

Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske okvirne konstrukcije zgrade prema sposobnosti nosivosti

Krnjus, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:659420>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Iva Krnjus

**PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE ARMIRANOBETONSKE OKVIRNE
KONSTRUKCIJE ZGRADE PREMA SPOSOBNOSTI NOSIVOSTI**

Diplomski rad

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij
Konstrukcije
Potresno inženjerstvo**

**Iva Krnjus
JMBAG: 0114029973**

**PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE ARMIRANOBETONSKE OKVIRNE
KONSTRUKCIJE ZGRADE PREMA SPOSOBNOSTI NOSIVOSTI**

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2022.

IZJAVA

Diplomski rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Iva Krnjus

U Rijeci, 14.09.2022.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Davoru Grandiću dipl. ing. građ. na pomoći i stručnim savjetima koji su mi uvelike pomogli u izradi ovog diplomskog rada.

Posebno se želim zahvaliti svojim roditeljima, sestri i prijateljima koji su se tijekom čitavnog školovanja radovali mojim uspjesima te me podupirali i poticali da stignem do konačnog cilja.

SAŽETAK

O ovom diplomskom radu proračunana je poslovna zgrada na području grada Rijeke, a sastoji se od podruma, prizemlja i četiri kata. Proveden je statički proračun i dimenzioniranje armiranobetonskog okvira sa odgovarajućim normama i propisima. Konstrukcija je modelirana kao ravninski okvirni model pomoću softverskog paketa StaadPRO V8i za sva vertikalna i horizontalna djelovanja. Potresni proračun i provjera potresne otpornosti armiranobetonske zgrade proveden je na temelju linearno-elastičnog proračuna uz zadovoljenje kriterija proračuna prema sposobnosti nosivosti i lokalne duktilnosti. Nakon dimenzioniranja izrađeni su nacrti armature stupova i greda potresno otpornog okvira.

Ključne riječi: potresno djelovanje, armiranobetonski okvir, okvirna konstrukcija, ravninski model, sposobnost nosivosti, kapacitet nosivosti, vitki elementi, dimenzioniranje greda, dimenzioniranje stupova, kritično područje, armiranje

ABSTRACT

In this thesis, an office building in the area of the city of Rijeka was calculated, and it consists of a basement, a ground floor, and four floors. The static calculation and dimensioning of the reinforced concrete frame was carried out with the appropriate norms and regulations. The structure was modeled as a planar frame model using the StaadPRO V8i software package for all vertical and horizontal activity. Seismic calculation and verification of the seismic resistance of the reinforced concrete building was carried out on the basis of linear-elastic calculation by satisfaction of the calculation criteria according to the bearing capacity and local ductility. After dimensioning, plans were made of the reinforcement of the columns and beams of the earthquake-resistant frame.

Keywords: seismic action, reinforced concrete frame, frame construction, planar model, bearing ability, bearing capacity, slender elements, dimensioning of beams, dimensioning of columns, critical area, reinforcement

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEHNIČKI OPIS	2
2.1. Općenito.....	2
2.2. Opis konstrukcije	2
2.3. Statički proračun.....	3
3. OSNOVNI PODACI.....	4
3.1. Karakteristike materijala.....	4
3.1.1. Beton	4
3.1.2. Čelik	4
3.2. Dimenzije elemenata	5
3.2.1. Ploče	5
3.2.2. Grede	5
3.2.3. Stupovi	5
3.3. Značajke konstrukcijskih elemenata.....	6
3.3.1. Razred izloženosti i razred konstrukcije	6
3.3.2. Zaštitni sloj betona	7
4. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	9
4.1. Stalno opterećenje.....	9
4.1.1. Međukatna ploča	9
4.1.2. Ravni krov	10
4.2. Uporabno opterećenje.....	11
4.3. Opterećenje snijegom	13
4.4. Opterećenje vjetrom	15
4.5. Potresno opterećenje.....	18
5. PRORAČUN KONSTRUKCIJE	20
5.1. Određivanje potresnog djelovanja	20
5.2. Određivanje bočnih sila od potresnog djelovanja.....	23
5.3. Određivanje težina po katovima	26
5.4. Raspodjela ukupne poprečne sile potresa po visini građevine	28
5.5. Potresna proračunska kombinacija	30
6. PRORAČUN OKVIRA.....	31

6.1.	Analiza opterećenja ravnog krova	33
5.1.1.	Stalno opterećenje G_1 , G_2 i g_1	33
5.1.2.	Uporabno opterećenje Q_1 , Q_2 i q_1	33
5.1.3.	Opterećenje snijegom	34
6.2.	Analiza opterećenja međukatne konstrukcije	35
5.2.1.	Stalno opterećenje G_3 , G_4 i g_2	35
5.2.2.	Uporabno opterećenje Q_3 , Q_4 i q_2	35
6.3.	Analiza horizontalnih opterećenja na okvir	36
6.4.	Proračun vitkih elemenata okvira	37
6.5.	Dimenzioniranje greda okvira na moment savijanja	42
6.5.1.	Greda POZ 516 – 518 – 516	43
6.5.2.	Greda POZ 416 – 418 – 416	45
6.5.3.	Greda POZ 316 – 318 – 316	47
6.5.4.	Greda POZ 216 – 218 – 216	49
6.5.5.	Greda POZ 116 – 118 – 116	52
6.6.	Dimenzioniranje greda okvira na poprečnu silu	55
6.6.1.	Greda POZ 516 – 518 – 516	55
6.6.2.	Greda POZ 416 – 418 – 416	62
6.6.3.	Greda POZ 316 – 318 – 316	66
6.6.4.	Greda POZ 216 – 218 – 216	71
6.6.5.	Greda POZ 116 – 118 – 116	76
6.7.	Kritično područje grede	81
7.	DIMENZIONIRANJE STUPOVA OKVIRA	88
7.1.	Dimenzioniranje stupova okvira na moment savijanja	88
7.2.	Dimenzioniranje stupova na ekscentrični tlak	100
7.2.1.	Stup IV/100	100
7.2.2.	Stup III/100	105
7.2.3.	Stup III/200	106
7.2.4.	Stup IV/200	108
7.2.5.	Stup III/300	109
7.2.6.	Stup IV/300	111
7.2.7.	Stup III/400	112
7.2.8.	Stup IV/400	114
7.2.9.	Stup III/500	115
7.2.10.	Stup IV/500	117
7.3.	Dimenzioniranje stupova na poprečnu silu	119
7.3.1.	Stup III/100	120

7.3.2.	Stup IV/100	122
7.3.3.	Stup III/200	124
7.3.4.	Stup IV/200	127
7.3.5.	Stup III/300	129
7.3.6.	Stup IV/300	131
7.3.7.	Stup III/400	133
7.3.8.	Stup IV/400	135
7.3.9.	Stup III/500	138
7.3.10.	Stup IV/500.....	140
7.4.	Kritično područje stupa	143
7.5.	Duljina sidrenja i nastavljanja armature	150
8.	ISKAZ ARMATURE.....	153
9.	ZAKLJUČAK	155
10.	LITERATURA.....	156
11.	NACRTNA DOKUMENTACIJA	157

POPIS TABLICA

Tablica 1: Razred izloženosti u ovisnosti o uvjetima okoliša u skladu s EN 206-1.....	6
Tablica 2: Preporučeni razred konstrukcije.....	6
Tablica 3: Najmanji zaštitni sloj $c_{min,dur}$ prema kriteriju trajnosti čelične armature (mm)	7
Tablica 4: Uporabna opterećenja stropova, balkona i stubišta u zgradama (HRN EN 1991-1-1:2012)	11
Tablica 5: Uporabna opterećenja krovova kategorije H.....	12
Tablica 6: Karakteristične vrijednosti proračunskog opterećenja snijegom na tlu	14
Tablica 7: Vrijednost koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada	16
Tablica 8: Razred važnosti za zgrade	18
Tablica 9: Vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni elastični spektar odziva.....	21
Tablica 10: Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za sustave pravilne po visini.....	21
Tablica 11: Približne vrijednosti faktora α_0/α_1 za zgrade pravile u tlocrtu	22
Tablica 12: Vrijednosti faktora k_w	22
Tablica 13: Vrijednosti φ za proračun ψ_{Ei}	24
Tablica 14: Preporučene vrijednosti faktora ψ za zgrade.....	24
Tablica 15: Masa zgrade za vrijeme trajanja potresa	27

POPIS SLIKA

Slika 1. Dimenzije grede	5
Slika 2. Dimenzije stupova.....	5
Slika 3. Sudjelujuća (efektivna) širina T – presjeka grede [7]	7
Slika 4. Dimenzije T - presjeka.....	8
Slika 5. Slojevi stropa međukatne konstrukcije	9
Slika 6. Slojevi ravnog krova	10
Slika 7. Karta snježnih područja [3].....	13
Slika 8. Osnovna brzina vjetra $v_{b,0}$ [4].....	15
Slika 9. Legenda za vertikalne zidove – tlocrt	16
Slika 10. Karta potresnih poručja RH za poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla a_{gr} , za temeljno tlo tipa A, svjerojatnošću premašaja 10% u 50 godina, za poredbeno povratno razdoblje potresa $T_{NCR}=475$ godina, u jedinicama gravitacijskog ubrzanja g (http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php) [5].....	19
Slika 11. Raspodjela sila po katovima	28
Slika 12. Okvir armiranobetonske konstrukcije	31
Slika 13. Proračunski model (StaadPRO V8i)	31
Slika 14. Prikaz vertikalnih opterećenja na okvir	32
Slika 15. Prikaz nesimetričnog uporabnog opterećenja na okvir	32
Slika 16. Prikaz horizontalnog opterećenja vjetra na okvir.....	36
Slika 17. Vrijednost anvelope uzdužne tlačne sile u stupu IV/100	38
Slika 18. Pomaci okvirne konstrukcije.....	39
Slika 19. Djelovanje na gredu za smjer 1	55
Slika 20. Skica za dobivanje udaljenosti x	59
Slika 21. Djelovanje na gredu za smjer 2.....	59
Slika 22. Poprečna armatura u kritičnom području grede [9]	81
Slika 23. Shema čvora 8 (5) za smjer 1	89
Slika 24. Shema čvora 8 (5) za smjer 2.....	90
Slika 25. Shema čvora 7 (6)	91
Slika 26. Shema čvora 12 (9) za smjer 1	92
Slika 27. Shema čvora 12 (9) za smjer 2.....	93

Slika 28. Shema čvora 10 (11)	94
Slika 29. Shema čvora 16 (13) za smjer 1	95
Slika 30. Shema čvora 16 (13) za smjer 2	96
Slika 31. Shema čvora 15 (14)	97
Slika 32. Shema čvora 20 (17) za smjer 1	98
Slika 33. Shema čvora 19 (18)	99
Slika 34. Vrijednost momenta savijanja i uzdužne tlačne sile u stupu IV/100 za trajnu proračunsku situaciju (1. slučaj).....	100
Slika 35. Vrijednost uzdužne tlačne sile u stupu IV/100 od potresne proračunske situacije .	102
Slika 36. Vrijednosti momenta savijanja i uzdužne tlačne sile u stupu IV/100 od stalne proračunske situacije (2. slučaj)	103
Slika 37. Vrijednost uzdužne tlačne sile u stupu IV/100 od potresne proračunske situacije .	104
Slika 38. Djelovanja na stup [8]	119
Slika 39. Ovijanje betonske jezgre [9]	146

1. UVOD

Zadatak ovog rada je proračun dijela armiranobetonske okvirne konstrukcije primjenjujući proračun prema sposobnosti nosivosti. Konstrukcija se projektirala tako da se izbjegne krhki slom ili prerano stvaranje nestabilnih mehanizama. Na taj se način osigurava opće duktilno ponašanje i trošenje unesene potresne energije plastičnim deformiranjem. Iako je potresno djelovanje nemoguće točno predvidjeti, moguće je osigurati da konstrukcija ima zadovoljavajuću potresnu otpornost iako je proračunana na manje sile. Koncept projektiranja prema sposobnosti nosivosti može se objasniti primjerom s lancem. Jedna karika je duktilna, a ostale su krhke. Pomoću vrlo duktilne karike može se postići odgovarajuća duktilnost cijelog lanca. Također, krhke karike moraju imati veću nosivost od duktilne, kako bi se lanac ponašao duktilno.

Proračunana konstrukcija je poslovna zgrada na području grada Rijeke. Sastoji od podruma, prizemlja i četiri kata. Primjenjuje se razred umjerene duktilnosti (DCM). Glavni konstrukcijski sustav je okvir, koji je proračunan na potresnu otpornost. Grede su dimenzionirane na moment savijanja i poprečne sile na temelju potresne kombinacije djelovanja. U obzir je potrebno uzeti da se treba odabrati jednaka ili veća armatura od potrebne, a u tlačnom području na krajevima greda kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je predvidjeti najmanje 50% vlačne armature, najmanja armatura radi osiguranja lokalne duktilnosti može biti veća od potrebne, povoljno djelovanje ovijanja spona na tlačnu čvrstoću betona te očvršćenje čelika pri deformacijama većim od granice popuštanja. To sve dovodi do povećanja na savijanje na krajevima greda. Poprečne sile u gredama stoga se određuju prema sposobnosti nosivosti na savijanje na krajevima greda. Poprečne sile odredile su se na temelju ravnoteže grede, odnosno momentima savijanja na krajevima greda i poprečno opterećenje na gredu. Na krajevima presjecima greda izračunate su se dvije poprečne sile koje su odgovarale najvećim pozitivnim i negativnim momentima. Kod stupova je potrebno ispuniti uvjet da je zbroj svih momenata nosivosti stupova koji su priključeni u nekom čvoru veći od zbroja momenata greda. Nakon potresnog proračuna greda i stupova napravljeni su svi potrebni nacrti (tlocrt, presjek, pročelja, oplata, armatura stupova i greda).

2. TEHNIČKI OPIS

2.1. Općenito

Predviđa se gradnja poslovne zgrade smještene na području grada Rijeke na nadmorskoj visini do 100 m.n.m. Konstrukcija se nalazi u seizmičkoj zoni proračunskog ubrzanja tla $a_{gr}=0,220g$, faktorom ponašanja $q = 3,9$ u poprečnom smjeru te razredom tla A. Zgrada se sastoji od podruma, prizemlja i četiri kata. Tlocrtne dimenzije zgrade su 16,5x39 m. Visina svake pojedine etaže iznosi 3,50 m. Ukupna visina zgrade bez podruma iznosi 17,5 m, dok s podrumom iznosi 21,0 m.

2.2. Opis konstrukcije

Nosiva konstrukcija je monolitna armiranobetonska konstrukcija. Međukatnu konstrukciju svih katova čine pune armiranobetonske ploče nosive u dva međusobno okomita smjera debljine 20 cm oslonjena na poprečne i uzdužne grede. Krovna konstrukcija izvedena je kao ravni neprohodni krov. Armiranobetonske međukatne konstrukcije prenose horizontalna opterećenja od vjetra i potresna na vertikalne okvire. Svi armiranobetonski elementi konstrukcije izvode se razredom betona C30/37, a za armiranje je odabran čelik B500B.

Konstrukcija je u uzdužnom smjeru ukrućena sa četiri simetrična armiranobetonska zida debljina 35 cm, smještenih u uglovima. Armiranobetonski zidovi protežu se od dna do vrha konstrukcije. Konstrukcija se zbog armiranobetonskih zidova u uzdužnom smjeru smatra horizontalno nepomičnom. Poprečni okviri proračunava se kao ravninska okvirna konstrukcija. Stupovi su dimenzija 50x55 cm povezanih gredama dimenzija 35x55 cm. Poprečni okviri su troljtni, to jest imaju po četiri stupa na osnovnom razmaku od 5,50 m.

Ispuna armiranobetonskih okvira pročelja izvodi se sa blok opekama debljine 35 cm i odgovarajućom stolarijom i bravarijom. Unutarnji pregradni zidovi izvode se od lagane blok opeke debljine 16 cm. Unutar poslovne zgrade predviđena su dva simetrična jednokraka stubišta uz koje je predviđena ugradnja dva dizala.

Temeljna konstrukcija izvedena je kao temeljna ploča dimenzija 16,50 x 39 m, debljina 40 cm, betonom razreda C30/37. Konstrukcija se nalazi na tlu kategorije A, što predstavlja stijene ili druge geološke formacije slične stijeni, uzimajući u obzir najviše 5,0 m slabijeg

materijala na površini. Dopustivo kontaktno naprezanje između temelja i tla određeno po kriteriju sloma tla kao i prihvatljivih veličina slijeganja tla iznosi 200 kN/m^2 .

2.3. Statički proračun

Statički proračun proveden je za sva vertikalna i horizontalna djelovanja uz pridržavanje odgovarajućih normi. Proračun reznih sila proveden je softverskim paketom StaadPRO V8i SS6, gdje je konstrukcija modelirana u poprečnom smjeru kao ravninski okvir. Provedeno je dimenzioniranje armiranobetonskih greda i stupova prema sposobnosti nosivosti HRN EN 1998-1:2011.

3. OSNOVNI PODACI

3.1. Karakteristike materijala

3.1.1. Beton

Za izgradnju svih elemenata armiranobetonske okvirne konstrukcije koristiti će se beton tlačne čvrstoće C30/37.

- razred betona: C30/37

Proračunska tlačna čvrstoća betona:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (1)$$

gdje je:

α_{cc} – koeficijent kojim se u obzir uzimaju dugotrajni učinci na tlačnu čvrstoću i nepovoljni učinci koji su posljedica načina opterećivanja ($\alpha_{cc} = 1,0$)

f_{ck} – karakteristična tlačna čvrstoća betona ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$)

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

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

3.1.2. Čelik

Za armiranje svih elemenata konstrukcije koristiti će se betonski čelik B 500B.

- čelik za armiranje: B500B

Proračunska granica popuštanja čelika za armiranje:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (2)$$

gdje je:

f_{yk} – karakteristična granica popuštanja čelika za armiranje ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$)

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

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

Srednja vlačna čvrstoća betona: $f_{ctm} = 2,9 \text{ N/mm}^2$

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

3.2. Dimenzije elemenata

3.2.1. Ploče

$$h_p \cong \frac{l_{\text{kraći}}}{30} = \frac{550}{30} = 18,33 \text{ cm} \quad (3)$$

Odabrana visina ploče: **$h_p = 20 \text{ cm}$**

3.2.2. Grede

- visina grede:

$$h_g = \frac{l}{15} = \frac{650}{15} = 43,33 \text{ cm} \quad (4)$$

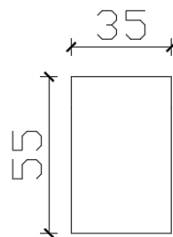
$$h_g = \frac{l}{10} = \frac{650}{10} = 65 \text{ cm}$$

Odabrana visina grede: **$h_g = 55 \text{ cm}$**

- širina grede:

$$b = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{2}\right) * h = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{2}\right) * 50 = 33,33 \text{ cm} \quad (5)$$

Odabrana širina grede: **$b = 35 \text{ cm}$**



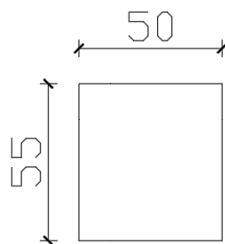
Slika 1. Dimenzije grede

3.2.3. Stupovi

$$A_{\text{stup}}[\text{cm}^2] = 12 \cdot A[\text{m}^2] \cdot n \quad (6)$$

$$A_{\text{stup}}[\text{cm}^2] = 12 \cdot (6,5 \cdot 5,5) \cdot 5 = 2145 \text{ cm}^2 = \sqrt{2145} = 46,31 \text{ cm}$$

Odabrane dimenzije: **$50 \times 55 \text{ cm}$**



Slika 2. Dimenzije stupova

3.3. Značajke konstrukcijskih elemenata

3.3.1. Razred izloženosti i razred konstrukcije

Beton pri korištenju može biti podložan različitim djelovanjima. U uvjetima u kojima se beton nalazi propisani su minimalni tehnički zahtjevi: sastav betona, karakteristična tlačna čvrstoća, minimalni zaštitni sloj i sl. prema kojima je potrebno odabrati i projektirati razred betona. [7].

Tablica 1: Razred izloženosti u ovisnosti o uvjetima okoliša u skladu s EN 206-1

2 Korozijska uzrokovana karbonatizacijom		
XC1	Suho ili trajno vlažno	Beton unutar zgrada s malom vlažnošću zraka Beton stalno uronjen u vodu
XC2	Vlažno, rijetko suho	Površine betona izložene dugotrajnom kontaktu s vodom Mnogi temelji
XC3	Umjerenom vlažnost	Beton unutar zgrada s umjerenom ili velikom vlažnošću zraka Vanjski beton zaštićen od kiše
XC4	Ciklički vlažno i suho	Površine betona izložene kontaktu s vodom koje ne pripadaju razredu izloženosti XC2

- razred izloženosti za grede i stupove: XC3
- razred čvrstoće betona za sve elemente je C30/37

Tablica 2: Preporučeni razred konstrukcije

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

- razred konstrukcije: S4

3.3.2. Zaštitni sloj betona

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

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (7)$$

gdje je:

c_{min} – najmanji zaštitni sloj

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

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{min,b} \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right. \quad (8)$$

gdje je:

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

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

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

$\Delta c_{dur,st}$ – smanjenje najmanjeg zaštitnog sloja u slučaju upotrebe nehrđajućeg čelika ($\Delta c_{dur,st} = 0$)

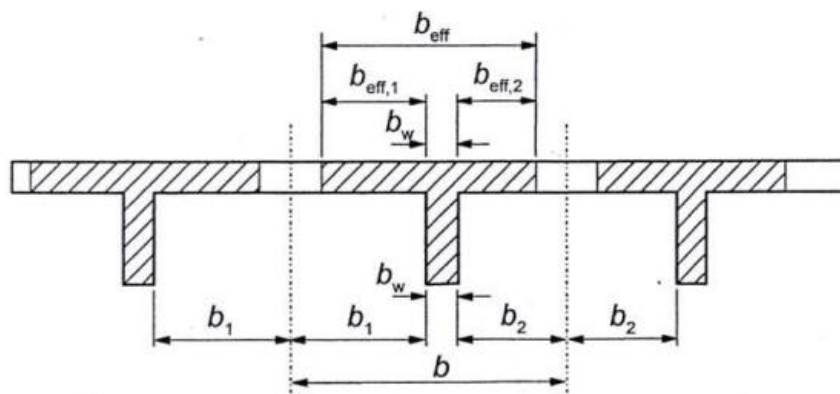
$\Delta c_{dur,add}$ – smanjenje najmanjeg zaštitnog sloja u slučaju izvedbe dodatne zaštite ($\Delta c_{dur,add} = 0$)

Tablica 3: Najmanji zaštitni sloj $c_{min,dur}$ prema kriteriju trajnosti čelične armature (mm)

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

* Preporučeni razred konstrukcije je S4 (proračunski uporabni vijek konstrukcije 50 godina)

Grede:



Slika 3. Sudjelujuća (efektivna) širina T – presjeka grede [7]

$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff},i} + b_w \leq b \quad (9)$$

$$b_{\text{eff},i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \leq \begin{cases} 0,2 \cdot l_0 \\ b_i \end{cases} \quad (10)$$

$$b_1 = b_2 = \frac{650 - 35}{2} = 307,5 \text{ cm}$$

$$l_0 = 0,7 \cdot l = 0,7 \cdot 550 = 385 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},1} = b_{\text{eff},2} = 0,2 \cdot 307,5 + 0,1 \cdot 385 = 100 \text{ cm} \leq \begin{cases} 0,2 \cdot 385 = 77 \text{ cm} \\ 307,5 \text{ cm} \end{cases}$$

Mjerodavno je: $b_{\text{eff},1} = b_{\text{eff},2} = 77 \text{ cm}$

$$b_{\text{eff}} = 77 + 35 + 77 = 189 \text{ cm} < 650 \text{ cm}$$

Udaljenost donjeg ruba presjeka grede od težišta armature:

$$d_1 = c_{\text{nom}} + \varnothing_w + \frac{\varnothing}{2} \quad (11)$$

gdje je:

c_{nom} – nazivna (nominalna) vrijednost zaštitnog sloja

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

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

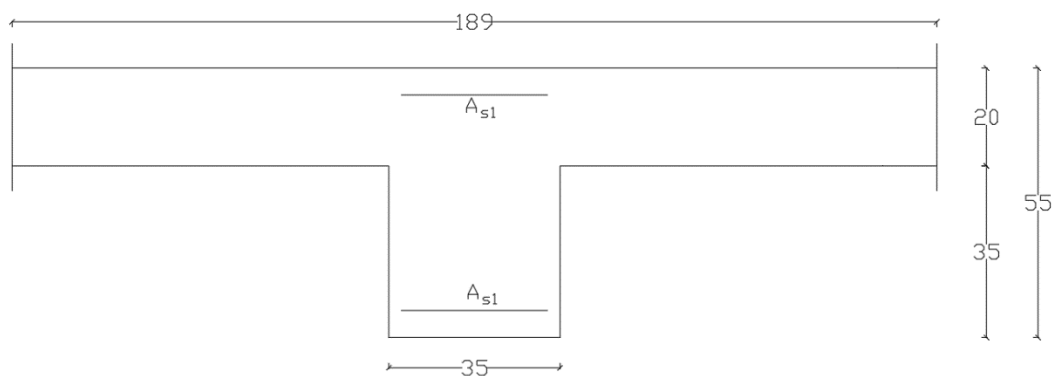
$$c_{\text{min}} = \max \begin{cases} 25 \text{ mm} \\ 25 + 0 - 0 - 0 = 15 \text{ mm} = 25 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{cases}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 25 + 10 = 35 \text{ mm} = 3,5 \text{ cm}$$

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

Statička visina grede:

$$d = 55 - 5,5 = 49,5 \text{ cm}$$



Slika 4. Dimenzije T - presjeka

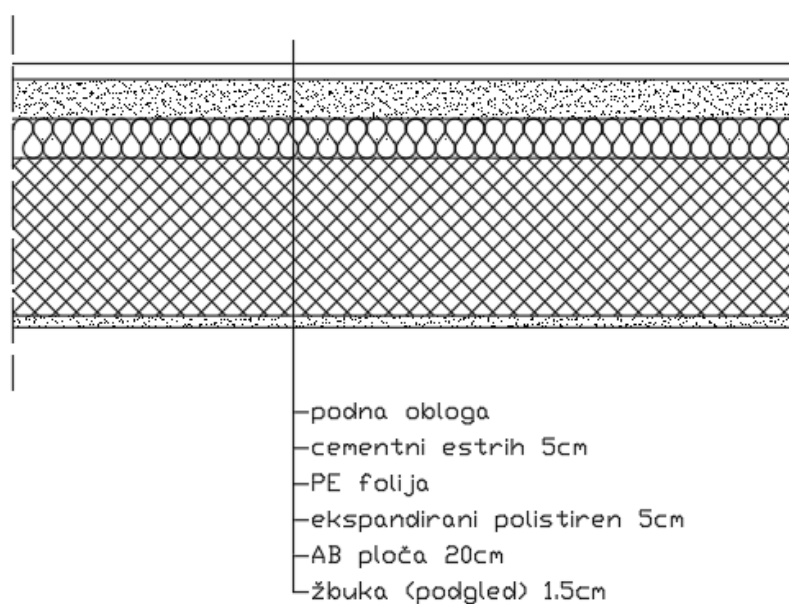
4. ANALIZA OPTEREĆENJA

Važno je točno odrediti vrstu i veličinu opterećenja koja djeluje na konstrukciju.

4.1. Stalno opterećenje

Stalno opterećenje podrazumjeva ono opterećenje koje se pojavljuje pri proračunu svakog sklopa kao opterećenje koje uvijek djeluje, odnosno stalno opterećenje je vlastita težina konstrukcije.

4.1.1. Međukatna ploča

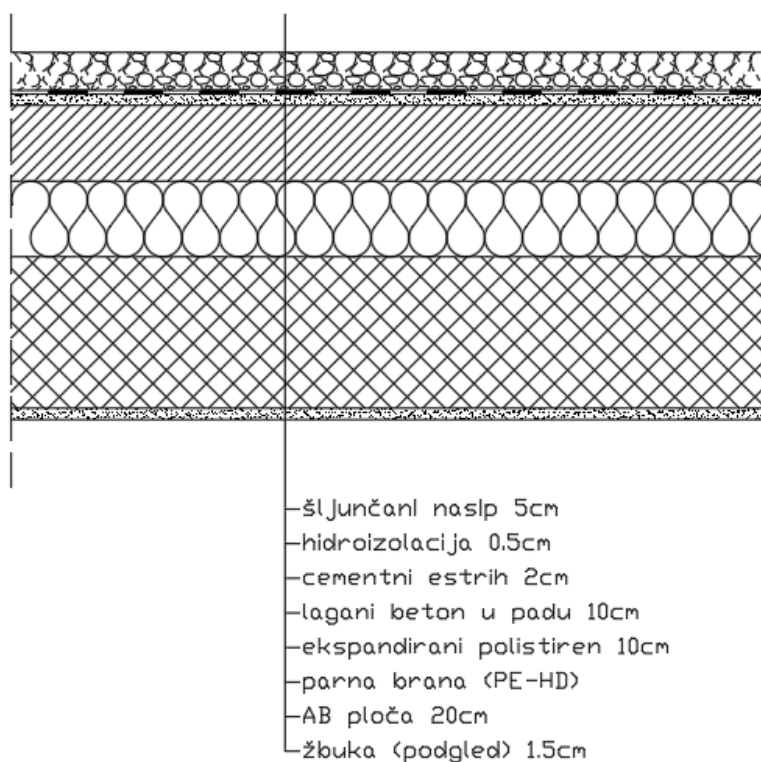


Slika 5. Slojevi stropa međukatne konstrukcije

1.	Podna obloga	= 0,10 kN/m ²
2.	Cementni namaz	0,05 m · 23,0 kN/m ² = 1,15 kN/m ²
3.	Ekspandirani polistiren	0,05 m · 0,25 kN/m ² = 0,013 kN/m ²
4.	AB ploča	0,20 m · 25 kN/m ² = 5,0 kN/m ²
5.	Žbuka (podgled)	0,015 m · 18 kN/m ² = 0,27 kN/m ²
6.	Pregradni zidovi	= 1,0 kN/m ²

$$\Sigma g_s = 7,53 \text{ kN/m}^2$$

4.1.2. Ravni krov



Slika 6. Slojevi ravnog krova

1.	Šljunčani nasip	$0,05 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^2 = 1,0 \text{ kN/m}^2$
2.	Hidroizlacija	$= 0,50 \text{ kN/m}^2$
3.	Cementni namaz	$0,02 \text{ m} \cdot 23,0 \text{ kN/m}^2 = 0,46 \text{ kN/m}^2$
4.	Lagani beton u padu	$0,10 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^2 = 2,0 \text{ kN/m}^2$
5.	Ekspandirani polistiren	$0,10 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ kN/m}^2 = 0,025 \text{ kN/m}^2$
6.	AB ploča	$0,20 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^2 = 5,0 \text{ kN/m}^2$
7.	Žbuka (podgled)	$0,015 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^2 = 0,27 \text{ kN/m}^2$

$$\Sigma g_k = 9,26 \text{ kN/m}^2$$

4.2. Uporabno opterećenje

Uporabno opterećenje je ono opterećenje koje proizlazi iz samog korištenja. Karakteristične vrijednosti dane su ovisno o namjeni zgrade. Namjene su raspoređene u pet osnovnih razreda (A-E) i neke u podrazrede s odgovarajućim karakterističnim opterećenjem. [7]

Tablica 4: Uporabna opterećenja stropova, balkona i stubišta u zgradama (HRN EN 1991-1-1:2012) [2]

Stupac	1	2	3	4	5		
Redak	Kategorija	Namjena	Primjer	q_k [kN/m ²]	Q_k^a [kN]		
1	A	A1	Nestambena potkrovlja	Neprikladna za stanovanje no pristupačna potkrovlja do 1,8 m svijetle visine	1,5	1	
2		A2	Prostori za stanovanje i kućanske djelatnosti	Stropovi sa zadovoljavajućom poprečnom raspodjelom opterećenja ^b u stambenim zgradama i kućama, sobama s krevetima, bolnicama (spavaonicama), sobama u hotelima i prenočištima i pripadajuće kuhinje i kupaonice	1,5	–	
3		A3		A2, ali bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele opterećenja	2,0 ^c	1	
4	B	B1	Uredski prostori, radni prostori, hodnici	Hodnici u uredskim zgradama, uredi, medicinske ordinacije bez teške opreme, bolnički odjeli, čekaonice i hodnici, staje sa sitnom stokom	2	2	
5				B2	Hodnici i kuhinje u bolnicama, hotelima, staračkim domovima, hodnici u internatima i sl., prostori za medicinske tretmane u bolnicama, uključujući i operacijske dvorane bez teške opreme, podrumске prostorije u stambenim zgradama	3	3
6				B3	Svi prostori navedeni u B1 i B2, ali s teškom opremom ^d	5	4
7	C	C1	Prostorije za sastanke, prostori u kojima se mogu okupljati ljudi (osim prostora definiranih u kategorijama A, B, D i E)	Prostori sa stolovima, kao što su dječji vrtići, jaslice, škole, učionice, kavane, restorani, blagovaonice, čitaonice, recepcije, zbornice	3	4	
8				C2	Prostori s nepomičnim sjedalima, primjerice u crkvama, kazalištima, kinima, konferencijskim dvoranama, predavaonicama, čekaonicama	4	4
9				C3	Javni prostori, npr. muzeji, izložbeni prostori, ulazi u javne zgrade i hotele, stropovi podruma koji su pod dvorišta i u koja nije omogućen pristup vozila, hodnici za kategorije prostora C1 do C3	5	4
10				C4	Prostori za sport i igru, kao što su plesne dvorane, sportski centri, gimnastičke dvorane i teretane, pozornice	5	7
11				C5	Prostori za velike skupove ljudi, npr. u zgradama kao što su koncertne dvorane, terase, prilazi i tribine s nepomičnim sjedalima	5	4
12				C6	Prostori za učestalo okupljanje mnogo ljudi, tribine bez nepomičnih sjedala	7,5	10,0
13	D	D1	Prodajni prostori	Trgovački prostori do 50 m ² tlocrtnе ploštine u stambenim, uredskim i sličnim građevinama	2	2	
14				D2	Prostori u trgovinama i robnim kućama	5	4
15				D3	Prostori kao u D2, ali s većim opterećenjima zbog visokih policа za skladištenje	5	7

Stupac	1		2	3	4	5
Redak	Kategorija		Namjena	Primjer	q_k^a [kN/m ²]	Q_k^a [kN]
16	E	E1.1	Skladišta, tvornice i radionice, staje, skladišni prostori i pristupi	Prostori u tvornicama ^a i radionicama ^a s lakim proizvodnim pogonom, staje za krupnu stoku	5 ^f	4
17		E1.2		Skladišni prostori općenito, uključujući i knjižnice	6 ^f	7
18		E2.1		Prostori u tvornicama ^a i radionicama ^a s umjereno teškim ili teškim proizvodnim pogonom	7,5	10
19	S ^g	S1	Stubišta i stubišni podesti	Stubišta i stubišni podesti u stambenim i uredskim zgradama i ambulancama, bez teške opreme	3	2
20		S2		Sva stubišta i stubišni podesti koji se ne mogu razvrstati u S1 ili S3	5	2
21		S3		Pristupi i stubišta koji vode do tribina bez nepomičnih sjedala, a služe kao izlazi za nuždu	7,5	3
22	P ^g		Pristupi, balkoni i sl.	Krovne terase, trijemovi, lođe, balkoni, izlazni podesti	4	2

^a Ako je potrebna lokalna provjera nosivosti (npr. za dijelove sustava bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele opterećenja), provjera se provodi s karakterističnim vrijednostima za opterećenje koncentriranom silom Q_k bez kombiniranja s jednoliko raspodijeljenim opterećenjem q_k . Stranice kvadrata na kojem se rasporede opterećenja Q_k jesu 60 mm.

