

Proračun armiranobetonske zgrade

Kozlek, Lucija

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:237:874971>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-18**

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET**



DIPLOMSKI RAD

Lucija Kozlek

Zagreb, veljača 2024.



TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta: **Lucija Kozlek**

JMBAG: **0082057553**

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. 2023.**

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**



PRORAČUN ARMIRANO BETONSKE ZGRADE

Diplomantica:	Lucija Kozlek
Mentor:	prof. dr. sc. Tomislav Kišiček
Komentor:	dr. sc. Tvrтко Renić

Zagreb, veljača 2024.

ZAHVALA

Najveće hvala mojoj majci Nadi i sestri Silviji koje su mi u svemu uvijek najveća podrška i oslonac. Hvala baki Nediljki koja je jedva čekala ovaj trenutak, a bila je od velike pomoći tokom cijelog mog studiranja jer me u stresnim trenucima uvijek razvedravala sa svojim šalama. Hvala prijateljima koji su uvijek tu za mene i na koje uvijek mogu računati. Hvala kolegama s posla što su mi također olakšali ovo izazovno razdoblje i šefu koji mi je više puta izašao u susret sa slobodnim danima.

Također se želim zahvaliti svome mentoru prof. dr. sc. Tomislavu Kišičeku na iskazanom povjerenju, vodstvu i razumijevanju. Veliko hvala i komentoru dr. sc. Tvrtku Reniću koji je uvijek ekspresno odgovarao na sve moje upite i bio od velike pomoći kad bih god zatrebala.

SAŽETAK

U diplomskom radu izrađen je statički proračun višestambene zgrade sastavljene od prizemlja, četiri etaža i ravnog krova. Građevina je izvedena kao okvirna konstrukcija s armiranobetonskom jezgrom oko stubišta te ispunjena zidom od opeke čija se krutost ne uzima u obzir. Proveden je statički proračun stubišta, ploča i okvira (greda i stupova). 3D model zgrade izrađen je kako bi se proveo seizmički proračun, a napravljen je unutar programskog paketa „SCIA Engineer“.

Ključne riječi: ploča, greda, okvir, stubište, plan armature, AB zgrada

ABSTRACT

In this diploma thesis the design of a multi-storey residential building is done. The building consists of a ground floor, four floors and a flat roof. The building is constructed as a frame structure with a reinforced concrete core around the staircase and filled with a masonry infill whose stiffness is not taken into account. Design of the staircase, slabs and frame (beams and columns) has been performed. A 3D model was created to conduct seismic analysis and made within the software package „SCIA Engineer“.

Keywords: slab, beam, frame, staircase, reinforcement layout, reinforced concrete building

SADRŽAJ

1	UVOD	3
2	TEHNIČKI OPIS	4
2.1	Općenito	4
2.2	Konstrukcija	4
2.3	Proračun	5
3	STATIČKI PRORAČUN STUBIŠTA	6
3.1	Stubišni krak	6
3.1.1	Analiza opterećenja	6
3.1.2	Statički proračun	8
3.1.3	Dimenzioniranje uzdužne armature	9
3.1.4	Dimenzioniranje poprečne armature	11
3.2	Podest	12
3.2.1	Analiza opterećenja	12
3.2.2	Statički proračun	13
3.2.3	Dimenzioniranje uzdužne armature	14
3.2.4	Dimenzioniranje poprečne armature	15
4	STATIČKI PRORAČUN PLOČE KARAKTERISTIČNOG KATA	16
4.1	Analiza opterećenja	16
4.2	Statički proračun	18
4.3	Dimenzioniranje armature	37
4.4	Proračun poprečne armature	53
5	PRORAČUN OKVIRA U OSI 6	56
5.1	Statički sustav	56
5.2	Unutarnje sile u gredi pozicije 201	57
5.3	Unutarnje sile u gredi pozicije 202	58
5.4	Unutarnje sile u stupu 22	59
5.5	Unutarnje sile u stupu 32	60
5.6	Dimenzioniranje okvira u osi 6	61
5.6.1	Zahtijevana duktilnost	61
5.6.2	Najveći dopušteni promjer	62
5.7	Greda 201 – presjek u polju	63
5.7.1	Poprečni presjek grede	63
5.7.2	Dimenzioniranje	64
5.7.3	Minimalna armatura	65
5.8	Greda 201 – presjek nad osloncem (lijevi rub)	66

5.8.1	Dimenzioniranje	66
5.8.2	Maksimalna armatura	68
5.9	Greda 201 – presjek nad osloncem uz stupove 22 i 32 (desni rub).....	69
5.9.1	Dimenzioniranje	69
5.9.2	Maksimalna armatura	71
5.10	Nosivost grede 201 na poprečnu silu	72
5.10.1	Nosivost grede 201 na negativni moment savijanja na lijevom rubu	74
5.10.2	Nosivost grede 201 na pozitivni moment savijanja na lijevom rubu	74
5.10.3	Nosivost grede 201 na negativni moment savijanja na desnom rubu	75
5.10.4	Nosivost grede 201 na pozitivni moment savijanja na desnom rubu	75
5.10.5	Proračunske poprečne sile u gredi 201	76
5.10.6	Poprečna armatura grede	78
5.10.7	Maksimalni razmak spona.....	78
5.11	Uzdužna armatura stupova	79
5.11.1	Minimalna uzdužna armatura	80
5.11.2	Nosivost na savijanje.....	80
5.11.3	Spoj greda 201 i 202 sa stupovima 22 i 32 – desni oslonac grede 201	80
5.11.4	Nosivost grede 202 na negativni moment savijanja na lijevom rubu	81
5.11.5	Nosivost grede 202 na pozitivni moment savijanja na lijevom rubu	82
5.11.6	Prvi smjer djelovanja potresa	83
5.11.7	Drugi smjer djelovanja potresa	84
5.11.8	Spoj greda 201 i 202 sa stupovima 22 i 32 – desni oslonac grede 201	85
5.11.9	Prvi smjer djelovanja potresa	85
5.11.10	Drugi smjer djelovanja potresa	86
5.12	Rekapitulacija odabrane armature	86
6	SEIZMIČKI PRORAČUN 3D MODELA ZGRADE.....	87
6.1	Zadavanje modela	87
6.2	Opterećenja za seizmički proračun.....	90
6.2.1	Zadavanje masa	93
6.3	Višemodalna spektralna analiza	96
6.3.1	Modalna analiza	96
6.3.2	Spektralna analiza	101
7	ZAKLJUČAK	103
8	LITERATURA.....	104
9	POPIS SLIKA	105
10	POPIS TABLICA.....	108
11	GRAFIČKI PRILOZI.....	109

1 UVOD

U ovom je radu analizirana armiranobetonska okvirna konstrukcija s ispunskim zidom. Glavni elementi takve konstrukcije čine stupovi i grede povezani na način da se sva opterećenja preuzmu upravo okvirom koji međusobno zatvaraju. U odnosu na omeđeno zide, razlikuju se prema načinu izvedbe. Kod okvira se najprije izvede nosiva konstrukcija (stupovi i grede), a potom se ispuni zidom. Kod izvedbe omeđenog zida, prvo se izvedu zidovi te se ostavljaju prazni prostori s armaturom koji će se naknadno zapuniti betonom i povezati sustav s vertikalnim i horizontalnim serklažima u cjelinu. [1-2] Iako postoje studije u kojima je pokazano kako ispunsko zide doprinosi krutosti na seizmičko djelovanje [3], zbog složenosti se to u ovom primjeru neće razmatrati. Zadatkom je definirano da ispunsko zide ne preuzima horizontalna ni vertikalna opterećenja (osim vlastite težine).

U radu su izvršeni proračuni stubišta, ploče karakterističnog kata i okvira u osi 6, pridržavajući se pritom važećih normi EN 1992-1-1 i EN 1998-1. Napravljen je i proračun na seizmičko djelovanje pomoću 3D modela izrađenog u računalnom softveru „SCIA Engineer“. Na kraju su priloženi nacrti zgrade i plana armature.

2 TEHNIČKI OPIS

2.1 Općenito

Napravljen je statički proračun i dimenzioniranje višestambene zgrade u Zagrebu. Građevina je ukupnih tlocrtnih dimenzija $45,20 \times 19,20$ m s izlomljenim gabaritima. Građevina se sastoji od prizemlja, 1. kata, 2. kata, 3. kata i 4. kata. Tlocrtna površina svih etaža je jednaka i iznosi bruto 868 m^2 . Svaka etaža sadrži tri trosobna stana, osam dvosobnih stanova i tri garsonijere.

2.2 Konstrukcija

Zgrada je temeljena na trakastim temeljima dimenzija poprečnih presjeka 70×80 cm i 50×80 cm. Međukatna konstrukcija i stubišta izvedeni su kao monolitne armiranobetonske ploče debljine 20 cm. Zidovi višestambene zgrade izvedeni su od „Protherm 20–50 Profi” opeke debljine 20 i 38 cm, a kod armiranobetonskih zidova dizala (jezgre) debljine 20 cm. Zapreminska težina opeke iznosi $6,10 \text{ kN/m}^3$. Preostale karakteristike potrebne za proračun preuzete su iz tehničkog lista Wienerberger. Tlačna čvrstoća zidnih elemenata iznosi $7,5 \text{ N/mm}^2$, a tlačna čvrstoća tankoslojnog morta $4,10 \text{ N/mm}^2$.

Zidana nosiva konstrukcija ukružena je horizontalnim i vertikalnim armiranobetonskim serklažima te nadvojima armiranima prema proračunu. Pregradni zidovi izvedeni su od pregradne blok opeke debljine 12 cm.

Krov je izveden kao ravan i neprohodan.

Svi vanjski zidovi obrađeni su toplinskom zaštitom i površinskom obradom fasade. Za prirodno osvjetljenje i ventilaciju predviđeni su fasadni plastificirani aluminijski prozori s prekinutim toplinskim mostom i vanjskim roletama kao zaštitom od sunca. Sve prostorije su predviđene s prirodnom ventilacijom osim nekih wc-a u kojima je predviđena umjetna ventilacija.

2.3 Proračun

Statički proračun i dimenzioniranje elemenata sklopa proveden je za sljedeća djelovanja:

- vlastita težina
- dodatno stalno
- korisno opterećenje
- potres

Svi elementi dimenzionirani su prema propisima:

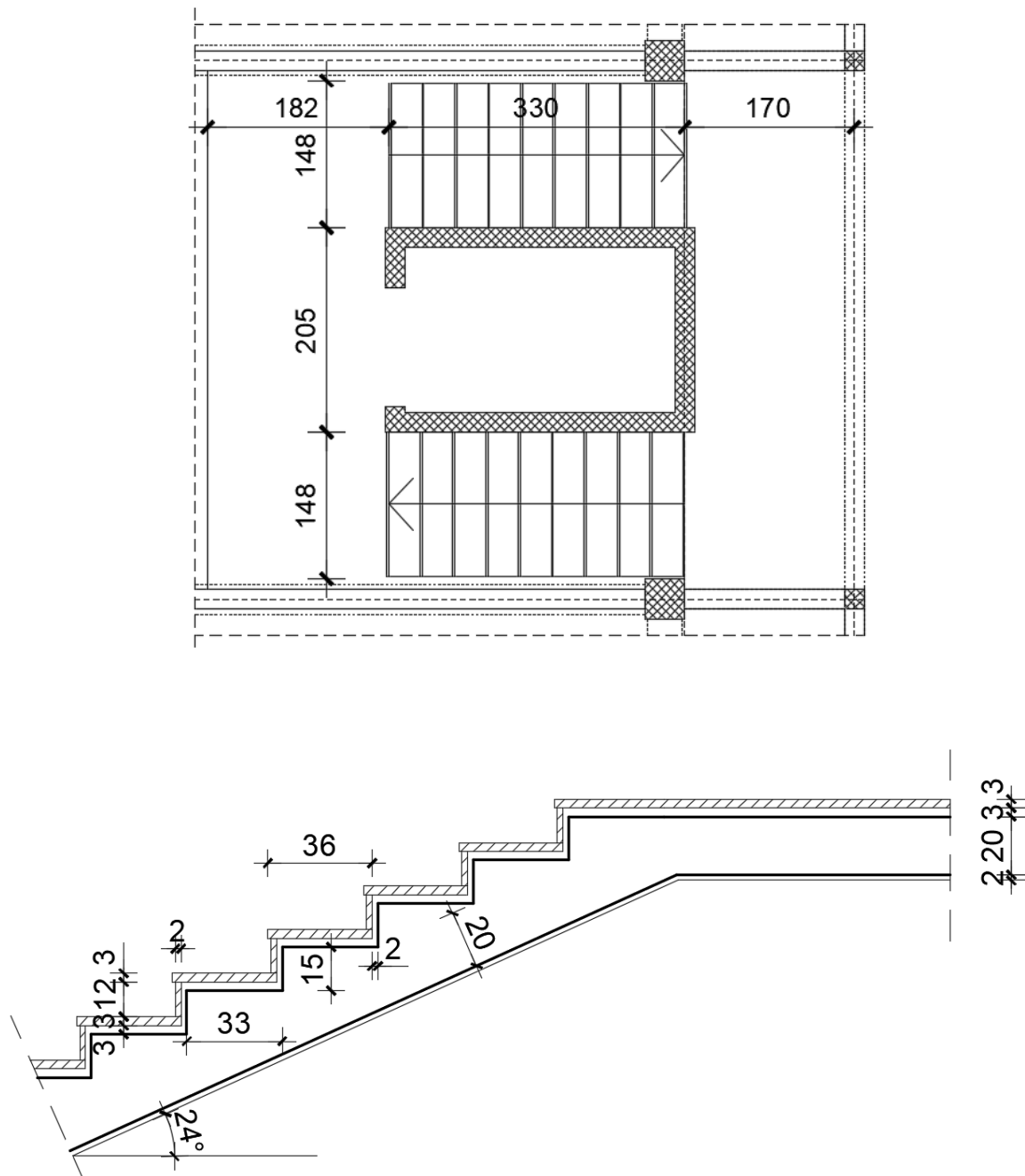
- EN 1992-1-1
- EN 1998-1

Odabrana je kakvoća betona svih AB elemenata C30/37, a odabrana armatura je B500B.

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:

Parket na nagaznoj površini:	$d_p \cdot \frac{a_n}{a} \cdot \gamma_p = 0,03 \cdot \frac{0,36}{0,33} \cdot 6,5 = \dots\dots\dots 0,21 \text{ kN/m}^2$
Parket vertikalne gazišta:	$d_p \cdot \frac{b_v}{a} \cdot \gamma_p = 0,02 \cdot \frac{0,12}{0,33} \cdot 6,5 = \dots\dots\dots 0,05 \text{ kN/m}^2$
Estrih na nagaznoj površini stuba:	$d_M \cdot \gamma_M = 0,03 \cdot 21 = \dots\dots\dots 0,63 \text{ kN/m}^2$
Žbuka vertikalne gazišta:	$d_M \cdot \frac{b}{a} \cdot \gamma_M = 0,03 \cdot \frac{0,15}{0,33} \cdot 21 = \dots\dots\dots 0,29 \text{ kN/m}^2$
Stuba:	$\frac{b}{2} \cdot \gamma = \frac{0,15}{2} \cdot 25 = \dots\dots\dots 1,88 \text{ kN/m}^2$
AB ploča 20 cm:	$\frac{h \cdot \gamma}{\cos \alpha} = \frac{0,20 \cdot 25}{\cos 24^\circ} = \dots\dots\dots 5,47 \text{ kN/m}^2$
Žbuka – podgled:	$\frac{d \cdot \gamma_M}{\cos \alpha} = \frac{0,02 \cdot 18}{\cos 24^\circ} = \dots\dots\dots 0,39 \text{ kN/m}^2$

Ukupno stalno..... $g_k = 8,92 \text{ kN/m}^2$

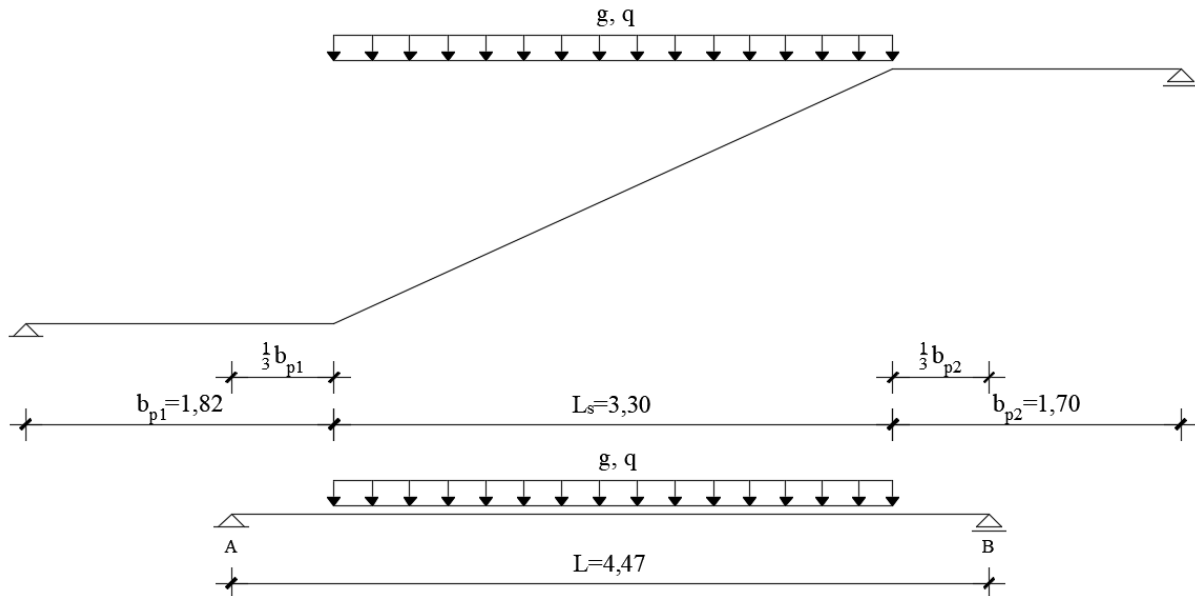
Korisno opterećenje:

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

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

3.1.2 Statički proračun

3.1.2.1 Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila



Slika 2. Statička shema opterećenja stubišta

Karakteristične vrijednosti reakcija i poprečnih sila nad ležajem A:

$$R_k^g = V_k^g = \frac{g_k \cdot L_s \cdot \left(\frac{L_s}{2} + \frac{b_{p2}}{3} \right)}{L} = \frac{8,92 \cdot 3,30 \cdot \left(\frac{3,30}{2} + \frac{1,70}{3} \right)}{4,47} = 14,60 \text{ kN/m}$$

$$R_k^q = V_k^q = \frac{q_k \cdot L_s \cdot \left(\frac{L_s}{2} + \frac{b_{p2}}{3} \right)}{L} = \frac{3,0 \cdot 3,30 \cdot \left(\frac{3,30}{2} + \frac{1,70}{3} \right)}{4,47} = 4,91 \text{ kN/m}$$

Položaj maksimalnog momenta savijanja u polju (mjesto gdje je poprečna sila jednaka nuli):

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

$x = \frac{V_k^g}{g} = \frac{14,60}{8,92} = 1,64 \text{ m} \rightarrow$ s obzirom na to da su stalno i korisno opterećenje na istom mjestu na nosaču, položaj je proračunat za stalno opterećenje – isti rezultat bi se dobio za korisno i za proračunsko opterećenje.

Udaljenost maksimalnog momenta savijanja od ležaja A: $x' = \frac{b_{p1}}{3} + x = \frac{1,82}{3} + 1,64 = 2,25 \text{ m}$

Karakteristične vrijednosti momenata savijanja u polju:

$$M_k^g = R_k^g \cdot x' - \frac{g_k \cdot x^2}{2} = 14,60 \cdot 2,25 - \frac{8,92 \cdot 1,64^2}{2} = 20,85 \text{ kNm/m}$$

$$M_k^q = R_k^q \cdot x' - \frac{q_k \cdot x^2}{2} = 4,91 \cdot 2,25 - \frac{3,00 \cdot 1,64^2}{2} = 7,01 \text{ kNm/m}$$

3.1.2.2 Proračunske vrijednosti momenta savijanja i poprečne sile

Proračunska poprečna sila nad ležajem A:

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot V_k^g + 1,50 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot 14,60 + 1,5 \cdot 4,91 = 27,08 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja u polju:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_k^g + 1,50 \cdot M_k^q = 1,35 \cdot 20,85 + 1,5 \cdot 7,01 = 38,66 \text{ kNm/m}$$

3.1.3 Dimenzioniranje uzdužne armature

Materijal:

Beton: C30/37
($Cf_{ck}/f_{ck,cube}$ valjak/kocka)

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na tlačnu čvrstoću (preporučeno 1,0)

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20,00 \text{ N/mm}^2 = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

Čelik: B500B
($f_{yk}/f_{tk} = 500/540$)

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika

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

Visina ploče stubišta: $h = 20 \text{ cm}$

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: $d = h - d_1 = 20 - 2,5 = 17,5 \text{ cm}$

Glavna armatura:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3866}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,063 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,063$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -2,1 \text{ ‰} & \xi &= 0,095 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,964 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3866}{0,964 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 5,27 \text{ cm}^2/m$$

Razdjelna armatura:

$$A_{s1,raz} = 0,2 \cdot A_{s1,prov} = 0,2 \cdot 5,42 = 1,08 \text{ cm}^2/m$$

Minimalna armatura za polje:

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

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 17,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 2,64 \text{ cm}^2/m \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Maksimalna armatura za polje:

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100 \cdot 20 = 80,0 \text{ cm}^2/m$$

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 17,5 \cdot \frac{20,0}{434,78} = 29,38 \text{ cm}^2/m \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Odabrana armatura veća je od zahtijevane i nalazi se u području između minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} < A_{s1,prov} < A_{s1,max}$$

Glavna armatura:

ODABRANO: $\phi 10/14,5 \text{ cm } (A_{s1,prov} = 5,42 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 5,27 \text{ cm}^2/m$

Razdjelna armatura:

ODABRANO: $\phi 8/19 \text{ cm } (A_{s1,prov} = 2,65 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,raz,req} = 1,05 \text{ cm}^2/m$

Napomena: Proračunatom armaturom za polje armira se i dio podesta na čiji se rub oslanja krak stubišta.

3.1.4 Dimenzioniranje poprečne armature

– nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d$$
$$C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$
$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{175}} = 2,07 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$
$$A_{s1,prov} = 5,42 \text{ cm}^2$$
$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{5,42}{100 \cdot 17,5} = 0,00310 < 0,02$$
$$k_1 = 0,15$$
$$\sigma_{cp} = 0$$
$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00310 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 1000 \cdot 175 = 88296,5 \text{ N}$$
$$V_{Rd,c} = 88,30 \text{ kN}$$

– minimalna vrijednost za $V_{Rd,c}$ je:

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,542$$
$$V_{Rd,c,\min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0) \cdot 1000 \cdot 175 = 94850 \text{ N} = 94,85 \text{ kN}$$

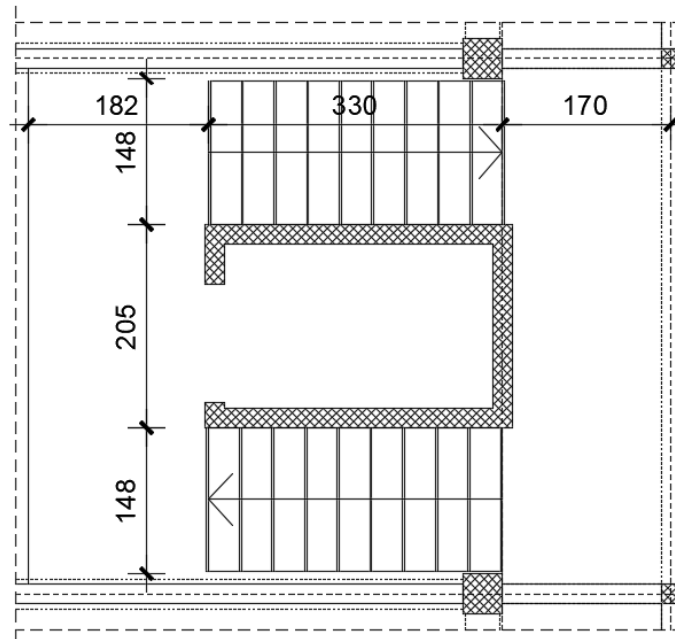
– provjera:

$$V_{Ed} = 27,08 \text{ kN} \leq V_{Rd,c} = 94,85 \text{ kN} \rightarrow \text{nije potrebno proračunati poprečnu armaturu}$$

3.2 Podest

3.2.1 Analiza opterećenja

Provjerava se samo srednji dio podesta koji se pruža uz zidove dizala na duljini 205 cm. Plošna opterećenja po ploči podesta svedena su na linijska tako što se razmatra element širine 1 m.



Slika 3. Tlocrt 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: $d_M \cdot \gamma_M = 0,03 \cdot 21 = \dots\dots\dots 0,63 \text{ kN/m}^2$

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

AB ploča 20 cm: $h \cdot \gamma = 0,20 \cdot 25 = \dots\dots\dots 5,00 \text{ kN/m}^2$

Ukupno stalno..... $g'_k = 6,19 \text{ kN/m}^2$

Ukupno stalno po 1m'..... $g_k = 6,19 \text{ kN/m}$

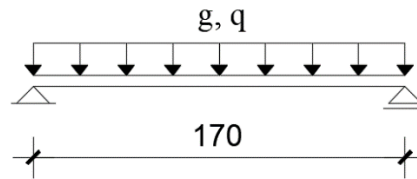
Korisno opterećenje:

Uporabno opterećenje dijela podesta..... $3,00 \text{ kN/m}^2$

Ukupno korisno..... $q'_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$

Ukupno korisno po 1m'..... $q_k = 3,00 \text{ kN/m}$

3.2.2 Statički proračun



Slika 4. Statička shema opterećenja dijela podesta

3.2.2.1 Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila

Karakteristične vrijednosti reakcija i poprečnih sila nad ležajem:

$$R_k^g = V_k^g = \frac{g_k \cdot L}{2} = \frac{6,19 \cdot 1,70}{2} = 5,26 \text{ kN/m}$$
$$R_k^q = V_k^q = \frac{q_k \cdot L}{2} = \frac{3,0 \cdot 1,70}{2} = 2,55 \text{ kN/m}$$

Karakteristične vrijednosti momenata savijanja u polju:

$$M_k^g = \frac{g_k \cdot L^2}{8} = \frac{6,19 \cdot 1,70^2}{8} = 2,24 \text{ kNm/m}$$
$$M_k^q = \frac{q_k \cdot L^2}{8} = \frac{3,0 \cdot 1,70^2}{8} = 1,08 \text{ kNm/m}$$

3.2.2.2 Proračunske vrijednosti momenta savijanja i poprečne sile

Proračunska poprečna sila nad ležajem:

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot V_k^g + 1,50 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot 5,26 + 1,5 \cdot 2,55 = 10,93 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja u polju:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_k^g + 1,50 \cdot M_k^q = 1,35 \cdot 2,24 + 1,5 \cdot 1,08 = 4,64 \text{ kNm/m}$$

3.2.3 Dimenzioniranje uzdužne armature

Materijal:

Beton: C30/37
($Cf_{ck}/f_{ck,cube}$ valjak/kocka)

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na tlačnu čvrstoću (preporučeno 1,0)

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20,00 \text{ N/mm}^2 = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

Čelik: B500B
($f_{yk}/f_{tk} = 500/540$)

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika

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

Visina ploče stubišta: $h = 20 \text{ cm}$

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

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

Statička visina presjeka polja podesta: $d = h - d_1 = 20 - 2,6 = 17,4 \text{ cm}$

POLJE

Glavna armatura:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{464}{100 \cdot 17,4^2 \cdot 2,0} = 0,0077 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,008$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,6 \text{ ‰} & \xi &= 0,029 \\ \varepsilon_{s1} &= 3,5 \text{ ‰} & \zeta &= 0,990 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{464}{0,990 \cdot 17,4 \cdot 43,478} = 0,62 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura za polje:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 17,4 = 2,26 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 17,4 \cdot \frac{2,9}{500} = 2,62 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \underline{\text{mjerodavno}}$$

Maksimalna armature za polje:

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100 \cdot 20 = 80,0 \text{ cm}^2/m$$

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 17,4 \cdot \frac{20,0}{434,78} = 29,21 \text{ cm}^2/m \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Odabrana armatura veća je od zahtijevane i nalazi se u području između minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} < A_{s1,prov} < A_{s1,max}$$

Glavna armatura:

ODABRANO: $\phi 12/25 \text{ cm } (A_{s1,prov} = 4,52 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 2,62 \text{ cm}^2/m$

3.2.4 Dimenzioniranje poprečne armature

– nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{174}} = 2,07 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$A_{s1,prov} = 4,52 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{4,52}{100 \cdot 17,4} = 0,00260 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

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

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00260 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 1000 \cdot 174 = 82818 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 82,82 \text{ kN}$$

– minimalna vrijednost za $V_{Rd,c}$ je:

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

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0) \cdot 1000 \cdot 174 = 94308 \text{ N} = 94,31 \text{ kN}$$

– nosivost:

$$V_{Ed} = 10,93 \text{ kN} \leq V_{Rd,c} = 94,31 \text{ kN} \rightarrow \text{nije potrebno proračunati poprečnu armaturu}$$

4 STATIČKI PRORAČUN PLOČE KARAKTERISTIČNOG KATA

4.1 Analiza opterećenja

Statički proračun za stalno i korisno opterećenje proveden je u računalnom programu "SCIA Engineer". Vlastita težina uračunata je unutar samog programa, dok se za izračun dodatnog stalnog opterećenja zbraja opterećenje od slojeva poda i pregradnih zidova. Slojevi poda nisu točno definirani pa je uzet iznos kojim se zadovoljava strana sigurnosti.

U dodatno stalno uvrštava se i linijsko opterećenje od ispunskog ziđa Porotherm 20-50 Profi gdje je posebno izračunato opterećenje vanjskih i unutarnjih zidova te dijelova na kojima se nalazi parapet. Opterećenje od stubišta izračunato je kao reakcija kraka stubišta na podest, a veže se na proračun iz točke 3.

Dodatno stalno opterećenje:

Slojevi poda	3,00 kN/m ²
Pregradni zidovi	0,50 kN/m ²

Ukupno dodatno stalno..... $g_k = 3,50 \text{ kN/m}^2$

Opterećenje od ispunskog ziđa:

- fasada: $g_f = 150 \text{ kg/m}^2 = 1,50 \text{ kN/m}^2$
- unutarnja žbuka ($d_z = 2 \text{ cm}$): $\gamma_z = 1500 \text{ kg/m}^3 = 15 \text{ kN/m}^3$
- ziđe od opeke: $\gamma_z = 6,10 \text{ kN/m}^3$

Vanjski zid $d_1 = 38 \text{ cm}$

$$g_{38}^V = g_f \cdot h_e + \gamma_z \cdot (d_1 \cdot h_z) + \gamma_z \cdot (d_z \cdot h_z)$$

$$g_{38}^V = 1,50 \cdot 3,00 + 6,10 \cdot (0,38 \cdot 2,80) + 15 \cdot (0,02 \cdot 2,80) = 11,84 \text{ kN/m}$$

Vanjski parapet $d_1 = 38 \text{ cm}$

$$g_{38,p}^V = g_f \cdot h_p + \gamma_{z,p} \cdot (d_1 \cdot h_p) + \gamma_z \cdot (d_z \cdot h_p)$$

$$g_{38,p}^V = 1,50 \cdot 1,40 + 6,10 \cdot (0,38 \cdot 1,40) + 15 \cdot (0,02 \cdot 1,40) = 5,77 \text{ kN/m}$$

Vanjski zid $d_2 = 20 \text{ cm}$

$$g_{20}^V = g_f \cdot h_e + \gamma_z \cdot (d_2 \cdot h_z) + \gamma_{\dot{z}} \cdot (d_{\dot{z}} \cdot h_{\dot{z}})$$

$$g_{20}^V = 1,50 \cdot 3,00 + 6,10 \cdot (0,20 \cdot 2,80) + 15 \cdot (0,02 \cdot 2,80) = 8,76 \text{ kN/m}$$

Unutarnji zid $d_2 = 20 \text{ cm}$

$$g_{20}^U = \gamma_z \cdot (d_2 \cdot h_z) + 2 \cdot \gamma_{\dot{z}} \cdot (d_{\dot{z}} \cdot h_{\dot{z}})$$

$$g_{20}^U = 6,10 \cdot (0,20 \cdot 2,80) + 2 \cdot 15 \cdot (0,02 \cdot 2,80) = 5,10 \text{ kN/m}$$

Opterećenje od stubišta:

$$g_{\text{stubište}} = R_k^g = \frac{g_k \cdot L_S \cdot \left(\frac{L_S}{2} + \frac{b_{p1}}{3} \right)}{L} = \frac{8,92 \cdot 3,30 \cdot \left(\frac{3,30}{2} + \frac{1,82}{3} \right)}{4,47} = 14,86 \text{ kN/m}$$

Korisno opterećenje:

Uporabno opterećenje za uobičajene stambene prostorije..... $2,00 \text{ kN/m}^2$

Uporabno opterećenje hodnika (dijela podesta)..... $3,00 \text{ kN/m}^2$

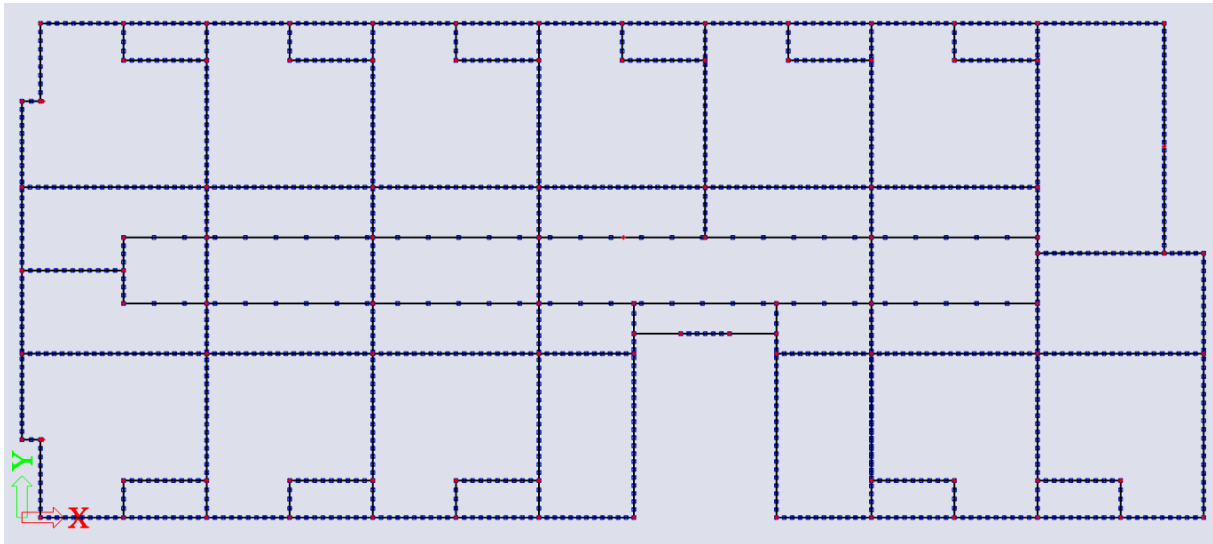
Uporabno opterećenje terase..... $4,00 \text{ kN/m}^2$

Uporabno opterećenje stubišta:

$$q_{\text{stubište}} = R_k^q = \frac{q_k \cdot L_S \cdot \left(\frac{L_S}{2} + \frac{b_{p1}}{3} \right)}{L} = \frac{3,0 \cdot 3,30 \cdot \left(\frac{3,30}{2} + \frac{1,82}{3} \right)}{4,47} = 5,00 \text{ kN/m}$$

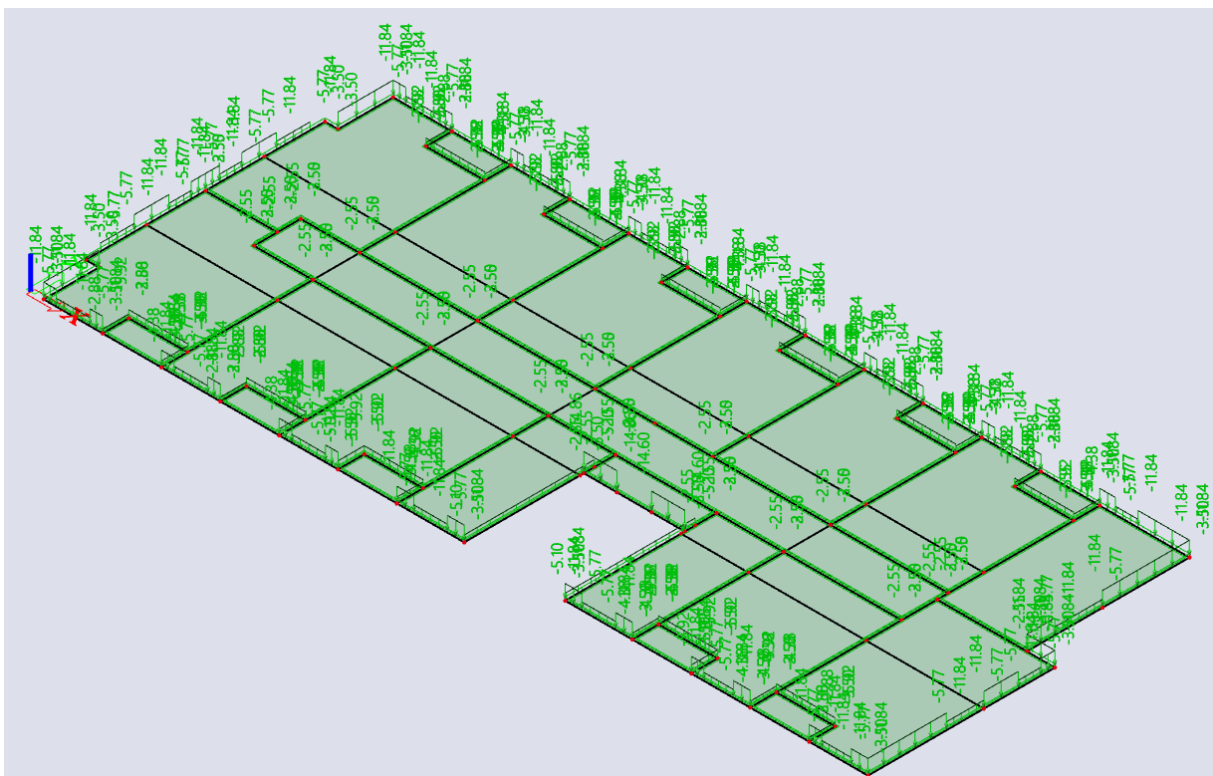
4.2 Statički proračun

Statički proračun za stalno i korisno opterećenje proveden je u računalnom program “SCIA Engineer”. Utjecaji u ploči prikazani su tablično i dijagramima.



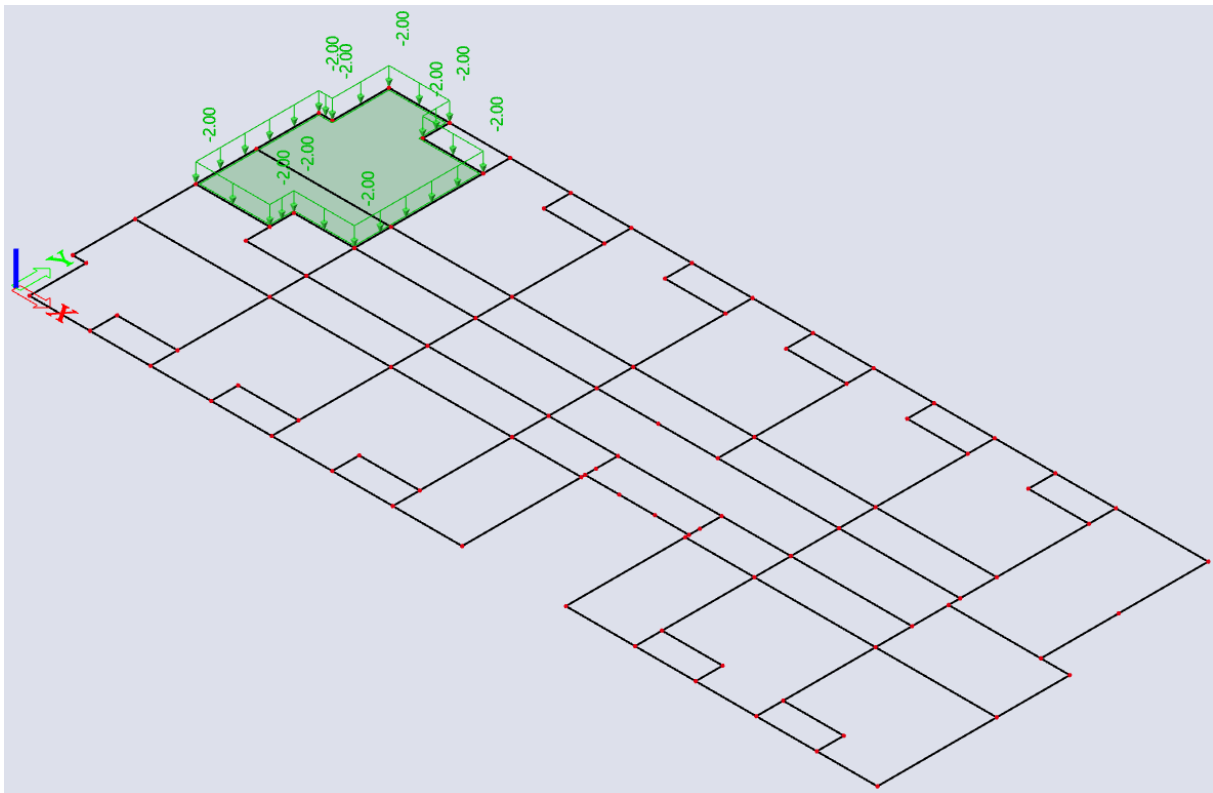
Slika 5. Prikaz modela ploče

Schema dodatnog stalnog opterećenja:

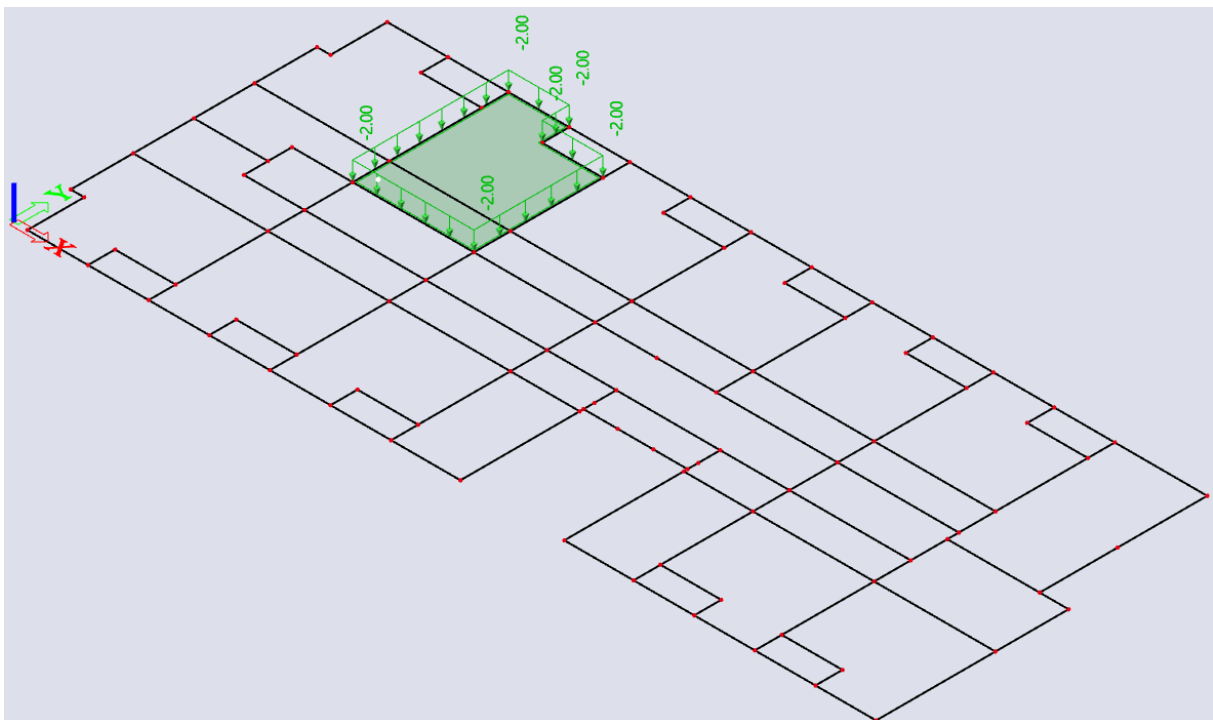


Slika 6. Shema dodatnog stalnog opterećenja

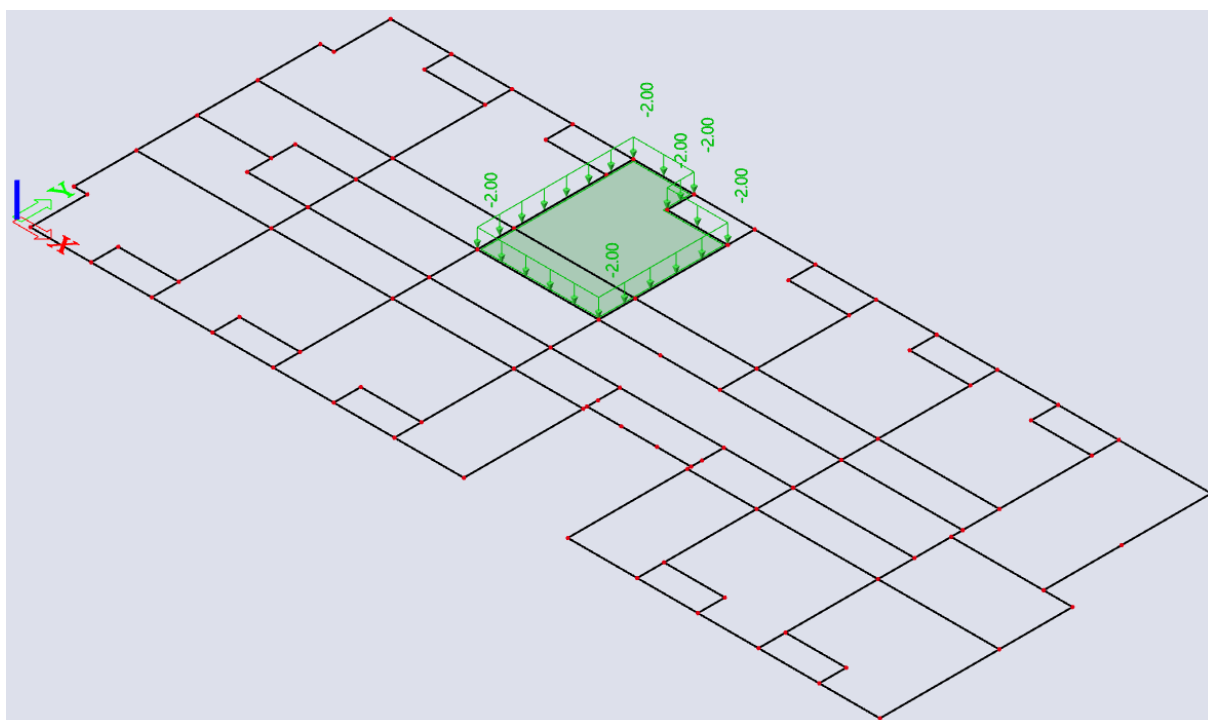
Shema uporabnog opterećenja za momente u polju:



