

Proračun armiranobetonske zgrade

Ljubić, Marko

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:237:362434>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-22**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Marko Ljubić

PRORAČUN ARMIRANOBETONSKE ZGRADE

Diplomski rad

Zagreb, 2023

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

PRORAČUN ARMIRANOBETONSKE ZGRADE

Diplomski rad

KOMENTOR:

dr. sc. Tvrtko Renić

MENTOR:

prof. dr. sc. Tomislav Kišiček

STUDENT:

Marko Ljubić

Zagreb, 2023.



TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta: **Marko Ljubić**

JMBAG: **0082062394**

Diplomski rad iz predmeta: **Betonske konstrukcije 3**

Naslov teme
diplomskog rada:

HR	Proračun armiranobetonske zgrade
ENG	Design of reinforced concrete building

Opis teme diplomskog rada:

Diplomski rad treba sadržavati sljedeće točke:

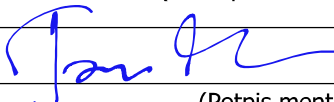
1. Tehnički opis zgrade
2. Nacrte zgrade i planove pozicija
3. Statički proračun ploče, jedne grede i stubišta karakterističnog kata
4. Analiza nosivog sustava za preuzimanje horizontalnih i vertikalnih opterećenja
5. Proračun seizmičkog opterećenja na zgradu
6. Statički proračun nosive konstrukcije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

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

Datum: **19. 4. 2023.**

Komentor: **Dr. sc. Tvrtko Renić**
(Ime i prezime komentora)

Mentor: **Prof. dr. sc. Tomislav Kišiček**
(Ime i prezime mentora)


(Potpis mentora)

SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je proračun armiranobetonske zgrade s lokacijom u Zagrebu. Zgrada se sastoji od prizemlja i pet katova te je tlocrtnih dimenzija 20,7 m × 15,0 m i ukupne visine 17,5 m. Svi nosivi elementi konstrukcije izvedeni su od betona razreda C30/37 i armirani armaturom B500B. Rad sadržava proračunski model konstrukcije u programu SCIA Engineer 21.1 u kojem su dobivene unutarnje sile te je obavljen „ručni“ proračun nosivog zida prema važećim normama. Uz model zgrade, rad sadrži i model ploče iz kojeg su dobiveni rezultati za dimenzioniranje ploče karakterističnog kata. Također provedena je statička analiza, proračun i dimenzioniranje grede i stubišta. Rad sadrži nacрте armature za sve prethodno navedene elemente.

KLJUČNE RIJEČI: ploča, greda, zid, stubište, plan armature, AB zgrada

ABSTRACT

topic of this master's thesis is the structural analysis of a reinforced concrete building located in Zagreb. The building consists of a ground floor and five floors, with a footprint dimension of 20.7 meters × 15.0 meters and a total height of 17.5 meters. All load-bearing structural elements are constructed using concrete of grade C30/37 and reinforced with B500B reinforcement bars. The work includes creating a structural model using the SCIA Engineer 21.1 software, which gives internal forces, and a "manual" calculation of the load-bearing wall is performed in accordance with the applicable standards. In addition to the building model, the thesis contains a model of the slab, from which results for the design of the characteristic floor slab are obtained. Furthermore, a static analysis, calculation, and design of the beams and staircase are carried out. The thesis contains reinforcement layouts for all previously mentioned elements.

KEYWORDS: slab, beam, wall, staircase, reinforcement layout, reinforced concrete building

SADRŽAJ

1 UVOD	2
2 TEHNIČKI OPIS	3
2.1 Osnovni podaci o građevini.....	3
2.2 Konstrukcijske pojedinosti	3
2.3 Lokacija i opterećenja	3
2.4 Materijali	4
3 PRORAČUN STUBIŠTA	5
3.1 Proračun kraka stubišta	5
3.2 Analiza opterećenja	6
3.3 Statički proračun	7
3.3.1 Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila.....	7
3.3.2 Proračunske vrijednosti momenta savijanja i poprečne sile.....	8
3.4 Dimenzioniranje uzdužne armature.....	8
3.5 Dimenzioniranje poprečne armature	10
3.6 Podest	11
3.6.1 Analiza opterećenja	11
3.6.2 Statički proračun	12
3.6.3 Dimenzioniranje uzdužne armature	13
3.6.4 Dimenzioniranje poprečne armature	16
4 STATIČKI PRORAČUN PLOČE KARAKTERISTIČNOG KATA.....	17
4.1 Analiza opterećenja	17
4.2 Statički proračun	20
4.3 Dimenzioniranje armature.....	48
4.3.1 Pozicija 401	50
4.3.2 Pozicija 402.....	50

4.3.3 Pozicija 403	51
4.3.4 Pozicija 404	52
4.3.5 Pozicija 405	53
4.3.6 Pozicija 406	55
4.3.7 Pozicija 407	55
4.3.8 Pozicija 408	57
4.3.9 Pozicija 409	58
4.3.10 Pozicija 410	59
4.3.11 Pozicija 411	60
4.3.12 Pozicija 412	61
4.3.13 Pozicija 413	62
4.3.14 Pozicija 414	63
4.3.15 Pozicija 415	64
4.3.16 Pozicija 401-402.....	64
4.3.17 Pozicija 401-403.....	65
4.3.18 Pozicija 402-404.....	66
4.3.19 Pozicija 403-405.....	66
4.3.20 Pozicija 404-406.....	67
4.3.21 Pozicija 405-406.....	67
4.3.22 Pozicija 408-409.....	68
4.3.23 Pozicija 408-410.....	69
4.3.24 Pozicija 409-411.....	69
4.3.25 Pozicija 410-412.....	70
4.3.26 Pozicija 411-413.....	70
4.3.27 Pozicija 412-414.....	71
4.3.28 Pozicija 413-415.....	72

4.3.29 Pozicija 414-415.....	72
4.3.30 Pozicija 402-403.....	73
4.3.31 Pozicija 404-405.....	73
4.3.32 Pozicija 403-407.....	74
4.3.33 Pozicija 405-407.....	75
4.3.34 Pozicija 406-407.....	75
4.3.35 Pozicija 407-409.....	76
4.3.36 Pozicija 407-411.....	76
4.3.37 Pozicija 407-413.....	77
4.3.38 Pozicija 409-410.....	78
4.3.39 Pozicija 411-412.....	78
4.3.40 Pozicija 413-414.....	79
4.4 Rekapitulacija odabrane armature u polju i nad ležajevima	80
4.5 Proračun poprečne armature.....	82
5 PRORAČUN GREDE POZICIJE 401 NA GSN i GSU	84
5.1 Analiza opterećenja	84
Opterećenje u prvom polju	86
Opterećenje u drugom polju	86
5.2 Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila.....	86
5.3 Proračunske vrijednosti momenta savijanja i poprečne sile (reakcije)	90
5.4 Dimenzioniranje	91
5.4.1 Dimenzioniranje uzdužne armature.....	92
5.4.2 Dimenzioniranje poprečne armature	98
5.5 Proračun pukotina i progiba grede	107
5.5.1 Proračun karakteristika materijala i poprečnog presjeka	107

5.5.2. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka za $t = 0$	109
5.5.3 Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka za $t = \infty$	111
5.5.4 Momenti savijanja i naprezanja u presjeku na sredini raspona grede (na mjestu maksimalnog momenta savijanja)	113
5.5.5 Minimalna ploština armature za ograničenje širine pukotina	114
5.6 Proračun progiba grede	115
6 VIŠEMODALNA SPEKTRALNA ANALIZA	116
6.1. Opis modela zgrade	116
6.2 Potresno djelovanje	117
6.2.1 Projektni spektar za elastičnu analizu	117
6.2.2 Određivanje faktora ponašanja	118
6.3 Zadavanje masa i modifikacija krutosti	120
7. Statički proračun i dimenzioniranje AB zida	125
7.1. Određivanje proračunskih sila	125
7.2. Dimenzioniranje zida pozicija 100	126
7.2.1. Uzdužna sila u zidu	127
7.2.2. Armatura hrpta	127
7.3. Određivanje armature kritičnog polja pozicije 100	129
7.4. Provjera nosivosti zida pozicije 100 na moment savijanja u ravnini	132
7.5. Zahtijevana duktilnost za zid pozicije 100	136
7.6. Određivanje duktilnosti zida pozicije 100	137
7.7. Dimenzioniranje zida pozicija 200	139
7.7.1. Uzdužna sila u zidu	140
7.7.2. Armatura hrpta	140
7.8. Određivanje armature kritičnog polja pozicije 200	142
7.9. Provjera nosivosti zida pozicije 200 na moment savijanja u ravnini	145

7.10. Zahtijevana duktilnost zida pozicije 200.....	149
7.11. Određivanje duktilnosti zida pozicije 200.....	150
7.12. Rekapitulacija odabrane armature	152
8 ZAKLJUČAK	153
9 LITERATURA.....	154
10 POPIS SLIKA	155
11 POPIS TABLICA.....	159
12 GRAFIČKI PRILOZI.....	160

1 UVOD

U ovom diplomskom radu prikazan je postupak dimenzioniranja armiranobetonske zgrade. Promatrana zgrada je stambene namjene i njena izgradnja planirana je u Zagrebu. Svi nosivi elementi zgrade su armiranobetonski te se koristio beton razreda C30/37 i armatura B500B. Kroz poglavlja zasebno je obrađeno dimenzioniranje stubišta, ploče karakterističnog kata, te odabrane grede i zida. Za dobivanje reznih sila po elementima izrađeni su modeli u programu SCIA Engineer 21.1 te je se daljni postupak dimenzioniranja provodio po formulama po važećim normama. Uz numerički dio rada tu su i grafički prilozi sa prikazom armature dimenzioniranih elemenata.

2 TEHNIČKI OPIS

2.1 Osnovni podaci o građevini

Napravljen je statički proračun i dimenzioniranje nosive konstrukcije armiranobetonske stambene zgrade sa lokacijom u Zagrebu. Građevina je približno pravokutnog oblika ukupnih tlocrtnih dimenzija $20,7 \times 15,0$ m te se sastoji od prizemlja i pet katova. Visina etaže iznosi 2,80 m sa svjetlom visinom 2,60 m što daje ukupnu visinu, zajedno sa parapetom na krovu, od 17,50 m. Krov je izveden kao ravni krov sa ostvarenim nagibom za odvodnju.

2.2 Konstrukcijske pojedinosti

Vertikalnu nosivu konstrukciju čine armiranobetonski zidovi debljine 20 cm. Vertikalna povezanost međukatne konstrukcije koju čine armiranobetonske ploče ostvaruje se liftom te dvokrakim stubištima s međupodestom između katova. Stubišni krakovi su jednaki, debljine ploče 15 cm, oslonjeni su na međupodest i na stropnu ploču. Statički sustav stubišnog kraka je prosta greda. Međupodest čini armiranobetonska ploča debljine 20 cm, nosiva u jednom smjeru.

Svi nosivi elementi konstrukcije (zidovi, grede, ploče, stubište) izvedeni su od betona razreda C30/37 i armirani armaturom B500B.

2.3 Lokacija i opterećenja

Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u zonu za koju je zadano projektno ubrzanje tla $a_g = 0,25 \cdot g$.

Konstrukcija seizmičke sile preuzima sustavom armiranobetonskih zidova povezanih međukatnim pločama, što je u skladu s EC2 i EC8.

2.4 Materijali

Za sve betonske radove korišten je beton razreda C30/37, prema "Tehničkim propisima za građevinske konstrukcije". Za sve elemente korištena armatura je B500B u obliku šipki ili mreža.

Beton: C30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 33\,000 \text{ N/mm}^2$$

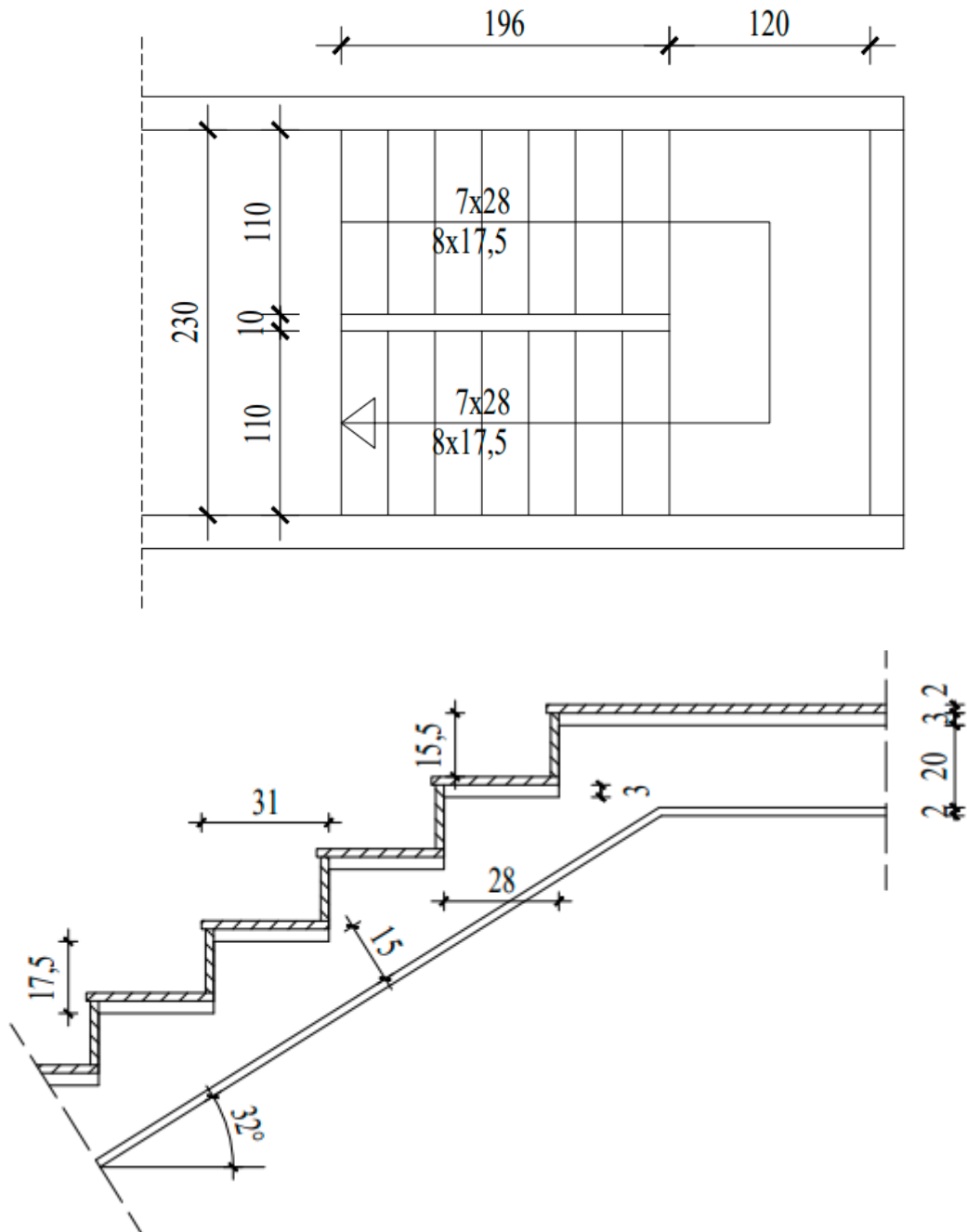
Armatura: B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200\,000 \text{ N/mm}^2$$

3 PRORAČUN STUBIŠTA

3.1 Proračun kraka stubišta



Slika 1. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta

3.2 Analiza opterećenja

Stalno opterećenje

Tablica 1. Prikaz stalnog opterećenja kraka stubišta

Sloj:	
Keramičke pločice na nagaznoj površini	$d_p \cdot \frac{a_n}{a} \cdot \gamma_p = 0,02 \cdot \frac{0,31}{0,28} \cdot 12,0 = 0,27 \text{ kN/m}^2$
Keramičke pločice vertikalne gazišta	$d_p \cdot \frac{b_v}{a} \cdot \gamma_p = 0,02 \cdot \frac{0,155}{0,28} \cdot 12 = 0,13 \text{ kN/m}^2$
Estrih na nagaznoj površini stube	$d_M \cdot \gamma_M = 0,03 \cdot 21 = 0,63 \text{ kN/m}^2$
Stube	$\frac{b}{2} \cdot \gamma = \frac{0,175}{2} \cdot 25 = 2,19 \text{ kN/m}^2$
AB ploča 15 cm	$\frac{h \cdot \gamma}{\cos \alpha} = \frac{0,15 \cdot 25}{\cos 32^\circ} = 4,42 \text{ kN/m}^2$
Žbuka – pogled	$\frac{d \cdot \gamma_M}{\cos \alpha} = \frac{0,02 \cdot 18}{\cos 32^\circ} = 0,42 \text{ kN/m}^2$
Ukupno stalno:	8,06 kN/m²

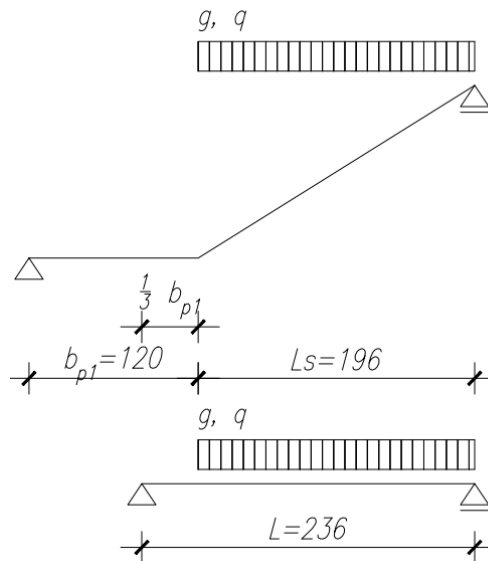
Korisno opterećenje

Uporabno opterećenje za stubišta: 3,00 kN/m²

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

3.3 Statički proračun

3.3.1 Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila



Slika 2. Prikaz statičkog opterećenja stubišta

Karakteristične vrijednosti reakcija i poprečnih sila nad ležajem B:

$$R_k^g = V_k^g = \frac{g_k \cdot L_s \cdot \left(\frac{L_s}{2} + \frac{b_{p2}}{3} \right)}{L} = \frac{8,06 \cdot 1,96 \cdot \left(\frac{1,96}{2} + \frac{1,20}{3} \right)}{2,36} = 9,24 \text{ kN/m}$$

$$R_k^q = V_k^q = \frac{q_k \cdot L_s \cdot \left(\frac{L_s}{2} + \frac{b_{p2}}{3} \right)}{L} = \frac{3,00 \cdot 1,96 \cdot \left(\frac{1,96}{2} + \frac{1,20}{3} \right)}{2,36} = 3,44 \text{ kN/m}$$

Položaj maksimalnog momenta savijanja u polju

$$x = \frac{V_k^g}{g} = \frac{9,24}{8,06} = 1,15 \text{ m}$$

Udaljenost maksimalnog momenta savijanja od ležaja b:

$$x' = \frac{b_{p1}}{3} + x = \frac{1,20}{3} + 1,15 = 1,55 \text{ m}$$

Karakteristične vrijednosti momenata savijanja u polju:

$$M_k^g = R_k^g \cdot x' - \frac{g_k \cdot x'^2}{2} = 9,24 \cdot 1,55 - \frac{8,06 \cdot 1,15^2}{2} = 8,99 \text{ kNm/m}$$

$$M_k^q = R_k^q \cdot x' - \frac{q_k \cdot x'^2}{2} = 3,44 \cdot 1,55 - \frac{3,0 \cdot 1,15^2}{2} = 3,35 \text{ kNm/m}$$

3.3.2 Proračunske vrijednosti momenta savijanja i poprečne sile

Proračunska poprečna sila nad ležajem B:

$$V_{Ed}=1,35 \cdot V_k^g + 1,5 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot 9,24 + 1,5 \cdot 3,44 = 17,63 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja u polju:

$$M_{Ed}=1,35 \cdot M_k^g + 1,5 \cdot M_k^q = 1,35 \cdot 8,99 + 1,5 \cdot 3,35 = 17,16 \text{ kN/m}$$

3.4 Dimenzioniranje uzdužne armature

Materijali:

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

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

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

Čelik: B500B

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

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

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

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

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

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

Statička visina presjeka: $d = h - d_1 = 15 - 2,5 = 12,5 \text{ cm}$

Glavna armatura:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1716}{100 \cdot 12,5^2 \cdot 2,0} = 0,055 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,059$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -2,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,091 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,966 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1716}{0,966 \cdot 12,5 \cdot 43,478} = 3,27 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdjelna armatura:

$$A_{s1,raz} = 0,2 \cdot A_{s1,prov} = 0,2 \cdot 3,27 = 0,65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura za polje:

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

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

Maksimalna armatura za polje:

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

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

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

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

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

ODABRANO: $\emptyset 10/20$ cm ($A_{s1,prov}=3,93$ cm²/m) $>A_{s1,req}=3,27$ cm²/m

Razdjelna armatura:

ODABRANO: $\emptyset 8/25$ cm ($A_{s1,raz,prov}=2,01$ cm²/m) $>A_{s1,raz,req}=0,65$ cm²/m

Proračunatom armaturom za polje armirat će se i područje spoja podesta i kraka stubišta.

3.5 Dimenzioniranje poprečne armature

- nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{125}} = 2,26 > 2,00 \rightarrow k = 2,00$$

$$A_{s1,prov} = 3,93 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{3,93}{100 \cdot 12,5} = 0,003 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

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

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

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,00 \cdot (100 \cdot 0,003 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 125 = 62402,51 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 62,40 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0) \cdot 1000 \cdot 125$$

$$V_{Rd,c,min} = 67750 \text{ N} = 67,75 \text{ kN}$$

provjera:

$$V_{Ed} = 17,63 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 67,75 \text{ kN}$$

Iz danog uvjeta vidljivo je da nije potrebno proračunati posmičnu armaturu

3.6 Podest

3.6.1 Analiza opterećenja

Stalno opterećenje

Tablica 2. Prikaz stalnog opterećenja podesta stubišta

Sloj:	
Keramičke pločice na nagaznoj površini	$d_p \cdot \gamma_p = 0,02 \cdot 12 = 0,24 \text{ kN/m}^2$
Estrih	$d_M \cdot \gamma_M = 0,03 \cdot 21 = 0,63 \text{ kN/m}^2$
AB ploča 20 cm	$h \cdot \gamma = 0,20 \cdot 25 = 5,0 \text{ kN/m}^2$
Žbuka	$d \cdot \gamma_M = 0,02 \cdot 18 = 0,36 \text{ kN/m}^2$
Ukupno stalno:	6,23

Korisno opterećenje

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

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

Karakteristične vrijednosti reakcija i poprečnih sila nad ležajem A:

$$R_k^g = V_k^g = \frac{g_k \cdot L_s \cdot \left(\frac{L_s}{2} + \frac{b_{p2}}{3} \right)}{L} = \frac{8,06 \cdot 1,96 \cdot \left(\frac{1,96}{2} \right)}{2,36} = 6,56 \text{ kN/m}$$

$$R_k^q = V_k^q = \frac{q_k \cdot L_s \cdot \left(\frac{L_s}{2} + \frac{b_{p2}}{3} \right)}{L} = \frac{3,0 \cdot 1,96 \cdot \left(\frac{1,96}{2} \right)}{2,36} = 2,44 \text{ kN/m}$$

3.6.2 Statički proračun

Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila

Proračunska duljina ploče podesta:

$$L_p = L + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot h = 230 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 20 = 250 \text{ cm}$$

Karakteristične vrijednosti reakcija i poprečnih sila nad ležajem:

$$R_k^g = V_k^g = \frac{g_k \cdot L_p}{2} + \frac{R_{k,\text{stub}}^g \cdot L_p}{2 \cdot b_{pl}/3} = \frac{6,23 \cdot 2,50}{2} + \frac{6,56 \cdot 2,50}{2 \cdot 1,20/3} = 28,29 \text{ kN/m}$$

$$R_k^q = V_k^q = \frac{q_k \cdot L_p}{2} + \frac{R_{k,\text{stub}}^q \cdot L_p}{2 \cdot b_{pl}/3} = \frac{3,00 \cdot 2,50}{2} + \frac{2,44 \cdot 2,50}{2 \cdot 1,20/3} = 11,38 \text{ kN/m}$$

Karakteristične vrijednosti momenata savijanja u polju:

$$M_k^g = \frac{g_k \cdot L_p^2}{8} + \frac{R_{k,\text{stub}}^g \cdot L_p^2}{8 \cdot b_{pl}/3} = \frac{6,23 \cdot 2,50^2}{8} + \frac{6,56 \cdot 2,50^2}{8 \cdot 1,20/3} = 17,68 \text{ kNm/m}$$

$$M_k^q = \frac{q_k \cdot L_p^2}{8} + \frac{R_{k,\text{stub}}^q \cdot L_p^2}{8 \cdot b_{pl}/3} = \frac{3,0 \cdot 2,50^2}{8} + \frac{2,44 \cdot 2,50^2}{8 \cdot 1,20/3} = 7,11 \text{ kNm/m}$$

Proračunska poprečna sila nad ležajem :

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot V_k^g + 1,5 \cdot V_k^q = 1,35 \cdot 28,29 + 1,5 \cdot 11,38 = 55,26 \text{ kN/m}$$

Proračunski moment savijanja u polju:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_k^g + 1,5 \cdot M_k^q = 1,35 \cdot 17,68 + 1,5 \cdot 7,11 = 34,53 \text{ kNm/m}$$

3.6.3 Dimnežioniranje uzdužne armature

Materijal:

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

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

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

Čelik: B500B

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

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

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

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

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

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

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

Udaljenost do težišta armature na ležaju podesta: $d_1 = c + \emptyset_{kr} + \frac{\emptyset}{2}$
 $d_1 = 2,0 + 1,0 + \frac{1,0}{2} = 3,5 \text{ cm}$

Statička visina presjeka na ležaju podesta: $d = h - d_1 = 20 - 3,5 = 16,5 \text{ cm}$

Polje

Glavna armatura:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3453}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,056 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,059$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -2,00 \text{ ‰} & \zeta &= 0,091 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,00 \text{ ‰} & \zeta &= 0,966 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3453}{0,966 \cdot 17,50 \cdot 43,478} = 4,70 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura za polje:

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

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

Maksimalna armatura za polje:

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

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

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

Odabrana armatura mora biti veća od potrebne i mora se nalaziti u području između minimalne i maksimalne armature tako da zadovolji ispod navedeni izraz.

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

ODABRANO: $\emptyset 10/15 \text{ cm}$ ($A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 4,70 \text{ cm}^2/\text{m}$

Razdjelna armatura:

Razdjelna armatura jednaka je uzdužnoj armaturi iz kraka stubišta $\emptyset 10/20$ cm.

Ležaj

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

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,25 \cdot 3453}{100 \cdot 16,5^2 \cdot 2,0} = 0,016 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,020$ očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\xi \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{0,25 \cdot 3453}{0,983 \cdot 16,5 \cdot 43,478} = 1,22 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ODABRANO: $\emptyset 8/15$ cm ($A_{s1,prov} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,min} = 2,64 \text{ cm}^2/\text{m}$

3.6.4 Dimenzioniranje poprečne armature

- nosivost elementa na poprečne sile bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{165}} = 2,1 > 2,00 \rightarrow k = 2,00$$

$$A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{5,24}{100 \cdot 16,5} = 0,0032 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

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

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

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,00 \cdot (100 \cdot 0,0032 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 165 = 84162,56 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 84,16 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rd,c,\min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0) \cdot 1000 \cdot 165$$

$$V_{Rd,c,\min} = 89430 \text{ N} = 89,43 \text{ kN}$$

provjera:

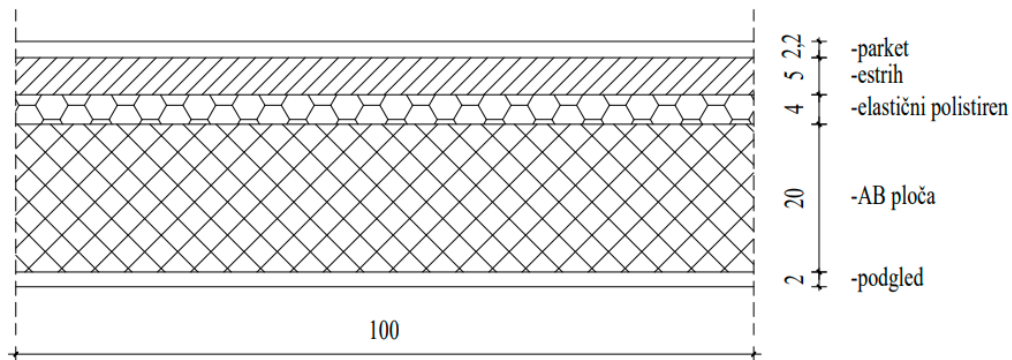
$$V_{Ed} = 55,26 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 89,43 \text{ kN}$$

Iz danog uvjeta vidljivo je da nije potrebno proračunati posmičnu armaturu

4 STATIČKI PRORAČUN PLOČE KARAKTERISTIČNOG KATA

4.1 Analiza opterećenja

Stambeni prostor:



Slika 3. Presjek AB ploče - stambeni prostor

Stalno opterećenje:

Parket, lijepljen 2,2 cm $(0,022 \cdot 8) = \dots\dots\dots 0,18 \text{ kN/m}^2$

Estrih 5 cm $(0,05 \cdot 21) = \dots\dots\dots 1,05 \text{ kN/m}^2$

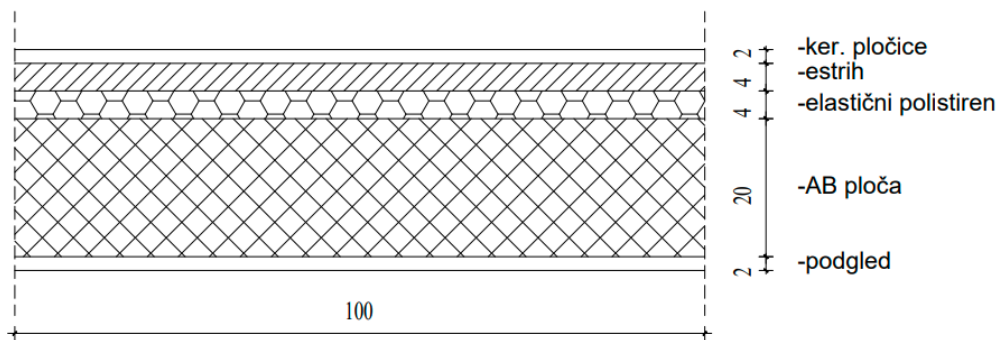
Elastični polistiren – EPS 4 cm $(0,04 \cdot 4) = \dots\dots\dots 0,16 \text{ kN/m}^2$

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

Podgled 2 cm $(0,02 \cdot 18) = \dots\dots\dots 0,36 \text{ kN/m}^2$

Ukupno stalno..... $g_k = 6,75 \text{ kN/m}^2$

Hodnik:



Slika 4. Presjek AB ploče – hodnik

Stalno opterećenje:

Keramičke pločice 2 cm ($0,02 \cdot 12$)=.....0,24kN/m²

Estrih 4 cm ($0,04 \cdot 21$)=..... 0,84 kN/m²

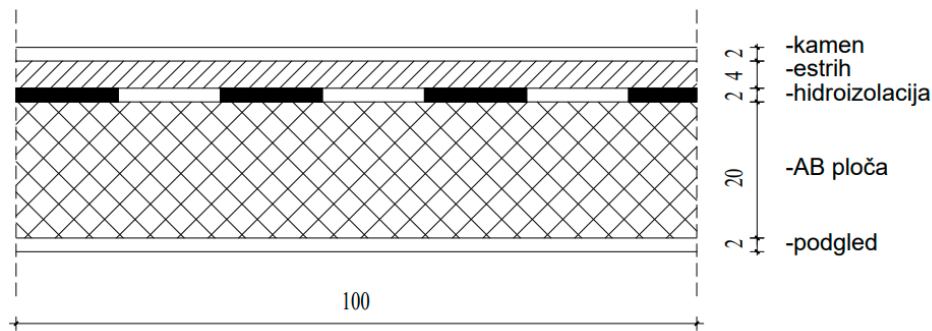
Elastični polistiren – EPS 4 cm ($0,04 \cdot 4$)=..... 0,16 kN/m²

AB ploča 20 cm ($0,20 \cdot 25,0$)=..... 5,00kN/m²

Podgled 2 cm ($0,02 \cdot 18$)=..... 0,36 kN/m²

Ukupno stalno..... $g_k=6,60$ kN/m²

Terasa:



Slika 5 Presjek AB ploče – terasa

Stalno opterećenje:

Kamen 2 cm $(0,02 \cdot 30) = \dots\dots\dots 0,60 \text{ kN/m}^2$

Estrih 4 cm $(0,04 \cdot 21) = \dots\dots\dots 0,84 \text{ kN/m}^2$

Hidroizolacija 2 cm $(0,02 \cdot 12) = \dots\dots\dots 0,24 \text{ kN/m}^2$

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

Podgled 2 cm $(0,02 \cdot 18) = \dots\dots\dots 0,36 \text{ kN/m}^2$

Ukupno stalno..... $g_k = 7,04 \text{ kN/m}^2$

Opterećenje od stubišta:

$$R_k^g = V_k^g = \frac{g_k \cdot L_s \cdot \left(\frac{L_s}{2} + \frac{b_{p2}}{3} \right)}{L} = \frac{8,06 \cdot 1,96 \cdot \left(\frac{1,96}{2} + \frac{1,20}{3} \right)}{2,36} = 9,24 \text{ kN/m}$$

Korisno opterećenje:

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

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

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

Uporabno opterećenje stubišta:

$$R_k^q = V_k^q = \frac{q_k \cdot L_s \cdot \left(\frac{L_s}{2} + \frac{b_{p2}}{3} \right)}{L} = \frac{3,0 \cdot 1,96 \cdot \left(\frac{1,96}{2} + \frac{1,20}{3} \right)}{2,36} = 3,44 \text{ kN/m}$$

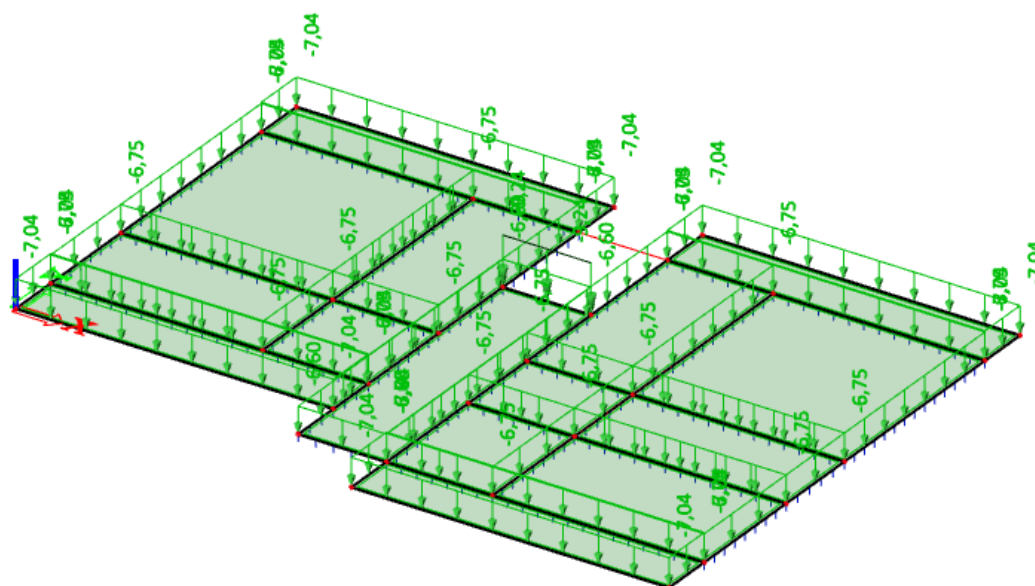
4.2 Statički proračun

Statički proračun za stalno i korisno opterećenje proveden je u računalnom programu „SCIA Engineer“. Učinci u ploči prikazani su tablično i dijagramima.