^b Stropovi sa zadovoljavajućom poprečnom raspodjelom opterećenja jesu armiranobetonske i prednapete betonske pune, šuplje i rebraste ploče.

^c Za prijenos sila sa stropova bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele na potporne elemente navedena se vrijednost može umanjiti za 0,5 kN/m².

^d Ove su vrijednosti minimalne vrijednosti. Ako se u skladu s točkom 6.1(4) norme HRN EN 1991-1-1:2012 utvrde veće vrijednosti, tada su tako utvrđene vrijednosti opterećenja mjerodavne.

^e Uporabna opterećenja u tvornicama i radionicama smatraju se pretežito statičkim. U pojedinim slučajevima treba razmotriti učinak učestalo ponavljajućeg opterećenja (vidi točku 2.2(3) norme HRN EN 1991-1-1:2012).

^f Ove su vrijednosti minimalne vrijednosti. U slučajevima u kojima se očekuje veće opterećenje, treba ga odrediti prema pojedinom slučaju.

^g Ove kategorije vrijede za sve vrste građevina ili dijelova građevina. Koeficijenti kombinacije za promjenjiva djelovanja prema normi HRN EN 1990, tablica A.1.1, za te se kategorije određuju sukladno kategoriji (A – E) u koju je svrstana građevina ili dio građevine.

Tablica 5. definira uporabno opterećenje krovova kategorije H prema normi HRN EN 1991-1-1:2012.

Tablica 5: Uporabna opterećenja krovova kategorije H

Krov		q_k^a [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorija H	nagib krova $\leq 20^\circ$	0,6	1,0
	nagib krova $\geq 40^\circ$	0,0	1,0

^a Za nagibe između 20° i 40° vrijednost q_k može se odrediti linearnom interpolacijom.

NAPOMENA 1: Opterećenje q_k djeluje na ploštinu A koja predstavlja cijelu ploštinu krova.

NAPOMENA 2: Svi nagibi krova mjere se u odnosu na horizontalu, a opterećenja djeluju vertikalno na horizontalnu projekciju krovne plohe.

Namjena: Poslovna zgrada

Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije (kategorija B1): $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Uporabno opterećenje krovne konstrukcije (ravni krov, kategorija H): $q_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$

4.3. Opterećenje snijegom

Opterećenje snijega djeluje vertikalno te se odnosi na horizontalnu projekciju površine krova i na snijeg koji je prirodno napadao na ravno tlo. Vrijednost karakterističnog opterećenja snijega prilagođava se ovisno o obliku krova.

Područje: Rijeka

Najveća nadmorska visina: 12 m

Proračunsko opterećenje snijegom na krov:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \quad (12)$$

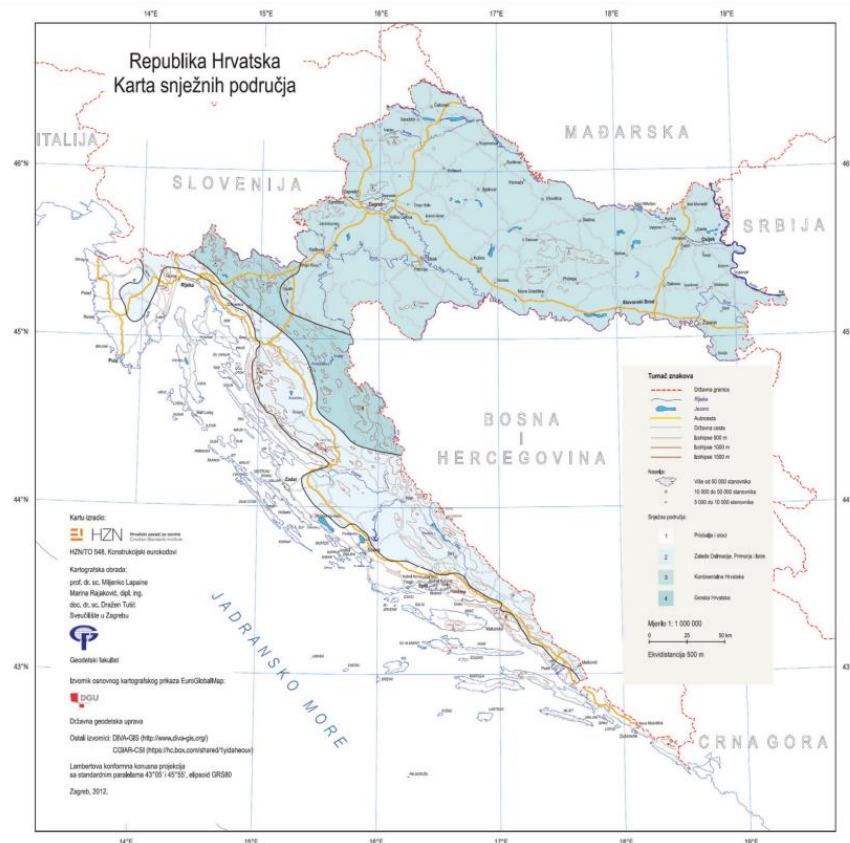
gdje je:

μ_i – koeficijent oblika opterećenja snijegom ovisan o nagibu krova α

C_e – koeficijent izloženosti, u obzir uzima uvjete puhanja vjetra ($C_e = 1,0$)

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

S_k – karakteristično opterećenje snijegom



Slika 7. Karta snježnih područja [3]

Tablica 6: Karakteristične vrijednosti proračunskog opterećenja snijegom na tlu

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m ²]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m ²]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m ²]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m ²]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1000	2,00	4,00	3,50	5,00
1100	3,00	5,00	4,00	5,50
1200	4,00	6,00	4,50	6,00
1300	5,00	7,00		7,00
1400	6,00	8,00		8,00
1500		9,00		9,00
1600		10,00		10,00
1700		11,00		11,00
1800		12,00		

Napomena: ako je nadmorska visina između vrijednosti navedenih u tablici, treba uzeti prvu veću vrijednost.

Ravni krov: $\alpha = 0^\circ$

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

4.4. Opterećenje vjetrom

Proračun se provodi prema HRN EN 1991-1-4 pojednostavljenim proračunom.



Slika 8. Osnovna brzina vjetra $v_{b,0}$ [4]

Osnovna brzina (očitan na Slici 11.) iznosi:

$$v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$$

Tlak vjetra na vanjske površine konstrukcije

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (13)$$

gdje je:

$q_p(z_e)$ – vršni tlak vjetra

c_{pe} – koeficijent tlaka za vanjski pritisak

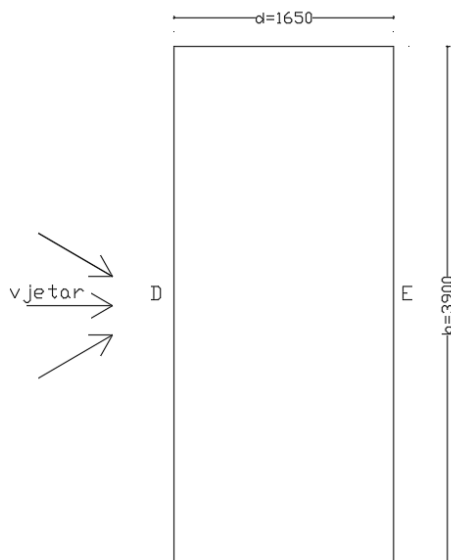
z_e – referentna visina za vanjski pritisak ($z_e = h$)

Koeficijent vanjskog tlaka za vertikalne zidove tločno pravokutnih zgrada iznosi:

$$\frac{h}{d} = \frac{17,5}{16,5} = 1,06 \rightarrow \text{očitati za } 1,0$$

Tablica 7: Vrijednost koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada

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



Slika 9. Legenda za vertikalne zidove – tlocrt

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

$$c_{pe}^E = -0,50 \text{ (usis)}$$

$$\Sigma c_{pe} = c_{pe}^D + c_{pe}^E = 0,80 + 0,50 = 1,30$$

Djelovanje vjetra na ravni krov pretežno je odižuće, stoga se u ovom proračunu zanemaruje.

Unutarnji tlak ovdje se ne razmatra jer nema utjecaja na horizontalno opterećenje okvira.

Vršni tlak vjetra:

$$q_p(z_e) = c_e(z) \cdot q_b \quad (14)$$

gdje je:

$c_e(z)$ – koeficijent izloženosti

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

Kategorija zemljišta: II

$$\left. \begin{array}{l} c_0 = 1,0 \\ \text{Kategorija zemljišta: II} \end{array} \right\} c_e(17,5) = 2,65 \text{ (očitano sa dijagrama faktora izloženosti)}$$

$$z = h = 17,5 \text{ m}$$

Osnovni tlak vjetra:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (15)$$

gdje je:

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

v_b – osnovna brzina vjetra

Osnovna brzina vjetra:

$$v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0} \quad (16)$$

gdje je:

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

c_{season} – koeficijent godišnjeg doba ($c_{\text{season}} = 1,0$)

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30 = 30 \text{ m/s}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30^2 = 562,5 \text{ N/m}^2 = 0,563 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z_e) = 2,65 \cdot 0,563 = 1,49 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\Sigma w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 1,49 \cdot 1,30 = 1,94 \text{ kN/m}^2$$

4.5. Potresno opterećenje

Potresno opterećenje određuje se iz vrijednosti proračunskog ubrzanja tla a_g , koje odgovara povratnom periodu potresa od 475 godina prema karti potresnih područja RH (Slika 10). Računsko ubrzanje tla ovisi o stupnju seizmičkog rizika i određuje se na temelju odgovarajućih seizmoloških ispitivanja lokacije građevine ili prema usvojenim vrijednostima za seizmička područja državnog teritorija. [7]

U slučaju da je računsko ubrzanje $a_g \leq 0,02$ nije potreban proračun na potres, a područja sa $a_g \leq 0,05$ su područja malog intenziteta. Numerički navedene vrijednosti na karti odnose se na prostor između dvije susjedne izolinije, a prilikom odabira vršnog ubrzanja a_{gR} uzeti prvu susjednu veću vrijednost.

Proračunsko ubrzanje za temeljno tlo tipa A:

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} \quad (17)$$

gdje je:

γ_I – faktor važnosti (Tablica 8)

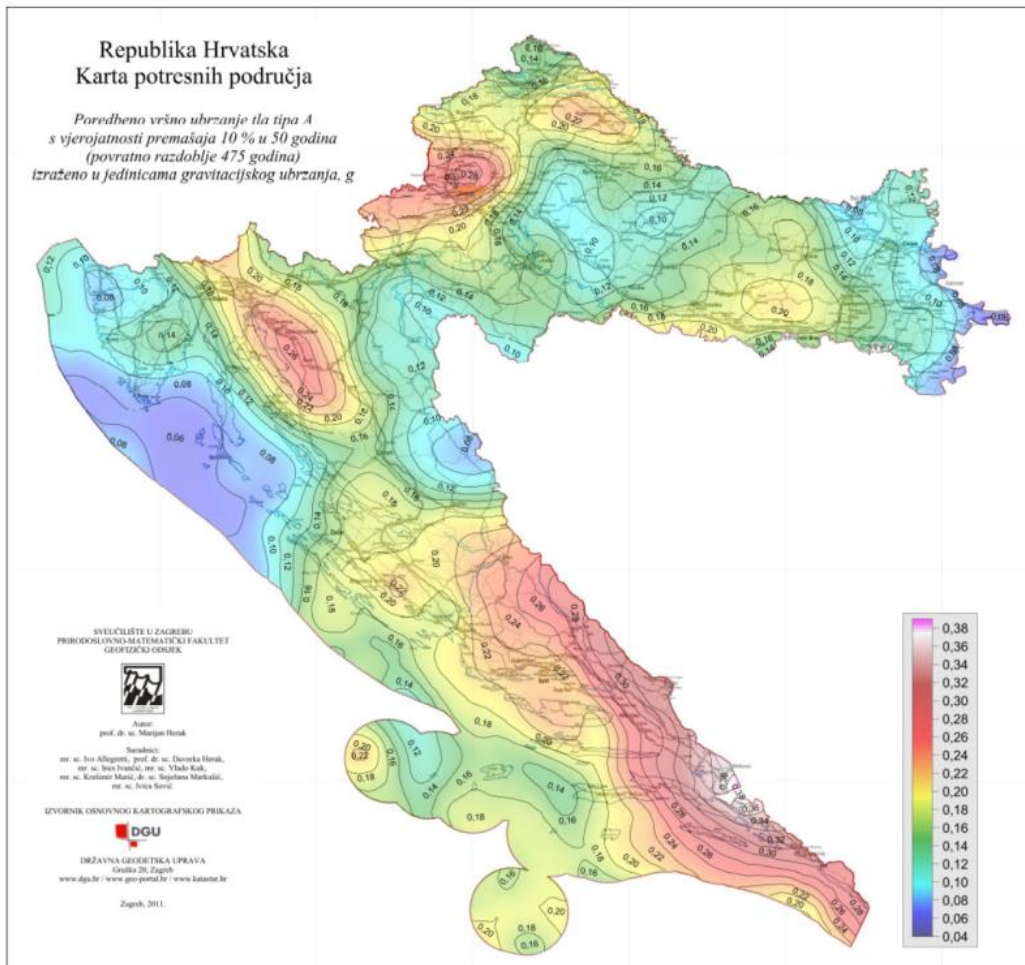
a_{gR} – poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla tipa A

Zgrade su podjeljene u četiri razreda važnosti ovisno o posljedicama rušenja za živote ljudi, njihove važnosti za javnu sigurnost i civilnu zaštitu u razdoblju neposredno nakon potresa, te društvenih i ekonomskih posljedica rušenja. [6]

Tablica 8: Razred važnosti za zgrade

Razred važnosti	Zgrade	Faktor važnosti γ
I	Zgrade manje važnosti za javnu sigurnost npr. poljoprivredne zgrade itd.	0,8
II	Obične zgrade koje ne pripadaju drugim kategorijama	1,0
III	Zgrade čija je potresna otpornost važna s obzirom na posljedice vezane s rušenjem npr. škole, dvorane za skupove, kulturne institucije itd.	1,2
IV	Zgrade čija je cjelovitost tijekom potresa od životne važnosti za civilnu zaštitu npr. bolnice, vatrogasne postaje, energane itd.	1,4

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



Slika 10. Karta potresnih područja RH za poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla a_{gr} , za temeljno tlo tipa A, svjerojatnošću premašaja 10% u 50 godina, za poredbeno povratno razdoblje potresa

$TNCR=475$ godina, u jedinicama gravitacijskog ubrzanja g

(<http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php>) [5]

$$a_{gR} = 0,220 \text{ g}$$

$$a_g = 1,0 \cdot 0,220 = 0,220 \text{ g}$$

5. PRORAČUN KONSTRUKCIJE

5.1. Određivanje potresnog djelovanja

Horizontalno potresno gibanje u tlocrtu može se odvijati u dva smjera, zbog čega konstrukcija mora biti otporna na potresna djelovanja u oba smjera. Horizontalna gibanja tla na površini zemlje opisuju se elastičnim spektrom ubrzanja podloge. [5]

Proračunski spektar za elastični proračun tipa 1 – horizontalna komponenta

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (18)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (19)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (20)$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (21)$$

gdje je:

$S_d(T)$ – proračunski spektar

T – period vibracija linearnog sustava s jednim stupnjem slobode

T_B – donja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

T_C – gornja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

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

S – faktor tla

q – faktor ponašanja

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

Tablica 9: Vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni elastični spektar odziva [6]

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

Faktor ponašanja za horizontalna potresna djelovanja prema HRN EN 1998-1:2011

Gornja granična vrijednost faktora ponašanja q kojim se u obzir uzima sposobnost trošenja energije izvodi se za svaki proračunski smjer iz: [5]

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5 \quad (22)$$

gdje je:

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

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

Tablica 10: Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za sustave pravilne po visini [6]

Tip konstrukcije	Razred duktilnosti	
	DCM	DCH
okvirni sustav, dvojni sustav, sustav povezanih zidova	$3 \alpha_u / \alpha_1$	$4,5 \alpha_u / \alpha_1$
sustav nepovezanih zidova	3,0	$4 \alpha_u / \alpha_1$
torzijski savitljiv sustav	2,0	3,0
sustav obrnutog njihala	1,5	2,0

Za zgrade koje nisu pravilne po visini, vrijednost q_0 treba smanjiti za 20 %.

α_1 – vrijednost kojom se množi horizontalno potresno proračunsko djelovanje kako bi se prvo dostigla otpornost na savijanje u bilo kojem elementu konstrukcije dok sva druga proračunska djelovanja ostaju konstantna (pojava prvog plastičnog zgloba). [9]

α_u – vrijednost kojom se množi horizontalno potresno proračunsko djelovanje kako bi u određenom broju presjeka, dovoljnom za razvoj ukupne nestabilnosti konstrukcije nastali plastični zglobovi (pojava dovoljnog broja plastičnih zglobova), pri čemu sva ostala proračunska djelovanja ostaju stalna. Faktor α_u može se dobiti iz nelinearnog statičkog proračuna (postupnim guranjem). [9]

Odabrano:

Tip konstrukcije: okvirni sustav, dvojni sustav, sustav povezanih zidova

Razred duktilnosti: DCM

$$q_0 = 3 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} \quad (23)$$

Tablica 11: Približne vrijednosti faktora α_u/α_1 za zgrade pravile u tlocrtu [6]

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

Odabrano: Okviri i dvodjelni sustavi istovjetnim okvirnim:

- Višekatni okviri s više polja ili dvodjelni sustavi istovijedni okvirnim:

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,3$$

Tablica 12: Vrijednosti faktora k_w [6]

Vrsta konstrukcije	k_w
okvirni sustavi i dvojni sustavi istovrijedni okvirnim	1,0
zidni sustavi	$0,5 \leq (1 + \alpha_0)/3 \leq 1,0$
sustavi istovrijedni zidnim sustavima	
torzijski savitljivi sustavi	

Odabrano:

Vrsta konstrukcije: okvirni sustavi i dvojni sustavi istovrijedni okvirnim

$$k_w = 1,0$$

Faktor ponašanja:

$$q = 3 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 3,9 \geq 1,5$$

Faktor ponašanja u poprečnom smjeru iznosi 3,9, dok u uzdužnom smjeru iznosi 3,0 (sustav nepovezanih zidova, Tablica 10.). Konstrukciju je potrebno proračunati u oba smjera, ali u ovom radu će se proračunati samo u poprečnom smjeru.

5.2. Određivanje bočnih sila od potresnog djelovanja

Za proračun bočnih sila koristi se HRN EN 1998-1-1:2011. [6]

Odabrane vrijednosti iz Tablice 9:

Razred tla: A

$$S = 1,0$$

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

$$T_C = 0,4 \text{ s}$$

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

Osnovni period vibracija T_1 :

$$T_1 \leq \begin{cases} 4 \cdot T_C = 4 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ s} \\ 2,0 \text{ s} \end{cases}$$

Za izračun osnovnih perioda vibracija T_1 za oba ravninska modela konstrukcije mogu se primjeniti približni izrazi. Vrijednost za osnovni period vibracija za građevine čija ukupna visina ne prelazi 80 metara dana je izrazom:

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4} \quad (24)$$

gdje je:

C_t – koeficijent koji ima određene vrijednosti ovisno o vrsti konstrukcijskog sustava

$C_t = 0,075$ za betonske okvirne konstrukcije

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

$$T_1 = 0,075 \cdot (5 \cdot 3,5)^{3/4} = 0,64 \text{ s} < 2,0 \text{ s}$$

Ukupna poprečna sila građevine F_b u razini gornjeg ruba temelja za svaki horizontalni pravac djelovanja potresa dana je izrazom:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda \quad (25)$$

gdje je:

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

λ – korekcijski faktor čija je vrijednost jednaka jedinici, osim ako je $T_1 \leq 2T_C$, u kojem je slučaju $\lambda = 0,85$

m – ukupna masa građevine u trenutku djelovanja potresa

Ukupna masa m računa se u skladu s odredbom da se stalna djelovanja kombiniraju s promjenjivim djelovanjem, izrazom:

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad (26)$$

gdje je:

Σ – označava „kombinaciju efekta od:“

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

"+" – označava se „u kombinaciji s:“

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

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

Koeficijent kombinacije:

$$\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i} \quad (27)$$

gdje je:

φ – dano je u ovisnosti o razredu konstrukcije i stupnju opterećenja pojedinog kata, čije su vrijednosti između 0,5 i 1,0

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

Tablica 13: Vrijednosti φ za proračun ψ_{Ei} [6]

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

Tablica 14: Preporučene vrijednosti faktora ψ za zgrade [6]

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

Odabrano:

$\varphi = 0,5$ – neovisno zauzeti katovi

$\varphi = 1,0$ – krov

Kategorija B: uredi

$$\psi_2 = 0,3$$

Koeficijent kombinacije:

- neovisno zauzeti katovi:

$$\psi_{E,i} = 0,5 \cdot 0,3 = 0,15$$

- krov:

$$\psi_{E,i} = 1,0 \cdot 0,3 = 0,3$$

Ordinata proračunskog spektra za period T_1 :

$$T_1 = 0,64 \text{ s}$$

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

$$0,4 \text{ s} \leq 0,64 \text{ s} \leq 2,0 \text{ s}: \quad S_d(T_1 = 0,64 \text{ s}) = \begin{cases} 0,220\text{g} \cdot 1,0 \cdot \frac{2,5}{3,9} \cdot \left[\frac{0,4}{0,64} \right] = 0,088\text{g} \\ \geq \beta \cdot a_g = 0,2 \cdot 0,220\text{g} = 0,044\text{g} \end{cases}$$

$$S_d(T_1 = 0,64 \text{ s}) = 0,088\text{g} > 0,044\text{g}$$

$$\frac{S_d}{g}(T_1 = 0,64 \text{ s}) = 0,088$$

5.3. Određivanje težina po katovima

a) Stalno opterećenje

- Težina katova:

AB ploča	$39 \text{ m} \cdot 16,5 \text{ m} \cdot 7,53 \text{ kN/m}^2$	= 4845,56 kN
Stupovi	$(0,5 \text{ m} \cdot 0,55 \text{ m}) \cdot 3,3 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 28$	= 635,25 kN
AB grede (x-smjer)	$(0,35 \text{ m} \cdot 0,55 \text{ m}) \cdot 6,15 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 24$	= 710,33 kN
AB grede (y-smjer)	$(0,35 \text{ m} \cdot 0,55 \text{ m}) \cdot 5,15 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 21$	= 520,47 kN
AB zidovi	$6,15 \text{ m} \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 3,3 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 4$	= 710,33 kN
Podest	$1,175 \text{ m} \cdot 2,9 \text{ m} \cdot 6,71 \text{ kN/m}^2$	= 22,86 kN
Stepenice	$2,52 \text{ m} \cdot 2,9 \text{ m} \cdot 10,48 \text{ kN/m}^2$	= 76,59 kN
Zidani zidovi (x-smjer)	$0,35 \text{ m} \cdot 6,0 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 3,3 \cdot 8$	= 554,4 kN
Zidani zidovi (y-smjer)	$0,35 \text{ m} \cdot 5,0 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 3,3 \text{ m} \cdot 7$	= 404,25 kN

$$\Sigma G_{1-4} = 8480,04 \text{ kN}$$

- Težina krova

AB ploča	$39 \text{ m} \cdot 16,5 \text{ m} \cdot 9,26 \text{ kN/m}^2$	= 5958,81 kN
Zid na krovu	$(39 \text{ m} \cdot 2 + 16,5 \text{ m} \cdot 2) \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3$	= 777 kN

$$\Sigma G_{\text{krov}} = \Sigma G_5 = 6735,81 \text{ kN}$$

b) Uporabno opterećenje

Katovi (1-4): $Q_{1-4} =$	$16,5 \text{ m} \cdot 39 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2$	= 1287 kN
Krov (5): $Q_5 =$	$16,5 \text{ m} \cdot 39 \text{ m} \cdot 0,60 \text{ kN/m}^2$	= 386,1 kN

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

- Težina na katovima

$$\sum G_{1-4} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{1-4}$$

$$8480,04 \cdot 4 + 0,15 \cdot 1287 = 34113,21 \text{ kN (8673,09 kN po katu)}$$

- Težina na krovu:

$$\sum G_5 + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_5$$

$$6735,81 + 0,3 \cdot 386,1 = 6851,64 \text{ kN}$$

Masa zgrade za vrijeme trajanja potresa:

Tablica 15: Masa zgrade za vrijeme trajanja potresa

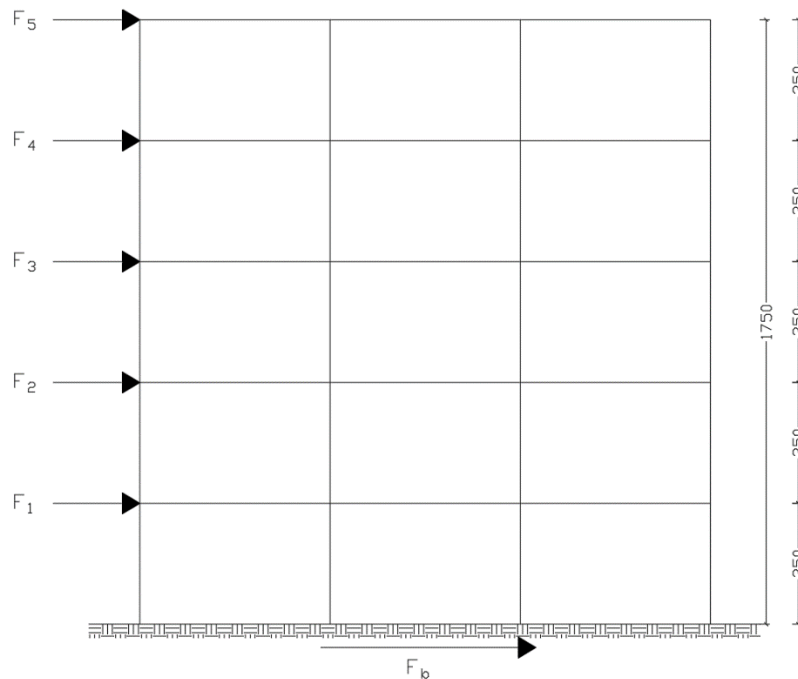
Kat	$G_{k,j}$ [kN]	$Q_{k,i}$ [kN]	$\psi_{E,i}$	$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$
Katovi (1-4)	8480,04	1287	0,15	34113,21 kN
Krov (5)	6735,81	386,1	0,30	6851,64 kN
Σ masa zgrade za vrijeme trajanja potresa				40964,85 kN

Ukupna poprečna sila građevine u razini gornjeg ruba temelja:

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

$$F_b = 0,088 \cdot 40964,85 \cdot 0,85 = 3064,17 \text{ kN}$$

5.4. Raspodjela ukupne poprečne sile potresa po visini građevine



Slika 11. Raspodjela sile po katovima

Horizontalne sile F_i :

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j} \quad (28)$$

gdje je:

F_b – ukupna poprečna sila u razini gornjeg ruba temelja za svaki horizontalni pravac djelovanja potresa

m_i, m_j – mase katova i, j . Određuju se iz vrijednosti dobivene iz kombinacije djelovanja

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

$$\sum z_j \cdot m_j = 6735,81 \cdot 17,5 + 8480,04 \cdot (14 + 10,5 + 7,0 + 3,5) = 414678,08$$

$$F_5 = 3064,17 \cdot \frac{17,5 \cdot 6735,81}{414678,08} = 871,02 \text{ kN}$$

$$F_4 = 3064,17 \cdot \frac{14,0 \cdot 8480,04}{414678,08} = 877,26 \text{ kN}$$

$$F_3 = 3064,17 \cdot \frac{10,5 \cdot 8480,04}{414678,08} = 657,94 \text{ kN}$$

$$F_2 = 3064,17 \cdot \frac{7,0 \cdot 8480,04}{414678,08} = 438,63 \text{ kN}$$

$$F_1 = 3064,17 \cdot \frac{3,5 \cdot 8480,04}{414678,08} = 219,32 \text{ kN}$$

$$\sum F_i = F_b = 3064,17 \text{ kN}$$

Horizontalne sile prenose se na svih 7 poprečnih okvira, koji su zbog jednakih dimenzija jednako kruti pa na jedan okvir otpada:

$$F'_5 = \frac{1}{7} \cdot 871,02 = 124,43 \text{ kN}$$

$$F'_4 = \frac{1}{7} \cdot 877,26 = 125,32 \text{ kN}$$

$$F'_3 = \frac{1}{7} \cdot 657,94 = 94,0 \text{ kN}$$

$$F'_2 = \frac{1}{7} \cdot 438,63 = 62,66 \text{ kN}$$

$$F'_1 = \frac{1}{7} \cdot 219,32 = 31,33 \text{ kN}$$

Kod ostalih okvira sile uzrokovane potresom biti će veće zbog slučajnih torzijskih učinaka.

