manjih potresa koje prethode. Krutost betonskih elemenata se smanjila na 50% početne vrijednosti neraspucalog betona prije puzanja kako predlaže norma HRN EN 1998-1. Smanjenje krutosti zadano je preko modifikatora krutosti. Na jednak način (zadavanjem modifikatora mase $2d$ elementa) je zanemarena masa temeljne ploče.

Na slikama koje slijede su prikazane generirane mase za dodatno stalno, odnosno uporabno opterećenje.



Slika 58. Generirane mase za dodatnog stalno opterećenje



Slika 59. Generirane mase za uporabno opterećenje

6.3. Određivanje krutosti tla

Krutost tla se određuje kao omjer nosivosti tla i predviđenog slijeganja kada su te vrijednosti poznate. Za potrebe ovog primjera nosivost tla procijenit će se u skladu s normom HRN EN 1997-1 za nedrenirane uvjete čime se ostaje na strani sigurnosti u proračunu.

Nosivost tla za nedrenirane uvjete:

$$q_{Rv,k} = \frac{V_{Rd}}{A'} = (\pi + 2) \cdot c_{u,d} \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Gdje je:

V_{Rd}	otpornost temelja na vertikalnu silu
$A' = B' \cdot L'$	efektivna površina temelja
$c_{u,d}$	proračunska vrijednost nedrenirane posmične čvrstoće
$b_c = 1 - \frac{2 \cdot \alpha}{\pi + 2}$	faktor nagiba temelja
α	nagib temelja u odnosu na horizontalu
$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{B'}{L'}$	faktor oblika
$i_c = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A' \cdot c_{u,d}}} \right)$	faktor nagiba opterećenja
H	horizontalno opterećenje
$q = \gamma_{tla} \cdot D$	rasterećenje tla pri iskopu
γ_{tla}	zapreminska težina tla
D	dubina (od razine tla do dna temelja)

Temelj je horizontalan pa je nagib $\alpha = 0$. Slijedno tome, faktor nagiba temelja je $b_c = 1,0$.

Vrijednost efektivne duljine L' uzima se 20,9 m što je najveća vrijednost duljine temelja i duljina temelja u većini presjeka, dok se vrijednost efektivne širine B' uzima kao prosječna vrijednost širina temelja u 5 presjeka $B' = 17,7$ m. U nastavku se uzima vrijednost površine temelja

$$A' = 20,9 \cdot 17,7 = 369,93 \text{ m}^2.$$

Radi jednostavnosti se pretpostavlja ekscentricitet jednak u oba smjera. Faktor oblika:

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{B'}{L'} = 1 + 0,2 \cdot \frac{17,7}{20,9} = 1,17$$

Faktor nagiba opterećenja se pretpostavlja kao srednja vrijednost $i_c = 0,75$.

Dubina temelja prema nacrtu je $D = 0,5$ m, zapreminska težina tla za glinu $\gamma_{tla} = 18 \text{ kN/m}^3$ te se pretpostavlja karakteristična posmična čvrstoća tla kao srednja vrijednost za dane vrijednosti prema normi $c_{u,k} = 25\text{-}50 \text{ kN/m}^2$ i faktor sigurnosti 1,4.

Proračunska vrijednost nedrenirane posmične čvrstoće:

$$c_{u,d} = c_{u,k} / \gamma_{cu} = 37,5 / 1,4 = 26,78 \text{ kN/m}^2$$

Procjena nosivosti tla:

$$q_{RV,k} = (\pi + 2) \cdot 26,78 \cdot 1,0 \cdot 1,17 \cdot 0,75 + 18 \cdot 0,5 = 170,10 \text{ kN/m}^2.$$

Za pretpostavku srednje krute gline poissonov omjer iznosi $\nu = 0,4$, a modul elastičnosti uzima se kao srednja vrijednost danih vrijednosti 15 – 50 MPa. Modul posmika iznosi:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{32,5}{2(1+0,4)} = 11,61 \text{ MPa}$$

U nastavku će se procijeniti krutost opruge kojom se zamjenjuje tlo, pritom se rotacijska krutost zanemaruje, a određuje se horizontalna i vertikalna translacijska krutost.

Vertikalna krutost ekvivalentne opruge:

$$k_z = \frac{2 \cdot G \cdot L}{1 - \nu} \cdot (0,73 + 1,54 \cdot \chi^{0,75})$$

Horizontalna krutost (uzeta jednaka u oba smjera):

$$k_x = k_y = \frac{2 \cdot G \cdot L}{2 - \nu} \cdot (2 + 2,5 \cdot \chi^{0,85})$$

Faktor χ :

$$\chi = \frac{A_b}{4 \cdot L^2}$$

U izrazima je:

L pola duljine temelja (duljina je veća dimenzija)

B pola širine temelja (širina je manja dimenzija)

A_b stvarna površina temelja

Slijedi:

$$L = 20,9/2 = 10,45 \text{ m}$$

$$B = 17,7/2 = 8,85 \text{ m}$$

$$A_b = 369,93 \text{ m}^2$$

$$\chi = \frac{369,93}{4 \cdot 10,45^2} = 0,85$$

Vertikalna krutost cijelog temelja:

$$k_z = \frac{2 \cdot 11610 \cdot 10,45}{1 - 0,4} \cdot (0,73 + 1,54 \cdot 0,85^{0,75}) = 846553,64 \text{ kN/m}$$

Vertikalna krutost raspodijeljena na cijelu površinu temelja:

$$k_z = \frac{846553,64}{369,93} = 2288,42 \text{ kN/m}^3$$

Horizontalna krutost je:

$$k_x = k_y = \frac{2 \cdot 11610 \cdot 10,45}{2 - 0,4} \cdot (2 + 2,5 \cdot 0,85^{0,85}) = 633532,20 \text{ kN/m}$$

Horizontalna krutost raspodijeljena na cijelu površinu temelja:

$$k_x = k_y = \frac{633532,20}{369,93} = 1712,57 \text{ kN/m}^3$$

6.4. Spektar odziva

Proračun konstrukcije provodi se na temelju proračunskog spektra odziva $S_d(T)$. Prema HRN EN 1998-1 za elastični proračun, proračunski spektar odziva $S_d(T)$ definiran je za horizontalnu komponentu potresnog djelovanja sljedećim izrazima:

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

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

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

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

Gdje je:

S_D	proračunski spektar odziva
T	period vibracija linearnog sustava s jednim stupnjem slobode
a_g	proračunsko ubrzanje na temeljnom tipu tla A
S	faktor tla
T_B, T_C, T_D	karakteristične vrijednosti perioda koje definiraju početak dijelova spektra odziva s konstantnim ubrzanjem, brzinom i pomacima odziva
q	faktor ponašanja
β	donja vrijednost faktora; preporučena vrijednost faktora je 0,2

HRN EN 1998-1 daje vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni elastični **spektar odziva tipa 1** kako je prikazano u Tablici 9. u nastavku. Crvenom bojom su označene vrijednosti

T_B, T_C, T_D i vrijednost faktora tla S koje odgovaraju tipu temeljnog tla C pretpostavljenog za ovaj slučaj.

Tablica 9. Parametri elastičnog projektnog spektra za spektar odziva 1

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

Za konstrukciju smještenu na području kontinentalne Hrvatske za tlo srednje krute - krute gline pretpostavljeno je temeljno tlo tipa C koje se prema normi opisuje kao „duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara“.

Prilikom definiranja spektra u računalnom programu, potrebno je unijeti vrijednost proračunske akceleracije tla a_g . Prema normi vrijednost projektnog ubrzanja u tlu razreda A definirano je kao:

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

gdje je:

γ_I faktor važnosti; poprima vrijednosti od 0,8 do 1,4

a_{gR} Poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla na temeljnom tlu tipa A

Faktor važnosti ovisi o razredu važnosti u koji je neka zgrada klasificirana. Prema niže prikazanoj

Tablici 10. preuzetoj iz norme HRN EN 1998-1:2011 zgrada je klasificirana u razred važnosti II

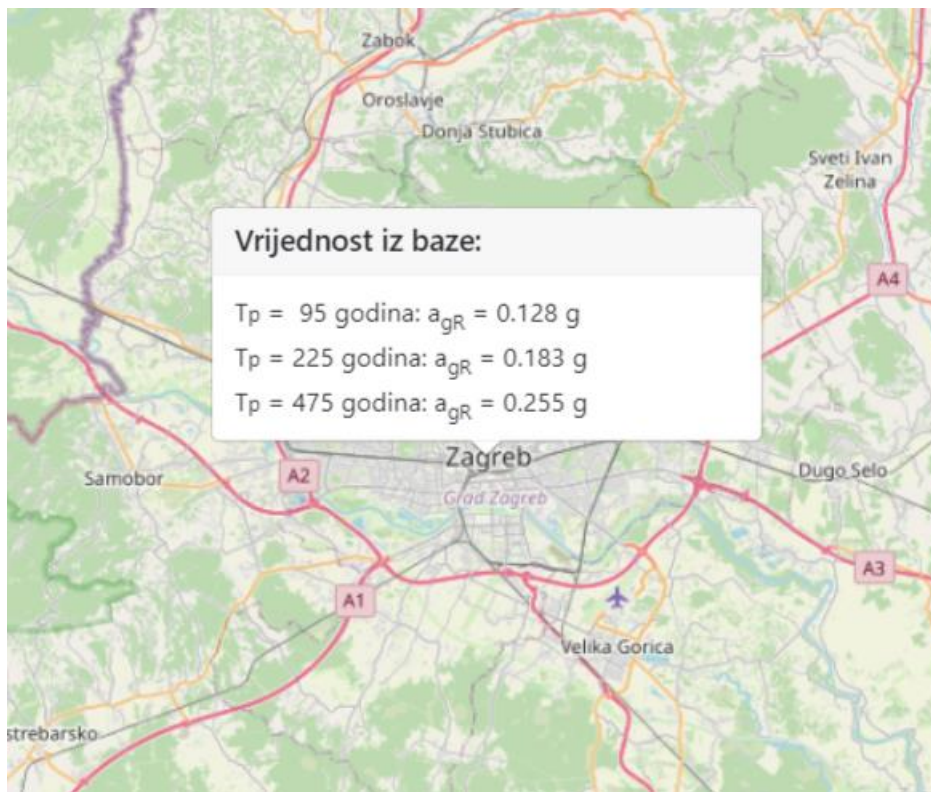
za koji je vrijednost faktora važnosti $\gamma_I = 1,0$.

Tablica 10. Razredi važnosti za zgrade

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

Horizontalno vršno ubrzanje tipa tla A a_{gR} za povratno razdoblje $T_p = 475$ g očitano je prema

lokaciji zgrade iz „Karte potresnih područja Republike Hrvatske“ prikazanoj u nastavku.

**Slika 60. Karta potresnih područja RH**

Prema vrijednostima iz baze:

$$a_{gR} = 0,255 \cdot g = 0,255 \cdot 9,81 = 2,502 \text{ m/s}^2$$

6.5. Određivanje faktora ponašanja

Faktor ponašanja ovisi o klasifikaciji sustava. Zgrada je u oba smjera klasificirana kao zidni sustav. Zgrada je pravilna po visini te je svrstana u razred umjerene duktilnosti DCM.

Za horizontalna potresna djelovanja, faktor ponašanja se određuje prema sljedećoj jednadžbi:

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

gdje je:

q_0 osnovna vrijednost faktora ponašanja, ovisi o tipu konstrukcijskog sustava i pravilnosti po visini

k_w faktor kojim se uzima u obzir prevladavajući oblik sloma konstrukcijskog sustava sa zidovima

Osnovna vrijednost faktora ponašanja q_0 preuzeta je iz norme HRN EN 1998-1:2011 (*Tablica 5.1*) koja vrijedi za konstrukcije različitog tipa pravilne po visini i dana u *Tablici 11.* u nastavku:

Tablica 11. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za sustave pravilne po visini

Vrsta konstrukcije	DCM	DCH
Okvirni sustav, dvojni sustav, sustav povezanih zidova	3,0 α_u/α_1	4,5 α_u/α_1
Sustav nepovezanih zidova	3,0	4,0 α_u/α_1
Torzijski savitljiv sustav	2,0	3,0
Sustav obrnutog njihala	1,5	2,0

Gdje je:

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, pri čemu sva ostala proračunska djelovanja ostaju stalna.

α_1 vrijednost kojom se množi horizontalno potresno proračunsko djelovanje kako bi se prvo dostigla otpornost elementa na savijanje u bilo kojem elementu konstrukcije dok sva druga proračunska djelovanja ostaju konstantna

Omjer α_u/α_1 se utvrđuje posebnim proračunom, a ako to nije slučaj koristi se približna vrijednost prema normi ovisno o klasifikaciji sustava.

U ovom primjeru koristi se $q_0 = 3,0$ za zidni sustav i za razred duktilnosti DCM.

Faktor k_w se uzima prema sljedećem kriteriju:

$$k_w = \begin{cases} 1,00 & \text{za okvirne konstrukcije i njima istovrijedni dvojni sustav} \\ 0,5 \leq (1 + \alpha_0)/3 \leq 1,0 & \text{za zidane, sustave istovrijedne zidanim i torzijski savitljive sustave} \end{cases}$$

Gdje je:

α_0 prevladavajući geometrijski omjer zidova konstrukcijskog sustava

Ukoliko se omjer h_{wi}/l_{wi} svih zidova i ne razlikuje znatno, prevladavajući geometrijski omjer zidova se određuje iz izraza:

$$\alpha_0 = \Sigma h_{wi} / \Sigma l_{wi}$$

gdje je:

h_{wi} – visina zida i (zbroy visina svih zidova u konstrukciji)

l_{wi} – duljina presjeka zida i (zbroy duljina svih zidova u konstrukciji)

Ako se omjer zidova razlikuje, α_0 se određuje za najnepovoljniji slučaj, što je zid s najmanjom vrijednosti α_0 jer se time dobiva najmanji faktor ponašanja te je proračun na strani sigurnosti.

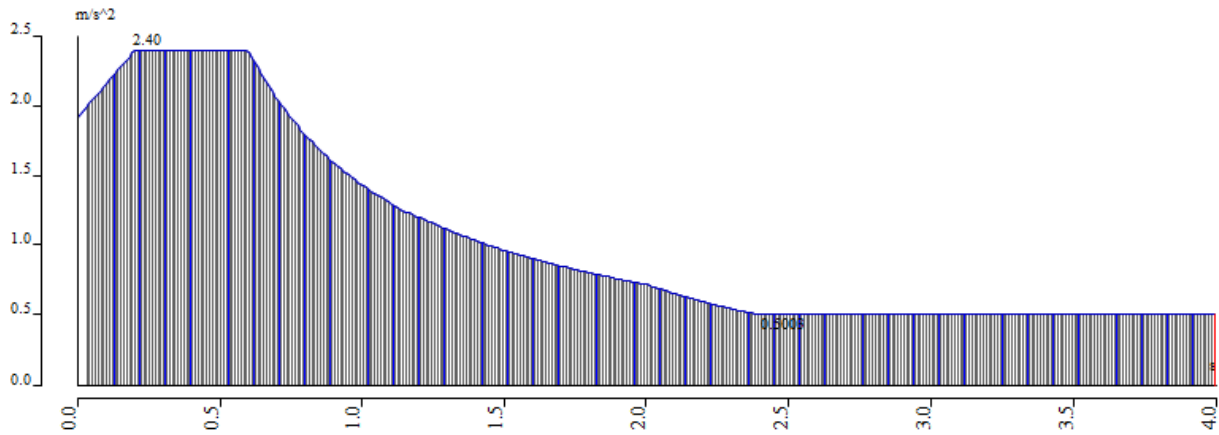
$$\alpha_0 = 196/61,6 = 3,38$$

Faktor k_w :

$$k_w = (1 + 3,38)/3 = 1,46 > 1 \rightarrow k_w = 1,0$$

Proračunska vrijednost faktora ponašanja:

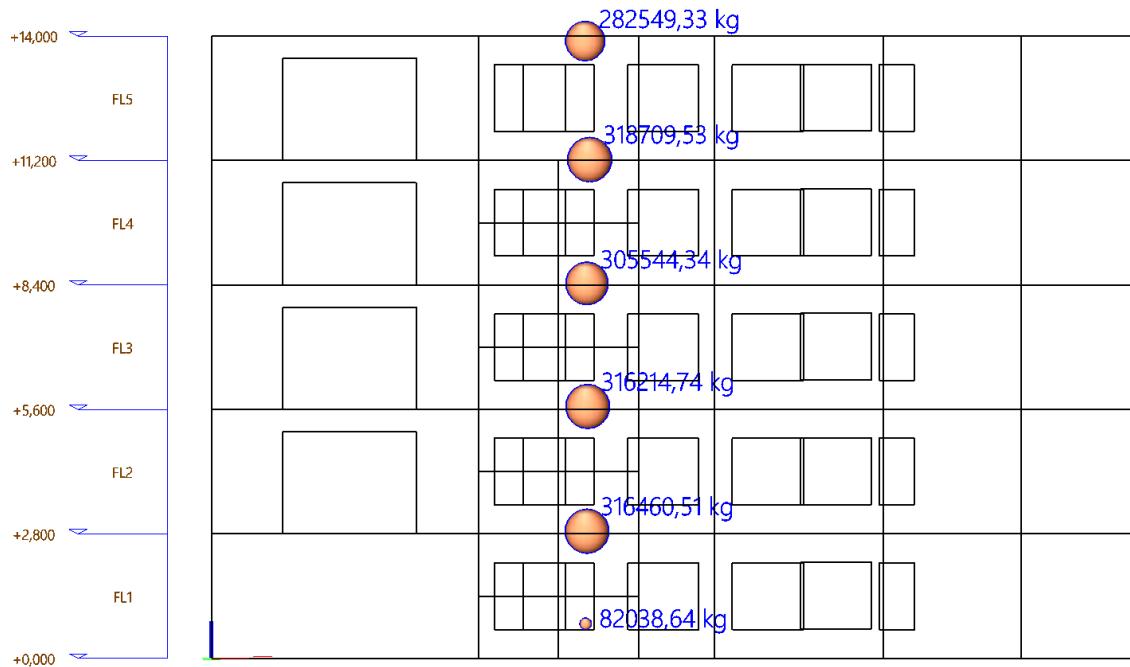
$$q = q_0 \cdot k_w = 3,0 \cdot 1,0 = 3,0 > 1,5$$



Slika 61. Proračunski spektar odziva

6.6. Modalna analiza

Na slici 62. prikazana je raspodjela masa čije se grupiranje u analizi pretpostavlja kao točkasto na razini etaža.



Slika 62. Raspodjela mase pri modalnoj analizi

Na slici 63., 64. i 65. prikazani su deformirani oblici konstrukcije. Prvi oblik vibriranja je translacijski u y-smjeru, drugi translacijski u x-smjeru, a treći torzijski. Zgrada se prema tome ne smatra torzijski savitljivom obzirom da su prva dva moda translacijska. Na prikazanim slikama vidljiva su prva tri oblika vibriranja konstrukcije. Na slikama u lijevom gornjem kutu označeno je koji se oblik vibriranja prikazuje (n -ti oblik) te pripadajuća kombinacija masa CM1 i prirodna frekvencija oblika f_n („CM1/ n - f_n “). Prvi oblik odgovara najkraćoj frekvenciji, odnosno najduljem periodu.

3D displacementValues: U_{total}

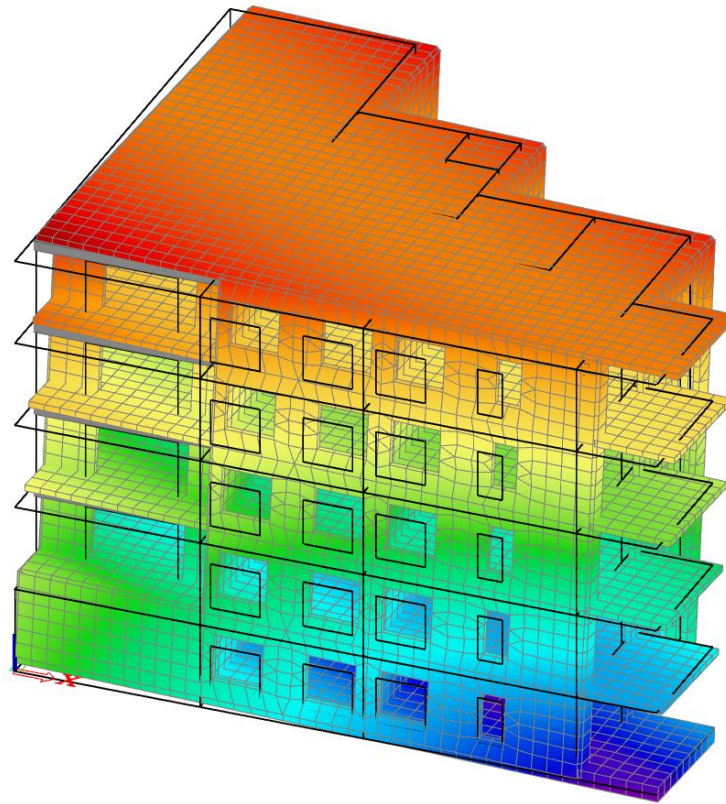
Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.

