Proračun montažne okvirne višekatne zgrade s upetim spojevima greda-stup

Vranić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:157:175595

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-22**

Image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository

zir.nsk.hr

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ivan Vranić

Proračun montažne okvirne višekatne zgrade s upetim spojevima greda-stup

Diplomski rad

Rijeka, 2020.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij građevinarstva
Konstrukcije
Predgotovljene betonske konstrukcije

Ivan Vranić
0114027825

Proračun montažne okvirne višekatne zgrade s upetim spojevima greda-stup

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2020.

SVEUČILIŠTE U RIJECI GF GRAĐEVINSKI FAKULTET

51000 Rijeka, Radmile Matejčić 3, Tel.: 051/265-900, Fax: 265-998, žiro račun br. 2360000-1101407882, MB 3395855, OIB 92037849504

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**
Znanstveno područje: Tehničke znanosti
Znanstveno polje: Građevinarstvo
Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema diplomskog rada

PRORAČUN MONTAŽNE OKVIRNE VIŠEKATNE ZGRADE S UPETIM SPOJEVIMA GREDA-STUP

STRUCTURAL ANALYSIS OF A PRECAST MULTI-STOREY FRAME BUILDING WITH MOMENT-RESISTING BEAM-COLUMN CONNECTIONS

Kandidat: **IVAN VRANIĆ**

Kolegij: **PREDGOTOVLJENE BETONSKE KONSTRUKCIJE**

Diplomski rad broj: **K-2020-14**

Zadatak:

Analizirati montažnu armiranobetonsku okvirnu konstrukciju stambene zgrade (P+5) tlocrtnih dimenzija 22,0 x 22,0 m, smještene u Rijeci. Konstrukcija zgrade je okvirna, te je u jednom smjeru ukrućena armiranobetonskim zidovima.
Potrebno je proračunati: (1) stropnu konstrukciju koja se sastoji od predgotovljenih omnia-ploča; (2) karakteristični armiranobetonski okvir koji se sastoji od montažnih stupova (visine nekoliko katova) i montažnih greda. Dimenzioniranje greda i stupova okvira provesti uz zadovoljenje kriterija proračuna prema sposobnosti nosivosti (eng. capacity design rules). Riješiti detalj spoja grede i stupa kako bi se ostvario upeti spoj, koji će biti ekvivalentan monolitnoj vezi. Uzeti u obzir faznost izvedbe.
Proračun djelovanja i dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije potrebno je provesti u skladu s važećim normama HRN EN 1990, HRN EN 1991, HRN EN 1992 i HRN EN 1998, te pripadajućim nacionalnim dodacima.
Rad okvirno treba sadržavati: tehnički opis, statički proračun i dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije (omnia ploče, grede i stupovi karakterističnog okvira), nacrte oplate te nacrte armiranja nosivih elemenata s pripadajućim iskazima armature.

Tema rada je uručena: 25. veljače 2020.

Mentor:

doc. dr. sc. Paulo Šćulac,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Diplomski rad sam izradio 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.

Ivan Vranić

U Rijeci, 25. kolovoza 2020.

Zahvala

Zahvaljujem se svome mentoru doc.dr.sc. Paulu Šćulcu na odgovornom mentorstvu, prenesenom znanju i pomoći pri izradi ovog diplomskog rada usprkos neuobičajenoj i nepovoljnoj akademskoj situaciji uzrokovanoj epidemiji koronavirusa.

Također, htio bi se zahvaliti svojoj obitelji, prijateljima i djevojci na podršci tijekom svog akademskog obrazovanja.

SAŽETAK

O ovom diplomskom radu proveden je statički proračun i dimenzioniranje armiranobetonske montažne višekatne okvirne konstrukcije stambene zgrade (P+5), tlocrtnih dimenzija 22,0 m * 22,0 m, smještene u Rijeci, pritom uzimajući u obzir faznost izvedbe.

Odabrani okvirni sustav sastoji se od višekatnih predgotovljenih stupova koji u razini svakoga kata imaju otvor, te polumontažnih greda koje se oslanjaju se na kratke konzole stupa. Pritom se kroz otvor u stupu vodi uzdužna armatura greda, a otvor se naposljetku ispunjava in-situ betonom. Na taj način ostvaren je upeti spoj, koji je ekvivalentan monolitnoj vezi. Dimenzioniranje greda i stupova okvira na potresno djelovanje provedeno je uz zadovoljenje kriterija proračuna prema sposobnosti nosivosti i lokalne duktilnosti. Stropna konstrukcija je izvedena kao kompozitna AB ploča koja se sastoji od predgotovljenih Omnia ploča i „in-situ“ betona.

Proračun djelovanja i dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije provedeno je u skladu s važećim normama HRN EN 1990, HRN EN 1991, HRN EN 1992 i HRN EN 1998 te pripadajućim nacionalnim dodacima. Za Omnia ploče, grede i stupove karakterističnog okvira izrađeni su armaturni nacrti.

Ključne riječi: armirani beton, dimenzioniranje, potresno djelovanje, višekatna montažna zgrada, ravninski okvirni model, Omnia ploča, upeti spoj greda-stup

SUMMARY

Structural analysis and design of a precast concrete multi-storey frame structure taking into account the construction in stages is presented in this final year project. The residential building, consisting of ground plus 5 floors, is located in Rijeka and has a ground floor layout of 22,0 m * 22,0 m.

The selected frame system consists of multi-storey prefabricated columns that have an opening at the floor level and semi-prefabricated beams which are placed on short corbels on the columns. The longitudinal reinforcement of the semi-prefabricated beams is led through the opening in the column, and the opening is finally filled with in-situ concrete. In this way moment-resisting beam-column connections are achieved (equivalent to a monolithic connection). Structural analysis and design of the frame members (beams and columns) to seismic action was conducted taking into account the capacity design rules and local ductility criteria. The floor structure is made as a composite reinforced-concrete slab consisting of prefabricated plank slabs (Omnia) and in-situ concrete topping.

Structural analysis and design of load bearing members has been made according to HRN EN 1990, HRN EN 1991, HRN EN 1992 and HRN EN 1998, with accompanying National Annexes. Reinforcement plans have been made for the composite plank floor (Omnia), beams and columns of the multi-storey frame.

Key words: reinforced concrete, structural design, seismic actions, precast multi-storey building, planar frame model, Omnia slab, moment-resisting beam-column connections

SADRŽAJ

1. UVOD 1
1.1. Tehnički opis 1
2. SVOJSTVA MATERIJALA 4
2.1. Beton 4
2.2. Čelik za armiranje 5
3. ANALIZA OPTEREĆENJA 6
3.1. Stalno opterećenje 6
3.2. Promjenjivo opterećenje 7
3.2.1. Uporabno opterećenje q_k 7
3.2.2. Opterećenje snijega 8
3.2.3. Opterećenje vjetrom 10
3.3. Potresno opterećenje 15
4. POTRESNO DJELOVANJE NA KONSTRUKCIJU 17
4.1. Faktori ponašanja za horizontalna potresna djelovanja 17
4.2. Proračun i raspodjela poprečnih sila potresa na konstrukciju (X smjer) 22
4.3. Torzijski učinci na konstrukciju 27
4.4. Provjera ograničenja oštećenja (GSU) 28
5. DIMENZIONIRANJE OMNIA PLOČE 30
5.1. Dimenzioniranje stropne ploče 31
5.2. Provjera spona u RAN-u 39
5.3. Spoj starog i novog betona 41
5.4. Dimenzioniranje krovne ploče 42
6. DIMENZIONIRANJE GREDA OKVIRA 44
6.1. Dimenzioniranje grede u fazi 1 44
6.2. Dimenzioniranje grede u fazi 2 47
6.2.1. Dimenzioniranje greda na moment savijanja 48
6.2.2. Dimenzioniranje greda na poprečne sile 54
6.3. Proračun kratke konzole 64
7. DIMENZIONIRANJE STUPOVA OKVIRA 70
7.1. Proračun duljine izvijanja stupa 71
7.2. Dimenzioniranje stupova na moment savijanja i uzdužnu silu 75

7.2.1. Dimenzioniranje za trajnu proračunsku situaciju 75
7.2.2. Dimenzioniranje za potresnu proračunsku situaciju 85
7.3. Dimenzioniranje stupova na poprečne sile 95
7.3.1. Dodatne odredbe za dimenzioniranje na potres (EC8) 100
7.4. Detalj spoja stupa i grede 103
7.5. Detalj nastavka stupa 104
8. ISKAZ ARMATURE 107
9. ZAKLJUČAK 111
10. LITERATURA 113
11. NACRTNA DOKUMENTACIJA 114

Popis slika

Slika 1: 3D model konstrukcije 2
Slika 2: Tlocrt karakterističnog kata konstrukcije 3
Slika 3: Presjek karakterističnog okvira konstrukcije 3
Slika 4: Karta snježnih područja [3] 8
Slika 5: Osnovna brzina vjetra $v_{b,0}$ [4] 10
Slika 6: Tlocrt i bočni pogled zgrade s prikazanim vjetrovnim zonama 13
Slika 7: Tlocrt zgrade s prikazanim vjetrovnim zonama krova 14
Slika 8: Poredbeno vršno ubrzanje tla tipa A za grad Rijeka [6] 16
Slika 9: Oblik titranja za x-smjer, T_1 = 0,79 s 20
Slika 10: Oblik titranja za y-smjer, T_1 = 0,53 s 21
Slika 11: Prvih šest oblika oscilacija 21
Slika 12: Raspodjela poprečnih sila po visini zgrade 25
Slika 13: Tlocrt karakterističnog kata s označenim okvirima i međusobnim razmacima ... 27
Slika 14: Maksimalni međukatni pomaci konstrukcije za mjerodavnu potresnu kombinaciju djelovanja 28
Slika 15: Poprečni presjek Omnia ploče (bez dodatnih armatura) 33
Slika 16: Rešetkasti armaturni nosač (RAN) Omnia ploče 33
Slika 17: Statički sustav Omnia ploče u fazi 1 35
Slika 18: Statički sustav Omnia ploče u fazi 2 36
Slika 19: Statički sustav Omnia ploče u fazi 3 37
Slika 20: Dodatna armatura donje zone ploče betonirane na gradilištu [13] 39
Slika 21: Statički sustav grede u fazi 1 44
Slika 22: Označene pozicije grede karakterističnog okvira 48
Slika 23: Opterećenje mjerodavnog okvira za proračun (okvir 2) 48
Slika 24: Anvelopa momenata savijanja greda s prikazanim najvećim vrijednostima u polju 50
Slika 25: Anvelopa momenata savijanja greda s prikazanim najvećim vrijednostima na osloncu u gornjoj zoni 51
Slika 26: Anvelopa momenata savijanja greda s prikazanim najvećim vrijednostima 51
Slika 27: Anvelopa poprečnih sila iz trajne proračunske situacije 54
Slika 28: Vrijednost poprečnih sila u gredama pri proračunu sposobnosti nosivosti [5] ... 57
Slika 29: Primjer kratke konzole s čeličnom pločicom i označenim dimenzijama [1] 65
Slika 30: Detalj kratke konzole 67
Slika 31: Oznake krutosti čvorova 72
Slika 32: Maksimalna uzdužna sila po katovima za trajnu proračunsku situaciju 73
Slika 33: Određivanje koeficijenta puzanja $\varphi_{(\infty,t0)}$ [1] 77
Slika 34: Maksimalna uzdužna sila i pripadajući moment savijanja u stupu S1 (presjek dolje) 79
Slika 35: Maksimalna uzdužna sila i pripadajući moment savijanja u stupu S2 (presjek dolje) 80
Slika 36: Maksimalna uzdužna sila i pripadajući moment savijanja u stupu S3 (presjek dolje) 81
Slika 37: Maksimalni moment savijanja i pripadajuća uzdužna sila u stupu S1 (presjek gore) 82

Slika 38: Maksimalni moment savijanja i pripadajuća uzdužna sila u stupu S2 (presjek gore) ... 83
Slika 39: Maksimalni moment savijanja i pripadajuća uzdužna sila u stupu S3 (presjek gore) ... 84
Slika 40: Iznos momenata u čvorovima za smjer 1 ... 86
Slika 41: Iznos momenata u čvorovima za smjer 2 ... 86
Slika 42: Određivanje koeficijenta α za povećanje momenata prema kapacitetu nosivosti (stup S1) ... 87
Slika 43: Određivanje koeficijenta α za povećanje momenata prema kapacitetu nosivosti (stup S2) ... 88
Slika 44: Određivanje koeficijenta α za povećanje momenata prema kapacitetu nosivosti (stup S3) ... 89
Slika 45: Uzdužna sila u potresnoj kombinaciji 1 ... 90
Slika 46: Uzdužna sila u potresnoj kombinaciji 2 ... 92
Slika 47: Poprečni presjek stupa s prikazanom uzdužnom armaturom i međusobnim udaljenostima ... 94
Slika 48: Određivanje veličine poprečne sile V_{Ed} na stupu S1 ... 96
Slika 49: Određivanje veličine poprečne sile V_{Ed} na stupu S2 i S3 ... 97
Slika 50: Poprečni presjek stupa s prikazanom poprečnom armaturom i međusobnim udaljenostima ... 101
Slika 51: Ostavljeni otvori u predgotovljenim stupovima [11] ... 103
Slika 52: Nastavak stupa uz pomoć injektiranja prethodno izvedenih kanala [12] ... 105
Slika 53: Detalj spoja stupa i temelja [13] ... 105
Slika 54: Stepenasti raspored nastavljanja stupova [12] ... 106

Popis tablica

Tablica 1: Stalno opterećenje krovne konstrukcije 6
Tablica 2: Stalno opterećenje stropne konstrukcije 6
Tablica 3: Uporabno opterećenje [2] 7
Tablica 4: Ovisnost koeficijenta oblika o nagibu krova [3] 9
Tablica 5: Karakteristično opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine [3] 9
Tablica 6: Koeficijenti i iznos vanjskog tlaka vjetra za vertikalne površine [4] 13
Tablica 7: Unutrašnji tlak vjetra na vertikalne površine 14
Tablica 8: Koeficijenti i iznos vanjskog tlaka za ravne krovove [4] 14
Tablica 9: Unutrašnji tlak vjetra na ravni krov 15
Tablica 10: Tipovi temeljnog tla [5] 15
Tablica 11: Vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni elastični spektar odziva [5] 16
Tablica 12: Razredi važnosti za zgrade [5] 16
Tablica 13: Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q0 za sustave pravilne po visini [5] ... 17
Tablica 14: Približne vrijednosti faktora α_u/α_i za zgrade pravilne u tlocrtu [5] 18
Tablica 15: Vrijednosti faktora k_w [5] 18
Tablica 16: Težina katova G_{1-5} 23
Tablica 17: Težina kata G_6 24
Tablica 18: Ukupna težina konstrukcije 24
Tablica 19: Uvjet ograničenja oštećenja 29
Tablica 20: Razredi izloženosti u ovisnosti o uvjetima okoliša u skladu s EN 206-1 [1] ... 31
Tablica 21: Preporučeni razred konstrukcije [1] 32
Tablica 22: Najmanji zaštitni sloj $c_{min,dur}$ prema kriteriju trajnosti čelične armature (mm) [1] 32
Tablica 23: Opterećenje mjerodavnog okvira za proračun (okvir 2) 49
Tablica 24: Iznos momenta na osloncu u svakome čvoru 52
Tablica 25: Potrebna vlačna armatura na osloncu (gornja zona) 52
Tablica 26: Usvojena armatura na osloncu 52
Tablica 27: Usvojena armatura u polju 53
Tablica 28: Poprečna armatura odabrana iz iznosa poprečne sile 56
Tablica 29: Poprečna armatura odabrana za poprečnu silu 50 cm od oslonca 56
Tablica 30: Proračun poprečne sile prema kapacitetu nosivosti 59
Tablica 31: Poprečna armatura odabrana za poprečnu silu na osloncu 60
Tablica 32: Omjer armiranja u vlačnom i tlačnom području 62
Tablica 33: Omjer armiranja u vlačnom području u odnosu na minimalni omjer armiranja 62
Tablica 34: Mjerodavna poprečna armatura greda (polovica grede) 64
Tablica 35: Podaci potrebni za dimenzioniranje kratke konzole 66
Tablica 36: Učinci teorije II. reda za trajnu proračunsku situaciju (stup S1) 74
Tablica 37: Učinci teorije II. reda za trajnu proračunsku situaciju (stup S2) 74
Tablica 38: Učinci teorije II. reda za trajnu proračunsku situaciju (stup S3) 75
Tablica 39: Iznos koeficijenta K_φ za vanjske stupove 78
Tablica 40: Iznos koeficijenta e_2 za vanjske stupove 78
Tablica 41: Potrebna armatura za 1. slučaj trajne proračunske situacije (stup S1) 79

Tablica 42: Potrebna armatura za 1. slučaj trajne proračunske situacije (stup S2) 80
Tablica 43: Potrebna armatura za 1. slučaj trajne proračunske situacije (stup S3) 81
Tablica 44: Potrebna armatura za 2. slučaj trajne proračunske situacije (stup S1) 82
Tablica 45: Potrebna armatura za 2. slučaj trajne proračunske situacije (stup S2) 83
Tablica 46: Potrebna armatura za 2. slučaj trajne proračunske situacije (stup S3) 84
Tablica 47: Učinci II. reda za potresnu kombinaciju..... 85
Tablica 48: Proračun momenata na temelju kapaciteta nosivosti (stup S1)..... 87
Tablica 49: Proračun momenata na temelju kapaciteta nosivosti (stup S2)..... 88
Tablica 50: Proračun momenata na temelju kapaciteta nosivosti (stup S3)..... 89
Tablica 51: Potrebna armatura za 1. potresnu situaciju (stup S1) 90
Tablica 52: Potrebna armatura za 1. potresnu situaciju (stup S2) 91
Tablica 53: Potrebna armatura za 1. potresnu situaciju (stup S3) 91
Tablica 54: Potrebna armatura za 2. potresnu situaciju (stup S1) 92
Tablica 55: Potrebna armatura za 2. potresnu situaciju (stup S2) 93
Tablica 56: Potrebna armatura za 2. potresnu situaciju (stup S3) 93
Tablica 57: Određivanje proračunskog momenta savijanja (stup S1)..... 95
Tablica 58: Određivanje proračunskog momenta savijanja (stup S2)..... 96
Tablica 59: Određivanje proračunskog momenta savijanja (stup S3)..... 97
Tablica 60: Odabir poprečne armature stupa iz mjerodavne poprečne sile..... 99
Tablica 61: Iskaz armature Omnia ploče – proizvodna faza (POZ. 100) 107
Tablica 62: Iskaz armature gornje zone AB. ploče – faza montaže (POZ.100) 107
Tablica 63: Iskaz armature greda okvira 2 – proizvodna faza..... 108
Tablica 64: Iskaz armature greda okvira 2 – faza montaže 108
Tablica 65: Iskaz armature stupova okvira 2 – proizvodna faza 109
Tablica 66: Iskaz armature jednostrane konzole – okvir 2..... 109
Tablica 67: Iskaz armature dvostrane konzole – okvir 2..... 110

1. UVOD

1.1. Tehnički opis

Ovim diplomskim radom biti će obuhvaćen proračun predgotovljene armiranobetonske konstrukcije čija je namjena stambena zgrada. Zgrada je smještena u gradu Rijeci a sastoji se od prizemlja i pet katova te ravnog krova. Tlocrtno zgrada je simetrična, kvadratnog oblika sa dimenzijama 22,0 m * 22,0 m a ukupna visina iznosi 18,0 m. Zgrada ima jedno stubište i predviđeni prostor za ugradnju dizala. Nosivi sustav zgrade sastoji se od višekatnih okvira, a u jednom je smjeru zgrada ukrućena s tri armiranobetonska zida. Svi elementi izvedeni su od betona klase C30/37. Za armiranje greda i stupova korištena je armatura B450C koja ima znatno veću duktilnost od armature B500B što je posebno bitno u potresnim područjima. Ploča je armirana čelikom B500B.

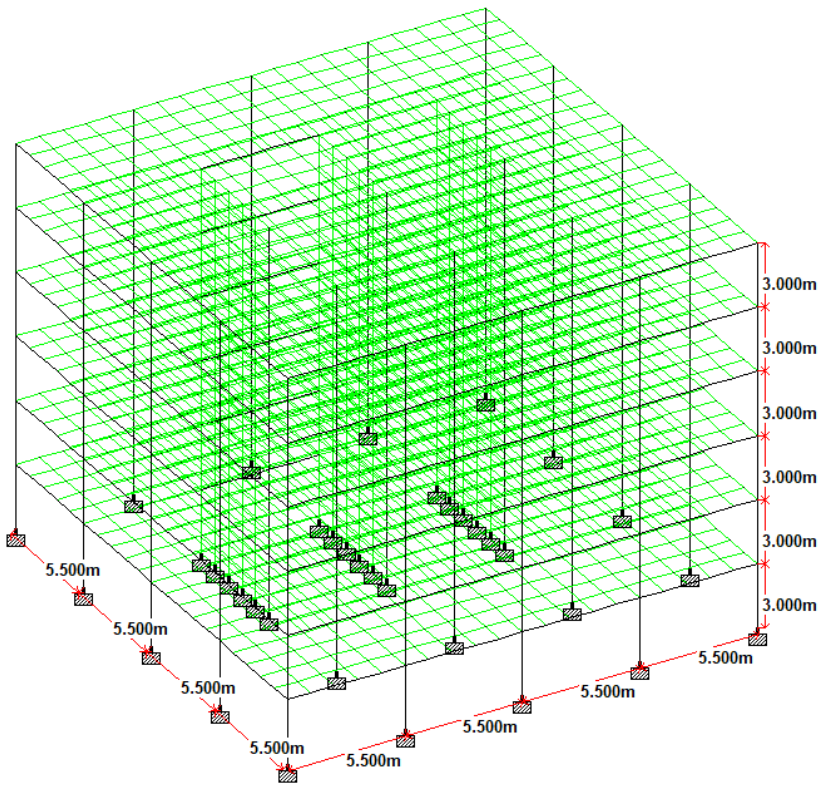
Nosiva konstrukcija sastoji se od predgotovljenih armiranobetonskih elemenata u obliku predgotovljenih ploča, greda i stupova. Zbog toga u fazi građenja treba predvidjeli faznost izvedbe konstrukcije. Svi nosivi dijelovi konstrukcije na gradilište dolaze kao gotovi elementi koje je potrebno međusobno spojiti „in-situ“ betonom te prethodno ugraditi dodatnu armaturu. Veza elementa mora biti takva da se ostvari monolitna veza koja mora biti prisutna u svim spojevima konstrukcije.

Stupovi se u tvornici proizvode kao elementi dimenzija 50 cm * 50 cm sa svom potrebnom proračunskom armaturom te sa kratkim konzolama ispod razine kata na koje će se oslanjati predgotovljene grede. Stupovi se protežu kroz određen broj katova odnosno do visine kada će se morati napraviti prekid zbog uvjeta transporta. Za spoj stupova odabrano je injektiranje prethodno izvedenih kanala. To znači da će se kod prekida jednog stupova produljiti uzdužna armatura koje zatim ulaze u prethodno postavljene cijevi drugoga stupa. Također, u visini kata ostavlja se prostor dimenzija 50 cm * 50 cm * 50 cm kako bi se na gradilištu postavila greda sa svojom armaturom i ostvario monolitni spoj stupa i grede. Stupovi se na gradilištu postavljaju na svoje odgovarajuće mjesto te se podupiru na 2/3 svoje visine dok se ne ostvare zadovoljavajući spoj stupa i stupa te stupa sa temeljem. Svi spojevi ostvaruju se injektiranjem „in-situ“ betona u postavljene cijevi.