5.5. Potresna proračunska kombinacija

Potresna proračunska kombinacija temelji se na karakterističnim vrijednostima stalnih djelovanja, umanjenoj vrijednosti uporabnog djelovanja i proračunske vrijednosti potresnog djelovanja. [5]

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (29)$$

gdje je:

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

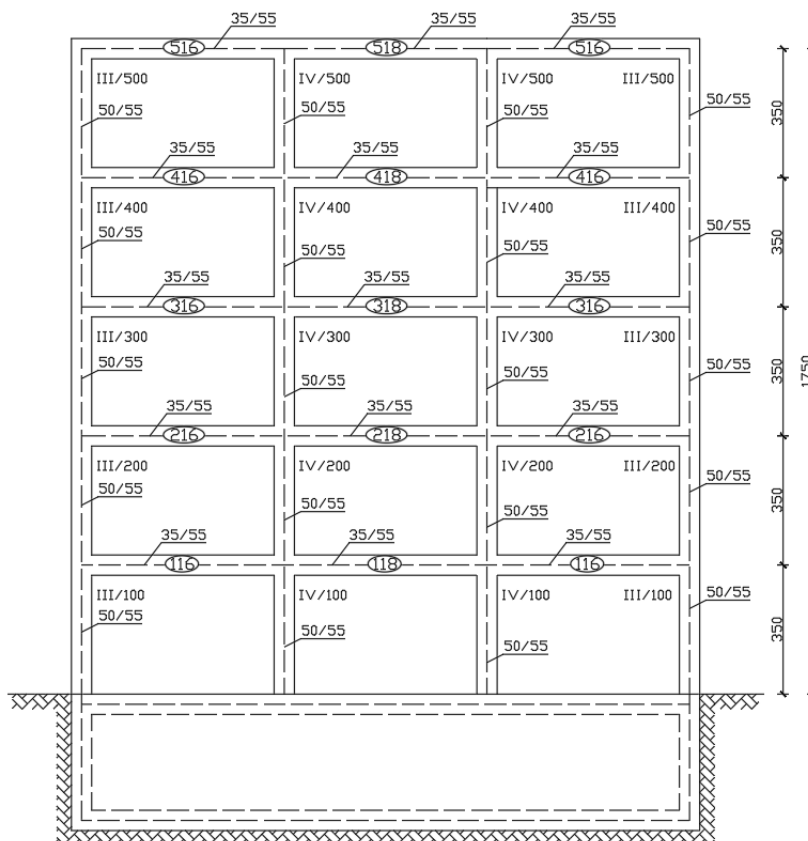
A_{Ed} – proračunska vrijednost potresnog djelovanja

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

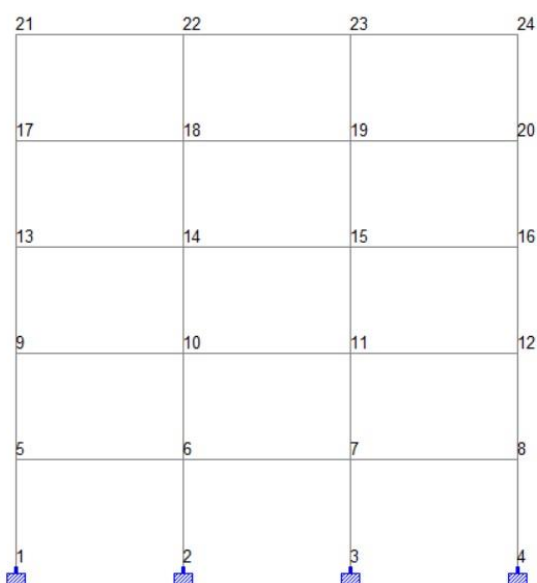
$\psi_{2,i}$ – faktor kombinacije za nezovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja i

6. PRORAČUN OKVIRA

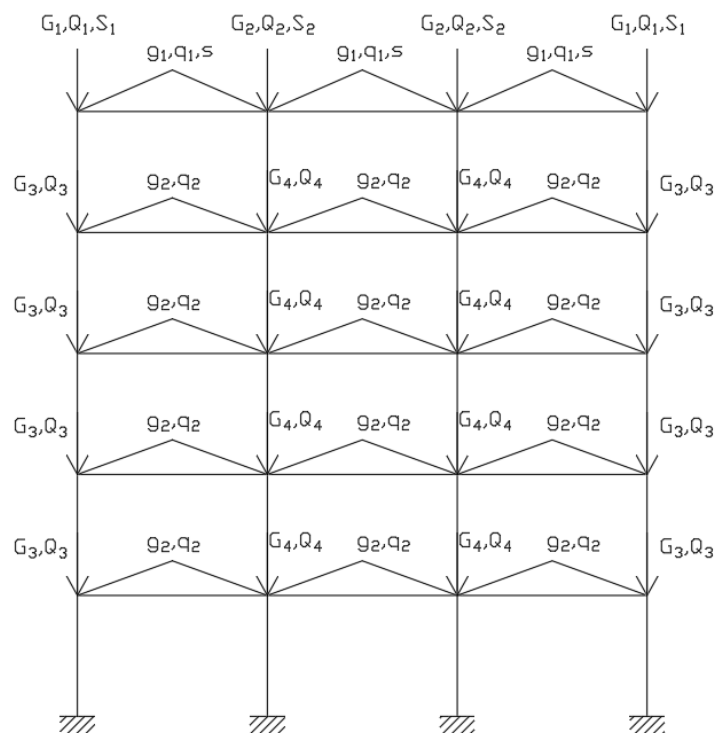
Analiza srednjeg okvira provedena je u softverskom paketu StaadPRO V8i SS6. Konstrukcija je modelirana u poprečnom smjeru ravninskim okvirnim modelom.



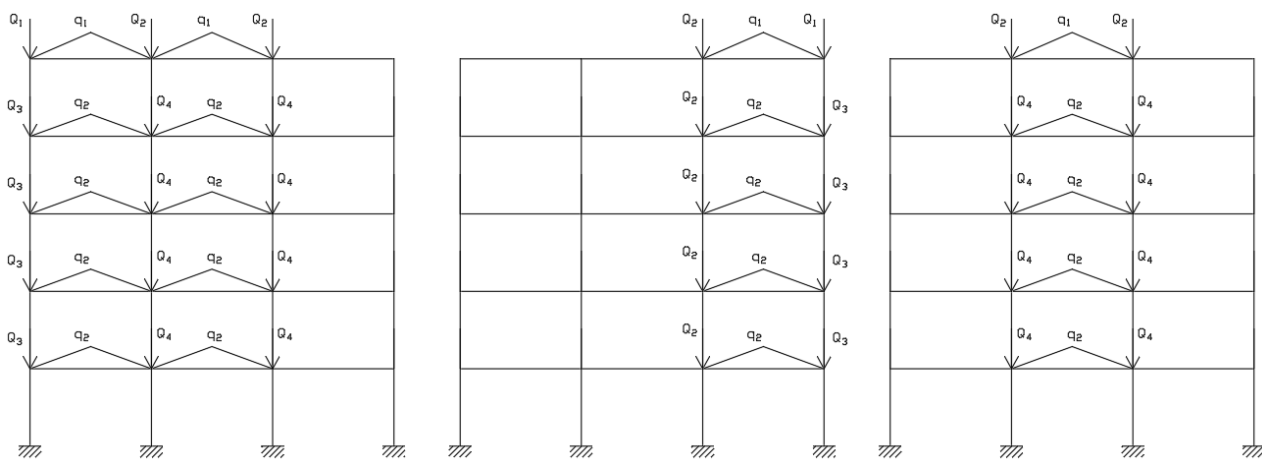
Slika 12. Okvir armanobetonske konstrukcije



Slika 13. Proračunski model (StaadPRO V8i)



Slika 14. Prikaz vertikalnih opterećenja na okvir



Slika 15. Prikaz nesimetričnog uporabnog opterećenja na okvir

6.1. Analiza opterećenja ravnog krova

Opterećenje:

$$g = 9,26 \text{ kN/m}^2$$

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

5.1.1. Stalno opterećenje G_1 , G_2 i g_1

Stalno opterećenje od ravnog krova:

$$g_{pl} = g \cdot \frac{l_1}{2} = 9,26 \cdot \frac{5,5}{2} = 25,47 \text{ kN/m'}$$

Površina lika:

$$k_{1g} = g_{pl} \cdot \frac{l}{2} = 25,47 \cdot \frac{6,5 + 0,4}{2} = 87,87 \text{ kN}$$

$$k_{2g} = 2 \cdot k_{1g} = 2 \cdot 87,87 = 175,74 \text{ kN}$$

Vlastita težina grede:

$$(0,35 \cdot 0,55) \cdot 25 = 4,81 \text{ kN/m'}$$

Zid na krovu:

$$(0,35 \cdot 0,80) \cdot 25 = 7,0 \text{ kN/m'}$$

Ukupno: $\Sigma = 4,81 + 7,0 = 11,81 \text{ kN/m'}$

Vlastita težina srednje grede ravnog krova:

$$(0,35 \cdot 0,35) \cdot 25 = 3,06 \text{ kN/m'}$$

$$G_1 = 11,81 \cdot 6,5 + 87,87 = \mathbf{164,64 \text{ kN}}$$

$$G_2 = 3,06 \cdot 6,5 + 175,74 = \mathbf{195,63 \text{ kN}}$$

Kontinuirano trokutno opterećenje od ploča nosivih u dva smjera g_1 :

$$g_1 = \frac{9,26 \cdot 5,5}{2} \cdot 2 = \mathbf{50,93 \text{ kN/m'}}$$

5.1.2. Uporabno opterećenje Q_1 , Q_2 i q_1

Uporabno opterećenje ravnog krova:

$$q_{pl} = g \cdot \frac{l_1}{2} = 0,60 \cdot \frac{5,5}{2} = 1,65 \text{ kN/m'}$$

Površina lika:

$$k_{1q} = q_{pl} \cdot \frac{l}{2} = 1,65 \cdot \frac{6,5 + 0,4}{2} = \mathbf{5,69 \text{ kN}} = Q_1$$

$$k_{2q} = 2 \cdot k_{1q} = 2 \cdot 5,69 = \mathbf{11,38 \text{ kN}} = Q_2$$

Kontinuirano trokutno opterećenje od ploča nosivih u dva smjera q_1 :

$$q_1 = \frac{0,60 \cdot 5,5}{2} \cdot 2 = \mathbf{3,30 \text{ kN/m'}}$$

5.1.3. Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom na ravnom krovu:

$$s_{pl} = s \cdot \frac{l_1}{2} = 0,40 \cdot \frac{5,5}{2} = 1,10 \text{ kN/m'}$$

Površina lika:

$$k_{1s} = s_{pl} \cdot \frac{l}{2} = 1,10 \cdot \frac{6,5 + 0,4}{2} = \mathbf{3,80 \text{ kN}} = S_1$$

$$k_{2s} = 2 \cdot k_{1s} = 2 \cdot 3,80 = \mathbf{7,60 \text{ kN}} = S_2$$

Kontinuirano trokutno opterećenje od ploča nosivih u dva smjera s :

$$s = \frac{0,40 \cdot 5,5}{2} \cdot 2 = \mathbf{2,20 \text{ kN/m'}}$$

6.2. Analiza opterećenja međukatne konstrukcije

Opterećenje:

$$g = 7,53 \text{ kN/m}^2$$

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

5.2.1. Stalno opterećenje G_3 , G_4 i g_2

Stalno opterećenje međukatne konstrukcije:

$$g_{pl} = g \cdot \frac{l_1}{2} = 7,53 \cdot \frac{5,5}{2} = 20,71 \text{ kN/m'}$$

Površina lika:

$$k_{3g} = g_{pl} \cdot \frac{l}{2} = 20,71 \cdot \frac{6,5 + 0,4}{2} = 71,45 \text{ kN}$$

$$k_{4g} = 2 \cdot k_{3g} = 2 \cdot 71,45 = 142,9 \text{ kN}$$

Vlastita težina grede:

$$(0,35 \cdot 0,55) \cdot 25 = 4,81 \text{ kN/m'}$$

Parapet i stolarija:

$$(0,35 \cdot 1,0) \cdot 25 = 8,75 \text{ kN/m'}$$

Ukupno: $\Sigma = 4,81 + 8,75 = 13,56 \text{ kN/m'}$

Vlastita težina srednje grede ravnog krova:

$$(0,35 \cdot 0,35) \cdot 25 = 3,06 \text{ kN/m'}$$

$$G_3 = 13,56 \cdot 6,5 + 71,45 = \mathbf{159,59 \text{ kN}}$$

$$G_4 = 3,06 \cdot 6,5 + 142,9 = \mathbf{162,79 \text{ kN}}$$

Kontinuirano trokutno opterećenje od ploča nosivih u dva smjera g_2 :

$$g_2 = \frac{7,53 \cdot 5,5}{2} \cdot 2 = \mathbf{41,42 \text{ kN/m'}}$$

5.2.2. Uporabno opterećenje Q_3 , Q_4 i q_2

Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije:

$$g_{pl} = g \cdot \frac{l_1}{2} = 2,0 \cdot \frac{5,5}{2} = 5,50 \text{ kN/m'}$$

Površina lika:

$$k_{3q} = g_{pl} \cdot \frac{l}{2} = 5,50 \cdot \frac{6,5 + 0,4}{2} = \mathbf{18,98 \text{ kN} = Q_3}$$

$$k_{4q} = 2 \cdot k_{3q} = 2 \cdot 18,98 = \mathbf{37,96 \text{ kN} = Q_4}$$

Kontinuirano trokutno opterećenje od ploča nosivih u dva smjera q_2 :

$$q_2 = \frac{2,0 \cdot 5,5}{2} \cdot 2 = \mathbf{11,0 \text{ kN/m'}}$$

6.3. Analiza horizontalnih opterećenja na okvir

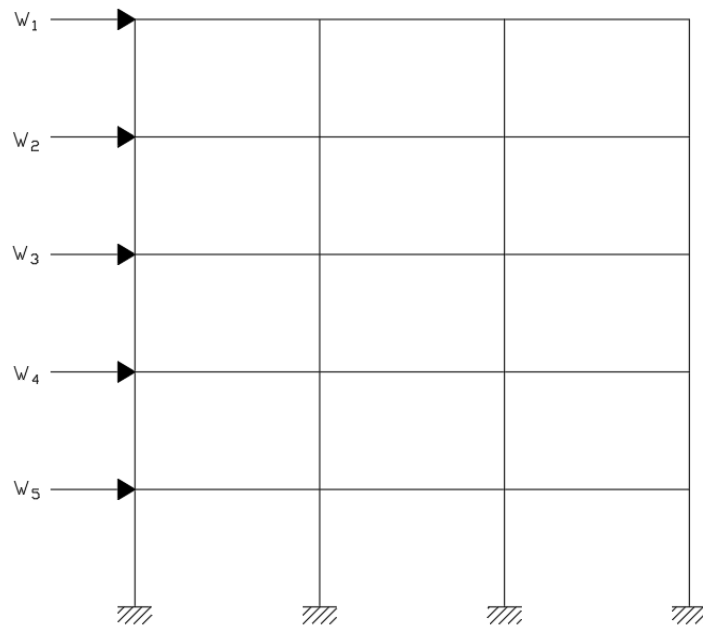
Okvir se proračunava na horizontalne sile od vjetra prema izrazu:

$$W_i = \frac{1}{n} \cdot A_i \cdot \Sigma w_e \quad (30)$$

gdje je:

n – broj okvira

A_i – površine zidova okomite na djelovanje vjetra (uzima se površina samo jedne strane zgrade jer se uzelo $\Sigma c_{pe} = 1,30$)



Slika 16. Prikaz horizontalnog opterećenja vjetra na okvir

$$W_1 = \frac{1}{7} \cdot \left(39,50 \cdot \frac{3,5}{2} \right) \cdot 1,94 = 19,16 \text{ kN}$$

$$W_2 = \frac{1}{7} \cdot \left(39,50 \cdot \frac{3,5 + 3,5}{2} \right) \cdot 1,94 = 38,32 \text{ kN}$$

$$W_3 = \frac{1}{7} \cdot \left(39,50 \cdot \frac{3,5 + 3,5 + 3,5}{2} \right) \cdot 1,94 = 57,47 \text{ kN}$$

$$W_4 = \frac{1}{7} \cdot \left(39,50 \cdot \frac{3,5 + 3,5 + 3,5 + 3,5}{2} \right) \cdot 1,94 = 76,63 \text{ kN}$$

$$W_5 = \frac{1}{7} \cdot \left(39,50 \cdot \frac{3,5 + 3,5 + 3,5 + 3,5 + 3,5}{2} \right) \cdot 1,94 = 95,79 \text{ kN}$$

6.4. Proračun vitkih elemenata okvira

Vitki elementi i konstrukcije proračunavaju se prema teoriji drugog reda, odnosno na deformiranom sustavu. Proračunati će se učinak drugog reda po pojednostavljenom postupku na okviru. Postupak se provodi za donji srednji stup (VI/100) jer je naprezan najvećom uzdužnom tlačnom silom zbog čega postoji opasnost na izvijanje stupova i greda.

Rotacijska krutost čvora:

$$k = \frac{\theta}{M} \cdot \frac{E \cdot I_{col}}{I_{col}} = \frac{\Sigma(E \cdot I_{col})/I_{col}}{\Sigma M_R} \quad (31)$$

$$\Sigma M_R = 2 \cdot \left(\frac{6 \cdot E \cdot I_b^{II}}{l_b} \right) \quad (32)$$

gdje je:

E – modul elastičnosti betona

I_{col} – moment tromosti stupa

$$I_{col} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{50 \cdot 55^3}{12} = 693229,17 \text{ cm}^4$$

I_b^{II} – koment tromosti grede za raspucalo stanje (50% krutosti)

$$I_b^{II} = 0,5 \cdot \frac{35 \cdot 55^3}{12} = 242630,21 \text{ cm}^4$$

l_{col} – duljina stupa

l_b – duljina grede

Rotacijska krutost čvora 2:

Ako je stup upet teoretska krutost iznosi 0 ($k=0$), ali u praksi se rijetko javlja potpuna upetost predlaže se da je minimalna vrijednost $k=0,1$. Stoga je:

$$k_2 = 0,1$$

Rotacijska krutost čvora 6:

$$k_6 = 2 \cdot \frac{\frac{693229,17}{3,5}}{12 \cdot \frac{242630,21}{5,50}} = 0,748$$

Efektivna duljina l_0 za nepridržane okvire: [10]

$$l_0 = l \cdot \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_6 \cdot k_2}{k_6 + k_2}} \\ \left(1 + \frac{k_6}{1 + k_6}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \end{array} \right. \quad (33)$$

$$l_0 = 3,5 \cdot \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{0,748 \cdot 0,1}{0,748 + 0,1}} = 1,37 \\ \left(1 + \frac{0,748}{1 + 0,748}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,1}{1 + 0,1}\right) = 1,56 \end{array} \right. = 3,5 \cdot 1,56 = 5,46 \text{ m}$$

Maksimalna vitkost koja se ne smije prijeći:

$$\lambda_{\max} = 120$$

Vitkost:

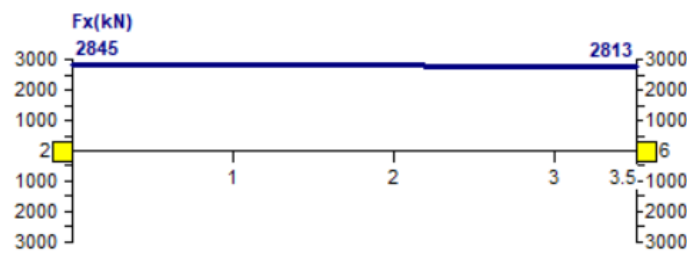
$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{l_0}{0,289 \cdot b} = \frac{546}{0,289 \cdot 50} = 37,79$$

Granična vitkost: [10]

$$\lambda_{\lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (34)$$

Usvojene vrijednosti su $A = 0,7$; $B = 1,1$; $C = 0,7$ jer nisu poznate vrijednosti φ_{ef} , ω i r_m .

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} \quad (35)$$



Slika 17. Vrijednost anvelope uzdužne tlačne sile u stupu IV/100

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2845}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,517$$

$$\lambda_{\lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,517}} = 20,85$$

$$\lambda > \lambda_{\lim}$$

$$37,79 > 20,85$$

Potrebno je uzeti učinke teorije drugog reda jer se radi o vitkim elementima.

Koeficijent osjetljivosti međukatnog pomaka:

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_r}{V_{\text{tot}} \cdot h} \leq 0,10 \quad (36)$$

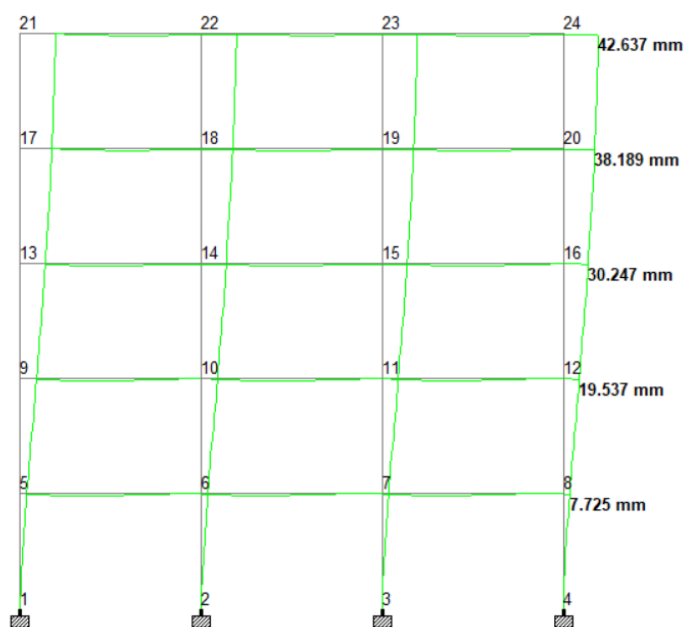
P_{tot} – ukupno gravitacijsko opterećenje na promatranom katu i iznad njega u proračunskoj potresnoj situaciji

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

$$d_r = q \cdot d_s \quad (37)$$

V_{tot} – ukupna katna potresna poprečna sila

h – međukatna visina



Slika 18. Pomaci okvirne konstrukcije

$$d_{r,500} = q \cdot d_{s,500} = 3,9 \cdot (42,637 - 38,189) = 17,35 \text{ mm}$$

$$d_{r,400} = q \cdot d_{s,400} = 3,9 \cdot (38,189 - 30,247) = 30,97 \text{ mm}$$

$$d_{r,300} = q \cdot d_{s,300} = 3,9 \cdot (30,247 - 19,537) = 41,77 \text{ mm}$$

$$d_{r,200} = q \cdot d_{s,200} = 3,9 \cdot (19,537 - 7,725) = 46,07 \text{ mm}$$

$$d_{r,100} = q \cdot d_{s,100} = 3,9 \cdot 7,725 = 30,13 \text{ mm}$$

Krov (500):

$$P_{\text{tot}} = G_5 = 6851,64 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot}} = F_5 = 871,02 \text{ kN}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_r}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{6851,64 \cdot 1,74}{871,02 \cdot 350} = 0,039 < 0,10$$

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

Međukatna konstrukcija (400):

$$P_{\text{tot}} = (8480,04 + 0,15 \cdot 1287) + 6851,64 = 15524,13 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot}} = F_5 + F_4 = 871,02 + 877,36 = 1748,28 \text{ kN}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_r}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{15524,13 \cdot 3,10}{1748,28 \cdot 350} = 0,079 > 0,10$$

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

Međukatna konstrukcija (300):

$$P_{\text{tot}} = (2 \cdot (8480,04 + 0,15 \cdot 1287)) + 6851,64 = 24197,22 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot}} = F_5 + F_4 + F_3 = 871,02 + 877,36 + 657,94 = 2406,22 \text{ kN}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_r}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{24197,22 \cdot 4,18}{2406,22 \cdot 350} = 0,120 > 0,10$$

Ako je $0,1 < \theta < 0,2$, učinci drugog reda uzimaju se u obzir množenjem odgovarajućih potresnih unutarnjih sila faktorom $\delta = \frac{1}{1-\theta}$. Vrijednost θ ne smije premašiti 0,3.

$$\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,120} = 1,14$$

Međukatna konstrukcija (200):

$$P_{\text{tot}} = (3 \cdot (8480,04 + 0,15 \cdot 1287)) + 6851,64 = 32870,31 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot}} = F_5 + F_4 + F_3 + F_2 = 871,02 + 877,36 + 657,94 + 438,63 = 2844,85 \text{ kN}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_r}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{32870,31 \cdot 4,61}{2844,85 \cdot 350} = 0,152 > 0,10$$

Učinke drugog reda potrebno je uzeti u obzir.

$$\delta = \frac{1}{1 - \theta} = \frac{1}{1 - 0,152} = 1,18$$

Međukatna kontrukcija (100):

$$P_{\text{tot}} = (4 \cdot (8480,04 + 0,15 \cdot 1287)) + 6851,64 = 41543,40 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tot}} &= F_5 + F_4 + F_3 + F_2 + F_1 = 871,02 + 877,36 + 657,94 + 438,63 + 219,32 \\ &= 3064,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_r}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{41543,40 \cdot 3,01}{3064,17 \cdot 350} = 0,117 > 0,10$$

Učinke drugog reda potrebno je uzeti u obzir.

$$\delta = \frac{1}{1 - \theta} = \frac{1}{1 - 0,117} = 1,14$$

Učinak teorije drugog reda uzet je u obzir za potresne kombinacije u Staadu.

6.5. Dimenzioniranje greda okvira na moment savijanja

Rezultati su dobivani u programskom softveru Staad, gdje se iz anvelope išitala vrijednost momenta savijanja u polju i ležajevima (vanjskim i unutarnjim) za svaku poziciju.

Bezdimenzijska vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad (38)$$

gdje je:

M_{Ed} – najveći moment savijanja u polju

b_{eff} – efektivna širina poprečnog presjeka ($b_{eff} = 189$ cm)

d – statička visina presjeka

f_{cd} – proračunska tlačna čvrstoća betona

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (39)$$

gdje je:

ζ – koeficijent kraka unutarnjih sila

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika za armiranje

Minimalna armatura:

$$A_{s1,min} = \max \begin{cases} 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \\ 0,0013 \cdot b_w \cdot d \end{cases} \quad (40)$$

gdje je:

f_{ctm} – srednja vlačna čvrstoća betona

f_{yk} – karakteristična granica popuštanja čelika za armiranje

b_w – najmanja širina poprečnog presjeka u vlačnom području ($b_w = 35$ cm)

6.5.1. Greda POZ 516 – 518 – 516

POLJE

Iz anvelope momenta savijanja u poljima greda pozicije 516 – 518 – 516, mjerodavna je stalna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 95,06 \text{ kNm}$$

Pretpostavka: Neutralna od prolazi kroz ploču ili njezinim donjim rubom $x \leq h_f$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9506}{189 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,010 \rightarrow 0,010$$

$$\xi = 0,012 \quad \zeta = 0,995$$

Uvjet: $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,012 \cdot 49,5 = 0,59$$

$$0,59 < 20 \text{ cm}$$

Neutralna od prolazi kroz ploču. Stoga se dimenzionira kao provukutni presjek $b_{eff} \times h$.

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9506}{0,995 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 4,44 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,min} = \max \begin{cases} 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 35 \cdot 49,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 2,61 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 35 \cdot 49,5 = 2,25 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{cases}$$

Glavna armatura u polju, odabrano: **4Ø12 (4,52 cm²/m')**

VANJSKI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad vanjskim ležajevima greda pozicije 516 – 518 – 516, mjerodavna je potresna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 143,25 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14325}{35 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,084 \rightarrow 0,087$$

$$\xi = 0,113 \quad \zeta = 0,953$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{14325}{0,953 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 6,98 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d \quad (41)$$

gdje je:

ρ_{min} – koeficijent armiranja vlačnom armaturom

$$\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0029$$

$$A_{s,min} = 0,0029 \cdot 35 \cdot 49,5 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Glavna armatura nad ležajem, odabrano: **3Ø16 + 2Ø8 (6,03 + 1,01 = 7,04) cm²/m'**

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje:

Odabrana armatura za tlačno područje: **2Ø16 (4,02 cm²/m')**

UNUTARNJI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad unutarnjim ležajevima greda pozicije 516 – 518 – 516, mjerodavna je potresna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 153,30 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{15330}{35 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,089 \rightarrow 0,092$$

$$\xi = 0,120 \quad \zeta = 0,950$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{15330}{0,939 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

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

gdje je:

ρ_{min} – koeficijent armiranja vlačnom armaturom

$$\rho_{\min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0029$$

$$A_{s,\min} = 0,0029 \cdot 35 \cdot 49,5 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Glavna armatura nad ležajem, odabrano: **5Ø14 (7,70) cm²/m'**

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje:

Odabrana armatura za tlačno područje: **2Ø16 (4,02) cm²/m'**

6.5.2. Greda POZ 416 - 418 - 416

POLJE

Iz anvelope momenta savijanja u poljima greda pozicije 416 – 418 – 416, mjerodavna je stalna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 90,36 \text{ kNm}$$

Pretpostavka: Neutralna od prolazi kroz ploču ili njezinim donjim rubom $x \leq h_f$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9036}{189 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,010 \rightarrow 0,010$$

$$\xi = 0,012 \quad \zeta = 0,995$$

Uvjet: $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,012 \cdot 49,5 = 0,59$$

$$0,59 < 20 \text{ cm}$$

Neutralna od prolazi kroz ploču. Stoga se dimenzionira kao provukutni presjek $b_{\text{eff}} \times h$.

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9036}{0,995 \cdot 49,5 \cdot 43,38} = 4,22 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,\min} = \max \begin{cases} 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 35 \cdot 49,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 2,61 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 35 \cdot 49,5 = 2,25 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{cases}$$

Glavna armatura u polju, odabrano: **4Ø12 (4,52) cm²/m'**

VANJSKI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad vanjskim ležajevima greda pozicije 416 – 418 – 416, mjerodavna je potresna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 225,32 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{22532}{35 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,131 \rightarrow 0,131$$
$$\xi = 0,175 \quad \zeta = 0,927$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{22532}{0,927 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 11,29 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d$$
$$\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0029$$
$$A_{s,min} = 0,0029 \cdot 35 \cdot 49,5 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Glavna armatura nad ležajem, odabrano: **6Ø16 (12,06 cm²/m')**

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje:

Odabrana armatura za tlačno područje: **3Ø16 (6,03 cm²/m')**

UNUTARNJI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad unutarnjim ležajevima greda pozicije 416 – 418 – 416, mjerodavna je potresna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 209,18 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{20918}{35 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,122 \rightarrow 0,123$$
$$\xi = 0,163 \quad \zeta = 0,932$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{20918}{0,932 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 10,43 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

$$A_{s,\min} = \rho_{\min} \cdot b_w \cdot d$$
$$\rho_{\min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0029$$

$$A_{s,\min} = 0,0029 \cdot 35 \cdot 49,5 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Glavna armatura nad ležajem, odabrano: **3Ø20 + 2Ø8 (9,42 + 1,01 = 10,43 cm²/m')**

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje:

Odabrana armatura za tlačno područje: **3Ø16 (6,03 cm²/m')**

6.5.3. Greda POZ 316 - 318 - 316

POLJE

Iz anvelope momenta savijanja u poljima greda pozicije 316 – 318 – 316, mjerodavna je stalna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 91,54 \text{ kNm}$$

Pretpostavka: Neutralna od prolazi kroz ploču ili njezinim donjim rubom $x \leq h_f$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9154}{189 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,010 \rightarrow 0,020$$

$$\xi = 0,012 \quad \zeta = 0,995$$

Uvjet: $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,012 \cdot 49,5 = 0,59$$

$$0,59 < 20 \text{ cm}$$

Neutralna od prolazi kroz ploču. Stoga se dimenzionira kao provukutni presjek $b_{eff} \times h$.

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9154}{0,995 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 4,27 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,min} = \max \begin{cases} 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 35 \cdot 49,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 2,61 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 35 \cdot 49,5 = 2,25 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{cases}$$

Glavna armatura u polju, odabrano: **4Ø12 (4,52 cm²/m')**

VANJSKI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad vanjskim ležajevima greda pozicije 316 – 318 – 316, mjerodavna je potresna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 295,19 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{29519}{35 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,172 \rightarrow 0,176$$

$$\xi = 0,241 \quad \zeta = 0,900$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{29519}{0,900 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 15,24 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

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

$$\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0029$$

$$A_{s,min} = 0,0029 \cdot 35 \cdot 49,5 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Glavna armatura nad ležajem, odabrano: **5Ø20 (15,71 cm²/m')**

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje.

Odabrana armatura za tlačno područje: **3Ø20 (9,42 cm²/m')**

UNUTARNJI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad unutarnjim ležajevima greda pozicije 316 – 318 – 316, mjerodavna je potresna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 275,44 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{27544}{35 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,161 \rightarrow 0,161$$

$$\xi = 0,219 \quad \zeta = 0,909$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{27544}{0,909 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 14,08 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d$$
$$\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0029$$
$$A_{s,min} = 0,0029 \cdot 35 \cdot 49,5 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Glavna armatura nad ležajem, odabrano: **3Ø25 (14,73 cm²/m')**

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje.