Mass combination: CM1/1 - 1,04

Selection: All

Location: In nodes avg.. System:

Global



Slika 63. Prvi oblik vibriranja (period $T = 0,97$ s)

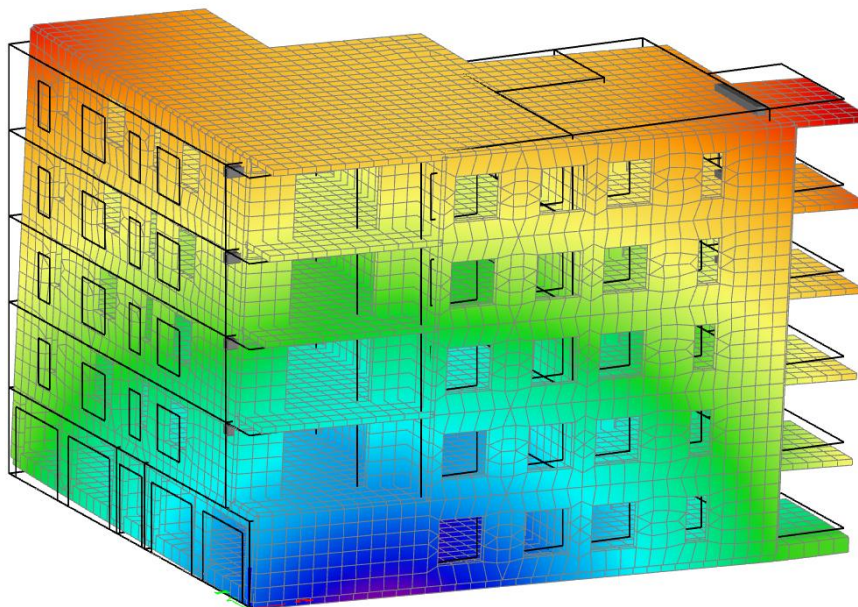
3D displacementValues: U_{total}

Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.

Mass combination: CM1/2 - 1,47

Selection: All

Location: In nodes avg.. System: Global

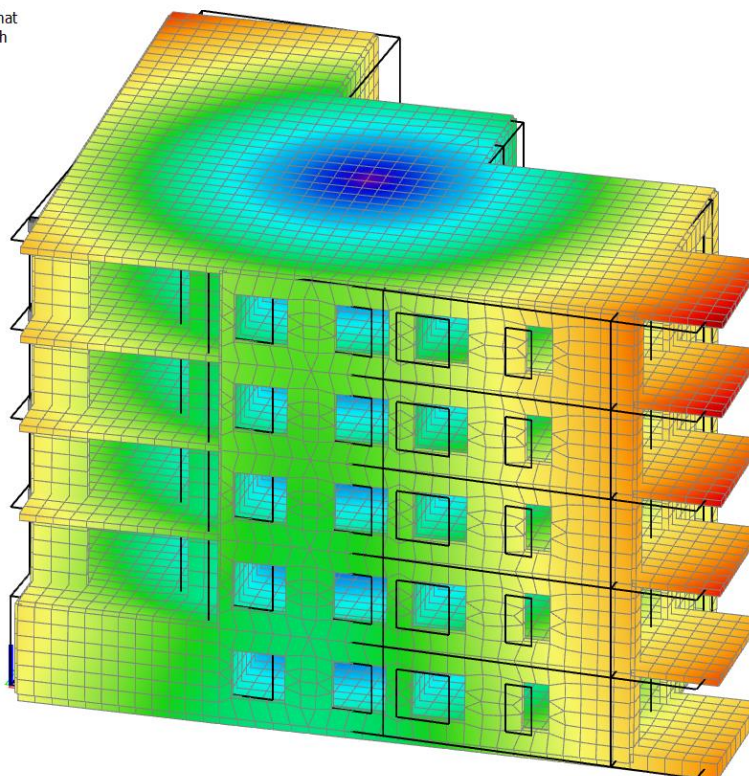
**Slika 64. Drugi oblik vibriranja (period $T = 0,68$ s)****3D displacement**Values: U_{total}

Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.

Mass combination: CM1/3 - 2,60

Selection: All

Location: In nodes avg.. System: Global

**Slika 65. Treći oblik vibriranja (period $T = 0,38$ s)**

Norma zahtijeva aktivaciju minimalno 90% mase pri modalnoj analizi. U posljednjem retku tablice prikazanoj na slici 66. vidljivo je da je suma aktiviranih masa u 10 modova 99% sveukupne mase. Prvi mod je translacijski mod u y-smjeru jer se u njemu aktivira 54% mase translacijom u y-smjeru. U drugom modu se aktivira 53% mase translacijom u x-smjeru što znači da se taj mod smatra translacijskim u x-smjeru. Treći mod je torzijski, to jest 99% mase aktivira se rotacijom oko z osi. Više od 90% mase aktivira se u prvih 7 modova.

Relative modal masses

Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	W_{xi}/W_{xtot}	W_{yi}/W_{ytot}	W_{zi}/W_{ztot}	$N_{xi,R}/W_{xtot,R}$	$N_{yi,R}/W_{ytot,R}$	$N_{zi,R}/W_{ztot,R}$
1	6.50964	0,97	1,04	0,1750	0,5428	0,0014	0,1862	0,0422	0,0000
2	9.21184	0,68	1,47	0,5306	0,1644	0,0001	0,1082	0,2547	0,0000
3	16.3237	0,38	2,60	0,0003	0,0000	0,0002	0,0001	0,0013	0,9966
4	18.1527	0,35	2,89	0,0001	0,0020	0,9969	0,0000	0,0000	0,0002
5	27.5012	0,23	4,38	0,2081	0,0949	0,0002	0,2878	0,5414	0,0009
6	30.6785	0,20	4,88	0,0835	0,1951	0,0005	0,4161	0,1555	0,0001
7	55.3767	0,11	8,81	0,0003	0,0000	0,0000	0,0001	0,0007	0,0000
8	60.8459	0,10	9,68	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	61.3579	0,10	9,77	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	62.4613	0,10	9,94	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
				0,9978	0,9993	0,9992	0,9985	0,9958	0,9978

Slika 66. Prikaz aktivacije masa

7. STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE AB ZIDA

7.1. Određivanje proračunskih sila

Proračunava se zid koji se prema planu pozicija u grafičkom prilogu nalazi se u Y2 osi i označen je kao zid ZY2_1. Na slici 67. prikazan je promatrani zid, označen drugom bojom u odnosu na model zgrade. Duljina armiranobetonskog zida je 7,5 m, a debljina 20 cm.

Vlačni pomak određuje se prema HRN EN 1992-1-1:

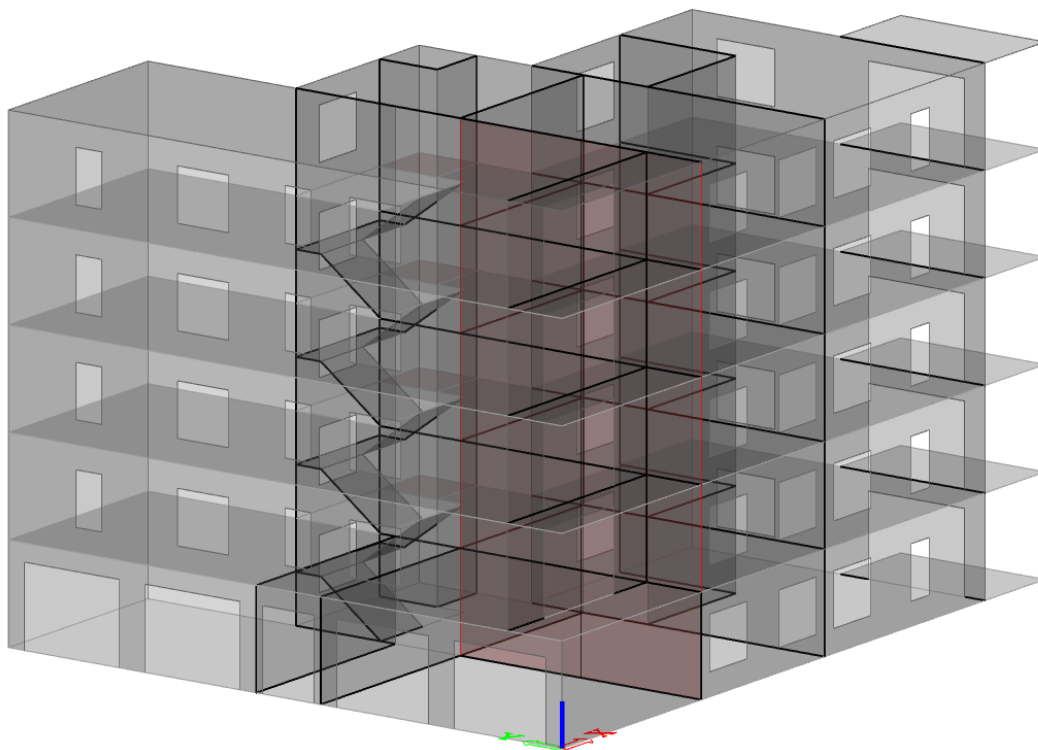
$$a_1 = 0,5 \cdot z \cdot (\cot \theta - \cot \alpha)$$

Gdje je:

- z krak unutarnjih sila koji se može uzeti $z = 0,8 \cdot l_w$
- θ nagib tlačnih štapova koji se za zidove uzima s $\theta = 45^\circ$
- α nagib horizontalne armature u odnosu na vertikalu (os zida) $\alpha = 45^\circ$
- l_w duljina zida

Pojednostavljeno se zapisuje: $a_1 = 0,4 \cdot l_w$

Vlačni pomak iznosi: $a_1 = 0,4 \cdot 750 = 300 \text{ cm}$



Slika 67. 3D model zgrade s označenim zidom ZY2_1

Armatura se određuje pri dnu zida, pa su u nastavku dane vrijednosti sila na dnu prve etaže promatranog zida.

U Tablici 12. prikazane su vrijednosti uzdužne sile N , posmične sile u smjeru dulje stranice zida V_y , posmične sile van ravnine zida V_z , moment van ravnine zida M_y i moment u ravnini zida M_z očitavane iz rezultata proračuna provedenog u računalnom programu „SCIA Engineer“ za kombinacije: granično stanje nosivosti (ULS-Set B), nazovistalna kombinacija graničnog stanja uporabivosti (SLS-Quasi) i potresna kombinacija graničnog stanja nosivosti (ULS-Seis). Kako bi se očitale vrijednosti unutarnjih sila, koristi se opcija „integration strip“ kojoj se zadaje širina jednaka stvarnoj širini zida i za koju se onda očitavaju vrijednosti unutarnjih sila 1D elemenata. Vrijednosti su prikazane u Tablici 12:

Tablica 12. Unutarnje sile na dnu zida ZY2_1

Kombinacija opterećenja	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
GSN	3375,91	-	49,59	26,85	-
Nazovistalna kombinacija	2063,39	-	30,07	16,15	-
Potresna kombinacija	2885,80	919,29	81,37	47,56	940,92

Mjerodavna poprečna sila uvećava se zbog dinamičkog učinka prema razredu duktilnosti. Za DCM uvećanje je 50%.

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed,y} = 919,29 \cdot 1,5 = 1378,94 \text{ kN}$$

Tablica 13. Unutarnje sile na dnu zida ZY2_1 za dimenzioniranje

$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
3375,91	2063,39	1378,94	81,37	47,56	940,92

7.2. Dimenzioniranje zida u prizemlju

Ulazni podatci:

Beton:	C35/45
Čelik:	B500B
Debljina zida:	$b_w = 20 \text{ cm}$
Duljina zida:	$l_w = 750 \text{ cm}$
Visina zida:	$h_w = 1400 \text{ cm}$
Visina etaže:	$h_e = 280 \text{ cm}$
Svijetla visina etaže:	$h_s = 260 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3,0 \text{ cm}$

7.2.1. Uzdužna sila u zidu

Uzdužna sila ne smije biti prevelika jer se time smanjuje raspoloživa duktilnost zida, stoga je za DCM zidove bezdimenzijska uzdužna sila ograničena na $v_{Ed} \leq 0,4$.

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = \frac{3375,91}{20 \cdot 750 \cdot 2,33} = 0,1 < 0,4$$

Uvjet je zadovoljen te se zaključuje da je uzdužna sila dovoljno mala.

7.2.2. Armatura hrpta

Središnji dio zida se armira mrežama. Za preuzimanje momenta savijanja van ravnine proračunava se vertikalna armatura, a horizontalna za preuzimanje posmika.

7.2.2.1. Horizontalna armatura hrpta

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu $V_{Ed,y} = 1378,94 \text{ kN}$ (neovisno o usporedbi sa nosivošću hrpta bez poprečne armature $V_{Rd,c}$). Postavljaju se dvije mreže, jedna uz svaki rub zida te se pretpostavlja promjer armature $\phi 10$.

Razmak pretpostavljene armature za preuzimanje sile $V_{Ed} = 1378,94 \text{ kN}$ iznosi:

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \text{ctg}\theta}{V_{Ed}} = 2 \cdot 0,524 \cdot 43,478 \cdot \frac{0,8 \cdot 750 \cdot 1,0}{1378,94} = 19,83 \text{ cm}$$

ODABRANO: $\phi 10/15 \text{ cm} - Q 524 (5,24 \text{ cm}^2/\text{m}')$ uz svaki rub zida

7.2.2.2. Vertikalna armatura hrpta

Vertikalna armatura služi za preuzimanje momenta van ravnine $M_{Ed,y} = 47,56$ kNm.

Statička visina (horizontalna armatura će se postaviti bliže licu zida):

$$d = 20 - 3,0 - 1,0 - 0,5 = 15,5 \text{ cm}$$

Mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{5,24 \cdot 43,478}{100 \cdot 15,5 \cdot 2,33} = 0,063$$

Očitano iz *Tablica 4.1 (Betonске konstrukcije 1; Sorić, Kišiček)* za prvi manji $\omega = 0,061$:

$$\mu_{Rd} = 0,059$$

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,059 \cdot 750 \cdot 15,5^2 \cdot 2,33 = 24770,38 \text{ kNcm} = 247,70 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Rd,y} = 247,70 \text{ kNm} > M_{Ed,y} = 47,56 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen.

Napomena: Nosivost hrpta na savijanje je proračunata uz zanemarivanje uzdužnih vertikalnih sila jer su sile relativno male i njihovo zanemarivanje je na strani sigurnosti. Za ovaj slučaj s povećanjem sile povećava se i nosivost na savijanje.

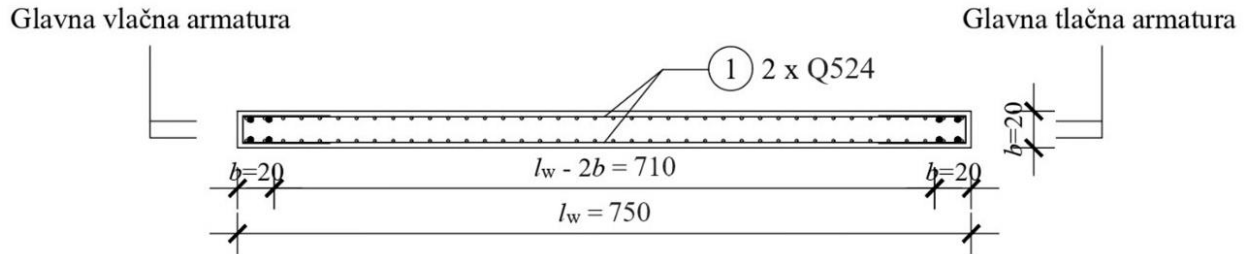
7.2.2.3. Minimalna i maksimalna armatura hrpta

Minimalna armatura hrpta je $A_{sw,min} = 0,001 \cdot A_c$ (1,0 ‰ ploštine zida) uz svako lice zida, tj. za zid debljine 20 cm je 2 cm²/m' uz svaki rub zida .

Maksimalna armatura hrpta je $A_{sw,max} = 0,02 \cdot A_c$ (2,0 ‰ ploštine zida), odnosno za zid debljine 20 cm je 40 cm²/m' uz svaki rub zida.

7.3. Određivanje armature kritičnog područja zida

Uzdužna armatura kritičnog područja zida određuje se na temelju interakcije momenta savijanja i uzdužne sile. Na slici 68. je prikazan poprečni presjek zida sa dimenzijama i odabranom armaturnom mrežom hrpta. Dimenzije kritičnog područja radi jednostavnosti proračuna zadana su kao kvadrati dimenzija 20×20 cm. Prema tome, $l_w - 2b$ je duljina hrpta zida.

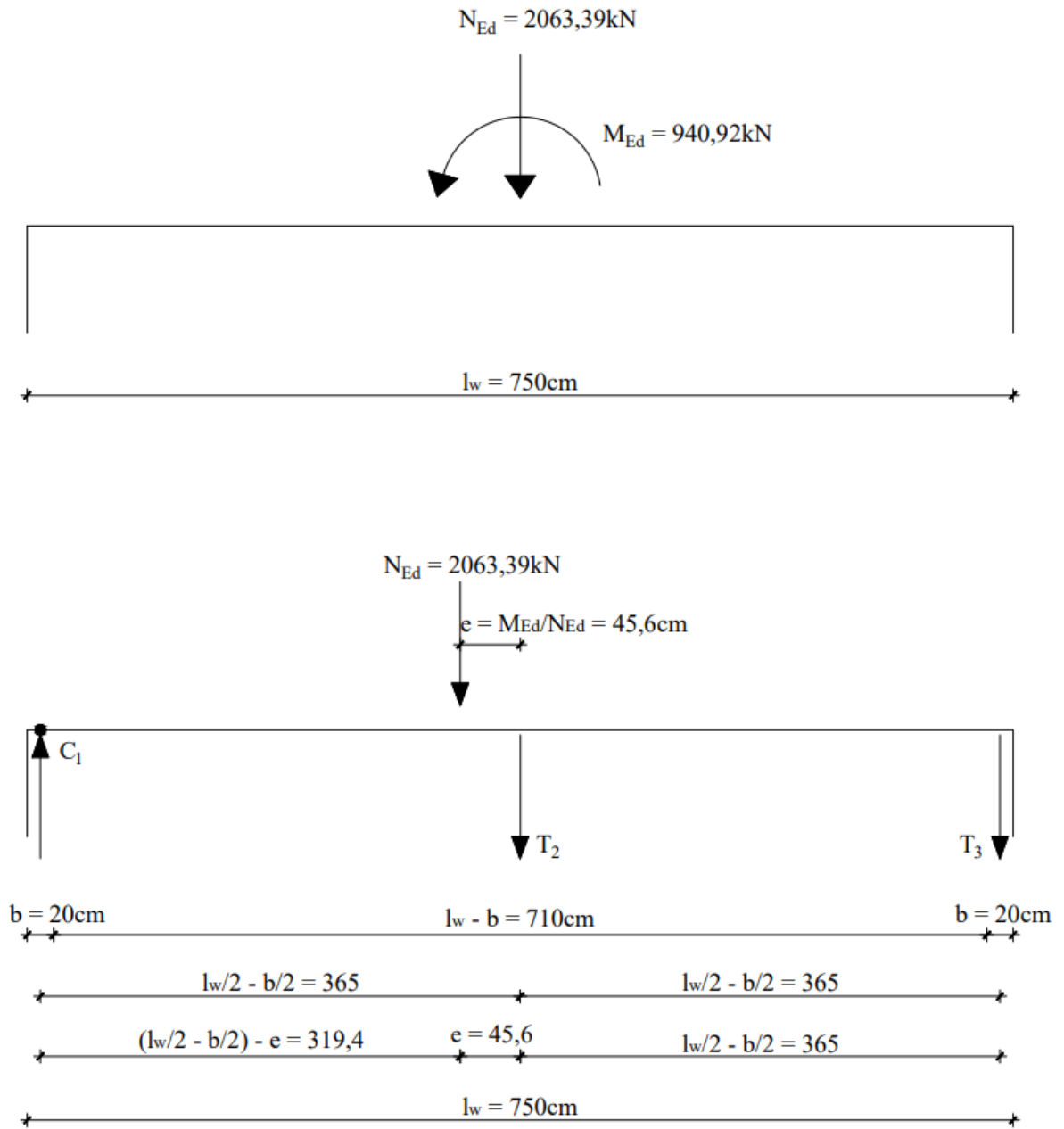


Slika 68. Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom

Uzdužni presjek zida sa vrijednostima za uzdužnu silu i moment savijanja u ravnini zida je prikazan na slici 69. Moment savijanja u ravnini zida i uzdužna sila zamjenjuju se uzdužnom silom N_{Ed} na ekscentricitetu $e = M_{Ed}/N_{Ed}$ u lijevo. Za silu N_{Ed} odabire se minimalna vrijednost sile čime se dobiva najveći ekscentricitet što je na strani sigurnosti.

Uzdužne sile unutar zida podijeljene su na tri različite sile vidljive na slici 69. gdje je:

- C_1 uzdužna tlačna sila u tlačnom kritičnom području zida
- T_2 uzdužna vlačna sila u hrptu (središnjem dijelu zida)
- T_3 uzdužna vlačna sila u vlačnom kritičnom području zida



Slika 69. Uzdužni presjek zida s pripadajućim vanjskim i unutarnjim silama i momentima

U nastavku je provedena provjera potrebe proračuna armature u kritičnom području (poglavito vlačnom).

