

# Proračun armiranobetonske zgrade

---

Jadreško, Dora

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:237:789665>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-30**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

**Dora Jadreško**

# **PRORAČUN ARMIRANOBETONSKE ZGRADE**

**Diplomski rad**

Zagreb, 2023.





## TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta:

**Dora Jadreško**

JMBAG:

**0082060288**

Diplomski rad iz predmeta:

**Betonske konstrukcije 3**

Naslov teme  
diplomskog rada:

HR	<b>Proračun armiranobetonske zgrade</b>
ENG	<b>Design of reinforced concrete building</b>

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

Diplomski rad

# **PRORAČUN ARMIRANOBETONSKE ZGRADE**

DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BUILDING

MENTOR:

Prof. dr. sc. Tomislav Kišiček

KOMENTOR:

Dr. sc. Tvrtko Renić

STUDENT:

Dora Jadreško

Zagreb, rujan 2023.

## **Sažetak**

U radu je prikazan proračun armiranobetonske stambene zgrade u Zagrebu. Građevina se sastoji od pet etaža, prizemlja i I.,II.,III. i IV. kata. Proveden je proračun i dimenzioniranje stubišta, ploče karakterističnog kata i grede uslijed vertikalnog djelovanja te proračun prostornog modela građevine i proračun i dimenzioniranje armiranobetonskog zida uslijed vertikalnog i potresnog djelovanja. Rad sadrži tehnički opis, proračun odabranih konstrukcijskih elemenata i proračun seizmičkog opterećenja na zgradu te građevinske nacрте i armaturene planove dimenzioniranih elemenata zgrade.

**Ključne riječi:** armiranobetonska zgrada, proračun, dimenzioniranje, plan armature

## **Abstract**

This study outlines the design and analysis of a reinforced concrete residential building situated in Zagreb. This five-story building includes a ground floor and four additional levels (1st to 4th floor). Structural analysis and design for the staircase, representative floor slab, and beam under vertical loads have been undertaken. Furthermore, a spatial model of the structure was developed and analyzed, considering both vertical and seismic loads, as well as for reinforced concrete wall. This paper contains a technical description, structural analysis of selected structural elements, a seismic load analysis on the building, along with construction blueprints and reinforcement drawings for the analyzed structural components of the building.

**Keywords:** reinforced concrete building, structural analysis, design, reinforcement layout

# Sadržaj

<b>1. Uvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Tehnički opis.....</b>	<b>2</b>
2.1. Općenito .....	2
2.2. Konstrukcija .....	2
2.2.1. Temeljna konstrukcija .....	2
2.2.2. Vertikalna konstrukcija .....	2
2.2.3. Zidani zidovi .....	2
2.2.4. Ploče i grede.....	3
2.2.5. Stubište.....	3
2.2.6. Krovna konstrukcija.....	3
2.3. Proračun .....	3
<b>3. Statički proračun stubišta .....</b>	<b>4</b>
3.1. Stubišni krak.....	4
3.1.1. Analiza opterećenja.....	4
3.1.2. Statički proračun.....	6
3.1.3. Dimenzioniranje uzdužne armature.....	8
3.1.4. Dimenzioniranje poprečne armature .....	10
3.2. Podest .....	11
3.2.1. Analiza opterećenja.....	11
3.2.2. Statički proračun.....	12
3.2.3. Dimenzioniranje uzdužne armature.....	13
3.2.4. Dimenzioniranje poprečne armature .....	16
<b>4. Statički proračun karakteristične ploče kata .....</b>	<b>17</b>
4.1. Analiza opterećenja .....	17
4.2. Statički proračun .....	20
4.3. Dimenzioniranje armature.....	45
4.4. Rekapitulacija odabrane armature ploče .....	64
4.5. Proračun poprečne armature.....	65
<b>5. Proračun grede poz. GX4_1.....</b>	<b>67</b>
5.1. Analiza opterećenja .....	67
5.2. Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila.....	69

5.3. Proračunske vrijednosti momenata savijanja i poprečne sile (reakcije) .....	70
5.4. Dimenzioniranje armature.....	70
5.4.1. Dimenzioniranje uzdužne armature.....	71
5.4.2. Dimenzioniranje poprečne armature .....	73
5.5. Proračun pukotina i progiba grede GX4_1 .....	76
5.5.1. Proračun karakteristika materijala i poprečnog presjeka.....	76
5.5.2. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka za $t=0$ .....	78
5.5.3. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka za $t=\infty$ .....	80
5.5.4. Momenti savijanja i naprezanja u presjeku na sredini raspona grede (na mjestu maksimalnog momenta savijanja) .....	82
5.5.5. Minimalna ploština armature za ograničavanje širine pukotina .....	83
5.5.6. Proračun širina pukotina za kratkotrajno djelovanje ( $t=0$ ) .....	84
5.5.7. Proračun širina pukotina za dugotrajno djelovanje ( $t=\infty$ ) .....	86
5.6. Proračun progiba grede .....	88
<b>6. Proračun seizmičkog opterećenja na zgradu.....</b>	<b>89</b>
6.1. Opis seizmičkog modela zgrade.....	89
6.2. Zadane mase i smanjenje krutosti betonskih elemenata.....	91
6.3. Određivanje krutosti tla.....	93
6.4. Spektar odziva .....	96
6.5. Određivanje faktora ponašanja.....	98
6.6. Modalna analiza .....	101
<b>7. Statički proračun i dimenzioniranje AB zida .....</b>	<b>104</b>
7.1. Određivanje proračunskih sila.....	104
7.2. Dimenzioniranje zida u prizemlju (pozicija 100).....	106
7.2.1. Uzdužna sila u zidu.....	106
7.2.2. Armatura hrpta.....	106
7.3. Određivanje armature kritičnog polja zida u prizemlju (pozicija 100) .....	108
7.4. Provjera nosivosti zida na moment savijanja u ravnini.....	111
7.5. Zahtijevana duktilnost zida u prizemlju (pozicija 100).....	115
7.6. Određivanje duktilnosti zida u prizemlju (poz.100).....	116
7.7. Određivanje proračunskih sila zida 1.kata (pozicija 200) .....	119
7.8. Dimenzioniranje zida 1.kata (pozicija 200) .....	119
7.8.1. Uzdužna sila u zidu.....	120



7.8.2. Armatura hrpta .....	120
7.9. Određivanje armature kritičnog polja zida u prizemlju (pozicija 200) .....	121
7.10. Provjera nosivosti zida na moment savijanja u ravnini .....	124
7.11. Zahtijevana duktilnost zida 1.kata (pozicija 200) .....	127
7.12. Određivanje duktilnosti zida 1.kata (poz.200) .....	128
7.13. Rekapitulacija odabrane armature zida .....	130
<b>8. Zaključak .....</b>	<b>131</b>
<b>9. Literatura.....</b>	<b>132</b>
<b>Popis slika .....</b>	<b>133</b>
<b>Popis tablica.....</b>	<b>136</b>
<b>Grafički prilozi.....</b>	<b>137</b>

## 1. Uvod

Zadatak diplomskog rada je proračun stambene građevine od armiranog betona prema važećim propisima za projektiranje konstrukcija. Građevina je smještena u Zagrebu, gdje su armiranobetonske konstrukcije nezaobilazan dio građevinske prakse. Armiranobetonska gradnja iskorištava dobra svojstva čelika i betona te je prikladan izbor za izvedbu brojnih konstrukcija zahvaljujući trajnosti, ekonomskoj prihvatljivosti, prilagodljivosti u oblikovanju i dr. pogodnostima.

U procesu projektiranja navedene građevine, razmatrana su moguća djelovanja na konstrukciju za koje se očekuje da će biti izložena tijekom uporabnog vijeka. Građevina je smještena u seizmički aktivnom području. U takvim uvjetima, potresno opterećenje je ključno uzeti u obzir, a ono predstavlja i mjerodavno opterećenje prilikom dimenzioniranja AB zidova kao elemenata koji preuzimaju seizmičku silu. Proračun zgrade na potresno opterećenje i dimenzioniranje AB zida izvršen je prema smjernicama koje daje norma za projektiranje potresne otpornosti konstrukcija HRN EN 1998-1. Dimenzioniranje stubišta, ploče karakterističnog kata i grede provedeno je u skladu s normom za projektiranje betonskih konstrukcija HRN EN 1992-1-1. Odabrana armatura prikazana je grafički na armaturnom planu dimenzioniranog elementa zgrade.

Proračun reznih sila za dimenzioniranje konstrukcijskih elemenata te modalna analiza zgrade izvršena su u računalnom programu „SCIA Engineer 22.1“. Dimenzioniranje elemenata provedeno je „ručno“.

## **2. Tehnički opis**

### **2.1. Općenito**

Napravljen je statički proračun i dimenzioniranje višestambene zgrade u Zagrebu. Građevina je maksimalnih tlocrtnih dimenzija  $20,80 \times 14,70$  m.

Građevina se sastoji od prizemlja i četiri kata. Tlocrtna površina prizemlja iznosi  $262,26 \text{ m}^2$ , a ostalih katova  $256,06 \text{ m}^2$ . Na svakom katu nalaze se 3 stambene jedinice različitih tlocrtnih površina od  $55,2 \text{ m}^2$ ,  $65,5 \text{ m}^2$  i  $110,4 \text{ m}^2$ . U središtu zgrade nalazi se hodnik sa stubištem. U zgradi nije predviđen lift. Visina etaže iznosi  $2,80$  m, odnosno  $2,60$  m svijetle visine. Ukupna visina građevine je  $14,00$  m.

### **2.2. Konstrukcija**

#### **2.2.1. Temeljna konstrukcija**

Temeljna konstrukcija je temeljna ploča debljine  $50$  cm koja se izvodi od betona klase C30/37 te se armira armaturnim mrežama B500B. Temeljna ploča se izvodi u nivou prizemlja. Pretpostavlja se temeljno tlo srednje krute do krute gline nosivosti do  $100 \text{ kN/m}^2$ . Zaštitni sloj betona temeljne ploče iznosi  $3,5$  cm.

#### **2.2.2. Vertikalna konstrukcija**

Vertikalnu konstrukciju čine armiranobetonski zidovi debljine  $20$  cm koji se izvode od betona klase C30/37. AB zidovi se armiraju armaturnim mrežama i vilicama prema proračunu s zaštitnim slojem od  $3,0$  cm.

#### **2.2.3. Zidani zidovi**

Zidani zidovi se izvode od opečnih blokova dimenzija  $37,5 \times 20 \times 23,8$  cm te nemaju nosivu ulogu. Izvode se nakon izvedbe AB konstrukcije. Na mjestima otvora u zidanim zidovima nadvoji se armiraju armaturnim šipkama  $4\phi 14$  i vilicama  $\phi 8/20$  cm.

#### 2.2.4. Ploče i grede

Međukatnu konstrukciju čine armiranobetonske ploče debljine 20 cm od betona klase C30/37. Ploče se armiraju armaturnim mrežama u dvije zone prema proračunu. Slobodni rubovi ploča se armiraju s otvorenim U vilicama  $\phi 8/20$  cm. Zaštitni sloj je 2,0 cm.

Grede se izvode prema tlocrtnom rasporedu kao armiranobetonske grede poprečnog presjeka 20/30 cm i 20/40 cm na mjestima gdje nema zidova. Izvode se od klase betona C30/37 i armiraju armaturnim šipkama B500B prema proračunu. Zaštitni sloj je 2,0 cm.

#### 2.2.5. Stubište

Stubište je monolitna armiranobetonska ploča debljine 15 cm, izvodi se od betona klase C30/37 i armira armaturnim šipkama B500B prema proračunu. Ploča kraka stubišta se oslanja na podest od armiranog betona debljine 20 cm, izveden od betona klase C30/37 i armira armaturnim šipkama B500B prema proračunu. Zaštitni sloj betona iznosi 2,0 cm. Stubište je dvokrako.

#### 2.2.6. Krovna konstrukcija

Krov je ravni neprohodni krov. Predviđa se izvedba armiranobetonske krovne atike visine 80 cm.

### 2.3. Proračun

Statički proračun i dimenzioniranje elemenata proveden je za sljedeća djelovanja: vlastita težina, korisno opterećenje, snijeg i potres. Opterećenje vjetrom se zanemaruje radi velike vlastite težine konstrukcije.

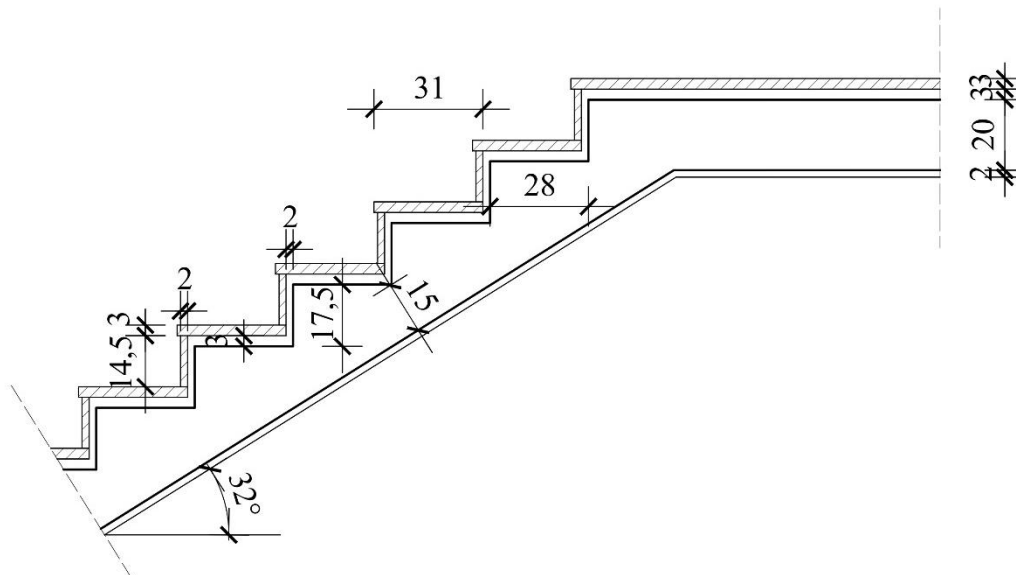
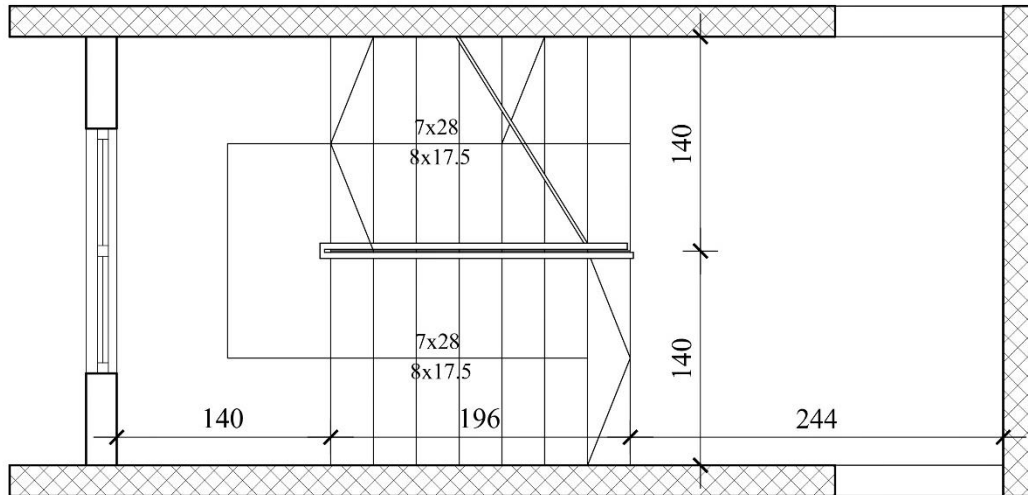
Prema lokaciji građevine vršno ubrzanje tla za povratno razdoblje od 475 godina je  $a_{gR} = 0,251g$ , odnosno objekt je u IX seizmičkoj zoni prema MCS-64 za povratni period od 500. Provedena je modalna analiza i seizmički proračun prema EN 1998-1. Svi elementi se dimenzioniraju prema EN 1992-1 i EN 1998-1.

Projektirani vijek trajanja konstrukcije građevine je 50 godina.

### 3. Statički proračun stubišta

#### 3.1. Stubišni krak

##### 3.1.1. Analiza opterećenja



*Slika 1. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta*

Krakovi stubišta ponašaju se kao uzdužno nosive ploče oslonjene na poprečno nosive podeste.

*Stalno opterećenje:*

Obloga nagazne površine – parket:	$d_P \cdot \frac{a_n}{a} \cdot \gamma_P = 0,03 \cdot \frac{0,31}{0,28} \cdot 6,5 = \dots\dots\dots 0,22 \text{ kN/m}^2$
Obloga vertikalne stube – parket:	$d_P \cdot \frac{b_v}{a} \cdot \gamma_P = 0,02 \cdot \frac{0,145}{0,28} \cdot 6,5 = \dots\dots\dots 0,07 \text{ kN/m}^2$
Estrih na nagaznoj površini stube:	$d_M \cdot \gamma_M = 0,03 \cdot 21 = \dots\dots\dots 0,63 \text{ kN/m}^2$
Cementna žbuka na vertikali stube:	$d_M \cdot \frac{b}{a} \cdot \gamma_M = 0,02 \cdot \frac{0,175}{0,28} \cdot 21 = \dots\dots\dots 0,26 \text{ kN/m}^2$
Stube:	$\frac{b}{2} \cdot \gamma = \frac{0,175}{2} \cdot 25 = \dots\dots\dots 2,19 \text{ kN/m}^2$
AB ploča 15 cm:	$\frac{h \cdot \gamma}{\cos \alpha} = \frac{0,15 \cdot 25}{\cos 32^\circ} = \dots\dots\dots 4,42 \text{ kN/m}^2$
Žbuka – podgled:	$\frac{d \cdot \gamma_M}{\cos \alpha} = \frac{0,02 \cdot 18}{\cos 32^\circ} = \dots\dots\dots 0,42 \text{ kN/m}^2$

---

**Ukupno stalno..... $g_k = 8,21 \text{ kN/m}^2$**

*Korisno opterećenje:*

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

---

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

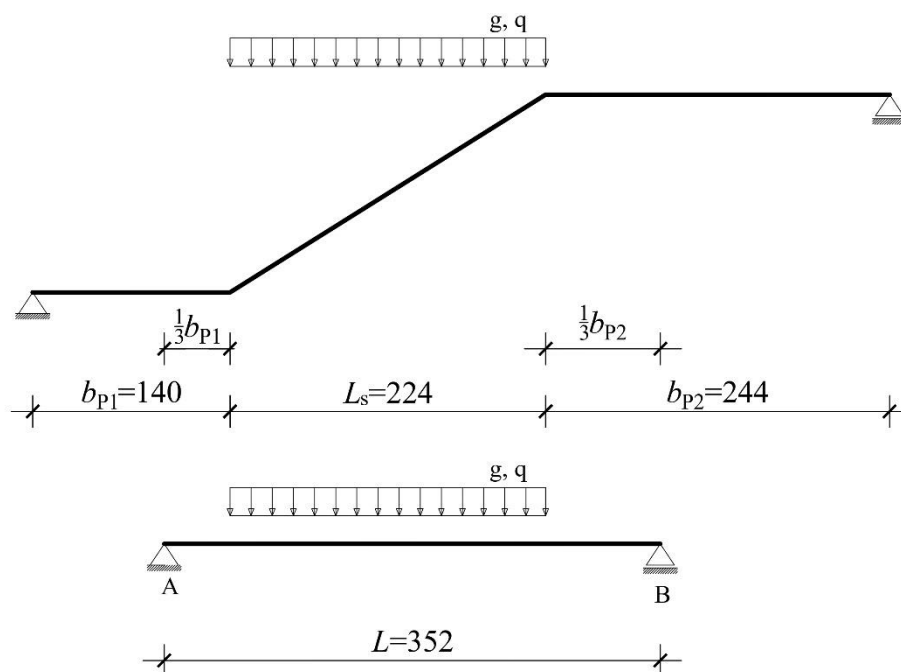
U gornjim izrazima:	$a$	širina stube [m]
	$a_n$	širina nagazne površine [m]
	$b$	visina stube [m]
	$b_v$	visina vertikalne nagazne površine [m]
	$h$	visina AB ploče [m]
	$d$	debljine slojeva [m]
	$\gamma$	jedinične težine materijala [ $\text{kN/m}^3$ ]

### 3.1.2. Statički proračun

#### 3.1.2.1. Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila

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

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



*Slika 2. Statička shema opterećenja stubišta*

Karakteristične vrijednosti reakcija i poprečnih sila nad ležajem A:

$$R_k^g = V_k^g = \frac{g_k \cdot L_s \cdot \left( \frac{L_s}{2} + \frac{b_{P2}}{3} \right)}{L} = \frac{8,21 \cdot 2,24 \cdot \left( \frac{2,24}{2} + \frac{2,44}{3} \right)}{3,52} = 10,10 \text{ kN/m}$$

$$R_k^q = V_k^q = \frac{q_k \cdot L_s \cdot \left( \frac{L_s}{2} + \frac{b_{P2}}{3} \right)}{L} = \frac{3,00 \cdot 2,24 \cdot \left( \frac{2,24}{2} + \frac{2,44}{3} \right)}{3,52} = 3,69 \text{ kN/m}$$

Položaj maksimalnog momenta savijanja u polju:

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

$$x = \frac{V_k^g}{g} = \frac{10,10}{8,21} = 1,23 \text{ m}$$

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

Udaljenost maksimalnog momenta savijanja od ležaja A:

$$x' = \frac{b_{P1}}{3} + x = \frac{1,40}{3} + 1,23 = 1,70 \text{ m}$$

Karakteristične vrijednosti momenata savijanja u polju:

$$M_k^g = R_k^g \cdot x' - \frac{g_k \cdot x'^2}{2} = 10,10 \cdot 1,70 - \frac{8,21 \cdot 1,23^2}{2} = 10,96 \text{ kNm/m}$$

$$M_k^q = R_k^q \cdot x' - \frac{q_k \cdot x'^2}{2} = 3,69 \cdot 1,70 - \frac{3,00 \cdot 1,23^2}{2} = 4,00 \text{ kNm/m}$$

### 3.1.2.2. Proračunske vrijednosti momenata savijanja i poprečne sile

Proračunska poprečna sila nad ležajem A:

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot V_k^g + 1,5 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot 10,10 + 1,5 \cdot 3,69 = 19,17 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja u polju:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_k^g + 1,5 \cdot M_k^q = 1,35 \cdot 10,96 + 1,5 \cdot 4,00 = 20,80 \text{ kNm/m}$$



### 3.1.3. Dimenzioniranje uzdužne armature

*Materijal:*

Beton: **C30/37**

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

$f_{cd}$  – proračunska čvrstoća betona

$\alpha_{cc}$  – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

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

Čelik: **B500B**

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

/karakteristična vlačna čvrstoća čelika za armiranje)

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

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

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

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

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

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

Glavna armatura:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2080}{100 \cdot 12,4^2 \cdot 2,0} = 0,068 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,070$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2080}{0,960 \cdot 12,4 \cdot 43,478} = 4,02 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdjelna armatura:

$$A_{s1,raz} = 0,2 \cdot A_{s1,prov} = 0,2 \cdot 4,02 = 0,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura za polje:

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

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 12,4 \cdot \frac{2,9}{500} = 1,87 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

$f_{ctm}$  – srednja osna vlačna čvrstoća betona

Maksimalna armatura za polje:

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

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 12,4 \cdot \frac{20,00}{434,78} = 20,82 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Glavna armatura – donja zona:

**ODABRANO:**  $\phi 12/22 \text{ cm } (A_{s1,prov}=5,14 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req}=3,99 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 1,87 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov}=5,14 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max}=20,82 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Glavna armatura – gornja zona:

**ODABRANO:**  $\phi 12/22,5 \text{ cm } (A_{s1,prov}=5,03 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req}=3,99 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 1,87 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov}=5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max}=20,82 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdjelna armatura:

**ODABRANO:**  $\phi 8/25 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 2,19 \text{ cm}^2/\text{m}$ )  $> A_{s1,req} = 0,80 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

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

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

**3.1.4. Dimenzioniranje poprečne armature**

Nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

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

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

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

$$A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2 \quad \text{— ploština vlačne armature u ploči}$$

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

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$b = 1000 \text{ mm} \quad \text{— širina ploče u vlačnom području}$$

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

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00406 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 124 = 68452,42 = 68,45 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 124 = 67208 \text{ N} = 67,21 \text{ kN}$$

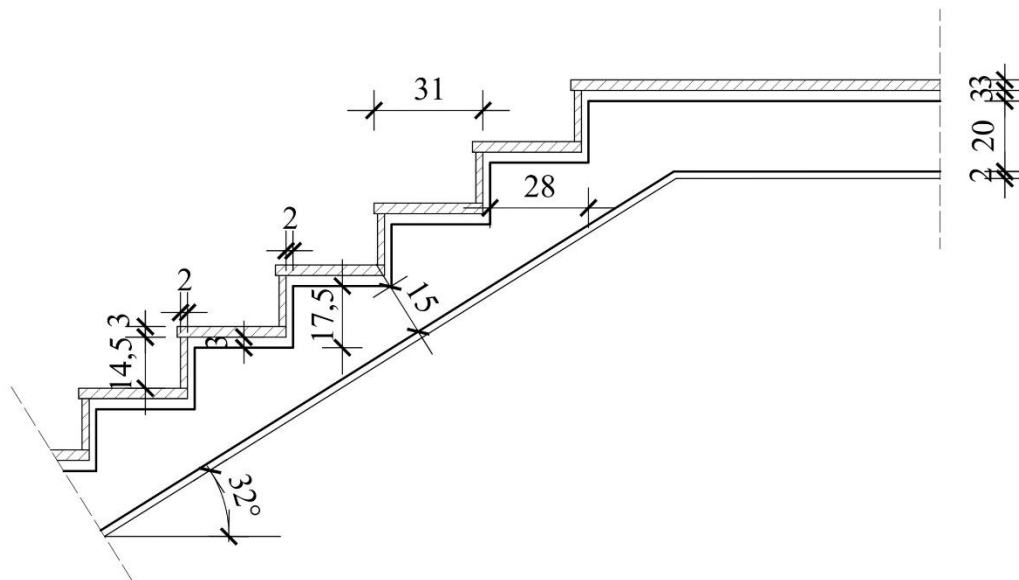
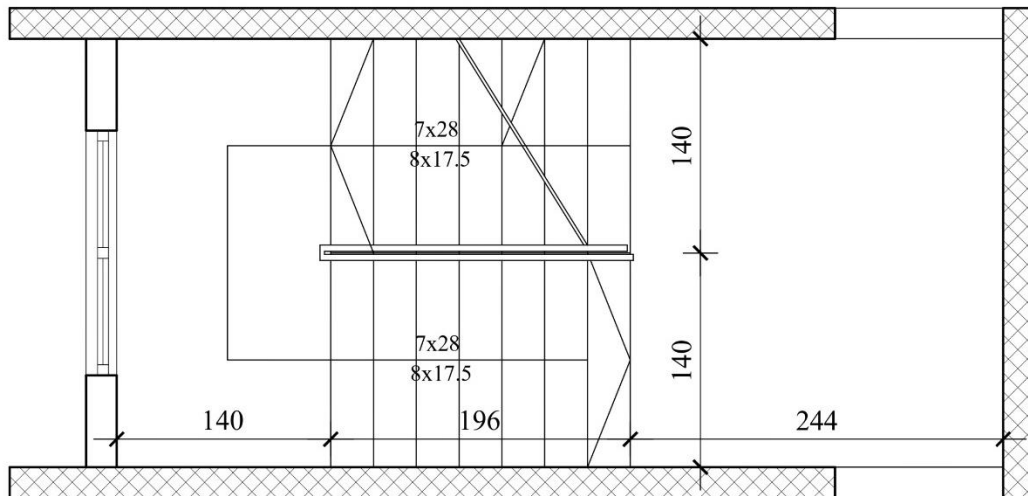
Provjera:

$$V_{Ed} = 19,17 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 68,45 \text{ kN}$$

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

### 3.2. Podest

#### 3.2.1. Analiza opterećenja



*Slika 3. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta*

*Stalno opterećenje:*

Obloga nagazne površine – parket:	$d_p \cdot \gamma_p = 0,03 \cdot 6,5 = \dots\dots\dots 0,20 \text{ kN/m}^2$
Estrih na nagaznoj površini stube:	$d_M \cdot \gamma_M = 0,03 \cdot 21 = \dots\dots\dots 0,63 \text{ kN/m}^2$
Žbuka:	$d \cdot \gamma_M = 0,02 \cdot 18 = \dots\dots\dots 0,36 \text{ kN/m}^2$
AB ploča 20 cm:	$h \cdot \gamma = 0,20 \cdot 25 = \dots\dots\dots 5,0 \text{ kN/m}^2$

---

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

*Korisno opterećenje:*

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

---

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

**3.2.2. Statički proračun****3.2.2.1. Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila**

Proračunska duljina ploče podesta:

$$L_p = L + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot h = 280 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 = 295 \text{ cm}$$

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

Karakteristične vrijednosti reakcija i poprečnih sila nad ležajem:

$$R_k^g = V_k^g = \frac{g_k \cdot L_p}{2} + \frac{R_{k,\text{stub}}^g \cdot L_p}{2 \cdot b_{p1}/3} = \frac{6,19 \cdot 2,95}{2} + \frac{10,10 \cdot 2,95}{2 \cdot 1,40/3} = 41,05 \text{ kN/m}$$

$$R_k^q = V_k^q = \frac{q_k \cdot L_p}{2} + \frac{R_{k,\text{stub}}^q \cdot L_p}{2 \cdot b_{p1}/3} = \frac{3,00 \cdot 2,95}{2} + \frac{3,69 \cdot 2,95}{2 \cdot 1,40/3} = 16,09 \text{ kN/m}$$

Karakteristične vrijednosti momenata savijanja u polju:

$$M_k^g = \frac{g_k \cdot L_p^2}{8} + \frac{R_{k,\text{stub}}^g \cdot L_p^2}{8 \cdot b_{p1}/3} = \frac{6,19 \cdot 2,95^2}{8} + \frac{10,10 \cdot 2,95^2}{8 \cdot 1,40/3} = 30,28 \text{ kNm/m}$$

$$M_k^q = \frac{q_k \cdot L_p^2}{8} + \frac{R_{k,\text{stub}}^q \cdot L_p^2}{8 \cdot b_{p1}/3} = \frac{3,00 \cdot 2,95^2}{8} + \frac{3,69 \cdot 2,95^2}{8 \cdot 1,40/3} = 11,86 \text{ kNm/m}$$

U gornjim izrazima:	$R_{k,stub}^g$	– karakteristična reakcija kraka stubišta nad ležajem A od stalnog opterećenja
	$R_{k,stub}^q$	– karakteristična reakcija kraka stubišta nad ležajem A od uporabnog opterećenja
	$b_{P1}$	– širina podesta

### 3.2.2.2. Proračunske vrijednosti momenata savijanja i poprečne sile

Proračunska poprečna sila nad ležajem:

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot V_k^g + 1,5 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot 41,05 + 1,5 \cdot 16,09 = 79,55 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja u polju:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_k^g + 1,5 \cdot M_k^q = 1,35 \cdot 30,28 + 1,5 \cdot 11,86 = 58,67 \text{ kN/m}$$

### 3.2.3. Dimenzioniranje uzdužne armature

*Materijal:*

Beton: **C30/37**

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

$f_{cd}$  – proračunska čvrstoća betona

$\alpha_{cc}$  – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

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

Čelik: **B500B**

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

/karakteristična vlačna čvrstoća čelika za armiranje)

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

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

Visina ploče podesta:

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

Zaštitni sloj betona (razred izloženosti XC1):

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

Udaljenost do težišta armature u polju podesta:

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

Statička visina presjeka polja podesta:

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

Udaljenost do težišta armature na ležaju podesta:

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

Statička visina presjeka na ležaju podesta:  $d = h - d_1 = 15 - 4,0 = 11,0 \text{ cm}$

**POLJE:**Glavna armatura:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5867}{100 \cdot 12,3^2 \cdot 2,0} = 0,194 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,120$  očitano:

$$\varepsilon_c = -3,5 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,159$$

$$\varepsilon_{s1} = 18,5 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,934$$

Potrebna površina armature u polju

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5867}{0,934 \cdot 12,3 \cdot 43,478} = 11,75 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura za polje:

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

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 12,3 \cdot \frac{2,9}{500} = 1,85 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Maksimalna armatura za polje:

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

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 12,3 \cdot \frac{20,00}{434,78} = 20,65 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Glavna armatura:

**ODABRANO:**  $\phi 14/13\text{cm}$  ( $A_{s1,prov} = 11,84 \text{ cm}^2/\text{m}$ )  $> A_{s1,req} = 11,75 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 1,85 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 11,84 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdjelna armatura:

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

**LEŽAJ:**

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

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,25 \cdot 5867}{100 \cdot 11,0^2 \cdot 2,0} = 0,061 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,063$  očitano:

$$\varepsilon_c = -2,1 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,095$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,964$$

Potrebna površina armature u polju

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{0,25 \cdot 5867}{0,964 \cdot 11,0 \cdot 43,478} = 3,18 \text{ cm}^2$$

**ODABRANO:**  $\phi 10/22,5 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 3,49 \text{ cm}^2/\text{m}$ )  $> A_{s1,req} = 3,18 \text{ cm}^2/\text{m}$



### 3.2.4. Dimenzioniranje poprečne armature

Nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

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

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

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

$$A_{s1,prov} = 11,84 \text{ cm}^2$$

– ploština vlačne armature u ploči

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{11,84}{100 \cdot 11,0} = 0,01076 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

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

– širina ploče u vlačnom području

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

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,01076 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 110 = 84067,99 = 84,07 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,c,\min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 110 = 59620 \text{ N} = 59,62 \text{ kN}$$

Provjera:

$$V_{Ed} = 79,55 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 84,07 \text{ kN}$$

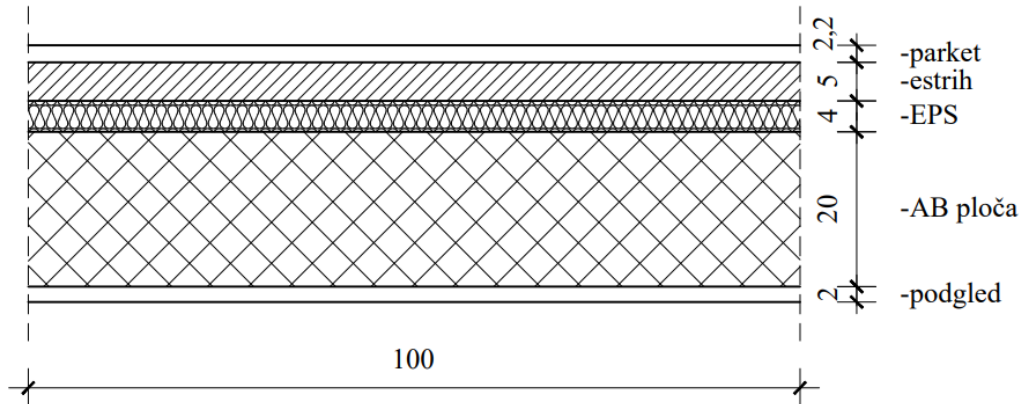
Nije potrebno proračunati poprečnu armaturu jer je  $V_{Ed} < V_{Rd,c}$ .

## 4. Statički proračun karakteristične ploče kata

### 4.1. Analiza opterećenja

#### STALNO OPTEREĆENJE:

Stambeni prostor:



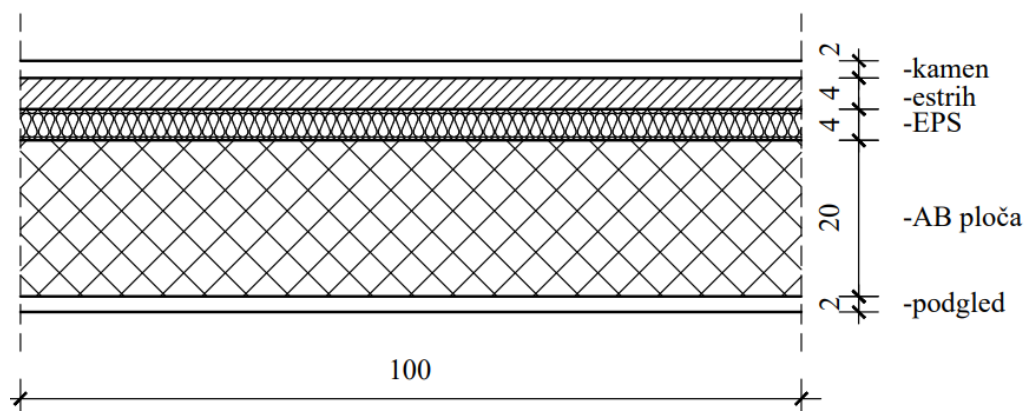
*Slika 4. Presjek AB ploče - stambeni prostor*

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

---

**Ukupno stalno..... $g_k = 6,75$  kN/m<sup>2</sup>**

Hodnik zgrade:

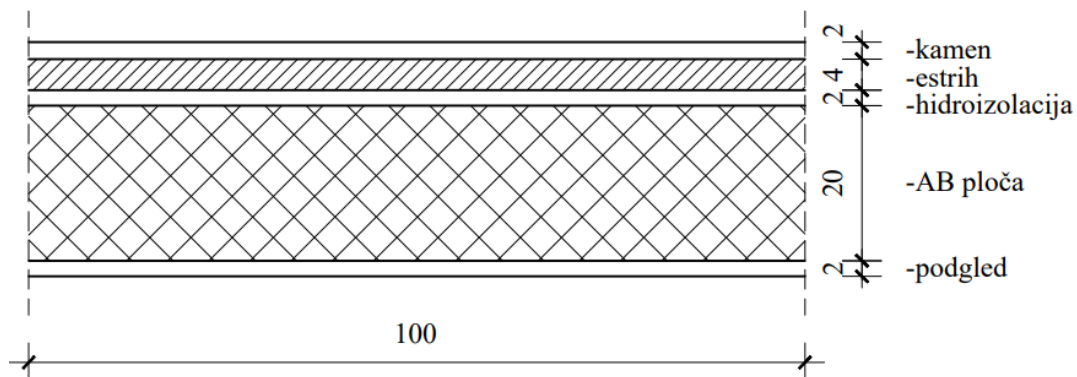


*Slika 5. Presjek AB ploče - hodnik*

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

**Ukupno stalno..... $g_k = 6,96$  kN/m<sup>2</sup>**

Natkrivena terasa:



*Slika 6. Presjek AB ploče - natkrivena terasa*

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

Opterećenje opečnih zidova d = 20 cm:

$$g_{\text{zid}} = \gamma_z (d_z \cdot h_z) + \gamma_m (d_m \cdot h_m)$$

$$g_{\text{zid}} = 12 \cdot (0,20 \cdot 2,30) + 19 \cdot (0,04 \cdot 2,28) = 7,25 \text{ kN/m}$$

gdje su:

$$\gamma_z ; \gamma_m - \text{jedinične težine opeke i morta [kN/m<sup>3</sup>]}$$

$$d_z ; d_m - \text{debljina zida; debljina morta [m]}$$

$$h_z ; h_m - \text{visina zida; visina morta [m]}$$

Opterećenje od stubišta:

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

$$g_{\text{stubište}} = R_k^g = \frac{g_k \cdot L_S \cdot \left(\frac{L_S}{2} + \frac{b_{P2}}{3}\right)}{L} = \frac{8,21 \cdot 2,24 \cdot \left(\frac{2,24}{2} + \frac{2,44}{3}\right)}{3,52} = 10,10 \text{ kN/m}$$

### KORISNO OPTEREĆENJE:

Uporabno opterećenje za uobičajne stambene prostorije.....2,00 kN/m<sup>2</sup>

Uporabno opterećenje hodnika.....3,00 kN/m<sup>2</sup>

Uporabno opterećenje terase.....4,00 kN/m<sup>2</sup>

Uporabno opterećenje stubišta:

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

$$q_{\text{stubište}} = R_k^q = \frac{q_k \cdot L_S \cdot \left(\frac{L_S}{2} + \frac{b_{P2}}{3}\right)}{L} = \frac{3,00 \cdot 2,24 \cdot \left(\frac{2,24}{2} + \frac{2,44}{3}\right)}{3,52} = 3,69 \text{ kN/m}$$

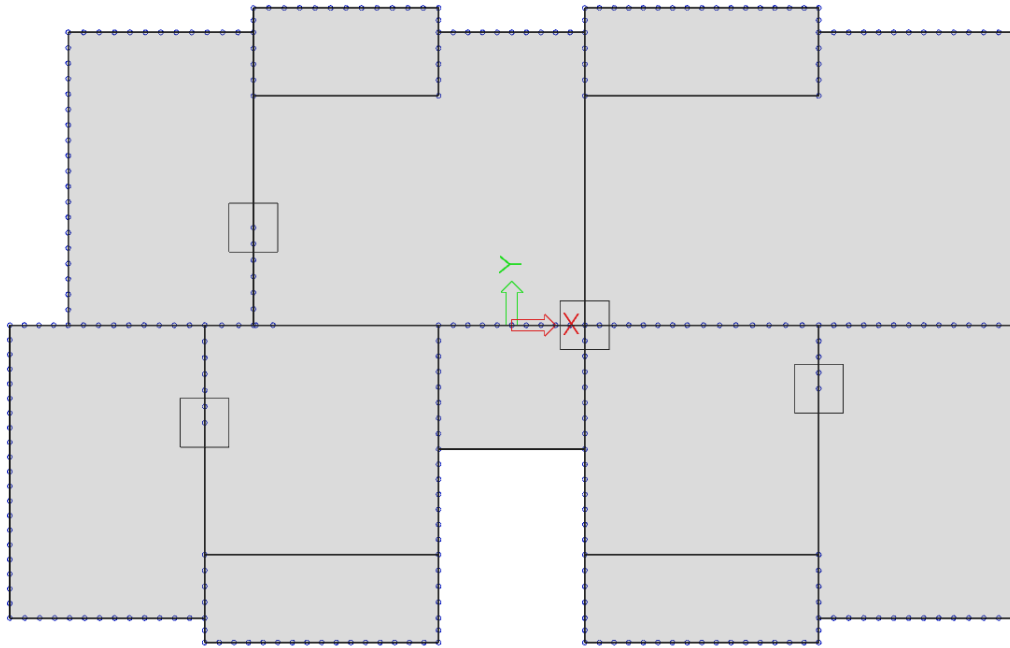
## 4.2. Statički proračun

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

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

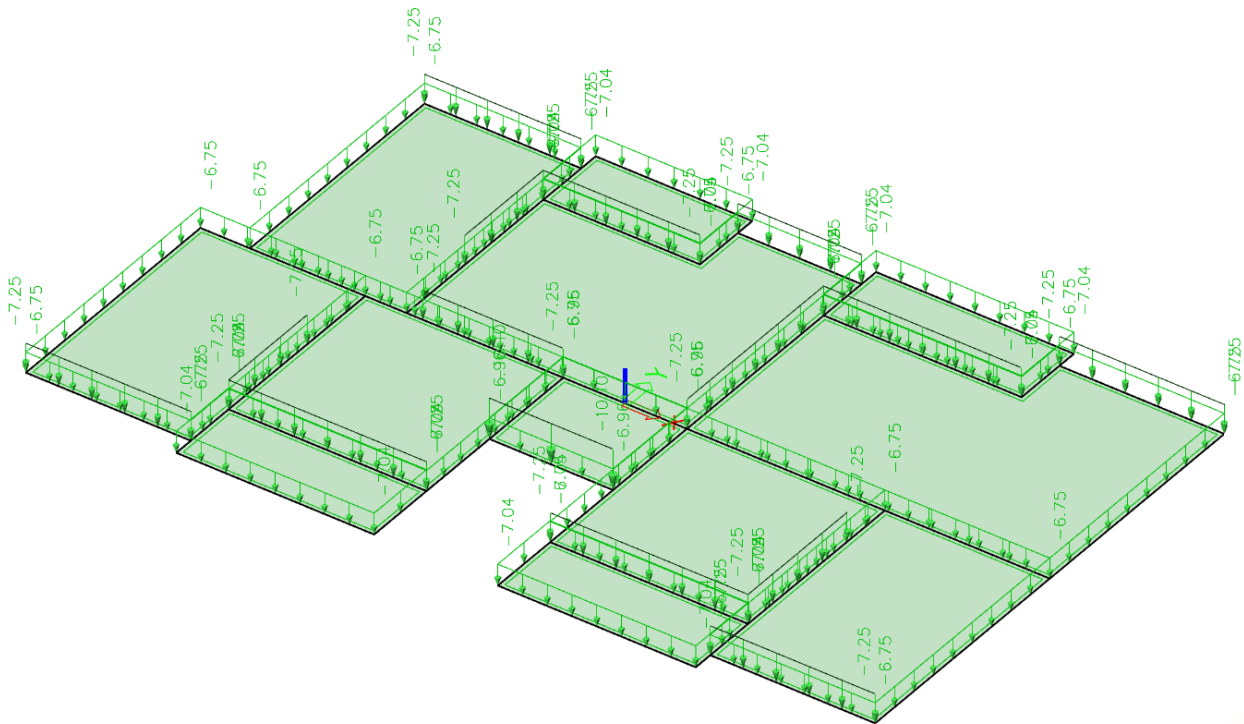
Ploča je opterećena karakterističnim vrijednostima opterećenja prema analizi opterećenja provedenoj u prethodnoj točki. Za slučaj stalnog opterećenja svaka pozicija je opterećena pripadajućim stalnim opterećenjima (po  $m^2$ ) i opterećenjima od nenosivih opečnih zidova (po m'). Vanjski rub podesta je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

Utjecaji u ploči su također prikazani tablično i dijagramima.