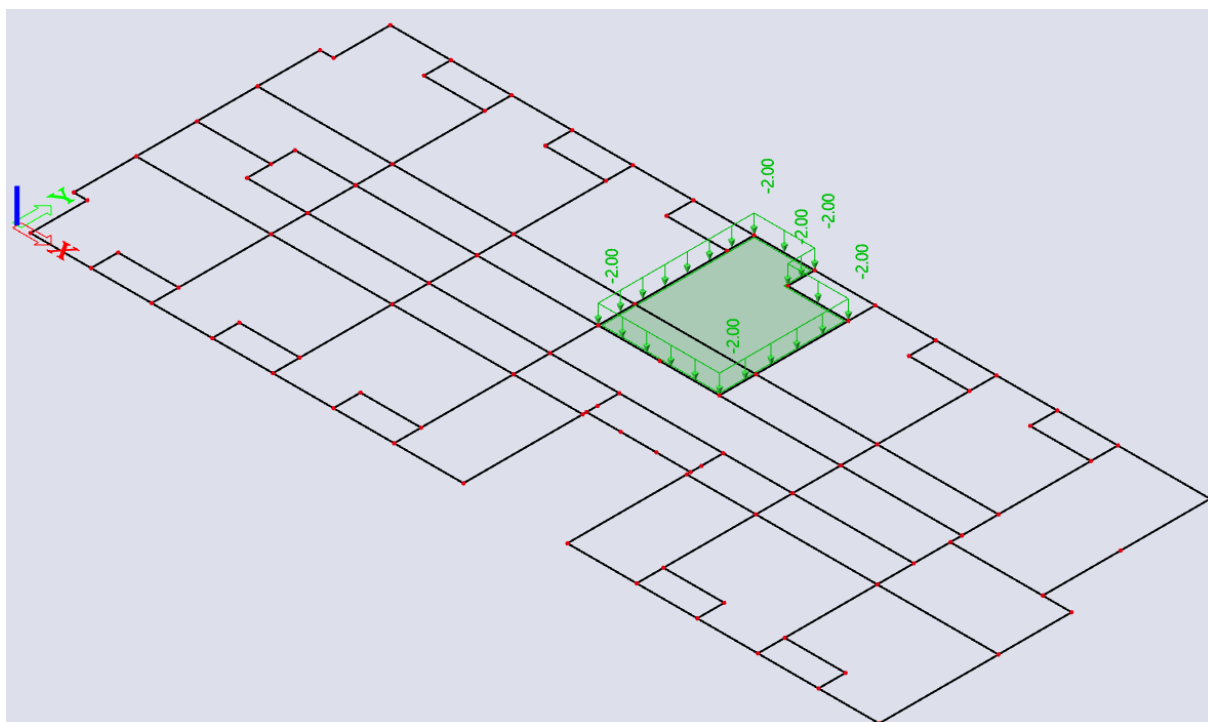
Slika 7. Opterećenje na poziciji 101



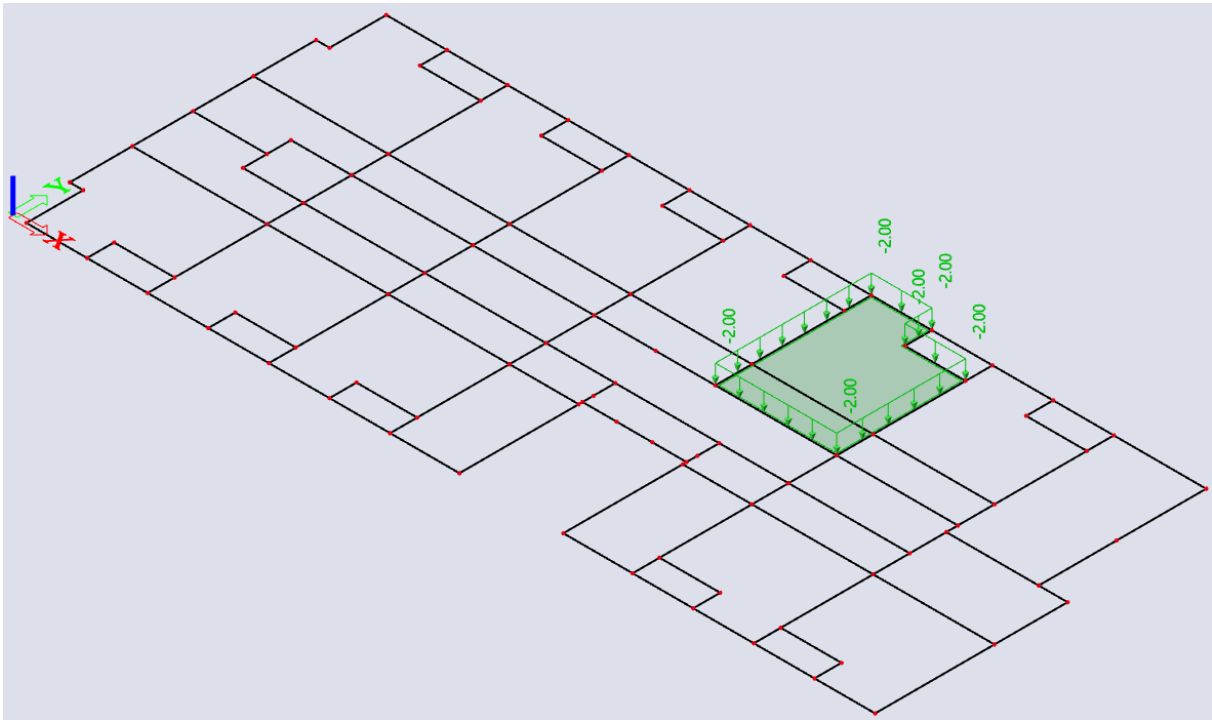
Slika 8. Opterećenje na poziciji 102



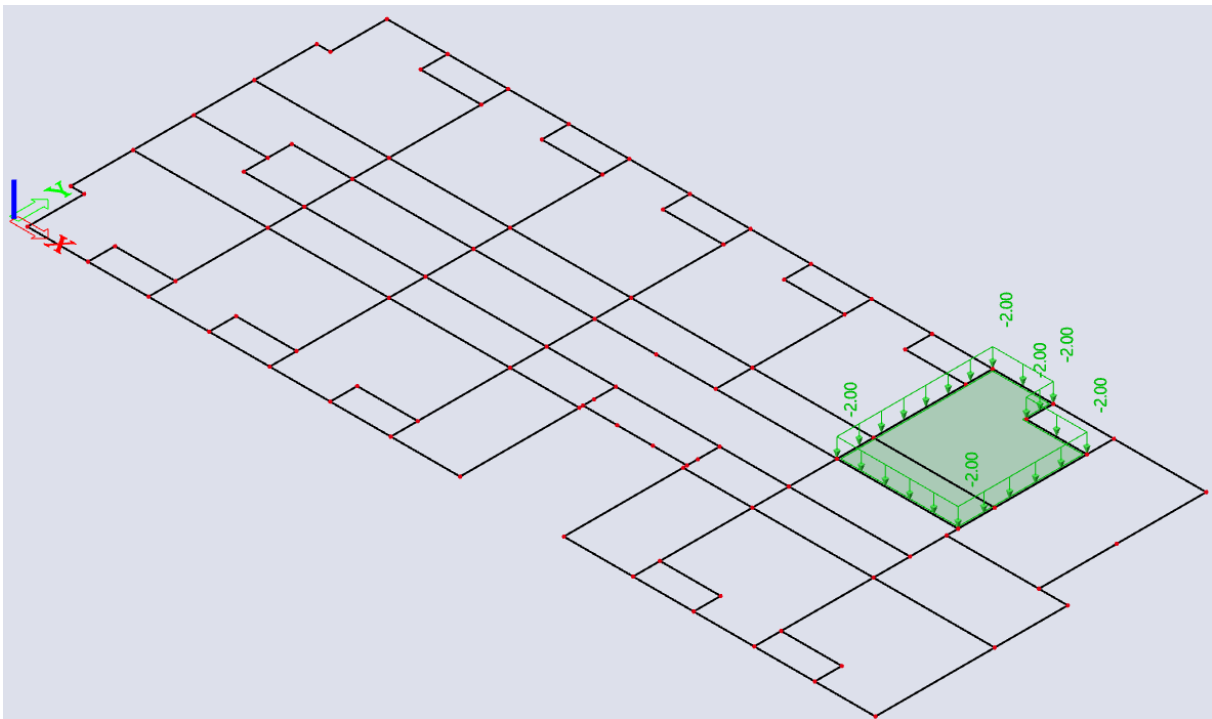
Slika 9. Opterećenje na poziciji 103



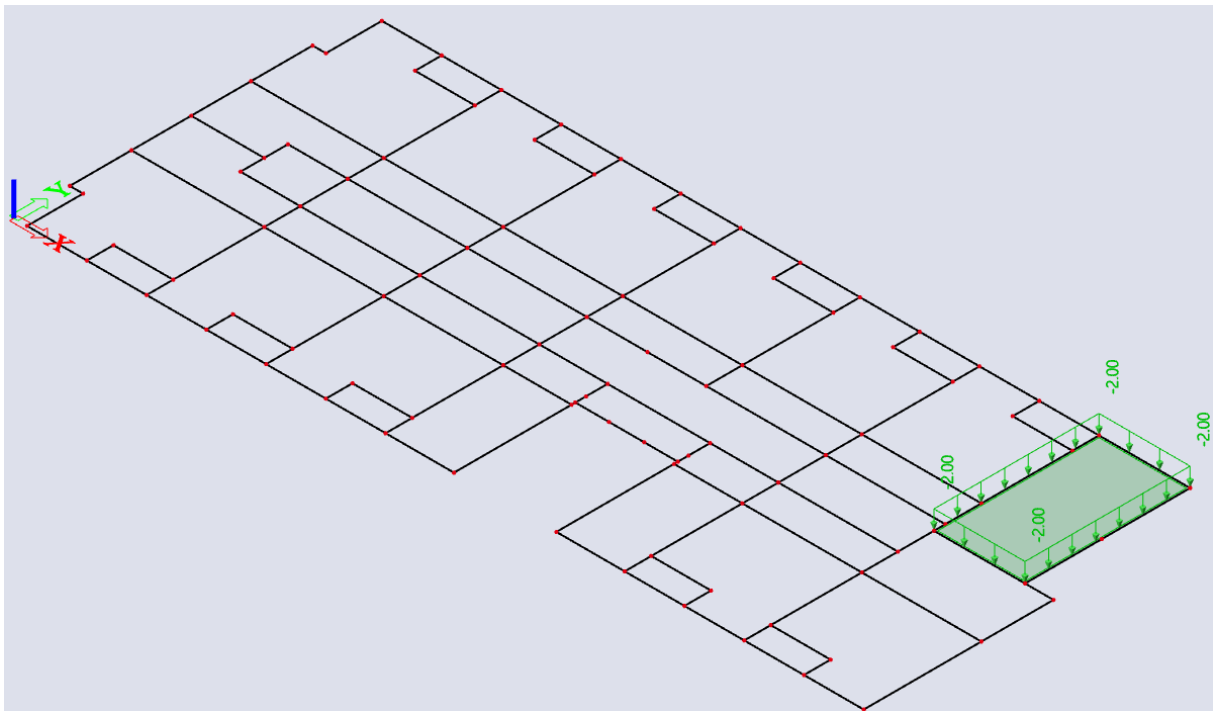
Slika 10. Opterećenje na poziciji 104



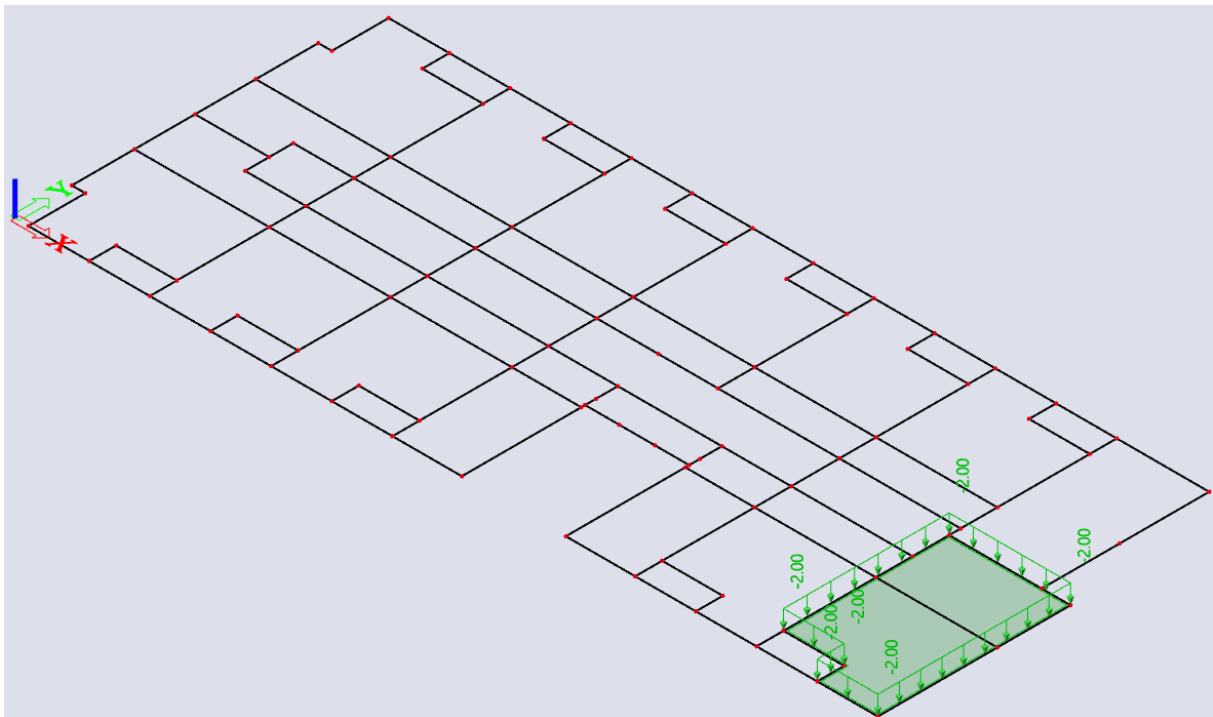
Slika 11. Opterećenje na poziciji 105



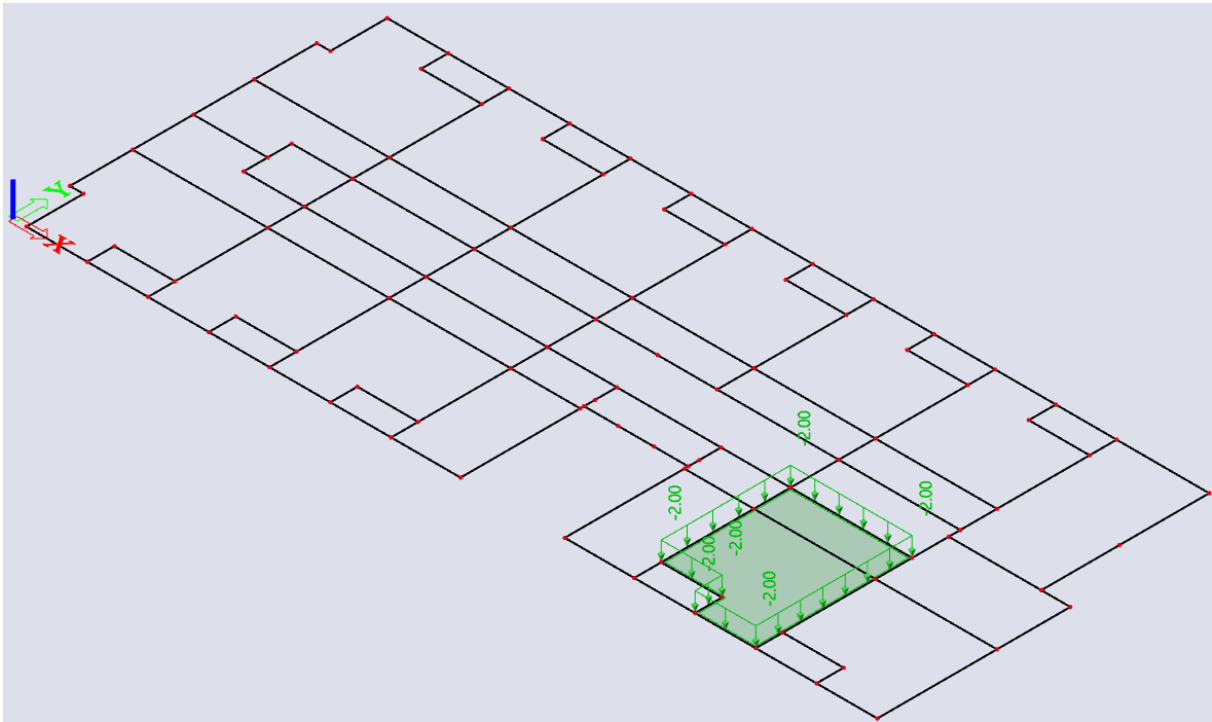
Slika 12. Opterećenje na poziciji 106



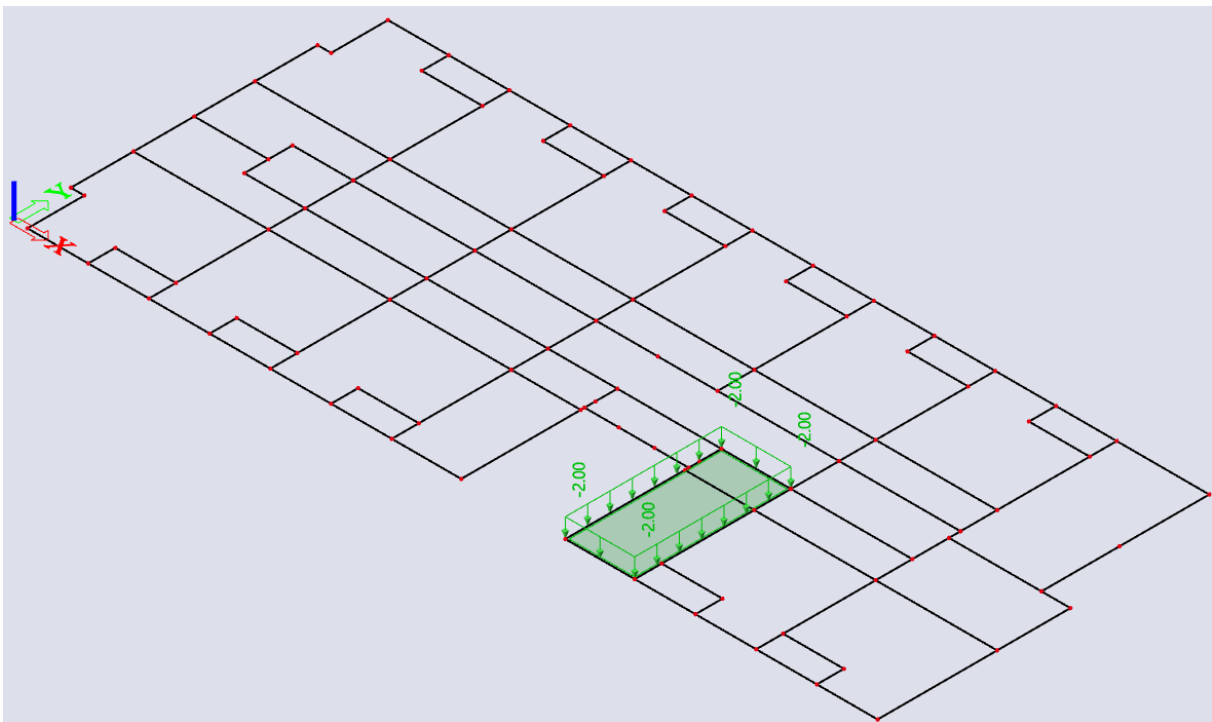
Slika 13. Opterećenje na poziciji 107



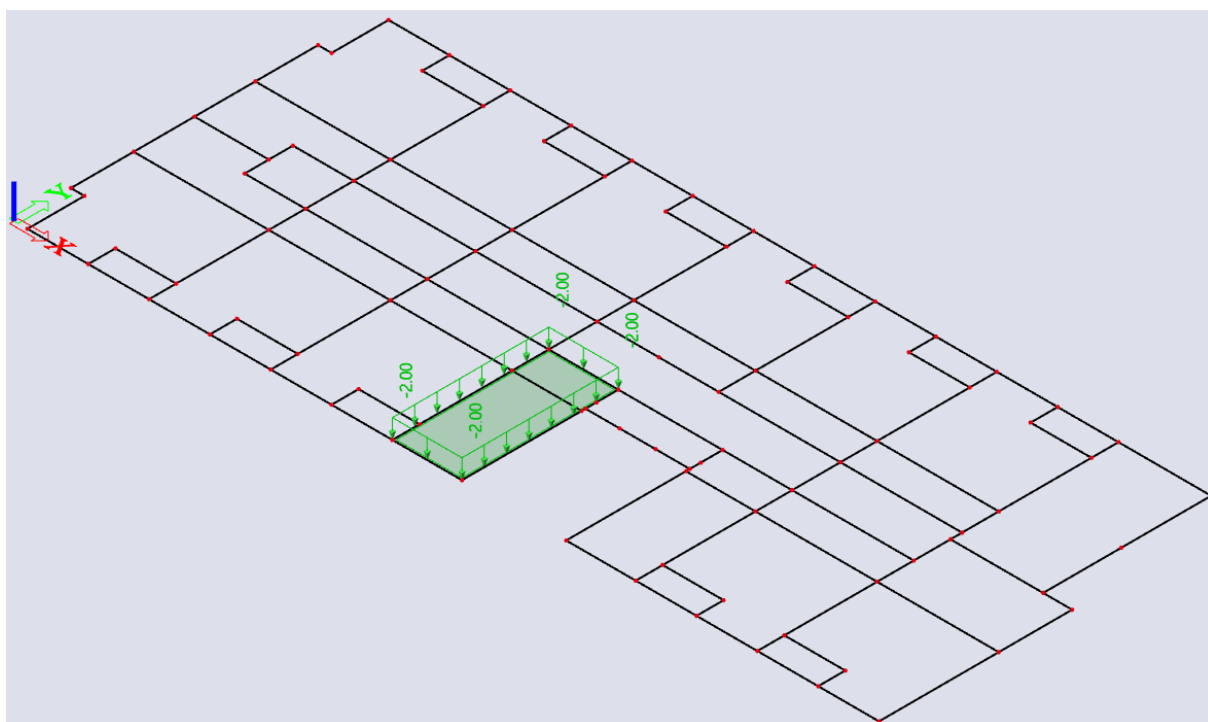
Slika 14. Opterećenje na poziciji 108



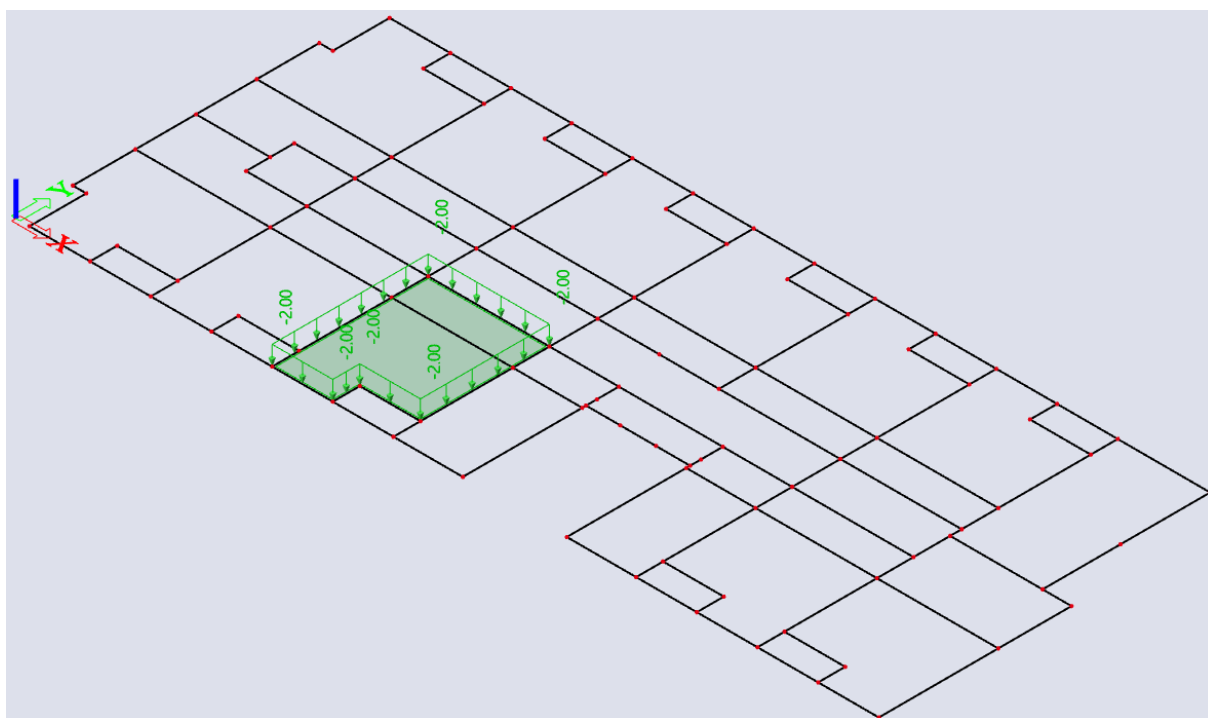
Slika 15. Opterećenje na poziciji 109



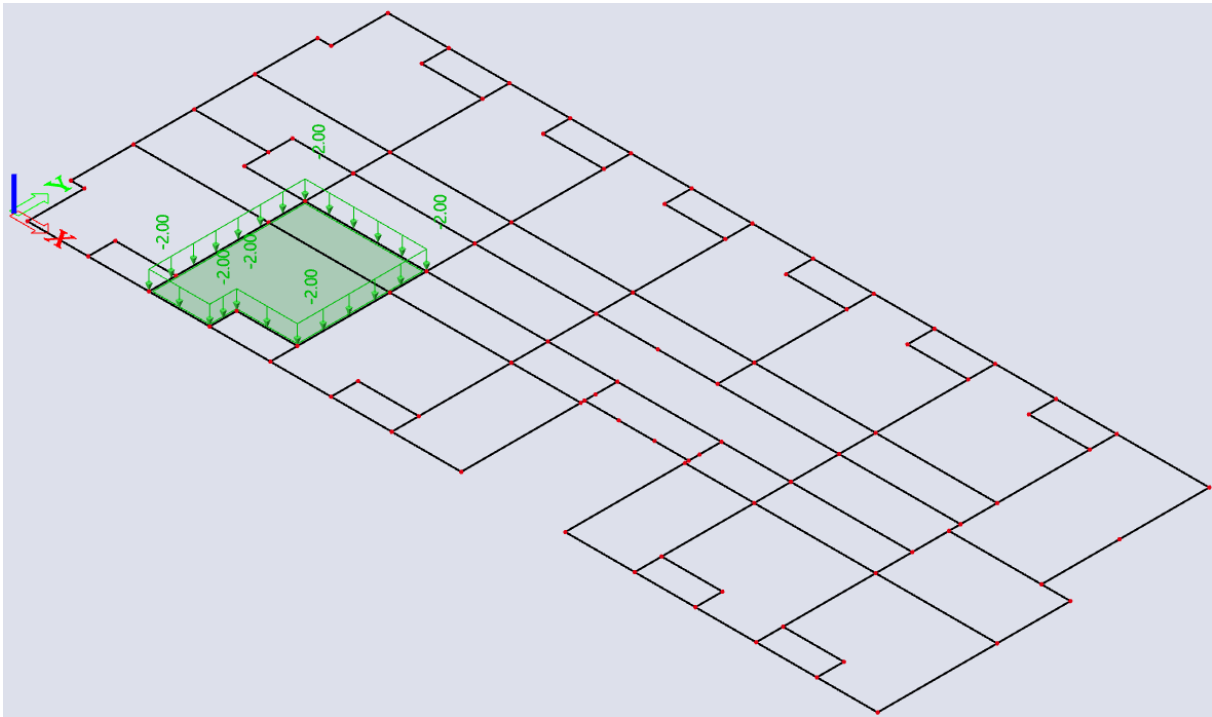
Slika 16. Opterećenje na poziciji 110



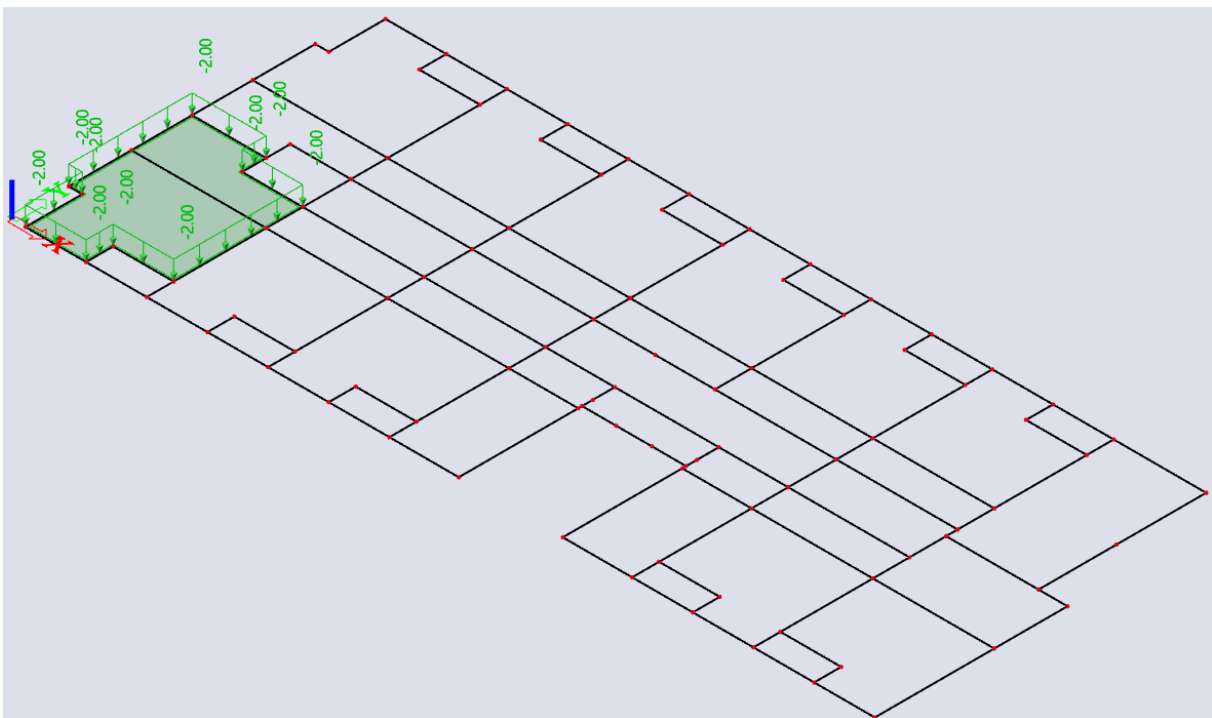
Slika 17. Opterećenje na poziciji 111



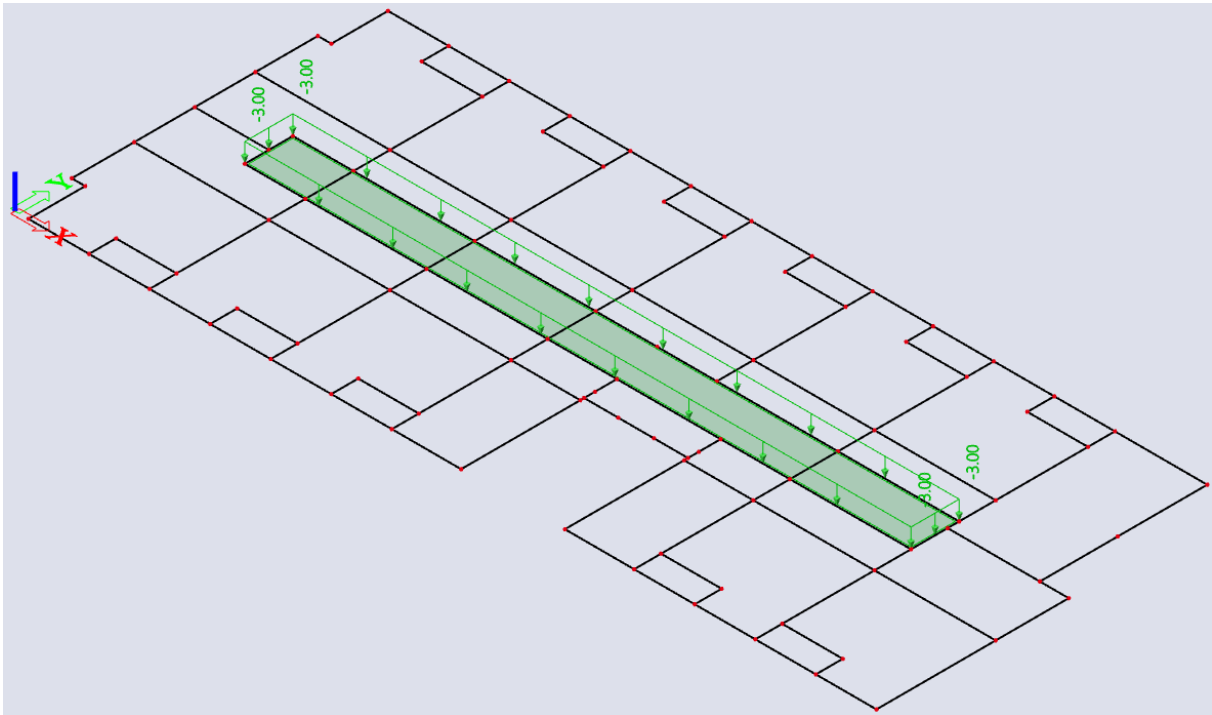
Slika 18. Opterećenje na poziciji 112



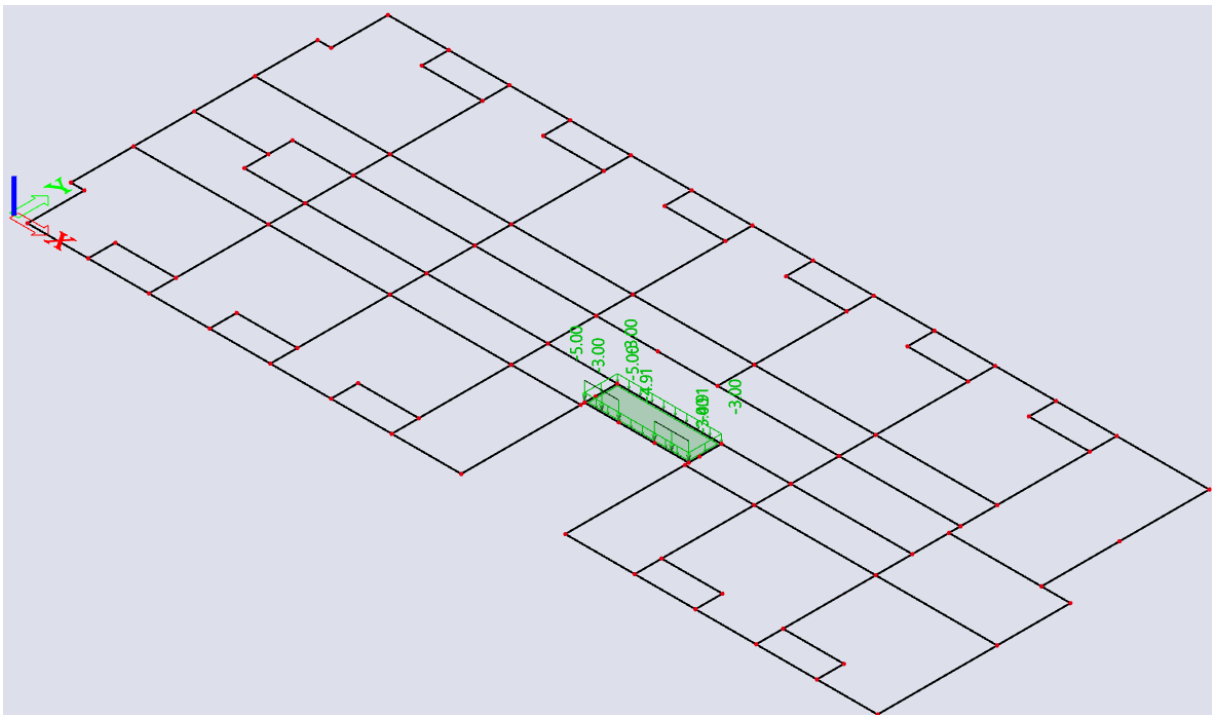
Slika 19. Opterećenje na poziciji 113



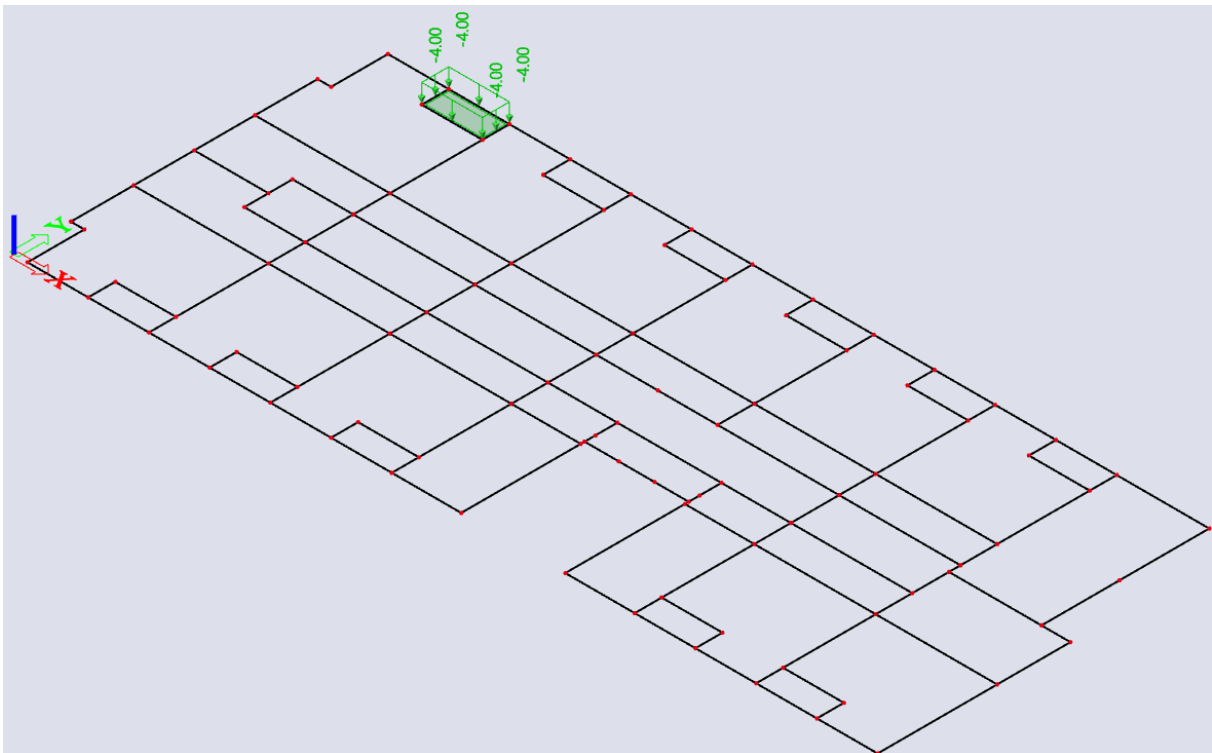
Slika 20. Opterećenje na poziciji 114



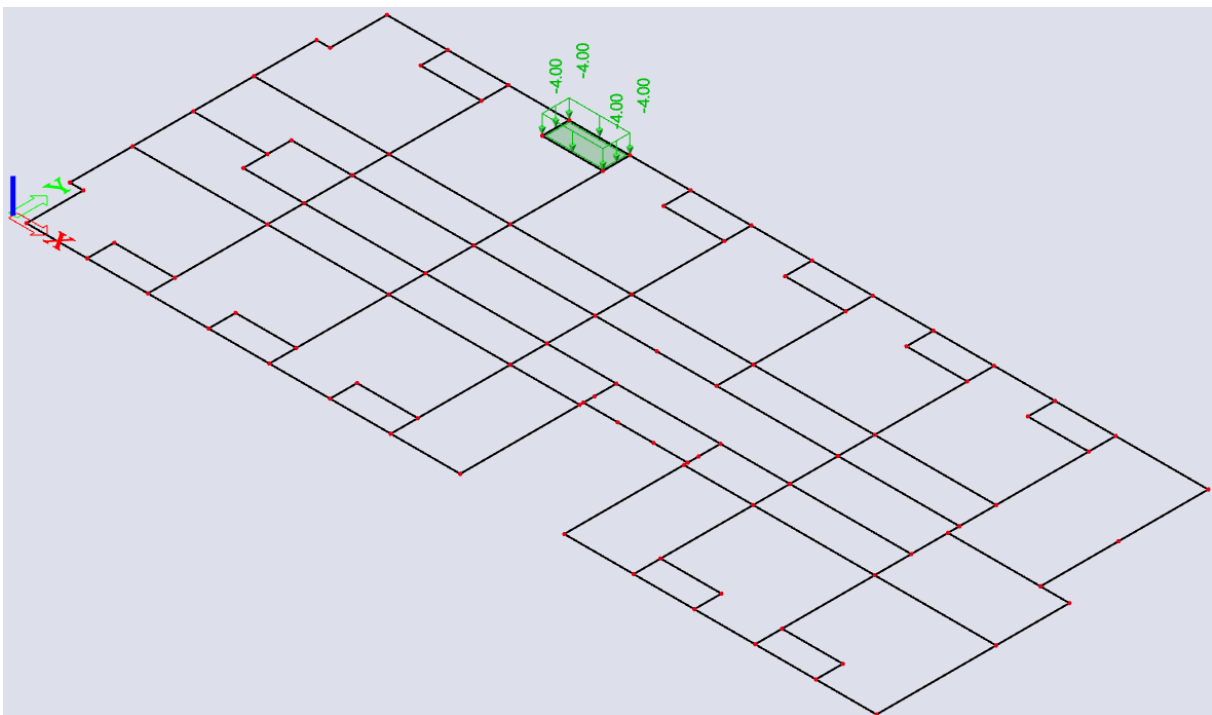
Slika 21. Opterećenje na poziciji 115



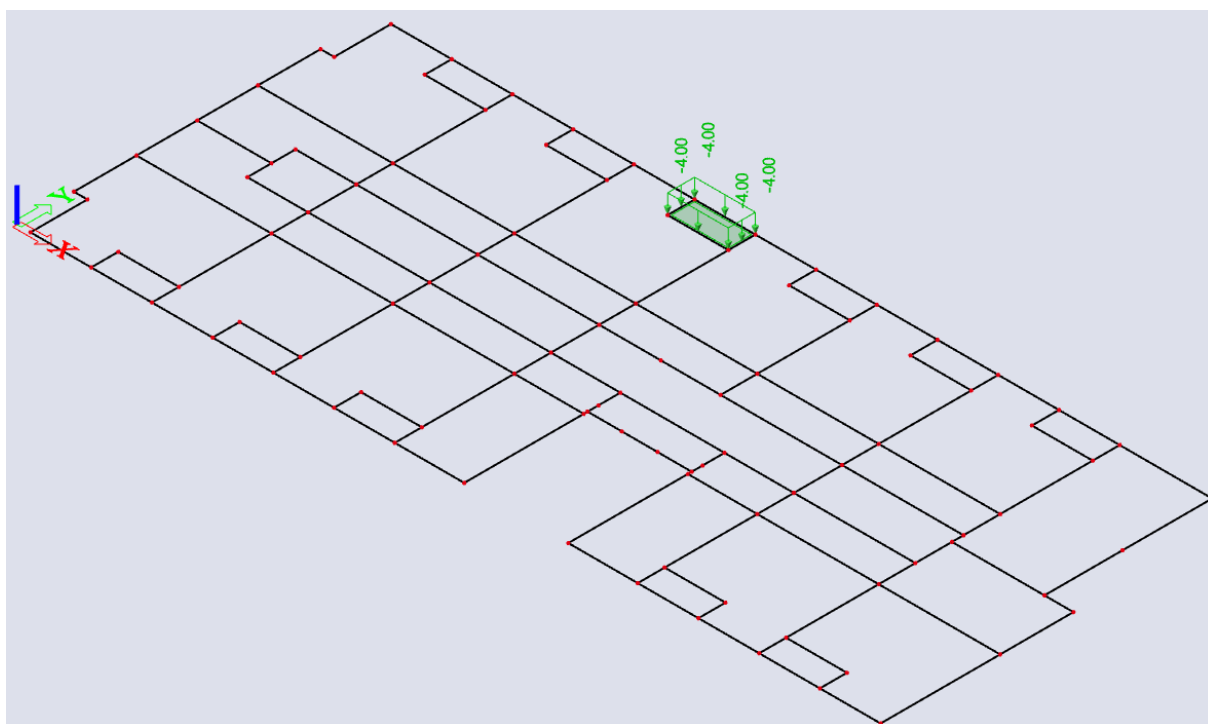
Slika 22. Opterećenje na poziciji 116



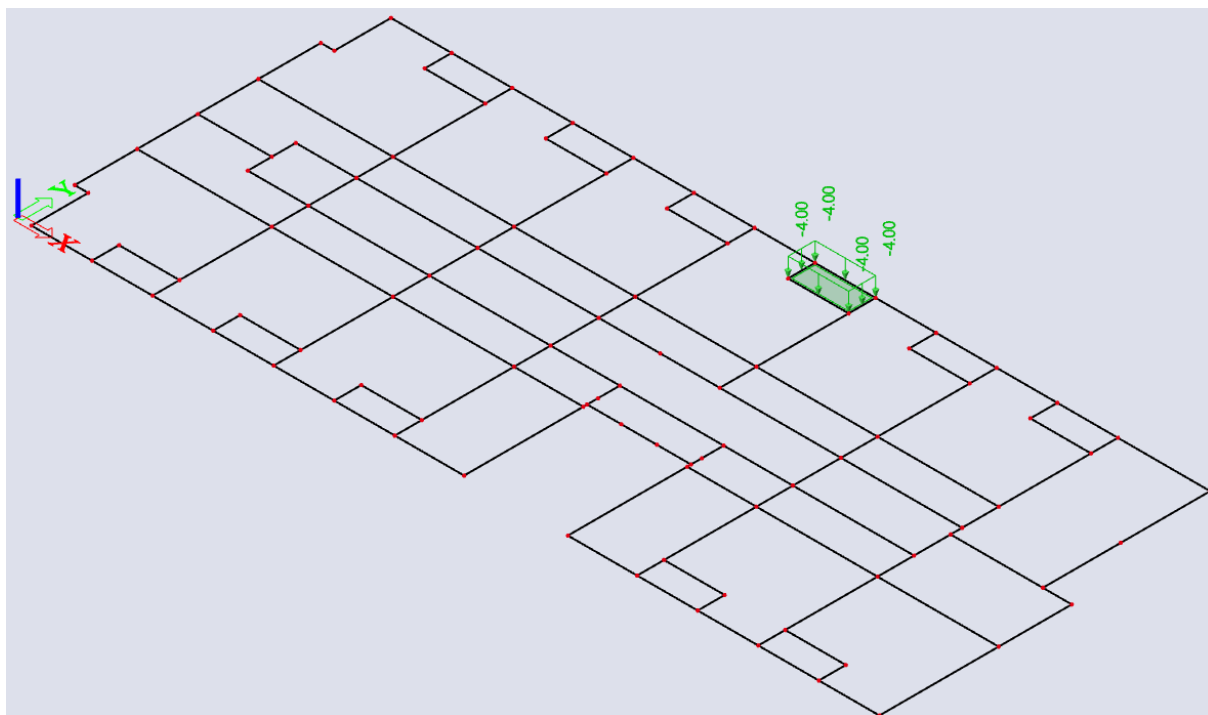
Slika 23. Opterećenje na poziciji 101a



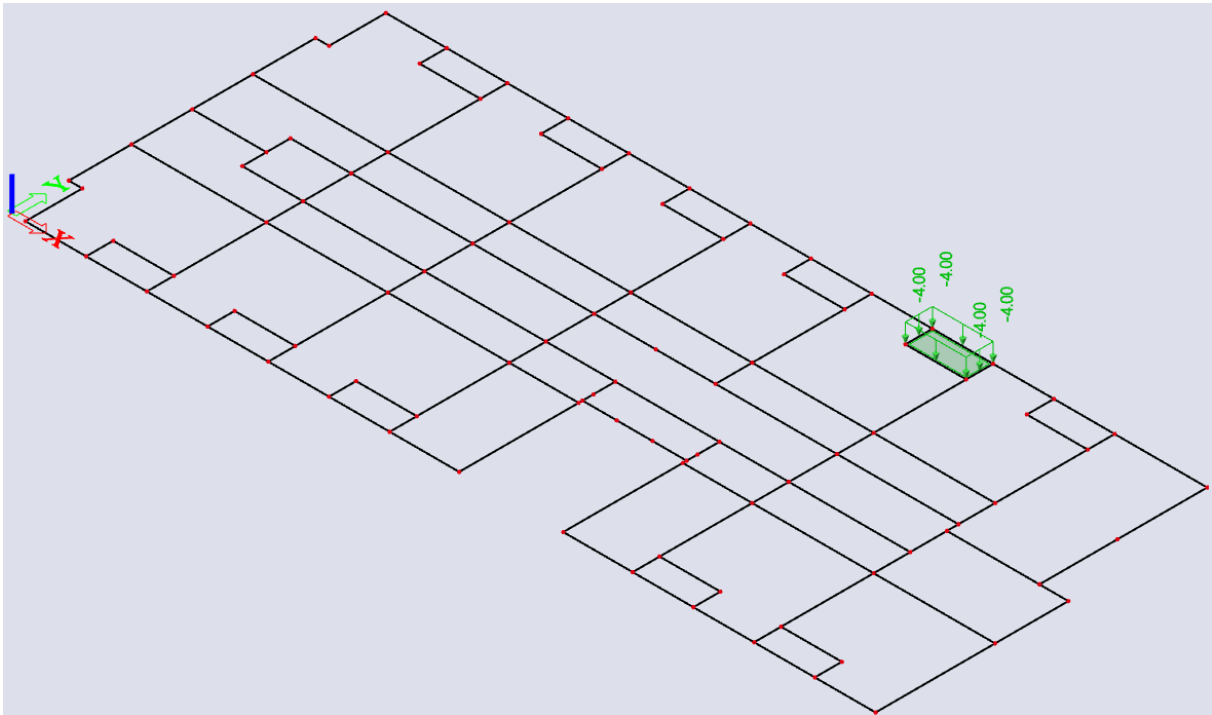
Slika 24. Opterećenje na poziciji 102a



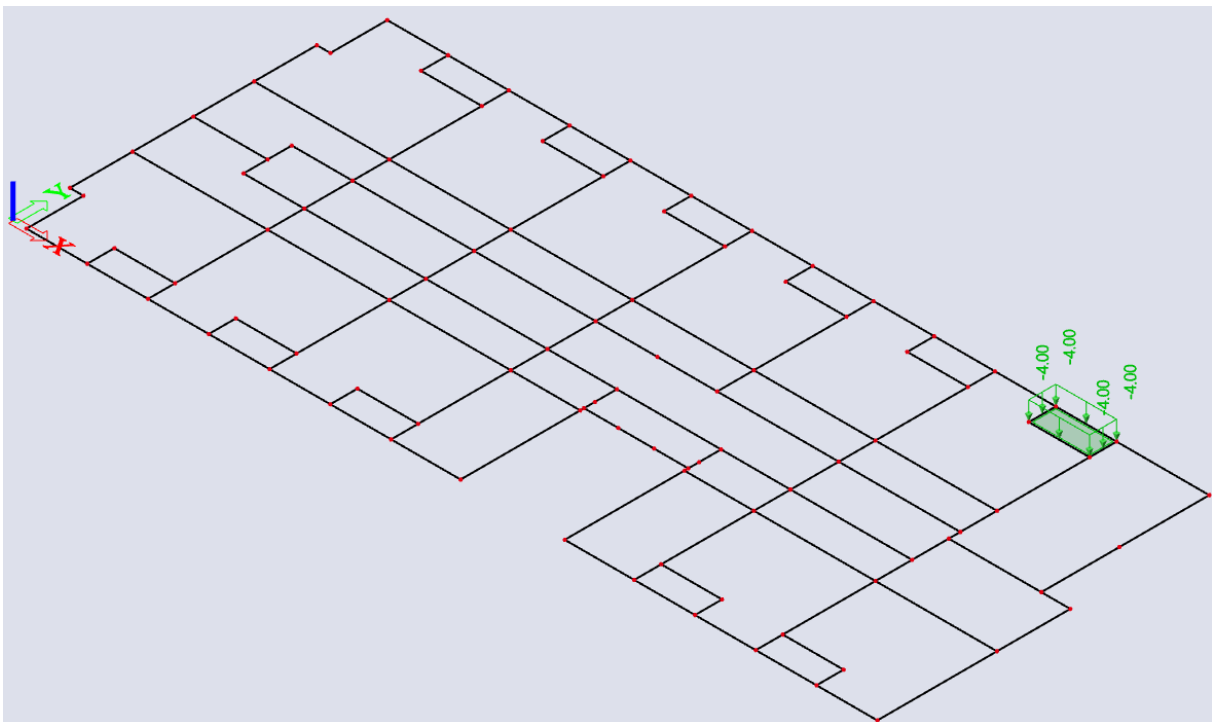
Slika 25. Opterećenje na poziciji 103a



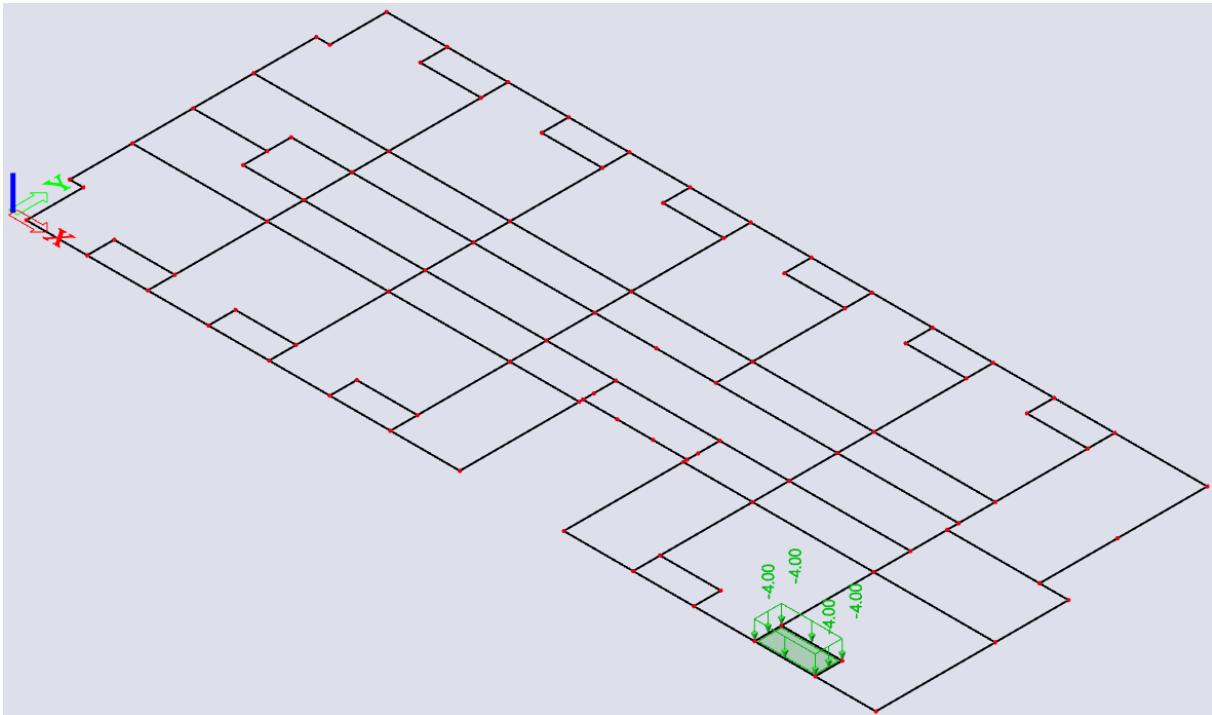
Slika 26. Opterećenje na poziciji 104a



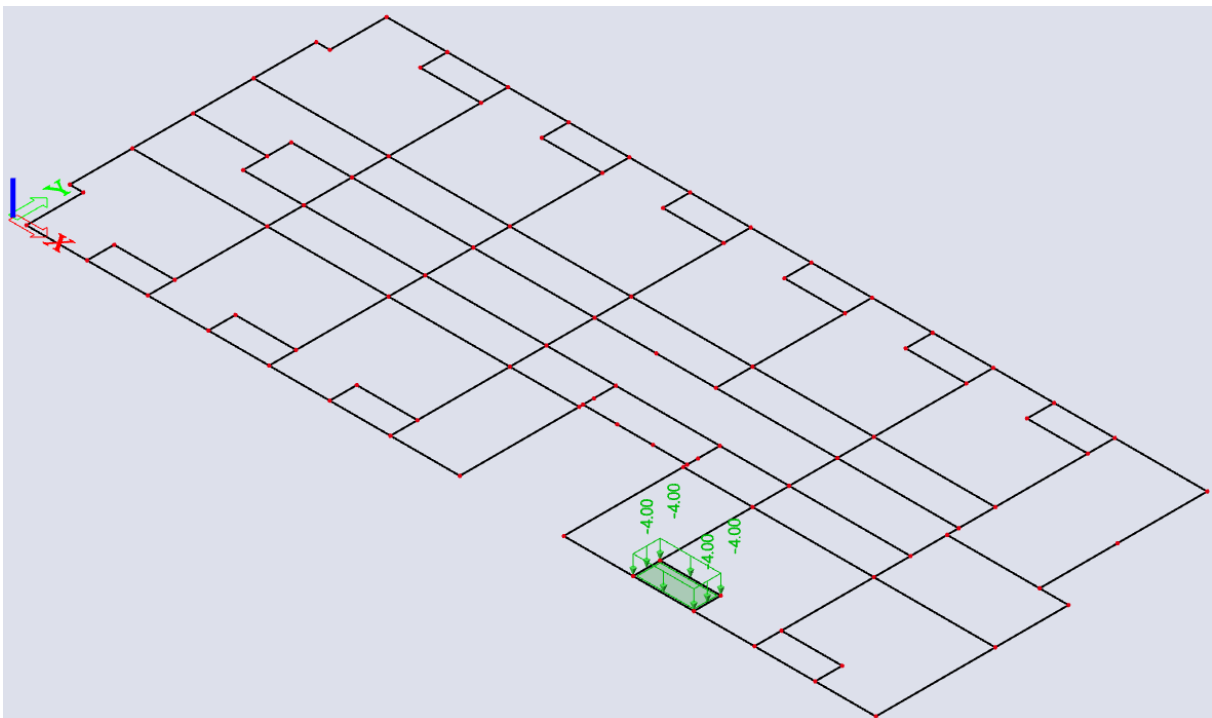
Slika 27. Opterećenje na poziciji 105a



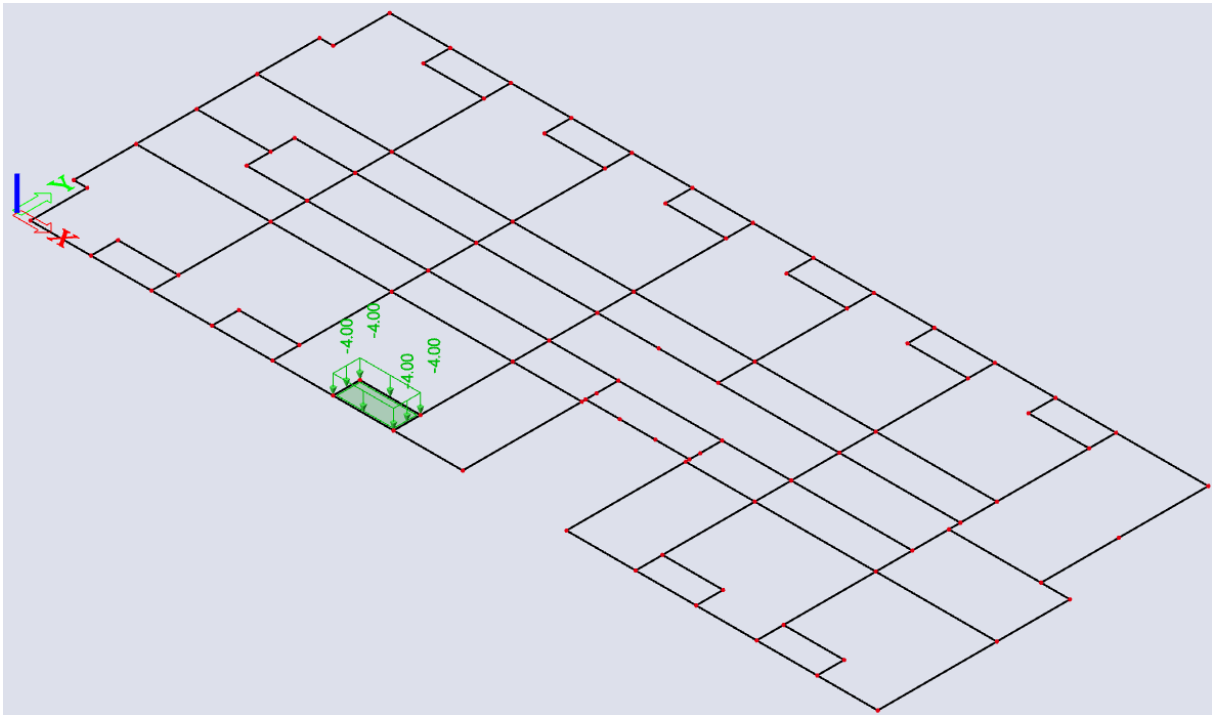
Slika 28. Opterećenje na poziciji 106a



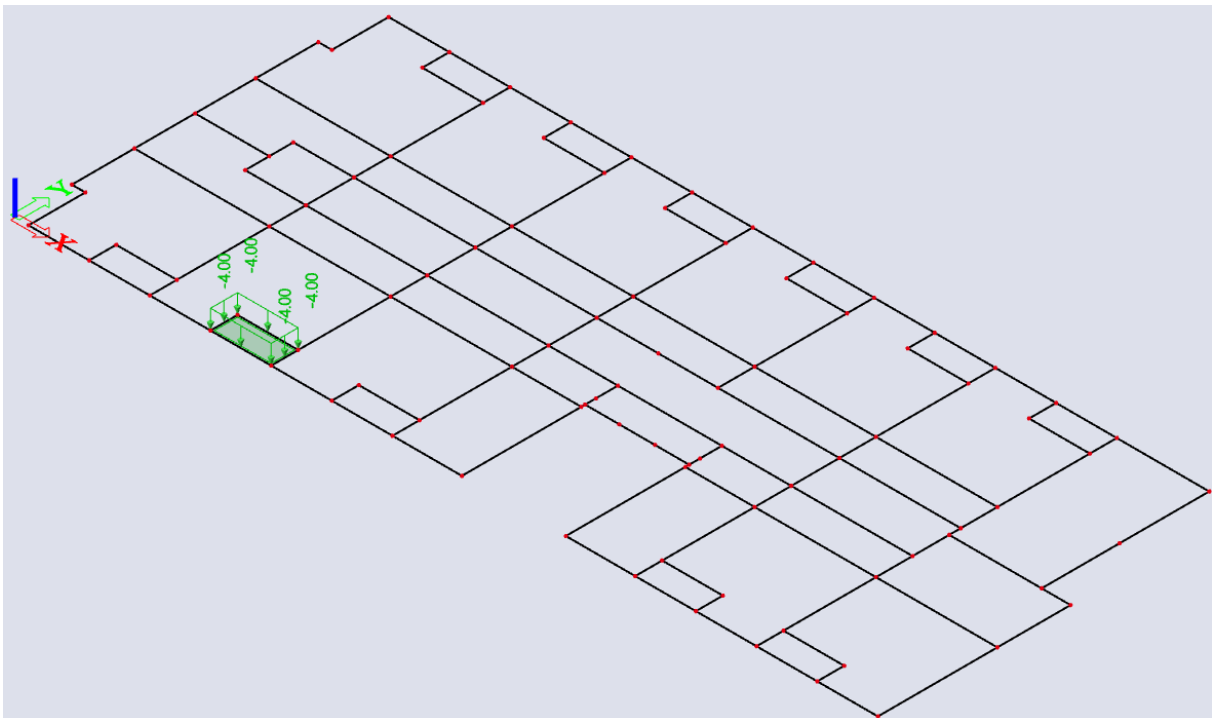
Slika 29. Opterećenje na poziciji 108a



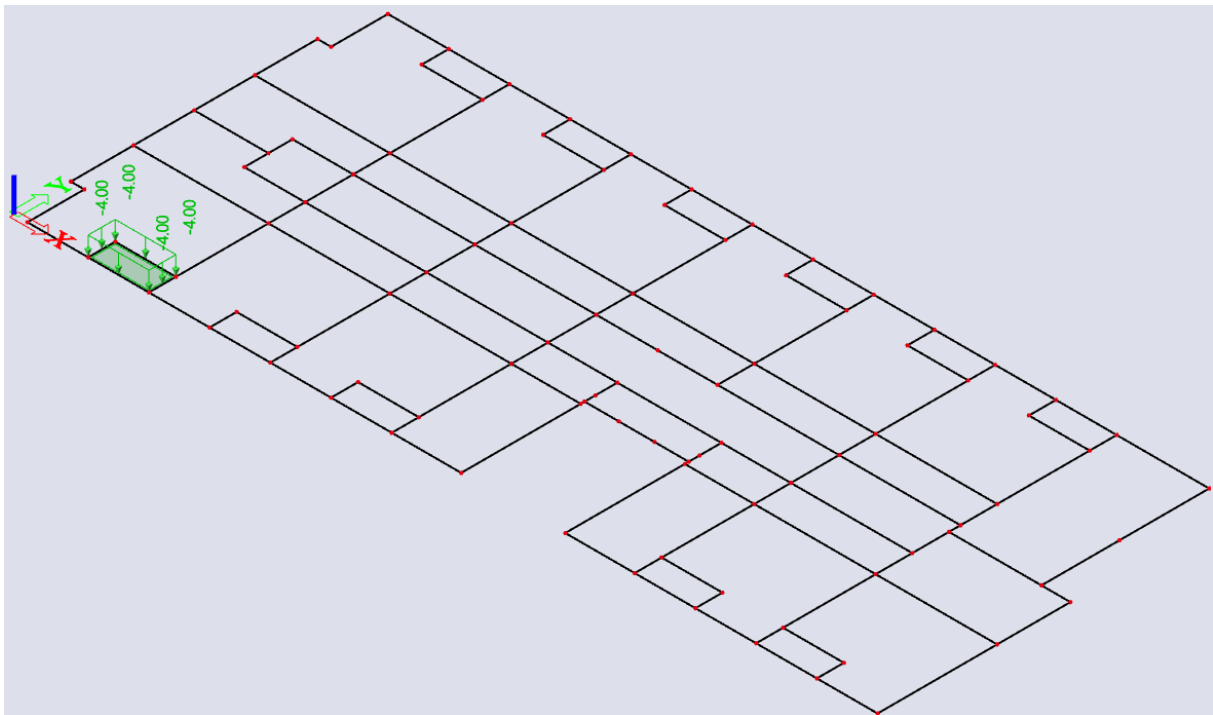
Slika 30. Opterećenje na poziciji 109a



Slika 31. Opterećenje na poziciji 112a

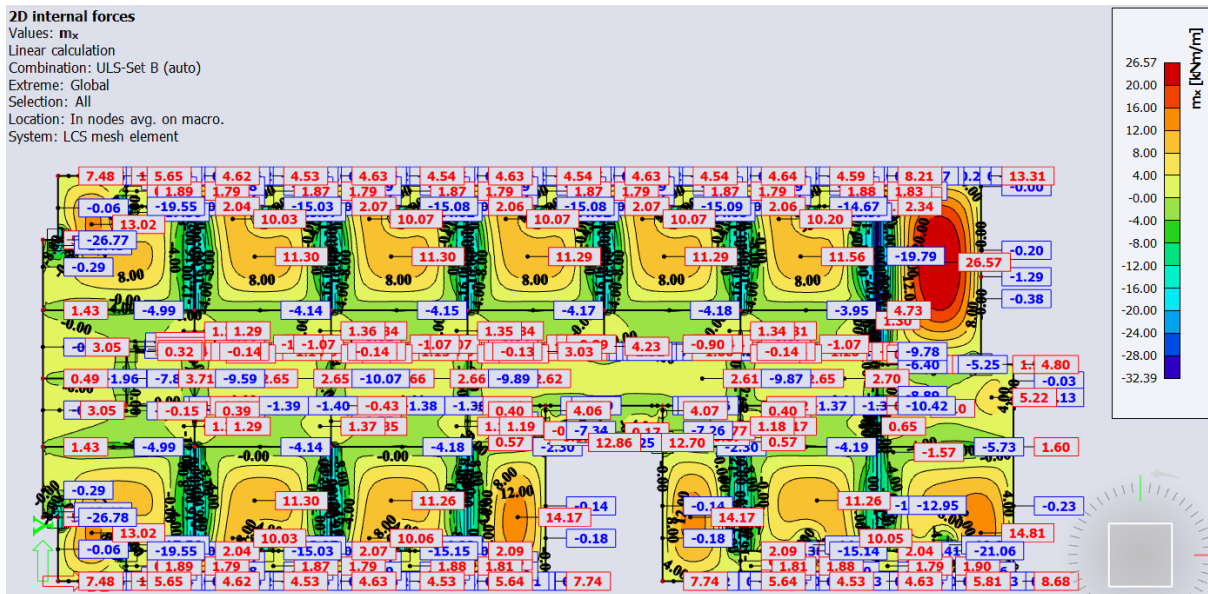


Slika 32. Opterećenje na poziciji 113a

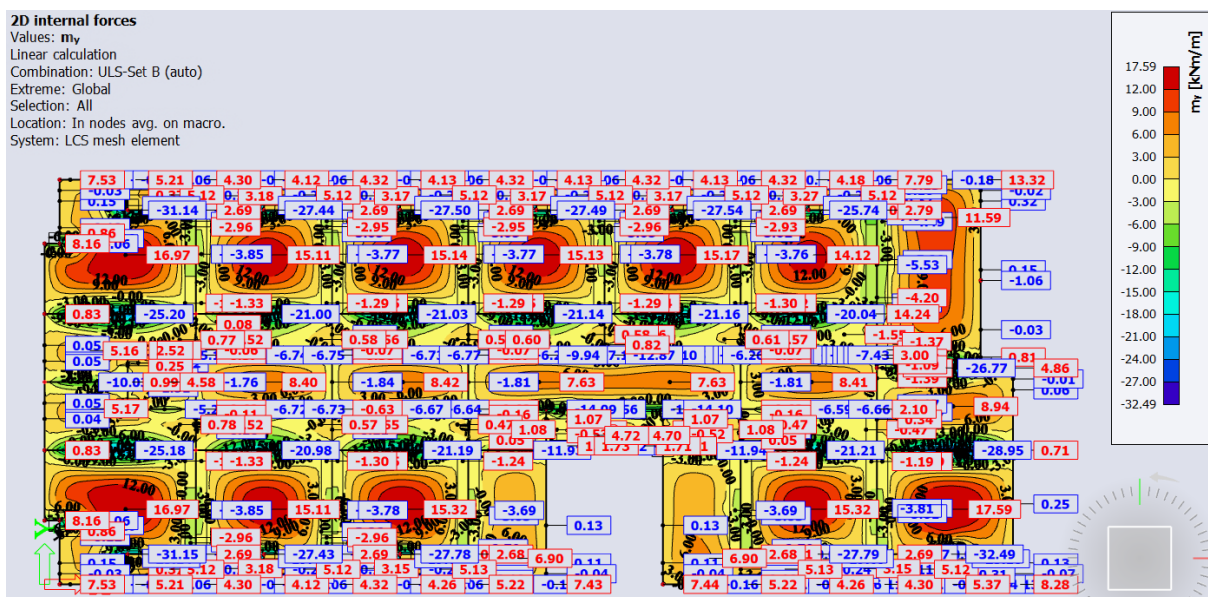


Slika 33. Opterećenje na poziciji 114a

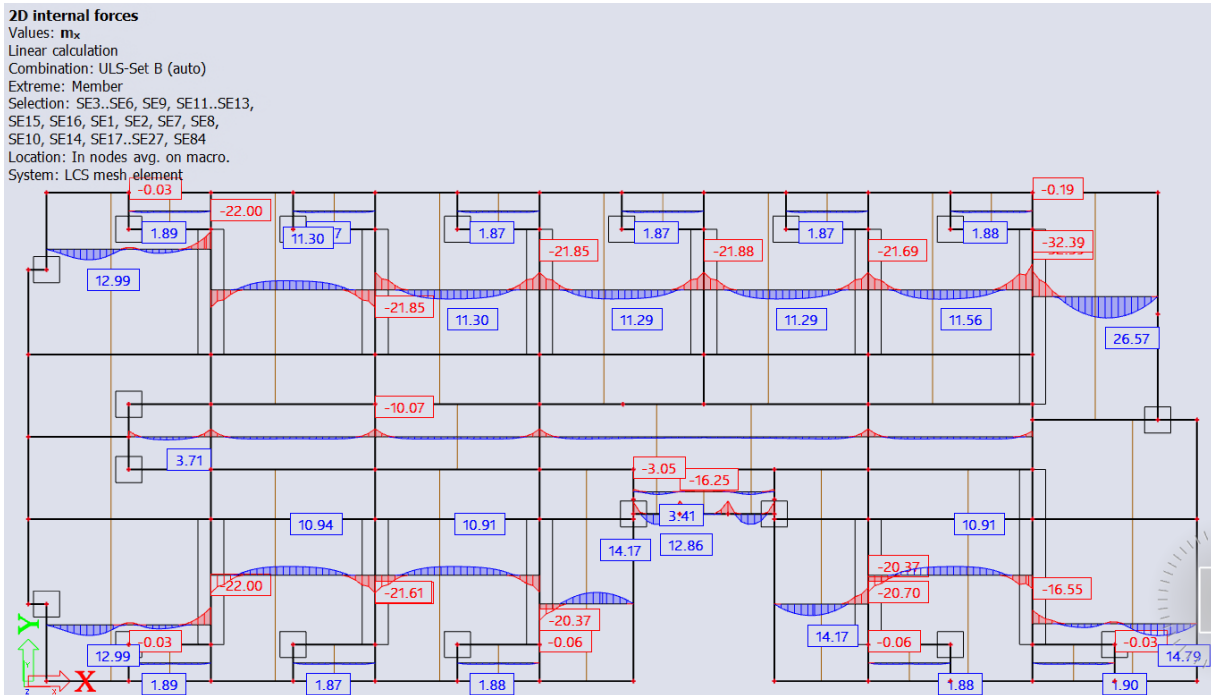
Zbog njihovog velikog broja, kombinacije opterećenja nisu zadane ručno, već je unutar programskog paketa korištena naredba automatskog generiranja svih mogućih kombinacija za GSN. Na taj se način dobiva anvelopa opterećenja iz koje će se vaditi vrijednosti za dimenzioniranje armature u poljima i nad ležajevima ploča. U nastavku slijedi prikaz ukupnih rezultata, a zatim i odabrani presjeci s preglednijim prikazom vrijednosti na koje će se dimenzionirati ploča.



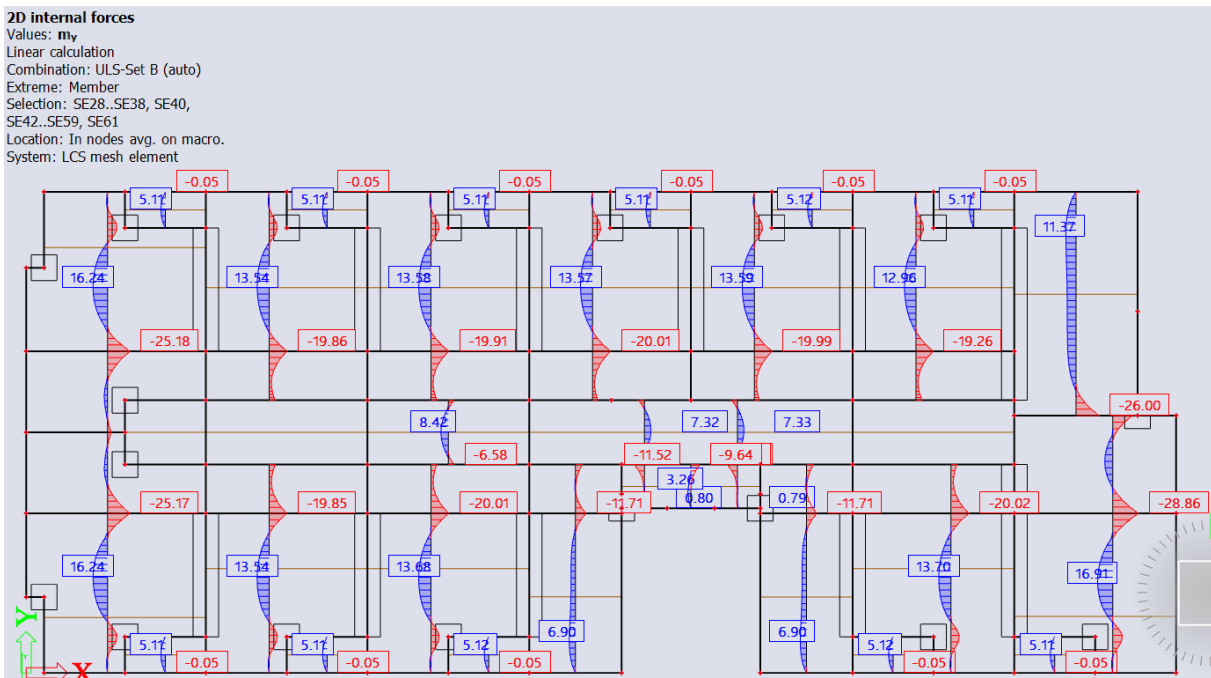
Slika 34. Momenti u smjeru x



Slika 35. Momenti u smjeru y



Slika 36. Momenti u smjeru x – presjeci



Slika 37. Momenti u smjeru y – presjeci

Tablica 1. Proračunske vrijednosti momenata savijanja u polju

Pozicija	$M_{Ed,x}$ [kNm]	$M_{Ed,y}$ [kNm]
101	12,99	16,24
102	11,30	13,54
103	11,30	13,58
104	11,29	13,57
105	11,29	13,59
106	11,56	12,96
107	26,57	11,37
108	14,79	16,91
109	10,91	13,70
110	14,17	6,90
111	14,17	6,90
112	10,91	13,68
113	10,94	13,54
114	12,99	16,24
115	(3,71)	8,42
116	12,86	0,80

Zbog zanemarivih razlika u iznosima mjerodavnih opterećenja, pozicije 102, 103, 104, 105, 106, 109, 112 i 113 proračunat će se na djelovanje najvećeg iznosa momenta $M_{Ed,x} = 11,56$ kNm i $M_{Ed,y} = 13,70$.

Tablica 2. Proračunske vrijednosti momenata savijanja nad ležajevima

Pozicija	M_{Ed} [kNm]
101–102	-22,00
102–103	-21,85
103–104	-21,85
104–105	-21,88
105–106	-21,69
106–107	-32,39
107–108	-26,00
108–109	-16,55
109–110	-20,70
110–116	-14,51
116–111	-14,69
111–112	-20,70
112–113	-21,61
113–114	-22,00
115–116	-11,52
115–108(107)	-7,14
101–114	-4,12
115–101(114)	-7,37
115–111	-7,70
115–110	-7,70
115–106	-6,94
115–113(112)	-6,71
115–103(102)	-6,70
115–104(105)	-6,55
115–109	-6,63
115–115	-10,07

4.3 Dimenzioniranje armature

Materijal:

Beton: C30/37
($Cf_{ck}/f_{ck,cube}$ valjak/kocka)

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20,00 \text{ N/mm}^2 = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

Čelik: B500B
($f_{yk}/f_{tk} = 500/540$)

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika

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

Visina ploče: $h = 20 \text{ cm}$

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: $d = h - d_1 = 20 - 2,5 = 17,5 \text{ cm}$

POZICIJA 101 i 114**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1299}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,021 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,023$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,1 \text{ ‰} & \xi &= 0,052 \\ \varepsilon_{sl} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,982 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1299}{0,982 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,74 \text{ cm}^2/m$$

Minimalna armatura u polju:

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

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 17,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 2,64 \text{ cm}^2/m \rightarrow \underline{\text{mjerodavno}}$$

Maksimalna armature u polju:

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100 \cdot 20 = 80,0 \text{ cm}^2/m$$

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 17,5 \cdot \frac{20,0}{43,478} = 29,38 \text{ cm}^2/m \rightarrow \underline{\text{mjerodavno}}$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1624}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,027 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,027$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,2 \text{ ‰} & \xi &= 0,057 \\ \varepsilon_{sl} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,980 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1624}{0,980 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,18 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $Q 335 (A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 2,18 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,\min} = 2,64 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,\text{prov}} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,\max} = 29,38 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 102 – 106, 109, 112, 113