Ravnoteža momenata oko točke O:

$$\sum M_O = 0$$

$$N_{Ed} \cdot \left[\left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2} \right) - e \right] + T_2 \cdot \left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2} \right) + T_3 \cdot 2 \cdot \left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2} \right) = 0$$

Vrijednost sile T_2 dobiva se na temelju odabrane armature Q 785 u središnjem dijelu zida:

$$T_2 = A_2 \cdot f_{yd}$$

Gdje je:

$$A_2 = 2 \cdot A_{prov} \cdot (l_w - 2b) = 2 \cdot 5,24 \cdot (l_w - 2b)$$

$$f_{yd} = 43,478 \text{ kN/cm}^2$$

Vrijednost sile T_2 :

$$T_2 = 2 \cdot 5,24 \cdot (l_w - 2b) \cdot 43,478 = 455,65(l_w - 2b)$$

Vrijednost sile T_3 :

$$T_3 = \frac{-\left\{ N_{Ed} \cdot \left[\left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2} \right) - e \right] + 455,65 \cdot (l_w - 2b) \cdot \left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2} \right) \right\}}{l_w - b} =$$

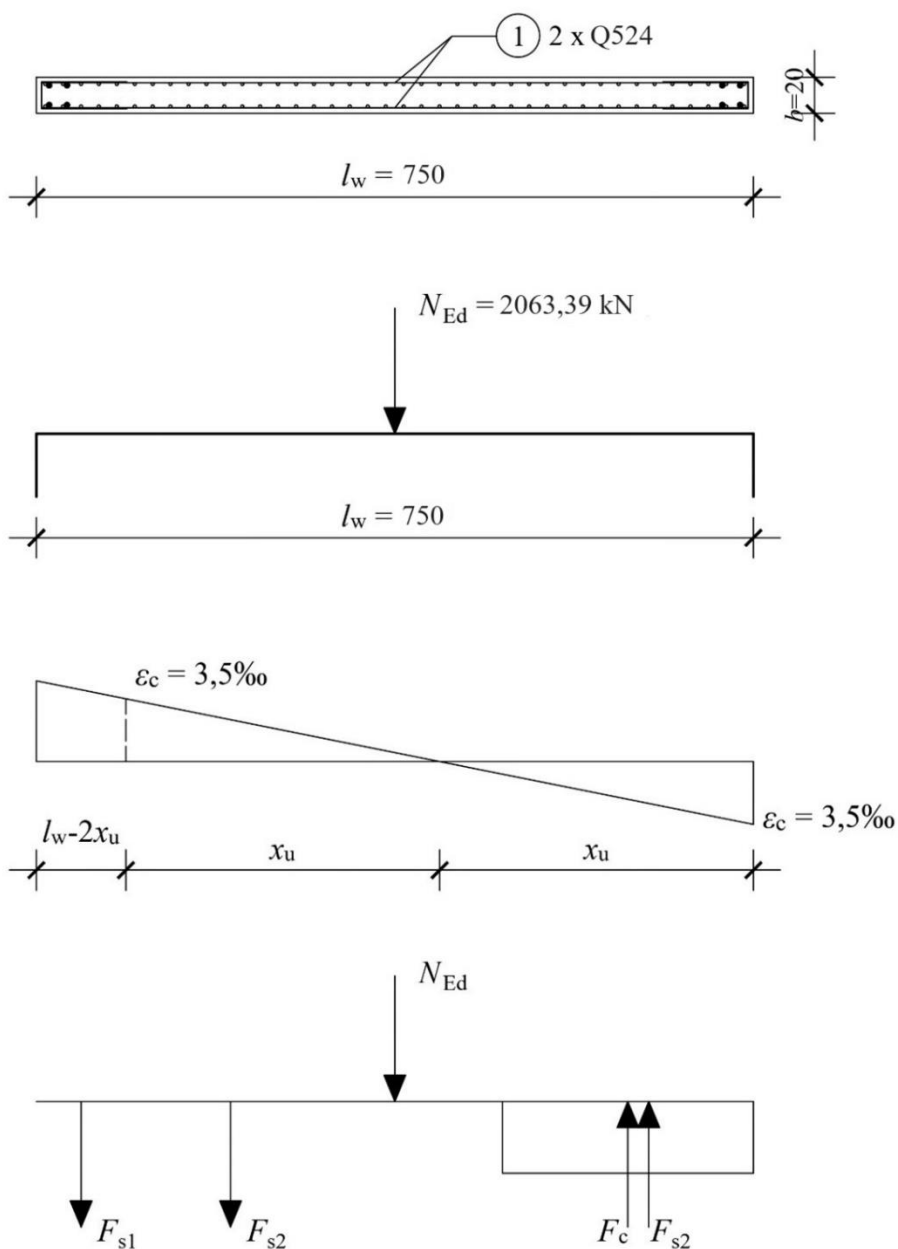
$$\frac{-\left\{ 2063,39 \cdot \left[\left(\frac{750}{2} - \frac{20}{2} \right) - 45,6 \right] + 455,65 \cdot (750 - 2 \cdot 20) \cdot \left(\frac{750}{2} - \frac{20}{2} \right) \right\}}{750 - 20} =$$

$$T_3 = -162658,55 \text{ kN} < 0$$

Mreže koje su proračunate za središnji dio zida dostatne su da preuzmu uzdužnu tlačnu silu i moment savijanja u ravnini zida jer je $T_3 < 0$. **Na krajeve zida postavljena je konstruktivna armatura 4φ14.** U nastavku se konstruktivna armatura neće uzimati u obzir u proračunu.

7.4. Provjera nosivosti zida na moment savijanja u ravnini

Duljina tlačnog područja u trenutku sloma x_u će se odrediti na temelju odabrane armature u hrptu zida ($2 \times Q 524$) te vanjskih i unutarnjih sila. Radi jednostavnosti proračuna smatra se da se odabrane mreže $2 \times Q 524$ protežu čitavom duljinom zida l_w .



Slika 70. Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutarnjim i vanjskim silama

$$\sum N = 0$$

$$N_{Ed} + F_{s1} + F_{s2} = F_c + F_{s2}$$

$$N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{uk} \cdot \left(\frac{l_w - 2 \cdot x_u}{l_w} \right) = 0,8 \cdot x_u \cdot b \cdot f_{cd}$$

$$N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{uk} - 2 \cdot f_{yd} \cdot A_{uk} \cdot \frac{x_u}{l_w} = 0,8 \cdot x_u \cdot b \cdot f_{cd}$$

Ako se uzme u obzir da su:

$$f_{yd} = 43,478 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd} = 2,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{uk} = 2 \cdot A_{prov} \cdot l_w = 2 \cdot 5,24 \cdot 7,5 = 78,6 \text{ cm}^2$$

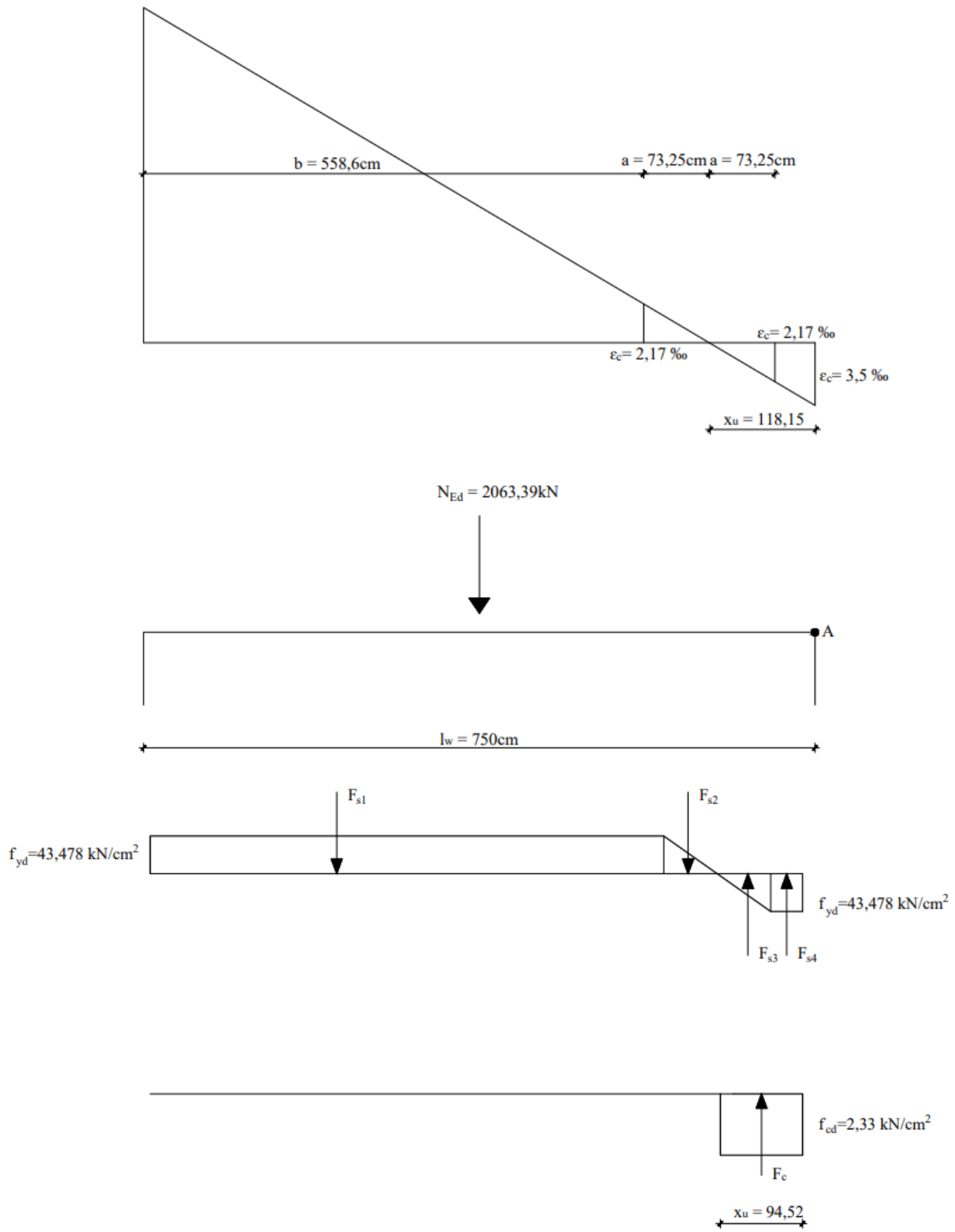
Na temelju ovih izraza dobije se vrijednost x_u :

$$2063,39 + 43,478 \cdot 78,6 - 2 \cdot 43,478 \cdot 78,6 \cdot \frac{x_u}{750} = 0,8 \cdot x_u \cdot 20 \cdot 2,33$$

$$5480,76 = 46,39 x_u$$

$$x_u = 118,15 \text{ cm}$$

U nastavku na slici 71. su prikazane vanjske sile N_{Ed} koje djeluju na zid te unutarnje sile u čeliku F_{s1} do F_{s4} i unutarnje sile u betonu F_c . Također je označena i točka A s obzirom na koju će se računati suma momenata kako bi se proračunala nosivost na moment savijanja.



Slika 71. Prikaz relativnih deformacija u zidu u trenutku sloma i prikaz vanjskih i unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu

Proračun nosivosti na savijanje:

$$\sum M_A = M_{Rd}$$

$$N_{Ed} \cdot \frac{l_w}{2} + F_{s1} \cdot \left(\frac{b}{2} + a + x_u\right) + F_{s2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot a + x_u\right) - F_{s3} \cdot \left(x_u - \frac{2}{3} \cdot a\right) - F_c(0,4 \cdot x_u) - F_{s4} \cdot \left(\frac{x_u - a}{2}\right) = M_{Rd}$$

$$N_{Ed} \cdot \frac{l_w}{2} + \frac{b}{l_w} \cdot A_{uk} \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{b}{2} + a + x_u\right) + \frac{a}{l_w} \cdot A_{uk} \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot a + x_u\right) \cdot 0,5 - \frac{a}{l_w} \cdot A_{uk} \cdot f_{yd} \cdot \left(x_u - \frac{2}{3} \cdot a\right) \cdot 0,5 - 0,8 \cdot f_{cd} \cdot x_u \cdot b(0,4 \cdot x_u) - \frac{x_u - a}{l_w} \cdot A_{uk} \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{x_u - a}{2}\right) = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = 2063,39 \cdot \frac{750}{2} + \frac{558,6}{750} \cdot 78,6 \cdot 43,478 \left(\frac{558,6}{2} + 73,25 + 118,15\right) + \frac{73,25}{750} \cdot 78,6 \cdot 43,478 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 73,25 + 118,15\right) \cdot 0,5 - \frac{73,25}{750} \cdot 78,6 \cdot 43,478 \cdot \left(118,15 - \frac{2}{3} \cdot 73,25\right) \cdot 0,5 - 0,8 \cdot 2,33 \cdot 118,15 \cdot 20 \cdot (0,4 \cdot 118,15) - \frac{118,15 - 73,25}{750} \cdot 78,6 \cdot 43,478 \cdot \left(\frac{118,15 - 73,25}{2}\right)$$

$$M_{Rd} = 773771,25 + 1198052,83 + 27866,45 - 11567,68 - 115204,06 - 4592,97$$

$$M_{Rd} = 1868325,82 \text{ kNcm} = 18683,26 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Ed} = 940,92 \text{ kNm} < M_{Rd} = 18683,26 \text{ kNm}$$

Zid ima zadovoljavajuću nosivost na savijanje.

7.5. Zahtijevana duktilnost zida u prizemlju

Sile u konstrukciji određene su korištenjem proračunskog spektra (umanjene su za faktor ponašanja q). Smanjena nosivost opravdana je jer se „nadoknađuje“ dodatnom duktilnošću.

Zahtijevana duktilnost određena je izrazima:

$$\mu_{\phi} = (2 \cdot q_0 - 1) \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \quad \text{ako je } T_1 \geq T_C$$

$$\mu_{\phi} = \left[1 + (2 \cdot q_0 - 1) \cdot \frac{T_C}{T_1} \right] \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \quad \text{ako je } T_1 < T_C$$

Gdje je:

q_0	faktor ponašanja (osnovna vrijednost)
T_1	prvi period konstrukcije u razmatranom smjeru
T_C	rubni period (ovisi o tipu tla)

Osnovna vrijednost faktora ponašanja za pravilne konstrukcije jednaka je faktoru ponašanja pa je $q_0 = q = 3,0$. Prvi period u smjeru promatranog zida je $T_1 = T_{1,y} = 0,97$ s. Za razred tla C je rubni period $T_C = 0,6$ s.

Obzirom da $T_1 = 0,97$ s $\geq T_C = 0,6$ s, zahtijevana duktilnost iznosi:

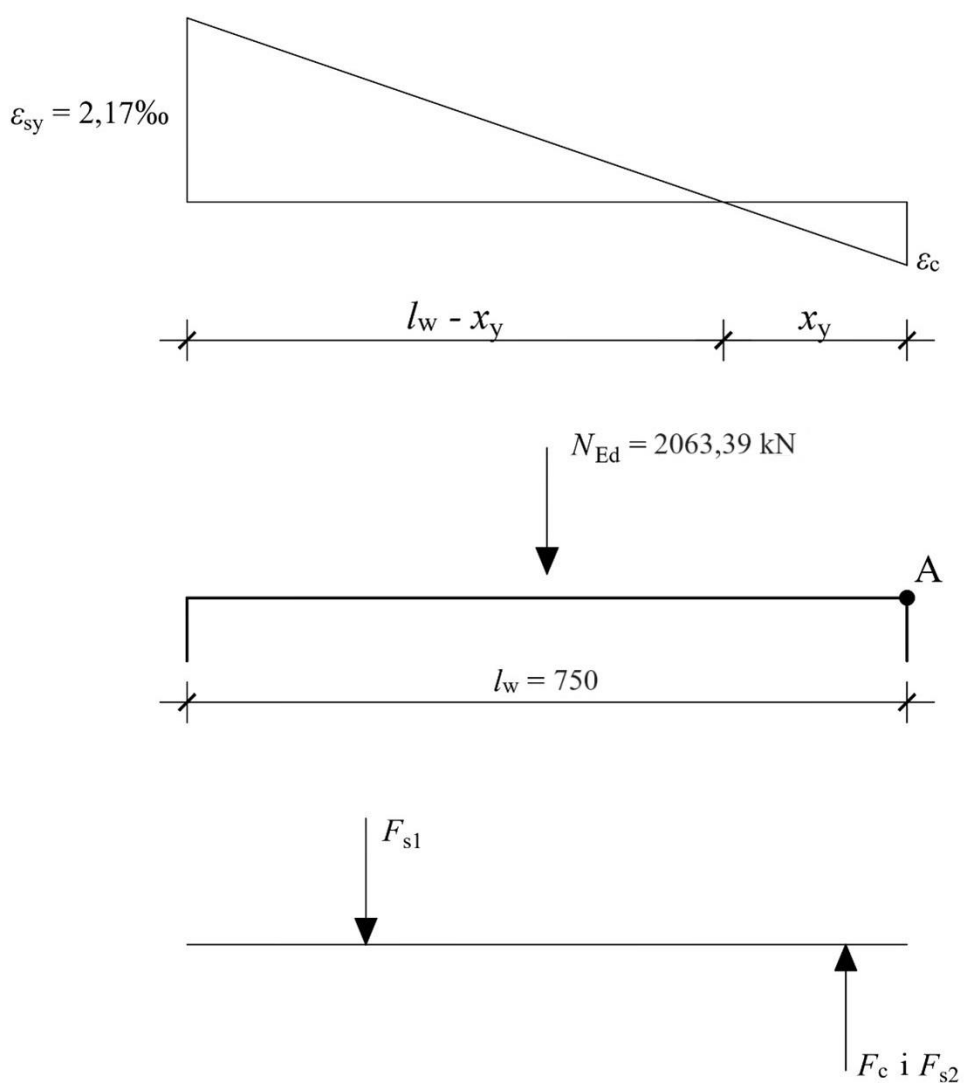
$$\mu_{\phi} = (2 \cdot 3,0 - 1) \cdot \frac{940,92}{18683,26} = 0,25$$

Zato što je korišten čelik razreda duktilnosti B (ne C), potrebno je zahtijevanu duktilnost povećati za 50 %:

$$\mu_{\phi} = 0,25 \cdot 1,5 = 0,5$$

7.6. Određivanje duktilnosti zida u prizemlju

Duktilnost zida će se odrediti u nastavku. Prvo se izračunava zakrivljenost poprečnog presjeka u trenutku popuštanja vlačne armature. Dakle, relativna deformacija vlačne armature jednaka je ε_{sy} , dok se relativna deformacija betona u tlaku i duljina tlačnog područja x_y proračunava.



Slika 72. Prikaz relativnih deformacija u zidu te prikaz vanjskih sila, unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu potrebnih za dobivanje duktilnosti zida

$$\sum N = 0$$

$$N_{Ed} + F_{s1} = F_c + F_{s2}$$

$$N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{uk} \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{l_w - x_y}{l_w} \right) = A_{uk} \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{x_y}{l_w} \right) \cdot \varepsilon_c \cdot E_c + 0,5 \cdot x_y \cdot b_w \cdot \varepsilon_c \cdot E_c$$

Iz sličnosti trokuta prema slici 72. izvodi se izraz za duljinu tlačnog područja x_y :

$$\frac{\varepsilon_c}{x_y} = \frac{0,00217 + \varepsilon_c}{l_w}$$

$$x_y = l_w \cdot \frac{\varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{750 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

Relativna deformacija betona u tlaku ε_c dobit će se uvrštavanjem x_y u jednadžbu $\sum N = 0$:

$$2063,39 + 43,478 \cdot 78,6 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{750 - \frac{750 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{750} \right) =$$

$$78,6 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{\frac{750 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{750} \right) \cdot \varepsilon_c \cdot 20000 + 0,5 \cdot \frac{750 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} \cdot 20 \cdot \varepsilon_c \cdot 3300$$

$$2063,39 + 1708,69 - \frac{1708,69 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{786000 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c} + \frac{24750000 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

$$4,478 + 2063,39 \varepsilon_c + 3,708 + 1708,69 \cdot \varepsilon_c - 1708,69 \cdot \varepsilon_c = \varepsilon_c^2 (786000 + 24750000)$$

$$\varepsilon_c^2 - 8,08 \cdot 10^{-5} \varepsilon_c - 3,206 \cdot 10^{-7} = 0$$

$$\varepsilon_c = 6,08 \cdot 10^{-4}$$

Duljina tlačnog područja x_y :

$$x_y = \frac{750 \cdot 6,08 \cdot 10^{-4}}{0,00217 + 6,08 \cdot 10^{-4}} = 164,15 \text{ cm}$$

Zakrivljenost pri popuštanju:

$$\frac{1}{r_y} = \frac{\varepsilon_c}{x_y} = \frac{6,08 \cdot 10^{-4}}{164,15} = 3,704 \cdot 10^{-6}$$

Zakrivljenost pri slomu:

$$\frac{1}{r_u} = \frac{\varepsilon_c}{x_u} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{118,15} = 2,962 \cdot 10^{-5}$$

Duktilnost zida:

$$\mu_\phi = \frac{1/r_u}{1/r_y} = \frac{2,962 \cdot 10^{-5}}{3,704 \cdot 10^{-6}} = 8,00$$

Duktilnost zida $\mu_\phi = 8,00$ je veća od zahtijevane duktilnosti $\mu_\phi = 0,5$ te nema potrebe za ovijanjem kritičnih područja zida. Zid zadovoljava uvjete nosivosti i duktilnosti.