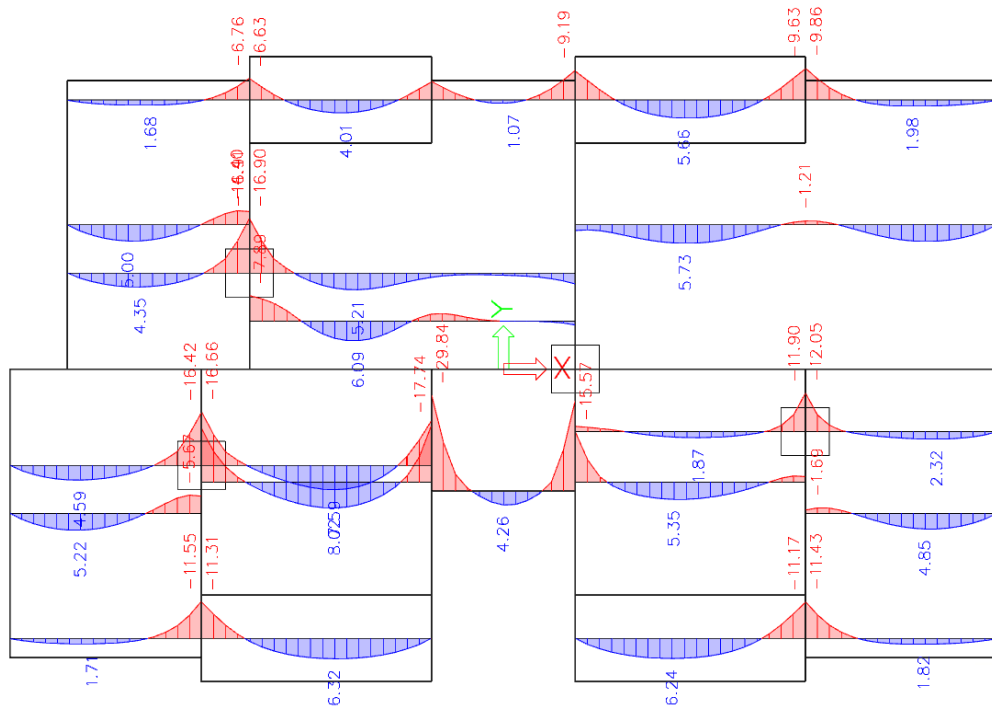
*Slika 7. Prikaz modela ploče*

*Shema stalnog opterećenja:*

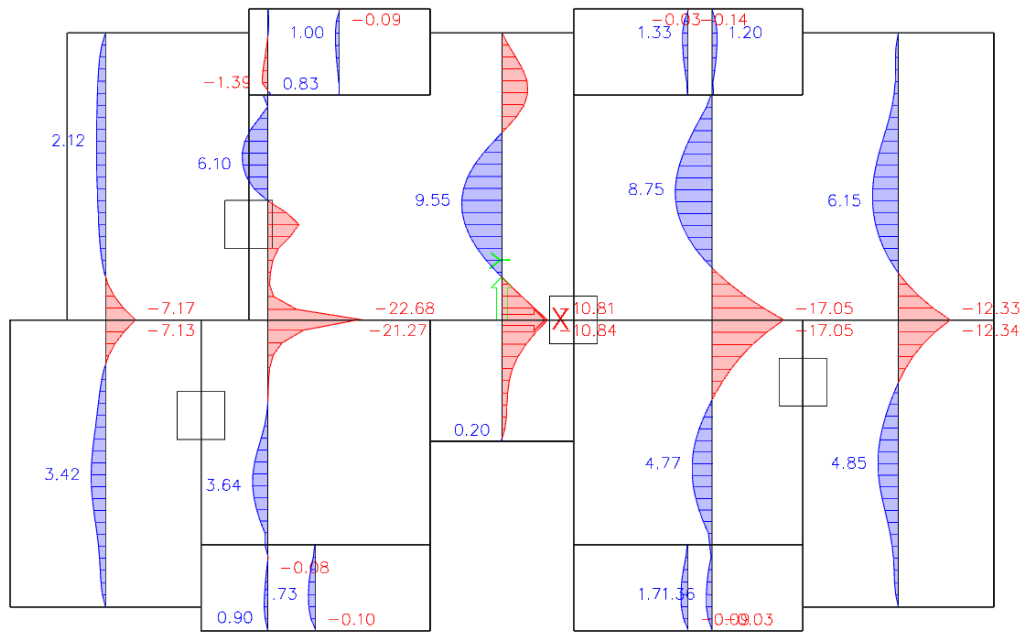


*Slika 8. Prikaz stalnog opterećenja*

Momenti savijanja uslijed stalnog opterećenja:



Slika 9. Momenti u smjeru x [kNm]



Slika 10. Momenti u smjeru y [kNm]

**Tablica 1.** Momenti savijanja u polju od stalnog opterećenja

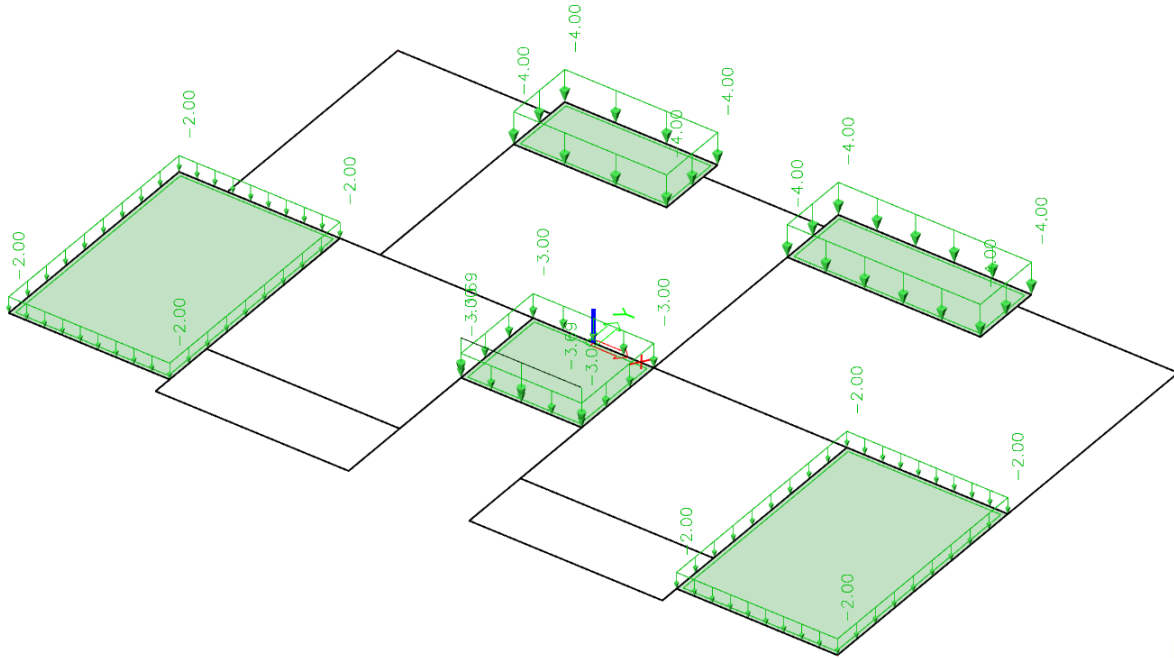
POZICIJA	$M_x$ [kNm]	$M_y$ [kNm]
401_1	5,22	3,42
401_2	4,85	4,85
402_1	8,02	3,64
402_2	5,35	4,77
403	5,00	2,12
404	6,09	9,55
405	5,73	8,75
406 (sve pozicije)	6,32	1,73
407	4,01	1,00
408	4,26	-10,84

**Tablica 2.** Momenti savijanja nad ležajevima od stalnog opterećenja

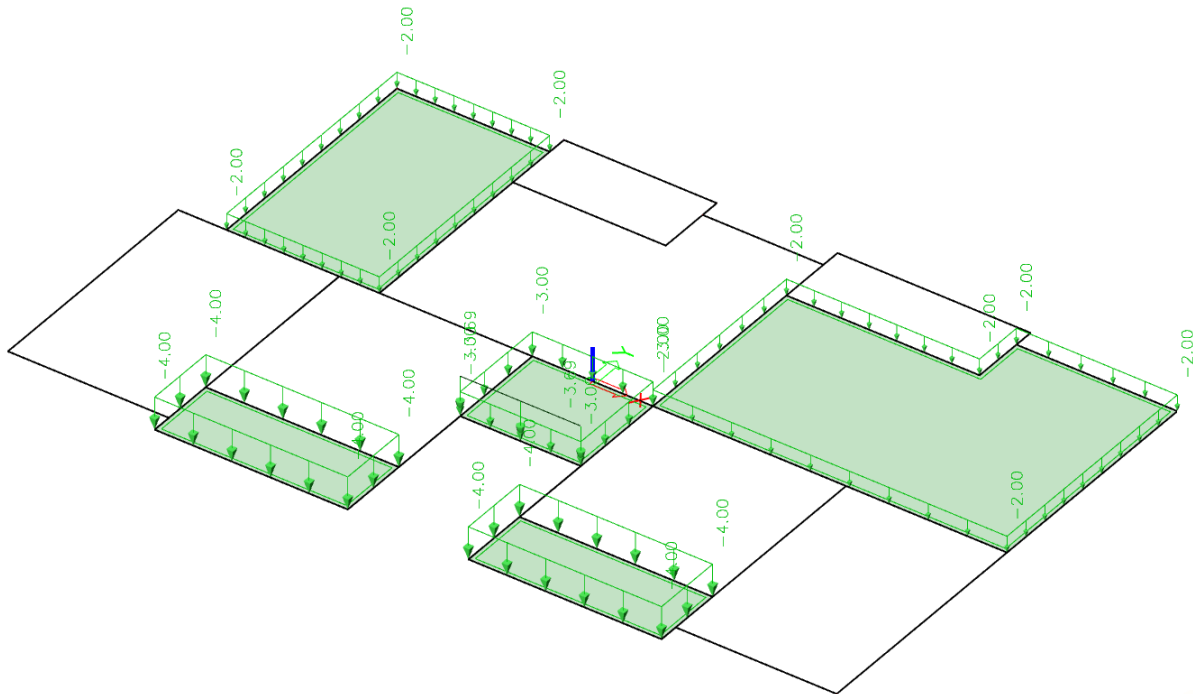
POZICIJA	$M$ [kNm]
401_1 – 406_1	-11,55
401_1 – 402_1	-16,66
402_1 – 406_1 – 408	-17,74
408 – 402_2 – 406_2	-15,57
401_2 – 406_2	-11,43
402_2 – 401_2	-12,05
403 – 407	-6,76
403 – 404	-16,91
404 – 407 (406_3)	-9,19
405 – 406_3	-9,86
401_1 – 402_1 – 403	-22,68
408 – 402_2 – 401_2 – 404 – 405	-17,05



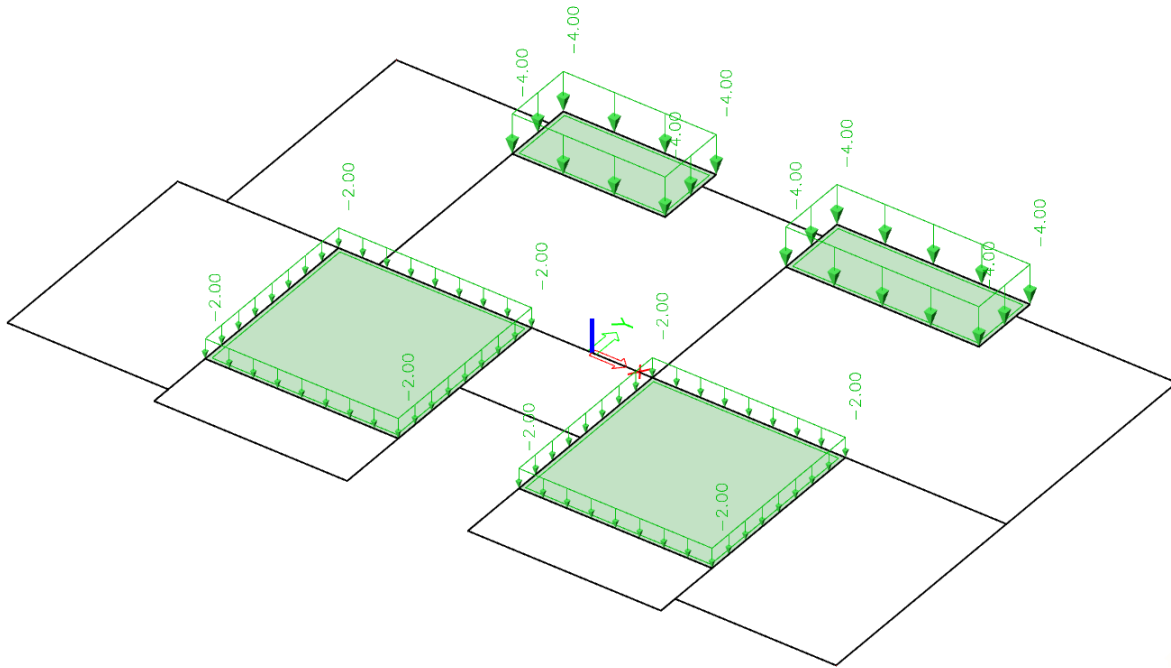
*Shema uporabnog opterećenja za momente u polju:*



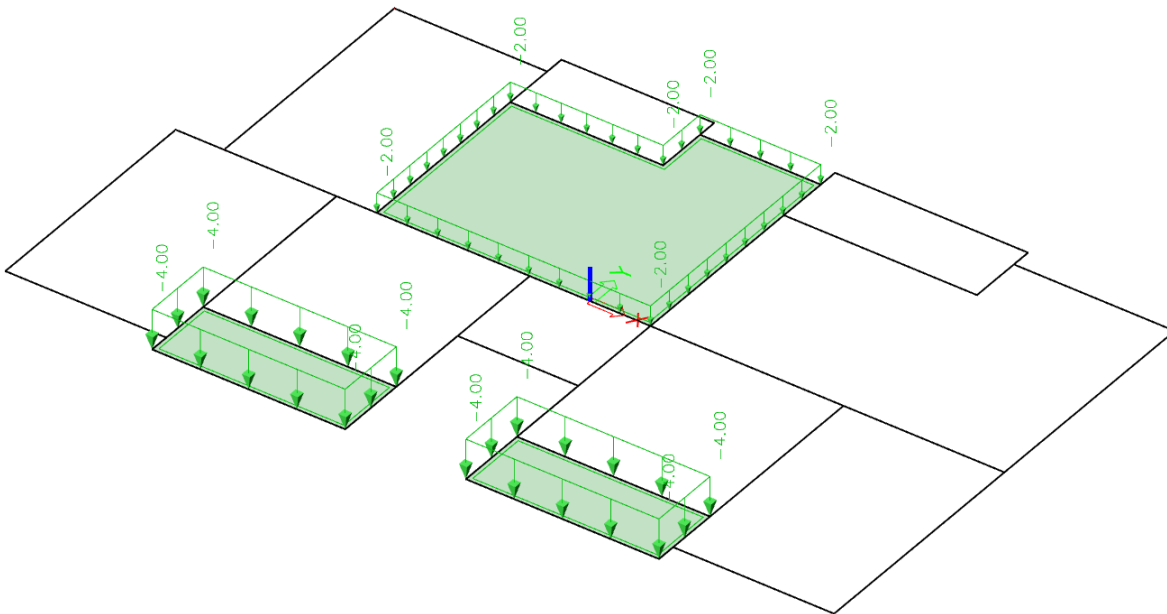
**Slika 11.** Opterećenje na pozicijama 401\_1, 408, 401\_2, 407, 406\_3



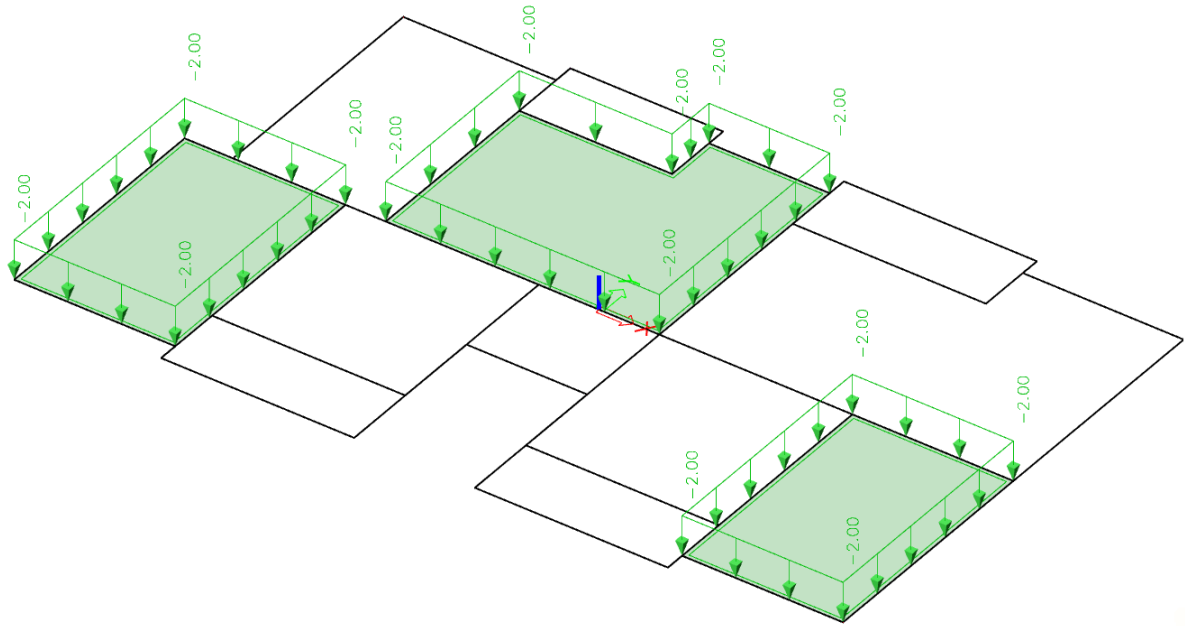
**Slika 12.** Opterećenje na pozicijama 406\_1, 406\_2, 408, 403, 405



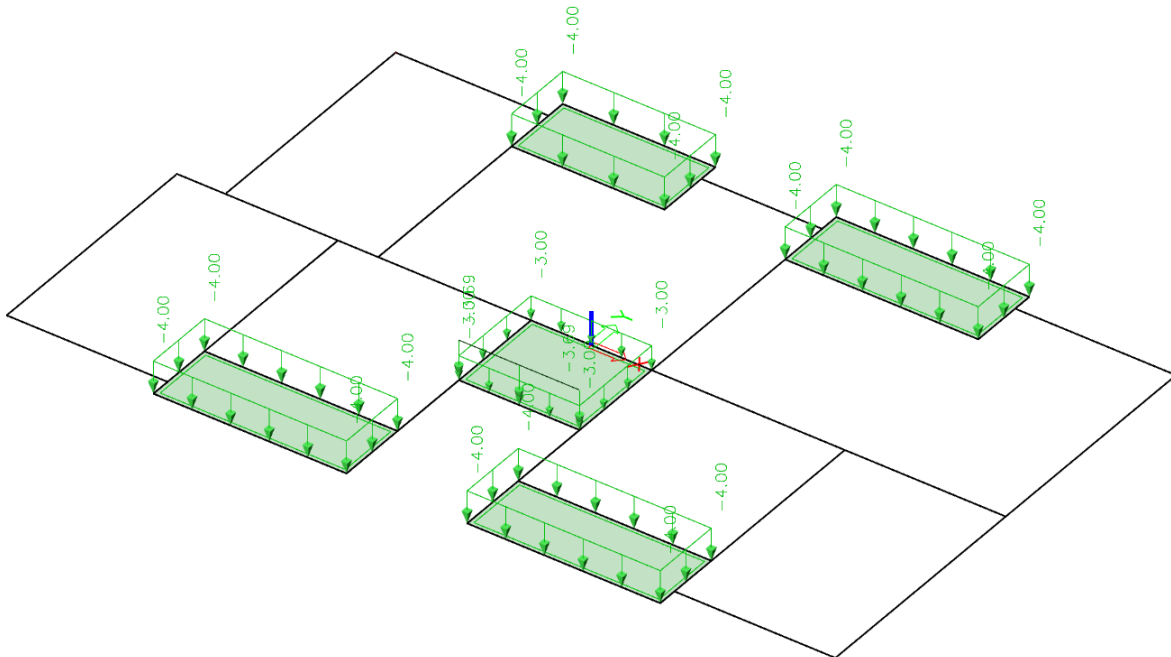
*Slika 13. Opterećenje na pozicijama 402\_1, 402\_2, 406\_3, 407*



*Slika 14. Opterećenje na pozicijama 406\_1, 406\_2 i 404*

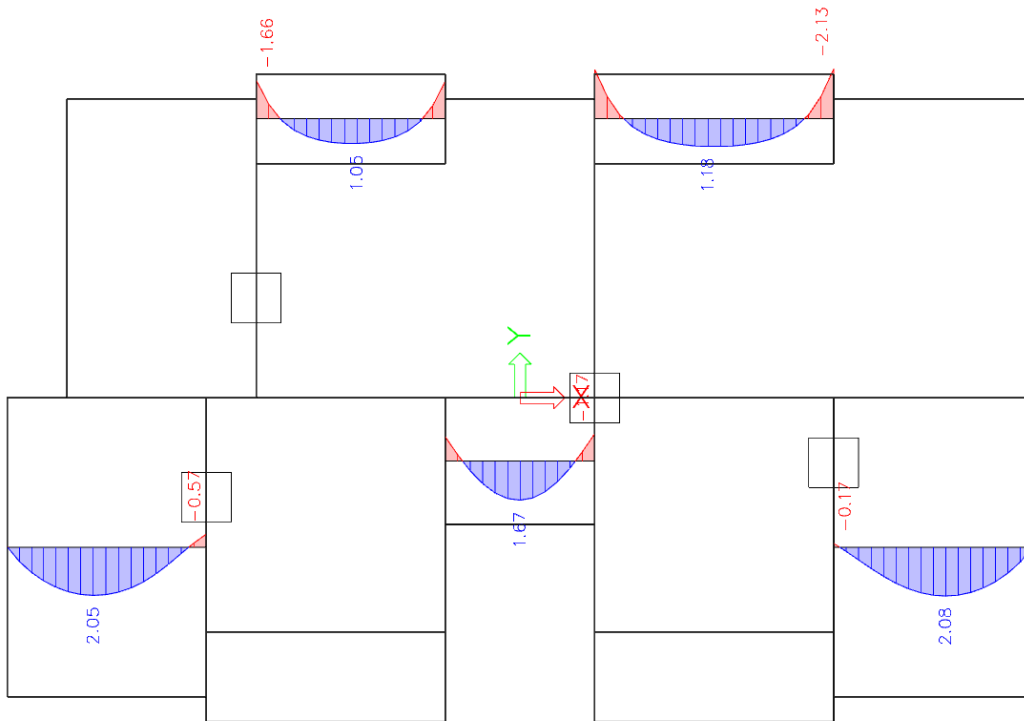


*Slika 15. Opterećenje na pozicijama 401\_1, 401\_2, 404*

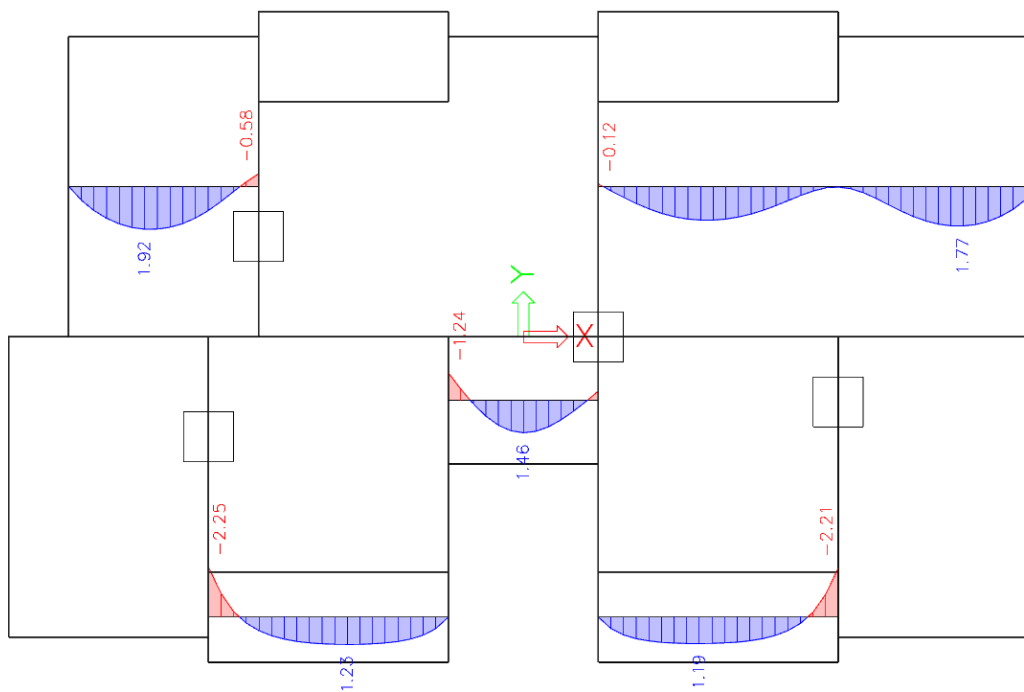


*Slika 16. Opterećenje na pozicijama 406\_1, 406\_2, 408, 407, 406\_3*

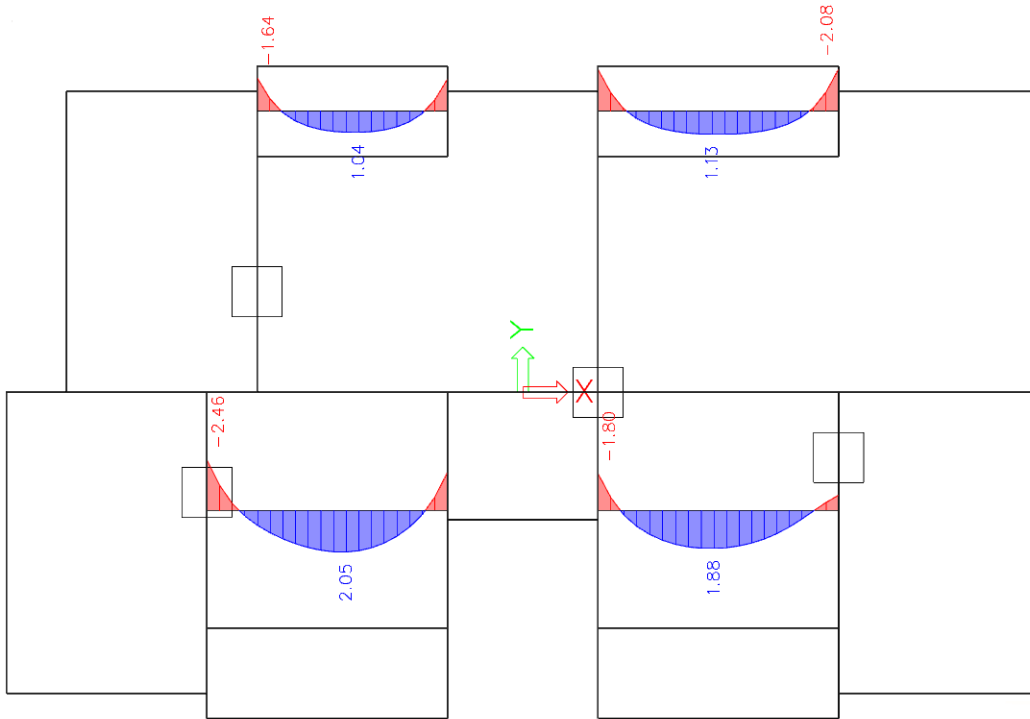
*Momenti savijanja u polju uslijed uporabnog opterećenja:*



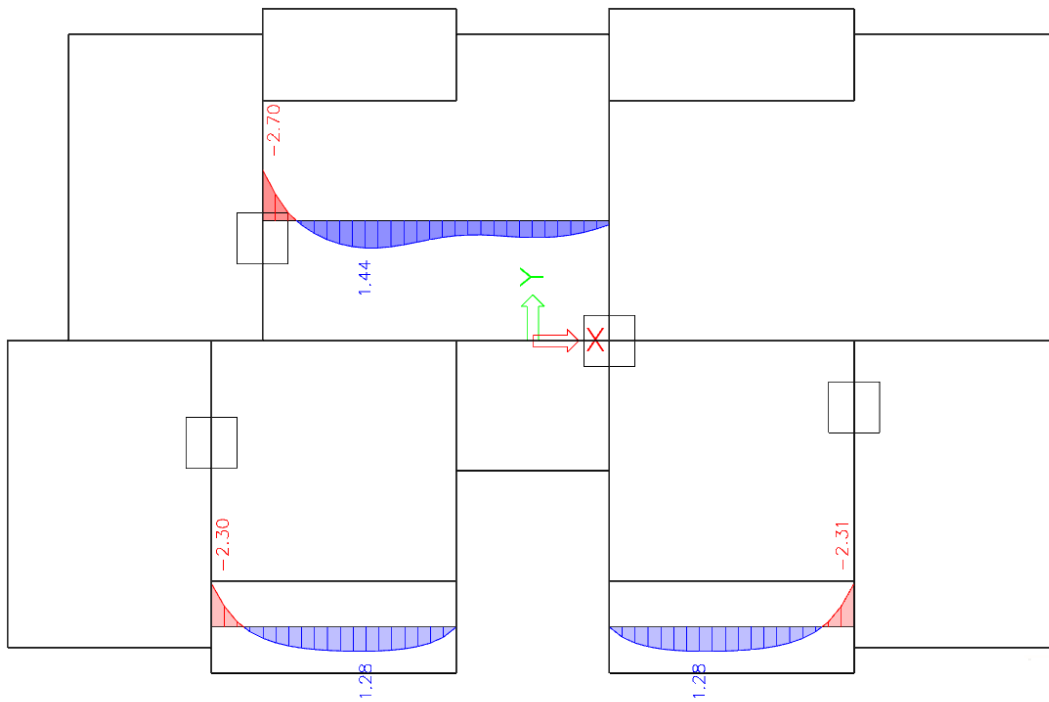
**Slika 17.** Momenti u smjeru x za poz. 401\_1, 401\_2, 408, 407, 406\_3



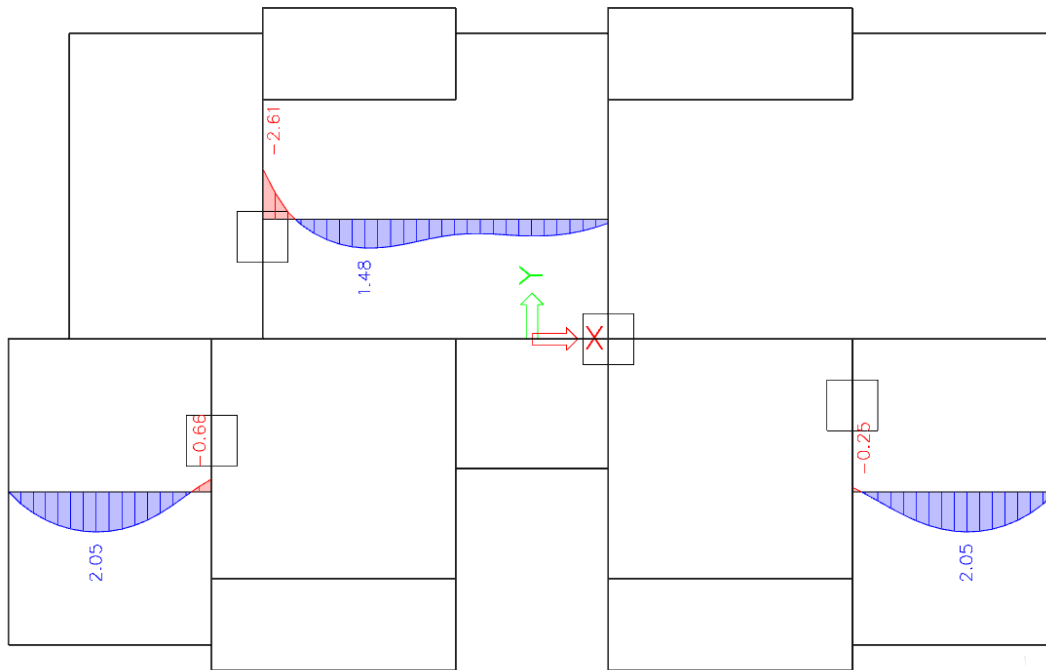
**Slika 18.** Momenti u smjeru x za poz. 406\_1, 406\_2, 408, 403, 405



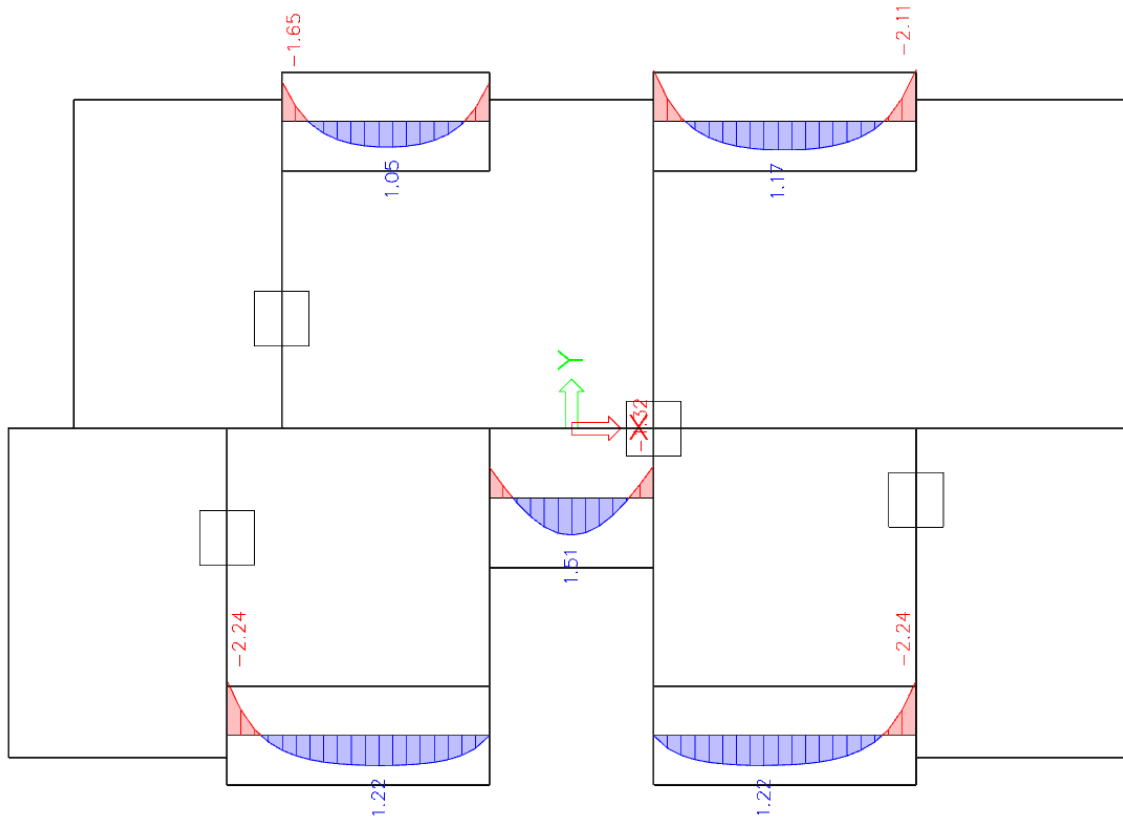
**Slika 19.** Momenti u smjeru x za poz. 402\_1, 402\_2, 407, 406\_1



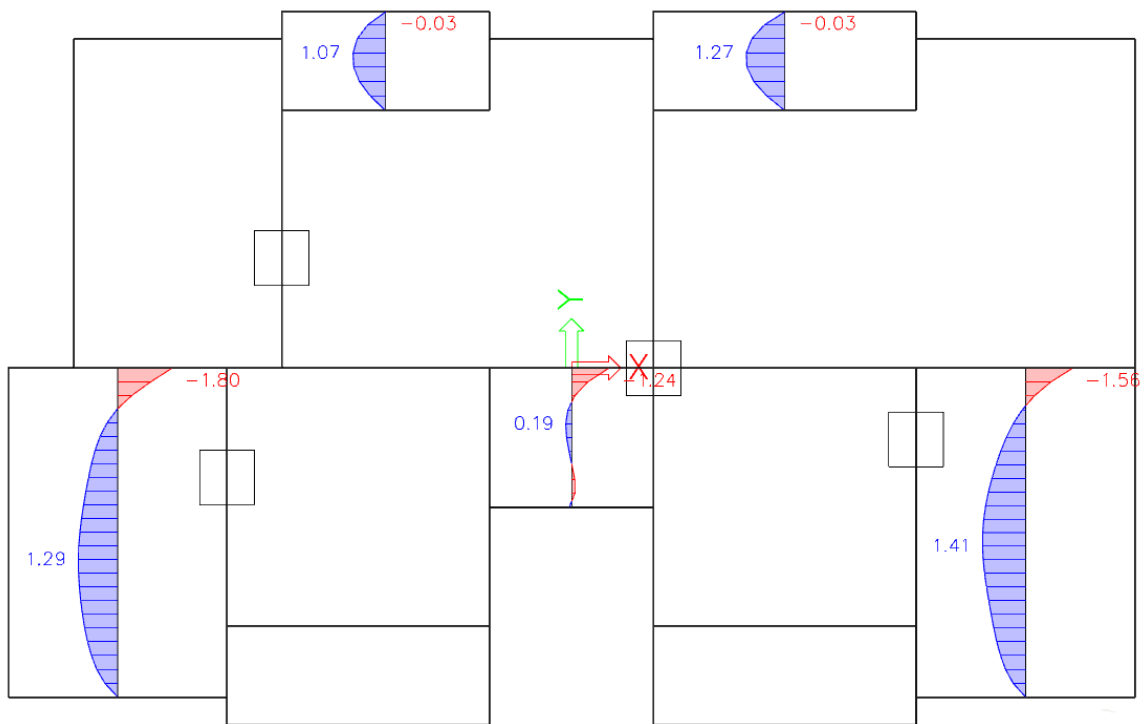
**Slika 20.** Momenti u smjeru x za poz. 406\_1, 406\_2, 404



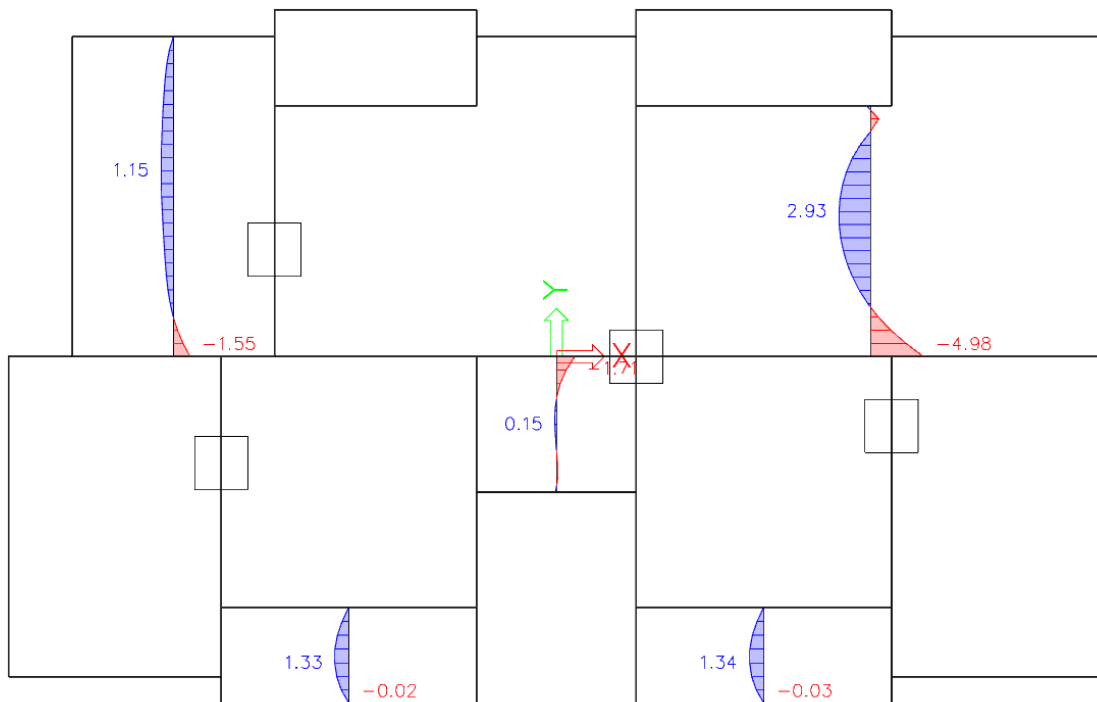
**Slika 21.** Momenti u smjeru  $x$  za poz. 401\_1, 401\_2, 404



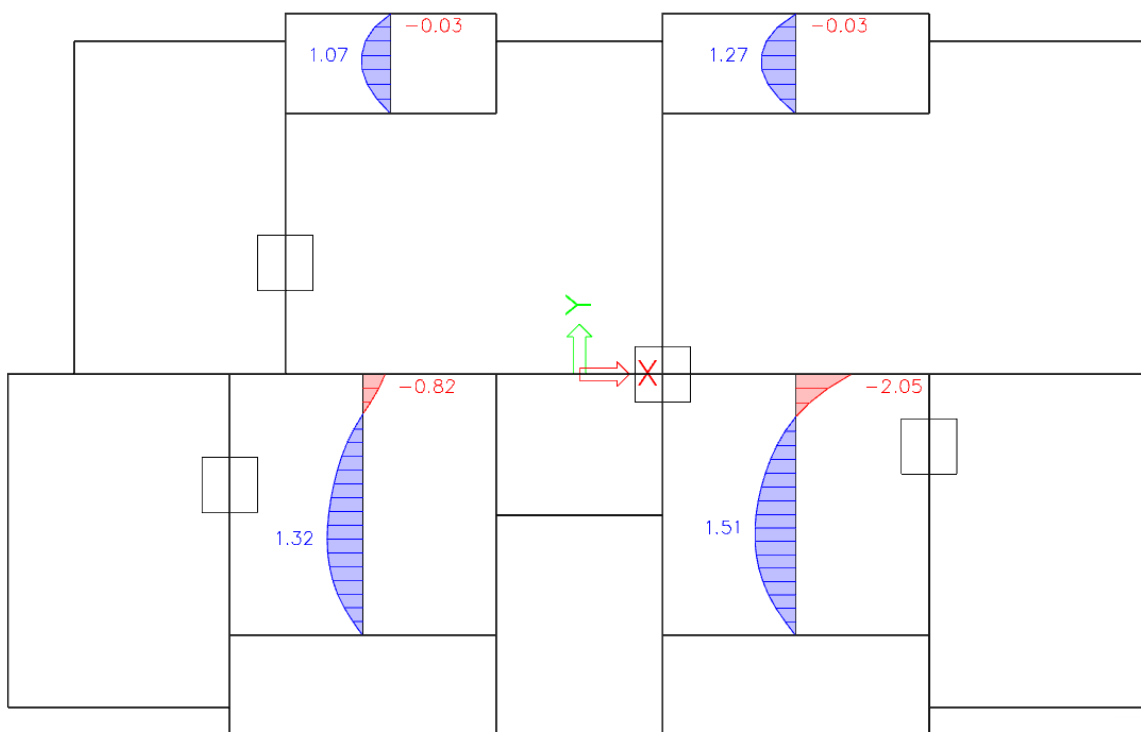
**Slika 22.** Momenti u smjeru  $x$  za poz. 406\_1, 406\_2, 408, 407, 406\_3