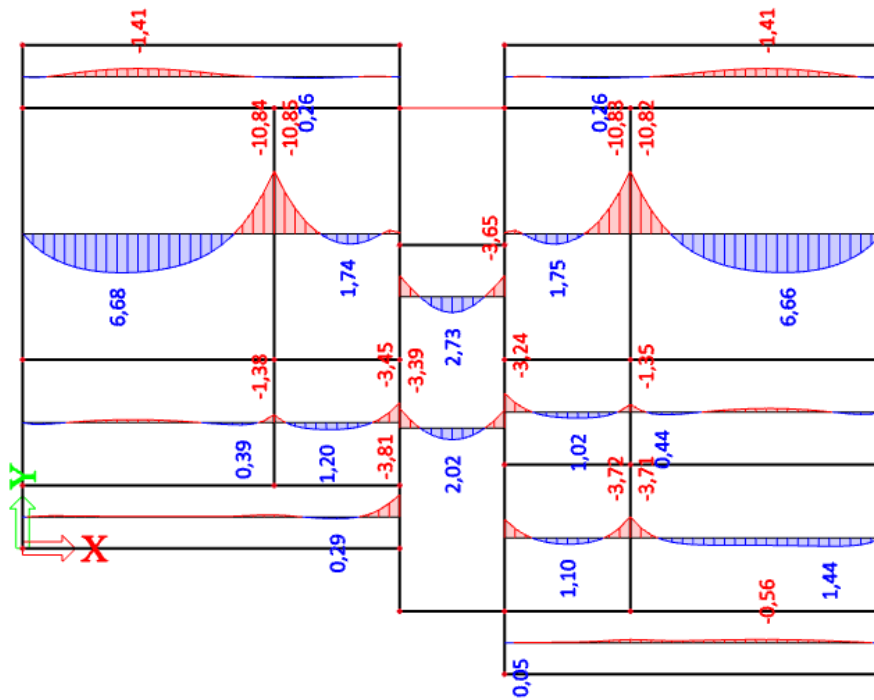
Slika 6 Prikaz modela ploče s pozicijama

Shema stalnog opterećenja:

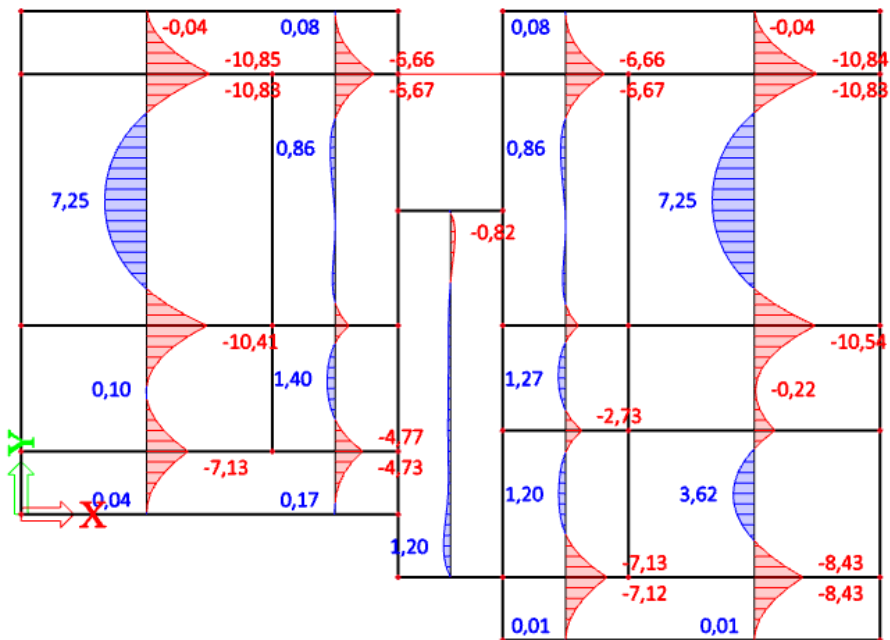


Slika 7 Shema stalnog opterećenja

Momenti savijanja uslijed stalnog opterećenja:



Slika 8 Momenti u smjeru x



Slika 9 Momenti u smjeru y

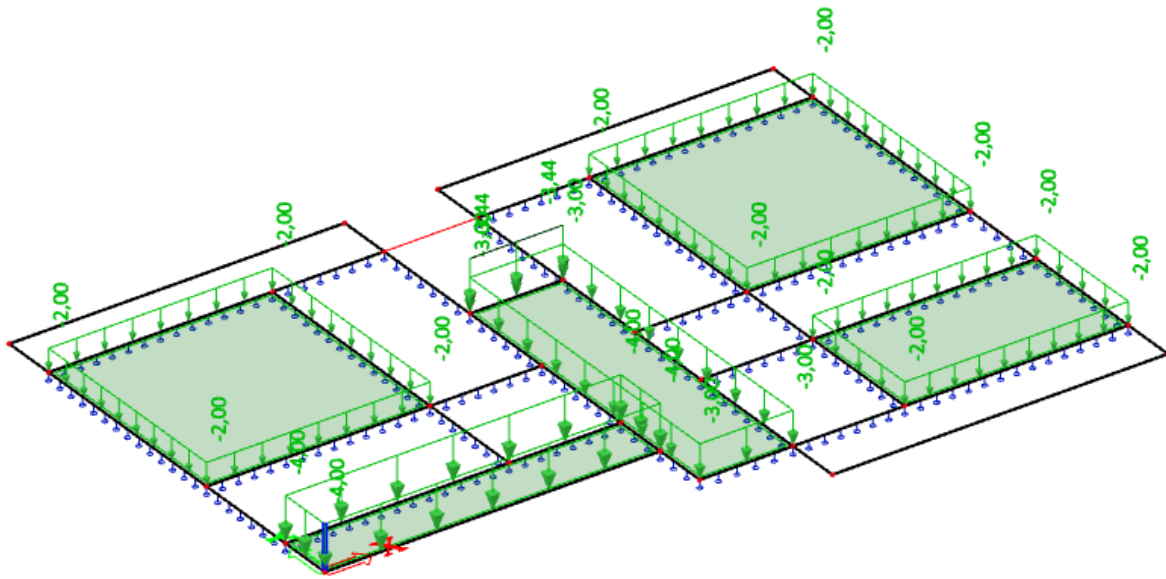
Tablica 3. Momenti savijanja u polju od stalnog opterećenja

POZICIJA	M_x [kNm]	M_y [kNm]
401	-	-10,85
402	6,68	7,25
403	1,74	0,86
404	0,39	0,1
405	1,20	1,40
406	-	-7,13
407	2,73	1,20
408	-	-10,84
409	1,75	0,86
410	6,66	7,25
411	1,02	1,27
412	0,44	-0,22
413	1,10	1,20
414	1,44	3,62
415	-	-8,43

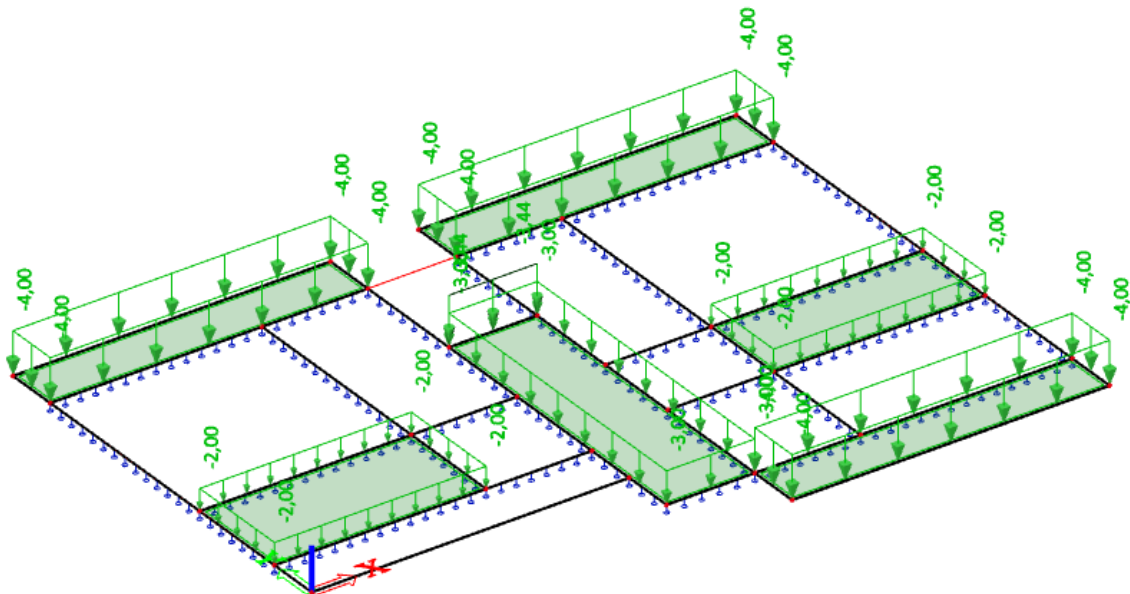
Tablica 4. Momenti savijanja nad ležajevima od stalnog opterećenja

POZICIJA	M [kNm]	POZICIJA	M [kNm]
401-402	-10,85	402-403	-10,85
401-403	-6,67	404-405	-1,38
402-404	-10,41	403-407	-3,64
403-405	-2,32	405-407	-3,45
404-406	-7,13	406-407	-3,81
405-406	-4,77	407-409	-3,65
408-409	-6,67	407-411	-3,24
408-410	-10,88	407-413	-3,28
409-411	-2,16	409-410	-10,88
410-412	-10,54	411-412	-1,35
411-413	-2,73	413-414	-3,72
412-414	-3,55		
413-415	-7,13		
414-415	-8,43		

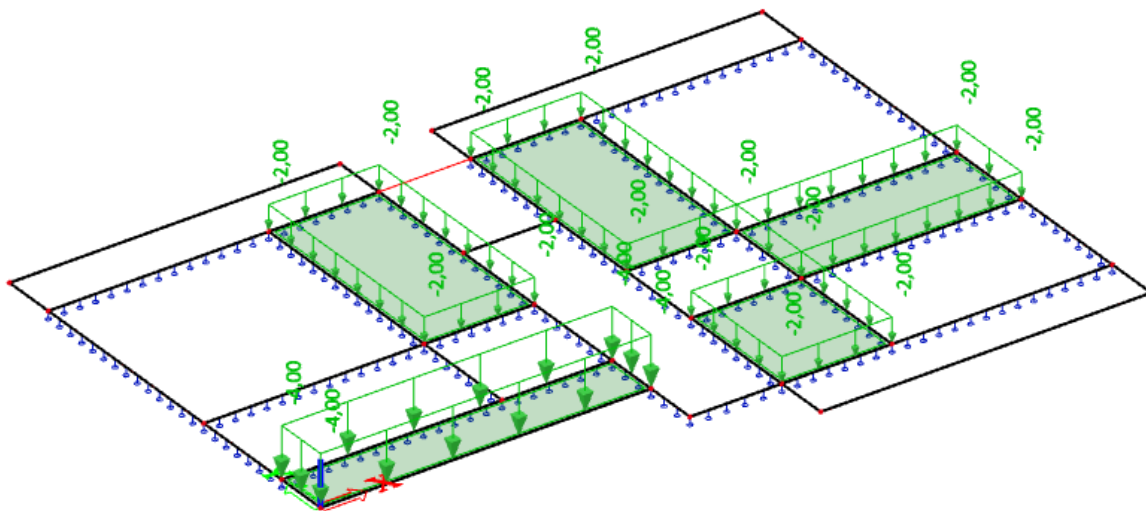
Schema uporabnog opterećenja za momente u polju:



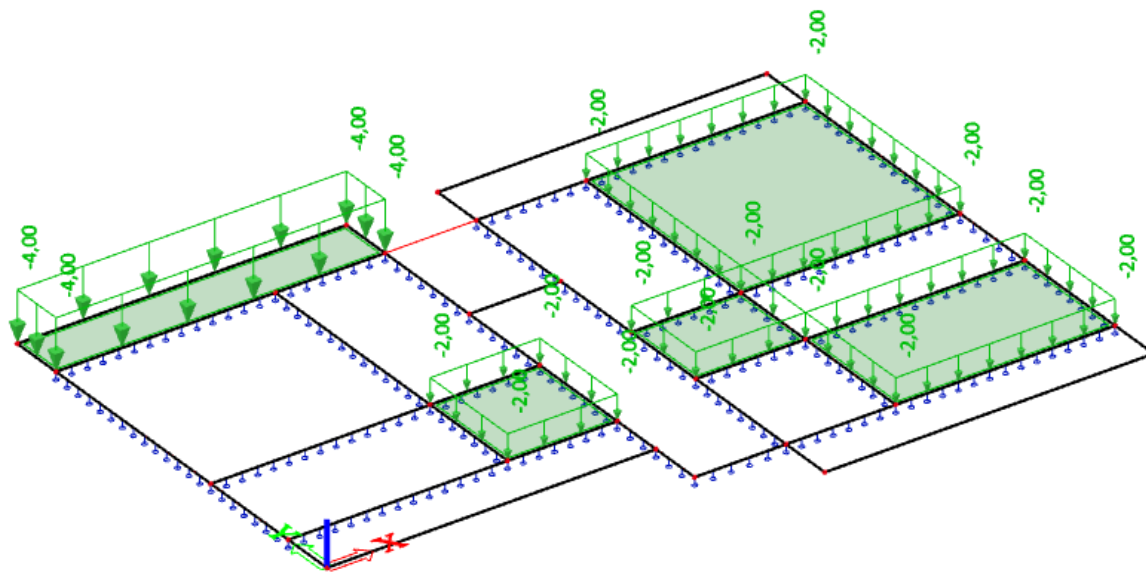
Slika 10 Opterećenje na poziciji 402,406,407,410,114



Slika 11 Opterećenje na poziciji 401,404,407,408,412,415

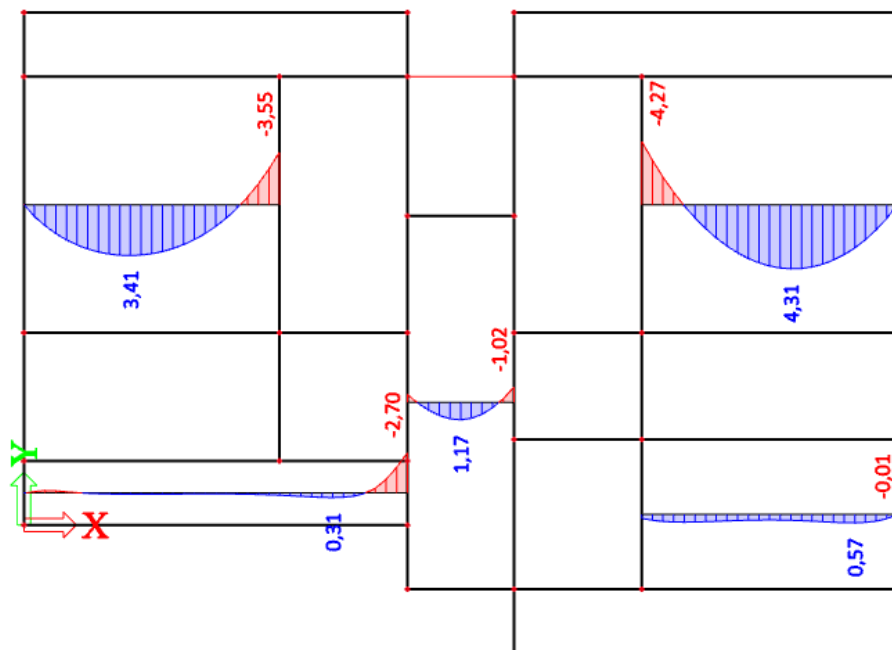


Slika 12 Opterećenje na poziciji 403,406,409,412,413

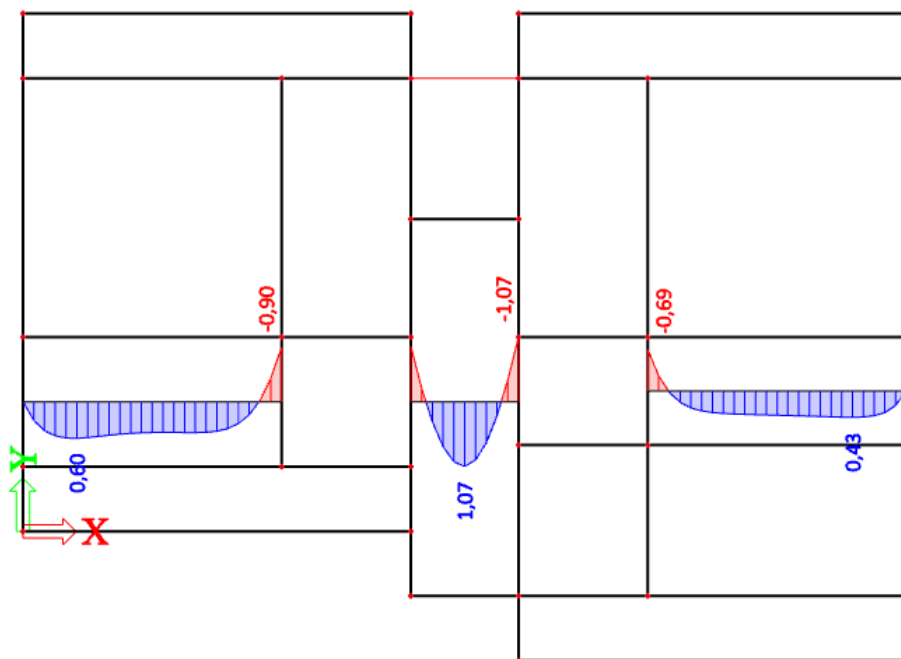


Slika 13 Opterećenje na poziciji 401,405,410,411,414

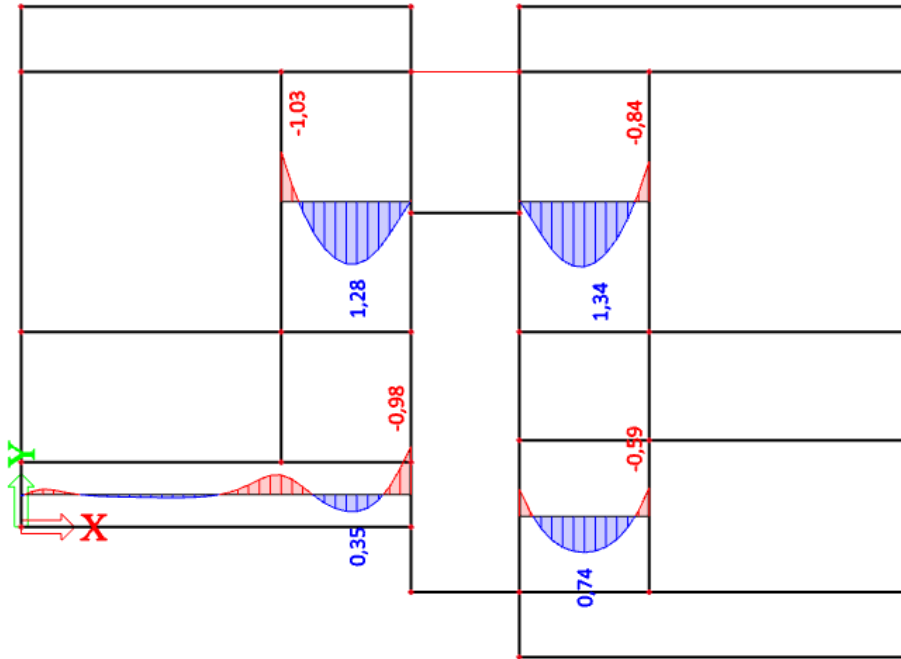
Momenti savijanja u polju uslijed uporabnog opterećenja:



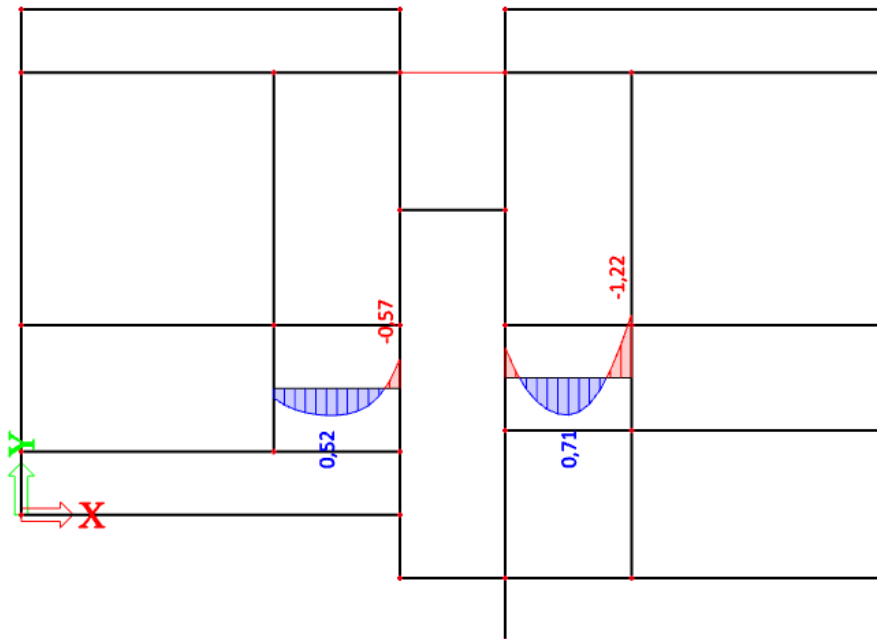
Slika 14 Momenti u smjeru x - POZ 402, 406, 407, 410, 414



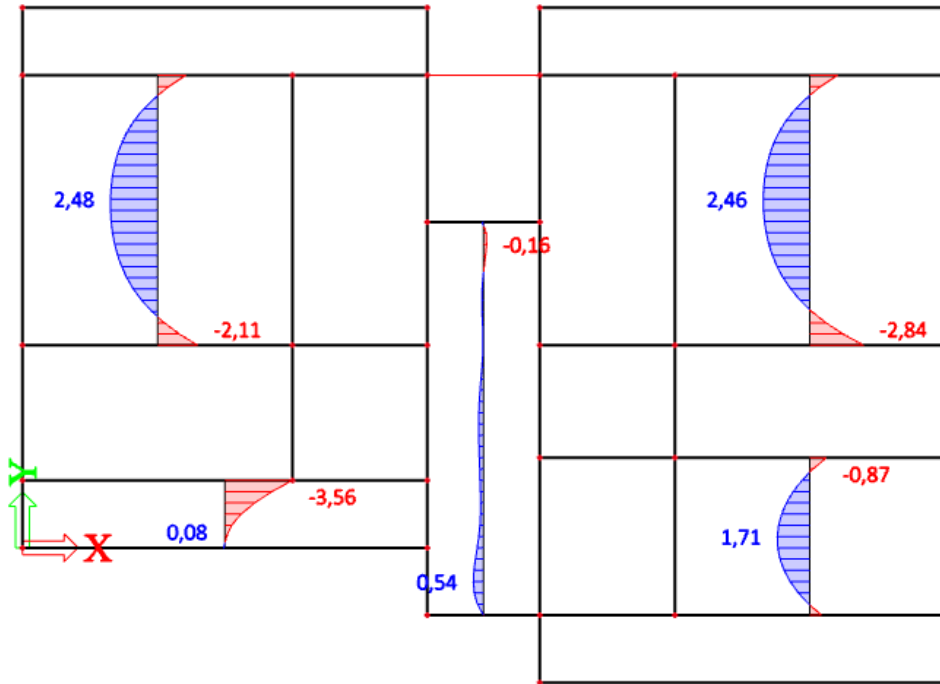
Slika 15 Moment u smjeru x - POZ 404, 407, 412



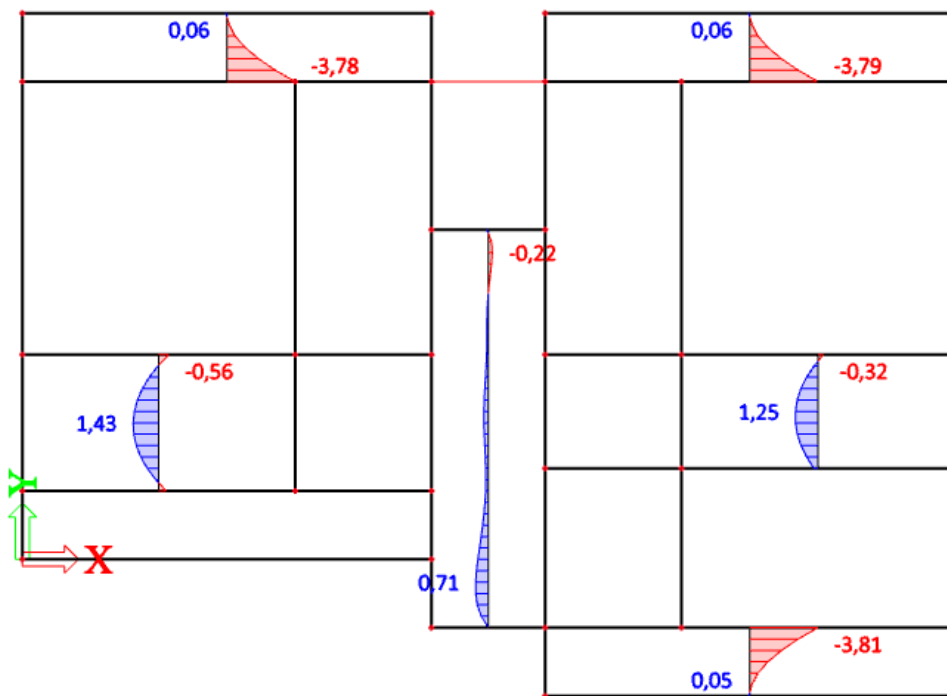
Slika 16 Moment u smjeru x - POZ 403, 406, 409, 413



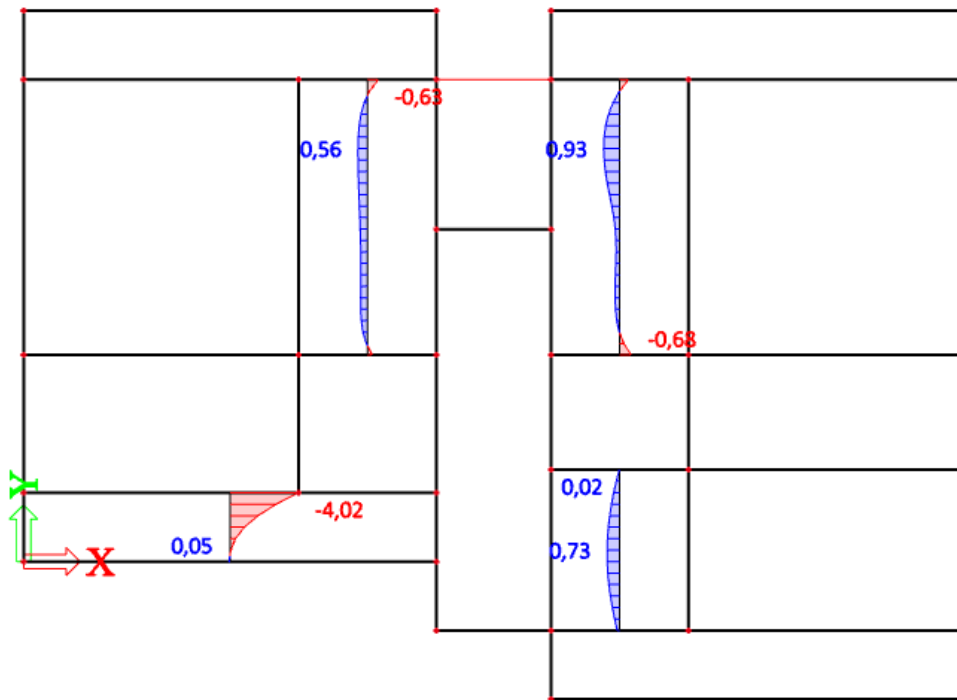
Slika 17 Moment u smjeru x - POZ 405, 411



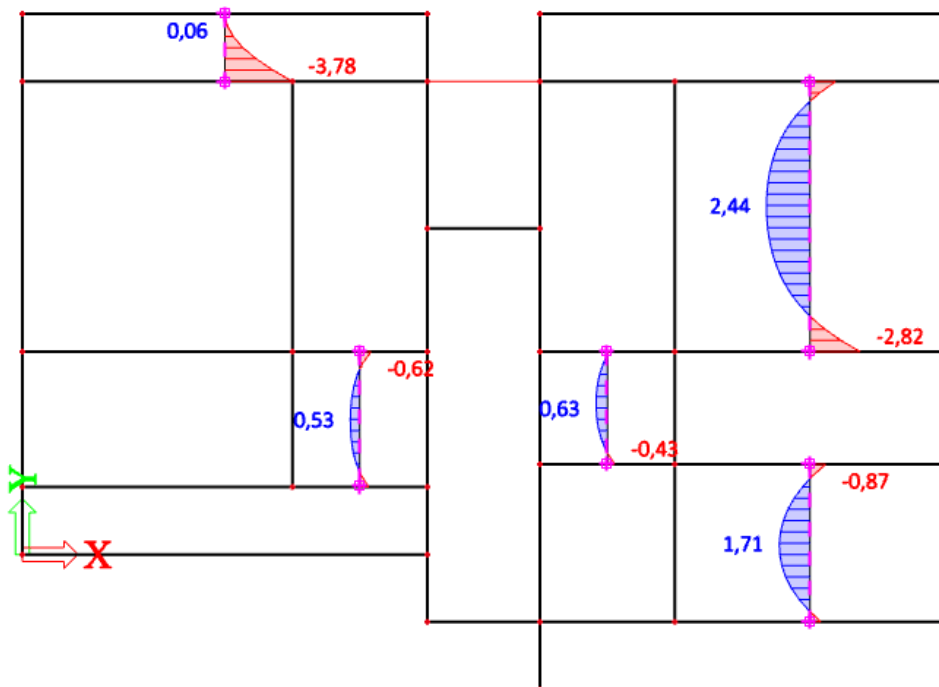
Slika 18 Momenti u smjeru y - POZ 402, 406, 407, 410, 414



Slika 19 Moment u smjeru y – POZ 401, 404, 408, 412, 415



Slika 20 Moment u smjeru y – POZ 403, 406, 409, 413

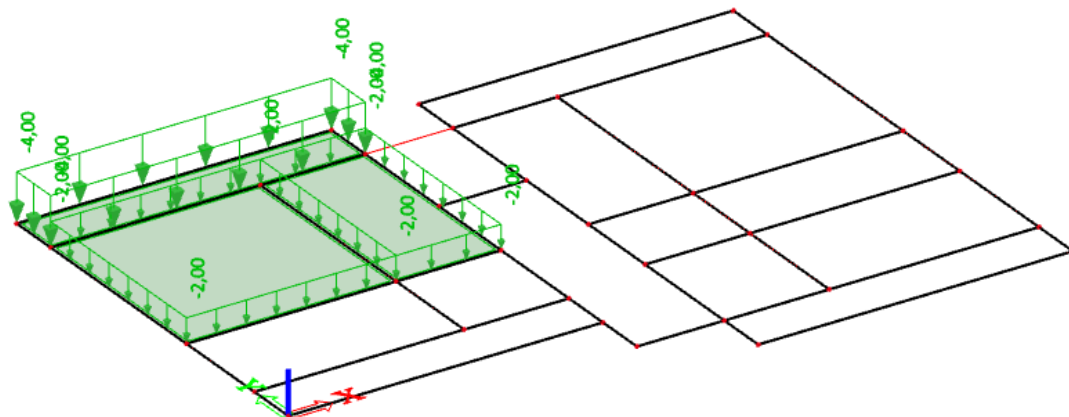


Slika 21 Moment u smjeru y - POZ 401, 405, 410, 411, 414

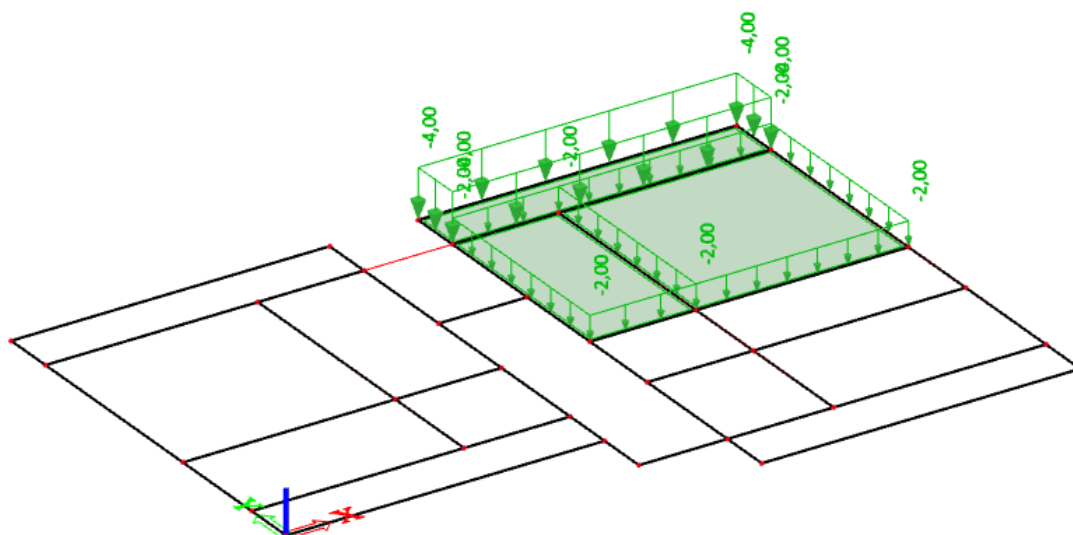
Tablica 5. Momenti savijanja u polju od uporabnog opterećenja

POZICIJA	M_x [kNm]	M_y [kNm]
401	-	-3,78
402	3,41	2,48
403	1,28	0,56
404	0,60	1,43
405	0,62	0,53
406	-	-4,02
407	1,17	0,71
408	-	-3,79
409	1,34	0,93
410	4,31	2,46
411	0,71	0,63
412	0,43	1,25
413	0,74	0,73
414	0,57	1,71
415	-	-3,81

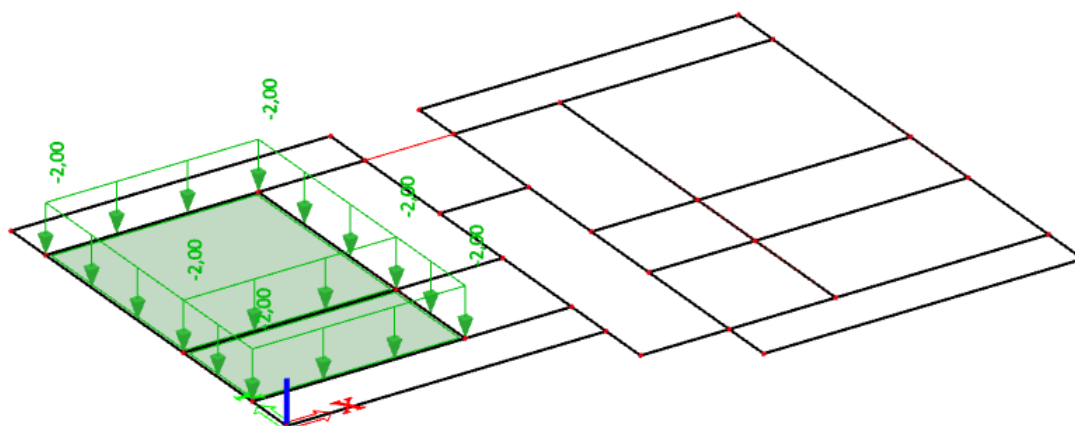
Shema uporabnog opterećenja za momente nad ležajevima:



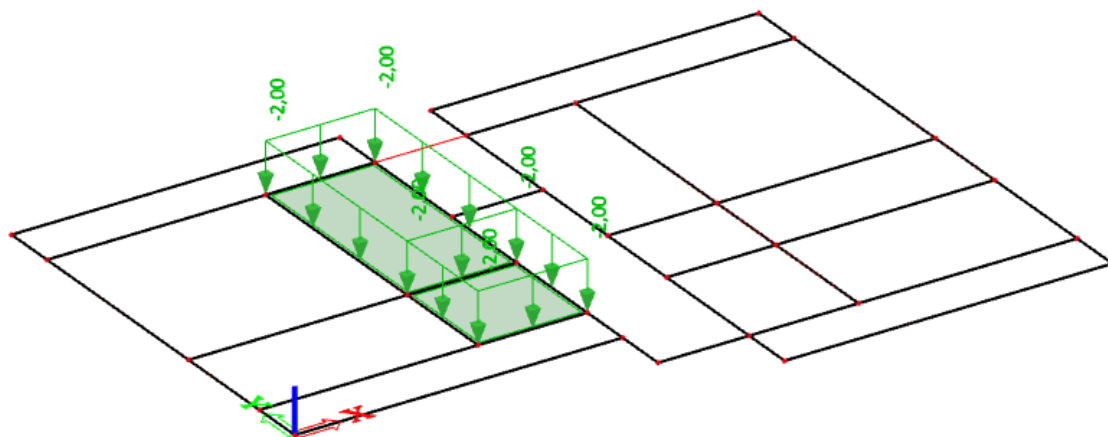
Slika 22 Uporabno opterećenje na pozicijama 401,402,403



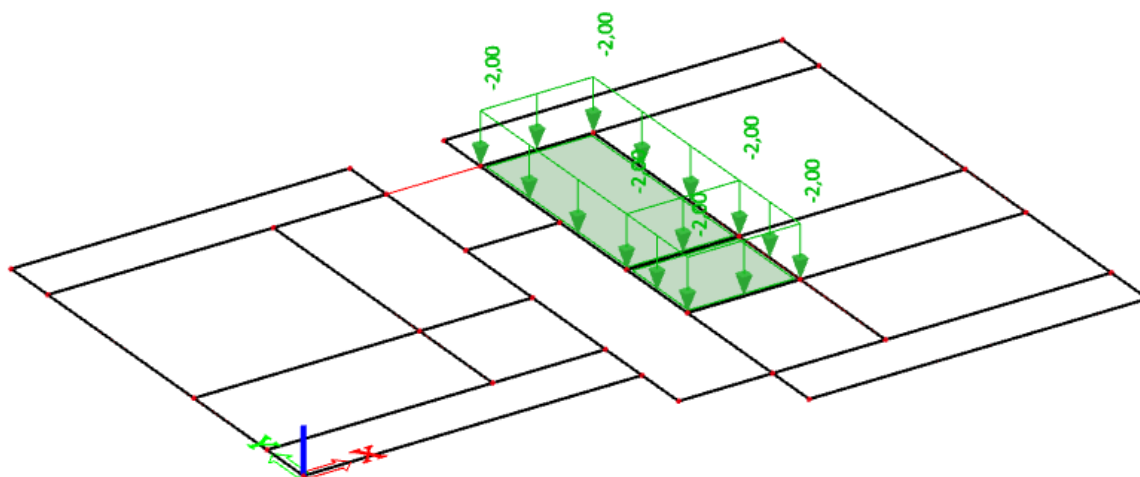
Slika 23 Uporabno opterećenje na pozicijama 408,409,410



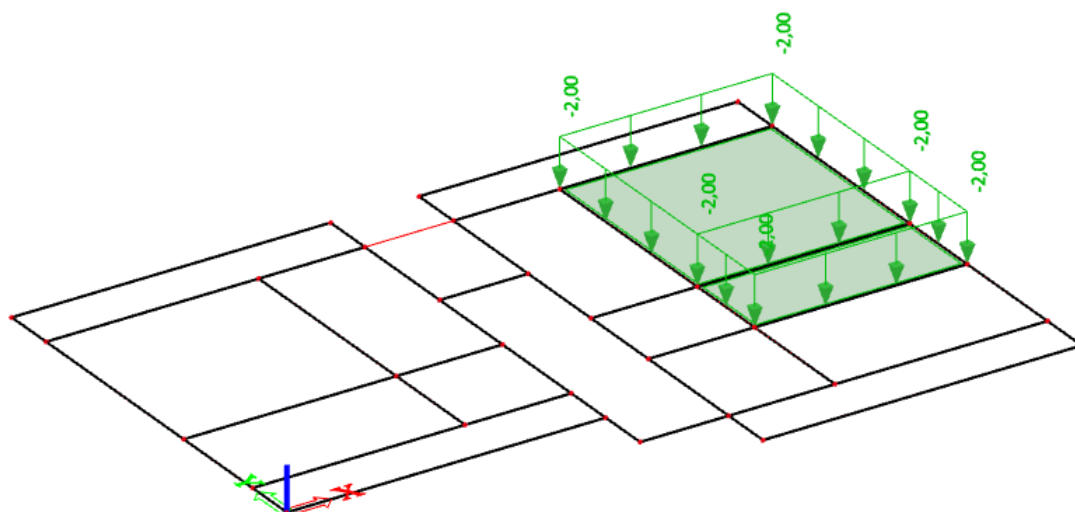
Slika 24 Uporabno opterećenje na pozicijama 402,404



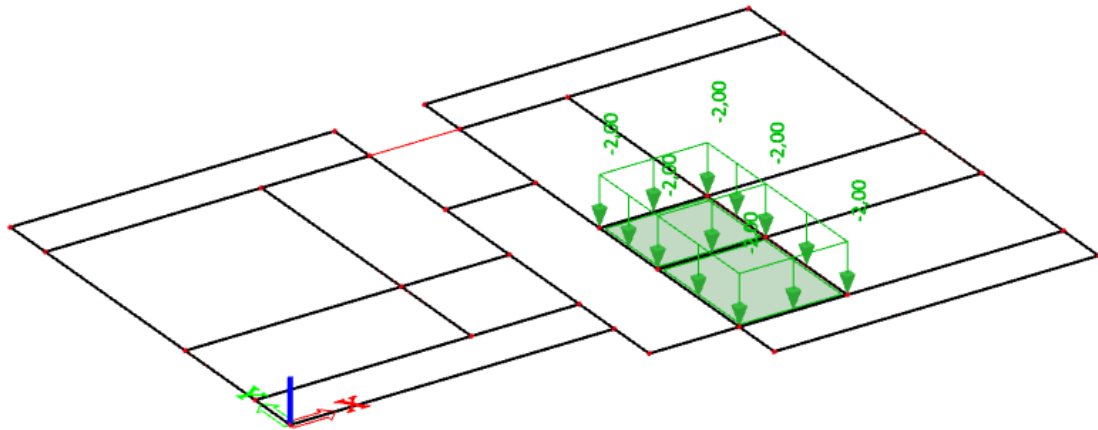
Slika 25 Uporabno opterećenje na pozicijama 403,405



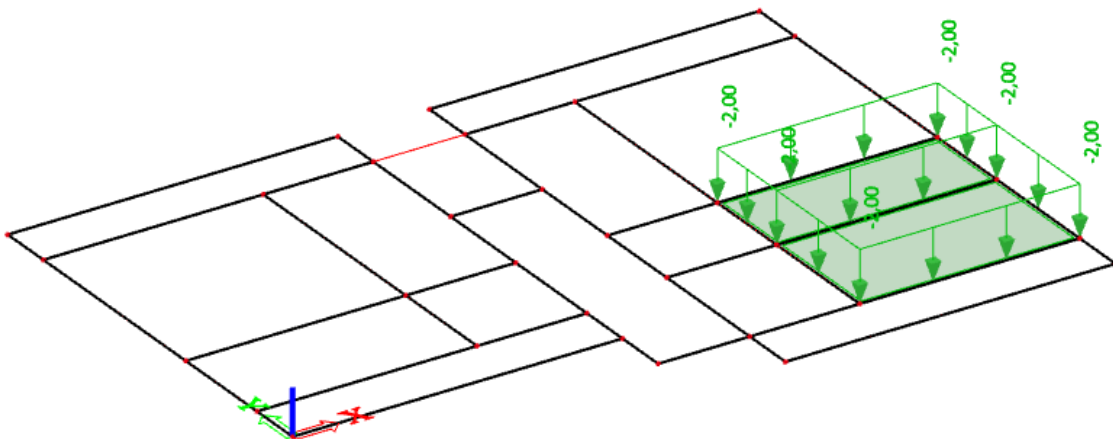
Slika 26 Uporabno opterećenje na pozicijama 409,411



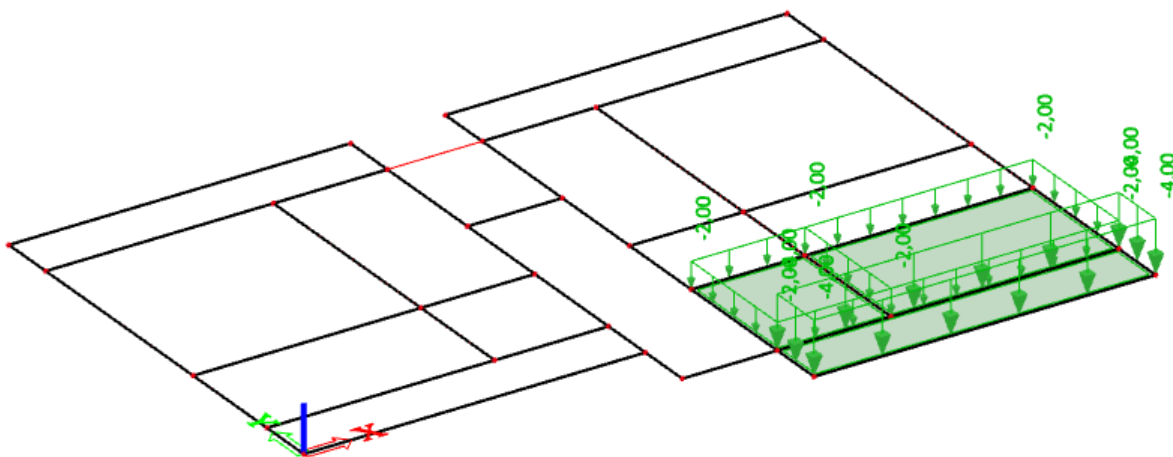
Slika 27 Uporabno opterećenje na pozicijama 410,412



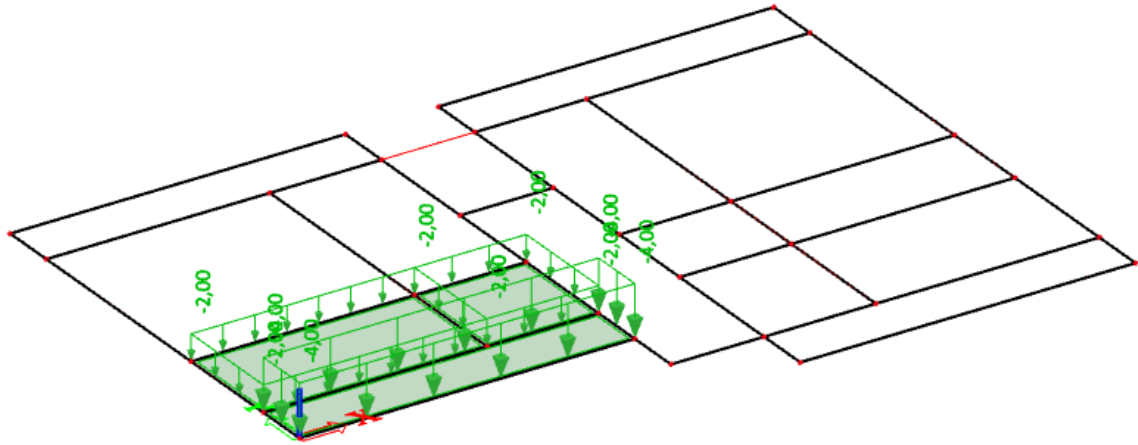
Slika 28 Uporabno opterećenje na pozicijama 411,413