7.7. Određivanje proračunskih sila zida 1.kata

Vrijednosti su očitane na jednak način kao i za zid u poglavlju 7.1.

Tablica 14. Unutarnje sile na dnu zida ZY2_1 na 1. katu

Kombinacija opterećenja	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
GSN	2992,09	-	40,28	26,22	-
Nazovistalna kombinacija	1843,48	-	23,26	15,05	-
Potresna kombinacija	2621,79	494,19	68,87	23,26	656,29

Mjerodavna poprečna sila uvećava se zbog dinamičkog učinka prema razredu duktilnosti. Za DCM uvećanje je 50%.

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed,y} = 494,19 \cdot 1,5 = 741,29 \text{ kN}$$

Tablica 15. Unutarnje sile na dnu zida ZY2_1 na 1. katu za dimenzioniranje

$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
2992,09	1843,48	741,29	68,87	26,22	656,29

7.8. Dimenzioniranje zida 1.kata

Ulazni podatci:

Beton:	C35/45
Čelik:	B500B
Debljina zida:	$b_w = 20$ cm
Duljina zida:	$l_w = 750$ cm
Visina zida:	$h_w = 1400$ cm
Visina etaže:	$h_e = 280$ cm
Svijetla visina etaže:	$h_s = 260$ cm
Zaštitni sloj:	$c = 3,0$ cm

7.8.1. Uzdužna sila u zidu

Za zidove razreda duktilnosti DCM mora biti ispunjen uvjet $v_{Ed} \leq 0,4$, pri čemu je v_{Ed} bezdimenzijska uzdužna sila.

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = \frac{2992,09}{20 \cdot 750 \cdot 2,33} = 0,086 < 0,4$$

Uvjet je zadovoljen te se zaključuje da je uzdužna sila dovoljno mala.

7.8.2. Armatura hrpta

Središnji dio zida se armira mrežama. Za preuzimanje momenta savijanja van ravnine proračunava se vertikalna armatura i za preuzimanje posmika horizontalna.

7.8.2.1. Horizontalna armatura hrpta

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu $V_{Ed,y} = 741,29$ kN (neovisno o usporedbi sa nosivošću hrpta bez poprečne armature $V_{Rd,c}$). Postavljaju se dvije mreže, jedna uz svaki rub zida. Pretpostavlja se promjer armature $\phi 10$.

Razmak pretpostavljene armature za preuzimanje sile $V_{Ed} = 741,29$ kN iznosi:

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \text{ctg}\theta}{V_{Ed}} = 2 \cdot 0,385 \cdot 43,478 \cdot \frac{0,8 \cdot 750 \cdot 1,0}{741,29} = 27,1 \text{ cm}$$

ODABRANO: $\phi 10/15 \text{ cm} - Q 385$ ($3,85 \text{ cm}^2/\text{m}'$) uz svaki rub zida

7.8.2.2. Vertikalna armatura hrpta

Vertikalna armatura služi za preuzimanje momenta van ravnine $M_{Ed,y} = 26,22$ kNm.

Statička visina (horizontalna armatura će se postaviti bliže licu zida):

$$d = 20 - 3,0 - 1,0 - 0,5 = 15,5 \text{ cm}$$

Mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{3,85 \cdot 43,478}{100 \cdot 15,5 \cdot 2,33} = 0,046$$

Očitano iz *Tablica 4.1 (Betonske konstrukcije 1; Sorić, Kišiček)* za $\omega = 0,043$:

$$\mu_{Rd} = 0,042$$

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,042 \cdot 750 \cdot 15,5^2 \cdot 2,33 = 17633,15 \text{ kNcm} = 176,33 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Rd,y} = 176,33 \text{ kNm} > M_{Ed,y} = 26,22 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen.

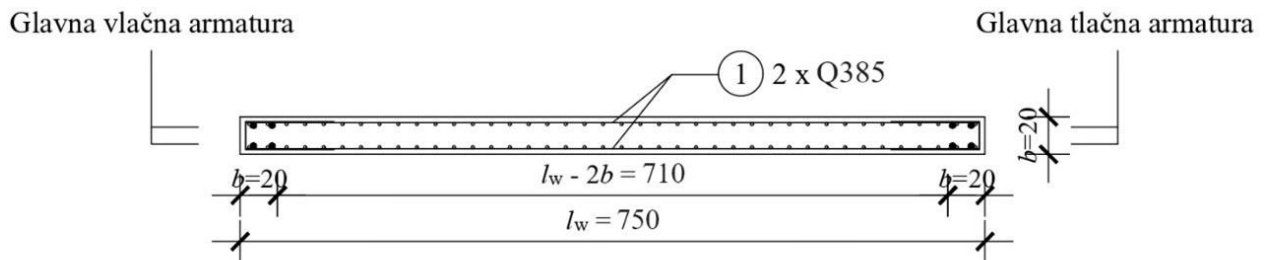
Napomena: Nosivost hrpta na savijanje je proračunavana uz zanemarivanje uzdužnih vertikalnih sila jer su sile relativno male i njihovo zanemarivanje je na strani sigurnosti. Za ovaj slučaj s povećanjem sile povećava se i nosivost na savijanje.

7.8.2.3. Minimalna i maksimalna armatura hrpta

Minimalna i maksimalna armatura određene su kao i u poglavlju 7.2.2.3.

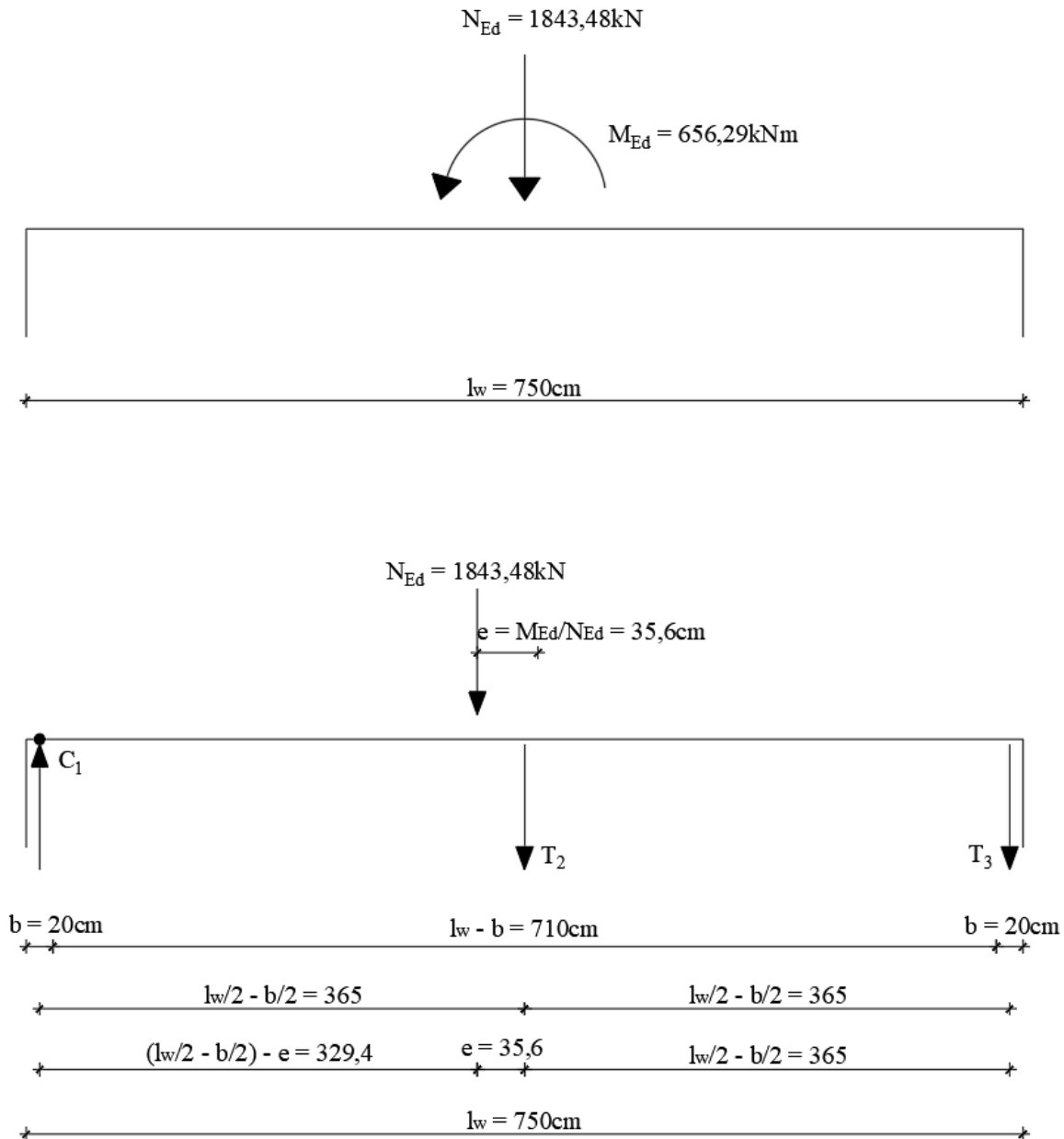
7.9. Određivanje armature kritičnog polja zida na 1. katu

Na slici 73. je prikazan poprečni presjek zida sa dimenzijama i odabranom armaturnom mrežom hrpta. Dimenzije kritičnog područja radi jednostavnosti proračuna zadana su kao kvadrati dimenzija 20×20 cm. Prema tome, $l_w - 2b$ je duljina hrpta zida.



Slika 73. Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom

Uzdužni presjek zida sa vrijednostima za uzdužnu silu i moment savijanja u ravnini zida je prikazan na slici 74.



Slika 74. Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom

U nastavku je provedena provjera potrebe proračuna armature u kritičnom području (poglavito vlačnom).

Ravnoteža momenata oko točke O:

$$\sum M_O = 0$$

$$N_{Ed} \cdot \left[\left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2} \right) - e \right] + T_2 \cdot \left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2} \right) + T_3 \cdot 2 \cdot \left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2} \right) = 0$$

Vrijednost sile T_2 dobiva se na temelju odabrane armature Q 385 u središnjem dijelu zida:

$$T_2 = A_2 \cdot f_{yd}$$

Gdje je:

$$A_2 = 2 \cdot A_{\text{prov}} \cdot (l_w - 2b) = 2 \cdot 3,85 \cdot (l_w - 2b)$$

$$f_{yd} = 43,478 \text{ kN/cm}^2$$

Vrijednost sile T_2 :

$$T_2 = 2 \cdot 3,85 \cdot (l_w - 2b) \cdot 43,478 = 334,78(l_w - 2b)$$

Vrijednost sile T_3 :

$$T_3 = \frac{-\left\{N_{\text{Ed}} \cdot \left[\left(\frac{l_w - b}{2}\right) - e\right] + 334,78 \cdot (l_w - 2b) \cdot \left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2}\right)\right\}}{l_w - b} =$$

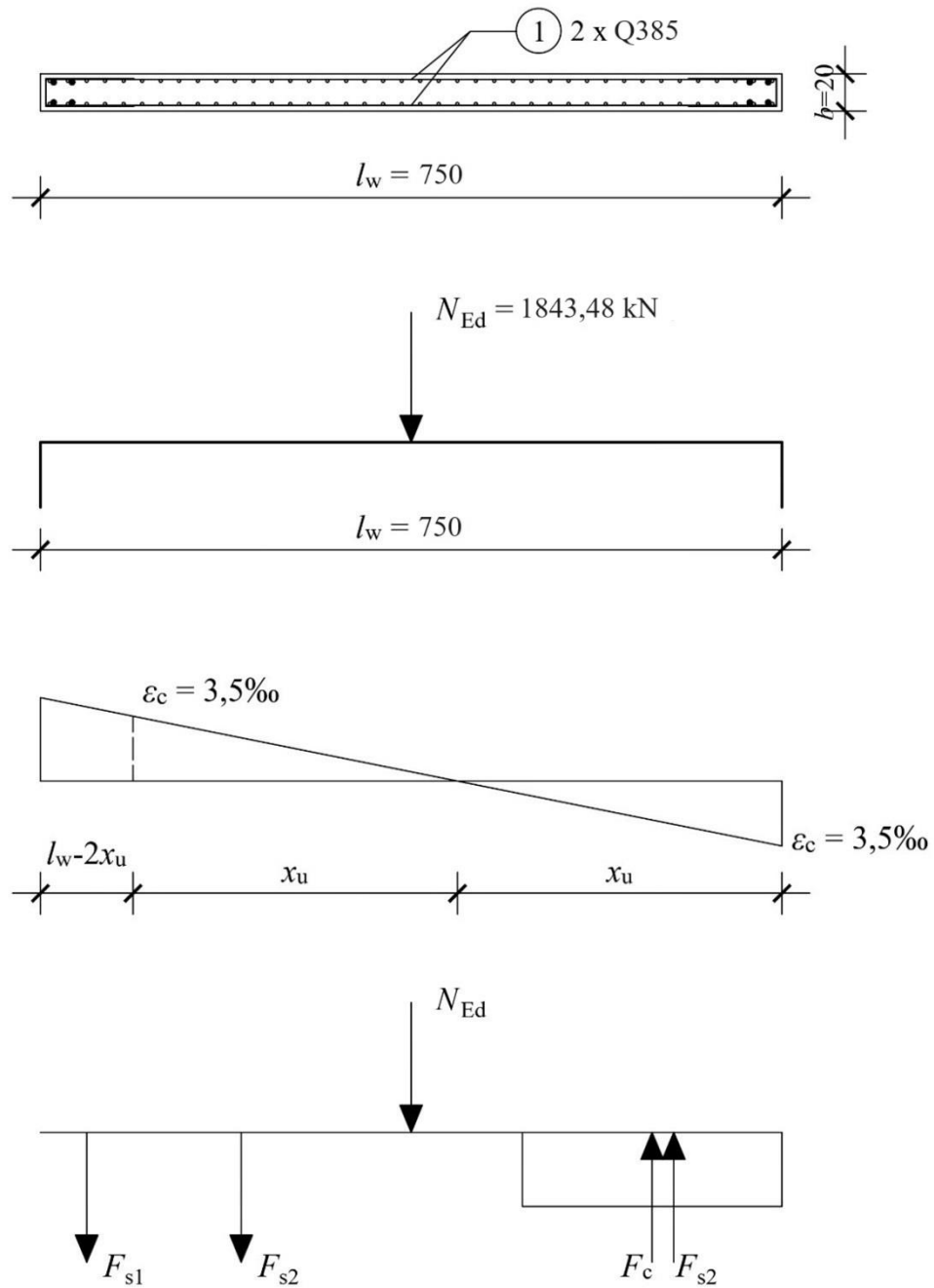
$$\frac{-\left\{1843,48 \cdot \left[\left(\frac{750 - 20}{2}\right) - 35,6\right] + 334,78 \cdot (750 - 2 \cdot 20) \cdot \left(\frac{750}{2} - \frac{20}{2}\right)\right\}}{750 - 20} =$$

$$T_3 = -119678,74 \text{ kN} < 0$$

Mreže koje su proračunate za središnji dio zida dostatne su da preuzmu uzdužnu tlačnu silu i moment savijanja u ravnini zida jer je $T_3 < 0$. **Na krajeve zida postavljena je konstruktivna armatura 4φ14.** U nastavku se konstruktivna armatura neće uzimati u obzir u proračunu.

7.10. Provjera nosivosti zida 1. kata na moment savijanja u ravnini

Duljina tlačnog područja u trenutku sloma x_u će se odrediti na temelju odabrane armature u hrptu zida ($2 \times Q 385$) te vanjskih i unutarnjih sila. Radi jednostavnosti proračuna smatra se da se odabrane mreže $2 \times Q 385$ protežu čitavom duljinom zida l_w .



Slika 75. Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutarnjim i vanjskim silama

$$\sum N = 0$$

$$N_{Ed} + F_{s1} + F_{s2} = F_c + F_{s2}$$

$$N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{uk} \cdot \left(\frac{l_w - 2 \cdot x_u}{l_w} \right) = 0,8 \cdot x_u \cdot b \cdot f_{cd}$$

$$N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{uk} - 2 \cdot f_{yd} \cdot A_{uk} \cdot \frac{x_u}{l_w} = 0,8 \cdot x_u \cdot b \cdot f_{cd}$$

Ako se uzme u obzir da su:

$$f_{yd} = 43,478 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cd} = 2,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{uk} = 2 \cdot A_{prov} \cdot l_w = 2 \cdot 3,85 \cdot 7,5 = 57,75 \text{ cm}^2$$

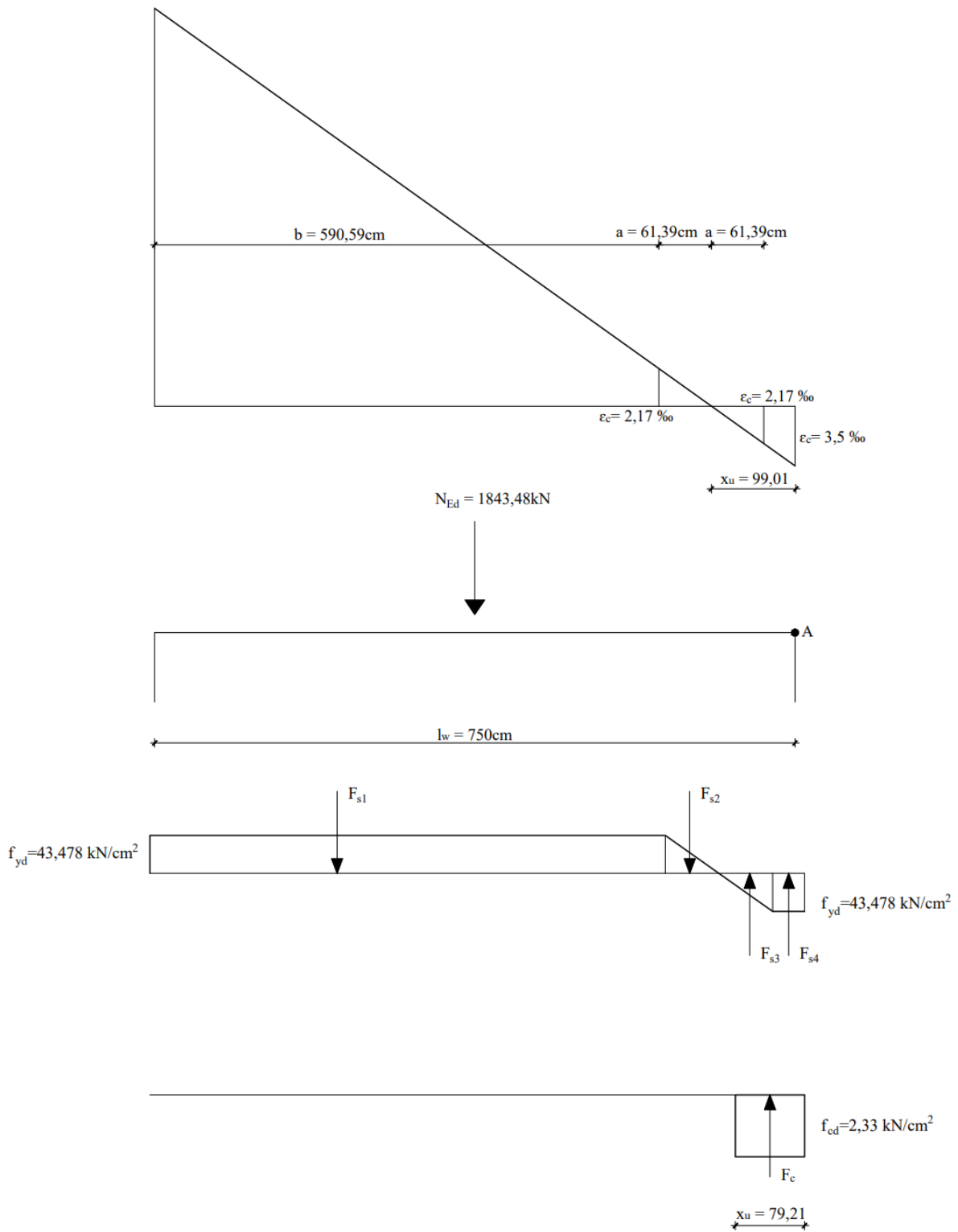
Na temelju ovih izraza dobije se vrijednost x_u :

$$1843,48 + 43,478 \cdot 57,75 - 2 \cdot 43,478 \cdot 57,75 \cdot \frac{x_u}{750} = 0,8 \cdot x_u \cdot 20 \cdot 2,33$$

$$4354,34 = 43,98 x_u$$

$$x_u = 99,01 \text{ cm}$$

U nastavku na slici 76. su prikazane vanjske sile N_{Ed} koje djeluju na zid te unutarnje sile u čeliku F_{s1} do F_{s4} i unutarnje sile u betonu F_c . Također je označena i točka A s obzirom na koju će se računati suma momenata kako bi se proračunala nosivost na moment savijanja.