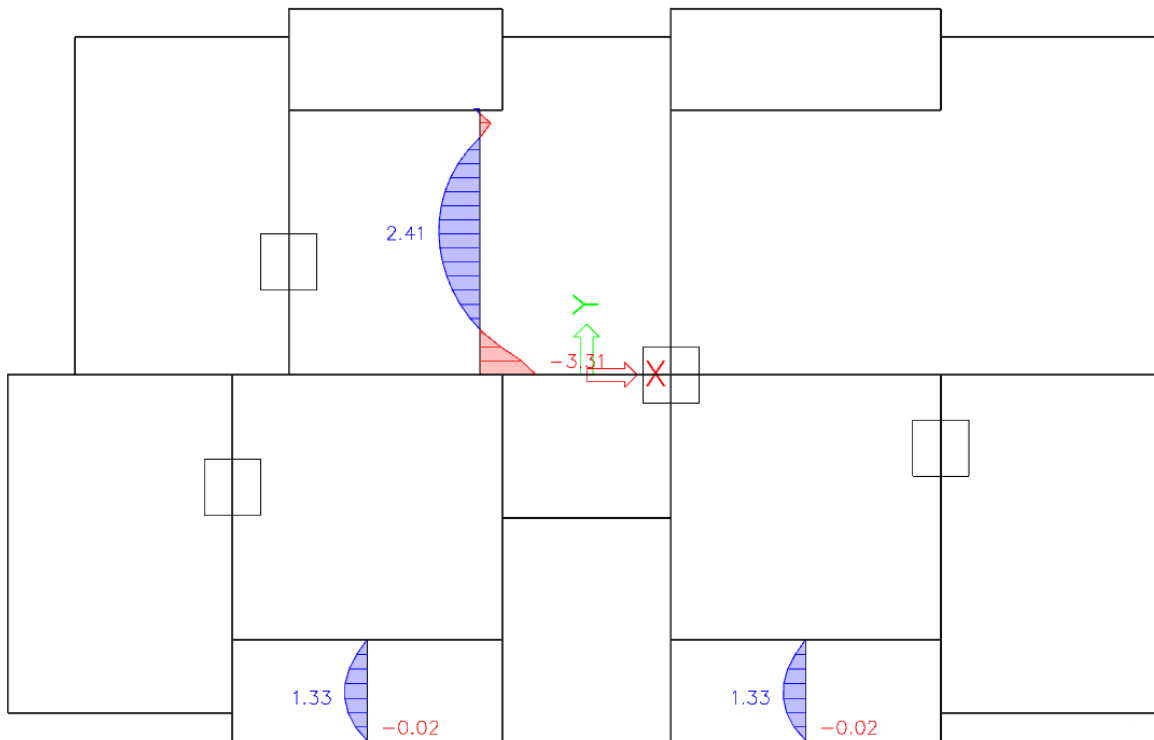
**Slika 23.** Momenti u smjeru y za poz. 401\_1, 401\_2, 408, 407, 406\_3



**Slika 24.** Momenti u smjeru y za poz. 406\_1, 406\_2, 408, 403, 405

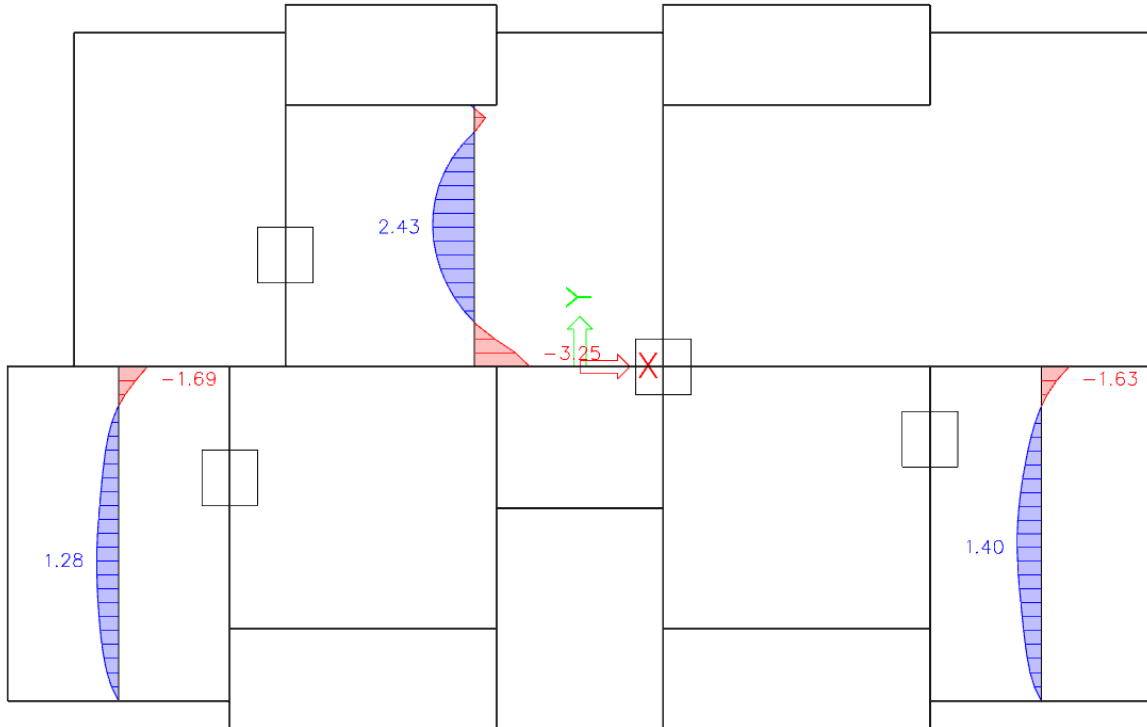


**Slika 25.** Momenti u smjeru y za poz. 402\_1, 402\_2, 407, 406\_3

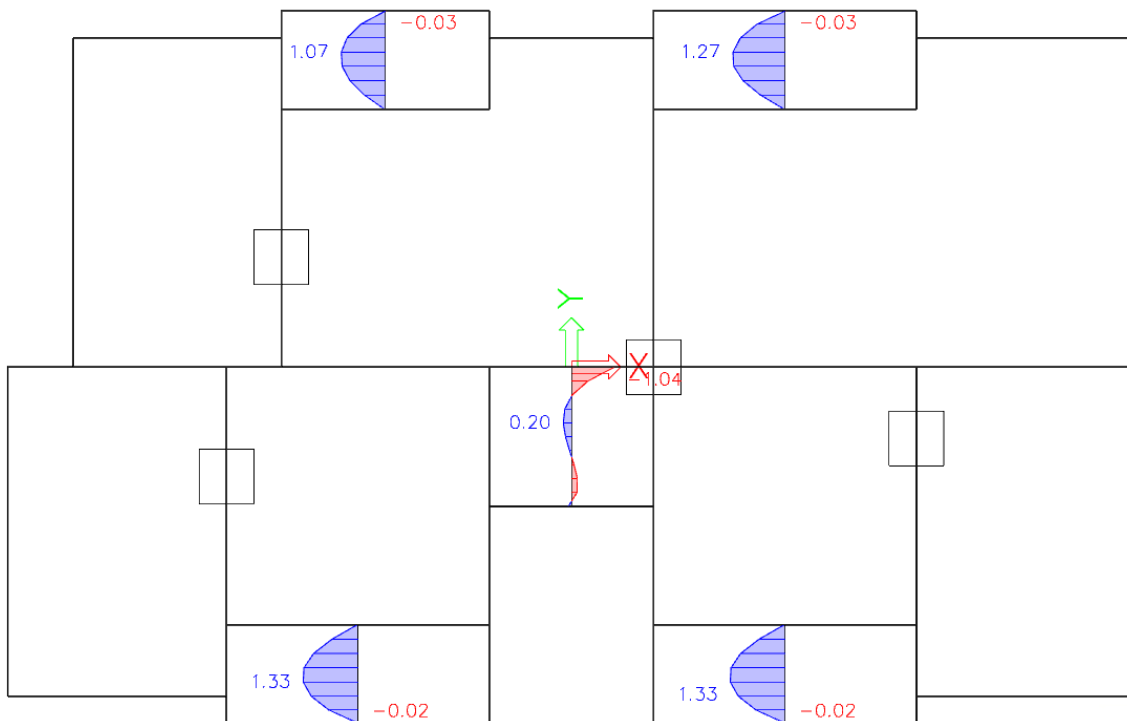


**Slika 26.** Momenti u smjeru y za poz. 406\_1, 406\_2, 403





**Slika 27.** Momenti u smjeru y za poz. 401\_1, 401\_2, 403

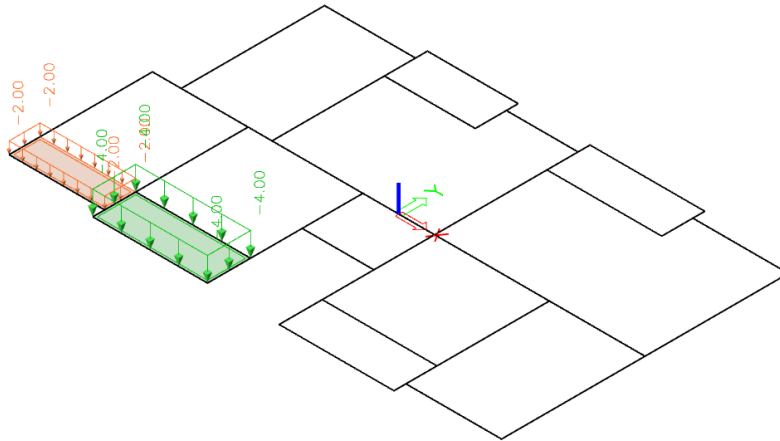


**Slika 28.** Momenti u smjeru y za poz. 406\_1, 406\_2, 408, 407, 406\_3

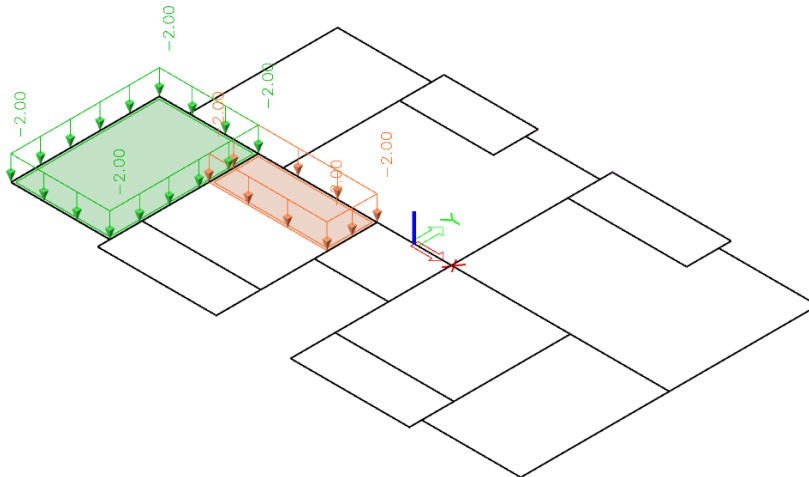
**Tablica 3.** *Momenti savijanja u polju od uporabnog opterećenja*

POZICIJA	$M_x$ [kNm]	$M_y$ [kNm]
401_1	2,05	1,29
401_2	2,08	1,41
402_1	2,05	1,32
402_2	1,88	1,51
403	1,92	1,15
404	1,48	2,43
405	1,77	2,93
406 (sve pozicije)	1,28	1,34
407	1,05	1,07
408	1,67	0,19

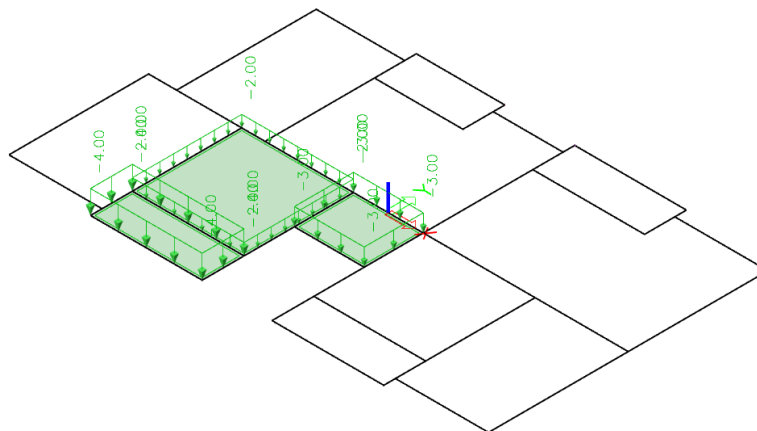
Shema uporabno opterećenja za momente nad ležajem:



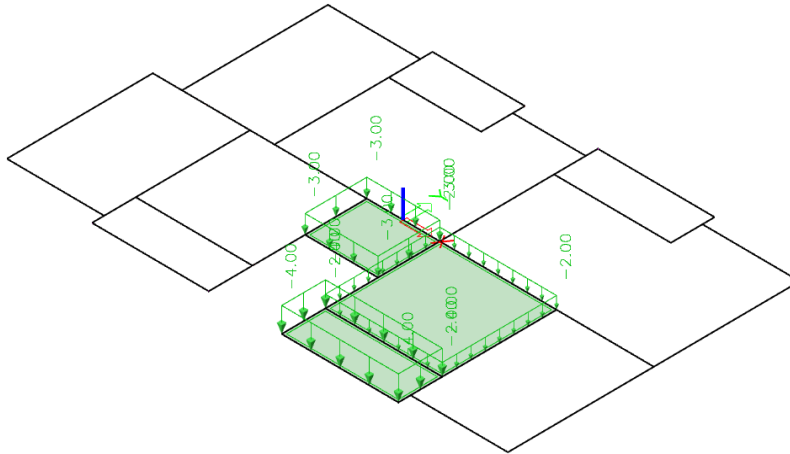
**Slika 29.** Uporabno opterećenje na poz. 401\_1 - 402\_1



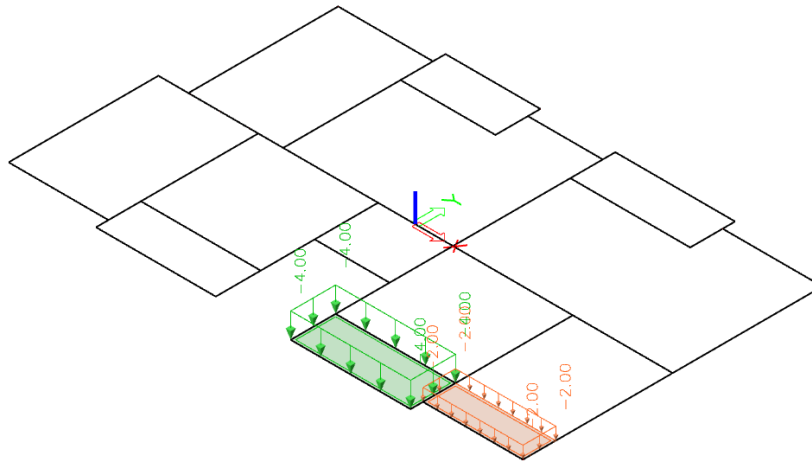
**Slika 30.** Uporabno opterećenje na poz. 401\_1 - 406\_1



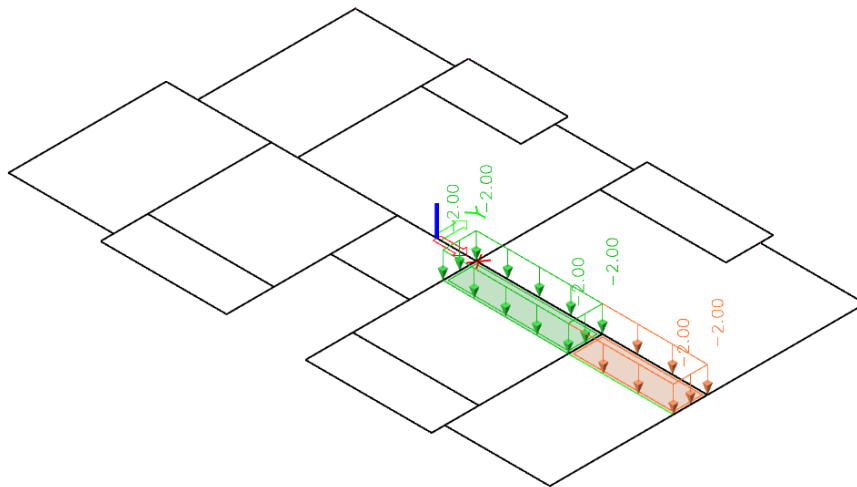
**Slika 31.** Uporabno opterećenje na poz. 402\_1 - 406\_1 - 408



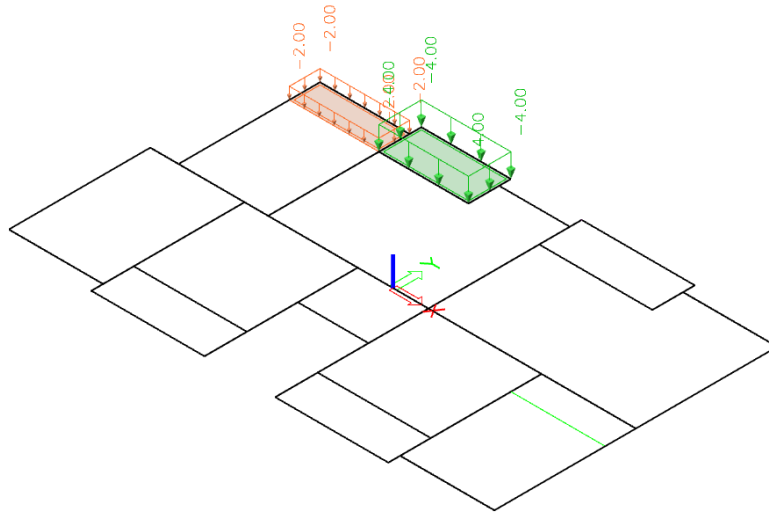
*Slika 32. Uporabno opterećenje na poz. 408 - 402\_2 - 406\_2*



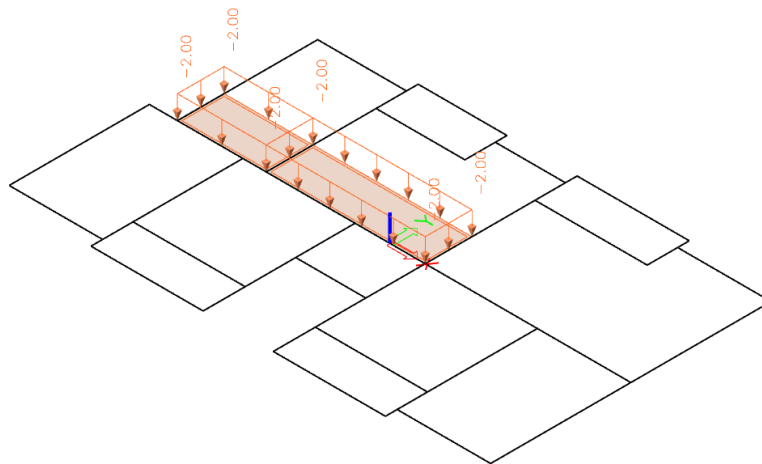
*Slika 33. Uporabno opterećenje na poz. 406\_2 - 402\_2*



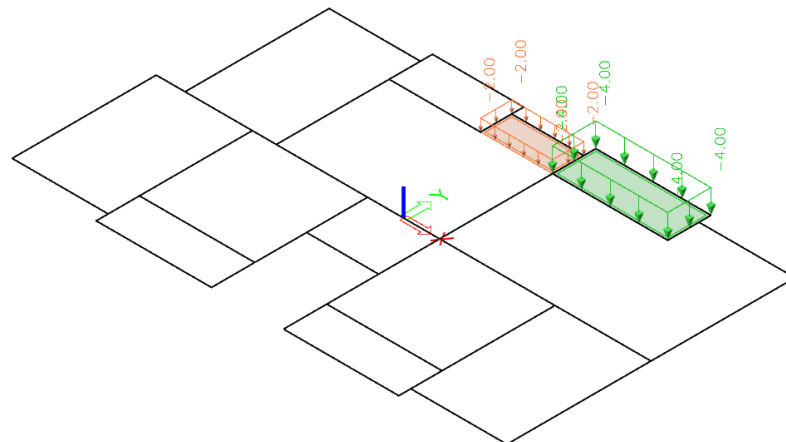
*Slika 34. Uporabno opterećenje na poz. 406\_2 - 402\_2*



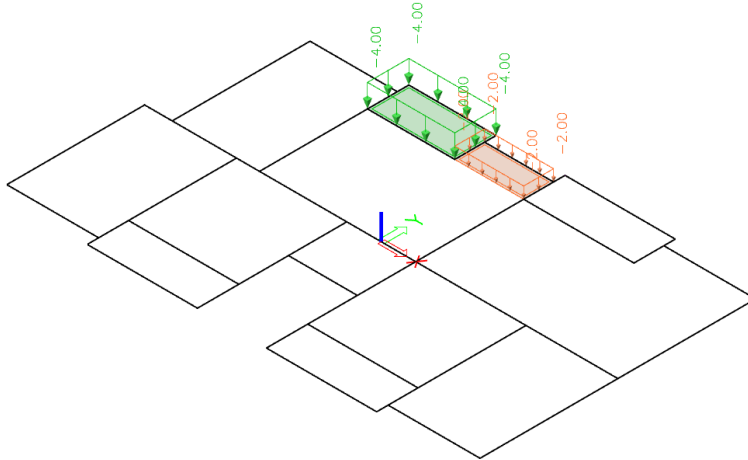
*Slika 35. Uporabno opterećenje na poz. 403 - 407*



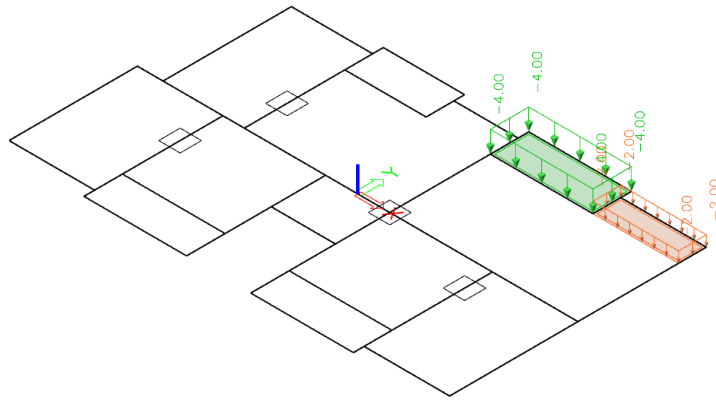
*Slika 36. Uporabno opterećenje na poz. 403 - 404*



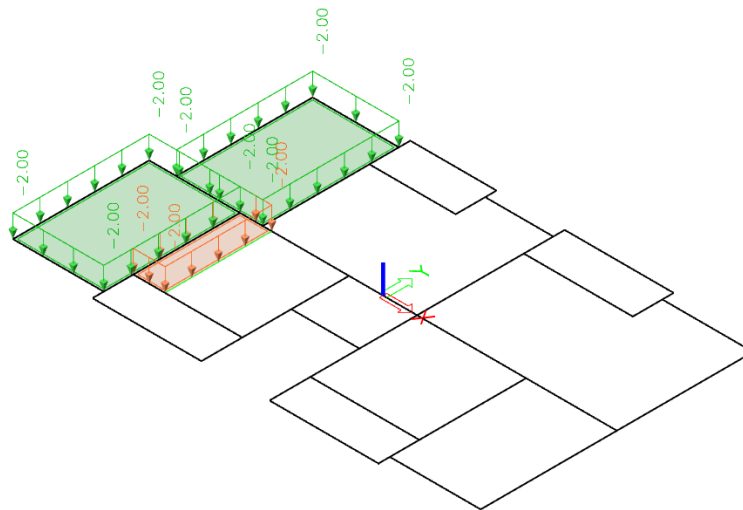
*Slika 37. Uporabno opterećenje na poz. 404 - 406\_3*



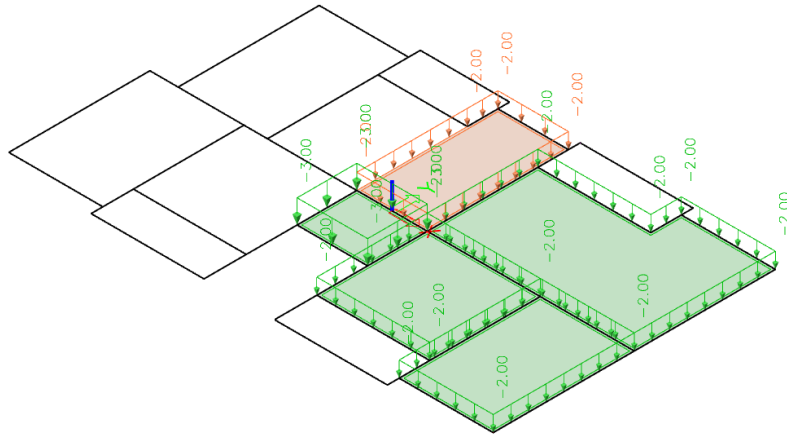
*Slika 38. Uporabno opterećenje na poz. 404 – 407*



*Slika 39. Uporabno opterećenje na poz. 405 - 406\_3*

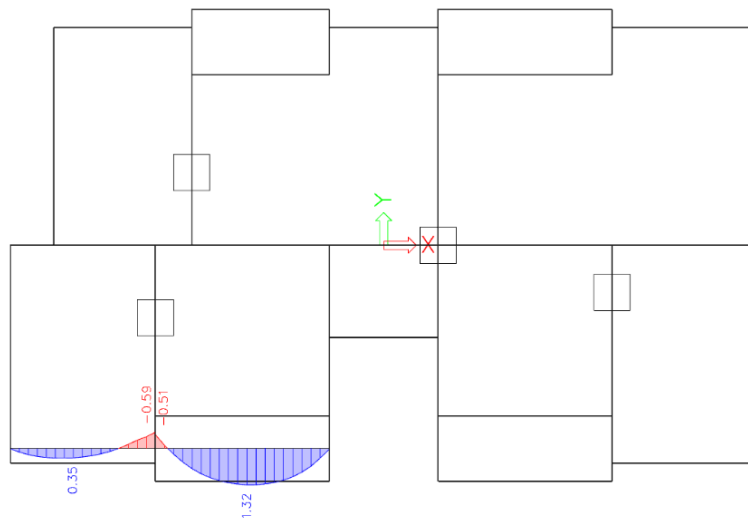


*Slika 40. Uporabno opterećenje na poz. 406\_1 - 402\_1 - 403*

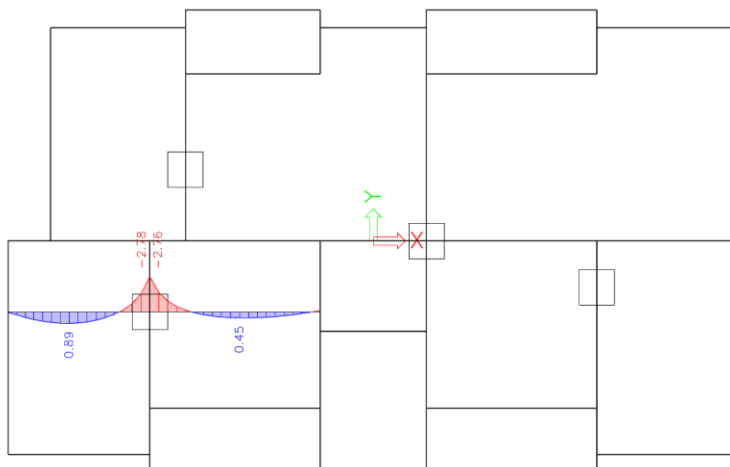


**Slika 41.** Uporabno opterećenje na poz. 408 - 402\_1 - 401\_1 - 404 - 405

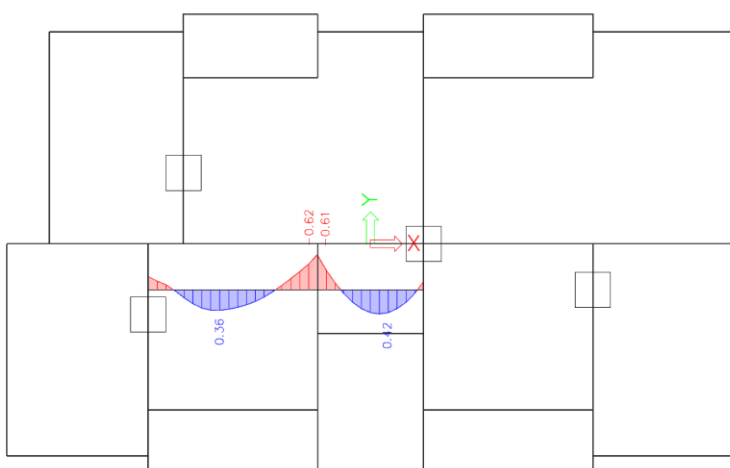
*Momenti savijanja nad ležajem uslijed uporabnog opterećenja:*



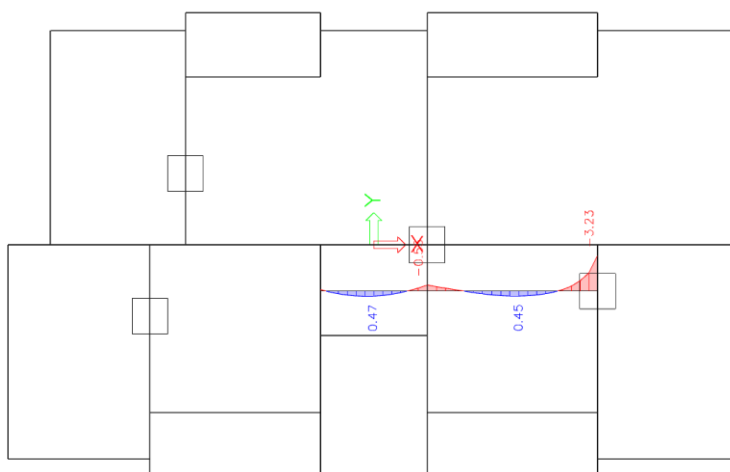
**Slika 42.** Moment nad ležajem poz. 401\_1 - 406\_1



**Slika 43.** Moment nad ležajem poz. 401\_1 - 402\_1

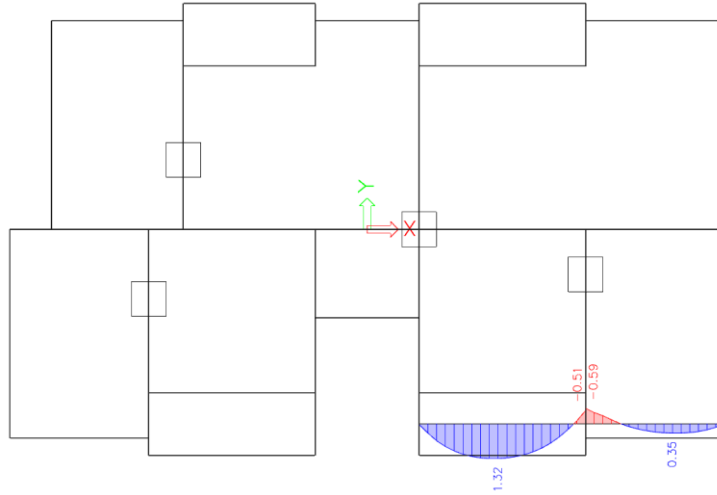


**Slika 44.** Moment nad ležajem poz. 402\_1 - 406\_1 - 408

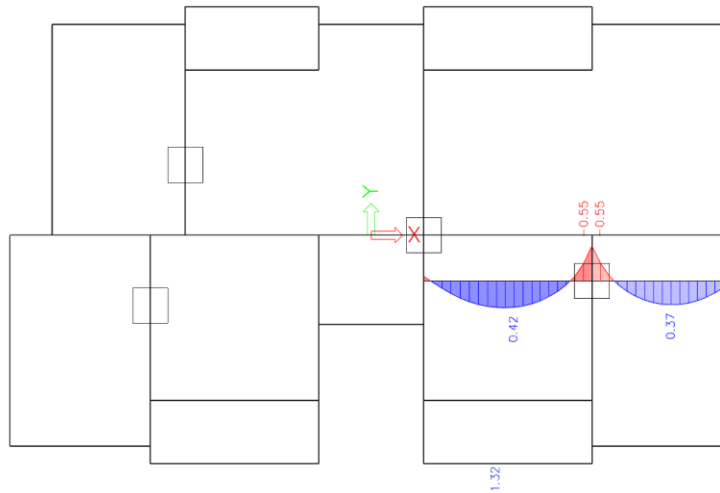


**Slika 45.** Moment nad ležajem poz. 408 - 402\_2 - 406\_2

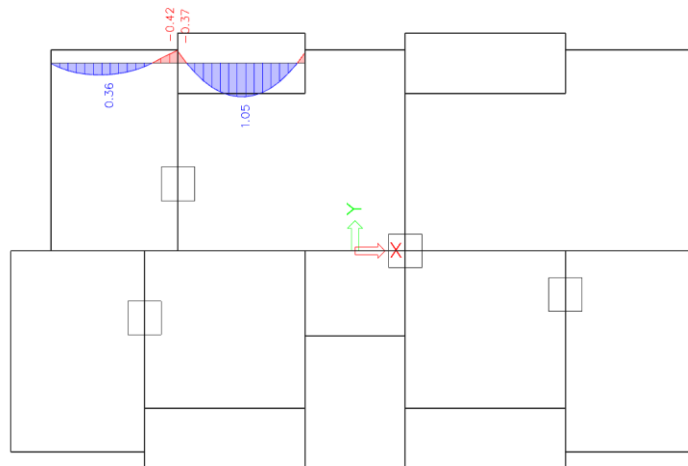




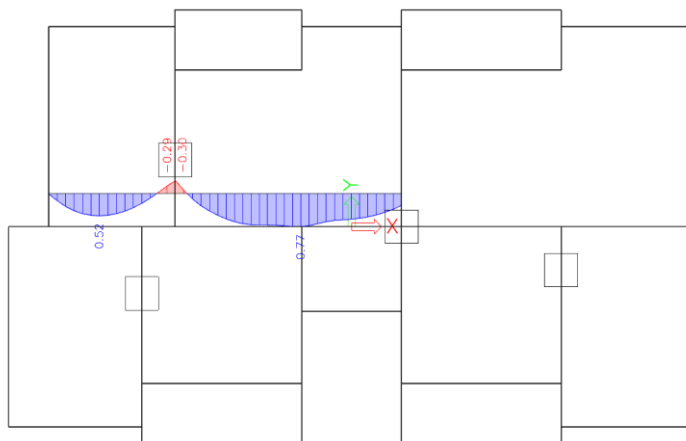
**Slika 46.** Moment nad ležajem poz. 402\_2 - 406\_2



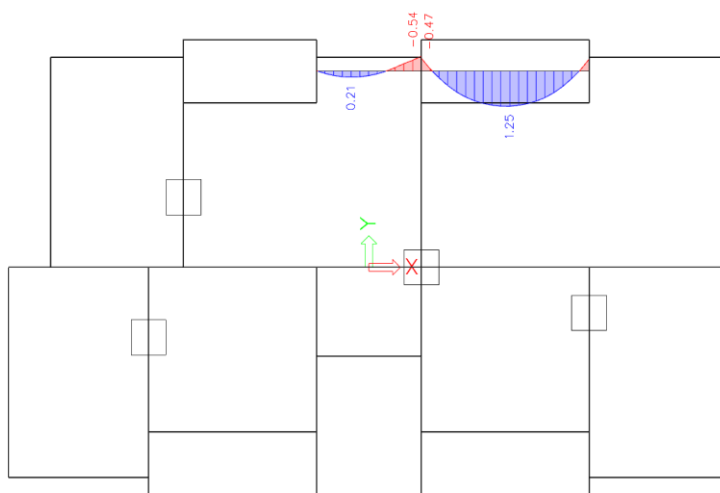
**Slika 47.** Moment nad ležajem poz. 401\_2, 402\_2



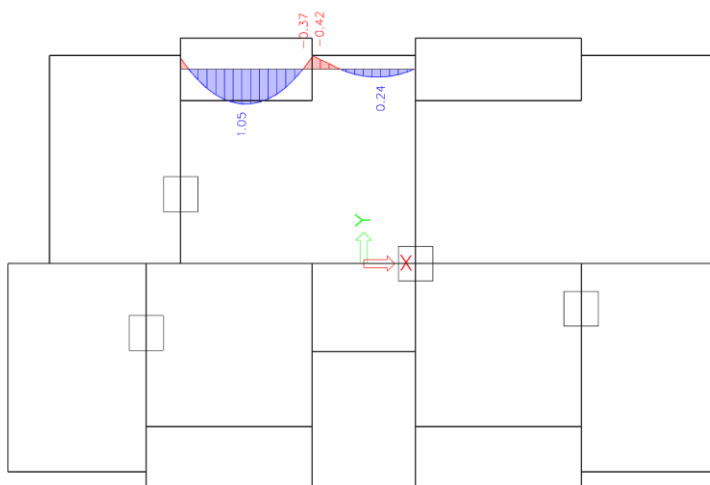
**Slika 48.** Moment nad ležajem poz. 403 - 407



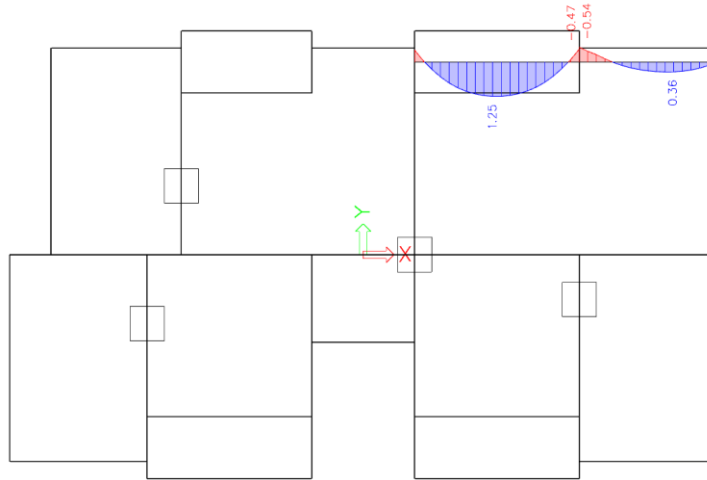
**Slika 49.** Moment nad ležajem poz. 403 – 404



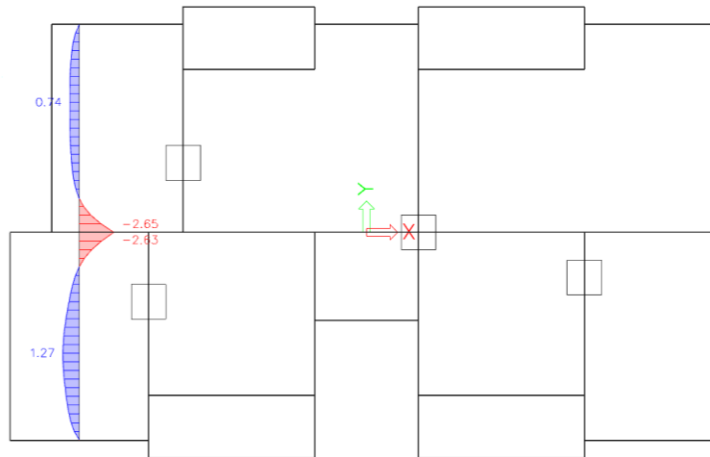
**Slika 50.** Moment nad ležajem poz. 404 - 406\_3



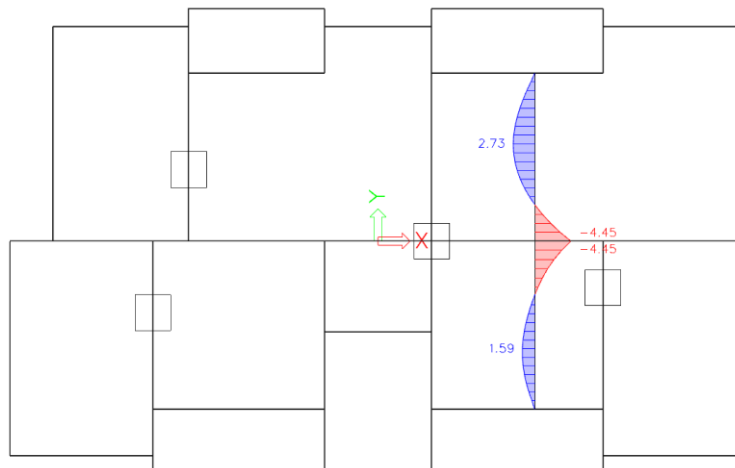
**Slika 51.** Moment nad ležajem poz. 404 – 407



**Slika 52.** Moment nad ležajem poz. 405 - 406\_3



**Slika 53.** Moment nad ležajem poz. 401\_1 - 402\_1 - 403



**Slika 54.** Moment nad ležajem poz. 408, 402\_1, 401\_2, 404, 405

**Tablica 4.** *Momenti savijanja nad ležajevima od uporabnog opterećenja*

POZICIJA	$M$ [kNm]
401_1 – 406_1	-0,59
401_1 – 402_1	-2,78
402_1 – 406_1 – 408	-0,62
408 – 402_2 – 406_3	-0,55
401_2 – 406_2	-0,59
401_2 – 402_2	-0,55
403 – 407	-0,42
403 – 404	-0,30
404 – 407	-0,54
404 – 406_3	-0,42
405 – 406_3	-0,54
401_1 – 402_1 – 403	-2,65
408 – 402_1, 401_2, 404, 405	-4,45

Proračunske vrijednosti momenata savijanja:

**Tablica 5.** Proračunske vrijednosti momenta savijanja u polju

POZICIJA	$M_x$ [kNm]	$M_y$ [kNm]
401_1	10,12	6,55
401_2	9,67	8,66
402_1	13,90	6,89
402_2	10,04	8,70
403	9,63	4,59
404	10,44	16,54
405	10,39	16,21
406 (sve pozicije)	10,45	4,35
407	6,99	2,96
408	8,26	-14,35

**Tablica 6.** Proračunske vrijednosti momenta savijanja nad ležajem

POZICIJA	$M$ [kNm]
401_1 – 406_1	-16,48
401_1 – 402_1	-26,66
402_1 – 406_1 – 408	-24,88
408 – 402_2 – 406_2	-21,84
401_2 – 406_2	-16,32
402_2 – 401_2	-17,09
403 – 407	-9,76
403 – 404	-23,28
404 – 407	-13,22
404 – 406_3	-5,51
405 – 406_3	-14,12
401_1 – 402_1 – 403	-34,59
408 – 402_2 – 401_2 – 404 – 405	-29,69

### 4.3. Dimenzioniranje armature

*Materijal:*

Beton: **C30/37**

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

$f_{cd}$  – proračunska čvrstoća betona

$\alpha_{cc}$  – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

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

Čelik: **B500B**

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

/karakteristična vlačna čvrstoća čelika za armiranje)

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

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

Visina ploče kata:  $h = 20,0 \text{ cm}$

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

Udaljenost do težišta armature:  $d_1 = c + \phi/2 = 2,0 + 1,0/2 = 2,5 \text{ cm}$

Statička visina presjeka:  $d = h - d_1 = 20,0 - 2,5 = 17,5 \text{ cm}$

**Minimalna i maksimalna armatura ploče u polju:**

Minimalna armatura u polju:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 12,5 = 1,63 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 12,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

 $f_{ctm}$  – srednja osna vlačna čvrstoća betona

Maksimalna armatura za polje:

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

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 12,5 \cdot \frac{20,00}{434,78} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

**Minimalna i maksimalna armatura ploče nad osloncem:**

Minimalna armatura nad osloncem:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 12,5 = 1,63 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 100 \cdot 12,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

 $f_{ctm}$  – srednja osna vlačna čvrstoća betona

Maksimalna armatura nad osloncem:

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

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100 \cdot 12,5 \cdot \frac{20,00}{434,78} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

**POZICIJA 401\_1****Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1012}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,033 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,034$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,977$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1012}{0,977 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Smjer y**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{655}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,021 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,023$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{655}{0,982 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,23 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:** Q 257 ( $A_{s1,prov} = 2,57 \text{ m}^2$ )

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$



**POZICIJA 401\_2****Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{967}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,031 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,034$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,977$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{967}{0,977 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,82 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Smjer y**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{866}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,028 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,030$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{866}{0,978 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,63 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:** Q 257 ( $A_{s1,prov} = 2,57 \text{ m}^2$ )

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 402\_1****Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1390}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,044 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,046$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,7 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,078$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,971$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1390}{0,971 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 2,63 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Smjer y**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{689}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,022 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,023$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{689}{0,982 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,29 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 402\_2****Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1004}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,032 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,034$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,977$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1004}{0,977 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Smjer y**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1654}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,053 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,055$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1654}{0,968 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 3,14 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 403****Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{963}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,031 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,034$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,977$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{963}{0,977 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,81 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Smjer y**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{459}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,015 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,016$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{459}{0,985 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 0,86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:** Q 257 ( $A_{s1,prov} = 2,57 \text{ m}^2$ )