Smjer x

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{\text{Ed}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{1156}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,019 < \mu_{\text{lim}} = 0,296$$

Za $\mu_{\text{Rd}} = 0,020$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,0 \text{ ‰} & \xi &= 0,048 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,983 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,\text{req}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{1156}{0,983 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{\text{Ed}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{1370}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,022 < \mu_{\text{lim}} = 0,296$$

Za $\mu_{\text{Rd}} = 0,023$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,1 \text{ ‰} & \xi &= 0,052 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,982 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,\text{req}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{1370}{0,982 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,83 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: $Q 335 (A_{s1,\text{prov}} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,\text{req}} = 1,83 \text{ cm}^2/\text{m}$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,\min} = 2,64 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,\text{prov}} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,\max} = 29,38 \text{ cm}^2/\text{m}$$

POZICIJA 107**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2657}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,043 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,046$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,7 \text{ ‰} & \xi &= 0,078 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,971 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2657}{0,971 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 3,60 \text{ cm}^2/m$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1137}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,019 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,020$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,0 \text{ ‰} & \xi &= 0,048 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,983 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1137}{0,983 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,52 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $Q 385 (A_{s1,prov} = 3,85 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 3,60 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 3,85 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 108**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1479}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,024 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,027$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,2 \text{ ‰} & \xi &= 0,057 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,980 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1479}{0,980 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,98 \text{ cm}^2/m$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1691}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,028 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,030$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,3 \text{ ‰} & \xi &= 0,061 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,978 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1691}{0,978 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,27 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $Q 335 (A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 2,27 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 110 i 111**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1417}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,023 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,023$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,1 \text{ ‰} & \xi &= 0,052 \\ \varepsilon_{sl} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,982 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1417}{0,982 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,90 \text{ cm}^2/m$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{690}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,011 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,013$ očitano:

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{690}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,92 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $Q 335 (A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 1,90 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 115 → nosiva u jednom smjeruSmjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{842}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,014 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,016$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,9 \text{ ‰} & \xi &= 0,043 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,985 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{842}{0,985 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,12 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 1,12 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 116 → nosiva u jednom smjeru

Za ovu poziciju armatura je određena u proračunu stubišta, no potrebno je provjeriti zadovoljava li momente savijanja.

Iako je ploča podesta nosiva u jednom smjeru (y), armatura će se provjeriti i za x smjer budući da se u tom smjeru javljaju veći momenti.