Slika 76. Prikaz relativnih deformacija u zidu u trenutku sloma i prikaz vanjskih i unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu

Proračun nosivosti na savijanje:

$$\sum M_A = M_{Rd}$$

$$N_{Ed} \cdot \frac{l_w}{2} + F_{s1} \cdot \left(\frac{b}{2} + a + x_u \right) + F_{s2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot a + x_u \right) - F_{s3} \cdot \left(x_u - \frac{2}{3} \cdot a \right) - F_c(0,4 \cdot x_u) - F_{s4} \cdot \left(\frac{x_u - a}{2} \right) = M_{Rd}$$

$$N_{Ed} \cdot \frac{l_w}{2} + \frac{b}{l_w} \cdot A_{uk} \cdot f_{yd} \left(\frac{b}{2} + a + x_u \right) + \frac{a}{l_w} \cdot A_{uk} \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot a + x_u \right) \cdot 0,5 - \frac{a}{l_w} \cdot A_{uk} \cdot f_{yd} \cdot \left(x_u - \frac{2}{3} \cdot a \right) \cdot 0,5 - 0,8 \cdot f_{cd} \cdot x_u \cdot b(0,4 \cdot x_u) - \frac{x_u - a}{l_w} \cdot A_{uk} \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{x_u - a}{2} \right) = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = 1843,48 \cdot \frac{750}{2} + \frac{590,59}{750} \cdot 57,75 \cdot 43,478 \left(\frac{590,59}{2} + 61,39 + 90,01 \right) + \frac{61,39}{750} \cdot 57,75 \cdot 43,478 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 61,39 + 90,01 \right) \cdot 0,5 - \frac{61,39}{750} \cdot 57,75 \cdot 43,478 \left(90,01 - \frac{2}{3} \cdot 61,39 \right) \cdot 0,5 - 0,8 \cdot 2,33 \cdot 90,01 \cdot 20 \cdot (0,4 \cdot 90,01) - \frac{90,01 - 61,39}{750} \cdot 57,75 \cdot 43,478 \left(\frac{90,01 - 61,39}{2} \right)$$

$$M_{Rd} = 691305 + 883196,75 + 13455,17 - 5043,85 - 120814,04 - 1371,1$$

$$M_{Rd} = 1460427,93 \text{ kNcm} = 14604,28 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Ed} = 656,29 \text{ kNm} < M_{Rd} = 14604,28 \text{ kNm}$$

Zid ima zadovoljavajuću nosivost na savijanje.

7.11. Zahtijevana duktilnost zida 1.kata

Obzirom da $T_1 = 0,97 \text{ s} \geq T_C = 0,6 \text{ s}$, zahtijevana duktilnost iznosi:

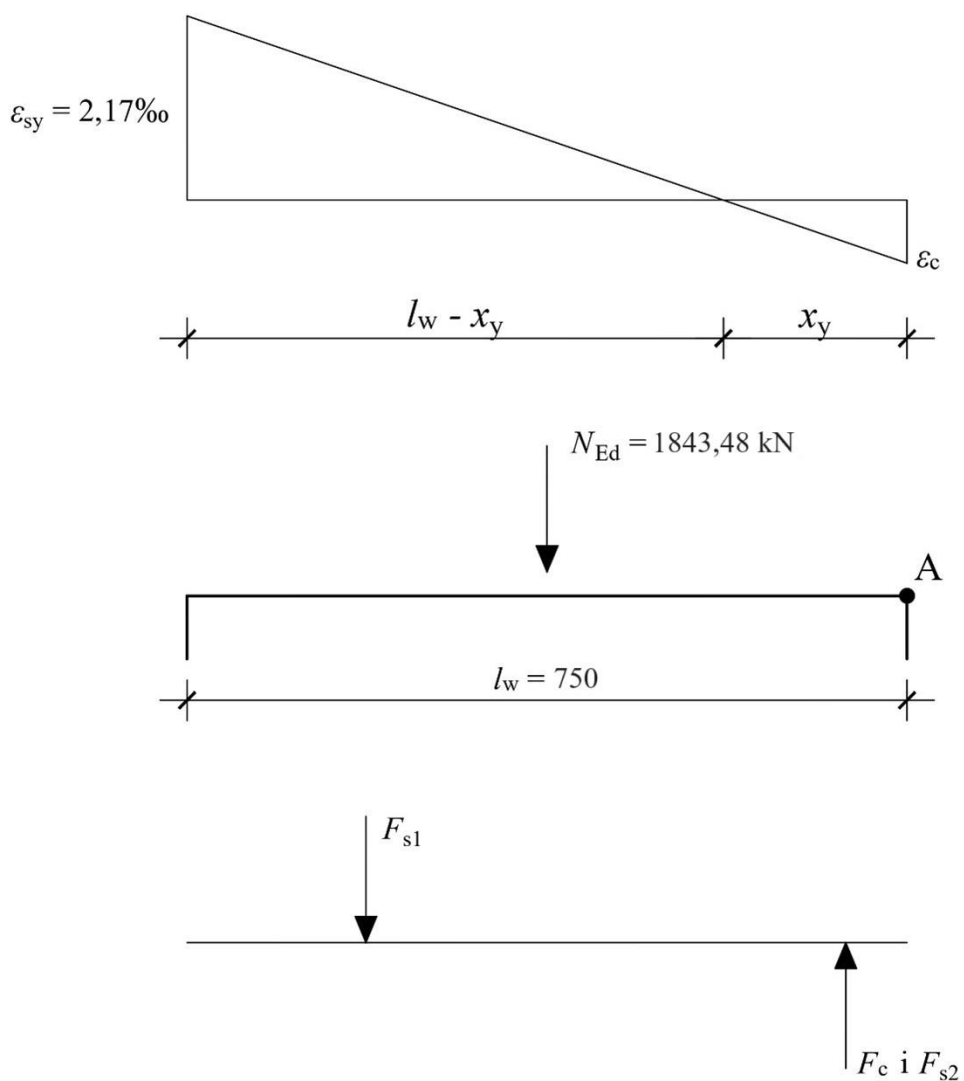
$$\mu_\phi = (2 \cdot 3,0 - 1) \cdot \frac{656,29}{14604,28} = 0,23$$

Zato što je korišten čelik razreda duktilnosti B, zahtijevanu duktilnost se povećava za 50 %:

$$\mu_\phi = 0,23 \cdot 1,5 = 0,46$$

7.12. Određivanje duktilnosti zida 1.kata

Duktilnost zida će se odrediti u nastavku. Prvo se izračunava zakrivljenost poprečnog presjeka u trenutku popuštanja vlačne armature. Dakle, relativna deformacija vlačne armature jednaka je ε_{sy} , dok se relativna deformacija betona u tlaku i duljina tlačnog područja x_y proračunava.



Slika 77. Prikaz relativnih deformacija u zidu te prikaz vanjskih sila, unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu potrebnih za dobivanje duktilnosti zida

$$\sum N = 0$$

$$N_{Ed} + F_{s1} = F_c + F_{s2}$$

$$N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{uk} \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{l_w - x_y}{l_w} \right) = A_{uk} \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{x_y}{l_w} \right) \cdot \varepsilon_c \cdot E_c + 0,5 \cdot x_y \cdot b_w \cdot \varepsilon_c \cdot E_c$$

Iz sličnosti trokuta prema slici 77. izvodi se izraz za duljinu tlačnog područja x_y :

$$\frac{\varepsilon_c}{x_y} = \frac{0,00217 + \varepsilon_c}{l_w}$$

$$x_y = l_w \cdot \frac{\varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{750 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

Relativna deformacija betona u tlaku ε_c dobit će se uvrštavanjem x_y u jednadžbu $\sum N = 0$:

$$1843,48 + 43,478 \cdot 57,75 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{750 - \frac{750 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{750} \right) =$$

$$57,75 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{\frac{750 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{750} \right) \cdot \varepsilon_c \cdot 20000 + 0,5 \cdot \frac{750 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} \cdot 20 \cdot \varepsilon_c \cdot 3300$$

$$1843,48 + 1255,43 - \frac{1255,43 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{577500 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c} + \frac{24750000 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

$$4,0 + 1843,48 \varepsilon_c + 2,73 + 1255,43 \cdot \varepsilon_c - 1255,43 \cdot \varepsilon_c = \varepsilon_c^2 (577500 + 24750000)$$

$$\varepsilon_c^2 - 7,28 \cdot 10^{-5} \varepsilon_c - 2,66 \cdot 10^{-7} = 0$$

$$\varepsilon_c = 5,534 \cdot 10^{-4}$$

Duljina tlačnog područja x_y :

$$x_y = \frac{750 \cdot 5,534 \cdot 10^{-4}}{0,00217 + 5,534 \cdot 10^{-4}} = 152,4 \text{ cm}$$

Zakrivljenost pri popuštanju:

$$\frac{1}{r_y} = \frac{\varepsilon_c}{x_y} = \frac{5,534 \cdot 10^{-4}}{152,4} = 3,631 \cdot 10^{-6}$$

Zakrivljenost pri slomu:

$$\frac{1}{r_u} = \frac{\varepsilon_c}{x_u} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{99,01} = 3,535 \cdot 10^{-5}$$

Duktilnost zida:

$$\mu_\phi = \frac{1/r_u}{1/r_y} = \frac{3,535 \cdot 10^{-5}}{3,631 \cdot 10^{-6}} = 9,74$$

Duktilnost zida $\mu_\phi = 9,74$ je veća od zahtijevane duktilnosti $\mu_\phi = 0,46$ te nema potrebe za ovijanjem kritičnih područja zida. Zid zadovoljava uvjete nosivosti i duktilnosti.

7.13. Rekapitulacija odabrane armature zida

Odabrana armatura zida ZY2_1 u prizemlju je armaturna mreža Q 524 uz svako lice zida, cijelom duljinom zida.

Odabrana armatura zida ZY2_1 prvog kata je armaturna mreža Q 385 uz svako lice zida, cijelom duljinom zida.

Odabrana armatura zida ZY2_1 ostalih katova je jednaka kao i odabrana armatura 1.kata.

Konstruktivna armatura jednaka je za sve pozicije (4 ϕ 14).

8. ZAKLJUČAK

Cilj diplomskog rada bila je provedba statičkog i dinamičkog proračuna armiranobetonske stambene zgrade te dimenzioniranje stubišta, ploče karakterističnog kata, grede i zida prema važećim propisima.

U programskom paketu „SCIA Engineer 22.1“ proveden je proračun reznih sila karakteristične ploče kata i grede preko 5 raspona pri djelovanju stalnog i uporabnog opterećenja prema prethodno provedenoj analizi opterećenja. Ploča je u programu modelirana kao plošni element s linijskim osloncima na mjestima nosivih zidova i greda, dok je greda poz. GY1 modelirana kao štapni element sa osloncima na odgovarajućim rasponima. Dimenzioniranje ploče na dobivene sile provedeno je za najnepovoljniji slučaj djelovanja stalnog i uporabnog opterećenja, a dimenzioniranje grede provedeno je na prva tri raspona i oslonca prilikom djelovanja stalnog i primjerenog uporabnog opterećenja s obzirom da je greda približno simetrična.

Proračun potresnog opterećenja na zgradu proveden je na prostornom modelu u prethodno navedenom programskom paketu. U modelu su ploče i zidovi oblikovani kao plošni elementi, a grede kao štapni. Također, na tom modelu proveden je i proračun unutarnjih sila uslijed djelovanja stalnog, uporabnog opterećenja i seizmičkog opterećenja armiranobetonskog zida. Dimenzioniranje AB zida provedeno je za vrijednosti proračunskih sila iz mjerodavne seizmičke kombinacije.

9. LITERATURA

- [1] Građevinski fakultet u Zagrebu. *BETONSKE I ZIDANE KONSTRUKCIJE 2.* <https://www.grad.unizg.hr/predmet/bizk2>
- [2] Građevinski fakultet u Zagrebu. *BETONSKE KONSTRUKCIJE 3.* https://www.grad.unizg.hr/predmet/betkon3_a
- [3] Sorić, Z., Kišićek, T. (2014). *Betonske konstrukcije 1.* Sveučilište u Zagrebu. Građevinski fakultet. Zagreb.
- [4] Sorić, Z., Kišićek, T. (2018). *Betonske konstrukcije 2.* Sveučilište u Zagrebu. Građevinski fakultet. Zagreb.
- [5] HRN EN 1990:2011, *Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija (EN 1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010)*, *Eurocode: Basis of structural design (EN 1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010)*. European Committee for Standardization, Bruxelles
- [6] 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)*, *Eurocode 1: Actions on structures -- Part 1-1: General actions -- Densities, self-weight and imposed loads for buildings (EN 1991-1-1:2002+AC:2009)*. European Committee for Standardization, Bruxelles
- [7] 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)*, *Eurocode 2: Design of concrete structures -- Part 1-1: General rules and rules for buildings (EN 1992-1-1:2004+AC:2010)*. European Committee for Standardization, Bruxelles
- [8] HRN EN 1992-1-1:2013/NA:2015, *Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade -- Nacionalni dodatak, Eurocode 2: Design of concrete structures -- Part 1-1: General rules and rules for buildings -- National Annex*
- [9] HRN EN 1997-1:2012, *Eurokod 7: Geotehničko projektiranje -- 1. dio: Opća pravila (EN 1997-1:2004+AC:2009)*, *Eurocode 7: Geotechnical design -- Part 1: General rules (EN 1997-1:2004+AC:2009)*. European Committee for Standardization, Bruxelles
- [10] HRN EN 1998-1:2011, *Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004+AC:2009)*, *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance -- Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1:2004+AC:2009)*. European Committee for Standardization, Bruxelles

POPIS SLIKA

<i>Slika 1. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta.....</i>	<i>4</i>
<i>Slika 2. Statička shema opterećenja stubišta</i>	<i>6</i>
<i>Slika 3. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta.....</i>	<i>12</i>
<i>Slika 4. Presjek AB ploče - stambeni prostor</i>	<i>17</i>
<i>Slika 5. Presjek AB ploče - hodnik.....</i>	<i>18</i>
<i>Slika 6. Presjek AB ploče - natkrivena terasa.....</i>	<i>18</i>
<i>Slika 7. Prikaz modela ploče.....</i>	<i>20</i>
<i>Slika 8. Prikaz stalnog opterećenja</i>	<i>21</i>
<i>Slika 9. Prikaz dodatno stalnog opterećenja</i>	<i>22</i>
<i>Slika 10. Momenti u smjeru x [kNm]</i>	<i>23</i>
<i>Slika 11. Momenti u smjeru y [kNm]</i>	<i>23</i>
<i>Slika 12. Opterećenje na pozicijama 401, 405 i 407</i>	<i>25</i>
<i>Slika 13. Opterećenje na pozicijama 402, 403 i 406</i>	<i>25</i>
<i>Slika 14. Opterećenje na pozicijama 404 i 407</i>	<i>26</i>
<i>Slika 15. Opterećenje na pozicijama 401 i 406</i>	<i>26</i>
<i>Slika 16. Opterećenje na pozicijama 402 i 405</i>	<i>27</i>
<i>Slika 17. Momenti u smjeru x za poz. 401, 405 i 407</i>	<i>27</i>
<i>Slika 18. Momenti u smjeru x za poz. 402, 403 i 406</i>	<i>28</i>
<i>Slika 19. Momenti u smjeru x za poz. 404 i 407</i>	<i>28</i>
<i>Slika 20. Momenti u smjeru x za poz. 401 i 406</i>	<i>29</i>
<i>Slika 21. Momenti u smjeru x za poz. 402 i 405</i>	<i>29</i>
<i>Slika 22. Momenti u smjeru y za poz. 401, 405 i 407</i>	<i>30</i>
<i>Slika 23. Momenti u smjeru y za poz. 402, 403 i 406</i>	<i>30</i>
<i>Slika 24. Momenti u smjeru y za poz. 404 i 407</i>	<i>31</i>
<i>Slika 25. Momenti u smjeru y za poz. 401 i 406</i>	<i>31</i>
<i>Slika 26. Momenti u smjeru y za poz. 402 i 405</i>	<i>32</i>
<i>Slika 27. Uporabno opterećenje na poz. 401 - 402.....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 28. Uporabno opterećenje na poz. 401 - 403.....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 29. Uporabno opterećenje na poz. 401 - 404.....</i>	<i>34</i>

<i>Slika 30. Uporabno opterećenje na poz. 402 - 404.....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 31. Uporabno opterećenje na poz. 403 - 404.....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 32. Uporabno opterećenje na poz. 403 - 405.....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 33. Uporabno opterećenje na poz. 404 - 405.....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 34. Uporabno opterećenje na poz. 404 - 406.....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 35. Uporabno opterećenje na poz. 405 - 406.....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 36. Uporabno opterećenje na poz. 406 – 407.....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 37. Moment nad ležajem poz. 401 - 402</i>	<i>38</i>
<i>Slika 38. Moment nad ležajem poz. 401 - 403</i>	<i>38</i>
<i>Slika 39. Moment nad ležajem poz. 401 - 404</i>	<i>39</i>
<i>Slika 40. Moment nad ležajem poz. 402 - 404</i>	<i>39</i>
<i>Slika 41. Moment nad ležajem poz. 403 - 404</i>	<i>40</i>
<i>Slika 42. Moment nad ležajem poz. 403 - 405</i>	<i>40</i>
<i>Slika 43. Moment nad ležajem poz. 404 - 405</i>	<i>41</i>
<i>Slika 44. Moment nad ležajem poz. 404 – 406.....</i>	<i>41</i>
<i>Slika 45. Moment nad ležajem poz. 405 - 406</i>	<i>42</i>
<i>Slika 46. Moment nad ležajem poz. 406 – 407.....</i>	<i>42</i>
<i>Slika 47. Poprečna sila nad ležajevima od stalnog opterećenja</i>	<i>59</i>
<i>Slika 48. Poprečna sila nad ležajevima za mjerodavno uporabno opterećenje</i>	<i>59</i>
<i>Slika 49. Poprečni presjek grede pozicije GYI.....</i>	<i>61</i>
<i>Slika 50. Položaj grede GYI u tlocrtu</i>	<i>61</i>
<i>Slika 51. Reakcija ploče od stalnog opterećenja [kN/m].....</i>	<i>62</i>
<i>Slika 52. Reakcija ploče od mjerodavnog uporabnog opterećenja [kN/m].....</i>	<i>62</i>
<i>Slika 53. Statički sustav grede poz. GYI.....</i>	<i>63</i>
<i>Slika 54. Raspored stalnog opterećenja.....</i>	<i>63</i>
<i>Slika 55. Raspored uporabnog opterećenja za $M_{q,p}$.....</i>	<i>64</i>
<i>Slika 56. Raspored uporabnog opterećenja za $M_{q,l}$ i V_q.....</i>	<i>64</i>
<i>Slika 57. Izometrija - prostorni model zgrade</i>	<i>73</i>
<i>Slika 58. Generirane mase za dodatnog stalno opterećenje.....</i>	<i>75</i>
<i>Slika 59. Generirane mase za uporabno opterećenje</i>	<i>75</i>
<i>Slika 60. Karta potresnih područja RH</i>	<i>81</i>

<i>Slika 61. Proračunski spektar odziva.....</i>	<i>84</i>
<i>Slika 62. Raspodjela mase pri modalnoj analizi.....</i>	<i>84</i>
<i>Slika 63. Prvi oblik vibriranja (period $T = 0,97$ s).....</i>	<i>85</i>
<i>Slika 64. Drugi oblik vibriranja (period $T = 0,68$ s).....</i>	<i>86</i>
<i>Slika 65. Treći oblik vibriranja (period $T = 0,38$ s).....</i>	<i>86</i>
<i>Slika 66. Prikaz aktivacije masa.....</i>	<i>87</i>
<i>Slika 67. 3D model zgrade s označenim zidom ZY2_1.....</i>	<i>88</i>
<i>Slika 68. Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom.....</i>	<i>92</i>
<i>Slika 69. Uzdužni presjek zida s pripadajućim vanjskim i unutarnjim silama i momentima.....</i>	<i>93</i>
<i>Slika 70. Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutarnjim i vanjskim silama.....</i>	<i>95</i>
<i>Slika 71. Prikaz relativnih deformacija u zidu u trenutku sloma i prikaz vanjskih i unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu.....</i>	<i>97</i>
<i>Slika 72. Prikaz relativnih deformacija u zidu te prikaz vanjskih sila, unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu potrebnih za dobivanje duktilnosti zida.....</i>	<i>100</i>
<i>Slika 73. Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom.....</i>	<i>105</i>
<i>Slika 74. Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom.....</i>	<i>106</i>
<i>Slika 75. Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutarnjim i vanjskim silama.....</i>	<i>108</i>
<i>Slika 76. Prikaz relativnih deformacija u zidu u trenutku sloma i prikaz vanjskih i unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu.....</i>	<i>110</i>
<i>Slika 77. Prikaz relativnih deformacija u zidu te prikaz vanjskih sila, unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu potrebnih za dobivanje duktilnosti zida.....</i>	<i>112</i>

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Momenti savijanja u polju od stalnog opterećenja.....</i>	<i>24</i>
<i>Tablica 2. Momenti savijanja nad ležajevima od stalnog opterećenja.....</i>	<i>24</i>
<i>Tablica 3. Momenti savijanja u polju od uporabnog opterećenja.....</i>	<i>32</i>
<i>Tablica 4. Momenti savijanja nad ležajevima od uporabnog opterećenja.....</i>	<i>43</i>
<i>Tablica 5. Proračunske vrijednosti momenta savijanja u polju.....</i>	<i>43</i>
<i>Tablica 6. Proračunske vrijednosti momenta savijanja nad ležajem.....</i>	<i>44</i>
<i>Tablica 7. Odabrana armatura u polju.....</i>	<i>58</i>
<i>Tablica 8. Odabrana armatura nad ležajem.....</i>	<i>58</i>
<i>Tablica 9. Parametri elastičnog projektnog spektra za spektar odziva I.....</i>	<i>80</i>
<i>Tablica 10. Razredi važnosti za zgrade.....</i>	<i>81</i>
<i>Tablica 11. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za sustave pravilne po visini.....</i>	<i>82</i>
<i>Tablica 12. Unutarnje sile na dnu zida ZY2_1.....</i>	<i>89</i>
<i>Tablica 13. Unutarnje sile na dnu zida ZY2_1 za dimenzioniranje.....</i>	<i>89</i>
<i>Tablica 14. Unutarnje sile na dnu zida ZY2_1 na 1. katu.....</i>	<i>102</i>
<i>Tablica 15. Unutarnje sile na dnu zida ZY2_1 na 1. katu za dimenzioniranje.....</i>	<i>103</i>