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 404****Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1044}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,033 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,034$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,977$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1044}{0,977 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,97 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Smjer y**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1654}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,053 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,055$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1654}{0,986 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 3,09 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 405****Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1039}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,033 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,034$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,977$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1039}{0,977 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,96 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Smjer y**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1621}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,052 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,055$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1621}{0,968 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 3,08 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 406****Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1045}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,033 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,034$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,977$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1045}{0,977 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,97 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Smjer y**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{435}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,014 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,016$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{435}{0,985 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 0,81 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:** Q 257 ( $A_{s1,prov} = 2,57 \text{ m}^2$ )

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 407****Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{699}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,022 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,023$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{699}{0,982 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Smjer y**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{296}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,0095 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,010$  očitano:

$$\varepsilon_c = -0,7 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,034$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,988$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{296}{0,988 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 0,55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:** Q 257 ( $A_{s1,prov} = 2,57 \text{ m}^2$ )

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$



**POZICIJA 408**

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

**Smjer x**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{826}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,026 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,027$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,2 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,057$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,980$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{826}{0,980 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Smjer y**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1435}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,046 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,046$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,7 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,078$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,971$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1435}{0,971 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 2,72 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Armatura u smjeru y  $A_{s1,prov} = 11,84 \text{ cm}^2$

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 11,84 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 401\_1 – 406\_1**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1648}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,053 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,055$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1648}{0,968 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 3,13 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 401\_1 – 402\_1**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2666}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,085 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,089$  očitano:

$$\varepsilon_c = -2,8 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,123$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,951$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2666}{0,951 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 5,16 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 402\_1 – 406\_1 - 408**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2488}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,080 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,082$  očitano:

$$\varepsilon_c = -2,6 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,115$$

$$\varepsilon_{s1} = 20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,955$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2488}{0,955 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 4,79 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:** R 503 ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2$ )

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 408 - 402\_2 – 406\_2**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2184}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,070 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,070$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2184}{0,960 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 4,19 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 4,24 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 401\_2 – 406\_2**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1632}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,052 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,055$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1632}{0,968 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 3,10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 402\_2 – 401\_2**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1709}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,055 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,055$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1709}{0,968 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 3,25 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 403 – 407**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{976}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,031 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,034$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,4 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,977$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{976}{0,977 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:** R 257 ( $A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2$ )

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 403 – 404**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2328}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,075 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,078$  očitano:

$$\varepsilon_c = -2,5 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,111$$

$$\varepsilon_{s1} = 18,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,957$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2328}{0,957 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 4,48 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:** R 503 ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2$ )

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 404 – 407**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1322}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,042 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,042$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1322}{0,973 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 2,50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:** R 257 ( $A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2$ )

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 404 – 406\_3**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{551}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,018 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,020$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{551}{0,983 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 1,03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:** R 257 ( $A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2$ )

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 405 – 406\_3**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1412}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,045 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,046$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,7 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,078$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,971$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1412}{0,971 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 2,68 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 401\_1 – 402\_1 – 403**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3459}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,111 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,113$  očitano:

$$\varepsilon_c = -3,2 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,149$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,938$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3459}{0,938 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 6,79 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 7,85 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**POZICIJA 408 - 402\_2 – 402\_1 – 404 – 405**

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2969}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,095 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,096$  očitano:

$$\varepsilon_c = - 3,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,130$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,947$$

Potrebna površina armature nad osloncem:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2969}{0,947 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 5,77 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura se nalazi između minimalne i maksimalne:

$$A_{s1,min} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 6,36 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 20,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$



#### 4.4. Rekapitulacija odabrane armature ploče

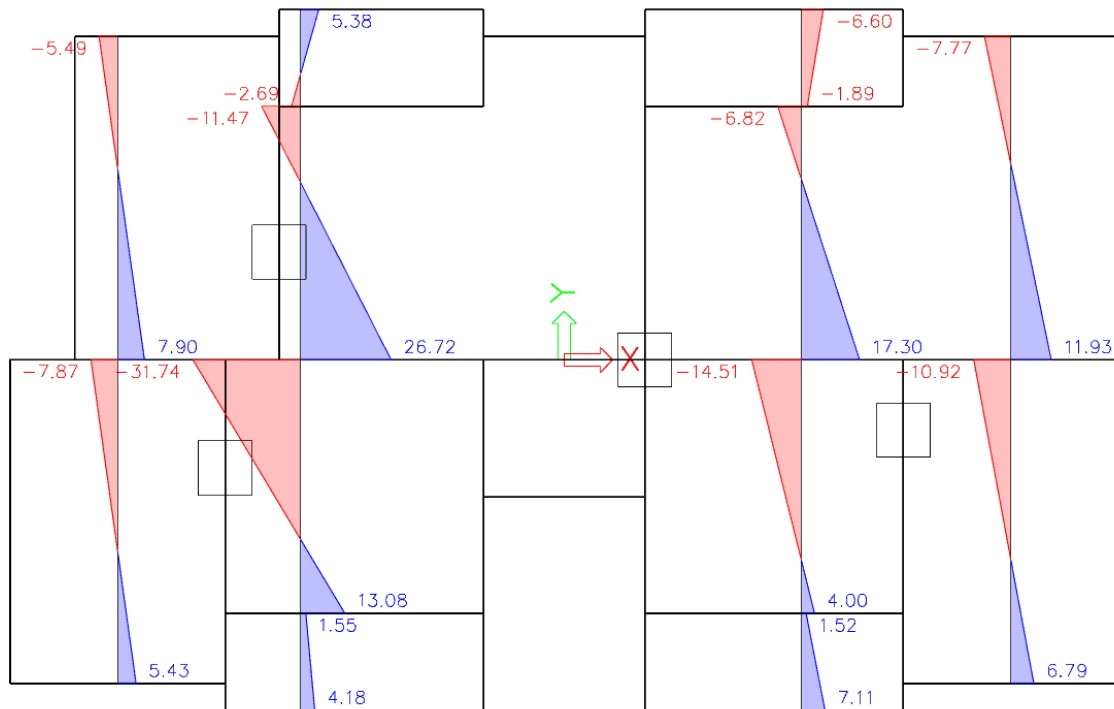
*Tablica 7. Odabrana armatura u polju*

POZICIJA	ODABRANA ARMATURA
401_1	<b>Q 257</b>
401_2	<b>Q 257</b>
402_1	<b>Q 335</b>
402_2	<b>Q 335</b>
403	<b>Q 257</b>
404	<b>Q 335</b>
405	<b>Q 335</b>
406	<b>Q 257</b>
407	<b>Q 257</b>
408	<b>armatura podesta</b>

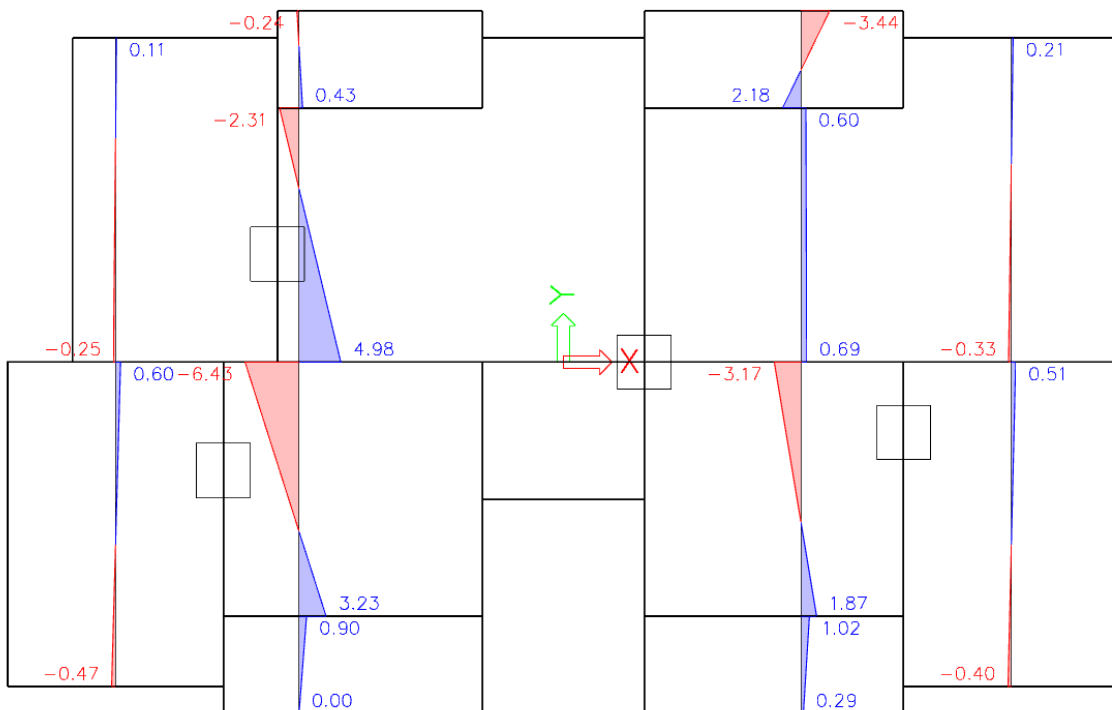
*Tablica 8. Odabrana armatura nad ležajem*

POZICIJA	ODABRANA ARMATURA
401_1 – 406_1	<b>R 335</b>
401_1 – 402_1	<b>R 524</b>
402_1 – 406_1 – 408	<b>R 503</b>
408 – 402_2 – 406_2	<b>R 424</b>
401_2 – 406_2	<b>R 335</b>
402_2 – 401_2	<b>R 335</b>
403 – 407	<b>R 257</b>
403 – 404	<b>R 503</b>
404 – 407	<b>R 257</b>
404 – 406_3	<b>R 257</b>
405 – 406_3	<b>R 335</b>
401_1 – 402_1 – 403	<b>R 785</b>
408 – 402_2 – 401_2 – 404 – 405	<b>R 636</b>

#### 4.5. Proračun poprečne armature



*Slika 55. Poprečna sila nad ležajevima od stalnog opterećenja*



*Slika 56. Poprečna sila nad ležajevima za mjerodavno uporabno opterećenje*

Proračunska vrijednost mjerodavne poprečne sile:

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot V_k^g + 1,5 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot (-31,74) + 1,5 \cdot (-6,43) = -52,49 \text{ kN/m}$$

Nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

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

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

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

$$A_{s1,prov} = 7,85 \text{ cm}^2 \quad \text{– ploština vlačne armature u ploči}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{7,85}{100 \cdot 12,5} = 0,00628 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$b = 1000 \text{ mm} \quad \text{– širina ploče u vlačnom području}$$

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

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00628 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 125 = 79826,71 \text{ N} = 79,83 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 125 = 67750 \text{ N} = 67,75 \text{ kN}$$

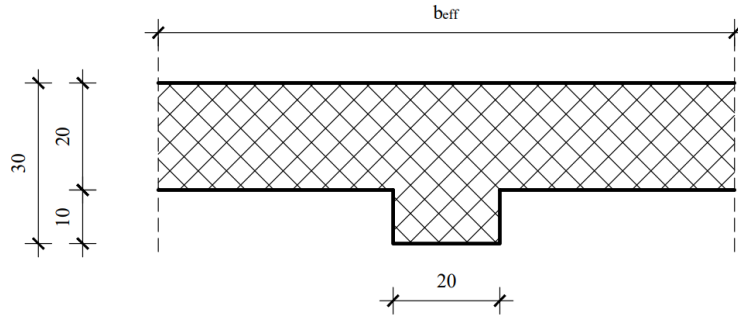
Provjera:

$$V_{Ed} = 52,49 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 79,83 \text{ kN}$$

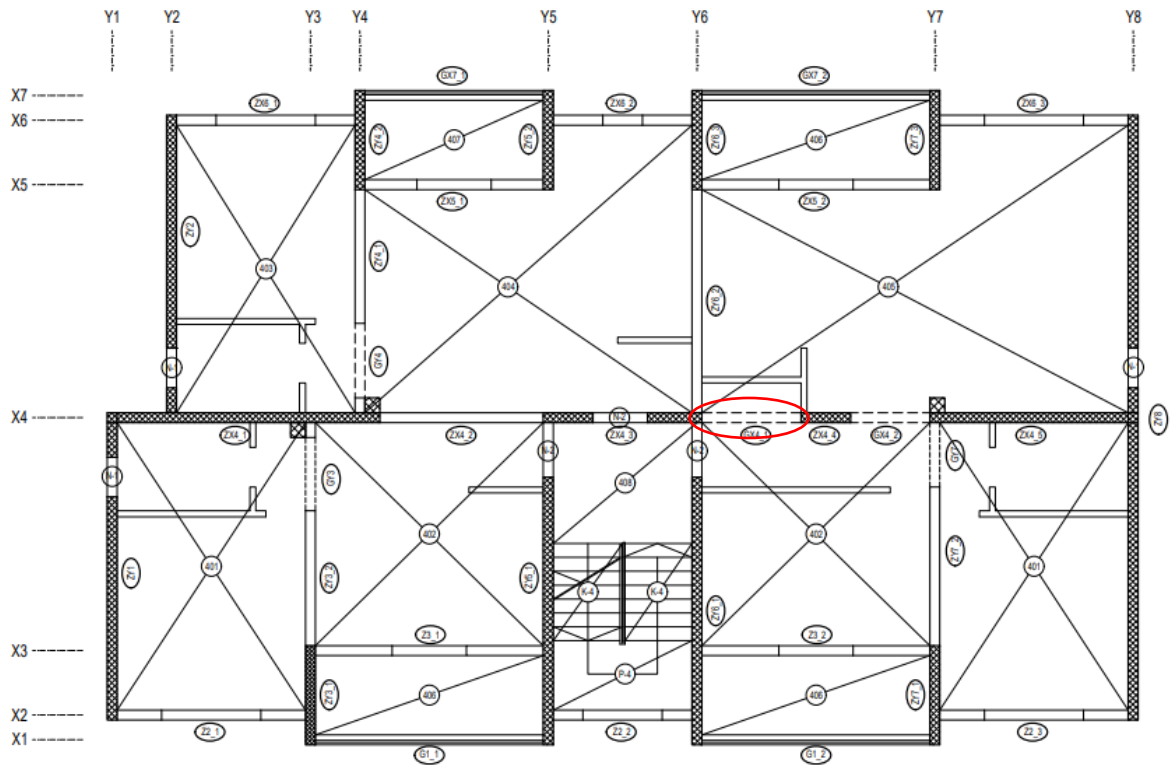
Nije potrebno je proračunati poprečnu armaturu jer je  $V_{Ed} < V_{Rd,c}$ .

## 5. Proračun grede poz. GX4\_1

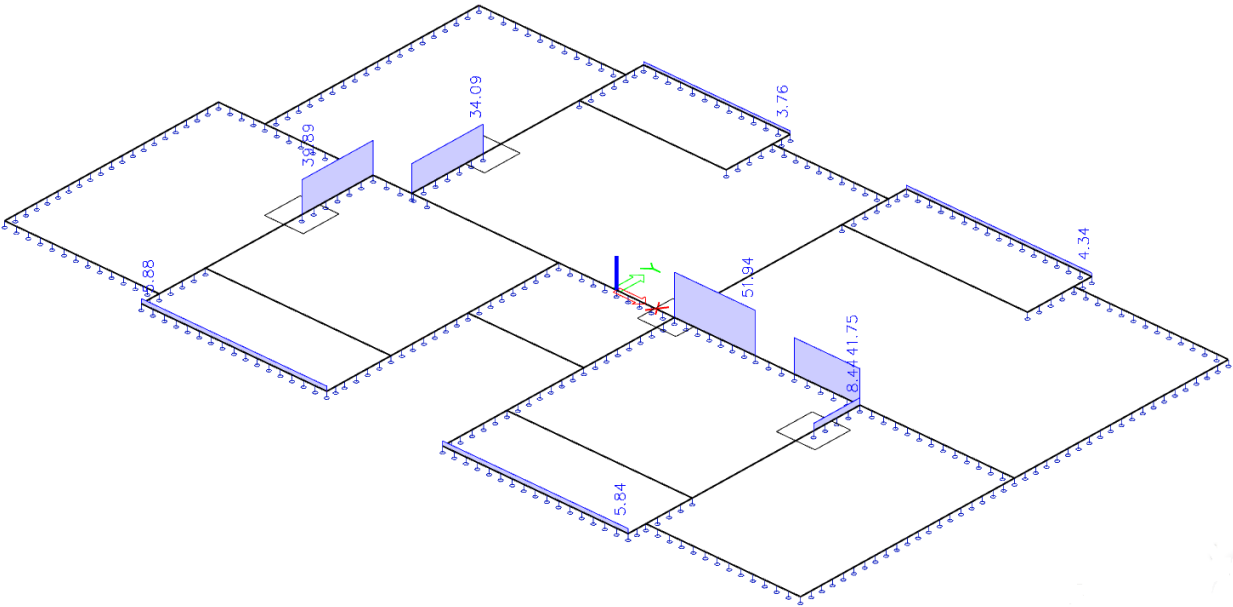
### 5.1. Analiza opterećenja



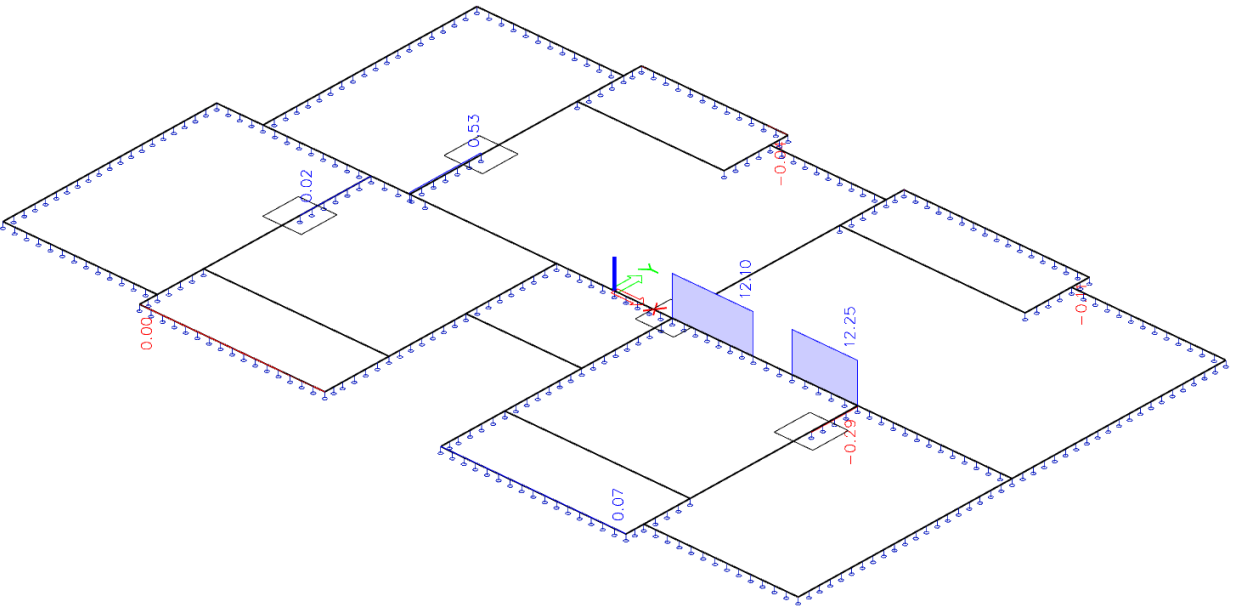
Slika 57. Poprečni presjek grede poz. GX4\_1



Slika 58. Položaj grede GX4\_1 u tlocrtu



**Slika 59.** Reakcija ploče od stalnog opterećenja [ $\text{kN/m}$ ]



**Slika 60.** Reakcija ploče od mjerodavnog uporabnog opterećenja [ $\text{kN/m}$ ]

*Stalno opterećenje:*

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

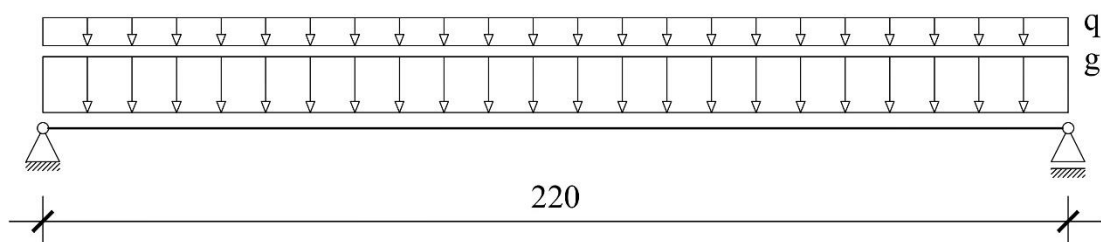
Reakcija ploče =  $\dots\dots\dots 51,94 \text{ kN/m}$

**Ukupno stalno**  $\dots\dots\dots g_k = 52,44 \text{ kN/m}^2$

*Uporabno opterećenje:*

**Ukupno uporabno opterećenje**  $\dots\dots\dots g_k = 12,10 \text{ kN/m}^2$

## 5.2. Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila



*Slika 61. Statički sustav grede poz. GX1\_1*

Karakteristične vrijednosti momenta savijanja i poprečne sile:

Moment savijanja od stalnog opterećenja:

$$M_g = \frac{g_k \cdot L^2}{8} = \frac{52,44 \cdot 2,2^2}{8} = 31,73 \text{ kNm}$$

Moment savijanja od uporabnog opterećenja:

$$M_q = \frac{q_k \cdot L^2}{8} = \frac{12,10 \cdot 2,2^2}{8} = 7,32 \text{ kNm}$$

Karakteristična poprečna sila (reakcija) od stalnog opterećenja:

$$V_g = \frac{g_k \cdot L}{2} = \frac{52,44 \cdot 2,2}{2} = 57,68 \text{ kN}$$

Karakteristična poprečna sila (reakcija) od uporabnog opterećenja:

$$V_q = \frac{q_k \cdot L}{2} = \frac{12,10 \cdot 2,2}{2} = 13,31 \text{ kN}$$

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

Proračunska vrijednost poprečne sile:

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot V_k^g + 1,5 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot 57,68 + 1,5 \cdot 13,31 = 97,84 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja u polju:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_k^g + 1,5 \cdot M_k^q = 1,35 \cdot 31,73 + 1,5 \cdot 7,32 = 53,81 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja nad ležajem:

$$M_{Ed} = 1/4 \cdot M_{Ed, \text{polje}} = 1/4 \cdot 53,81 = 13,45 \text{ kN/m}$$

### 5.4. Dimenzioniranje armature

*Materijal:*

Beton: **C30/37**

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

$f_{cd}$  – proračunska čvrstoća betona

$\alpha_{cc}$  – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

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

Čelik: **B500B**

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

/karakteristična vlačna čvrstoća čelika za armiranje)

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

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

Visina grede:  $h = 30,0 \text{ cm}$

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

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

Statička visina presjeka:  $d = h - d_1 = 30,0 - 3,5 = 26,5 \text{ cm}$

### 5.4.1. Dimenzioniranje uzdužne armature

#### Polje

#### Sudjelujuća širina:

$$L_0 = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 220 = 220 \text{ cm}$$

$$b_1 = 450/2 = 225 \text{ cm}$$

$$b_2 = 450/2 = 225 \text{ cm}$$

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

$$b = b_1 + b_w + b_2 = 225 + 20 + 225 = 470 \text{ cm}$$

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

$$0,2 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 220 = 44,0 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 225 + 0,1 \cdot 220 = 67,0 \text{ cm} > 44,0 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 225 + 0,1 \cdot 220 = 67,0 \text{ cm} > 44,0 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff}} = b_{\text{eff},1} + b_w + b_{\text{eff},2} = 44 + 20 + 44 = 108 \text{ cm} < b = 470 \text{ cm}$$

Odabrana je sudjelujuća širina  $b_{\text{eff}} = 108 \text{ cm}$ .

#### Minimalna i maksimalna armatura grede:

Minimalna armatura u polju:

$$A_{s1,\text{min}} = 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 20 \cdot 26,5 = 0,69 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\text{min}} = 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} = 0,26 \cdot 20 \cdot 26,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,80 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

$f_{\text{ctm}}$  – srednja osna vlačna čvrstoća betona

Maksimalna armatura za polje:

$$A_{s1,\text{max}} = 0,040 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h = 0,040 \cdot 84 \cdot 30 = 100,8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Za betone  $\leq \text{C}50/60$  i  $h_f = 20 \text{ cm} \geq 0,45 \cdot d = 0,45 \cdot 26,5 = 11,93 \text{ cm}$ :

$$A_{s1,\text{max}} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h = 0,022 \cdot 108 \cdot 30 = 71,28 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{\text{Ed}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{5381}{108 \cdot 26,5^2 \cdot 2,0} = 0,046 < \mu_{\text{lim}} = 0,296$$



Za  $\mu_{Rd} = 0,046$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,7 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,078$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,971$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5381}{0,971 \cdot 26,5 \cdot 43,478} = 4,81 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:**  $3\phi 16 (A_{s1,prov} = 6,03 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req} = 4,81 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_{s1,min} = 1,10 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 6,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 73,92 \text{ cm}^2/\text{m}$$

### Ležaj

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1345}{20 \cdot 26,5^2 \cdot 2,0} = 0,048 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,050$  očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1345}{0,970 \cdot 26,5 \cdot 43,478} = 1,20 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**ODABRANO:**  $2\phi 12 (A_{s1,prov} = 2,26 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req} = 1,20 \text{ cm}^2/\text{m}$

### 5.4.2. Dimenzioniranje poprečne armature

Smanjenje poprečne sile na osloncu:

$$\Delta V_{Ed} = (1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \cdot (b_{sup}/2 + d) = (1,35 \cdot 52,44 + 1,5 \cdot 12,1) \left( \frac{0,20}{2} + 0,265 \right)$$

$$\Delta V_{Ed} = 32,47 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} = 97,84 - 32,47 = 65,37 \text{ kN}$$

Nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{265}} = 1,87 < 2,0$$

$$A_{s1,prov} = 6,03/2 = 3,015 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{3,015}{20 \cdot 26,5} = 0,0057 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

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

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,87 \cdot (100 \cdot 0,0057 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 200 \cdot 265 = 30599,75 \text{ N} = 30,60 \text{ kN}$$

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

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,87^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,490$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,490 + 0,15 \cdot 0) \cdot 200 \cdot 265 = 25955,5 \text{ N} = 25,96 \text{ kN}$$

Maksimalna vrijednost poprečne sile:

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

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 265 = 238,5 \text{ mm}$$

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

$$V_{Rd,max} = 1,0 \cdot 200 \cdot 238,5 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot \frac{1}{\text{ctg}(39,8^\circ) + \text{tg}(39,8^\circ)} = 247718 \text{ N} = 247,72 \text{ kN}$$

Provjera:

$$V_{Rd,c} = 30,60 \text{ kN} > V_{Ed} = 65,37 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 247,72 \text{ kN}$$

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

*Proračun poprečne armature:*

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

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

$$\alpha = 90^\circ$$

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

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 26,5 = 238,5 \text{ mm}$$

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

Razmak spona:

$$s_1 = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg} \theta = \frac{1,01}{65,37} \cdot 23,85 \cdot 43,478 \cdot 1,2 = 19,23 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona (minimalna poprečna armatura):

a) Prema EN 1992-1-1:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

b) Prema hrvatskom nacionalnom dodatku:

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yd}}\right) = 0,15 \cdot \left(\frac{2,9}{434,78}\right) = 0,001$$

$$s_{1,\max} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,\min} \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{1,01}{0,001 \cdot 20 \cdot 1,0} = 50,5 \text{ cm}$$

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

$$V_{Ed} = 65,37 \text{ kN} < 0,30 \cdot V_{Rd,\max} = 0,30 \cdot 247,72 = 74,32 \text{ kN}$$

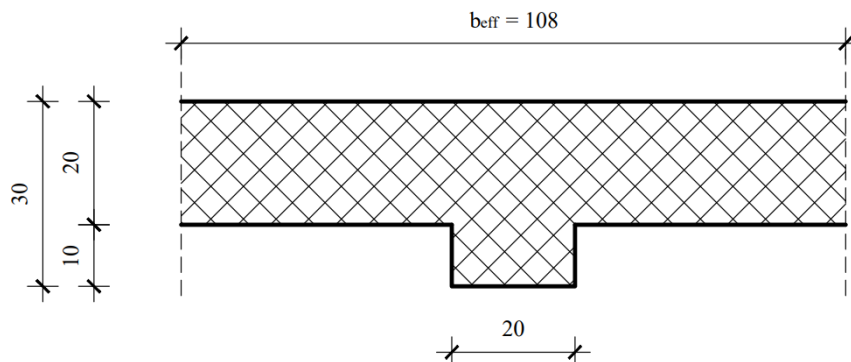
$$s_{1,\max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 26,5 = 19,88 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$$

Mjerodavan maksimalan razmak spona prema uvjetu c) iznosi **19,5 cm**.

**ODABRANO:**       $\phi 8/15,0 \text{ cm}$  ,  $m = 2$

## 5.5. Proračun pukotina i progiba grede GX4\_1

### 5.5.1. Proračun karakteristika materijala i poprečnog presjeka



**Slika 62.** Poprečni presjek grede sa sudjelujućom širinom

Srednji polumjer presjeka:

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot (20 \cdot 10 + 108 \cdot 20)}{108 + 44 + 10 + 20 + 10 + 44} = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$$

gdje je:

$A_c$  – ploština presjeka

$u$  – opseg presjeka izloženog zraku

Konačna vrijednost puzanja za  $t_0 = 28$  dana, za suhe uvjete okoliša ( $RH = 50\%$ ) i cement CEM razreda N (određeno prema slici 3.1., *Betonske konstrukcije 1*; Sorić, Kišiček ili EN 1992-1-1:2004 (točka 3.1.4., slika 3.1)):

$$\varphi(\infty, t_0) = 2,5$$

Konačna vrijednost relativne deformacije od skupljanja:

$$\varepsilon_{cs, \infty} = \varepsilon_{cd, \infty} + \varepsilon_{ca, \infty}$$

$$\varepsilon_{cd, \infty} = k_h \cdot \varepsilon_{cd, 0}$$

Za  $h_0 = 200$  mm (*Betonske konstrukcije 1*; Sorić, Kišiček; Tablica 3.4 ili EN 1992-1-1:2004 (točka 3.1.4., Tablica 3.3)):

$$k_h = 0,80$$

Za razred betona C30/37 te RH=50% linearnom interpolacijom dobiva se (*Betonske konstrukcije I*; Sorić, Kišiček; Tablica 3.3 ili EN 1992-1-1:2004 (točka 3.1.4., Tablica 3.2)):

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,0004775$$

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,80 \cdot 0,0004775 = 3,82 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{ca,\infty} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (30 - 10) \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-5}$$

Konačna vrijednost relativne deformacije od skupljanja:

$$\varepsilon_{cs,\infty} = \varepsilon_{cd,\infty} + \varepsilon_{ca,\infty} = 3,82 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-5} = 4,32 \cdot 10^{-4}$$

Za razred betona C30/37 i čelik B500B:

$$E_{cm} = 33000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{c,\text{eff}} = \frac{E_{cm}}{1,0 + \varphi(\infty, t_0)} = \frac{33000}{1,0 + 2,5} = 9428,57 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{e,0} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200000}{33000} = 6,06$$

$$\alpha_{e,\infty} = \frac{E_s}{E_{c,\text{eff}}} = \frac{200000}{9428,57} = 21,21$$

Težište poprečnog presjeka (beton bez armature):

$$y_{0d} = \frac{b_w \cdot 0,5 \cdot (h - h_f)^2 + b_{\text{eff}} \cdot h_f \cdot (h - 0,5 \cdot h_f)}{b_w \cdot (h - h_f) + b_{\text{eff}} \cdot h_f}$$

$$y_{0d} = \frac{20 \cdot 0,5 \cdot (30 - 20)^2 + 108 \cdot 20 \cdot (30 - 0,5 \cdot 20)}{20 \cdot (30 - 20) + 108 \cdot 20}$$

$$y_{0d} = 18,73 \text{ cm}$$

$$y_{0g} = h - y_{0d} = 30 - 18,73 = 11,27 \text{ cm}$$

Moment tromosti poprečnog presjeka (beton bez armature):

$$I_0 = \frac{b_w \cdot y_{0d}^3}{3} + \frac{b_w \cdot y_{0g}^3}{3} + \frac{(b_{\text{eff}} - b_w) \cdot h_f^3}{12} + (b_{\text{eff}} - b_w) \cdot h_f \cdot \left(y_{0g} - \frac{h_f}{2}\right)^2$$

$$I_0 = \frac{20 \cdot 18,73^3}{3} + \frac{20 \cdot 11,27^3}{3} + \frac{(108 - 20) \cdot 20^3}{12} + (108 - 20) \cdot 20 \cdot \left(11,27 - \frac{20}{2}\right)^2$$

$$I_0 = 114853,1 \text{ cm}^4$$

### 5.5.2. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka za $t=0$

Stanje naprezanja I:

Težište i moment tromosti za idealni poprečni presjek:

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot h} = \frac{6,03}{20 \cdot 30} = 0,01005$$

$$A_I = \alpha_{e,0} \cdot \rho_1 \cdot \frac{d}{h} \cdot \left( 1 + A_{s2} \cdot \frac{d_2}{(A_{s1} \cdot d)} \right) = 6,06 \cdot 0,01005 \cdot \frac{26,5}{30} \cdot \left( 1 + 2,26 \cdot \frac{3,5}{(6,03 \cdot 26,5)} \right) = 0,05647$$

$$B_I = \alpha_{e,0} \cdot \rho_1 \cdot \left( 1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1}} \right) = 6,06 \cdot 0,01005 \cdot \left( 1 + \frac{2,26}{6,03} \right) = 0,08374$$

$$C_I = 0,5 \cdot \left( \frac{h_f}{h} \right)^2 \cdot \left( \frac{b_{\text{eff}}}{b_w} - 1 \right) + A_I = 0,5 \cdot \left( \frac{20}{30} \right)^2 \cdot \left( \frac{108}{20} - 1 \right) + 0,05647 = 1,03424$$

$$D_I = \left( \frac{h_f}{h} \right) \cdot \left( \frac{b_{\text{eff}}}{b_w} - 1 \right) + B_I = \left( \frac{20}{30} \right) \cdot \left( \frac{108}{20} - 1 \right) + 0,08374 = 3,01707$$

$$k_{xI} = \frac{(0,5 + C_I)}{(1 + D_I)} = \frac{(0,5 + 1,03424)}{(1 + 3,01707)} = 0,38193$$

$$y_{Ig} = k_{xI} \cdot h = 0,38193 \cdot 30 = 11,46 \text{ cm}$$

$$y_{Id} = h - y_{Ig} = 30 - 11,46 = 18,54 \text{ cm}$$

Moment tromosti idealnog poprečnog presjeka:

$$I_I = \frac{b_w}{3} (y_{Id}^3 + y_{Ig}^3) + \frac{(b_{\text{eff}} - b_w) \cdot h_f^3}{12} + (b_{\text{eff}} - b_w) \cdot h_f \cdot \left( y_{Ig} - \frac{h_f}{2} \right)^2 + (\alpha_{e,0} - 1) \cdot \left[ A_{s1} (d - y_{Ig})^2 + A_{s2} (y_{Ig} - d_2)^2 \right]$$

$$I_I = \frac{20}{3} \cdot (18,54^3 + 11,46^3) + \frac{(108 - 20) \cdot 20^3}{12} + (108 - 20) \cdot 20 \cdot \left( 11,46 - \frac{20}{2} \right)^2 + (6,06 - 1) \cdot [6,03 \cdot (26,5 - 11,46)^2 + 2,26 \cdot (11,46 - 3,5)^2] = 122564,24 \text{ cm}^4$$

Statički moment ploštine armature:

$$S_I = A_{s1} \cdot (d - y_{Ig}) - A_{s2} \cdot (y_{Ig} - d_2) = 6,03 \cdot (26,5 - 11,46) - 2,26 \cdot (11,46 - 3,5)$$

$$S_I = 72,72 \text{ cm}^3$$

*Stanje naprezanja II:*

Težište i moment tromosti za idealni poprečni presjek:

$$\rho_{II} = \frac{A_{s1}}{b_{\text{eff}} \cdot d} = \frac{6,03}{108 \cdot 26,5} = 0,00211$$

$$A_{II} = \alpha_{e,0} \cdot \rho_{II} \cdot \left( 1 + A_{s2} \cdot \frac{d_2}{(A_{s1} \cdot d)} \right) = 6,06 \cdot 0,00211 \cdot \left( 1 + 2,26 \cdot \frac{3,5}{(6,03 \cdot 26,5)} \right) = 0,01340$$

$$B_{II} = \alpha_{e,0} \cdot \rho_{II} \cdot \left( 1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1}} \right) = 6,06 \cdot 0,00211 \cdot \left( 1 + \frac{2,26}{6,03} \right) = 0,01756$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2A_{II}} = -0,01756 + \sqrt{0,01756^2 + 2 \cdot 0,01340} = 0,14710$$

$$y_{IIg} = k_{xII} \cdot d = 0,14710 \cdot 26,5 = 3,90 \text{ cm} < h_f = 20 \text{ cm}$$

Moment tromosti idealnog poprečnog presjeka:

$$I_{II} = \frac{b_{\text{eff}} \cdot y_{IIg}^3}{3} + \alpha_{e,0} \cdot A_{s1} \cdot (d - y_{IIg})^2 + (\alpha_{e,0} - 1) \cdot A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2)^2$$

$$\begin{aligned} I_{II} &= \frac{108 \cdot 3,90^3}{3} + 6,06 \cdot 6,03 \cdot (26,5 - 3,90)^2 + (6,06 - 1) \cdot 2,26 \cdot (3,90 - 3,5)^2 \\ &= 20803,27 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Statički moment ploštine armature:

$$S_{II} = A_{s1} \cdot (d - y_{IIg}) - A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2) = 6,03 \cdot (26,5 - 3,90) - 2,26 \cdot (3,90 - 3,5)$$

$$S_{II} = 135,39 \text{ cm}^3$$

Krak unutarnjih sila:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 26,5 - \frac{3,90}{3} = 25,20 \text{ cm}$$



### 5.5.3. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka za $t=\infty$

Stanje naprezanja I:

Težište i moment tromosti za idealni poprečni presjek:

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot h} = \frac{6,03}{20 \cdot 30} = 0,0101$$

$$A_I = \alpha_{e,\infty} \cdot \rho_1 \cdot \frac{d}{h} \cdot \left(1 + A_{s2} \cdot \frac{d_2}{(A_{s1} \cdot d)}\right) = 21,21 \cdot 0,0101 \cdot \frac{26,5}{30} \cdot \left(1 + 2,26 \cdot \frac{3,5}{(6,03 \cdot 26,5)}\right) = 0,19763$$

$$B_I = \alpha_{e,\infty} \cdot \rho_1 \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1}}\right) = 21,21 \cdot 0,0101 \cdot \left(1 + \frac{2,26}{6,03}\right) = 0,29308$$

$$C_I = 0,5 \cdot \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 \cdot \left(\frac{b_{\text{eff}}}{b_w} - 1\right) + A_I = 0,5 \cdot \left(\frac{20}{30}\right)^2 \cdot \left(\frac{108}{20} - 1\right) + 0,19763 = 1,17541$$

$$D_I = \left(\frac{h_f}{h}\right) \cdot \left(\frac{b_{\text{eff}}}{b_w} - 1\right) + B_I = \left(\frac{20}{30}\right) \cdot \left(\frac{108}{20} - 1\right) + 0,29308 = 3,22641$$

$$k_{xI} = \frac{(0,5 + C_I)}{(1 + D_I)} = \frac{(0,5 + 1,17541)}{(1 + 3,22641)} = 0,39641$$

$$y_{Ig} = k_{xI} \cdot h = 0,39641 \cdot 30 = 11,89 \text{ cm}$$

$$y_{Id} = h - y_{Ig} = 30 - 11,89 = 18,11 \text{ cm}$$

Moment tromosti idealnog poprečnog presjeka:

$$I_I = \frac{b_w}{3} (y_{Id}^3 + y_{Ig}^3) + \frac{(b_{\text{eff}} - b_w) \cdot h_f^3}{12} + (b_{\text{eff}} - b_w) \cdot h_f \cdot \left(y_{Ig} - \frac{h_f}{2}\right)^2 + (\alpha_{e,\infty} - 1) \cdot \left[A_{s1} (d - y_{Ig})^2 + A_{s2} (y_{Ig} - d_2)^2\right]$$

$$I_I = \frac{20}{3} \cdot (18,11^3 + 11,89^3) + \frac{(108 - 20) \cdot 20^3}{12} + (108 - 20) \cdot 20 \cdot \left(18,11 - \frac{20}{2}\right)^2 + (21,21 - 1) \cdot [6,03 \cdot (26,5 - 11,89)^2 + 2,26 \cdot (11,89 - 3,5)^2] = 123080,87 \text{ cm}^4$$

Statički moment ploštine armature:

$$S_I = A_{s1} \cdot (d - y_{Ig}) - A_{s2} \cdot (y_{Ig} - d_2) = 6,03 \cdot (26,5 - 11,89) - 2,26 \cdot (11,89 - 3,5)$$

$$S_I = 69,12 \text{ cm}^3$$

*Stanje naprezanja II:*

Težište i moment tromosti za idealni poprečni presjek:

$$\rho_{II} = \frac{A_{s1}}{b_{\text{eff}} \cdot d} = \frac{6,03}{108 \cdot 26,5} = 0,00211$$

$$A_{II} = \alpha_{e,\infty} \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + A_{s2} \cdot \frac{d_2}{(A_{s1} \cdot d)}\right) = 21,21 \cdot 0,00211 \cdot \left(1 + 2,26 \cdot \frac{3,5}{(6,03 \cdot 26,5)}\right) = 0,04690$$

$$B_{II} = \alpha_{e,\infty} \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1}}\right) = 21,21 \cdot 0,00211 \cdot \left(1 + \frac{2,26}{6,03}\right) = 0,06144$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2A_{II}} = -0,06144 + \sqrt{0,06144^2 + 2 \cdot 0,04690} = 0,25094$$

$$y_{IIg} = k_{xII} \cdot d = 0,25094 \cdot 26,5 = 6,65 \text{ cm} < h_f = 20 \text{ cm}$$

Moment tromosti idealnog poprečnog presjeka:

$$I_{II} = \frac{b_{\text{eff}} \cdot y_{IIg}^3}{3} + \alpha_{e,\infty} \cdot A_{s1} \cdot (d - y_{IIg})^2 + (\alpha_{e,\infty} - 1) \cdot A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2)^2$$

$$\begin{aligned} I_{II} &= \frac{108 \cdot 6,65^3}{3} + 21,21 \cdot 6,03 \cdot (26,5 - 6,65)^2 + (21,21 - 1) \cdot 2,26 \cdot (6,65 - 3,5)^2 \\ &= 61439,2 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Statički moment ploštine armature:

$$S_{II} = A_{s1} \cdot (d - y_{IIg}) - A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2) = 6,03 \cdot (26,5 - 6,65) - 2,26 \cdot (6,65 - 3,5)$$

$$S_{II} = 112,58 \text{ cm}^3$$

Krak unutarnjih sila:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 26,5 - \frac{6,65}{3} = 24,28 \text{ cm}$$

#### 5.5.4. Momenti savijanja i naprezanja u presjeku na sredini raspona grede (na mjestu maksimalnog momenta savijanja)

Moment savijanja i naprezanje u vlačnoj armaturi na sredini raspona za kratkotrajno djelovanje ( $t=0$ ):

$$M_{Ed} = 1,0 \cdot M_k^g + 1,0 \cdot M_k^q = 1,0 \cdot 31,73 + 1,0 \cdot 7,32 = 39,05 \text{ kNm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1} \cdot z} = \frac{3905}{6,03 \cdot 25,2} = 25,70 \text{ kN/cm}^2 = 257,0 \text{ N/mm}^2$$

Moment pri pojavi prve pukotine u poprečnom presjeku:

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} \cdot I_0}{y_{0d}} = \frac{0,29 \cdot 114853,1}{18,73} = 1778,40 \text{ kNm} = 17,78 \text{ kNm}$$

Naprezanje u vlačnoj armaturi na mjestu pojave prve pukotine:

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{A_{s1} \cdot z} = \frac{1778,40}{6,03 \cdot 25,2} = 11,703 \text{ kN/cm}^2 = 117,03 \text{ N/mm}^2$$

Moment savijanja i naprezanje u vlačnoj armaturi na sredini raspona za dugotrajno djelovanje

( $t=\infty$ ):

$$M_{Ed} = 1,0 \cdot M_k^g + 1,0 \cdot \psi_2 \cdot M_k^q = 1,0 \cdot 31,73 + 1,0 \cdot 0,3 \cdot 7,32 = 33,93 \text{ kNm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1} \cdot z} = \frac{3393}{6,03 \cdot 24,28} = 23,17 \text{ kN/cm}^2 = 231,7 \text{ N/mm}^2$$

Gdje je:

$$\psi_2 = 0,3 \text{ koeficijent kombinacije za stambene prostore}$$

Naprezanje u vlačnoj armaturi na mjestu pojave prve pukotine:

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{A_{s1} \cdot z} = \frac{1778,40}{6,03 \cdot 24,28} = 12,15 \text{ kN/cm}^2 = 121,5 \text{ N/mm}^2$$

### 5.5.5. Minimalna ploština armature za ograničavanje širine pukotina

Minimalna armatura za ograničenje širine pukotina (*stanje naprezanja II*):

$$A_{s,\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,\text{eff}} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

$$k_c = 0,4$$

Za naprezanje izazvano čistim savijanjem

$$k = 1,0$$

Koeficijent za učinak nejednolikih neuravnoteženih naprezanja,  $k = 1,0$  za  $h \leq 300$  mm, a  $k = 0,65$  za  $h \geq 800$  mm

$$f_{ct,\text{eff}} = 2,9 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Vlačna čvrstoća betona u vrijeme pojave prve pukotine}$$

$$A_{ct} = b_w \cdot (h - h_f) + b_{\text{eff}} \cdot (h_f - y_{0g}) = 20 \cdot (30 - 20) + 108 \cdot (20 - 11,27) = 1142,71 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_s = f_{yk} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{s,\min} = 0,40 \cdot 1,0 \cdot 0,29 \cdot \frac{1142,71}{50,0} = 2,65 \text{ cm}^2 < A_{s1} = 6,03 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura  $A_{s1,\text{prov}} = 3\phi 16 = 6,03 \text{ cm}^2$  zadovoljava uvjet minimalne armature.