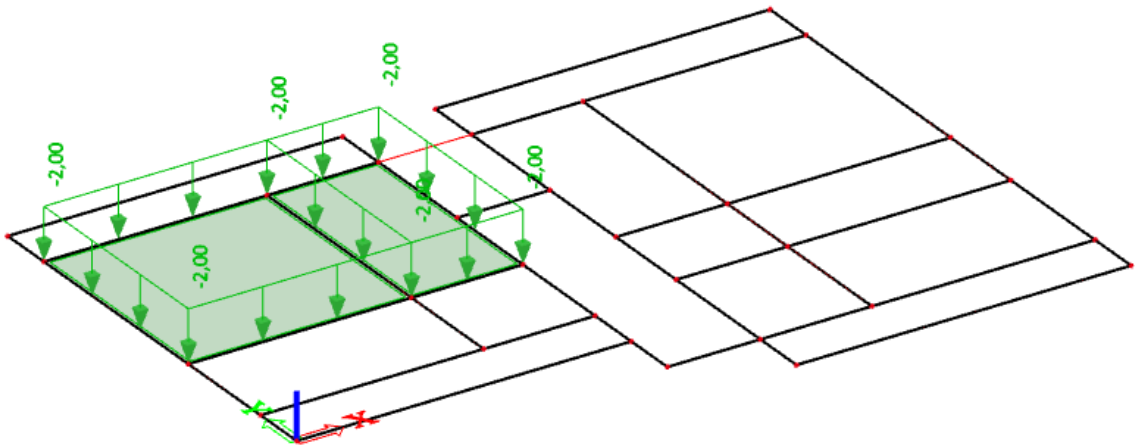
Slika 29 Uporabno opterećenje na pozicijama 412,414



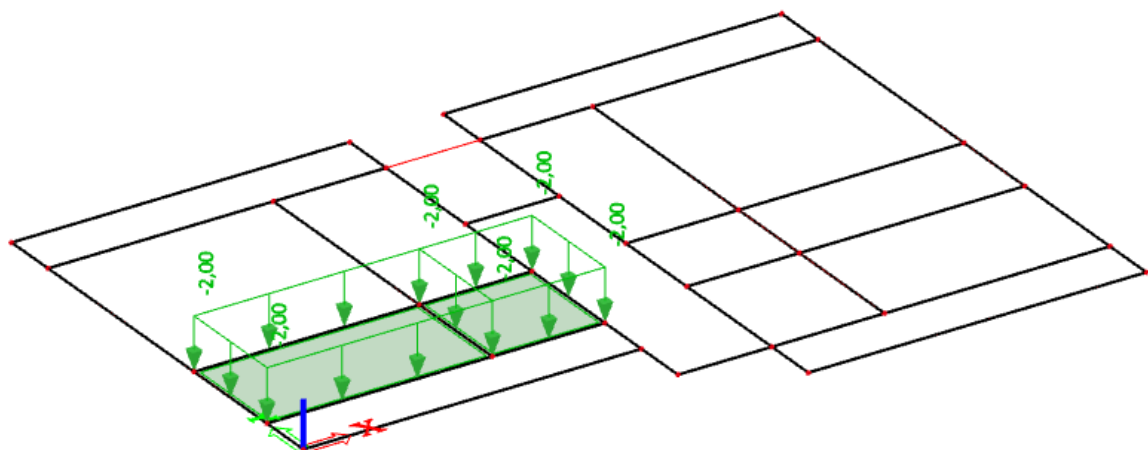
Slika 30 Uporabno opterećenje na pozicijama 413,414,415



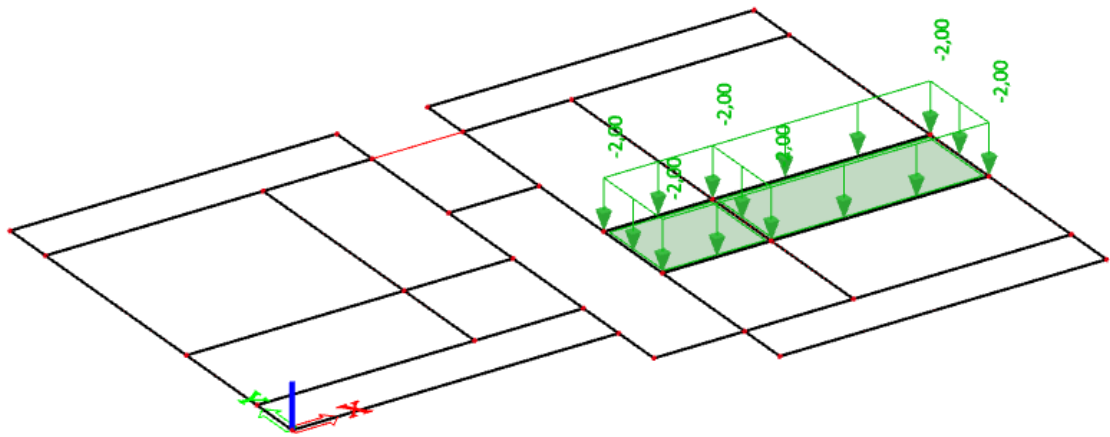
Slika 31 Uporabno opterećenje na pozicijama 404,405,406



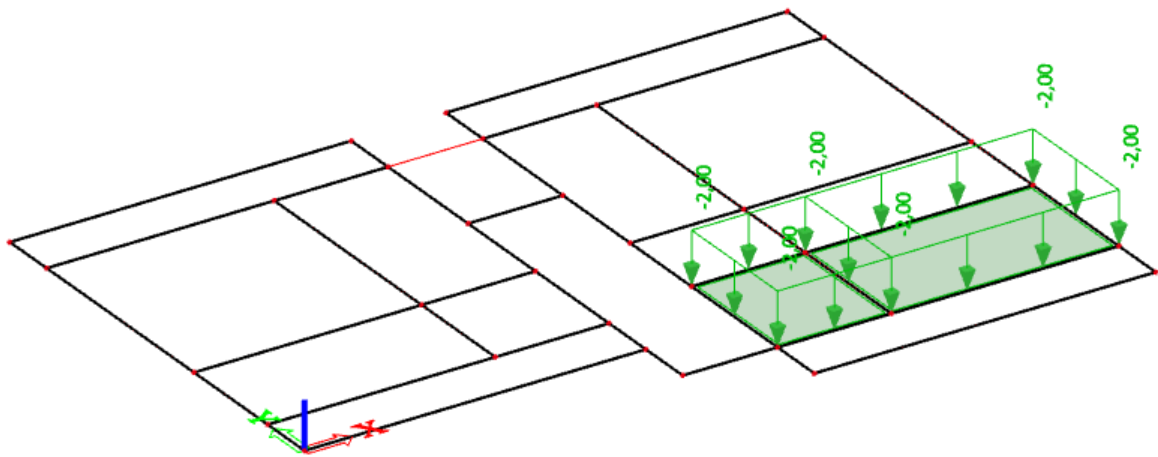
Slika 32 Uporabno opterećenje na pozicijama 402,403



Slika 33 Uporabno opterećenje na pozicijama 404,405

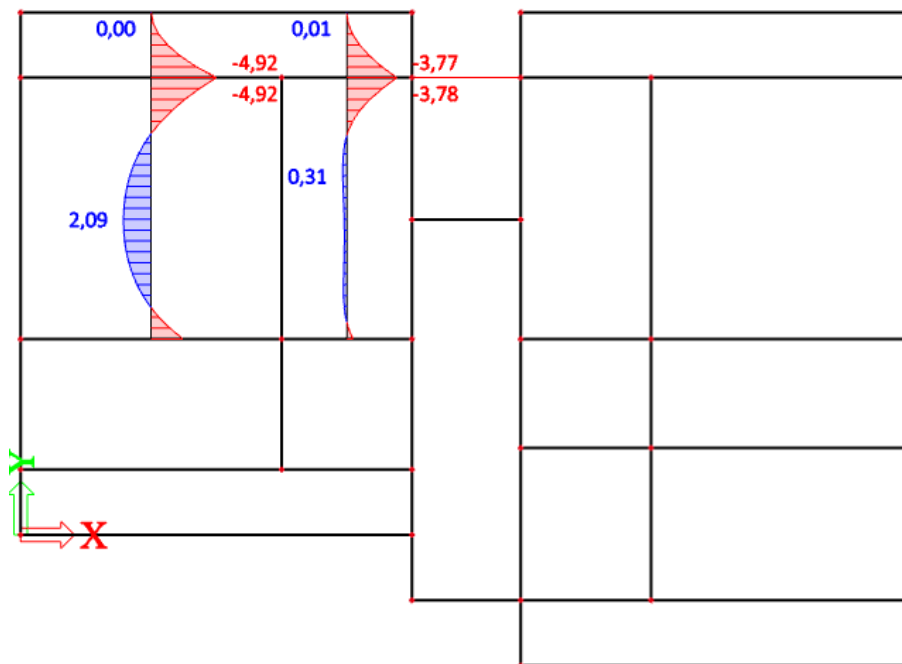


Slika 37 Uporabno opterećenje na pozicijama 411,412

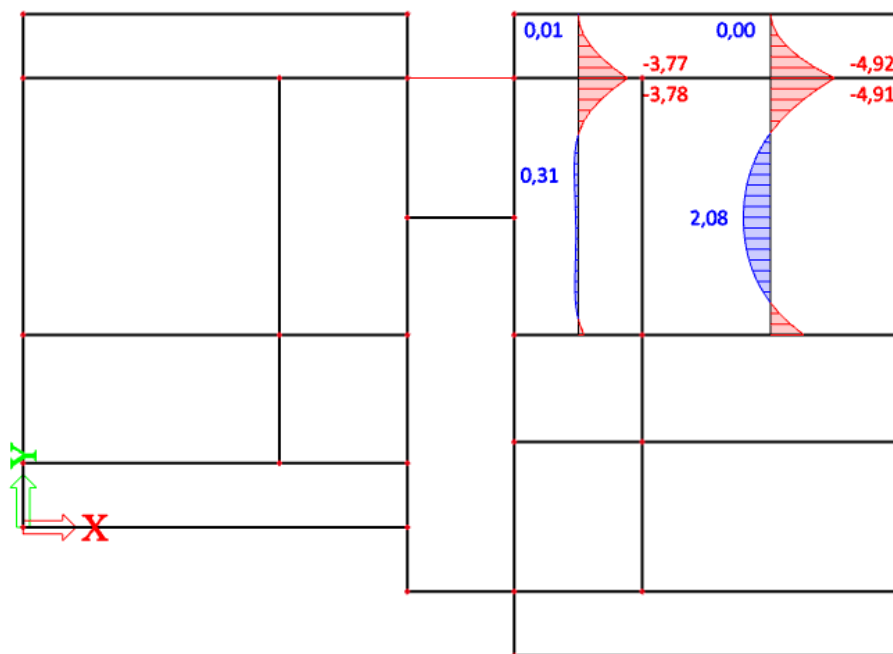


Slika 38 Uporabno opterećenje na pozicijama 413,414

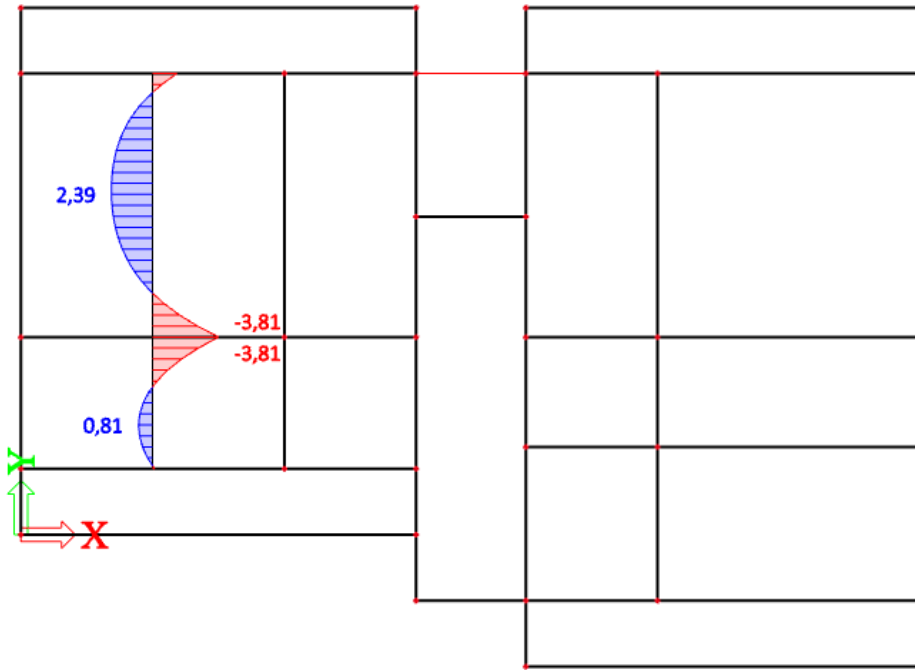
Momenti savijanja nad ležajem uslijed uporabnog opterećenja:



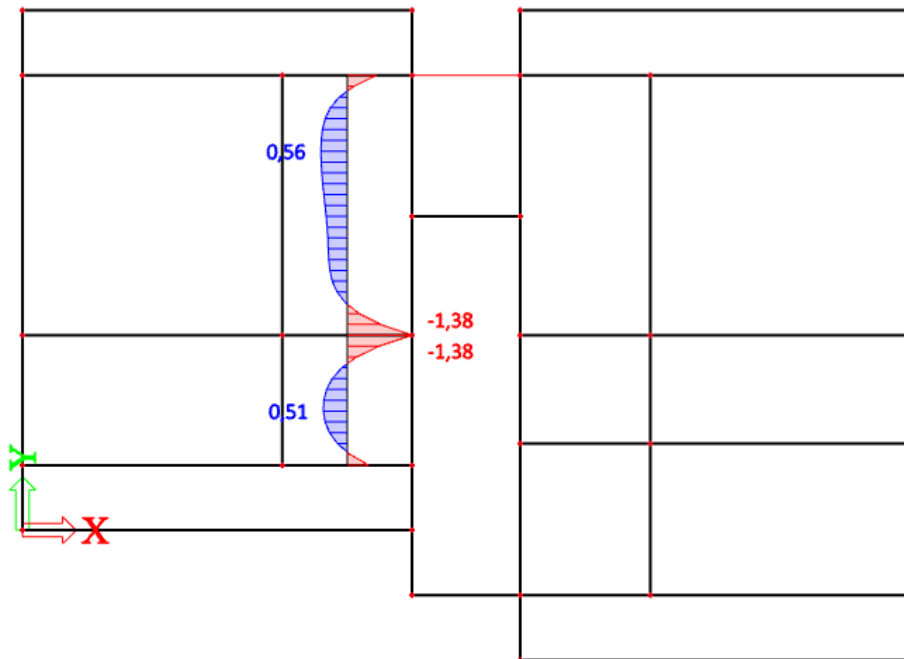
Slika 39 Momenti ležaja na pozicijama 401-402, 401-403



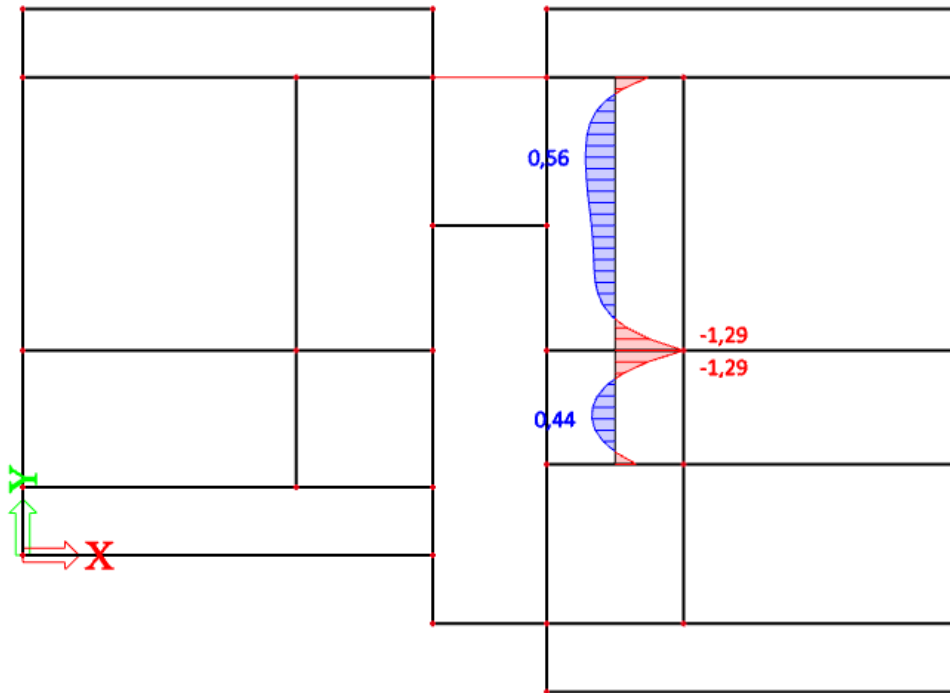
Slika 40 Momenti ležaja na pozicijama 408-409, 408-410



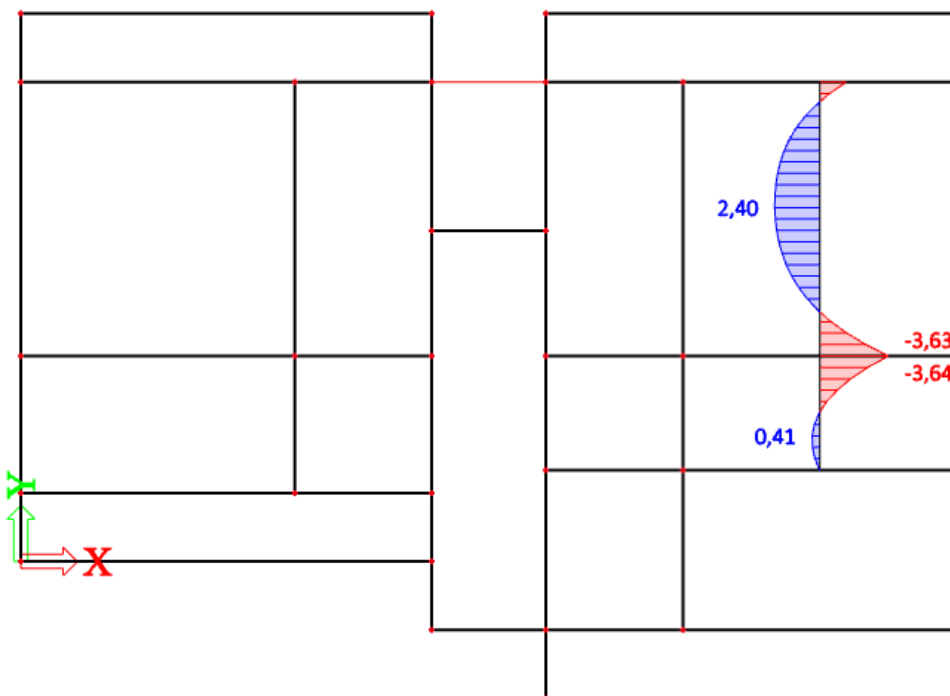
Slika 41 Momenti ležaja na pozicijama 402-404



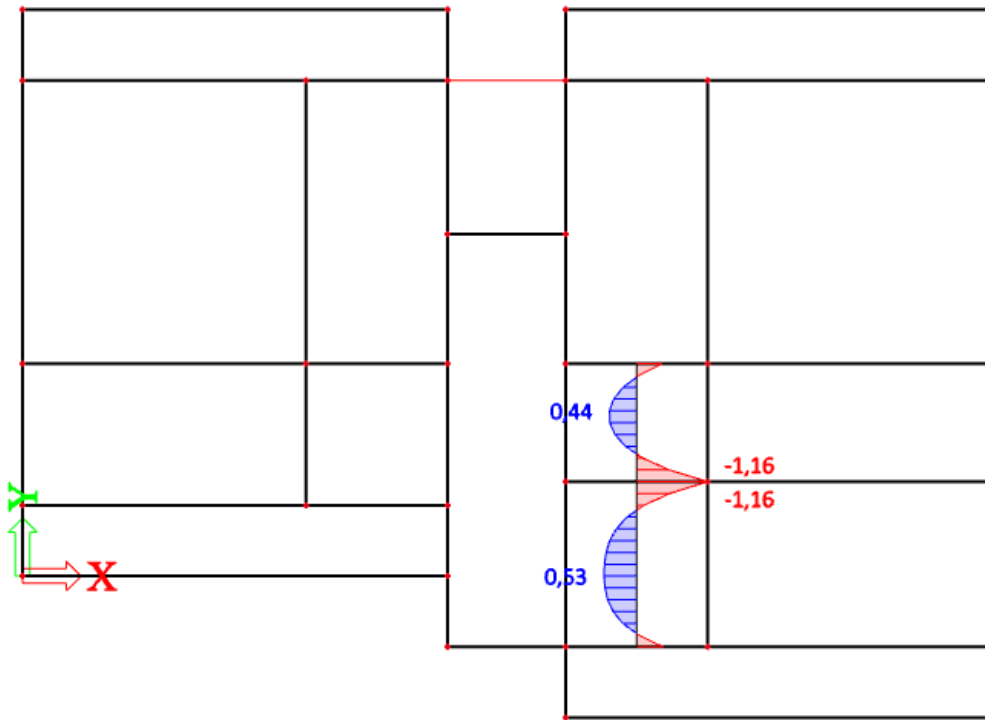
Slika 42 Momenti ležaja na pozicijama 403-405



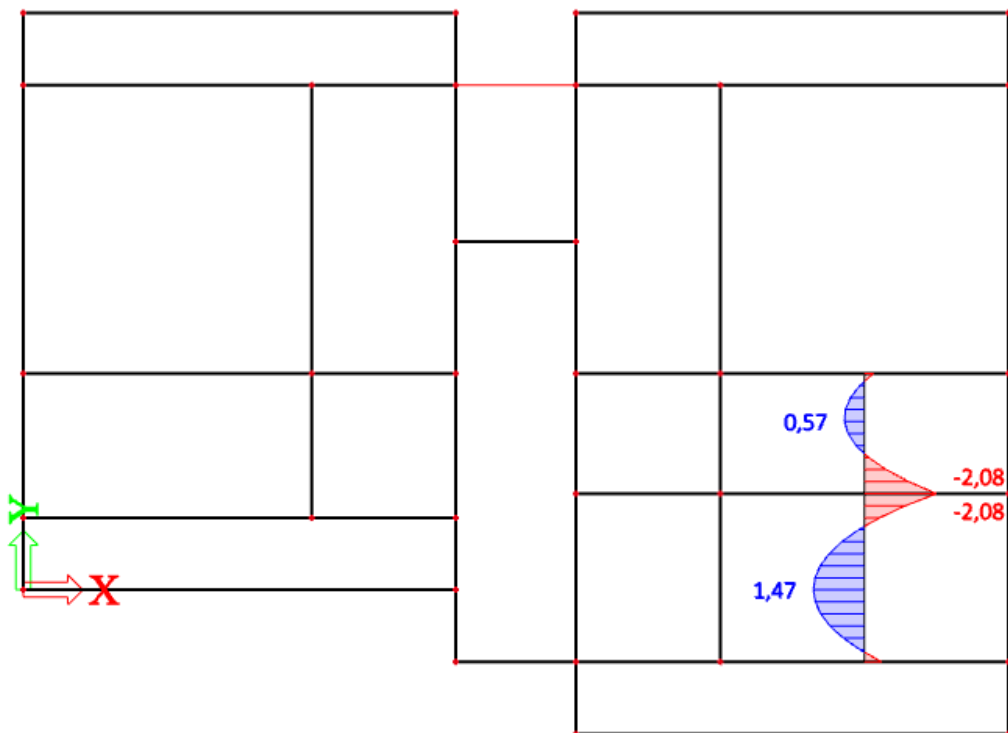
Slika 43 Momenti ležaja na pozicijama 409-411



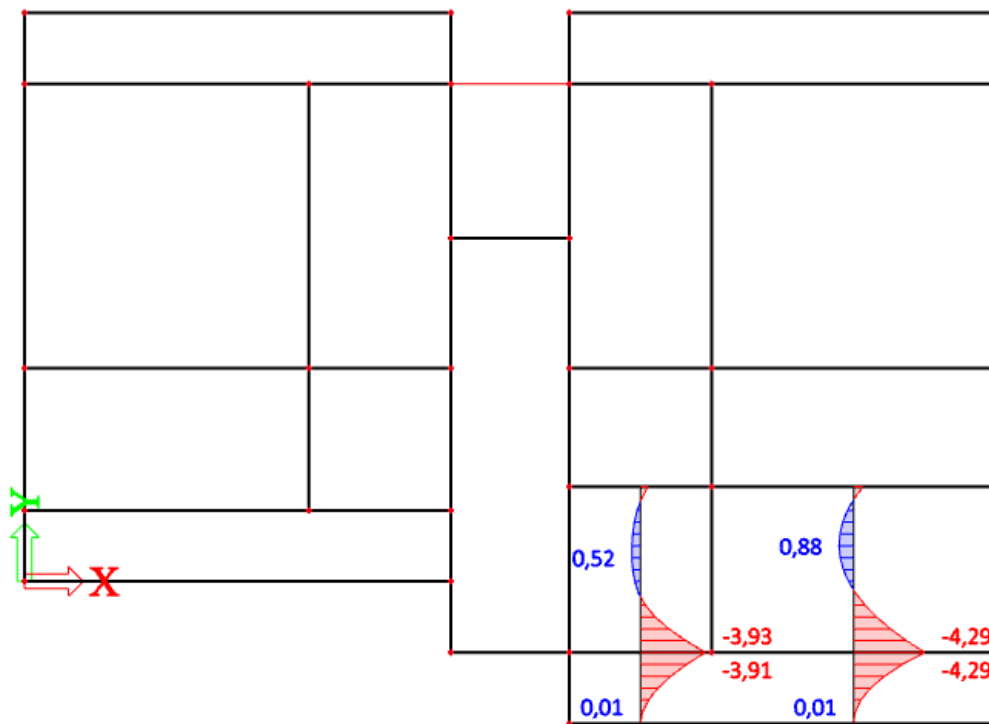
Slika 44 Momenti ležaja na pozicijama 410-412



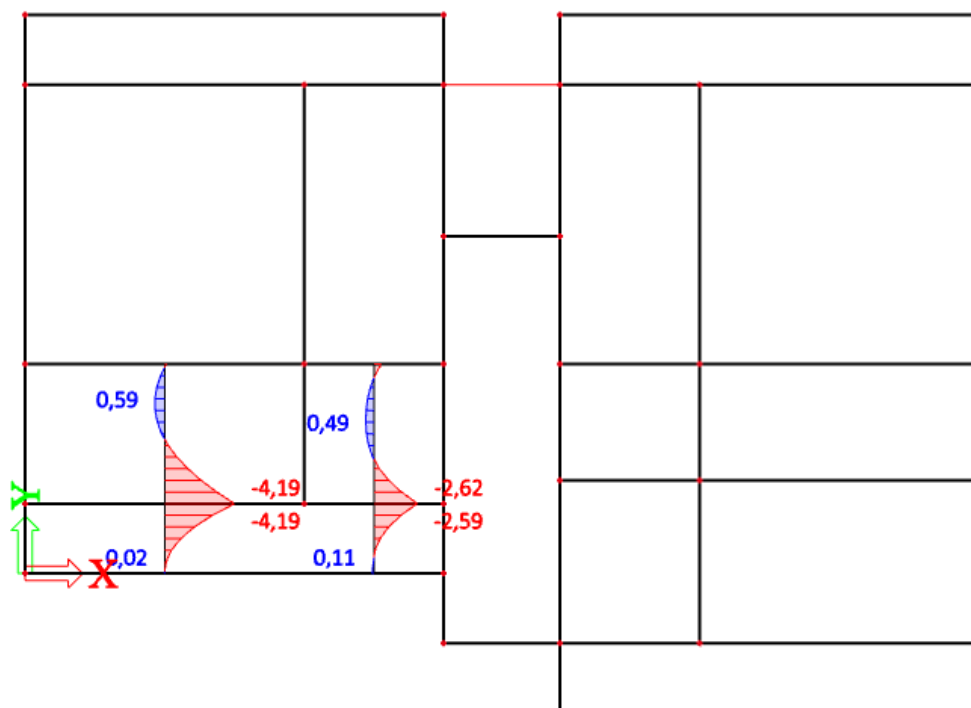
Slika 45 Momenti ležaja na pozicijama 411-413



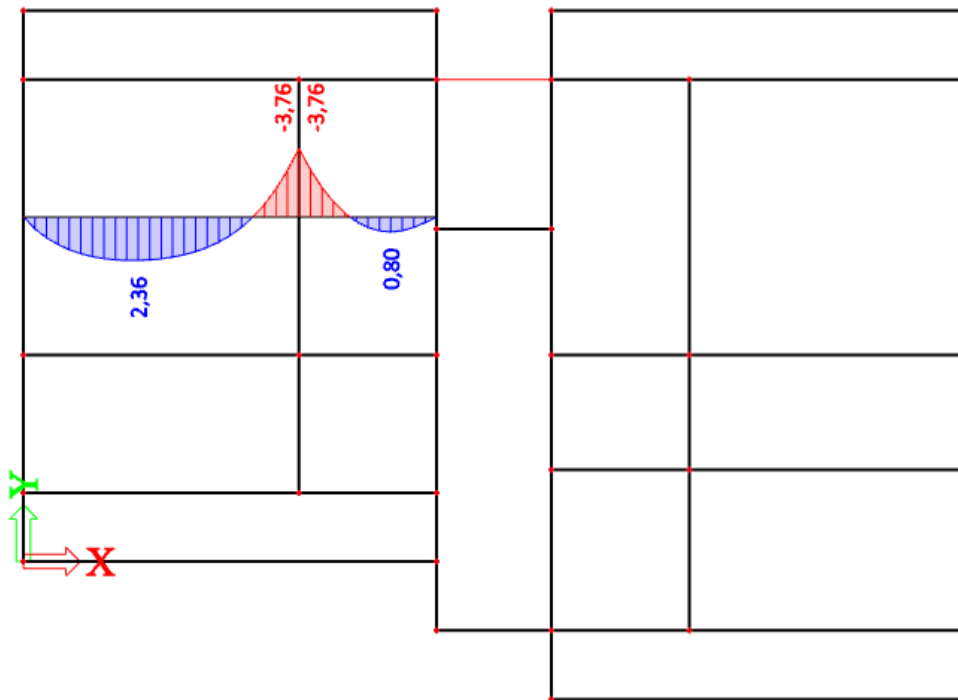
Slika 46 Momenti ležaja na pozicijama 412-414



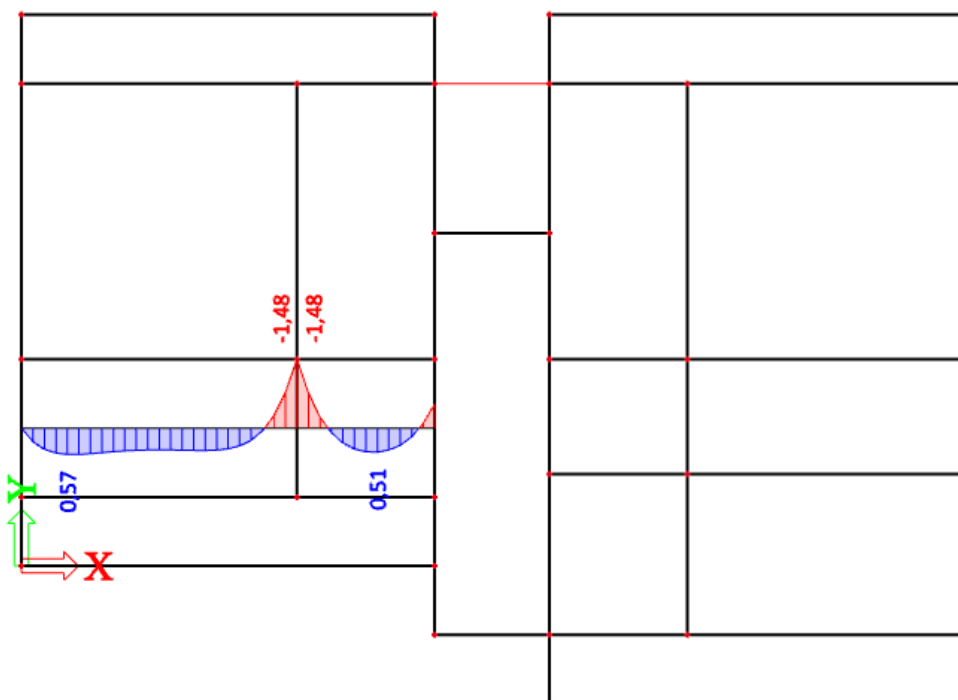
Slika 47 Momenti ležaja na pozicijama 415-413, 415-414



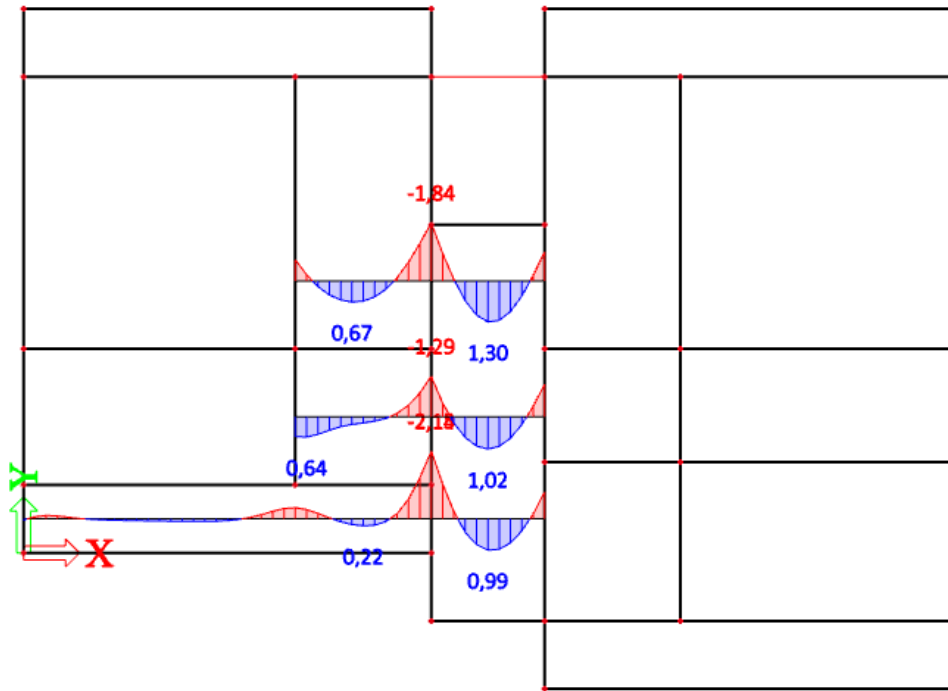
Slika 48 Momenti ležaja na pozicijama 406-404, 406-405



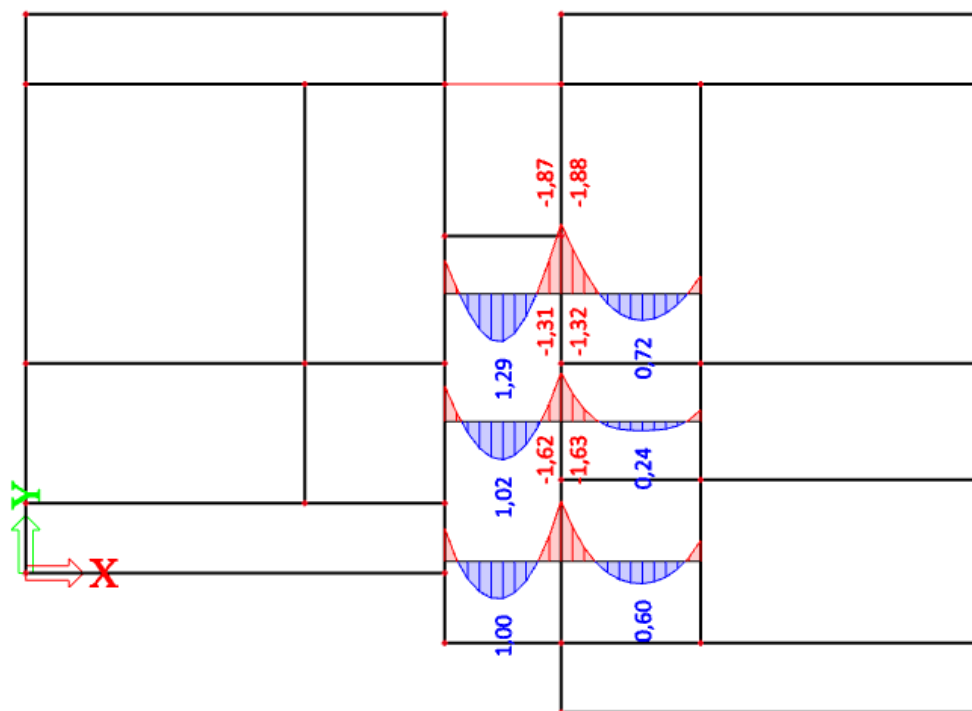
Slika 49 Momenti ležaja na pozicijama 402-403



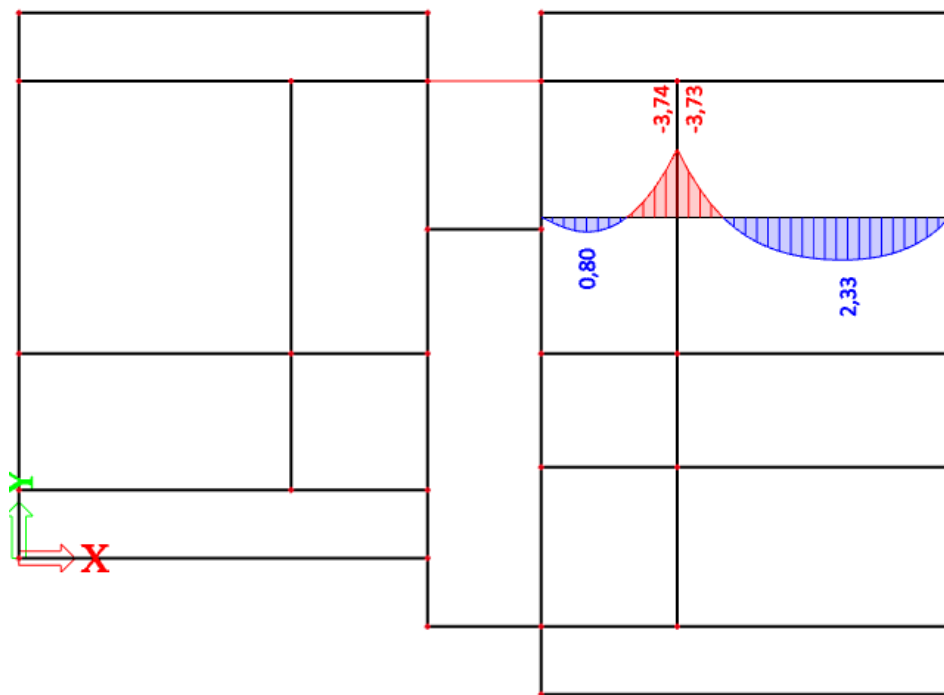
Slika 50 Momenti ležaja na pozicijama 404-405



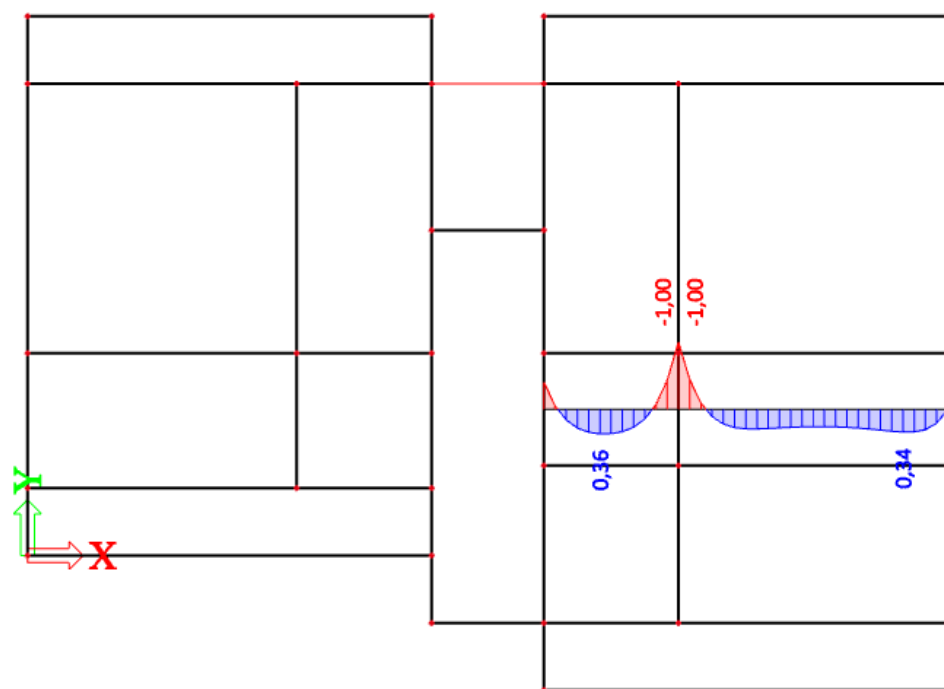
Slika 51 Momenti ležaja na pozicijama 407-403, 407-405, 407-406