GRAFIČKI PRILOZI

List broj 1: Tlocrt prizemlja MJ 1:100

List broj 2: Tlocrt karakterističnog kata MJ 1:00

List broj 3: Presjek A-A MJ 1:100

List broj 4: Presjek B-B MJ 1:100

List broj 5: Pogled na zgradu – zapadno pročelje MJ 1:80

List broj 6: Pogled na zgradu – južno pročelje MJ 1:80

List broj 7: Pogled na zgradu – istočno pročelje MJ 1:80

List broj 8: Pogled na zgradu – sjeverno pročelje MJ 1:80

List broj 9: Plan pozicija karakterističnog kata MJ 1:100

List broj 10: Plan armature stubišta MJ 1:50

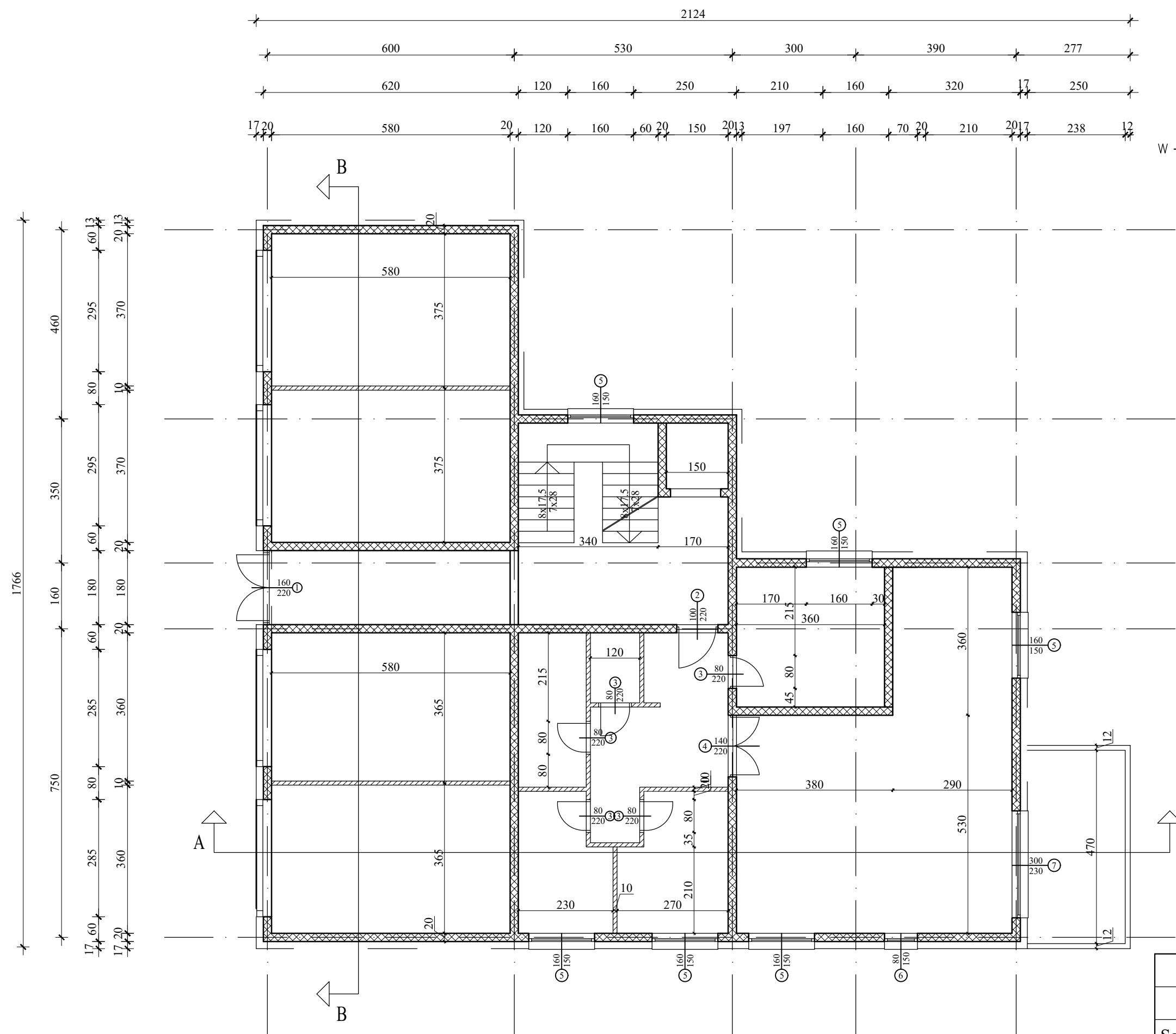
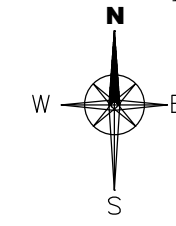
List broj 11: Plan armature ploče kata – donja zona MJ 1:100

List broj 12: Plan armature ploče kata – gornja zona MJ 1:100

List broj 13: Plan armature grede MJ 1:50, MJ 1:25

List broj 14: Plan armature zida MJ 1:80

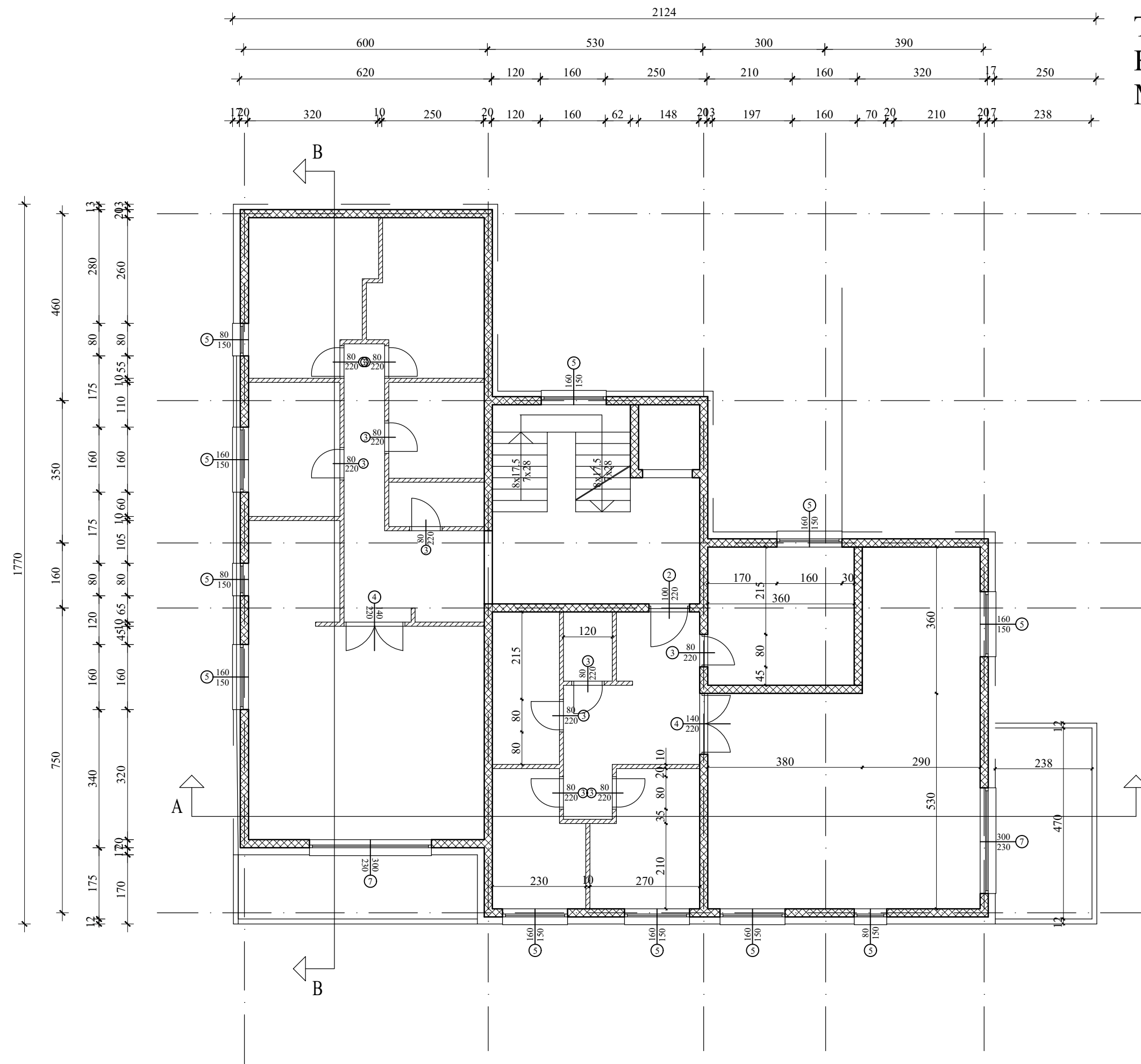
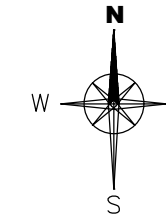
TLOCRT PRIZEMLJA MJ 1:100



Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта: Tlocrt prizemlja	
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:100
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 1

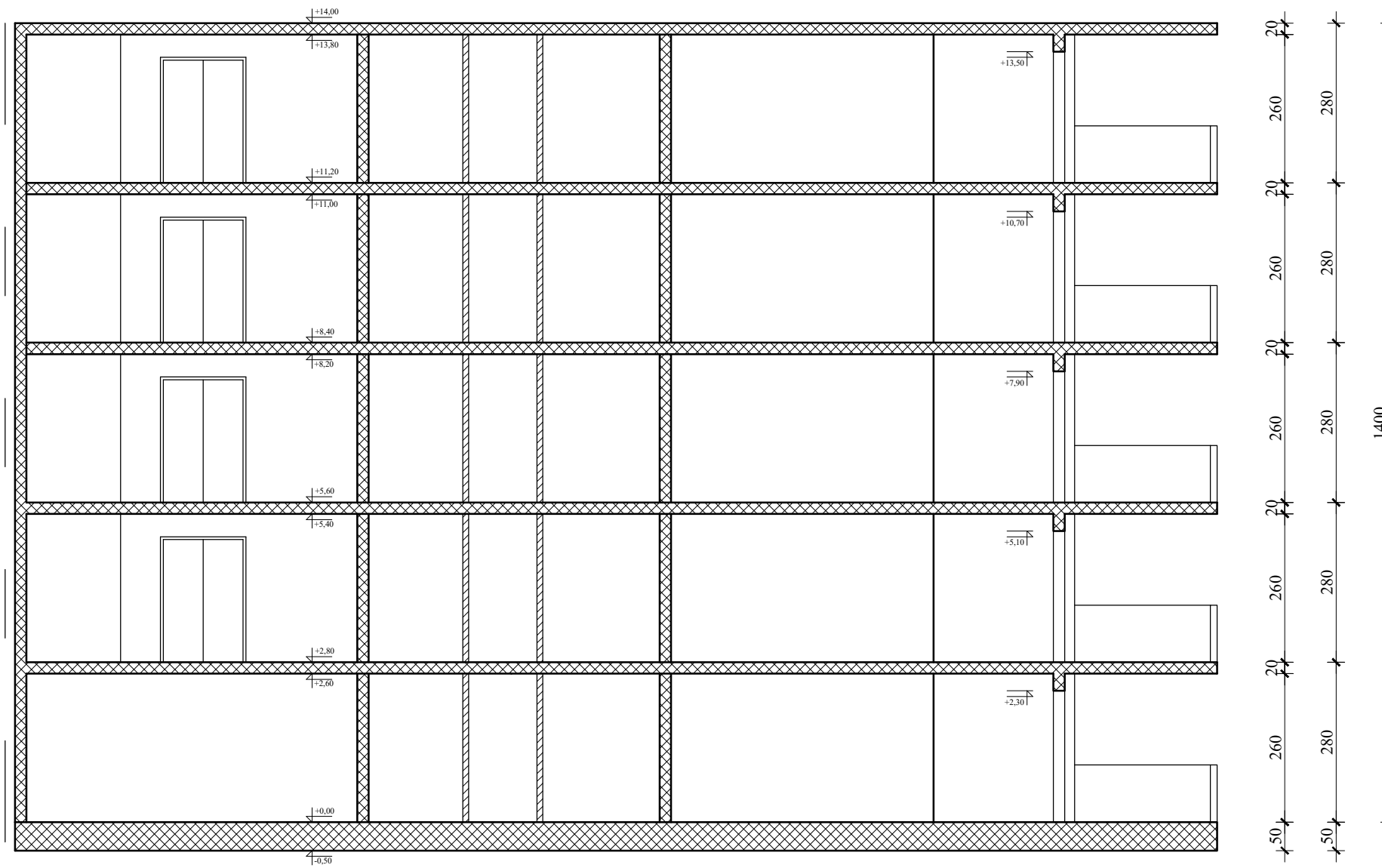
TLOCRT KARAKTERISTIČNOG KATA

MJ 1:100



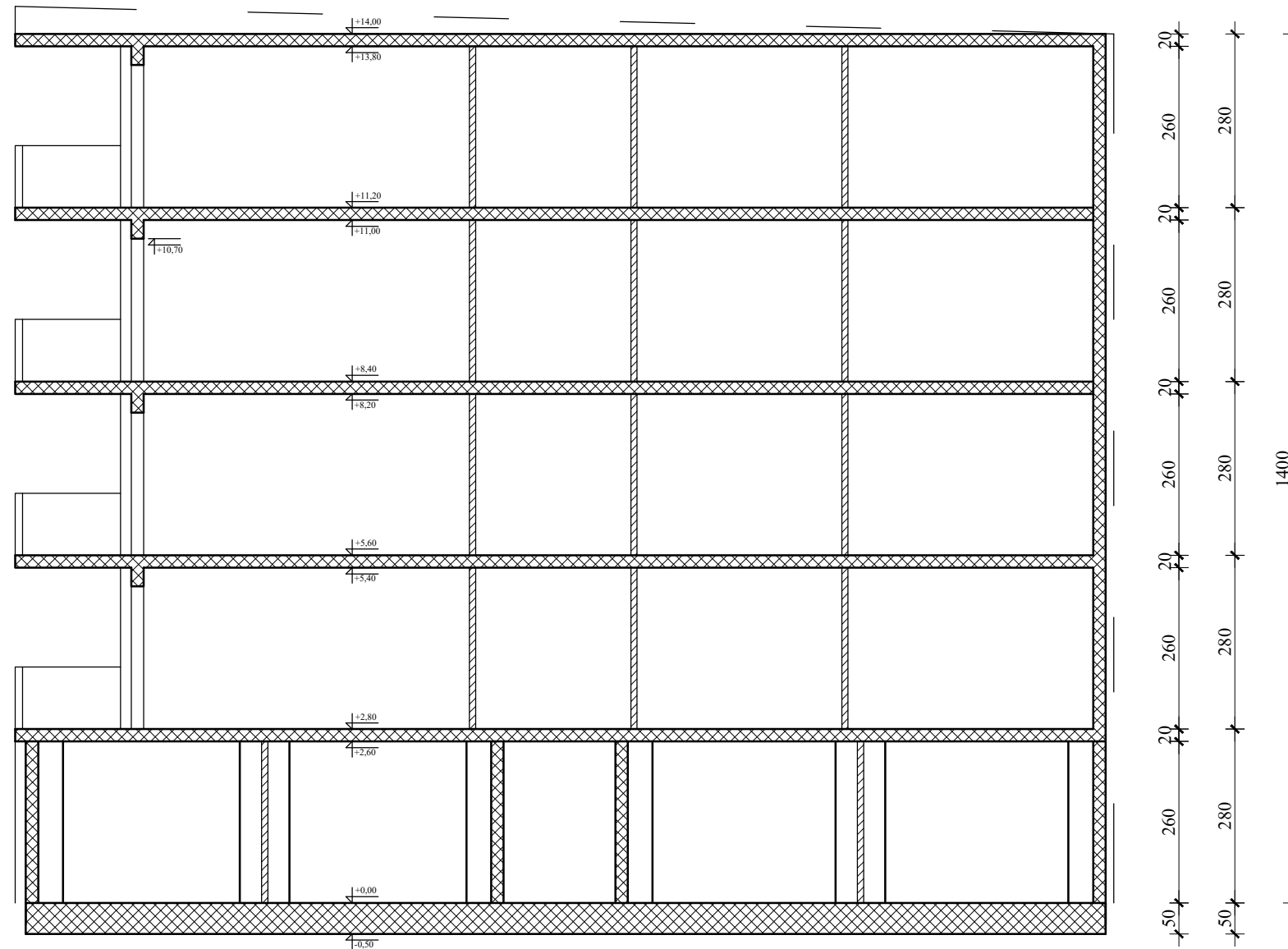
Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt: Tlocrt karakterističnog kata	
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:100
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 2

PRESJEK A-A MJ 1:100



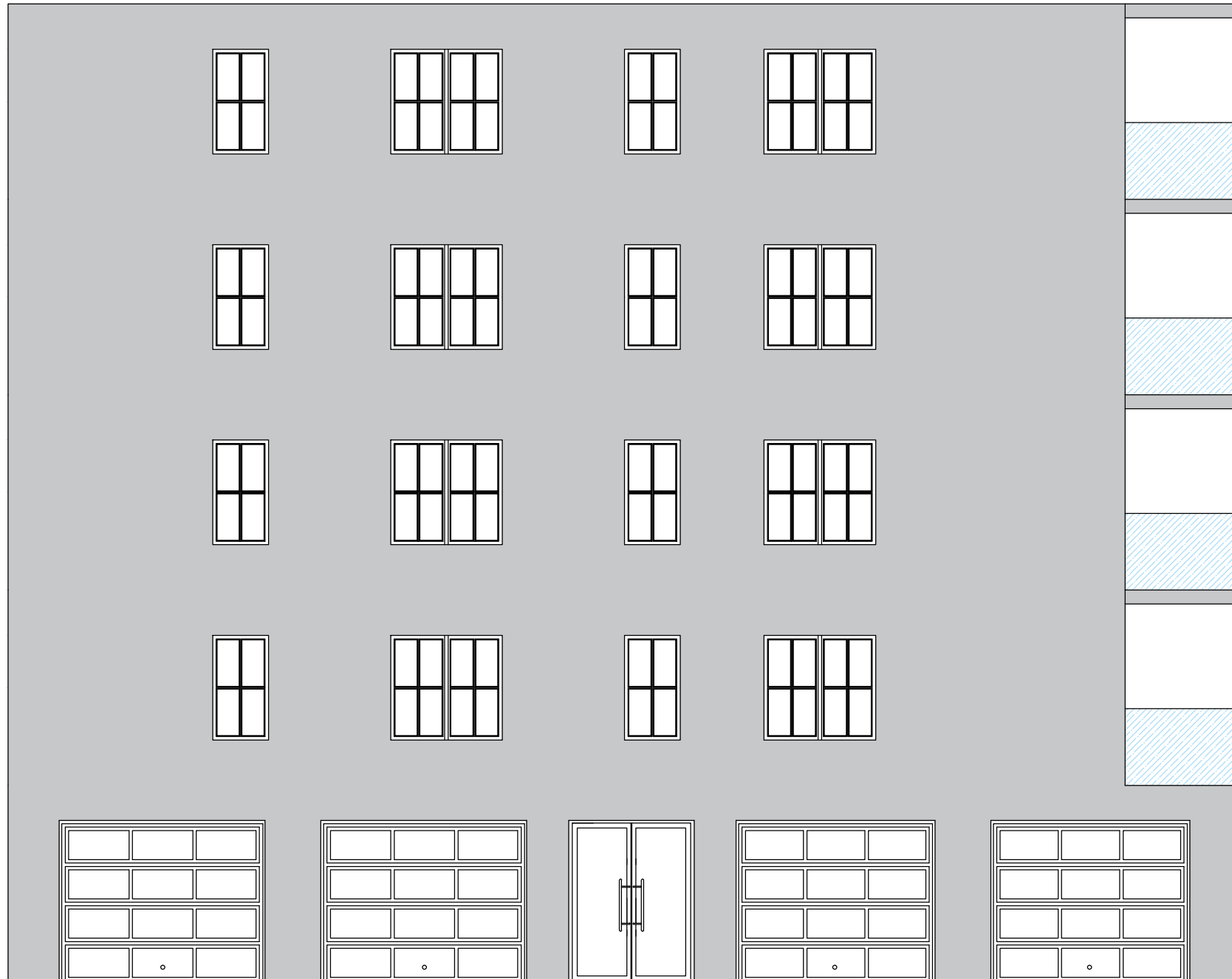
Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта:	Presjek A-A
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:100
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 3