Granični promjer šipke armature:

$$\phi^* = 16 + \frac{280 - 257,0}{280 - 240} \cdot (20 - 16) = 18,30 \text{ mm}$$

$$\phi = \phi^* \cdot \frac{f_{ct,\text{eff}}}{2,9} \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h - d)} = 18,30 \cdot \frac{2,9}{2,9} \cdot \frac{0,4 \cdot 11,27}{2 \cdot (30 - 26,5)} = 11,79 \text{ mm}$$

Granična vrijednost promjera šipke armature je 11,79 mm.

Granični razmak šipki armature:

$$S = 20 + \frac{280 - 257}{280 - 240} \cdot (25 - 20) = 22,88 \text{ cm}$$

Granična vrijednost razmaka šipki armature je 22,88 cm.

Odabrana armatura  $A_{s1,\text{prov}} = 3\phi 16 = 6,03 \text{ cm}^2$  ne zadovoljava uvjet graničnog promjera šipki armature i ne zadovoljava uvjet razmaka šipki armature. Potrebno je provesti proračun širine pukotina.

### 5.5.6. Proračun širina pukotina za kratkotrajno djelovanje ( $t=0$ )

Provjera dolazi li do pojave pukotina:

$$M_{Ed} = 39,05 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = 17,78 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} > M_{cr} \rightarrow \text{dolazi do pojave pukotina}$$

Karakteristična širina pukotina proračunava se prema izrazu:

$$w_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}), \text{ te mora biti manja od granične širine pukotina koja iznosi:}$$

$$w_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

Razlika srednjih relativnih deformacija armature i betona:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_{e,0} \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Gdje je:

- $\sigma_s$  – naprezanje u armaturi
- $k_t$  – koeficijent ovisan o trajanju opterećenja – 0,6 za kratkotrajno opterećenje
- $f_{ct,eff}$  – vlačna čvrstoća betona u vrijeme pojave prve pukotine
- $\rho_{p,eff}$  – koeficijent armiranja mekom (nenapetom) armaturom
- $A_{c,eff}$  – sudjelujuća vlačna ploština presjeka

Visina sudjelujuće vlačne ploštine presjeka –  $h_{c,ef}$ , a određuje se kao najmanja vrijednost od:

$$2,5 \cdot (h - d) = 2,5 \cdot (30 - 26,5) = 8,75 \text{ cm}$$

$$(h - y_{IIg})/3 = (30 - 3,9)/3 = 8,70 \text{ cm} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

$$h/2 = 30/2 = 15,0 \text{ cm}$$

Sudjelujuća vlačna ploština presjeka:

$$A_{c,eff} = b_w \cdot h_{c,ef} = 20 \cdot 8,70 = 174,01 \text{ cm}^2$$

Koeficijent armiranja mekom armaturom:

$$\rho_{p,\text{eff}} = \frac{A_s}{A_{c,\text{eff}}} = \frac{6,03}{174,01} = 0,03465$$

Razlika srednjih relativnih deformacija armature i betona:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{25,7 - 0,6 \cdot \frac{0,29}{0,03465} \cdot (1 + 6,06 \cdot 0,03465)}{20000} = 9,81 \cdot 10^{-4} \geq 0,6 \cdot \frac{25,7}{20000} = 7,71 \cdot 10^{-4}$$

Razmak glavne armature je manji od:

$$5 \cdot (c + \phi/2) = 5 \cdot (2,0 + 1,6/2) = 14 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak pukotina:

$$S_{r,\text{max}} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi / \rho_{p,\text{eff}}$$

$$k_1 = 0,80$$

$$k_2 = 0,50$$

$$k_3 = 3,40$$

$$k_4 = 0,425$$

$$S_{r,\text{max}} = 3,4 \cdot 2,0 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 16 / 0,03456 = 146,49 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina za kratkotrajno djelovanje iznosi:

$$w_{k,t=0} = S_{r,\text{max}} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 146,49 \cdot 9,81 \cdot 10^{-4} = 0,144 \text{ mm} < w_{\text{max}} = 0,4 \text{ mm}$$

Širina pukotina za kratkotrajno djelovanje **zadovoljava**.

### 5.5.7. Proračun širina pukotina za dugotrajno djelovanje ( $t=\infty$ )

Provjera dolazi li do pojave pukotina:

$$M_{Ed} = 33,93 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = 17,78 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} > M_{cr} \rightarrow \text{dolazi do pojave pukotina}$$

Karakteristična širina pukotina proračunava se prema izrazu:

$$w_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}), \text{ te mora biti manja od granične širine pukotina koja iznosi:}$$

$$w_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

Razlika srednjih relativnih deformacija armature i betona:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_{e,0} \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Gdje je:

- $\sigma_s$  – naprezanje u armaturi
- $k_t$  – koeficijent ovisan o trajanju opterećenja – 0,4 za dugotrajno opterećenje
- $f_{ct,eff}$  – vlačna čvrstoća betona u vrijeme pojave prve pukotine
- $\rho_{p,eff}$  – koeficijent armiranja mekom (nenapetom) armaturom
- $A_{c,eff}$  – sudjelujuća vlačna ploština presjeka

Visina sudjelujuće vlačne ploštine presjeka –  $h_{c,ef}$ , a određuje se kao najmanja vrijednost od:

$$2,5 \cdot (h - d) = 2,5 \cdot (30 - 26,5) = 8,75 \text{ cm}$$

$$(h - y_{IIg})/3 = (30 - 6,65)/3 = 7,78 \text{ cm} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

$$h/2 = 30/2 = 15 \text{ cm}$$

Sudjelujuća vlačna ploština presjeka:

$$A_{c,eff} = b_w \cdot h_{c,ef} = 20 \cdot 7,78 = 155,67 \text{ cm}^2$$

Koeficijent armiranja mekom armaturom:

$$\rho_{p,\text{eff}} = \frac{A_s}{A_{c,\text{eff}}} = \frac{6,03}{155,67} = 0,03874$$

Razlika srednjih relativnih deformacija armature i betona:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{23,17 - 0,4 \cdot \frac{0,29}{0,03874} \cdot (1 + 6,06 \cdot 0,03874)}{20000} = 8,86 \cdot 10^{-4} \geq 0,6 \cdot \frac{23,17}{20000} = 6,95 \cdot 10^{-4}$$

Razmak glavne armature je manji od:

$$5 \cdot (c + \phi/2) = 5 \cdot (2,0 + 1,6/2) = 14 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak pukotina:

$$S_{r,\text{max}} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi / \rho_{p,\text{eff}}$$

$$k_1 = 0,80$$

$$k_2 = 0,50$$

$$k_3 = 3,40$$

$$k_4 = 0,425$$

$$S_{r,\text{max}} = 3,4 \cdot 2,0 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 16 / 0,03874 = 129,44 \text{ mm}$$

Karakteristična širina pukotina za kratkotrajno djelovanje iznosi:

$$w_{k,t=0} = S_{r,\text{max}} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 129,44 \cdot 8,86 \cdot 10^{-4} = 0,115 \text{ mm} < w_{\text{max}} = 0,4 \text{ mm}$$

Širina pukotina za dugotrajno djelovanje **zadovoljava**.



## 5.6. Proračun progiba grede

Vitkost elementa:

$$\frac{L}{d} = \frac{220}{26,5} = 8,03$$

Granična vitkost:

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6,03}{20 \cdot 26,5} = 0,01138 = 1,14 \%$$

$$f_3 = \frac{310}{\sigma_s} = \frac{310}{257,0} = 1,21 \text{ ili}$$

$$f_3 = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot \frac{6,03}{4,81} = 1,25$$

$$\text{mjerodavno: } f_3 = 1,21$$

$$b_{eff} = 108 \text{ cm} > 3 \cdot b_w = 60 \text{ cm}$$

Vrijednosti graničnog omjera  $L_{eff}/d = 20$  za slabo naprezan beton ( $\rho \leq 0,5\%$ ) i  $L_{eff}/d = 14$  za jako naprezan beton ( $\rho \geq 1,5\%$ ) se množe s faktorom redukcije 0,8 za grede T-presjeka za koje vrijedi  $b_{eff}/b_w > 3$  (*Betonske konstrukcije 2; Sorić, Kišiček*):

$$14,0 \cdot 0,8 = 11,20$$

$$20,0 \cdot 0,8 = 16,0$$

Dopuštena (granična) vitkost:

$$(L/d)_{lim} = 1,21 \cdot \left[ 11,2 + \frac{1,5\% - 1,14\%}{1,5\% - 0,5\%} \cdot (16,0 - 11,2) \right] = 15,64 > 8,03$$

Greda **zadovoljava** granično stanje progiba te nije potrebno provesti proračun progiba.

## 6. Proračun seizmičkog opterećenja na zgradu

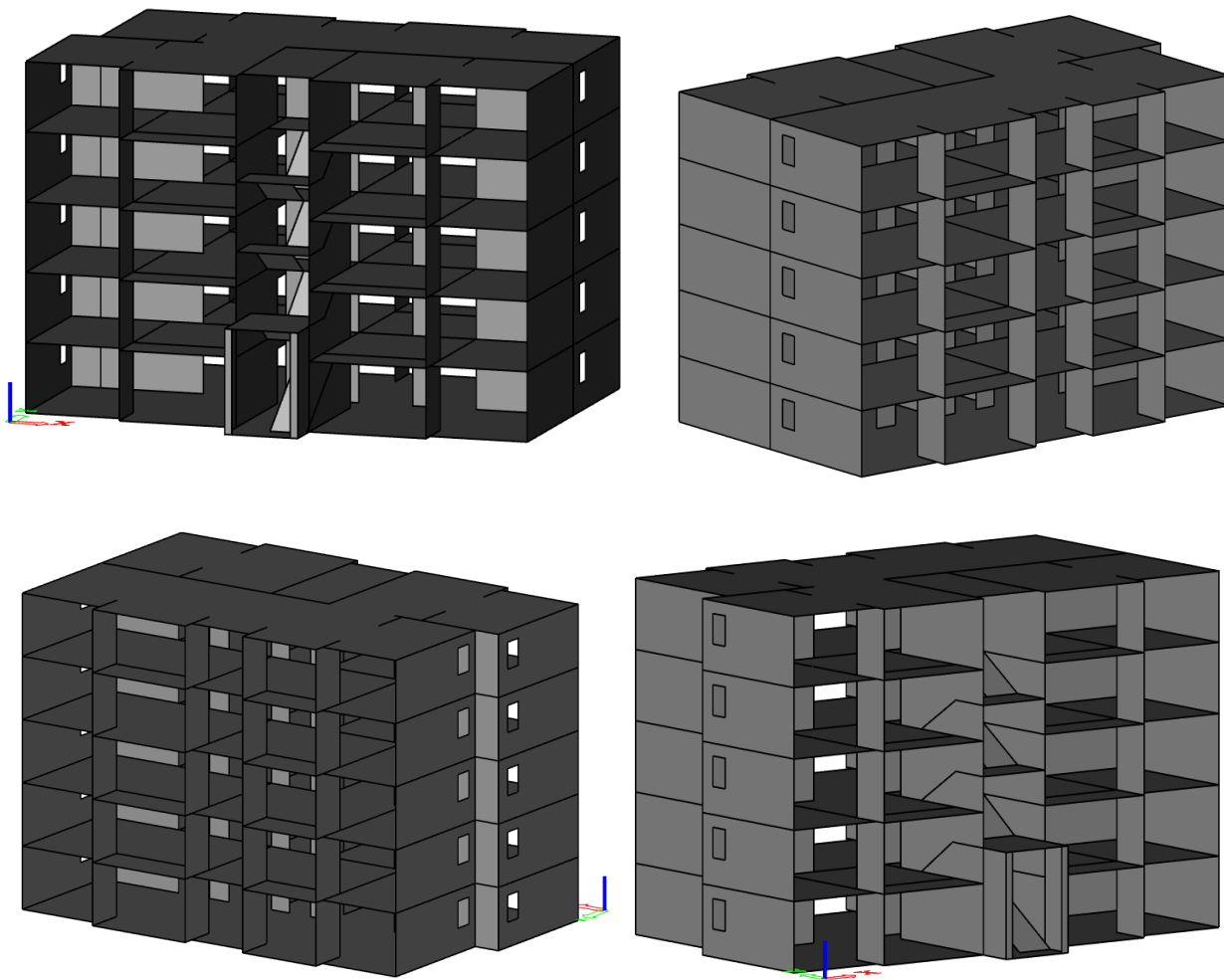
### 6.1. Opis seizmičkog modela zgrade

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

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

Zgrada ima ukupno 5 etaža koje čine prizemlje i 4 kata. Osnovnu vertikalnu nosivu konstrukciju čini sustav armiranobetonskih zidova međusobno povezanih horizontalnim armiranobetonskim pločama i gredama. Armiranobetonski zidovi i stropne konstrukcije modelirani su kao plošni elementi debljine  $d = 20$  cm. Zidovi od opeke nisu razmatrani kao konstruktivni elementi, stoga su u modelu zadani kao linijsko opterećenje. Armiranobetonske grede su modelirane kao štapni elementi opcijom „rib (hrv. rebro)“ pravokutnog presjeka širine  $b = 20$  cm i visine  $h = 10$  cm i  $h = 20$  cm. Visina rebra odgovara udaljenosti od donjeg ruba grede do donjeg ruba ploče. Za grede je zadana i odgovarajuća sudjelujuća širina prema izračunu u ovisnosti od raspona te je definiran oblik (T ili L-presjek).

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



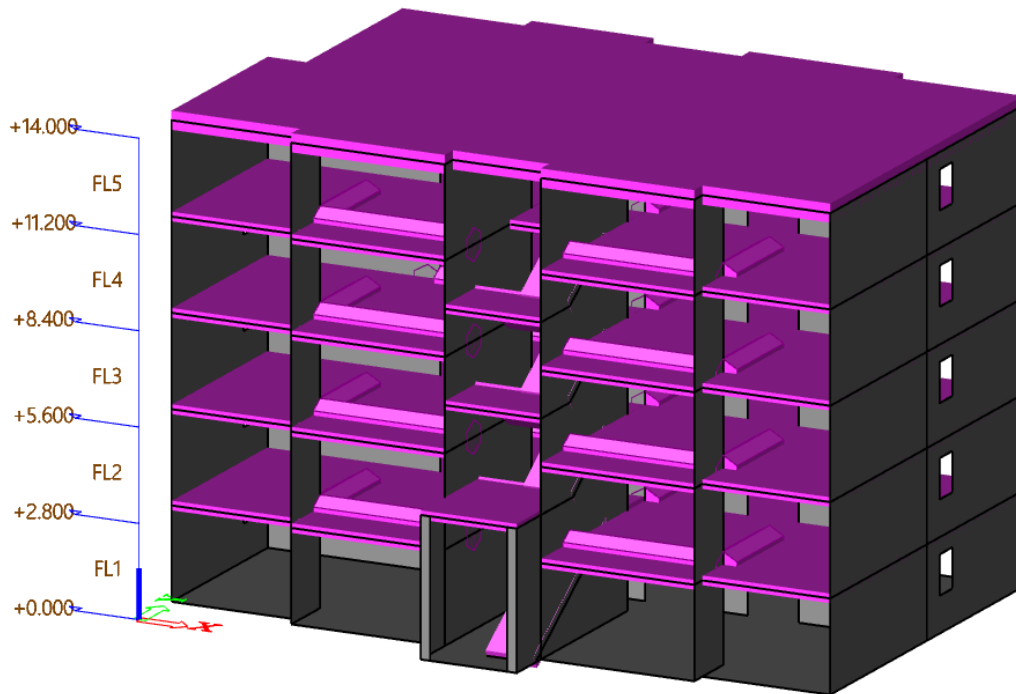
*Slika 63. Izometrija - prostorni model zgrade*

## 6.2. Zadane mase i smanjenje krutosti betonskih elemenata

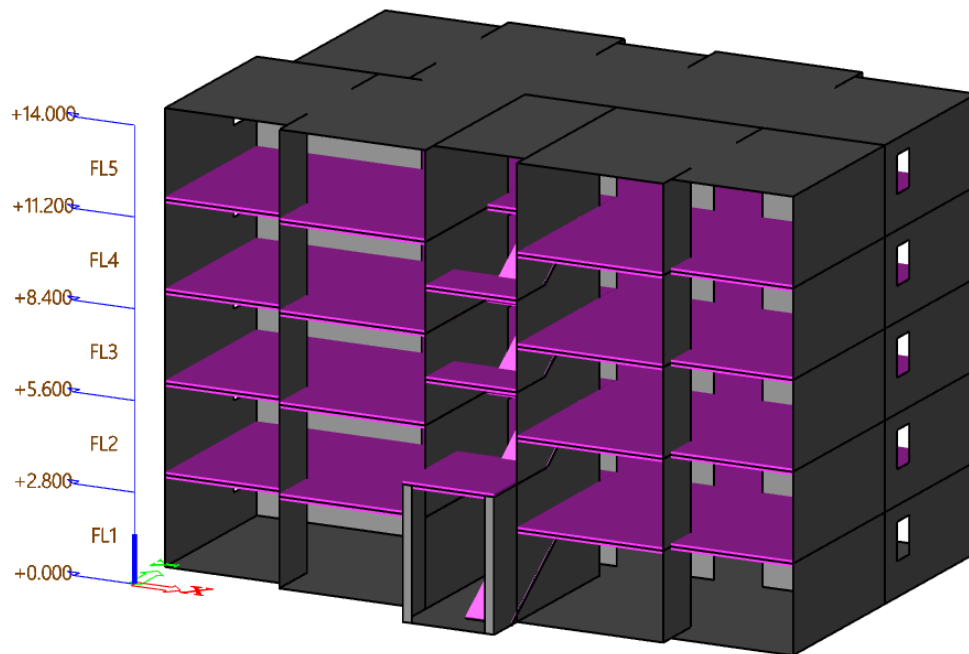
Za provođenje modalne analiza potrebno je prvo definirati mase, a potom odrediti kombinacije masa. Mase su generirane automatski iz zadanih opterećenja. Uporabno opterećenje je zadano preko cijele ploče (ne šahovskom raspodjelom) za potrebe generiranja mase od uporabnog opterećenja. Također, u modalnoj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

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

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



*Slika 64. Generirane mase za dodatnog stalno opterećenje*



*Slika 65. Generirane mase za uporabno opterećenje*

### 6.3. Određivanje krutosti tla

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

Nosivost tla za nedrenirane uvjete:

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

Gdje je:

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

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

Zbog oblika tlocrta, vrijednosti efektivne širine i duljine se prilagodila prema sljedećem: vrijednost efektivne duljine  $L'$  uzima se 20,6 m što je najveća vrijednost duljine temelja i duljina temelja u većini presjeka, dok se vrijednost efektivne širine  $B'$  uzima kao prosječna vrijednost širina temelja u 5 presjeka  $B' = 12,8$  m. U nastavku se uzima vrijednost površine temelja  $A' = 20,6 \cdot 12,8 = 263,68$  m<sup>2</sup>.

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

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{B'}{L'} = 1 + 0,2 \cdot \frac{12,38}{20,6} = 1,12$$

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

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

Proračunska vrijednost nedrenirane posmične čvrstoće:

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

Procjena nosivosti tla:

$$q_{Rv,k} = (\pi + 2) \cdot 26,78 \cdot 1,0 \cdot 1,12 \cdot 0,75 + 18 \cdot 0,5 = 31,5 \text{ kN/m}^2.$$

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

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

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

Vertikalna krutost ekvivalentne opruge:

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

Horizontalna krutost (uzeta jednaka u oba smjera):

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

Faktor  $\chi$ :

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

U izrazima je:

$L$  pola duljine temelja (duljina je veća dimenzija)

$B$  pola širine temelja (širina je manja dimenzija)

$A_b$  stvarna površina temelja

Slijedi:

$$L = 20,6/2 = 10,3 \text{ m}$$

$$B = 12,8/2 = 6,4 \text{ m}$$

$$A_b = 263,68 \text{ m}^2$$

$$\chi = \frac{263,68}{4 \cdot 10,3^2} = 0,62$$

Vertikalna krutost cijelog temelja:

$$k_z = \frac{2 \cdot 11610 \cdot 10,3}{1 - 0,4} \cdot (0,73 + 1,54 \cdot 0,62^{0,75}) = 719891,85 \text{ kN/m}$$

Vertikalna krutost raspodijeljena na cijelu površinu temelja:

$$k_z = \frac{719891,85}{263,68} = 2730,17 \text{ kN/m}^3$$

Horizontalna krutost je:

$$k_x = k_y = \frac{2 \cdot 11610 \cdot 10,3}{2 - 0,4} \cdot (2 + 2,5 \cdot 0,62^{0,85}) = 547873,26 \text{ kN/m}$$

Horizontalna krutost raspodijeljena na cijelu površinu temelja:

$$k_x = k_y = \frac{547873,26}{263,68} = 2077,80 \text{ kN/m}^3$$

U programu „SCIA Engineer“ je vertikalna krutost srednje krute gline procijenjena na  $2 \text{ MN/m}^3$ , a krute gline  $3 \text{ MN/m}^3$ . Procjena programa poklapa se s gore provedenom procjenom gdje je krutost tla  $2,73 \text{ MN/m}^3$  za odabrano tlo srednje krute - krute gline i dobivene vrijednosti su unesene u model kao oslonac temeljne ploče.



## 6.4. Spektar odziva

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

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

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

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

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

Gdje je:

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

HRN EN 1998-1 daje vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni elastični **spektar odziva tipa 1** kako je prikazano u Tablici 9. u nastavku. Crvenom bojom su označene vrijednosti  $T_B, T_C, T_D$  i vrijednost faktora tla  $S$  koje odgovaraju tipu temeljnog tla C pretpostavljenog za ovaj slučaj.

**Tablica 9.** Parametri elastičnog projektnog spektra za spektar odziva I

Tip temeljnog tla	$S$	$T_B$ [s]	$T_C$ [s]	$T_D$ [s]
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

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

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

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

gdje je:

$\gamma_I$  faktor važnosti; poprima vrijednosti od 0,8 do 1,4

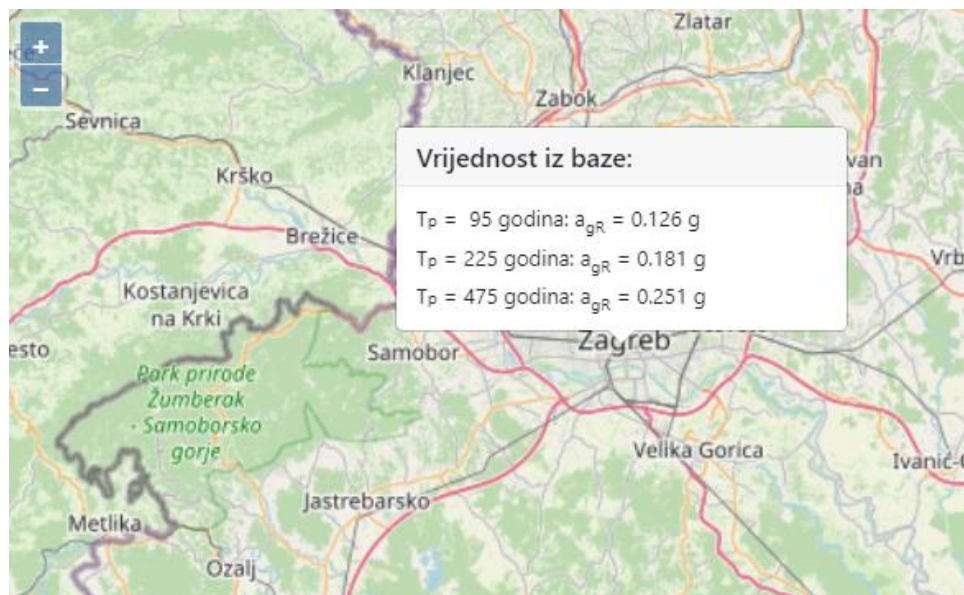
$a_{gR}$  Poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla na temeljnom tlu tipa A

Faktor važnosti ovisi o razredu važnosti u koji je neka zgrada klasificirana. Zgrada je prema dolje prikazanoj *Tablici 10.* preuzetoj iz norme HRN EN 1998-1:2011 klasificirana u razred važnosti II za koji je vrijednost faktora važnosti  $\gamma_I = 1,0$ .

**Tablica 10.** Razredi važnosti za zgrade

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

Horizontalno vršno ubrzanje tipa tla A  $a_{gR}$  za povratno razdoblje  $T_p = 475$  g očitano je prema lokaciji zgrade iz „Karte potresnih područja Republike Hrvatske“ prikazanoj u nastavku.



**Slika 66.** Vrijednosti iz baze; Karta potresnih područja RH

Prema vrijednostima iz baze:

$$a_{gR} = 0,251 \cdot g = 0,251 \cdot 9,81 = 2,462 \text{ m/s}^2$$

## 6.5. Određivanje faktora ponašanja

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

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

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

gdje je:

- $q_0$  osnovna vrijednost faktora ponašanja, ovisi o tipu konstrukcijskog sustava i pravilnosti po visini
- $k_w$  faktor kojim se uzima u obzir prevladavajući oblik sloma konstrukcijskog sustava sa zidovima

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

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

Vrsta konstrukcije	DCM	DCH
Okvirni sustav, dvojni sustav, sustav povezanih zidova	3,0 $\alpha_u/\alpha_1$	4,5 $\alpha_u/\alpha_1$
Sustav nepovezanih zidova	3,0	4,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Torzijski savitljiv sustav	2,0	3,0
Sustav obrnutog njihala	1,5	2,0

Gdje je:

$\alpha_u$  vrijednost kojom se množi horizontalno potresno proračunsko djelovanje kako bi u određenom broju presjeka, dovoljnom za razvoj ukupne nestabilnosti konstrukcije nastali plastični zglobovi, pri čemu sva ostala proračunska djelovanja ostaju stalna.

$\alpha_1$  vrijednost kojom se množi horizontalno potresno proračunsko djelovanje kako bi se prvo dostigla otpornost elementa na savijanje u bilo kojem elementu konstrukcije dok sva druga proračunska djelovanja ostaju konstantna

Omjer  $\alpha_u/\alpha_1$  se utvrđuje posebnim proračunom, a ako to nije slučaj koristi se približna vrijednost prema normi ovisno o klasifikaciji sustava.

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

Faktor  $k_w$  se uzima prema sljedećem kriteriju:

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

Gdje je:

$\alpha_0$  prevladavajući geometrijski omjer zidova konstrukcijskog sustava

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

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

gdje je:

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

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

Ako se omjer zidova razlikuje,  $\alpha_0$  se određuje za najnepovoljniji slučaj, što je zid s najmanjom vrijednosti  $\alpha_0$  jer se time dobiva najmanji faktor ponašanja te je proračun na strani sigurnosti.

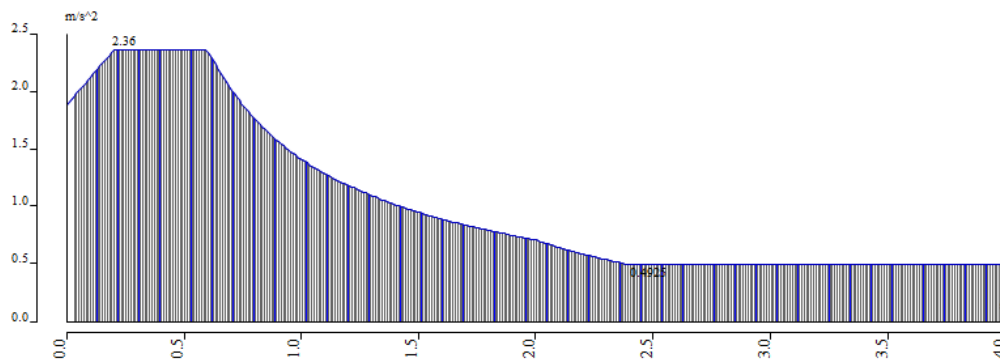
$$\alpha_0 = 208 / 61,6 = 3,38$$

Faktor  $k_w$ :

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

Proračunska vrijednost faktora ponašanja:

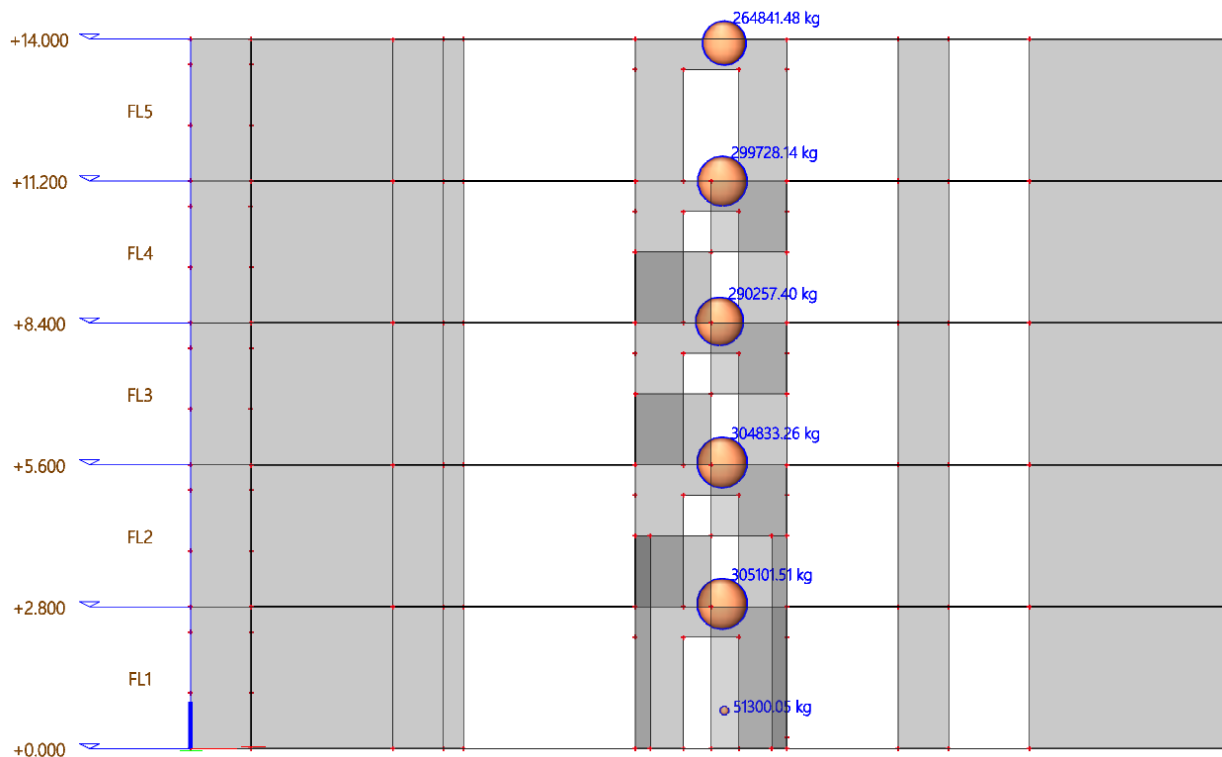
$$q = q_0 \cdot k_w = 3,0 \cdot 1,0 = 3,0 > 1,5$$



*Slika 67. Proračunski spektar odziva*

## 6.6. Modalna analiza

Rezultati provedenog proračuna su dani u nastavku teksta. Na slici ispod dan je prikaz masa čije se grupiranje u analizi pretpostavlja kao točkasto na razini etaža.



*Slika 68. Raspodjela mase pri modalnoj analizi*

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

**3D displacement**Values:  $U_{total}$ 

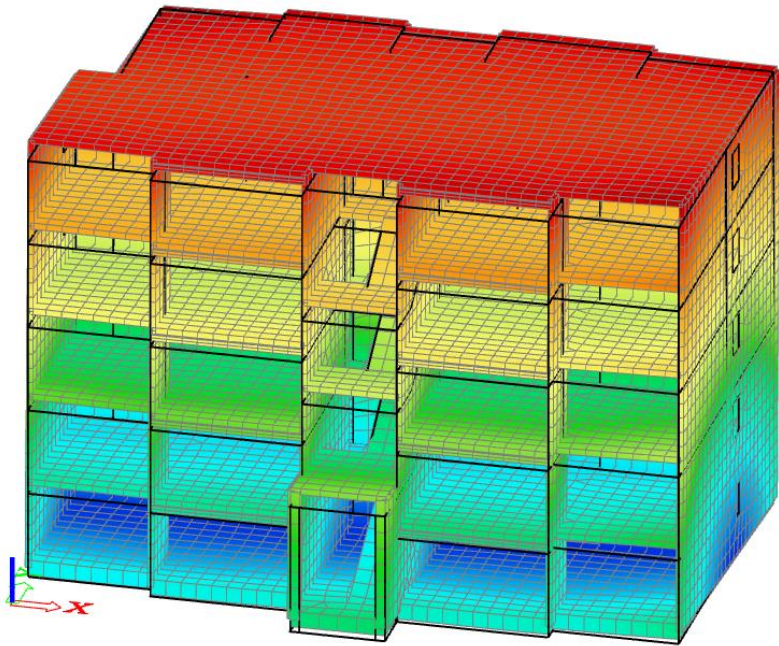
Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.

Mass combination: CM1/1 - 1.10

Selection: All

Location: In nodes avg.. System:

Global



*Slika 69. Prvi oblik vibriranja (period  $T = 0,91$  s)*

**3D displacement**Values:  $U_{total}$ 

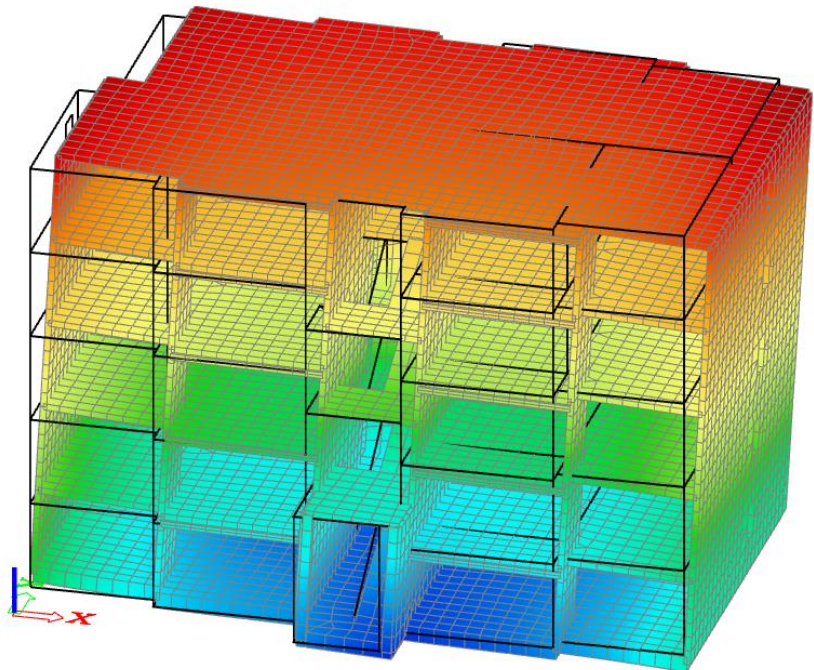
Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.

Mass combination: CM1/2 - 1.26

Selection: All

Location: In nodes avg.. System:

Global



*Slika 70. Drugi oblik vibriranja (period  $T = 0,79$  s)*

**3D displacement**Values:  $U_{total}$ 

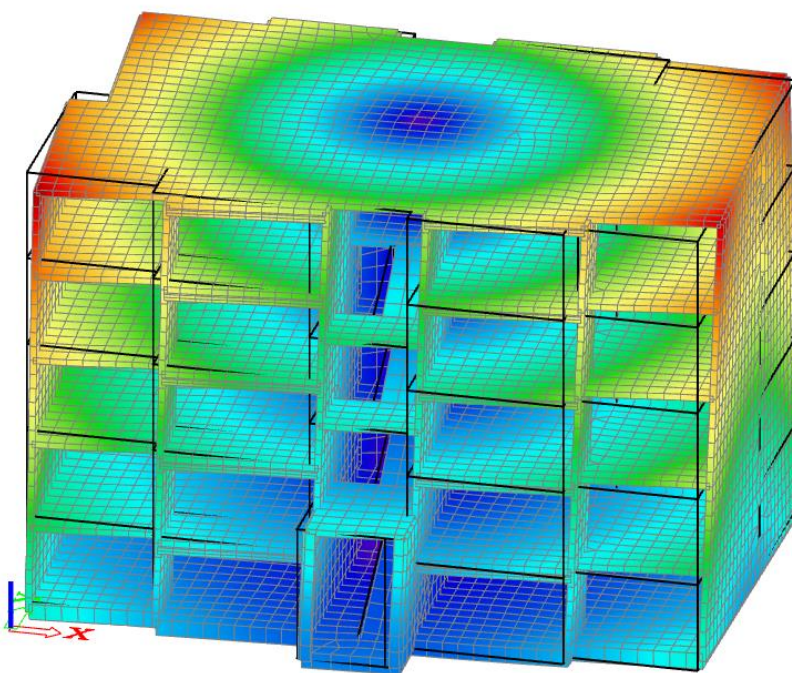
Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.

Mass combination: CM1/3 - 1.61

Selection: All

Location: In nodes avg.. System:

Global



*Slika 71. Treći oblik vibriranja (period  $T = 0,62$  s)*

Norma zahtijeva minimalnu količinu aktivirane mase 90% u modalnoj analizi. U posljednjem retku tablice vidljiva je suma aktiviranih masa svih 10 modova. Vidljivo je kako je ukupno aktivirano 99% mase. U prvom modu se aktivira 75% mase translacijom u y-smjeru, pa je jasno da je prvi mod translacijski mod u y-smjeru. U drugom modu se aktivira 76% mase translacijom u x-smjeru, znači da se smatra translacijskim u x-smjeru. Treći mod je pretežno torzijski, 84% mase aktivira se rotacijom oko z osi. Više od 90% mase aktivira se u prvih 7 modova.

**Relative modal masses**

Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	$W_{xi}/W_{xtot}$	$W_{yi}/W_{ytot}$	$W_{zi}/W_{ztot}$	$W_{xi\_R}/W_{xtot\_R}$	$W_{yi\_R}/W_{ytot\_R}$	$W_{zi\_R}/W_{ztot\_R}$
1	6.89888	0.91	1.10	0.0131	0.7542	0.0000	0.2243	0.0031	0.0000
2	7.90746	0.79	1.26	0.7615	0.0129	0.0000	0.0045	0.1954	0.0037
3	10.1326	0.62	1.61	0.0034	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.8464
4	20.6131	0.30	3.28	0.0001	0.0000	0.9985	0.0000	0.0002	0.0000
5	25.1357	0.25	4.00	0.1356	0.0000	0.0004	0.0002	0.7265	0.0005
6	31.6639	0.20	5.04	0.0000	0.1891	0.0000	0.7025	0.0000	0.0000
7	37.8059	0.17	6.02	0.0017	0.0000	0.0000	0.0001	0.0021	0.1484
8	40.4094	0.16	6.43	0.0807	0.0000	0.0000	0.0000	0.0675	0.0006
9	46.2698	0.14	7.36	0.0000	0.0395	0.0000	0.0631	0.0000	0.0001
10	53.5364	0.12	8.52	0.0002	0.0035	0.0002	0.0034	0.0001	0.0000
				0.9962	0.9993	0.9992	0.9982	0.9958	0.9998

*Slika 72. Prikaz aktivacije masa*



## 7. Statički proračun i dimenzioniranje AB zida

### 7.1. Određivanje proračunskih sila

Proračunava se zid koji se prema planu pozicija u grafičkom prilogu nalazi se u X4 osi i označen je kao zid ZX4\_5. Na slici 73. prikazan je model zgrade na kojem je drugačijom bojom od ostataka zgrade označen promatrani zid. Debljina armiranobetonskog zida je 20 cm, a duljina 4,0 m.

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

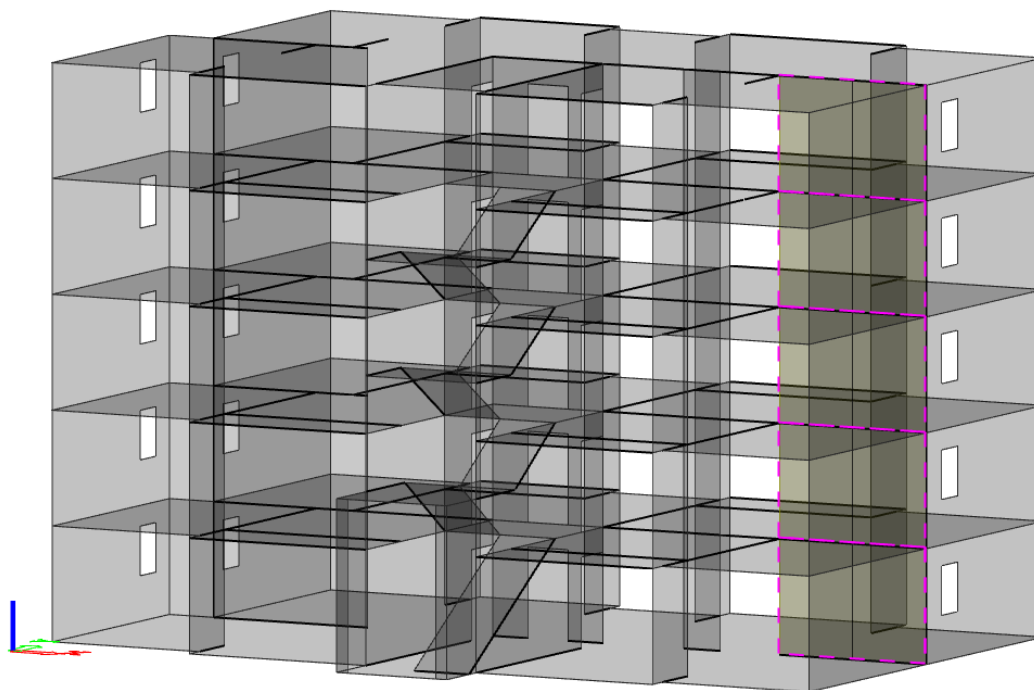
$$a_1 = 0,5 \cdot z \cdot (\cot \theta - \cot \alpha)$$

Gdje je:

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

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

Vlačni pomak iznosi:       $a_1 = 0,4 \cdot 400 = 160 \text{ cm}$



**Slika 73.** 3D model zgrade s označenim zidom ZX4\_5

Armatura se određuje pri dnu zida, pa su u nastavku dane vrijednosti sila na dnu prve etaže promatranog zida ZX4\_5.