Smjer x

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1286}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,021 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,023$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,1 \text{ ‰} & \xi &= 0,052 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,982 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1286}{0,982 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,72 \text{ cm}^2/m$$

Smjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{80}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,0013 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,002$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,3 \text{ ‰} & \xi &= 0,015 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,995 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{80}{0,995 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,11 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO:Armatura u smjeru x: $\phi 8/19 \text{ cm}$ ($A_{s1,prov} = 2,65 \text{ cm}^2/m$) → zadovoljavaArmatura u smjeru y: $\phi 12/25 \text{ cm}$ ($A_{s2,prov} = 4,52 \text{ cm}^2/m$) → zadovoljava

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,65 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s2,prov} = 4,52 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJE 101a – 114a (balkonske ploče) → nosive u jednom smjeruSmjer y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{512}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,008 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,016$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,6 \text{ ‰} & \xi &= 0,029 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,990 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{512}{0,990 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,68 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO:

$$R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 1,12 \text{ cm}^2/m$$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 101 – 102 – 103 – 104 – 105 – 106 i 112 – 113 – 114

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2200}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,036 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,038$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,5 \text{ ‰} & \xi &= 0,070 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,975 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2200}{0,975 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,97 \text{ cm}^2/m$$

Minimalna armatura nad osloncem:

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

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 17,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 2,64 \text{ cm}^2/m \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Maksimalna armature nad osloncem:

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100 \cdot 20 = 80,0 \text{ cm}^2/m$$

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 17,5 \cdot \frac{20,0}{43,478} = 29,38 \text{ cm}^2/m \rightarrow \text{mjerodavno}$$

ODABRANO: $R 335 (A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 2,97 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 106 – 107

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3239}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,053 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,055$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,9 \text{ ‰} & \xi &= 0,087 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,968 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3239}{0,968 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 4,40 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $R 503 (A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 4,40 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 107 – 108

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2600}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,042 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,042$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,6 \text{ ‰} & \xi &= 0,074 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,973 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2600}{0,973 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 3,51 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $R 385 (A_{s1,prov} = 3,85 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 3,51 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 3,85 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 108 – 109

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1655}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,027 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,027$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,2 \text{ ‰} & \xi &= 0,057 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,980 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1655}{0,980 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,22 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 2,22 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 109 – 110 i 111 – 112

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2070}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,034 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,034$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,4 \text{ ‰} & \xi &= 0,065 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,977 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2070}{0,977 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,78 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 2,78 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 110 – 116 – 111

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1469}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,024 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,027$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,2 \text{ ‰} & \xi &= 0,057 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,980 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1469}{0,980 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,97 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO:

$$R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 1,97 \text{ cm}^2/m$$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 115 – 116

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1152}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,019 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,020$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,0 \text{ ‰} & \xi &= 0,048 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,983 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1152}{0,983 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,54 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO:

$$R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 1,54 \text{ cm}^2/m$$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 115 – 108 (107) i 115 – 101 (114)

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{737}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,012 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,013$ očitano:

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

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{737}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,98 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 0,98 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 101 – 114

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{412}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,007 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,008$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,6 \text{ ‰} & \xi &= 0,029 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,990 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{412}{0,990 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,55 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 0,55 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 115 – 111 i 115 – 110

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{770}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,013 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,013$ očitano:

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

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{770}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,03 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 1,03 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 115 – 102 (103, 104, 105, 106), 115 – 109 i 115 – 112 (113)

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{694}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,011 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,013$ očitano:

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

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{694}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,92 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 0,92 \text{ cm}^2/m$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

POZICIJA 115 – 115

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1007}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,016 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Rd} = 0,016$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,9 \text{ ‰} & \xi &= 0,043 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,985 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1007}{0,985 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,34 \text{ cm}^2/m$$

ODABRANO:

$$R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m) > A_{s1,req} = 1,34 \text{ cm}^2/m$$

Odabrana armatura nalazi se između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/m < A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/m < A_{s1,max} = 29,38 \text{ cm}^2/m$$

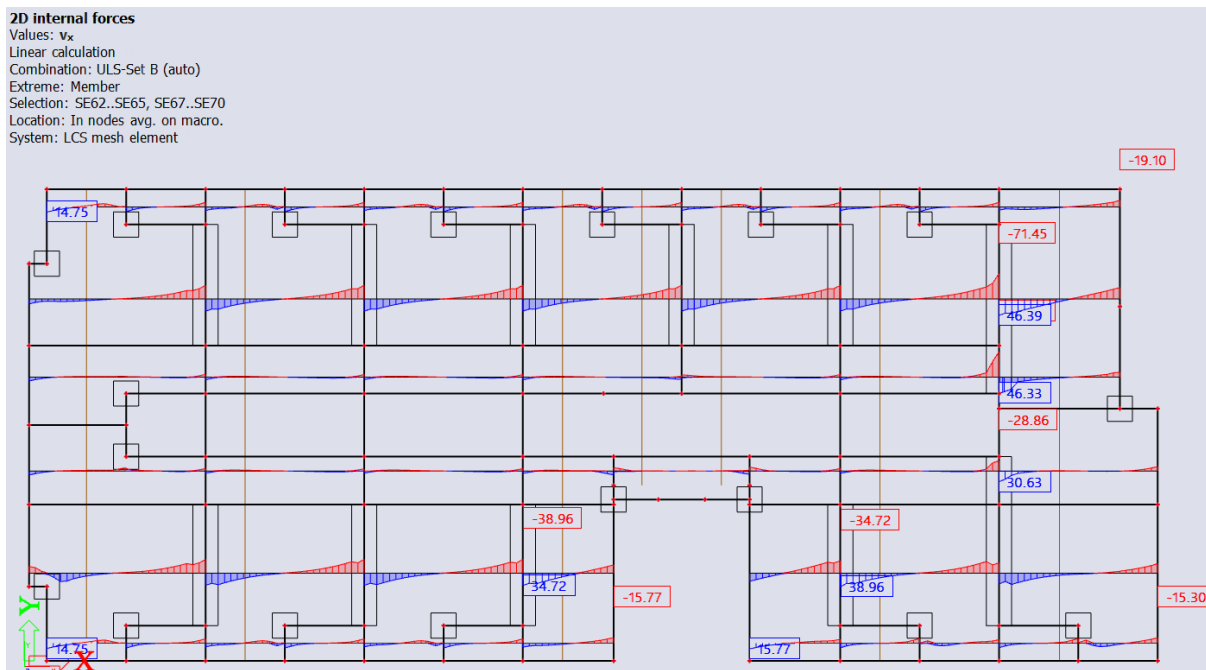
Tablica 3. Odabrana armatura u polju

Pozicija	Armatura
101	Q 335
102	Q 335
103	Q 335
104	Q 335
105	Q 335
106	Q 335
107	Q 385
108	Q 335
109	Q 335
110	Q 335
111	Q 335
112	Q 335
113	Q 335
114	Q 335
115	R 283
116	armatura podesta
101a-114a	R 283

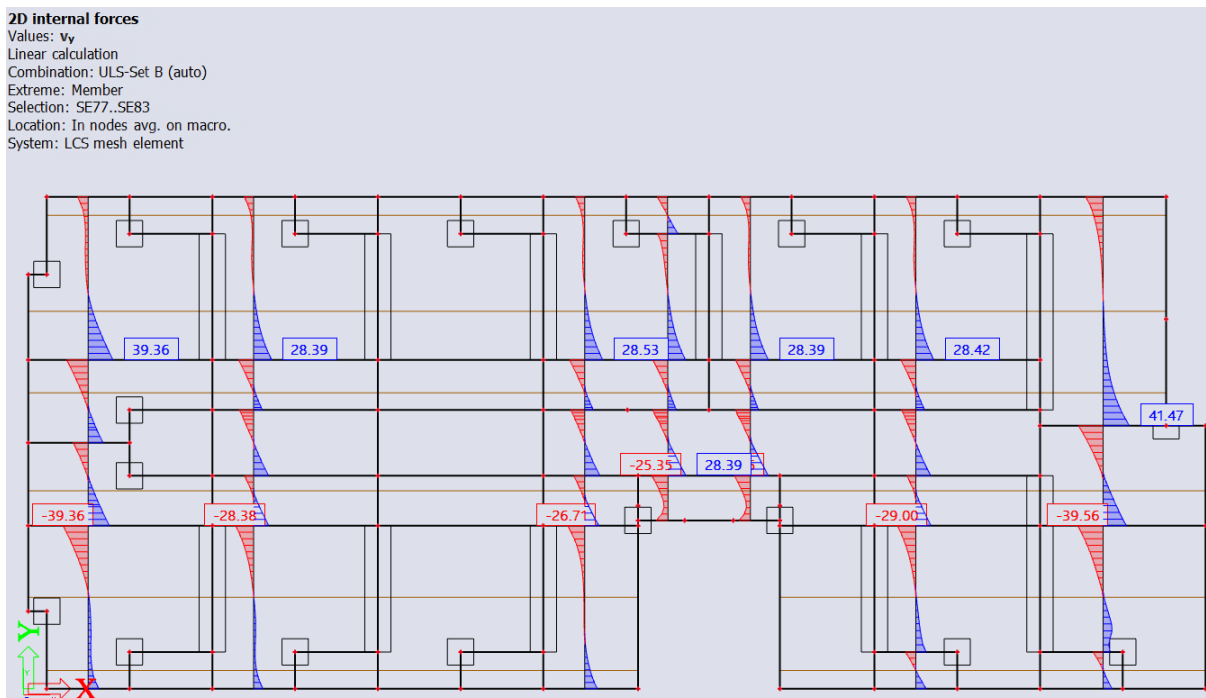
Tablica 4. Odabrana armatura nad ležajevima

Pozicija	Armatura
101–102	R 335
102–103	R 335
103–104	R 335
104–105	R 335
105–106	R 335
106–107	R 503
107–108	R 385
108–109	R 283
109–110	R 283
110–116	R 283
116–111	R 283
111–112	R 283
112–113	R 335
113–114	R 335
115–116	R 283
115–108(107)	R 283
101–114	R 283
115–101(114)	R 283
115–111	R 283
115–110	R 283
115–106	R 283
115–113(112)	R 283
115–103(102)	R 283
115–104(105)	R 283
115–109	R 283
115–115	R 283

4.4 Proračun poprečne armature



Slika 38. Poprečna sila nad osloncima za smjer x – presjeci



Slika 39. Poprečna sila nad osloncima za smjer y – presjeci

Smjer x

– mjerodavna poprečna sila:

$$V_{Ed} = 71,45 \text{ kN}$$

– nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{175}} = 2,07 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

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

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{5,03}{100 \cdot 17,5} = 0,00287 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

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

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00287 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 1000 \cdot 175 = 86082,92 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 86,08 \text{ kN}$$

– minimalna vrijednost za $V_{Rd,c}$ je:

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

$$V_{Rd,c,\min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0) \cdot 1000 \cdot 175 = 94850 \text{ N} = 94,85 \text{ kN}$$

– provjera:

$$V_{Ed} = 71,45 \text{ kN} \leq V_{Rd,c} = 94,85 \text{ kN} \rightarrow \text{nije potrebno proračunati poprečnu armaturu}$$

Smjer y

– mjerodavna poprečna sila:

$$V_{Ed} = 41,47 \text{ kN}$$

– nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{175}} = 2,07 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$A_{s1,prov} = 3,85 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{3,85}{100 \cdot 17,5} = 0,0022 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

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

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,0022 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 1000 \cdot 175 = 78782,65 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 78,78 \text{ kN}$$

– minimalna vrijednost za $V_{Rd,c}$ je:

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

$$V_{Rd,c,\min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0) \cdot 1000 \cdot 175 = 94850 \text{ N} = 94,85 \text{ kN}$$

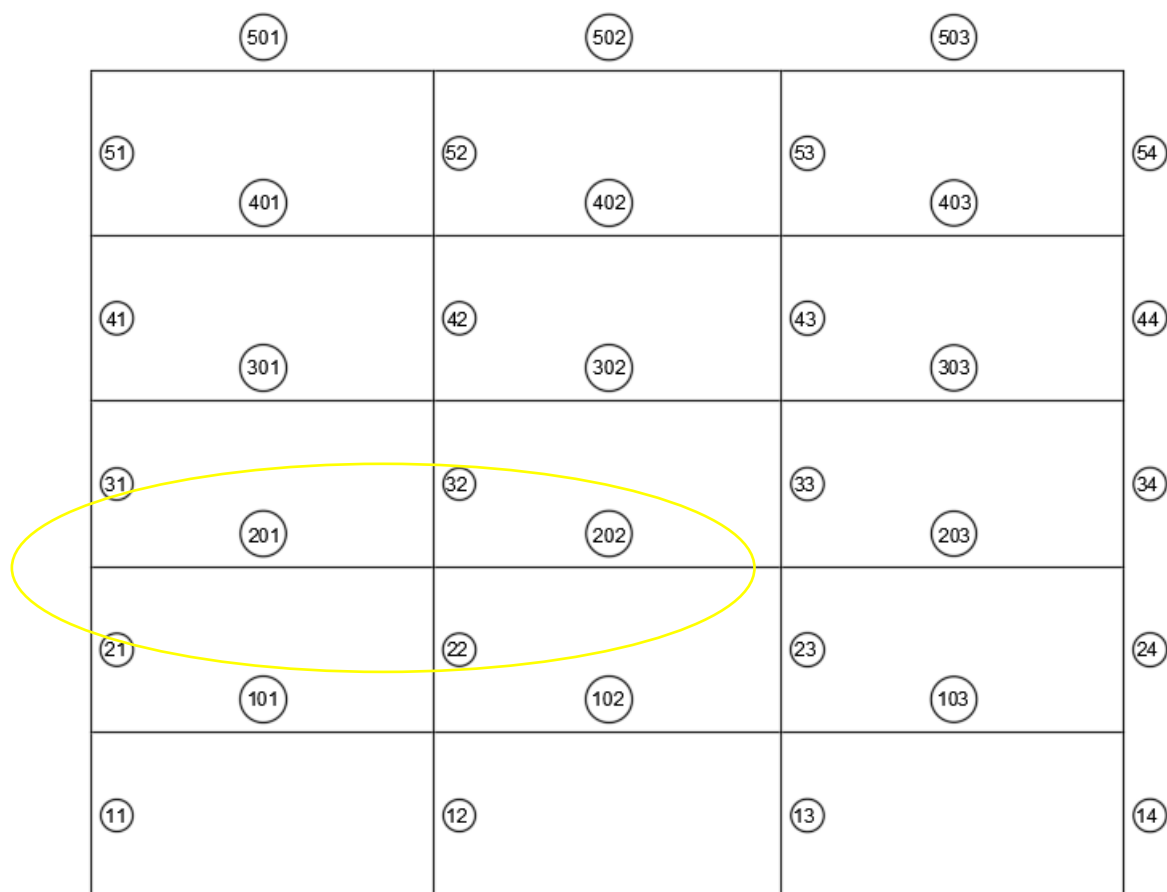
– provjera:

$$V_{Ed} = 41,47 \text{ kN} \leq V_{Rd,c} = 94,85 \text{ kN} \rightarrow \text{nije potrebno proračunati poprečnu armaturu}$$

5 PRORAČUN OKVIRA U OSI 6

5.1 Statički sustav

Na slici 40. prikazana je shema okvira s pozicijama korištenim u proračunu. Grede su označene pozicijama od 101 do 503, a stupovi označeni su pozicijama od 11 do 54.



Slika 40. Shema pozicije okvira

U tablicama 5., 7., 9. i 11. prikazane su uzdužne sile, poprečne sile i momenti savijanja za sve slučajeve opterećenja na gredi 201, gredi 202, stupu 22 i stupu 32. Za grede su prikazane vrijednosti za lijevi rub, desni rub (spoj sa stupovima 22 i 32) i za presjek u sredini raspona. Za stupove su prikazane vrijednosti na vrhu i na dnu stupa. Nisu razmotreni slučajevi opterećenja na krovu jer je njihov utjecaj na unutarnje sile u gredi pozicije 201 zanemariv.

Unutarnje sile uslijed potresa mogu imati pozitivnu i negativnu vrijednost. Provjeravaju se tri kombinacije opterećenja, standardna GSN kombinacija i dvije potresne kombinacije.

Kombinacija za granično stanje nosivosti određena je izrazom

$$E_d^{GSN} = 1,35 \cdot G_K + 1,5 \cdot Q_K$$

Kako je okvir u y – smjeru konstrukcije, mjerodavne potresne kombinacije su

$$E_d^{S,max} = 1,0 \cdot G_K + 0,3 \cdot Q_K + \max(1,0 \cdot S_y + 0,3 \cdot S_x)$$

$$E_d^{S,min} = 1,0 \cdot G_K + 0,3 \cdot Q_K + \min(1,0 \cdot S_y + 0,3 \cdot S_x)$$

U mjerodavnim potresnim kombinacijama, S_x predstavlja zbroj potresa u x – smjeru i pripadne torzije, a S_y predstavlja zbroj potresa u y-smjeru i pripadne torzije.

U tablicama 6., 8., 10. i 12. dane su vrijednosti unutarnjih sila za razmotrene kombinacije opterećenja.

5.2 Unutarnje sile u gredi pozicije 201

Tablica 5. Unutarnje sile na gredi 201

Slučaj opterećenja	Presjek	N [kN]	V _Z [kN]	M _y [kNm]
Vlastita težina	lijevo	0.06	-65.38	-77.60
	sredina	-0.09	2.48	66.33
	desno	-0.34	94.88	-92.40
Dodatno stalno	lijevo	-0.45	-40.68	-45.57
	sredina	-0.30	2.37	39.43
	desno	-0.57	58.52	-59.95
Uporabno	lijevo	-0.22	-16.88	-21.36
	sredina	-0.16	2.78	19.09
	desno	-31.00	27.05	-27.70
Potres X	lijevo	8.05	59.91	81.74
	sredina	8.37	15.56	5.36
	desno	19.93	41.49	-76.88
Potres torzija X	lijevo	1.70	2.40	19.76
	sredina	1.07	3.93	2.64
	desno	-0.91	10.43	-19.00
Potres Y	lijevo	14.77	-72.30	-247.17
	sredina	5.41	-47.03	-33.75
	desno	-13.76	-128.55	233.36
Potres torzija Y	lijevo	4.61	6.61	54.54
	sredina	2.63	10.56	10.81
	desno	-2.45	28.79	-52.45

Tablica 6. Unutarnje sile za proračunske kombinacije na gredi 201

Slučaj opterećenja	Presjek	N [kN]	V _Z [kN]	M _y [kNm]
GSN	lijevo	-0.86	-168.50	-198.32
	sredina	-0.77	10.72	171.41
	desno	-47.73	247.67	-247.22
Potres najmanja	lijevo	21.85	-13.52	202.58
	sredina	10.43	-57.75	64.53
	desno	12.25	-11.40	153.91
Potres najveća	lijevo	-22.76	-208.73	-461.74
	sredina	-11.31	69.12	158.45
	desno	-32.67	334.43	-475.23

5.3 Unutarnje sile u gredi pozicije 202

Tablica 7. Unutarnje sile na gredi 202

Slučaj opterećenja	Presjek	N [kN]	V _Z [kN]	M _y [kNm]
Vlastita težina	lijevo	0.61	-50.05	-56.58
	sredina	0.36	1.78	10.65
	desno	0.47	52.77	-56.38
Dodatno stalno	lijevo	0.43	-38.48	-43.18
	sredina	0.15	-1.17	7.91
	desno	0.19	39.93	-41.95
Uporabno	lijevo	0.22	-15.57	-18.41
	sredina	0.07	-0.54	3.08
	desno	0.09	16.36	-18.02
Potres X	lijevo	18.97	37.94	60.75
	sredina	26.04	11.04	10.12
	desno	24.49	48.84	-72.03
Potres torzija X	lijevo	0.73	10.27	16.27
	sredina	-0.62	2.84	0.72
	desno	-1.60	10.28	-16.24
Potres Y	lijevo	12.47	-124.60	-200.08
	sredina	-9.79	-36.43	-0.86
	desno	-14.85	-125.32	200.76
Potres torzija Y	lijevo	1.95	28.36	44.93
	sredina	-1.82	7.84	0.02
	desno	-4.32	28.38	-44.85

Tablica 8. Unutarnje sile za proračunske kombinacije na gredi 202

Slučaj opterećenja	Presjek	N [kN]	V _Z [kN]	M _y [kNm]
GSN	lijevo	1.73	-142.87	-162.29
	sredina	0.79	0.01	29.68
	desno	1.03	149.69	-159.78
Potres najmanja	lijevo	-19.22	74.22	162.83
	sredina	-19.08	-47.99	15.35
	desno	-26.31	-73.83	168.36
Potres najveća	lijevo	21.44	-260.62	-373.40
	sredina	20.14	48.88	23.62
	desno	27.68	269.04	-375.83

5.4 Unutarnje sile u stupu 22

Tablica 9. Unutarnje sile na stupu 22

Slučaj opterećenja	Presjek	N [kN]	V _Z [kN]	M _y [kNm]
Vlastita težina	gore	-905.95	-0.65	-1.27
	dolje	-917.72	-0.65	0.68
Dodatno stalno	gore	-401.58	-0.27	-0.59
	dolje	-401.58	-0.27	0.22
Uporabno	gore	-176.97	-0.30	-0.51
	dolje	-176.97	-0.30	0.38
Potres X	gore	-38.98	133.09	195.50
	dolje	-38.98	133.88	-205.27
Potres torzija X	gore	-0.60	-3.60	-5.38
	dolje	-0.60	-3.62	5.46
Potres Y	gore	20.13	10.90	16.09
	dolje	20.13	10.95	-16.72
Potres torzija Y	gore	-1.68	-9.92	-14.81
	dolje	-1.68	-9.97	15.03

Tablica 10. Unutarnje sile za proračunske kombinacije na stupu 22

Slučaj opterećenja	Presjek	N [kN]	V _Z [kN]	M _y [kNm]
GSN	gore	-2030.62	-1.69	-3.28
	dolje	-2046.51	-1.69	1.79
Potresna najmanja	gore	-1326.94	60.82	89.15
	dolje	-1338.71	61.16	-93.96
Potresna najveća	gore	-1394.31	-62.84	-93.18
	dolje	-1406.08	-63.18	95.98

5.5 Unutarnje sile u stupu 32

Tablica 11. Unutarnje sile na stupu 32

Slučaj opterećenja	Presjek	N [kN]	V _Z [kN]	M _y [kNm]
Vlastita težina	gore	-672.81	-0.87	-1.44
	dolje	-684.58	-0.87	1.18
Dodatno stalno	gore	-266.21	-0.33	-0.56
	dolje	-266.21	-0.33	0.42
Uporabno	gore	-117.47	-0.36	-0.57
	dolje	-117.47	-0.36	0.52
Potres X	gore	-21.14	129.60	198.29
	dolje	-21.14	130.82	-192.69
Potres torzija X	gore	-0.22	-3.00	-4.71
	dolje	-0.22	-3.03	4.33
Potres Y	gore	13.70	10.25	15.73
	dolje	13.70	10.34	15.18
Potres torzija Y	gore	-0.63	-8.30	-13.02
	dolje	-0.63	-8.37	12.00

Tablica 12. Unutarnje sile za proračunske kombinacije na stupu 32

Slučaj opterećenja	Presjek	N [kN]	V _Z [kN]	M _y [kNm]
GSN	gore	-1443.88	-2.16	-3.56
	dolje	-1459.77	-2.16	2.94
Potresna najmanja	gore	-953.52	57.02	87.48
	dolje	-965.29	57.56	-84.53
Potresna najveća	gore	-995.00	-59.64	-91.82
	dolje	-1006.77	-60.17	88.04

5.6 Dimenzioniranje okvira u osi 6

Tablica 13. Zadani parametri

Razred betona:	C 30/37
Čelik:	B500B
Poprečni presjek stupa:	40/40 cm
Širina hrpta grede:	$b_{gr} = 30 \text{ cm}$
Visina presjeka grede:	$h_{gr} = 50 \text{ cm}$
Debljina ploče:	$h_{pl} = 20 \text{ cm}$
Sudjelujuća širina grede (x smjer):	$b_{eff,201} = 120 \text{ cm}; b_{eff,201-202} = 200 \text{ cm}$
Raspon grede:	$a_{201} = 620 \text{ cm}; a_{202} = 630 \text{ cm}$
Svijetli raspon grede:	$l_{cl,201} = 580 \text{ cm}; l_{cl,202} = 590 \text{ cm}$
Visina etaže:	$h_{et} = 300 \text{ cm}$
Svijetla visina stupa:	$h_s = 300 - 50 = 250 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3 \text{ cm}$

5.6.1 Zahtijevana duktilnost

Zahtijevana duktilnost određena je izrazima:

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

Gdje je

q_0 – faktor ponašanja (osnovna vrijednost)

T_1 – prvi period konstrukcije u razmatranom smjeru

T_C – rubni period (ovisi o tipu tla)

U y-smjeru konstrukcija je klasificirana kao torzijski savitljiv sustav stoga je $q_0 = 2$, prvi period u promatranom smjeru je $T_1 = T_{1,y} = 0,64 \text{ s}$, a za razred tla B rubni period je $T_C = 0,50 \text{ s}$. Zahtijevana duktilnost iznosi

$$0,64 > 0,50 \rightarrow \mu_{\phi} = 2 \cdot 2 - 1 = 3$$

Međutim, kako je korišten čelik razreda duktilnosti B, a ne C, potrebno je zahtijevanu duktilnost povećati za 50%. Zahtijevana duktilnost iznosi:

$$\mu_{\phi} = 1,5 \cdot 3 = 4,5$$

5.6.2 Najveći dopušteni promjer

Kako bi se omogućio prijenos sile s grede na stup, potrebno je osigurati dovoljnu duljinu unosa te sile. Duljina unosa sile je veća što je veća dimenzija stupa (u smjeru okvira), a manji promjeri armature prenose manju silu pa se za njih zahtijeva manja duljina unosa. Nad rubnim stupovima je moguće oblikom šipki (kukama) osigurati unos sile, ali se nad srednjim stupom armatura provodi ravno. Stoga je potrebno odabrati dovoljno mali promjer armature pri kojem je unos sile osiguran na duljini presjeka stupa. Iznimno je važno ostvariti pravilan unos sile pa je potrebno osigurati da o njemu ne ovisi otkazivanje.

Za unutarnje čvorove greda – stup vrijedi:

$$\frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot v_d}{1 + 0,75 \cdot k_D \cdot \frac{\rho'}{\rho_{max}}}$$

Gdje je

d_{bl} – promjer uzdužne armature

h_c – dimenzija poprečnog presjeka stupa u smjeru razmatranog okvira

f_{ctm} – srednja vlačna čvrstoća betona

γ_{Rd} – faktor koji uzima u obzir očvršćavanje čelika (1 za DCM)

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika za armiranje

v_d – normalizirana uzdužna sila u stupu (najmanja vrijednost)

k_D – faktor ovisan o razredu duktilnosti ($2/3$ za DCM)

ρ' - koeficijent armiranja tlačnom armaturom

ρ_{max} – najveći dopušteni koeficijent armiranja vlačnom armaturom

Dopušteni promjer uzdužne armature za unutarnji čvor:

U izrazu za izračun dopuštenog promjera uzdužne armature za unutarnji čvor nepoznanice su promjer armature i odnos ρ'/ρ_{max} .

Tlačna armatura uvijek mora biti barem 50 % vlačne armature u gredi, tj. $\rho' \geq 0,5 \cdot \rho$. Kako trenutno nije poznata točna količina armature, dopušteno je pretpostaviti $\rho' = 0,5 \cdot \rho_{max}$. Ta je pretpostavka nesigurna jer će uvijek u presjeku biti veća količina tlačne armature pa je kasnije u proračunu potrebno provjeriti za stvarnu armature.

Normalizirana uzdužna sila se određuje pomoću najmanje vrijednosti sile stupa iznad i stupa ispod čvora. U srednjem čvoru se spajaju stupovi 22 na vrhu i 32 na dnu pa se promatraju najmanje vrijednosti uzdužne sile iz tablice 5.6 za vrh, odnosno tablice 5.8 za dno.

Mjerodavna je kombinacija "Potresna najveća" na dnu stupa 32 za koju je $N = 965,29 \text{ kN}$

Normalizirana uzdužna sila iznosi:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{965,29}{40 \cdot 40 \cdot 2} = 0,302$$

Najveći promjer uzdužne armature za srednji čvor iznosi (uz pretpostavku $\rho' = 0,5 \cdot \rho_{\max}$):

$$d_{bl} \leq h_c \cdot \left(\frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot v_d}{1 + 0,75 \cdot k_D \cdot 0,50} \right)$$
$$d_{bl} \leq 40 \cdot \frac{7,5 \cdot 0,29}{1 \cdot 43,478} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot 0,302}{1 + 0,75 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,50} = 1,99 \text{ cm} \approx 2,0 \text{ cm}$$

Prema tome, najveća dopuštena šipka u gornjoj zoni srednjeg ležaja grede je $\phi 20$.

Statička visina grede iznosi:

$$d_{greda} = h - c - \Phi_w - \frac{\Phi_s}{2} = 50 - 3 - 1 - \frac{2,0}{2} = 45,0 \text{ cm}$$

Statička visina stupa iznosi:

$$d_{stup} = h - c - \Phi_w - \frac{\Phi_s}{2} = 40 - 3 - 1 - \frac{2,0}{2} = 35,0 \text{ cm}$$

5.7 Greda 201 – presjek u polju

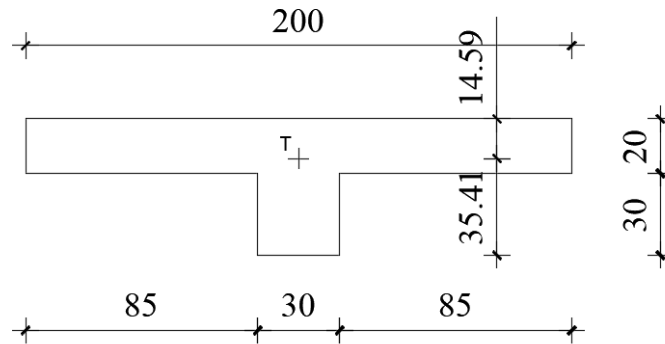
5.7.1 Poprečni presjek grede

Na slici 41. prikazan je poprečni presjek grede. Težište presjeka od gornjeg ruba ploče udaljeno je za

$$z_{t,gore} = \frac{(200 \cdot 20) \cdot \frac{20}{2} + (30 \cdot 30) \cdot \left(20 + \frac{30}{2}\right)}{200 \cdot 20 + 30 \cdot 30} = 14,59 \text{ cm}$$

Udaljenost težišta od donjeg ruba presjeka je:

$$z_{t,dolje} = h_{gr} - z_{t,gore} = 50 - 14,59 = 35,41 \text{ cm}$$



Slika 41. Poprečni presjek grede

5.7.2 Dimenzioniranje

Prema tablici 6. mjerodavna kombinacija za presjek u polju je „Potres najveća“ gdje uzdužna sila iznosi $N_{Ed} = 11,31 \text{ kN}$, a moment savijanja iznosi $M_{Ed} = 158,45 \text{ kNm}$.

Zamjenom uzdužne sile i momenta ekscentričnom silom, dobivamo iznos ekscentriciteta:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{15845}{11,31} = 1401 \text{ cm}$$

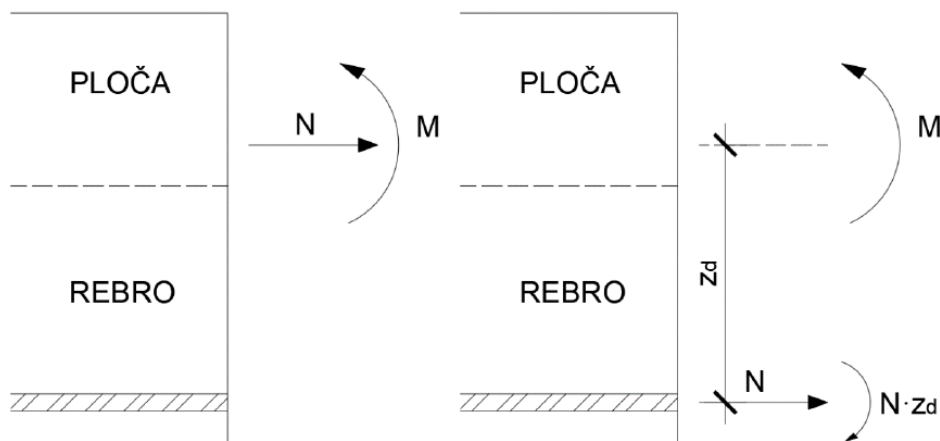
Odnosno ekvivalentna pomaknuta sila se nalazi van presjeka. Kako je sila van presjeka i

$$v = \frac{N_{Ed}}{b_{gr} \cdot h_{gr} \cdot f_{cd}} = \frac{11,31}{30 \cdot 50 \cdot 2} = 0,00377 < 0,3$$

moguće je primijeniti pojednostavljeni postupak dimenzioniranja (prema Ehlersu ili Wuczkowskom). Sila se pomiče u težište vlačne armature. Udaljenost presjeka i vlačne armature iznosi:

$$z_d = d_{greda} - z_{t,g} = 45,0 - 14,59 = 30,41 \text{ cm}$$

Kako se stanje opterećenja ne bi promijenilo, potrebno je dodati negativan moment $N_{Ed} \cdot z_d$ kao što je prikazano na slici 42.



Slika 42. Prikaz pojednostavljenog postupka

Ukupni moment iznosi:

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_d = 15845 - 11,31 \cdot 30,41 = 15501,06 \text{ kNcm}$$

Bezdimenzijski moment savijanja iznosi (uz pretpostavku da neutralna os prolazi kroz ploču):

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{15501,06}{200 \cdot 45,0^2 \cdot 2} = 0,019$$

Za $\mu_{Rd} = 0,020$

$$\zeta = 0,983 \quad \xi = 0,048$$

$$x = \xi \cdot d = 0,048 \cdot 45,0 = 2,16 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad x < h_f$$
$$h_f = h_{pl} = 20 \text{ cm}$$

Prema tome neutralna os se nalazi u ploči i pretpostavka je zadovoljena. Potrebna količina armature iznosi:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{15501,06}{0,983 \cdot 45,0 \cdot 43,478} + \frac{11,31}{43,478} = 8,32 \text{ cm}^2$$

5.7.3 Minimalna armatura

Potrebno je osigurati minimalnu količinu armature u svim presjecima elementa kako pri pojavi pukotine ne bi došlo do naglog sloma armature i presjeka. Uvjet za minimalnu armaturu iznosi:

$$A_{s,min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d = 0,50 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 30 \cdot 45,0 = 3,92 \text{ cm}^2$$

Izraz za minimalnu armaturu zahtijeva gotovo dvostruko veću minimalnu armaturu nego izraz prema HRN EN 1992-1-1.

Odabrana armatura za gredu 201 u polju: $3\phi 20 (9,42 \text{ cm}^2)$

5.8 Greda 201 – presjek nad osloncem (lijevi rub)

Prema tablici 6. mjerodavna kombinacija za presjek na lijevom rubu je „Potresna najveća“ gdje uzdužna sila iznosi $N_{Ed} = 22,76 \text{ kN}$, a moment savijanja iznosi $M_{Ed} = 461,74 \text{ kNm}$.

5.8.1 Dimenzioniranje

Zamjenom uzdužne sile i momenta ekscentričnom silom, dobivamo iznos ekscentriciteta:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{46174}{22,76} = 2029 \text{ cm}$$

Kako uzdužna sila vrlo mala, koristi se pojednostavljeni postupak. Sila se pomiče u težište vlačne armature, a udaljenost težišta presjeka i vlačne armature iznosi:

$$z_d = d_{greda} - z_{t,d} = 45,0 - 35,41 = 9,59 \text{ cm}$$

Ukupni moment iznosi:

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_d = 46174 - 22,76 \cdot 9,59 = 45955,73 \text{ kNcm}$$

Bezdimenzijski moment savijanja iznosi:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Eds}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{45955,73}{30 \cdot 45,0^2 \cdot 2} = 0,378 > \mu_{lim} = 0,296 \rightarrow \text{potrebno dvostruko armirati}$$

Potrebno je odrediti graničnu vrijednost momenta savijanja i razliku između proračunskog i graničnog momenta nad osloncem. Zbog te razlike momenata javlja se novi spreg sila koji preuzima dodatni moment savijanja ΔM . U gornjoj (vlačnoj) zoni oslonca postavlja se vlačna i dodatna vlačna armatura za preuzimanje momenta $M_{Ed} = M_{Rd,lim} + \Delta M$, a u donjoj (tlačnoj) zoni tlačna armatura za preuzimanje ΔM .

$$M_{Rd,lim} = \mu_{lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,296 \cdot 30 \cdot 45,0^2 \cdot 2,0 = 35964 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd,lim} = 359,64 \text{ kNm}$$

$$M_{Eds} = 459,56 \text{ kNm} < 1,5 \cdot M_{Rd,lim} = 539,46 \text{ kNm} \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

$$\Delta M = M_{Eds} - M_{Rd,lim} = 459,56 - 359,64 = 99,92 \text{ kNm}$$

Potrebna površina vlačne armature nad osloncem:

$$\zeta_{lim} = 0,994 - 0,426 \cdot \mu_{lim} - 0,617 \cdot \mu_{lim}^2$$

$$\zeta_{lim} = 0,994 - 0,426 \cdot 0,296 - 0,617 \cdot 0,296^2 = 0,813$$

$$d_2 = c + \Phi_w + \Phi_s + \frac{3}{2} = 3 + 1 + 2 + \frac{3}{2} = 7,5 \text{ cm} \rightarrow \text{tlačna armatura u 2 reda}$$

$$A_{s1, \text{req}} = \frac{M_{Rd, \text{lim}}}{\xi_{\text{lim}} \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Eds} - M_{Rd, \text{lim}}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}} = \frac{35964}{0,813 \cdot 45,0 \cdot 43,478} + \frac{45956 - 35964}{(45,0 - 7,5) \cdot 43,478} = 28,54 \text{ cm}^2$$

Potrebna površina tlačne armature nad osloncem:

– granični koeficijent visine tlačnog područja presjeka (za $\leq C50/60$):

$$\xi_{\text{lim}} = \frac{x}{d} = 0,45 \rightarrow x = 0,45 \cdot d = 0,45 \cdot 45,0 = 20,25 \text{ cm}$$

– naprezanje u tlačnoj armaturi:

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = \frac{\varepsilon_c}{x} \cdot (x - d_2) \cdot E_s \leq f_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{0,0035}{20,25} \cdot (20,25 - 7,5) \cdot 2 \cdot 10^4 = 44,074 \text{ kN/cm}^2 > f_{yd} = 43,478 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{s2, \text{req}} = \frac{M_{Eds} - M_{Rd, \text{lim}}}{(d - d_2) \cdot \sigma_{s2}} = \frac{45956 - 35964}{(45,0 - 7,5) \cdot 43,478} = 6,13 \text{ cm}^2/m$$

Za dvostruko armirani presjek nije potrebno provjeravati je li odabrana armatura veća od minimalne i manja od maksimalne. Važno je da je uvjet $M_{Ed} \leq 1,5 M_{Rd, \text{lim}}$ zadovoljen i da je u tlačnom dijelu presjeka postavljena armatura veća ili jednaka od $A_{s2, \text{req}}$. [4]

Odabrana armatura za gredu 201 nad lijevim osloncem:

Vlačna armatura:

$$9\phi 20 (A_{s1, \text{prov}} = 28,56 \text{ cm}^2/m) > A_{s1, \text{req}} = 28,54 \text{ cm}^2/m$$

Napomena: Prema tablici 4.10. iz knjige Betonske konstrukcije 1, najveći dopušteni broj komada armature u jednoj razini širine grede za promjer $\phi 20$ i $b_w = 30$ cm je 6. Budući da je u oslonac potrebno staviti 9 šipki kako bi se zadovoljila površina od $28,56 \text{ cm}^2$, dopušteno je preostale šipke postaviti unutar sudjelujuće širine $b_{\text{eff}, 201} = 120 \text{ cm}$. [4]

Tlačna armatura – prva pretpostavka:

$$4\phi 16 (A_{s2, \text{prov}} = 8,04 \text{ cm}^2/m) > A_{s2, \text{req}} = 6,13 \text{ cm}^2/m$$

5.8.2 Maksimalna armatura

Odabrana armatura u donjoj zoni iznosi $4\phi 16$ ($8,04 \text{ cm}^2$)

$$\rho' = \frac{A'_{s,\text{prov}}}{b_w \cdot d} = \frac{8,04}{30 \cdot 45,0} = 0,006$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području iznosi:

$$\rho_{\text{max}} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\Phi} \cdot \varepsilon_{\text{sy,d}}} \cdot \frac{f_{\text{cd}}}{f_{\text{yd}}} = 0,006 + \frac{0,0018}{4,5 \cdot \frac{43,478}{20000}} \cdot \frac{2}{43,478} = 0,01446$$

Maksimalna armatura iznosi:

$$A_{s,\text{max}} = \rho_{\text{max}} \cdot b \cdot d = 0,01446 \cdot 30 \cdot 45,0 = 19,52 \text{ cm}^2 < A_{s1,\text{prov}} = 28,56 \text{ cm}^2$$

Budući da potrebna vlačna armatura premašuje maksimalnu vrijednost, potrebno je povećati tlačnu armaturu.

Nova odabrana tlačna armatura: $6\phi 20$ ($18,85 \text{ cm}^2$)

$$\rho' = \frac{A'_{s,\text{prov}}}{b_w \cdot d} = \frac{18,85}{30 \cdot 45,0} = 0,013963$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području iznosi:

$$\rho_{\text{max}} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\Phi} \cdot \varepsilon_{\text{sy,d}}} \cdot \frac{f_{\text{cd}}}{f_{\text{yd}}} = 0,013963 + \frac{0,0018}{4,5 \cdot \frac{43,478}{20000}} \cdot \frac{2}{43,478} = 0,02243$$

Maksimalna armatura iznosi:

$$A_{s,\text{max}} = \rho_{\text{max}} \cdot b \cdot d = 0,02243 \cdot 30 \cdot 45,0 = 30,27 \text{ cm}^2 > A_{s1,\text{prov}} = 28,56 \text{ cm}^2$$

Odnos $\frac{\rho'}{\rho_{\text{max}}} = 0,623$ pa je dopušteni promjer armature manji od pretpostavljenog:

$$d_{\text{bl}} \leq h_c \cdot \left(\frac{7,5 \cdot f_{\text{ctm}}}{\gamma_{\text{Rd}} \cdot f_{\text{yd}}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot v_d}{1 + 0,75 \cdot k_D \cdot 0,50} \right)$$

$$d_{\text{bl}} \leq 40 \cdot \frac{7,5 \cdot 0,29}{1 \cdot 43,478} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot 0,302}{1 + 0,75 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,623} = 1,89 \text{ cm}$$

Napomena: Iako je odabrani promjer armature malo veći od dopuštenog, presjek će se ipak armirati s $\phi 20$ jer se takvo odstupanje može smatrati prihvatljivim.

5.9 Greda 201 – presjek nad osloncem uz stupove 22 i 32 (desni rub)

Prema tablici 6. mjerodavna kombinacija za presjek na lijevom rubu je „Potresna najveća“ gdje uzdužna sila iznosi $N_{Ed} = 32,67 \text{ kN}$, a moment savijanja iznosi $M_{Ed} = 475,23 \text{ kNm}$.

5.9.1 Dimenzioniranje

Zamjenom uzdužne sile i momenta ekscentričnom silom, dobivamo iznos ekscentriciteta:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{47523}{32,67} = 1455 \text{ cm}$$

Kako uzdužna sila vrlo mala, koristi se pojednostavljeni postupak. Sila se pomiče u težište vlačne armature, a udaljenost težišta presjeka i vlačne armature iznosi:

$$z_d = d_{greda} - z_{t,d} = 45,0 - 35,41 = 9,59 \text{ cm}$$

Ukupni moment iznosi:

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_d = 47523 - 32,67 \cdot 9,59 = 47209,70 \text{ kNcm}$$

Bezdimenzijski moment savijanja iznosi:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Eds}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{47209,70}{30 \cdot 45^2 \cdot 2} = 0,389 > \mu_{lim} = 0,296 \rightarrow \text{potrebno dvostruko armirati}$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{lim} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,296 \cdot 30 \cdot 45,0^2 \cdot 2,0 = 35964 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd,lim} = 359,64 \text{ kNm}$$

$$M_{Eds} = 472,10 \text{ kNm} < 1,5 \cdot M_{Rd,lim} = 539,46 \text{ kNm} \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

$$\Delta M = M_{Eds} - M_{Rd,lim} = 472,10 - 359,64 = 112,46 \text{ kNm}$$

Potrebna površina vlačne armature nad osloncem:

$$\zeta_{lim} = 0,994 - 0,426 \cdot \mu_{lim} - 0,617 \cdot \mu_{lim}^2$$

$$\zeta_{lim} = 0,994 - 0,426 \cdot 0,296 - 0,617 \cdot 0,296^2 = 0,813$$

$$d_2 = c + \Phi_w + \Phi_s + \frac{3}{2} = 3 + 1 + 2 + \frac{3}{2} = 7,5 \text{ cm} \rightarrow \text{tlačna armatura u 2 reda}$$

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Rd,lim}}{\zeta_{lim} \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Eds} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}} = \frac{35964}{0,813 \cdot 45,0 \cdot 43,478} + \frac{47209,70 - 35964}{(45,0 - 7,5) \cdot 43,478} = 29,51 \text{ cm}^2$$

Potrebna površina tlačne armature nad osloncem:

– granični koeficijent visine tlačnog područja presjeka (za $\leq C50/60$):

$$\xi_{\text{lim}} = \frac{x}{d} = 0,45 \rightarrow x = 0,45 \cdot d = 0,45 \cdot 45,0 = 20,25 \text{ cm}$$

– naprezanje u tlačnoj armaturi:

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = \frac{\varepsilon_c}{x} \cdot (x - d_2) \cdot E_s \leq f_{yd}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{0,0035}{20,25} \cdot (20,25 - 7,5) \cdot 2 \cdot 10^4 = 44,074 \text{ kN/cm}^2 > f_{yd} = 43,478 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{s2, \text{req}} = \frac{M_{Eds} - M_{Rd, \text{lim}}}{(d - d_2) \cdot \sigma_{s2}} = \frac{47209,70 - 35964}{(45,0 - 7,5) \cdot 43,478} = 6,90 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Za dvostruko armirani presjek nije potrebno provjeravati je li odabrana armatura veća od minimalne i manja od maksimalne. Važno je da je uvjet $M_{Ed} \leq 1,5 M_{Rd, \text{lim}}$ zadovoljen i da je u tlačnom dijelu presjeka postavljena armatura veća ili jednaka od $A_{s2, \text{req}}$. [4]

Odabrana armatura za gredu 201 nad desnim osloncem:

Vlačna armatura:

$$8\phi 20 + 4\phi 12 (A_{s1, \text{prov}} = 29,65 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1, \text{req}} = 29,51 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Napomena: Prema tablici 4.10. iz knjige Betonske konstrukcije 1, najveći dopušteni broj komada armature u jednoj razini širine grede za promjer $\phi 20$ i $b_w = 30$ cm je 6. Budući da je u oslonac potrebno staviti 10 šipki kako bi se zadovoljila površina od $31,42 \text{ cm}^2$, dopušteno je preostale šipke postaviti unutar sudjelujuće širine $b_{\text{eff}, 201-202} = 200 \text{ cm}$. [4, 9]

Tlačna armatura:

$$6\phi 20 (A_{s2, \text{prov}} = 18,85 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s2, \text{req}} = 6,90 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5.9.2 Maksimalna armatura

Odabrana armatura u donjoj zoni iznosi $6\phi 20$ ($18,85 \text{ cm}^2$)

$$\rho' = \frac{A'_{s,\text{prov}}}{b_w \cdot d} = \frac{18,85}{30 \cdot 45,0} = 0,013963$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području iznosi:

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\Phi} \cdot \epsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,013963 + \frac{0,0018}{4,5 \cdot \frac{43,478}{20000}} \cdot \frac{2}{43,478} = 0,02243$$

Maksimalna armatura iznosi:

$$A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b \cdot d = 0,02243 \cdot 30 \cdot 45,0 = 30,27 \text{ cm}^2 > A_{s1,\text{prov}} = 29,15 \text{ cm}^2$$

Odnos $\frac{\rho'}{\rho_{\max}} = 0,623$ pa je dopušten promjer armature manji od pretpostavljenog:

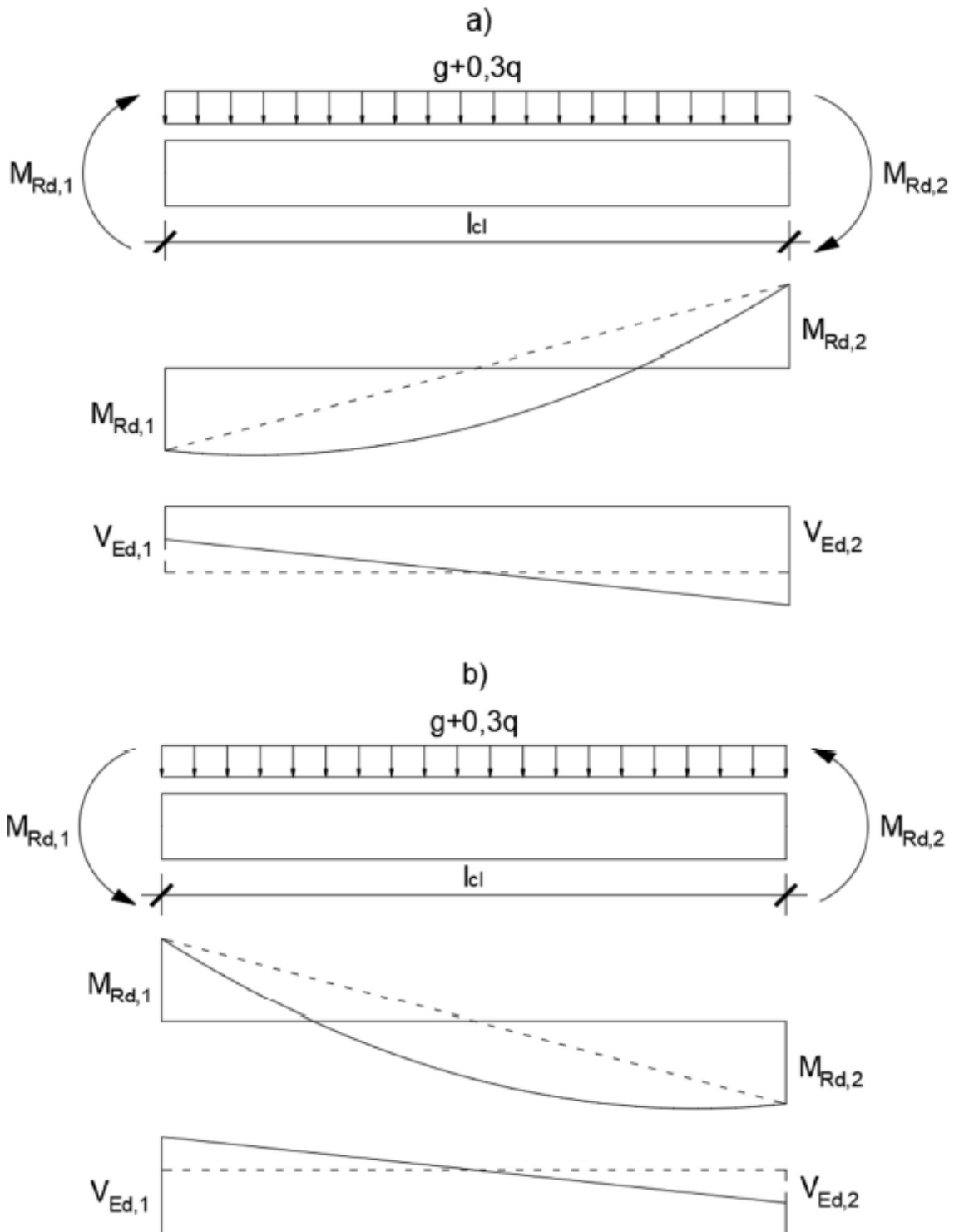
$$d_{bl} \leq h_c \cdot \left(\frac{7,5 \cdot f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot v_d}{1 + 0,75 \cdot k_D \cdot 0,50} \right)$$

$$d_{bl} \leq 40 \cdot \frac{7,5 \cdot 0,29}{1 \cdot 43,478} \cdot \frac{1 + 0,8 \cdot 0,302}{1 + 0,75 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,623} = 1,89 \text{ cm}$$

Napomena: Analogno presjeku nad osloncem na lijevom rubu, i ovdje se odabire $\phi 20$ jer se odstupanje od dopuštenog promjera armature može smatrati prihvatljivim.