Odabrana armatura za tlačno područje: **3Ø20 (9,42 cm²/m')**

6.5.4. Greda POZ 216 – 218 – 216

POLJE

Iz anvelope momenta savijanja u poljima greda pozicije 216 – 218 – 216, mjerodavna je stalna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 92,07 \text{ kNm}$$

Pretpostavka: Neutralna od prolazi kroz ploču ili njezinim donjim rubom $x \leq h_f$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9207}{189 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,010 \rightarrow 0,010$$

$$\xi = 0,012 \quad \zeta = 0,995$$

Uvjet: $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,012 \cdot 49,5 = 0,59$$

$$0,59 < 20 \text{ cm}$$

Neutralna od prolazi kroz ploču. Stoga se dimenzionira kao provukutni presjek $b_{\text{eff}} \times h$.

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9207}{0,995 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 4,30 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,\text{min}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 35 \cdot 49,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 2,61 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 35 \cdot 49,5 = 2,25 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{array} \right.$$

Glavna armatura u polju, odabrano: **4Ø12 (4,52 cm²/m')**

VANJSKI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad vanjskim ležajevima greda pozicije 216 – 218 – 216, mjerodavna je potresna proračunska situacija:

$$M_{\text{Ed}} = 341,39 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{\text{Ed}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{34139}{35 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,199 \rightarrow 0,200$$

$$\xi = 0,280 \quad \zeta = 0,884$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{34139}{0,884 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 17,94 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

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

$$\rho_{\text{min}} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0029$$

$$A_{s,\text{min}} = 0,0029 \cdot 35 \cdot 49,5 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Glavna armatura nad ležajem, odabrano: **3Ø28 (18,47 cm²/m')**

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje.

Odabrana armatura za tlačno područje: **4Ø20 (12,57 cm²/m')**

UNUTARNJI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad unutarnjim ležajevima greda pozicije 216 – 218 – 216, mjerodavna je potresna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 324,33 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{32433}{35 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,189 \rightarrow 0,194$$

$$\xi = 0,269 \quad \zeta = 0,888$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{32433}{0,888 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 16,97 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

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

$$\rho_{\min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0029$$

$$A_{s,\min} = 0,0029 \cdot 35 \cdot 49,5 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Glavna armatura nad ležajem, odabrano: **3Ø25 + 2Ø12 (14,73 + 2,26 = 16,99 cm²/m')**

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje.

Odabrana armatura za tlačno područje: **4Ø20 (12,57 cm²/m')**

6.5.5. Greda POZ 116 – 118 – 116

POLJE

Iz anvelope momenta savijanja u poljima greda pozicije 116 – 118 – 116, mjerodavna je stalna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 95,21$$

Pretpostavka: Neutralna od prolazi kroz ploču ili njezinim donjim rubom $x \leq h_f$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9521}{189 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,010 \rightarrow 0,010$$

$$\xi = 0,012 \quad \zeta = 0,995$$

Uvjet: $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,012 \cdot 49,5 = 0,59$$

$$0,59 < 20 \text{ cm}$$

Neutralna od prolazi kroz ploču. Stoga se dimenzionira kao provukutni presjek $b_{eff} \times h$.

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9521}{0,995 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 4,45 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,min} = \max \begin{cases} 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 35 \cdot 49,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 2,61 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 35 \cdot 49,5 = 2,25 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{cases}$$

Glavna armatura u polju, odabrano: **4Ø12 (4,52 cm²/m')**

VANJSKI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja na vanjskim ležajevima greda pozicije 116 – 118 – 116, mjerodavna je potresna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 326,54 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{32654}{35 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,190 \rightarrow 0,194$$

$$\xi = 0,269 \quad \zeta = 0,888$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{32654}{0,888 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 17,16 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d$$
$$\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0029$$
$$A_{s,min} = 0,0029 \cdot 35 \cdot 49,5 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Glavna armatura nad ležajem, odabrano: **3Ø28 (18,47 cm²/m')**

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje.

Odabrana armatura za tlačno područje: **4Ø20 (12,57 cm²/m')**

UNUTARNJI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja na vanjskim ležajevima greda pozicije 116 – 118 – 116, mjerodavna je potresna proračunska situacija:

$$M_{Ed} = 317,90 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{31790}{35 \cdot 49,5^2 \cdot 2,0} = 0,185 \rightarrow 0,194$$

$$\xi = 0,269 \quad \zeta = 0,888$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{31790}{0,888 \cdot 49,5 \cdot 43,48} = 16,63 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d$$
$$\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{2,9}{500} = 0,0029$$
$$A_{s,min} = 0,0029 \cdot 35 \cdot 49,5 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Glavna armatura nad ležajem, odabrano: **3Ø25 + 2Ø12 (16,99 cm²/m')**

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje.

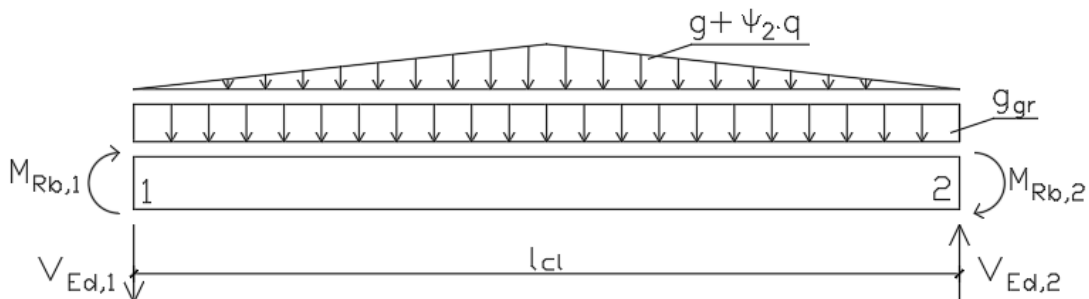
Odabrana armatura za tlačno područje: **4Ø20 (12,57 cm²/m')**

6.6. Dimenzioniranje greda okvira na poprečnu silu

Poprečne sile u gredama određuju se u skladu s sposobnosti nosivosti na savijanje na krajevima greda. Na temelju ravnoteže grede (momenti nosivosti na krajevima grede $M_{i,d}$ i poprečno opterećenje na gredu) odrediti će se poprečne sile. Na krajevima presjeka grede odrediti će se dvije poprečne sile $V_{Ed,max,i}$ i $V_{Ed,min,i}$ koje odgovaraju najvećim pozitivnim i negativnim momentima $M_{i,d}$. Proračun poprečnih sila provodi se u oba smjera potresnog djelovanja. [8]

6.6.1. Greda POZ 516 - 518 - 516

1. Slučaj



Slika 19. Djelovanje na gredu za smjer 1

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} \quad (42)$$

gdje je:

A_{s1} – armatura ležaja grede

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika

f_{cd} – proračunska tlačna čvrstoća betona

b – širina hrpta grede

d – statička visina grede

$$\omega_1 = \frac{7,70}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,097 \rightarrow \omega_1 = 0,097$$

$$\zeta = 0,950$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,950 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 7,70 = 157,44 \text{ kNm}$$

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{4,02}{35 \cdot 49,5} * \frac{43,48}{2} = 0,050 \rightarrow \omega_1 = 0,051$$

$$\zeta = 0,974$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,974 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 4,02 = 84,27 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluje:

- stalno opterećenje od ploče: $g_{pl} = 25,47 \text{ kN/m}'$

- vlastita težina grede: $g_{gr} = (0,35 \cdot 0,55) \cdot 25 = 4,81 \text{ kN/m}'$

- promjenjivo opterećenje: $q_{pl} = q = 1,65 \text{ kN/m}'$

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

$$w = (25,47 + 4,81) + 0,0 \cdot 1,65 = 30,28 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,1}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w \cdot l_{cl}}{2} \quad (43)$$

gdje je:

γ_{Rd} – faktor kojim se u obzir uzima moguće ojačanje čelika (za DCM $\gamma_{Rd} = 1,0$)

l_{cl} – svijetla duljina grede

$$l_{cl} = 5,50 - \frac{0,55 + 0,55}{2} = 4,95 \text{ m}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 \cdot (157,44 + 84,27)}{4,95} + \frac{30,28 \cdot 4,95}{2} = 123,77 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad (44)$$

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

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} \quad (45)$$

gdje je:

α_{cw} – koeficijent koji se uzima u obzir stanje naprezanja u tlačnom pojasu nosača ($\alpha_{cw} = 1,0$ za $\sigma_{cp} = 0$ za nenapete konstrukcije)

b_w – najmanja širina poprečnog presjeka u vlačnom području

z – krak unutarnjih sila ($z \approx 0,9 \cdot d$)

v_1 – faktor smanjenja tlačne čvrstoće betona raspucalog od poprečnih sila:

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \quad (46)$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,53$$

θ – kut tlačnih štapova

Nagib tlačnih štapova bira se u granicama:

$$1,0 \leq \text{ctg}\theta \leq 2,5 \quad (21,9^\circ \leq \theta \leq 45^\circ)$$

Odabrano je: za savijanje sa osnom tlačnom silom ($N_{Ed} < 0$): $\text{ctg}\theta = 1,2$ ($\theta = 40^\circ$)

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 35 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 809,79 \text{ kN}$$

$$123,77 \text{ kN} < 809,79 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

- osigurava nosivost neposredno nakon pojave kosih pukotina

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} \quad (47)$$

gdje je:

A_{sw} – ploština presjeka poprečne armature na razmaku s ($A_{sw} = A_{sw}^1 \cdot m$)

A_{sw}^1 – ploština presjeka jedne grane spone ($A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2$)

m – reznost ($m = 2$)

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

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \quad (48)$$

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{0,5 \cdot 2}{49,5 \cdot 0,0010} = 20,19 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max} \quad (49)$$

$$123,77 \text{ kN} < 0,3 \cdot 809,79 = 242,94 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8$, $m = 2$ ($A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 20,19 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta \quad (50)$$

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{0,5 \cdot 2}{20,19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 115,13 \text{ kN}$$

(51)

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$123,77 \text{ kN} > 115,13 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{123,77} \cdot 1,2 = 18,78 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 18 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} \quad (52)$$

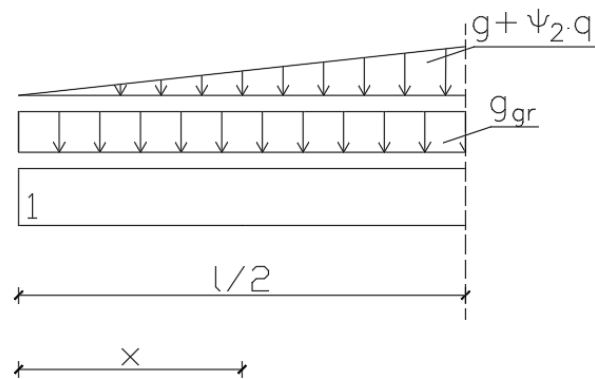
Proračun $V_{Rd,s}$ za s:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{18} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 129,14 \text{ kN}$$

$$123,77 \text{ kN} < 129,14 \text{ kN}$$

Odabrana armatura za unutarnji oslonac: **$\emptyset 8/18 \text{ cm}$**

Proračun udaljenosti x:



Slika 20. Skica za dobivanje udaljenosti x

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{\frac{l}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{min}$$

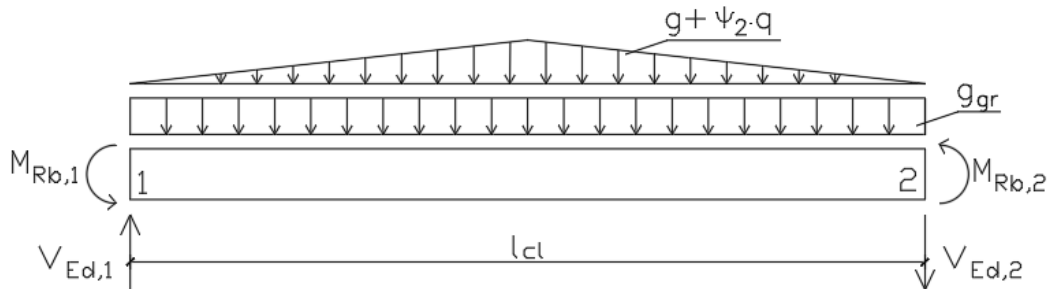
$$123,77 - 4,81 \cdot x - \frac{(25,47 + 0 \cdot 3,30)}{2,75} \cdot \frac{x^2}{2} = 115,13$$

$$4,63 x^2 + 4,81 x - 8,64 = 0$$

$$x = 0,94 \text{ m}$$

Na udaljenosti 0,94 m od unutarnjeg oslonca armira se s $\emptyset 8/18$ cm, a ostalo $\emptyset 8/20$.

2. Slučaj



Slika 21. Djelovanje na gredu za smjer 2

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{4,02}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,050 \rightarrow \omega_1 = 0,051$$

$$\zeta = 0,974$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,974 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 4,52 = 84,27 \text{ kNm}$$

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

$$\omega_1 = \frac{7,04}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,088 \rightarrow \omega_1 = 0,091$$

$$\zeta = 0,953$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,953 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 7,04 = 144,40 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluje:

$$w = (25,47 + 4,81) + 0,0 \cdot 1,65 = 30,28 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,2}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cr}} + \frac{w \cdot l_{cr}}{2}$$

$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 \cdot (84,27 + 144,40)}{4,95} + \frac{30,28 \cdot 4,95}{2} = 121,14 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 809,79 \text{ kN}$$

$$121,14 \text{ kN} < 809,79 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,5 \cdot 2}{49,5 \cdot 0,0010} = 20,19 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$121,14 \text{ kN} < 0,3 \cdot 809,79 = 242,94 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8, m = 2 (A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2), s_{l,max} = 20,19 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{20,19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 115,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$121,14 \text{ kN} > 115,13 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{121,14} \cdot 1,2 = 19,19 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 19 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

Proračun $V_{Rd,s}$ za s:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 122,34 \text{ kN}$$

$$121,14 \text{ kN} < 122,34 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura za vanjski oslonac: **$\emptyset 8/19 \text{ cm}$**

Proračun udaljenosti x:

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{\frac{1}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{\min}$$

$$121,14 - 4,81 \cdot x - \frac{(25,47 + 0 \cdot 3,30)}{2,75} \cdot \frac{x^2}{2} = 115,13$$

$$4,63 x^2 + 4,81 x - 6,01 = 0$$

$$x = 0,73 \text{ m}$$

Na udaljenosti 0,73 m od vanjskog oslonca armira se s $\emptyset 8/19 \text{ cm}$, a ostalo $\emptyset 8/20$.

6.6.2. Greda POZ 416 - 418 - 416

1. Slučaj

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{10,43}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,131 \rightarrow \omega_1 = 0,132$$
$$\zeta = 0,932$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,932 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 10,43 = 209,22 \text{ kNm}$$

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{6,03}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,076 \rightarrow \omega_1 = 0,079$$
$$\zeta = 0,960$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,960 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 6,03 = 124,59 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluje:

- stalno opterećenje od ploče: $g_{pl} = 20,71 \text{ kN/m}'$
- vlastita težina grede: $g_{gr} = (0,35 \cdot 0,55) \cdot 25 = 4,81 \text{ kN/m}'$
- promjenjivo opterećenje: $q_{pl} = 5,50 \text{ kN/m}'$

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

$$w = (20,71 + 4,81) + 0,3 \cdot 5,50 = 27,17 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,1}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cr}} + \frac{w \cdot l_{cr}}{2}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 \cdot (209,22 + 124,59)}{4,95} + \frac{27,17 \cdot 4,95}{2} = 134,68 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 35 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 809,79 \text{ kN}$$

$$134,68 \text{ kN} < 809,79 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,5 \cdot 2}{49,5 \cdot 0,0010} = 21,19 \text{ cm}$$

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$134,68 \text{ kN} < 0,3 \cdot 809,79 = 242,94 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8$, $m = 2$ ($A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 20,19 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{20,19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 115,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$134,68 \text{ kN} > 115,13 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{134,68} \cdot 1,2 = 17,26 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **$s = 17 \text{ cm}$**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

Proračun $V_{Rd,s}$ za s:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{17} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 136,73 \text{ kN}$$

$$134,68 \text{ kN} < 136,73 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura za unutarnji oslonac: **Ø8/17 cm**

Proračun udaljenosti x:

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{\frac{1}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{\min}$$

$$134,68 - 4,81 \cdot x - \frac{(20,71 + 0,3 \cdot 5,50)}{2,75} \cdot \frac{x^2}{2} = 115,13$$

$$4,07 x^2 + 4,81 x - 19,55 = 0$$

$$x = 1,67 \text{ m}$$

Na udaljenosti 1,67 m od unutarnjeg oslonca armira se s Ø8/17 cm, a ostalo Ø8/20.

2. Slučaj

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{6,03}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,076 \rightarrow \omega_1 = 0,079$$

$$\zeta = 0,960$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,960 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 6,03 = 124,59 \text{ kNm}$$

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

$$\omega_1 = \frac{12,06}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,151 \rightarrow \omega_1 = 0,153$$

$$\zeta = 0,921$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,921 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 12,06 = 239,06 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluje:

$$w = (20,71 + 4,81) + 0,3 \cdot 5,50 = 27,17 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,2}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cr}} + \frac{w \cdot l_{cr}}{2}$$

$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 \cdot (124,59 + 239,06)}{4,95} + \frac{27,17 \cdot 4,95}{2} = 140,71 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 809,79 \text{ kN}$$

$$140,71 \text{ kN} < 809,79 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,5 \cdot 2}{49,5 \cdot 0,0010} = 20,19 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$140,71 \text{ kN} < 0,3 \cdot 809,79 = 242,94 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8, m = 2$ ($A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 20,19 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{20,19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 115,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$140,71 \text{ kN} > 115,13 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{140,71} \cdot 1,2 = 16,52 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 16 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

Proračun $V_{Rd,s}$ za s:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{16} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 145,28 \text{ kN}$$

$$140,71 \text{ kN} > 145,28 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura za vanjski oslonac: **Ø8/16 cm**

Proračun udaljenosti x:

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{\frac{1}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{\min}$$

$$140,71 - 4,81 \cdot x - \frac{(20,71 + 0,3 \cdot 5,50)}{2,75} \cdot \frac{x^2}{2} = 115,13$$

$$4,07 x^2 + 4,81 x - 25,58 = 0$$

$$x = 1,98 \text{ m}$$

Cijela greda armira se s Ø8/16 cm.

6.6.3. Greda POZ 316 - 318 - 316

1. Slučaj

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{14,73}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,185 \rightarrow \omega_1 = 0,189$$

$$\zeta = 0,903$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,903 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 14,73 = 286,28 \text{ kNm}$$

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{9,42}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,118 \rightarrow \omega_1 = 0,118$$

$$\zeta = 0,939$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,939 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 9,42 = 190,38 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluje:

$$w = (20,71 + 4,81) + 0,3 \cdot 5,50 = 27,17 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,1}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cr}} + \frac{w \cdot l_{cr}}{2}$$
$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 \cdot (286,28 + 190,38)}{4,95} + \frac{27,17 \cdot 4,95}{2} = 163,54 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 35 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 809,79 \text{ kN}$$

$$163,54 \text{ kN} < 809,79 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,5 \cdot 2}{49,5 \cdot 0,0010} = 21,19 \text{ cm}$$

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$163,54 \text{ kN} < 0,3 \cdot 809,79 = 242,94 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8, m = 2 (A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2), s_{l,max} = 20,19 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{20,19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 115,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$163,54 \text{ kN} > 115,13 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{163,54} \cdot 1,2 = 14,21 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 14 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

Proračun $V_{Rd,s}$ za s:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{14} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 166,03 \text{ kN}$$

$$163,54 \text{ kN} < 166,03 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura za unutarnji oslonac: **$\emptyset 8/14 \text{ cm}$**

Proračun udaljenosti x:

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{1} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{\min}$$

$$163,54 - 4,81 \cdot x - \frac{(20,71 + 0,3 \cdot 5,50)}{2,75} \cdot \frac{x^2}{2} = 115,13$$

$$4,07 x^2 + 4,81 x - 48,41 = 0$$

$$x = 2,91 \text{ m}$$

Cijela greda armira se s $\emptyset 8/14 \text{ cm}$.

2. Slučaj

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{9,42}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,118 \rightarrow \omega_1 = 0,118$$
$$\zeta = 0,939$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,939 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 9,42 = 190,38 \text{ kNm}$$

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{15,71}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,197 \rightarrow \omega_1 = 0,202$$
$$\zeta = 0,896$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,896 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 16,08 = 302,96 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluje:

$$w = (20,71 + 4,81) + 0,3 \cdot 5,50 = 27,17 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,2}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cr}} + \frac{w \cdot l_{cr}}{2}$$
$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 \cdot (190,38 + 302,96)}{4,95} + \frac{27,17 \cdot 4,95}{2} = 166,91 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 809,79 \text{ kN}$$

$$166,91 \text{ kN} < 809,79 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{1,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{1,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,5 \cdot 2}{49,5 \cdot 0,0010} = 21,19 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$166,91 \text{ kN} < 0,3 \cdot 809,79 = 242,94 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8$, $m = 2$ ($A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 20,19 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{20,19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 115,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$166,91 \text{ kN} > 115,13 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{166,91} \cdot 1,2 = 13,93 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **$s = 13 \text{ cm}$**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

Proračun $V_{Rd,s}$ za s :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{12} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 178,80 \text{ kN}$$

$$166,91 \text{ kN} < 178,80 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura za vanjski oslonac: **$\emptyset 8/13 \text{ cm}$**

Proračun udaljenosti x :

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{\frac{1}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{\min}$$

$$166,91 - 4,81 \cdot x - \frac{(20,71 + 0,3 \cdot 5,50)}{2,75} \cdot \frac{x^2}{2} = 115,13$$

$$4,07 x^2 + 4,81 x - 51,78 = 0$$

$$x = 3,02 \text{ m}$$

Cijela greda armira se s $\emptyset 8/13$ cm.

6.6.4. Greda POZ 216 - 218 - 216

1. Slučaj

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{16,99}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,212 \rightarrow \omega_1 = 0,218$$

$$\zeta = 0,888$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,888 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 16,99 = 324,71 \text{ kNm}$$

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{12,57}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,158 \rightarrow \omega_1 = 0,162$$

$$\zeta = 0,917$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,917 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 12,57 = 248,08 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluje:

$$w = (20,71 + 4,81) + 0,3 \cdot 5,50 = 27,17 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,1}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cr}} + \frac{w \cdot l_{cr}}{2}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 \cdot (324,71 + 248,08)}{4,95} + \frac{27,17 \cdot 4,95}{2} = 182,96 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 35 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{\left(1,2 + \frac{1}{1,2}\right)} = 809,79 \text{ kN}$$

$$182,96 \text{ kN} < 809,79 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,5 \cdot 2}{49,5 \cdot 0,0010} = 21,19 \text{ cm}$$

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$182,96 \text{ kN} < 0,3 \cdot 809,79 = 242,94 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8$, $m = 2$ ($A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 20,19 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{20,19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 115,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$182,96 \text{ kN} > 115,13 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{182,96} \cdot 1,2 = 12,70 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **$s = 12 \text{ cm}$**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

Proračun $V_{Rd,s}$ za s:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{12} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 193,70 \text{ kN}$$

$$182,96 \text{ kN} < 193,70 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura za unutarnji oslonac: $\emptyset 8/12 \text{ cm}$

Proračun udaljenosti x:

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{\frac{1}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{\min}$$

$$181,91 - 4,81 \cdot x - \frac{(20,71 + 0,3 \cdot 5,50)}{2,75} \cdot \frac{x^2}{2} = 115,13$$

$$4,07 x^2 + 4,81 x - 66,78 = 0$$

$$x = 3,50 \text{ m}$$

Cijela greda armira se s $\emptyset 8/12 \text{ cm}$.

2. Slučaj

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{12,57}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,158 \rightarrow \omega_1 = 0,162$$

$$\zeta = 0,917$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,917 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 12,57 = 248,08 \text{ kNm}$$

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{18,47}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,232 \rightarrow \omega_1 = 0,236$$

$$\zeta = 0,879$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,879 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 18,47 = 349,42 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluje:

$$w = (20,71 + 4,81) + 0,3 \cdot 5,50 = 27,17 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,2}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cr}} + \frac{w \cdot l_{cr}}{2}$$

$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 \cdot (248,08 + 349,42)}{4,95} + \frac{27,17 \cdot 4,95}{2} = 187,95 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 809,79 \text{ kN}$$

$$187,95 \text{ kN} < 809,79 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,5 \cdot 2}{49,5 \cdot 0,0010} = 21,19 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$187,95 \text{ kN} < 0,3 \cdot 809,79 = 242,94 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8, m = 2$ ($A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 20,19 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{20,19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 115,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$187,95 \text{ kN} > 115,13 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \operatorname{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{187,95} \cdot 1,2 = 12,37 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 12 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

Proračun $V_{Rd,s}$ za s:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \operatorname{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{12} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 193,70 \text{ kN}$$

$$187,95 \text{ kN} < 193,70 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura za vanjski oslonac: **Ø8/12 cm**

Proračun udaljenosti x:

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{2} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{\min}$$

$$187,95 - 4,81 \cdot x - \frac{(20,71 + 0,3 \cdot 5,50)}{2,75} \cdot \frac{x^2}{2} = 115,13$$

$$4,07 x^2 + 4,81 x - 72,83 = 0$$

$$x = 3,68 \text{ m}$$

Cijela greda armira se s Ø8/12 cm.

6.6.5. Greda POZ 116 - 118 - 116

1. Slučaj

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{16,99}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,213 \rightarrow \omega_1 = 0,218$$
$$\zeta = 0,888$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,888 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 16,99 = 324,71 \text{ kNm}$$

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{12,57}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,158 \rightarrow \omega_1 = 0,162$$
$$\zeta = 0,917$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,917 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 12,57 = 248,08 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluje:

$$w = (20,71 + 4,81) + 0,3 \cdot 5,50 = 27,17 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,1}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cr}} + \frac{w \cdot l_{cr}}{2}$$
$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 \cdot (324,71 + 248,08)}{4,95} + \frac{27,17 \cdot 4,95}{2} = 182,96 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 35 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 809,79 \text{ kN}$$

$$182,96 \text{ kN} < 809,79 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,5 \cdot 2}{49,5 \cdot 0,0010} = 20,19 \text{ cm}$$

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$182,96 \text{ kN} < 0,3 \cdot 809,79 = 242,94 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8, m = 2$ ($A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 20,19 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{20,19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 115,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$182,96 \text{ kN} > 115,13 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura za:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{182,96} \cdot 1,2 = 12,70 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 12 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

Proračun $V_{Rd,s}$ za s:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{12} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 193,70 \text{ kN}$$

$$175,58 \text{ kN} < 178,80 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura za unutarnji oslonac: $\emptyset 8/12$ cm

Proračun udaljenosti x:

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{\frac{l}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{min}$$
$$175,58 - 4,81 \cdot x - \frac{(20,71 + 0,3 \cdot 5,50)}{2,75} \cdot \frac{x^2}{2} = 115,13$$
$$4,07 x^2 + 4,81 x - 60,45 = 0$$
$$x = 3,31 \text{ m}$$

Cijela greda armira se s $\emptyset 8/13$ cm.

2. Slučaj

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{12,57}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,158 \rightarrow \omega_1 = 0,162$$
$$\zeta = 0,917$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,917 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 12,57 = 248,08 \text{ kNm}$$

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

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{18,47}{35 \cdot 49,5} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,232 \rightarrow \omega_1 = 0,236$$
$$\zeta = 0,879$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,879 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 18,47 = 349,42 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluje:

$$w = (20,71 + 4,81) + 0,3 \cdot 5,50 = 27,17 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,2}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cr}} + \frac{w \cdot l_{cr}}{2}$$
$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 \cdot (248,08 + 349,42)}{4,95} + \frac{27,17 \cdot 4,95}{2} = 187,95 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 809,79 \text{ kN}$$

$$187,95 \text{ kN} < 809,79 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,5 \cdot 2}{49,5 \cdot 0,0010} = 21,29 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$187,95 \text{ kN} < 0,3 \cdot 809,79 = 242,94 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8, m = 2$ ($A_{sw}^1 = 0,5 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 20,19 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{20,19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 115,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$187,95 \text{ kN} > 115,13 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{187,95} \cdot 1,2 = 12,37 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 12 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

Proračun $V_{Rd,s}$ za s:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 2}{12} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 193,70 \text{ kN}$$

$$187,95 \text{ kN} < 193,70 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura za vanjski oslonac: **Ø8/12 cm**

Proračun udaljenosti x:

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{\frac{1}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{\min}$$

$$187,95 - 4,81 \cdot x - \frac{(20,71 + 0,3 \cdot 5,50)}{2,75} \cdot \frac{x^2}{2} = 115,13$$

$$4,07 x^2 + 4,81 x - 72,82 = 0$$

$$x = 3,68 \text{ m}$$

Cijela greda armira se s Ø8/12 cm.

6.7. Kritično područje grede

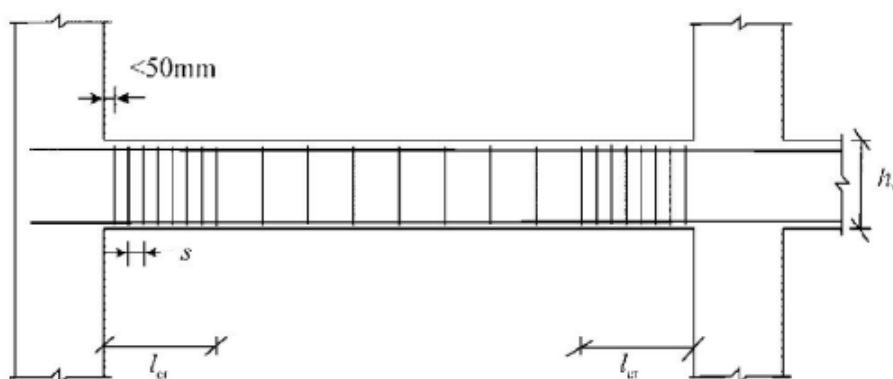
Kritičnim područjem smatra se područje presjeka grede do duljine l_{cr} gdje se greda spaja sa stupom zbog otvaranja plastičnih zglobova prilikom potresa, odnosno jer može doći do plastičnog deformiranja. [9]

Za DCM: $l_{cr} = h_w = 55 \text{ cm}$

gdje je:

l_{cr} – kritična duljina grede

h_w – visina grede



Slika 22. Poprečna armatura u kritičnom području grede [9]

Greda POZ 516 – 518 – 516

Zahtjev lokalne duktilnosti biti će zadovoljen ukoliko se unutar kritičnih područja grede primijenjene odredbe da se u tlačno područje postavlja uzdužna armatura koja nije manja od polovice količine stvarne vlačne armature, uz proračunsku potrebnu tlačnu armaturu te da koeficijent armiranja vlačnom armaturom ne prelazi ρ_{max} :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\phi} \cdot \epsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (53)$$

gdje je:

ρ' – koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \quad (54)$$

$$\rho' = \frac{4,02}{35 \cdot 49,5} = 0,0023$$

$\epsilon_{sy,d}$ – proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

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

μ_ϕ – zakrivljenost koja se proračuna ovisno o uvjetu:

$$T_1 \geq T_c \rightarrow 0,64 \text{ s} > 0,4 \text{ s}$$

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad (55)$$

gdje je:

q_0 – osnovna vrijednost faktora ponašanja

T_1 – osnovni period oscilacije zgrade

T_c – period na gornjoj granici konstantnog dijela spektra

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,9 - 1 = 6,8$$

U kritičnim područjima a uzdužnom armatrom od čelika (razreda B), faktor duktilnosti s obzirom na zakrivljenost mora biti najmanje 1,5 puta veći:

$$\mu_\phi = 1,5 \cdot (2 \cdot q_0 - 1) = 1,5 \cdot (2 \cdot 3,9 - 1) = 10,20$$

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0023 + \frac{0,0018}{10,20 \cdot 0,002174} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0061$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom ρ uzduž cijele grede mora biti veći od najmanje vrijednosti ρ_{\min} , a ona je određena izrazom:

$$\rho_{\min} = 0,5 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \quad (56)$$

$$\rho_{\min} = 0,5 \cdot \left(\frac{2,9}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{7,70}{35 \cdot 49,5} = 0,0044$$

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max} \quad (57)$$

$$0,0029 < 0,0044 < 0,0061$$

Uvjet je zadovoljen.

Udaljenost prve spone od rubnog presjeka grede ne smije biti manja od 50 mm. Poprečna armatura u kritičnom područje grede mora zadovoljiti da promjer spona nije manji od (d_{bw}) 6 mm, dok se razmak spona s dobije:

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} \\ 24 \cdot d_{bw} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} \end{cases} \quad (58)$$

gdje je:

d_{bw} – promjer spone (u mm)

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

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 137,5 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 6 = 144 \text{ mm} = 137,5 \text{ mm} = 13,75 \text{ cm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 18 = 144 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja odabrana poprečna armatura je $\emptyset 8/13,75$ cm, na preostalom dijelu grede $\emptyset 8/18$ cm te na sredini $\emptyset 8/20$ cm.