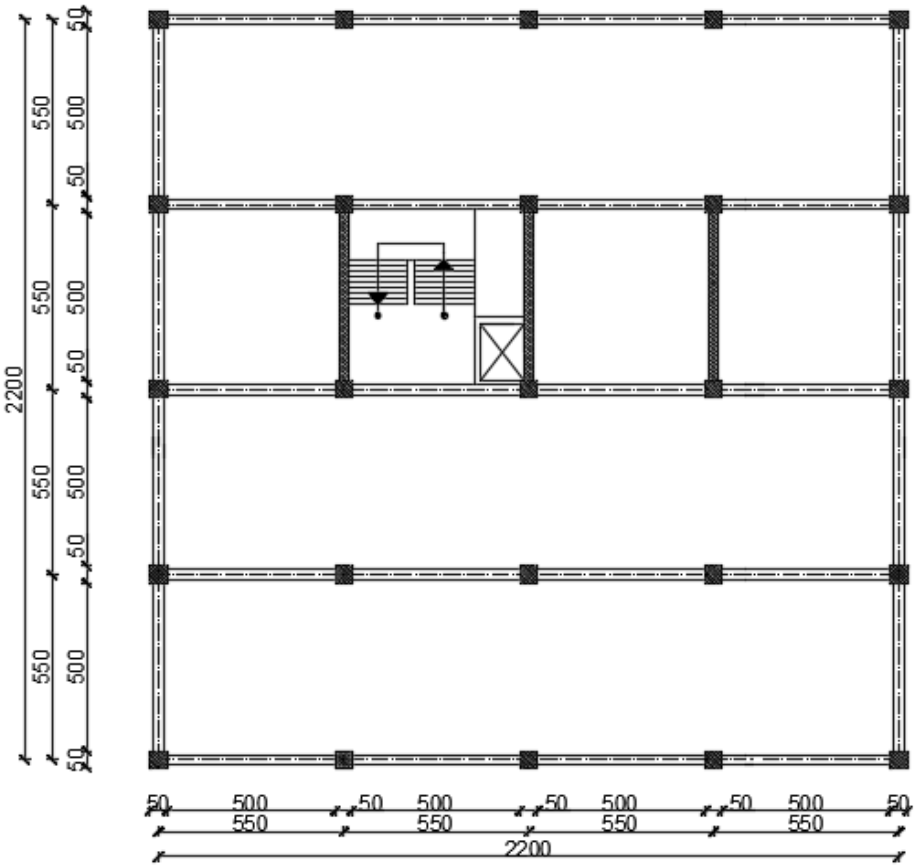
Grede se u tvornici proizvode kao elementi dimenzija 30 cm * 30 cm sa ugrađenom uzdužnom armaturom u donjoj zoni te poprečnom armaturom koja je predviđena za konačne

dimenzije grede. Na gradilištu grede se postavljaju na kratke konzole stupova, na njih se oslanjaju Omnia ploče visine 8 cm nakon čega je moguće postaviti ostatak proračunate armature grede i dodati „in-situ“ beton nakon kojega greda poprima svoje konačne dimenzije od 30 cm * 50 cm.

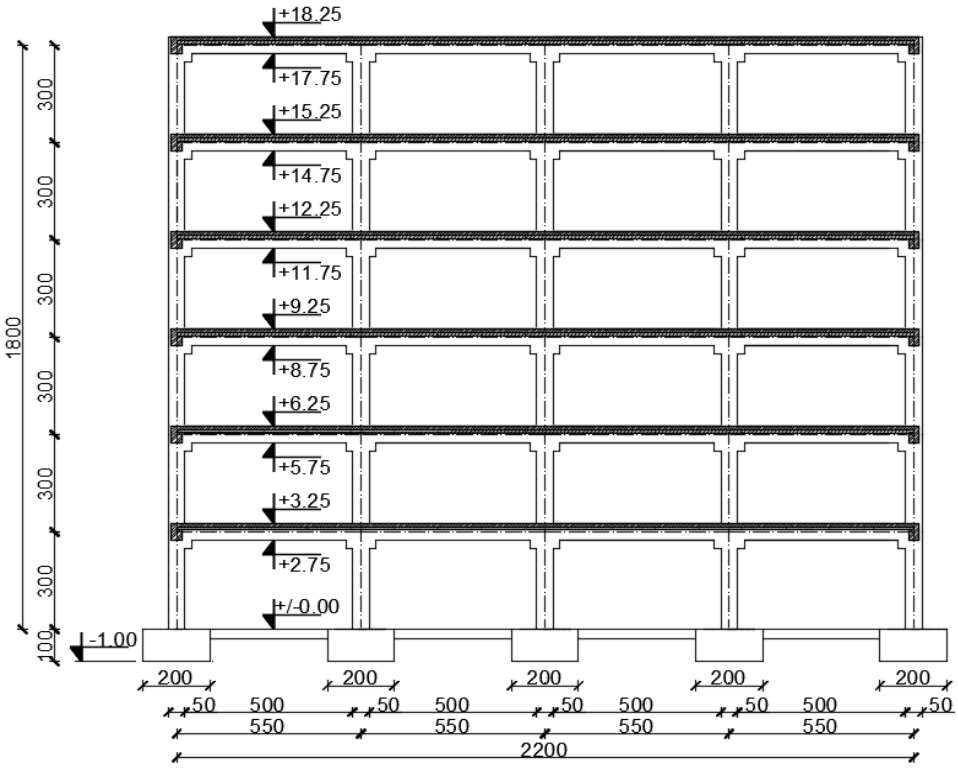
Stropovi zgrade su Omnia ploče visine 20 cm, širine 1,3 m i raspona 5,25 m. To su predgotovljene ploče koje se u tvornici izvode u debljini od 8 cm sa svom potrebnom armaturom, a na gradilištu se postavlja „in-situ“ beton u debljini od 12 cm zajedno sa dodatnom armaturom dobivenom iz proračuna. Omnia ploče potrebno je proračunati u nekoliko faza. Za početak dimenzionira se ploča u fazi kada se ona diže pomoću dizalice i postavlja na svoje mjesto na gredama. Zatim se betonira ploča visine 12 cm a u ovoj fazi ploča je poduprta podupiračima u trećinama raspona. Na posljetku, ploča dobiva svoju konačnu visinu te se kao takva dimenzionira na sva predviđena uporabna opterećenja.



Slika 1: 3D model konstrukcije



Slika 2: Tlocrt karakterističnog kata konstrukcije



Slika 3: Presjek karakterističnog okvira konstrukcije

2. SVOJSTVA MATERIJALA

2.1. Beton

Za izradu svih predgotovljenih elemenata konstrukcije, kao i za beton „in-situ“, odabrana je klasa betona C30/37. Karakteristike odabrane klase betona preuzete su iz važeće norme [1] te one glase:

f_{ck} – karakteristična tlačna čvrstoća betona

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

$$f_{ck,cube} = 37 \frac{N}{mm^2}$$

f_{cd} – proračunska tlačna čvrstoća betona

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\Upsilon_c}$$

α_{cc} – koeficijent koji uzima u obzir utjecaj dugotrajnog opterećenja na tlačnu čvrstoću betona i ostale nepovoljne učinke; preporučena vrijednost: $\alpha_{cc} = 1$

Υ_c – parcijalni koeficijent za beton; $\Upsilon_c = 1{,}5$

$$f_{cd} = 1 * \frac{30}{1{,}5} = 20 \frac{N}{mm^2} = 2 \frac{kN}{cm^2}$$

E_{cm} – sekantni modul elastičnosti

$$E_{cm} = 33000 \frac{N}{mm^2} = 33 \text{ GPa}$$

2.2. Čelik za armiranje

Za armiranje predgotovljenih Omnia ploča odabran je čelik B500B dok je za armiranje predgotovljenih greda i stupova odabran čelik velike duktilnosti; B450C. Karakteristike odabranih klasa čelika:

<u>Čelik B500B</u>

f_{yk} – karakteristična granica popuštanja čelika

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

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\Upsilon_y}$$

Υ_y – parcijalni koeficijent za čelik; Υ_y = 1,15

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

<u>Čelik B450C</u>

f_{yk} – karakteristična granica popuštanja čelika

$$f_{yk} = 450 \frac{N}{mm^2}$$

f_{yd} – proračunska granica popuštanja čelika

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\Upsilon_s}$$

Υ_s – parcijalni koeficijent za čelik; Υ_s = 1,15

$$f_{yd} = \frac{450}{1,15} = 391,30 \frac{N}{mm^2} = 39,13 \frac{kN}{cm^2}$$

3. ANALIZA OPTEREĆENJA

3.1. Stalno opterećenje

Tablica 1: Stalno opterećenje krovne konstrukcije

Šljunak	$0{,}05\ \mathrm{m} * 15\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$0{,}75\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
Hidroizolacija		$0{,}50\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
Cementni namaz	$0{,}02\ \mathrm{m} * 23\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$0{,}46\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
Lagani beton	$0{,}10\ \mathrm{m} * 20\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$2{,}00\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
Ekspandirani polistiren	$0{,}05\ \mathrm{m} * 0{,}12\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$0{,}01\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
A.B. ploča	$0{,}20\ \mathrm{m} * 25\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$5{,}00\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
Podgled	$0{,}015\ \mathrm{m} * 18\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$0{,}27\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
		$\sum \mathrm{g}_\mathrm{k}^1 = 9{,}00\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$

Tablica 2: Stalno opterećenje stropne konstrukcije

Parket	$0{,}02\ \mathrm{m} * 15\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$0{,}30\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
Cementni estrih	$0{,}05\ \mathrm{m} * 24\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$1{,}20\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
Ekspandirani polistiren	$0{,}05\ \mathrm{m} * 0{,}12\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$0{,}01\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
A.B. ploča	$0{,}20\ \mathrm{m} * 25\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$5{,}00\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
Podgled	$0{,}015\ \mathrm{m} * 18\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3}$	$0{,}27\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
Pregradni zidovi		$1{,}00\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$
		$\sum \mathrm{g}_\mathrm{k}^2 = 7{,}78\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$

3.2. Promjenjivo opterećenje

3.2.1. Uporabno opterećenje q_k

Namjena zgrade je prostor za stanovanje i kućanske djelatnosti (stambena zgrade) te tako prema [2] pripada kategoriji A. Uobičajeni iznos uporabnog opterećenja za ovakve zgrade iznosi: $q_k = 1{,}5$ kN/m^2, u ovom slučaju usvojena je malo veća vrijednost opterećenja, u iznosu od:

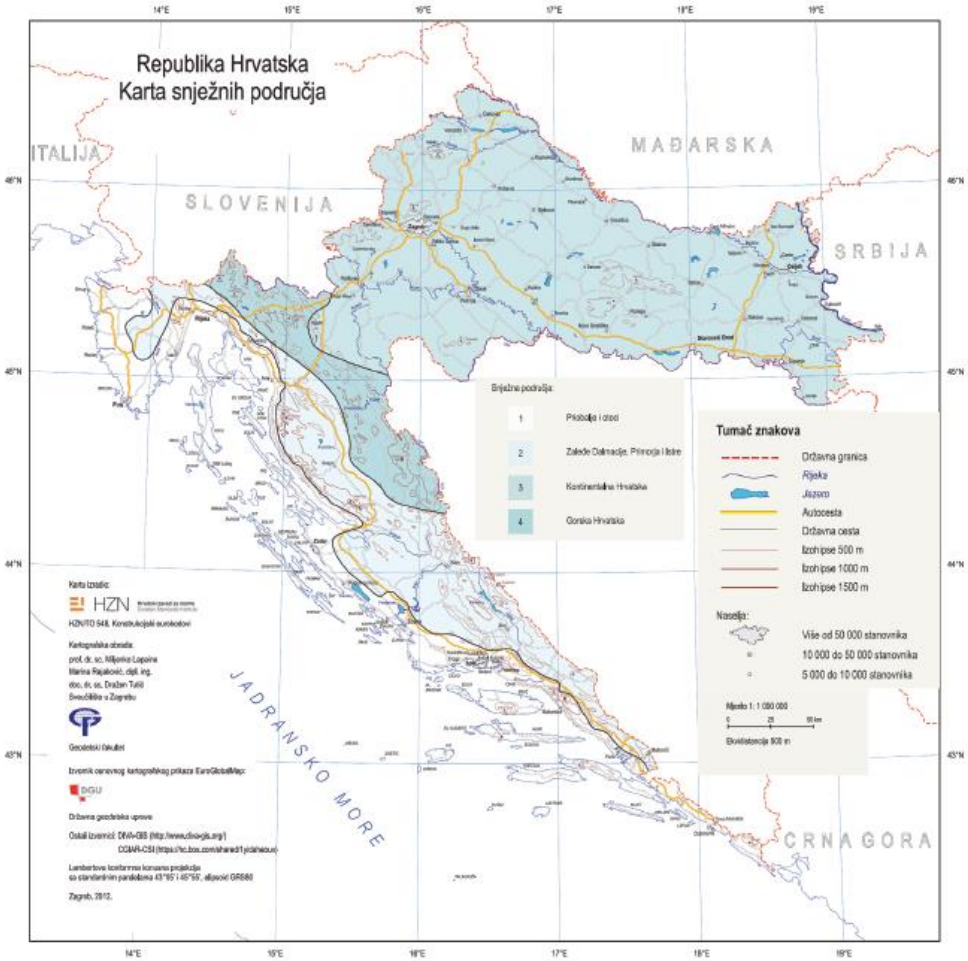
$$q_k = 2{,}0\,\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}$$

Tablica 3: Uporabno opterećenje [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 1,8m 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 prenoćištima 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, podrumske 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 prostor, 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 bez nepomičnih sjedala	5	4
12		C6		Prostori za učestalo okupljanje mnogo ljudi, tribine bez nepomičnih sjedala	7,5	10,0

3.2.2. Opterećenje snijega

Stambena zgrada smještena je na području grada Rijeke (50 m.n.m) te na temelju karte snježnih područja [3] pripada prvome području (priobalje i otoci).



Slika 4: Karta snježnih područja [3]

Proračunsko opterećenja snijega na krovu proračunava se kao:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

μ_i – koeficijent oblika opterećenja snijegom koji ovisi o nagibu krova, a za ravne krovove prema tablici 4, on iznosi $\mu_i = 0$

Tablica 4: Ovisnost koeficijenta oblika o nagibu krova [3]

Kut nagiba krova	$0° \leq \alpha \leq 30°$	$30° < \alpha \leq 60°$	$\alpha > 60°$
Koeficijent oblika μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60° - \alpha) / 30$	0,0
Koeficijent oblika μ_2	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$	1,6	–

C_e - faktor izloženosti kojim se uzima u obzir uvjeti puhanja vjetra; za uobičajenu topografiju; $C_e = 1$

C_t – toplinski koeficijent koji uzima u obzir toplinsku izolaciju krova i uvjete zagrijavanja zgrade; $C_t = 1$

s_k – karakteristično opterećenje snijegom koje je prema tablici 5 jednako:

$$s_k = 0{,}5 \frac{kN}{m^2}$$

Tablica 5: Karakteristično opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine [3]

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m²]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m²]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m²]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m²]
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
1 000	2,00	4,00	3,50	5,00
1 100	3,00	5,00	4,00	5,50
1 200	4,00	6,00	4,50	6,00
1 300	5,00	7,00		7,00
1 400	6,00	8,00		8,00
1 500		9,00		9,00
1 600		10,00		10,00
1 700		11,00		11,00
1 800		12,00		

Proračunsko opterećenje snijega na ravnome krovu iznosi:

$$s = 0{,}8 * 1 * 1 * 0{,}5 = 0{,}4 \frac{kN}{m^2}$$

3.2.3. Opterećenje vjetrom

Proračunsko djelovanje vjetra proračunato je na temelju norme HRN EN 1991-1-4:2012

<u>Osnovna brzina vjetra</u>

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0}$$

v_b - osnovna brzina vjetra

$v_{b,0}$ - temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra; $v_{b,0} = 30\frac{m}{s}$

C_{dir} - faktor smjera; $C_{dir} = 1{,}0$

C_{season} - faktor godišnjeg doba; $C_{season} = 1{,}0$

$$v_b = 1 * 1 * 30 = 30\frac{m}{s}$$

Slika 5: Osnovna brzina vjetra $v_{b,0}$ [4]

<u>Srednja vrijednost brzine vjetra</u>

$$v_m(z) = C_r(z) * C_0(z) * v_b$$

$C_r(z)$ - faktor hrapavosti

$C_0(z)$ - faktor orografije; $C_0(z) = 1$

<u>Hrapavost terena</u>

$$C_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right);\ z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$C_r(z) = C_r(z_{min});\ z \leq z_{min}$$

z_0 - duljina hrapavosti

k_r - faktor terena ovisan o duljini hrapavosti z_0

$$k_r = 0{,}19 * (\frac{z_0}{z_{0,II}})^{0{,}07}$$

$z_{0,II} = 0{,}05$ (kategorija terena II)

z_{min} - najmanja visina

z_{max} - uzima se kao 200 m

z_0; z_{max} - ovise o kategoriji terena

Prema normi HRN EN 1991-1-4 i kategoriji terena II (područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreka): $z_0 = 0{,}05$ m; $z_{min} = 2$ m

Iz dispozicije zgrade proizlazi da je z = 18 m.

$$k_r = 0{,}19 * \left(\frac{0{,}05}{0{,}05}\right)^{0{,}07} = 0{,}19$$

Vrijedi $z_{min} \leq z \leq z_{max}$ (2 m < 18 m < 200 m) pa s toga:

$$C_r(z) = 0{,}19 * \ln\left(\frac{18}{0{,}05}\right) = 1{,}12$$

Iz toga slijedi da je srednja vrijednost brzine vjetra jednaka:

$$v_m(z) = 1{,}12 * 1 * 30 = 33{,}6\frac{m}{s}$$

Jakost turbulencije vjetra

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{C_0(z) + \ln(\frac{z}{z_0})};\ z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

σ_v - standardna devijacija

k_I - faktor turbulencije; $k_I = 1$

$C_0(z)$ - faktor orografije; vertikalne razvedenosti terena; $C_0(z) = 1$

z_0 - duljina hrapavosti

$$I_v(z) = \frac{1}{1 + \ln(\frac{18}{0{,}05})} = 0{,}17$$

Vršni pritisak brzine

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = C_e(z) * q_b$$

ρ - gustoća zraka; $\rho = 1{,}25 \frac{kg}{m^3}$

$C_e(z)$ - faktor izloženosti

$$C_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

q_b - tlak pri osnovnoj brzini

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$$

$$q_b = \frac{1}{2} * 1{,}25 * 30^2 = 0{,}56 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_p(z) = [1 + 7 * 0{,}17] * \frac{1}{2} * 1{,}25 * 33{,}6^2 = 1{,}55 \frac{kN}{m^2}$$

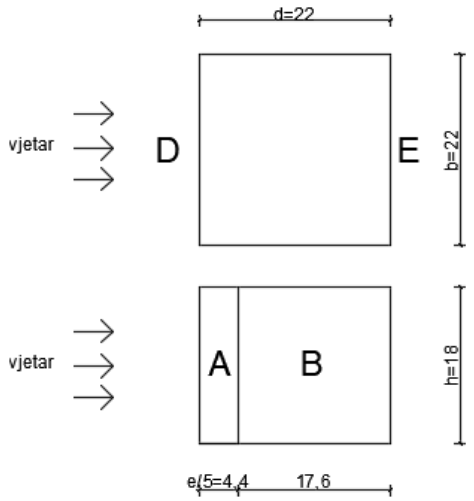
$$C_e(z) = \frac{1{,}55}{0{,}56} = 2{,}77$$

Djelovanje vjetra

Zbog istih tlocrtnih dimenzija zgrade promatrati će se samo jedan smjer puhanja vjetra (smjer Θ=0°)

Vanjski tlak vjetra na vertikalne površine:

- Referentna visina: z_e = h = 18 m
- Parametar e: e = min(b;2h) = min(22;36) = 22 m
- Omjer h/d: h/d = 18/22 = 0,82



Slika 6: Tlocrt i bočni pogled zgrade s prikazanim vjetrovnim zonama

Tablica 6: Koeficijenti i iznos vanjskog tlaka vjetra za vertikalne površine [4]

omjer h/d	A		B		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
≥5	-1,4	-1,7	-0,8	-1,1	+0,8	+1,0	-0,50	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,8	+1,0	-0,5	
≤0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	+0,7	+1,0	-0,3	-0,5
0,82	-1,2		-0,8		0,80		-0,50	
	A		B		D		E	
w_e (kN/m^2)	-1,86		-1,24		1,24		-0,78	

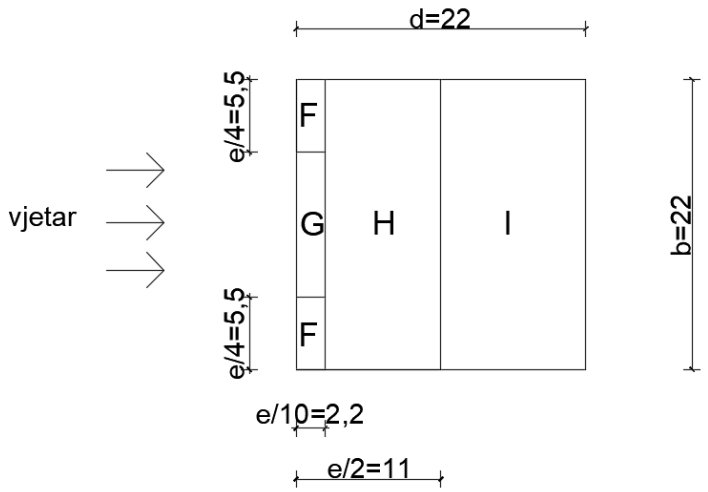
Unutrašnji tlak vjetra i rezultantni tlak vjetra (smjer vjetra Θ = 0°)

I. Pozitivan unutrašnji tlak: w_i^+ = 1,55 * (+0,2) = + 0,31 kN/m^2

II. Negativan unutrašnji tlak: w_i^- = 1,55 * (- 0,3) = - 0,47 kN/m^2

Tablica 7: Unutrašnji tlak vjetra na vertikalne površine

Tlak vjetra	Vertikalne površine			
	A	B	D	E
w_e	-1,85	-1,24	1,24	-0,77
w_i	0,31	0,31	0,31	0,31
	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
w	-2,16	-1,55	0,93	-1,08
	-1,38	-0,77	1,71	-0,30



Slika 7: Tlocrt zgrade s prikazanim vjetrovnim zonama krova

Tablica 8: Koeficijenti i iznos vanjskog tlaka za ravne krovove [4]

Vrsta krova	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Oštri zabati	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	0,2	
							-0,6	
	F		G		H		I	
w_e (kN/m^2)	-2,79		-1,86		-1,09		-0,93	

Unutrašnji tlak vjetra i rezultantni tlak vjetra (smjer vjetra Θ = 0°)

I. Pozitivan unutrašnji tlak: $w_i^+ = 1,55 * (+0,2) = + 0,31$ kN/m^2

II. Negativan unutrašnji tlak: $w_i^- = 1,55 * (- 0,3) = - 0,47$ kN/m^2

Tablica 9: Unutrašnji tlak vjetra na ravni krov

Tlak vjetra	Ravni krov			
	F	G	H	I
w_e	-2,79	-1,86	-1,09	-0,93
w_i	0,31	0,31	0,31	0,31
	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
w	-3,1	-2,17	-1,40	-1,24
	-2,32	-1,39	-0,62	-0,46

3.3. Potresno opterećenje

Zgrada se nalazi u Rijeci, na tipu temeljnog tla razreda „A“ koje predstavlja stijene ili druge geološke formacije poput stijene, uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini (tablica 10). Projektirana je na povratno razdoblje projektnog djelovanja od 475 godina; poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla tipa A iznosi: $a_{gR} = 0{,}209g$ (slika 8).