5.10 Nosivost grede 201 na poprečnu silu

Potrebno je osigurati da greda otkáže savijanjem, a ne posmikom. Zato je potrebno osigurati da pri opterećenju koje uzrokuje otkazivanje savijanjem ne dolazi do sloma posmikom.



Slika 43. Greda s poprečnim opterećenjem i momentima na krajevima

Na jednom kraju grede razvlači se donja zona, a na drugom gornja zona. Izraz za određivanje poprečne sile grede iznosi:

$$V_{Ed} = \frac{M_{Rd,1} + M_{Rd,2}}{l_{cl}} \pm V_{Ed,g+0,3q}$$

Gdje je:

$V_{Ed,g+0,3q}$ – poprečna sila zbog vertikalnog opterećenja

l_{cl} – svjetli raspon grede

Za određivanje poprečne sile u gredi potrebno ju je opteretiti ne samo momentima nosivosti grede, nego i vertikalnim opterećenjem koje tijekom potresa djeluje ($g+0,3q$). Momenti $M_{Rd,1}$ i $M_{Rd,2}$ su nosivosti greda (ili stupova ako oni prije otkazuju). Njihova vrijednost određena je izrazom (za određivanje $M_{Rd,2}$, umjesto $M_{Rb,1}$ se koristi $M_{Rb,2}$):

$$M_{Rd,1} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rb,1} \cdot \min \left(1; \frac{\sum M_{Rd,c}}{\sum M_{Rd,b}} \right)$$

Faktorom γ_{Rd} (koji za DCM iznosi 1) se u obzir uzima očvršćivanje armature. Posljednji član izraza u obzir uzima otkazuje li greda ili stup (ekvivalentan član postoji pri određivanju sile stupa). Uvijek je bolje oblikovati okvir tako da otkazuju prvo grede, a potom stupovi. Tada je za DCM:

$$M_{Rd,1} = M_{Rb,1}$$

$$M_{Rd,2} = M_{Rb,2}$$

Gdje je:

$M_{Rd,1}$ – nosivost grede na savijanje na lijevom kraju

$M_{Rd,2}$ – nosivost grede na savijanje na desnom kraju

Što je veća nosivost presjeka na savijanje, to se zahtijeva veća nosivost na poprečnu silu. Kako nosivost na savijanje ovisi o veličini uzdužne sile, razmatra se ona potresna kombinacija koja daje najveću nosivost (najveća tlačna sila ili najmanja vlačna sila).

5.10.1 Nosivost grede 201 na negativni moment savijanja na lijevom rubu

Odabrana armatura iznosi $A_{s1,prov} = 28,56 \text{ cm}^2$ ($9\phi 20$) i $A_{s2,prov} = 18,85 \text{ cm}^2$ ($6\phi 20$).

Mehanički koeficijent armiranja iznosi:

$$\omega_{1,prov} = \frac{A_{s1,prov} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{28,56 \cdot 43,478}{30 \cdot 45,0 \cdot 2} = 0,46$$

$$\omega_{2,prov} = \frac{A_{s2,prov} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{18,85 \cdot 43,478}{30 \cdot 45,0 \cdot 2} = 0,30$$

Za ω_{prov} i $\nu_{Ed} = 0$ vrijednosti bezdimenzijskih momenata nosivosti iznosi $\mu_{Rd,1} = 0,375$ i $\mu_{Rd,2} = 0,24$.

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,1}^{201L-} = \mu_{Rd,1} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,375 \cdot 30 \cdot 45,0^2 \cdot 2 = -45562,5 \text{ kNcm} = -455,63 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,2}^{201L-} = \mu_{Rd,2} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,24 \cdot 30 \cdot 45,0^2 \cdot 2 = -29160 \text{ kNcm} = -291,60 \text{ kNm}$$

5.10.2 Nosivost grede 201 na pozitivni moment savijanja na lijevom rubu

Odabrana armatura iznosi $A_{s1,prov} = 28,56 \text{ cm}^2$ ($9\phi 20$) i $A_{s2,prov} = 18,85 \text{ cm}^2$ ($6\phi 20$).

Mehanički koeficijent armiranja iznosi:

$$\omega_{1,prov} = \frac{A_{s1,prov} \cdot f_{yd}}{b_{eff,201} \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{28,56 \cdot 43,478}{120 \cdot 45,0 \cdot 2} = 0,11$$

$$\omega_{2,prov} = \frac{A_{s2,prov} \cdot f_{yd}}{b_{eff,201} \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{18,85 \cdot 43,478}{120 \cdot 45,0 \cdot 2} = 0,08$$

Za ω_{prov} i $\nu_{Ed} = 0$ vrijednost bezdimenzijskih momenata nosivosti iznose $\mu_{Rd,1} = 0,10$ i $\mu_{Rd,2} = 0,07$.

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,1}^{201L+} = \mu_{Rd,1} \cdot b_{eff,201} \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,10 \cdot 120 \cdot 45,0^2 \cdot 2 = 48600 \text{ kNcm} = 486,00 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,2}^{201L+} = \mu_{Rd,2} \cdot b_{eff,201} \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,07 \cdot 120 \cdot 45,0^2 \cdot 2 = 34020 \text{ kNcm} = 340,20 \text{ kNm}$$

5.10.3 Nosivost grede 201 na negativni moment savijanja na desnom rubu

Odabrana armatura je $A_{s1,prov} = 29,65 \text{ cm}^2$ ($8\phi 20 + 4\phi 12$) i $A_{s2,prov} = 18,85 \text{ cm}^2$ ($6\phi 20$).

Mehanički koeficijent armiranja iznosi:

$$\omega_{1,prov} = \frac{A_{s1,prov} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{29,65 \cdot 43,478}{30 \cdot 50 \cdot 2} = 0,43$$

$$\omega_{2,prov} = \frac{A_{s2,prov} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{18,85 \cdot 43,478}{30 \cdot 50 \cdot 2} = 0,27$$

Bezdimenzijska uzdužna sila iznosi:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-32,67}{30 \cdot 50 \cdot 2} = -0,01$$

Kako je vrijednost uzdužne sile vrlo mala, ne utječe značajno na nosivost na savijanje. Za ω_{prov} i v_{Ed} vrijednosti bezdimenzijskih momenata nosivosti iznose $\mu_{Rd,1} = 0,33$ i $\mu_{Rd,2} = 0,23$.

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,1}^{201 D^-} = \mu_{Rd,1} \cdot b_w \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,33 \cdot 30 \cdot 50^2 \cdot 2 = -49500 \text{ kNcm} = -495,00 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,2}^{201 D^-} = \mu_{Rd,2} \cdot b_w \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,23 \cdot 30 \cdot 50^2 \cdot 2 = -34500 \text{ kNcm} = -345,00 \text{ kNm}$$

5.10.4 Nosivost grede 201 na pozitivni moment savijanja na desnom rubu

Odabrana armatura je $A_{s1,prov} = 29,65 \text{ cm}^2$ ($8\phi 20 + 4\phi 12$) i $A_{s2,prov} = 18,85 \text{ cm}^2$ ($6\phi 20$).

Mehanički koeficijent armiranja iznosi:

$$\omega_{1,prov} = \frac{A_{s1,prov} \cdot f_{yd}}{b_{eff,201-202} \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{29,65 \cdot 43,478}{200 \cdot 50 \cdot 2} = 0,06$$

$$\omega_{2,prov} = \frac{A_{s2,prov} \cdot f_{yd}}{b_{eff,201-202} \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{18,85 \cdot 43,478}{200 \cdot 50 \cdot 2} = 0,04$$

Bezdimenzijska uzdužna sila iznosi:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_{eff,201-202} \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-32,67}{200 \cdot 50 \cdot 2} = -0,001$$

Kako je vrijednost uzdužne sile vrlo mala, ne utječe značajno na nosivost na savijanje. Za ω_{prov} i v_{Ed} vrijednost bezdimenzijskog momenta nosivosti iznosi $\mu_{Rd,1} = 0,06$ i $\mu_{Rd,2} = 0,04$.

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,1}^{201 D^+} = \mu_{Rd,1} \cdot b_{eff,201-202} \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,06 \cdot 200 \cdot 50^2 \cdot 2 = 60000 \text{ kNcm} = 600 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,2}^{201 D^+} = \mu_{Rd,2} \cdot b_{eff,201-202} \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,04 \cdot 200 \cdot 50^2 \cdot 2 = 40000 \text{ kNcm} = 400 \text{ kNm}$$

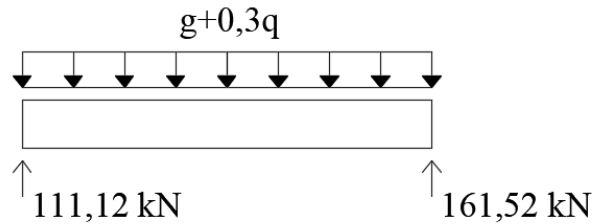
5.10.5 Proračunske poprečne sile u gredi 201

Poprečna sila uslijed kombinacije $g + 0,3 \cdot q$ može se odrediti iz tablice 5.1. Prema tome je:

$$V_{Ed,g+0,3q}^{\text{lijevo}} = -65,38 - 40,68 - 0,3 \cdot 16,88 = -111,12 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,g+0,3q}^{\text{desno}} = 94,88 + 58,52 + 0,3 \cdot 27,05 = 161,52 \text{ kN}$$

Na slici 44. prikazano je vertikalno djelovanje i poprečne reakcije na gredi 201.

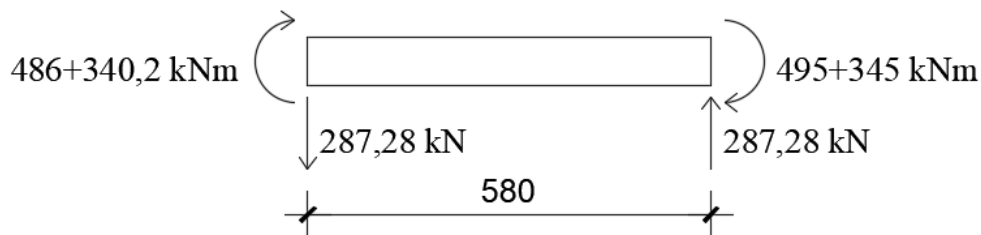


Slika 44. Poprečne sile od vertikalnog djelovanja

Otpetari li se greda samo momentima nosivosti u skladu sa slikom 5.5.a) poprečne sile iznose:

$$V_{Ed,M}^{\text{lijevo}} = V_{Ed,M}^{\text{desno}} = \frac{48600 + 34020 + 49500 + 34500}{580} = 287,28 \text{ kN}$$

Na slici 45. prikazani su momenti nosivosti i poprečne reakcije na gredi 201 za smjer djelovanja potresa koji uzrokuje momente na slici 43.a).



Slika 45. Poprečne sile od potresa u jednom smjeru

Poprečna sila jednaka je zbroju sila sa slika 44. i 45.

Poprečna sila na lijevom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{L,1} = -111,12 + 287,28 = 176,16 \text{ kN}$$

Poprečna sila na desnom rubu iznosi:

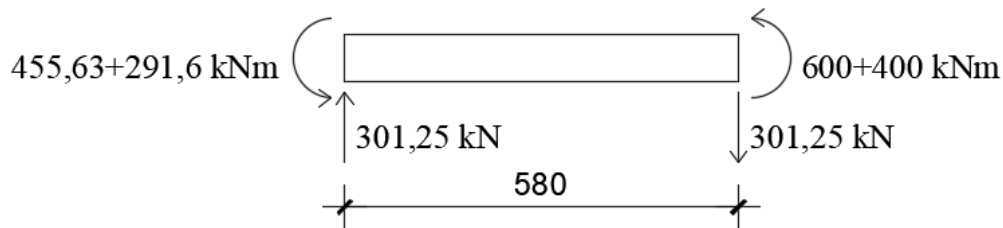
$$V_{Ed}^{D,1} = 161,52 + 287,28 = 448,80 \text{ kN}$$

Kad potres djeluje u suprotnom smjeru razvlače se suprotni rubovi greda.

Otpetreti li se greda samo momentima nosivosti u skladu sa slikom 5.5.b) poprečne sile iznose:

$$V_{Ed,M}^{lijevo} = V_{Ed,M}^{desno} = \frac{45562,5 + 29160 + 60000 + 40000}{580} = 301,25 \text{ kN}$$

Na slici 46. su prikazani momenti nosivosti i poprečne reakcije na gredi 201 za smjer djelovanja potresa koji uzrokuje momente kao na slici 43.b).



Slika 46. Poprečne sile od potresa u drugom smjeru

Poprečna sila jednaka je zbroju sila sa slika 44. i 46.

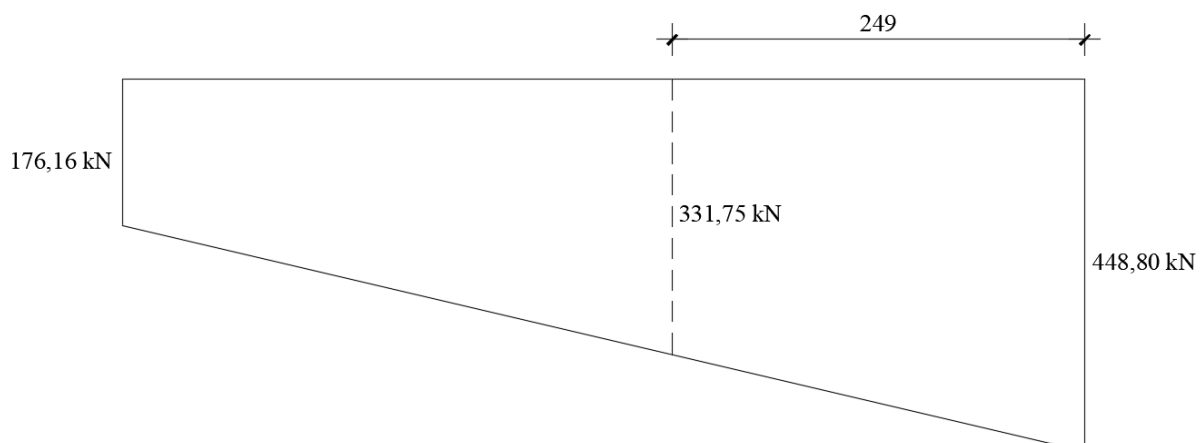
Poprečna sila na lijevom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{L,2} = -111,12 - 301,25 = -412,37 \text{ kN}$$

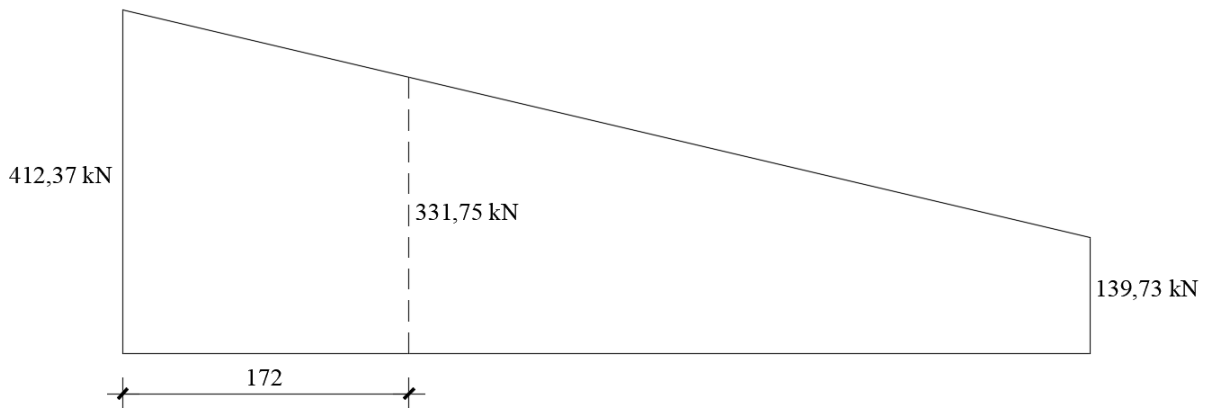
Poprečna sila na desnom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{D,2} = 161,52 - 301,25 = -139,73 \text{ kN}$$

Na slici 47. prikazan je dijagram poprečnih sila za slučaj opterećenja 1, koji odgovara slici 43.a), a na slici 48. prikazan je dijagram poprečnih sila za slučaj opterećenja 2, koji odgovara slici 43.b).



Slika 47. Dijagram poprečnih sila od potresa u jednom smjeru



Slika 48. Dijagram poprečnih sila od potresa u drugom smjeru

5.10.6 Poprečna armatura grede

Pretpostave li se spona $\phi 10$ zahtijevani prvi razmak na lijevom rubu iznosi:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{2 \cdot 0,785}{412,37} \cdot 0,9 \cdot 45,0 \cdot 43,478 \cdot 1,2 = 8,04 \text{ cm}$$

Zahtijevani prvi razmak na desnom rubu iznosi:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{2 \cdot 0,785}{448,80} \cdot 0,9 \cdot 45,0 \cdot 43,478 \cdot 1,2 = 7,39 \text{ cm}$$

5.10.7 Maksimalni razmak spona

Kritično područje grede iznosi $l_{cr} = h_w = 50 \text{ cm}$, gdje je h_w visina presjeka. U kritičnom području razmak spona ne smije biti veći od:

$$s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot \phi_{s,min}; 24 \cdot \phi_{sw}; \frac{h_w}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\}$$

Uvrštavanjem u izraz vrijedi:

$$s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot 1,6; 24 \cdot 1,0; \frac{50}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = \min \{ 12,8; 24,0; 12,5; 22,5 \text{ cm} \}$$

$$s_{cr,max} = 12,5 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona u kritičnom području iznosi $s_{cr,max} = 7,0 \text{ cm}$.

Van kritičnog područja je maksimalni razmak spona određen normom EN 1992-1.

Prvi razmak se ne smije postaviti na udaljenosti većoj od 5 cm od lica stupa pa će se prva spona postaviti na udaljenosti 5 cm od lica stupa. Duž cijele grede će se postaviti spona na razmaku 7 cm.

Razmak spona od 10 cm moguć je na presjecima u kojima je poprečna sila manja od

$$V_{Ed} \leq \frac{2 \cdot A_{sw}}{10} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

$$\frac{2 \cdot A_{sw}}{10} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{2 \cdot 0,785}{10} \cdot 0,9 \cdot 45,0 \cdot 43,478 \cdot 1,2 = 331,75 \text{ kN}$$

Kako je dijagram poprečnih sila za slučaj opterećenja 1 (slika 47.) kritičniji, prema njemu je vidljivo da se razmak spona od 10 cm dopušta tek na udaljenosti 250 cm od desnog ruba. Budući da se greda armira simetrično, srednji dio na kojem se mogu postaviti spona $\phi 10/10 \text{ cm}$ iznosi samo 80 cm. Prema tome je određeno da se duž cijele grede armira sponama na razmaku 7 cm.

Odabrana armatura za gredu 201: $\phi 10/7,0 \text{ cm}$ (83 komada duž grede)

5.11 Uzdužna armatura stupova

Uzdužna armatura stupa se može odrediti pomoću dijagrama interakcije. Potrebno je provjeriti nosivost za sve stupove i sve kombinacije opterećenja. Kritičan će biti stup 32 pri vrhu za kombinaciju „Potresna najmanja” gdje je najmanja uzdužna sila jer daje veću armaturu u odnosu na najveći moment i pripadnu uzdužnu silu:

$$M_{Ed} = 87,43 \text{ kNm} \text{ i } N_{Ed} = -953,52 \text{ kN.}$$

Bezdimenzijski moment savijanja na dnu stupa 32:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{8743}{40 \cdot 40^2 \cdot 2} = 0,068$$

Bezdimenzijska uzdužna sila na dnu stupa 32:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-953,52}{40 \cdot 40 \cdot 2} = -0,30$$

Mehanički koeficijent armiranja iznosi:

$$\omega = 0,05$$

Prema tome je zahtijevana armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{b \cdot h \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 0,05 \cdot \frac{40 \cdot 40 \cdot 2}{43,478} = 3,68 \text{ cm}^2$$

5.11.1 Minimalna uzdužna armatura

Minimalna uzdužna armatura za potresne stupove iznosi:

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 40^2 = 16 \text{ cm}^2$$

Uz svaki rub je potrebno postaviti pola minimalne armature odnosno 8 cm^2 . Minimalna armatura je mjerodavna.

Odabrana armatura za stup 32: $4\phi 16$ ($8,04 \text{ cm}^2$) uz svako lice stupa

Na bočna lica stupa potrebno je postaviti barem jednu šipku u sredini pa se postavlja dodatno $2\phi 16$. Ukupno je u presjeku postavljeno $10\phi 16$, odnosno $A_{s,uk} = 20,11 \text{ cm}^2$ što je više od minimalne armature.

5.11.2 Nosivost na savijanje

Kako bi se osiguralo da prvo otkazuju grede, a tek nakon njih stupovi potrebno je zadovoljiti izraz:

$$\sum M_{RC} \geq 1,3 \cdot \sum M_{Rb}$$

Gdje je:

$\sum M_{RC}$ – zbroj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru

$\sum M_{Rb}$ – zbroj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru

Nosivost grede je određena i ovisi o smjeru djelovanja potresne sile.

5.11.3 Spoj greda 201 i 202 sa stupovima 22 i 32 – desni oslonac grede 201

Prvo je potrebno odrediti nosivost stupova. Nosivost stupa ovisi o vrijednosti tlačne sile. Što je sila manja, to je i nosivost manja. Razmatra se kombinacija koja uzrokuje najmanju nosivost na vrhu stupa 22 i na dnu stupa 32, odnosno kombinacija "Potresna najmanja". Mehanički koeficijent armiranja (za oba stupa):

$$\omega = 8,04 \cdot \frac{43,478}{40^2 \cdot 2} = 0,11$$

Bezdimenzijska uzdužna sila na vrhu stupa 22:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed,min}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1326,94}{40 \cdot 40 \cdot 2} = -0,41$$

Bezdimenzijski moment nosivosti (očitan iz dijagrama interakcije [4]) $\mu_{Rd}^{22} = 0,22$.

Nosivost stupa 22 na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd}^{22} = \mu_{Rd}^{22} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,22 \cdot 40 \cdot 40^2 \cdot 2 = 28160 \text{ kNcm}$$

Bezdimenzijska uzdužna sila na dnu stupa 32:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed,min}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-965,29}{40 \cdot 40 \cdot 2} = -0,30$$

Bezdimenzijski moment nosivosti (očitan iz dijagrama interakcije [4]) $\mu_{Rd}^{32} = 0,19$.

Nosivost stupa 32 na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd}^{32} = \mu_{Rd}^{32} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,19 \cdot 40 \cdot 40^2 \cdot 2 = 24320 \text{ kNcm}$$

Potrebno je provjeriti oba smjera djelovanja potresa. Prije toga potrebno je još proračunati nosivost grede 202 na lijevom kraju na negativni i pozitivni moment savijanja.

5.11.4 Nosivost grede 202 na negativni moment savijanja na lijevom rubu

Odabrana armatura (armatura desnog oslonca grede 201):

$$A_{s1,prov} = 29,65 \text{ cm}^2 (8\phi 20 + 4\phi 12)$$

$$A_{s2,prov} = 18,85 \text{ cm}^2 (6\phi 20)$$

Mehanički koeficijenti armiranja iznose:

$$\omega_{1,prov} = \frac{A_{s1,prov} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{29,65 \cdot 43,478}{30 \cdot 50 \cdot 2} = 0,43$$

$$\omega_{2,prov} = \frac{A_{s2,prov} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{18,85 \cdot 43,478}{30 \cdot 50 \cdot 2} = 0,27$$

Bezdimenzijska uzdužna sila iznosi:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed,min}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{21,44}{30 \cdot 50 \cdot 2} = 0,007$$

Za ω_{prov} i v_{Ed} vrijednosti bezdimenzijskih momenata nosivosti iznose $\mu_{Rd,1} = 0,34$ i

$$\mu_{Rd,2} = 0,23.$$

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,1}^{202L-} = \mu_{Rd,1} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,34 \cdot 30 \cdot 45^2 \cdot 2 = -41310 \text{ kNcm} = -413,10 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,2}^{202L-} = \mu_{Rd,2} \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,23 \cdot 30 \cdot 45^2 \cdot 2 = -27945 \text{ kNcm} = -279,45 \text{ kNm}$$

Iz tablice 5.4. očitane su najveće vrijednosti momenata koje iznose $-373,40 \text{ kNm}$ i $162,83 \text{ kNm}$. Vidljivo je da je nosivost grede zadovoljena uz odabranu armaturu.

5.11.5 Nosivost grede 202 na pozitivni moment savijanja na lijevom rubu

Pri proračunu nosivosti stupova 22 i 32 potrebno je znati nosivosti greda spojenih u čvor. Tako je potrebno, osim nosivosti grede 201, odrediti i nosivost grede 202 na lijevom rubu i za pozitivni i za negativni moment savijanja. Zbog sličnih vrijednosti unutarnjih sila pretpostavit će se jednaka armatura kao u gredi 201.

$$\text{Odabrana armatura iznosi} \quad A_{s1,prov} = 29,65 \text{ cm}^2 (8\phi 20 + 4\phi 12)$$
$$A_{s2,prov} = 18,85 \text{ cm}^2 (6\phi 20)$$

Mehanički koeficijent armiranja iznosi:

$$\omega_{1,prov} = \frac{A_{s1,prov} \cdot f_{yd}}{b_{eff,201-202} \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{29,65 \cdot 43,478}{200 \cdot 45 \cdot 2} = 0,07$$
$$\omega_{2,prov} = \frac{A_{s2,prov} \cdot f_{yd}}{b_{eff,201-202} \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{18,85 \cdot 43,478}{200 \cdot 45 \cdot 2} = 0,05$$

Bezdimenzijska uzdužna sila iznosi:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed,min}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{21,44}{30 \cdot 50 \cdot 2} = 0,007$$

Za ω_{prov} vrijednost bezdimenzijskog momenta nosivosti iznosi $\mu_{Rd,1} = 0,06$ i $\mu_{Rd,2} = 0,04$.

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,1}^{202L+} = \mu_{Rd,1} \cdot b_{eff,201-202} \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,06 \cdot 200 \cdot 50^2 \cdot 2 = 60000 \text{ kNcm} = 600,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,2}^{202L+} = \mu_{Rd,2} \cdot b_{eff,201-202} \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,04 \cdot 200 \cdot 50^2 \cdot 2 = 40000 \text{ kNcm} = 400,0 \text{ kNm}$$

Iz tablice 5.4. očitane su najveće vrijednosti momenata koje iznose $-373,40 \text{ kNm}$ i $162,83 \text{ kNm}$. Nosivost grede je zadovoljena uz odabranu armaturu.

5.11.6 Prvi smjer djelovanja potresa

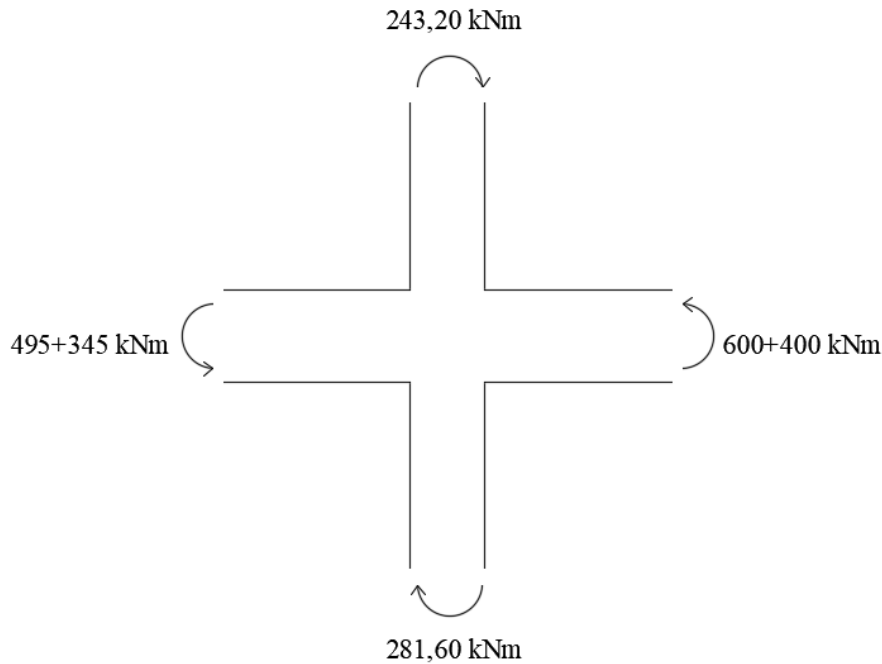
Zbroj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru

$$\sum M_{Rc} = M_{Rd}^{22} + M_{Rd}^{32} = 281,60 + 243,20 = 524,80 \text{ kNm}$$

Zbroj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru

$$\sum M_{Rb} = M_{Rd}^{201D-} + M_{Rd}^{202L+} = 495,0 + 345,0 + 600,0 + 400,0 = 1840 \text{ kNm}$$

Na slici 49. prikazan je prvi smjer djelovanja potresa.



Slika 49. Momenti nosivosti u čvoru za prvi smjer bočnog opterećenja

Provjera nosivosti stupova u odnosu na grede u čvoru prema izrazu

$$524,80 \text{ kNm} < 1,3 \cdot 1840 = 2392 \text{ kNm}$$

Uvjet nije zadovoljen – prije će nastupiti otkazivanje stupova, nego greda!

5.11.7 Drugi smjer djelovanja potresa

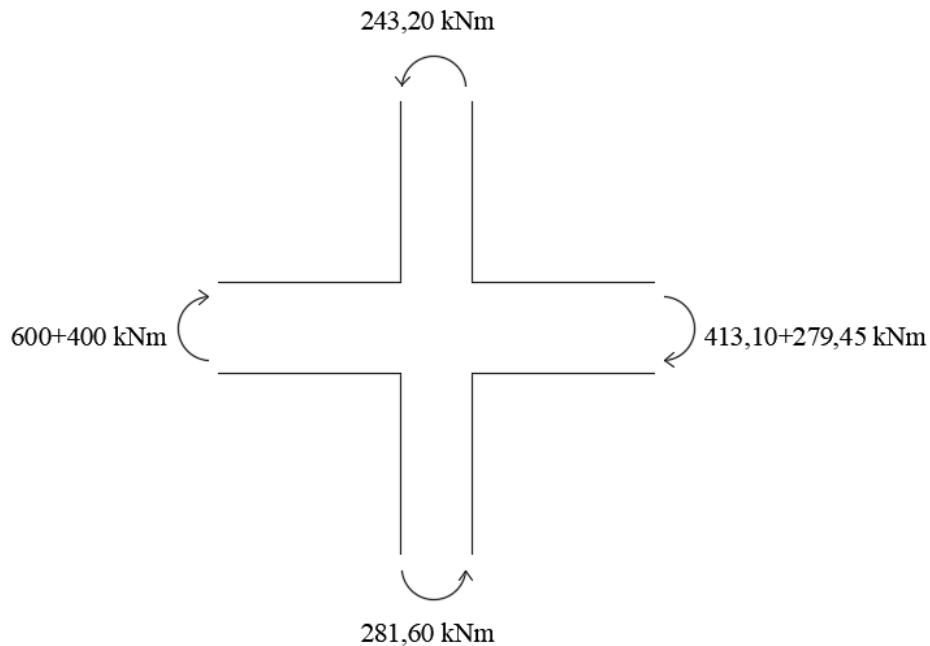
Zbroj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru

$$\sum M_{Rc} = M_{Rd}^{22} + M_{Rd}^{32} = 281,60 + 243,20 = 524,80 \text{ kNm}$$

Zbroj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru

$$\sum M_{Rb} = M_{Rd}^{201D+} + M_{Rd}^{202L-} = 600 + 400 + 413,10 + 279,45 = 1692,55 \text{ kNm}$$

Na slici 50. je prikazan drugi smjer djelovanja potresa.



Slika 50. Momenti nosivosti u čvoru za drugi smjer bočnog opterećenja

Provjera nosivosti stupova u odnosu na grede u čvoru prema izrazu

$$524,80 \text{ kNm} < 1,3 \cdot 1692,55 = 2200,32 \text{ kNm}$$

Uvjet nije zadovoljen – u oba čvora najprije dolazi do otkazivanja stupova, a ne greda!

Napomena: Potrebno je povećati količinu armature, a budući da se radi o velikoj razlici u iznosima između nosivosti stupova i greda, u novom je proračunu odabran profil šipki čija je površina najbliža maksimalnoj površini armature za stupove:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 40 \cdot 40 = 64 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura za stup 32: $9\phi 20$ ($28,27 \text{ cm}^2$) uz svako lice stupa

Na bočna lica stupa potrebno je postaviti barem jednu šipku u sredini pa se postavlja dodatno $2\phi 20$. Ukupno je u presjeku postavljeno $20\phi 20$, odnosno $A_{s,uk} = 62,84 \text{ cm}^2$ što je malo manje od maksimalne armature.

5.11.8 Spoj greda 201 i 202 sa stupovima 22 i 32 – desni oslonac grede 201

Mehanički koeficijent armiranja (za oba stupa):

$$\omega = 28,27 \cdot \frac{43,478}{40^2 \cdot 2} = 0,38$$

Bezdimenzijska uzdužna sila na vrhu stupa 22:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed,min}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1326,94}{40 \cdot 40 \cdot 2} = -0,41$$

Bezdimenzijski moment nosivosti (očitan iz dijagrama interakcije [4]) $\mu_{Rd}^{22} = 0,43$.

Nosivost stupa 22 na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd}^{22} = \mu_{Rd}^{22} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,43 \cdot 40 \cdot 40^2 \cdot 2 = 55040 \text{ kNcm}$$

Bezdimenzijska uzdužna sila na dnu stupa 32:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed,min}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-965,29}{40 \cdot 40 \cdot 2} = -0,30$$

Bezdimenzijski moment nosivosti (očitan iz dijagrama interakcije [4]) $\mu_{Rd}^{32} = 0,41$.

Nosivost stupa 32 na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd}^{32} = \mu_{Rd}^{32} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,41 \cdot 40 \cdot 40^2 \cdot 2 = 52480 \text{ kNcm}$$

5.11.9 Prvi smjer djelovanja potresa

Zbroj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru

$$\sum M_{Rc} = M_{Rd}^{22} + M_{Rd}^{32} = 550,40 + 524,80 = 1075,20 \text{ kNm}$$

Zbroj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru

$$\sum M_{Rb} = M_{Rd}^{201D-} + M_{Rd}^{202L+} = 495,0 + 345,0 + 600,0 + 400,0 = 1840 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti stupova u odnosu na grede u čvoru prema izrazu

$$1075,20 \text{ kNm} < 1,3 \cdot 1840 = 2392 \text{ kNm}$$

Uvjet nije zadovoljen – prije će nastupiti otkazivanje stupova, nego greda!

5.11.10 Drugi smjer djelovanja potresa

Zbroj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru

$$\sum M_{Rc} = M_{Rd}^{22} + M_{Rd}^{32} = 550,40 + 524,80 = 1075,20 \text{ kNm}$$

Zbroj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru

$$\sum M_{Rb} = M_{Rd}^{201D+} + M_{Rd}^{202L-} = 600 + 400 + 413,10 + 279,45 = 1692,55 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti stupova u odnosu na grede u čvoru prema izrazu

$$1075,20 \text{ kNm} < 1,3 \cdot 1692,55 = 2200,32 \text{ kNm}$$

Uvjet nije zadovoljen – u oba čvora najprije dolazi do otkazivanja stupova, a ne greda!

Napomena: Prema ovakvim rezultatima, zaključuje se da dimenzije presjeka stupa treba povećati kako bi uvjet bio zadovoljen što se u ovom radu dalje neće razrađivati.

5.12 Rekapitulacija odabrane armature

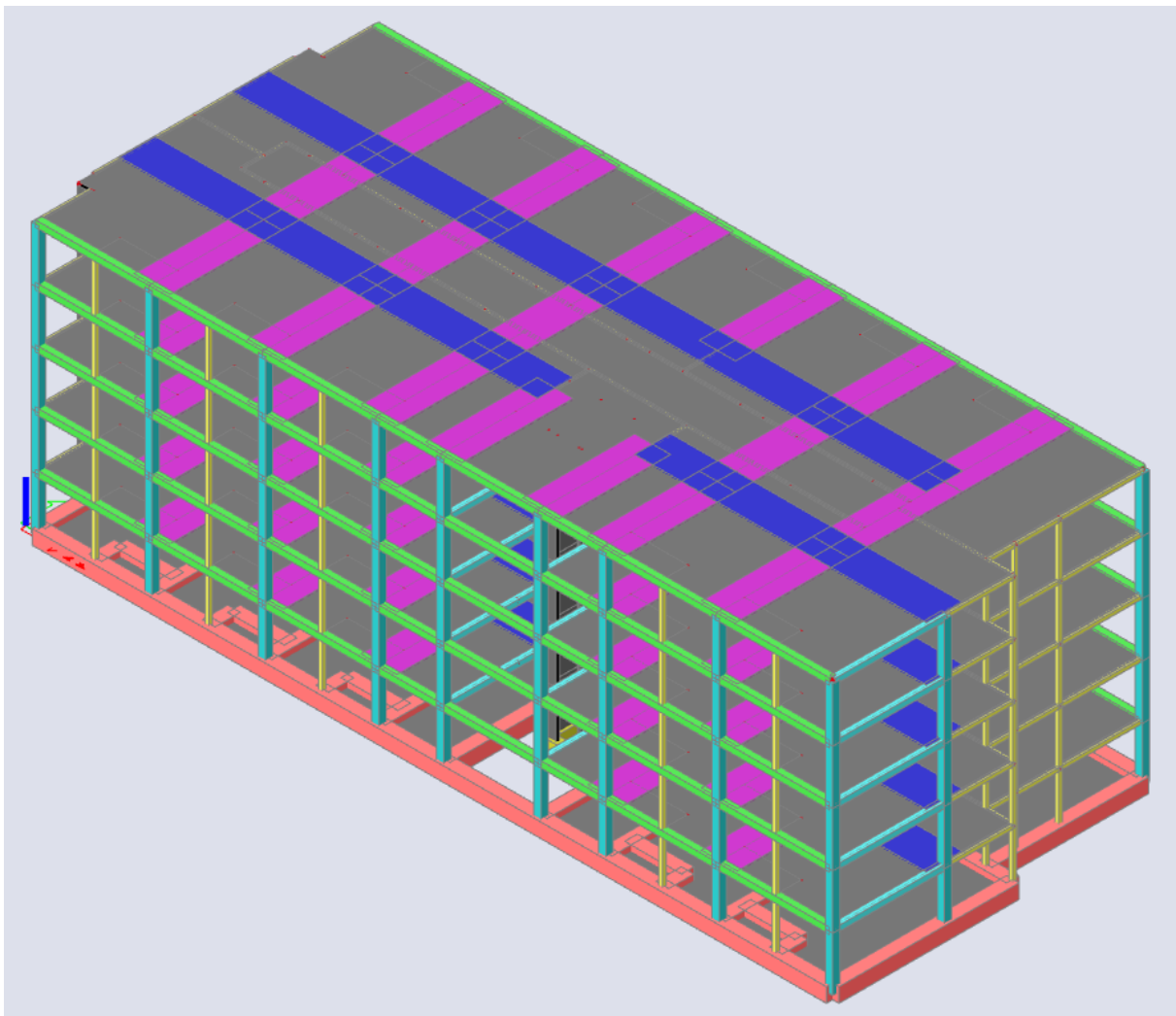
Tablica 14. Rekapitulacija odabrane armature

		Uzdužna armatura			Spone
		Gornja zona	Donja zona	Dodatna	Razmaci
Greda poz. 201	Kritično područje – lijevo	9 ϕ 20	6 ϕ 20	2 ϕ 12	ϕ 10/7,0 cm
	Srednji dio	3 ϕ 20	3 ϕ 20		
	Kritično područje – desno	8 ϕ 20 + 4 ϕ 12	6 ϕ 20		
Greda poz. 202	Kritično područje – lijevo	8 ϕ 20 + 4 ϕ 12	6 ϕ 20	2 ϕ 12	ϕ 10/7,0 cm
	Srednji dio	3 ϕ 20	3 ϕ 20		
	Kritično područje – desno	8 ϕ 20 + 4 ϕ 12	6 ϕ 20		

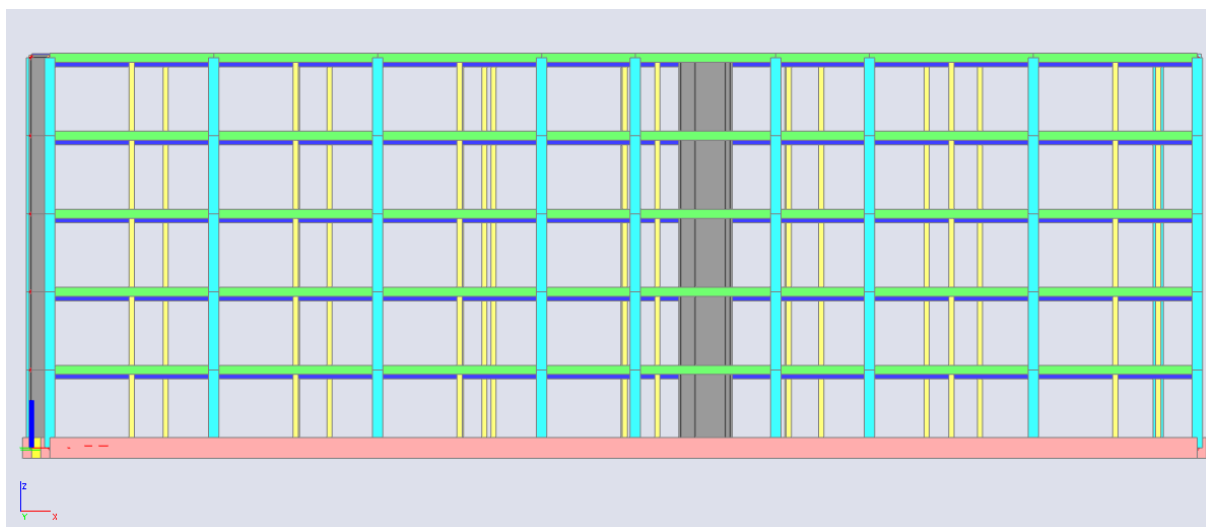
6 SEIZMIČKI PRORAČUN 3D MODELA ZGRADE

6.1 Zadavanje modela

Model je izrađen u računalnom programu „SCIA Engineer“. Na slikama 51. – 55. prikazani su redom: aksonometrijski prikaz modela konstrukcije, pogledi u X-Z i Y-Z ravninama i tlocrt ploče karakterističnog kata.