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

**Tablica 12.** Unutarnje sile na dnu zida ZX4\_5

Kombinacija opterećenja	$N$ [kN]	$V_y$ [kN]	$V_z$ [kN]	$M_y$ [kNm]	$M_z$ [kNm]
GSN	2557,90	-	17,37	12,58	-
Nazovistalna kombinacija	1600,79	-	10,59	7,72	-
Potresna kombinacija	1852,70	1005,06	85,64	64,71	2439,50

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

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed,y} = 1005,06 \cdot 1,5 = 1507,59 \text{ kN}$$

**Tablica 13.** Unutarnje sile na dnu zida ZX4\_5 za dimenzioniranje

$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
2557,90	1600,79	1507,59	85,64	64,71	2439,50

## 7.2. Dimenzioniranje zida u prizemlju (pozicija 100)

Ulazni podatci:

Beton:	C30/37
Čelik:	B500B
Debljina zida:	$b_w = 20 \text{ cm}$
Duljina zida:	$l_w = 400 \text{ cm}$
Visina zida:	$h_w = 1400 \text{ cm}$
Visina etaže:	$h_e = 280 \text{ cm}$
Svijetla visina etaže:	$h_s = 260 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3,0 \text{ cm}$

### 7.2.1. Uzdužna sila u zidu

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

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = \frac{2557,90}{20 \cdot 400 \cdot 2,0} = 0,16 < 0,4$$

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

### 7.2.2. Armatura hrpta

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

#### 7.2.2.1. Horizontalna armatura hrpta

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu  $V_{Ed,y} = 1507,59 \text{ kN}$  (neovisno o usporedbi sa nosivošću hrpta bez poprečne armature  $V_{Rd,c}$ ). Postavljaju se dvije mreže, jedna uz svaki rub zida. Pretpostavlja se promjer armature  $\phi 10$ .

Razmak pretpostavljene armature za preuzimanje sile  $V_{Ed} = 1507,59 \text{ kN}$  iznosi:

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \text{ctg} \theta}{V_{Ed}} = 2 \cdot 0,785 \cdot 43,478 \cdot \frac{0,8 \cdot 400 \cdot 1,0}{1507,59} = 14,49 \text{ cm}$$

ODABRANO:  **$\phi 10/10 \text{ cm} - Q 785$**  ( $7,85 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ ) uz svaki rub zida

### 7.2.2.2. Vertikalna armatura hrpta

Vertikalna armatura služi za preuzimanje momenta van ravnine  $M_{Ed,y} = 64,71$  kNm.

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

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

Mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{7,85 \cdot 43,478}{100 \cdot 15,5 \cdot 2,0} = 0,110$$

Očitano iz *Tablica 4.1 (Betonske konstrukcije 1; Sorić, Kišiček)* za prvi manji  $\omega = 0,109$ :

$$\mu_{Rd} = 0,103$$

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,103 \cdot 400 \cdot 15,5^2 \cdot 2,0 = 19796,6 \text{ kNcm} = 197,97 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Rd,y} = 197,97 \text{ kNm} > M_{Ed,y} = 64,71 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen.

Napomena: Nosivost hrpta na savijanje je proračunavana uz zanemarivanje uzdužnih vertikalnih sila jer su sile relativno male i njihovo zanemarivanje je na strani sigurnosti ( $v_{Ed,max} = 0,16$ , a  $v_{Ed,min} = 0,10$ ). Za ovaj slučaj s povećanjem sile povećava se i nosivost na savijanje.

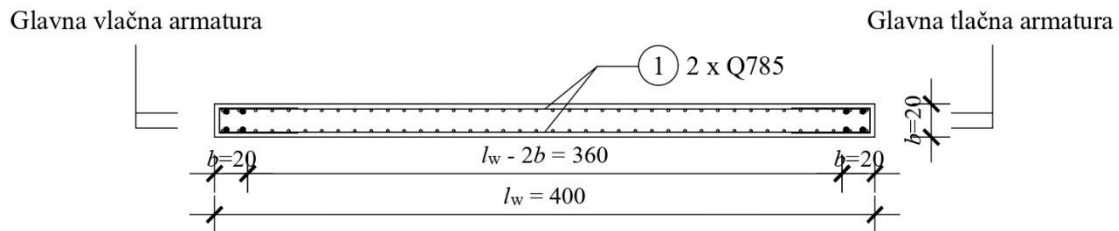
### 7.2.2.3. Minimalna i maksimalna armatura hrpta

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

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

### 7.3. Određivanje armature kritičnog polja zida u prizemlju (pozicija 100)

Uzdužna armatura kritičnog područja zida određuje se na temelju interakcije momenta savijanja i uzdužne sile. Na slici 74. je prikazan poprečni presjek zida sa dimenzijama i odabranom armaturnom mrežom hrpta. Dimenzije kritičnog područja radi jednostavnosti proračuna zadana su kao kvadrati dimenzija  $20 \times 20$  cm. Prema tome,  $l_w - 2b$  je duljina hrpta zida.

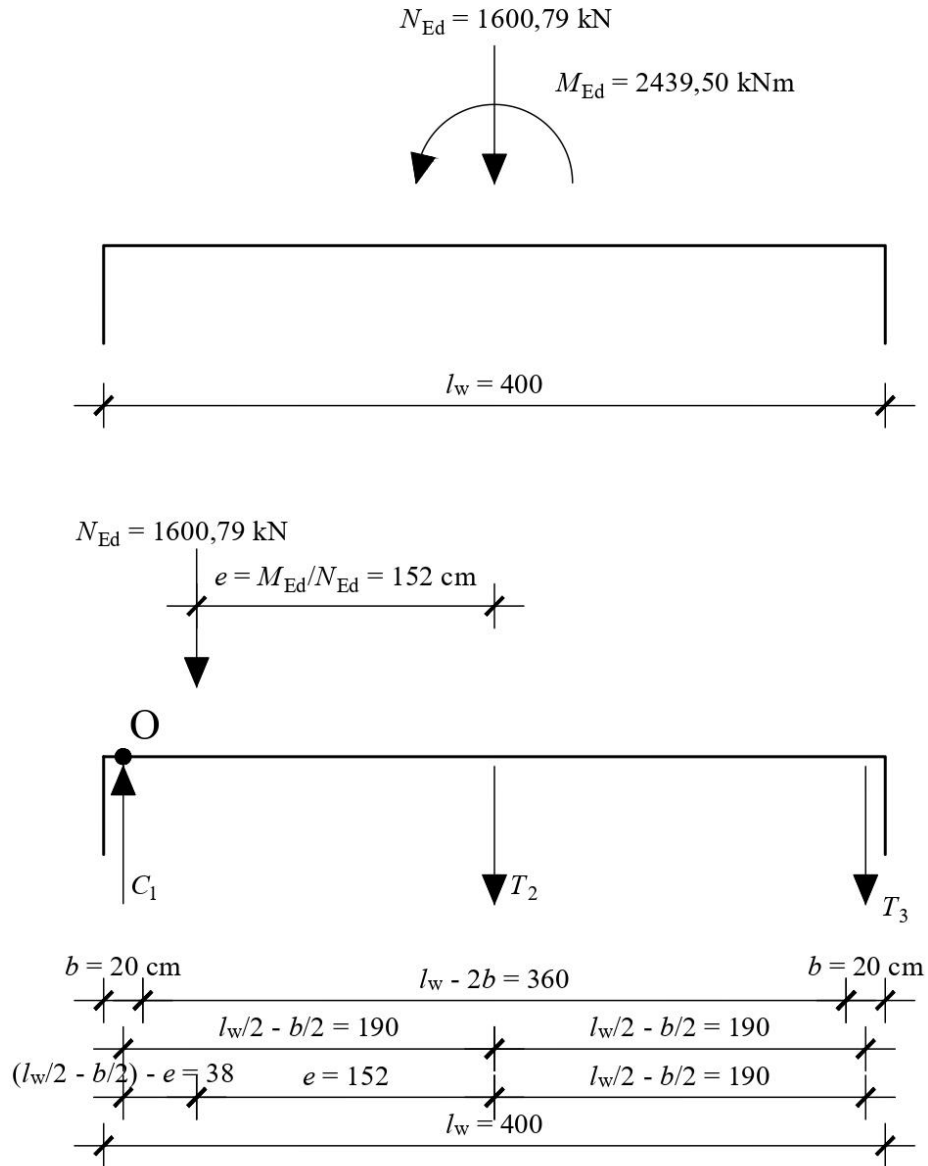


*Slika 74. Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom*

Uzdužni presjek zida sa vrijednostima za uzdužnu silu i moment savijanja u ravnini zida je prikazan na slici 75. Moment savijanja u ravnini zida i uzdužna sila zamjenjuju se uzdužnom silom  $N_{Ed}$  na ekscentricitetu  $e = M_{Ed}/N_{Ed}$  u lijevo. Za silu  $N_{Ed}$  odabire se minimalna vrijednost sile čime se dobiva najveći ekscentricitet što je na strani sigurnosti.

Uzdužne sile unutar zida podijeljene su na tri različite sile vidljive na slici 75. gdje je:

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



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

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

Ravnoteža momenata oko točke O:

$$\sum M_O = 0$$

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

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

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

Gdje je:

$$A_2 = 2 \cdot A_{prov} \cdot (l_w - 2b) = 2 \cdot 7,85 \cdot (l_w - 2b)$$

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

Vrijednost sile  $T_2$ :

$$T_2 = 2 \cdot 7,85 \cdot (l_w - 2b) \cdot 43,478 = 682,60(l_w - 2b)$$

Vrijednost sile  $T_3$ :

$$T_3 = \frac{-\left\{ N_{Ed} \cdot \left[ \left( \frac{l_w - b}{2} \right) - e \right] + 682,60 \cdot (l_w - 2b) \cdot \left( \frac{l_w}{2} - \frac{b}{2} \right) \right\}}{l_w - b} =$$

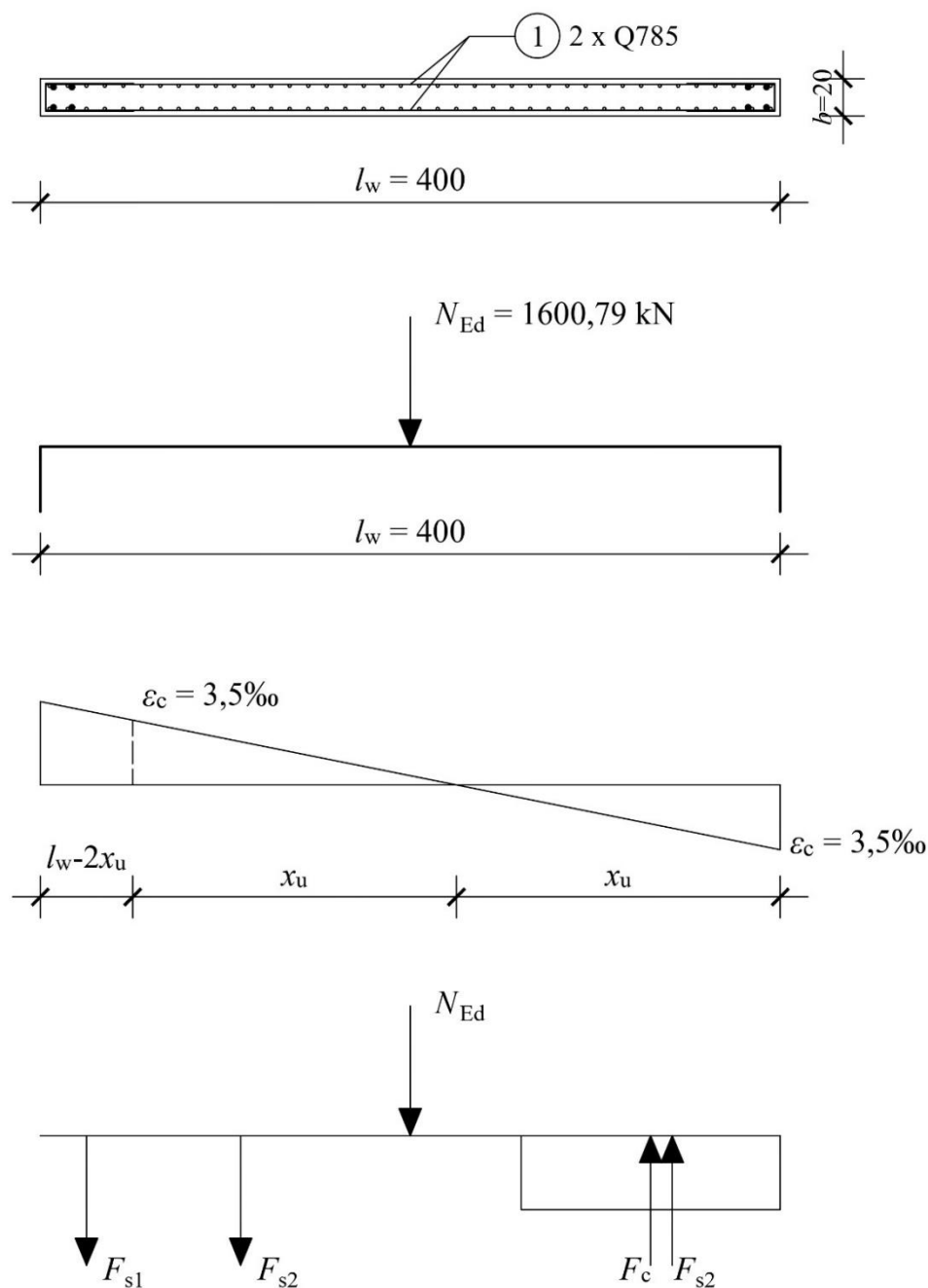
$$\frac{-\left\{ 1600,79 \cdot \left[ \left( \frac{400 - 20}{2} \right) - 152 \right] + 682,60 \cdot (400 - 2 \cdot 20) \cdot \left( \frac{400}{2} - \frac{20}{2} \right) \right\}}{400 - 20} =$$

$$T_3 = -123028,079 \text{ kN} < 0$$

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

#### 7.4. Provjera nosivosti zida na moment savijanja u ravnini

Duljina tlačnog područja u trenutku sloma  $x_u$  će se odrediti na temelju odabrane armature u hrptu zida ( $2 \times Q 785$ ) te vanjskih i unutarnjih sila. Radi jednostavnosti proračuna smatra se da se odabrane mreže  $2 \times Q 785$  protežu čitavom duljinom zida  $l_w$ .



**Slika 76.** Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutarnjim i vanjskim silama



$$\sum N = 0$$

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

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

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

Ako se uzme u obzir da su:

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

$$f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{uk} = 2 \cdot A_{prov} \cdot l_w = 2 \cdot 7,85 \cdot 4,0 = 62,8 \text{ cm}^2$$

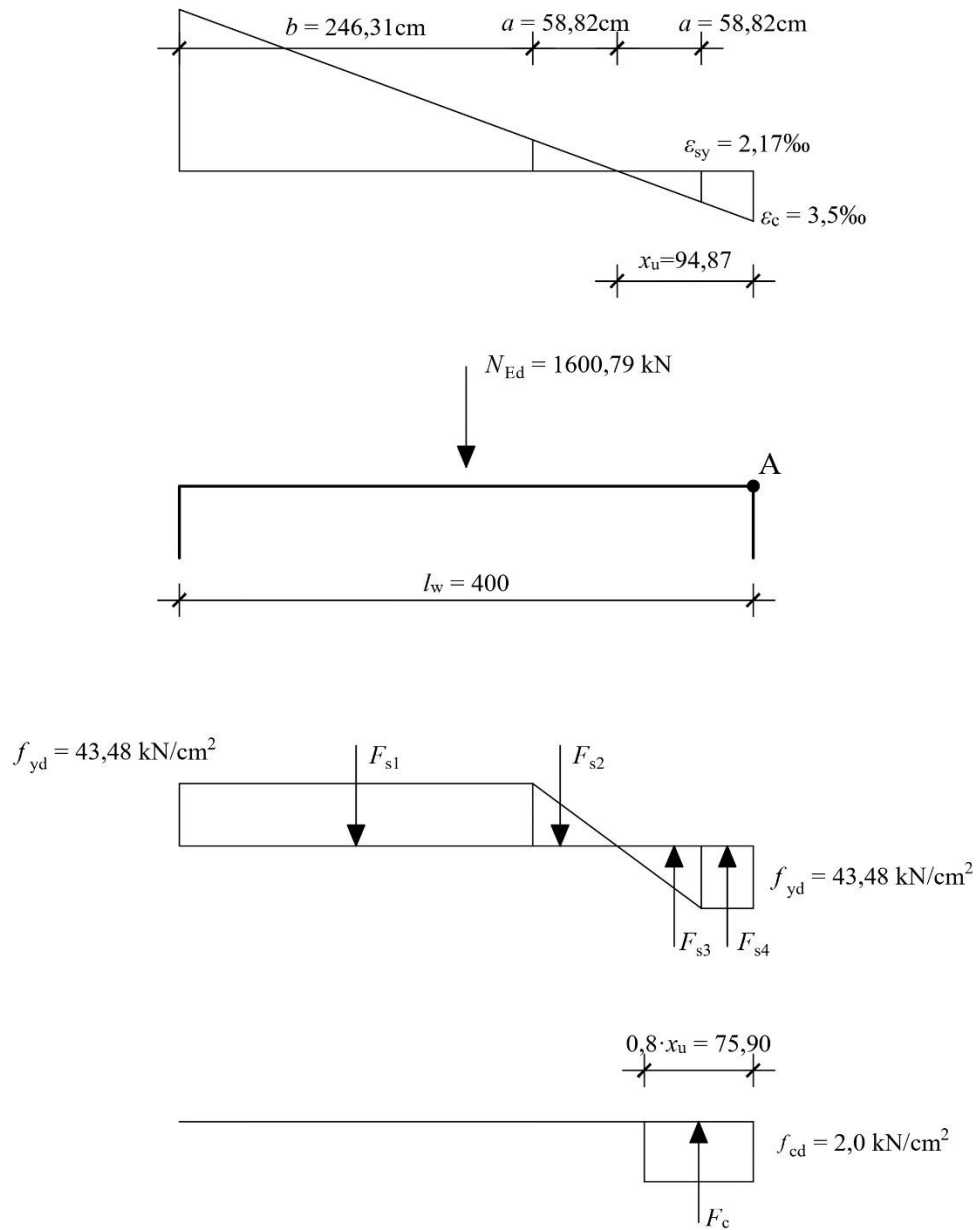
Na temelju ovih izraza dobije se vrijednost  $x_u$ :

$$1600,79 + 43,478 \cdot 62,8 - 2 \cdot 43,478 \cdot 62,8 \cdot \frac{x_u}{400} = 0,8 \cdot x_u \cdot 20 \cdot 2,0$$

$$4331,21 = 45,65 x_u$$

$$x_u = 94,87 \text{ cm}$$

U nastavku na slici 77. su prikazane vanjske sile  $N_{Ed}$  koje djeluju na zid te unutarnje sile u čeliku  $F_{s1}$  do  $F_{s4}$  i unutarnje sile u betonu  $F_c$ . Na slici je označena i točka A s obzirom na koju će se računati suma momenata kako bi se proračunala nosivost na moment savijanja.



**Slika 77.** Prikaz relativnih deformacija u zidu u trenutku sloma i prikaz vanjskih i unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu

Proračun nosivosti na savijanje:

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

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

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

$$M_{Rd} = 1600,79 \cdot \frac{400}{2} + \frac{246,31}{400} \cdot 62,8 \cdot 43,478 \left(\frac{246,31}{2} + 58,82 + 94,87\right) + \frac{58,82}{400} \cdot 62,8 \cdot 43,478 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 58,82 + 94,87\right) \cdot 0,5 - \frac{58,82}{400} \cdot 62,8 \cdot 43,478 \left(94,87 - \frac{2}{3} \cdot 58,82\right) \cdot 0,5 - 0,8 \cdot 2,0 \cdot 94,87 \cdot 20 \cdot (0,4 \cdot 94,87) - \frac{94,87 - 58,82}{400} \cdot 62,8 \cdot 43,478 \left(\frac{94,87 - 58,82}{2}\right)$$

$$M_{Rd} = 320158 + 465465,97 + 26917,77 - 11173,30 - 115204,06 - 4435,57$$

$$M_{Rd} = 681728,81 \text{ kNcm} = 6817,29 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Ed} = 2439,50 \text{ kNm} < M_{Rd} = 6817,29 \text{ kNm}$$

Zid ima zadovoljavajuću nosivost na savijanje.

### 7.5. Zahtijevana duktilnost zida u prizemlju (pozicija 100)

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

Zahtijevana duktilnost određena je izrazima:

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

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

Gdje je:

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

Osnovna vrijednost faktora ponašanja za pravilne konstrukcije jednaka je faktoru ponašanja pa je  $q_0 = q = 3,0$ . Prvi period u smjeru promatranog zida je  $T_1 = T_{1,y} = 0,91$  s. Za razred tla C je rubni period  $T_C = 0,6$  s.

Obzirom da  $T_1 = 0,91$  s  $\geq T_C = 0,6$  s, zahtijevana duktilnost iznosi:

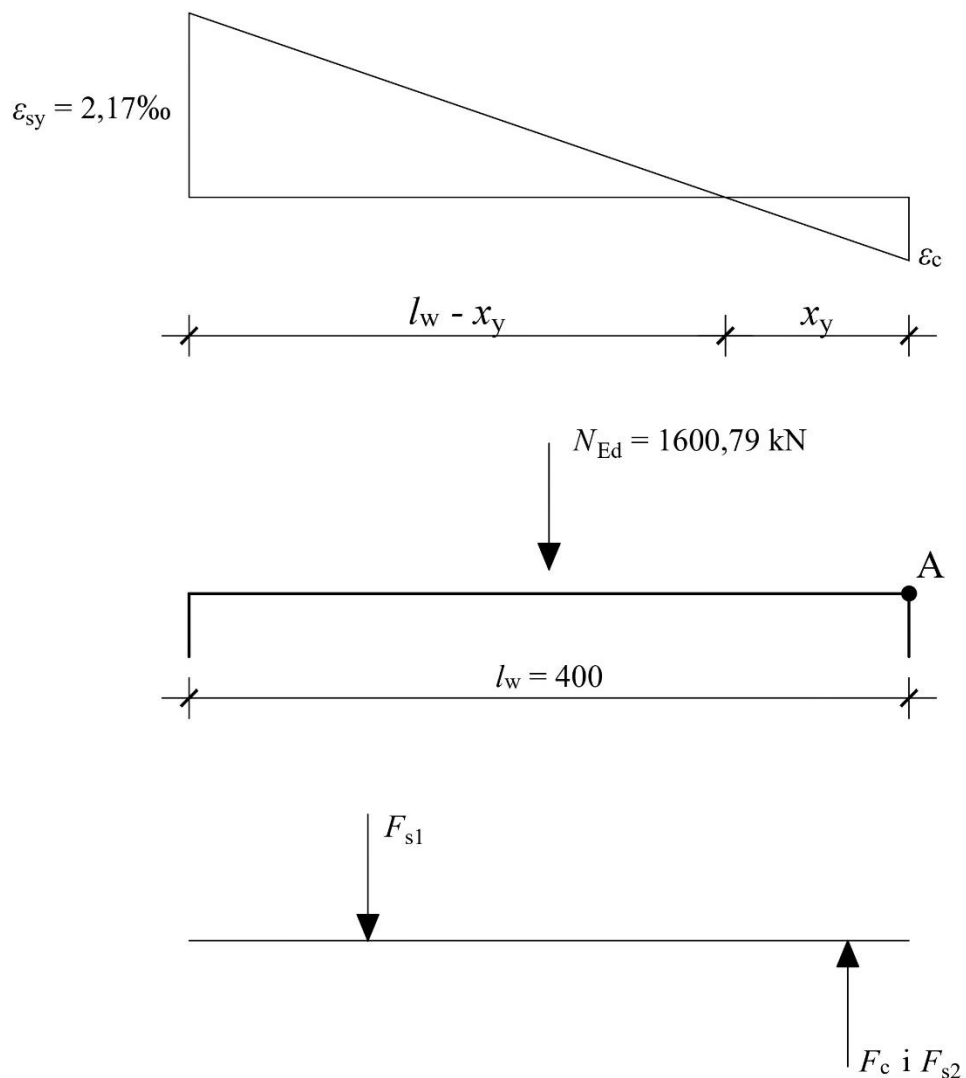
$$\mu_{\phi} = (2 \cdot 3,0 - 1) \cdot \frac{2439,50}{6817,29} = 1,79$$

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

$$\mu_{\phi} = 1,79 \cdot 1,5 = 2,69$$

### 7.6. Određivanje duktilnosti zida u prizemlju (poz.100)

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



**Slika 78.** Prikaz relativnih deformacija u zidu te prikaz vanjskih sila, unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu potrebnih za dobivanje duktilnosti zida

$$\sum N = 0$$

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

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

Iz sličnosti trokuta prema slici 78. izvodi se izraz za duljinu tlačnog područja  $x_y$ :

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

$$x_y = l_w \cdot \frac{\varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{400 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

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

$$1600,79 + 43,478 \cdot 62,8 \cdot 0,5 \cdot \left( \frac{400 - \frac{400 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{400} \right) =$$

$$62,8 \cdot 0,5 \cdot \left( \frac{\frac{400 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{400} \right) \cdot \varepsilon_c \cdot 20000 + 0,5 \cdot \frac{400 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} \cdot 20 \cdot \varepsilon_c \cdot 3300$$

$$1600,79 + 1365,21 - \frac{1365,21 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{628000 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c} + \frac{13200000 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

$$3,474 + 1600,79 \varepsilon_c + 2,963 + 1365,21 \cdot \varepsilon_c - 1365,21 \cdot \varepsilon_c = \varepsilon_c^2 (628000 + 13200000)$$

$$\varepsilon_c^2 - 1,158 \cdot 10^{-4} \varepsilon_c - 4,655 \cdot 10^{-7} = 0$$

$$\varepsilon_c = 7,426 \cdot 10^{-4}$$

Duljina tlačnog područja  $x_y$ :

$$x_y = \frac{400 \cdot 7,426 \cdot 10^{-4}}{0,00217 + 7,426 \cdot 10^{-4}} = 101,98 \text{ cm}$$

Zakrivljenost pri popuštanju:

$$\frac{1}{r_y} = \frac{\varepsilon_c}{x_y} = \frac{7,426 \cdot 10^{-4}}{101,98} = 7,282 \cdot 10^{-6}$$

Zakrivljenost pri slomu:

$$\frac{1}{r_u} = \frac{\varepsilon_c}{x_u} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{94,87} = 3,689 \cdot 10^{-5}$$

Duktilnost zida:

$$\mu_\phi = \frac{1/r_u}{1/r_y} = \frac{3,689 \cdot 10^{-5}}{7,282 \cdot 10^{-6}} = 5,07$$

Duktilnost zida  $\mu_\phi = 5,07$  je veća od zahtijevane duktilnosti  $\mu_\phi = 2,69$  te nema potrebe za ovijanjem kritičnih područja zida. Zid zadovoljava uvjete nosivosti i duktilnosti.

## 7.7. Određivanje proračunskih sila zida 1.kata (pozicija 200)

Vrijednosti su očitane na jednak način kao i za zid ZX4\_5 poz. 100 (poglavlje 7.1).

**Tablica 14.** Unutarnje sile na dnu zida ZX4\_5 poz.200

Kombinacija opterećenja	$N$ [kN]	$V_y$ [kN]	$V_z$ [kN]	$M_y$ [kNm]	$M_z$ [kNm]
GSN	1688,84	-	7,05	1,79	-
Nazovistalna kombinacija	1059,51	-	4,69	1,31	-
Potresna kombinacija	1212,38	748,61	20,97	17,85	953,18

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

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed,y} = 748,61 \cdot 1,5 = 1122,92 \text{ kN}$$

**Tablica 15.** Unutarnje sile na dnu zida ZX4\_5 poz. 200 za dimenzioniranje

$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
1688,84	1059,51	1122,92	20,97	17,85	953,18

## 7.8. Dimenzioniranje zida 1.kata (pozicija 200)

Ulazni podatci:

Beton:	C30/37
Čelik:	B500B
Debljina zida:	$b_w = 20 \text{ cm}$
Duljina zida:	$l_w = 400 \text{ cm}$
Visina zida:	$h_w = 1400 \text{ cm}$
Visina etaže:	$h_e = 280 \text{ cm}$
Svijetla visina etaže:	$h_s = 260 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3,0 \text{ cm}$



### 7.8.1. Uzdužna sila u zidu

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

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot I_w \cdot f_{cd}} = \frac{1688,84}{20 \cdot 400 \cdot 2,0} = 0,11 < 0,4$$

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

### 7.8.2. Armatura hrpta

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

#### 7.8.2.1. Horizontalna armatura hrpta

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu  $V_{Ed,y} = 1122,92$  kN (neovisno o usporedbi sa nosivošću hrpta bez poprečne armature  $V_{Rd,c}$ ). Postavljaju se dvije mreže, jedna uz svaki rub zida. Pretpostavlja se promjer armature  $\phi 10$ .

Razmak pretpostavljene armature za preuzimanje sile  $V_{Ed} = 1122,92$  kN iznosi:

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \text{ctg} \theta}{V_{Ed}} = 2 \cdot 0,785 \cdot 43,478 \cdot \frac{0,8 \cdot 400 \cdot 1,0}{1122,92} = 19,45 \text{ cm}$$

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

#### 7.8.2.2. Vertikalna armatura hrpta

Vertikalna armatura služi za preuzimanje momenta van ravnine  $M_{Ed,y} = 17,85$  kNm.

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

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

Mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{5,24 \cdot 43,478}{100 \cdot 15,5 \cdot 2,0} = 0,073$$

Očitano iz *Tablica 4.1 (Betonske konstrukcije 1; Sorić, Kišiček)* za  $\omega = 0,073$ :

$$\mu_{Rd} = 0,070$$

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,070 \cdot 400 \cdot 15,5^2 \cdot 2,0 = 13454 \text{ kNcm} = 134,54 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Rd,y} = 134,54 \text{ kNm} > M_{Ed,y} = 17,85 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti je zadovoljen.

Napomena: Nosivost hrpta na savijanje je proračunavana uz zanemarivanje uzdužnih vertikalnih sila jer su sile relativno male i njihovo zanemarivanje je na strani sigurnosti ( $v_{Ed,max} = 0,11$ , a  $v_{Ed,min} = 0,07$ ). Za ovaj slučaj s povećanjem sile povećava se i nosivost na savijanje.

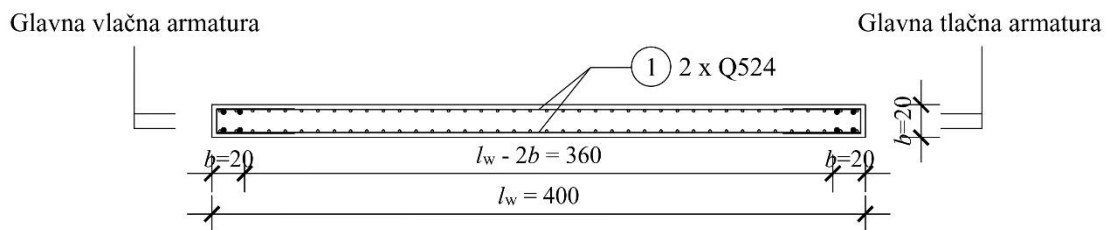
### 7.8.2.3. Minimalna i maksimalna armatura hrpta

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

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

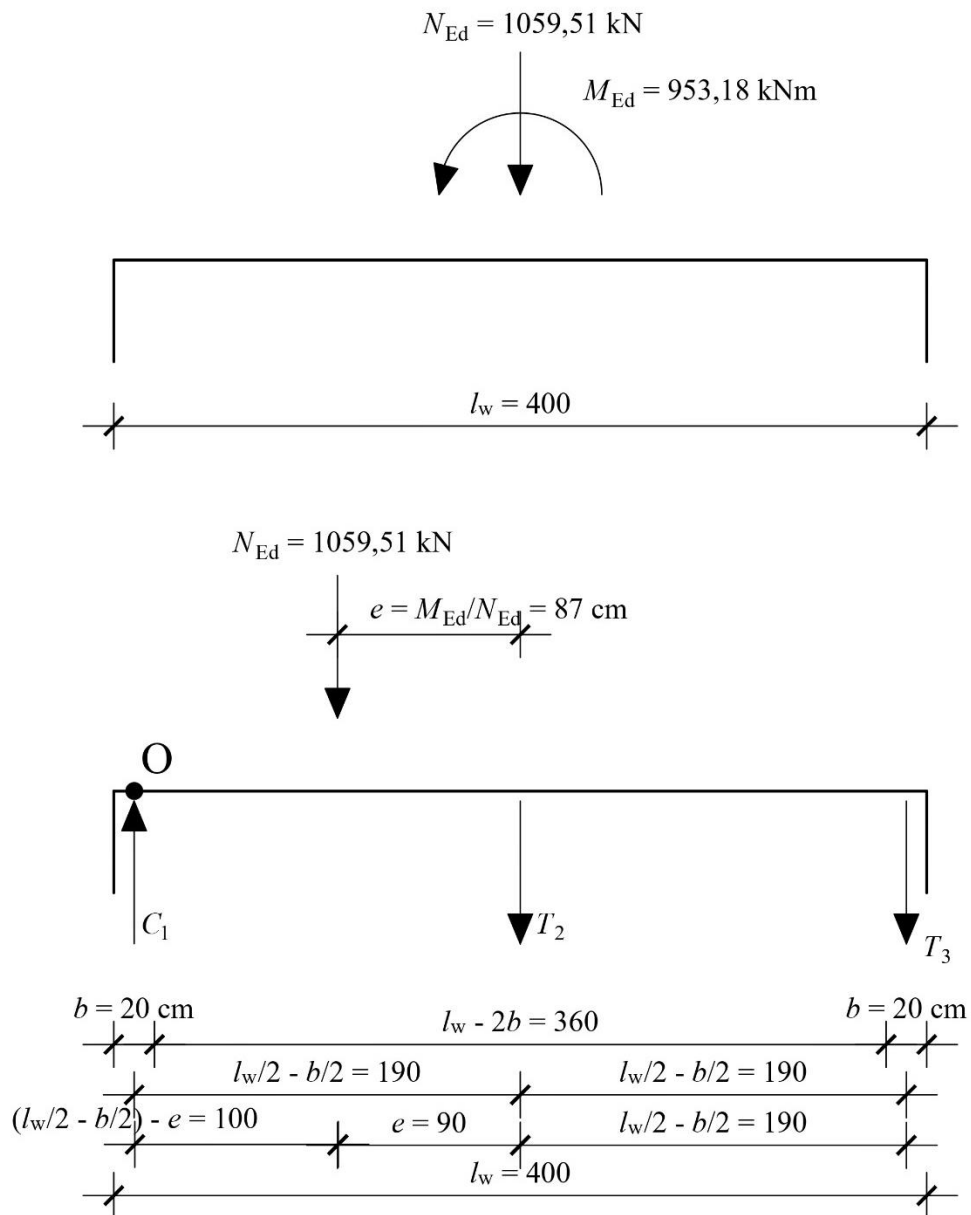
## 7.9. Određivanje armature kritičnog polja zida u prizemlju (pozicija 200)

Na slici 79. je prikazan poprečni presjek zida sa dimenzijama i odabranom armaturnom mrežom hrpta. Dimenzije kritičnog područja radi jednostavnosti proračuna zadana su kao kvadrati dimenzija  $20 \times 20 \text{ cm}$ . Prema tome,  $l_w - 2b$  je duljina hrpta zida.



**Slika 79.** Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom

Uzdužni presjek zida sa vrijednostima za uzdužnu silu i moment savijanja u ravnini zida je prikazan na slici 80.



**Slika 80.** Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom

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

Ravnoteža momenata oko točke O:

$$\sum M_O = 0$$

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

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

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

Gdje je:

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

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

Vrijednost sile  $T_2$ :

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

Vrijednost sile  $T_3$ :

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

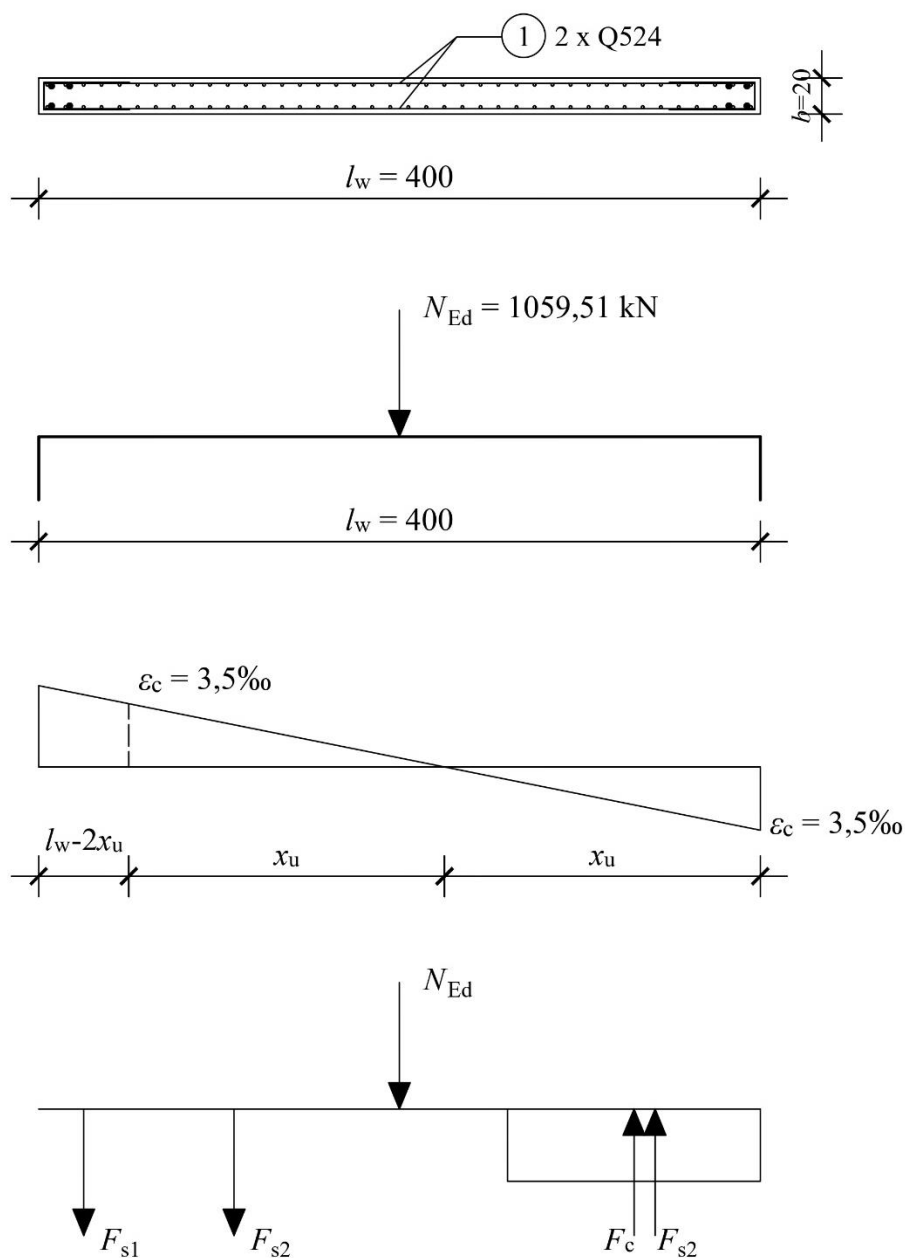
$$\frac{-\left\{ 1059,51 \cdot \left[ \left( \frac{400 - 20}{2} \right) - 87 \right] + 455,65 \cdot (400 - 2 \cdot 20) \cdot \left( \frac{400}{2} - \frac{20}{2} \right) \right\}}{400 - 20} =$$

$$T_3 = -82304,18 \text{ kN} < 0$$

Mreže koje su proračunate za središnji dio zida dostatne su da preuzmu uzdužnu tlačnu silu i moment savijanja u ravnini zida jer je  $T_3 < 0$ . **Na krajeve zida postavljena je konstruktivna armatura  $4\phi 14$ .** U nastavku se konstruktivna armatura neće uzimati u obzir u proračunu.

### 7.10. Provjera nosivosti zida na moment savijanja u ravnini

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



**Slika 81.** Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutarnjim i vanjskim silama

$$\sum N = 0$$

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

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

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

Ako se uzme u obzir da su:

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

$$f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{uk} = 2 \cdot A_{prov} \cdot l_w = 2 \cdot 5,24 \cdot 4,0 = 41,92 \text{ cm}^2$$

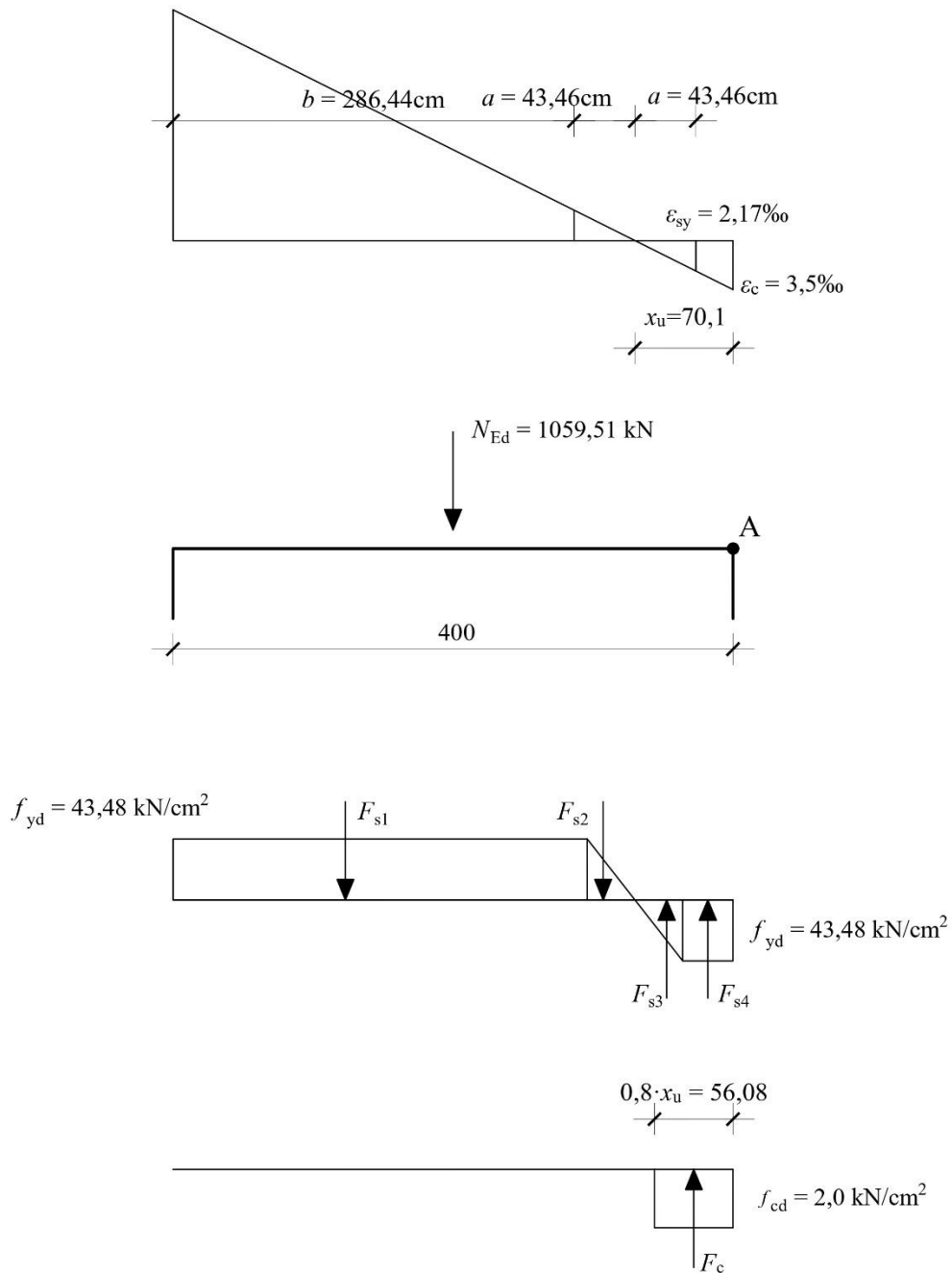
Na temelju ovih izraza dobije se vrijednost  $x_u$ :

$$1059,51 + 43,478 \cdot 41,92 - 2 \cdot 43,478 \cdot 41,92 \cdot \frac{x_u}{400} = 0,8 \cdot x_u \cdot 20 \cdot 2,0$$

$$2882,11 = 41,11 x_u$$

$$x_u = 70,10 \text{ cm}$$

U nastavku na slici 82. su prikazane vanjske sile  $N_{Ed}$  koje djeluju na zid te unutarnje sile u čeliku  $F_{s1}$  do  $F_{s4}$  i unutarnje sile u betonu  $F_c$ . Na slici je označena i točka A s obzirom na koju će se računati suma momenata kako bi se proračunala nosivost na moment savijanja.