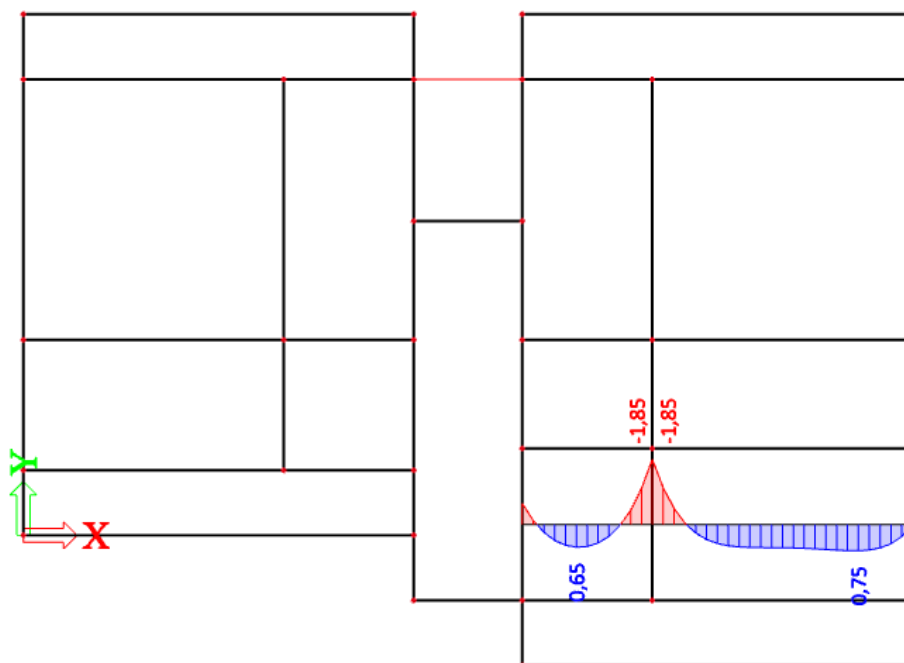
Slika 52 Momenti ležaja na pozicijama 407-409, 407-411, 407-413



Slika 53 Momenti ležaja na pozicijama 409-410



Slika 54 Momenti ležaja na pozicijama 411-412



Slika 55 Momenti ležaja na pozicijama 413-414

Tablica 6. Momenti savijanja nad ležajevima od uporabnog opterećenja

POZICIJA	M [kNm]	POZICIJA	M [kNm]
401-402	-4,92	414-415	-4,29
401-403	-3,78	402-403	-3,76
402-404	-3,81	404-405	-1,48
403-405	-1,38	403-407	-1,84
404-406	-4,19	405-407	-1,29
405-406	-2,62	406-407	-2,18
408-409	-3,78	407-409	-1,88
408-410	-4,92	407-411	-1,32
409-411	-1,29	407-413	-1,63
410-412	-3,64	409-410	-3,74
411-413	-1,16	411-412	-1,00
412-414	-2,08	413-414	-1,85
413-415	-3,93	402-403	-3,76

Tablica 7. Proračunske vrijednosti momenata savijanja u polju

POZICIJA	M_x [kNm]	M_y [kNm]
401	-	-20,32
402	14,13	13,51
403	4,27	2,00
404	1,43	2,28
405	2,55	2,69
406	-	-15,66
407	5,44	2,69
408	-	-20,32
409	4,37	2,56
410	15,46	13,48
411	2,44	2,66
412	1,24	1,58
413	2,60	2,72
414	2,80	7,45
415	-	- 17,10

Tablica 8. Proračunske vrijednosti momenata savijanja nad ležajevima

POZICIJA	M [kNm]	POZICIJA	M [kNm]
401-402	-22,03	402-403	-20,29
401-403	-14,67	404-405	-4,08
402-404	-19,77	403-407	-7,67
403-405	-5,20	405-407	-6,59
404-406	-15,91	406-407	-8,41
405-406	-10,37	407-409	-7,75
408-409	-14,67	407-411	-6,35
408-410	-22,07	407-413	-6,87
409-411	-4,85	409-410	-20,30
410-412	-19,69	411-412	-3,32
411-413	-5,43	413-414	-7,80
412-414	-7,91		
413-415	-15,52		
414-415	-17,82		

4.3 Dimenzioniranje armature

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

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,50} = 20,0 \text{ N/mm}^2 = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

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

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

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

Visina ploče: $h=20,0 \text{ cm}$

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

Udaljenost do težišta armature x: $d_1=c+\phi/2$

$$d_1=2,0+1,0/2=2,5 \text{ cm}$$

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

Minimalna armatura:

$$A_{s1,\min}=0,0013 \cdot b \cdot d=0,0013 \cdot 100 \cdot 17,50=2,28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\min}=0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}=0,26 \cdot 100 \cdot 17,50 \cdot \frac{2,9}{500}=2,64 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mjerodavna minimalna armatura: $A_{s1,\min}=2,64 \text{ cm}^2/\text{m}$

Maksimalna armatura:

$$A_{s1,\max}=0,040 \cdot A_C=0,040 \cdot 100 \cdot 20,00=80,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\max}=0,022 \cdot A_C=0,022 \cdot 100 \cdot 20,00=44,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\max}=\omega_{\lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}=0,365 \cdot 100 \cdot 17,50 \cdot \frac{20,00}{434,78}=29,38 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mjerodavna maksimalna armatura: $A_{s1,\max}=29,38 \text{ cm}^2/\text{m}$

4.3.1 Pozicija 401

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2032,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,033 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,034$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,40 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2032,00}{0,977 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,73 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 2,73 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.2 Pozicija 402

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1413,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,023 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,027$ očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1413,00}{0,980 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1351,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,022 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,023$ očitano:

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1351,00}{0,982 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,81 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: Q 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 1,89 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.3 Pozicija 403

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{427,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,007 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,008$ očitano:

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{427,00}{0,990 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,57 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{200,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,003 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,004$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,4 \text{ ‰} & \zeta &= 0,020 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,993 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{200,00}{0,983 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,26 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: Q 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,57 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.4 Pozicija 404

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{143,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,002 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,004$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,4 \text{ ‰} & \zeta &= 0,020 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,993 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{143,00}{0,9993 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,189 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{228,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,004 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{228,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,30 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: Q 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,30 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.5 Pozicija 405

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{255,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,004 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{255,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,34 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{269,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,004 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{269,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: Q 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,36 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.6 Pozicija 406

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1566,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,026 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,027$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,057$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1566,00}{0,990 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 2,10 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.7 Pozicija 407

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{544,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,009 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,010$ očitano:

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

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{544,00}{0,988 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,72 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{269,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,004 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{269,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: Q 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,72 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.8 Pozicija 408

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2032,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,033 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,034$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,30 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,061$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2030,00}{0,978 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,73 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 2,73 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.9 Pozicija 409

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{437,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,007 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,008$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,60 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,029$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{437,00}{0,990 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,58 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{256,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,004 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{256,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,34 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: Q 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,58 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.10 Pozicija 410

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1546,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,025 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,027$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,057$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1546,00}{0,980 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,07 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1348,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,022 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,023$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,10 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,052$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1348,00}{0,982 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: Q 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 2,07 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.11 Pozicija 411

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{244,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,004 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{244,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,32 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{266,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,004 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{266,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,35 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: Q 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,35 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.12 Pozicija 412

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{124,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,002 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,004$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,40 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,020$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,993$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{124,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,16 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{158,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,002 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,004$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,40 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,020$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,993$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{158,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,21 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: Q 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,21 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.13 Pozicija 413

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{260,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,004 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{260,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,34 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{272,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,004 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{272,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: $Q 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req} = 0,36 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.14 Pozicija 414

Smjer X

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{280,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,005 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,024$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{280,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{745,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,012 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,013$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,80 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,038$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{745,00}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: Q 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,99 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.15 Pozicija 415

Smjer Y

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1710,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,028 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,030$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,30 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,061$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1710,00}{0,978 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,30 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 2,30 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.16 Pozicija 401-402

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2203,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,036 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,038$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,50 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,070$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,975$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2203,00}{0,975 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,97 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

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

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

4.3.17 Pozicija 401-403

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1467,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,024 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed}=0,027$ očitano:

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1467,00}{0,980 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,97 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

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

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

4.3.18 Pozicija 402-404

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1977,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,0323 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,034$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,40 \text{ ‰} & \zeta &= 0,065 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,977 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1977,00}{0,970 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,66 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 355 ($A_{s1,prov} = 3,55 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 2,66 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.19 Pozicija 403-405

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{520,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,0085 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,010$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,70 \text{ ‰} & \zeta &= 0,034 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,988 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{520,00}{0,988 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,69 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,69 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.20 Pozicija 404-406

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1591,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,026 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,027$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,057$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1591,00}{0,980 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,13 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 2,13 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.21 Pozicija 405-406

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1037,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,017 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,020$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,00 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,048$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1037,00}{0,983 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,39 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 1,39 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.22 Pozicija 408-409

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1467,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,024 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,027$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,20 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,057$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1467,00}{0,980 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,97 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

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

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

4.3.23 Pozicija 408-410

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2207,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,036 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,038$ očitano:

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2207,00}{0,975 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,98 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 355 ($A_{s1,prov} = 3,55$) $> A_{s1,req} = 2,98 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.24 Pozicija 409-411

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{485,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,0079 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,008$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,60 \text{ ‰} & \zeta &= 0,029 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,990 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{485,00}{0,990 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,64 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,64 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.25 Pozicija 410-412

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1969,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,032 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,034$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,40 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1969,00}{0,977 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req} = 2,65 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.26 Pozicija 411-413

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{543,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,0089 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,010$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,70 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,034$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{543,00}{0,988 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,72 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,72 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.27 Pozicija 412-414

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{791,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,013 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,016$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,90 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,043$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{791,00}{0,985 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 1,06 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.28 Pozicija 413-415

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1552,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,0253 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,027$ očitano:

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1552,00}{0,980 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,08 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req} = 2,08 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.29 Pozicija 414-415

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1782,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,029 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,030$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,30 \text{ ‰} & \zeta &= 0,061 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,978 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1782,00}{0,978 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,39 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req} = 2,39 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.30 Pozicija 402-403

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2029,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,033 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,034$ očitano:

$$\varepsilon_c = -1,40 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,065$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2029,00}{0,977 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,73 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: $R 283 (A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req} = 2,73 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.31 Pozicija 404-405

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{408,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,0067 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,008$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,60 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,029$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{408,00}{0,990 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,54 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,54 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.32 Pozicija 403-407

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{767,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,0125 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,013$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,80 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,038$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{767,00}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,02 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 1,02 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.33 Pozicija 405-407

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{659,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,0107 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,013$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,80 \text{ ‰} & \zeta &= 0,038 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,987 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{659,00}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,88 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,88 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.34 Pozicija 406-407

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{841,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,014 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,016$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,90 \text{ ‰} & \zeta &= 0,043 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,985 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{841,00}{0,985 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,12 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

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

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

4.3.35 Pozicija 407-409

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{775,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,013 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,016$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,90 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,043$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{775,00}{0,985 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

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

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

4.3.36 Pozicija 407-411

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{635,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,010 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,013$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,80 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,038$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{635,00}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,85 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,85 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.37 Pozicija 407-413

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{687,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,011 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,013$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,80 \% & \zeta &= 0,038 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \% & \zeta &= 0,987 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{687,00}{0,987 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,91 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.38 Pozicija 409-410

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2030,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,033 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,034$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,40 \text{ ‰} & \zeta &= 0,065 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,977 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2030,00}{0,977 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 2,73 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 2,73 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.39 Pozicija 411-412

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{332,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,005 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,50 \text{ ‰} & \zeta &= 0,024 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,992 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{332,00}{0,992 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 0,44 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 0,44 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.3.40 Pozicija 413-414

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{780,00}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,013 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,016$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,90 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,043$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{780,00}{0,985 \cdot 17,5 \cdot 43,478} = 1,04 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: R 283 ($A_{s1,prov} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 1,04 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

4.4 Rekapitulacija odabrane armature u polju i nad ležajevima

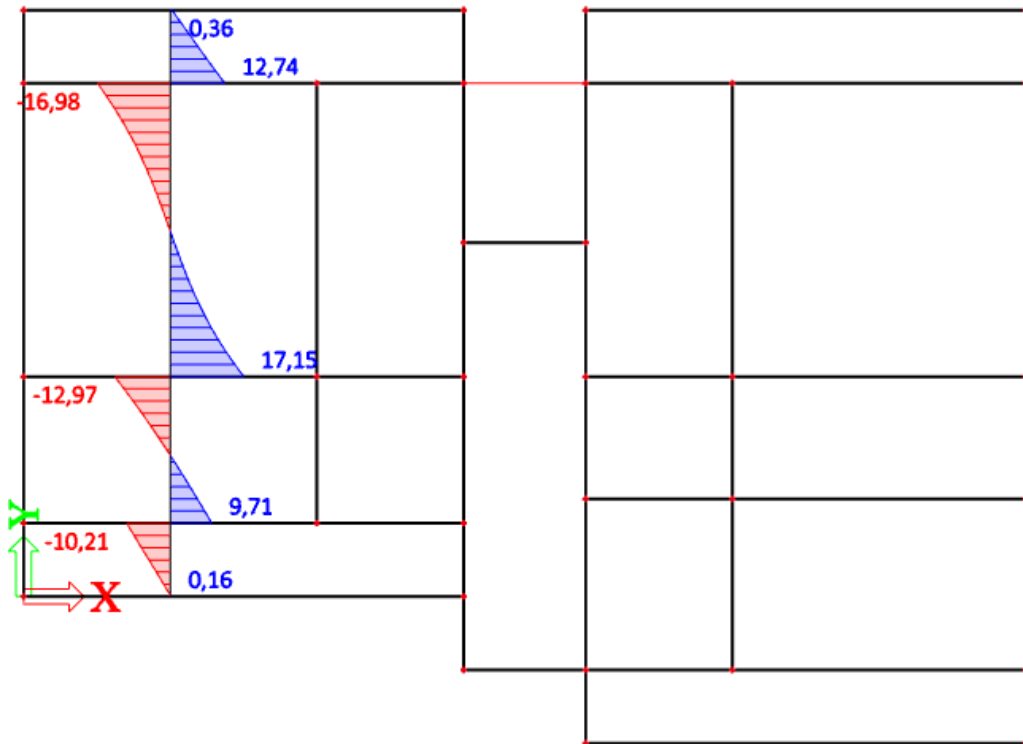
Tablica 9. Odabrana armatura u polju

POZICIJA	ARMATURA
401	R 283
402	Q 283
403	Q 283
404	Q 283
405	Q 283
406	R 283
407	Q 283
408	R 283
409	Q 283
410	Q 283
411	Q 283
412	Q 283
413	Q 283
414	Q 283
415	R 283

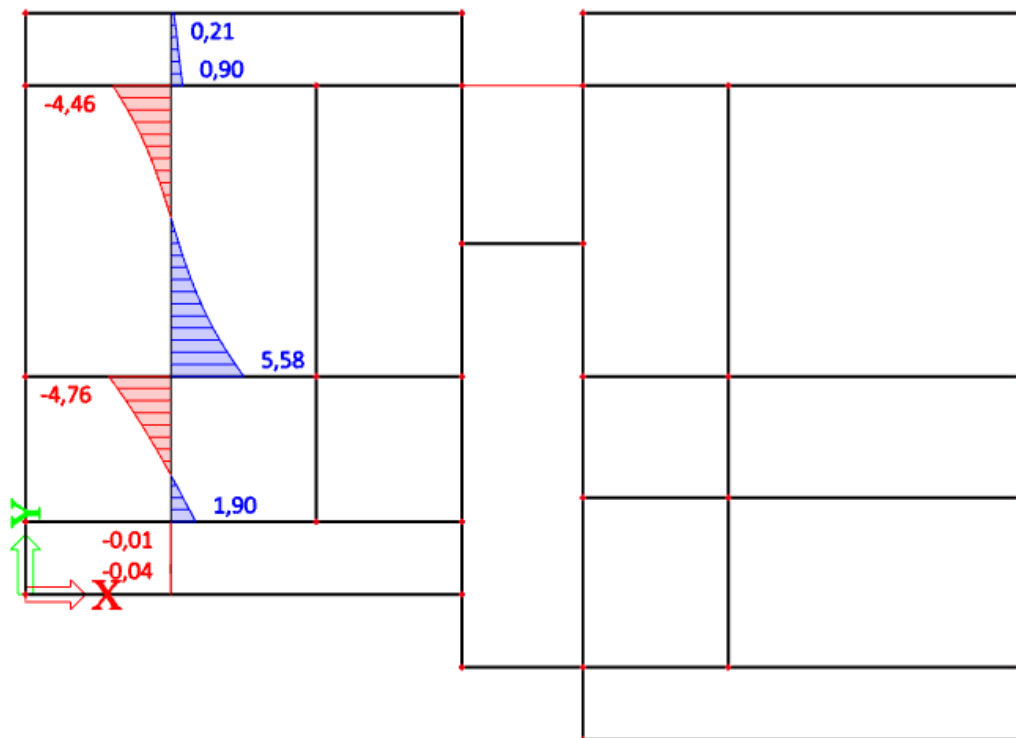
Tablica 10. Odabrana armatura nad ležajevima

POZICIJA	ARMATURA	POZICIJA	ARMATURA
401-402	R 355	402-403	R 283
401-403	R 283	404-405	R 283
402-404	R 355	403-407	R 283
403-405	R 283	405-407	R 283
404-406	R 283	406-407	R 283
405-406	R 283	407-409	R 283
408-409	R 283	407-411	R 283
408-410	R 355	407-413	R 283
409-411	R 283	409-410	R 283
410-412	R 283	411-412	R 283
411-413	R 283	413-414	R 283
412-414	R 283		
413-415	R 283		
414-415	R 283		

4.5 Proračun poprečne armature



Slika 56 Poprečna sila nad ležajevima od stalnog opterećenja



Slika 57 Poprečna sila nad ležajevima od mjerodavnog uporabnog opterećenja

Proračunska vrijednost poprečne sile:

$$V_{Ed}=1,35 \cdot 17,15 + 1,50 \cdot 5,58 = 31,52 \text{ kN}$$

Proračunska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{175}} = 2,7 > 2,0 \rightarrow k = 2,00$$

$$A_{s1,prov} = 3,55 \text{ cm}^2$$

$$b = 1000 \text{ mm} = 100 \text{ cm}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1,prov}}{b \cdot d} = \frac{3,55}{100 \cdot 17,50} = 0,00203 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,00 \cdot (100 \cdot 0,00203 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 175 = 76698,77 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 76,70 \text{ kN}$$

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

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2,0^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,54$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,54 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 175 = 94500 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c,min} = 94,50 \text{ kN}$$

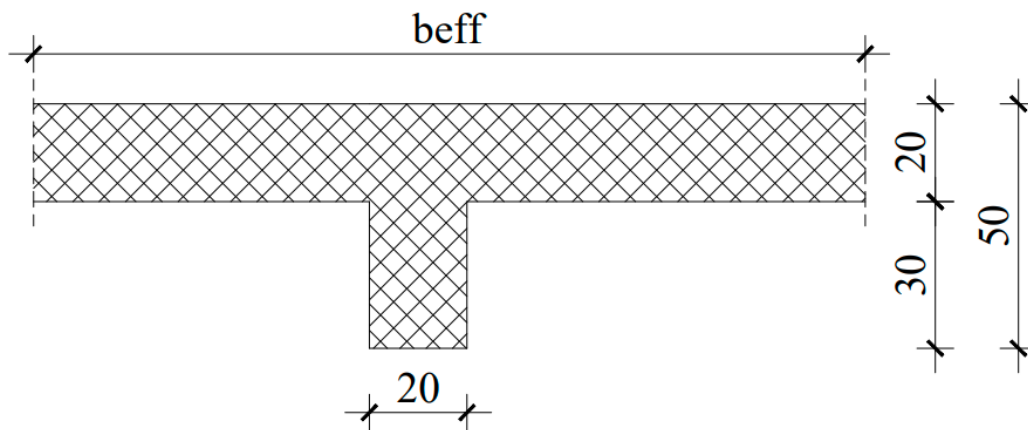
Nosivost:

$$V_{Ed} = 31,52 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 76,70 \text{ kN}$$

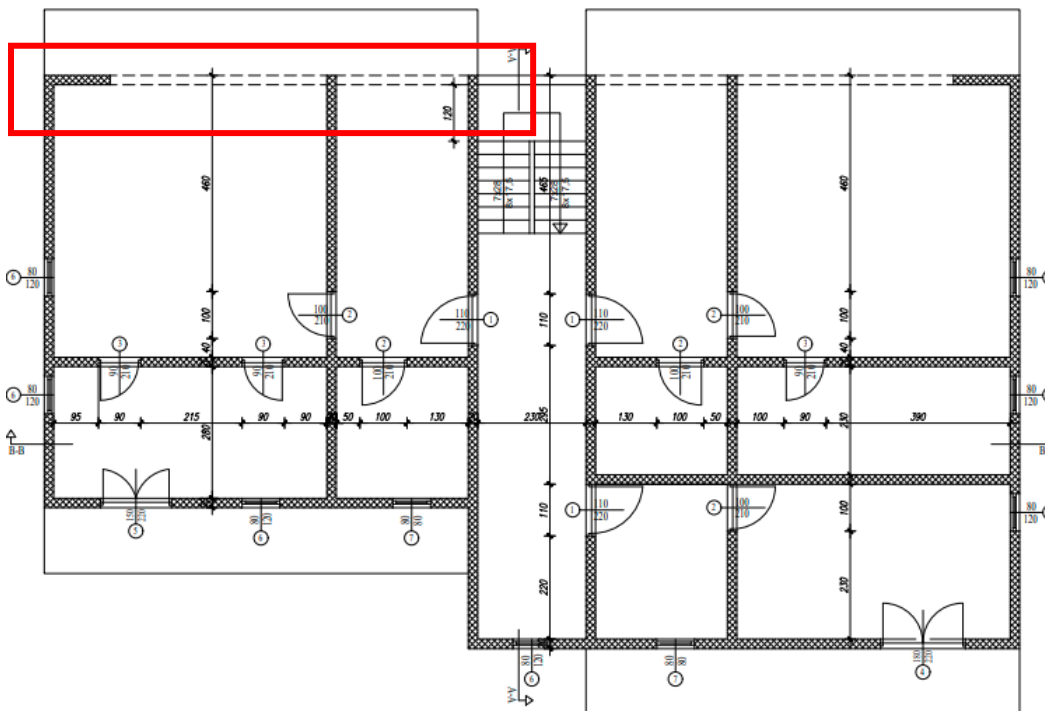
Iz danog uvjeta vidljivo je da nije potrebno proračunati posmičnu armaturu

5 PRORAČUN GREDE POZICIJE 401 NA GSN i GSU

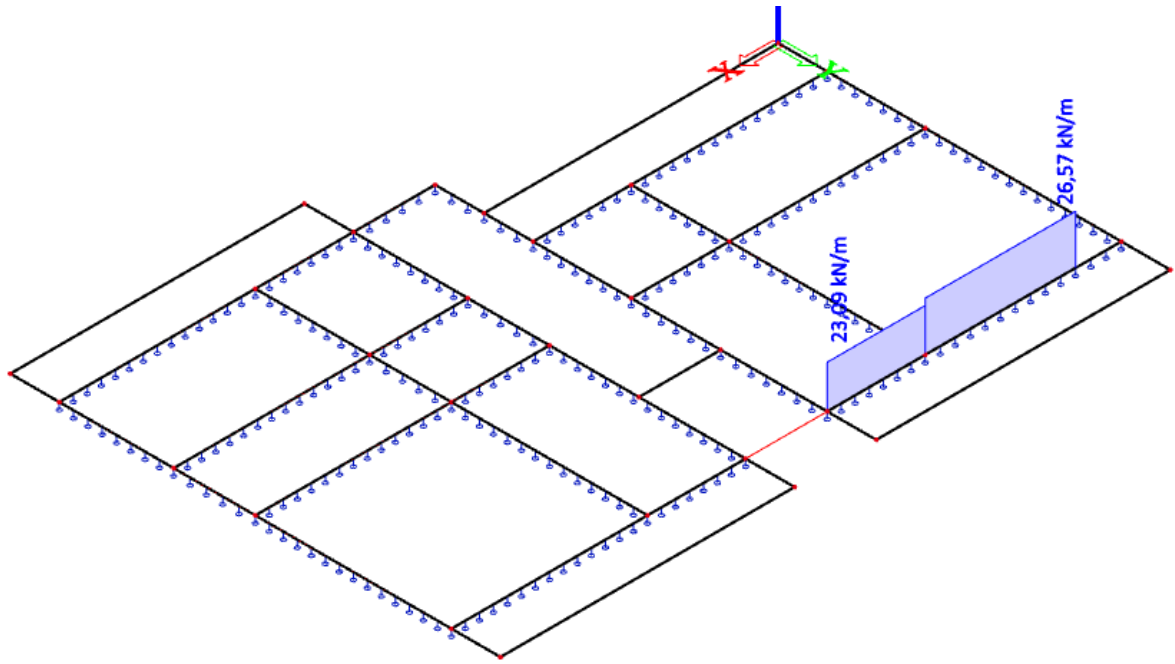
5.1 Analiza opterećenja



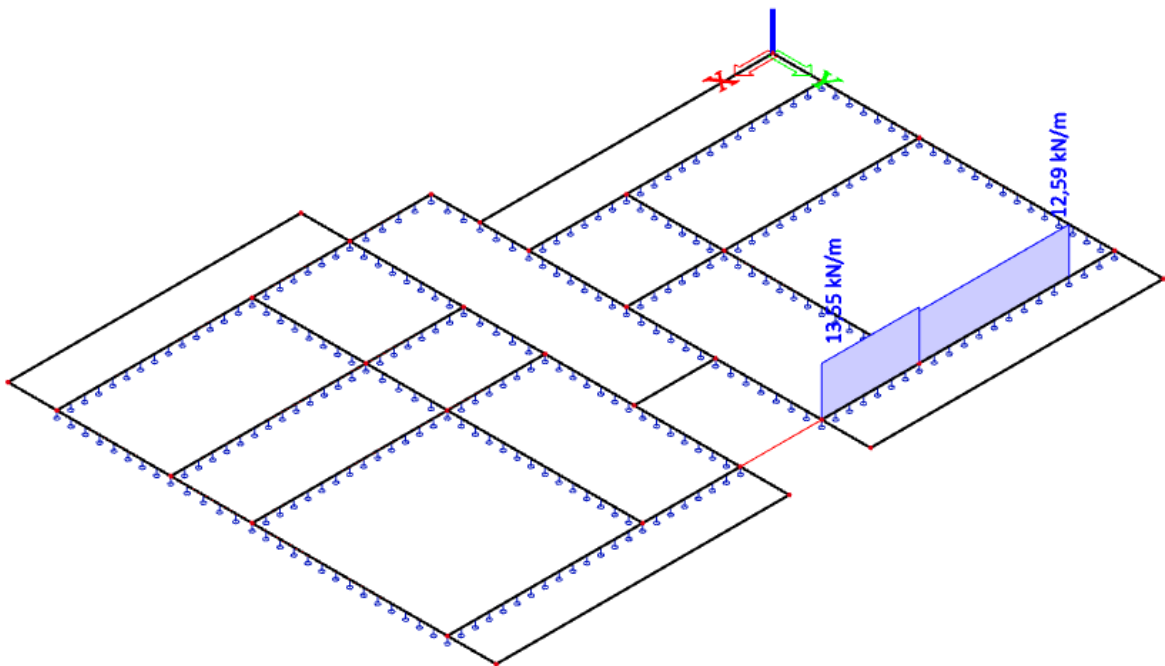
Slika 58 Poprečni presjek grede POZ 401



Slika 59 Položaj grede POZ 401 u tlocrtu



Slika 60 Reakcije ploče od stalnog opterećenja [kN/m]



Slika 61 Reakcije ploče mjerodavnog uporabnog opterećenja za polja 402 i 403 [kN/m]

Opterećenje u prvom polju

Stalno opterećenje na gredu

Vlastita težina donjeg dijela grede $0,20 \cdot 0,30 \cdot 25 = 1,50$ kN/m

Reakcija ploče $26,57$ kN/m

Ukupno opterećenje $g_k = 28,07$ kN/m

Uporabno opterećenje na gredu

Ukupno uporabno opterećenje $q_k = 12,59$ kN/m

Opterećenje u drugom polju

Stalno opterećenje na gredu

Vlastita težina donjeg dijela grede $0,20 \cdot 0,30 \cdot 25 = 1,50$ kN/m

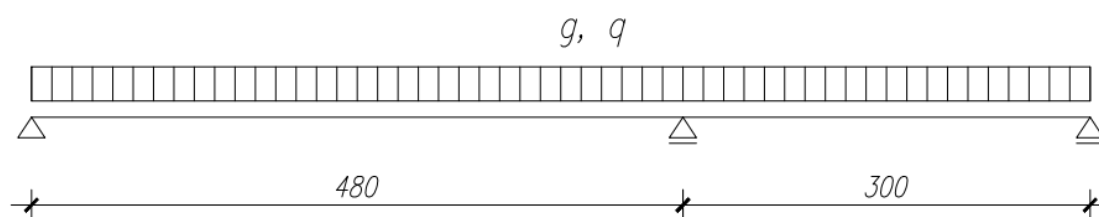
Reakcija ploče $23,09$ kN/m

Ukupno opterećenje $g_k = 23,59$ kN/m

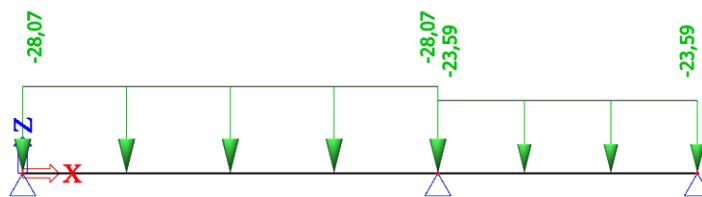
Uporabno opterećenje na gredu

Ukupno uporabno opterećenje $q_k = 13,55$ kN/m

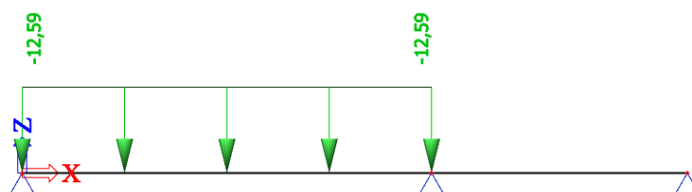
5.2 Karakteristične vrijednosti momenata savijanja i poprečnih sila



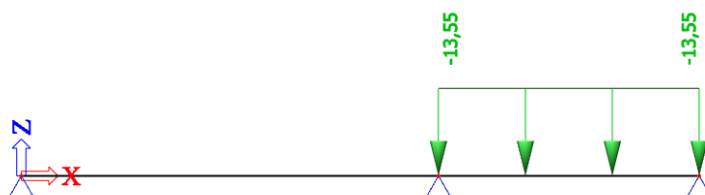
Slika 62 Statički sustav grede POZ 401



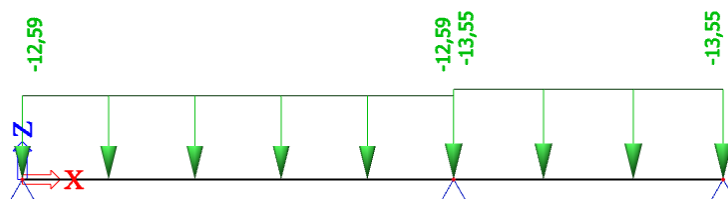
Slika 63 Prikaz stalnog opterećenja grede



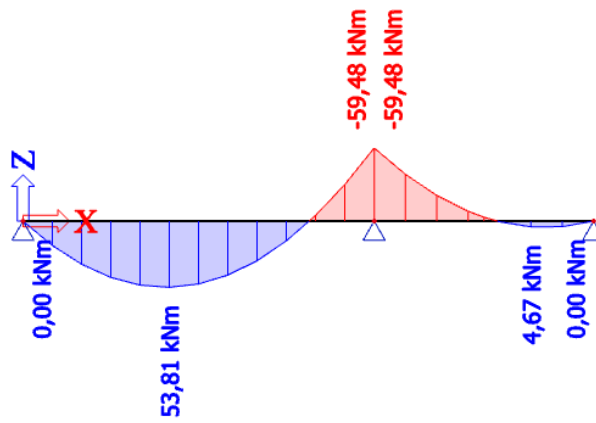
Slika 64 Prikaz uporabnog opterećenja grede za maksimalni moment polja 1



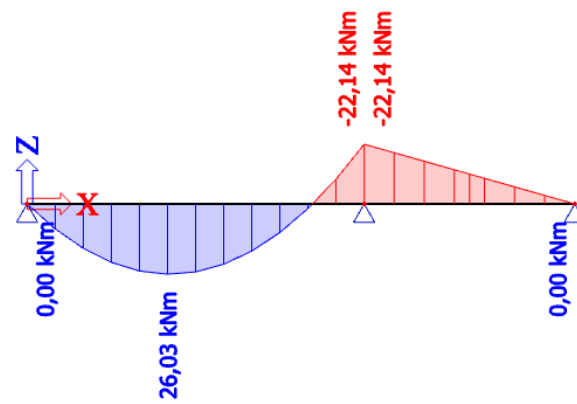
Slika 65 Prikaz uporabnog opterećenja grede za maksimalni moment polja 2



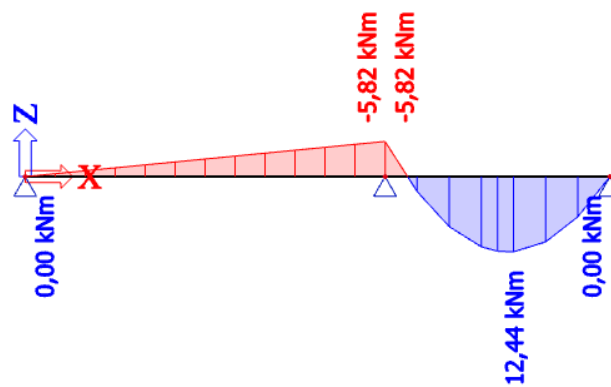
Slika 66 Prikaz uporabnog opterećenja grede za maksimalnu silu ležaja B



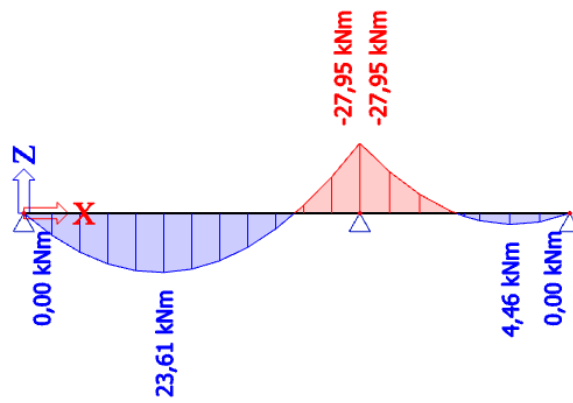
Slika 67 Momenti od stalnog opterećenja grede



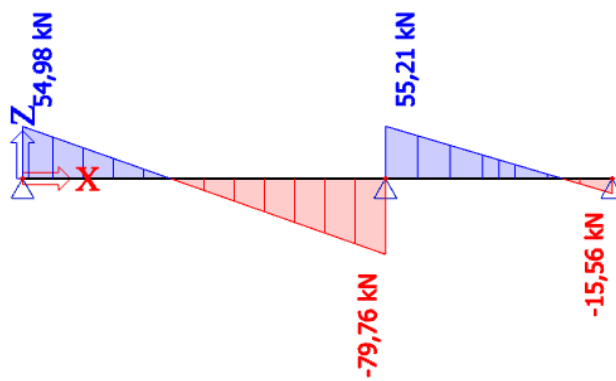
Slika 68 Momenti od uporabnog opterećenja grede za polje 1



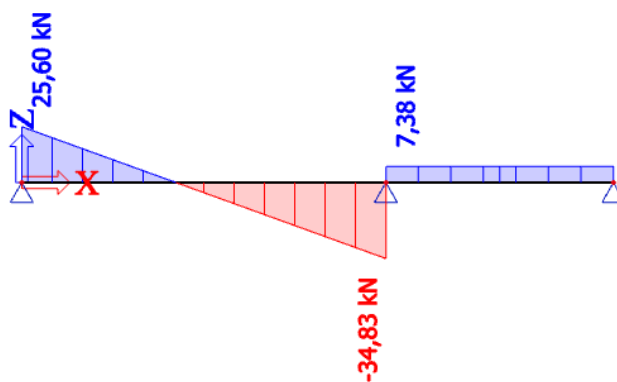
Slika 69 Momenti od uporabnog opterećenja grede za polje 2



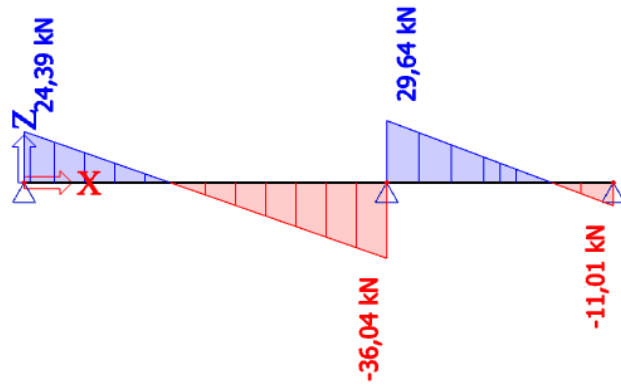
Slika 70 Momenti od uporabnog opterećenja grede za ležaja B



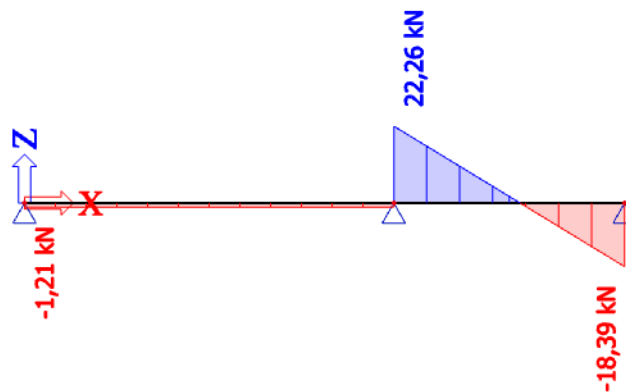
Slika 71 Poprečne sile od stalnog opterećenja grede



Slika 72 Poprečne sile od uporabnog opterećenja grede za ležaj A



Slika 73 Poprečne sile od uporabnog opterećenja grede za ležaj B



Slika 74 Poprečne sile od uporabnog opterećenja grede za ležaj C

5.3 Proračunske vrijednosti momenta savijanja i poprečne sile (reakcije)

Proračunska vrijednost momenta savijanja:

$$M_{Ed}^1 = 1,35 \cdot M_g + 1,50 \cdot M_q = 1,35 \cdot 53,81 + 1,50 \cdot 26,03 = 111,69 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^2 = 1,35 \cdot M_g + 1,50 \cdot M_q = 1,35 \cdot 4,67 + 1,50 \cdot 12,44 = 24,96 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^B = 1,35 \cdot M_g + 1,50 \cdot M_q = 1,35 \cdot (-59,48) + 1,50 \cdot (-27,95) = 122,22 \text{ kNm}$$

Proračunska vrijednost poprečne sile (reakcija):

$$V_{Ed}^A = 1,35 \cdot V_g + 1,50 \cdot V_q = 1,35 \cdot 54,98 + 1,50 \cdot 25,60 = 112,62 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^B_L = 1,35 \cdot V_g + 1,50 \cdot V_q = 1,35 \cdot 79,76 + 1,50 \cdot 36,04 = 161,74 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^B_D = 1,35 \cdot V_g + 1,50 \cdot V_q = 1,35 \cdot 55,21 + 1,50 \cdot 29,64 = 118,99 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^C = 1,35 \cdot V_g + 1,50 \cdot V_q = 1,35 \cdot 15,56 + 1,50 \cdot 18,39 = 48,59 \text{ kN}$$

5.4 Dimenzioniranje

Materijal:

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

f_{cd} – proračunska čvrstoća betona

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,50} = 20,00 \text{ N/mm}^2 = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

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

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika

α_{cc} – koeficijent dugotrajnih učinaka na čvrstoću

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

Visina grede: $h=50,0$ cm

Zaštitni sloj betona (XC1): $c=2,0$ cm

Udaljenost do težišta armature: $d_1=c+\phi_v+\phi_s/2=2,0+0,8+2/2=3,8$ cm

Statička visina presjeka: $d=h-d_1=50-3,8=46,2$ cm

5.4.1 Dimenzioniranje uzdužne armature

Sudjelujuća širina

Polje 1

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

$$b_2 = 140,0 \text{ cm}$$

$$b = b_1 + b_w + b_2 = 290,0 + 20,0 + 140,0 = 450,0 \text{ cm}$$

$$L_0 = 0,85 \cdot L = 0,85 \cdot 480 = 408 \text{ cm}$$

$$0,2 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 408 = 81,6 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 290,0 + 0,1 \cdot 408,0 = 98,8 \text{ cm} > 81,6 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},1} = 81,6 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 140,0 + 0,1 \cdot 408,0 = 68,8 \text{ cm} < 81,6 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},2} = 68,8 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff}} = b_{\text{eff},1} + b_w + b_{\text{eff},2} = 81,6 + 20,0 + 68,8 = 170,4 \text{ cm} < b = 450 \text{ cm}$$

Odabrana je sudjelujuća širina $b_{\text{eff}}^1 = 170,4$ cm

Polje 2

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

$$b = b_1 + b_w + b_2 = 290,0 + 20,0 + 140,0 = 450,0 \text{ cm}$$

$$L_0 = 0,85 \cdot L = 0,85 \cdot 300 = 255,0 \text{ cm}$$

$$0,2 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 255 = 51,0 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 290,0 + 0,1 \cdot 255,0 = 83,5 \text{ cm} > 51,0 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},1} = 51,0 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 140 + 0,1 \cdot 255,0 = 53,5 \text{ cm} > 51,0 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},2} = 51,0 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff}} = b_{\text{eff},1} + b_w + b_{\text{eff},2} = 51,0 + 20,0 + 51,0 = 122,0 \text{ cm}$$

Odabrana je sudjelujuća širina $b_{\text{eff}}^2 = 122,0 \text{ cm}$

Minimalna armatura za polje:

$$A_{s1,\text{min}} = 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 20 \cdot 46,2 = 1,20 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\text{min}} = 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} = 0,26 \cdot 20 \cdot 46,2 \cdot \frac{2,90}{500} = 1,39 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mjerodavna minimalna armatura polja je $A_{s1,\text{min}} = 1,39 \text{ cm}^2/\text{m}$

Maksimalna armatura za polje 1

$$A_{s1,\text{max}} = 0,040 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h = 0,040 \cdot 170,4 \cdot 50 = 340,8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\text{max}} = 0,022 \cdot A_C = 0,022 \cdot 2,5 \cdot 170,4 \cdot 20 = 187,44 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mjerodavna maksimalna armatura polja 1 je $A_{s1,\text{max}} = 187,44 \text{ cm}^2/\text{m}$

Maksimalna armatura za polje 2

$$A_{s1,\text{max}} = 0,040 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h = 0,040 \cdot 122,0 \cdot 50 = 244,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,\text{max}} = 0,022 \cdot A_C = 0,022 \cdot 2,5 \cdot 122,0 \cdot 20 = 134,2 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mjerodavna maksimalna armatura polja 2 je $A_{s1,\text{max}} = 134,2 \text{ cm}^2/\text{m}$

Polje 1

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{11169}{170,4 \cdot 46,2^2 \cdot 2,0} = 0,015 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,016$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,90 \text{ ‰} & \zeta &= 0,043 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,985 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{11169}{0,985 \cdot 46,2 \cdot 43,478} = 5,65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: $4\phi 14$ ($A_{s1,prov} = 6,16 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 5,65 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

Polje 2

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2496}{122 \cdot 46,2^2 \cdot 2,0} = 0,005 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,006$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,50 \text{ ‰} & \zeta &= 0,024 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,992 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2496}{0,992 \cdot 46,2 \cdot 43,478} = 1,25 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: $4\phi 12$ ($A_{s1,prov} = 4,52 \text{ cm}^2/\text{m}$) $> A_{s1,req} = 1,25 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

Ležaj A

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,25 \cdot 11169}{20 \cdot 46,2^2 \cdot 2,0} = 0,033 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,034$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,40 \text{ ‰} & \zeta &= 0,065 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 \text{ ‰} & \zeta &= 0,977 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature na ležaju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{0,25 \cdot 11169}{0,977 \cdot 46,2 \cdot 43,478} = 1,42 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: $2\phi 12 (A_{s1,prov} = 2,26 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req} = 1,42 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

Ležaj B

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12222}{20 \cdot 46,2^2 \cdot 2,0} = 0,143 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,145$ očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -3,50 \text{ ‰} & \zeta &= 0,194 \\ \varepsilon_{s1} &= 14,5 \text{ ‰} & \zeta &= 0,919 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature na ležaju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{12222}{0,919 \cdot 46,2 \cdot 43,478} = 6,62 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: $5\phi 14 (A_{s1,prov} = 7,70 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req} = 6,62 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

Ležaj C

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,25 \cdot 2496}{20 \cdot 46,2^2 \cdot 2,0} = 0,007 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za $\mu_{Ed} = 0,008$ očitano:

$$\varepsilon_c = -0,60 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,029$$

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

Potrebna površina armature na ležaju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{0,25 \cdot 2496}{0,990 \cdot 46,2 \cdot 43,478} = 0,31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana glavna armatura: $2\phi 12 (A_{s1,prov} = 2,26 \text{ cm}^2/\text{m}) > A_{s1,req} = 0,31 \text{ cm}^2/\text{m}$

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

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

5.4.2 Dimenzioniranje poprečne armature

Ležaj A

Smanjenje poprečne sile na osloncu:

$$\Delta V_{Ed} = (1,35 \cdot g + 1,50 \cdot q) \cdot (0,5 \cdot b_{sup} + d)$$

$$\Delta V_{Ed} = (1,35 \cdot 28,07 + 1,50 \cdot 12,59) \cdot (0,10 + 0,462) = 31,91 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} = 112,62 - 31,91 = 80,71 \text{ kN}$$

Proračunska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{462}} = 1,66 < 2,0$$

$$A_{s1,prov} = 2,26 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1,prov}}{b_w \cdot d} = \frac{2,26}{20 \cdot 46,20} = 0,0024 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,66 \cdot (100 \cdot 0,0024 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 200 \cdot 462 = 35541,75 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 35,54 \text{ kN}$$

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

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,66^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,410$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,410 + 0,15 \cdot 0) \cdot 200 \cdot 462 = 37884 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c,min} = 37,88 \text{ kN}$$

Maksimalna vrijednost za $V_{Rd,c}$ je:

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

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

$$v_1 = 0,60 \cdot [1 - f_{ck}/250] = 0,6 \cdot [1 - 30/250] = 0,528$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 462,0 = 415,8 \text{ mm}$$

$$\theta = 39,80^\circ$$

$$V_{Rd,max} = 1,0 \cdot 200 \cdot 415,8 \cdot 0,528 \cdot 20,00 \cdot \frac{1}{\text{ctg}(39,80)^\circ + \text{tg}(39,80)^\circ} = 431921,68 \text{ N}$$

$$V_{Rd,max} = 431,92 \text{ kN}$$

Nosivost:

$$V_{Rd,c,min} = 37,88 \text{ kN} < V_{Ed} = 80,71 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 431,92 \text{ kN}$$

Potrebna je poprečna armatura radi preuzimanja naprezanja od poprečnih sila.