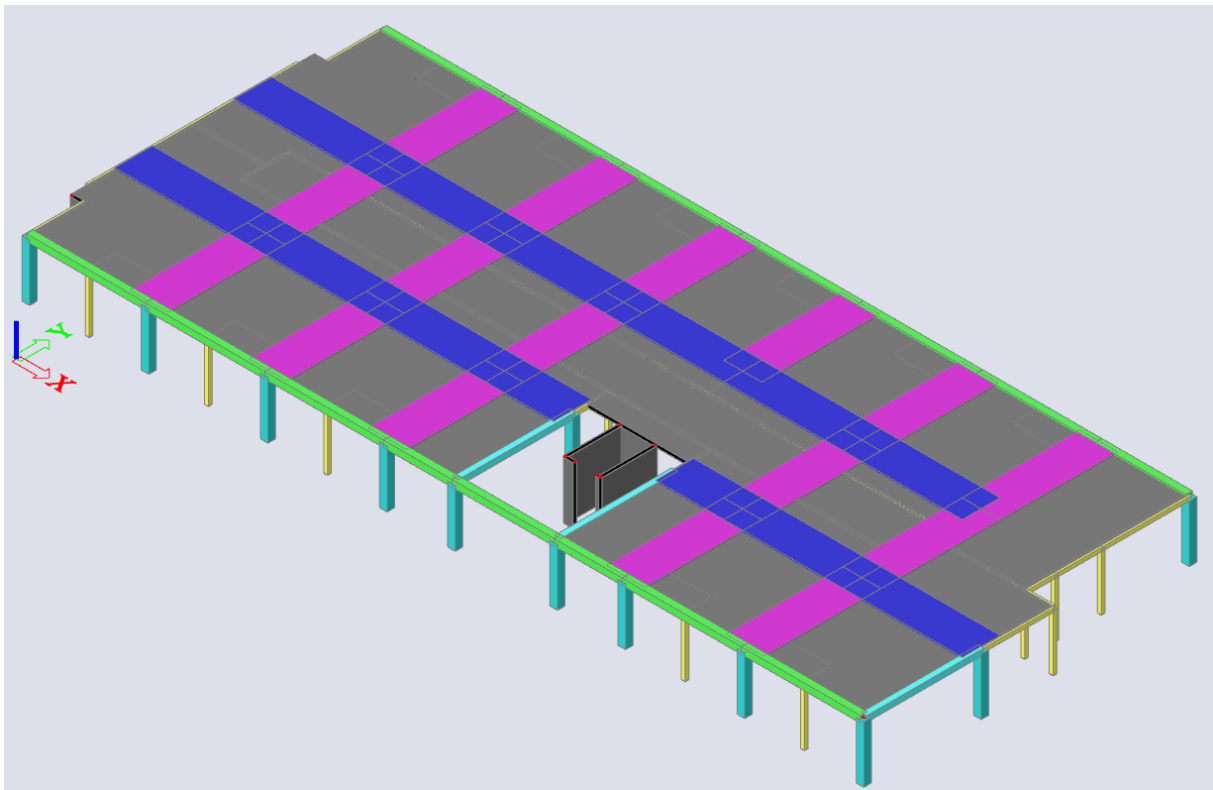
Slika 51. Aksonometrijski prikaz modela



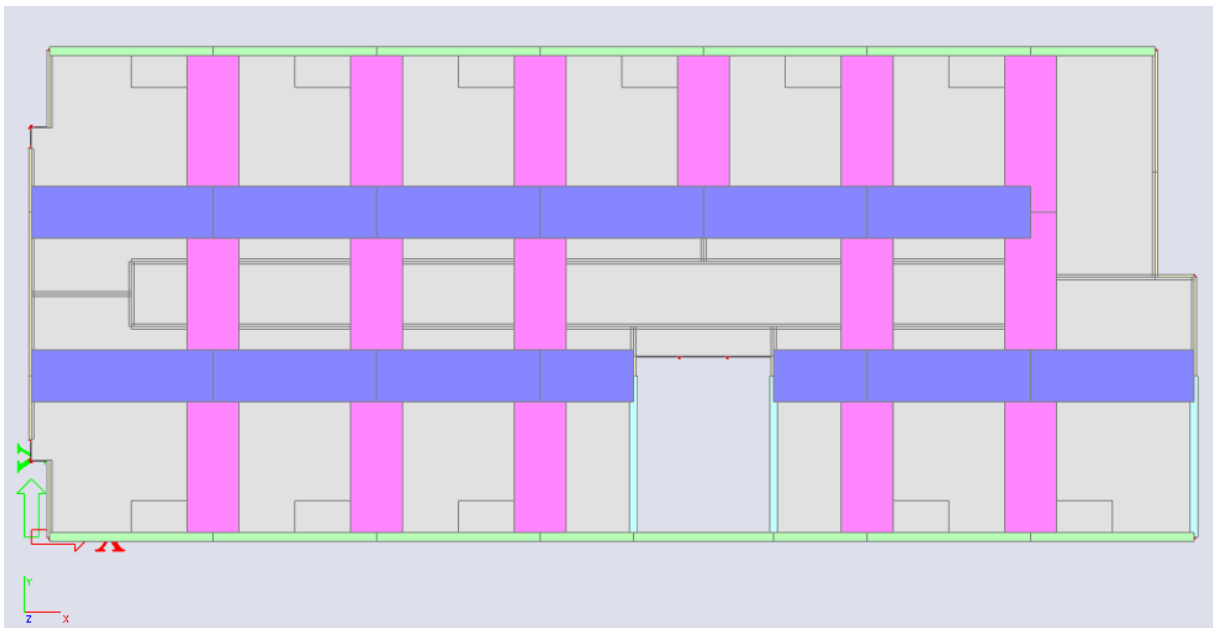
Slika 52. Pogled X-Z



Slika 53. Pogled Y-Z



Slika 54. Aksonometrijski prikaz ploče karakterističnog kata

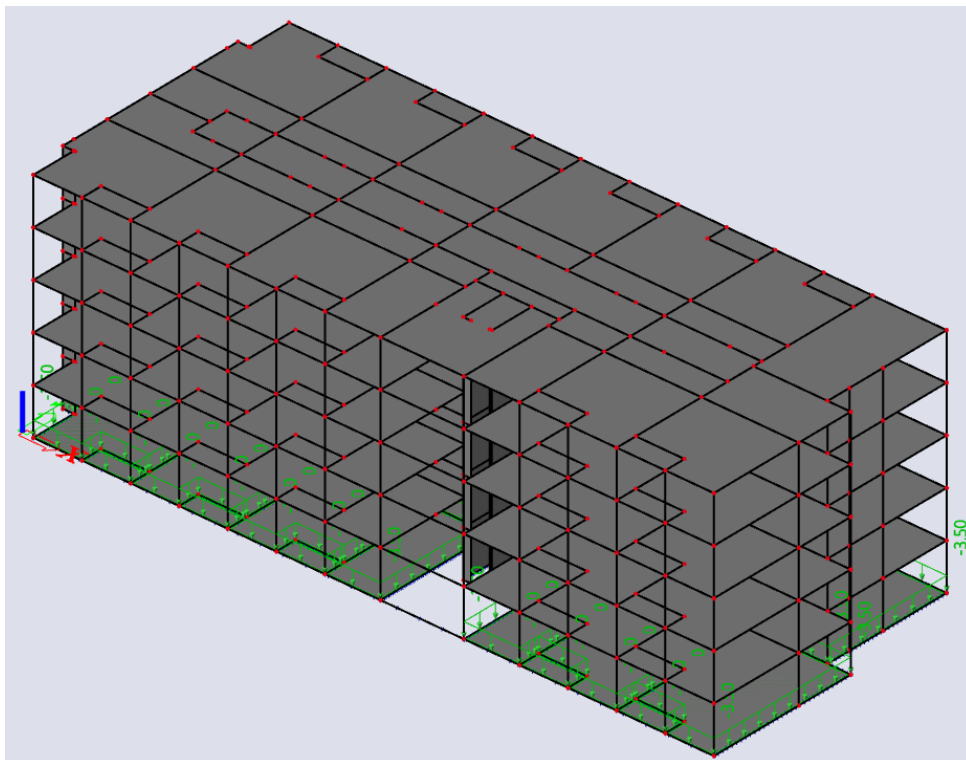


Slika 55. Tlocrt ploče karakterističnog kata

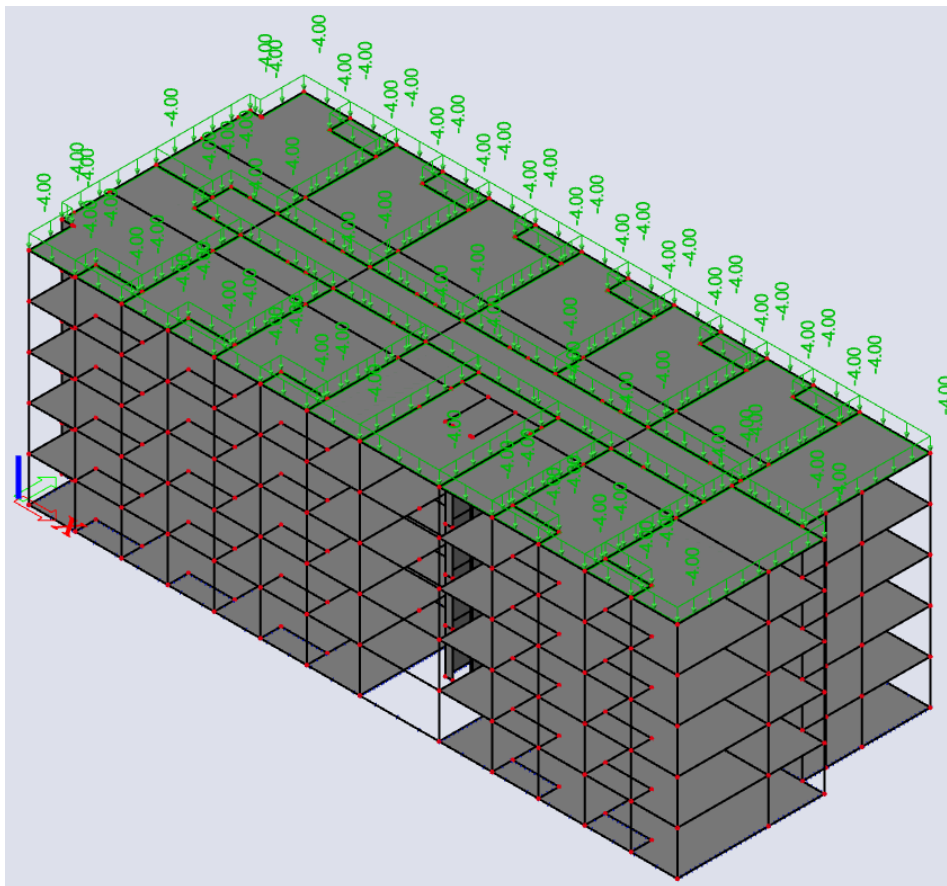
6.2 Opterećenja za seizmički proračun

Kod seizmičkog proračuna na konstrukciju se postavljaju stalno opterećenje (vlastita težina i dodatno stalno) i uporabno opterećenje, ali bez šahovske raspodjele. Vrlo je važno razdvojiti uporabno opterećenje krova od ostalih etaža zbog različitih faktora kombinacija kojim se množe uporabna opterećenja, što će kasnije biti potrebno kod određivanja kombinacije masa. Isto vrijedi i za opterećenja koja djeluju na etažu u razini tla (i podruma ukoliko postoji) – jer su to opterećenja koja ne ulaze u masu (da se kod zadavanja kombinacija masa uzimaju u obzir, ne bi se mogao postići uvjet za aktivacijom 90% mase).

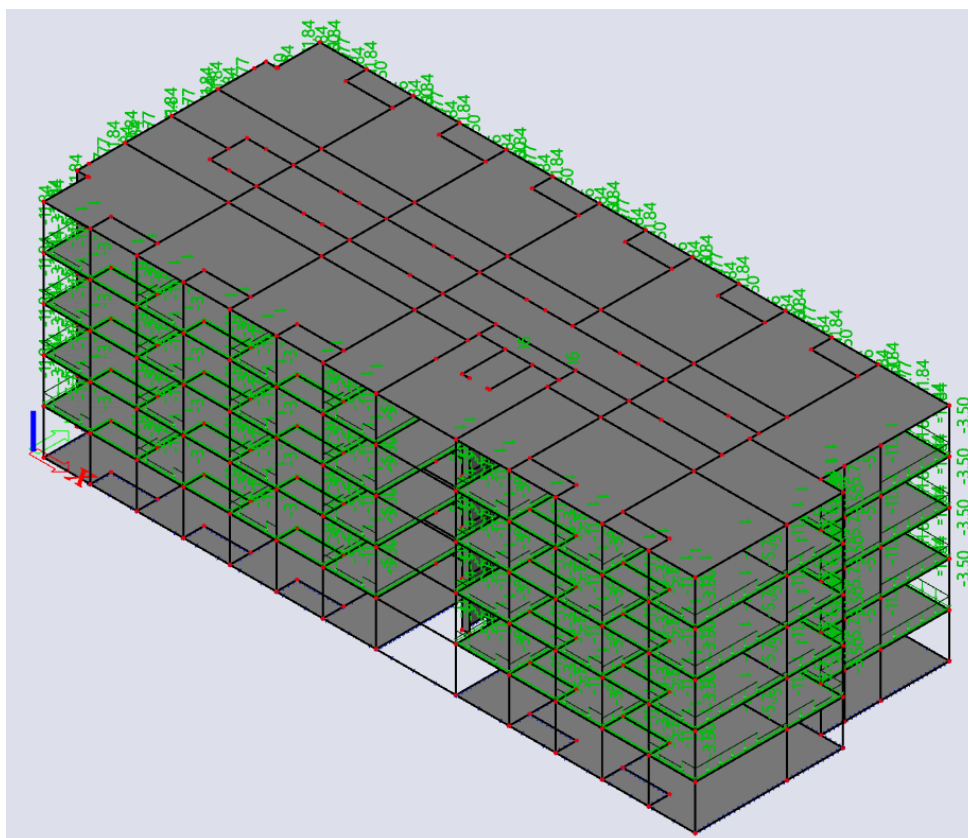
Pretpostavlja se da će prije doći do raspucavanja svih elemenata betonske konstrukcije, koji su tijekom životnog vijeka izloženi učincima uslijed puzanja, skupljanja i temperature, nego do nastupanja potresa koji bi uzrokovao otkazivanje konstrukcije. Iz tog je razloga savojnu krutost konstrukcije potrebno smanjiti na 50% od početne vrijednosti (slika 66.).



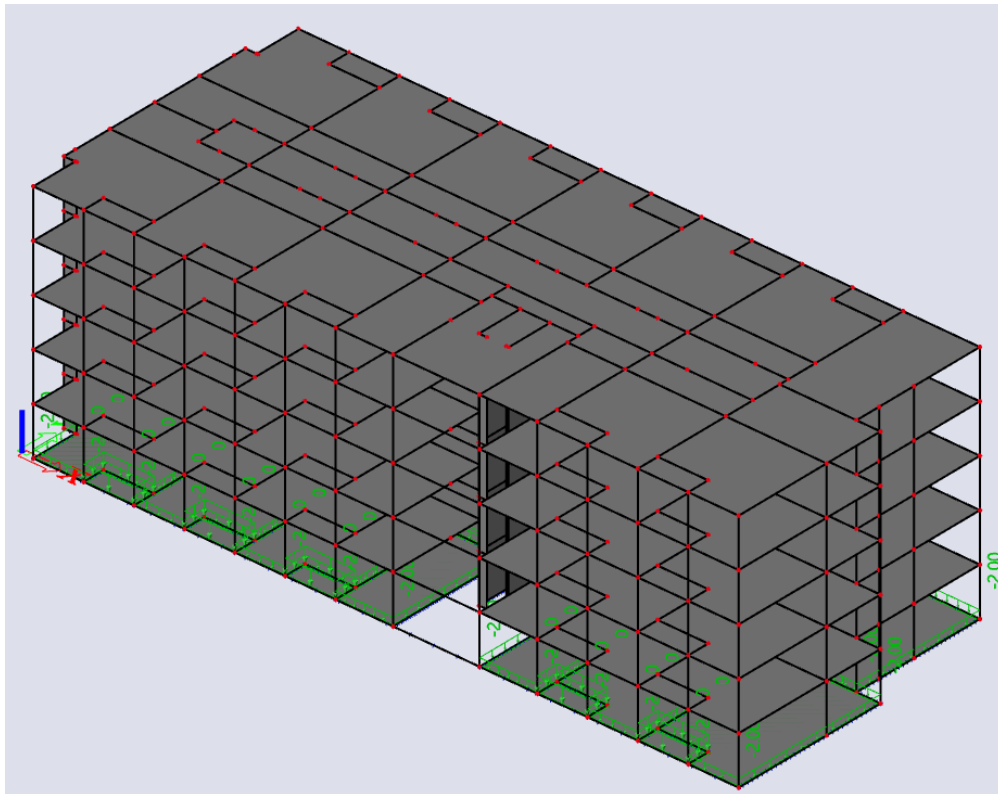
Slika 56. Dodatno stalno etaže u razini tla



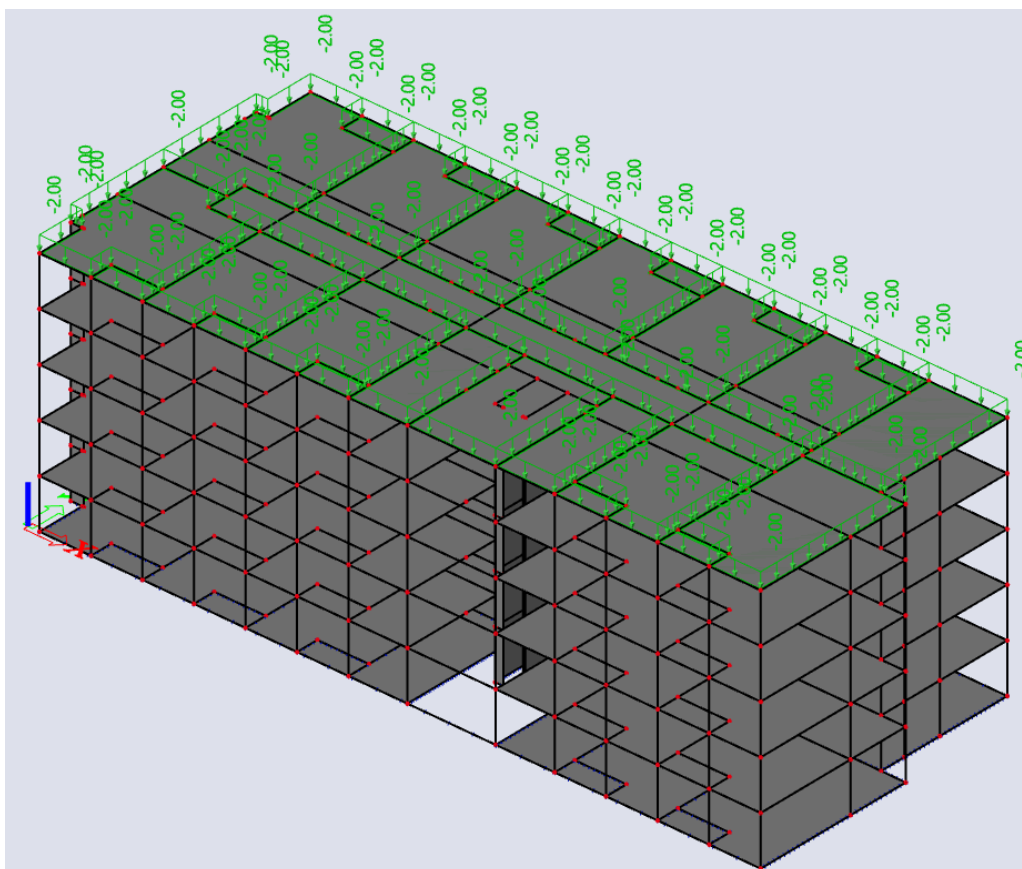
Slika 57. Dodatno stalno krova



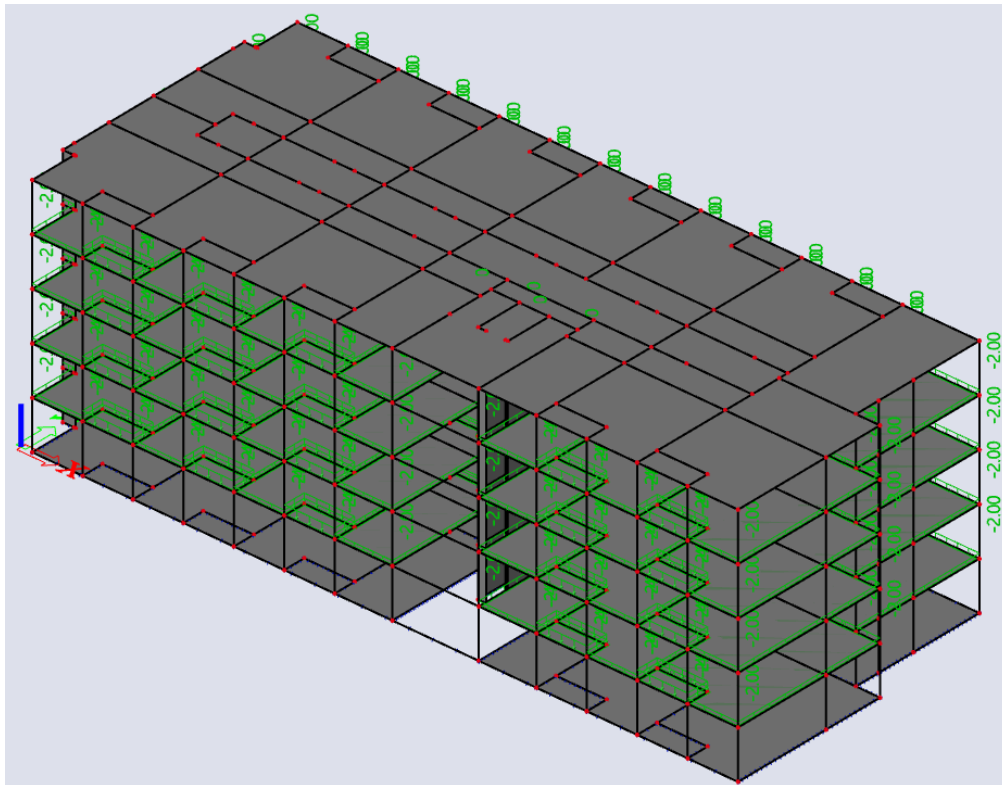
Slika 58. Dodatno stalno preostalih etaža



Slika 59. Uporabno opterećenje etaže u razini tla

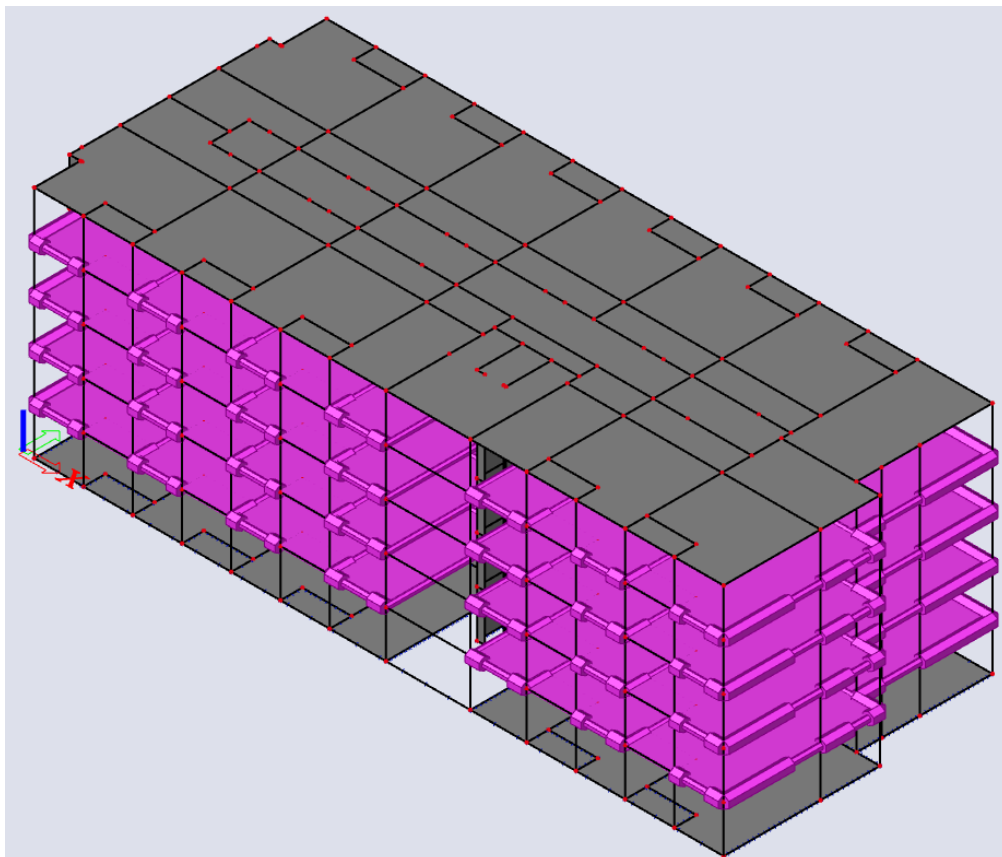


Slika 60. Uporabno opterećenje krova

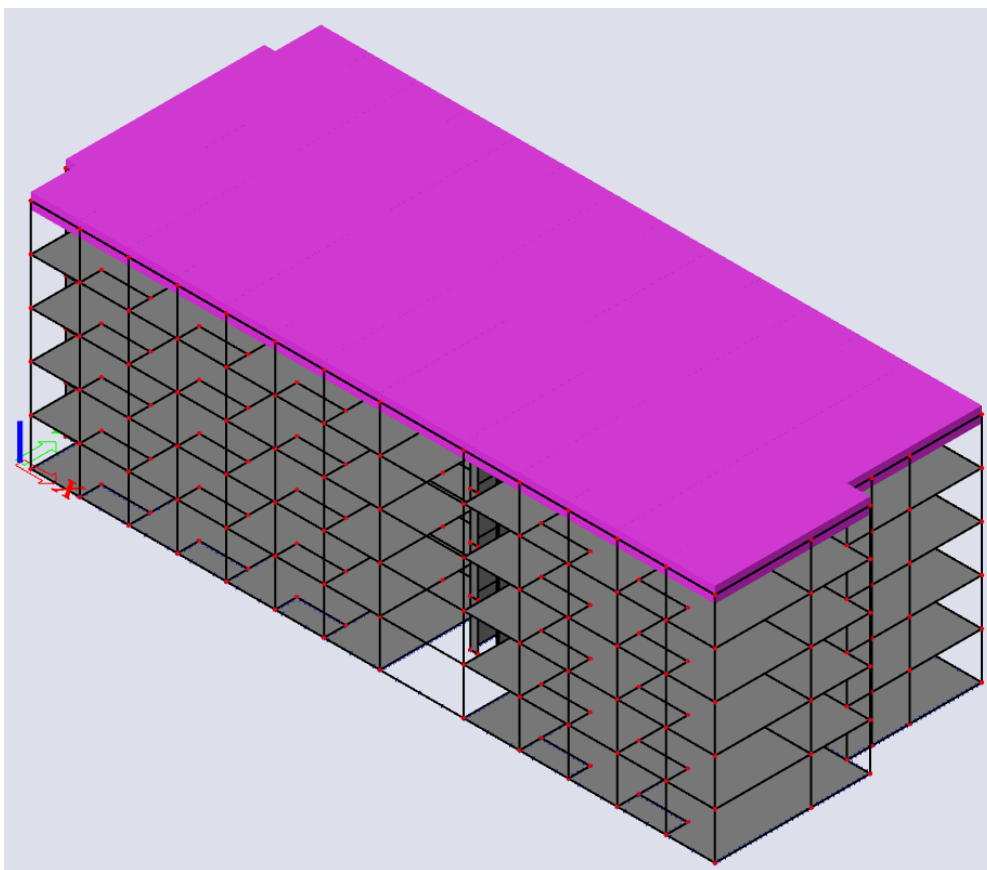


Slika 61. Uporabno opterećenje preostalih etaža

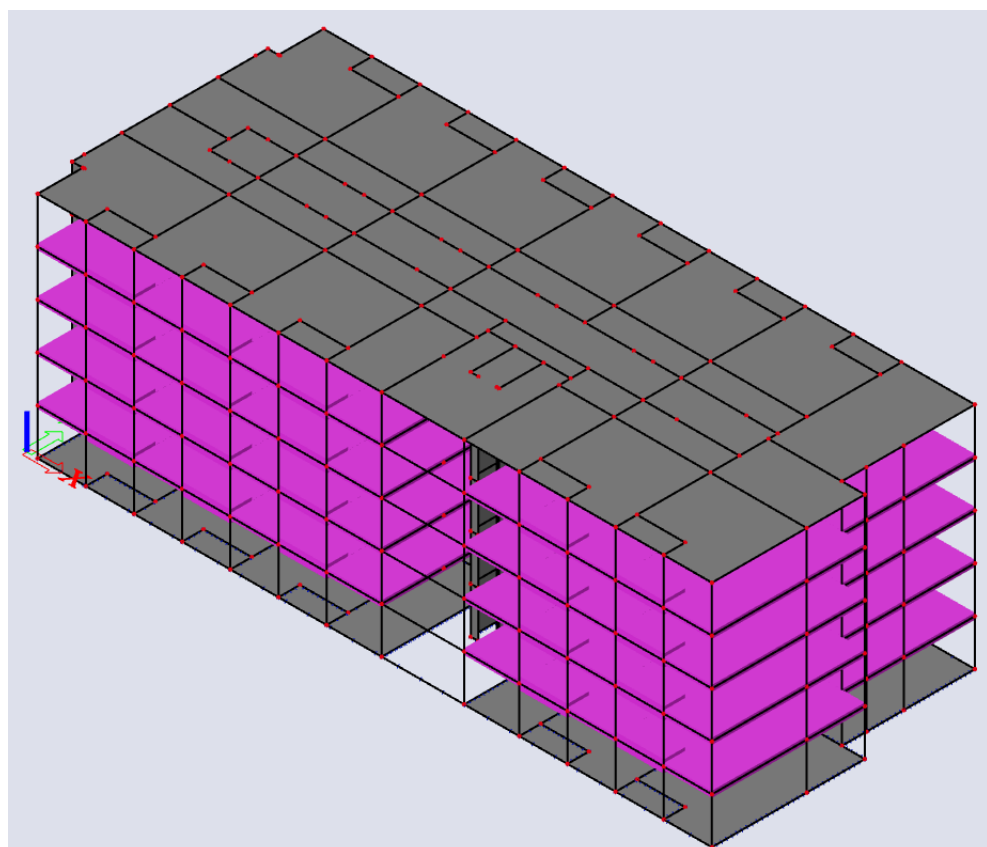
6.2.1 Zadavanje masa



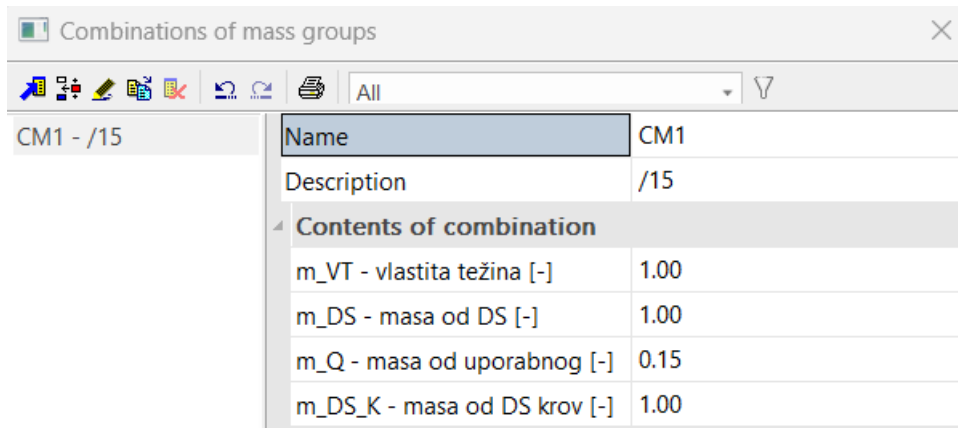
Slika 62. Mase od dodatnog stalnog za etaže iznad ± 0.0 m



Slika 63. Mase od dodatnog stalnog za krov

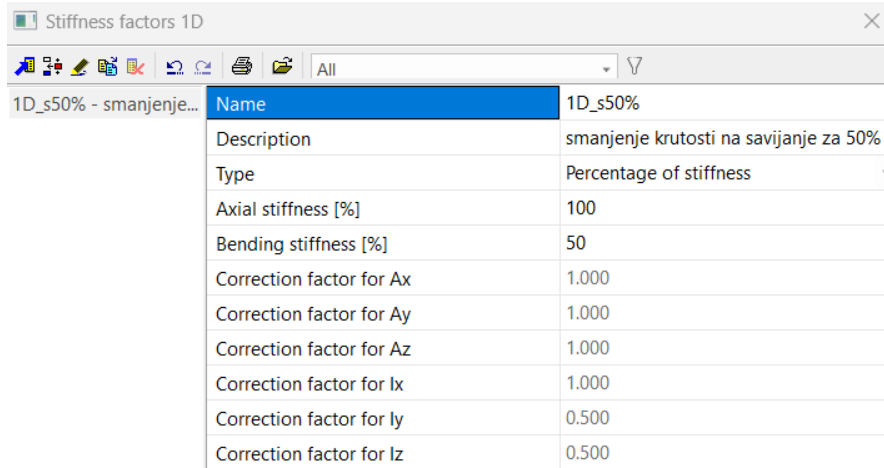


Slika 64. Mase od uporabnog opterećenja za etaže iznad ± 0.0 m, ali bez krova

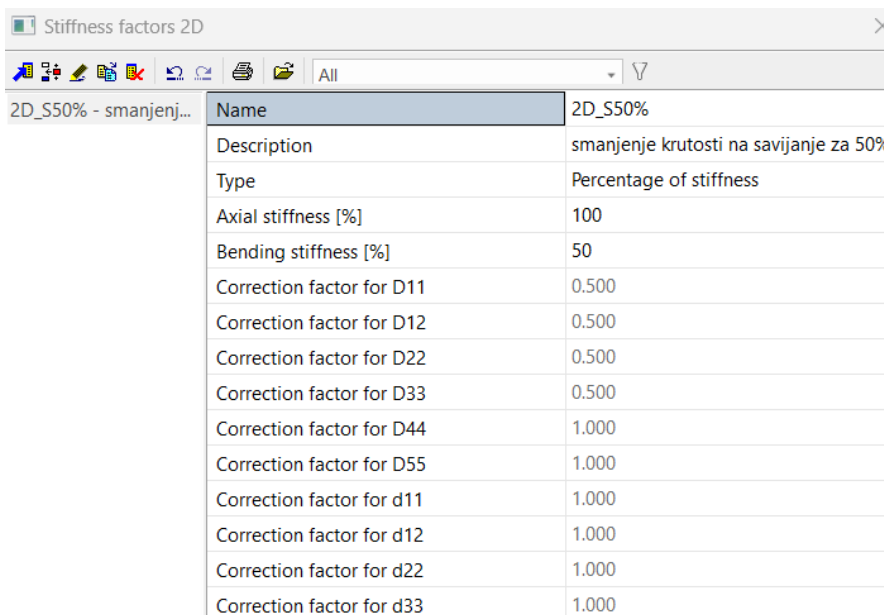


Combinations of mass groups	
CM1 - /15	Name: CM1
	Description: /15
	Contents of combination
	m_VT - vlastita težina [-]: 1.00
	m_DS - masa od DS [-]: 1.00
	m_Q - masa od uporabnog [-]: 0.15
	m_DS_K - masa od DS krov [-]: 1.00

Slika 65. Kombinacija masa



Stiffness factors 1D	
1D_s50% - smanjenje...	Name: 1D_s50%
	Description: smanjenje krutosti na savijanje za 50%
	Type: Percentage of stiffness
	Axial stiffness [%]: 100
	Bending stiffness [%]: 50
	Correction factor for Ax: 1.000
	Correction factor for Ay: 1.000
	Correction factor for Az: 1.000
	Correction factor for lx: 1.000
	Correction factor for ly: 0.500
	Correction factor for lz: 0.500



Stiffness factors 2D	
2D_S50% - smanjenj...	Name: 2D_S50%
	Description: smanjenje krutosti na savijanje za 50%
	Type: Percentage of stiffness
	Axial stiffness [%]: 100
	Bending stiffness [%]: 50
	Correction factor for D11: 0.500
	Correction factor for D12: 0.500
	Correction factor for D22: 0.500
	Correction factor for D33: 0.500
	Correction factor for D44: 1.000
	Correction factor for D55: 1.000
	Correction factor for d11: 1.000
	Correction factor for d12: 1.000
	Correction factor for d22: 1.000
	Correction factor for d33: 1.000

Slika 66. Smanjenje savojne krutosti za 50%

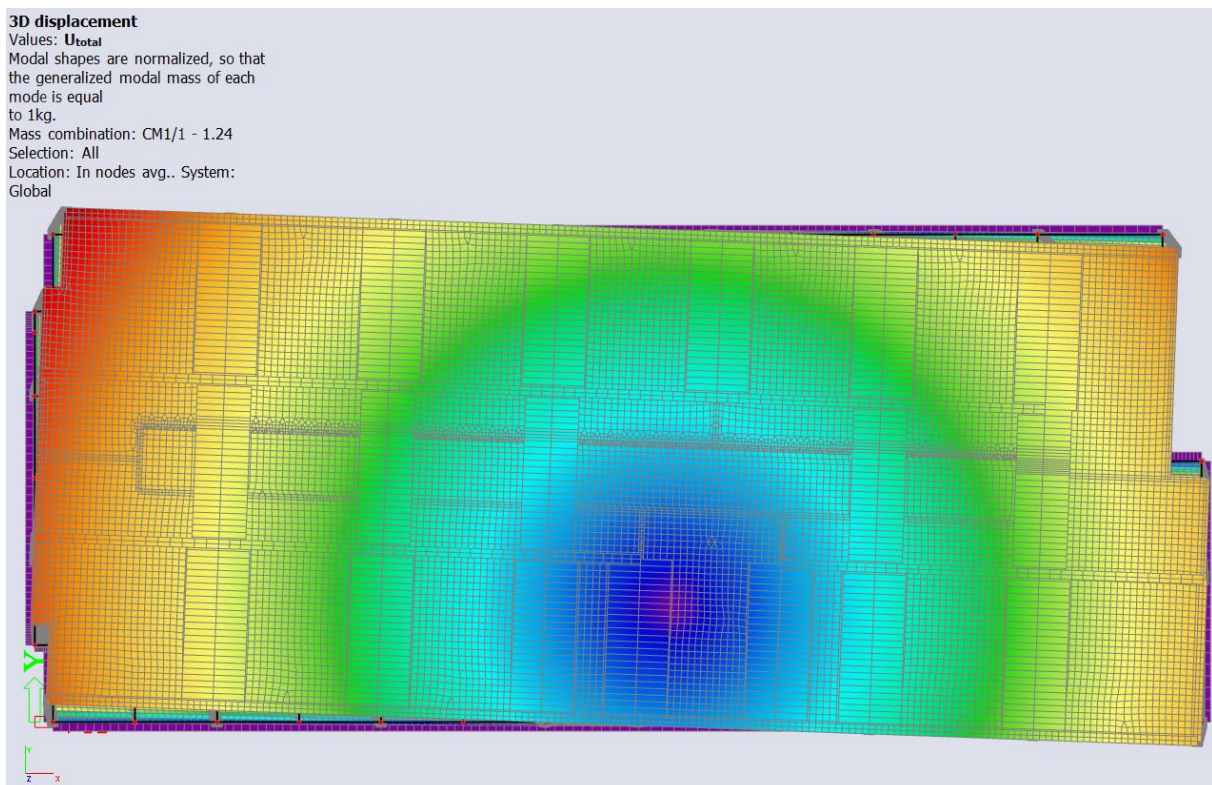
6.3 Višemodalna spektralna analiza

Analiza je, za potrebe ovog rada, provedena u računalnom programu „SCIA Engineer“. Smatra se jednom od najraširenijih metoda za proračun potresnog djelovanja, a sastoji se od modalne i spektralne analize. Na temelju modalne analize dobije se uvid u različite oblike vibriranja koji ovise o masi, odnosno frekvencijama gibanja svake mase. Iz frekvencija se direktno odrede periodi vibriranja koji su obrnuto proporcionalni u odnosu na pripadajuću frekvenciju. Prvi oblik vibriranja ima najmanju frekvenciju i najdulji period.

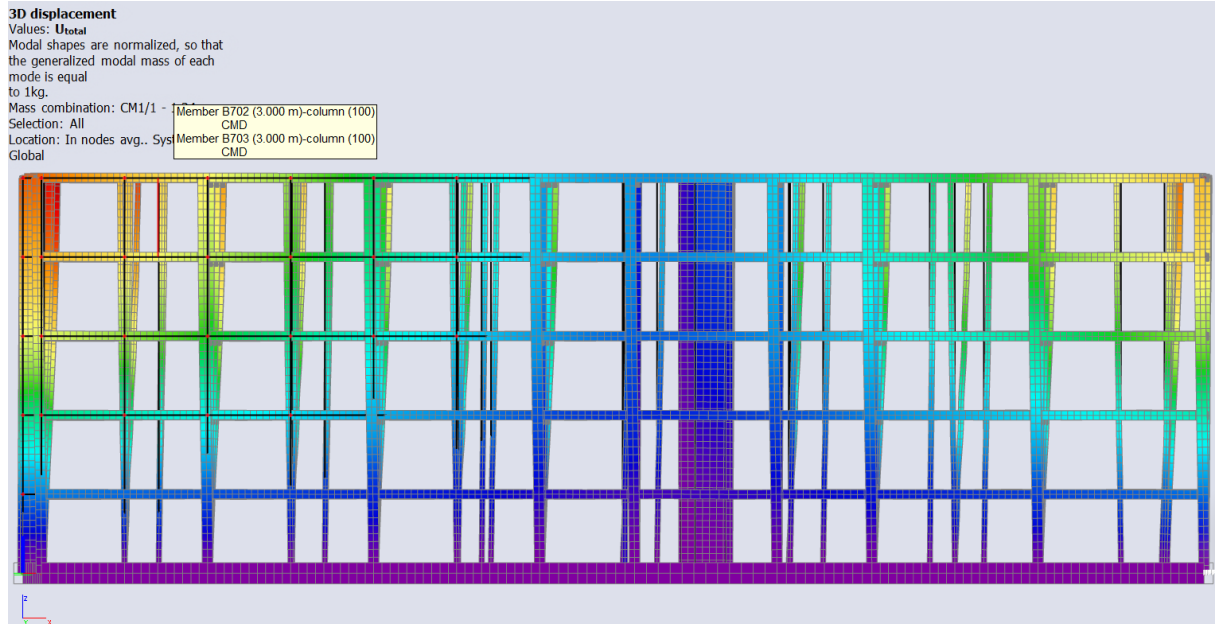
Kod spektralne analize potresno se opterećenje zadaje preko spektra u koji se unose podaci vezani uz vršno ubrzanje tla, faktor ponašanja, vrstu tla i tip spektra, dok se ostale vrijednosti automatski generiraju u računalnom programu prema EN 1998-1.

6.3.1 Modalna analiza

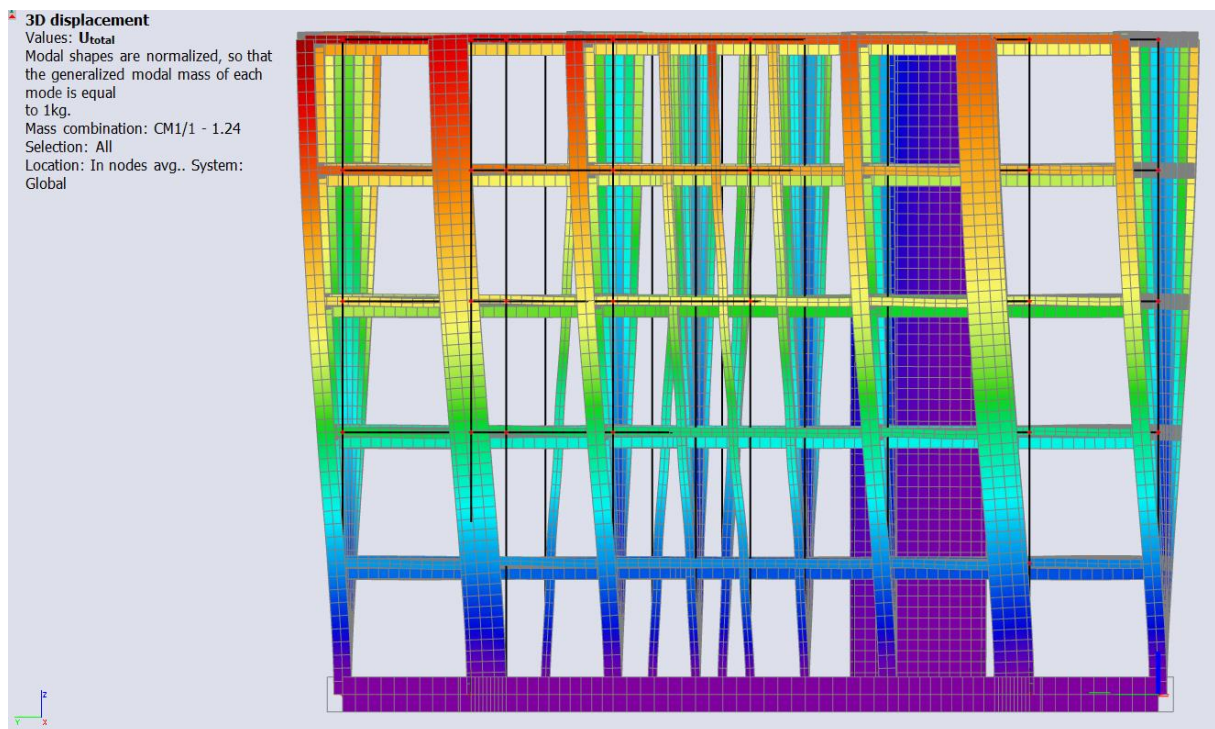
Na slikama 67. – 73. prikazana su prva tri oblika titranja, a na slici 74. točkasti raspored masa po pojedinim etažama. Kako je ranije objašnjeno, iz slike se vidi da masa u razini tla nije uzeta u proračunu u obzir.