**Slika 82.** Prikaz relativnih deformacija u zidu u trenutku sloma i prikaz vanjskih i unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu

Proračun nosivosti na savijanje:

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

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

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

$$M_{Rd} = 1059,51 \cdot \frac{400}{2} + \frac{286,44}{400} \cdot 41,92 \cdot 43,478 \left(\frac{286,44}{2} + 43,46 + 70,10\right) + \frac{43,46}{400} \cdot 41,92 \cdot 43,478 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 41,92 + 70,10\right) \cdot 0,5 - \frac{43,46}{400} \cdot 41,92 \cdot 43,478 \left(70,10 - \frac{2}{3} \cdot 41,92\right) \cdot 0,5 - 0,8 \cdot 2,0 \cdot 70,10 \cdot 20 \cdot (0,4 \cdot 70,10) - \frac{70,10 - 41,92}{400} \cdot 41,92 \cdot 43,478 \left(\frac{70,10 - 41,92}{2}\right)$$

$$M_{Rd} = 211902 + 335139,56 + 9707,86 - 4173,71 - 62899,33 - 1809,18$$

$$M_{Rd} = 487867,2 \text{ kNm} = 4878,67 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Ed} = 953,18 \text{ kNm} < M_{Rd} = 4878,67 \text{ kNm}$$

Zid ima zadovoljavajuću nosivost na savijanje.

### 7.11. Zahtijevana duktilnost zida 1.kata (pozicija 200)

Obzirom da  $T_1 = 0,91 \text{ s} \geq T_C = 0,6 \text{ s}$ , zahtijevana duktilnost iznosi:

$$\mu_\phi = (2 \cdot 3,0 - 1) \cdot \frac{953,18}{4878,67} = 0,98$$

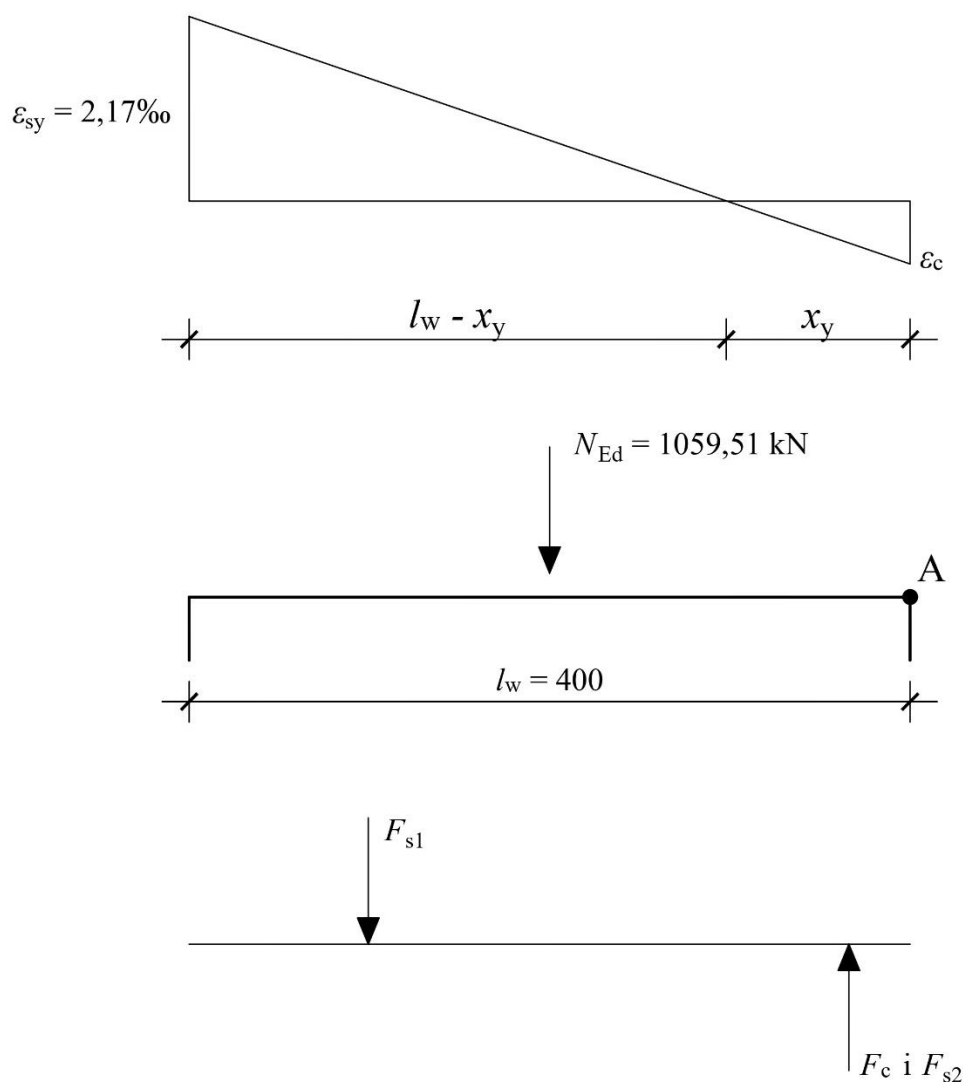
Zato što je korišten čelik razreda duktilnosti B, zahtijevanu duktilnost se povećava za 50 %:

$$\mu_\phi = 0,98 \cdot 1,5 = 1,47$$



### 7.12. Određivanje duktilnosti zida 1.kata (poz.200)

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



**Slika 83.** Prikaz relativnih deformacija u zidu te prikaz vanjskih sila, unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu potrebnih za dobivanje duktilnosti zida

$$\sum N = 0$$

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

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

Iz sličnosti trokuta prema slici 78. izvodi se izraz za duljinu tlačnog područja  $x_y$ :

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

$$x_y = l_w \cdot \frac{\varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{400 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

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

$$1059,51 + 43,478 \cdot 41,92 \cdot 0,5 \cdot \left( \frac{400 - \frac{400 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{400} \right) =$$

$$41,92 \cdot 0,5 \cdot \left( \frac{\frac{400 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{400} \right) \cdot \varepsilon_c \cdot 20000 + 0,5 \cdot \frac{400 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} \cdot 20 \cdot \varepsilon_c \cdot 3300$$

$$1059,51 + 911,30 - \frac{911,30 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{419200 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c} + \frac{13200000 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

$$2,30 + 1059,51 \varepsilon_c + 1,978 + 911,30 \cdot \varepsilon_c - 911,30 \cdot \varepsilon_c = \varepsilon_c^2 (419200 + 13200000)$$

$$\varepsilon_c^2 - 7,780 \cdot 10^{-5} \varepsilon_c - 3,141 \cdot 10^{-7} = 0$$

$$\varepsilon_c = 6,007 \cdot 10^{-4}$$

Duljina tlačnog područja  $x_y$ :

$$x_y = \frac{400 \cdot 6,007 \cdot 10^{-4}}{0,00217 + 6,007 \cdot 10^{-4}} = 86,72 \text{ cm}$$

Zakrivljenost pri popuštanju:

$$\frac{1}{r_y} = \frac{\varepsilon_c}{x_y} = \frac{6,007 \cdot 10^{-4}}{86,72} = 6,927 \cdot 10^{-6}$$

Zakrivljenost pri slomu:

$$\frac{1}{r_u} = \frac{\varepsilon_c}{x_u} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{70,1} = 4,993 \cdot 10^{-5}$$

Duktilnost zida:

$$\mu_\phi = \frac{1/r_u}{1/r_y} = \frac{4,993 \cdot 10^{-5}}{6,007 \cdot 10^{-6}} = 8,31$$

Duktilnost zida  $\mu_\phi = 8,31$  je veća od zahtijevane duktilnosti  $\mu_\phi = 1,47$  te nema potrebe za ovijanjem kritičnih područja zida. Zid zadovoljava uvjete nosivosti i duktilnosti.

### 7.13. Rekapitulacija odabrane armature zida

Odabrana armatura zida ZX4\_5 u prizemlju (na poziciji 100) je armaturna mreža Q 785 uz svako lice zida, cijelom duljinom zida.

Odabrana armatura zida ZX4\_5 prvog kata (na poziciji 200) je armaturna mreža Q 524 uz svako lice zida, cijelom duljinom zida.

Odabrana armatura zida ZX4\_5 ostalih katova je jednaka kao i odabrana armatura 1.kata.

Konstruktivna armatura jednaka je za sve pozicije (4 $\phi$ 14).

## 8. Zaključak

U ovom diplomskom radu cilj je bio provesti statički i dinamički proračun armiranobetonske zgrade stambene namjene te izvršiti dimenzioniranje odabranih elemenata konstrukcije (ploča karakterističnog kata, greda, zid i stubište) prema važećim normama.

Proračun reznih sila karakteristične ploče kata uslijed djelovanja stalnog i uporabnog opterećenja prema prethodno provedenoj analizi opterećenja izvršen je na ravninskom modelu programskim paketom „SCIA Engineer 22.1“. Ploča je modelirana kao plošni element s linijskim osloncima na mjestima greda i nosivih zidova. Vlastitu težinu ploče program automatski očitava, dok su dodatno stalno i uporabno opterećenje uneseni u model. Dimenzioniranje ploče izvršeno je za najnepovoljniji slučaj djelovanja stalnog i kombinaciju uporabnog opterećenja. Proračunske rezne sile za dimenzioniranje grede također su dobivene za najnepovoljniji slučaj djelovanja stalnog i uporabnog opterećenja.

Proračun seizmičkog opterećenja na zgradu proveden je na prostornom modelu programskim paketom „SCIA Engineer 22.1“. U modelu su ploče i zidovi modelirani plošnim, a grede štapnim elementima. Na istom modelu proveden je i proračun reznih sila uslijed djelovanja stalnog i uporabnog opterećenja te seizmičkog opterećenja AB zida. Dimenzioniranje AB zida provedeno je za dobivene vrijednosti proračunskih sila iz mjerodavne seizmičke kombinacije.

## 9. Literatura

- [1] 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
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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*
- [5] HRN EN 1997-1:2012, *Eurokod 7: Geotehničko projektiranje -- 1. dio: Opća pravila (EN 1997-1:2004+AC:2009)*, *Eurocode 7: Geotechnical design -- Part 1: General rules (EN 1997-1:2004+AC:2009)*. European Committee for Standardization, Bruxelles
- [6] HRN EN 1998-1:2011, *Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004+AC:2009)*, *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
- [7] Sorić, Z., Kišićek, T. (2014). *Betonske konstrukcije 1*. Sveučilište u Zagrebu. Građevinski fakultet. Zagreb.
- [8] Sorić, Z., Kišićek, T. (2018). *Betonske konstrukcije 2*. Sveučilište u Zagrebu. Građevinski fakultet. Zagreb.
- [9] Građevinski fakultet u Zagrebu. *BETONSKE I ZIDANE KONSTRUKCIJE 2*. <https://www.grad.unizg.hr/predmet/bizk2>
- [10] Građevinski fakultet u Zagrebu. *BETONSKE KONSTRUKCIJE 3*. [https://www.grad.unizg.hr/predmet/betkon3\\_a](https://www.grad.unizg.hr/predmet/betkon3_a)

## Popis slika

<i>Slika 1. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta.....</i>	4
<i>Slika 2. Statička shema opterećenja stubišta.....</i>	6
<i>Slika 3. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta.....</i>	11
<i>Slika 4. Presjek AB ploče - stambeni prostor .....</i>	17
<i>Slika 5. Presjek AB ploče - hodnik.....</i>	18
<i>Slika 6. Presjek AB ploče - natkrivena terasa .....</i>	18
<i>Slika 7. Prikaz modela ploče .....</i>	21
<i>Slika 8. Prikaz stalnog opterećenja .....</i>	21
<i>Slika 9. Momenti u smjeru x [kNm].....</i>	22
<i>Slika 10. Momenti u smjeru y [kNm].....</i>	22
<i>Slika 11. Opterećenje na pozicijama 401_1, 408, 401_2, 407, 406_3 .....</i>	24
<i>Slika 12. Opterećenje na pozicijama 406_1, 406_2, 408, 403, 405 .....</i>	24
<i>Slika 13. Opterećenje na pozicijama 402_1, 402_2, 406_3, 407.....</i>	25
<i>Slika 14. Opterećenje na pozicijama 406_1, 406_2 i 404.....</i>	25
<i>Slika 15. Opterećenje na pozicijama 401_1, 401_2, 404.....</i>	26
<i>Slika 16. Opterećenje na pozicijama 406_1, 406_2, 408, 407, 406_3.....</i>	26
<i>Slika 17. Momenti u smjeru x za poz. 401_1, 401_2, 408, 407, 406_3.....</i>	27
<i>Slika 18. Momenti u smjeru x za poz. 406_1, 406_2, 408, 403, 405.....</i>	27
<i>Slika 19. Momenti u smjeru x za poz. 402_1, 402_2, 407, 406_1.....</i>	28
<i>Slika 20. Momenti u smjeru x za poz. 406_1, 406_2, 404.....</i>	28
<i>Slika 21. Momenti u smjeru x za poz. 401_1, 401_2, 404.....</i>	29
<i>Slika 22. Momenti u smjeru x za poz. 406_1, 406_2, 408, 407, 406_3.....</i>	29
<i>Slika 23. Momenti u smjeru y za poz. 401_1, 401_2, 408, 407, 406_3.....</i>	30
<i>Slika 24. Momenti u smjeru y za poz. 406_1, 406_2, 408,403,405.....</i>	30
<i>Slika 25. Momenti u smjeru y za poz. 402_1, 402_2, 407, 406_3.....</i>	31
<i>Slika 26. Momenti u smjeru y za poz. 406_1, 406_2, 403.....</i>	31
<i>Slika 27. Momenti u smjeru y za poz. 401_1, 401_2, 403.....</i>	32
<i>Slika 28. Momenti u smjeru y za poz. 406_1, 406_2, 408, 407, 406_3.....</i>	32
<i>Slika 29. Uporabno opterećenje na poz. 401_1 - 402_1.....</i>	34

<i>Slika 30. Uporabno opterećenje na poz. 401_1 - 406_1</i> .....	34
<i>Slika 31. Uporabno opterećenje na poz. 402_1 - 406_1 - 408</i> .....	34
<i>Slika 32. Uporabno opterećenje na poz. 408 - 402_2 - 406_2</i> .....	35
<i>Slika 33. Uporabno opterećenje na poz. 406_2 - 402_2</i> .....	35
<i>Slika 34. Uporabno opterećenje na poz. 406_2 - 402_2</i> .....	35
<i>Slika 35. Uporabno opterećenje na poz. 403 - 407</i> .....	36
<i>Slika 36. Uporabno opterećenje na poz. 403 - 404</i> .....	36
<i>Slika 37. Uporabno opterećenje na poz. 404 - 406_3</i> .....	36
<i>Slika 38. Uporabno opterećenje na poz. 404 - 407</i> .....	37
<i>Slika 39. Uporabno opterećenje na poz. 405 - 406_3</i> .....	37
<i>Slika 40. Uporabno opterećenje na poz. 406_1 - 402_1 - 403</i> .....	37
<i>Slika 41. Uporabno opterećenje na poz. 408 - 402_1 - 401_1 - 404 - 405</i> .....	38
<i>Slika 42. Moment nad ležajem poz. 401_1 - 406_1</i> .....	38
<i>Slika 43. Moment nad ležajem poz. 401_1 - 402_1</i> .....	39
<i>Slika 44. Moment nad ležajem poz. 402_1 - 406_1 - 408</i> .....	39
<i>Slika 45. Moment nad ležajem poz. 408 - 402_2 - 406_2</i> .....	39
<i>Slika 46. Moment nad ležajem poz. 402_2 - 406_2</i> .....	40
<i>Slika 47. Moment nad ležajem poz. 401_2, 402_2</i> .....	40
<i>Slika 48. Moment nad ležajem poz. 403 - 407</i> .....	40
<i>Slika 49. Moment nad ležajem poz. 403 - 404</i> .....	41
<i>Slika 50. Moment nad ležajem poz. 404 - 406_3</i> .....	41
<i>Slika 51. Moment nad ležajem poz. 404 - 407</i> .....	41
<i>Slika 52. Moment nad ležajem poz. 405 - 406_3</i> .....	42
<i>Slika 53. Moment nad ležajem poz. 401_1 - 402_1 - 403</i> .....	42
<i>Slika 54. Moment nad ležajem poz. 408, 402_1, 401_2, 404, 405</i> .....	42
<i>Slika 55. Poprečna sila nad ležajevima od stalnog opterećenja</i> .....	65
<i>Slika 56. Poprečna sila nad ležajevima za mjerodavno uporabno opterećenje</i> .....	65
<i>Slika 57. Poprečni presjek grede poz. GX4_1</i> .....	67
<i>Slika 58. Položaj grede GX4_1 u tlocrtu</i> .....	67
<i>Slika 59. Reakcija ploče od stalnog opterećenja [kN/m]</i> .....	68
<i>Slika 60. Reakcija ploče od mjerodavnog uporabnog opterećenja [kN/m]</i> .....	68

<i>Slika 61. Statički sustav grede poz. GX1_1 .....</i>	69
<i>Slika 62. Poprečni presjek grede sa sudjelujućom širinom .....</i>	76
<i>Slika 63. Izometrija - prostorni model zgrade.....</i>	90
<i>Slika 64. Generirane mase za dodatnog stalno opterećenje .....</i>	92
<i>Slika 65. Generirane mase za uporabno opterećenje.....</i>	92
<i>Slika 66. Vrijednosti iz baze; Karta potresnih područja RH .....</i>	98
<i>Slika 67. Proračunski spektar odziva .....</i>	100
<i>Slika 68. Raspodjela mase pri modalnoj analizi .....</i>	101
<i>Slika 69. Prvi oblik vibriranja (period <math>T = 0,91</math> s) .....</i>	102
<i>Slika 70. Drugi oblik vibriranja (period <math>T = 0,79</math> s).....</i>	102
<i>Slika 71. Treći oblik vibriranja (period <math>T = 0,62</math> s) .....</i>	103
<i>Slika 72. Prikaz aktivacije masa.....</i>	103
<i>Slika 73. 3D model zgrade s označenim zidom ZX4_5.....</i>	104
<i>Slika 74. Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom.....</i>	108
<i>Slika 75. Uzdužni presjek zida s pripadajućim vanjskim i unutarnjim silama i momentima .....</i>	109
<i>Slika 76. Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutarnjim i vanjskim silama.....</i>	111
<i>Slika 77. Prikaz relativnih deformacija u zidu u trenutku sloma i prikaz vanjskih i unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu .....</i>	113
<i>Slika 78. Prikaz relativnih deformacija u zidu te prikaz vanjskih sila, unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu potrebnih za dobivanje duktilnosti zida.....</i>	116
<i>Slika 79. Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom.....</i>	121
<i>Slika 80. Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom.....</i>	122
<i>Slika 81. Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutarnjim i vanjskim silama.....</i>	124
<i>Slika 82. Prikaz relativnih deformacija u zidu u trenutku sloma i prikaz vanjskih i unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu .....</i>	126
<i>Slika 83. Prikaz relativnih deformacija u zidu te prikaz vanjskih sila, unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu potrebnih za dobivanje duktilnosti zida.....</i>	128



## Popis tablica

<b>Tablica 1.</b> <i>Momenti savijanja u polju od stalnog opterećenja</i> .....	23
<b>Tablica 2.</b> <i>Momenti savijanja nad ležajevima od stalnog opterećenja</i> .....	23
<b>Tablica 3.</b> <i>Momenti savijanja u polju od uporabnog opterećenja</i> .....	33
<b>Tablica 4.</b> <i>Momenti savijanja nad ležajevima od uporabnog opterećenja</i> .....	43
<b>Tablica 5.</b> <i>Proračunske vrijednosti momenta savijanja u polju</i> .....	44
<b>Tablica 6.</b> <i>Proračunske vrijednosti momenta savijanja nad ležajem</i> .....	44
<b>Tablica 7.</b> <i>Odabrana armatura u polju</i> .....	64
<b>Tablica 8.</b> <i>Odabrana armatura nad ležajem</i> .....	64
<b>Tablica 9.</b> <i>Parametri elastičnog projektnog spektra za spektar odziva I</i> .....	97
<b>Tablica 10.</b> <i>Razredi važnosti za zgrade</i> .....	97
<b>Tablica 11.</b> <i>Osnovne vrijednosti faktora ponašanja <math>q_0</math> za sustave pravilne po visini</i> .....	99
<b>Tablica 12.</b> <i>Unutarnje sile na dnu zida ZX4_5</i> .....	105
<b>Tablica 13.</b> <i>Unutarnje sile na dnu zida ZX4_5 za dimenzioniranje</i> .....	105
<b>Tablica 14.</b> <i>Unutarnje sile na dnu zida ZX4_5 poz.200</i> .....	119
<b>Tablica 15.</b> <i>Unutarnje sile na dnu zida ZX4_5 poz. 200 za dimenzioniranje</i> .....	119

## Grafički prilozi

List broj 1: Tlocrt prizemlja MJ 1:100

List broj 2: Tlocrt karakterističnog kata MJ 1:00

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

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

List broj 5: Pogled na zgradu – zapadno i južno pročelje MJ 1:100

List broj 6: Pogled na zgradu – istočno i sjeverno pročelje MJ 1:100

List broj 7: Plan pozicija karakterističnog kata MJ 1:100

List broj 8: Plan armature stubišta MJ 1:50

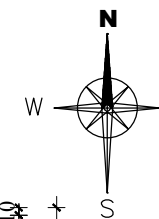
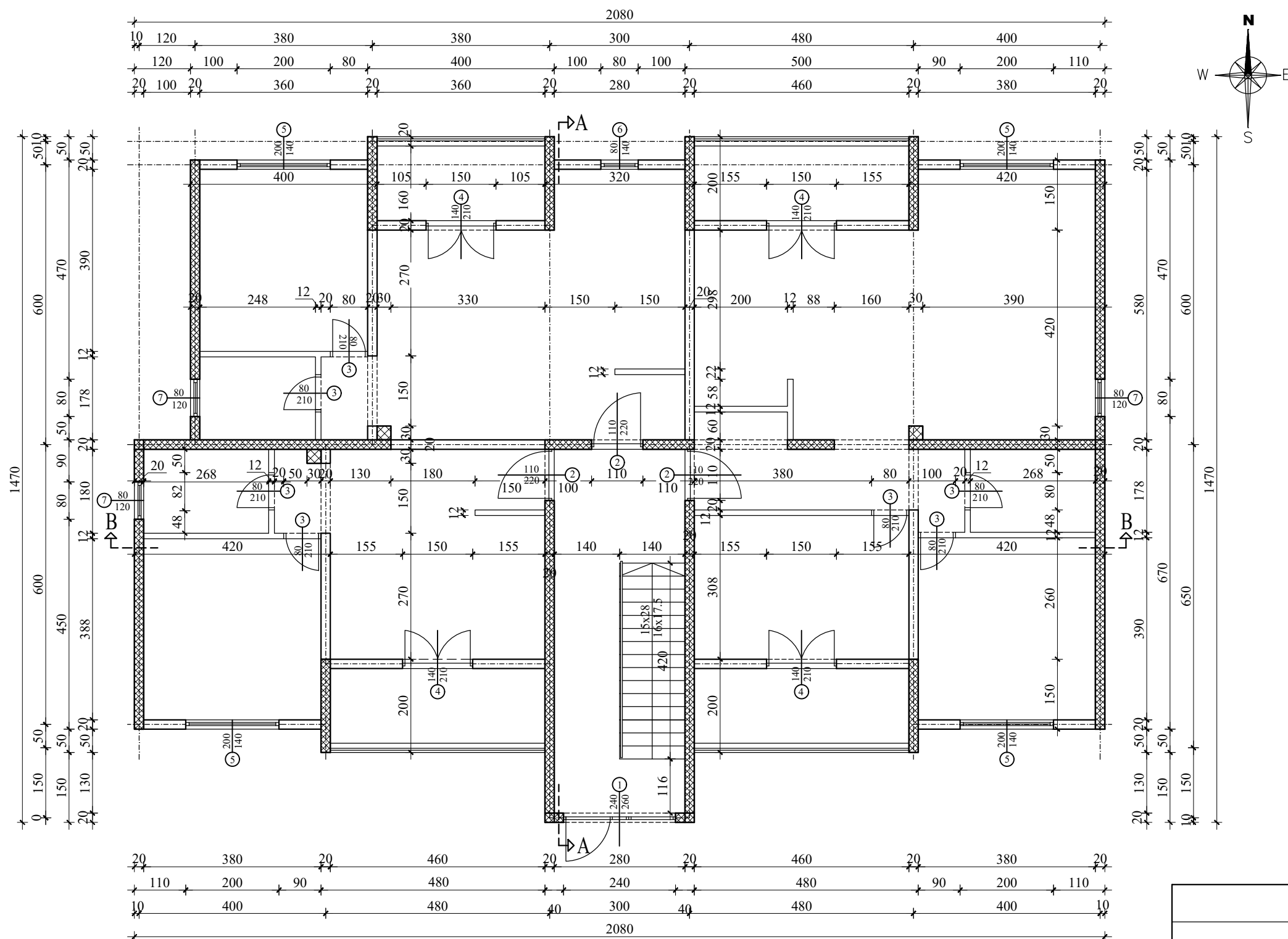
List broj 9: Plan armature ploče kata MJ 1:100

List broj 10: Plan armature grede MJ 1:25, MJ 1:20

List broj 11: Plan armature zida MJ 1:50

# TLOCRT PRIZEMLJA

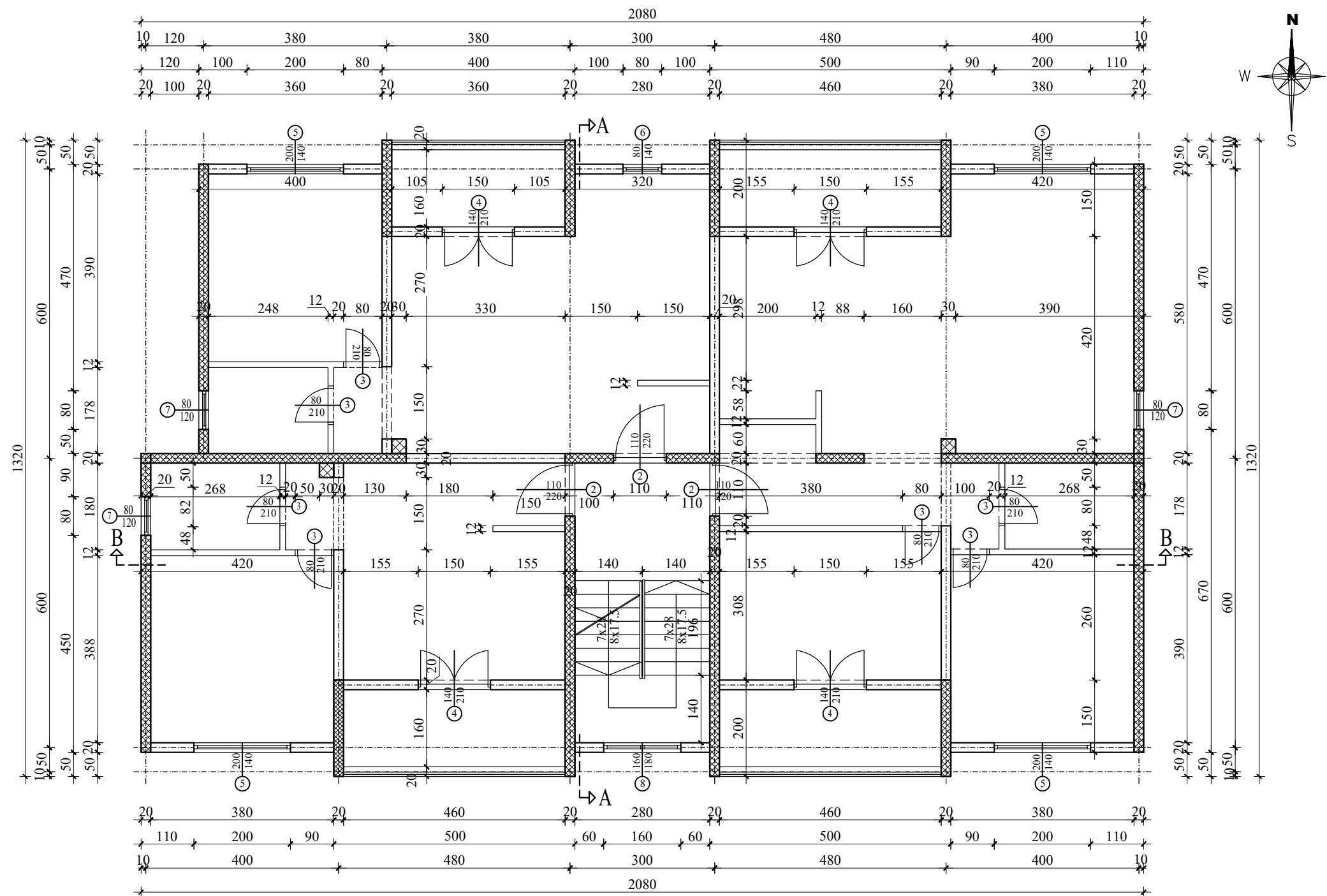
## MJ 1:100



Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта: Tlocrt prizemlja	
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: <b>1:100</b>
Datum: rujan 2023.	
Dora Jadreško	List broj 1

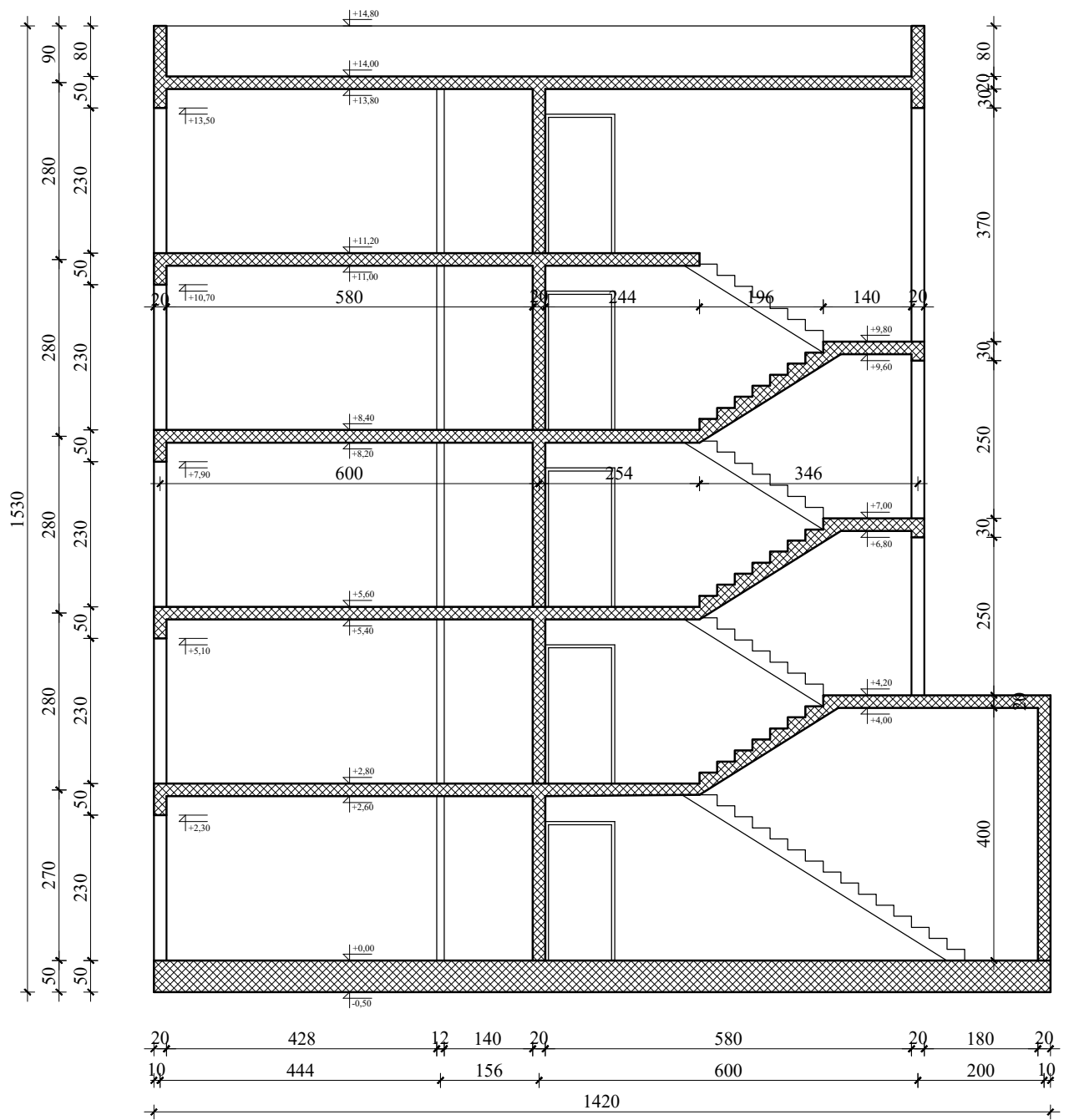
# TLOCRT KARAKTERISTIČNOG KATA

## MJ 1:100



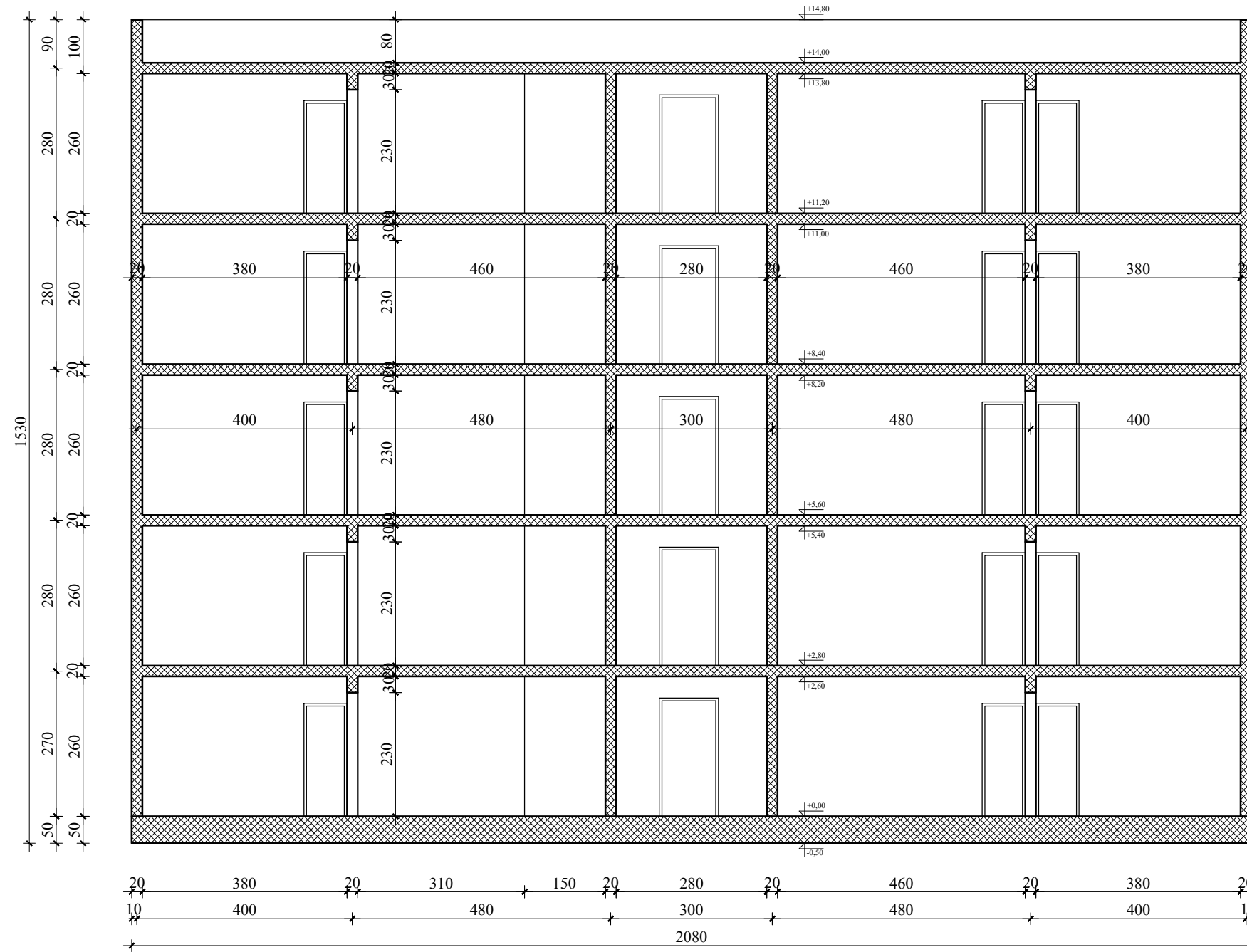
Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
<b>DIPLOMSKI RAD</b>	
Sadržaj nacрта:	Tlocrt karakterističnog kata
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: <b>1:100</b>
Datum: rujan 2023.	
Dora Jadreško	List broj 2

# PRESJEK A-A MJ 1:100



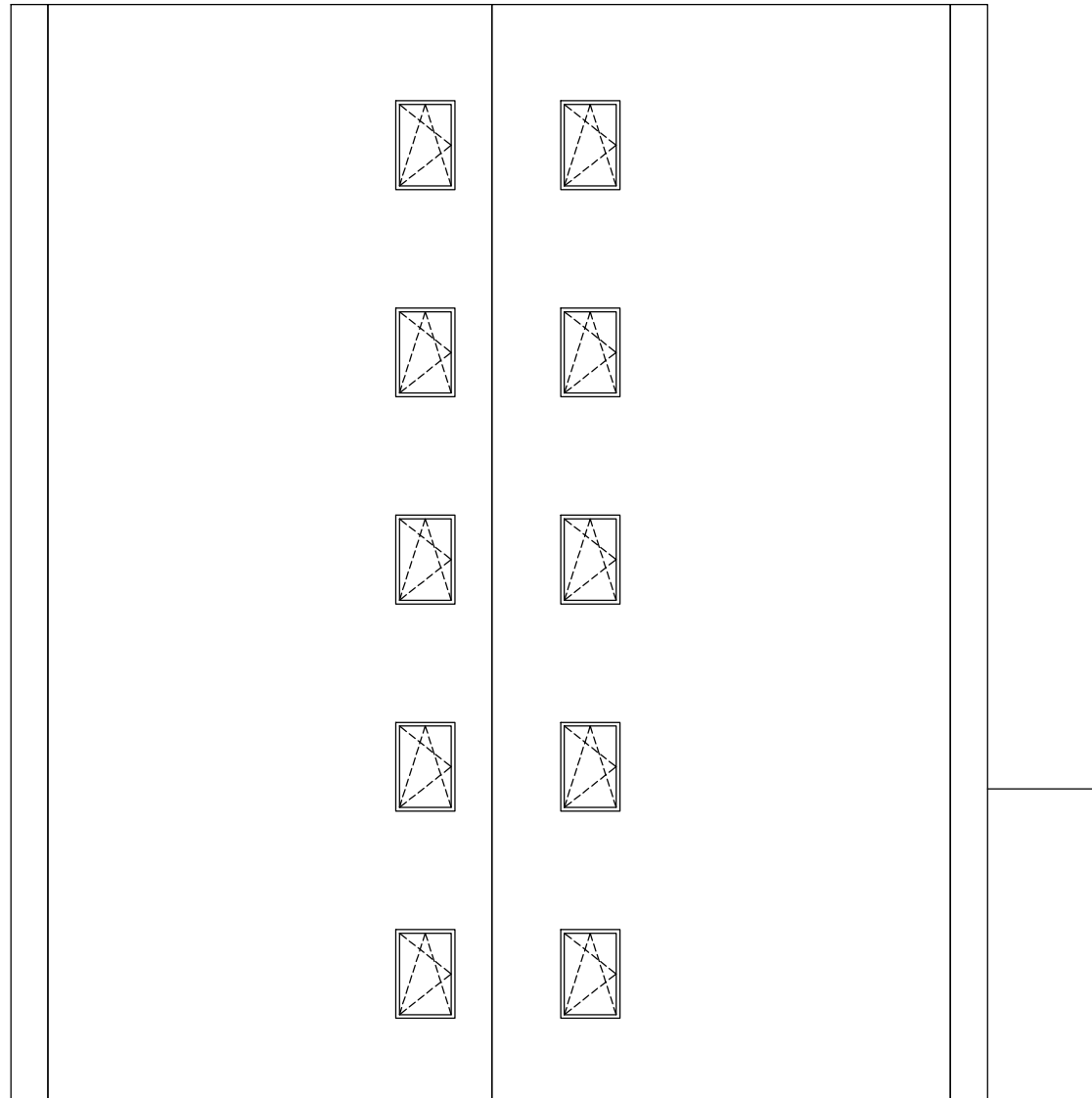
Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt:	Presjek A-A
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: <b>1:100</b>
Datum: rujun 2023.	
Dora Jadreško	List broj 3

# PRESJEK B-B MJ 1:100

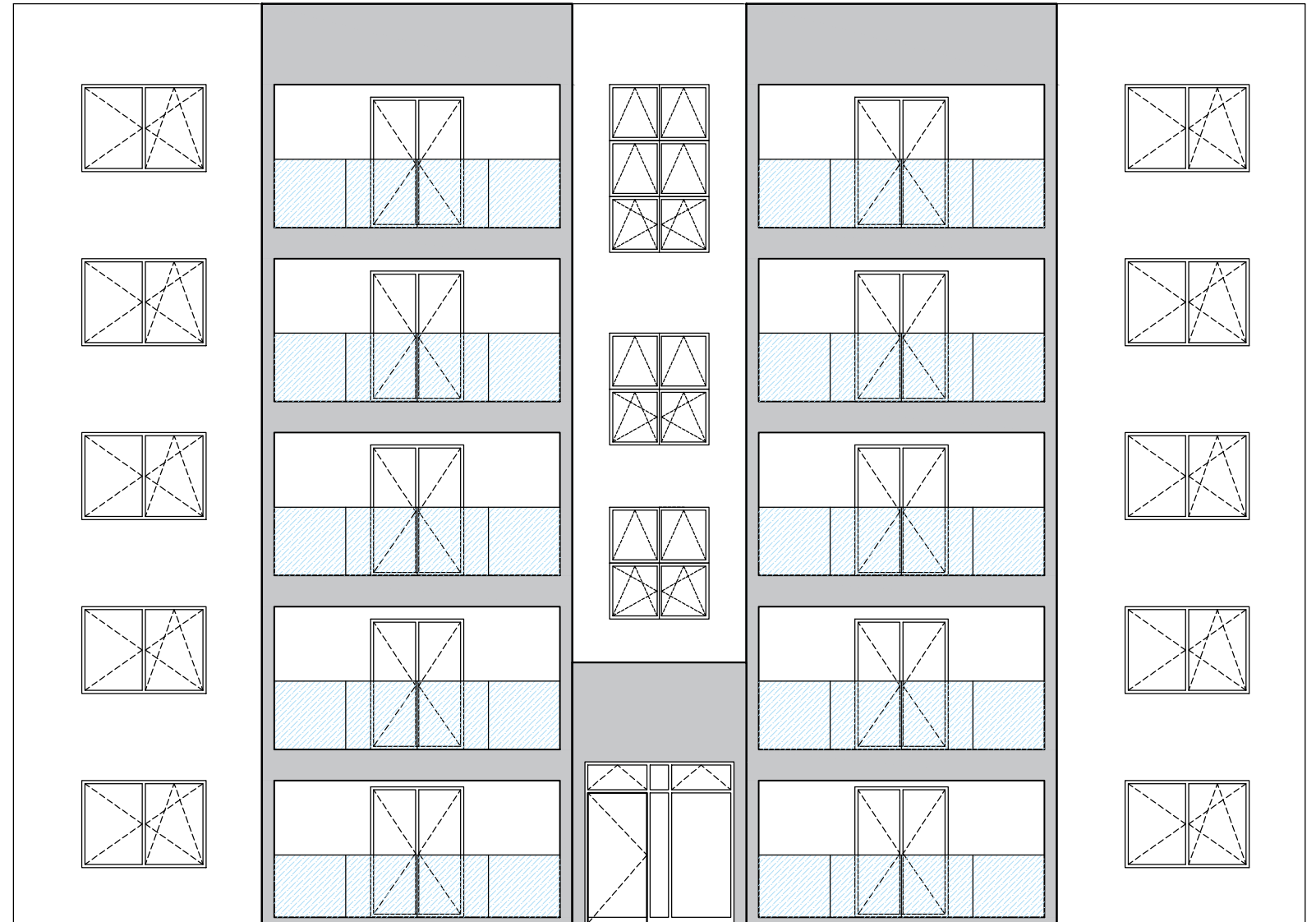


Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта:	Presjek B-B
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: <b>1:100</b>
Datum: rujan 2023.	
Dora Jadreško	List broj 4