Pretpostavljaju se dvorezne ($m=2$) spone $\Phi 8$ ($A_{sw} = 1,01 \text{ cm}^2$)

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

Proračun vertikalne poprečne armature:

$$s_1 = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{1,01}{80,71} \cdot 415,8 \cdot 43,478 \cdot \cot(39,80^\circ) = 27,15 \text{ cm}$$

Prema EN 1992-1-1:

$$\rho_{w,min} = 0,00090 \text{ za C 30/37 i B500B}$$

Prema hrvatskom nacionalnom dodatku:

$$\rho_{w,min} = 0,00090 \text{ za C 30/37 i B500B}$$

$$s_{1,max} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w} = \frac{1,01}{0,00090 \cdot 20} = 56,1 \text{ cm}$$

Prema tablici 4.13. (Betonke konstrukcije 1; Sorić, Kišiček), najveći uzdužni razmak spona:

$$V'_{Ed} < 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$80,71 \text{ kN} < 0,3 \cdot 431,92 = 129,58 \text{ kN}$$

$$s_{1,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 46,20 = 34,65 \text{ cm} > 30,00 \text{ cm}$$

Odobrana poprečna armatura, $\phi 8/27,0 \text{ cm}$, $m = 2$.

Ležaj B lijevo

Smanjenje poprečne sile na osloncu:

$$\Delta V_{Ed} = (1,35 \cdot g + 1,50 \cdot q) \cdot (0,5 \cdot b_{sup} + d)$$

$$\Delta V_{Ed} = (1,35 \cdot 28,07 + 1,50 \cdot 12,59) \cdot (0,10 + 0,462) = 31,91 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} = 161,74 - 31,91 = 129,83 \text{ kN}$$

Proračunska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{462}} = 1,66 < 2,0$$

$$A_{s1,prov} = 7,70 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1,prov}}{b_w \cdot d} = \frac{7,70}{20 \cdot 46,20} = 0,00833 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,66 \cdot (100 \cdot 0,00833 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 200 \cdot 462 = 53812,53 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 53,81 \text{ kN}$$

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

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,66^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,410$$

$$V_{Rd,c,\min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,410 + 0,15 \cdot 0) \cdot 200 \cdot 462 = 37884 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c,\min} = 37,88 \text{ kN}$$

Maksimalna vrijednost za $V_{Rd,c}$ je:

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

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

$$v_1 = 0,60 \cdot [1 - f_{ck}/250] = 0,6 \cdot [1 - 30/250] = 0,528$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 462,0 = 4158 \text{ mm}$$

$$\theta = 39,80^\circ$$

$$V_{Rd,\max} = 1,0 \cdot 200 \cdot 415,8 \cdot 0,528 \cdot 20,00 \cdot \frac{1}{\text{ctg}(39,80)^\circ + \text{tg}(39,80)^\circ} = 431921,68 \text{ N}$$

$$V_{Rd,\max} = 431,92 \text{ kN}$$

Nosivost:

$$V_{Rd,c,\min} = 37,88 \text{ kN} < V_{Ed} = 129,83 \text{ kN} < V_{Rd,\max} = 431,92 \text{ kN}$$

Potrebna je poprečna armatura radi preuzimanja naprezanja od poprečnih sila.

Pretpostavljaju ste dvorezne ($m=2$) spone $\Phi 8$ ($A_{sw} = 1.01 \text{ cm}^2$)

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

Proračun vertikalne poprečne armature:

$$s_1 = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{1,01}{129,83} \cdot 41,58 \cdot 43,478 \cdot \cot(39,80^\circ) = 16,88 \text{ cm}$$

Prema EN 1992-1-1:

$$\rho_{w,\min} = 0,00090 \text{ za C 30/37 i B500B}$$

Prema hrvatskom nacionalnom dodatku:

$$\rho_{w,\min}=0,00090 \text{ za C 30/37 i B500B}$$

$$s_{1,\max}=\frac{A_{sw}}{\rho_{w,\min}\cdot b_w}=\frac{1,01}{0,00090\cdot 20}=56,1 \text{ cm}$$

Prema tablici 4.13. (Betonske konstrukcije 1; Sorić, Kišiček), najveći uzdužni razmak spona :

$$0,3\cdot V_{Rd,\max}<V'_{Ed}<0,6\cdot V_{Rd,\max}$$

$$0,3\cdot 431,92=129,58 \text{ kN}<129,83 \text{ kN}<0,6\cdot 431,92=259,15 \text{ kN}$$

$$s_{1,\max}=0,55\cdot d=0,55\cdot 46,20=25,41 \text{ cm} < 30,00 \text{ cm}$$

Oabrana poprečna armatura, $\phi 8/16 \text{ cm}$, $m = 2$.

Ležaj B desno

Smanjenje poprečne sile na osloncu:

$$\Delta V_{Ed}=(1,35\cdot g+1,50\cdot q)\cdot(0,5\cdot b_{\text{sup}}+d)$$

$$\Delta V_{Ed}=(1,35\cdot 23,59+1,50\cdot 13,55)\cdot(0,10+0,462)=29,32 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}=V_{Ed}-\Delta V_{Ed}=118,99-29,32=89,67 \text{ kN}$$

Proračunska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature:

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

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

$$k=1+\sqrt{\frac{200}{d}}=1+\sqrt{\frac{200}{462}}=1,66<2,0$$

$$A_{s1,\text{prov}}=7,70 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1=\frac{A_{s1,\text{prov}}}{b_w\cdot d}=\frac{7,70}{20\cdot 46,20}=0,00833 < 0,02$$

$$k_1=0,15$$

$$\sigma_{cp}=0 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd,c}=\left[0,12\cdot 1,66\cdot(100\cdot 0,00833\cdot 30)^{1/3}+0,15\cdot 0\right]\cdot 200\cdot 462=53812,53 \text{ N} = 53,81 \text{ kN}$$

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

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,66^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,410$$

$$V_{Rd,c,\min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,410 + 0,15 \cdot 0) \cdot 200 \cdot 462 = 37884 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c,\min} = 37,88 \text{ kN}$$

Maksimalna vrijednost za $V_{Rd,c}$ je:

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

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

$$v_1 = 0,60 \cdot [1 - f_{ck}/250] = 0,6 \cdot [1 - 30/250] = 0,528$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 462,0 = 415,8 \text{ mm}$$

$$\theta = 39,80^\circ$$

$$V_{Rd,\max} = 1,0 \cdot 200 \cdot 415,8 \cdot 0,528 \cdot 20,00 \cdot \frac{1}{\operatorname{ctg}(39,80)^\circ + \operatorname{tg}(39,80)^\circ} = 431921,68 \text{ N}$$

$$V_{Rd,\max} = 431,92 \text{ kN}$$

Nosivost:

$$V_{Rd,c,\min} = 37,88 \text{ kN} < V_{Ed} = 89,67 \text{ kN} < V_{Rd,\max} = 431,92 \text{ kN}$$

Potrebna je poprečna armatura radi preuzimanja naprezanja od poprečnih sila.

Pretpostavljaju ste dvorezne ($m=2$) spone $\Phi 8$ ($A_{sw} = 1,01 \text{ cm}^2$)

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

Proračun vertikalne poprečne armature:

$$s_1 = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta = \frac{1,01}{89,67} \cdot 41,58 \cdot 43,478 \cdot \cot(39,80^\circ) = 24,43 \text{ cm}$$

Prema EN 1992-1-1:

$$\rho_{w,\min}=0,00090 \text{ za C 30/37 i B500B}$$

Prema hrvatskom nacionalnom dodatku:

$$\rho_{w,\min}=0,00090 \text{ za C 30/37 i B500B}$$

$$s_{1,\max}=\frac{A_{sw}}{\rho_{w,\min} \cdot b_w}=\frac{1,01}{0,00090 \cdot 20}=56,1 \text{ cm}$$

Prema tablici 4.13. (Betonske konstrukcije 1; Sorić, Kišiček), najveći uzdužni razmak spona :

$$V'_{Ed}<0,3 \cdot V_{Rd,\max}$$

$$89,67 \text{ kN}<0,3 \cdot 431,92=129,58 \text{ kN}$$

$$s_{1,\max}=0,75 \cdot d=0,75 \cdot 46,20=34,65 \text{ cm}>30,00 \text{ cm}$$

Odabrana poprečna armatura, $\phi 8/24 \text{ cm}$, $m = 2$.

Ležaj C

Smanjenje poprečne sile na osloncu:

$$\Delta V_{Ed}=(1,35 \cdot g+1,50 \cdot q) \cdot (0,5 \cdot b_{\text{sup}}+d)$$

$$\Delta V_{Ed}=(1,35 \cdot 23,59+1,50 \cdot 13,55) \cdot (0,10+0,462)=29,32 \text{ kN}$$

$$V'_{Ed}=V_{Ed}-\Delta V_{Ed}=48,59-29,32=19,27 \text{ kN}$$

Proračunska nosivost na poprečnu silu bez poprečne armature:

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

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

$$k=1+\sqrt{\frac{200}{d}}=1+\sqrt{\frac{200}{462}}=1,66<2,0$$

$$A_{s1,\text{prov}}=2,26 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1=\frac{A_{s1,\text{prov}}}{b_w \cdot d}=\frac{2,26}{20 \cdot 46,20}=0,0025<0,02$$

$$k_1=0,15$$

$$\sigma_{cp}=0 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,66 \cdot (100,0 \cdot 0,0025 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \right] \cdot 200 \cdot 462 = 36028,68 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 36,03 \text{ kN}$$

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

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,66^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,410$$

$$V_{Rd,c,\min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,410 + 0,15 \cdot 0) \cdot 200 \cdot 462 = 37884 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c,\min} = 37,88 \text{ kN}$$

Maksimalna vrijednost za $V_{Rd,c}$ je:

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

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

$$v_1 = 0,60 \cdot [1 - f_{ck}/250] = 0,6 \cdot [1 - 30/250] = 0,528$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 462,0 = 4158 \text{ mm}$$

$$\theta = 39,80^\circ$$

$$V_{Rd,\max} = 1,0 \cdot 200 \cdot 415,8 \cdot 0,528 \cdot 20,00 \cdot \frac{1}{\text{ctg}(39,80)^\circ + \text{tg}(39,80)^\circ} = 431921,68 \text{ N}$$

$$V_{Rd,\max} = 431,92 \text{ kN}$$

Nosivost:

$$V_{Ed} = 19,27 \text{ kN} < V_{Rd,c,\min} = 37,88 \text{ kN} < V_{Rd,\max} = 431,92 \text{ kN}$$

Nije potrebna je poprečna armatura radi preuzimanja naprezanja od poprečnih sila.

Tablica 11. Odabrana armatura u polju

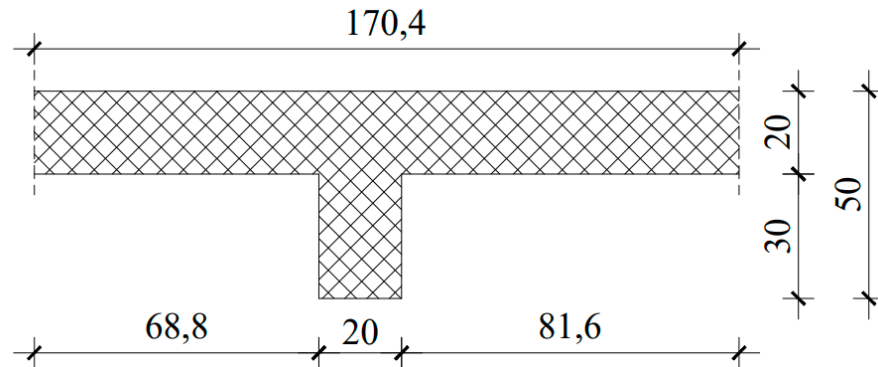
POLJE	ARMATURA
1	4 ϕ 14
2	4 ϕ 12

Tablica 12. Odabrana armatura nad ležajevima

LEŽAJ	UZDUŽNA ARMATURA	LEŽAJ	POPREČNA ARMATURA
A	2 ϕ 12	A	ϕ 8/27 cm
B	5 ϕ 14	B ^L	ϕ 8/16 cm
		B ^D	ϕ 8/24 cm
C	2 ϕ 12	C	ϕ 8/30 cm

5.5 Proračun pukotina i progiba grede

5.5.1 Proračun karakteristika materijala i poprečnog presjeka



Slika 75 Poprečni presjek grede sa sudjelujućom širinom

Srednji polumjer presjeka:

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot (20 \cdot 30 + 170,4 \cdot 20)}{81,6 + 30 + 20 + 30 + 68,8 + 170,4} = 20 \text{ cm} = 200, \text{ mm}$$

Konačna vrijednost puzanja za $t_0=28$ dana, za suhe uvjete okoliša:

$$\varphi(\infty, t_0) = 2,3$$

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 proračunati srednji polumjer presjeka, $h_0=200$ mm, dobiva se:

$$k_h = 0,85$$

Za razred betona C30/37 te RH=50% linearnom interpolacijom dobiva se:

$$\varepsilon_{cd, 0} = 0,000483$$

$$\varepsilon_{cd, \infty} = k_h \cdot \varepsilon_{cd, 0} = 0,85 \cdot 0,000483 = 4,11 \cdot 10^{-4}$$

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

Konačna vrijednost relativne deformacije od skupljanja:

$$\varepsilon_{cs, \infty} = \varepsilon_{cd, \infty} + \varepsilon_{ca, \infty} = 4,11 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-5} = 4,61 \cdot 10^{-4}$$

Za razred betona C30/37 i čelik B500B:

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

$$E_{c,\text{eff}}=\frac{E_{cm}}{1,0+\varphi(\infty,t_0)}=\frac{33000}{1,0+2,3}=10000 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\alpha_{e,\infty}=\frac{E_s}{E_{c,\text{eff}}}=\frac{200000}{10000}=20,00$$

Težište poprečnog presjeka (beton bez armature)

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

$$y_{0d}=\frac{20 \cdot (50-20)^2 \cdot 0,5 + 170,4 \cdot 20 \cdot (50-0,5 \cdot 20)}{20 \cdot (50-20) + 170,4 \cdot 20} = 36,26 \text{ cm}$$

$$y_{0g}=h-y_{0d}=50-36,26=13,74 \text{ cm}$$

Moment tromosti poprečnog presjeka (beton bez armature)

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

$$I_0=\frac{20 \cdot 36,26^3}{3} + \frac{20 \cdot 13,74^3}{3} + \frac{(170,4-20) \cdot 20^3}{12} + (170,4-20) \cdot 20 \cdot \left(13,74 - \frac{20}{2}\right)^2$$

$$I_0=477462,3 \text{ cm}^4$$

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

Stanje naprezanja I:

Težište za idealni poprečni presjek:

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot h} = \frac{6,16}{20 \cdot 50} = 0,0062$$

$$A_1 = \alpha_{e,0} \cdot \rho_1 \cdot \frac{d}{h} \cdot \left(1 + A_{s2} \cdot \frac{d_2}{(A_{s1} \cdot d)} \right)$$

$$A_1 = 6,06 \cdot 0,0062 \cdot \frac{46,2}{50} \cdot \left(1 + 2,26 \cdot \frac{3,8}{(6,16 \cdot 46,2)} \right) = 0,036$$

$$B_1 = \alpha_{e,0} \cdot \rho_1 \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1}} \right) = 6,06 \cdot 0,0062 \cdot \left(1 + \frac{2,26}{6,16} \right) = 0,051$$

$$C_1 = 0,5 \cdot \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 \cdot \left(\frac{b_{\text{eff}}}{b_w} - 1 \right) + A_1 = 0,5 \cdot \left(\frac{20}{50} \right)^2 \cdot \left(\frac{170,4}{20} - 1 \right) + 0,036 = 0,638$$

$$D_1 = \left(\frac{h_f}{h} \right) \cdot \left(\frac{b_{\text{eff}}}{b_w} - 1 \right) + B_1 = \left(\frac{20}{50} \right) \cdot \left(\frac{170,4}{20} - 1 \right) + 0,051 = 3,059$$

$$k_{x1} = \frac{(0,5 + C_1)}{(1 + D_1)} = \frac{(0,5 + 0,638)}{(1 + 3,059)} = 0,280$$

$$y_{1g} = k_{x1} \cdot h = 0,280 \cdot 50 = 14,0 \text{ cm}$$

$$y_{1d} = h - y_{1g} = 50 - 14,0 = 36,0 \text{ cm}$$

Moment tromosti za idealni poprečni presjek

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

$$I_I = \frac{20,0}{3} \cdot (36,0^3 + 14,0^3) + \frac{(170,4 - 20,0) \cdot 20,0^3}{12} + (170,4 - 20,0) \cdot 20,0$$

$$\cdot \left(14,0 - \frac{20}{2} \right)^2 + (6,06 - 1) \cdot [6,16 \cdot (46,2 - 14,0)^2 + 2,26 \cdot (14,0 - 3,8)^2]$$

$$I_I = 511239,66 \text{ cm}^4$$

Statički moment ploštine armature:

$$S_I = A_{s1} \cdot (d - y_{Ig}) - A_{s2} \cdot (y_{Ig} - d_2)$$

$$S_I = 6,16 \cdot (46,2 - 14,0) - 2,26 \cdot (14,0 - 3,8) = 175,3 \text{ cm}^3$$

Stanje naprezanja II:

Težište za idealni poprečni presjek:

$$\rho_{II} = \frac{A_{s1}}{b_{\text{eff}} \cdot d} = \frac{6,16}{170,4 \cdot 46,2} = 0,00078$$

$$A_{II} = \alpha_{e,0} \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + A_{s2} \cdot \frac{d_2}{(A_{s1} \cdot d)} \right) = 6,06 \cdot 0,00078 \cdot \left(1 + 2,26 \cdot \frac{3,8}{(6,16 \cdot 46,2)} \right)$$

$$A_{II} = 0,00489$$

$$B_{II} = \alpha_{e,0} \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1}} \right) = 6,06 \cdot 0,00078 \cdot \left(1 + \frac{2,26}{6,16} \right) = 0,00648$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2A_{II}} = -0,00648 + \sqrt{0,00648^2 + 2 \cdot 0,00489} = 0,0926$$

$$y_{IIg} = k_{xII} \cdot d = 0,0926 \cdot 46,2 = 4,28 \text{ cm} < h_f = 20 \text{ cm}$$

Moment tromosti za idealni poprečni presjek

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

$$I_{II} = \frac{170,4 \cdot 4,28^3}{3} + 6,06 \cdot 6,16 \cdot (46,2 - 4,28)^2 + (6,06 - 1) \cdot 2,26 \cdot (4,28 - 3,8)^2$$

$$I_{II} = 70054,71 \text{ cm}^4$$

Statički moment ploštine armature:

$$S_{II} = A_{s1} \cdot (d - y_{IIg}) - A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2)$$

$$S_{II} = 6,16 \cdot (46,2 - 4,28) - 2,26 \cdot (4,28 - 3,8) = 257,14 \text{ cm}^3$$

Krak unutarnjih sila:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 46,2 - \frac{4,28}{3} = 44,77 \text{ cm}$$

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

Stanje naprezanja I:

Težište za idealni poprečni presjek:

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot h} = \frac{6,16}{20 \cdot 50} = 0,0062$$

$$A_1 = \alpha_{e,\infty} \cdot \rho_1 \cdot \frac{d}{h} \cdot \left(1 + A_{s2} \cdot \frac{d_2}{(A_{s1} \cdot d)} \right)$$

$$A_1 = 20,00 \cdot 0,0062 \cdot \frac{46,2}{50} \cdot \left(1 + 2,26 \cdot \frac{3,8}{(6,16 \cdot 46,2)} \right) = 0,117$$

$$B_1 = \alpha_{e,\infty} \cdot \rho_1 \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1}} \right) = 20,00 \cdot 0,0062 \cdot \left(1 + \frac{2,26}{6,16} \right) = 0,169$$

$$C_1 = 0,5 \cdot \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 \cdot \left(\frac{b_{\text{eff}}}{b_w} - 1 \right) + A_1 = 0,5 \cdot \left(\frac{20}{50} \right)^2 \cdot \left(\frac{170,4}{20} - 1 \right) + 0,117 = 0,719$$

$$D_1 = \left(\frac{h_f}{h} \right) \cdot \left(\frac{b_{\text{eff}}}{b_w} - 1 \right) + B_1 = \left(\frac{20}{50} \right) \cdot \left(\frac{170,4}{20} - 1 \right) + 0,169 = 3,176$$

$$k_{x1} = \frac{(0,5 + C_1)}{(1 + D_1)} = \frac{(0,5 + 0,719)}{(1 + 3,176)} = 0,292$$

$$y_{1g} = k_{x1} \cdot h = 0,292 \cdot 50 = 14,60 \text{ cm}$$

$$y_{1d} = h - y_{1g} = 50 - 14,60 = 35,40 \text{ cm}$$

Moment tromosti za idealni poprečni presjek

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

$$I_I = \frac{20,0}{3} \cdot (35,4^3 + 14,6^3) + \frac{(170,4 - 20) \cdot 20^3}{12} + (170,4 - 20) \cdot 20$$

$$\cdot \left(14,6 - \frac{20}{2} \right)^2 + (20,00 - 1) \cdot [6,16 \cdot (46,2 - 14,6)^2 + 2,26 \cdot (14,6 - 3,8)^2]$$

$$I_I = 602289,26 \text{ cm}^4$$

Statički moment ploštine armature:

$$S_I = A_{s1} \cdot (d - y_{Ig}) - A_{s2} \cdot (y_{Ig} - d_2)$$

$$S_I = 6,16 \cdot (46,2 - 14,6) - 2,26 \cdot (14,6 - 3,8) = 170,25 \text{ cm}^3$$

Stanje naprezanja II:

Težište za idealni poprečni presjek:

$$\rho_{II} = \frac{A_{s1}}{b_{\text{eff}} \cdot d} = \frac{6,16}{170,4 \cdot 46,2} = 0,00078$$

$$A_{II} = \alpha_{e,\infty} \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + A_{s2} \cdot \frac{d_2}{(A_{s1} \cdot d)} \right) = 20,00 \cdot 0,00078 \cdot \left(1 + 2,26 \cdot \frac{3,8}{(6,16 \cdot 46,2)} \right)$$

$$A_{II} = 0,0161$$

$$B_{II} = \alpha_{e,\infty} \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1}} \right) = 20,00 \cdot 0,00078 \cdot \left(1 + \frac{2,26}{6,16} \right) = 0,0214$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2A_{II}} = -0,0214 + \sqrt{0,0214^2 + 2 \cdot 0,0161} = 0,159$$

$$y_{IIg} = k_{xII} \cdot d = 0,159 \cdot 46,2 = 7,35 \text{ cm} < h_f = 20 \text{ cm}$$

Moment tromosti za idealni poprečni presjek

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

$$I_{II} = \frac{170,4 \cdot 7,35^3}{3} + 20,00 \cdot 6,16 \cdot (46,2 - 7,35)^2 + (20,00 - 1) \cdot 2,26 \cdot (7,35 - 3,8)^2 = 209043,0 \text{ cm}^4$$

Statički moment ploštine armature:

$$S_{II} = A_{s1} \cdot (d - y_{IIg}) - A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2)$$

$$S_{II} = 6,16 \cdot (46,2 - 7,35) - 2,26 \cdot (7,35 - 3,8) = 231,29 \text{ cm}^3$$

Krak unutarnjih sila:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 46,2 - \frac{7,35}{3} = 43,75 \text{ cm}$$

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

Momenti savijanja i naprezanje u vlačnoj armaturi na sredini raspona za kratkotrajno djelovanje, $t=0$:

$$M_{Ed}=1,0 \cdot M_g + 1,0 \cdot M_q = 1,0 \cdot 53,81 + 1,0 \cdot 26,03 = 79,84 \text{ kNm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1} \cdot z} = \frac{79,84}{6,16 \cdot 44,77} = 28,95 \text{ kN/cm}^2 = 289,5 \text{ N/mm}^2$$

Moment pri pojavi prve pukotine u poprečnom presjeku:

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} \cdot I_0}{y_{0d}} = \frac{0,29 \cdot 477462,3}{36,26} = 3818,64 \text{ kNcm} = 38,19 \text{ kNm}$$

Naprezanje u vlačnoj armaturi na mjestu pojave prve pukotine:

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{A_{s1} \cdot z} = \frac{3818,64}{6,16 \cdot 44,77} = 13,85 \text{ kN/cm}^2 = 138,5 \text{ N/mm}^2$$

Momenti savijanja i naprezanje u vlačnoj armaturi na sredini raspona za dugotrajno djelovanje, $t=\infty$:

$$M_{Ed}=1,0 \cdot M_g + 1,0 \cdot 0,3 \cdot M_q = 1,0 \cdot 53,81 + 1,0 \cdot 0,3 \cdot 26,03 = 61,62 \text{ kNm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1} \cdot z} = \frac{6162}{6,16 \cdot 43,75} = 22,86 \text{ kN/cm}^2 = 228,6 \text{ N/mm}^2$$

Naprezanje u vlačnoj armaturi na mjestu pojave prve pukotine:

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{A_{s1} \cdot z} = \frac{3818,64}{6,16 \cdot 43,75} = 14,17 \text{ kN/cm}^2 = 141,7 \text{ N/mm}^2$$

5.5.5 Minimalna ploština armature za ograničenje širine pukotina

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

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

Za naprezanje izazvano čistim savijanjem

$$k_c = 0,40$$

Koeficijent za učinak nejedolikih neuravnoteženih naprezanja

$$k = 0,90$$

Vlačna čvrstoća betona u vrijeme pojave prve pukotine

$$f_{ct,eff} = 2,9 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{ct} = b_w \cdot (h - h_f) + b_{eff} \cdot (h_f - y_{0g}) = 20 \cdot (50 - 20) + 170,4 \cdot (20 - 13,74)$$

$$A_{ct} = 1666,7 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,40 \cdot 0,9 \cdot 0,29 \cdot \frac{1666,7}{50,0} = 3,48 \text{ cm}^2 < A_{s1} = 6,16 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava uvjet minimalne armature.

Granični promjer šipke armature:

$$\phi^* = 20 + \frac{240 - 228,6}{240 - 200} \cdot (32 - 20) = 23,42 \text{ mm}$$

$$\phi = \phi^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h - d)} = 23,42 \cdot \frac{2,9}{2,9} \cdot \frac{0,4 \cdot 13,74}{2 \cdot (50 - 46,2)} = 16,94 \text{ mm}$$

Granična vrijednost promjera šipki armature je 16,94 mm.

Razmak šipki armature:

$$S = 25 + \frac{240 - 228,6}{240 - 200} \cdot (30 - 25) = 26,43 \text{ cm}$$

Granična vrijednost razmaka šipki armature je 26,43 cm.

Odabrana armatura, $A_{s1} = 4\phi 14 = 6,16 \text{ cm}^2$, zadovoljava uvjete graničnog promjera šipki armature i graničnog razmaka šipki armature, te nije potrebno provesti proračun širine pukotina.

5.6 Proračun progiba grede

Vitkost elementa:

$$\frac{L}{d} = \frac{480}{46,2} = 10,39$$

Granična vitkost:

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6,16}{20 \cdot 46,2} = 0,0067 = 0,67 \%$$

$$f_3 = \frac{310}{\sigma_s} = \frac{310,0}{231,9} = 1,34$$

$$f_3 = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot \frac{6,16}{5,67} = 1,09$$

Mjerodavna je manja vrijednost u ovom slučaju 1,09

$$b_{eff} = 170,4 \text{ cm} > 3 \cdot b_w = 60,0 \text{ cm}$$

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

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

Dopuštena (granična) vitkost:

$$(L/d)_{lim} = 1,09 \cdot \left[11,20 + \frac{1,5 - 0,67}{1,5 - 0,5} \cdot (16,0 - 11,20) \right] = 16,55 > 10,39$$

Gređa zadovoljava granično stanje progiba, te nije potrebno provesti proračun progiba.

6 VIŠEMODALNA SPEKTRALNA ANALIZA

6.1. Opis modela zgrade

Seizmički proračun zgrade je proveden na modelu zgrade metodom višemodalne spektralne analize programskim paketom „SCIA Engineer 21“.

Višemodalna spektralna analiza je metoda kod koje se prvo modalnom analizom određuju periodi, a zatim 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 6 etaža koje čine prizemlje i 4 katova. 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. Armiranobetonske grede su modelirane kao štapni elementi opcijom „rib (hrv. rebro)“ pravokutnog presjeka te je za grede je zadana i odgovarajuća sudjelujuća širina.

6.2 Potresno djelovanje

6.2.1 Projektni spektar za elastičnu analizu

Proračun konstrukcije provodi se na temelju proračunskog spektra odziva $S_d(T)$

Projektni spektar za horizontalne komponente seizmičkog djelovanja definiran je na sljedeći način:

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

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

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

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

S_d – vrijednosti odziva projektnog spektra ubrzanja

T – period vibracija linearnoga sustava s jednim stupnjem slobode

a_g – projektno ubrzanje u tlu razreda A

T_B, T_C, T_D – karakteristične vrijednosti perioda koje definiraju početak dijelova spektra odziva s konstantnim ubrzanjem, brzinom i pomacima odziva

S – parametar tla

q – faktor ponašanja, dan prema vrsti i tipu konstrukcije

β – donji granični faktor horizontalnog projektnog spektra, čija je preporučena vrijednost 0,2.

U tablici 13 dane su vrijednosti parametara koji definiraju elastični spektar ubrzanja, a propisane su u nacionalnom dodatku za primjenu Eurokoda 8-1 u Hrvatskoj. Tablica predstavlja spektar Tipa 1.

Tablica 13. Parametri za razred tla B

Razred tla	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
B	1,2	0,15	0,5	2,0

Temeljno tlo razreda B predstavlja nanose vrlo zbijenog pijeska, šljunka ili tvrde gline, najmanje dubine nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih karakteristika tih materijala s dubinom.

6.2.2 Određivanje faktora ponašanja

S pomoću faktora ponašanja određuje se proračunski spektar odziva. Zgrada je u oba smjera klasificirana kao zidni sustav, pravilna je po visini te je svrstana u razred umjerene duktilnosti DCM.

Faktor ponašanja određuje se prema izrazu:

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

q_0 – osnovna vrijednost faktora ponašanja, koja ovisi o vrsti konstrukcije, njejoj duktilnosti i pravilnost konstrukcije po visini

k_w – faktor prevladavajućeg oblik sloma konstrukcijskih okvira s zidovima

Vrsta konstrukcije	DCM	DCH
okvirni sustav		
dvojni sustav	$3 \cdot \alpha_u / \alpha_1$	$4,5 \cdot \alpha_u / \alpha_1$
zidni sustav s povezanim zidovima		
zidni sustav s nepovezanim zidovima	3,0	$4 \cdot \alpha_u / \alpha_1$
torzijski savitljiv sustav	2,0	3,0
sustav obrnutog njihala	1,5	2,0

Slika 76 Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q za konstrukcije koje zadovoljavaju uvjet pravilnosti po visini

$q_0=3,0$ za zidni sustav i DCM razred duktilnosti.

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

Slika 77 Vrijednost faktora k_w

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

α_0 - prevladavajući koeficijent oblika zidova konstrukcijskog sustava

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

Pri čemu je:

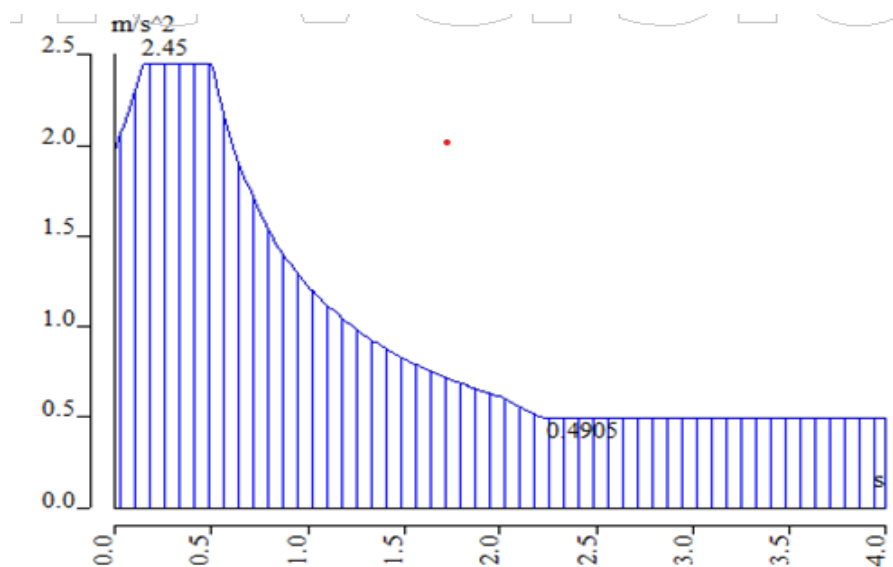
h_{wi} – visina zida „i“

l_{wi} – duljina presjeka zida „i“

$$\alpha_0 = \frac{100,8}{11,2} = 9,0$$

$$k_w = \frac{(1 + 9,0)}{3} = 3,33 > 1 \rightarrow k_w = 1,0$$

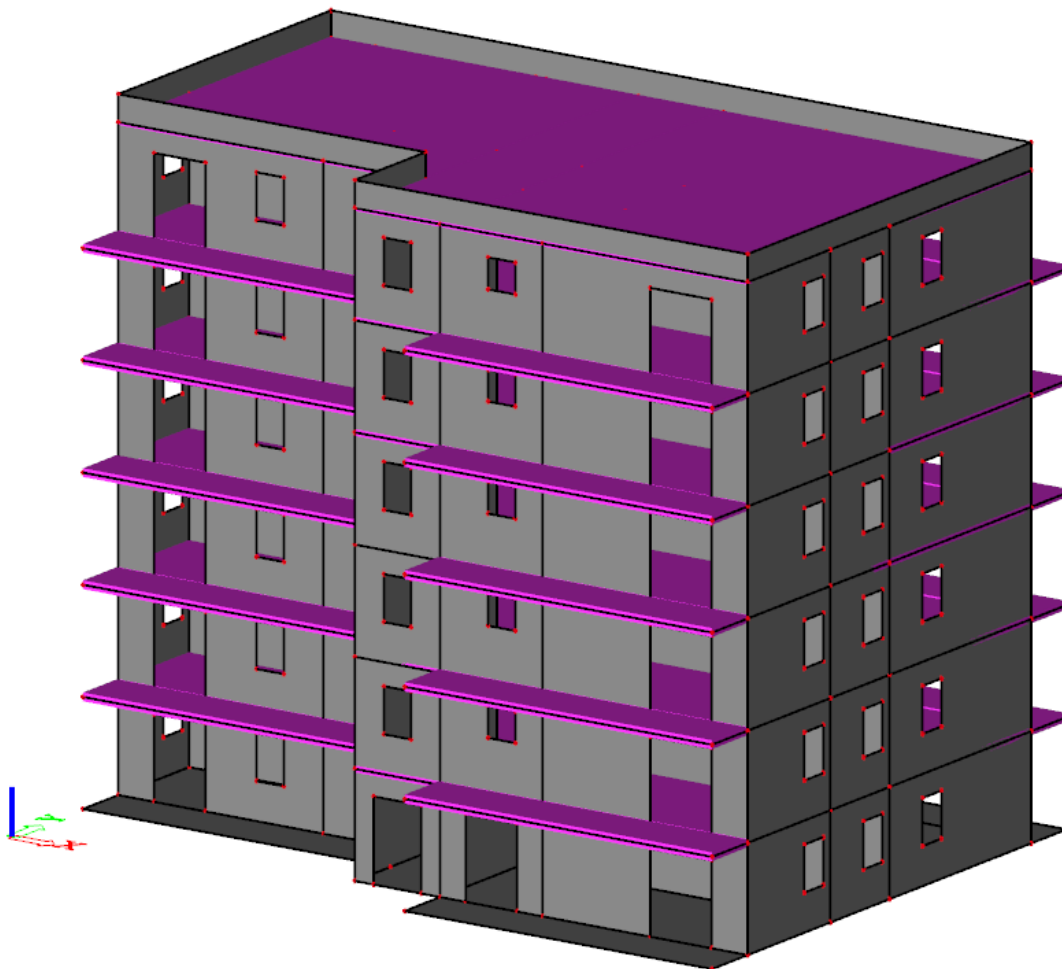
$$q = 3 \cdot 1,0 = 3,0 > 1,5$$



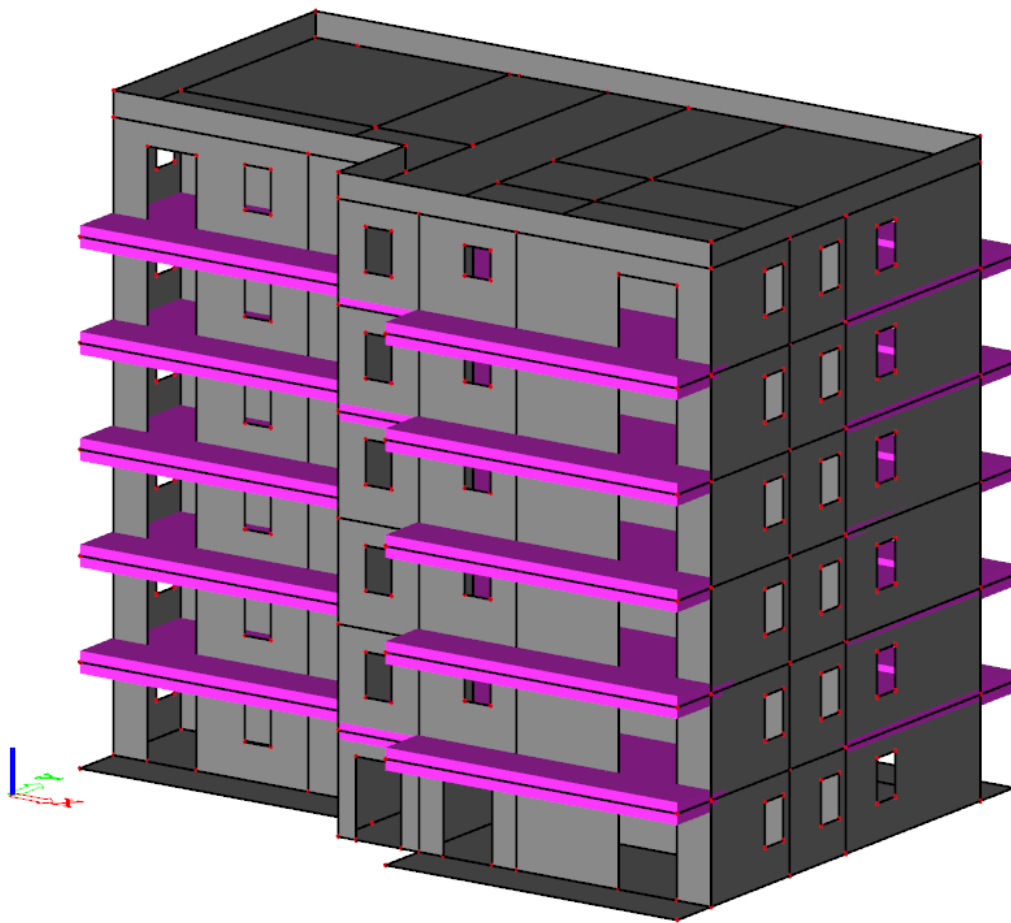
Slika 78 Proračunski spektar odziva

6.3 Zadavanje masa i modifikacija krutosti

Kako bi se provela modalna analiza potrebno je prvo definirati mase. Mase su definirane automatski korištenjem opcije u softverskom paketu koji generira mase iz zadanih opterećenja. Kombinacija masa koja se koristi pri modalnoj analizi vezana je za nazovistalnu kombinaciju opterećenja. Koeficijent ψ_2 jednak je nuli za slučajeve opterećenja snijegom te uporabnog opterećenja na krovu, pa se za ta opterećenja ne generiraju mase. Mase na katovima od uporabnog opterećenja generirane su jednoliko preko svih polja.