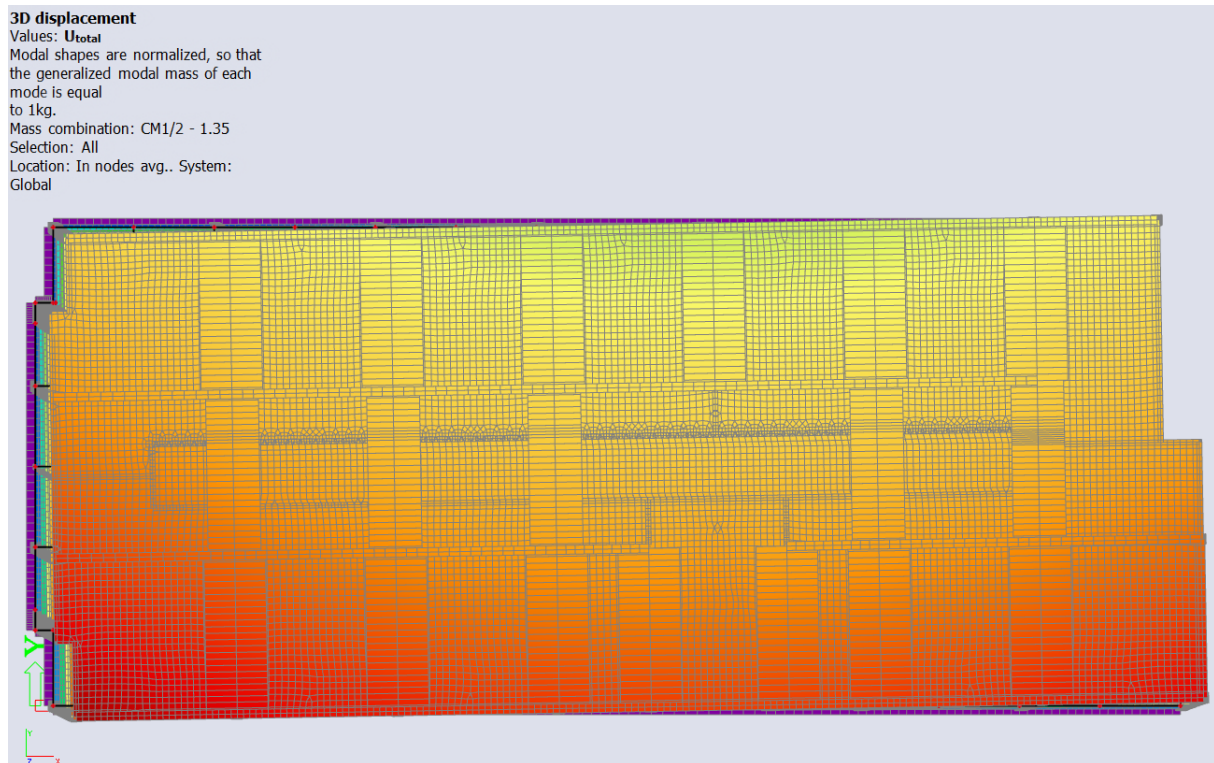
Slika 67. Prvi oblik titranja – torzija (tlocrt)



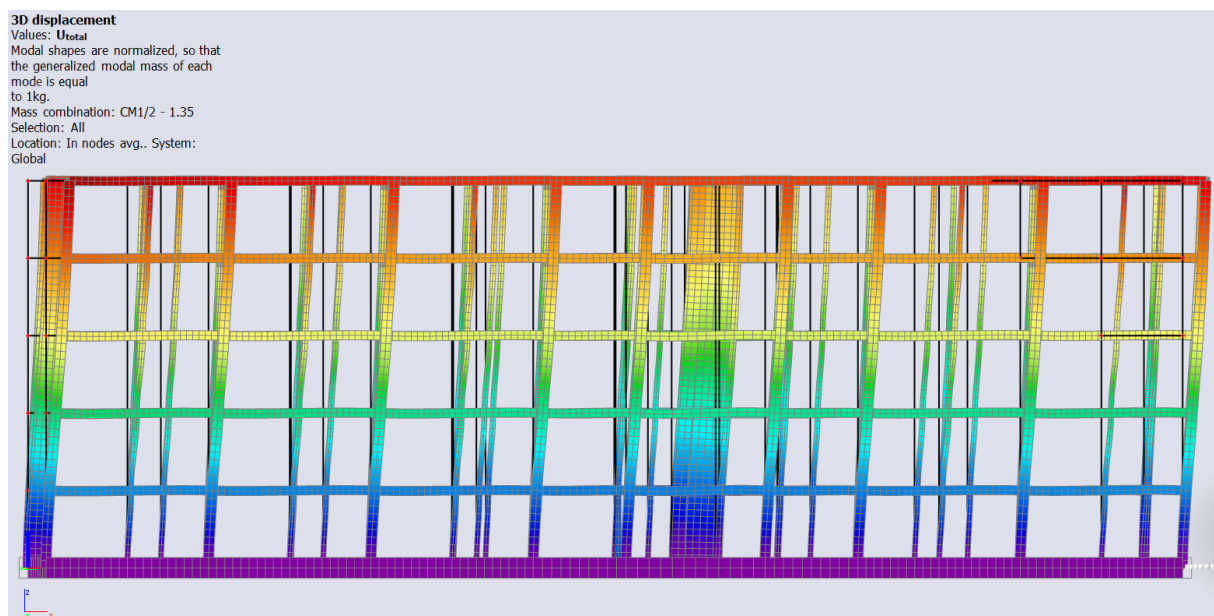
Slika 68. Prvi oblik titranja – torzija (pogled u X-Z ravnini)



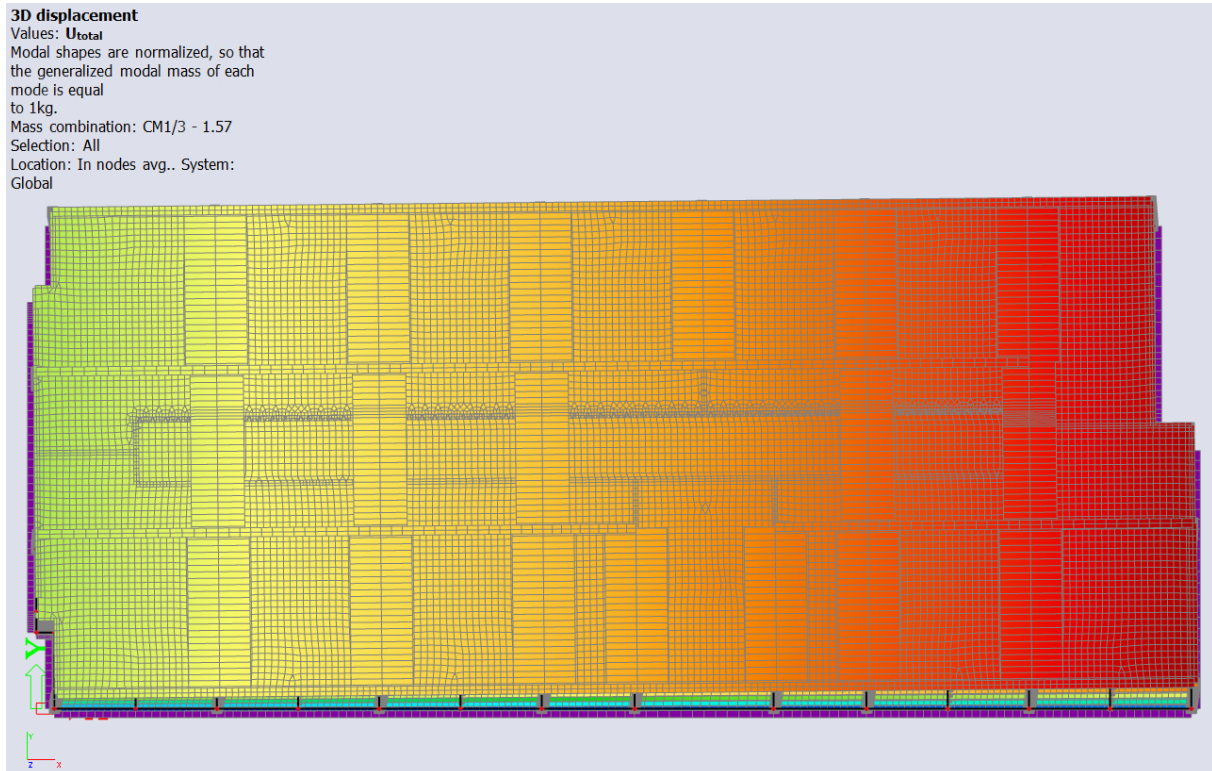
Slika 69. Prvi oblik titranja – torzija (pogled u Y-Z ravnini)



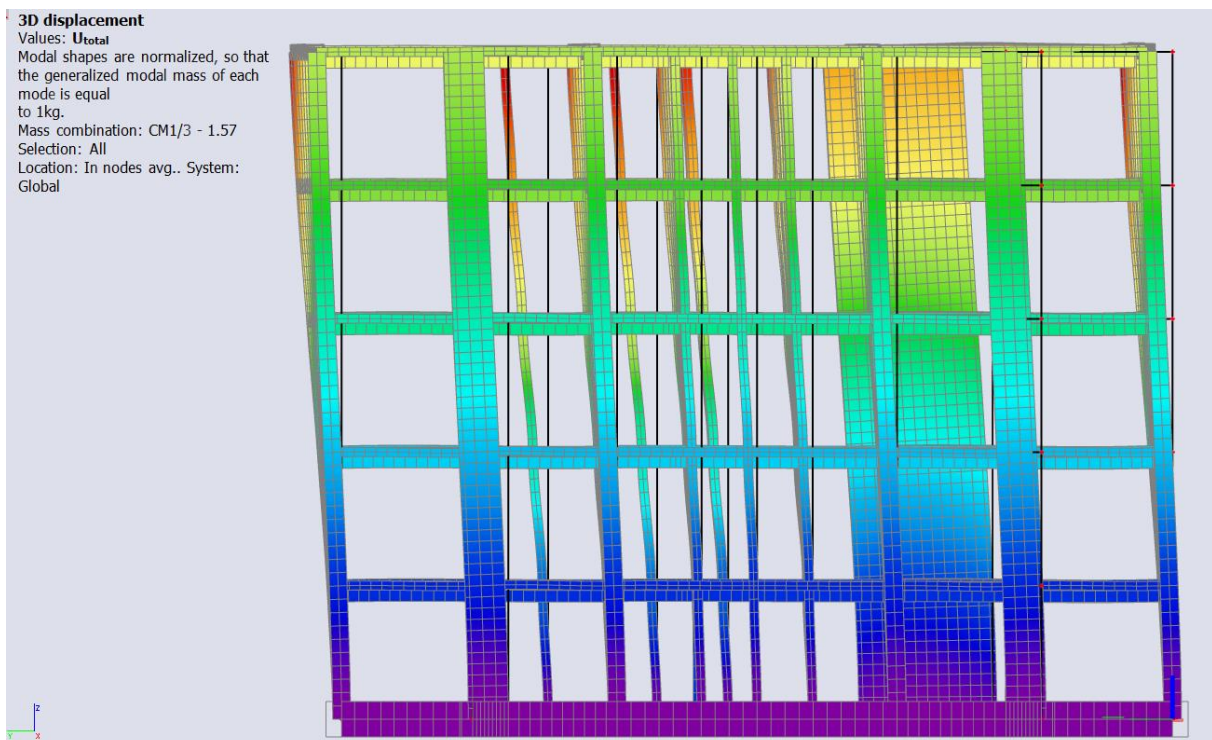
Slika 70. Drugi oblik titranja – translacija u X smjeru (tlocrt)



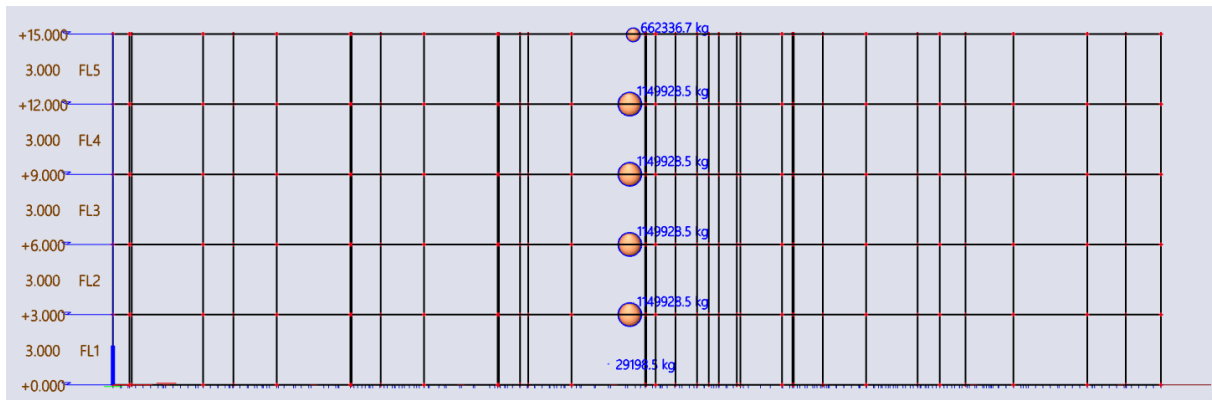
Slika 71. Drugi oblik titranja – translacija u X smjeru (pogled u X-Z ravnini)



Slika 72. Treći oblik titranja – translacija u Y smjeru (tlocrt)



Slika 73. Treći oblik titranja – translacija u Y smjeru (pogled u Y-Z ravnini)



Slika 74. Raspodjela masa za svaku etažu

Relative modal masses

Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	W_{xi}/W_{xtot}	W_{yi}/W_{ytot}	W_{zi}/W_{ztot}	W_{xi_R}/W_{xtot_F}	W_{yi_R}/W_{ytot_F}	W_{zi_R}/W_{ztot_F}
1	7.78013	0.81	1.24	0.0829	0.0190	0.0000	0.0015	0.0016	0.7064
2	8.4628	0.74	1.35	0.7096	0.0058	0.0000	0.0005	0.0159	0.0771
3	9.84613	0.64	1.57	0.0009	0.7377	0.0000	0.0755	0.0000	0.0223
4	24.9994	0.25	3.98	0.0174	0.0009	0.0000	0.0031	0.0071	0.0997
5	27.689	0.23	4.41	0.1196	0.0005	0.0000	0.0008	0.0452	0.0157
6	32.9106	0.19	5.24	0.0000	0.1653	0.0000	0.1837	0.0000	0.0045
7	43.8709	0.14	6.98	0.0069	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0.0355
8	49.3082	0.13	7.85	0.0362	0.0001	0.0001	0.0001	0.0073	0.0076
9	53.4539	0.12	8.51	0.0001	0.0429	0.0000	0.0349	0.0000	0.0002
10	58.1711	0.11	9.26	0.0000	0.0000	0.3923	0.0003	0.3432	0.0000
				0.9737	0.9722	0.3925	0.3005	0.4217	0.9690

Slika 75. Aktivirane mase

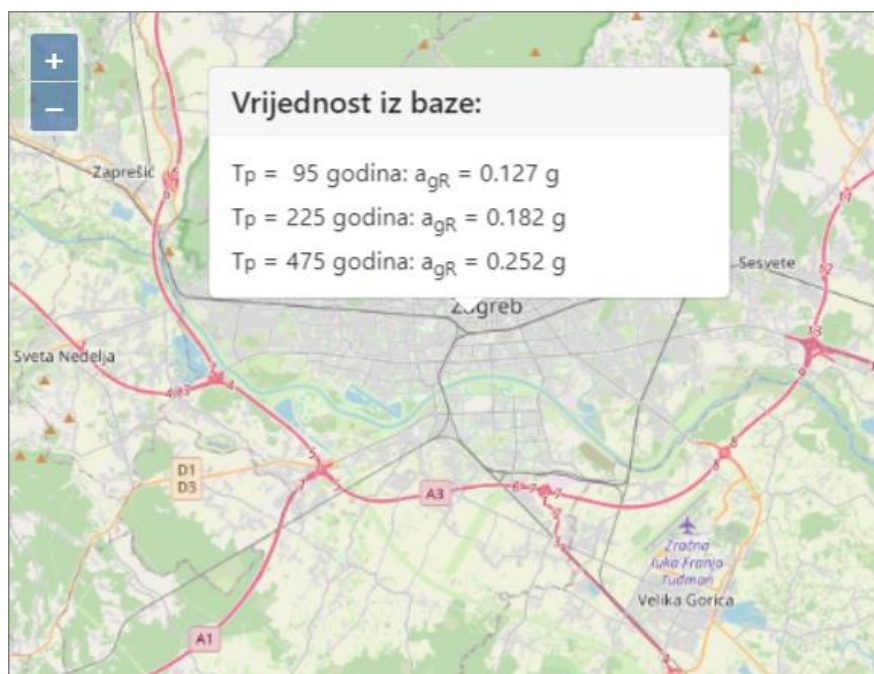
Prema slici 75. vidljivo je da se u prvom obliku titranja najviše mase (71%) aktivira kod rotacije oko z osi, odnosno odmah dolazi do torzije. Takvo ponašanje konstrukcije podrazumijeva da ne postoji dovoljna krutost te da bi se trebala povećati postavljanjem zidova koji mogu preuzeti potresne sile ili takvim razmještanjem zidova koji će omogućiti da se centar krutosti i centar mase nalaze što bliže jedan drugome. Za prvi mod period iznosi 0,81 s. Drugi mod predstavlja translaciju u x smjeru gdje se također aktiviralo 71% ukupne mase. Period za drugi mod iznosi 0,74 s. U trećem obliku titranja dolazi do translacije u y smjeru uz 74% aktivirane mase i periodom od 0,64 s.

Zadnji red u tablici prikazuje koliki se postotak mase aktivirao u sumi za pojedini smjer, a važno je da taj iznos bude veći od 90% mase u x i y smjeru, što je u ovom slučaju zadovoljeno.

6.3.2 Spektralna analiza

Vršno ubrzanje tla za Zagreb očitano je iz karte potresnih područja Republike Hrvatske [10]. Osnovna vrijednost faktora ponašanja očitana je iz tablice 5.1. u EN 1998-1 [9]. Kako je modalna analiza pokazala da se u prvom modu javlja torzija, osnovna vrijednost faktora ponašanja očitana je za torzijski savitljiv sustav i srednji razred duktilnosti (DCM) i iznosi $q_0 = 2,0$. Za vrstu tla definiran je tip B.

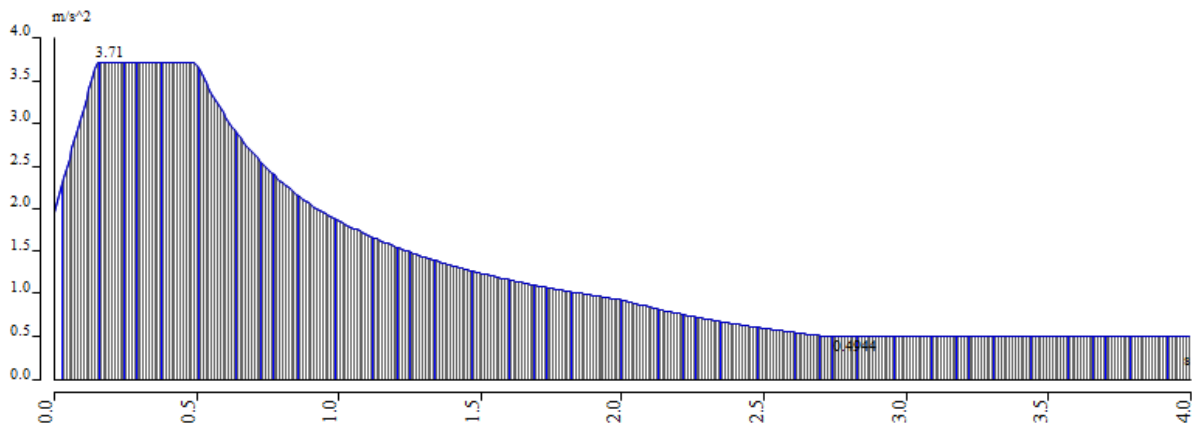
Za određivanje ukupnog djelovanja, način kombiniranja modova vrši se pomoću CQC metode koja nema ograničenja primjene, ali se treba definirati prigušenje. Prema normi je prihvaćeno da se kroz cijelo frekvencijsko područje odabere konstantna vrijednost prigušenja od 5%.



Slika 76. Vršno ubrzanje tla u Zagrebu

Code parameters	
coeff accel. ag	0.252
ag - design acceleration [m/...	2.472
q - behaviour factor	2.000
beta	0.200
S, Tb, Tc, Td manually?	No
Subsoil type	B
Spectrum type	type 1
Direction	Horizontal
Direction factor	1
S - soil factor	1.200
Tb	0.150
Tc	0.500
Td	2.000
Note	NA not supported

Slika 77. Parametri za spektar odgovora



Slika 78. Proračunski spektar odgovora

7 ZAKLJUČAK

Nakon provedenog proračuna, vidljivo je da ovako koncipirana konstrukcija ne može preuzeti seizmička djelovanja. Budući da su okviri sustavi koji se dimenzioniraju iterativnim postupkom, proračun bi se trebao ponavljati s postupnim povećanjem dimenzija presjeka kako bi se mogle odabrati razumne dimenzije i samim time osigurati ekonomičnost, uz ispunjavanje uvjeta specificiranih u Eurocode-u.

Iz činjenice da su elementi premalih poprečnih presjeka proizlazi i potreba za dvostrukim armiranjem čime se, uz proračunavanje vlačne armature, obuhvaća i proračun tlačne te dodatne vlačne armature. Upravo to je bio slučaj kod dimenzioniranja greda, no površina odabrane armature uspjela je zadovoljiti uvjet maksimalne površine.

Međutim, uvjet za čvor greda – stup, koji zahtijeva da je nosivost stupova barem 30% veća od nosivosti greda nije ispunjen. To podrazumijeva da će otkazivanje konstrukcije nastupiti preko sloma stupova, a ne greda. Kako bi se to izbjeglo potrebno je povećati dimenzije stupova.

Treći „razlog za brigu“ je javljanje torzije zgrade u prvom tonu, što je izrazito opasno. Idealan slučaj za rezultate iz modalne analize bio bi da su prva dva oblika vibriranja translatorna, prvi put u jednom smjeru i drugi put u drugom, a tek treći torzija. Pojava torzije u prvom modu jasno upućuje da u konstrukciji nije ostvarena dovoljna bočna krutost. Povećanje krutosti može se riješiti postavljanjem većeg broja zidova koji će biti u stanju preuzeti potresna djelovanja, odnosno boljim rasporedom istih kako bi centar krutosti bio što bliže centru masa.

8 LITERATURA

- [1] Penava, D. *Utjecaj otvora na seizmički odgovor armirano-betonskih okvira sa zidanim ispunom*. Doktorski rad; str. VII. 2012. Dostupno:
<https://repozitorij.unios.hr/en/islandora/object/gfos%3A168/datastream/PDF/view>
- [2] Morić, N. *Proračun potresnog djelovanja na armirano-betonski okvir, armirano-betonski okvir s ispunom i omeđeno ziđe*. Diplomski rad; str. 3-4. 2018. Dostupno:
<https://repozitorij.gradst.unist.hr/islandora/object/gradst%3A1160/datastream/PDF/view>
- [3] Khelfi, M., Bourahla, N., Remki, M. Ocjenjivanje učinkovitosti okvirnih AB konstrukcija sa zidanom ispunom pod utjecajem bočnih opterećenja. *Građevinar*. 2021; 73(3): 220. Dostupno: <https://hrcak.srce.hr/file/372174>
- [4] Sorić, Z., Kišiček, T. *Betonske konstrukcije 1*. Sveučilište u Zagrebu. Građevinski fakultet. Zagreb. 2014.
- [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 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.
- [10] Karte potresnih područja RH. Dostupno: <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php>

9 POPIS SLIKA

Slika 1. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta.....	6
Slika 2. Statička shema opterećenja stubišta	8
Slika 3. Tlocrt stubišnog kraka i podesta	12
Slika 4. Statička shema opterećenja dijela podesta	13
Slika 5. Prikaz modela ploče	18
Slika 6. Shema dodatnog stalnog opterećenja.....	18
Slika 7. Opterećenje na poziciji 101.....	19
Slika 8. Opterećenje na poziciji 102.....	19
Slika 9. Opterećenje na poziciji 103.....	20
Slika 10. Opterećenje na poziciji 104.....	20
Slika 11. Opterećenje na poziciji 105.....	21
Slika 12. Opterećenje na poziciji 106.....	21
Slika 13. Opterećenje na poziciji 107.....	22
Slika 14. Opterećenje na poziciji 108.....	22
Slika 15. Opterećenje na poziciji 109.....	23
Slika 16. Opterećenje na poziciji 110.....	23
Slika 17. Opterećenje na poziciji 111.....	24
Slika 18. Opterećenje na poziciji 112.....	24
Slika 19. Opterećenje na poziciji 113.....	25
Slika 20. Opterećenje na poziciji 114.....	25
Slika 21. Opterećenje na poziciji 115.....	26
Slika 22. Opterećenje na poziciji 116.....	26
Slika 23. Opterećenje na poziciji 101a.....	27
Slika 24. Opterećenje na poziciji 102a.....	27
Slika 25. Opterećenje na poziciji 103a.....	28
Slika 26. Opterećenje na poziciji 104a.....	28
Slika 27. Opterećenje na poziciji 105a.....	29
Slika 28. Opterećenje na poziciji 106a.....	29
Slika 29. Opterećenje na poziciji 108a.....	30
Slika 30. Opterećenje na poziciji 109a.....	30
Slika 31. Opterećenje na poziciji 112a.....	31
Slika 32. Opterećenje na poziciji 113a.....	31

Slika 33. Opterećenje na poziciji 114a	32
Slika 34. Momenti u smjeru x	33
Slika 35. Momenti u smjeru y	33
Slika 36. Momenti u smjeru x – presjeci	34
Slika 37. Momenti u smjeru y – presjeci	34
Slika 38. Poprečna sila nad osloncima za smjer x – presjeci	53
Slika 39. Poprečna sila nad osloncima za smjer y – presjeci	53
Slika 40. Shema pozicije okvira	56
Slika 41. Poprečni presjek grede	64
Slika 42. Prikaz pojednostavljenog postupka	64
Slika 43. Greda s poprečnim opterećenjem i momentima na krajevima	72
Slika 44. Poprečne sile od vertikalnog djelovanja	76
Slika 45. Poprečne sile od potresa u jednom smjeru	76
Slika 46. Poprečne sile od potresa u drugom smjeru	77
Slika 47. Dijagram poprečnih sila od potresa u jednom smjeru	77
Slika 48. Dijagram poprečnih sila od potresa u drugom smjeru	78
Slika 49. Momenti nosivosti u čvoru za prvi smjer bočnog opterećenja	83
Slika 50. Momenti nosivosti u čvoru za drugi smjer bočnog opterećenja	84
Slika 51. Aksonometrijski prikaz modela	87
Slika 52. Pogled X-Z	88
Slika 53. Pogled Y-Z	88
Slika 54. Aksonometrijski prikaz ploče karakterističnog kata	89
Slika 55. Tlocrt ploče karakterističnog kata	89
Slika 56. Dodatno stalno etaže u razini tla	90
Slika 57. Dodatno stalno krova	91
Slika 58. Dodatno stalno preostalih etaža	91
Slika 59. Uporabno opterećenje etaže u razini tla	92
Slika 60. Uporabno opterećenje krova	92
Slika 61. Uporabno opterećenje preostalih etaža	93
Slika 62. Mase od dodatnog stalnog za etaže iznad ± 0.0 m	93
Slika 63. Mase od dodatnog stalnog za krov	94
Slika 64. Mase od uporabnog opterećenja za etaže iznad ± 0.0 m, ali bez krova	94
Slika 65. Kombinacija masa	95
Slika 66. Smanjenje savojne krutosti za 50%	95

Slika 67. Prvi oblik titranja – torzija (tlocrt)	96
Slika 68. Prvi oblik titranja – torzija (pogled u X-Z ravnini).....	97
Slika 69. Prvi oblik titranja – torzija (pogled u Y-Z ravnini).....	97
Slika 70. Drugi oblik titranja – translacija u X smjeru (tlocrt).....	98
Slika 71. Drugi oblik titranja – translacija u X smjeru (pogled u X-Z ravnini)	98
Slika 72. Treći oblik titranja – translacija u Y smjeru (tlocrt)	99
Slika 73. Treći oblik titranja – translacija u Y smjeru (pogled u Y-Z ravnini)	99
Slika 74. Raspodjela masa za svaku etažu	100
Slika 75. Aktivirane mase	100
Slika 76. Vršno ubrzanje tla u Zagrebu	101
Slika 77. Parametri za spektar odgovora	102
Slika 78. Proračunski spektar odgovora	102

10 POPIS TABLICA

Tablica 1. Proračunske vrijednosti momenata savijanja u polju	35
Tablica 2. Proračunske vrijednosti momenata savijanja nad ležajevima	36
Tablica 3. Odabrana armatuta u polju	51
Tablica 4. Odabrana armatura nad ležajevima	52
Tablica 5. Unutarnje sile na gredi 201	57
Tablica 6. Unutarnje sile za proračunske kombinacije na gredi 201	58
Tablica 7. Unutarnje sile na gredi 202	58
Tablica 8. Unutarnje sile za proračunske kombinacije na gredi 202	59
Tablica 9. Unutarnje sile na stupu 22	59
Tablica 10. Unutarnje sile za proračunske kombinacije na stupu 22	60
Tablica 11. Unutarnje sile na stupu 32	60
Tablica 12. Unutarnje sile za proračunske kombinacije na stupu 32	60
Tablica 13. Zadani parametri	61
Tablica 14. Rekapitulacija odabrane armature	86

11 GRAFIČKI PRILOZI

Tlocrt temelja (MJ 1:50)

Tlocrt karakterističnog kata (MJ 1:50)

Presjek A – A (MJ 1:50)

Presjek B – B (MJ 1:50)

Armatura stubišta (MJ 1:50; MJ 1:25)

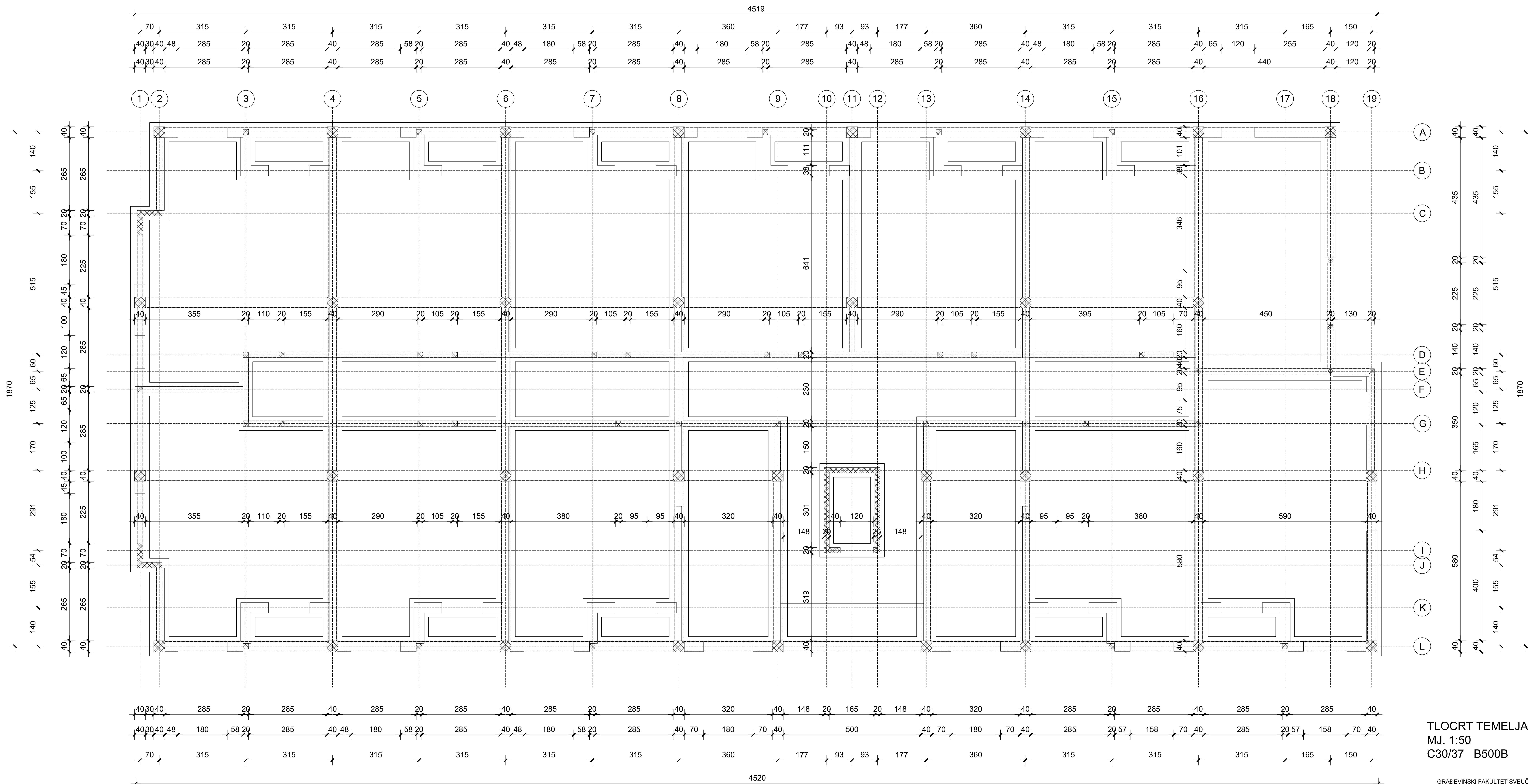
Armatura donje zone ploče karakterističnog kata (MJ 1:50)

Armatura gornje zone ploče karakterističnog kata (MJ 1:50)

Konstruktivna armatura ploče karakterističnog kata (MJ 1:50)

Armatura grede (MJ 1:50; MJ 1:25)

TLOCRT TEMELJA
MJ 1:50



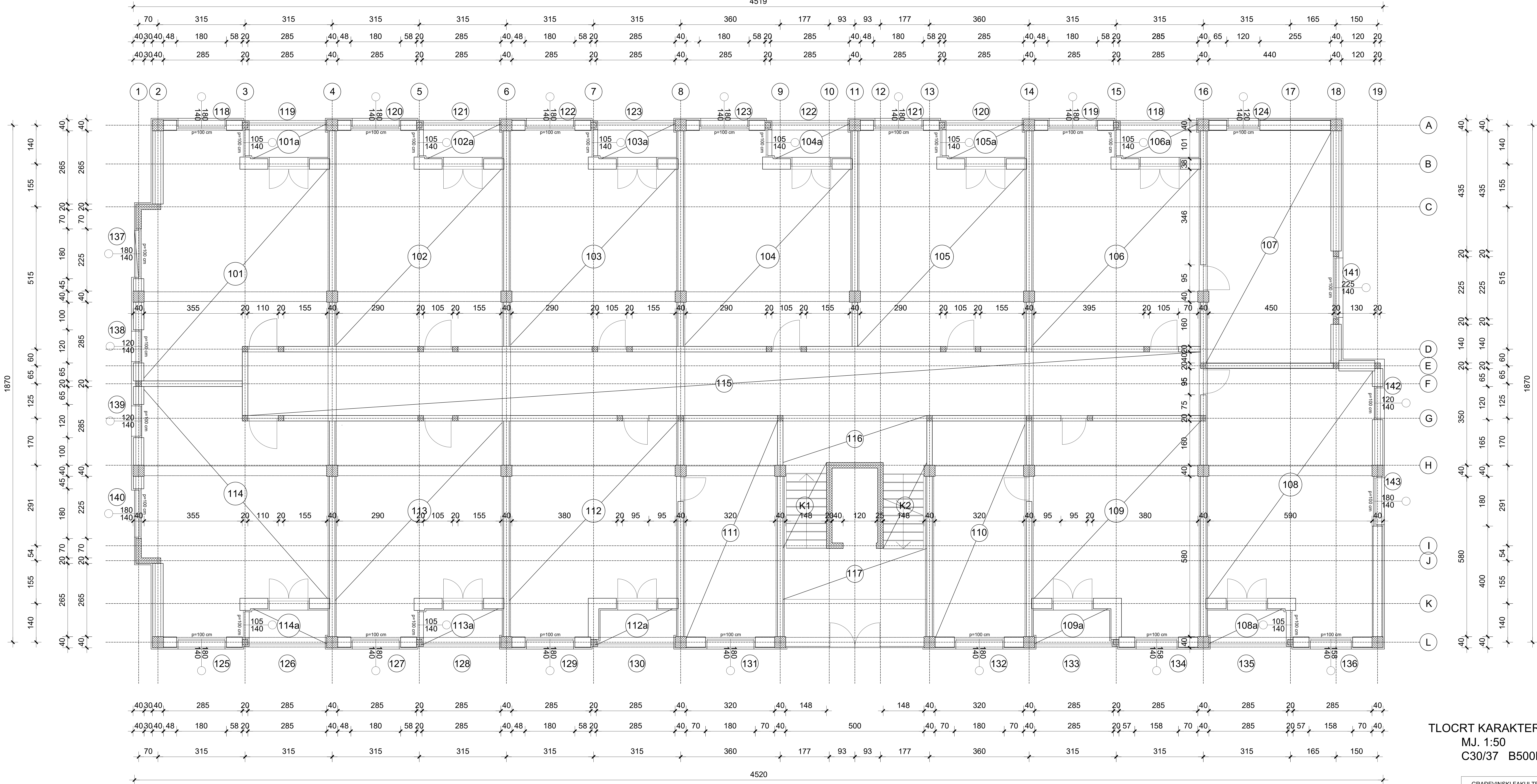
TLOCRT TEMELJA
MJ. 1:50
C30/37 B500B

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
DIPLOMSKI RAD		
Kolegij:	BETONSKE KONSTRUKCIJE 3	Mjerila:
Sadržaj:	TLOCRT TEMELJA	1:50
Mentor:	prof. dr. sc. TOMISLAV KIŠIČEK	Akad. god.:
Izradila:	LUCIJA KOZLEK	2023/2024.

TLOCRT KARAKTERISTIČNOG KATA
MJ 1:50

4519

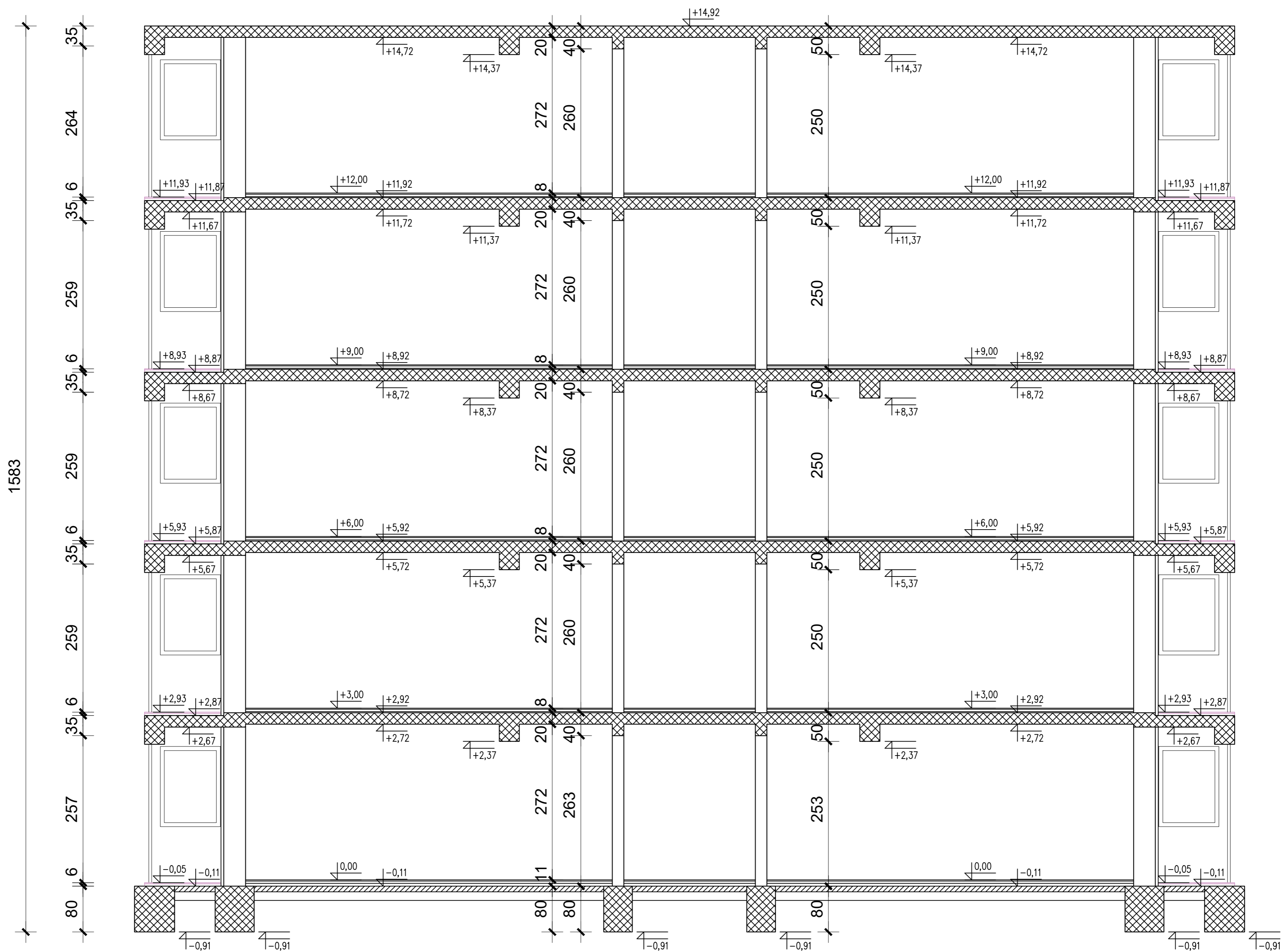
4520



TLOCRT KARAKTERISTIČNOG KATA
MJ. 1:50
C30/37 B500B

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
DIPLOMSKI RAD		
Kolegij:	BETONSKE KONSTRUKCIJE 3	Mjerila:
Sadržaj:	TLOCRT KARAKTERISTIČNOG KATA	1:50
Mentor:	prof. dr. sc. TOMISLAV KIŠIČEK	Akad. god.:
Izradila:	LUCIJA KOZLEK	2023/2024.

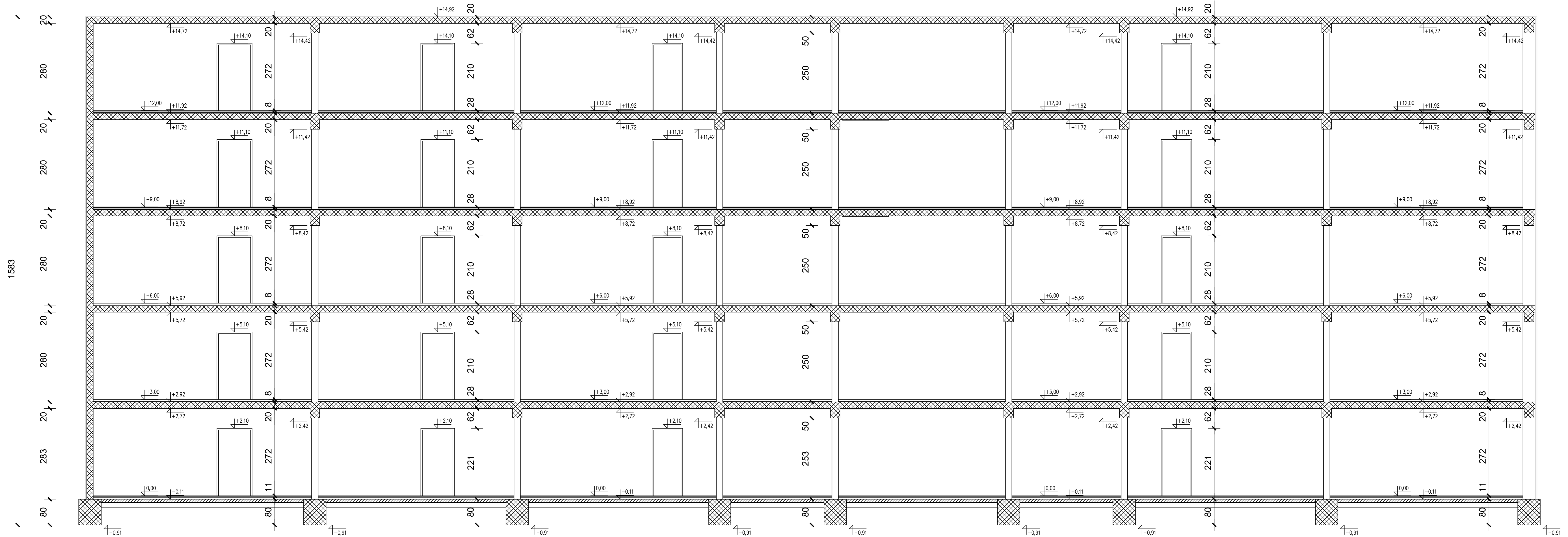
PRESJEK A-A
MJ 1:50



PRESJEK A-A
MJ. 1:50
C30/37 B500B

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
DIPLOMSKI RAD		
Kolegij:	BETONSKE KONSTRUKCIJE 3	Mjerila:
Sadržaj:	PRESJEK A-A	1:50
Mentor:	prof. dr. sc. TOMISLAV KIŠIČEK	Akad. god.:
Izradila:	LUCIJA KOZLEK	2023/2024.