Greda POZ 416 – 418 – 416

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6,03}{35 \cdot 49,5} = 0,0035$$

Proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

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

Zakrivljenost koja se proračuna ovisno o uvjetu:

$$T_1 \geq T_c \rightarrow 0,64 s > 0,4 s$$

$$\mu_\phi = 1,5 \cdot (2 \cdot q_0 - 1) = 1,5 \cdot (2 \cdot 3,9 - 1) = 10,20$$

Koeficijent armiranja ρ_{\max} :

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0035 + \frac{0,0018}{10,20 \cdot 0,002174} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0072$$

Koeficijent armiranja najmanje vrijednosti ρ_{\min} :

$$\rho_{\min} = 0,5 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,5 \cdot \left(\frac{2,9}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{10,46}{35 \cdot 49,5} = 0,0060$$

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

$$0,0029 < 0,0060 < 0,0072$$

Uvjet je zadovoljen.

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 137,5 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 6 = 144 \text{ mm} = 128 \text{ mm} = 12,8 \text{ cm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 15 = 128 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja odabrana poprečna armatura je $\emptyset 8/12,8$ cm, na preostalom dijelu grede $\emptyset 8/16$ cm te na sredini $\emptyset 8/20$ cm.

Greda POZ 316 – 318 – 316

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{9,42}{35 \cdot 49,5} = 0,0054$$

Proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

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

Zakrivljenost koja se proračuna ovisno o uvjetu:

$$T_1 \geq T_c \rightarrow 0,64 s > 0,4 s$$

$$\mu_\phi = 1,5 \cdot (2 \cdot q_0 - 1) = 1,5 \cdot (2 \cdot 3,9 - 1) = 10,20$$

Koeficijent armiranja ρ_{\max} :

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0054 + \frac{0,0018}{10,20 \cdot 0,002174} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0092$$

Koeficijent armiranja od najmanje vrijednosti ρ_{\min} :

$$\rho_{\min} = 0,5 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,5 \cdot \left(\frac{2,9}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{14,73}{35 \cdot 49,5} = 0,0085$$

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

$$0,0029 < 0,0085 < 0,0092$$

Uvjet je zadovoljen.

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 137,5 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 6 = 144 \text{ mm} = 104 \text{ mm} = 10,4 \text{ cm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 13 = 104 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja odabrana poprečna armatura je $\emptyset 8/10,4$ cm, a na preostalom dijelu grede $\emptyset 8/13$ cm te na sredini $\emptyset 8/20$ cm.

Greda POZ 216 – 218 – 216

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{12,57}{35 \cdot 49,5} = 0,0073$$

Proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

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

Zakrivljenost koja se proračuna ovisno o uvjetu:

$$T_1 \geq T_c \rightarrow 0,64 s > 0,4 s$$

$$\mu_\phi = 1,5 \cdot (2 \cdot q_0 - 1) = 1,5 \cdot (2 \cdot 3,9 - 1) = 10,20$$

Koeficijent armiranja ρ_{\max} :

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0073 + \frac{0,0018}{10,20 \cdot 0,002174} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0110$$

Koeficijent armiranja od najmanje vrijednosti ρ_{\min} :

$$\rho_{\min} = 0,5 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,5 \cdot \left(\frac{2,9}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{16,99}{35 \cdot 49,5} = 0,0098$$

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

$$0,0029 < 0,0098 < 0,0110$$

Uvjet je zadovoljen.

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 137,5 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 6 = 144 \text{ mm} = 9,6 \text{ cm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja odabrana poprečna armatura je $\emptyset 8/9,6 \text{ cm}$, na preostalom dijelu grede $\emptyset 8/12 \text{ cm}$ te na sredini $\emptyset 8/20 \text{ cm}$.

Greda POZ 116 – 118 – 116

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{12,57}{35 \cdot 49,5} = 0,0073$$

Proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

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

Zakrivljenost koja se proračuna ovisno o uvjetu:

$$T_1 \geq T_c \rightarrow 0,64 s > 0,4 s$$

$$\mu_\phi = 1,5 \cdot (2 \cdot q_0 - 1) = 1,5 \cdot (2 \cdot 3,9 - 1) = 10,20$$

Koeficijent armiranja ρ_{\max} :

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0073 + \frac{0,0018}{10,20 \cdot 0,002174} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0110$$

Koeficijent armiranja od najmanje vrijednosti ρ_{\min} :

$$\rho_{\min} = 0,5 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,5 \cdot \left(\frac{2,9}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{16,99}{35 \cdot 49,5} = 0,0098$$

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

$$0,0029 < 0,0098 < 0,0110$$

Uvjet je zadovoljen.

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 137,5 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 6 = 144 \text{ mm} = 9,6 \text{ cm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja odabrana poprečna armatura je $\emptyset 8/9,6 \text{ cm}$, na preostalom dijelu grede $\emptyset 8/12 \text{ cm}$ te na sredini $\emptyset 8/20 \text{ cm}$.

7. DIMENZIONIRANJE STUPOVA OKVIRA

7.1. Dimenzioniranje stupova okvira na moment savijanja

U okvirnim konstrukcijama s dva ili više katova potrebno je ispuniti uvjet da je zbroj svih momenata nosivosti stupova koji su priključeni u nekom čvoru veći od zbroja momenata greda koji su priključeni u istom čvoru, odnosno da su momenti stupova veći za 30% od onih u gredama priključenih u istom čvoru. [8]

$$\Sigma M_{Rc} \geq 1,3 \cdot \Sigma M_{Rb} \quad (59)$$

Navedeni izraz mora biti ispunjen za pozitivan i negativan moment greda, uz momente stupova koji su uvijek suprotni momentima greda. Također, pravilo mora biti ispunjeno u dvije vertikalne ravnine ako su stupovi dio okvira u tim ravninama. [8]

Postoje tri iznimke:

1. Ne provodi se za najvišu razinu višekatnih zgrada
2. U ravninskim okvirima s najmanje 4 stupa pravilo se zadovoljava u 3/4 ukupnog broja stupova
3. Ne provodi se u donjem katu dvokatnih zgrada ako je $v_d \leq 0,3$

U proračunu ΣM_{Rb} potrebno je u obzir uzeti da armatura ploče unutar sudjelujuće širine pojasnice doprinosi nosivosti grede na savijanje.

Za svaki smjer potresnog djelovanja potrebno je proračunati omjer (α) zbroja proračunskog momenta savijanja na jednom kraju potresne veze i većeg momenta savijanja na drugom kraju gdje nastaje plastični zglob, a oba momenta uzimaju se s apsolutnom vrijednošću:

(60)

$$\alpha_{CD} = 1,30 \cdot \frac{|M_{Rd}^l| + |M_{Rd}^r|}{|M_{Rc}^o| + |M_{Rc}^u|}$$

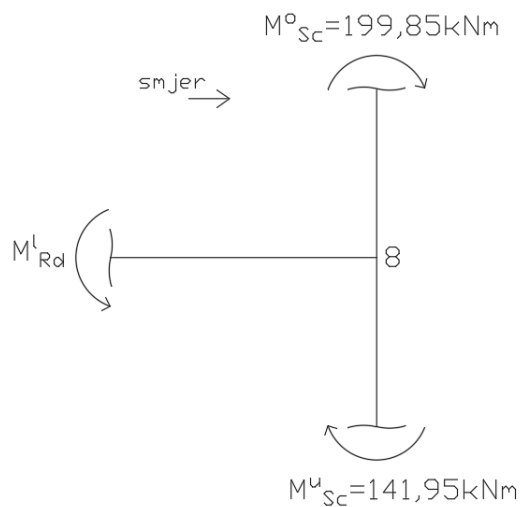
gdje su:

M_{Rd}^l, M_{Rd}^r – stvarni momenti otpornosti krajeva greda proračunavaju se iz stvarne ploštine vlačne armature i proračunske granice popuštanja f_{yd}

M_{Sc}^o, M_{Sc}^u – momenti stupa određeni proračunom za potresnu kombinaciju uzimajući u obzir učinke drugog reda

ČVOR 8 (5) - POZ 100

Smjer 1:



Slika 23. Shema čvora 8 (5) za smjer 1

Odabrana armatura u gornjoj zoni za vanjske ležajeve: $A_{s1} = 18,47 \text{ cm}^2$ (3Ø28)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.6. (1. slučaj):

$$M^l_{Rd} = 324,71 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{CD,1} = 1,30 \cdot \frac{|M^l_{Rd}|}{|M^o_{Sc}| + |M^u_{Sc}|} = 1,3 \cdot \frac{324,71}{199,85 + 141,95} = 1,24$$

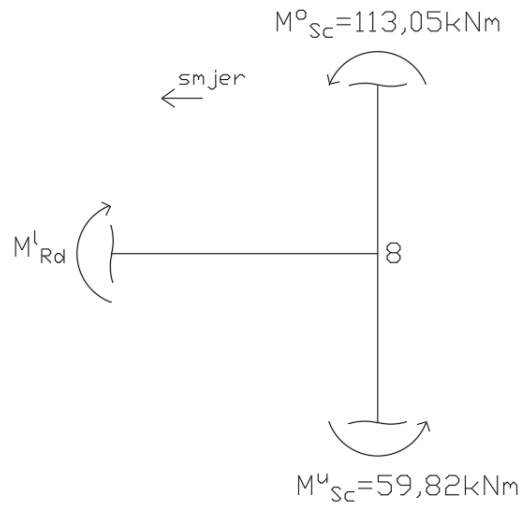
Prema proračunu prema sposobnosti nosivosti, proračunski momenti koji djeluju na stup popravljani su proračunom:

$$M_{Ed1,CD} = \alpha_{CD} \cdot M_{Rc} \quad (61)$$

$$M^o_{S1CD} = 1,24 \cdot 199,85 = 247,81 \text{ kNm}$$

$$M^u_{S1CD} = 1,24 \cdot 141,95 = 176,02 \text{ kNm}$$

Smjer 2:



Slika 24. Shema čvora 8 (5) za smjer 2

Odabrana armatura u donjoj zoni za vanjske ležajeve: $A_{s1} = 12,57 \text{ cm}^2$ ($4\emptyset 20$)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.6. (2. slučaj):

$$M^l_{Rd} = 248,08 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{CD,2} = 1,30 \cdot \frac{|M^l_{Rd}|}{|M^o_{Sc}| + |M^u_{Sc}|} = 1,3 \cdot \frac{248,08}{113,05 + 59,82} = 1,87$$

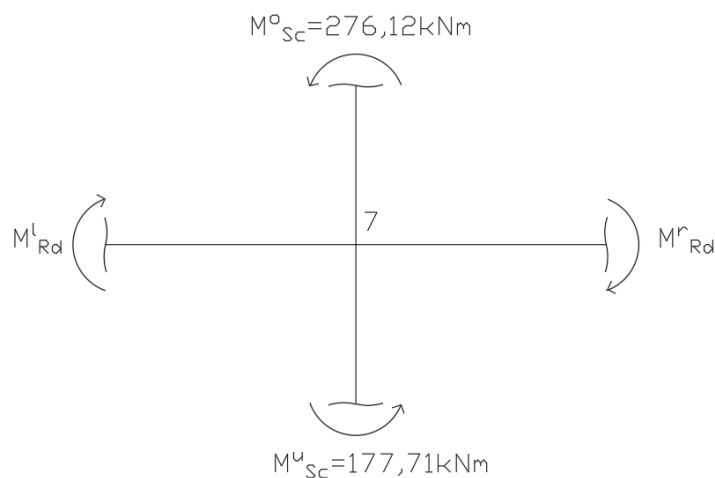
Proračunski momenti koji djeluju na stup popravljani proračunom:

$$M^o_{S2CD} = 1,87 \cdot 113,05 = 211,40 \text{ kNm}$$

$$M^u_{S2CD} = 1,87 \cdot 59,82 = 111,86 \text{ kNm}$$

ČVOR 7 (6) - POZ 100

Zbog simetrije nije potrebno raditi proračun u dva smjera.



Slika 25. Shema čvora 7 (6)

Odabrana armatura u donjoj zoni za unutarnje ležajeve: $A_{s1} = 12,57 \text{ cm}^2$ (4Ø20)

Odabrana armatura u gornjoj zoni za unutarnje ležajeve: $A_{s1} = 18,47 \text{ cm}^2$ (3Ø28)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.6. (1. i 2 slučaj):

$$M_{Rd}^l = 248,08 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd}^r = 324,71 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{CD,1} = \alpha_{CD,2} = 1,30 \cdot \frac{|M_{Rd}^l| + |M_{Rd}^r|}{|M_{Sc}^o| + |M_{Sc}^u|} = 1,30 \cdot \frac{248,08 + 324,71}{276,12 + 177,71} = 1,64$$

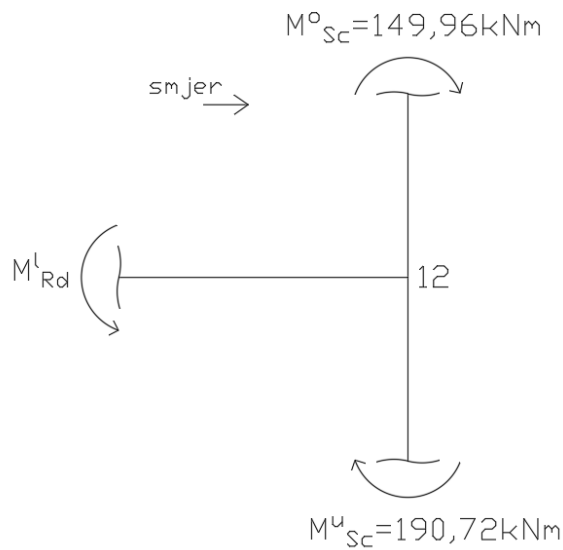
Proračunski momenti koji djeluju na stup popravljani proračunom:

$$M_{S1CD}^o = 1,64 \cdot 276,12 = 452,84 \text{ kNm}$$

$$M_{S1CD}^u = 1,64 \cdot 177,71 = 291,44 \text{ kNm}$$

ČVOR 12 (9) - POZ 200

Smjer 1:



Slika 26. Shema čvora 12 (9) za smjer 1

Odabrana armatura u gornjoj zoni za vanjske ležajeve: $A_{s1} = 18,47 \text{ cm}^2$ (3Ø28)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.6. (1. slučaj):

$$M^l_{Rd} = 324,71 \text{ kNm}$$

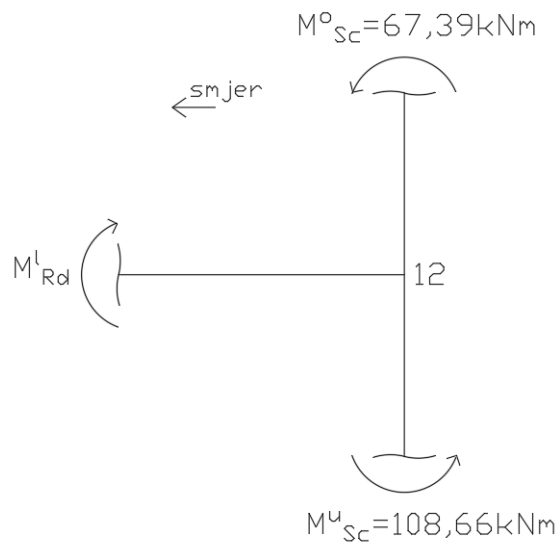
$$\alpha_{CD,2} = 1,30 \cdot \frac{|M^l_{Rd}|}{|M^o_{Sc}| + |M^u_{Sc}|} = 1,30 \cdot \frac{324,71}{149,96 + 190,72} = 1,24$$

Proračunski momenti koji djeluju na stup popravljani proračunom:

$$M^o_{S1CD} = 1,24 \cdot 149,96 = 185,95 \text{ kNm}$$

$$M^u_{S1CD} = 1,24 \cdot 190,72 = 236,49 \text{ kNm}$$

Smjer 2:



Slika 27. Shema čvora 12 (9) za smjer 2

Odabrana armatura u donjoj zoni za vanjske ležajeve: $A_{s1} = 12,57 \text{ cm}^2$ (4 \emptyset 20)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.6. (2. slučaj):

$$M^l_{Rd} = 248,08 \text{ kNm}$$

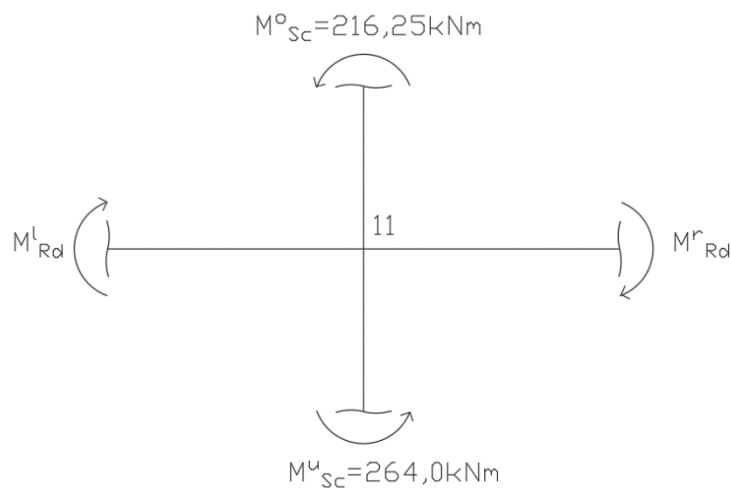
$$\alpha_{CD,2} = 1,30 \cdot \frac{|M^l_{Rd}|}{|M^o_{Sc}| + |M^u_{Sc}|} = 1,3 \cdot \frac{248,08}{67,39 + 108,66} = 1,83$$

Proračunski momenti koji djeluju na stup popavljeni proračunom:

$$M^o_{S2CD} = 1,83 \cdot 67,39 = 123,32 \text{ kNm}$$

$$M^u_{S2CD} = 1,83 \cdot 108,66 = 198,85 \text{ kNm}$$

ČVOR 11 (10) - POZ 200



Slika 28. Shema čvora 10 (11)

Odabrana armatura u donjoj zoni za unutarnje ležajeve: $A_{s1} = 12,57 \text{ cm}^2$ (4 \emptyset 20)

Odabrana armatura u gornjoj zoni za unutarnje ležajeve: $A_{s1} = 18,47 \text{ cm}^2$ (3 \emptyset 28)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.6. (1. i 2 slučaj):

$$M_{Rd}^l = 248,08 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd}^r = 324,71 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{CD,1} = \alpha_{CD,2} = 1,30 \cdot \frac{|M_{Rd}^l| + |M_{Rd}^r|}{|M_{Sc}^o| + |M_{Sc}^u|} = 1,30 \cdot \frac{248,08 + 324,71}{216,25 + 264,0} = 1,55$$

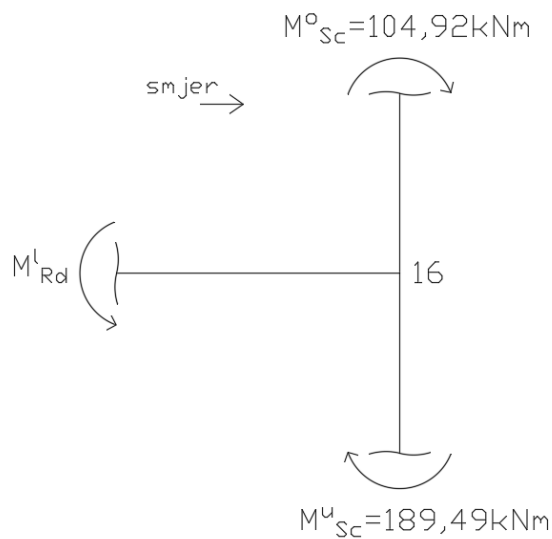
Proračunski momenti koji djeluju na stup popravljene proračunom:

$$M_{S1CD}^o = 1,55 \cdot 216,25 = 335,19 \text{ kNm}$$

$$M_{S1CD}^u = 1,55 \cdot 264,0 = 409,20 \text{ kNm}$$

ČVOR 16 (13) - POZ 300

Smjer 1:



Slika 29. Shema čvora 16 (13) za smjer 1

Odabrana armatura u gornjoj zoni za vanjske ležajeve: $A_{s1} = 15,71 \text{ cm}^2$ ($5\emptyset 20$)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.6. (1. slučaj):

$$M^l_{Rd} = 286,28 \text{ kNm}$$

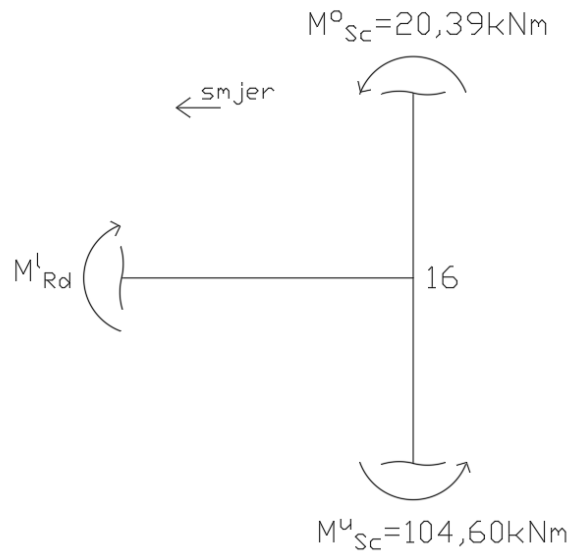
$$\alpha_{CD,2} = 1,30 \cdot \frac{|M^l_{Rd}|}{|M^o_{Sc}| + |M^u_{Sc}|} = 1,30 \cdot \frac{286,28}{104,92 + 189,49} = 1,26$$

Proračunski momenti koji djeluju na stup popravljani proračunom:

$$M^o_{S1CD} = 1,26 \cdot 104,92 = 132,20 \text{ kNm}$$

$$M^u_{S1CD} = 1,26 \cdot 189,49 = 234,97 \text{ kNm}$$

Smjer 2:



Slika 30. Shema čvora 16 (13) za smjer 2

Odabrana armatura u donjoj zoni za vanjske ležajeve: $A_{s1} = 9,42 \text{ cm}^2$ ($3\emptyset 20$)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.6. (2. slučaj):

$$M_{Rd}^l = 190,38 \text{ kNm}$$

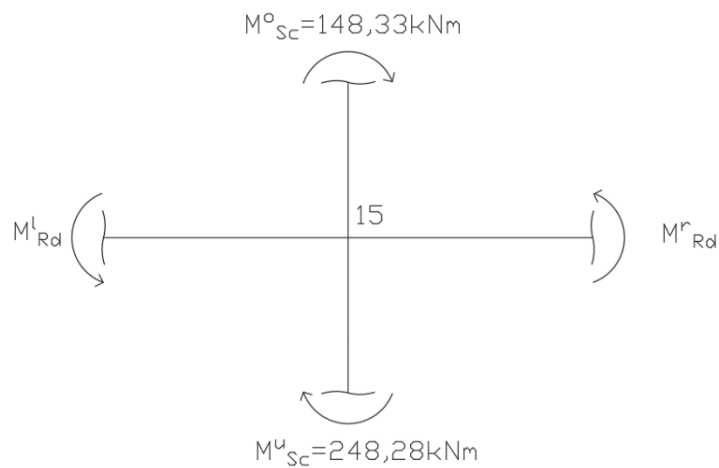
$$\alpha_{CD,2} = 1,30 \cdot \frac{|M_{Rd}^l|}{|M_{Sc}^o| + |M_{Sc}^u|} = 1,3 \cdot \frac{190,38}{20,39 + 104,60} = 2,56$$

Proračunski momenti koji djeluju na stup popavljeni proračunom:

$$M_{S2CD}^o = 2,56 \cdot 20,39 = 52,20 \text{ kNm}$$

$$M_{S2CD}^u = 2,56 \cdot 104,60 = 267,78 \text{ kNm}$$

ČVOR 15 (14) - POZ 300



Slika 31. Shema čvora 15 (14)

Odabrana armatura u donjoj zoni za unutarnje ležajeve: $A_{s1} = 9,42 \text{ cm}^2$ (3Ø20)

Odabrana armatura u gornjoj zoni za unutarnje ležajeve: $A_{s1} = 14,73 \text{ cm}^2$ 3Ø25)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.6. (1. i 2 slučaj):

$$M_{Rd}^l = 190,38 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd}^r = 286,28 \text{ kNm}$$

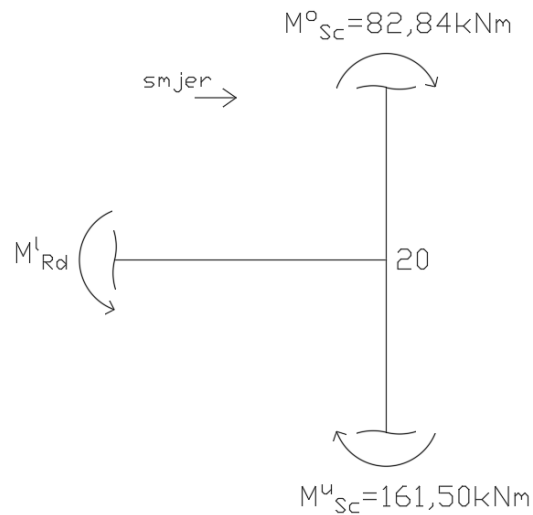
$$\alpha_{CD,1} = \alpha_{CD,2} = 1,30 \cdot \frac{|M_{Rd}^l| + |M_{Rd}^r|}{|M_{Sc}^o| + |M_{Sc}^u|} = 1,30 \cdot \frac{190,38 + 286,28}{148,33 + 248,28} = 1,56$$

Proračunski momenti koji djeluju na stup popravljeni proračunom:

$$M_{S1CD}^o = 1,56 \cdot 148,33 = 231,39 \text{ kNm}$$

$$M_{S1CD}^u = 1,56 \cdot 248,28 = 387,32 \text{ kNm}$$

ČVOR 20 (17) - POZ 400



Slika 32. Shema čvora 20 (17) za smjer 1

Odabrana armatura u gornjoj zoni za vanjske ležajeve: $A_{s1} = 12,06 \text{ cm}^2$ (6Ø16)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.6. (1. slučaj):

$$M^l_{Rd} = 239,06 \text{ kNm}$$

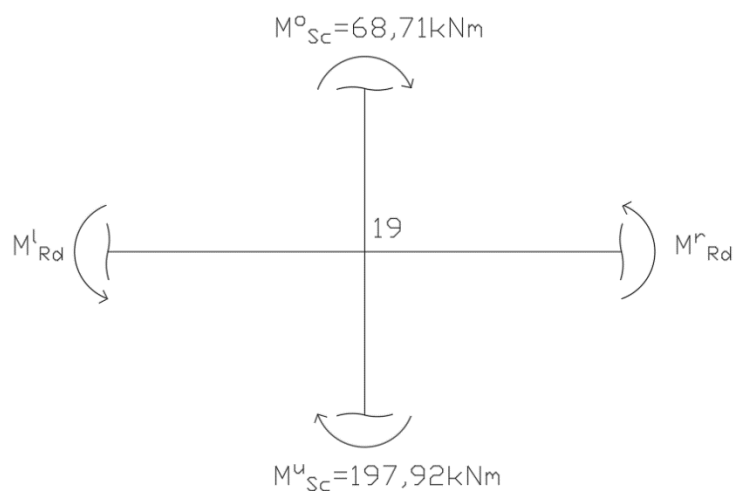
$$\alpha_{CD,2} = 1,30 \cdot \frac{|M^l_{Rd}|}{|M^o_{Sc}| + |M^u_{Sc}|} = 1,30 \cdot \frac{239,27}{82,84 + 161,50} = 1,27$$

Proračunski momenti koji djeluju na stup popavljeni proračunom:

$$M^o_{S1CD} = 1,27 \cdot 82,84 = 105,21 \text{ kNm}$$

$$M^u_{S1CD} = 1,27 \cdot 161,50 = 205,11 \text{ kNm}$$

ČVOR 19 (18) - POZ 400



Slika 33. Shema čvora 19 (18)

Odabrana armatura u donjoj zoni za unutarnje ležajeve: $A_{s1} = 6,03 \text{ cm}^2$ (3Ø16)

Odabrana armatura u gornjoj zoni za unutarnje ležajeve: $A_{s1} = 10,43 \text{ cm}^2$ (4Ø20)

Moment nosivosti dobiven iz poglavlja 6.5. (1. i 2 slučaj):

$$M^l_{Rd} = 124,59 \text{ kNm}$$

$$M^r_{Rd} = 209,22 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{CD,1} = \alpha_{CD,2} = 1,30 \cdot \frac{|M^l_{Rd}| + |M^r_{Rd}|}{|M^o_{Sc}| + |M^u_{Sc}|} = 1,30 \cdot \frac{124,59 + 209,22}{68,71 + 197,92} = 1,63$$

Proračunski momenti koji djeluju na stup popravljene proračunom:

$$M^o_{S1CD} = 1,63 \cdot 68,71 = 112,0 \text{ kNm}$$

$$M^u_{S1CD} = 1,63 \cdot 197,92 = 322,61 \text{ kNm}$$

7.2. Dimenzioniranje stupova na ekscentrični tlak

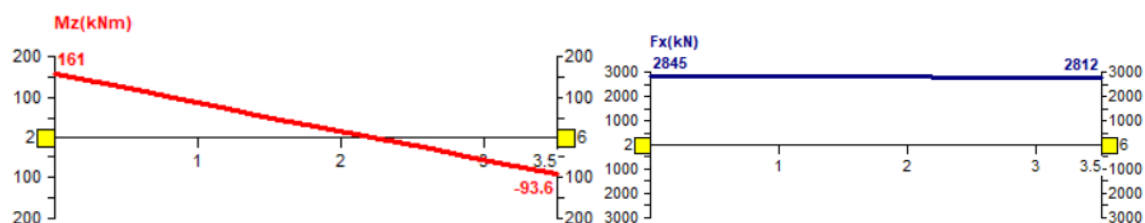
Proračun se provodi za najopterećeniji stup kao vitkog elementa. U obzir je potrebno uzeti učinke drugog reda, a također se ispituju 2 slučaja. Prvi slučaj je najveća uzdužna sila + pripadajući moment savijanja, dok je drugi slučaj najveći moment savijanja + pripadajuća uzdužna sila.

7.2.1. Stup IV/100

1. Slučaj

a) Stalna proračunska situacija:

Maksimalna uzdužna sila + pripadajući moment savijanja na dnu stupa. Kombinacija djelovanja koja je mjerodavna: stalno + uporabno (simetrično) + vjetar.