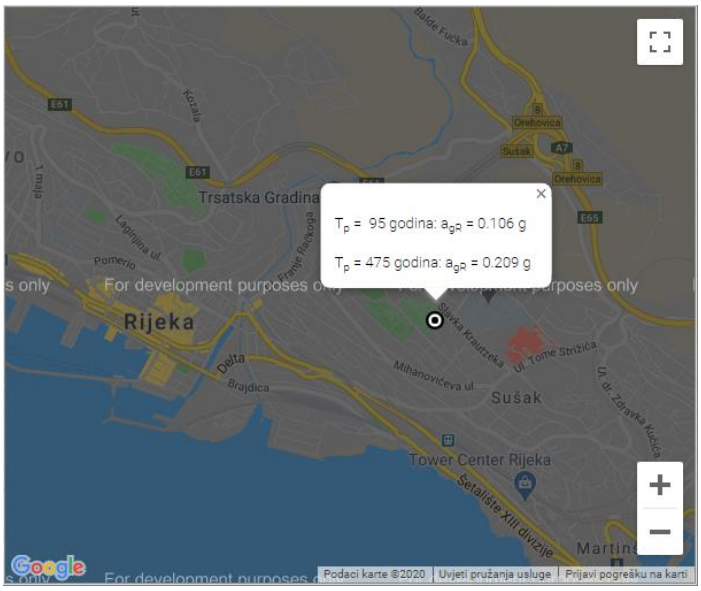
Tablica 10: Tipovi temeljnog tla [5]

Tip temeljnog tla	Opis stratigrafskog profila	$v_{s,30}$ (m/s)
A	Stijena ili druga geološka formacija poput stijene, uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini	> 800
B	Nanosi vrlo gustog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline, debljine najmanje nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom	360 - 800
C	Duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara	180 - 360
D	Nanosi rahlog do srednje zbijenog nekoherentnog tla (s nešto mekih koherentnih slojeva ili bez njih), ili pretežno meko do dobro koherentno tlo	< 180
E	Profil tla koji se sastoji od površinskog aluvijskog sloja s vrijednostima v_s za tipove C ili D i debljinom između 5 i 20 m ispod kojeg je krući materijal s v_s>800 m/s	

Također, ovisno o tipu temeljnog tla na kojem se nalazi konstrukcija, dane su i vrijednosti parametara kojima se opisuje proračunski spektar (tablica 11).

Tablica 11: Vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni elastični spektar odziva [5]

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



Slika 8: Poredbeno vršno ubrzanje tla tipa A za grad Rijeka [6]

Općenito, zgrade su razvrstane u 4 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. Promatrana zgrada pripada razredu važnosti II, pa tako faktor važnosti Υ_i iznosi: $\Upsilon_i = 1{,}0$

Tablica 12: Razredi važnosti za zgrade [5]

Razred važnosti	Zgrade	Faktor važnosti γ_I
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

$$a_g = \Upsilon_i * a_{gR} = 1 * 0{,}209g \text{ (GSN)}$$

$$a_g = \Upsilon_i * a_{gR} = 1 * 0{,}106g \text{ (GSU)}$$

4. POTRESNO DJELOVANJE NA KONSTRUKCIJU

4.1. Faktori ponašanja za horizontalna potresna djelovanja

Odziv konstrukcije na potresno djelovanje umanjuje se faktorom ponašanja q. On predstavlja približan omjer potresnih sila koje bi djelovale na konstrukciju ako bi njezin odziv u cijelosti bio elastičan uz 5%-tno viskozno prigušenje i potresnih sila koje se smiju uzeti u proračun uz uobičajeni elastični model, još uvijek osiguravajući zadovoljavajući odziv konstrukcije. On primarno ovisi o tipu konstrukcije te razredu duktilnosti, a određuje se prema izrazu:

$$q = q_0 * k_w \geq 1{,}5$$

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

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

Tablica 13: Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za sustave pravilne po visini [5]

Tip konstrukcije	**Razred duktilnosti**	
	DCM	DCH
okvirni sustav, dvojni sustav, sustav povezanih zidova	3 α_u/α_1	4,5 α_u/α_1
sustav nepovezanih zidova	3,0	4 α_u/α_1
torzijski savitljiv sustav	2,0	3,0
sustav obrnutog njihala	1,5	2,0

Horizontalno seizmičko gibanje može se odvijati u dva međusobno okomita smjera pa tako konstrukcija mora imati odgovarajuću otpornost na seizmička djelovanja u oba smjera. Promatrana zgrada je simetrična, a sastoji se od dva različita konstrukcijska tipa, okvirnog sustava u x-smjeru te sustava nepovezanih zidova u y-smjeru (tablica 14). S toga će se promatrati svaki smjer zasebno i tako dobiti dva različita faktora ponašanja.

Zahtijevani razred duktilnosti za promatranu zgradu je DCM što predstavlja razred umjerene duktilnosti.

X-smjer: okvirni sustav:

Faktor ponašanja za x-smjer:

$$q_x = q_0 * k_w \geq 1{,}5$$

Osnovna vrijednost faktora ponašanja q_0 (tablica 13) za okvirni sustav glasi:

$$q_0 = 3{,}0 * \frac{\alpha_u}{\alpha_i}$$

Tablica 14: Približne vrijednosti faktora α_u/α_i za zgrade pravilne u tlocrtu [5]

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: $\alpha_u/\alpha_1 = 1{,}2$

Iz tablice 14 vrijednost faktora α_u/α_i za višekatne okvire s više polja iznosi: $\alpha_u/\alpha_i = 1{,}3$ pa tako osnovna vrijednost faktora ponašanja iznosi:

$$q_0 = 3{,}0 * 1{,}3 = 3{,}9$$

Tablica 15: Vrijednosti faktora k_w [5]

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	

Faktor k_w odražava prevladavajući oblik sloma konstrukcijskog sustava zidova, te je za okvirne sustave on jednak 1.

$$k_w = 1$$

Konačno, iznos faktora ponašanja za x-smjer iznosi:

$$q_x = 3{,}9 * 1{,}0 = 3{,}9$$

Pri modeliranju predgotovljenih konstrukcija potrebno je identificirati učinak spojeva na sposobnost trošenja energije u konstrukciji:

- spojevi koji se nalaze izvan kritičnih područja koji ne utječu na sposobnost trošenja energije konstrukcije.
- spojevi koji se nalaze u kritičnim područjima ali su odgovarajuće proračunati na veća djelovanja (predimenzionirani) od ostatka konstrukcije tako da u potresnoj proračunskoj situaciji ostaju elastični, dok se neelastični odziv događa u drugim kritičnim područjima.
- spojevi koji se nalaze u kritičnim područjima i imaju znatnu duktilnost [5].

Vrijednost faktora ponašanja potrebno je korigirati faktorom smanjenja k_p.

$$q_p = k_p * q_x$$

k_p = 1,0 za konstrukcije sa spojevima definirano normom EN 1998-1-1

k_p = 0,5 za konstrukcije s drugim tipom spojeva

Promatrana stambena zgrada sadrži spojeve koji se nalaze u kritičnim područjima i imaju znatnu duktilnost te tako iznos faktora smanjenja iznosi:

$$k_p = 1{,}0$$

$$q_p = 1 * 3{,}9 = 3{,}9$$

<u>Y-smjer: sustav nepovezanih zidova:</u>

Faktor ponašanja za y-smjer:

$$q_y = q_0 * k_w \geq 1{,}5$$

Osnovna vrijednost faktora ponašanja q_0 (tablica 13) za sustav nepovezanih zidova iznosi:

$$q_0 = 3{,}0$$

Vrijednost faktora k_w (tablica 15) dobiva se iz izraza:

$$k_w = 0{,}5 \leq \frac{1 + \alpha_0}{3} \leq 1$$

gdje je: α_0 prevladavajući koeficijent oblika zidova konstrukcijskog sustava kojeg dobijemo iz izraza:

$$\alpha_0 = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}}$$

$\sum h_{wi}$ – visina zida

$\sum l_{wi}$ – duljina presjeka zida

$$\alpha_0 = \frac{3 * 18}{3 * 5{,}5} = 3{,}27$$

$$k_w = \frac{1 + 3{,}27}{3} = 1{,}42 > 1$$

$$k_w = 1$$

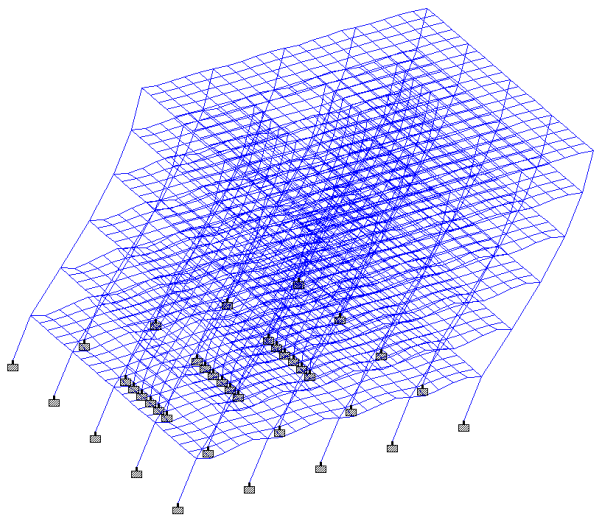
Konačno, iznos faktora ponašanja za y-smjer iznosi:

$$q_y = 3{,}0 * \ 1{,}0 = 3{,}0$$

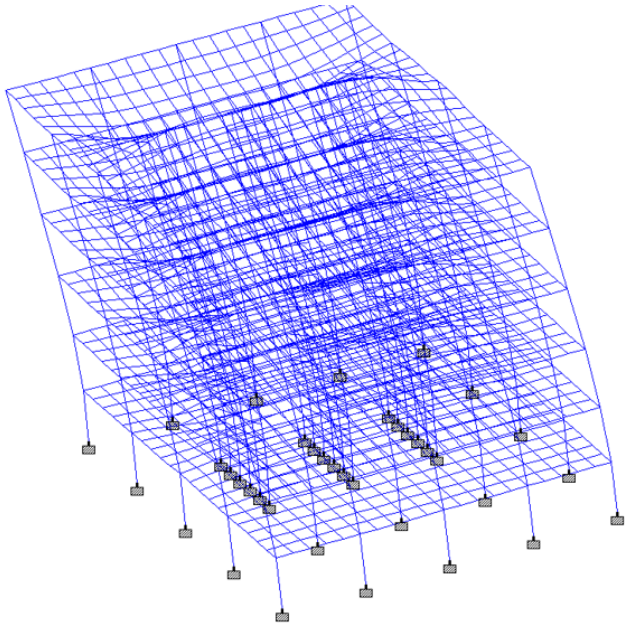
$$q_p = k_p * q_y$$

$$q_p = 1 * 3 = 3$$

U programskom paketu STAAD.Pro izrađen je 3D model konstrukcije primarno kako bi se dobili prvi periodi konstrukcije potrebni za daljnje računanje potresnih poprečnih sila. U nastavku su prikazani neki od dobivenih rezultata.



Slika 9: Oblik titranja za x-smjer, T_1 = 0,79 s



Slika 10: Oblik titranja za y-smjer, T_1 = 0,53 s

MODE	FREQUENCY (CYCLES/SEC)	PERIOD (SEC)	ACCURACY
1	1.263	0.79198	4.516E-16
2	1.886	0.53012	2.023E-16
3	2.895	0.34548	1.375E-15
4	4.026	0.24838	1.421E-15
5	7.032	0.14220	3.172E-07
6	7.415	0.13486	4.934E-07

Slika 11: Prvih šest oblika oscilacija

4.2. Proračun i raspodjela poprečnih sila potresa na konstrukciju (X smjer)

$0 \le T \le T_B: \quad S_d(T) = a_g S\left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B}\left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3}\right)\right]$ $T_B \le T \le T_C: \quad S_d(T) = a_g S \frac{2,5}{q}$ $T_C \le T \le T_D: \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g S \frac{2,5}{q}\left[\frac{T_C}{T}\right] \\ \ge \beta a_g \end{cases}$ $T_D \le T: \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g S \frac{2,5}{q}\left[\frac{T_C T_D}{T^2}\right] \\ \ge \beta a_g \end{cases}$
$S_d(T)$ – proračunski spektar q – faktor ponašanja β – donja vrijednosti faktora horizontalnog spektra odziva (β=0,2)

Slika 13: Proračunski spektar odziva ovisno o prvom periodu konstrukcije [5]

Ukupna potresna poprečna sila F_b (base shear) računa se prema izrazu:

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

$S_d(T_{1,x})$ – ordinata proračunskog spektra za prvi period

Prvi period vibracija za x-smjer odgovara prvom obliku pa je tako $T_1 = 0,79$ s

$$T_1 \le \begin{Bmatrix} 4 * T_c \\ 2s \end{Bmatrix}$$

$$0,79 < \begin{Bmatrix} 4 * 0,4 = 1,6s \\ 2s \end{Bmatrix}$$

$$T_c \le T \le T_d \;\; => \;\; S_d(T_{1,x}) = \begin{Bmatrix} a_g * s * \frac{2,5}{q} * \frac{T_c}{T} \\ \ge \beta * a_g \end{Bmatrix}$$

$$0,4 < 0,79 < 2 \;\; => \;\; S_d(0,79) = \begin{Bmatrix} 0,209g * 1 * \frac{2,5}{3,9} * \frac{0,4}{0,79} = 0,068g \\ \ge 0,2 * 0,209g = 0,042g \end{Bmatrix}$$

$$S_d(0,79) = 0,068g$$

m – ukupna masa zgrade (iznad temelja ili iznad stropne ploče krutog podruma)

$$\sum G_{k,i} + \sum \Psi_{E,i} * Q_{k,i}$$

$G_{k,i}$ – karakteristična vrijednost stalnog opterećenja

$Q_{k,i}$ – karakteristična vrijednost uporabnog opterećenja

$\Psi_{E,i}$ – koeficijent kombinacije za promjenjivo opterećenje koje je jednako:

$$\Psi_{E,i} = \varphi * \Psi_{2,i}$$

φ – koeficijent koji ovisi o stupnju opterećenosti kata

$$\varphi = 1 \text{ (za krov)}$$

$$\varphi = 0{,}8 \text{ (katovi s povezanom zauzetošću)}$$

$\Psi_{2,i}$ – koeficijent za nazovistalne vrijednosti promjenjivog djelovanja

$$\Psi_{2,i} = 0{,}3 \text{ (stambene zgrade)}$$

$$\Psi_{E,i}(\text{krov}) = 1 * 0 = 0{,}00$$

$$\Psi_{E,i}(\text{kat}) = 0{,}8 * 0{,}3 = 0{,}24$$

<u>Određivanje težine konstrukcije</u>

Stalno opterećenje:

Težina katova G_{1-5}:

Tablica 16: Težina katova G_{1-5}

stropna konstrukcija	$(22 * 22) * 7{,}78$	3766 kN
stupovi	$[(0{,}5 * 0{,}5) * 25] * 3 * 25$	469 kN
grede (x-smjer)	$[(0{,}3 * 0{,}5) * 25] * 5{,}5 * 20$	413 kN
grede (y-smjer)	$[(0{,}3 * 0{,}5) * 25] * 5{,}5 * 8$	165 kN
zid	$[(0{,}25 * 5{,}5) * 25] * 3 * 3$	310 kN
		$\sum G_{1-5} = 5123$ kN

Težina krova G_6:

Tablica 17: Težina kata G_6

krovna konstrukcija	$(22 * 22) * 9{,}00$	4356 kN
stupovi	$[(0{,}5 * 0{,}5) * 25] * \frac{3}{2} * 25$	235 kN
grede (x-smjer)	$[(0{,}3 * 0{,}5) * 25] * 5{,}5 * 20$	413 kN
grede (y-smjer)	$[(0{,}3 * 0{,}5) * 25] * 5{,}5 * 8$	165 kN
zid	$[(0{,}25 * 5{,}5) * 25] * \frac{3}{2} * 3$	155 kN
		$\sum G_6 = 5324$ kN

Uporabno opterećenje:

$$Q_{1-5} = (22 * 22) * 2 = 968 \text{ kN}$$

Snijeg:

$$Q_6 = (22 * 22) * 0{,}4 = 194 \text{ kN}$$

Tablica 18: Ukupna težina konstrukcije

Kat	$G_{k,i}$	$\Psi_{E,i}$	$Q_{k,i}$	$\Sigma G_{k,i} + \Psi_{E,i} * Q_{k,i}$
1-5	5123	0,24	968	26777
krov	5324	0	194	5324
				= 32 160 kN

$$m = \frac{W}{g} = \frac{32160}{g}$$

λ – korekcijski faktor koji je jednak:

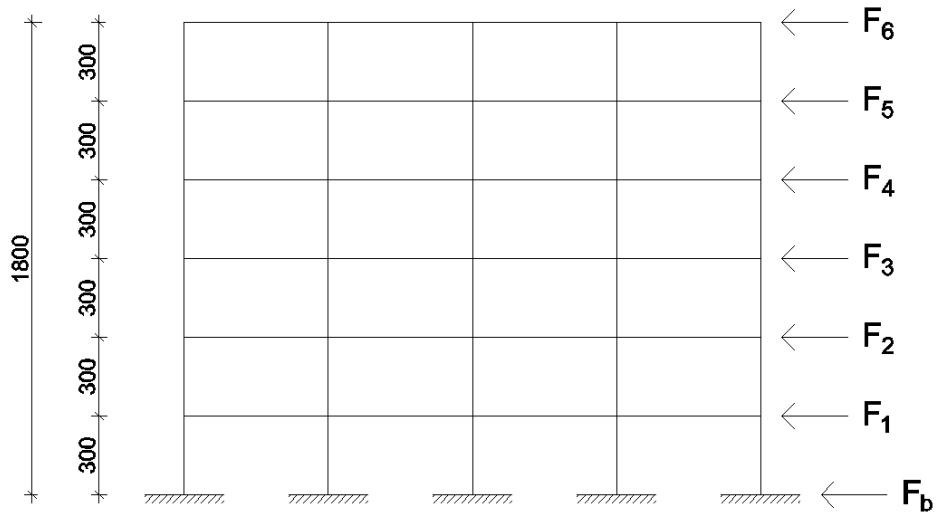
$$\lambda = \begin{Bmatrix} 0{,}85 \text{ za } T_1 \leq 2T_c \text{ i ako zgrada ima više od 2 kata} \\ 1 \text{ za ostale slučajeve} \end{Bmatrix}$$

$$\lambda = \begin{Bmatrix} 0{,}85 \text{ za } 0{,}79 < 2 * 0{,}4 = 0{,}8 \\ 1 \text{ za ostale slučajeve} \end{Bmatrix} = 0{,}85$$

$$F_{b,x} = 0{,}068g * \frac{32160}{g} * 0{,}85$$

$$F_{b,x} = 1859 \text{ kN}$$

<u>Raspodjela ukupne poprečne sile po visini zgrade:</u>



Slika 12: Raspodjela poprečnih sila po visini zgrade

Horizontalna sila koja djeluje na i-ti kat dobije se prema izrazu:

$$F_i = F_b * \frac{s_i * m_i}{\sum s_j * m_j}$$

s_i, s_j – pomaci masa m_i, m_j u osnovnom obliku vibracija

m_i, m_j – katne mase

Kada se osnovni oblik vibracija prikaže približno pomoću horizontalnih pomaka koji se linearno povećavaju po visini, tada se horizontalna sila za i-ti kat dobije prema izrazu:

$$F_i = F_b * \frac{z_i * m_i}{\sum z_j * m_j}$$

z_i, z_j – visina masa m_i,m_j

$$\sum z_j * m_j = 5324 * 18 + 5123 * (15 + 12 + 9 + 6 + 3) = 326367$$

$$F_{6,x} = 1859 * \frac{18 * 5324}{326367} = 545{,}86 \text{ kN}$$

$$F_{5,x} = 1859 * \frac{15 * 5123}{326367} = 437{,}71 \text{ kN}$$

$$F_{4,x} = 1859 * \frac{12 * 5123}{326367} = 350{,}17 \text{ kN}$$

$$F_{3,x} = 1859 * \frac{9 * 5123}{326367} = 262{,}63 \text{ kN}$$

$$F_{2,x} = 1859 * \frac{6 * 5123}{326367} = 175{,}08 \text{ kN}$$

$$F_{1,x} = 1859 * \frac{3 * 5123}{326367} = 87{,}54 \text{ kN}$$

Horizontalne sile svakoga kata preuzimaju pet okvira, zbog jednakih krutosti i dimenzija presjeka, pa s toga, na jedan okvir djeluje:

$$F'_{6,x} = \frac{545{,}86}{5} = 109{,}17 \text{ kN}$$

$$F'_{5,x} = \frac{437{,}71}{5} = 87{,}54 \text{ kN}$$

$$F'_{4,x} = \frac{350{,}17}{5} = 70{,}03 \text{ kN}$$

$$F'_{3,x} = \frac{262{,}63}{5} = 52{,}53 \text{ kN}$$

$$F'_{2,x} = \frac{175{,}08}{5} = 35{,}02 \text{ kN}$$

$$F'_{1,x} = \frac{87{,}54}{5} = 17{,}51 \text{ kN}$$

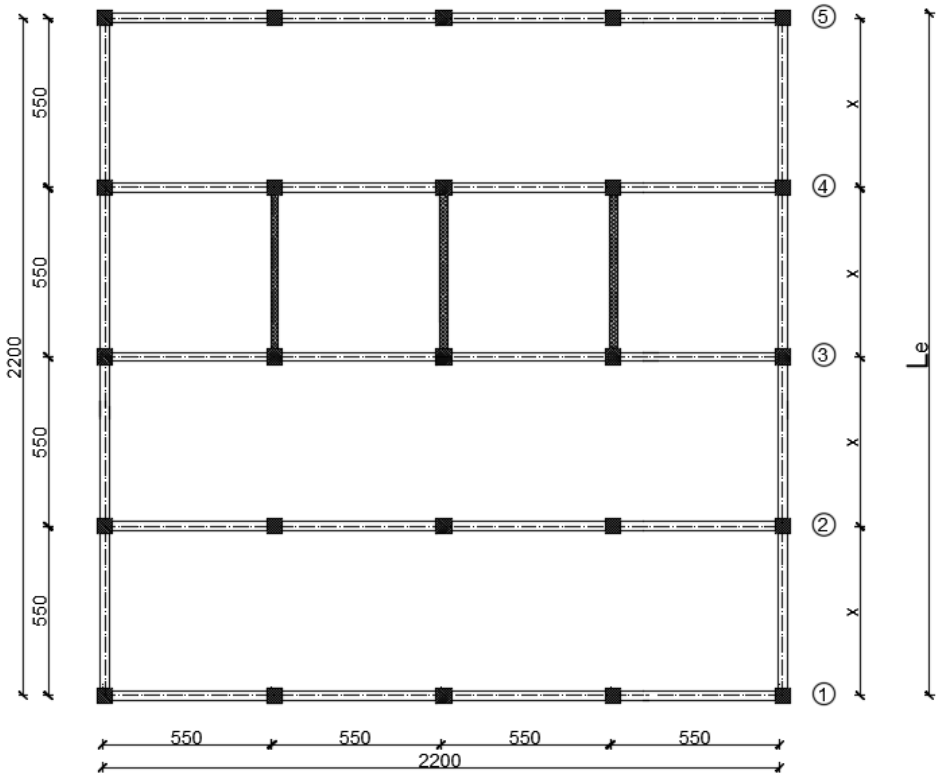
4.3. Torzijski učinci na konstrukciju

Koeficijent kojim se uzima u obzir slučajni torzijski učinci računa se prema izrazu:

$$\delta = 1 + 0{,}6 * \frac{x}{L_e}$$

x – udaljenost promatranog elementa od središta masa

L_e – razmak dva najudaljenija elementa, mjerena okomito na smjer potresa



Slika 13: Tlocrt karakterističnog kata s označenim okvirima i međusobnim razmacima

Mjerodavani okviri za dimenzioniranje su okviri 2 i 4 pa se s toga računa koeficijent δ za ta dva položaja okvira.