ZAPADNO PROČELJE

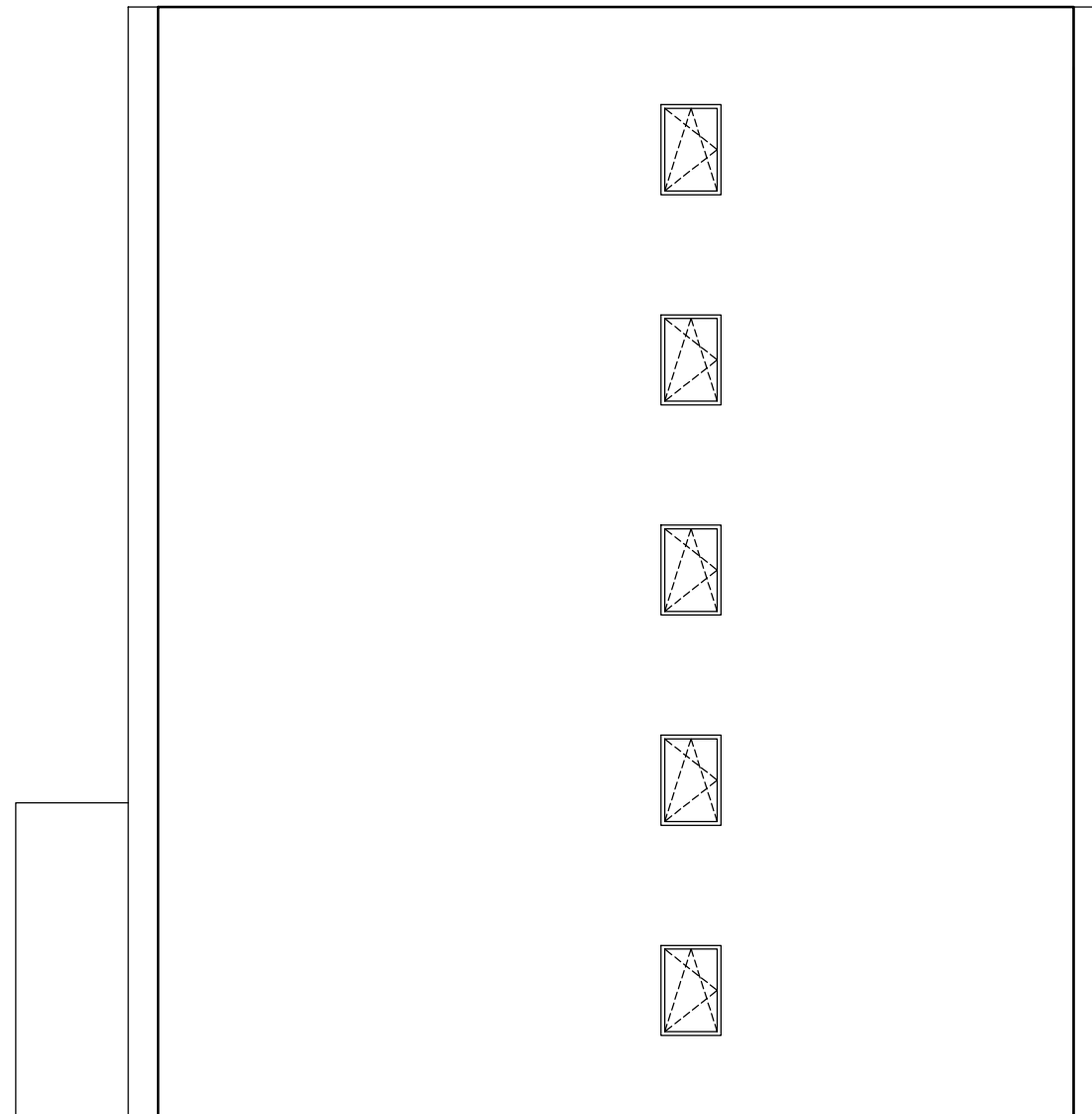


JUŽNO PROČELJE

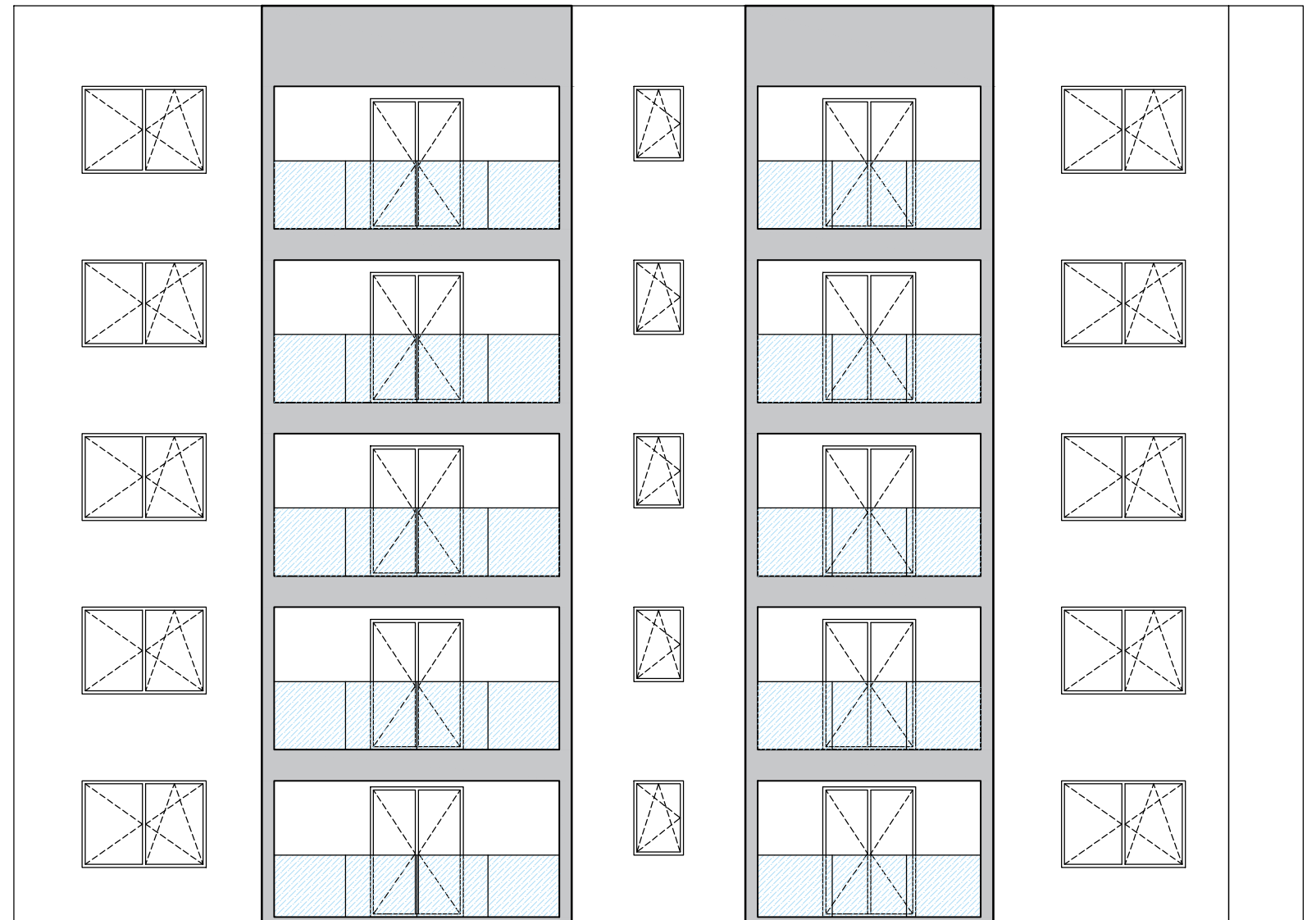


Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта: Pogled na zgradu - zapadno i južno pročelje	
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: <b>1:100</b>
Datum: rujan 2023.	
Dora Jadreško	List broj 5

ISTOČNO PROČELJE



SJEVERNO PROČELJE



Sveučilište u Zagrebu  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Sadržaj nacрта: Pogled na zgradu - istočno i sjeverno pročelje

Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček

Mjerilo:

1:100

Datum: rujan 2023.

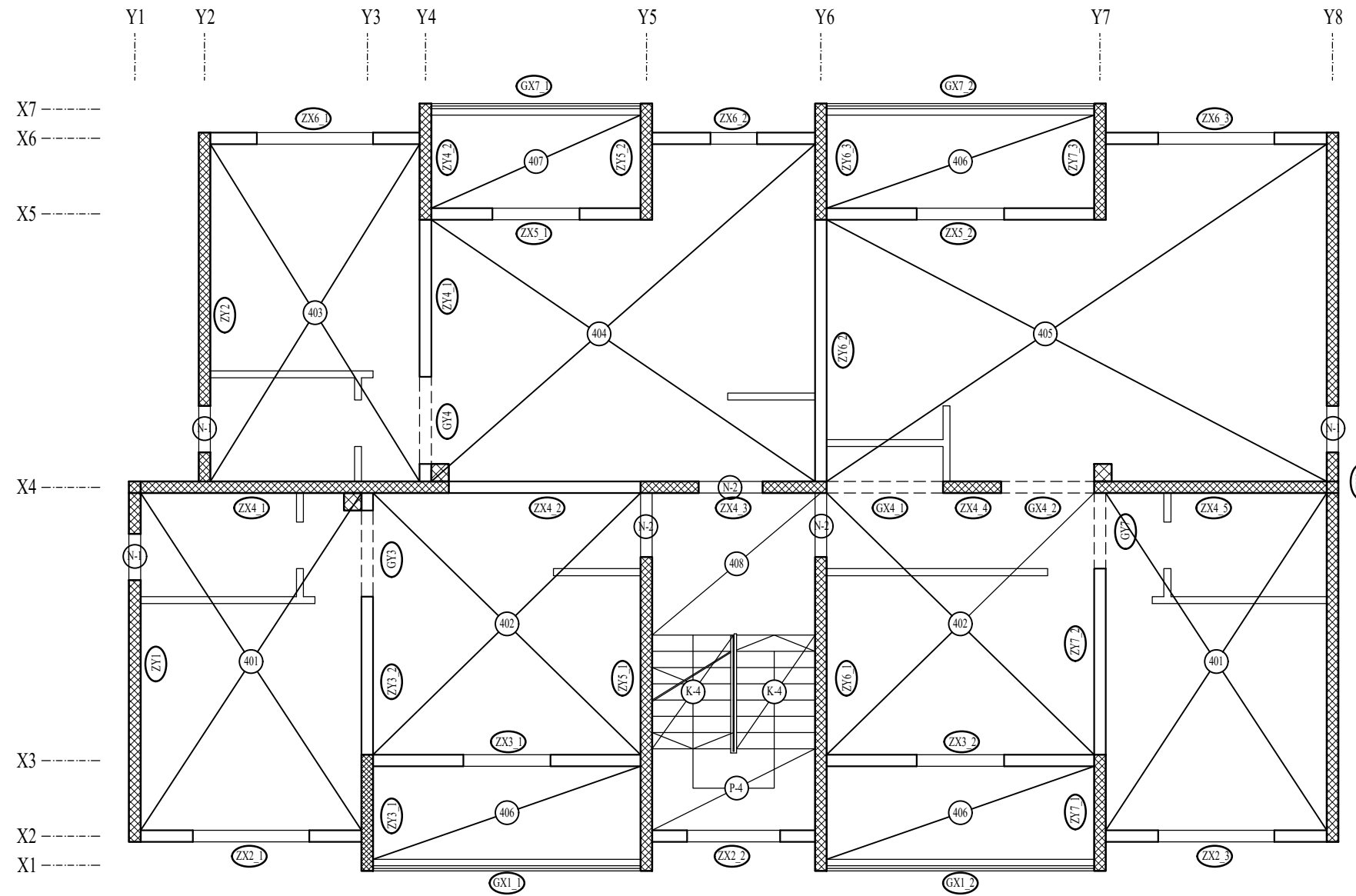
Dora Jadreško

List broj 6



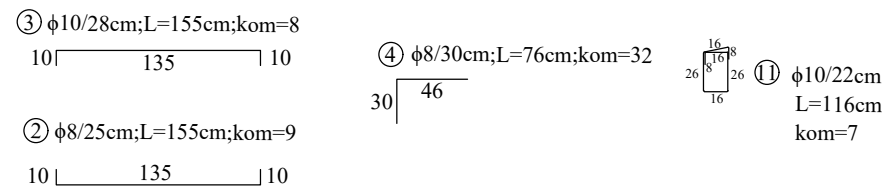
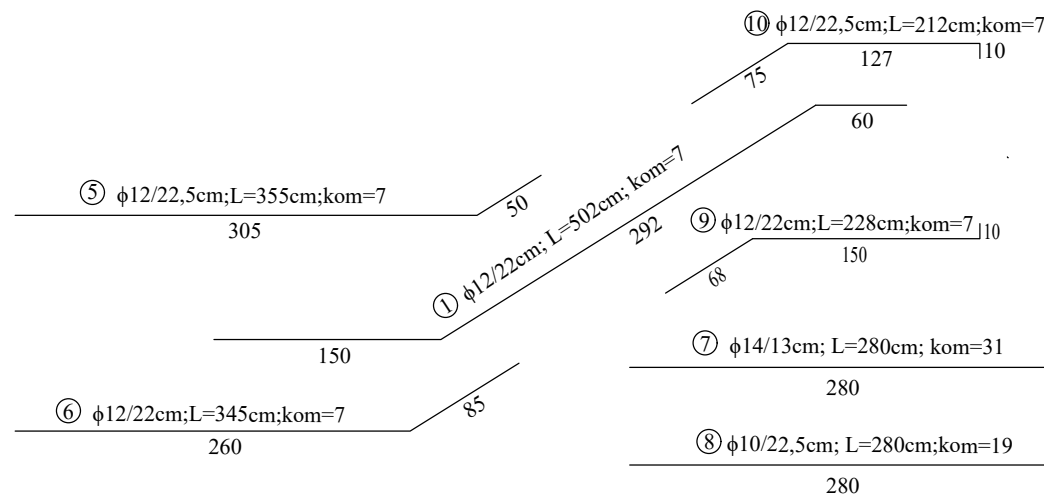
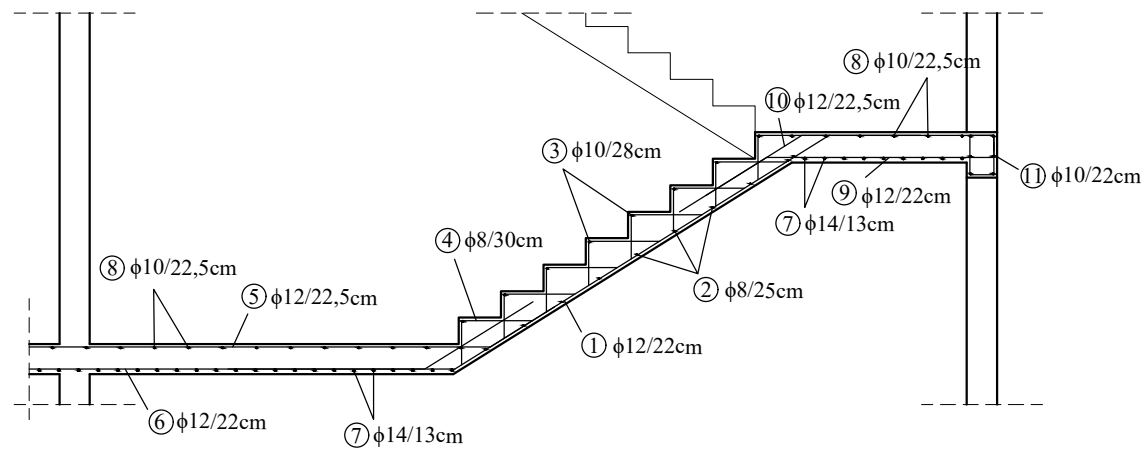
# PLAN POZICIJA KARAKTERISTIČNOG KATA

## MJ 1:100

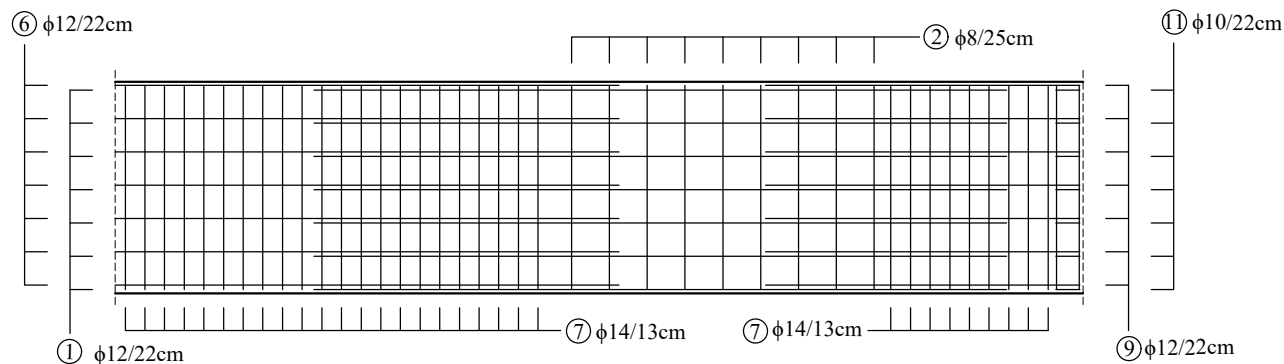


Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта: Plan pozicija karakterističnog kata	
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: <b>1:100</b>
Datum: rujan 2023.	
Dora Jadreško	List broj 7

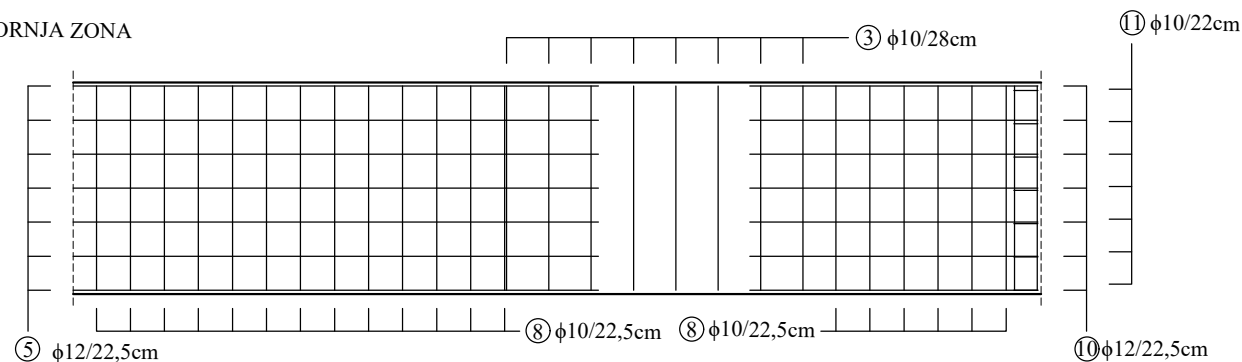
# PLAN ARMATURE STUBIŠTA MJ 1:50



DONJA ZONA



GORNJA ZONA



Čelik: B500B  
Beton: C30/37  
Zaštitni sloj: c = 2,0cm

Iskaz armature stubišta B500B (rebrasta)							
Pozicija	φ	L(m)	Broj komada	Ukupna duljina (m)			
				φ8	φ10	φ12	φ14
1	12	5,02	7			35,14	
2	8	1,55	9	13,95			
3	10	1,55	8		12,4		
4	8	0,76	32	24,32			
5	12	3,55	7			24,85	
6	12	3,45	7			24,15	
7	14	2,80	31				86,8
8	10	2,80	19				53,2
9	12	2,28	7			53,2	
10	10	2,12	7		14,84		
11	10	1,16	7		8,12		
Ukupno (m)				38,27	35,36	137,34	140,0
Masa (kg/m)				0,405	0,634	0,911	1,242
Ukupno - po profilima (kg)				15,50	22,42	125,17	173,88
SVEUKUPNO (kg)				336,97			

Sveučilište u Zagrebu  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Sadržaj nacрта: Plan armature stubišta

Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček

Mjerilo:

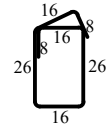
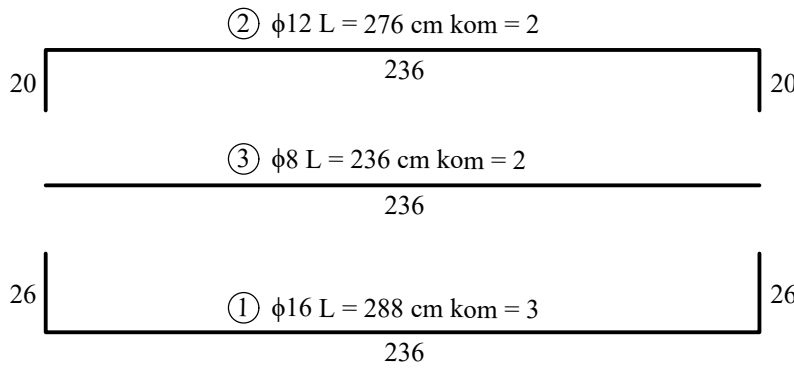
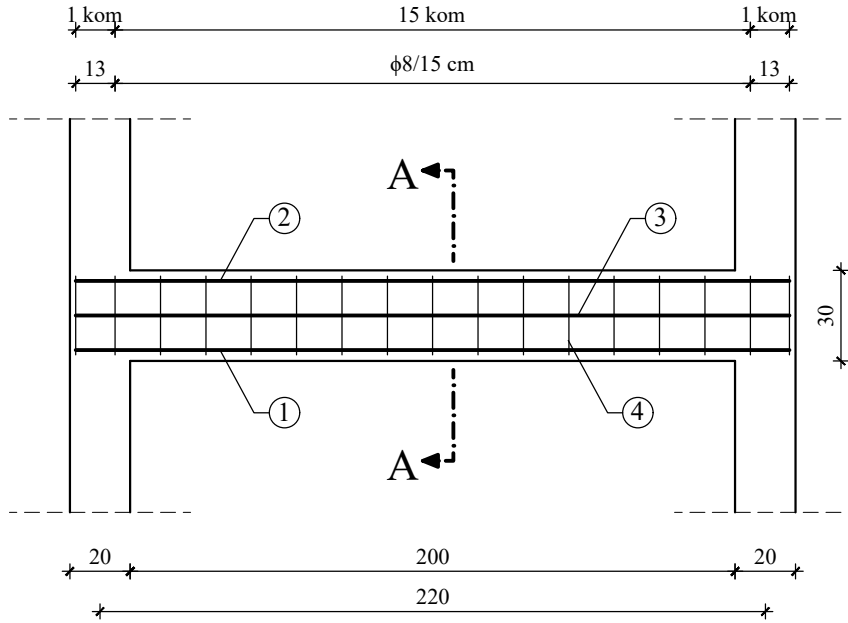
1:50

Datum: rujan 2023.

Dora Jadreško

List broj 8

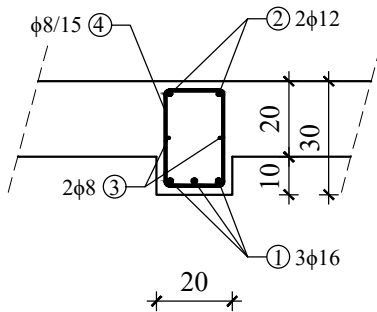
# PLAN ARMATURE GREDE MJ 1:25



④ φ8, L = 116 cm  
kom = 17

Čelik: B500B  
Beton: C30/37  
Zaštitni sloj: c = 2,0cm

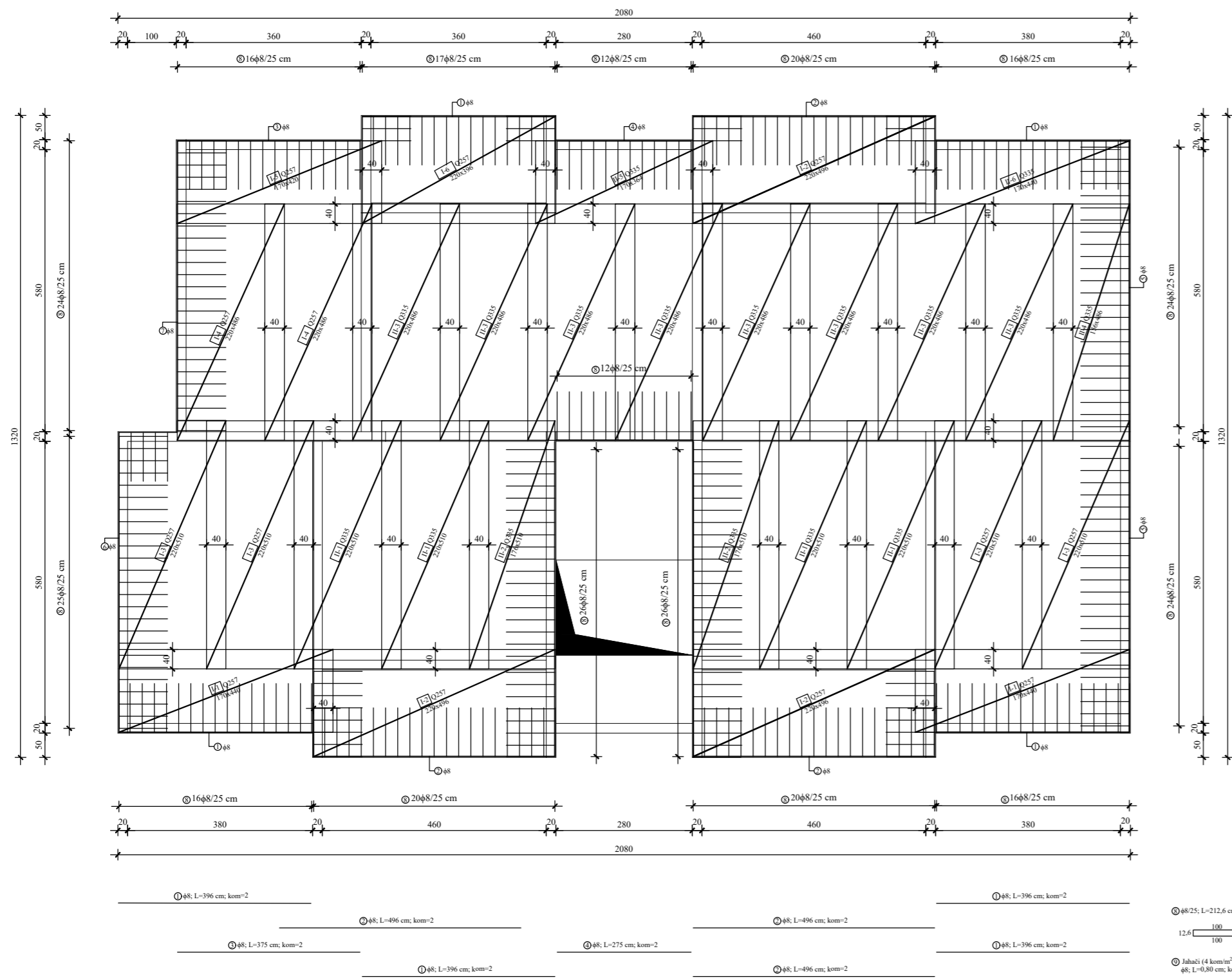
PRESJEK A-A, MJ 1:20



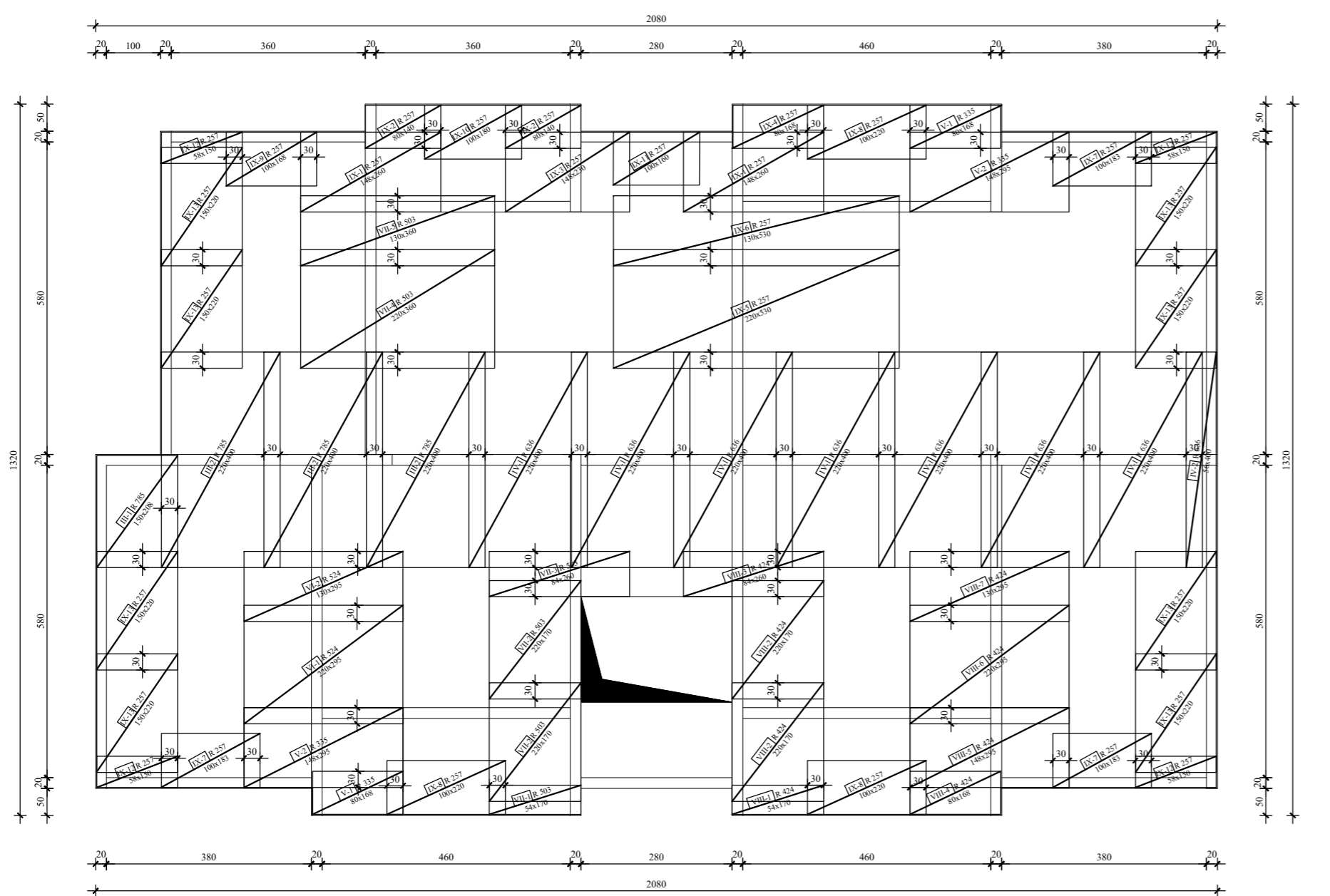
Iskaz armature grede poz. GX4_1						
B500B (rebrasta)						
Pozicija	φ	L(m)	Broj komada	Ukupna duljina (m)		
				φ8	φ12	φ16
1	16	2,88	3			8,64
2	12	2,76	2		5,52	
3	8	2,36	2	4,72		
4	8	1,16	17	19,72		
Ukupno (m)				24,44	5,52	8,64
Masa (kg/m)				0,405	0,911	1,621
Ukupno - po profilima (kg)				9,90	5,03	14,01
SVEUKUPNO (kg)				28,94		

Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrtu:	Plan armature grede poz.GX4_1
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:25, 1:20
Datum: rujun 2023.	
Dora Jadreško	List broj 10

DONJA ZONA  
MJ 1:100



GORNJA ZONA  
MJ 1:100



# PLAN ARMATURE PLOČE KATA MJ 1:100

Iskaz armature ploče karakterističnog kata B500B (rebrasta)				
Pozicija	φ	L(m)	Broj komada	Ukupna duljina (m)
1	8	3,96	8	31,68
2	8	4,96	6	29,76
3	8	3,75	2	7,50
4	8	2,75	2	5,50
5	8	6,40	4	25,60
6	8	6,00	2	12,00
7	8	5,96	2	11,92
8	8	2,126	298	633,55
9	8	0,80	960	768
Ukupno (m)				1525,51
Masa (kg/m)				0,405
Ukupno - po profilima (kg)				617,83
SVEUKUPNO (kg)				617,83

Iskaz armature ploče karakterističnog kata - DONJA ZONA B500B (Q-mreže)								
Pozicija	Tip	b(m)	L (m)	Površina (m <sup>2</sup> )	kom	Ukupna površina (m <sup>2</sup> )		
						Q 257	Q 335	
I-1	Q 257	1,70	4,40	7,48	2	14,96		
I-2	Q 257	2,20	4,96	10,91	3	32,74		
I-3	Q 257	2,20	5,10	11,22	4	44,88		
I-4	Q 257	2,20	4,86	10,69	2	21,38		
I-5	Q 257	1,70	4,20	7,14	1	7,14		
I-6	Q 257	2,20	3,96	8,71	1	8,71		
II-1	Q 335	2,20	5,10	11,22	4		44,88	
II-2	Q 335	1,76	5,10	8,98	2		17,95	
II-3	Q 335	2,20	4,86	10,69	8		85,54	
II-4	Q 335	1,56	4,86	7,58	1		7,58	
II-5	Q 335	1,70	3,64	6,19	1		22,53	
II-6	Q 335	1,70	4,40	7,48	1		32,91	
Ukupno (m <sup>2</sup> )						129,81	211,39	
Masa (kg/m <sup>2</sup> )						4,16	5,45	
Ukupno - po tipovima mreža (kg)						540,10	1152,08	
SVEUKUPNO (kg)							1692,18	

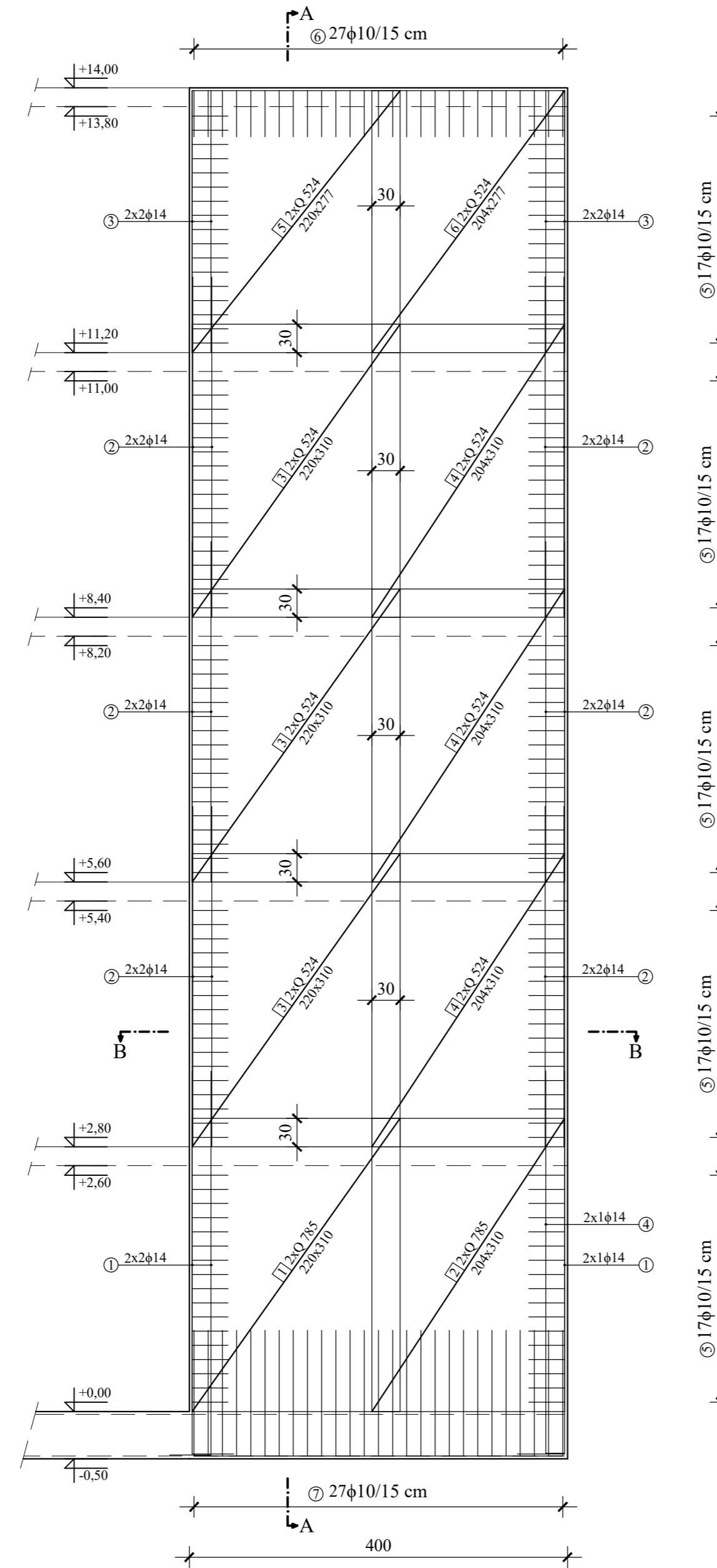
Iskaz armature ploče karakterističnog kata - GORNJA ZONA B500B (Q-mreže)												
Pozicija	Tip	b(m)	L (m)	Površina (m <sup>2</sup> )	kom	Ukupna površina (m <sup>2</sup> )						
						R 257	R 335	R 424	R 503	R 524	R 636	R 785
III-1	R 785	1,50	2,08	3,12	1							3,12
III-2	R 785	2,20	4,00	8,80	3							26,40
IV-1	R 636	2,20	4,00	8,80	7						61,60	
IV-2	R 636	0,56	4,00	2,24	1						2,24	
V-1	R 335	0,80	1,68	1,34	2		2,69					
V-2	R 335	1,48	2,95	4,37	2		8,73					
VI-1	R 524	2,20	2,95	6,49	4					25,96		
VI-2	R 524	1,30	2,95	3,84	2					7,68		
VII-1	R 503	0,54	1,70	0,92	1				0,92			
VII-2	R 503	2,20	1,70	3,74	2				7,48			
VII-3	R 503	0,84	2,60	2,18	1				2,18			
VII-4	R 503	2,20	3,60	7,92	1				7,92			
VII-5	R 503	1,30	3,60	4,68	1				4,68			
VIII-1	R 424	0,54	1,70	0,92	1			0,92				
VIII-2	R 424	2,20	1,70	3,74	2			7,48				
VIII-3	R 424	0,84	2,60	2,18	1			2,18				
VIII-4	R 424	0,80	1,68	1,34	1			1,34				
VIII-5	R 424	1,48	2,95	4,37	1			4,37				
VIII-6	R 424	2,20	2,95	6,49	1			6,49				
VIII-7	R 424	1,30	2,95	3,84	1			3,84				
IX-1	R 257	1,48	2,60	3,85	2	7,70						
IX-2	R 257	0,80	1,40	1,12	2	2,24						
IX-3	R 257	1,48	2,30	3,40	1	3,40						
IX-4	R 257	0,80	1,68	1,34	1	1,34						
IX-5	R 257	2,20	5,30	11,66	1	11,66						
IX-6	R 257	1,30	5,30	6,89	1	6,89						
IX-7	R 257	1,00	1,83	1,83	3	5,49						
IX-8	R 257	1,00	2,20	2,20	3	6,60						
IX-9	R 257	1,00	1,68	1,68	1	1,68						
IX-10	R 257	1,00	1,80	1,80	1	1,80						
IX-11	R 257	1,00	1,60	1,60	1	1,60						
IX-12	R 257	0,58	1,50	0,87	4	3,48						
IX-13	R 257	2,20	1,50	3,30	8	26,4						
Ukupno (m <sup>2</sup> )						80,28	11,42	26,62	23,18	33,64	63,84	29,52
Masa (kg/m <sup>2</sup> )						2,72	3,68	4,34	4,89	5,15	5,95	7,39
Ukupno - po tipovima mreža (kg)						218,36	42,03	115,53	113,35	173,25	379,85	218,15
SVEUKUPNO (kg)										1260,52		

PLAN ARMATURE PLOČE  
MJ 1:100  
Čelik: B500B  
Beton: C30/37  
Zaštitni sloj: c = 2,0cm

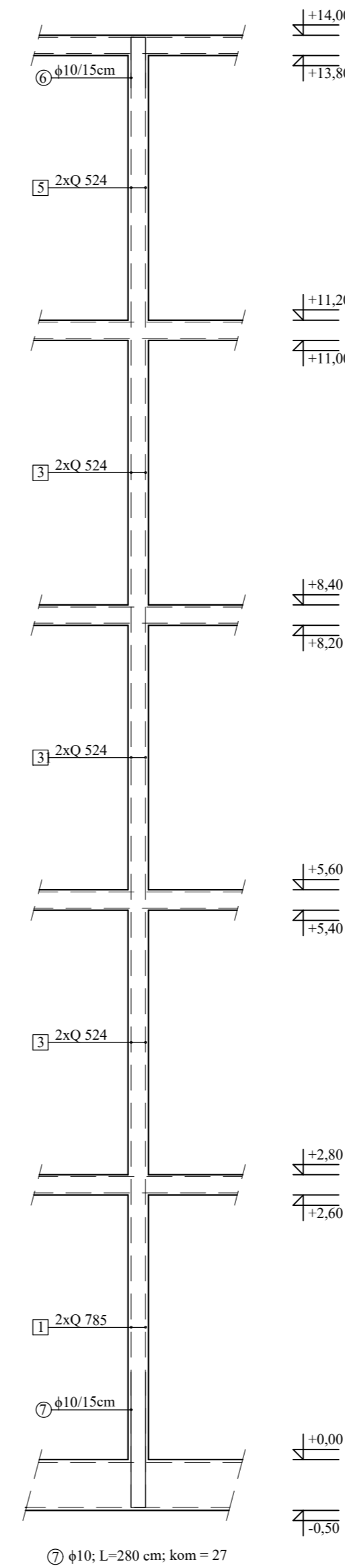
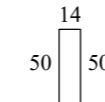
Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта:	Plan armature ploče
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: <b>1:100</b>
Datum: rujan 2023.	
Dora Jadreško	List broj 9

### Presjek A-A

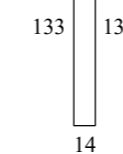
## PLAN ARMATURE ZIDA MJ 1:50



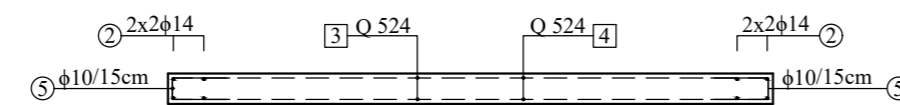
⑥ φ10; L=114 cm; kom = 27



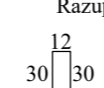
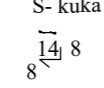
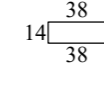
⑦ φ10; L=280 cm; kom = 27



### Presjek B-B



⑤ φ10; L=90 cm; kom=170  
⑧ φ8; L= 36 cm; kom = 45  
S- kuka (4 kom/m<sup>2</sup>)  
⑨ φ8; L= 72 cm; kom = 23  
Razupirač mrežaste armature (2 kom/m<sup>2</sup>)



Iskaz armature zida poz. ZX4_5 B500B (rebrasta)						
			Ukupna duljina (m)			
Pozicija	φ	L(m)	Broj komada	φ8	φ10	φ14
1	14	4,50	6			27,0
2	14	3,60	8			28,8
3	14	2,77	8			22,16
4	14	4,25	2			8,5
5	10	0,90	170		1,53	
6	10	1,14	27		30,78	
7	10	2,80	27		75,60	
8	8	0,36	45	16,20		
9	8	0,72	23	16,56		
Ukupno (m)				32,76	107,91	86,46
Masa (kg/m)				0,405	0,634	1,242
Ukupno - po profilima (kg)				13,27	68,41	107,38
SVEUKUPNO (kg)				189,06		

Iskaz armature zida poz. ZX4_5 B500B (Q-mreže)							
			Ukupna površina (m <sup>2</sup> )				
Pozicija	Tip	b(m)	L (m)	Površina (m <sup>2</sup> )	kom	Q 524	Q 785
1	Q 785	2,20	3,10	6,82	1		6,82
2	Q 785	2,04	3,10	6,32	1		6,32
3	Q 524	2,20	3,10	6,82	3	20,46	
4	Q 524	2,04	3,10	6,32	3	18,96	
5	Q 524	2,20	2,77	6,09	1	6,09	
6	Q 524	2,04	2,77	5,65	1	5,65	
Ukupno (m <sup>2</sup> )						51,16	13,14
Masa (kg/m <sup>2</sup> )						8,40	12,46
Ukupno - po tipovima mreža (kg)						429,74	163,72
SVEUKUPNO (kg)						593,46	

## PLAN ARMATURE ZIDA MJ 1:50

Čelik: B500B  
Beton: C30/37  
Zaštitni sloj: c = 3,0cm

Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта: Plan armature zida poz. ZX4_5	
Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo:
Datum: rujan 2023.	1:50
Dora Jadreško	List broj 11