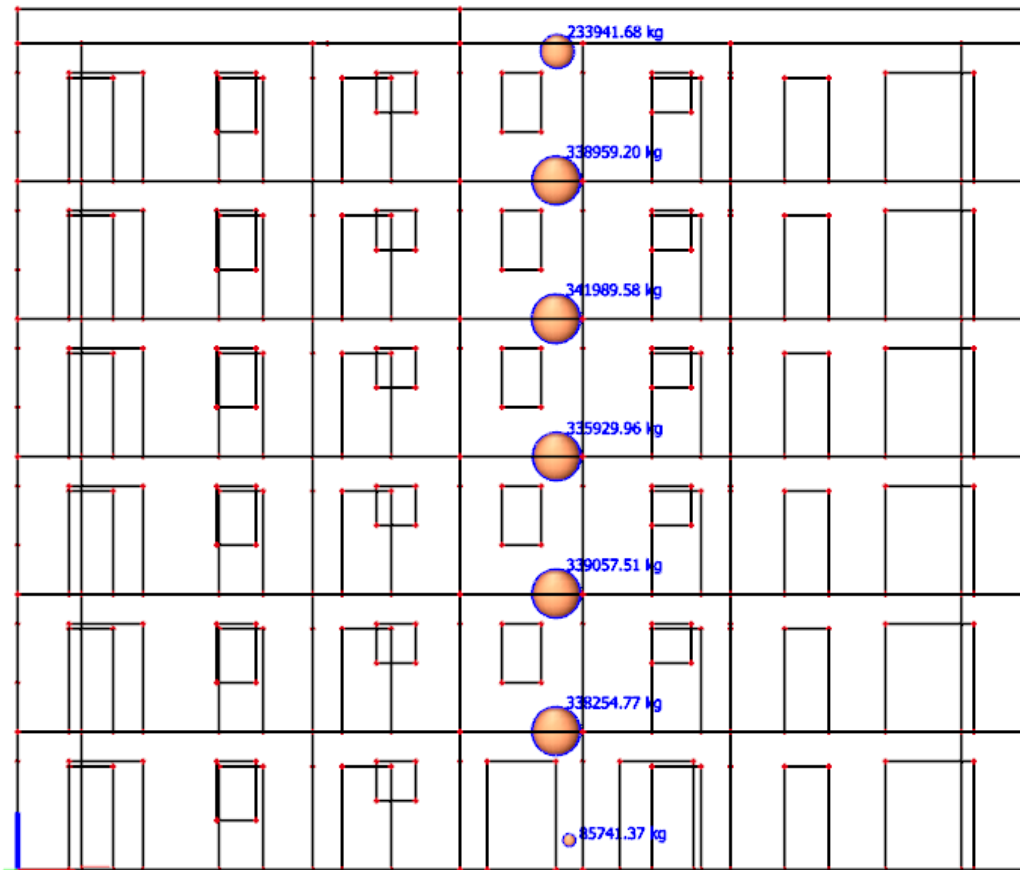


Slika 79 Generirana masa za dodatno stalno opterećenje



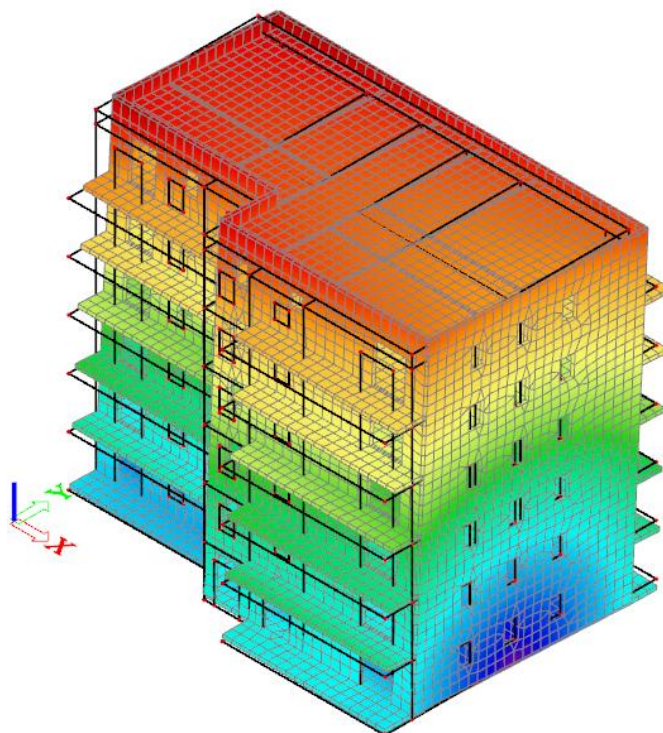
Slika 80 Generirana masa za uporabno opterećenje

Krutost u betonskoj konstrukciji vrlo je bitan faktor kod potresnog djelovanja. Krutost s vremenom mijenja zbog utjecaja puzanja, ali i u slučaju raspucavanja. Zbog nemogućnosti predviđanja djelovanja potresa nije moguće sa sigurnošću znati kolika će biti krutost konstrukcije u trenutku njegovog nastupanja. Zbog toga je logično pretpostaviti da će prije pojave takvog potresa skupljanje, temperatura i drugi manji potresi uzrokovati raspucavanje svih elemenata konstrukcije. Prema normi HRN EN 1998-1:2013 predlaže se smanjenje krutosti na 50 % početne vrijednosti (neraspucani beton bez puzanja). Također je bitno naglasiti da se sve mase ispod i u razini tla ne koriste u modalnoj analizi, a razlog tomu je što imaju vrlo mali doprinos silama inercije.

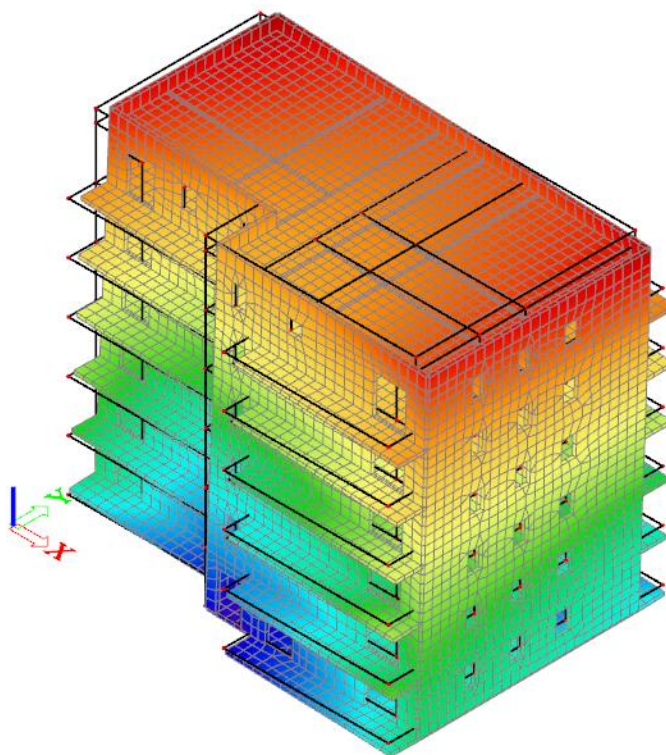


Slika 81 Raspodjela mase pri modalnoj analizi

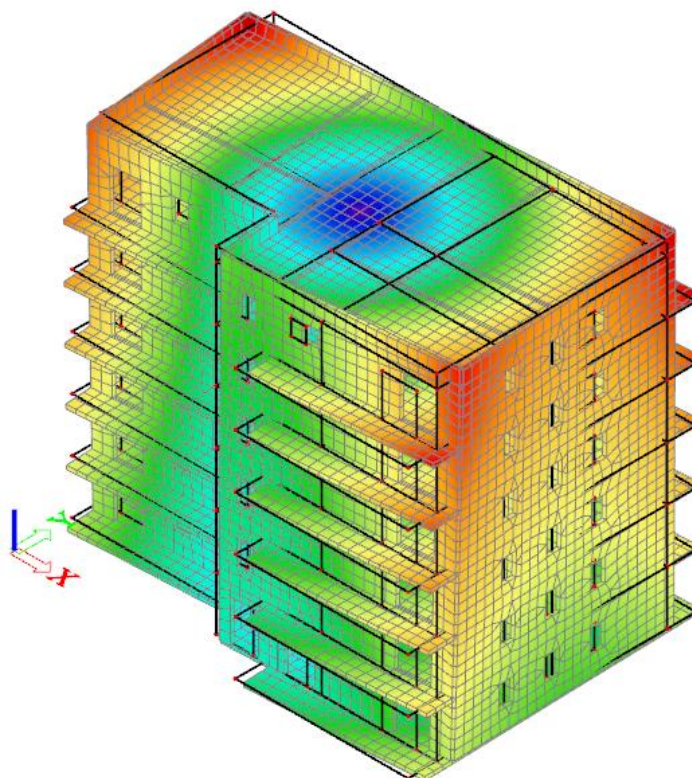
Na sljedećim slikama prikazane su deformacije konstrukcije uslijed prva tri moda vibriranja.



Slika 82 Prvi mod - translacija u smjeru globalne osi y ($T = 1,50$ s)



Slika 83 Drugi mod - translacija u smjeru globalne osi x ($T = 0,84$ s)



Slika 84 Treći mod - torzija oko globalne osi z ($T = 0,39$ s)

Osim provjere razmatranih masa i modova vibriranja, potrebno je provjeriti koja se količina mase aktivirala. Prema normi zahtijeva se da je količina aktivirane mase veća od 90 % u slučaju korištenja modalne analize. Na slici 85 prikazana je suma aktiviranih masa svih modova.

Vidljivo je da se u prvom modu aktivira 72,7 % mase translacijom u y-smjeru što ukazuje da je to translacijski mod u y-smjeru. Drugi mod je translacijski u x-smjeru, budući da se 69,8 % mase aktivira translacijom u x-smjeru. Treći mod je pretežno torzijski jer se 95 % mase aktivira rotacijom oko globalne z osi.

Relative modal masses

Mode	ω [rad/ε]	Period [s]	Freq. [Hz]	W_{xi}/W_{xtot}	W_{yi}/W_{ytot}	W_{zi}/W_{ztot}	N_{xi_R}/W_{xtot_F}	N_{yi_R}/W_{ytot_F}	N_{zi_R}/W_{ztot_F}
1	4.1759	1.50	0.66	0.0058	0.7272	0.0006	0.2585	0.0005	0.0039
2	7.47007	0.84	1.19	0.6984	0.0053	0.0002	0.0055	0.2899	0.0022
3	16.2389	0.39	2.58	0.0004	0.0032	0.0001	0.0003	0.0061	0.9506
4	18.8882	0.33	3.01	0.0003	0.0007	0.9987	0.0000	0.0000	0.0002
5	30.1174	0.21	4.79	0.2691	0.0021	0.0002	0.0111	0.6748	0.0100
6	36.3479	0.17	5.78	0.0012	0.2610	0.0001	0.7237	0.0016	0.0000
7	53.9241	0.12	8.58	0.0243	0.0001	0.0000	0.0002	0.0263	0.0323
8	112.974	0.06	17.98	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	114.585	0.05	18.24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	115.746	0.05	18.42	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
				0.9994	0.9995	0.9999	0.9993	0.9992	0.9992

Slika 85 Prikaz aktivacije masa

7. Statički proračun i dimenzioniranje AB zida

7.1. Određivanje proračunskih sila

Zid koji se proračunava nalazi se u osi X3 i označen je kao zid ZX3. Na slici 86. prikazan je model zgrade na kojem je označen predmetni zid. Debljina armiranobetonskog zida je 20 cm, a duljina 9,0 m.

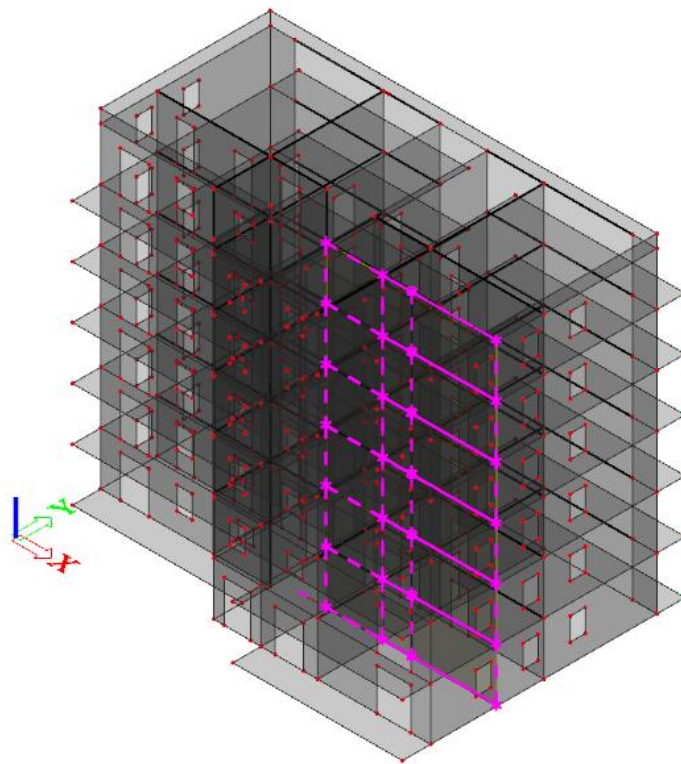
Vlačni pomak određuje se prema HRN EN 1992-1-1:

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

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

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

Vlačni pomak iznosi: $a_1 = 0,4 \cdot 900 = 360 \text{ cm}$



Slika 86 3D model zgrade s označenim zidom ZX3

Armatura se određuje pri dnu zida, pa su u nastavku dane vrijednosti sila na dnu prve etaže i na dnu druge etaže promatranog zida ZX3.

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).

7.2. Dimenzioniranje zida pozicija 100

Ulazni podatci:

Beton:	C30/37
Čelik:	B500B
Debljina zida:	$b_w = 20 \text{ cm}$
Duljina zida:	$l_w = 900 \text{ cm}$
Visina zida:	$h_w = 1680 \text{ cm}$
Visina etaže:	$h_e = 280 \text{ cm}$
Svijetla visina etaže:	$h_s = 260 \text{ cm}$
Zaštitni sloj:	$c = 3,0 \text{ cm}$

Tablica 14. Unutarnje sile na dnu zida ZX3 pozicija 100

Kombinacija opterećenja	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
GSN	2078,12	-	207,83	168,39	-
Nazovistalna kombinacija	1359,89	-	135,72	109,87	-
Potresna kombinacija	2498,06	1271,15	265,17	169,91	2430,12

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

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed,y} = 1271,15 \cdot 1,5 = 1906,73 \text{ kN}$$

Tablica 15. Unutarnje sile na dnu zida ZX3 za dimenzioniranje na poziciji 100

$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
2498,06	1359,89	1906,73	265,17	169,91	2430,12

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.

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot I_w \cdot f_{cd}} = \frac{2498,06}{20 \cdot 900 \cdot 2,0} = 0,07 < 0,4$$

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 $V_{Ed,y} = 1906,73$ 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 $V_{Ed} = 1906,73$ kN iznosi:

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \text{ctg}\theta}{V_{Ed}} = 2 \cdot 0,785 \cdot 43,478 \cdot \frac{0,8 \cdot 900 \cdot 1,0}{1906,73} = 25,77 \text{ cm}$$

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

7.2.2.2. Vertikalna armatura hrpta

Vertikalna armatura služi za preuzimanje momenta van ravnine $M_{Ed,y} = 169,91$ 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 prvi manji $\omega = 0,069$:

$$\mu_{Rd} = 0,066$$

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,066 \cdot 900 \cdot 15,5^2 \cdot 2,0 = 28541,7 \text{ kNcm} = 285,42 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Rd,y} = 285,42 \text{ kNm} > M_{Ed,y} = 169,91 \text{ kNm}$$

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.

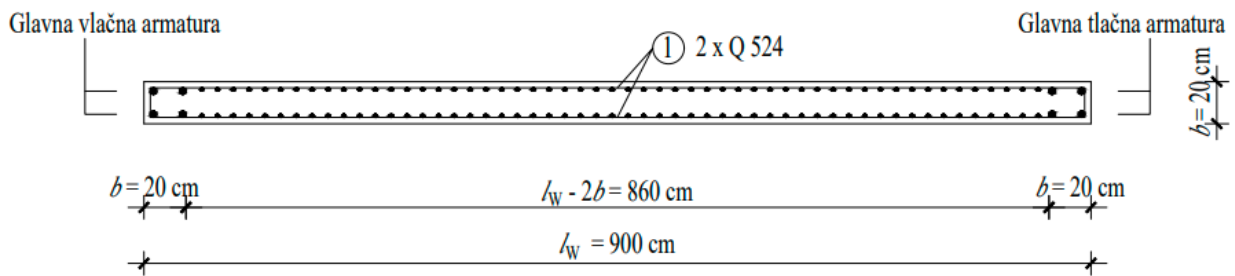
7.2.2.3. Minimalna i maksimalna armatura hrpta

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 $2 \text{ cm}^2/\text{m}'$ 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.

7.3. Određivanje armature kritičnog polja pozicije 100

Uzdužna armatura kritičnog područja zida određuje se na temelju interakcije momenta savijanja i uzdužne sile. Na slici 87. je prikazan poprečni presjek zida sa dimenzijama i odabranom armaturnom mrežom hrpta. Dimenzije kritičnog područja radi jednostavnosti proračuna zadana su kao kvadrati dimenzija 20×20 cm. Prema tome, $l_w - 2b$ je duljina hrpta zida.

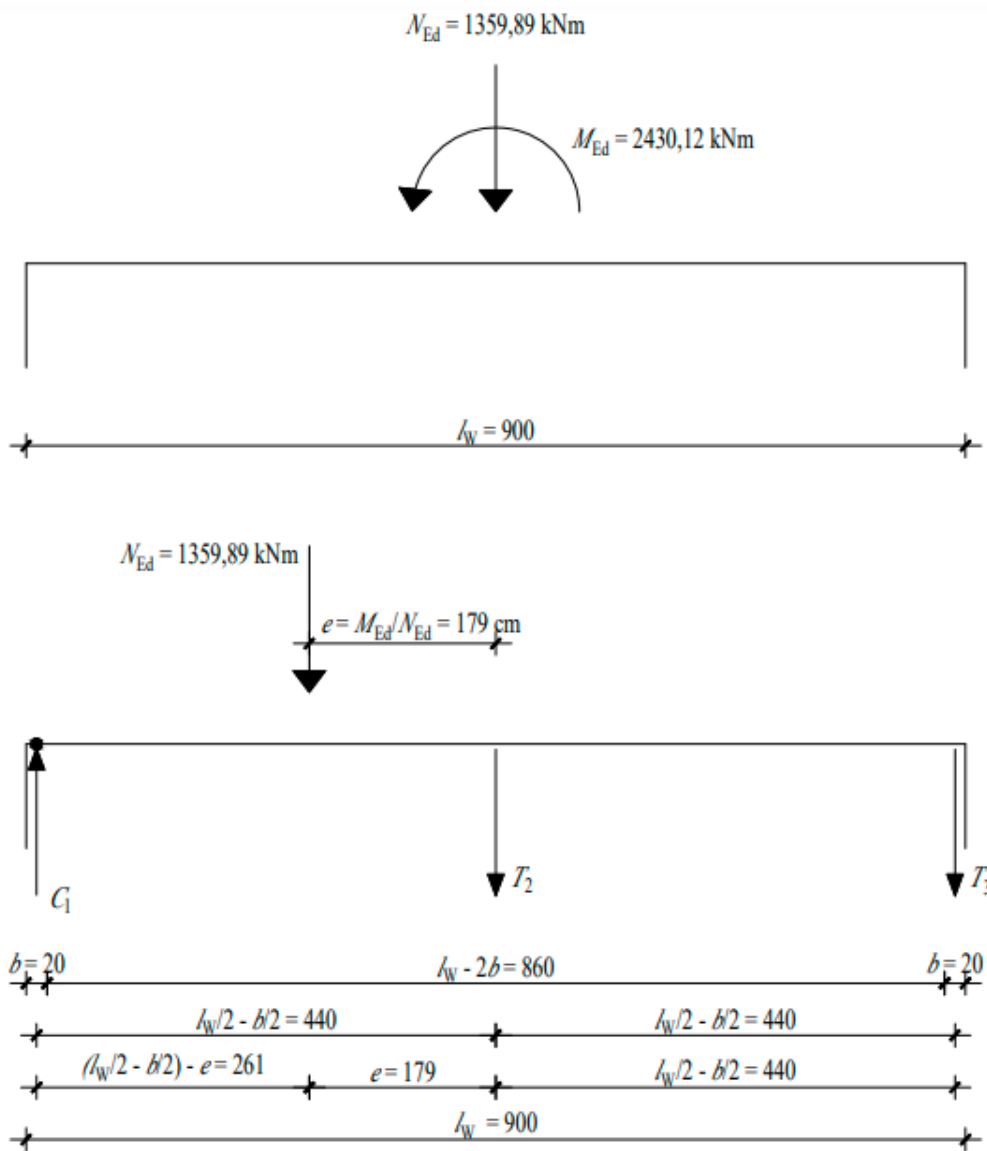


Slika 87 Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom

Uzdužni presjek zida sa vrijednostima za uzdužnu silu i moment savijanja u ravnini zida je prikazan na slici 88. Moment savijanja u ravnini zida i uzdužna sila zamjenjuju se uzdužnom silom N_{Ed} na ekscentricitetu $e = M_{Ed}/N_{Ed}$. 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 88 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:

$$A_2 = 2 \cdot A_{\text{prov}} \cdot (l_w - 2b) = 10,48 \cdot (l_w - 2b)$$

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

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 :

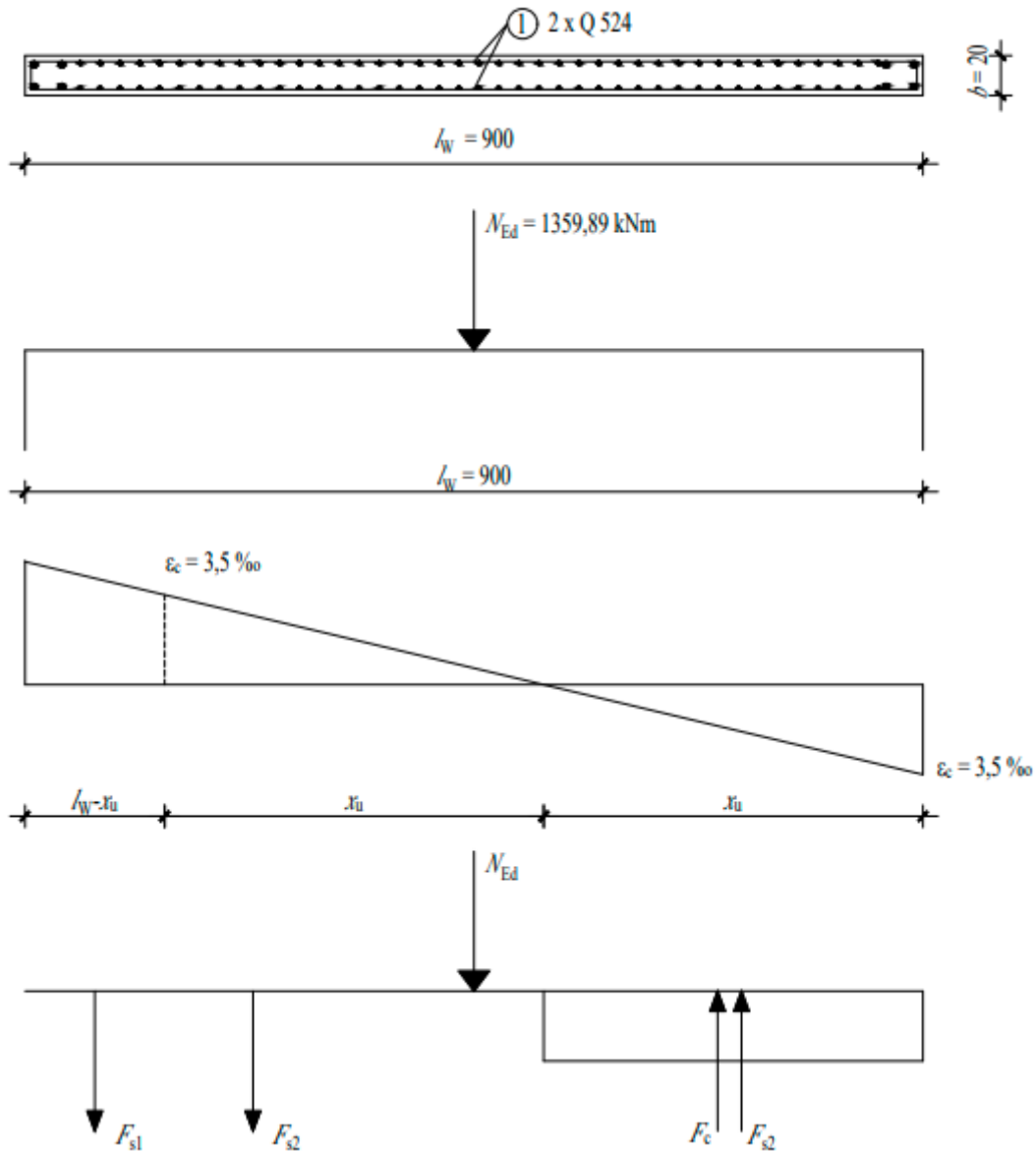
$$T_3 = \frac{-\left\{N_{Ed} \cdot \left[\left(\frac{l_w - b}{2}\right) - e\right] + 455,65 \cdot (l_w - 2b) \cdot \left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2}\right)\right\}}{l_w - b} =$$
$$\frac{-\left\{1359,89 \cdot \left[\left(\frac{900 - 20}{2}\right) - 179\right] + 682,60 \cdot (900 - 2 \cdot 20) \cdot \left(\frac{900}{2} - \frac{20}{2}\right)\right\}}{900 - 20} =$$

$$T_3 = -293921,33 \text{ kN} < 0 \text{ kN}$$

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.

7.4. Provjera nosivosti zida pozicije 100 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 89 Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutrnjim 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:

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

$$f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{uk} = 2 \cdot A_{prov} \cdot l_w = 2 \cdot 5,24 \cdot 9,0 = 94,32 \text{ cm}^2$$

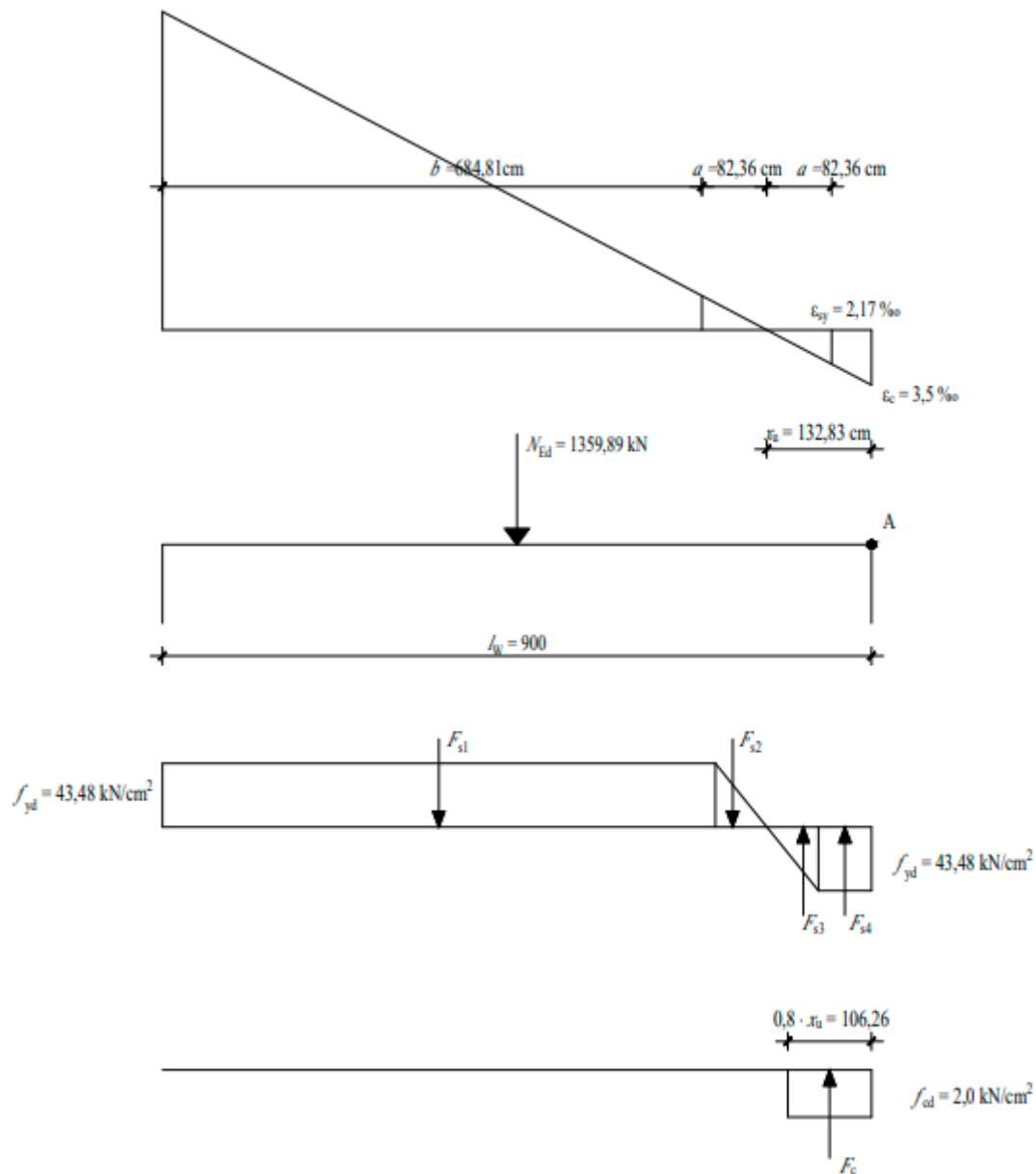
Na temelju ovih izraza dobije se vrijednost x_u :

$$1359,89 + 43,478 \cdot 94,32 - 2 \cdot 43,478 \cdot 94,32 \cdot \frac{x_u}{900} = 0,8 \cdot x_u \cdot 20 \cdot 2,0$$

$$5460,73 = 41,11 x_u$$

$$x_u = 132,83 \text{ cm}$$

U nastavku na slici 90. 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 90 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:

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

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

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

$$M_{Rd} = 1359,89 \cdot \frac{900}{2} + \frac{684,81}{900} \cdot 94,32 \cdot 43,478 \left(\frac{684,81}{2} + 82,36 + 132,83 \right) + \frac{82,36}{900} \cdot 94,32 \cdot 43,478 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 82,36 + 132,83 \right) \cdot 0,5 - \frac{82,36}{900} \cdot 94,32 \cdot 43,478 \left(132,83 - \frac{2}{3} \cdot 82,36 \right) \cdot 0,5 - 0,8 \cdot 2,0 \cdot 132,83 \cdot 20 \cdot (0,4 \cdot 132,83) - \frac{132,83 - 82,36}{900} \cdot 94,32 \cdot 43,478 \left(\frac{132,83 - 82,36}{2} \right)$$

$$M_{Rd} = 611950,5 + 1739882,04 + 35226,24 - 14621,26 - 225840,75 - 5803,2$$

$$M_{Rd} = 2140793,57 \text{ kNcm} = 21407,93 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Ed} = 2430,12 \text{ kNm} < M_{Rd} = 21407,93 \text{ kNm}$$

Zid ima zadovoljavajuću nosivost na savijanje.

7.5. Zahtijevana duktilnost za zid pozicije 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 $T_1 = T_{1,y} = 1,50$ s. Za razred tla B je rubni period $T_c = 0,5$ s.

Obzirom da $T_1 = 1,50$ s $\geq T_c = 0,5$ s, zahtijevana duktilnost iznosi:

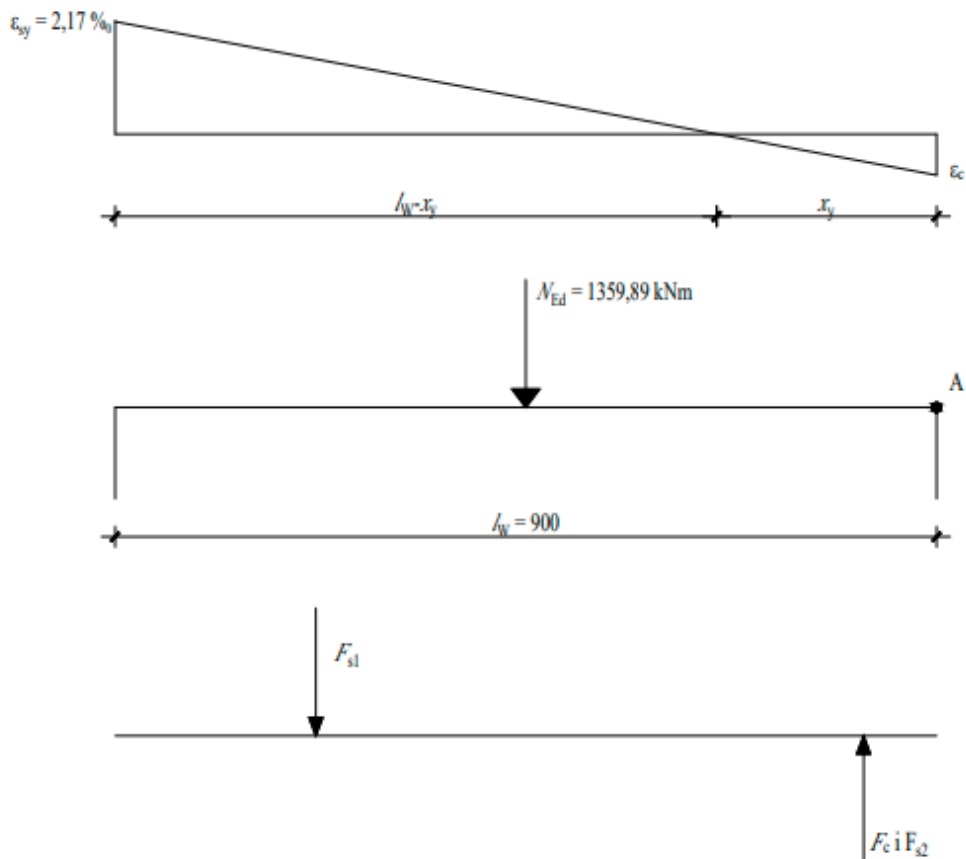
$$\mu_{\phi} = (2 \cdot 3,0 - 1) \cdot \frac{2430,13}{21407,93} = 0,57$$

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

$$\mu_{\phi} = 0,57 \cdot 1,5 = 0,86$$

7.6. Određivanje duktilnosti zida pozicije 100

Duktilnost zida određena je u nastavku. Proračunata je zakrivljenost poprečnog presjeka na početku popuštanja vlačne armature. Maksimalna relativna deformacija vlačne armature jednaka je ε_{sy} te je za nju izračunata duljina tlačnog područja x_y i relativna deformacija betona u tlaku.



Slika 91 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 91. izvodi se izraz za duljinu tlačnog područja x_y :

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

$$x_y = l_w \cdot \frac{\varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{900 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

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

$$1359,89 + 43,478 \cdot 94,32 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{900 - \frac{900 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{900} \right) =$$

$$94,32 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{\frac{900 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{900} \right) \cdot \varepsilon_c \cdot 20000 + 0,5 \cdot \frac{900 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} \cdot 20 \cdot \varepsilon_c \cdot 3300$$

$$1359,89 + 2050,43 - \frac{2050,43 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{943200 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c} + \frac{29700000 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

$$2,95 + 1359,89 \cdot \varepsilon_c + 4,45 + 2050,43 \cdot \varepsilon_c - 2050,43 \cdot \varepsilon_c = \varepsilon_c^2 (943200 + 29700000)$$

$$\varepsilon_c^2 - 6,588 \cdot 10^{-5} \varepsilon_c - 3,585 \cdot 10^{-7} = 0$$

$$\varepsilon_c = 6,326 \cdot 10^{-4}$$

Duljina tlačnog područja x_y :

$$x_y = \frac{900 \cdot 6,326 \cdot 10^{-4}}{0,00217 + 6,326 \cdot 10^{-4}} = 203,15 \text{ cm}$$

Zakrivljenost pri popuštanju:

$$\frac{1}{r_y} = \frac{\varepsilon_c}{x_y} = \frac{6,326 \cdot 10^{-4}}{203,15} = 3,114 \cdot 10^{-6}$$

Zakrivljenost pri slomu:

$$\frac{1}{r_u} = \frac{\varepsilon_c}{x_u} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{132,83} = 2,635 \cdot 10^{-5}$$

Duktilnost zida:

$$\mu_\phi = \frac{1/r_u}{1/r_y} = \frac{2,635 \cdot 10^{-5}}{3,114 \cdot 10^{-6}} = 8,46$$

Duktilnost zida $\mu_{\phi} = 8,46$ je veća od zahtijevane duktilnosti $\mu_{\phi} = 0,86$ te nema potrebe za ovijanjem kritičnih područja zida. Zid zadovoljava uvjete nosivosti i duktilnosti.

7.7. Dimenzioniranje zida pozicija 200

Ulazni podatci:

Beton:	C30/37
Čelik:	B500B
Debljina zida:	$b_w = 20$ cm
Duljina zida:	$l_w = 900$ cm
Visina zida:	$h_w = 1680$ cm
Visina etaže:	$h_e = 280$ cm
Svijetla visina etaže:	$h_s = 260$ cm
Zaštitni sloj:	$c = 3,0$ cm

Tablica 16.Unutarnje sile na dnu zida 200 ZX4_5

Kombinacija opterećenja	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
GSN	1924,10	-	13,92	12,65	-
Nazovistalna kombinacija	1270,71	-	10,11	7,56	-
Potresna kombinacija	1964,85	1193,24	224,56	63,84	2006,73

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

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed,y} = 1193,24 \cdot 1,5 = 1789,86 \text{ kN}$$

Tablica 17. 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]
1964,85	1270,71	1789,86	224,56	63,84	2006,73

7.7.1. 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.