$$\delta = 1 + 0{,}6 * \frac{5{,}5}{22} = 1{,}15$$

Horizontalna sila na i-tom katu povećava se koeficijentom torzijskih učinaka:

$$F'_{i,x'} = F'_{i,x} * \delta$$

$F'_{6,x'} = 109{,}17 * \delta = 109{,}17 * 1{,}15 = 125{,}55$ kN

$F'_{5,x'} = 87{,}54 * \delta = 87{,}54 * 1{,}15 = 100{,}67$ kN

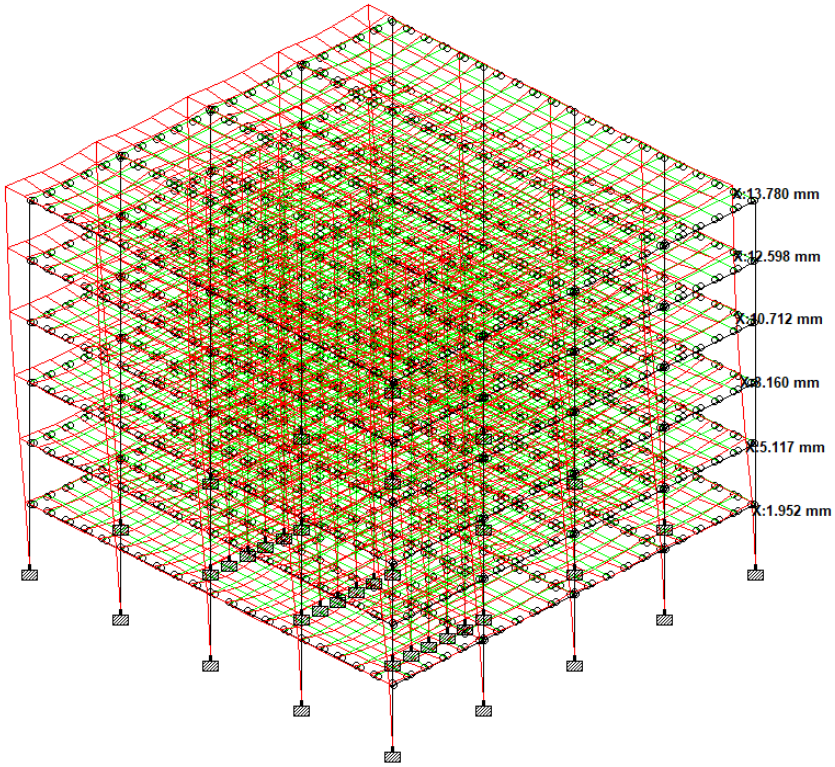
$F'_{4,x'} = 70{,}03 \ * \delta = 70{,}03 \ * 1{,}15 = 80{,}53 \text{ kN}$

$F'_{3,x'} = 52{,}53 \ * \delta = 52{,}53 \ * 1{,}15 = 60{,}41 \text{ kN}$

$F'_{2,x'} = 35{,}02 \ * \delta = 35{,}02 \ * 1{,}15 = 40{,}27 \text{ kN}$

$F'_{1,x'} = 17{,}51 \ * \delta = 17{,}51 \ * 1{,}15 = 20{,}14 \text{ kN}$

4.4. Provjera ograničenja oštećenja (GSU)



Slika 14: Maksimalni međukatni pomaci konstrukcije za mjerodavnu potresnu kombinaciju djelovanja

Provjera ograničenja oštećenja može se provesti preko slijedećeg izraza:

$$d_r * \nu * \nu^* \leq 0{,}005 * h$$

$$d_r = q * d_e$$

d_r – proračunski katni pomak određen kao razlika prosječnih horizontalnih pomaka pri vrhu i pri podnožju kata koji se promatra

h – visina kata

ν – faktor smanjenja kojim se u obzir uzima najkraće povratno razdoblje potresnog djelovanja vezano sa zahtjevom ograničenog oštećenja; $\nu = 1$

q – faktor ponašanja

d_e – pomak iste točke konstrukcijskog sustava određene linearnim proračunom utemeljenom na proračunskom spektru odziva

$$\nu^* = \frac{a_{gR}^{95}}{a_{gR}^{475}} = \frac{0{,}106\ g}{0{,}209\ g} = 0{,}51$$

Tablica 19: Uvjet ograničenja oštećenja

	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
d_e(mm)	1,952	3,165	3,042	2,552	1,886	1,182
d_r(mm)	7,613	12,344	11,864	9,953	7,355	4,461
$d_R * \nu * \nu^*$	3,88	6,30	6,05	5,08	3,75	2,28
$0{,}005 * h$(mm)	15	15	15	15	15	15
$\mathbf{d_R * \nu * \nu^* \leq 0{,}005 * h}$	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**

5. DIMENZIONIRANJE OMNIA PLOČE

Odabrani sustav stropne konstrukcije je polumontažni stropni sustav „Omnia“. To je najpoznatiji sustav kompozitne konstrukcije koji se sastoji od predgotovljene donje ploče i sloja betona „in-situ“. Ploče proizvedene u pogonu kasnije na gradilištu služe i kao zamjena oplati, a u njima se ostavljaju otvori i kutije za instalacije koje će se nalaziti u stropu. Širina Omnia ploče može dosegnuti 3 metra dok njezin raspon može biti i 6 metara uz dodatno armiranje gornje zone.

Omnia ploče izrađuju se na vibro stolu gdje se u kontroliranim uvjetima izvodi ploča debljine 4 do 12 cm u koju se ugrađuje sva potrebna armatura gotove Omnia ploče. Ta armatura sastoji se od armaturne mreže i/ili šipki kao i od rešetkastog nosača (R-nosači). Proizvodni pogon ovakvih ploča osigurava veliku preciznost ugradnje potrebne armature kao i zahtijevano postizanje čvrstoće i njegu betona koju je puno teže dostići na gradilištu. Kasnije se na gradilištu izvodi gornji sloj ploče „in-situ“ betonom debljine 4-8 cm, gdje je osiguran spoj starog i novog betona, te time čini Omnia ploču.

R-nosači sastoje se od dvije donje i jedne gornje uzdužne šipke međusobno spojene u dvije ravnine raspoređenim dijagonalama. Time se ostvaruje prostorna rešetka oblika obrnutog slova „V“. Visina R-nosača ponajprije ovisi o debljini Omnia ploče dok se promjer gornje i donje uzdužne šipke dobije iz statičkog proračuna odnosno ovisno o potrebnoj količini armature u ploči. Uobičajeni promjeri donjih šipki je 5-8 mm dok se gornje kreću od 8 mm do 20 mm. Gornje uzdužne šipke R-nosača moguće je odabrati znatno veće od onih donjih iz razloga što one nakon betoniranja u tvornici vire van ploče te tako mogu služiti kao jedina armatura buduće gornje zone ploče, a i kako bi se ubrzala montaža ploči na gradilištu jer se ne mora ugrađivati dodatna armatura prije lijevanja „in situ“ betona. Također, promjer donjih šipki je malen jer se u tvornici uz njih ugrađuje i druga potrebna armatura. Dijagonalne šipke koje spajaju gornje i donje uzdužne šipke osiguravaju spoj starog i novog betona, najčešće su manjeg promjera (5 mm) i imaju manju granicu popuštanja (glatka armatura).

Gotove ploče iz tvornice prevoze se do gradilišta gdje R-nosači koji vire iz ploče služe kao uporišta za prijenos ploče na svoju poziciju. Tamo se po potrebi ugrađuje dodatna armatura i lijeva se „in-situ“ beton [7,8,9].

5.1. Dimenzioniranje stropne ploče

Strop karakterističnog kata POZ 100 je ploča nosiva u jednom smjeru i to u kraćem smjeru.

- raspon ploče: $l_{eff} = 550$ cm
- debljina ploče: $h_p = \frac{l_{eff}}{30} = \frac{550}{30} = 18.33 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$
- širina ploče: 130 cm

$$\frac{2200}{130} = 16{,}92 = 17 \text{ ploča}$$

Tablica 20: Razredi izloženosti u ovisnosti o uvjetima okoliša u skladu s EN 206-1 [1]

Oznaka razreda	Opis okoliša	Informativni primjeri moguće pojave razreda izloženosti
1 Nema rizika od korozije		
X0	Za beton bez armature ili ugrađenog metala: sve izloženosti osim onih u kojima postoji zamrzavanje/odmrzavanje, abrazija ili kemijska agresivnost Za beton s armaturom ili ugrađenim metalom: vrlo suho	Beton unutar zgrada s vrlo malom vlažnošću zraka
2 Korozija 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	Umjerena 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
3 Korozija uzrokovana kloridima		
XD1	Umjerena vlažnost	Površine betona izložene kloridima iz zraka
XD2	Vlažno, rijetko suho	Bazeni za plivanje Elementi beton izloženi industrijskim vodama koje sadrže kloride
XD3	Ciklički vlažno i suho	Dijelovi mostova izloženi prskanju vode koja sadrži kloride Pločnici – kolničke konstrukcije Ploče javnih garaža
4 Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode		
XS1	Izložen solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom	Konstrukcije u blizini obale ili na obali
XS2	Stalno uronjeno	Dijelovi pomorskih konstrukcija
XS3	U područjima plime i oseke i prskanja vode	Dijelovi pomorskih konstrukcija
5 Korozija uzrokovana zamrzavanjem i odmrzavanjem		
XF1	Umjereno zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Vertikalne površine betona izložene kiši i zamrzavanju
XF2	Umjerena zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje	Vertikalne površine betona cestovnih konstrukcija izložene zamrzavanju i sredstvima za odmrzavanje iz zraka
XF3	Jako zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Horizontalne površine betona izložene kiši i zamrzavanju
XF4	Jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morskom vodom	Ceste i kolnici mostova izložene sredstvima za odmrzavanje Betonske površine izložene izravnom prskanju vode koja sadrži sredstva za odmrzavanje i zamrzavanju Područja plime i oseke kod pomorskih konstrukcija izloženih zamrzavanju
6 Kemijska korozija		
XA1	Slabo kemijski agresivni okoliš	Prirodno tlo i podzemna voda
XA2	Umjereno kemijski agresivni okoliš	Prirodno tlo i podzemna voda
XA3	Jako kemijski agresivni okoliš	Prirodno tlo i podzemna voda

Tablica 21: Preporučeni razred konstrukcije [1]

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

Tablica 22: Najmanji zaštitni sloj $c_{min,dur}$ prema kriteriju trajnosti čelične armature (mm) [1]

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

Odabrani razred izloženosti i razred konstrukcije: XC1 i S3

Nazivni zaštitni sloj c_{nom} određuje se kao:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

c_{min} – najmanji zaštitni sloj

Δc_{dev} – proračunsko dopušteno odstupanje debljine zaštitnog sloja; Δc_{dev} = 10 mm

$$c_{min} = \max\left\{\begin{matrix} c_{min,b} \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} \\ 10\ \text{mm} \end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix} 0 \\ 15 + 0 - 0 - 0 \\ 10\ \text{mm} \end{matrix}\right\} = 15\ \text{mm}$$

$$c_{nom} = 15 + 10 = 25\ \text{mm}$$

Zaštitni sloj betona:

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset 6 + \frac{\approx 1{,}0}{2} \cong 4 \text{ cm}$$

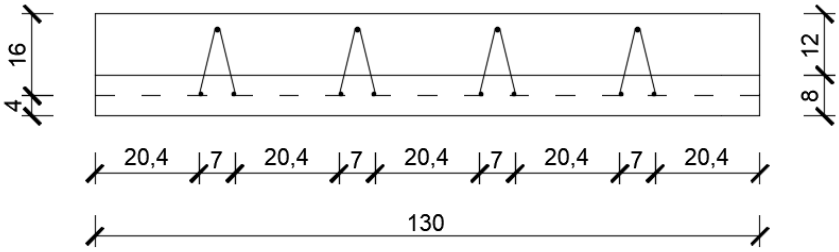
Statička visina presjeka:

$$d = h - d_1 = 20 - 4 = 16 \text{ cm}$$

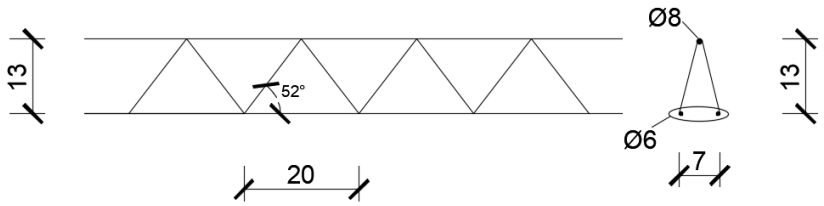
<u>Vlastita težina Omnia ploče:</u>

- pogon: $8 \text{ cm} * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- in situ: $12 \text{ cm} * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Ukupno: $g = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$



Slika 15: Poprečni presjek Omnia ploče (bez dodatnih armatura)



Slika 16: Rešetkasti armaturni nosač (RAN) Omnia ploče

<u>Faza 0 (podizanje elemenata):</u>

$$\frac{L}{z_n} < 50 \;\; => \text{podizanje u dve točke}$$

L – svijetli otvor + dvije duljine oslonca; na strani sigurnosti odabran osni razmak od 550 cm

z_n – udaljenost uzdužnih armaturi RAN-a, mjereno od osi

$$\frac{550}{13} = 42{,}3 < 50$$

Ploča se podižene u dvije točke koje nalaze na četvrtinama raspona ploče. Te točke su odabrane da se smanje pozitivni momenti prilikom podizanja te će se zato u gornjim šipkama pojaviti tlak. Opterećenja (vlastitu težinu) treba povećati za 25% zbog dinamičkih učinaka prilikom podizanja ploče:

$$g_{Ed} = 2\frac{kN}{m^2} * 1{,}25 = 2{,}5\frac{kN}{m^2} * 1{,}3\ m = 3{,}25\frac{kN}{m}/1{,}3\ m$$

$$M_{Ed} = 1{,}35 * \frac{g_{Ed} * L^2}{32} = 1{,}35 * \frac{3{,}25 * 5{,}5^2}{32} = 4{,}15\ kNm/1{,}3\ m$$

Gornja šipka – tlak (tlačna nosivost prema EN 1993-1-1-2005)

Donje šipke – vlak

$$M_{Ed} < N_{b.Rd}$$

$$\frac{M_{Ed}}{z_n} \leq A_{s_2} * \frac{f_{yk} * \chi}{\Upsilon_{M1}}$$

$$A_{s_2} = \frac{M_{Ed}}{z_n} * \frac{1}{\frac{f_{yk} * \chi}{\Upsilon_{M1}}}$$

$$l_0 = 0{,}7 * l = 0{,}7 * 20 = 14\ cm$$

$$i = \sqrt{\frac{\frac{\pi * D^4}{64}}{\frac{D^2 * \pi}{4}}} = \frac{D}{4} = \frac{8}{4} = 2\ mm$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{140}{2} = 70$$

$$\lambda_{crit} = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93{,}9 * \varepsilon = 93{,}9 * \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 93{,}9 * \sqrt{\frac{235}{500}} = 64{,}4$$

Bezdimenzionalna vitkost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{crit}} = \frac{70}{64{,}4} = 1{,}09$$

-za kružni poprečni presjek: krivulja izmjera „C“, faktor imperfekcije α = 0,49

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1{,}3121 + \sqrt{1{,}3121^2 - 1{,}09^2}} = 0{,}49$$

$$\Phi = 0{,}5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right] = 0{,}5[1 + 0{,}49(1{,}09 - 0{,}2) + 1{,}09^2] = 1{,}3121$$

$$A_{s_2} = \frac{415}{13} * \frac{1}{\frac{500 * 0{,}49}{1{,}15}} = 1{,}50\ \mathrm{cm}^2$$

Odabire se: 4 RAN-a (4Ø8 (2,01 cm^2))

$$M_{Rd} = \left(A_{s_2} * f_{yk}\right) * z_n = 2{,}01 * \left(\frac{500 * 0{,}49}{1{,}15}\right) * 0{,}13 = 5{,}57\ \mathrm{kNm}/1{,}3\ \mathrm{m}$$

U donju zonu se, za sad, postavlja: 8Ø6 (2,01 cm^2)

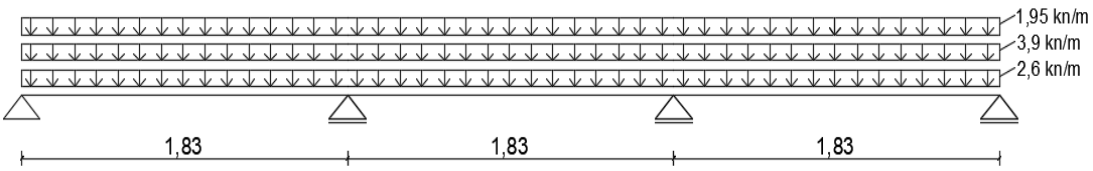
<u>Faza 1 (betoniranje ploče):</u>

Nosivost: sva vlačna armatura dolje + tlak u gornjoj šipki RAN-a

<u>Opterećenje:</u>

- vlastita težina Omnia ploče: $0{,}08\ \mathrm{m} * 25\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3} = 2\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2} * 1{,}3\ \mathrm{m} = 2{,}6\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}/1{,}3\ \mathrm{m}$
- dodatni sloj betona: $0{,}12\ \mathrm{m} * 25\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3} = 3\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2} * 1{,}3\ \mathrm{m} = 3{,}9\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}/1{,}3\ \mathrm{m}$
- servisno opterećenje: $1{,}5\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2} * 1{,}3\ \mathrm{m} = 1{,}95\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}/1{,}3\ \mathrm{m}$

Ploča se u ovoj fazi podupire podupiračima postavljenim u trećinama raspona:



Slika 17: Statički sustav Omnia ploče u fazi 1

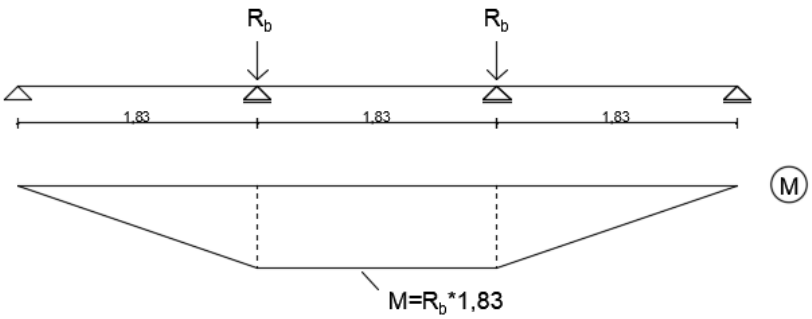
$$q_{Ed} = 1{,}35 * g + 1{,}5 * q = 1{,}35 * (3{,}9 + 2{,}6) + 1{,}5 * 1{,}95 = 11{,}7\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}}$$

$$M_{oslonac,B} = 0{,}1 * q_{Ed} * l^2 = 0{,}1 * 11{,}7 * 1{,}83^2 = 3{,}92\ \mathrm{kNm} < M_{Rd} = 5{,}57\ \mathrm{kNm}$$

Odabranih 4 RAN-a (4Ø8 (2,01 cm^2)) zadovoljava

Faza 2 (uklanjanje podupirača):

Opterećenje u ovoj fazi predstavlja samo vlastita težina Omnia ploče (bez servisnog opterećenja).



Slika 18: Statički sustav Omnia ploče u fazi 2

$$q_{Ed} = 1{,}35 * g = 1{,}35 * (3{,}9 + 2{,}6) = 8{,}78 \frac{kN}{m}$$

$$R_{oslonac,B} = 1{,}1 * q_{Ed} * l = 1{,}1 * 8{,}78 * 1{,}83 = 17{,}67 \text{ kN}$$

$$M_{polje} = R_{oslonac,B} * l = 17{,}67 * 1{,}83 = 32{,}23 \text{ kNm}$$

Faza 3 (beton nosi dodatno opterećenje):

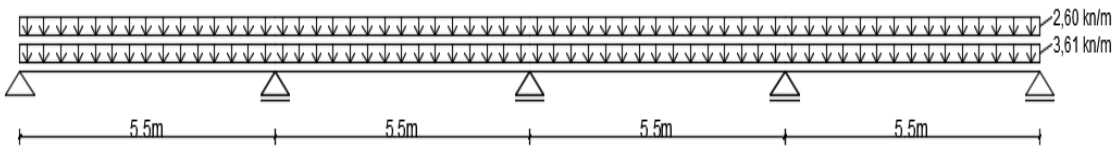
Slojevi poda: g = 2,78 kN/m^2

Uporabno opterećenje: q = 2,0 kN/m^2

Opterećenje:

- slojevi poda: $2{,}78 \frac{kN}{m^2} * 1{,}3 \text{ m} = 3{,}61 \frac{kN}{m} / 1{,}3 \text{ m}$
- uporabno: $2{,}0 \frac{kN}{m^2} * 1{,}3 \text{ m} = 2{,}60 \frac{kN}{m} / 1{,}3 \text{ m}$

U stvarnosti, Omnia ploča je ploča oslonjena preko jednog raspona no u ovoj fazi proračunata je kao ploča preko četiri raspona.



Slika 19: Statički sustav Omnia ploče u fazi 3

$$q_{Ed} = 1{,}35 * g + 1{,}5 * q = 1{,}35 * 3{,}61 * 1{,}5 * 2{,}6 = 8{,}77 \frac{kN}{m}$$

$$M_{11} = 0{,}077 * q_{Ed} * l^2 = 0{,}077 * 8{,}77 * 5{,}5^2 = 20{,}43 \text{ kNm}$$

$$M_{polje} = \frac{q_{Ed} * l^2}{8} = \frac{8{,}77 * 5{,}5^2}{8} = 33{,}16 \text{ kNm}$$

Iznos moment u polju sa kontinuiranu gredu je manji od momenta u polju slobodno oslonjene grede pa je na strani sigurnosti odabrati vrijednost momenta dobivenog na sustavu slobodno oslonjene grede.

$$M_{oslonac,B} = 0{,}107 * q_{Ed} * l^2 = 0{,}107 * 8{,}77 * 5{,}5^2 = 28{,}39 \text{ kNm}$$

<u>Potrebna armatura na osloncu:</u>

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{2839}{130 * 16^2 * 2} = 0{,}043$$

$$\xi = 0{,}055 \qquad \zeta = 0{,}977$$

Potrebna armatura:

$$A_{S2} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta * d) * f_{yd}} = \frac{2839}{0{,}977 * 16 * 43{,}48} = 4{,}18 \text{ cm}^2/1{,}3\text{m}$$

Razdjelna armatura:

$$0{,}2 * A_{S2} = 0{,}2 * 4{,}18 = 0{,}84 \frac{cm^2}{m} : 1{,}3 \text{ m} = 0{,}65 \text{ cm}^2$$

Odabrano: $\emptyset 6/20$ cm ($1{,}41$ cm^2)

Potrebna armatura u polju:

Proračunski moment u polju potreban za proračun potrebne armature u polju Omnia ploče biti će jednaka zbroju momenata dobivenog u fazi 2 i momenta dobivenog u fazi 3:

$$M_{Ed} = M_{polje}^{faza2} + M_{polje}^{faza3} = 32{,}23 + 33{,}16 = 65{,}39 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{6539}{130 * 16^2 * 2} = 0{,}098$$

$\xi = 0{,}127$ $\zeta = 0{,}947$

Potrebna armatura:

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta * d) * f_{yd}} = \frac{6539}{0{,}947 * 16 * 43{,}48} = 9{,}93 \text{ cm}^2/1{,}3\text{m}$$

Razdjelna armatura:

$$0{,}2 * A_{S1} = 0{,}2 * 9{,}93 = 1{,}98 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} : 1{,}3 \text{ m} = 1{,}52 \text{ cm}^2$$

Odabrano: Ø8/20 cm (2,51 cm^2)

Ukupna armatura u Omnia ploči:

1. Donja zona

Ukupna potrebna armatura: 9,93 cm^2

9,93 cm^2 – 2,26 cm^2 (RAN 8Ø6) = 7,67 cm^2

Dodatno ugrađeno: 5Ø14 (7,70 cm^2)

Ukupna armatura A_{s1} iznosi:

$A_{s1} = 2{,}26 \text{ cm}^2 (\text{RAN } 8Ø6) + 7{,}70 \text{ cm}^2 (5Ø14)$

$A_{s1} = 9{,}96 \text{ cm}^2/1{,}3 \text{ m}$

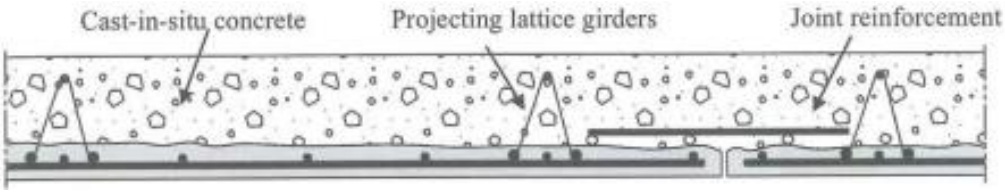
2. <u>Gornja zona</u>

Ukupna potrebna armatura: 4,18 cm^2

4,18 cm^2 – 2,01 cm^2 (RAN 4Ø8) = 2,17 cm^2

Dodatno ugrađeno: Ø8/20 cm (2,51 cm^2)

Gornja zona Omnia ploče sastoji se od postojeće armature RAN-a (4Ø8) te se na gradilištu izvodi ploča debljine 12 cm u koju se dodatno ugrađuju šipke Ø8/20 cm te razdjelna armatura u drugome smjeru Ø6/20 cm. Ista armatura dodaje se u donju zonu ove ploče na mjestima spajanja dvije ploče odnosno na mjestu spoja ploče i grede (slika 20). Duljina sidrenja iznosi 20 cm.