Slika 34. Vrijednost momenta savijanja i uzdužne tlačne sile u stupu IV/100 za trajnu proračunsku situaciju (1. slučaj)

$$M_{Ed}^I = 161 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2845 \text{ kN}$$

Koristi se metoda koja se temelji na nazivnoj zakrivljenosti:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \quad (62)$$

gdje je:

M_{0Ed} – moment savijanja po teoriji prvog reda uključujući i efekte imperfekcije

$$M_{0Ed} = M_{Ed}^I + |N_{Ed}| \cdot e_i \quad (63)$$

M_2 – nazivni moment teorije drugog reda

$$M_2 = |N_{Ed}| \cdot e_2 \quad (64)$$

U slučaju izoliranih stupova na strani smo sigurnosti ako za vrijednost ekscentriciteta (efekti imperfekcije) uzmemo:

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{546}{400} = 1,37 \text{ cm}$$

Moment savijanja po teoriji prvog reda:

$$M_{0Ed} = M_{Ed}^I + |N_{Ed}| \cdot e_i = 161 + 2845 \cdot 0,0137 = 199,83 \text{ kNm}$$

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} \quad (65)$$

gdje je:

c – faktor koji je ovisan o raspodjeli zakrivljenosti za konstantni poprečni presjek $c = 10$ ($\approx \pi^2$)

Zakrivljenost:

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} \quad (66)$$

gdje je:

K_r – korekcijski faktor ovisan o uzdužnom opterećenju ($K_r = 1,0$ na strani sigurnosti)

K_φ – faktor koji u obzir uzima puzanje betona

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1 \quad (67)$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} \quad (68)$$

$$\beta = 0,35 + \frac{2,0}{200} - \frac{37,79}{150} = 0,108$$

Efektivni koeficijent puzanja:

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \cdot \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} \quad (69)$$

M_{0Eqp} – moment prvog reda za nezovistalnu kombinaciju opterećenja ($g + 0,3 q$)

$$\varphi_{ef} = 2,8 \cdot \frac{0,043}{199,83} = 0,000603$$

$$K_\varphi = 1 + 0,108 \cdot 0,000603 = 1,0 = 1$$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{43,48}{21000} = 0,002070 = 2,070 \text{ ‰}$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{0,002070}{0,45 \cdot 0,495} = 0,009 \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,009 = 0,009 \text{ m}^{-1}$$

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,009 \cdot \frac{5,46^2}{10} = 0,0268 \text{ m} = 2,68 \text{ cm}$$

$$M_2 = |N_{Ed}| \cdot e_2 = 2845 \cdot 0,0268 = 76,25 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 199,83 + 76,25 = 286,08 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2845 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{28608}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,091$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-2845}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,517$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

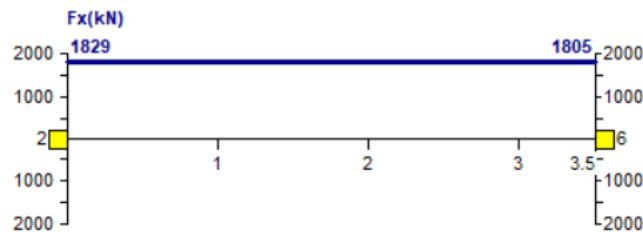
$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} \\ 0,003 \cdot A_c \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) - \text{za pravokune presjeke} \end{array} \right.$$

gdje je:

A_c – površina betonskog presjeka

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 2845}{43,48} = 9,81 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right. = 9,81 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija:



Slika 35. Vrijednost uzdužne tlačne sile u stupu IV/100 od potresne proračunske situacije

Moment savijanja u donjem presjeku stupa uzima se iz poglavlja 7.1., odnosno dimenzioniranja stupova na moment savijanja gdje je dobiven popravljani proračunski moment savijanja.

$$M_{Ed} = 339 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1829 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{33900}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,112$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1829}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,333$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,03$

$$A_{s1} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,03 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 50 \cdot 55 = 3,79 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,tot} = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 3,79 = 7,58 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura:

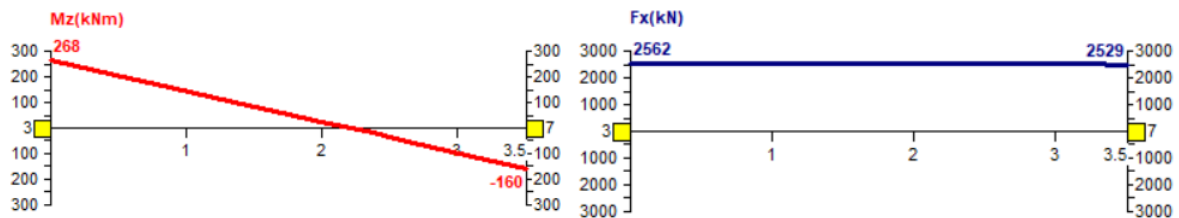
$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4Ø16 + 2x2Ø20** ($2 \cdot 8,04 + 2 \cdot 6,28 = 28,64 \text{ cm}^2$)

2. Slučaj

a) Stalna proračunska situacija:

Maksimalni moment savijanja + pripadajuća uzdužna sila u gornjem presjeku. Kombinacija djelovanja koja je mjerodavna: stalno + vjetar + uporabno (nesimetrično lijevo)



Slika 36. Vrijednosti momenta savijanja i uzdužne tlačne sile u stupu IV/100 od stalne proračunske situacije (2. slučaj)

$$M_{Ed}^I = 160 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 2529 \text{ kN}$$

$$M_{0Ed} = M_{Ed} + |N_{Ed}| \cdot e_i = 260 + 2529 \cdot 0,0137 = 194,52 \text{ kNm}$$

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \cdot \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} = 2,8 \cdot \frac{0,416}{170,02} = 0,0060$$

$$K_\varphi = 1 + 0,108 \cdot 0,0060 = 1,0 = 1$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,009 = 0,009 \text{ m}^{-1}$$

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} = 0,009 \cdot \frac{5,46^2}{10} = 0,0268 \text{ m} = 2,68 \text{ cm}$$

$$M_2 = |N_{Ed}| \cdot e_2 = 2529 \cdot 0,0268 = 67,78 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 194,52 + 67,78 = 262,30 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2529 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{26230}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,087$$

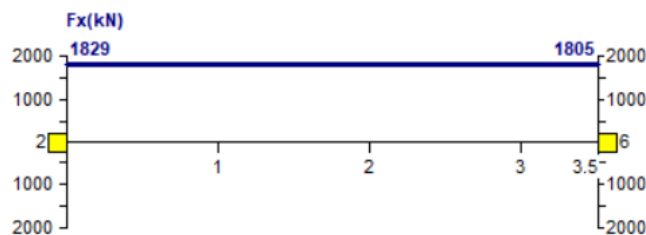
$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-2529}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,460$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 2529}{43,48} = 8,72 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right. = 8,72 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija



Slika 37. Vrijednost uzdužne tlačne sile u stupu IV/100 od potresne proračunske situacije

Moment savijanja u gornjem presjeku stupa uzima se iz poglavlja 7.1., odnosno dimenzioniranja stupova na moment savijanja gdje je dobiven popravljani proračunski moment.

$$M_{S1CD}^u = M_{Ed} = 291,44 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1805 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{29144}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,096$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1805}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,328$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4 \emptyset 16 + 2x2 \emptyset 20 (2 · 8,04 + 2 · 6,28 = 28,64 cm²)**

S obzirom da je utjecaj potresa puno veći za ovaj i za druge stupove, ovaj se postupak neće provoditi za ostale stupove nego samo na najopterećeniji.

7.2.2. Stup III/100

Vrijednosti momenta savijanja i uzdužne sile iščitane su iz odgovarajuće proračunske situacije iz programskog softvera StaadPRO.

a) Stalna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 167 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2107 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{16700}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,055$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-2107}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,338$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 110 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2077 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{11000}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,036$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-2077}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,378$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 2107}{43,48} = 7,27 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right. = 8,25 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 313,63 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1661 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{31363}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,104$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1661}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,302$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 176,02 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1637 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{17602}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,058$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1637}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,298$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4Ø16 + 2x2Ø20 (2 · 8,04 + 2 · 6,28 = 28,64 cm²)**

7.2.3. Stup III/200

a) Stalna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 121 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1671 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12100}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,040$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1671}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,304$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 133 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1638 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{13300}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,044$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1638}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,298$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 1671}{43,48} = 5,76 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right.$$

b) Potresna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 247,81 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1310 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{24781}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,082$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1310}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,238$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 236,49 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1286 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23649}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,078$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1286}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,234$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

$$A_{s,\min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4Ø16 + 2x2Ø20 (2 · 8,04 + 2 · 6,28 = 28,64 cm²)**

7.2.4. Stup IV/200

a) Stalna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 90,8 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2269 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9080}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,030$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-2269}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,413$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 104 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2236 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{10400}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,034$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-2236}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,407$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 2269}{43,48} = 7,83 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right. = 8,25 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 452,84 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1409 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{45284}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,150$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1409}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,256$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,07$

$$A_{s1} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,07 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 50 \cdot 55 = 8,85 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,tot} = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 8,85 = 17,7 \text{ cm}^2$$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 409,20 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1385 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{40920}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,135$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1385}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,252$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,03$

$$A_{s1} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,03 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 50 \cdot 55 = 3,79 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,tot} = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 3,79 = 7,58 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4Ø16 + 2x2Ø20** ($2 \cdot 8,04 + 2 \cdot 6,28 = 28,64 \text{ cm}^2$)

7.2.5. Stup III/300

a) Stalna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 88,30 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1236 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{8830}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,029$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1236}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,225$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 117 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1203 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{11700}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,039$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-2230}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,405$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 1236}{43,48} = 4,26 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right. = 8,25 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 185,95 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 982 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{18595}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,061$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-982}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,179$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 234 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -928 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23400}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,077$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-928}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,169$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4Ø16 + 2x2Ø20 (2 · 8,04 + 2 · 6,28 = 28,64 cm²)**

7.2.6. Stup IV/300

a) Stalna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 52,2 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1702 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5220}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,017$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1702}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,309$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 73,9 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1670 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7390}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,024$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1670}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,304$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 1702}{43,48} = 5,87 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right. = 8,25 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 335,19 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1072 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{33519}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,111$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{1072}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,195$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,03$

$$A_{s1} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,03 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 50 \cdot 55 = 3,79 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,tot} = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 3,79 = 7,58 \text{ cm}^2$$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 387,32 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1048 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{38732}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,128$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1048}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,191$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,03$

$$A_{s1} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,03 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 50 \cdot 55 = 3,79 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,tot} = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 3,79 = 7,58 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4Ø16 + 2x2Ø20 (2 · 8,04 + 2 · 6,28 = 28,64 cm²)**

7.2.7. Stup III/400

a) Stalna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 76,5 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -811 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7650}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,025$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-811}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,147$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 93,5 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -778 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9350}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,031$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-778}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,141$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 811}{43,48} = 2,80 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right. = 8,25 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 132,20 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -611 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{13220}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,044$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-611}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,111$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 205,11 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -587 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{20511}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,068$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-587}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,107$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4 \emptyset 16 + 2x2 \emptyset 20 (2 · 8,04 + 2 · 6,28 = 28,64 cm²)**

7.2.8. Stup IV/400

a) Stalna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 28,3 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1138 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2830}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,009$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1138}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,207$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 47,5 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1106 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4750}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,015$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1106}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,201$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 1138}{43,48} = 3,92 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right. = 8,25 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 231,39 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -733 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23139}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,076$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-733}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,133$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 322,61 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -709 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{32261}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,106$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-709}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,129$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,05$

$$A_{s1} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,05 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 50 \cdot 55 = 6,32 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,tot} = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 3,79 = 7,58 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4Ø16 + 2x2Ø20 (2 · 8,04 + 2 · 6,28 = 28,64 cm²)**

7.2.9. Stup III/500

a) Stalna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 80,7 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -393 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{8070}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,027$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-393}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,071$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 127 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -361 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12700}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,042$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-361}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,066$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 393}{43,48} = 1,35 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right. = 8,25 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 105,21 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -295 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{10521}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,035$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-295}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,054$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 143,25 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -271 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14325}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,047$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-271}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,049$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4Ø16 + 2x2Ø20 (2 · 8,04 + 2 · 6,28 = 28,64 cm²)**

7.2.10. Stup IV/500

a) Stalna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 11,5 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -575 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{115}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,004$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-575}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,379$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 20,5 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -543 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{205}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,008$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-543}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,099$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 575}{43,48} = 1,98 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 50 \cdot 55 = 8,25 \text{ cm}^2 \\ 4\emptyset 12 (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right. = 8,25 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = 112 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -270 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{11200}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,037$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-270}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,050$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 116,69 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 294 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{11669}{50 \cdot 55^2 \cdot 2,0} = 0,039$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-294}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = -0,053$$

Očitano iz dijagrama interakcije: $\omega = 0,00$

$$A_{s,\min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 50 \cdot 55 = 27,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **2x4Ø16 + 2x2Ø20 (2 · 8,04 + 2 · 6,28 = 28,64 cm²)**

7.3. Dimenzioniranje stupova na poprečnu silu

U primarnim stupovima poprečne sile određuju se iz ravnoteže stupa za momente na krajevima $M_{i,d}$ ($i = 1, 2$ su oznake za krajeve stupa) [8]:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rc,i} \cdot \min\left(1, \frac{\Sigma M_{Rb}}{\Sigma M_{Rc}}\right) \quad (70)$$

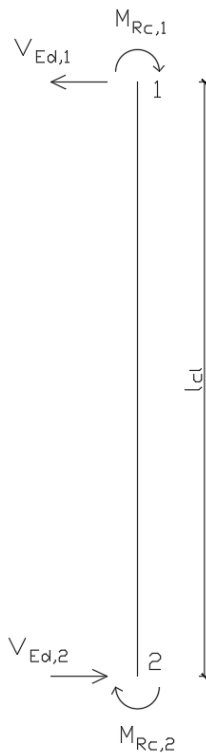
gdje je:

γ_{Rd} – faktor kojim se u obzir uzima moguće ojačanje čelika (za DCM $\gamma_{Rd} = 1,1$)

$M_{Rc,i}$ – proračunska vrijednost momenta otpora na kraju stupa „i“

ΣM_{Rb} – zbroj proračunskih vrijednosti momenata otpornosti greda koje se spajaju u čvor u promatranom presjeku

ΣM_{Rc} – zbroj proračunskih vrijednosti momenata otpornosti stupova koje se spajaju u čvor u promatranom presjeku



Slika 38. Djelovanja na stup [8]

7.3.1. Stup III/100

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} \quad (71)$$

gdje je:

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

l_{cl} – svijetla duljina stupa

$$l_{cl} = 3,50 - \frac{0,55 + 0,55}{2} = 2,95 \text{ m}$$

Armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed1} = -2107 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = -2077 \text{ kN}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{8,04 \cdot 43,48}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$v_{Ed1} = \frac{N_{Ed1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-2107}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,426$$

$$v_{Ed2} = \frac{N_{Ed2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-2077}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,420$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed}$$

$$\mu_{Ed1} = f(\omega, v_{Ed1}) = 0,17$$

$$\mu_{Ed2} = f(\omega, v_{Ed2}) = 0,17$$

$$M_{Rd1} = M_{Rd2} = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,17 \cdot 50 \cdot 55^2 \cdot 2,0 = 514,25 \text{ kNm}$$

$$\min\left(1, \frac{M_{Rd}^l}{M_{S1CD}^o + M_{S1CD}^u}\right) = \min\left(1, \frac{324,71}{247,81 + 176,02}\right) = \min(1; 0,77) = 0,77$$

$$M_{1,d} = 1,1 \cdot 514,25 \cdot 0,77 = 458,44 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = 1,0 \cdot 514,25 = 514,25 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} = \frac{458,44 + 514,25}{2,95} = 329,73 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

Nagib tlačnih štapova bira se u granicama:

$$1,0 \leq \text{ctg}\theta \leq 2,5 \quad (21,9^\circ \leq \theta \leq 45^\circ)$$

Odabrano je: za savijanje sa osnom tlačnom silom ($N_{Ed} < 0$): $\text{ctg}\theta = 1,2$ ($\theta = 40^\circ$)

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 50 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 1161,22 \text{ kN}$$

$$329,73 \text{ kN} < 1161,22 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,79 \cdot 4}{50 \cdot 0,0010} = 63,17 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1161,22 = 348,37 \text{ kN}$$

$$329,73 \text{ kN} < 348,37 \text{ kN}$$

Zadovoljava

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,55 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,125 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 10$, $m = 4$ ($A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 30 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,79 \cdot 4}{30} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 244,84 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$329,73 \text{ kN} > 244,84 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,79 \cdot 4 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{329,73} \cdot 1,2 = 22,28 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **$s = 22 \text{ cm}$**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,79 \cdot 4}{18} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 408,07 \text{ kN}$$

$$329,73 \text{ kN} < 408,07 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura: **$\emptyset 10/22 \text{ cm}$**

7.3.2. Stup IV/100

$$l_{cl} = 2,95 \text{ m}$$

Armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed1} = -2845 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = -2806 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{8,04 \cdot 43,48}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$v_{Ed1} = \frac{N_{Ed1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-2845}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,575$$

$$v_{Ed2} = \frac{N_{Ed2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-2806}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,567$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed} = \mu_{Ed_1} = \mu_{Ed_2}$$

$$\mu_{Ed} = f(\omega, v_{Ed}) = 0,18$$

$$M_{Rd_1} = M_{Rd_2} = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,18 \cdot 50 \cdot 55^2 \cdot 2,0 = 544,50 \text{ kNm}$$

$$\min\left(1, \frac{M_{Rd}^l + M_{Rd}^r}{M_{S1CD}^o + M_{S1CD}^u}\right) = \min\left(1, \frac{248,08 + 324,71}{452,84 + 291,44}\right) = \min(1; 0,77) = 0,77$$

$$M_{1,d} = 1,1 \cdot 544,50 \cdot 0,77 = 461,19 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = 1,0 \cdot 544,50 = 544,50 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} = \frac{461,19 + 544,50}{2,95} = 340,91 \text{ kN}$$

Provjera tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 50 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{\left(1,2 + \frac{1}{1,2}\right)} = 1161,22 \text{ kN}$$

$$340,91 \text{ kN} < 1161,22 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,79 \cdot 4}{50 \cdot 0,0010} = 63,17 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1161,22 = 348,37 \text{ kN}$$

$$340,91 \text{ kN} < 348,37 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,\max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 39,125 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 10$, $m = 4$ ($A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2$), $s_{l,\max} = 30 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,\max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,\max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,79 \cdot 4}{30} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 244,84 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$340,91 \text{ kN} > 244,84 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,79 \cdot 4 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{340,91} \cdot 1,2 = 21,55 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **$s = 21 \text{ cm}$**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,79 \cdot 4}{21} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 349,77 \text{ kN}$$

$$340,91 \text{ kN} < 349,77 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura: **$\emptyset 10/21 \text{ cm}$**

7.3.3. Stup III/200

$$l_{cl} = 2,95 \text{ m}$$

Armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed1} = -1671 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = -1638 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{8,04 \cdot 43,48}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$v_{Ed_1} = \frac{N_{Ed_1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1671}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,338$$

$$v_{Ed_2} = \frac{N_{Ed_2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1638}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,331$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed} = \mu_{Ed_1} = \mu_{Ed_2}$$

$$\mu_{Ed} = f(\omega, v_{Ed}) = 0,16$$

$$M_{Rd_1} = M_{Rd_2} = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,16 \cdot 50 \cdot 55^2 \cdot 2,0 = 484 \text{ kNm}$$

$$\min\left(1, \frac{M_{Rd}^I}{M_{Rc}^o + M_{Rc}^u}\right) = \min\left(1, \frac{324,71}{185,95 + 236,49}\right) = \min(1; 0,77) = 0,77$$

$$M_{1,d} = 1,1 \cdot 484 \cdot 0,77 = 409,95 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = 1,1 \cdot 484 \cdot 0,77 = 409,95 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} = \frac{409,95 + 409,95}{2,95} = 277,93 \text{ kN}$$

Provjera tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 50 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 1161,22 \text{ kN}$$

$$277,93 \text{ kN} < 1161,22 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,79 \cdot 4}{50 \cdot 0,0010} = 63,17 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1161,22 = 348,37 \text{ kN}$$

$$277,93 \text{ kN} < 348,37 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 10$, $m = 4$ ($A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 30 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,79 \cdot 4}{30} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 244,84 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$277,93 \text{ kN} > 244,84 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 4 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{277,93} \cdot 1,2 = 26,43 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **$s = 26 \text{ cm}$**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 4}{26} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 282,51 \text{ kN}$$

$$277,93 \text{ kN} < 282,51 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura: **$\emptyset 10/26 \text{ cm}$**

7.3.4. Stup IV/200

$$l_{cl} = 2,95 \text{ m}$$

Armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed1} = -2269 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = -2236 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{8,04 \cdot 43,48}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$v_{Ed1} = \frac{N_{Ed1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-2269}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,458$$

$$v_{Ed2} = \frac{N_{Ed2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-2236}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,452$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed} = \mu_{Ed1} = \mu_{Ed2}$$

$$\mu_{Ed} = f(\omega, v_{Ed}) = 0,17$$

$$M_{Rd1} = M_{Rd2} = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,17 \cdot 50 \cdot 55^2 \cdot 2,0 = 514,25 \text{ kNm}$$

$$\min \left(1, \frac{M_{Rd}^l + M_{Rd}^r}{M_{Rc}^o + M_{Rc}^u} \right) = \min \left(1, \frac{248,08 + 324,71}{335,19 + 409,20} \right) = \min(1; 0,77) = 0,77$$

$$M_{1,d} = 1,1 \cdot 514,25 \cdot 0,77 = 435,57 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = 1,1 \cdot 514,25 \cdot 0,77 = 435,57 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} = \frac{435,57 + 435,57}{2,95} = 295,30 \text{ kN}$$

Provjera tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 50 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 1161,22 \text{ kN}$$

$$295,30 \text{ kN} < 1161,22 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,79 \cdot 4}{50 \cdot 0,0010} = 63,17 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1161,22 = 348,37 \text{ kN}$$

$$295,30 \text{ kN} < 348,37 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 10$, $m = 4$ ($A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 30 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,79 \cdot 4}{30} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 244,84 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$295,30 \text{ kN} > 244,84 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,79 \cdot 4 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{295,30} \cdot 1,2 = 24,87 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 24 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 4}{24} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 306,05 \text{ kN}$$

$$295,30 \text{ kN} < 306,05 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura: $\emptyset 10/24 \text{ cm}$

7.3.5. Stup III/300

$$l_{cl} = 2,95 \text{ m}$$

Armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed1} = -1236 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = -1203 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{8,04 \cdot 43,48}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$v_{Ed1} = \frac{N_{Ed1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1236}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,250$$

$$v_{Ed2} = \frac{N_{Ed2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1203}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,243$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed} = \mu_{Ed1} = \mu_{Ed2}$$

$$\mu_{Ed} = f(\omega, v_{Ed}) = 0,15$$

$$M_{Rd1} = M_{Rd2} = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,15 \cdot 50 \cdot 55^2 \cdot 2,0 = 453,75 \text{ kNm}$$

$$\min\left(1, \frac{M_{Rd}^l}{M_{Rc}^o + M_{Rc}^u}\right) = \min\left(1, \frac{286,28}{132,20 + 234,97}\right) = \min(1; 0,78) = 0,78$$

$$M_{1,d} = 1,1 \cdot 453,75 \cdot 0,78 = 389,32 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = 1,1 \cdot 453,75 \cdot 0,77 = 384,33 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} = \frac{389,32 + 384,33}{2,95} = 262,25 \text{ kN}$$

Provjera tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 50 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 1161,22 \text{ kN}$$

$$262,25 \text{ kN} < 1161,22 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,79 \cdot 4}{50 \cdot 0,0010} = 63,17 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1161,22 = 348,37 \text{ kN}$$

$$262,25 \text{ kN} < 348,37 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 10$, $m = 4$ ($A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 30 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,79 \cdot 4}{30} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 244,84 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$262,25 \text{ kN} > 244,84 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \operatorname{ctg}\theta = \frac{0,79 \cdot 4 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{262,25} \cdot 1,2 = 28,01 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 28 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$
$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \operatorname{ctg}\theta = \frac{0,79 \cdot 4}{28} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 262,33 \text{ kN}$$

$$262,25 \text{ kN} < 262,33 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura: **Ø10/28 cm**

7.3.6. Stup IV/300

$$l_{cl} = 2,95 \text{ m}$$

Armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed1} = -1702 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = -1670 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{8,04 \cdot 43,48}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$v_{Ed1} = \frac{N_{Ed1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1702}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,344$$

$$v_{Ed2} = \frac{N_{Ed2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1670}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,337$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed} = \mu_{Ed1} = \mu_{Ed2}$$

$$\mu_{Ed} = f(\omega, v_{Ed}) = 0,16$$

$$M_{Rd1} = M_{Rd2} = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,16 \cdot 50 \cdot 55^2 \cdot 2,0 = 484 \text{ kNm}$$

$$\min\left(1, \frac{M_{Rd}^l + M_{Rd}^r}{M_{Rc}^o + M_{Rc}^u}\right) = \min\left(1, \frac{190,38 + 286,28}{231,32 + 387,32}\right) = \min(1; 0,77) = 0,77$$

$$M_{1,d} = 1,1 \cdot 484 \cdot 0,77 = 409,95 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = 1,1 \cdot 484 \cdot 0,77 = 409,95 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} = \frac{409,95 + 409,95}{2,95} = 277,93 \text{ kN}$$

Provjera tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 50 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 1161,22 \text{ kN}$$

$$277,93 \text{ kN} < 1161,22 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,79 \cdot 4}{50 \cdot 0,0010} = 63,17 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1161,22 = 348,37 \text{ kN}$$

$$277,93 \text{ kN} < 348,37 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 10$, $m = 4$ ($A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 30 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,79 \cdot 4}{30} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 244,84 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$277,93 \text{ kN} > 244,84 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,79 \cdot 4 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{277,93} \cdot 1,2 = 26,43 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **$s = 26 \text{ cm}$**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,79 \cdot 4}{26} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 282,51 \text{ kN}$$

$$277,93 \text{ kN} < 282,51 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura: **$\emptyset 10/26 \text{ cm}$**

7.3.7. Stup III/400

$$l_{cl} = 2,95 \text{ m}$$

Armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed1} = -811 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = -778 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{8,04 \cdot 43,48}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$v_{Ed1} = \frac{N_{Ed1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-811}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,164$$

$$v_{Ed2} = \frac{N_{Ed2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-778}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,157$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed} = \mu_{Ed_1} = \mu_{Ed_2}$$

$$\mu_{Ed} = f(\omega, v_{Ed}) = 0,12$$

$$M_{Rd_1} = M_{Rd_2} = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,12 \cdot 50 \cdot 55^2 \cdot 2,0 = 363 \text{ kNm}$$

$$\min\left(1, \frac{M_{Rd}^l}{M_{Rc}^o + M_{Rc}^u}\right) = \min\left(1, \frac{239,06}{105,21 + 205,11}\right) = \min(1; 0,77) = 0,77$$

$$M_{1,d} = 1,1 \cdot 363 \cdot 0,77 = 307,46 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = 1,1 \cdot 363 \cdot 0,78 = 311,45 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} = \frac{307,46 + 311,45}{2,95} = 209,80 \text{ kN}$$

Provjera tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 50 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 1161,22 \text{ kN}$$

$$209,80 \text{ kN} < 1161,22 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,50 \cdot 4}{50 \cdot 0,0010} = 39,98 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1161,22 = 348,37 \text{ kN}$$

$$209,80 \text{ kN} < 348,37 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8$, $m = 4$ ($A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 30 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,50 \cdot 4}{30} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 154,96 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$209,80 \text{ kN} > 154,96 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,50 \cdot 4 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{209,80} \cdot 1,2 = 22,16 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **$s = 22 \text{ cm}$**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 4}{22} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 211,31 \text{ kN}$$

$$209,80 \text{ kN} < 211,31 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura: **$\emptyset 10/22 \text{ cm}$**

7.3.8. Stup IV/400

$$l_{cl} = 2,95 \text{ m}$$

Armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed1} = -1138 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = -1106 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{8,04 \cdot 43,48}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$v_{Ed1} = \frac{N_{Ed1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1138}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,230$$

$$v_{Ed2} = \frac{N_{Ed2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1106}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,223$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed} = \mu_{Ed1} = \mu_{Ed2}$$

$$\mu_{Ed} = f(\omega, v_{Ed}) = 0,14$$

$$M_{Rd1} = M_{Rd2} = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,14 \cdot 50 \cdot 55^2 \cdot 2,0 = 423,50 \text{ kNm}$$

$$\min \left(1, \frac{M_{Rd}^l + M_{Rd}^r}{M_{Rc}^o + M_{Rc}^u} \right) = \min \left(1, \frac{124,59 + 209,22}{122 + 322,61} \right) = \min(1; 0,77) = 0,77$$

$$M_{1,d} = 1,1 \cdot 423,50 \cdot 0,77 = 358,70 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = 1,1 \cdot 423,50 \cdot 0,77 = 358,70 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} = \frac{358,70 + 358,70}{2,95} = 243,19 \text{ kN}$$

Provjera tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 50 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 1161,22 \text{ kN}$$

$$243,19 \text{ kN} < 1161,22 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{1,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,50 \cdot 4}{50 \cdot 0,0010} = 39,98 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1161,22 = 348,37 \text{ kN}$$

$$243,19 \text{ kN} < 348,37 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8, m = 4$ ($A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 30 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,50 \cdot 4}{30} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 154,96 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$243,19 \text{ kN} > 154,96 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 4 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{243,19} \cdot 1,2 = 19,12 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 19 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 4}{19} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 244,68 \text{ kN}$$

$$243,19 \text{ kN} < 244,68 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura: **$\emptyset 8/19 \text{ cm}$**

7.3.9. Stup III/500

$$l_{cl} = 2,95 \text{ m}$$

Armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed1} = -393 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = -361 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{8,04 \cdot 43,48}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$v_{Ed1} = \frac{N_{Ed1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-393}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,079$$

$$v_{Ed2} = \frac{N_{Ed2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-361}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,073$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed} = \mu_{Ed1} = \mu_{Ed2}$$

$$\mu_{Ed} = f(\omega, v_{Ed}) = 0,08$$

$$M_{Rd1} = M_{Rd2} = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,08 \cdot 50 \cdot 55^2 \cdot 2,0 = 242,0 \text{ kNm}$$

$$\min\left(1, \frac{M_{Rd}^l}{M_{Rc}^o + M_{Rc}^u}\right) = \min\left(1, \frac{144,40}{143,25}\right) = \min(1; 1,01) = 1,0$$

$$M_{1,d} = 1,1 \cdot 242 \cdot 1,0 = 266,20 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = 1,1 \cdot 242 \cdot 0,77 = 204,97 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} = \frac{266,20 + 204,97}{2,95} = 159,72 \text{ kN}$$

Provjera tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 50 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 1161,22 \text{ kN}$$

$$159,72 \text{ kN} < 1161,22 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,50 \cdot 4}{50 \cdot 0,0010} = 39,98 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1161,22 = 348,37 \text{ kN}$$

$$159,72 \text{ kN} < 348,37 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8$, $m = 4$ ($A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 30 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta = \frac{0,50 \cdot 4}{30} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 154,96 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$159,72 \text{ kN} > 154,96 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot \operatorname{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 4 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{159,72} \cdot 1,2 = 29,11 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **s = 29 cm**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \operatorname{ctg}\theta = \frac{0,5 \cdot 4}{29} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 160,31 \text{ kN}$$

$$159,72 \text{ kN} < 160,31 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura: **Ø8/29 cm**

7.3.10. Stup IV/500

$$l_{cl} = 2,95 \text{ m}$$

Armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed1} = -575 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = -544 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{8,04 \cdot 43,48}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$v_{Ed1} = \frac{N_{Ed1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-575}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,116$$

$$v_{Ed2} = \frac{N_{Ed2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-544}{50 \cdot 49,5 \cdot 2,0} = -0,110$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed} = \mu_{Ed1} = \mu_{Ed2}$$

$$\mu_{Ed} = f(\omega, v_{Ed}) = 0,09$$

$$M_{Rd1} = M_{Rd2} = M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,09 \cdot 50 \cdot 55^2 \cdot 2,0 = 272,25 \text{ kNm}$$

$$\min\left(1, \frac{M_{Rd}^l + M_{Rd}^r}{M_{Rc}^o + M_{Rc}^u}\right) = \min\left(1, \frac{84,27 + 157,44}{116,69}\right) = \min(1; 2,07) = 1,0$$

$$M_{1,d} = 1,1 \cdot 272,25 \cdot 1,0 = 299,48 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = 1,1 \cdot 272,25 \cdot 0,77 = 230,60 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} = \frac{299,48 + 230,60}{2,95} = 179,69 \text{ kN}$$

Provjera tlačnih štapova:

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

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\text{ctg}\theta + \tan\theta)} = \frac{1,0 \cdot 50 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{(1,2 + \frac{1}{1,2})} = 1161,22 \text{ kN}$$

$$179,69 \text{ kN} < 1161,22 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ iz uvjeta najmanje poprečne armature

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,8} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,50 \cdot 4}{50 \cdot 0,0010} = 39,98 \text{ cm}$$

2. Navjeći uzdužni razmak poprečne armature $s_{l,max}$ u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili

V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 1161,22 = 348,37 \text{ kN}$$

$$179,69 \text{ kN} < 348,37 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min\left\{\begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 49,5 = 37,13 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array}\right. = 30 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura: $\emptyset 8$, $m = 4$ ($A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2$), $s_{l,max} = 30 \text{ cm}$

- proračun $V_{Rd,s}^{\min}$ za $s_{l,max}$:

$$V_{Rd,s}^{\min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 4}{30} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 154,96 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{\min}$$

$$179,69 \text{ kN} > 154,96 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 4 \cdot (0,9 \cdot 49,5) \cdot 43,48}{179,69} \cdot 1,2 = 25,87 \text{ cm}$$

Odabrani razmak spona: **$s = 25 \text{ cm}$**

Uvjet nosivosti na poprečne sile:

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,5 \cdot 4}{22} \cdot 0,9 \cdot 49,5 \cdot 43,48 \cdot 1,2 = 185,96 \text{ kN}$$

$$179,69 \text{ kN} < 185,96 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura: **$\emptyset 8/25 \text{ cm}$**

7.4. Kritično područje stupa

Kritična područja stupa su područja do udaljenosti l_{cr} od oba kraja stupa. [9]

Duljina kritičnog područja l_{cr} za DCM:

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c \\ \frac{l_{cl}}{6} \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right. \quad (72)$$

gdje je:

h_c – najveća izmjera presjeka stupa

l_{cl} – svjetla duljina stupa

Ako je $\frac{l_{cl}}{h_c} < 3$ cijela visina stupa uzima se kao kritično područje te se u skladu s time armira.

Za ukupni koeficijent uzdužnog armiranja ρ_l vrijedi:

$$0,01 < \rho_l < 0,04 \quad (73)$$

U simetričnim presjecima predviđa se simetrična armatura ($\rho = \rho'$). U cilju povećanja cjelovitosti čvora greda – stup potrebno je predvidjeti najmanje jednu međušipku između šipki u kutovima na svakoj stranici stupa.