PRESJEK B-B
MJ 1:50

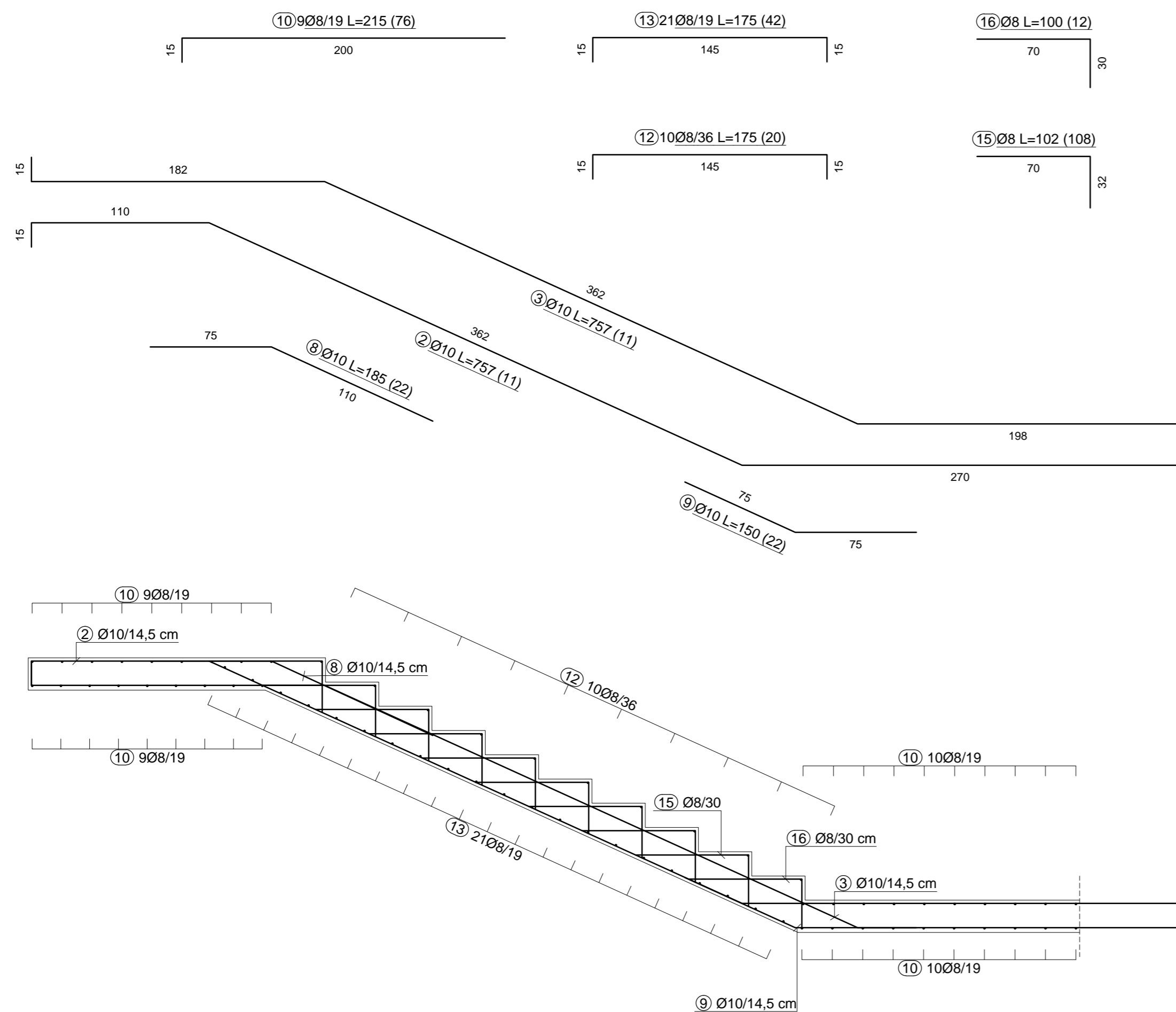


PRESJEK B-B
MJ. 1:50
C30/37 B500B

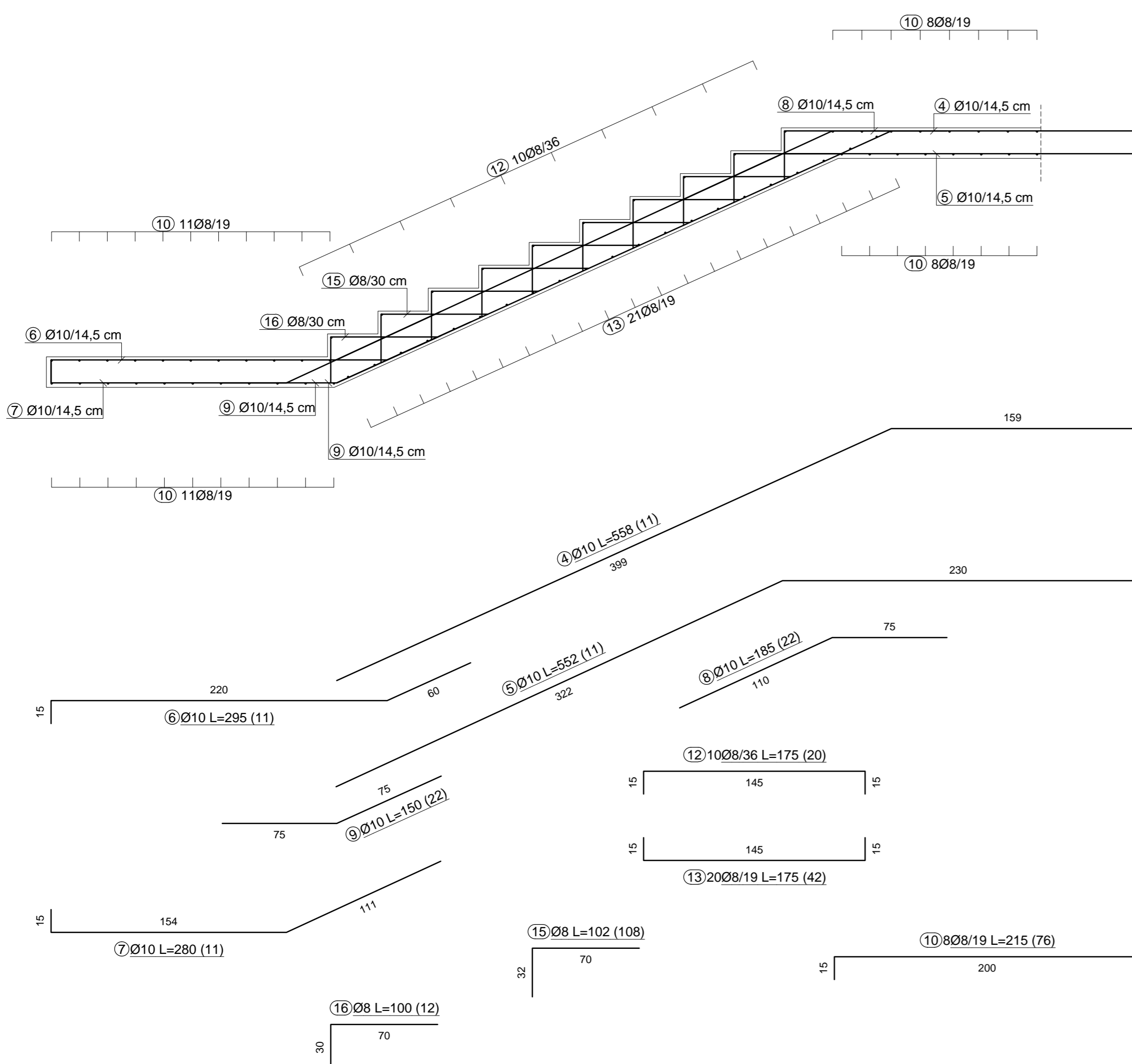
GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
DIPLOMSKI RAD		
Kolegij:	BETONSKE KONSTRUKCIJE 3	Mjerila:
Sadržaj:	PRESJEK B-B	1:50
Mentor:	prof. dr. sc. TOMISLAV KIŠIČEK	Akad. god.:
Izradila:	LUCIJA KOZLEK	2023/2024.

ARMATURA STUBIŠTA

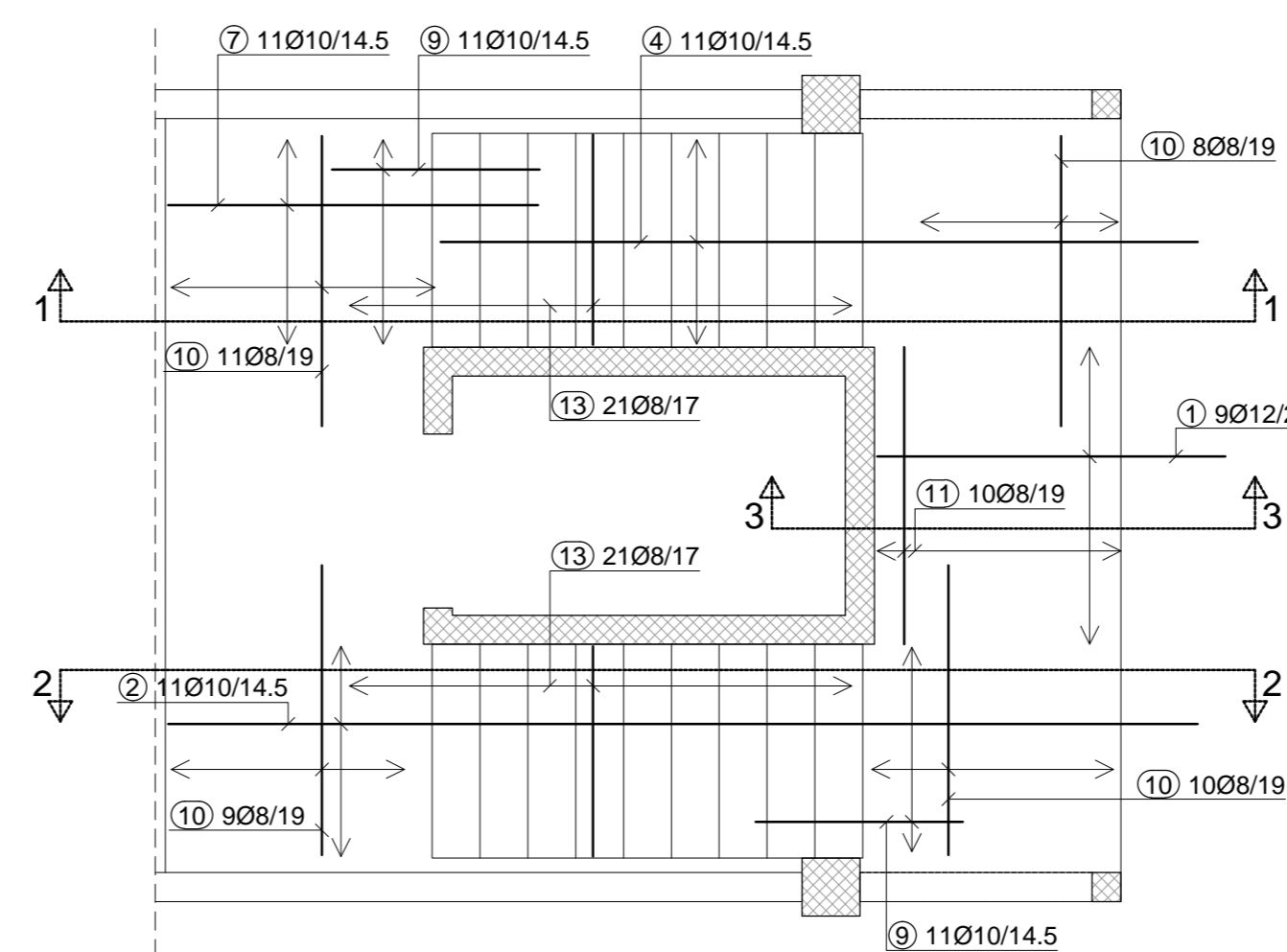
PRESJEK 2-2
MJ 1:25



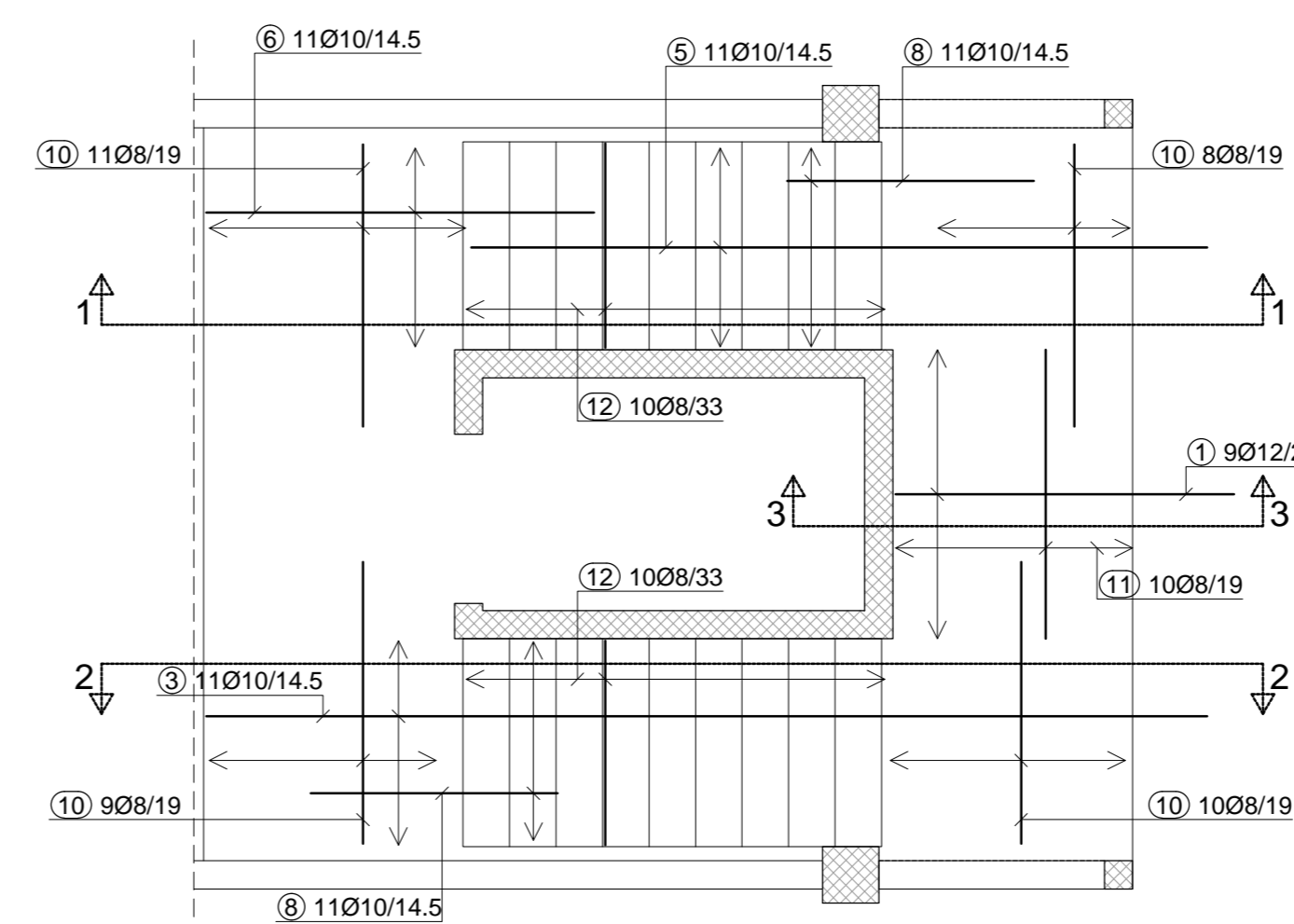
PRESJEK 1-1
MJ 1:25



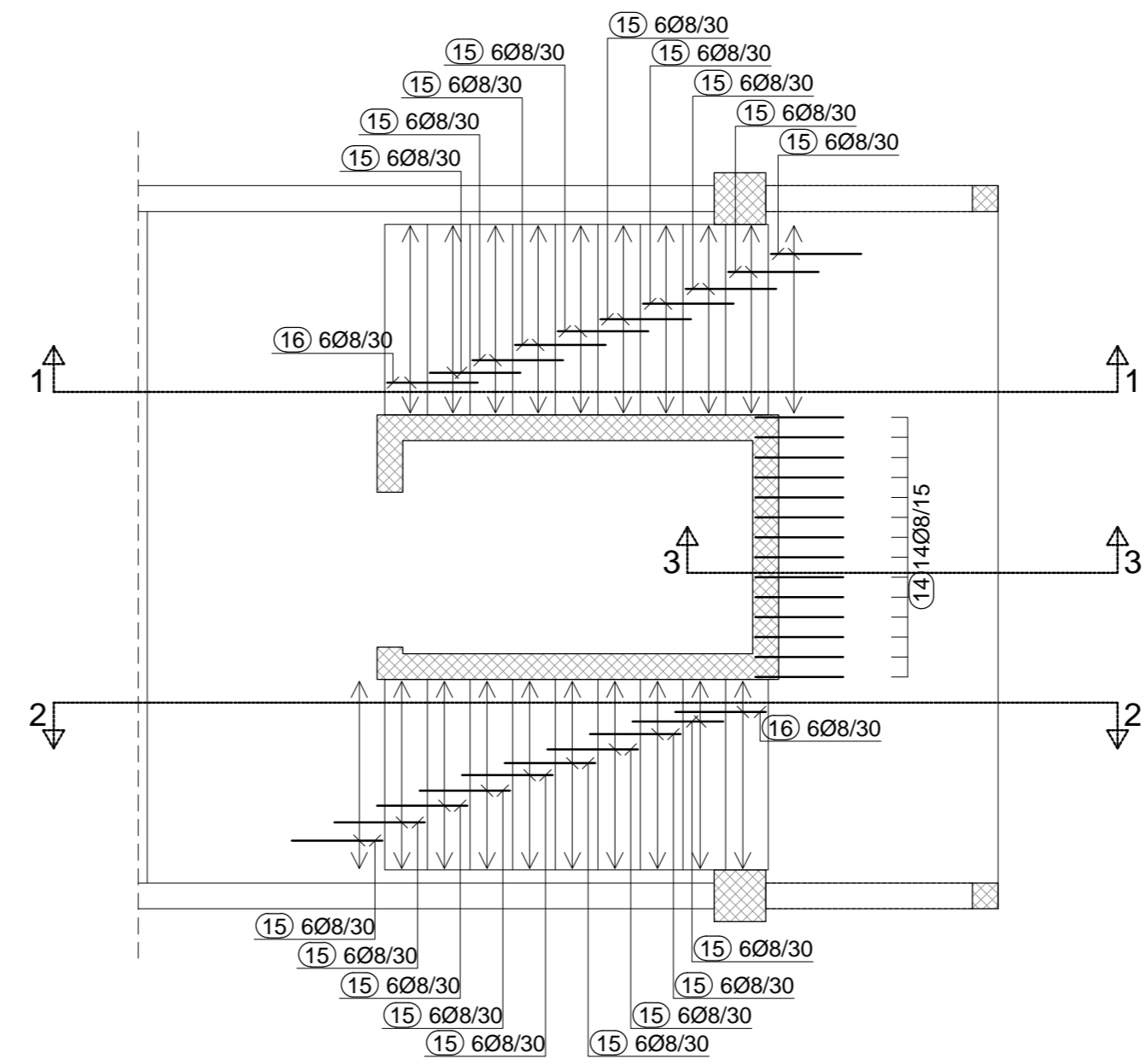
DONJA ZONA KRAKA STUBIŠTA (GORNJA ZONA PODESTA)
MJ 1:50



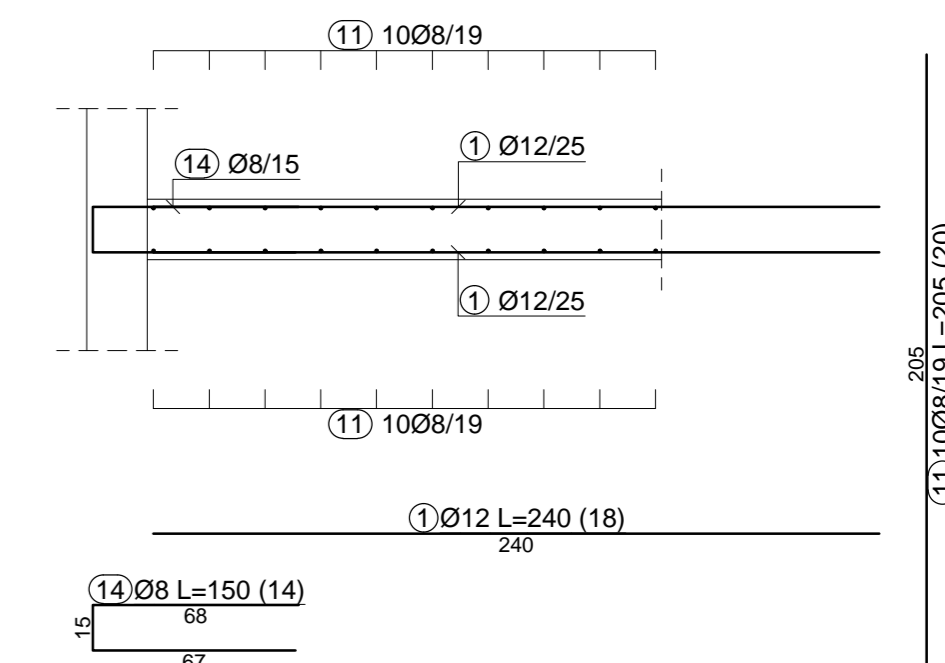
GORNJA ZONA KRAKA STUBIŠTA (DONJA ZONA PODESTA)
MJ 1:50



KONSTRUKTIVNA ARMATURA STUBIŠTA
MJ 1:50



PRESJEK 3-3
MJ 1:25



Šipke - specifikacija

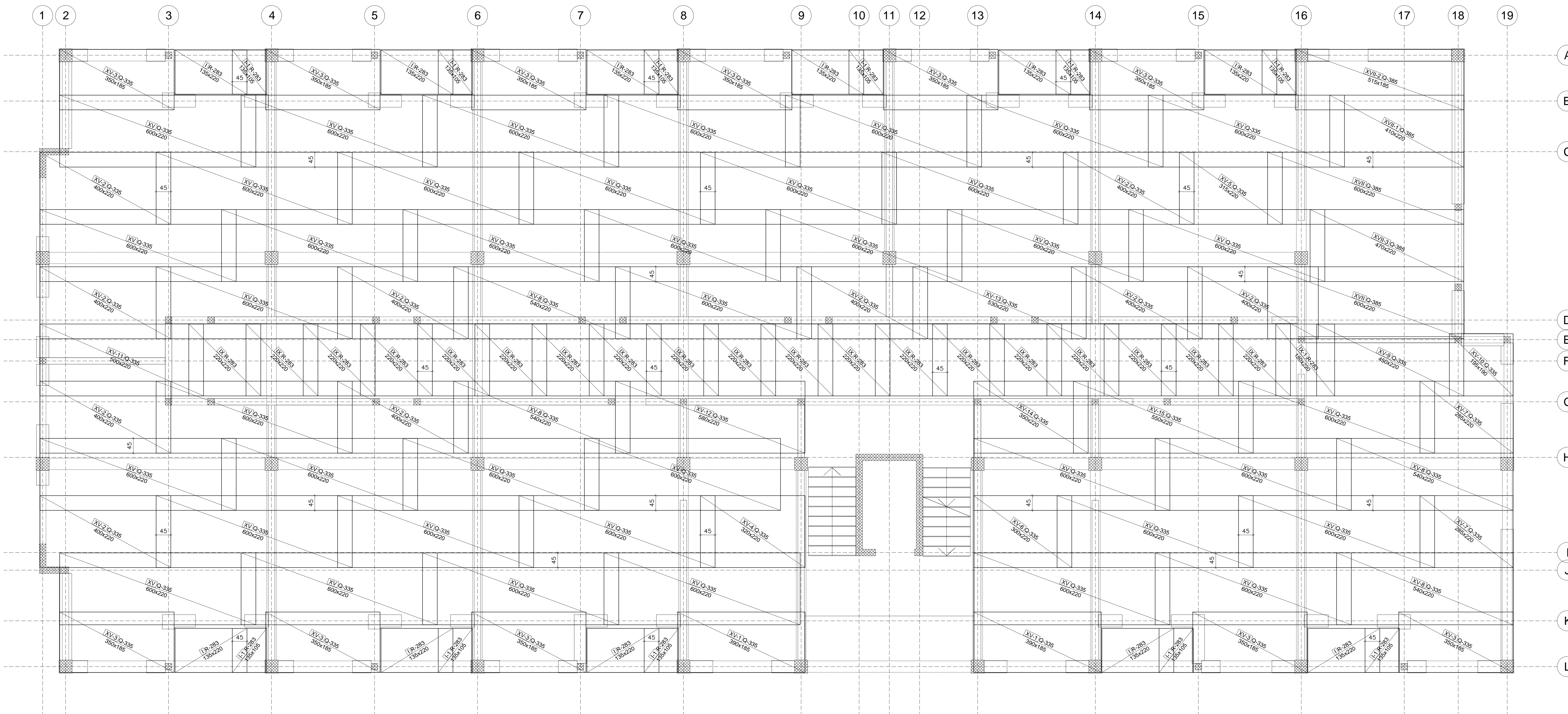
ozn	oblik i mjere [cm]	Ø	lg [m]	n [kom]	lgn [m]
B500B (1 kom)					
1	240	12	2.40	18	43.20
2	110 300 362 150 270	10	7.57	11	83.27
3	182 150 300 362 198	10	7.57	11	83.27
4	399 145 150 169 68 68	10	5.58	11	61.38
5	322 230 209 68 68	10	5.52	11	60.72
6	220 55 68 68	10	2.95	11	32.45
7	111 154 101 47	10	2.80	11	30.80
8	110 75 68 31	10	1.85	22	40.70
9	75 75 68 31	10	1.50	22	33.00
10	200	8	2.15	76	163.40
11	205	8	2.05	20	41.00
12	145 15	8	1.75	20	35.00
13	145 15	8	1.75	42	73.50
14	68 67	8	1.50	14	21.00
15	70 32	8	1.02	108	110.16
16	70 30	8	1.00	12	12.00

PLAN ARMATURE STUBIŠTA
MJ. 1:50, 1:25
C30/37 B500B

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
DIPLOMSKI RAD		
Kolegij:	BETONSKE KONSTRUKCIJE 3	Mjerila:
Sadržaj:	PLAN ARMATURE STUBIŠTA	1:50, 1:25
Mentor:	prof. dr. sc. TOMISLAV KIŠIČEK	Akad. god.:
Izradila:	LUCIJA KOZLEK	2023/2024.

ARMATURA DONJE ZONE PLOČE KARAKTERISTIČNOG KATA

MJ 1:50



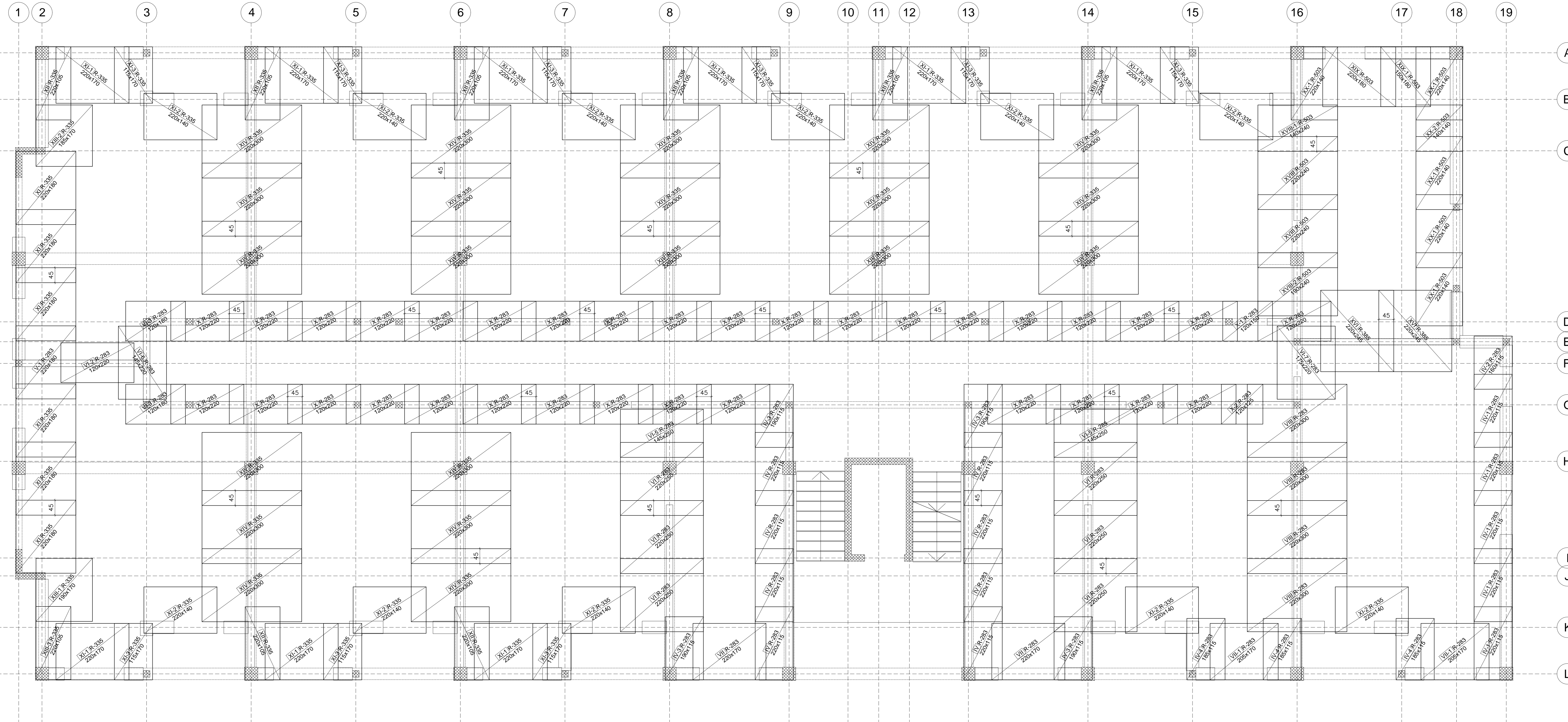
Špike - specifikacija					
ozn	oblik i mjere [cm]	Ø	lg [m]	n [kom]	lgn [m]
B500B (1 kom)					
1		12	1.00	3400	3400.00
2	1030	8	10.30	2	20.60
3	870	8	8.70	2	17.40
4	680	8	6.80	4	27.20
5	515	8	5.15	2	10.30
6	395	8	3.95	4	15.80
7	340	8	3.40	22	74.80
8	320	8	3.20	4	12.80
9	320	8	3.20	22	70.40
10	280	8	2.80	44	123.20
11	195	8	1.95	2	3.70
12	125	8	1.25	44	77.00
13		8	1.36	1343	1826.48
14		8	1.35	44	59.40
15		8	1.15	946	1087.90
16	85	8	0.85	4	3.40

Mreže - specifikacija						
Pozicija	Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	n	Jedinična težina [kg/m2]	Ukupna težina [kg]
B500B (1 kom)						
I	R-283	220	135	11	2.880	94.09
I-1	R-283	105	135	11	2.880	44.91
IV	R-283	115	220	8	2.880	58.29
IV-1	R-283	115	220	5	2.880	36.43
IV-2	R-283	115	160	1	2.880	5.30
IV-3	R-283	115	190	4	2.880	25.17
IV-4	R-283	115	185	3	2.880	18.36
V-1	R-283	180	220	1	2.880	11.40
VI	R-283	250	220	6	2.880	95.04
VI-2	R-283	220	120	1	2.880	7.60
VI-3	R-283	180	120	2	2.880	12.44
VI-5	R-283	250	145	2	2.880	20.88
VI-6	R-283	220	145	1	2.880	9.19
VI-7	R-283	220	175	1	2.880	11.09
VII	R-283	170	220	2	2.880	21.54
VII-1	R-283	170	205	2	2.880	20.07
VIII	R-283	300	220	4	2.880	76.03
IX	R-283	220	220	19	2.880	264.84
IX-1	R-283	220	180	1	2.880	11.40
X	R-283	220	120	33	2.880	250.91
X-1	R-283	150	120	1	2.880	5.16
X-2	R-283	125	120	1	2.880	4.32
XI	R-335	180	220	6	3.630	86.25
XI-1	R-335	170	220	9	3.630	122.19
XI-2	R-335	140	220	11	3.630	122.98
XI-3	R-335	170	115	9	3.630	63.87
XII	R-335	105	220	8	3.630	67.08
XII-1	R-335	170	190	1	3.630	11.72
XII-2	R-335	170	185	1	3.630	11.42
XII-3	R-335	105	220	1	3.630	8.39
XIV	R-335	300	220	21	3.630	503.12
XV	Q-335	220	600	40	5.389	2845.39
XV-1	Q-335	185	390	2	5.389	77.76
XV-2	Q-335	220	400	10	5.389	474.23
XV-3	Q-335	185	350	11	5.389	383.83
XV-4	Q-335	220	320	1	5.389	37.94
XV-5	Q-335	220	315	1	5.389	37.35
XV-6	Q-335	220	300	1	5.389	35.57
XV-7	Q-335	220	285	2	5.389	67.58
XV-8	Q-335	220	540	4	5.389	256.09
XV-9	Q-335	220	450	1	5.389	53.35
XV-10	Q-335	190	195	1	5.389	19.97
XV-11	Q-335	220	500	1	5.389	59.28
XV-12	Q-335	220	580	1	5.389	68.76
XV-13	Q-335	220	530	1	5.389	62.84
XV-14	Q-335	220	350	1	5.389	41.50
XV-15	Q-335	220	550	1	5.389	65.21
XVI	R-385	245	220	2	3.680	39.67
XVI-1	Q-385	220	600	2	6.100	161.04
XVI-2	Q-385	220	410	1	6.100	55.02
XVI-3	Q-385	185	515	1	6.100	58.12
XVII	R-503	240	220	2	4.580	48.36
XVII-1	R-503	240	140	1	4.580	15.39
XVII-2	R-503	240	190	1	4.580	20.88
XVIII	R-503	180	220	1	4.580	18.14
XVIII-1	R-503	180	150	1	4.580	12.37
XIX	R-503	140	220	5	4.580	70.53
XX-1	R-503	140	140	1	4.580	8.98
Ukupno						7259.74

PLAN ARMATURE PLOČE
MJ. 1:50
C30/37 B500B

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
DIPLOMSKI RAD		
Kolegij:	BETONSKE KONSTRUKCIJE 3	Mjerilo:
Sadržaj:	PLAN ARMATURE PLOČE	1:50
Mentor:	prof. dr. sc. TOMISLAV KIŠIČEK	Akad. god.:
Izradila:	LUCIJA KOZLEK	2023/2024.

ARMATURA GORNJE ZONE PLOČE KARAKTERISTIČNOG KATA MJ 1:50



Špike - specifikacija

ozn	oblik i mjere [cm]	Ø	lg [m]	n [kom]	lgn [m]
B500B (1 kom)					
1		12	1.00	3400	3400.00
2		8	10.30	2	20.60
3		8	8.70	2	17.40
4		8	6.80	4	27.20
5		8	5.15	2	10.30
6		8	3.95	4	15.80
7		8	3.40	22	74.80
8		8	3.20	4	12.80
9		8	3.20	22	70.40
10		8	2.80	44	123.20
11		8	1.95	2	3.70
12		8	1.75	44	77.00
13		8	1.36	1343	1826.48
14		8	1.35	44	59.40
15		8	1.15	946	1087.90
16		8	0.85	4	3.40

Mreže - specifikacija

Pozicija	Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	n	Jedinična težina [kg/m ²]	Ukupna težina [kg]
B500B (1 kom)						
I	R-283	220	135	11	2.880	94.09
I-1	R-283	105	135	11	2.880	44.91
IV	R-283	115	220	8	2.880	58.29
IV-1	R-283	115	220	5	2.880	36.43
IV-2	R-283	115	160	1	2.880	5.30
IV-3	R-283	115	190	4	2.880	25.17
IV-4	R-283	115	185	3	2.880	18.38
V-1	R-283	180	220	1	2.880	11.40
VI	R-283	250	220	6	2.880	99.04
VI-2	R-283	220	120	1	2.880	7.60
VI-3	R-283	180	120	2	2.880	12.44
VI-5	R-283	250	145	2	2.880	20.88
VI-6	R-283	220	145	1	2.880	9.19
VI-7	R-283	220	175	1	2.880	11.09
VII	R-283	170	220	2	2.880	21.54
VII-1	R-283	170	205	2	2.880	20.07
VIII	R-283	300	220	4	2.880	76.03
IX	R-283	220	220	19	2.880	264.84
IX-1	R-283	220	180	1	2.880	11.40
X	R-283	220	120	33	2.880	250.91
X-1	R-283	150	120	1	2.880	5.16
X-2	R-283	125	120	1	2.880	4.32
XI	R-335	180	220	6	3.630	86.25
XI-1	R-335	170	220	9	3.630	122.19
XI-2	R-335	140	220	11	3.630	122.98
XI-3	R-335	170	115	9	3.630	63.87
XII	R-335	105	220	8	3.630	67.08
XIII-1	R-335	170	190	1	3.630	11.72
XIII-2	R-335	170	185	1	3.630	11.42
XIII-3	R-335	105	220	1	3.630	8.39
XIV	R-335	300	220	21	3.630	503.12
XV	Q-335	220	600	40	5.389	2845.39
XV-1	Q-335	185	390	2	5.389	77.76
XV-2	Q-335	220	400	10	5.389	474.23
XV-3	Q-335	185	350	11	5.389	383.83
XV-4	Q-335	220	320	1	5.389	37.94
XV-5	Q-335	220	315	1	5.389	37.35
XV-6	Q-335	220	300	1	5.389	35.57
XV-7	Q-335	220	285	2	5.389	67.58
XV-8	Q-335	220	540	4	5.389	256.09
XV-9	Q-335	220	450	1	5.389	53.35
XV-10	Q-335	190	195	1	5.389	19.97
XV-11	Q-335	220	500	1	5.389	59.28
XV-12	Q-335	220	580	1	5.389	68.76
XV-13	Q-335	220	530	1	5.389	62.84
XV-14	Q-335	220	350	1	5.389	41.50
XV-15	Q-335	220	550	1	5.389	65.21
XVI	R-385	245	220	2	3.680	39.67
XVII	Q-385	220	600	2	6.100	161.04
XVII-1	Q-385	220	410	1	6.100	55.02
XVII-2	Q-385	185	515	1	6.100	58.12
XVII-3	Q-385	220	470	1	6.100	63.07
XVIII	R-503	240	220	2	4.580	48.36
XVIII-1	R-503	240	140	1	4.580	15.39
XVIII-2	R-503	240	190	1	4.580	20.88
XIX	R-503	180	220	1	4.580	18.14
XX-1	R-503	180	150	1	4.580	12.37
XX-1	R-503	140	220	5	4.580	70.53
XX-2	R-503	140	140	1	4.580	8.98
Ukupno						7259.74

PLAN ARMATURE PLOČE
MJ: 1:50
C30/37 B500B

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
DIPLOMSKI RAD		
Kolegij:	BETONSKE KONSTRUKCIJE 3	Mjerilo:
Sadržaj:	PLAN ARMATURE PLOČE	1:50
Mentor:	prof. dr. sc. TOMISLAV KIŠIČEK	Akad. god.:
Izradila:	LUCIJA KOZLEK	2023/2024.

KONSTRUKTIVNA ARMATURA PLOČE KARAKTERISTIČNOG KATA

MJ 1:50



Šipke - specifikacija					
ozn.	oblik i mjere [cm]	Ø	lg [m]	n [kom]	lg _n [m]
1		12	1.00	3400	3400.00
2		8	10.30	2	20.60
3		8	8.70	2	17.40
4		8	6.80	4	27.20
5		8	5.15	2	10.30
6		8	3.95	4	15.80
7		8	3.40	22	74.80
8		8	3.20	4	12.80
9		8	3.20	22	70.40
10		8	2.80	44	123.20
11		8	1.85	2	3.70
12		8	1.75	44	77.00
13		8	1.36	1343	1826.48
14		8	1.35	44	59.40
15		8	1.15	946	1087.80
16		8	0.85	4	3.40

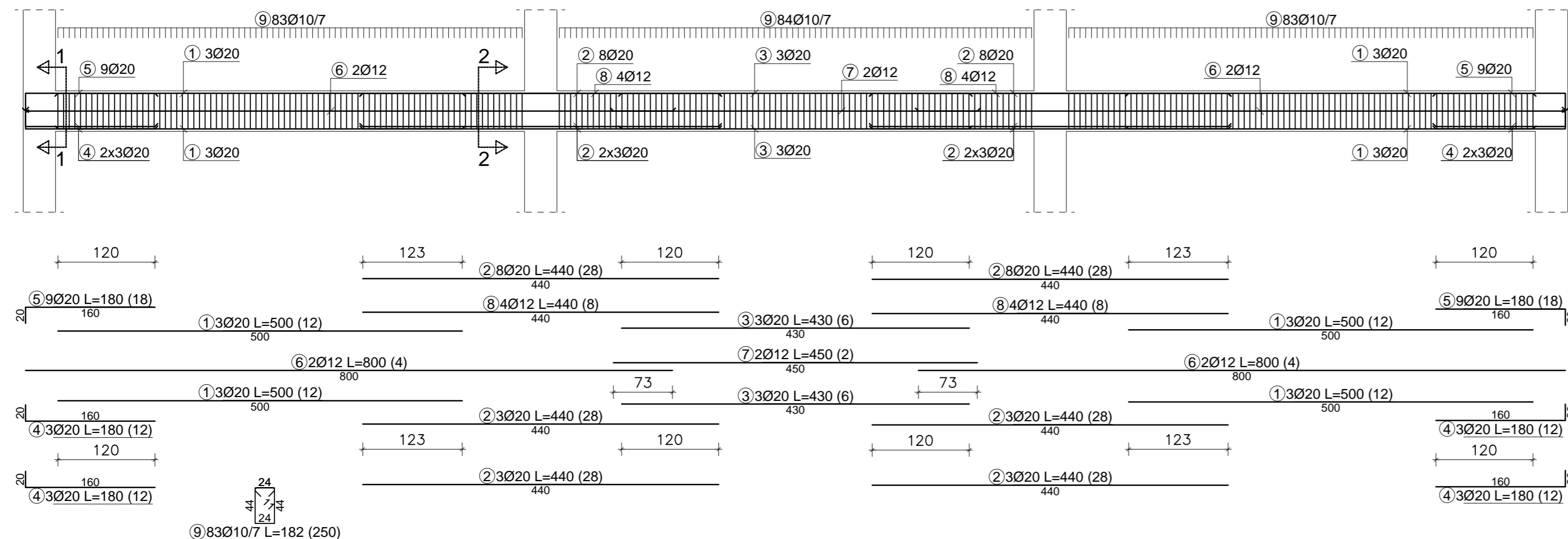
Mreže - specifikacija						
pozicija	Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	n	Jedinična težina [kg/m ²]	Ukupna težina [kg]
B500B (1 kom)						
I	R-283	220	135	11	2.890	94.09
I-1	R-283	105	135	11	2.880	44.91
IV	R-283	115	220	8	2.880	58.29
IV-1	R-283	115	220	5	2.880	36.43
IV-2	R-283	115	160	1	2.880	5.30
IV-3	R-283	115	190	4	2.880	25.17
IV-4	R-283	115	185	3	2.880	18.38
V-1	R-283	180	220	1	2.880	11.40
VI	R-283	250	220	6	2.880	95.04
VI-2	R-283	220	120	1	2.880	7.60
VI-3	R-283	180	120	2	2.880	12.44
VI-5	R-283	250	145	2	2.880	20.88
VI-6	R-283	220	145	1	2.880	9.19
VI-7	R-283	220	175	1	2.880	11.09
VII	R-283	170	220	2	2.880	21.54
VII-1	R-283	170	205	2	2.880	20.07
VIII	R-283	300	220	4	2.880	76.03
IX	R-283	220	220	19	2.880	264.64
IX-1	R-283	220	180	1	2.880	11.40
X	R-283	220	120	33	2.880	250.91
X-1	R-283	150	120	1	2.880	5.18
X-2	R-283	125	120	1	2.880	4.32
XI	R-335	180	220	6	3.630	86.25
XI-1	R-335	170	220	9	3.630	122.19
XI-2	R-335	140	220	11	3.630	122.98
XI-3	R-335	170	115	9	3.630	63.87
XII	R-335	105	220	8	3.630	67.08
XIII-1	R-335	170	190	1	3.630	11.72
XIII-2	R-335	170	185	1	3.630	11.42
XIII-3	R-335	105	220	1	3.630	8.39
XIV	R-335	300	220	21	3.630	503.12
XV	Q-335	220	600	40	5.389	2845.39
XV-1	Q-335	185	390	2	5.389	77.76
XV-2	Q-335	220	400	10	5.389	474.23
XV-3	Q-335	185	350	11	5.389	383.83
XV-4	Q-335	220	320	1	5.389	37.94
XV-5	Q-335	220	315	1	5.389	37.35
XV-6	Q-335	220	300	1	5.389	35.57
XV-7	Q-335	220	285	2	5.389	67.58
XV-8	Q-335	220	540	4	5.389	256.09
XV-9	Q-335	220	450	1	5.389	53.35
XV-10	Q-335	190	195	1	5.389	19.97
XV-11	Q-335	220	500	1	5.389	59.28
XV-12	Q-335	220	580	1	5.389	68.76
XV-13	Q-335	220	530	1	5.389	62.84
XV-14	Q-335	220	350	1	5.389	41.50
XV-15	Q-335	220	550	1	5.389	65.21
XVI	R-385	245	220	2	3.680	39.67
XVII	Q-385	220	600	2	6.100	161.04
XVII-1	Q-385	220	410	1	6.100	55.02
XVII-2	Q-385	185	515	1	6.100	58.12
XVII-3	Q-385	220	470	1	6.100	63.07
XVIII	R-503	240	220	2	4.580	48.36
XVIII-1	R-503	240	140	1	4.580	15.39
XVIII-2	R-503	240	190	1	4.580	20.88
XIX	R-503	180	220	1	4.580	18.14
XIX-1	R-503	180	150	1	4.580	12.37
XX-1	R-503	140	220	5	4.580	70.53
XX-2	R-503	140	140	1	4.580	8.98
Ukupno						7259.74

PLAN ARMATURE PLOČE
MJ. 1:50
C30/37 B500B

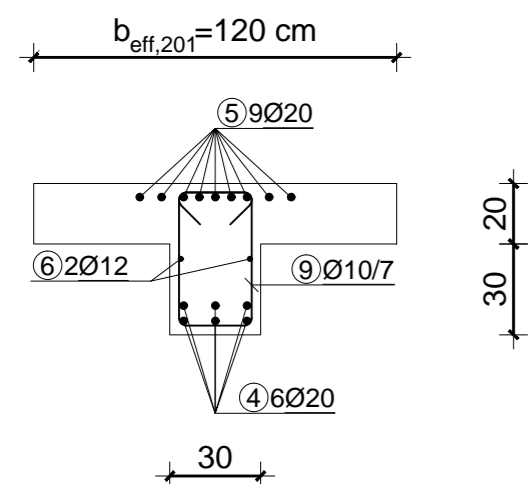
GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
DIPLOMSKI RAD		
Kolegij:	BETONSKE KONSTRUKCIJE 3	Mjerilo:
Sadržaj:	PLAN ARMATURE PLOČE	1:50
Mentor:	prof. dr. sc. TOMISLAV KIŠIČEK	Akad. god.:
Izradila:	LUCIJA KOZLEK	2023/2024.

ARMATURA GREDE

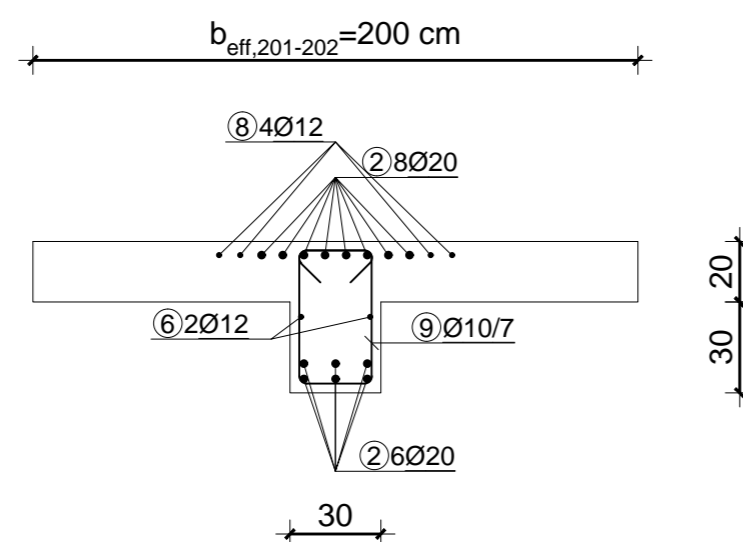
ARMATURA GORNJE I DONJE ZONE GREDE, KONSTRUKTIVNA ARMATURA
MJ 1:50



PRESJEK 1-1
MJ 1:25



PRESJEK 2-2
MJ 1:25



PLAN ARMATURE GREDE
MJ. 1:50, 1:25
C30/37 B500B

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
DIPLOMSKI RAD		
Kolegij:	BETONSKE KONSTRUKCIJE 3	Mjerila:
Sadržaj:	PLAN ARMATURE GREDE	1:50, 1:25
Mentor:	prof. dr. sc. TOMISLAV KIŠIČEK	Akad. god.:
Izradila:	LUCIJA KOZLEK	2023/2024.