Slika 20: Dodatna armatura donje zone ploče betonirane na gradilištu [13]

5.2. Provjera spona u RAN-u

Za provjeru spona u RAN-u mjerodavna je faza 1 (maksimalna poprečna sila).

$$V_{Ed} = 12{,}85 \text{ kN}$$

<u>Duljina jedne spone</u>

$$l = \sqrt{13^2 + 3{,}5^2 + 10^2} = 16{,}8 \text{ cm}$$

$$l_0 = 0{,}7 * l = 0{,}7 * 16{,}8 = 11{,}76 \text{ cm}$$

$$i = \sqrt{\frac{\frac{\pi * D^4}{64}}{\frac{D^2 * \pi}{4}}} = \frac{D}{4} = \frac{6}{4} = 1{,}5 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{117,6}{1,5} = 78,40$$

$f_{yk} = 250$ MPa (glatke šipke)

$$\lambda_{crit} = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{250}} = 91,04$$

Bezdimenzionalna vitkost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{crit}} = \frac{78,40}{91,04} = 0,86$$

-za kružni poprečni presjek: krivulja izmjera „C“, faktor imperfekcije α = 0,49

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,0315 + \sqrt{1,0315^2 - 0,86^2}} = 0,62$$

$$\Phi = 0,5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0,2\right) + \bar{\lambda}^2\right] = 0,5[1 + 0,49(0,86 - 0,2) + 0,86^2] = 1,0315$$

$$f_{yb} = \frac{250 * \chi}{\Upsilon_{M1}} = \frac{250 * 0,62}{1,15} = 134,8 \text{ MPa}$$

$$A_{sw} = \frac{V_{Ed}}{m * n * \sin(\alpha) * \sin(\beta) * f_{yb}}$$

$$A_{sw} = \frac{12,85}{4 * 2 * \sin(52,4) * \sin(75) * 13,48} = 0,16 \text{ cm}^2$$

$$\emptyset 6 = 0,28 \text{ cm}^2 > 0,16 \text{ cm}^2$$

5.3. Spoj starog i novog betona

Omnia ploče na gradilište dolaze kao gotove ploče debljine 8 cm na koje se nakon postavljanja u svoj konačni položaj na gradilištu dolijeva „in-situ“ beton u debljini od 12 cm. Ovdje će se provjeravati dolazi li do odgovarajućeg sprezanja između novog i starog betona te ukoliko ne bude zadovoljavajuće, dodati će se dodatna armatura za sprezanje. Proračun se provodi prema HRN EN 1992-1-1:2004.

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

$$V_{Ed,i} = \beta * \frac{V_{Ed}}{b_i * z}$$

$$\beta = \frac{F_{c,Top}}{F_{c,Top} + F_{c,Bottom}} = 1 \text{ (na strani sigurnosti)}$$

$$q_{Ed} = (1{,}35 * g + 1{,}5 * q) * 1{,}3 \text{ m} = (1{,}35 * (2 + 3 + 2{,}78) * 1{,}5 * 1{,}5) * 1{,}3$$
$$= 16{,}58 \frac{kN}{m'}$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{Ed} * l}{2} = \frac{16{,}58 * 5{,}5}{2} = 45{,}60 \text{ kN}$$

$b_i = b = 1{,}3$ m

$$z = \zeta * d \approx 0{,}9 * d = 0{,}9 * 16 = 14{,}4 \text{ cm}$$

$$V_{Ed,i} = 1 * \frac{45{,}60}{130 * 14{,}4} = 0{,}024 \frac{kN}{cm^2}$$

$$V_{Rd,i} = c * f_{ctd} + \mu * \sigma_n + \rho * f_{yd} * (\mu * \sin(\alpha) + \cos(\beta)) * \sin(\beta) + \mu * \frac{A_s}{A_i} * f_{yd}$$

$$\sigma_n = 0$$

glatka površina betona: $c = 2$, $\mu = 0{,}6$

$$f_{cd} = \alpha_{ct} * \frac{f_{ctk,0.05}}{\Upsilon_c} = 1 * \frac{2}{1{,}5} = 1{,}33 \text{ MPa}$$

$$c * f_{ctd} = 0{,}2 * 0{,}133 = 0{,}027 \frac{kN}{cm^2} > 0{,}024 \frac{kN}{cm^2}$$

Već iz ovoga je vidljivo da provjera zadovoljava no također tu postoji i RAN:

$$\frac{4 * 4 * 0{,}28 * \frac{250}{1{,}15}}{130 * 20} * (0{,}6 * \sin(52{,}4) + \cos(52{,}4)) * \sin(75) = 0{,}39 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

=> Ne treba dodatna armatura za sprezanje

5.4. Dimenzioniranje krovne ploče

Razlika krovne od stropne Omnia ploče je jedino u dodatnom opterećenju (slojevi krova te opterećenje snijega) pa se tako proračun razlikuje jedino u fazi 3.

<u>Faza 3 (beton nosi dodatno opterećenje):</u>

<u>Opterećenje:</u>

- slojevi poda: $4{,}00\ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 1{,}3\ \text{m} = 5{,}20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} / 1{,}3\ \text{m}$
- uporabno: $0{,}4\ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 1{,}3\ \text{m} = 0{,}52 \frac{\text{kN}}{\text{m}} / 1{,}3\ \text{m}$

$$q_{Ed} = 1{,}35 * g + 1{,}5 * q = 1{,}35 * 5{,}20 * 1{,}5 * 0{,}52 = 7{,}80 \frac{\text{kN}}{\text{m}'}$$

$$M_{polje} = \frac{q_{Ed} * l^2}{8} = \frac{7{,}80 * 5{,}5^2}{8} = 29{,}49\ \text{kNm}$$

$$M_{oslonac,B} = 0{,}107 * q_{Ed} * l^2 = 0{,}107 * 7{,}80 * 5{,}5^2 = 25{,}25\ \text{kNm}$$

<u>Potrebna armatura na osloncu:</u>

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{2525}{130 * 16^2 * 2} = 0{,}038$$

$$\xi = 0{,}049 \qquad \zeta = 0{,}979$$

Potrebna armatura:

$$A_{S2} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta * d) * f_{yd}} = \frac{2525}{0{,}979 * 16 * 43{,}48} = 3{,}70\ \text{cm}^2/1{,}3\text{m}$$

Razdjelna armatura:

$$0{,}2 * A_{S2} = 0{,}2 * 3{,}70 = 0{,}74\ \text{cm}^2/\text{m}' : 1{,}3\ \text{m} = 0{,}57\ \ \text{cm}^2$$

Odabrano: $\emptyset 6/20$ cm (1,41 cm^2)

Potrebna armatura u polju:

Proračunski moment u polju potreban za proračun potrebne armature u polju Omnia ploče biti će jednak zbroju momenata dobivenog u fazi 2 i momentu dobivenog u fazi 3:

$$M_{Ed} = M_{polje}^{faza2} + M_{polje}^{faza3} = 32{,}23 + 29{,}49 = 61{,}72 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{6172}{130 * 16^2 * 2} = 0{,}093$$

$$\xi = 0{,}125 \qquad \zeta = 0{,}948$$

Potrebna armatura:

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta * d) * f_{yd}} = \frac{6172}{0{,}948 * 16 * 43{,}48} = 9{,}36 \text{ cm}^2/1{,}3\text{m}$$

Razdjelna armatura:

$$0{,}2 * A_{S1} = 0{,}2 * 9{,}36 = 1{,}87 \text{ cm}^2/\text{m}' : 1{,}3 \text{ m} = 1{,}44 \text{ cm}^2$$

Odabrano: $\emptyset 8/20$ cm (2,51 cm^2)

Ukupna armatura u Omnia ploči:

1. Donja zona

Ukupna potrebna armatura: 9,36 cm2

9,36 cm^2 – 2,26 cm^2 (RAN 8Ø6) = 7,10 cm^2

Dodatno ugrađeno: 5Ø14 (7,70 cm^2)

2. Gornja zona

Ukupna potrebna armatura: 3,70 cm^2

3,70 cm^2 – 2,01 cm^2 (RAN 4Ø8) = 1,69 cm^2

Dodatno ugrađeno: $\emptyset 8/20$ cm (2,51 cm^2)

6. DIMENZIONIRANJE GREDA OKVIRA

6.1. Dimenzioniranje grede u fazi 1

Ova faza odnosi se na postavljanje grede i „in-situ“ betona, koji još ne nosi. Omnia ploča poduprta je u trećinama raspona pri njenoj izvedbi te tako na gredu djeluje reakcija takvog statičkog sustava. Reakcija krajnjeg oslonca R_a iznosi:

$$R_a = 0{,}4 * q_{Ed} * l$$

<u>Opterećenje:</u>

- vlastita težina Omnia ploče: $0{,}08\ \mathrm{m} * 25\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3} = 2{,}0\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2} * 1{,}0\ \mathrm{m} = 2{,}0\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}'}$
- dodatni sloj betona: $0{,}12\ \mathrm{m} * 25\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3} = 3{,}0\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2} * 1{,}0\ \mathrm{m} = 3{,}0\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}'}$
- servisno opterećenje: $1{,}5\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2} * 1{,}0\ \mathrm{m} = 1{,}50\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}'}$

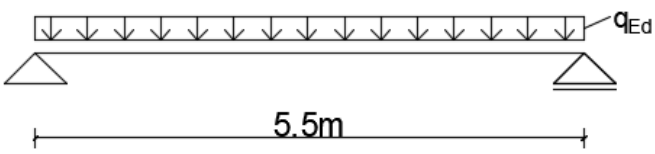
$$q_{Ed} = 1{,}35 * g + 1{,}5 * q = 1{,}35 * (2{,}0 + 3{,}0) + 1{,}5 * 1{,}50 = 9{,}0\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}'}$$

$$R_a = 0{,}4 * 9 * 1{,}83 = 6{,}60\ \mathrm{kN/m'}$$

<u>Opterećenje:</u>

- vlastita težina grede: $0{,}3\ \mathrm{m} * 0{,}3\ \mathrm{m} * 25\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^3} = 2{,}25\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}'}$
- reakcija sa Omnia ploče (s obje strane): $(6{,}60\mathrm{kN} + 6{,}60\mathrm{kN})/1\ \mathrm{m} = 13{,}2\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}'}$

$$q_{Ed} = 1{,}35 * g + q_{Ed} = 1{,}35 * (2{,}25) + 13{,}2 = 16{,}24\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}'}$$



Slika 21: Statički sustav grede u fazi 1

$$M_{Ed,polje} = \frac{q_{Ed} * l^2}{8} = \frac{16{,}24 * 5{,}5^2}{8} = 61{,}41$$

$$R_{oslonac} = \frac{q_{Ed} * l}{2} = \frac{16,24 * 5,5}{2} = 44,66 \text{ kN}$$

Dimenzije grede u fazi 1: 30/30 (cm)

Statička visina presjeka:

$d = h - d_1 = 30 - 4,5 = 25,5$ cm

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{6141}{30 * 25,5^2 * 2} = 0,157$$

$$\xi = 0,212 \qquad \zeta = 0,912$$

Potrebna armatura:

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta * d) * f_{yd}} = \frac{6141}{0,912 * 25,5 * 39,13} = 6,75 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 4Ø16 (8,04 cm^2)

U ovoj fazi potrebno je staviti određenu armaturu u gornju zonu presjeka dimenzija 30 cm * 30 cm makar će mjerodavnu armaturu gornje zone ona dobiti iz druge faze kada se bude dimenzionirao konačan presjek. Odabrana armatura iznosi: 2Ø16.

<u>Dimenzioniranje na poprečne sile:</u>

1.) <u>Provjera nosivosti tlačnih štapova:</u>

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * \nu_1 * f_{cd} * \frac{1}{ctg(\Theta) + tg(\Theta)}$$

$\alpha_{cw} = 1 -$ za neprednapete elemente

$bw = 30$ cm

$z = \zeta * d \approx 0,9 * d = 0,9 * 25,5 = 22,95$ cm

$$\nu_1 = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$\Theta = 40°$ (preporuka)

$$V_{Rd,max} = 1 * 30 * 22{,}95 * 0{,}528 * 2 * \frac{1}{1{,}2 + \frac{1}{1{,}2}}$$

$$V_{Rd,max} = 357{,}57 \text{ kN}$$

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

$$44{,}66 \text{ kN} < 357{,}57 \text{ kN}$$

2.) <u>Minimalna armatura:</u>

- najveći razmak spona iz uvjeta minimalne poprečne armature:

$$\rho_{w,min} = 0{,}15 * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0{,}15 * \frac{2{,}9}{391{,}3} = 0{,}0011$$

$$s_{L,max} = \frac{A_{sw^1} * m}{\rho_{w,min} * b_w}$$

pretpostavljen promjer spona: Ø8: A_{sw^1} = 0,5 cm^2, m = 2

$$s_{L,max} = \frac{0{,}5 * 2}{0{,}0011 * 30} = 30{,}3 \text{ cm}$$

- najveći razmak poprečne armature iz odnosa $V_{Ed}/V_{Rd,max}$:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{44{,}66}{357{,}57} = 0{,}12 < 0{,}3$$

$$s_{L,max} = \min\{0{,}75 * d; 300 \text{ mm}\} = \min\{0{,}75 * 255; 300 \text{ mm}\}$$

$$s_{L,max} = \min\{191{,}25; 300 \text{ mm}\}$$

$$s_{L,max} = 19 \text{ cm}$$

- poprečna sila koju „nose“ minimalne spone Ø8, m = 2, $s_{L,max}$ = 19 cm

$$V_{Rds^{min}} = \frac{A_{sw^1} * m}{s_{L,max}} * z * f_{ywd} * \text{ctg}\,(\delta)$$

$$V_{Rds^{min}} = \frac{0{,}5 * 2}{19} * 22{,}95 * 39{,}13 * 1{,}2$$

$$V_{Rds^{min}} = 56{,}72 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rds^{min}}$$

$$44{,}66 \text{ kN} < 56{,}72 \text{ kN}$$

⇨ nije potreban je proračun poprečne armature

Odabrana armatura: Ø8/19 cm

6.2. Dimenzioniranje grede u fazi 2

U ovoj fazi dimenzionira se greda u fazi kada „in-situ“ beton očvrsne i nosi. Ovdje poprečni presjek grede postaje 50 cm * 50 cm. Širina poprečnog presjeka pri određivanju potrebne armature u polju se uzima kao širina grede b = 30 cm (na strani sigurnosti).

<u>Razred izloženosti XC1 i S4</u>

$c_{min.dur} = 15\ \text{mm}$

$c_{min} = \max\{\emptyset \cong 15\ \text{mm}; c_{min,dur} = 15\ \text{mm}; 10\ \text{mm}\} = 15\ \text{mm}$

$c_{nom} = 1{,}5 + 1 = 2{,}5\ \text{cm}$

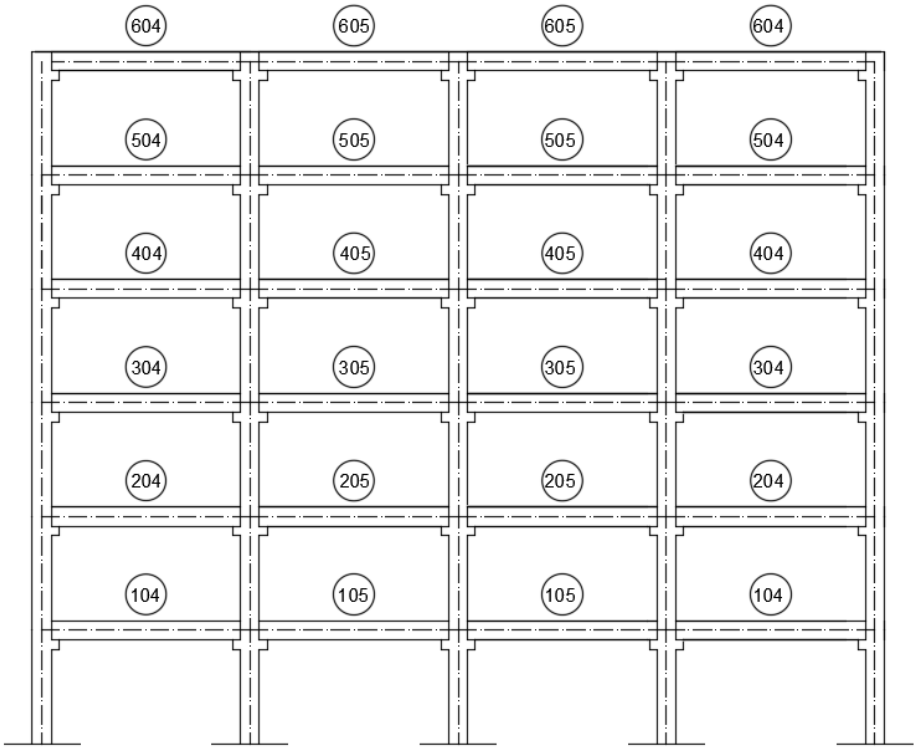
Visina od vlačnog ruba do težišta armature:

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_w + \frac{\emptyset}{2} = 2{,}5 + 0{,}8 + \frac{\approx 2}{2} \cong 4{,}5\ \text{cm}$$

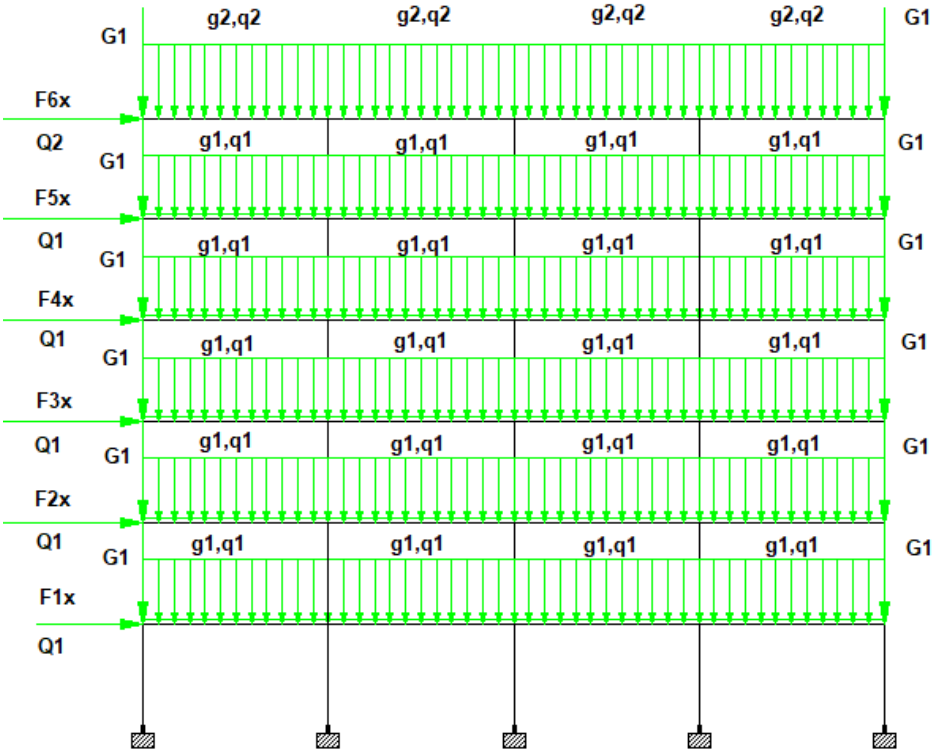
Statička visina presjeka:

$d = h - d_1 = 50 - 4{,}5 = 45{,}5\ \text{cm}$

6.2.1. Dimenzioniranje greda na moment savijanja



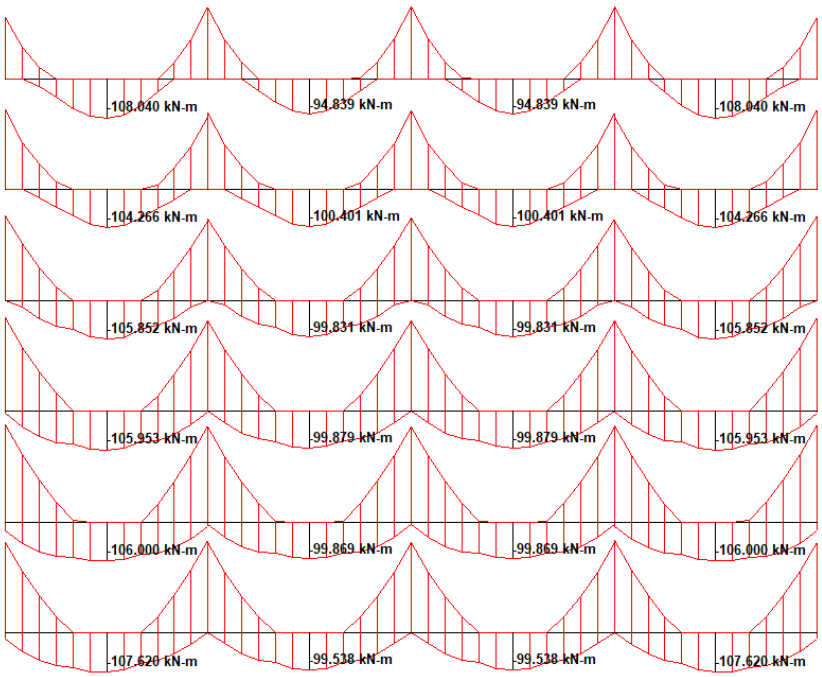
Slika 22: Označene pozicije grede karakterističnog okvira



Slika 23: Opterećenje mjerodavnog okvira za proračun (okvir 2)

Tablica 23: Opterećenje mjerodavnog okvira za proračun (okvir 2)

Vlastita težina	„selfweight“	-	-
Dodatno stalno	g_1	$7{,}78 * 5{,}5$	$42{,}79\ \frac{kN}{m'}$
	g_2	$9{,}00 * 5{,}5$	$49{,}50\ \frac{kN}{m'}$
	G_1	$[(0{,}3 * 0{,}5) * 25] * 5{,}5$	$20{,}63\ kN$
Uporabno	q_1	$2{,}00 * 5{,}5$	$11{,}00\ \frac{kN}{m'}$
Snijeg	q_2	$0{,}40 * 5{,}5$	$2{,}20\ \frac{kN}{m'}$
Vjetar	Q_1	$[(1{,}71 * 5{,}5) * 3]$	$28{,}22\ kN$
	Q_2	$[(1{,}71 * 5{,}5) * 1{,}5]$	$14{,}11\ kN$
Potres	$F'_{i,x'}$	-	$F'_{6,x'} = 125{,}55\ kN$
			$F'_{5,x'} = 100{,}67\ kN$
			$F'_{4,x'} = 80{,}53\ kN$
			$F'_{3,x'} = 60{,}41\ kN$
			$F'_{2,x'} = 40{,}27\ kN$
			$F'_{1,x'} = 20{,}14\ kN$



Slika 24: Anvelopa momenata savijanja greda s prikazanim najvećim vrijednostima u polju

Zbog približno jednakih vrijednosti momenata u polju svih greda, usvojeni moment savijanja iznosi:

$$M_{Ed} = 107{,}62 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{10765}{30 * 45{,}5^2 * 2} = 0{,}087$$

$$\xi = 0{,}113 \qquad \zeta = 0{,}953$$

Potrebna armatura:

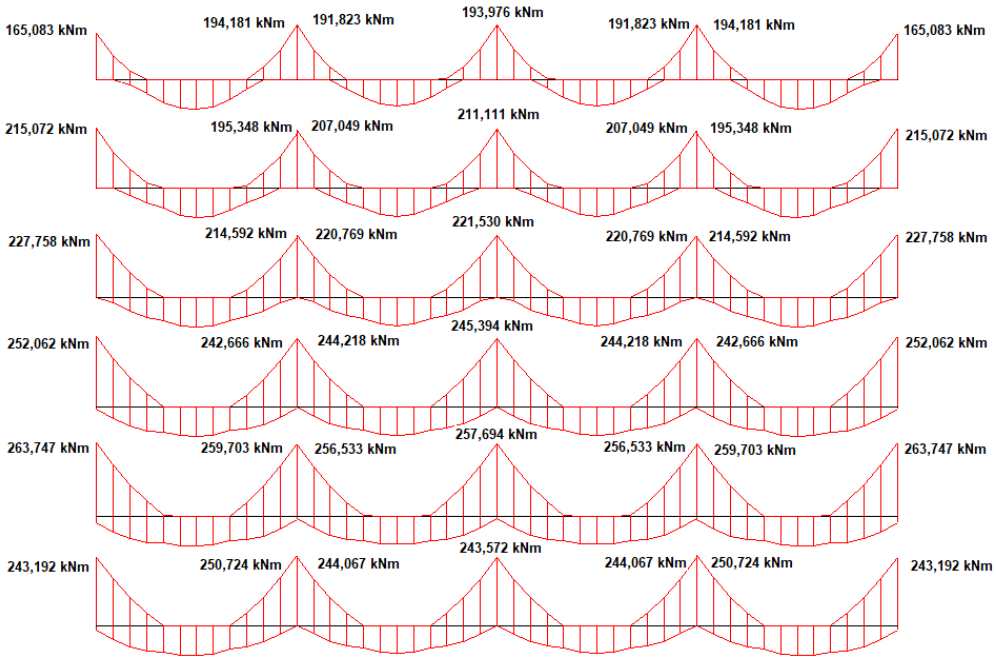
$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta * d) * f_{yd}} = \frac{10765}{0{,}953 * 45{,}5 * 39{,}13} = 6{,}34 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura:

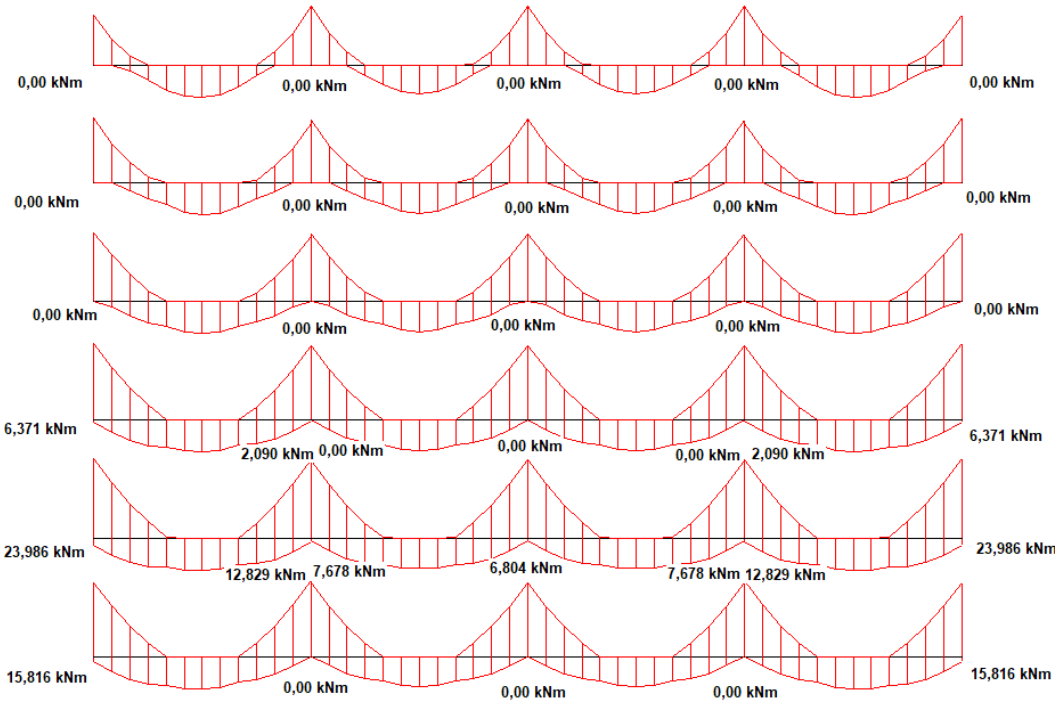
$$A_{S,min} = \max\begin{Bmatrix} 0{,}26 * \frac{f_{Ctm}}{f_{yk}} * b_w * d \\ 0{,}0013 * b_w * d \end{Bmatrix} = \max\begin{Bmatrix} 0{,}26 * \frac{2{,}9}{450} * 30 * 45{,}5 \\ 0{,}0013 * 30 * 45{,}5 \end{Bmatrix} = \max\begin{Bmatrix} 2{,}29 \\ 1{,}77 \end{Bmatrix}$$

$$A_{S,min} = 2{,}29 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna armatura u polju je ona iz faze 1, pa se tako usvaja armatura: 4Ø16 (8,04 cm^2)



Slika 25: Anvelopa momenata savijanja greda s prikazanim najvećim vrijednostima na osloncu u gornjoj zoni



Slika 26: Anvelopa momenata savijanja greda s prikazanim najvećim vrijednostima na osloncu u donjoj zoni

Tablica 24: Iznos momenta na osloncu u svakome čvoru

Iznos momenta na osloncu (kNm)	greda 104-105-105-104	greda 204-205-205-204	greda 304-305-305-304	greda 404-405-405-404	greda 504-505-505-504	greda 604-605-605-604
Oslonac 1	243,19	263,75	252,06	227,76	215,07	165,08
Oslonac 2_L	250,72	259,70	242,67	214,60	195,35	194,18
Oslonac 2_D	244,07	256,53	244,22	220,77	207,05	191,82
Oslonac 3	243,57	257,69	245,40	221,53	211,11	193,98

Tablica 25: Potrebna vlačna armatura na osloncu (gornja zona)

Potrebna armatura u vlačnom području (cm^2)	greda 104-105-105-104	greda 204-205-205-204	greda 304-305-305-304	greda 404-405-405-404	greda 504-505-505-504	greda 604-605-605-604
Oslonac 1	15,38	16,97	16,11	14,34	13,42	10,02
Oslonac 2_L	15,93	16,71	15,42	13,39	12,03	11,96
Oslonac 2_D	15,51	16,39	15,52	13,84	12,88	11,81
Oslonac 3	15,48	16,47	15,59	13,89	13,13	11,95

Tablica 26: Usvojena armatura na osloncu

Usvojena armatura na osloncu (cm^2)	greda 104-105-105-104	greda 204-205-205-204	greda 304-305-305-304	greda 404-405-405-404	greda 504-505-505-504	greda 604-605-605-604
Gornja zona	8Ø16 (16,08 cm^2)	6Ø20 (18,85 cm^2)	6Ø20 (18,85 cm^2)	5Ø20 (15,71 cm^2)	7Ø16 (14,07 cm^2)	6Ø16 (12,06 cm^2)
Donja zona	4Ø16 (8,04 cm^2)	5Ø16 (10,05 cm^2)	5Ø16 (10,05 cm^2)	4Ø16 (8,04 cm^2)	6Ø12 (6,79 cm^2)	6Ø12 (6,79 cm^2)

Prema HRN EN 1998-1-1, u donju (tlačnu) zonu oslonca potrebno je staviti najmanje 50% armature iz gornje (vlačne) zone. Prije toga potrebno je provjeriti ako je moment u tlačnoj zoni mjerodavniji jer će on dati veću količinu potrebne armature. U svim gredama konstrukcija moment u tlačnoj zoni oslonca zanemarivo je malen u odnosu na moment iz gornje zone tako da ovaj uvjet neće biti mjerodavan.

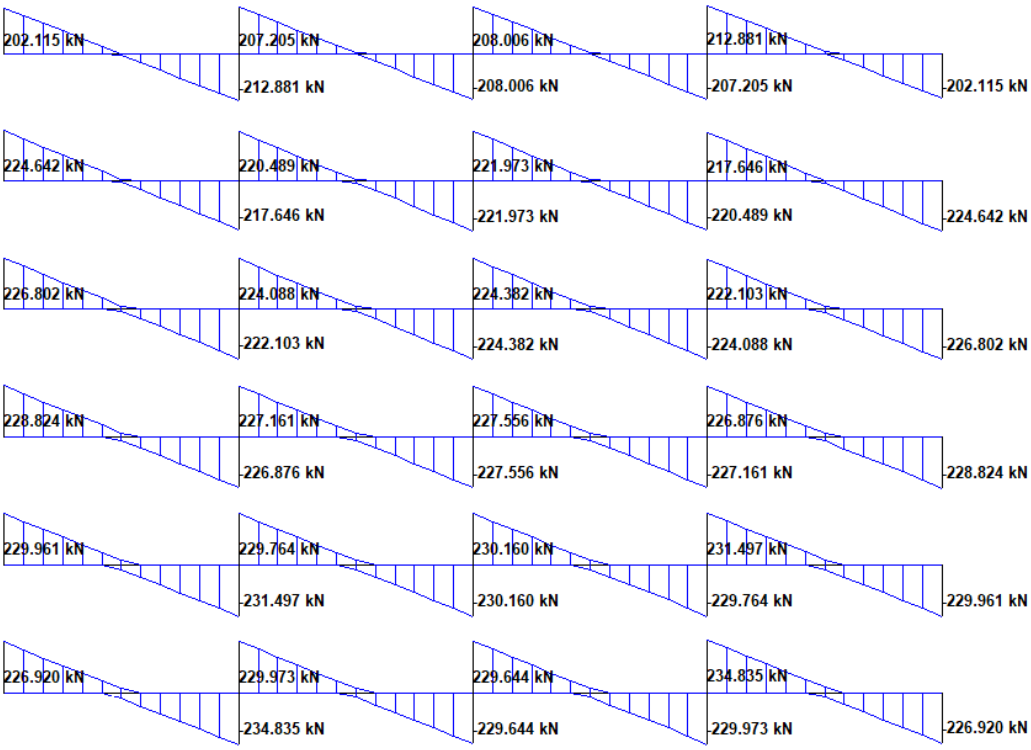
Također, u gredama 504-505-505-504 i 604-605-605-604 polovica armature iz gornje zone (6,71 cm^2 i 5,98 cm^2) nešto je manja od odabrane armature u polju (6,79 cm^2), pa je u takvoj situaciji razumno produljiti šipke iz polja do oslonca. Time smo na strani sigurnosti pa tako armatura u donjoj zoni oslonca iznosi 6,79 cm^2.

Tablica 27: Usvojena armatura u polju

Usvojena armatura u polju (cm^2)	greda 104-105-105-104	greda 204-205-205-204	greda 304-305-305-304	greda 404-405-405-404	greda 504-505-505-504	greda 604-605-605-604
Mjerodavna je armatura iz faze 1	4Ø16 (8,04 cm^2)	5Ø16 (10,05 cm^2)	5Ø16 (10,05 cm^2)	4Ø16 (8,04 cm^2)	6Ø12 (6,79 cm^2)	6Ø12 (6,79 cm^2)

6.2.2. Dimenzioniranje greda na poprečne sile

Trajna proračunska situacija:



Slika 27: Anvelopa poprečnih sila iz trajne proračunske situacije

1.) Provjera nosivosti tlačnih štapova:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * \nu_1 * f_{cd} * \frac{1}{ctg(\theta) + tg(\theta)}$$

$\alpha_{cw} = 1 -$ za neprednapete elemente

$bw = 30$ cm

$z = \zeta * d \approx 0{,}9 * d = 0{,}9 * 45{,}5 = 40{,}95$ cm

$$\nu_1 = 0{,}6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0{,}6 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0{,}528$$

$\theta = 40°$

$$V_{Rd,max} = 1 * 30 * 40{,}95 * 0{,}528 * 2 * \frac{1}{1{,}2 + \frac{1}{1{,}2}}$$

$$V_{Rd,max} = 638{,}01 \text{ kN}$$

2.) <u>Minimalna armatura:</u>

- najveći razmak spona iz uvjeta minimalne poprečne armature:

$$\rho_{w,min} = 0{,}15 * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0{,}15 * \frac{2{,}9}{391{,}3} = 0{,}0011$$

$$s_{L,max} = \frac{A_{sw^1} * m}{\rho_{w,min} * b_w}$$

pretpostavljen promjer spona: Ø8: A_{sw^1} = 0,5 cm^2, m = 2

$$s_{L,max} = \frac{0{,}5 * 2}{0{,}0011 * 30} = 30{,}3 \text{ cm}$$

- najveći razmak poprečne armature iz odnosa $V_{Ed}/V_{Rd,max}$:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} < 0{,}3$$

$$s_{L,max} = \min\{0{,}75 * d; 300 \text{ mm}\} = \min\{0{,}75 * 455; 300 \text{ mm}\}$$

$$s_{L,max} = \min\{341{,}25; 300 \text{ mm}\}$$

$$s_{L,max} = 30 \text{ cm}$$

Mjerodavan je najveći razmak poprečne armature iz faze 1:

$$s_{L,max} = 19 \text{ cm}$$

- poprečna sila koju „nose“ minimalne spone Ø8, m = 2, $s_{L,max}$ = 19 cm

$$V_{Rds^{min}} = \frac{A_{sw^1} * m}{s_{L,max}} * z * f_{ywd} * \text{ctg}\,(\theta)$$

$$V_{Rds^{min}} = \frac{0{,}5 * 2}{19} * 40{,}95 * 39{,}13 * 1{,}2$$

$$V_{Rds^{min}} = 101{,}20 \text{ kN}$$

3.) <u>Proračun poprečne armature:</u>

$$s = \frac{A_{sw^1} * m * z * f_{ywd}}{V_{Ed}} * \text{ctg}(\theta)$$

Tablica 28: Poprečna armatura odabrana iz iznosa poprečne sile

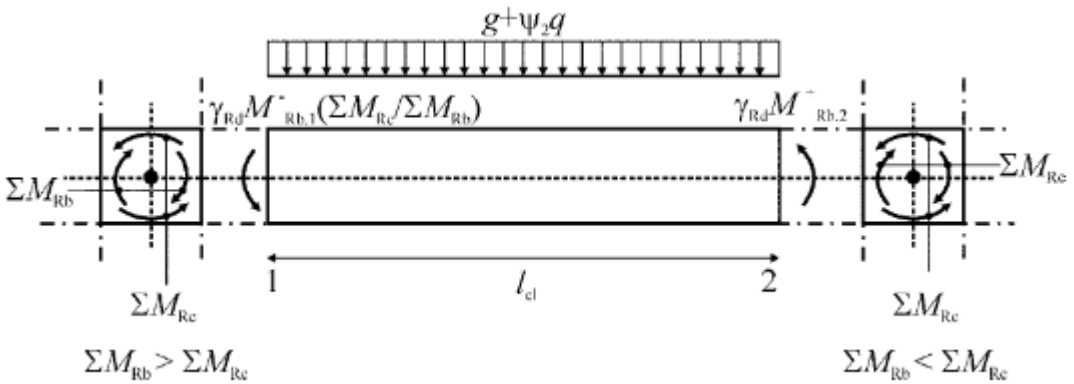
	greda 104-105-105-104	greda 204-205-205-204	greda 304-305-305-304	greda 404-405-405-404	greda 504-505-505-504	greda 604-605-605-604
Iznos poprečne sile V_{ed} (kN)	234,84	231,50	228,82	226,80	224,64	212,88
Razmak „s“ (cm)	8,19	8,31	8,40	8,48	8,56	9,03
Odabrana poprečna armatura	Ø8/8 cm	Ø8/8 cm	Ø8/8 cm	Ø8/8 cm	Ø8/8 cm	Ø8/9 cm

Tablica 29: Poprečna armatura odabrana za poprečnu silu 50 cm od oslonca

	greda 104-105-105-104	greda 204-205-205-204	greda 304-305-305-304	greda 404-405-405-404	greda 504-505-505-504	greda 604-605-605-604
Iznos poprečne sile V_{Ed} (kN)	192,14	189,41	187,22	185,56	183,80	174,17
Razmak „s“ (cm)	10,01	10,15	10,27	10,36	10,46	11,04
Odabrana poprečna armatura	Ø8/10 cm	Ø8/10 cm	Ø8/10 cm	Ø8/10 cm	Ø8/10 cm	Ø8/11 cm

Potresna kombinacija:

Potrebno je ostvariti hijerarhiju formiranja plastičnih zglobova radi osiguranja prikladnog plastičnog mehanizma uz izbjegavanje krhkih oblika sloma. U slučaju greda, njezina kritična područja (krajevi greda) projektiraju se tako da se mogu plastično deformirati savijanjem. Popuštanje zbog savijanja takvih elemenata treba nastupiti bez krhkog sloma poprečnom silom. Takvo projektiranje naziva se projektiranje prema sposobnosti nosivosti. [10]



Slika 28: Vrijednost poprečnih sila u gredama pri proračunu sposobnosti nosivosti [5]

Određivanje M_{Rd}:

$$\omega = \frac{A_s}{b * d} * \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$M_{Rd} = \zeta * d * f_{yd} * A_s$$

Poprečno opterećenje:

$$w = g + \Psi_{E,i} * q$$

Stalno opterećenje g_1 koje djeluje na stropnu gredu iznosi:

$$g_1 = 7{,}78 * 5{,}5 + 0{,}3 * 0{,}5 * 25$$

$$g_1 = 46{,}54 \ \frac{kN}{m}$$

Uporabno opterećenje q_1 koje djeluje na gredu iznosi:

$$q_1 = 2 * 5{,}5$$

$$q_1 = 11\ \frac{kN}{m}$$

$$w_1 = 46{,}54 + 0{,}3 * 11$$

$$w_1 = 49{,}84\ \frac{kN}{m}$$

Stalno opterećenje g_2 koje djeluje na krovnu gredu iznosi:

$$g_2 = 9 * 5{,}5 + 0{,}3 * 0{,}5 * 25$$

$$g_2 = 53{,}25\ \frac{kN}{m}$$

Uporabno opterećenje q_2 koje djeluje na gredu iznosi:

$$q_2 = 0{,}5 * 5{,}5$$

$$q_2 = 2{,}75\ \frac{kN}{m}$$

$$w_2 = 53{,}25 + 0 * 2{,}75$$

$$w_2 = 53{,}25\ \frac{kN}{m}$$

Iznos sile V_{ed} računa se prema izrazu:

$$V_{ed} = \frac{\Upsilon_{Rd}(M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w * l_{cl}}{2}$$

Υ_{Rd} – faktor kojima se uzima u obzir moguće povećanje čvrstoće uslijed ojačanja čelika;
$\Upsilon_{Rd} = 1$ (DCM)

l_{cl} – svijetla duljina grede; $l_{cl} = 5{,}0$ m

Tablica 30: Proračun poprečne sile prema kapacitetu nosivosti

	greda 104-105-105-104	**greda 204-205-205-204**	**greda 304-305-305-304**	**greda 404-405-405-404**	**greda 504-505-505-504**	**greda 604-605-605-604**
A_{s1} (cm^2)	16,08	18,85	18,85	15,71	14,07	12,06
ω_1	0,230	0,270	0,270	0,225	0,202	0,173
ζ_1	0,879	0,861	0,861	0,884	0,896	0,912
$\mathbf{M_{Rd,1}}$ **(kNm)**	**251,65**	**288,96**	**288,96**	**247,26**	**224,45**	**195,82**
A_{s2} (cm^2)	8,04	10,05	10,05	8,04	6,79	6,79
ω_2	0,115	0,144	0,144	0,115	0,097	0,097
ζ_2	0,941	0,939	0,939	0,941	0,950	0,950
$\mathbf{M_{Rd,2}}$ **(kNm)**	**134,70**	**168,02**	**168,02**	**134,70**	**114,85**	**114,85**
$\frac{\gamma_{Rd}(M_{Rd,1}+M_{Rd,2})}{l_{cl}}$	**77,27**	**91,40**	**91,40**	**76,39**	**67,86**	**62,13**
$\frac{w * l_{cl}}{2}$	**124,6**	**124,6**	**124,6**	**124,6**	**124,6**	**133,13**
$\mathbf{V_{Ed}}$ **(kN)**	**201,87**	**216,00**	**216,00**	**200,99**	**192,46**	**195,26**

Kako je duž svih greda po katovima konstrukcije odabrana ista armatura u gornjoj i donjoj zoni svakog oslonca nije potrebno provjeriti slučaj u kojem će momenti djelovati u suprotnom smjeru, u ovome slučaju u smjeru kazaljke na satu.