Ograničenje bezdimenzijske uzdužne sile za DCM:

$$v_d < 0,65$$

U kritičnim područjima spona trebaju zadovoljiti uvjete:

- potrebno je predvidjeti spona promjera ne manjeg od 6 mm na razmacima s , u cilju osiguranja najmanje duktilnosti i spriječavanja lokalnog izvijanja
- oblik spona treba biti takav da se svojstva presjeka poboljšaju zbog troosnog stanja naprezanja prouzročenog sponama

Najveći razmak između susjednih uzdužnih šipki pridržanih sponama za DCM:

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

Razmak spona s u kritičnom području (DCM):

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_0}{2} \\ 175 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} \end{array} \right. \quad (74)$$

gdje je:

b_0 – najmanja izmjera betonske jezgre (unutar težišta linijske vanjske spona)

d_{bL} – najmanji promjer uzdužne armature

Stupovi pozicija 100, 200 i 300:

$$\emptyset 10, m = 4 (A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2)$$

Duljina kritičnog područja l_{cr} za DCM:

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c = 0,55 \text{ m} \\ \frac{l_{cl}}{6} = \frac{2,95}{6} = 0,49 \text{ m} = 0,50 \text{ m} = 55 \text{ cm} \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right.$$

Razmak spona s u kritičnom području (DCM):

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_0}{2} = \frac{430}{2} = 215 \text{ mm} \\ 175 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 16 = 128 \text{ mm} \end{array} \right. = 128 \text{ mm} = 12,8 \text{ cm}$$

Odabrana poprečna armatura: $\emptyset 10/10$ cm na $l_{cr} = 55$ cm.

Izvan kritičnog područja, ali u području preklapa potrebno je smanjiti minimalni razmak spona prema:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{4} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right. \quad (75)$$

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{50}{4} = 125,0 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right. = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$$

Izvan kritičnog područja, ali na duljini prijeklopa odabrane su spona: $\emptyset 10/10$ cm.

Preostala duljina stupa osigurati će se sponama na razmaku:

$$S_{\max} = 12 \cdot d_{bl,\min} \quad (76)$$

$$S_{\max} = 12 \cdot 1,6 = 19,2 \text{ cm}$$

Odabrane spona: $\emptyset 10/19$ cm

Za $T_1 \geq T_c$, koeficijenti duktilnosti s obzirom zakrivljenosti proračunavaju se prema izrazu:

$$T_1 \geq T_c \rightarrow 0,64 s > 0,4 s$$

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1$$

gdje je:

q_0 – osnovna vrijednost faktora ponašanja

T_1 – osnovni period oscilacije zgrade

T_c – period na gornjoj granici konstantnog dijela spektra

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,9 - 1 = 6,8$$

U kritičnim područjima a uzdužnom armatrom od čelika (razreda B), faktor duktilnosti s obzirom na zakrivljenost mora biti najmanje 1,5 puta veći:

$$\mu_\phi = 1,5 \cdot (2 \cdot q_0 - 1) = 1,5 \cdot (2 \cdot 3,9 - 1) = 10,20$$

Potrebno je zadovoljiti sljedeće izraz:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot v_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

gdje je:

α – faktor djelotvornosti ovijanja za pravokutni presjek:

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$$

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0}$$

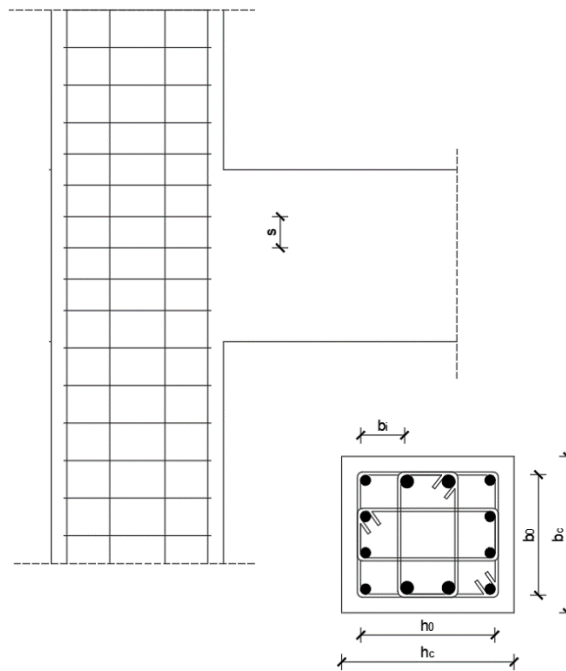
$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right)$$

n – ukupni broj šipki uzdužne armature ovijen sponama

b_i – razmak između susjednih ovijenih šipki uzdužne armature

b_0 – širina ovijene jezgre

ω_{wd} – mehanički obujmski omjer spona unutar kritičnog područja



Slika 39. Ovijanje betonske jezgre [9]

$$\alpha_n = 1 - \frac{4 \cdot 11,87^2 + 4 \cdot 10,60^2 + 2 \cdot 17,26^2 + 2 \cdot 14,80^2}{6 \cdot 43 \cdot 38} = 0,791$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{10}{2 \cdot 43}\right) \cdot \left(1 - \frac{10}{2 \cdot 38}\right) = 0,812$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,791 \cdot 0,812 = 0,642$$

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona} \cdot f_{yd}}{\text{obujam betonske jezgre} \cdot f_{cd}}$$

$$\omega_{wd} = \frac{0,79 \cdot 4 \cdot 44 + 0,79 \cdot 4 \cdot 38 + 0,79 \cdot 2 \cdot 17,26 + 0,79 \cdot 4 \cdot 14,8 + 0,79 \cdot 14 \cdot 8}{43 \cdot 38 \cdot 8} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,657$$

$$\omega_{wd} \geq \omega_{wd,lim}$$

$$0,657 > 0,08$$

Zadovoljava!

Mjerodavna je uzdužna tlačna sila stupa IV/100:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2845}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,517 < 0,65$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot v_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

$$0,642 \cdot 0,657 \geq 30 \cdot 10,20 \cdot 0,517 \cdot 0,002174 \cdot \frac{50}{43} - 0,035$$

$$0,422 > 0,418$$

Zadovoljava!

Stupovi pozicija 400 i 500:

$$\emptyset 8, m = 4 (A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2)$$

Duljina kritičnog područja l_{cr} za DCM:

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c = 0,55 \text{ m} \\ \frac{l_{cl}}{6} = \frac{2,95}{6} = 0,49 \text{ m} = 0,50 \text{ m} = 55 \text{ cm} \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right.$$

Razmak spona s u kritičnom području (DCM):

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_0}{2} = \frac{434}{2} = 217 \text{ mm} \\ 175 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 16 = 128 \text{ mm} \end{array} \right. = 128 \text{ mm} = 12,8 \text{ cm}$$

Odabrana poprečna armatura: $\emptyset 8/10$ cm na $l_{cr} = 55$ cm.

Izvan kritičnog područja, ali u području preklopa potrebno je smanjiti minimalni razmak spona prema:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{50}{4} = 125,0 \text{ mm} = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Izvan kritičnog područja, ali na duljini prijeklopa odabrane su spona: $\emptyset 8/10$ cm.

Preostala duljina stupa osigurati će se sponama na razmaku:

$$S_{max} = 12 \cdot 1,6 = 19,2 \text{ cm}$$

Odabrane spona: $\emptyset 8/19$ cm

$$\alpha_n = 1 - \frac{4 \cdot 12,20^2 + 4 \cdot 10,93^2 + 2 \cdot 17,40^2 + 2 \cdot 14,94^2}{6 \cdot 43,4 \cdot 38,4} = 0,787$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{10}{2 \cdot 43,4}\right) \cdot \left(1 - \frac{10}{2 \cdot 38,4}\right) = 0,770$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,787 \cdot 0,770 = 0,606$$

$$\omega_{wd} = \frac{0,5 \cdot 4 \cdot 43,4 + 0,5 \cdot 4 \cdot 38,4 + 0,5 \cdot 2 \cdot 17,4 + 0,5 \cdot 2 \cdot 14,94 + 0,5 \cdot 6 \cdot 10}{43,4 \cdot 38,4 \cdot 10} \cdot \frac{43,48}{2,0}$$

$$= 0,295$$

$$\omega_{wd} \geq \omega_{wd,lim}$$

$$0,295 > 0,08$$

Zadovoljava!

v_d – normalizirana proračunska osna sila:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{575}{50 \cdot 55 \cdot 2,0} = 0,105 < 0,65$$

$\varepsilon_{sy,d}$ – proračunska vrijednost vlačne deformacije čelika pri popuštanju

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

$$0,606 \cdot 0,295 \geq 30 \cdot 10,20 \cdot 0,105 \cdot 0,002174 \cdot \frac{50}{38,4} - 0,035$$

$$0,202 > 0,056$$

Zadovoljava!

Odabrana armatura u kritičnom području stupova i armatura u polju svakog pojedinog stupa prikazana je u donjoj tablici:

Vanjski stupovi:

III	Kritično područje	Polje
100	Ø10/10 cm	Ø10/19 cm
200	Ø10/10 cm	Ø10/19 cm
300	Ø10/10 cm	Ø10/19 cm
400	Ø8/10 cm	Ø8/19 cm
500	Ø8/10 cm	Ø8/19 cm

Unutarnji stupovi:

IV	Kritično područje	Polje
100	Ø10/10 cm	Ø10/19 cm
200	Ø10/10 cm	Ø10/19 cm
300	Ø10/10 cm	Ø10/19 cm
400	Ø8/10 cm	Ø8/19 cm
500	Ø8/10 cm	Ø8/19 cm

7.5. Duljina sidrenja i nastavljanja armature

Duljina sidrenja jedne šipke:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \quad (77)$$

gdje je:

σ_{sd} – proračunsko naprezanje šipke na položaju od kojeg se mjeri sidrenje

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = f_{yd} = 434,8 \text{ MPa}$$

f_{bd} – proračunska čvrstoća prionjivosti

(78)

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

η_1 – koeficijent koji se odnosi na kvalitetu uvjeta prijanjanja i položaj šipke za vrijeme betoniranja ($\eta_1 = 1,0$ za dobre uvjete; $\eta_1 = 0,7$ za loše uvjete)

η_2 – koeficijent koji se odnosi na promjer šipke ($\eta_2 = 1,0$ za $\phi \leq 31 \text{ mm}$)

f_{ctd} – proračunska vlačna čvrstoća betona

Za beton C30/37 vrijedi:

- dobri uvjeti prionjivosti: $f_{bd} = 3,0 \text{ MPa}$

- loši uvjeti prionjivosti: $f_{bd} = 2,10 \text{ MPa}$

Dobri uvjeti:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{434,8}{3,0} = 36,23 \phi$$

Lošiji uvjeti:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{434,8}{2,10} = 51,76 \phi$$

Proračunska duljina preklopa:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$$

gdje je:

$$\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 = 1,0$$

$\alpha_1 = 1,0$ za ravne šipke

$\alpha_6 = 1,5$ kada se preklapa više od 50% šipki u istom smjeru

Najmanja duljina prijeklopa:

$$l_{0,\min} \geq \max \begin{cases} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,\text{rqd}} \\ 15\emptyset \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \quad (79)$$

Za $\emptyset 8, \emptyset 10$ i $\emptyset 12$: $l_{0,\min} = 20 \text{ cm}$

Za $\emptyset 14$: $l_{0,\min} = 21 \text{ cm}$

Za $\emptyset 16$: $l_{0,\min} = 24 \text{ cm}$

Za $\emptyset 20$: $l_{0,\min} = 30 \text{ cm}$

Za $\emptyset 25$: $l_{0,\min} = 37,5 \text{ cm}$

Za $\emptyset 28$: $l_{0,\min} = 42 \text{ cm}$

Dobri uvjeti (gornja zona):

$\emptyset 8$	$l_{bd}^{\emptyset 8} = 36,23 \cdot 0,8 = 28,99 \approx 29 \text{ cm} + 10 = 39 \text{ cm}$
$\emptyset 10$	$l_{bd}^{\emptyset 10} = 36,23 \cdot 1,0 = 36,23 \approx 36 \text{ cm}$
$\emptyset 12$	$l_{bd}^{\emptyset 12} = 36,23 \cdot 1,2 = 43,48 \approx 43 \text{ cm} + 10 = 53 \text{ cm}$
$\emptyset 14$	$l_{bd}^{\emptyset 14} = 36,23 \cdot 1,4 = 50,73 \approx 51 \text{ cm} + 10 = 61 \text{ cm}$
$\emptyset 16$	$l_{bd}^{\emptyset 16} = 36,23 \cdot 1,6 = 57,97 \approx 58 \text{ cm}$
$\emptyset 20$	$l_{bd}^{\emptyset 20} = 36,23 \cdot 2,0 = 72,47 \approx 72 \text{ cm}$
$\emptyset 25$	$l_{bd}^{\emptyset 25} = 36,23 \cdot 2,5 = 90,58 \approx 91 \text{ cm}$
$\emptyset 28$	$l_{bd}^{\emptyset 28} = 36,23 \cdot 2,8 = 101,44 \approx 101 \text{ cm}$

Lošiji uvjeti (donja zona):

$\emptyset 8$	$l_{bd}^{\emptyset 8} = 51,76 \cdot 0,8 = 41,41 \approx 41 \text{ cm}$
$\emptyset 10$	$l_{bd}^{\emptyset 10} = 51,76 \cdot 1,0 = 51,76 \approx 52 \text{ cm}$
$\emptyset 12$	$l_{bd}^{\emptyset 12} = 51,76 \cdot 1,2 = 62,11 \approx 62 \text{ cm}$
$\emptyset 14$	$l_{bd}^{\emptyset 14} = 51,76 \cdot 1,4 = 72,47 \approx 72 \text{ cm}$
$\emptyset 16$	$l_{bd}^{\emptyset 16} = 51,76 \cdot 1,6 = 82,82 \approx 83 \text{ cm}$
$\emptyset 20$	$l_{bd}^{\emptyset 20} = 51,76 \cdot 2,0 = 103,52 \approx 104 \text{ cm}$
$\emptyset 25$	$l_{bd}^{\emptyset 25} = 51,76 \cdot 2,5 = 129,40 \approx 129 \text{ cm}$
$\emptyset 28$	$l_{bd}^{\emptyset 28} = 51,76 \cdot 2,8 = 144,93 \approx 145 \text{ cm}$

Proračunska duljina prijeklopa

Dobri uvjeti:

Ø8	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 39 = 58,5 \approx 59 \text{ cm} > 20 \text{ cm}$
Ø10	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 36 = 54,35 \approx 54 \text{ cm} > 20 \text{ cm}$
Ø12	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 53 = 79,5 \approx 80 \text{ cm} > 20 \text{ cm}$
Ø14	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 61 = 76,09 \approx 76 \text{ cm} > 21 \text{ cm}$
Ø16	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 58 = 91,5 \approx 92 \text{ cm} > 24 \text{ cm}$
Ø20	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 72 = 108,70 \approx 109 \text{ cm} > 30 \text{ cm}$
Ø25	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 91 = 136,50 \approx 137 \text{ cm} > 37,5 \text{ cm}$
Ø28	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 101 = 151,50 \approx 152 \text{ cm} > 37,5 \text{ cm}$

Lošiji uvjeti:

Ø8	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 29 = 62,11 \approx 62 \text{ cm} > 20 \text{ cm}$
Ø10	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 36 = 77,64 \approx 78 \text{ cm} > 20 \text{ cm}$
Ø12	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 43 = 93,17 \approx 93 \text{ cm} > 20 \text{ cm}$
Ø14	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 51 = 108,70 \approx 109 \text{ cm} > 21 \text{ cm}$
Ø16	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 58 = 124,23 \approx 124 \text{ cm} > 24 \text{ cm}$
Ø20	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 72 = 155,29 \approx 155 \text{ cm} > 30 \text{ cm}$
Ø25	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 129 = 193,50 \approx 194 \text{ cm} > 37,5 \text{ cm}$
Ø28	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 145 = 217,50 \approx 218 \text{ cm} > 42 \text{ cm}$

8. ISKAZ ARMATURE

Iskaz armature greda POZ 100 i 500:

ISKAZ ARMATURE										
POZ	DULJINA	f	KOM.	UKUPNA DULJINA						
				f 8	f 12	f 14	f 16	f 20	f 25	f 28
1	3,47	16	6				20,82			
2	2,60	8	4	10,40						
3	5,57	14	10			55,70				
4	3,49	16	4				13,96			
5	3,72	16	4				14,88			
6	7,02	12	8		56,16					
7	2,69	8	4	10,76						
8	3,27	28	2							6,54
9	4,69	28	4							18,76
10	3,90	12	4		4,00					
11	6,43	25	6						38,58	
12	4,72	20	8					37,76		
13	6,38	20	8					51,04		
14	6,75	12	8		54,00					
15	1,62	8	86	139,32						
16	1,62	8	134	217,08						
Ukupno (m)				377,56	114,16	55,70	49,66	88,80	38,58	25,30
Masa (kg/m):				0,395	0,888	1,210	1,580	2,470	3,870	4,830
Ukupno po promjerima (kg):				149,14	101,37	67,40	78,46	219,34	149,30	122,20
Sveukupno (kg):										887,21

Iskaz armature stupova III i IV:

ISKAZ ARMATURE								
POZ	DULJINA	f	KOM.	UKUPNA DULJINA				
				f 8	f 10	f 16	f 20	
1	4,74	16	32			303,36		x2
2	4,74	16	32			303,36		x2
3	4,74	16	32			303,36		x2
4	5,25	16	8			84,00		x2
5	4,87	20	16				155,84	x2
6	4,87	20	16				155,84	x2
7	4,87	20	16				155,84	x2
8	3,45	20	16				110,40	x2
9	3,80	16	32			243,20		x2
10	5,70	16	8			45,60		
11	1,32	8	104	137,28				
12	1,84	8	104	191,36				
13	1,38	8	104	143,52				
14	1,32	10	162		213,84			
15	1,84	10	162		298,08			
16	1,38	10	162		223,56			
Ukupno (m)				472,16	735,48	1282,88	577,92	
Masa (kg/m):				0,395	0,617	1,580	2,470	
Ukupno po promjerima (kg):				186,50	453,79	2026,95	1427,46	
Sveukupno (kg):							4094,71	

9. ZAKLJUČAK

U ovom radu izrađen je projekt dijela konstrukcije armiranobetonske poslovne zgrade prema sposobnosti nosivosti. Normom EN 1998-1 projektiralo se na potresno djelovanje. U programskom softveru Staad PRO V8i SS6 napravljen je ravninski okvir konstrukcije u poprečnom smjeru na koja su nanesena stalna i uporabna opterećenja te opterećenje snijegom, vjetrom i potresno djelovanje. Proračun potresnog djelovanja proveden je linearnom analizom koja se zasniva na reduciranom elastičnom spektru odziva ubrzanja podloge, koji se naziva proračunski spektar. Pomoću faktora ponašanja q napravljena je redukcija elastičnog spreka te se na taj način u obzir uzeo kapacitet gubljenja energije prilikom potresa. Potresne sile koje su djelovale na okvir određene su postupkom proračuna bočnim silama. Utjecaj torzijskih učinaka nije bilo potrebno proračunati jer se vršio proračun srednjeg okvira, što ne bi bio slučaj za ostale okvire. Prema graničnom stanju nosivosti dimenzionirane su grede i stupovi. Grede dimenzija 35x55 cm dimenzionirane su na moment savijanja i poprečnu silu prema sposobnosti nosivosti (HRN 1998-1:2011) gdje se trajna proračunska situacija mjerodavna za polje grede, dok je potresna proračunska situacija mjerodavna za unutarnje i vanjske ležajeve. Stupovi III/100, IV/100, III/500 i IV/500 , dimenzija 50x55 cm dimenzionirani su se na moment savijanja te uzdužnu i poprečnu silu za trajajnu i potresnu proračunsku situaciju. Okvir je vitkak zbog čega je bilo potrebno u obzir uzeti faktor povećanja reznih sila u čvorovima stupova prema teoriji drugog reda. Mjerodavna armatura za stupove bila je potresna proračunska situacija. Također je proračunano kritično područje greda i stupova kako bi se omogućilo trošenje potresne energije, odnosno kako bi došlo do stvaranja plastičnih zglobova na predviđenim mjestima konstrukcije. Konstrukcija zadovoljava uvjete za razred umjerene duktilnosti (DCM).

10. LITERATURA

- [1] HRN EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade
- [2] HRN EN 1991-1-1:2012/NA:2012. Eurokod 1 – Djelovanje na konstrukciju – Dio 1-1: Opća djelovanja – Obujmiske težine, vlastita težina i uporabna opterećenja za zgrade – Nacionalni dodatak
- [3] HRN EN 1991-1-3:2012/NA. Eurokod 1 – Djelovanje na konstrukciju – Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenje snijegom – Nacionalni dodatak
- [4] HRN EN 1991-1-4:2012. Eurokod 1 – Djelovanje na konstrukciju – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra
- [5] HRN EN 1998-1:2004. Eurokod 8 – Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. Dio: Opća pravila, potresna djelovanja pravila za zgrade
- [6] HRN EN 1998-1:2011/NA. Eurokod 8 – Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. Dio: Opća pravila, potresna djelovanja pravila za zgrade – Nacionalni dodatak
- [7] Gukov I., predavanja iz kolegija Betonske i zidane konstrukcije 1, skripta, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2019
- [8] Grandić D., Šćulac P., Proračun potresno otpornih konstrukcija prema sposobnosti nosivosti, Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Opatija, 2017.
- [9] Grandić, D., Predavanja iz predmeta Potresno inženjerstvo; Posebna pravila za projektiranje betonskih konstrukcija, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka 2018.
- [10] Grandić, D., Predavanja iz predmeta Betonske i zidane konstrukcija 1; Vitki elementi, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka 2021.

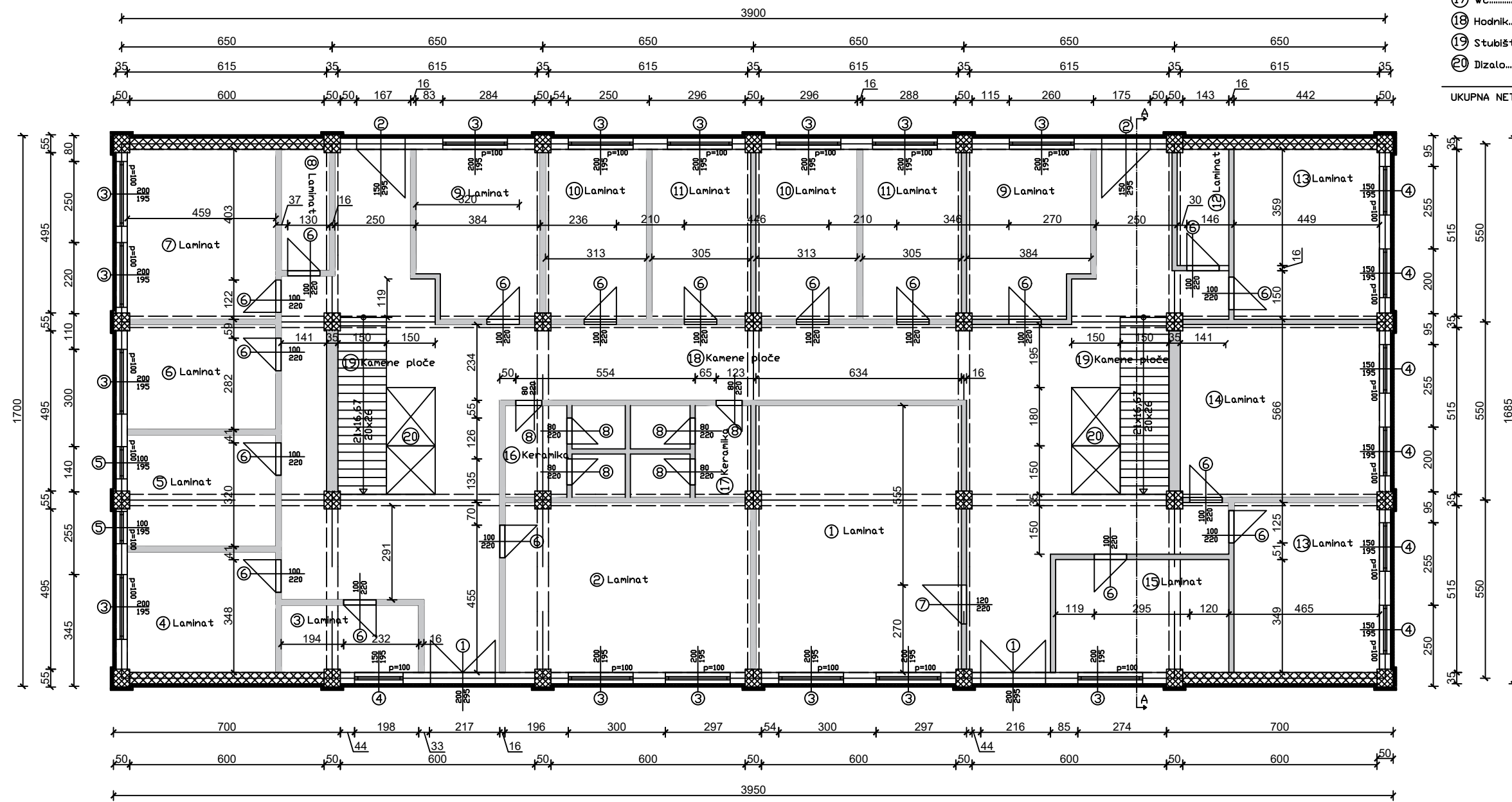
11. NACRTNA DOKUMENTACIJA

1. Tlocrt prizemlja
2. Presjek A – A
3. Sjeverno i južno pročelje
4. Zapadno i istočno pročelje
5. Plan oplata prizemlja
6. Armatura greda
7. Armatura stupova

ISKAZ NETTO PLOŠTINA

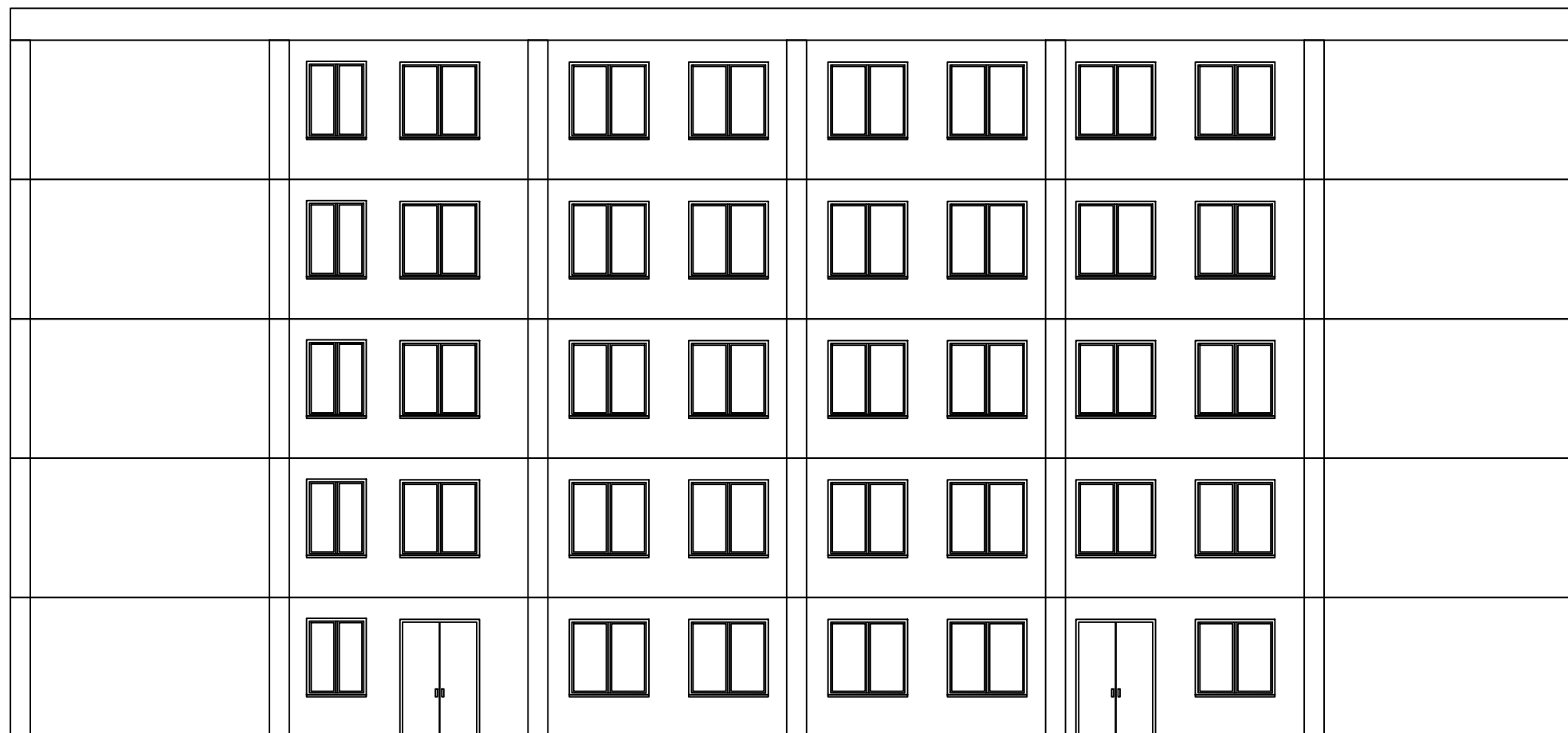
①	Soba za sastanke.....	52,08 m ²
②	Blagavaonica.....	39,65 m ²
③	Ured.....	8,82 m ²
④	Ured.....	17,09 m ²
⑤	Ured.....	15,78 m ²
⑥	Ured.....	14,87 m ²
⑦	Ured.....	24,03 m ²
⑧	Spremište.....	5,60 m ²
⑨	Ured.....	2x17,98 m ²
⑩	Ured.....	2x16,36 m ²
⑪	Ured.....	2x15,97 m ²
⑫	Spremište.....	5,70 m ²
⑬	Ured.....	2x23,53 m ²
⑭	Ured.....	32,79 m ²
⑮	Ured.....	18,62 m ²
⑯	WC.....	2x2,20+5,34=9,74 m ²
⑰	WC.....	2x2,47+4,84=9,78 m ²
⑱	Hodnik.....	160,46 m ²
⑲	Stubište.....	2x7,71 m ²
⑳	Dizalo.....	2x4,95 m ²