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot I_w \cdot f_{cd}} = \frac{1964,85}{20 \cdot 900 \cdot 2,0} = 0,054 < 0,4$$

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

7.7.2. Armatura hrpta

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

7.7.2.1. Horizontalna armatura hrpta

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu $V_{Ed,y} = 1789,86 \text{ kN}$ (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 $\phi 8$.

Razmak pretpostavljene armature za preuzimanje sile $V_{Ed} = 1789,86 \text{ kN}$ iznosi:

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \text{ctg}\theta}{V_{Ed}} = 2 \cdot 0,5 \cdot 43,478 \cdot \frac{0,8 \cdot 900 \cdot 1,0}{1789,86} = 17,5 \text{ cm}$$

ODABRANO: **$\phi 8/15 \text{ cm} - Q 335$** ($3,35 \text{ cm}^2/\text{m}'$) uz svaki rub zida

7.7.2.2. Vertikalna armatura hrpta

Vertikalna armatura služi za preuzimanje momenta van ravnine $M_{Ed,y} = 63,84$ kNm.

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

$$d = 20 - 3,0 - 0,8 - 0,5 = 15,7 \text{ cm}$$

Mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{3,35 \cdot 43,478}{100 \cdot 15,7 \cdot 2,0} = 0,046$$

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

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

Nosivost na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd,y} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,042 \cdot 900 \cdot 15,7^2 \cdot 2,0 = 187634,64 \text{ kNcm} = 186,35 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Rd,y} = 186,35 \text{ kNm} > M_{Ed,y} = 63,84 \text{ kNm}$$

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.

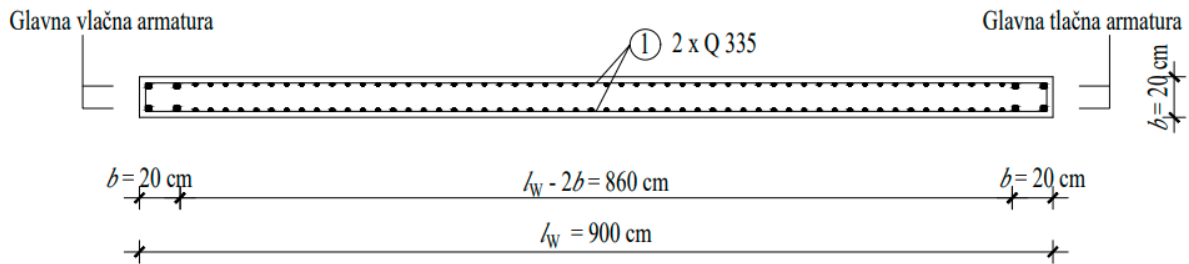
7.7.2.3. Minimalna i maksimalna armatura hrpta

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.

7.8. Određivanje armature kritičnog polja pozicije 200

Uzdužna armatura kritičnog područja zida određuje se na temelju interakcije momenta savijanja i uzdužne sile. Na slici 92. je prikazan poprečni presjek zida sa dimenzijama i odabranom armaturnom mrežom hrpta. Dimenzije kritičnog područja radi jednostavnosti proračuna zadana su kao kvadrati dimenzija 20×20 cm. Prema tome, $l_w - 2b$ je duljina hrpta zida.

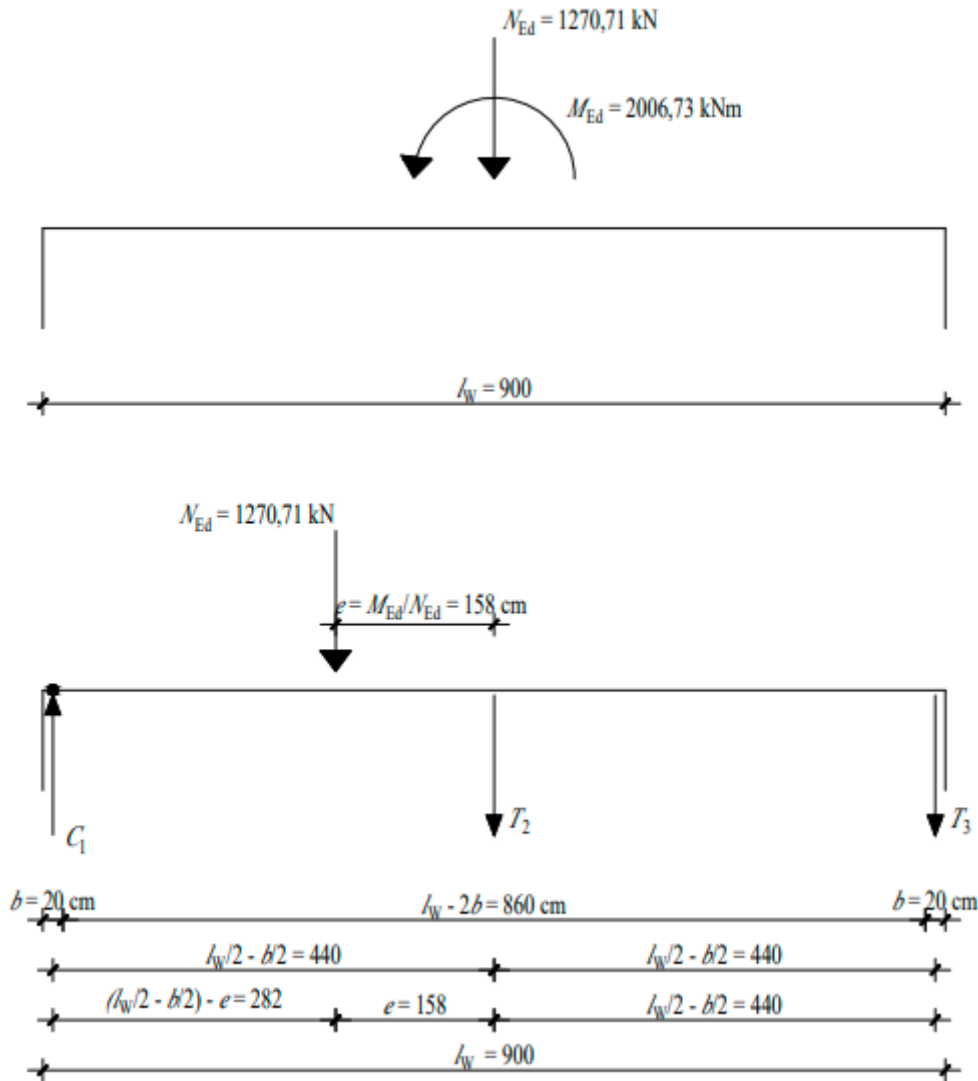


Slika 92 Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom

Uzdužni presjek zida sa vrijednostima za uzdužnu silu i moment savijanja u ravnini zida je prikazan na slici 93. Moment savijanja u ravnini zida i uzdužna sila zamjenjuje se uzdužnom silom N_{Ed} na ekscentricitetu $e = M_{Ed}/N_{Ed}$. Za silu N_{Ed} odabire se minimalna vrijednost sile čime se dobiva najveći ekscentricitet.

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 93 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:

$$A_2 = 2 \cdot A_{\text{prov}} \cdot (l_w - 2b) = 6,7 \cdot (l_w - 2b)$$

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

Vrijednost sile T_2 :

$$T_2 = 2 \cdot 3,35 \cdot (l_w - 2b) \cdot 43,478 = 291,3(l_w - 2b)$$

Vrijednost sile T_3 :

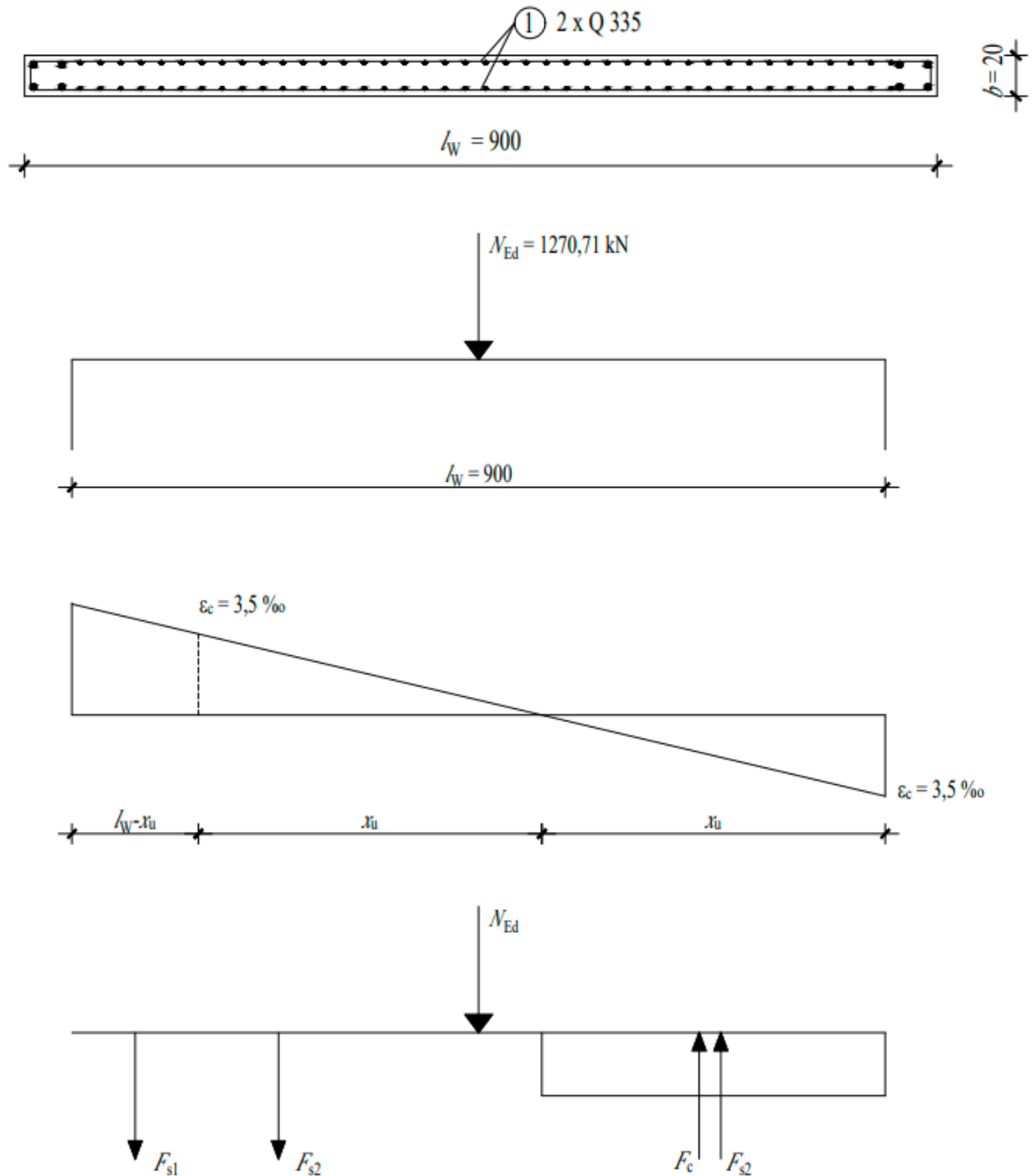
$$T_3 = \frac{-\left\{N_{Ed} \cdot \left[\left(\frac{l_w - b}{2}\right) - e\right] + 291,3 \cdot (l_w - 2b) \cdot \left(\frac{l_w}{2} - \frac{b}{2}\right)\right\}}{l_w - b} =$$
$$\frac{-\left\{1270,71 \cdot \left[\left(\frac{900 - 20}{2}\right) - 158\right] + 291,3 \cdot (900 - 2 \cdot 20) \cdot \left(\frac{900}{2} - \frac{20}{2}\right)\right\}}{900 - 20} =$$

$$T_3 = -125666,2 \text{ kN} < 0$$

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.

7.9. Provjera nosivosti zida pozicije 200 na moment savijanja u ravni

Duljina tlačnog područja u trenutku sloma x_u će se odrediti na temelju odabrane armature u hrptu zida ($2 \times Q 335$) te vanjskih i unutarnjih sila. Radi jednostavnosti proračuna smatra se da se odabrane mreže $2 \times Q 335$ protežu čitavom duljinom zida l_w .



Slika 94 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:

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

$$f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{uk} = 2 \cdot A_{prov} \cdot l_w = 2 \cdot 3,35 \cdot 9,0 = 60,3 \text{ cm}^2$$

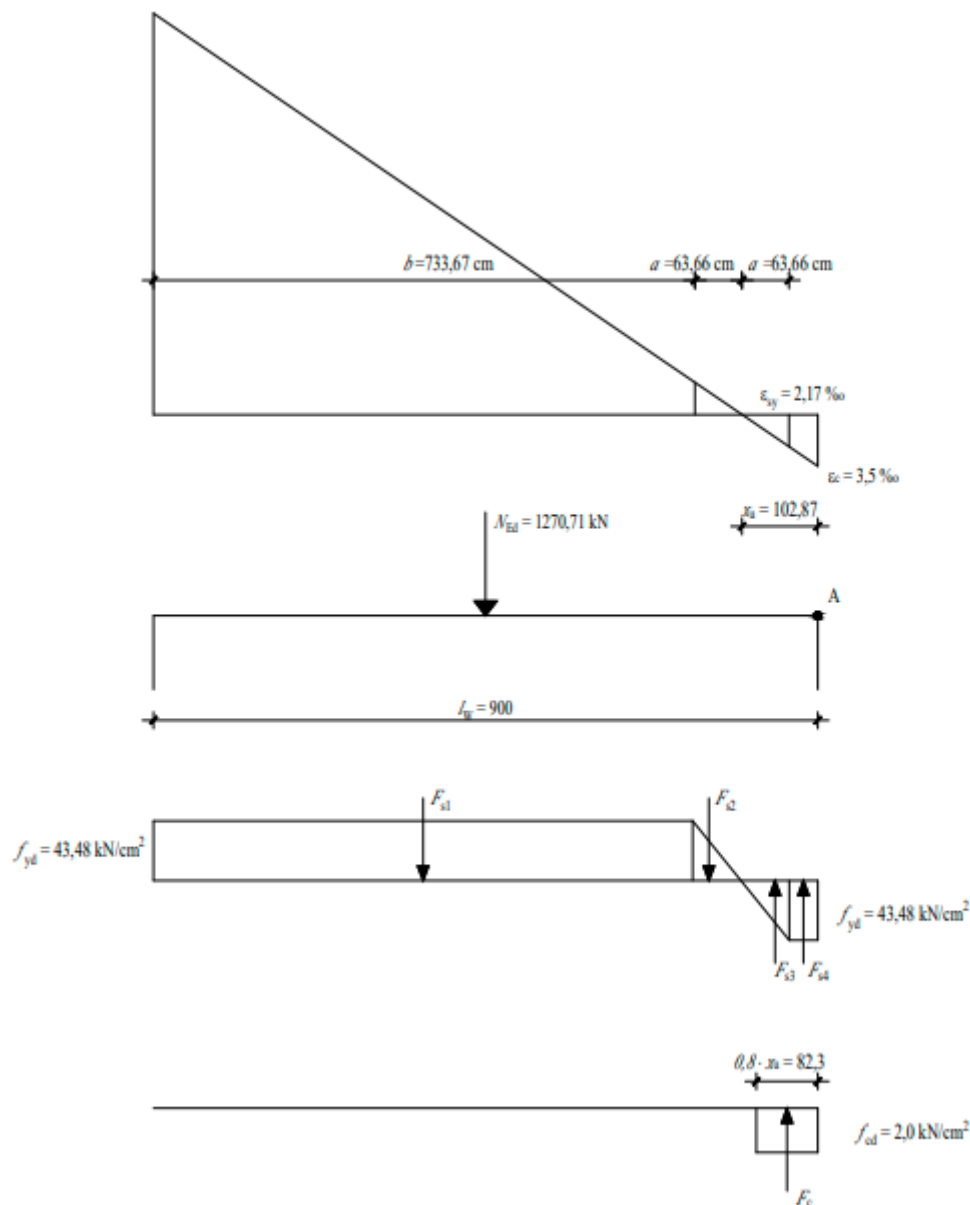
Na temelju ovih izraza dobije se vrijednost x_u :

$$1270,71 + 43,478 \cdot 60,3 - 2 \cdot 43,478 \cdot 60,3 \cdot \frac{x_u}{900} = 0,8 \cdot x_u \cdot 20 \cdot 2,0$$

$$3891,72 = 37,83 x_u$$

$$x_u = 102,87 \text{ cm}$$

U nastavku na slici 95. 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 95 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:

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

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

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

$$M_{Rd} = 1270,71 \cdot \frac{900}{2} + \frac{733,67}{900} \cdot 60,3 \cdot 43,478 \left(\frac{733,67}{2} + 63,66 + 102,87 \right) + \frac{63,66}{900} \cdot 60,3 \cdot 43,478 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 63,66 + 102,87 \right) \cdot 0,5 - \frac{63,66}{900} \cdot 60,3 \cdot 43,478 \left(102,87 - \frac{2}{3} \cdot 63,66 \right) \cdot 0,5 - 0,8 \cdot 2,0 \cdot 102,87 \cdot 20 \cdot (0,4 \cdot 102,87) - \frac{102,87 - 63,66}{900} \cdot 60,3 \cdot 43,478 \left(\frac{102,87 - 63,66}{2} \right)$$

$$M_{Rd} = 571819,5 + 1139907,56 + 7758,94 - 3226,71 - 135452,63 - 2239,28$$

$$M_{Rd} = 1578567,38 \text{ kNcm} = 15785,67 \text{ kNm}$$

Provjera nosivosti:

$$M_{Ed} = 2006,73 \text{ kNm} < M_{Rd} = 15785,67 \text{ kNm}$$

Zid ima zadovoljavajuću nosivost na savijanje.

7.10. Zahtijevana duktilnost zida pozicije 200

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 $T_1 = T_{1,y} = 1,5$ s. Za razred tla B je rubni period $T_C = 0,5$ s.

Obzirom da $T_1 = 1,50$ s $\geq T_C = 0,5$ s, zahtijevana duktilnost iznosi:

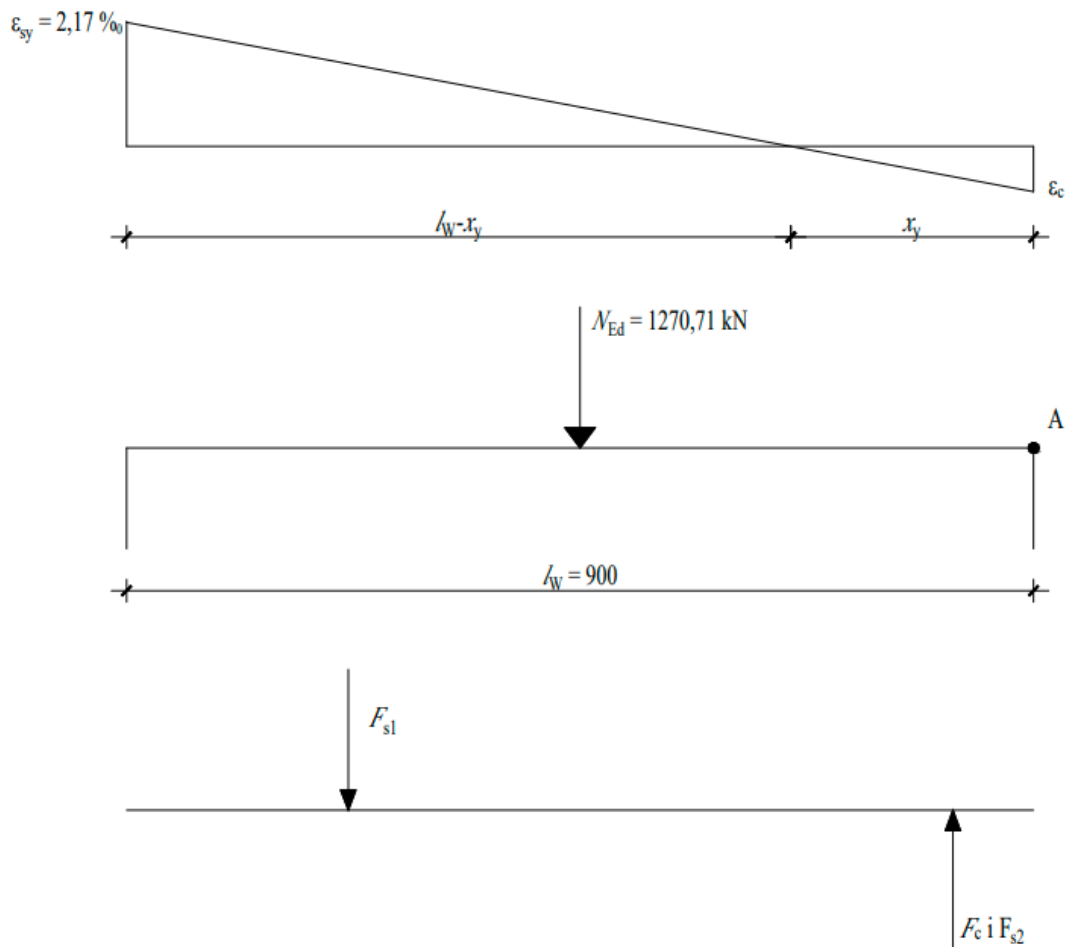
$$\mu_{\phi} = (2 \cdot 3,0 - 1) \cdot \frac{2006,73}{15785,67} = 0,64$$

Zato što je korište čelik razreda duktilnosti B, potrebno je zahtijevanu duktilnost povećati za 50 %:

$$\mu_{\phi} = 0,64 \cdot 1,5 = 0,96$$

7.11. Određivanje duktilnosti zida pozicije 200

Duktilnost zida će se odrediti u nastavku. Proračunata je zakrivljenost poprečnog presjeka na početku popuštanja vlačne armature. Maksimalna relativna deformacija vlačne armature jednaka je ε_{sy} te je za nju izračunata duljina tlačnog područja x_y i relativna deformacija betona u tlaku.



Slika 96 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 96. izvodi se izraz za duljinu tlačnog područja x_y :

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

$$x_y = l_w \cdot \frac{\varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{900 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

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

$$1270,71 + 43,478 \cdot 60,3 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{900 - \frac{900 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{900} \right) =$$

$$60,3 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{\frac{900 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c}}{900} \right) \cdot \varepsilon_c \cdot 20000 + 0,5 \cdot \frac{900 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} \cdot 20 \cdot \varepsilon_c \cdot 3300$$

$$1270,71 + 1310,86 - \frac{1310,86 \cdot \varepsilon_c}{0,00217 + \varepsilon_c} = \frac{603000 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c} + \frac{29700000 \cdot \varepsilon_c^2}{0,00217 + \varepsilon_c}$$

$$2,76 + 1270,71 \cdot \varepsilon_c + 2,84 + 1310,86 \cdot \varepsilon_c - 1310,86 \cdot \varepsilon_c = \varepsilon_c^2 (603000 + 29700000)$$

$$\varepsilon_c^2 - 4,19 \cdot 10^{-5} \varepsilon_c - 1,848 \cdot 10^{-7} = 0$$

$$\varepsilon_c = 4,513 \cdot 10^{-4}$$

Duljina tlačnog područja x_y :

$$x_y = \frac{900 \cdot 4,513 \cdot 10^{-4}}{0,00217 + 4,513 \cdot 10^{-4}} = 154,96 \text{ cm}$$

Zakrivljenost pri popuštanju:

$$\frac{1}{r_y} = \frac{\varepsilon_c}{x_y} = \frac{4,513 \cdot 10^{-4}}{154,96} = 2,912 \cdot 10^{-6}$$

Zakrivljenost pri slomu:

$$\frac{1}{r_u} = \frac{\varepsilon_c}{x_u} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{102,87} = 3,402 \cdot 10^{-5}$$

Duktilnost zida:

$$\mu_{\phi} = \frac{1/r_u}{1/r_y} = \frac{3,402 \cdot 10^{-5}}{2,912 \cdot 10^{-6}} = 11,68$$

Duktilnost zida $\mu_{\phi} = 11,68$ je veća od zahtijevane duktilnosti $\mu_{\phi} = 0,96$ te nema potrebe za ovijanjem kritičnih područja zida. Zid zadovoljava uvjete nosivosti i duktilnosti.

7.12. Rekapitulacija odabrane armature

Za zid pozicije 100 odabrana je armatura **Q 524** uz svako lice zida, cijelom duljinom zida.

Za zid pozicije 200 odabrana je armature **Q 335** uz svako lice zida, cijelom duljinom zida.

Za ostale pozicije zida ZX3, budući da imaju manje vrijednosti momenata savijanja i reznih sila od zida pozicije 200, odabrana je armatura kao za zid pozicije 200.

Za sve pozicije zida ZX3 na krajeve zida postavljena je konstruktivna armatura **4 ϕ 14**.

8 ZAKLJUČAK

U diplomskom radu je proveden statički i dinamički proračun stambene armiranobetonske zgrade te je izvršeno dimenzioniranje stubišta, ploče karakterističnog kata, odabrane grede i zida prema važećim normama.

Proračun stubišta u potpunosti je obavljen „ručno“ dok je proračun reznih sila karakteristične ploče od djelovanja stalnog i uporabnog opterećenja proveden je na ravninskom modelu u kome je ploča modelirana kao plošni element s linijskim osloncima te je izvršeno dimenzioniranje ploče na najnepovoljnije kombinacije opterećenja prema formulama. Greda je također dimenzionirana na najnepovoljnije kombinacije opterećenja. Za proračun zida napravljen je prostorni model zgrade u kome je proveden proračun reznih sila uslijed stalnog, uporabnog ali i seizmičkog opterećenja. Dimenzioniranje odabranog AB zida provedeno je za dobivene vrijednosti reznih sila iz mjerodavne seizmičke kombinacije.

Korišteni program za izradu modela ploče, model grede te prostornog modela zgrade je „SCIA Enginner“.

9 LITERATURA

- [1] Sorić Z. i Kišiček T., *Betonske konstrukcije 1*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2014.
- [2] Sorić Z. i Kišiček T., *Betonske konstrukcije 2*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2018.
- [3] HRN EN 1990, Eurokod 0: Osnove projektiranja konstrukcija, HZN, Zagreb, Hrvatska
- [4] HRN EN 1991-1-1, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, HZN, Zagreb, Hrvatska
- [5] HRN EN 1992-1-1, Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, HZN, Zagreb, Hrvatska
- [6] HRN EN 1998-1, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1.dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade, HZN, Zagreb, Hrvatska

10 POPIS SLIKA

Slika 1. Tlocrt i poprečni presjek stubišnog kraka i podesta	5
Slika 2. Prikaz statičkog opterećenja stubišta	7
Slika 3. Presjek AB ploče - stambeni prostor	17
Slika 4. Presjek AB ploče – hodnik	18
Slika 5 Presjek AB ploče – terasa.....	19
Slika 6 Prikaz modela ploče s pozicijama.....	20
Slika 7 Shema stalnog opterećenja	20
Slika 8 Momenti u smjeru x.....	21
Slika 9 Momenti u smjeru y.....	21
Slika 10 Opterećenje na poziciji 402,406,407,410,114	24
Slika 11 Opterećenje na poziciji 401,404,407,408,412,415	24
Slika 12 Opterećenje na poziciji 403,406,409,412,413	25
Slika 13 Opterećenje na poziciji 401,405,410,411,414	25
Slika 14 Momenti u smjeru x - POZ 402, 406, 407, 410, 414.....	26
Slika 15 Moment u smjeru x - POZ 404, 407, 412.....	26
Slika 16 Moment u smjeru x - POZ 403, 406, 409, 413.....	27
Slika 17 Moment u smjeru x - POZ 405, 411	27
Slika 18 Momenti u smjeru y - POZ 402, 406, 407, 410, 414.....	28
Slika 19 Moment u smjeru y – POZ 401, 404, 408, 412, 415	28
Slika 20 Moment u smjeru y – POZ 403, 406, 409, 413	29
Slika 21 Moment u smjeru y - POZ 401, 405, 410, 411, 414.....	29
Slika 22 Uporabno opterećenje na pozicijama 401,402,403.....	31
Slika 23 Uporabno opterećenje na pozicijama 408,409,410.....	31
Slika 24 Uporabno opterećenje na pozicijama 402,404.....	31
Slika 25 Uporabno opterećenje na pozicijama 403,405.....	32

Slika 26 Uporabno opterećenje na pozicijama 409,411.....	32
Slika 27 Uporabno opterećenje na pozicijama 410,412.....	32
Slika 28 Uporabno opterećenje na pozicijama 411,413.....	33
Slika 29 Uporabno opterećenje na pozicijama 412,414.....	33
Slika 30 Uporabno opterećenje na pozicijama 413,414,415.....	33
Slika 31 Uporabno opterećenje na pozicijama 404,405,406.....	34
Slika 32 Uporabno opterećenje na pozicijama 402,403.....	34
Slika 33 Uporabno opterećenje na pozicijama 404,405.....	34
Slika 34 Uporabno opterećenje na pozicijama 403,405,406,407.....	35
Slika 35 Uporabno opterećenje na pozicijama 407,409,411,413.....	35
Slika 36 Uporabno opterećenje na pozicijama 409,410.....	35
Slika 37 Uporabno opterećenje na pozicijama 411,412.....	36
Slika 38 Uporabno opterećenje na pozicijama 413,414.....	36
Slika 39 Momenti ležaja na pozicijama 401-402, 401-403	37
Slika 40 Momenti ležaja na pozicijama 408-409, 408-410	37
Slika 41 Momenti ležaja na pozicijama 402-404.....	38
Slika 42 Momenti ležaja na pozicijama 403-405.....	38
Slika 43 Momenti ležaja na pozicijama 409-411.....	39
Slika 44 Momenti ležaja na pozicijama 410-412.....	39
Slika 45 Momenti ležaja na pozicijama 411-413.....	40
Slika 46 Momenti ležaja na pozicijama 412-414.....	40
Slika 47 Momenti ležaja na pozicijama 415-413, 415-414	41
Slika 48 Momenti ležaja na pozicijama 406-404, 406-405	41
Slika 49 Momenti ležaja na pozicijama 402-403.....	42
Slika 50 Momenti ležaja na pozicijama 404-405.....	42
Slika 51 Momenti ležaja na pozicijama 407-403, 407-405, 407-406	43

Slika 52 Momenti ležaja na pozicijama 407-409, 407-411, 407-413	43
Slika 53 Momenti ležaja na pozicijama 409-410.....	44
Slika 54 Momenti ležaja na pozicijama 411-412.....	44
Slika 55 Momenti ležaja na pozicijama 413-414.....	45
Slika 56 Poprečna sila nad ležajevima od stalnog opterećenja.....	82
Slika 57 Poprečna sila nad ležajevima od mjerodavnog uporabnog opterećenja	82
Slika 58 Poprečni presjek grede POZ 401	84
Slika 59 Položaj grede POZ 401 u tlocrtu	84
Slika 60 Reakcije ploče od stalnog opterećenja [kN/m].....	85
Slika 61 Reakcije ploče mjerodavnog uporabnog opterećenja za polja 402 i 403 [kN/m].....	85
Slika 62 Statički sustav grede POZ 401	86
Slika 63 Prikaz stalnog opterećenja grede	87
Slika 64 Prikaz uporabnog opterećenja grede za maksimalni moment polja 1	87
Slika 65 Prikaz uporabnog opterećenja grede za maksimalni moment polja 2	87
Slika 66 Prikaz uporabnog opterećenja grede za maksimalnu silu ležaja B.....	87
Slika 67 Momenti od stalnog opterećenja grede.....	88
Slika 68 Momenti od uporabnog opterećenja grede za polje 1.....	88
Slika 69 Momenti od uporabnog opterećenja grede za polje 2.....	88
Slika 70 Momenti od uporabnog opterećenja grede za ležaja B.....	89
Slika 71 Poprečne sile od stalnog opterećenja grede	89
Slika 72 Poprečne sile od uporabnog opterećenja grede za ležaj A	89
Slika 73 Poprečne sile od uporabnog opterećenja grede za ležaj B.....	90
Slika 74 Poprečne sile od uporabnog opterećenja grede za ležaj C.....	90
Slika 75 Poprečni presjek grede sa sudjelujućom širinom	107
Slika 76 Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q za konstrukcije koje zadovoljavaju uvjet pravilnosti po visini.....	118

Slika 77 Vrijednost faktora k_w	119
Slika 78 Proračunski spektar odziva	119
Slika 79 Generirana masa za dodatno stalno opterećenje	120
Slika 80 Generirana masa za uporabno opterećenje	121
Slika 81 Raspodjela mase pri modalnoj analizi	122
Slika 82 Prvi mod - translacija u smjeru globalne osi y ($T = 1,50$ s)	123
Slika 83 Drugi mod - translacija u smjeru globalne osi x ($T = 0,84$ s)	123
Slika 84 Treći mod - torzija oko globalne osi z ($T = 0,39$ s)	124
Slika 85 Prikaz aktivacije masa	124
Slika 86 3D model zgrade s označenim zidom ZX3	125
Slika 87 Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom	129
Slika 88 Uzdužni presjek zida s pripadajućim vanjskim i unutarnjim silama i momentima. 130	
Slika 89 Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutarnjim i vanjskim silama	132
Slika 90 Prikaz relativnih deformacija u zidu u trenutku sloma i prikaz vanjskih i unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu	134
Slika 91 Prikaz relativnih deformacija u zidu te prikaz vanjskih sila, unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu potrebnih za dobivanje duktilnosti zida	137
Slika 92 Poprečni presjek zida s pripadajućom armaturom	142
Slika 93 Uzdužni presjek zida s pripadajućim vanjskim i unutarnjim silama i momentima. 143	
Slika 94 Uzdužni presjek zida s pripadajućim unutarnjim i vanjskim silama	145
Slika 95 Prikaz relativnih deformacija u zidu u trenutku sloma i prikaz vanjskih i unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu	147
Slika 96 Prikaz relativnih deformacija u zidu te prikaz vanjskih sila, unutarnjih sila u čeliku i unutarnjih sila u betonu potrebnih za dobivanje duktilnosti zida	150

11 POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz stalnog opterećenja kraka stubišta.....	6
Tablica 2. Prikaz stalnog opterećenja podesta stubišta	11
Tablica 3. Momenti savijanja u polju od stalnog opterećenja	22
Tablica 4. Momenti savijanja nad ležajevima od stalnog opterećenja	23
Tablica 5. Momenti savijanja u polju od uporabnog opterećenja	30
Tablica 6. Momenti savijanja nad ležajevima od uporabnog opterećenja	45
Tablica 7. Proračunske vrijednosti momenata savijanja u polju	46
Tablica 8. Proračunske vrijednosti momenata savijanja nad ležajevima	47
Tablica 9. Odabrana armatura u polju	80
Tablica 10. Odabrana armatura nad ležajevima	81
Tablica 11. Odabrana armatura u polju	106
Tablica 12. Odabrana armatura nad ležajevima	106
Tablica 13. Parametri za razred tla B	118
Tablica 14. Unutarnje sile na dnu zida ZX3 pozicija 100	126
Tablica 15. Unutarnje sile na dnu zida ZX3 za dimenzioniranje na poziciji 100	127
Tablica 16. Unutarnje sile na dnu zida 200 ZX4_5.....	139
Tablica 17. Unutarnje sile na dnu zida ZX4_5 za dimenzioniranje	140

12 GRAFIČKI PRILOZI

Tlocrt prizemlja

Tlocrt karakterističnog kata

Presjek A - A

Presjek B - B

Armatura stubišta

Armatura ploče – donja zona

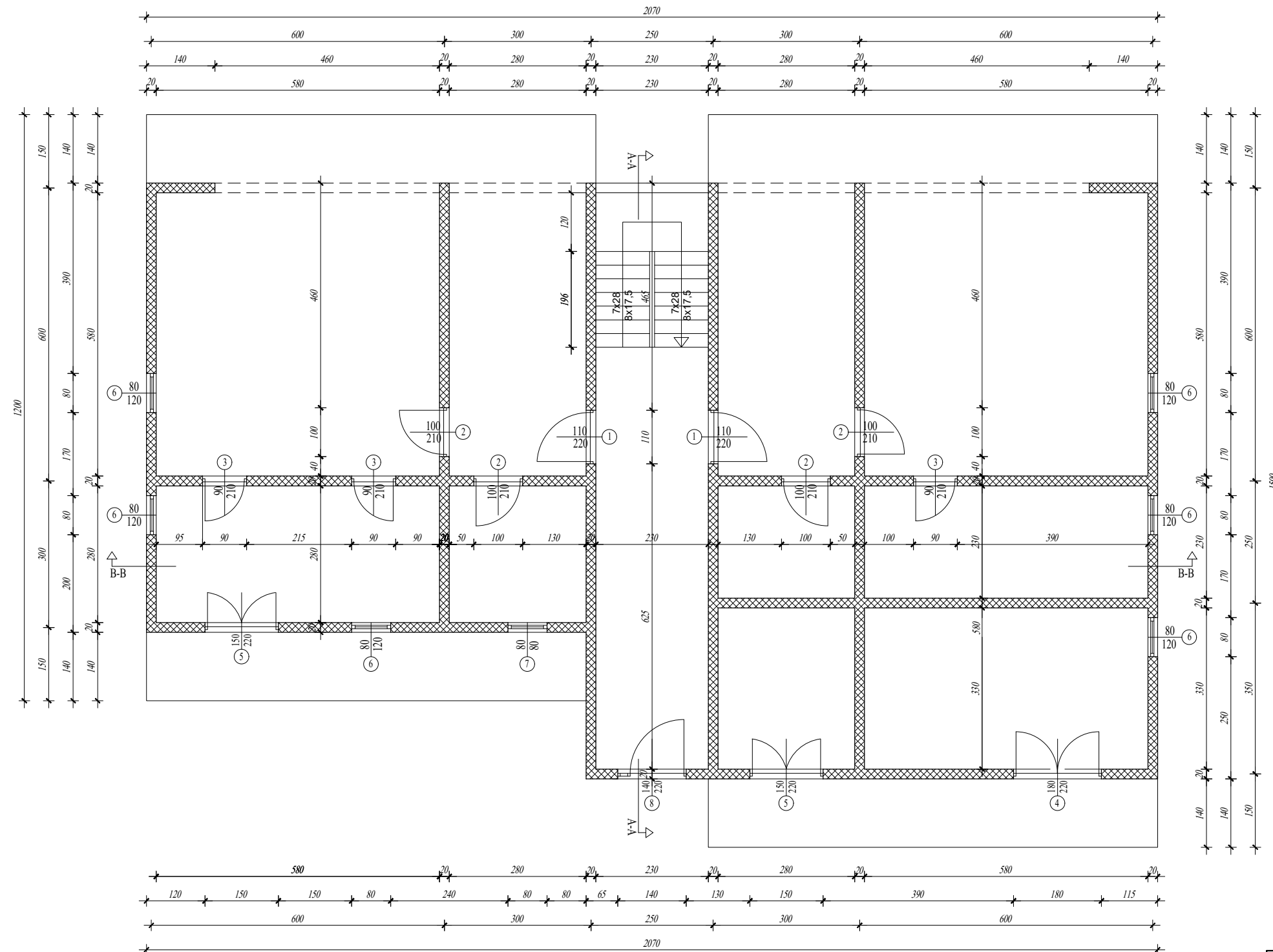
Armatura ploče – gornja zona

Armatura grede

Armatura zida

TLOCRT PRIZEMLJA

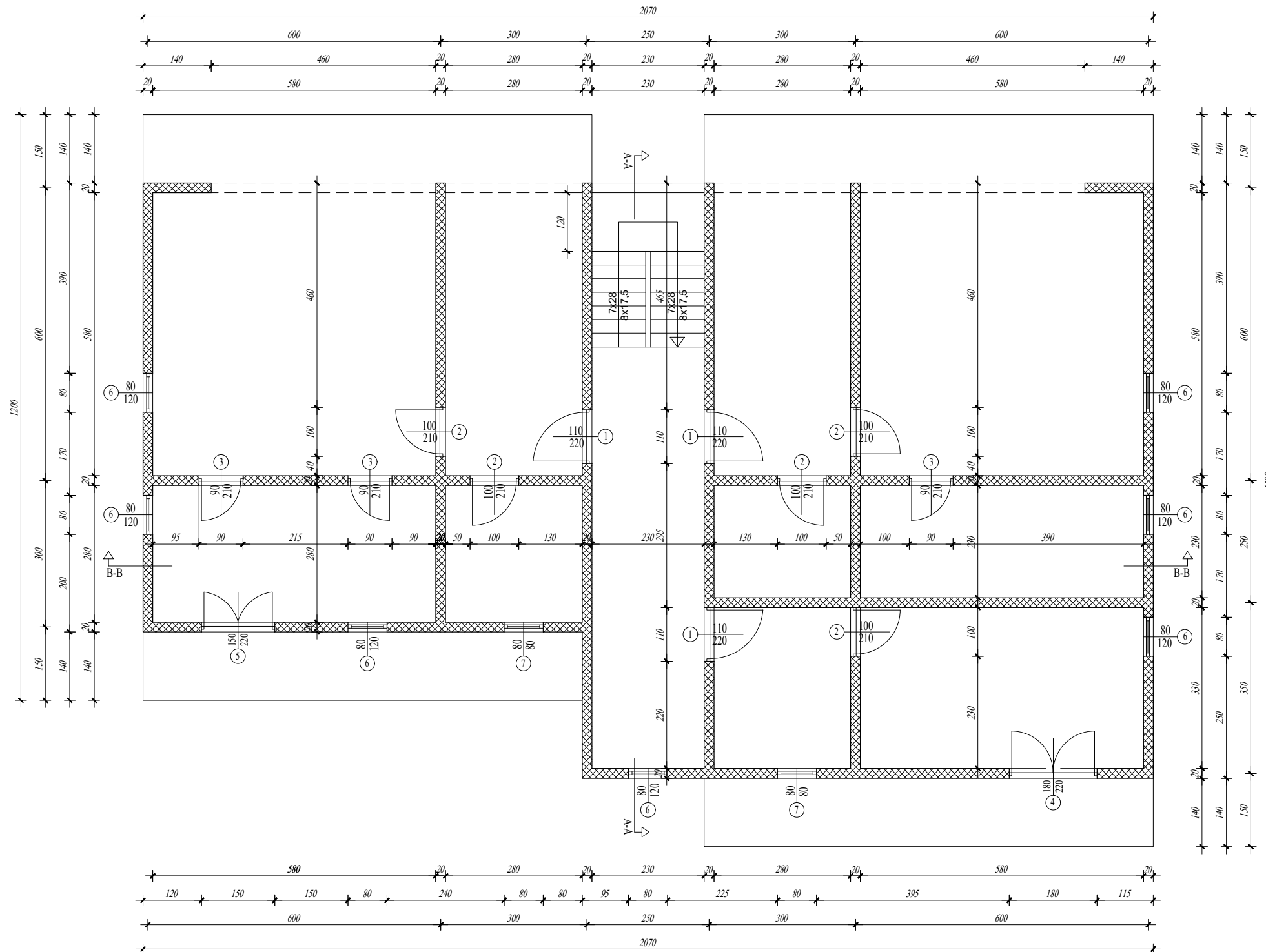
MJ 1:100



Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Tlocrt prizemlja	
Mentor: prof.dr. sc. Tomislav Kišček	Mjerilo: 1:100
Datum: rujan 2023.	
Marko Ljubić	