1.) <u>Provjera nosivosti tlačnih štapova:</u>

$$V_{Rd,max} = 638{,}01 \text{ kN}$$

<u>Minimalna armatura:</u>

- najveći razmak poprečne armature iz odnosa $V_{Ed}/V_{Rd,max}$:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} < 0{,}3$$

$$s_{L,max} = \min\{0{,}75 * d; 300 \text{ mm}\} = \min\{0{,}75 * 455; 300 \text{ mm}\}$$

$$s_{L,max} = \min\{341{,}25; 300 \text{ mm}\}$$

$$s_{L,max} = 30 \text{ cm}$$

Mjerodavan je najveći razmak poprečne armature iz faze 1:

$$s_{L,max} = 19 \text{ cm}$$

- poprečna sila koju „nose“ minimalne spone Ø8, m = 2, $s_{L,max}$ = 19 cm

$$V_{Rds^{min}} = \frac{A_{sw^1} * m}{s_{L,max}} * z * f_{ywd} * ctg\,(\theta)$$

$$V_{Rds^{min}} = \frac{0{,}5 * 2}{19} * 40{,}95 * 39{,}13 * 1{,}2$$

$$V_{Rds^{min}} = 101{,}20 \text{ kN}$$

2.) <u>Proračun poprečne armature</u>, razmak s

$$s = \frac{A_{sw^1} * m * z * f_{ywd}}{V_{Ed}} * ctg\,(\theta)$$

Tablica 31: Poprečna armatura odabrana za poprečnu silu na osloncu

	greda 104-105-105-104	greda 204-205-205-204	greda 304-305-305-304	greda 404-405-405-404	greda 504-505-505-504	greda 604-605-605-604
Iznos poprečne sile V_{Ed} (kN)	201,87	216,00	216,00	200,99	192,46	195,26
Razmak „s“ (cm)	9,52	8,90	8,90	9,57	10,00	9,85
Odabrana poprečna armatura	Ø8/9 cm	Ø8/8 cm	Ø8/8 cm	Ø8/9 cm	Ø8/10 cm	Ø8/9 cm

6.2.2.1. Dodatne odredbe za dimenzioniranje na potres (EC8)

1. <u>Kritično područje:</u>

Kriterij lokalne duktilnosti:

Kritično područje grede nalazi se na udaljenosti l_{cr} od oba ruba oslonca:

$$l_{cr} = h_{gr} = h_w = 50 \text{ cm}$$

Vrijednost faktora duktilnosti s obzirom na zakrivljenost:

$$\mu_\Phi = 2 * q_o - 1 \text{ ako je } T_1 \geq T_C$$

$$T_1 = 0{,}79 \text{ s} > T_c = 0{,}4 \text{ s}$$

$$\mu_\Phi = 2 * 3{,}9 - 1 = 6{,}8$$

<u>Omjer armiranja ρ u vlačnom području ne premašuje ρ_{max}:</u>

$$\rho_{max} = \rho' + 0{,}0018 \frac{f_{cd}}{\mu_\Phi * \varepsilon_{sy,d} * f_{yd}}$$

Čelik B450C: Es = 210 000 MPa

f_{yd} = 391.3 MPa

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{391{,}3}{210000} = 1{,}863 * 10^{-3}$$

Omjer armiranja u vlačnom području:

$$\rho = \frac{A_s}{b * d}$$

Omjer armiranja u tlačnom području:

$$\rho' = \frac{A_s}{b * d}$$

Tablica 32: Omjer armiranja u vlačnom i tlačnom području

	greda 104-105-105-104	greda 204-205-205-204	greda 304-305-305-304	greda 404-405-405-404	greda 504-505-505-504	greda 604-605-605-604
ρ	0,0118	0,0138	0,0138	0,0115	0,0103	0,0088
ρ'	0,0059	0,0074	0,0074	0,0059	0,0050	0,0050
ρ_{max}	0,0132	0,0147	0,0147	0,0132	0,0123	0,0123
$\boldsymbol{\rho \leq \rho_{max}}$	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**

Duž cijele grede omjer armiranja u vlačnom području mora biti veći od ρ_{min}:

$$\rho_{min} = 0{,}5 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0{,}5 * \frac{2{,}9}{450} = 0{,}0032$$

Tablica 33: Omjer armiranja u vlačnom području u odnosu na minimalni omjer armiranja

	greda 104-105-105-104	greda 204-205-205-204	greda 304-305-305-304	greda 404-405-405-404	greda 504-505-505-504	greda 604-605-605-604
ρ	0,0118	0,0138	0,0138	0,0115	0,0103	0,0088
$\boldsymbol{\rho > \rho_{min}}$	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**	**vrijedi**

Promjer spona d_{bw} ne smije biti manji od 6 mm

Razmak spona ne smije biti veći od:

$$s = \min\left\{\frac{h_w}{4}; 24 * d_{bw}; 225; 8 * d_{bl}\right\}$$

d_{bw} – promjer spona

d_{bl} – promjer najmanje uzdužne šipke

Za sve grede vrijedi:

- d_{bw} = 8 mm

Grede 504-505-505-504 i 604-605-605-604:

- d_{bl} = 12 mm

$$s = \min\left\{\frac{500}{4}; 24 * 8; 225; 8 * 12\right\}$$

$$s = \min\{125; 192; 225; 96\}$$

$$s = 96 \text{ mm} = 90 \text{ mm}$$

Ostale grede:

- d_{bl} = 16 mm

$$s = \min\left\{\frac{500}{4}; 24 * 8; 225; 8 * 16\right\}$$

$$s = \min\{125; 192; 225; 128\}$$

$$s = 125 \text{ mm} = 12{,}5 \text{ mm}$$

2. <u>Izvan kritičnog područja:</u>

Omjer armiranja u vlačnom području (armatura iz polja)

$$\rho = \frac{A_s}{b * d} = \frac{6{,}79}{30 * 45{,}5} = 0{,}005$$

<u>Duž cijele grede omjer armiranja u vlačnom području mora biti veći od ρ_{min}:</u>

$$\rho_{min} = 0{,}5 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0{,}0032$$

$$\rho \geq \rho_{min}$$

$$0{,}005 < 0{,}0032$$

<u>Razmak spona izvan kritičnog područja:</u>

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s * b} > \rho_{w,min}$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0{,}08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0{,}08 * \sqrt{30}}{450} = 0{,}001$$

$$\rho_w = \frac{0{,}5 * 2}{19 * 30} = 0{,}0018 > 0{,}001$$

$$s < s_{l,max} = 0{,}75 * d = 0{,}75 * 45{,}5 = 34{,}13 \text{ cm}$$

$$s = 19 \text{ cm} < 34{,}13 \text{ cm}$$

Tablica 34: Mjerodavna poprečna armatura greda (polovica grede)

	greda 104-105-105-104	greda 204-205-205-204	greda 304-305-305-304	greda 404-405-405-404	greda 504-505-505-504	greda 604-605-605-604
Kritično područje (0 - 50 cm)	Ø8/8 cm	Ø8/8 cm	Ø8/8 cm	Ø8/8 cm	Ø8/8 cm	Ø8/9 cm
Izvan kritičnog područja (50 – 155 cm)	Ø8/10 cm	Ø8/10 cm	Ø8/10 cm	Ø8/10 cm	Ø8/10 cm	Ø8/11 cm
Izvan kritičnog područja (155 – 250 cm)	Ø8/19 cm	Ø8/19 cm	Ø8/19 cm	Ø8/19 cm	Ø8/19 cm	Ø8/19 cm

6.3. Proračun kratke konzole

Kratke konzole jedan su od primjera kratkih elemenata koje se najčešće koriste kod montažnog načina gradnje. One se zajedno sa stupovima betoniraju u tvornici a nalaze se ispod svake razine stropa konstrukcije kako bi omogućile oslanjanje grede na čelične pločice. Oslanjanje grede na ležaj na konzoli sprječava drobljenje ruba konzole uslijed rotacije. Primarno opterećenje kratkih konzole jeste vertikalna reakcija iz grede, odnosno vertikalna reakcija sa oslonca. Širina kratke konzole se zbog jednostavnosti proizvodnje često uzima ista kao i širina stupa dok njena duljina ovisi o dimenzija čelične pločice na koju se direktno oslanja greda. Dimenzioniranje čelične pločice konzole kao i njene dimenzije i konačno potrebna armatura provedeno je prema normi HRN EN 1992-1-1:2004 [1].

Greda se oslanja na čeličnu ploču dimenzije a_1/b_1

$$a = a_1 + a_2 + a_3 + \sqrt{\Delta a_2^2 + \Delta a_3^2}$$

- a_1 - neto duljina čelične ploče dobivena iz odgovarajućeg naprezanja, ali ne manja vrijednost propisana normom

$$a_1 = \frac{V_{Ed}}{b_1 * f_{Rd}} = \frac{V_{Ed}}{b_1 * 0{,}85 * f_{cd}} > 110 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{234{,}84 * 10^3}{300 * 0{,}85 * 20} = 46{,}05 \text{ mm} < 110 \text{ mm}$$

$$a_1 = 110 \text{ mm}$$

- a_2/a_3 – pretpostavljena dodatna udaljenost propisana normom, ovisna o načinu oslanjanja te o materijalu na kojeg se oslanja greda

$$a_2 = 10 \text{ mm}$$

$$a_3 = 15 \text{ mm}$$

- $\Delta a_2/\Delta a_3$ – dopušteno odstupanje za jasnu udaljenost između lica nosača, ovisna o duljini grede

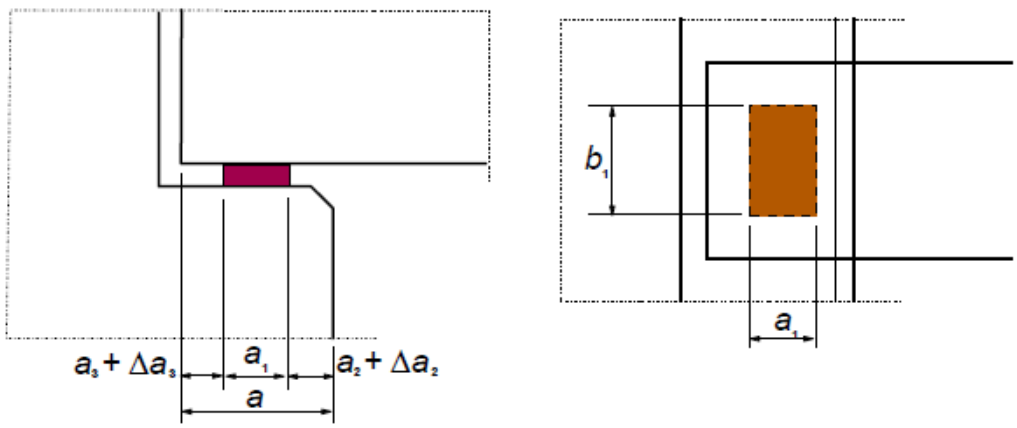
$$10 \leq \Delta a_2 = \frac{l}{1200} \leq 30 \text{ mm}$$

$$10 \leq \Delta a_2 = \frac{5000}{1200} \leq 30 \text{ mm}$$

$$10 \leq \Delta a_2 = 4{,}16 \leq 30 \text{ mm}$$

$$\Delta a_2 = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta a_3 = \frac{l}{2500} = \frac{5000}{2500} = 2{,}0 \text{ mm}$$



Slika 29: Primjer kratke konzole s čeličnom pločicom i označenim dimenzijama [1]

Potrebna duljina oslanjanja:

$$a = 110 + 10 + 15 + \sqrt{10^2 + 2^2} = 145{,}2 \text{ mm}$$

$$a = 150 \text{ mm}$$

Dobivena potrebna duljina oslanjanja je minimalna duljina propisana normom, no na strani sigurnosti je ako se usvoji veća duljina:

$$a_1 = 150 \text{ mm}$$

$$a_2 + \Delta a_2 = 25 \text{ mm}$$

$$a_3 + \Delta a_3 = 25 \text{ mm}$$

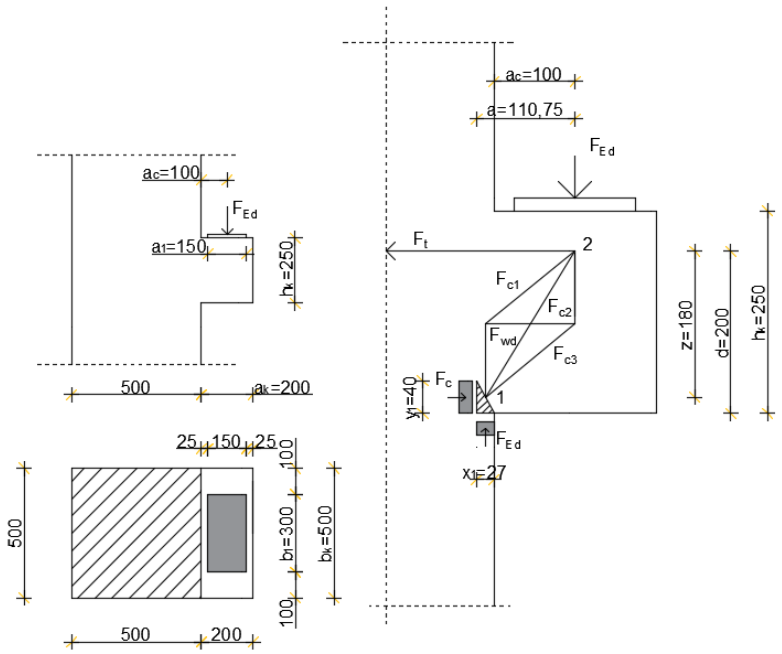
Pa tako duljina kratke konzole iznosi:

$$a_k = a_1 + a_2 + \Delta a_2 + a_3 + \Delta a_3 = 200 \text{ mm}$$

Tablica 35: Podaci potrebni za dimenzioniranje kratke konzole

Duljina kratke konzole	a_k	200 mm
Širina kratke konzole	b_k	500 mm
Visina kratke konzole	h_k	250 mm
Duljina čelične ploče	a_1	150 mm
Širina čelične ploče	b_1	300 mm
Statička visina	d	200 mm
Krak unutarnjih sila	z	180 mm
Udaljenost reakcije od lica stupa	a_c	100 mm
Sila na koju je proračunata kratka konzola (najveća poprečna sila na osloncu)	F_{Ed}	234,84 kN

$$\frac{a_c}{h_k} = \frac{100}{250} = 0{,}4 < 0{,}5 \quad => \text{konzola se proračunava kao kratka konzola}$$



Slika 30: Detalj kratke konzole

<u>Čvor 1 – CCC čvor (tlačni čvor):</u>

$$\sigma_{1,Rd,max} = k_1 * \nu' * f_{cd}$$

$$\sigma_{1,Rd,max} = k_1 * (1 - \frac{f_{ck}}{250}) * f_{cd}$$

$$\sigma_{1,Rd,max} = 1 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) * 20 = 17{,}6\ \frac{N}{mm^2}$$

Duljina $x_1$dobije se iz uvjeta:

$$\sigma \leq \sigma_{1,Rd,max}$$

$$\frac{F_{Ed}}{x_1 * b} \leq \sigma_{1,Rd,max}$$

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{\sigma_{1,Rd,max} * b} = \frac{234{,}84 * 10^3}{17{,}6 * 500} = 26{,}69\ mm = 27{,}00\ mm$$

$$a = a_c + \frac{x_1}{2} = 100 + \frac{27{,}00}{2} = 113{,}50\ mm$$

Čvor 2 – CCT čvor (tlačno vlačni čvor s armaturom u jednom smjeru):

$$\sigma_{2,Rd,max} = k_2 * \nu' * f_{cd}$$

$$\sigma_{2,Rd,max} = k_2 * (1 - \frac{f_{ck}}{250}) * f_{cd}$$

$$\sigma_{2,Rd,max} = 0{,}85 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) * 20 = 14{,}96\ \frac{N}{mm^2}$$

Sila u vlačnom štapu iznosi:

$$F_t = \frac{F_{Ed} * a}{z} = \frac{234{,}84 * 113{,}50}{180} = 148{,}08\ kN$$

Potrebna vlačna armatura:

$$A_s = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{148{,}08}{39{,}13} = 3{,}78\ cm^2$$

Odabrano: 4Ø12 (4,52 cm^2)

Sila u štapu F_{wd}:

$$F_{wd} = \frac{2 * \frac{z}{a} - 1}{3 + \frac{F_{Ed}}{F_c}} * F_c$$

$$F_{wd} = \frac{2 * \frac{180}{113{,}50} - 1}{3 + \frac{234{,}84}{148{,}08}} * 148{,}08 = 70{,}13\ kN$$

Potrebna armatura:

$$A_{sw} = \frac{F_{wd}}{f_{yd}} = \frac{70{,}13}{39{,}13} = 1{,}79\ cm^2 \geq k_1 * A_{s,1} = 0{,}25 * 3{,}78 = 0{,}95$$

Odabrana armatura zatvorenih horizontalnih spona (m = 2, k = 2 kom.):

Odabrano: 4Ø10 (3,14 cm^2)

Provjera naprezanja u čvorovima:

$$\sigma_1 = \frac{F_c}{b * 2 * y_1} = \frac{F_c}{b * 2 * (0{,}2 * d)} \leq \sigma_{1,Rd,max}$$

$$\sigma_1 = \frac{148{,}08 * 10^3}{500 * 2 * (0{,}2 * 200)} = 3{,}70\ \frac{N}{mm^2} < 17{,}6\ \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{V_{Ed}}{A_{ploča}} \leq \sigma_{2,Rd,max}$$

$$\sigma_2 = \frac{234{,}84 * 10^3}{150 * 400} = 3{,}91 < 14{,}96\ \frac{N}{mm^2}$$

7. DIMENZIONIRANJE STUPOVA OKVIRA

Predgotovljeni stupovi u konstrukcijama opterećeni su djelovanju uzdužnih i poprečnih sila te momenata savijanja. Dimenzioniranje je provedeno na osnovnoj trajnoj proračunskoj situaciji te odvojeno i za potresnu kombinaciju. Potrebno je osigurati adekvatno armiranje, posebno u kritičnim područjima stupa zbog utjecaja potresa, te na odgovarajući način riješiti problem nastavka stupa zbog montažnog načina gradnje kao i osiguranja monolitne veze između stupova i grede te stupova i temelja. Proračun stupova provodi se na temelju dobivenih vrijednosti iz okvirnog modela iz STAAD.Pro. Kao i kod greda, dimenzioniranje na poprečne sile provedeno je na temelju sposobnosti nosivosti gdje se osigurava da na dođe do sloma uslijed poprečnih sila prije sloma prouzročenog momentima savijanja pri potresnom djelovanju.

Dimenzije poprečnog presjeka stupa: b/h = 50/50 cm

<u>Razred izloženosti XC1 i S4</u>

$c_{min.dur} = 15\ \text{mm}$

$c_{min} = \max\{\emptyset \cong 15\ \text{mm}; c_{min,dur} = 15\ \text{mm}; 10\ \text{mm}\} = 15\ \text{mm}$

$c_{nom} = 1{,}5 + 1 = 2{,}5\ \text{cm}$

Visina od vlačnog ruba do težišta armature:

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_w + \frac{\emptyset}{2} = 2{,}5 + 0{,}8 + \frac{\approx 2}{2} \cong 4{,}5\ \text{cm}$$

Statička visina presjeka:

$d = h - d_1 = 50 - 4{,}5 = 45{,}5\ \text{cm}$

7.1. Proračun duljine izvijanja stupa

Rotacijska krutost čvora:

$$k = \frac{\theta}{M} * \frac{E * I_{col}}{I_{col}} = \frac{\sum \frac{E * I_{col}}{l_{col}}}{\sum M_R}$$

$$\sum M_R = (\frac{6 * E * I_b}{l_b})$$

gdje je:

I_{col} – moment tromosti stupova

I_b – moment tromosti grede za raspucalo stanje (50% neraspucalog presjeka)

l_{col} – duljina stupa

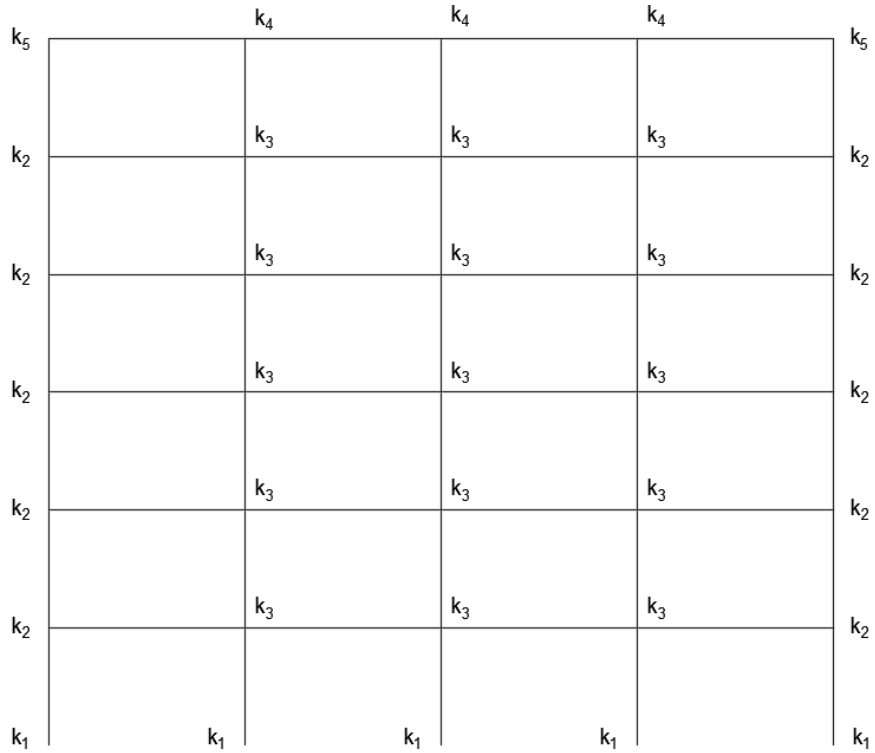
l_b – duljina grede

$$I_{col} = \frac{b * h^3}{12} = \frac{50 * 50^3}{12} = 520833{,}33 \text{ cm}^4$$

$$I_b = 0{,}5 * \frac{b * h^3}{12} = 0{,}5 * \frac{30 * 50^3}{12} = 156250 \text{ cm}^4$$

Rotacijska krutost čvora ovisi o broju stupova i greda između kojih se nalazi. Tako razlikujemo ukupno pet različitih čvorova (slika 28). Krutost čvora k_1 teoretski bi trebala biti 0 jer je to slučaj upetog stupa no kako u praksi je gotovo nemoguće ostvariti potpuno upeti stup preporuča se minimalna vrijednost od:

$$k_1 = 0{,}10 \text{ (upeti čvor)}$$



Slika 31: Oznake krutosti čvorova

Krutosti ostalih čvorova iznose:

$$k_5 = \frac{\frac{520833,33}{3,0}}{6 * \frac{156250}{5}} = 0,93$$

$$k_4 = \frac{\frac{520833,33}{3,0}}{2 * 6 * \frac{156250}{5}} = 0,46$$

$$k_3 = \frac{2 * \frac{520833,33}{3,0}}{2 * 6 * \frac{156250}{5}} = 0,93$$

$$k_2 = \frac{2 * \frac{520833,33}{3,0}}{6 * \frac{156250}{5}} = 1,85$$

Duljina izvijanja:

$$l_0 = l * \max\left\{\begin{matrix} \sqrt{1 + 10 * \frac{k_{GORE} * k_{DOLJE}}{k_{GORE} + k_{DOLJE}}} \\ \left(1 + \frac{k_{GORE}}{1 + k_{GORE}}\right) * (1 + \frac{k_{DOLJE}}{1 + k_{DOLJE}}) \end{matrix}\right\}$$

Vitkost:

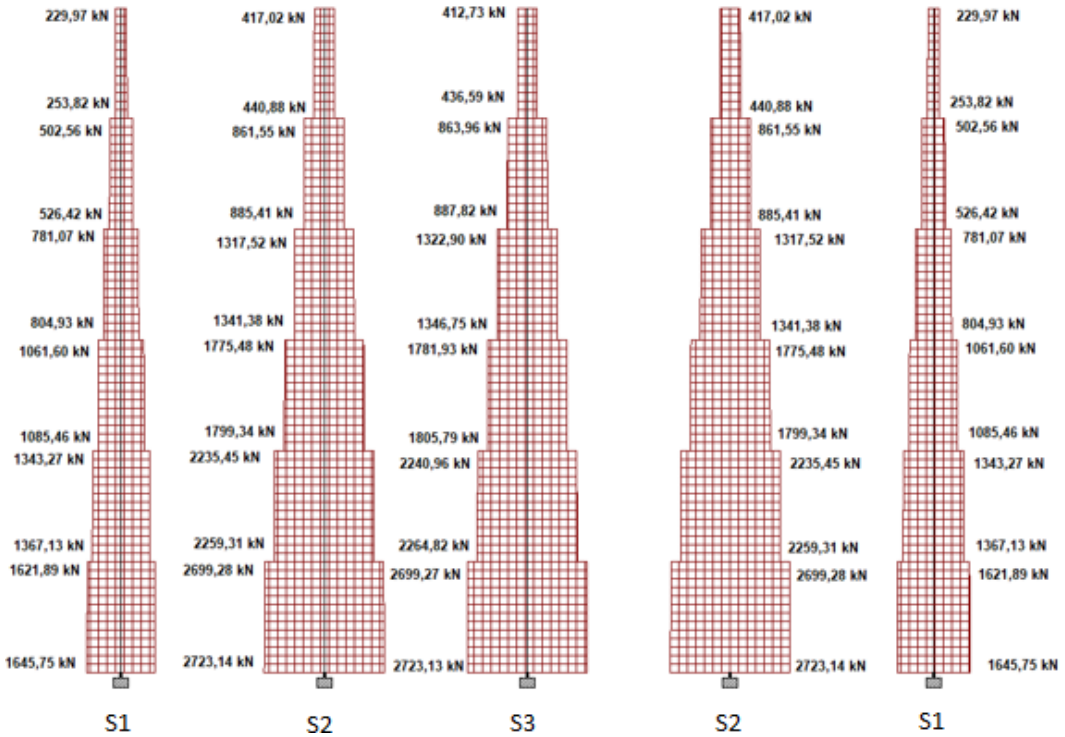
$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{I_{col}}{A_{col}}}}$$

Granična vitkost:

$$\lambda_{lim} = 20 * A * B * C * \frac{1}{\sqrt{n}}$$

Preporučene vrijednosti iz EC2: A = 0,7; B = 1,1; C = 0,7

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c * f_{cd}}$$



Slika 32: Maksimalna uzdužna sila po katovima za trajnu proračunsku situaciju

Tablica 36: Učinci teorije II. reda za trajnu proračunsku situaciju (stup S1)

Stup S1	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed} (kN)	1645,75	1367,13	1085,46	804,93	526,42	253,82
k_{GORE}	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	0,93
k_{DOLJE}	0,1	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
l_0 (m)	5,40	9,60	9,60	9,60	9,60	6,03
λ	37,41	66,51	66,51	66,51	66,51	55,70
n	0,33	0,27	0,22	0,16	0,11	0,05
λ_{lim}	18,77	20,75	22,98	26,95	32,50	48,21
$\lambda < \lambda_{lim}$	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi
teorija II. reda	**da**	**da**	**da**	**da**	**da**	**da**