PRESJEK B-B MJ 1:100



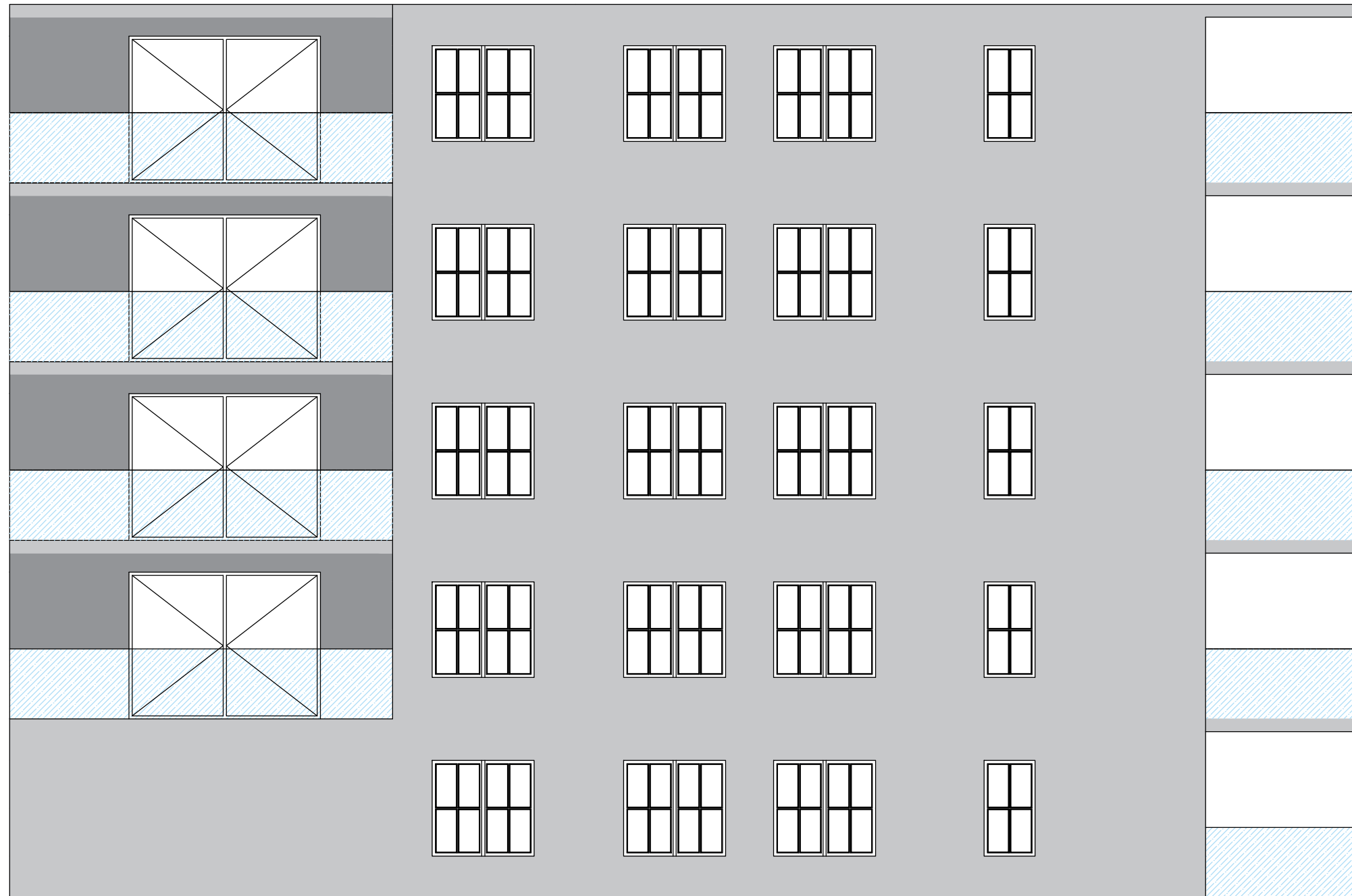
Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt:	Presjek B-B
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:100
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 4

ZAPADNO PROČELJE



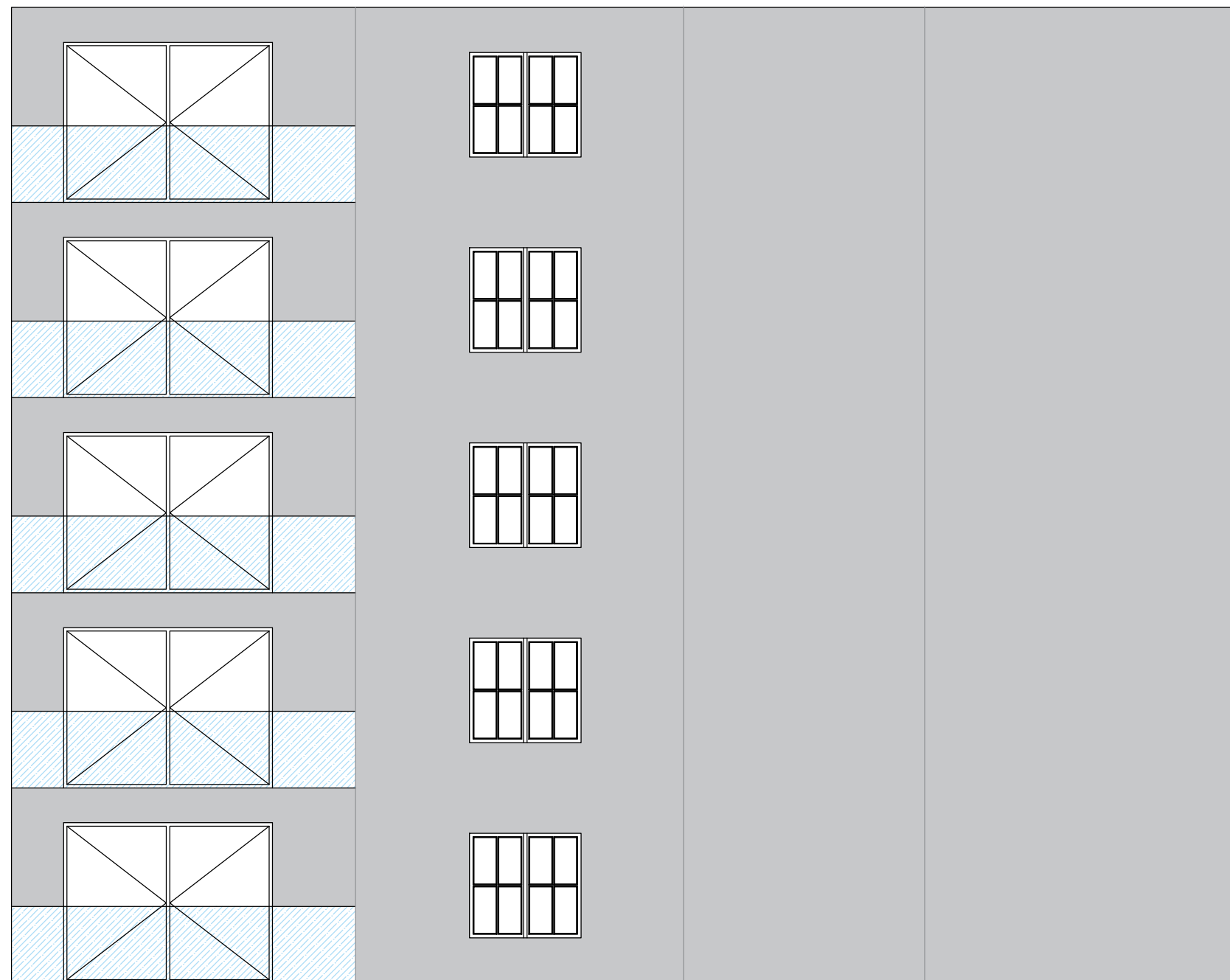
Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта: Pogled na zgradu - zapadno pročelje	
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:80
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 5

JUŽNO PROČELJE



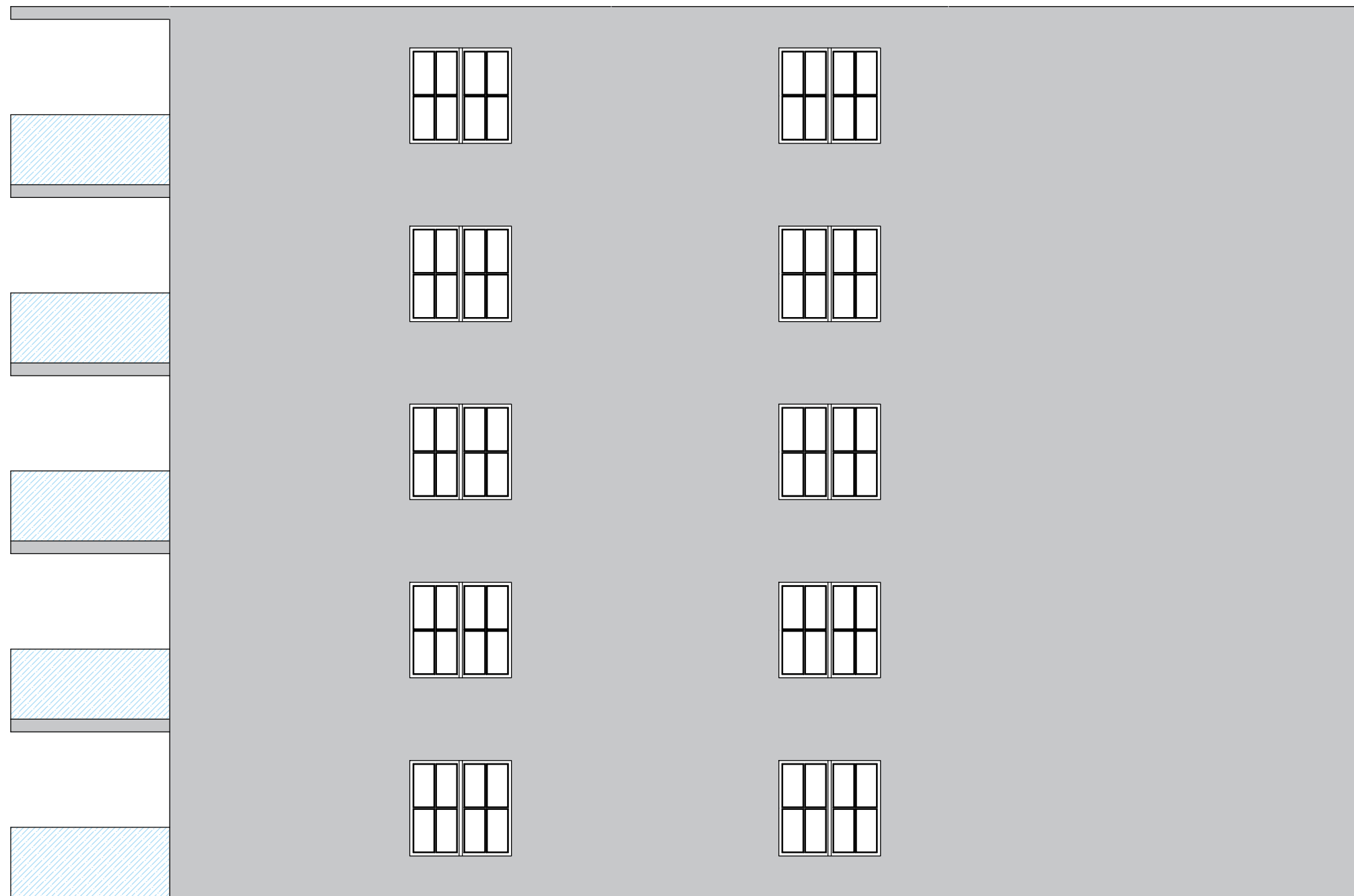
Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта:	Pogled na zgradu - južno pročelje
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:80
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 6

ISTOČNO PROČELJE



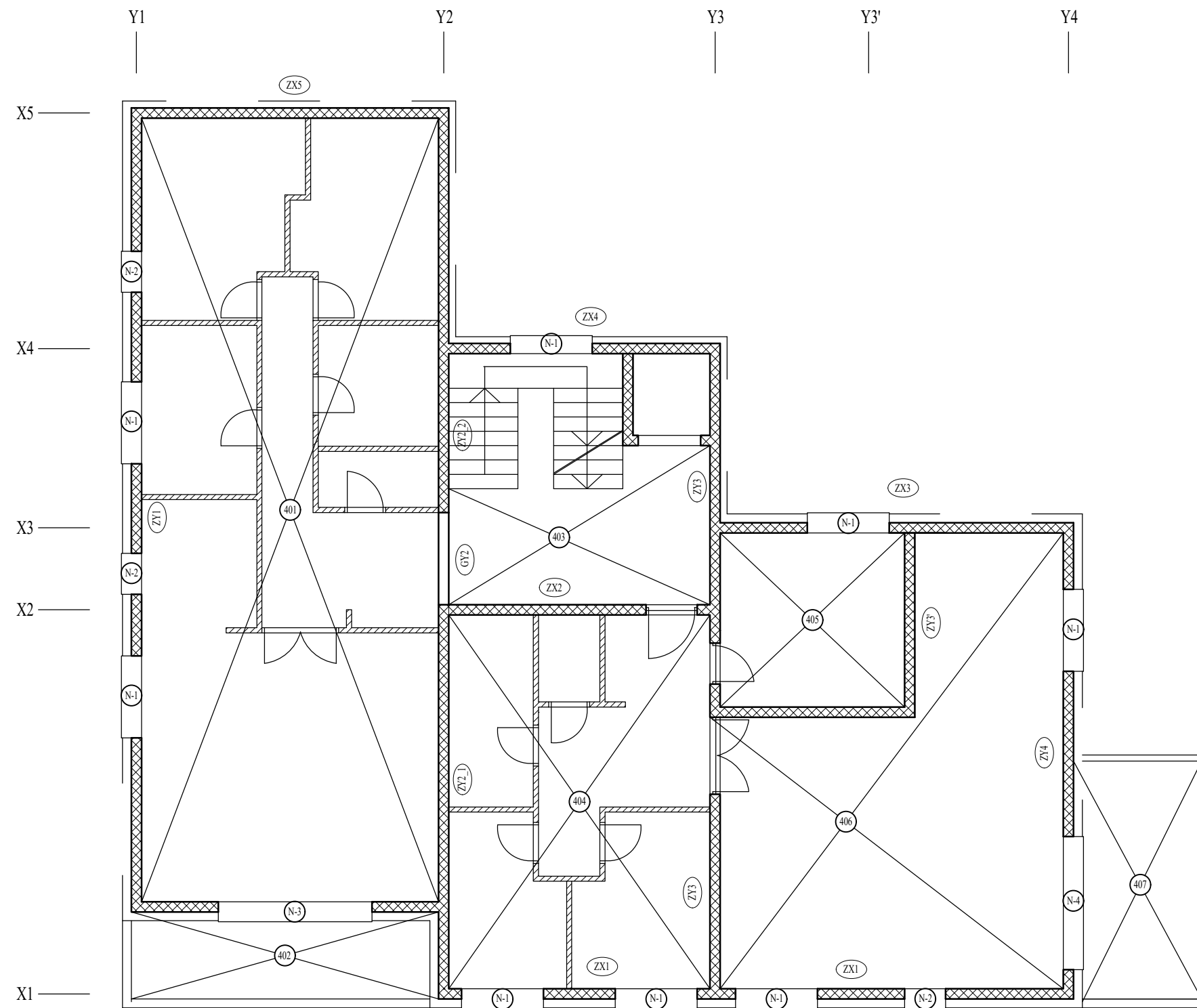
Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта:	Pogled na zgradu - istočno pročelje
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:80
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 7

SJEVERNO PROČELJE



Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта:	Pogled na zgradu - sjeverno pročelje
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:80
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 8

PLAN POZICIJA KARAKTERISTIČNOG KATA MJ 1:100

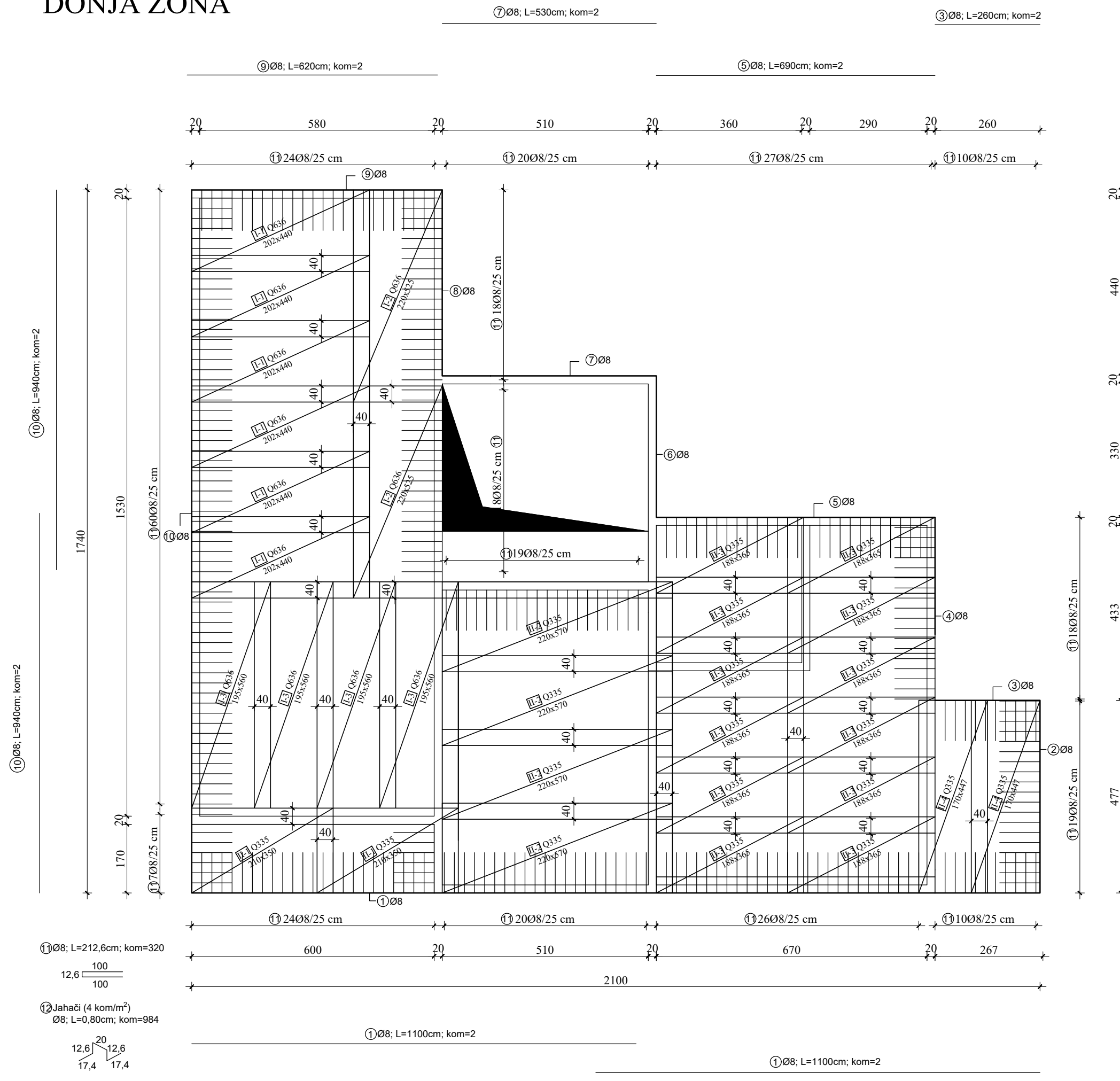


Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта: Plan pozicija karakterističnog kata	
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:100
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 9

DONJA ZONA

PLAN ARMATURE PLOČE KATA MJ 1:100

Beton: C35/45
 Čelik: B500B
 Zaštitni sloj: c = 2,0 cm



Iskaz armature ploče karakterističnog kata B500B (rebrasta)				
				Ukupna duljina (m)
Poz.	Ø	L (m)	kom	Ø 8
1	8	11,0	4	44,0
2	8	4,77	2	9,54
3	8	2,60	2	5,20
4	8	4,53	2	9,06
5	8	5,90	2	11,8
6	8	3,50	2	7,00
7	8	5,30	2	10,6
8	8	4,60	2	9,20
9	8	6,20	2	12,4
10	8	9,40	4	37,6
11	8	2,126	320	680,32
12	8	0,8	984	787,2
Ukupno (m)				1623,92
Masa (kg/m)				0,405
UKUPNO- po profilima (kg)				657,69
SVEUKUPNO (kg)				657,69

Iskaz armature ploče karakterističnog kata-DONJA ZONA B500B (Q-mreže)							
						Ukupna površina (m ²)	
Poz.	Tip	l (m)	b(m)	Površina(m ²)	kom	Q335	Q636
I-1	Q636	2,02	4,40	8,89	6		53,34
I-2	Q636	2,20	5,25	11,55	2		23,10
I-3	Q636	1,95	5,60	10,92	4		43,68
II-1	Q335	2,10	3,50	7,35	2	14,70	
II-2	Q335	2,20	5,70	12,54	4	50,16	
II-3	Q335	1,88	3,65	6,86	12	82,32	
II-4	Q335	1,70	4,47	7,60	2	15,20	
Ukupno (m)						162,44	120,12
Masa (kg/m)						5,45	10,08
UKUPNO- po profilima (kg)						885,30	1210,81
SVEUKUPNO (kg)						2096,11	

Sveučilište u Zagrebu
 GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Sadržaj nacrta: Plan armature ploče kata - donja zona

Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:100
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 11

⑩ Ø8; L=940cm; kom=2
 12,6 / 100 / 100

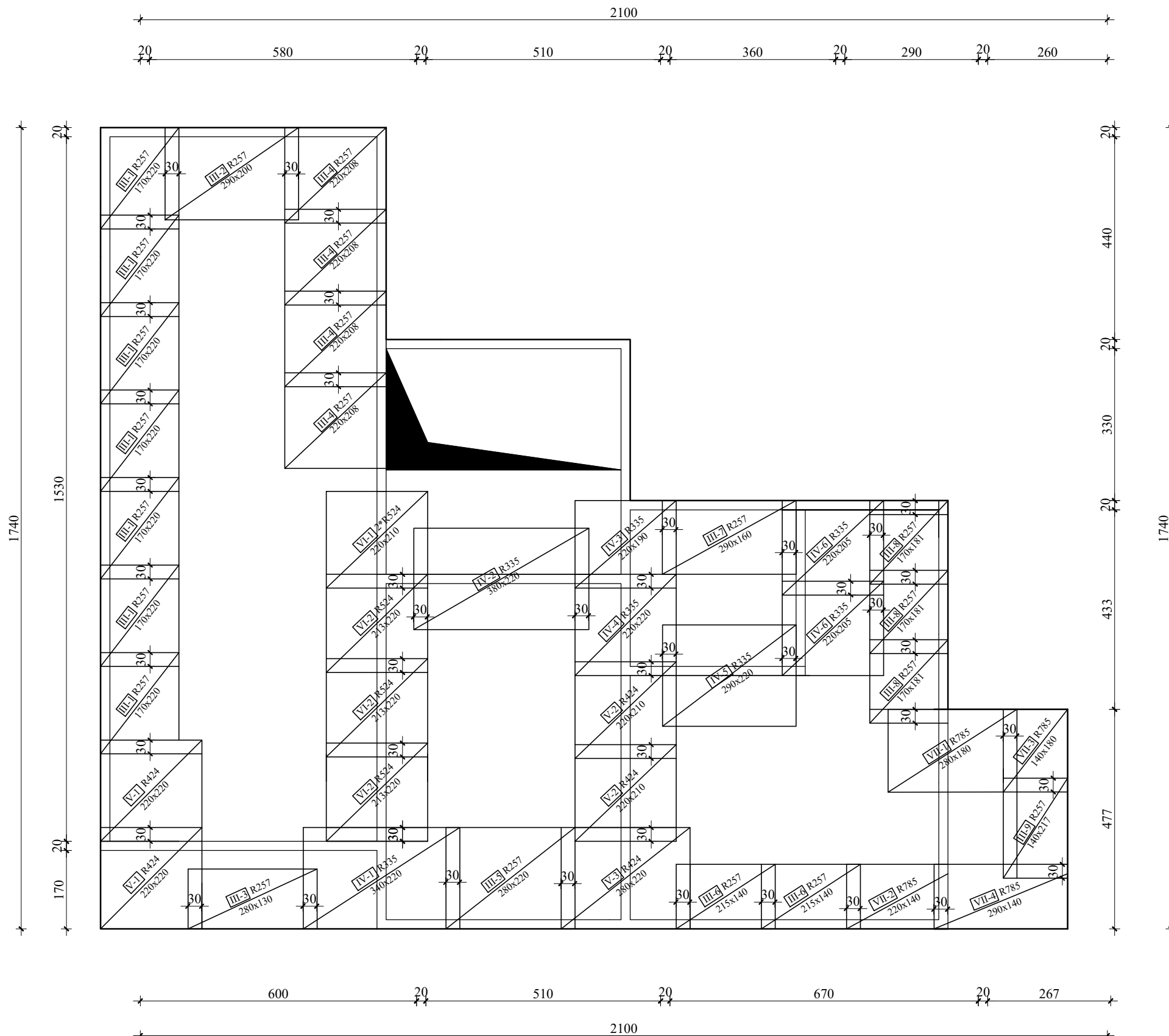
⑫ Jahači (4 kom/m²)
 Ø8; L=0,80cm; kom=984
 12,6 / 17,4 / 17,4

⑪ Ø8; L=212,6cm; kom=320
 600 / 20 / 510 / 20 / 670 / 20 / 267 / 20 / 2100

① Ø8; L=1100cm; kom=2

① Ø8; L=1100cm; kom=2

GORNJA ZONA



PLAN ARMATURE PLOČE KATA MJ 1:100

Beton: C35/45
 Čelik: B500B
 Zaštitni sloj: c = 2,0 cm

Iskaz armature ploče karakterističnog kata-DONJA ZONA
 B500B (R-mreže)

Poz.	Tip	l (m)	b(m)	Površina(m ²)	kom	Ukupna površina(m ²)				
						R257	R335	R424	R524	R785
III-1	R257	1,70	2,20	3,74	7	26,18				
III-2	R257	2,90	2,00	5,80	1	5,80				
III-3	R257	2,80	1,30	3,64	1	3,64				
III-4	R257	2,20	2,08	4,58	4	18,32				
III-5	R257	2,80	2,20	6,16	1	6,16				
III-6	R257	2,15	1,40	3,01	2	6,02				
III-7	R257	2,90	1,60	4,64	1	4,64				
III-8	R257	1,70	1,81	3,08	3	9,24				
III-9	R257	1,40	2,17	3,04	1	3,04				
IV-1	R335	3,40	2,20	7,48	1		7,48			
IV-2	R335	3,80	2,20	8,36	1		8,36			
IV-3	R335	2,20	1,90	4,18	1		4,18			
IV-4	R335	2,20	2,20	4,84	1		4,84			
IV-5	R335	2,90	2,20	6,38	1		6,38			
IV-6	R335	2,20	2,05	4,51	2		9,02			
V-1	R424	2,20	2,20	4,84	2			9,68		
V-2	R424	2,20	2,10	4,62	2			9,24		
V-3	R424	2,80	2,20	6,16	1			6,16		
VI-1	R524	2,20	2,10	4,62	2				9,24	
VI-2	R524	2,13	2,20	4,69	3				14,07	
VII-1	R785	2,80	1,80	5,04	1					5,04
VII-2	R785	2,20	1,40	3,08	1					3,08
VII-3	R785	1,40	1,80	2,52	1					2,52
VII-4	R785	2,90	1,40	4,06	1					4,06
Ukupno (m)						83,04	40,26	25,08	23,31	14,07
Masa (kg/m)						2,72	3,63	4,34	5,15	7,35
UKUPNO- po profilima (kg)						225,87	146,14	108,85	120,05	103,41
SVEUKUPNO (kg)						704,32				

Sveučilište u Zagrebu
 GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

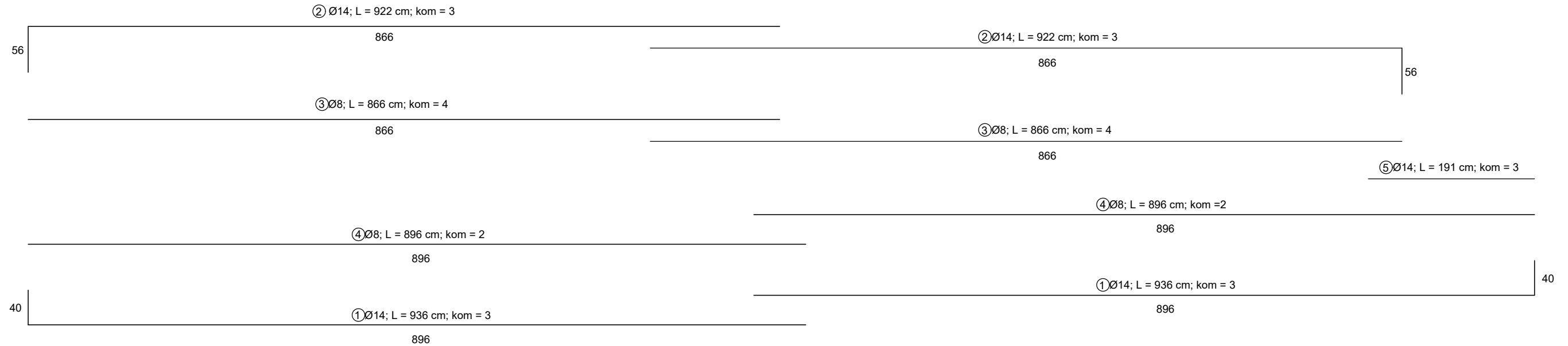
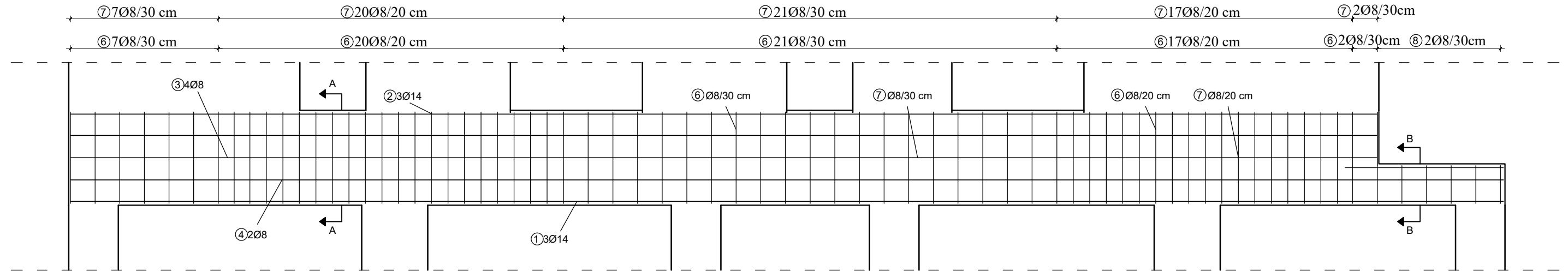
Sadržaj nacrt: Plan armature ploče kata - gornja zona

Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček Mjerilo: 1:100

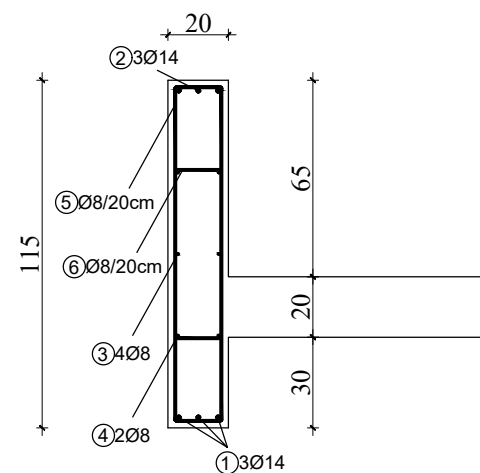
Datum: veljača 2024.

Petra Vuković List broj 12

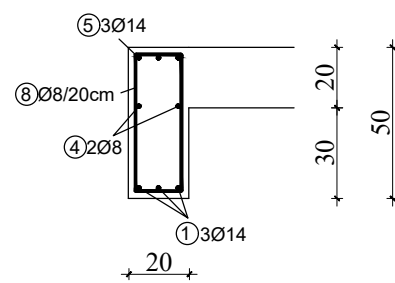
PLAN ARMATURE GREDE MJ 1:50



PRESJEK A-A MJ 1:25

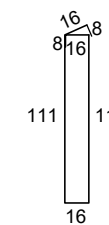


PRESJEK B-B MJ 1:25

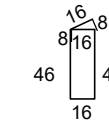


Iskaz armature grede poz. GY1					
B500B (rebrasta)					
Poz.	Ø	L (m)	kom	Ukupna duljina (m)	
				Ø 8	Ø 14
1	14	9,36	6		56,16
2	14	9,22	6		55,32
3	8	8,66	8	69,28	
4	8	8,96	4	35,84	
5	14	1,91	3		5,73
6	8	2,86	67	191,62	
7	8	1,76	67	117,92	
8	8	1,56	5	7,80	
Ukupno (m)				414,66	117,21
Masa (kg/m)				0,405	1,242
UKUPNO- po profilima (kg)				171,10	145,58
SVEUKUPNO (kg)				316,68	

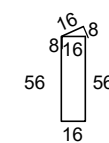
6 Ø8; L = 286 cm; kom = 67



8 Ø8; L = 156 cm; kom = 67



7 Ø8; L = 176 cm; kom = 67



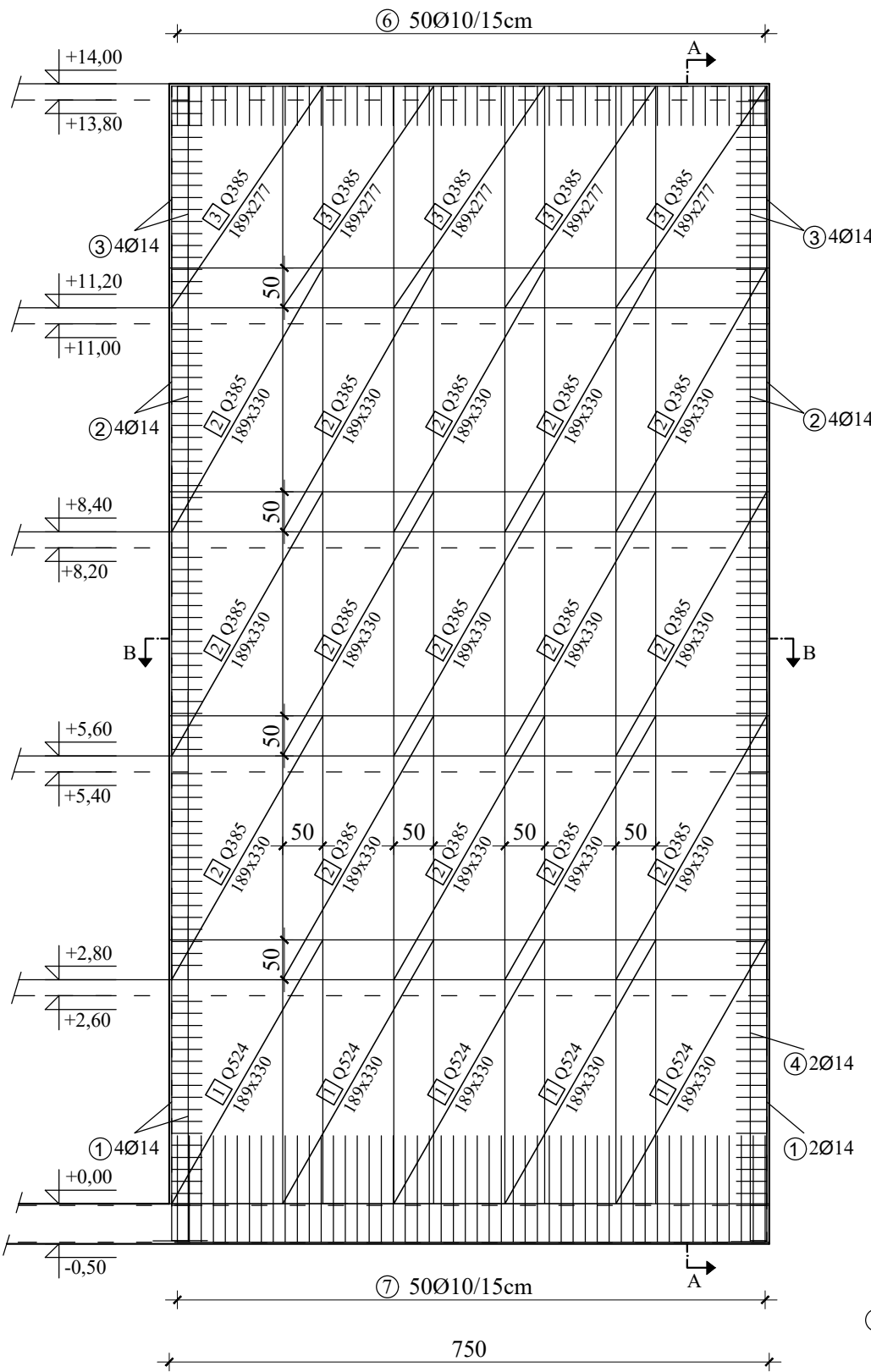
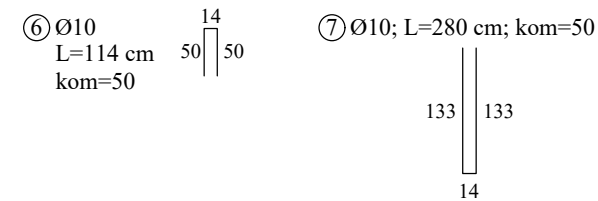
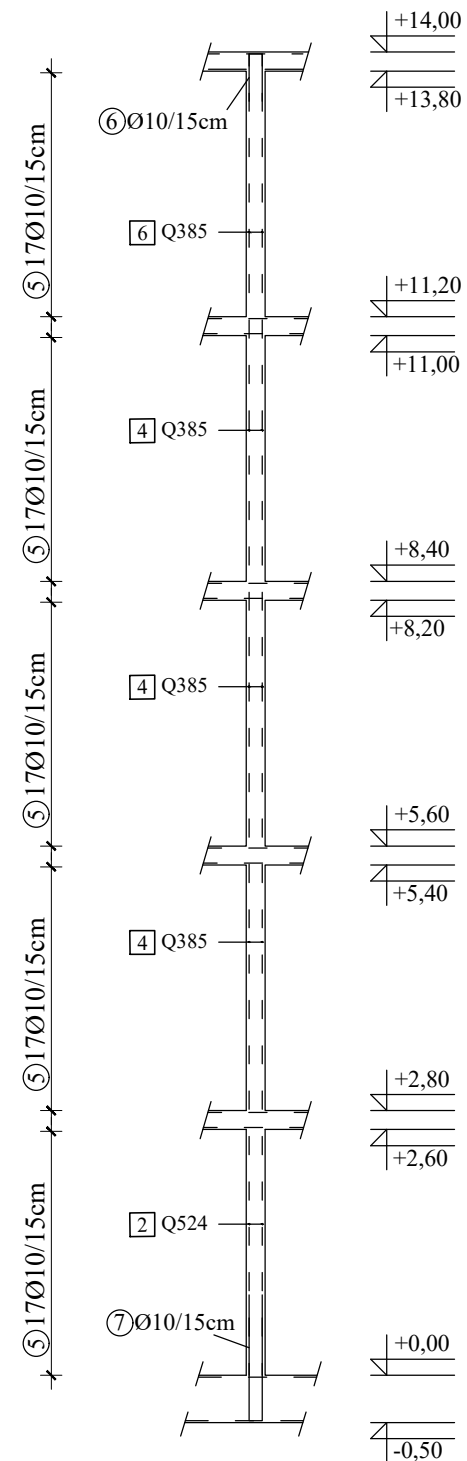
Beton: C35/45
Čelik: B500B
Zaštitni sloj: c = 2,0 cm

Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта:	Plan armature grede poz. GY1
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:50; 1:25
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 13

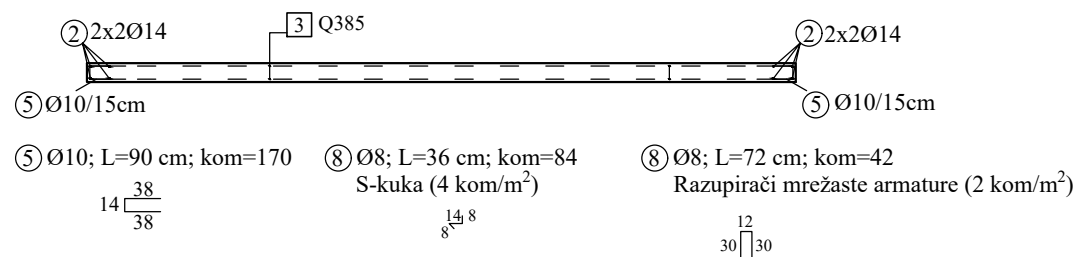
PLAN ARMATURE ZIDA POZ. GY2_1

Beton: C35/45
Čelik: B500B
Zaštitni sloj: c = 3,0 cm

PRESJEK A-A



PRESJEK B-B



Iskaz armature zida ZY2_1						
B500B (rebrasta)						
Poz.	Ø	L (m)	kom	Ukupna duljina (m)		
				Ø 8	Ø 10	Ø 14
1	14	4,50	6			27,0
2	14	3,60	24			86,4
3	14	2,77	8			22,16
4	14	4,26	2			8,52
5	10	0,90	170		153,0	
6	10	1,14	50		57,0	
7	10	2,80	50		140,0	
8	8	0,36	84	30,24		
9	8	0,72	42	30,24		
Ukupno (m)				60,48	350,0	144,08
Masa (kg/m)				0,405	0,634	1,242
UKUPNO- po profilima (kg)				24,5	221,9	178,95
SVEUKUPNO (kg)				425,35		

Iskaz armature zida ZY2_1							
B500B (Q-mreže)							
Poz.	Tip	l (m)	b(m)	Površina(m ²)	kom	Ukupna površina(m ²)	
						Q385	Q524
1	Q524	1,89	3,30	6,24	5		31,2
2	Q385	1,89	3,30	6,24	15	93,6	
3	Q385	1,89	2,77	5,24	5	26,2	
Ukupno (m)						119,8	31,20
Masa (kg/m)						6,10	8,40
UKUPNO- po profilima (kg)						730,78	262,08
SVEUKUPNO (kg)						992,86	

Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта:	Plan armature zida poz. GY2_1
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:80
Datum: veljača 2024.	
Petra Vuković	List broj 14