TLOCRT KARAKTERISTIČNOG KATA

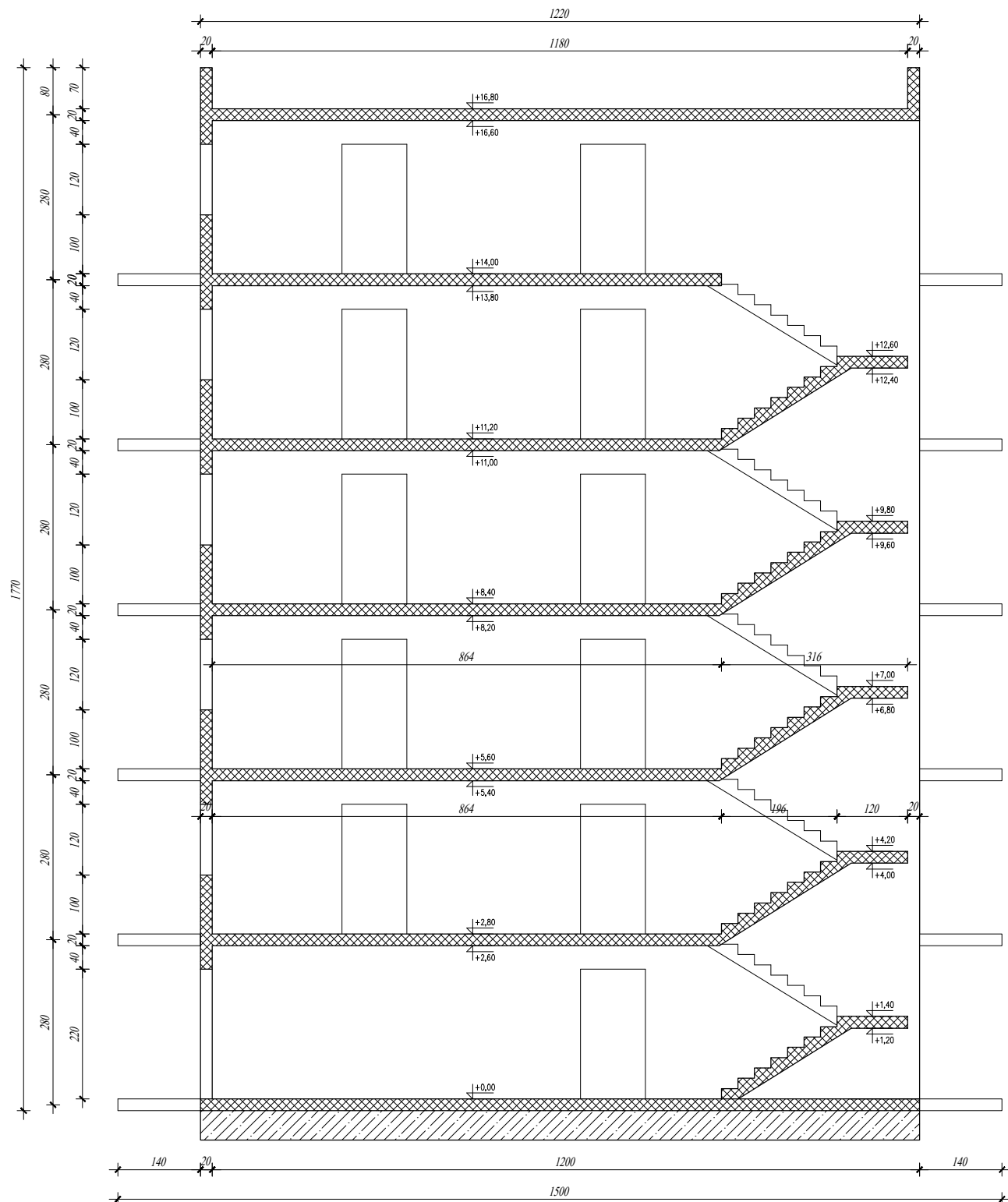
MJ 1:100



Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Tlocrt karakterističnog kata	
Mentor: prof.dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:100
Datum: rujan 2023.	
Marko Ljubić	

PRESJEK A-A

MJ 1:100



Sveučilište u Zagrebu
GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Presjek A-A

Mentor: prof.dr. sc. Tomislav Kišiček

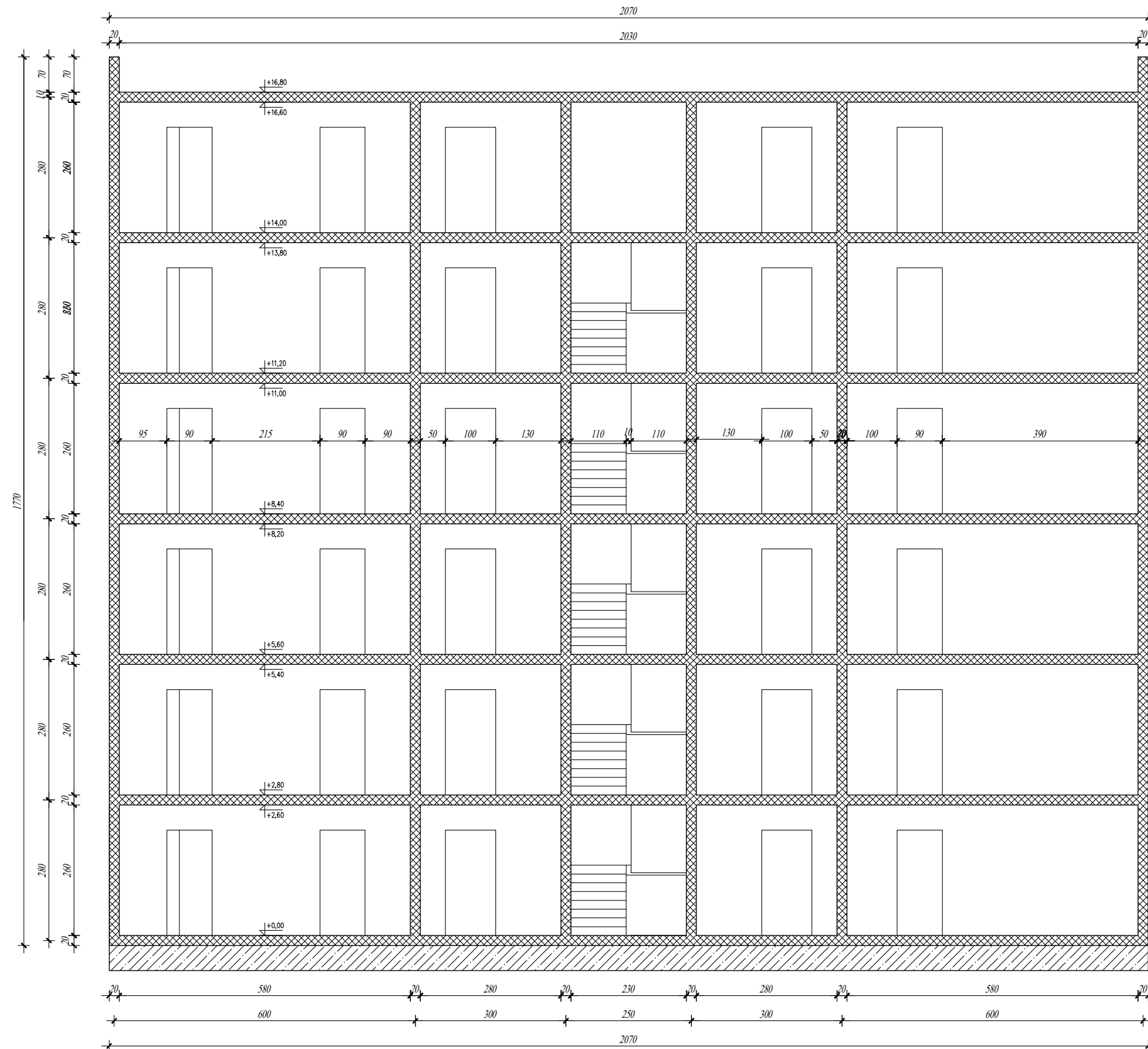
Mjerilo:

Datum: rujan 2023.

1:100

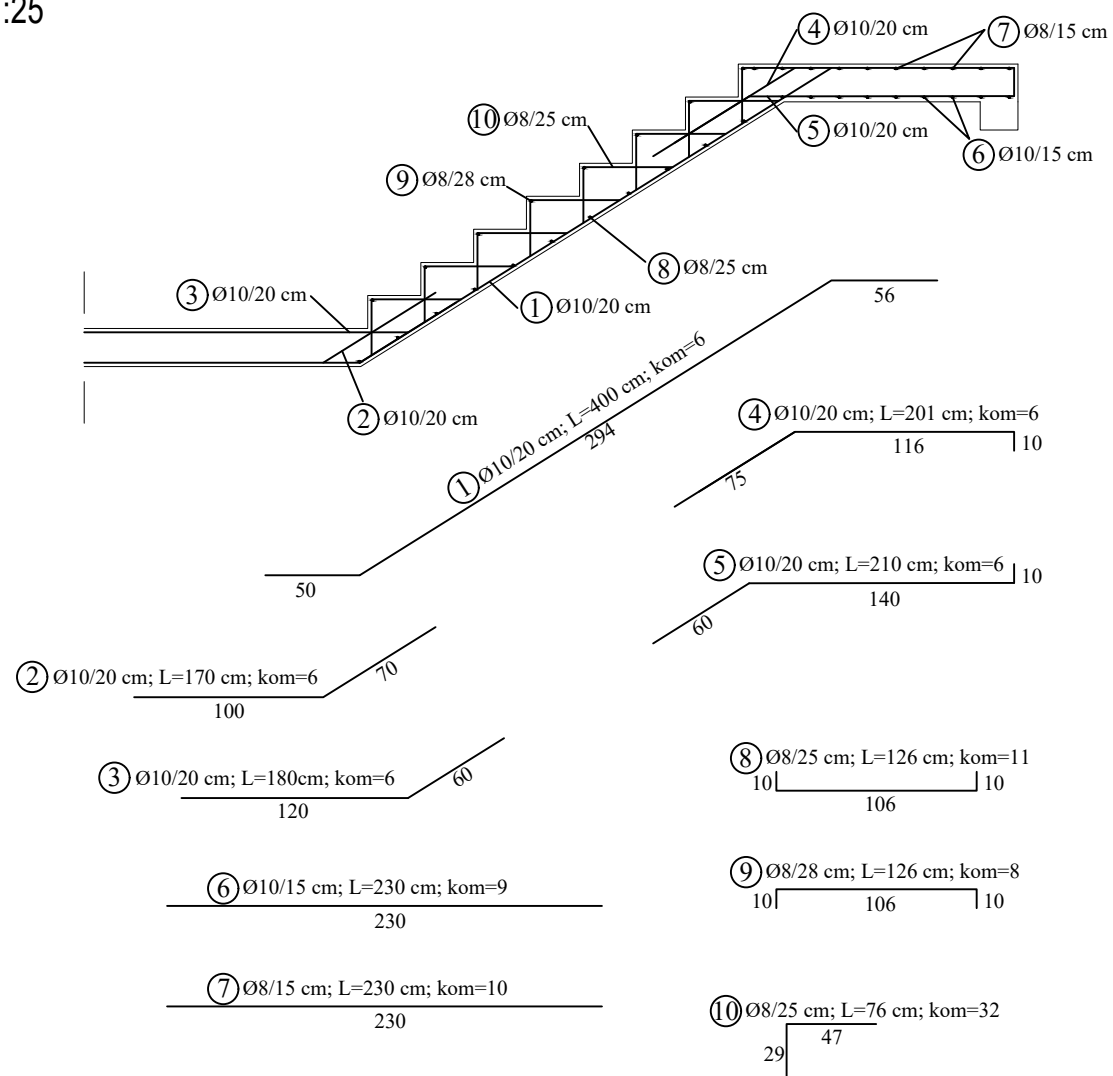
Marko Ljubić

PRESJEK B-B
MJ 1:100



Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Presjek B-B	
Mentor: prof.dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:100
Datum: rujan 2023.	
Marko Ljubić	

PLAN ARMATURE STUBIŠTA
MJ 1:25

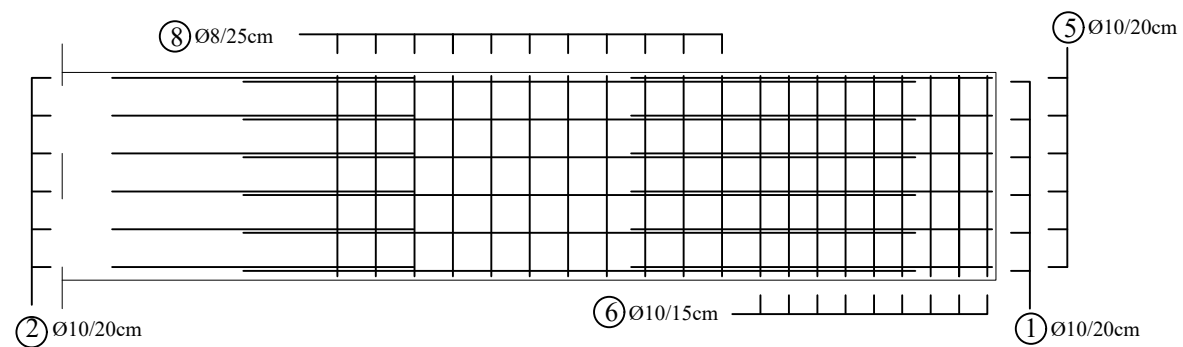


Čelik: B500B

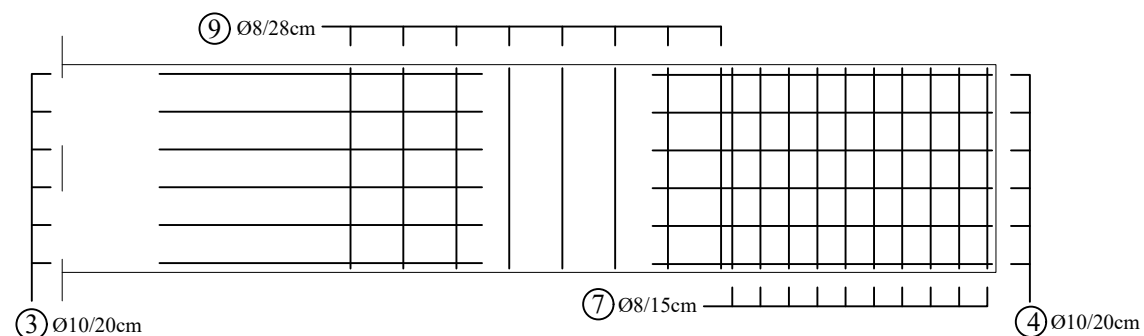
Beton: C30/37

Zaštitni sloj c= 2cm

DONJA ZONA



GORNJA ZONA

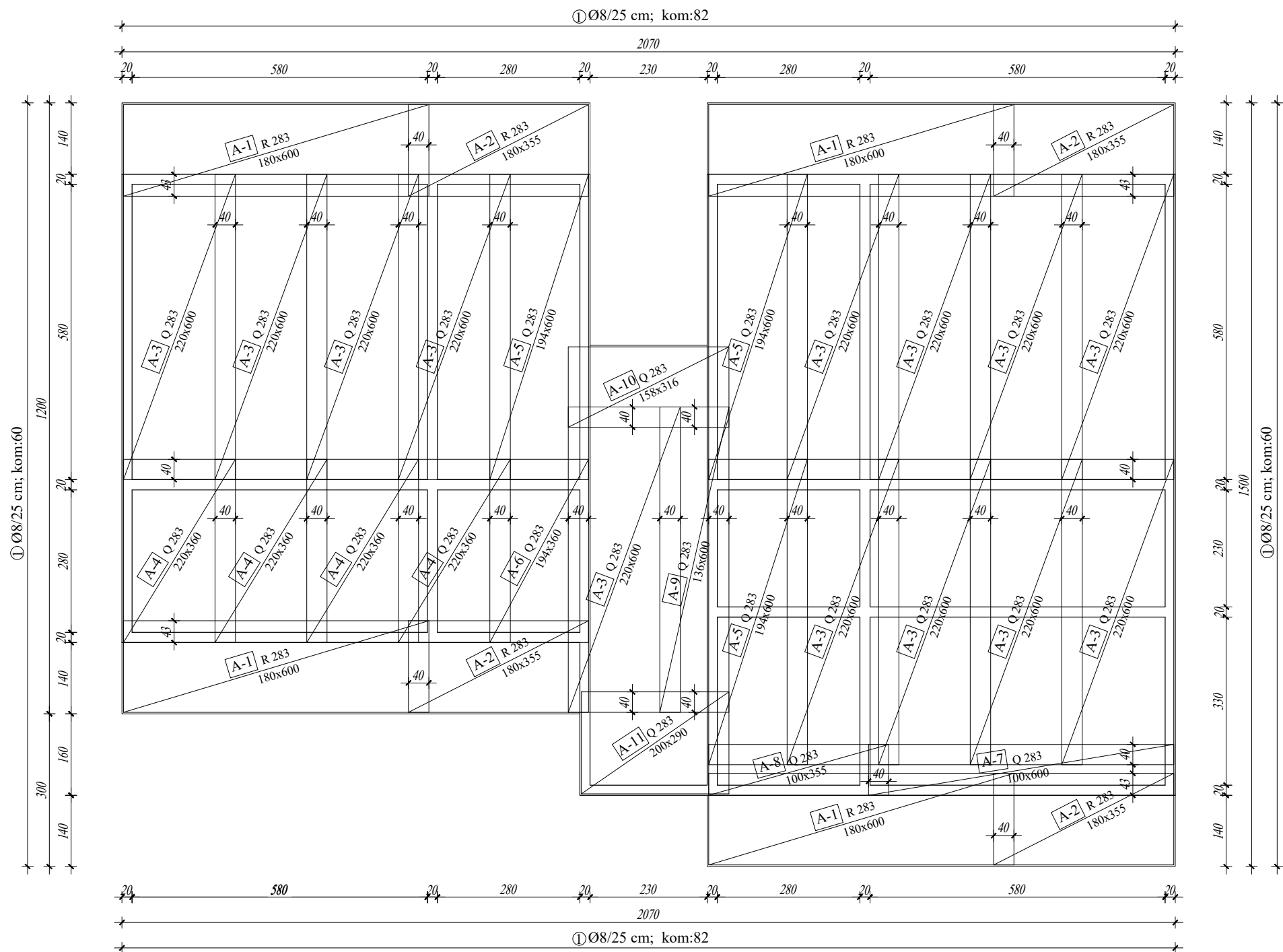


Iskaz armature stubišta					
B500B					
Pozicija	Ø	L [m]	kom	Ukupna duljina [m]	
				Ø8	Ø10
1	10	4,00	6		24,00
2	10	1,70	6		10,20
3	10	1,80	6		10,80
4	10	2,01	6		12,06
5	10	2,10	6		12,60
6	10	2,30	9		20,70
7	8	2,30	10	23,00	
8	8	1,26	11	13,86	
9	8	1,26	8	10,08	
10	8	0,76	32	24,32	
Ukupno [m]				71,26	90,36
Masa [kg/m]				0,405	0,634
Ukupno po profilima [kg]				28,86	57,29
SVEUKUPNO [kg]				84,15	

Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Plan armature stubišta	
Mentor: prof.dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:25
Datum: rujan 2023.	
Marko Ljubić	

PLAN ARMATURE PLOČE - DONJA ZONA

MJ 1:100



① Ø8/25 cm; L=123 cm; kom:284
 ② Ø8; L=96 cm; kom:1132

13 $\frac{55}{55}$
 13 $\frac{30}{20}$ $\frac{1}{20}$

Čelik: B500B
 Beton: C30/37
 Zaštitni sloj c=2cm

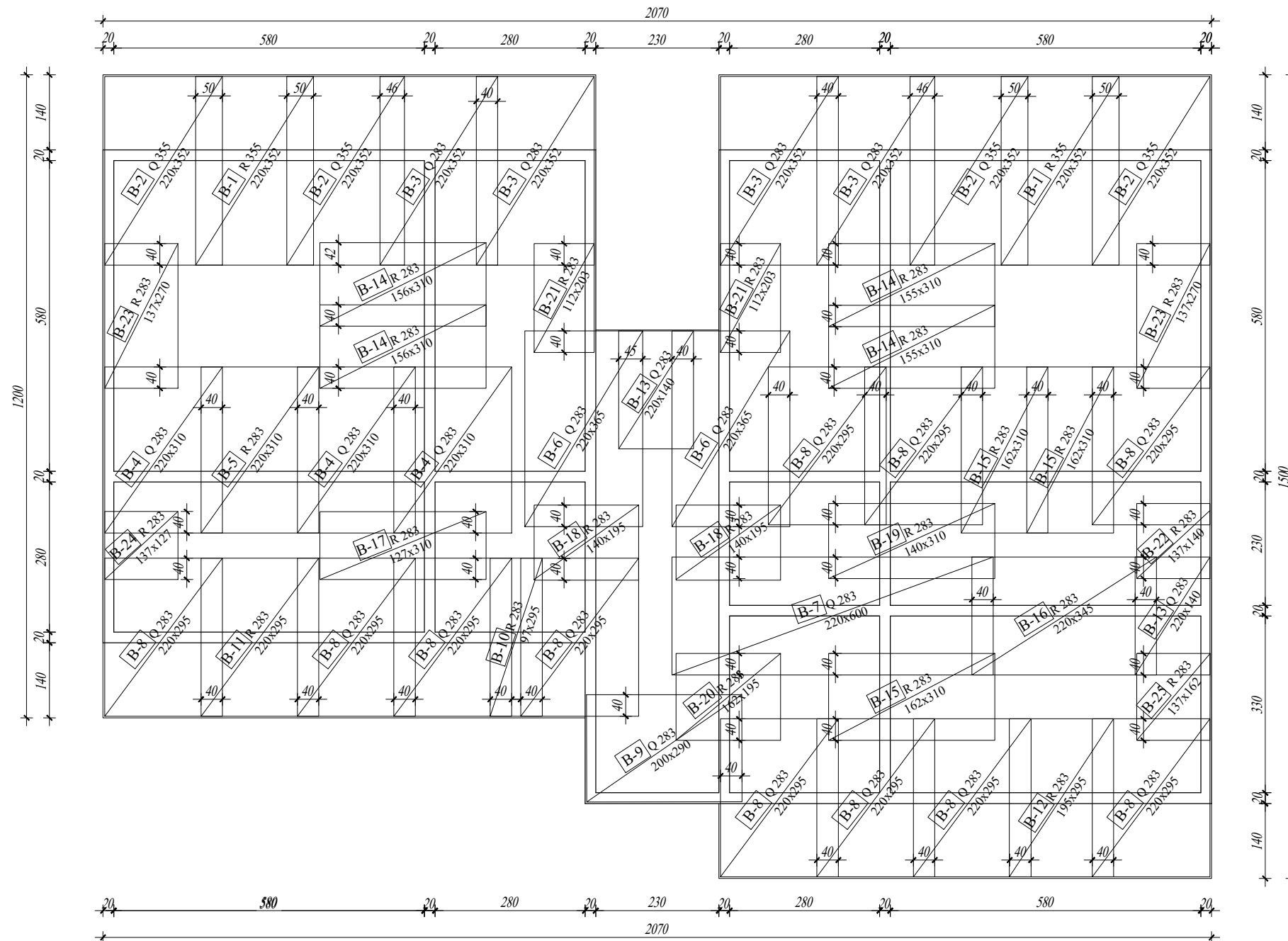
Iskaz armature ploče				
B500B				
Pozicija	Ø	L [m]	kom	Ukupna duljina [m]
1	8	1,23	284	349,32
2	8	0,96	1132	1086,72
Ukupno [m]				1436,04
Masa [kg/m]				0,405
SVEUKUPNO [kg]				581,60

Iskaz armature ploče - donja zona							
B500B							
Pozicija	Tip	B [m]	L [m]	Površina [m ²]	kom	Jedinična težina [kg/m ²]	Ukupno [kg]
A 1	R 283	1,80	6,00	10,80	4	2,88	124,42
A 2	R 283	1,80	3,55	6,39	4	2,88	73,62
A 3	Q 283	2,20	6,00	13,20	13	4,48	768,77
A 4	Q 283	2,20	3,60	7,92	4	4,48	141,93
A 5	Q 283	1,94	6,00	11,64	3	4,48	156,44
A 6	Q 283	1,94	3,60	6,98	1	4,48	31,29
A 7	Q 283	1,00	6,00	6,00	1	4,48	26,88
A 8	Q 283	1,00	3,55	3,55	1	4,48	15,90
A 9	Q 283	1,36	6,00	8,16	1	4,48	36,56
A 10	Q 283	1,58	3,16	4,99	1	4,48	22,36
A 11	Q 283	2,00	2,90	5,80	1	4,48	25,98
SVEUKUPNO [kg]							1424,15

Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Plan armature ploče-donja zona	
Mentor: prof.dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:100
Datum: rujan 2023.	
Marko Ljubić	

PLAN ARMATURE PLOČE - GORNJA ZONA

MJ 1:100

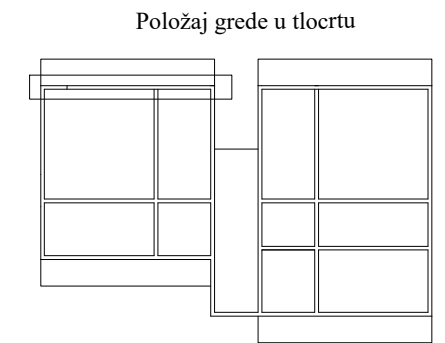
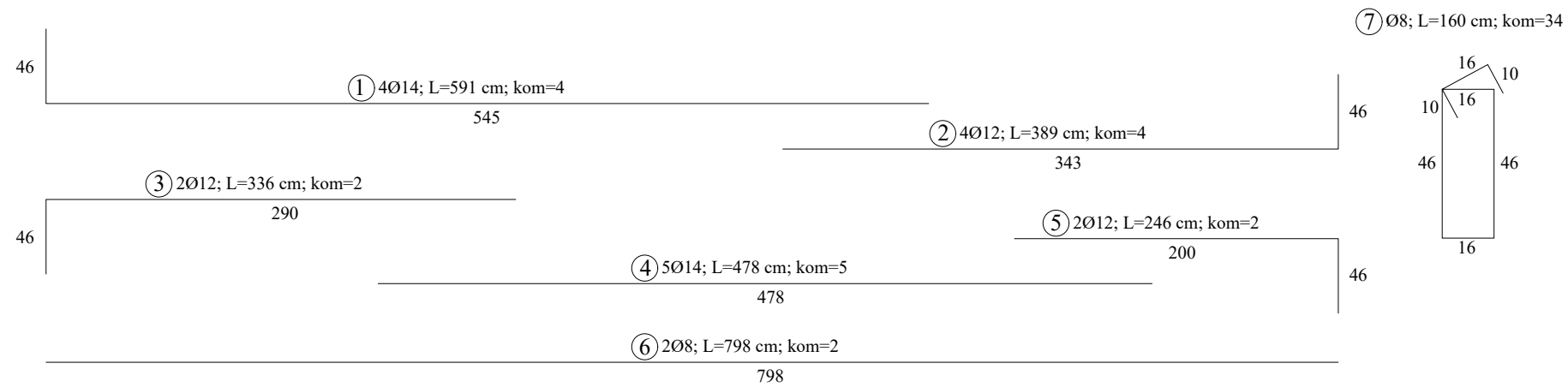
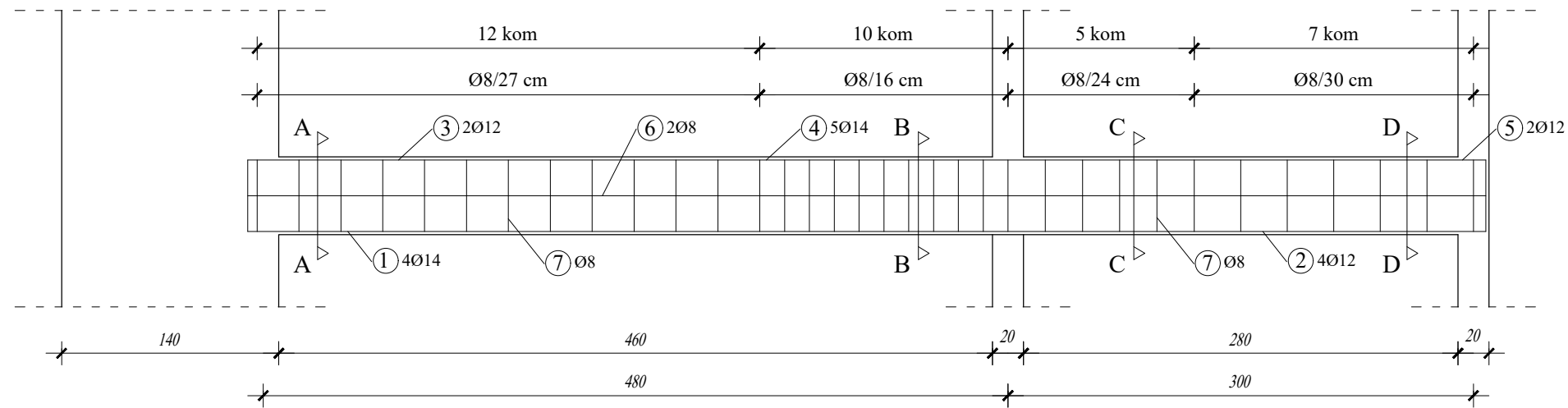


Čelik: B500B
 Beton: C30/37
 Zaštitni sloj c=2cm

Iskaz armature ploče - gornja zona							
B500B							
Pozicija	Tip	B [m]	L [m]	Površina [m ²]	kom	Jedinična težina [kg/m ²]	Ukupno [kg]
B 1	R 355	2,20	3,52	7,74	2	3,63	56,19
B 2	Q 355	2,20	3,52	7,74	4	5,45	168,73
B 3	Q 283	2,20	3,52	7,74	4	4,48	138,70
B 4	Q 283	2,20	3,10	6,82	3	4,48	91,66
B 5	R 283	2,20	3,10	6,82	1	2,88	19,64
B 6	Q 283	2,20	3,65	8,03	2	4,48	71,95
B 7	Q 283	2,20	6,00	13,20	1	4,48	59,14
B 8	Q 283	2,20	2,95	6,49	11	4,48	319,83
B 9	Q 283	2,00	2,90	5,80	1	4,48	25,98
B 10	R 283	0,97	2,95	2,86	1	2,88	8,24
B 11	R 283	2,20	2,95	6,49	1	2,88	18,69
B 12	R 283	1,95	2,95	5,75	4	2,88	66,24
B 13	Q 283	2,20	1,40	3,08	2	4,48	27,60
B 14	R 283	1,55	3,10	4,81	4	2,88	55,41
B 15	R 283	1,62	3,10	5,02	3	2,88	43,37
B 16	R 283	2,20	3,45	7,59	1	2,88	21,86
B 17	R 283	1,27	3,10	3,94	1	2,88	11,35
B 18	R 283	1,40	1,95	2,73	2	2,88	15,72
B 19	R 283	1,40	3,10	4,34	1	2,88	12,53
B 20	R 283	1,62	1,95	3,16	1	2,88	9,10
B 21	R 283	1,12	2,03	2,27	2	2,88	13,08
B 22	R 283	1,37	1,40	1,92	1	2,88	5,53
B 23	R 283	1,37	2,70	3,70	2	2,88	21,31
B 24	R 283	1,37	1,27	1,74	1	2,88	5,01
B 25	R 283	1,37	1,62	2,22	1	2,88	6,39
SVEUKUPNO [kg]							1293,25

Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Plan armature ploče-gornja zona	
Mentor: prof.dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:100
Datum: rujan 2023.	
Marko Ljubić	

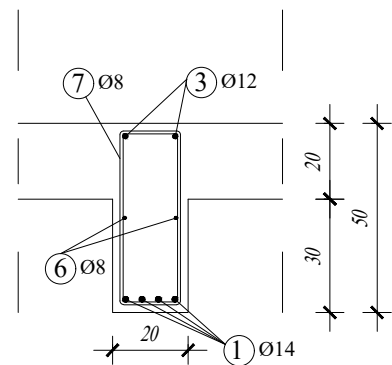
PLAN ARMATURE GREDE
MJ 1:50 ;1:25



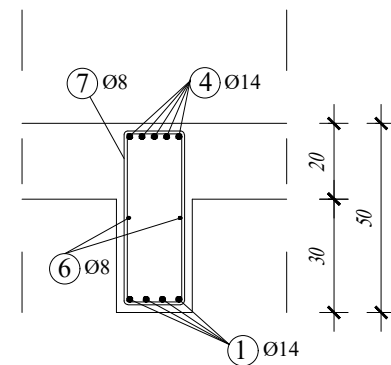
Čelik: B500B
Beton: C30/37
Zaštitni sloj c=2cm

Iskaz armature grede						
B500B						
Pozicija	Ø	L [m]	kom	Ukupna duljina [m]		
				Ø8	Ø12	Ø14
1	14	5,91	4			23,64
2	12	3,89	4		15,56	
3	12	3,36	2		6,72	
4	14	4,78	5			23,90
5	12	2,46	2		4,92	
6	8	7,98	2	15,96		
7	8	1,60	34	54,40		
Ukupno [m]				70,36	27,20	47,54
Masa [kg/m]				0,405	0,911	1,242
Ukupno po profilima [kg]				28,50	24,78	59,04
SVEUKUPNO [kg]				112,32		

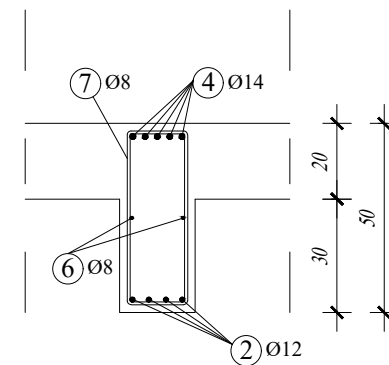
Presjek A-A



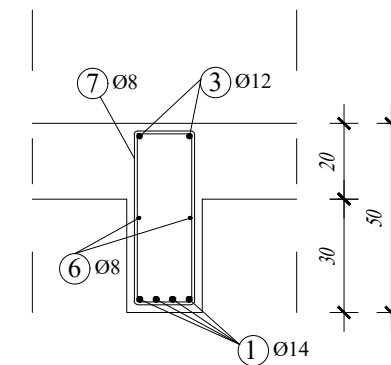
Presjek B-B



Presjek C-C

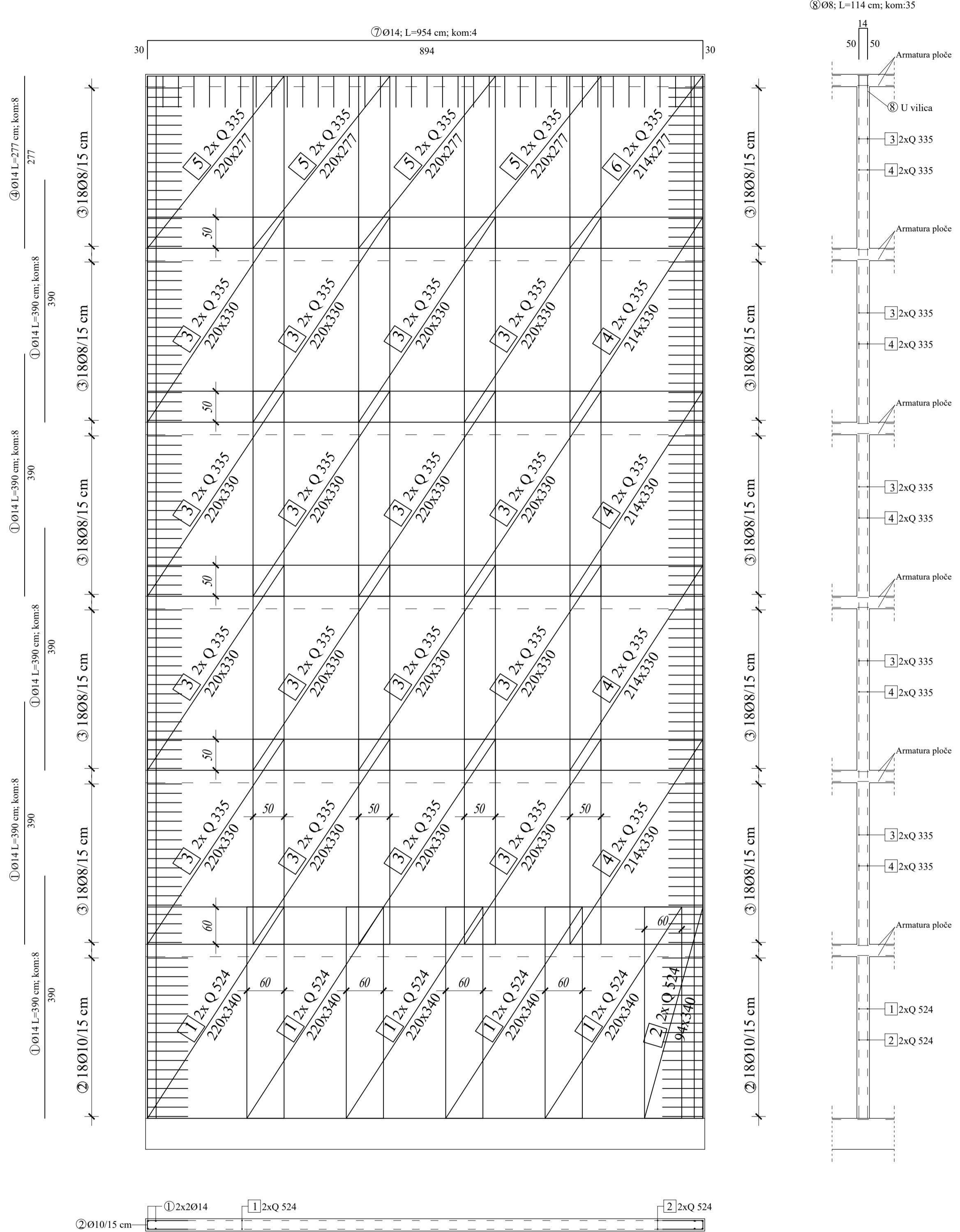


Presjek D-D



Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Plan armature grede	
Mentor: prof.dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:50, 1:25
Datum: rujan 2023.	
Marko Ljubić	

PLAN ARMATURE ZIDA MJ 1:50



- ① Ø14 L=390 cm, kom:8
- ② Ø10; L=144 cm, kom:36
- ③ Ø8; L=124 cm, kom:180
- ④ Ø14 L=277 cm, kom:8
- ⑤ Ø8; L=30 cm, kom:604
- ⑥ Ø8; L=72 cm, kom:302
- ⑦ Ø14; L=954 cm, kom:4
- ⑧ Ø8; L=114 cm, kom:35

Iskaz armature zida						
B500B						
Pozicija	Ø	L [m]	kom	Ukupna duljina [m]		
				Ø8	Ø10	Ø14
1	14	3,90	40			156,00
2	10	1,44	36		51,84	
3	8	1,24	180	223,20		
4	14	2,77	8			22,16
5	8	0,30	604	181,20		
6	8	0,72	302	217,44		
7	14	9,54	4			38,16
8	8	1,14	35	39,90		
Ukupno [m]				661,74	51,84	216,32
Masa [kg/m]				0,405	0,634	1,242
Ukupno po profilima [kg]				268,00	32,87	268,67
SVEUKUPNO [kg]				569,54		

Iskaz armature zida							
B500B							
Pozicija	Tip	B [m]	L [m]	Površina [m ²]	kom	Jedinična težina [kg/m ²]	Ukupno [kg]
1	Q 524	2,20	3,40	7,48	10	8,40	628,32
2	Q 524	0,94	3,40	3,20	2	8,40	53,76
3	Q 335	2,20	3,30	7,26	32	5,45	1266,14
4	Q 335	2,14	3,30	7,06	8	5,45	307,82
5	Q 335	2,20	2,77	6,09	8	5,45	265,52
6	Q 335	2,14	2,77	5,93	2	5,45	62,15
SVEUKUPNO [kg]							2583,61

Čelik: B500B
Beton: C30/37
Zaštitni sloj c= 2cm

Sveučilište u Zagrebu GRAĐEVINSKI FAKULTET	
DIPLOMSKI RAD	
Plan armature zida	
Mentor: prof.dr. sc. Tomislav Kišiček	Mjerilo: 1:50
Datum: rujan 2023.	
Marko Ljubić	