UKUPNA NETTO PLOŠTINA..... 588,01 m²

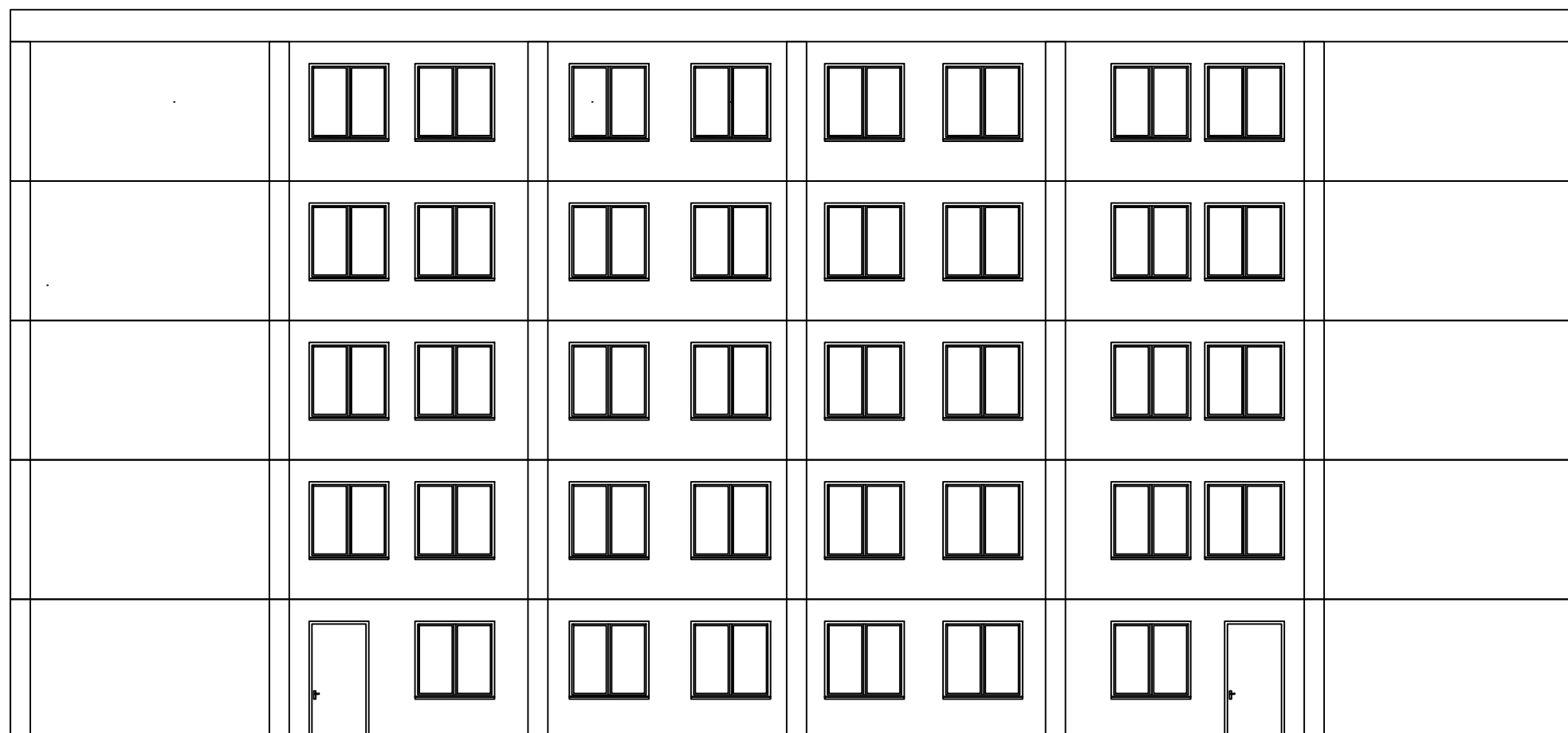


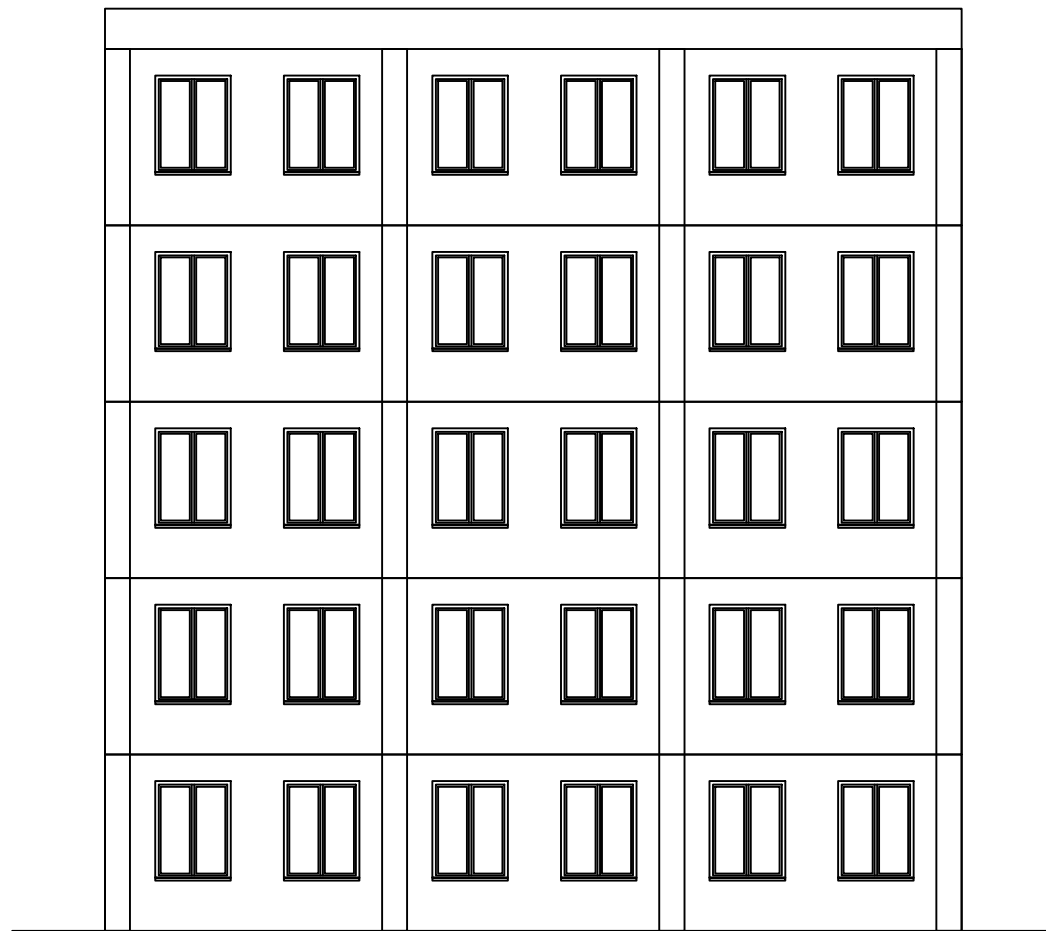
G F GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje AB okvirne konstrukcije zgrade prema sposobnosti nosivosti		Sadržaj nacrt: Tlocrt prizemlja	
Student: Iva Krnjus		Kolegij: Potresno inženjerstvo	
Mentor: Izv.prof.dr.sc. Davor Grandić, dipl.ing.građ.		Datum: 11.09.2022.	Mjerilo: 1:150
			List: 1

JUG

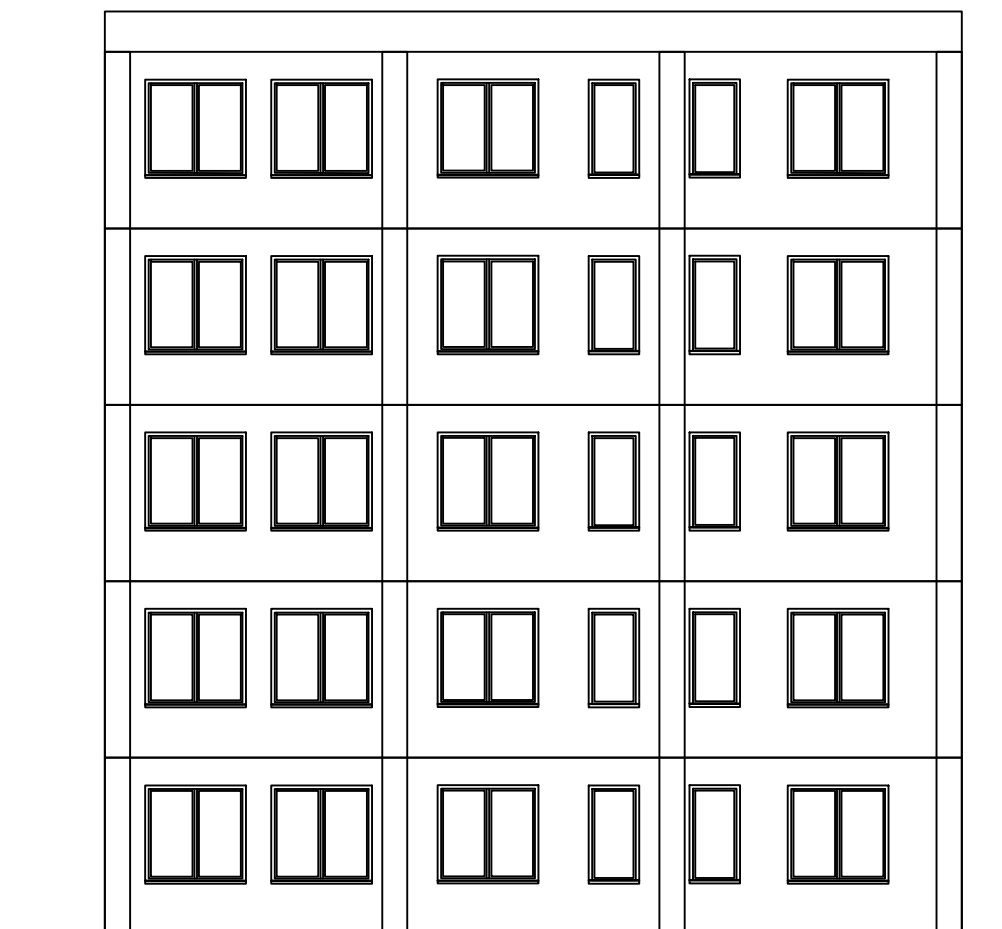


SJEVER

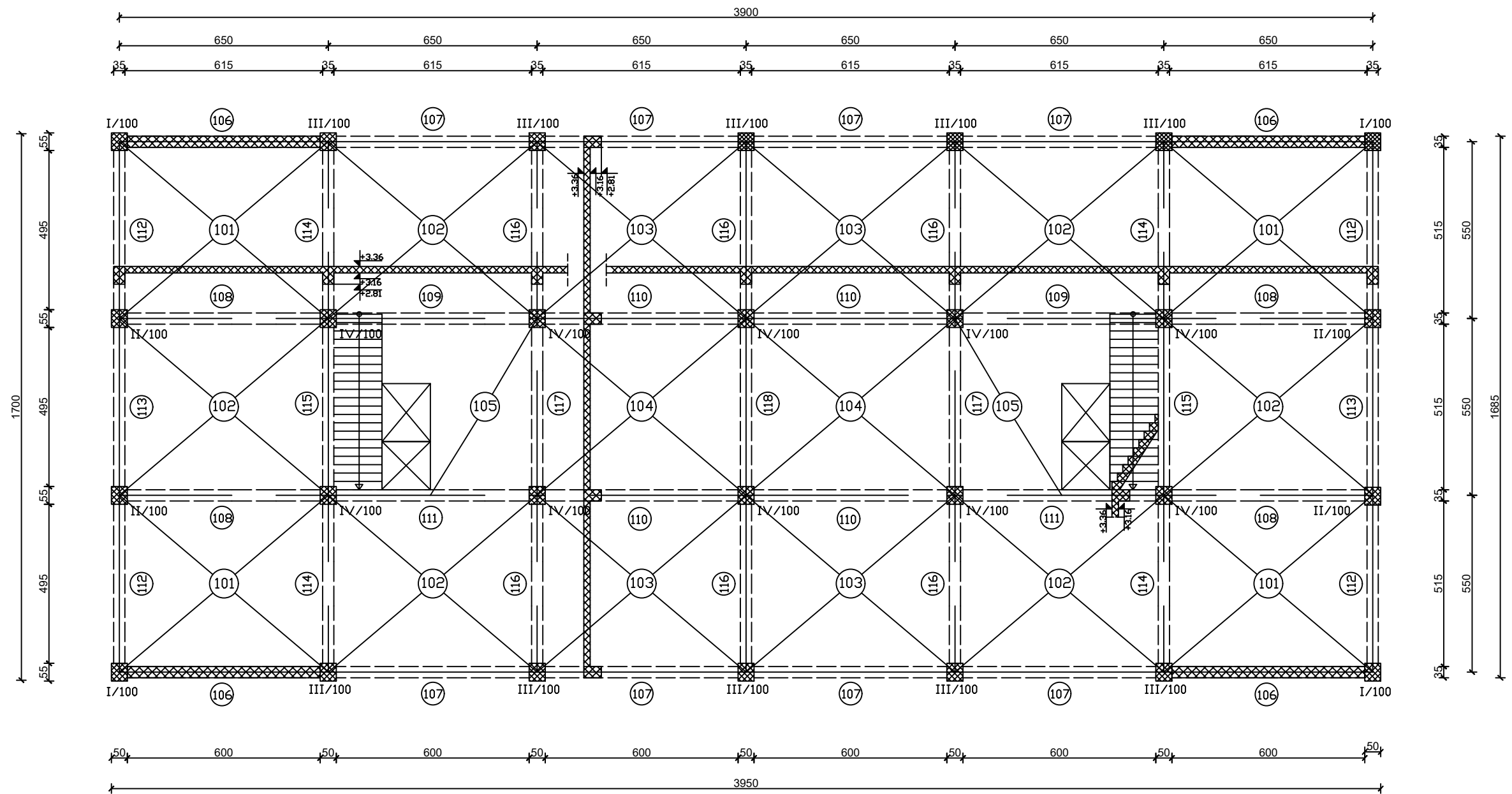


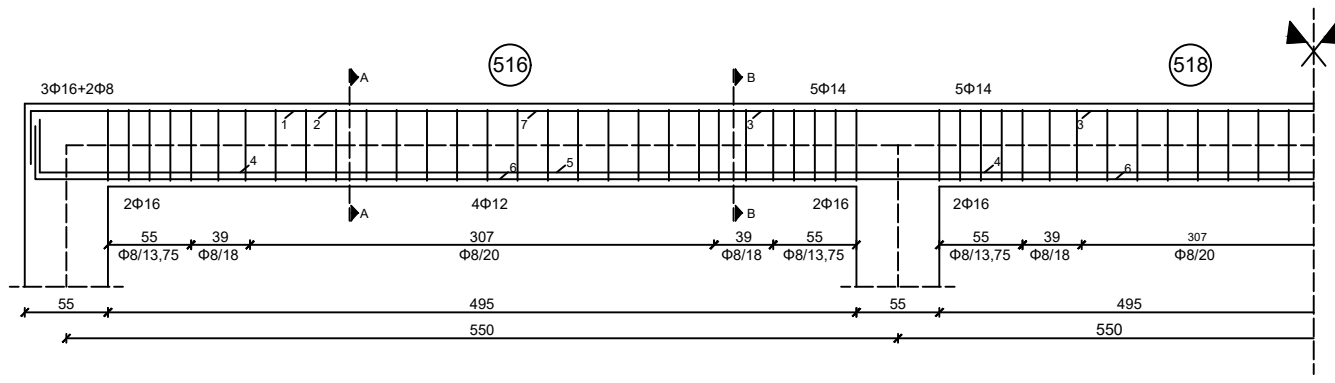


ISTOK

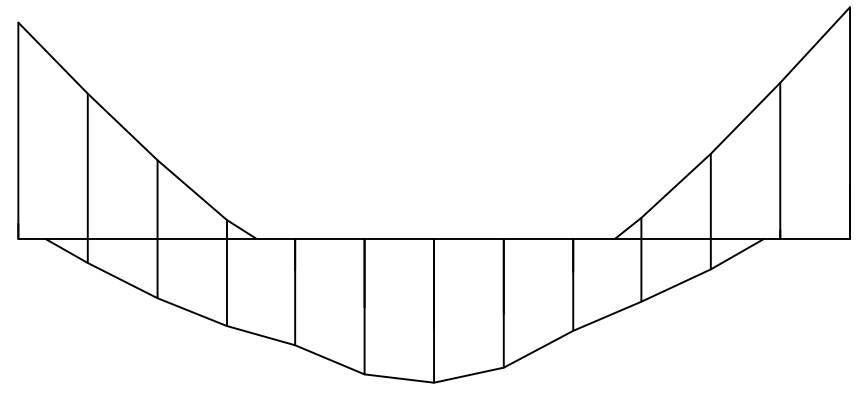


ZAPAD

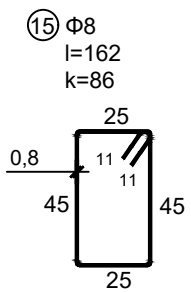
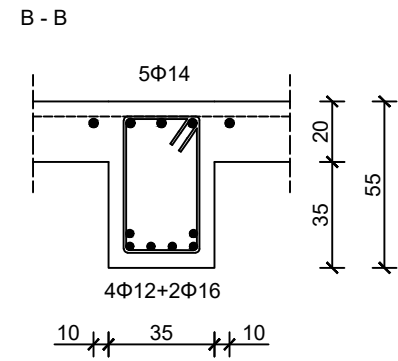
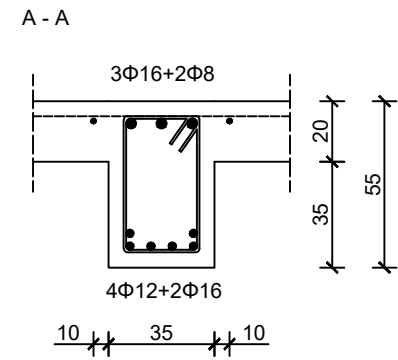




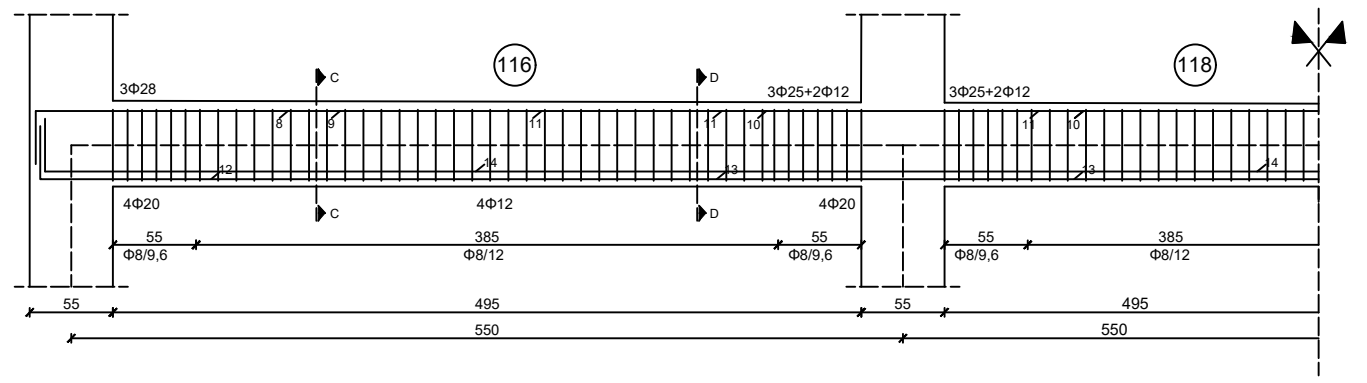
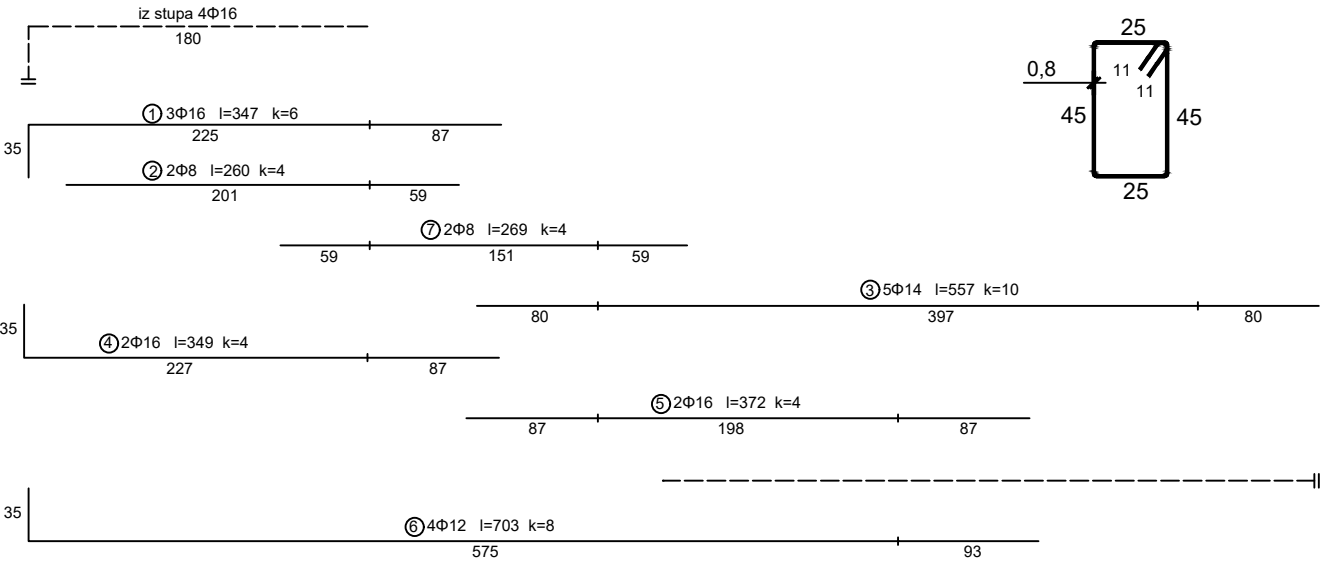
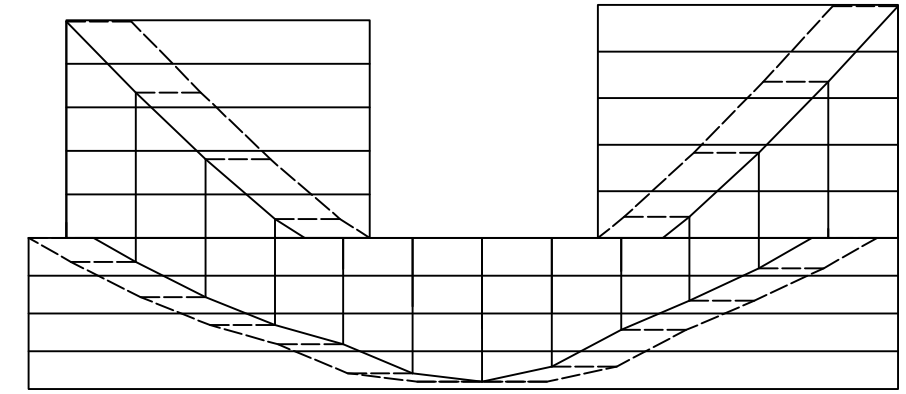
M_{Ed} ANVELOPA 1cm = 50 kNm



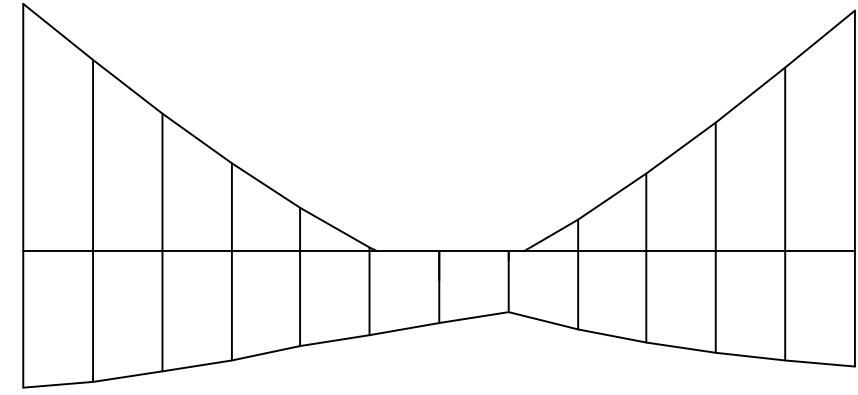
PRESJECI M 1:25



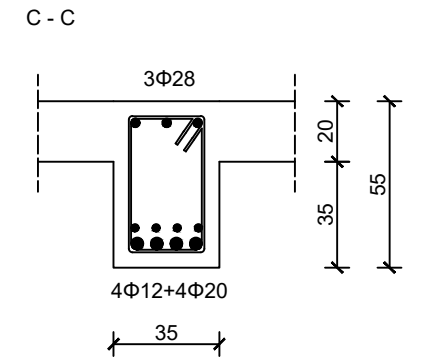
F_{Sd} DIJAGRAM 1cm = 100 kN



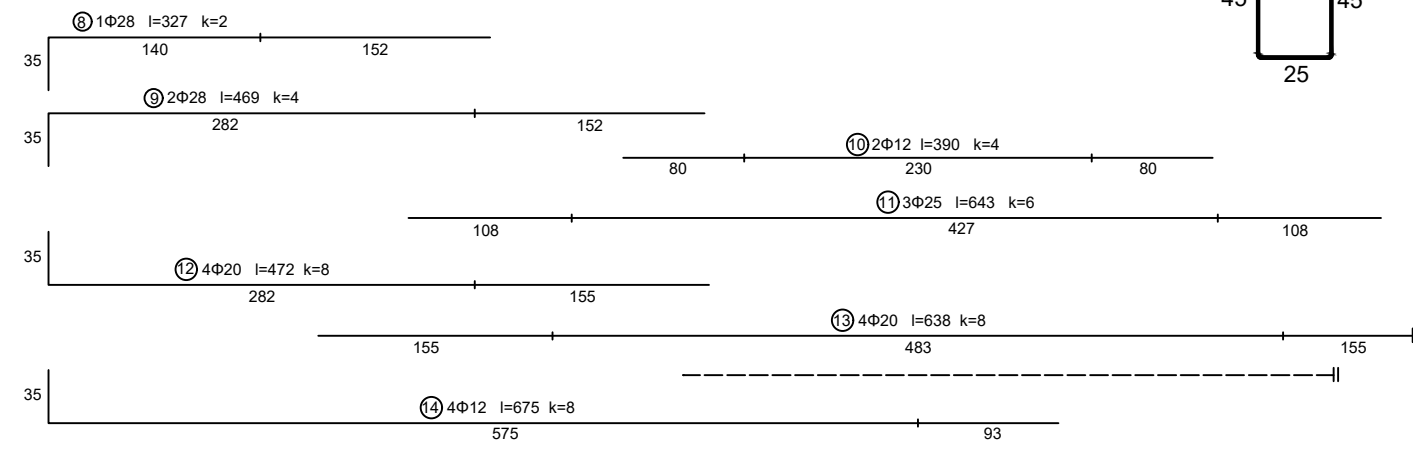
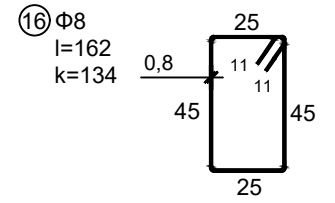
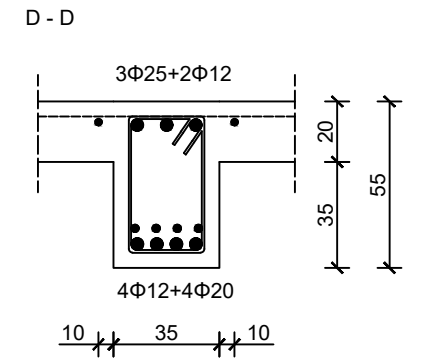
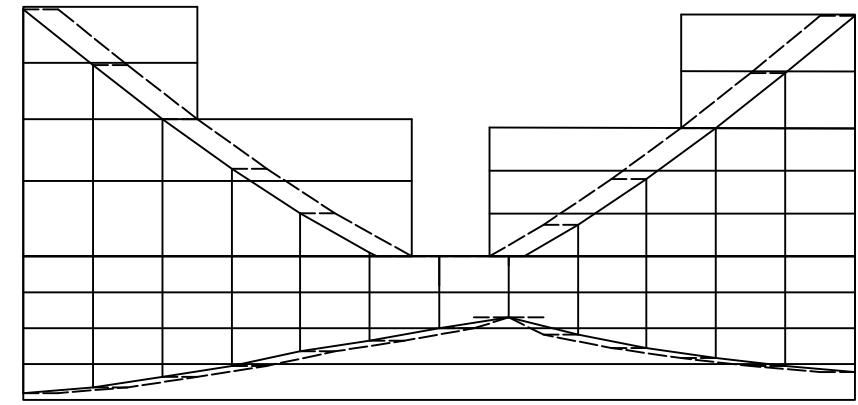
M_{Ed} ANVELOPA 1cm = 100 kNm



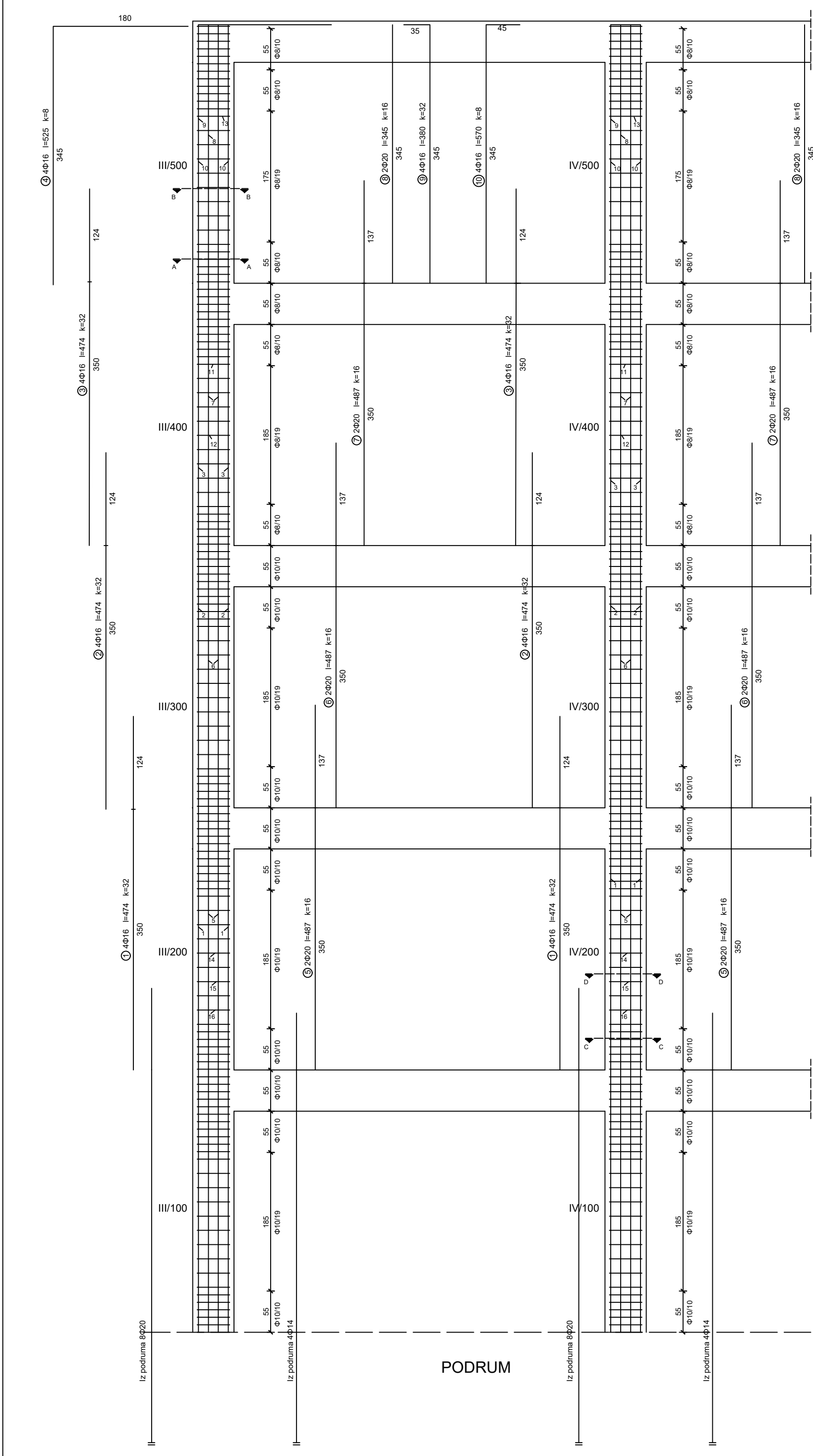
PRESJECI M 1:25



F_{Sd} DIJAGRAM 1cm = 200 kN



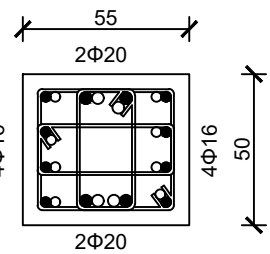
G F GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje AB okvirne konstrukcije zgrade prema sposobnosti nosivosti		Sadržaj nacrt: Nacrt armature greda okvira POZ 500 i 100	
Student: Iva Krnjus		Kolegij: Potresno inženjerstvo	
Mentor: Izv.prof.dr.sc. Davor Grandić, dipl.ing.građ.	Datum: 11.09.2022.	Mjerilo: 1:50	List: 6



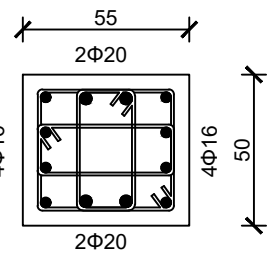
G F	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI	
	Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje AB okvime konstrukcije prema sposobnosti nosivosti	Sadržaj nacrta: Nacrt armature stupova
Student:	Iva Krnjus	Kolegiji: Potresno inženjerstvo
Mentor:	Izv.prof.dr.sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 11.09.2022.
	Mjerilo: 1:50	List: 7

PRESJECI M 1:25

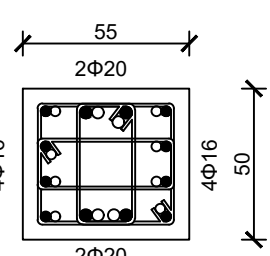
A - A



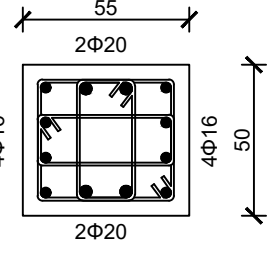
B - B



C - C



D - D



- ⑪ Φ8
l=132
k=104
- ⑫ Φ8
l=184
k=104
- ⑬ Φ8
l=138
k=104
- ⑭ Φ10
l=132
k=162
- ⑮ Φ10
l=184
k=162
- ⑯ Φ10
l=138
k=126