Tablica 37: Učinci teorije II. reda za trajnu proračunsku situaciju (stup S2)

Stup S2	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed} (kN)	2723,14	2259,31	1799,34	1341,38	885,41	440,88
k_{GORE}	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,46
k_{DOLJE}	0,1	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
l_0 (m)	4,83	7,11	7,11	7,11	7,11	6,03
λ	33,46	49,26	49,26	49,26	49,26	41,78
n	0,54	0,45	0,36	0,27	0,18	0,09
λ_{lim}	14,67	16,07	17,97	20,75	25,41	35,93
$\lambda < \lambda_{lim}$	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi
teorija II. reda	**da**	**da**	**da**	**da**	**da**	**da**

Tablica 38: Učinci teorije II. reda za trajnu proračunsku situaciju (stup S3)

Stup S3	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed} (kN)	2723,13	2264,82	1805,79	1346,75	887,82	436,59
k_{GORE}	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,46
k_{DOLJE}	0,1	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
l_0 (m)	4,83	7,11	7,11	7,11	7,11	6,03
λ	33,46	49,26	49,26	49,26	49,26	41,78
n	0,54	0,45	0,36	0,27	0,18	0,09
λ_{lim}	14,67	16,07	17,97	20,75	25,41	35,93
$\lambda < \lambda_{lim}$	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi	ne vrijedi
teorija II. reda	**da**	**da**	**da**	**da**	**da**	**da**

7.2. Dimenzioniranje stupova na moment savijanja i uzdužnu silu

7.2.1. Dimenzioniranje za trajnu proračunsku situaciju

U slučaju izoliranih stupova na strani sigurnosti je ako se za vrijednost ekscentriciteta (efekt imperfekcije) uzme:

$$e_i = \frac{l_o}{400} = \frac{430}{400} = 1{,}075 \text{ cm} = 0{,}01075 \text{ m}$$

<u>Proračunski model izoliranog stupa:</u>

Koristi se metoda koja se temelji na nazivnoj zakrivljenosti

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$$

M_2 – nazivni moment teorije II. reda

M_{0Ed} – moment savijanja po teoriji I. reda, uključujući i efekte imperfekcije

$$M_{0Ed} = M_{Ed}^1 + \left|N_{Ed}^1\right| * e_i$$

$$M_2 = \left|N_{Ed}^1\right| * e_2$$

$$e_2 = \frac{1}{r} * \frac{l_0^2}{c}$$

c – faktor ovisan o raspodjeli zakrivljenosti; za konstantni poprečni presjek c = 10 ($\approx \pi^2$)

Zakrivljenost je jednaka:

$$\frac{1}{r} = K_r * K_\varphi * \frac{1}{r_0}$$

K_r – korelacijski faktor ovisan o osnom opterećenju:

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}}$$

$$n_u = 1 + \omega$$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}}$$

n_{bal} – vrijednost za n koja odgovara najvećem momentu nosivosti čija je preporučena vrijednost: $n_{bal} = 0{,}4$

Na strani sigurnosti je ako se vrijednost K_r usvoji kao 1

$$K_r = 1$$

K_φ- koeficijent koji uzima u obzir puzanje betona:

$$K_\varphi = 1 + \beta * \varphi_{eff} \geq 1$$

$$\beta = 0{,}35 + \frac{f_{ck}(MPa)}{200} - \frac{\lambda}{150}$$

φ_{eff} - efektivni koeficijent puzanja:

$$\varphi_{eff} = \varphi_{(\infty,t_0)} * \frac{M_{0Edqp}}{M_{0Ed}}$$

$\varphi_{(\infty,t_0)}$ – konačni koeficijent puzanja

M_{0Edqp} – moment po teoriji I. reda za nazovistalnu kombinaciju opterećenja (GSU); zbog simetrije: $M_{0Edqp} = 0$, pa je tako:

$$K_{\varphi} = 1$$

Za vanjske stupove ne vrijedi simetrija; omjer momenata savijanja može se usvojiti kao:

$$\frac{M_{0Edqp}}{M_{0Ed}} = \frac{2}{3}$$

Koeficijent puzanja $\varphi_{(\infty,t_0)}$:

$$h_o = \frac{2 * A_c}{u}$$

h_o – srednji polumjer elementa

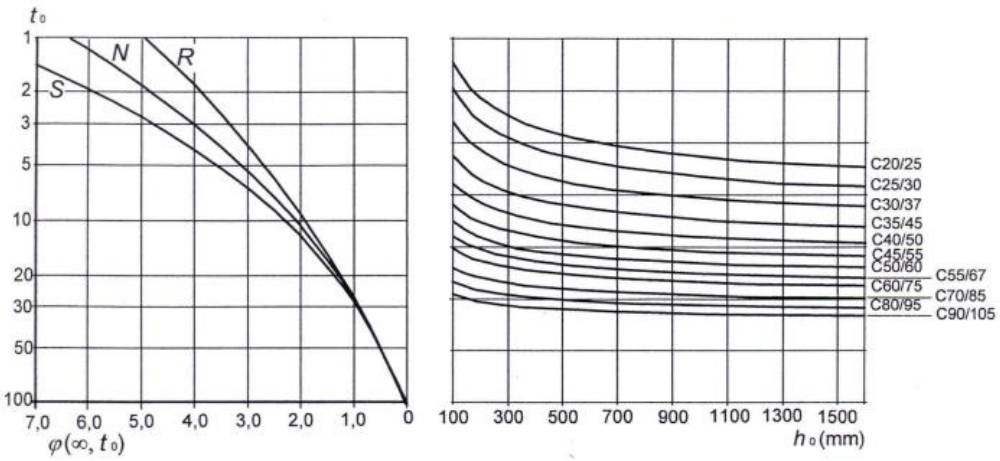
A_c – površina poprečnog presjeka

$$A_c = 50 * 50 = 2500 \text{ cm}^2$$

u – opseg onog dijela poprečnog presjeka koji je podvrgnut sušenju

$$u = 4 * 50 = 200 \text{ cm}$$

$$h_o = \frac{2 * 2500}{200} = 25 \text{ cm}$$



Slika 33: Određivanje koeficijenta puzanja $\varphi_{(\infty,t0)}$ [1]

Za krivulju N, t_0 = 28 dana, beton C30/37 i h_o = 250 mm očita se koeficijenta puzanja $\varphi_{(\infty,t_0)}$ u iznosu od:

$$\varphi_{(\infty,t_0)} = 3$$

$$\varphi_{eff} = 3 * \frac{2}{3} = 2$$

Tablica 39: Iznos koeficijenta K_φ za vanjske stupove

Stup S1	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
λ	37,41	66,51	66,51	66,51	66,51	55,70
β	0,25	0,06	0,06	0,06	0,06	0,13
K_φ	1,5	1,12	1,12	1,12	1,12	1,26

Za ostale stupove:

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0{,}45 * d} = \frac{1{,}863 * 10^{-3}}{0{,}45 * 0{,}455} = 9{,}10 * 10^{-3}$$

$$\frac{1}{r} = 1 * 1 * 9{,}10 * 10^{-3} = 9{,}10 * 10^{-3}$$

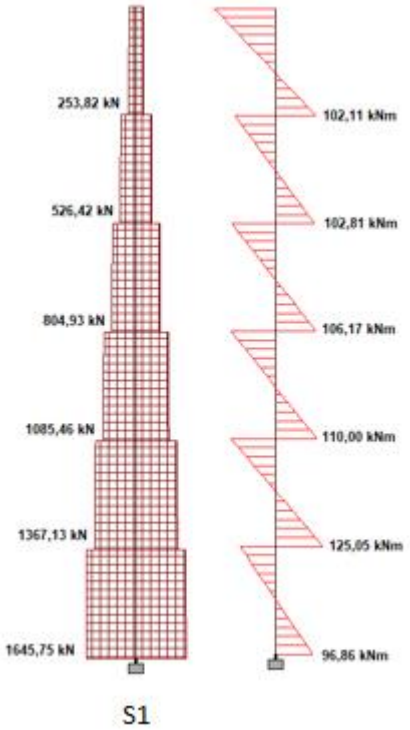
$$e_2 = 9{,}10 * 10^{-3} * \frac{4{,}30^2}{10} = 0{,}0168 \text{ m} = 1{,}68 \text{ cm}$$

Za vanjske stupove:

Tablica 40: Iznos koeficijenta e_2 za vanjske stupove

Stup S1	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
$\frac{1}{r}$	0,014	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011
e_2 (m)	0,0258	0,0185	0,0185	0,0185	0,0185	0,0203

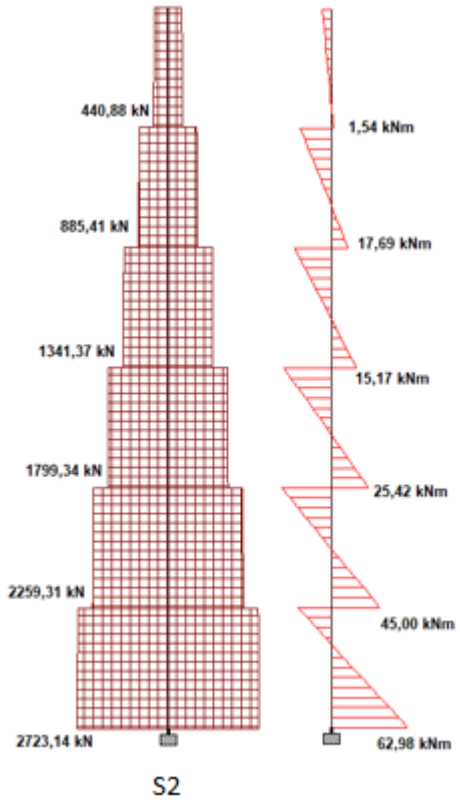
1. <u>slučaj – maksimalna uzdužna sila i pripadajući moment savijanja (presjek dolje)</u>



Slika 34: Maksimalna uzdužna sila i pripadajući moment savijanja u stupu S1 (presjek dolje)

Tablica 41: Potrebna armatura za 1. slučaj trajne proračunske situacije (stup S1)

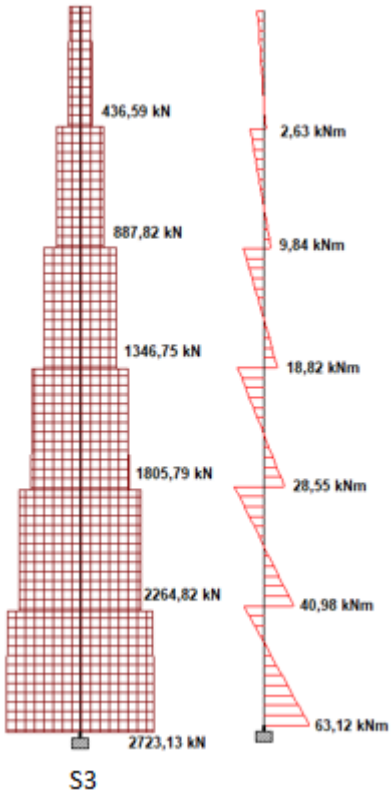
Stup S1	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{1} (kN)	-1645,75	-1367,13	-1085,46	-804,93	-526,42	-253,82
M_{Ed}^{1} (kNm)	96,86	125,05	110,00	106,17	102,81	102,11
e_i (m)	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075
M_{0Ed} (kNm)	114,55	139,75	121,67	114,82	108,47	104,84
e_2 (m)	0,0258	0,0185	0,0185	0,0185	0,0185	0,0203
M_2 (kNm)	42,46	25,29	20,08	14,89	9,74	5,15
M_{Ed} (kNm)	157,01	165,04	141,75	129,71	118,21	109,99
ν_{Ed}	-0,33	-0,27	-0,22	-0,16	-0,11	-0,05
μ_{Ed}	0,0628	0,0660	0,0567	0,0519	0,0473	0,0440
ω	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
$\mathbf{A_S}$ **(cm^2)**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**



Slika 35: Maksimalna uzdužna sila i pripadajući moment savijanja u stupu S2 (presjek dolje)

Tablica 42: Potrebna armatura za 1. slučaj trajne proračunske situacije (stup S2)

Stup S2	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{1} (kN)	-2723,14	-2259,31	-1799,34	-1341,37	-885,41	-440,88
M_{Ed}^{1} (kNm)	62,98	45,00	25,42	15,17	17,69	1,54
e_i (m)	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075
M_{0Ed} (kNm)	92,25	69,29	44,76	29,59	27,21	6,28
e_2 (m)	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168
M_2 (kNm)	45,75	37,96	30,23	22,54	14,87	7,41
M_{Ed} (kNm)	138,00	107,24	74,99	52,12	42,08	13,69
ν_{Ed}	-0,54	-0,45	-0,36	-0,27	-0,18	-0,09
μ_{Ed}	0,0552	0,0429	0,0300	0,0208	0,0168	0,0055
ω	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A_S (cm^2)	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**

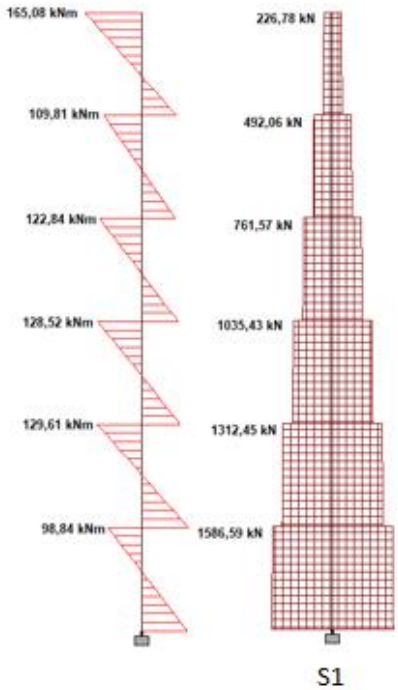


Slika 36: Maksimalna uzdužna sila i pripadajući moment savijanja u stupu S3 (presjek dolje)

Tablica 43: Potrebna armatura za 1. slučaj trajne proračunske situacije (stup S3)

Stup S3	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{1} (kN)	-2723,13	-2264,82	-1805,79	-1346,75	-887,82	-436,59
M_{Ed}^{1} (kNm)	63,12	40,98	28,55	18,82	9,84	2,63
e_i (m)	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075
M_{0Ed} (kNm)	92,39	65,33	47,96	33,30	19,38	7,32
e_2 (m)	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168
M_2 (kNm)	45,75	38,05	30,34	22,63	14,92	7,33
M_{Ed} (kNm)	138,14	103,38	78,30	55,92	34,30	14,66
ν_{Ed}	-0,54	-0,45	-0,36	-0,27	-0,18	-0,09
μ_{Ed}	0,0553	0,0414	0,0313	0,0224	0,0137	0,0059
ω	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A_S (cm^2)	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**

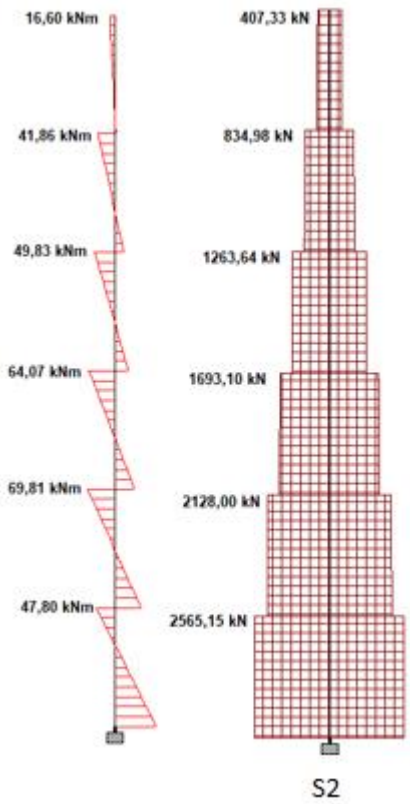
2. <u>slučaj – maksimalni moment savijanja i pripadajuća uzdužna sila (presjek gore)</u>



Slika 37: Maksimalni moment savijanja i pripadajuća uzdužna sila u stupu S1 (presjek gore)

Tablica 44: Potrebna armatura za 2. slučaj trajne proračunske situacije (stup S1)

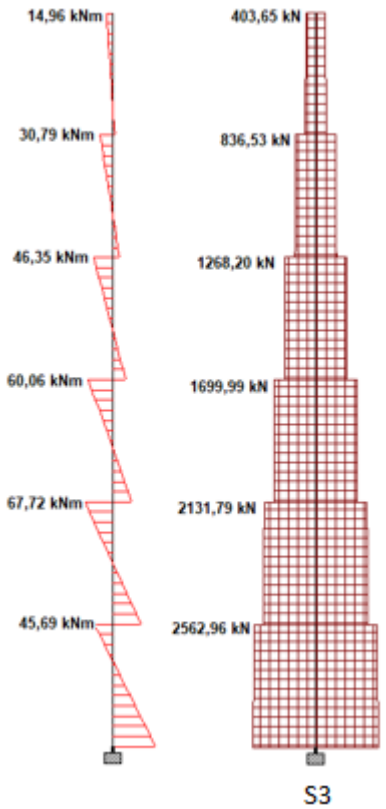
Stup S1	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{2} (kN)	-1586,59	-1312,45	-1035,43	-761,57	-492,06	-226,78
M_{Ed}^{2} (kNm)	98,84	129,61	128,52	122,84	109,81	165,08
e_i (m)	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075
M_{0Ed} (kNm)	115,90	143,72	139,65	131,03	115,10	167,52
e_2 (m)	0,0258	0,0185	0,0185	0,0185	0,0185	0,0203
M_2 (kNm)	40,93	24,28	19,16	14,09	9,10	4,60
M_{Ed} (kNm)	156,83	168,00	158,81	145,12	124,20	172,12
ν_{Ed}	-0,32	-0,26	-0,21	-0,15	-0,10	-0,05
μ_{Ed}	0,0627	0,0672	0,0635	0,0580	0,0497	0,0688
ω	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04
A_S (cm^2)	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**



Slika 38: Maksimalni moment savijanja i pripadajuća uzdužna sila u stupu S2 (presjek gore)

Tablica 45: Potrebna armatura za 2. slučaj trajne proračunske situacije (stup S2)

Stup S2	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^2 (kN)	-2565,15	-2128,00	-1693,10	-1263,64	-834,98	-407,33
M_{Ed}^2 (kNm)	47,80	69,81	64,07	49,83	41,86	16,60
e_i (m)	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075
M_{0Ed} (kNm)	75,38	92,69	82,27	63,41	50,84	20,98
e_2 (m)	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168
M_2 (kNm)	43,09	35,75	28,44	21,23	14,03	6,84
M_{Ed} (kNm)	118,47	128,44	110,71	84,64	64,86	27,82
ν_{Ed}	-0,51	-0,43	-0,34	-0,25	-0,17	-0,08
μ_{Ed}	0,0474	0,0514	0,0443	0,0339	0,0259	0,0111
ω	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A_S (cm^2)	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**



Slika 39: Maksimalni moment savijanja i pripadajuća uzdužna sila u stupu S3 (presjek gore)

Tablica 46: Potrebna armatura za 2. slučaj trajne proračunske situacije (stup S3)

Stup S3	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{2} (kN)	-2562,96	-2131,79	-1699,99	-1268,20	-836,53	-403,65
M_{Ed}^{2} (kNm)	45,69	67,72	60,06	46,35	30,79	14,96
e_i (m)	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075	0,01075
M_{0Ed} (kNm)	73,24	90,64	78,33	59,98	39,78	19,30
e_2 (m)	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168
M_2 (kNm)	43,06	35,81	28,56	21,31	14,05	6,78
M_{Ed} (kNm)	116,30	126,45	106,89	81,29	53,84	26,08
ν_{Ed}	-0,51	-0,43	-0,34	-0,25	-0,17	-0,08
μ_{Ed}	0,0465	0,0506	0,0428	0,0325	0,0215	0,0104
ω	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A_S (cm^2)	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**

Minimalna armatura za osnovnu kombinaciju:

$$A_{s,min} = \max \begin{Bmatrix} \frac{0,15 * N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 * 1645,75}{39,13} = 6,31\ cm^2 \\ 0,003 * A_c = 0,003 * 50 * 50 = 7,5\ cm^2 \\ 4\emptyset 12 = 4,52\ cm^2 \end{Bmatrix}$$

7.2.2. Dimenzioniranje za potresnu proračunsku situaciju

Učinke II. reda nije potrebno uzeti u obzir ako se zadovolji uvjet (potresna kombinacija):

$$\theta = \frac{P_{tot} * d_r}{V_{tot} * h} \leq 0,10$$

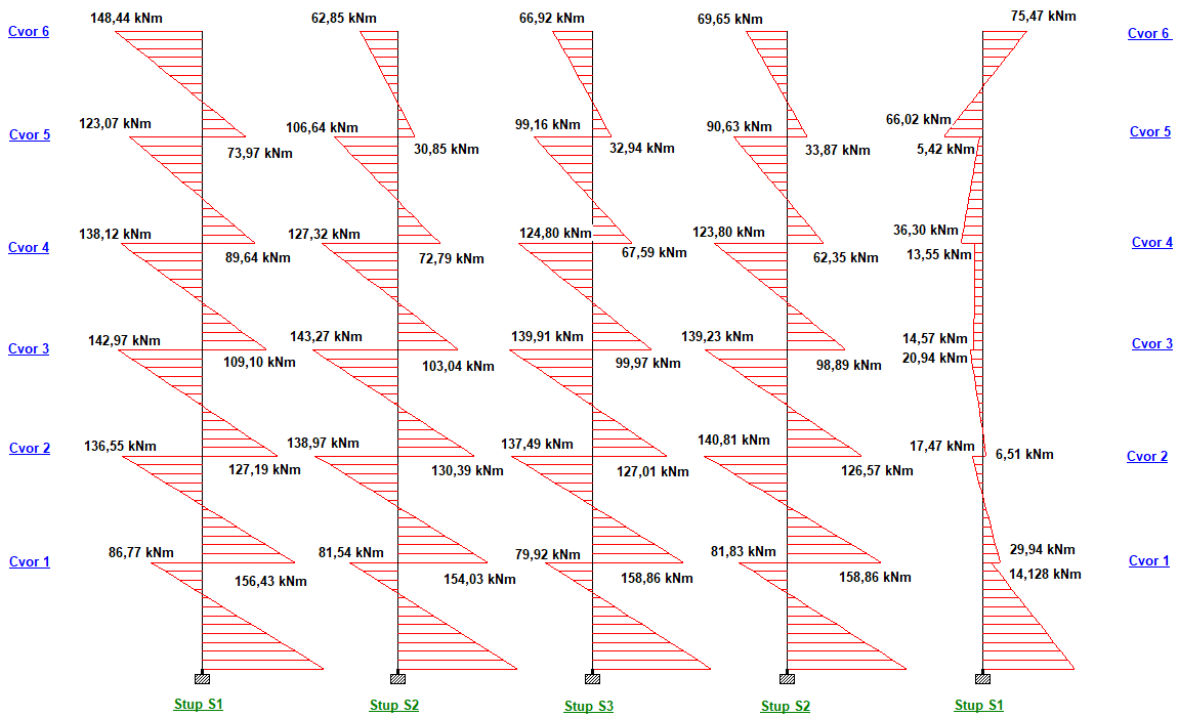
Tablica 47: Učinci II. reda za potresnu kombinaciju

	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
P_{tot} (kN)	32160	26745	21390	16035	10680	5324
d_r (cm)	0,7613	1,2344	1,1864	0,9953	0,7355	0,4461
V_{tot} (kN)	1859	1771,45	1596,37	1333,74	983,57	545,86
h (cm)	300	300	300	300	300	300
θ	0,044	0,062	0,053	0,040	0,027	0,015
$\theta \leq 0,10$	vrijedi	vrijedi	vrijedi	vrijedi	vrijedi	vrijedi
teorija II. reda	**ne**	**ne**	**ne**	**ne**	**ne**	**ne**

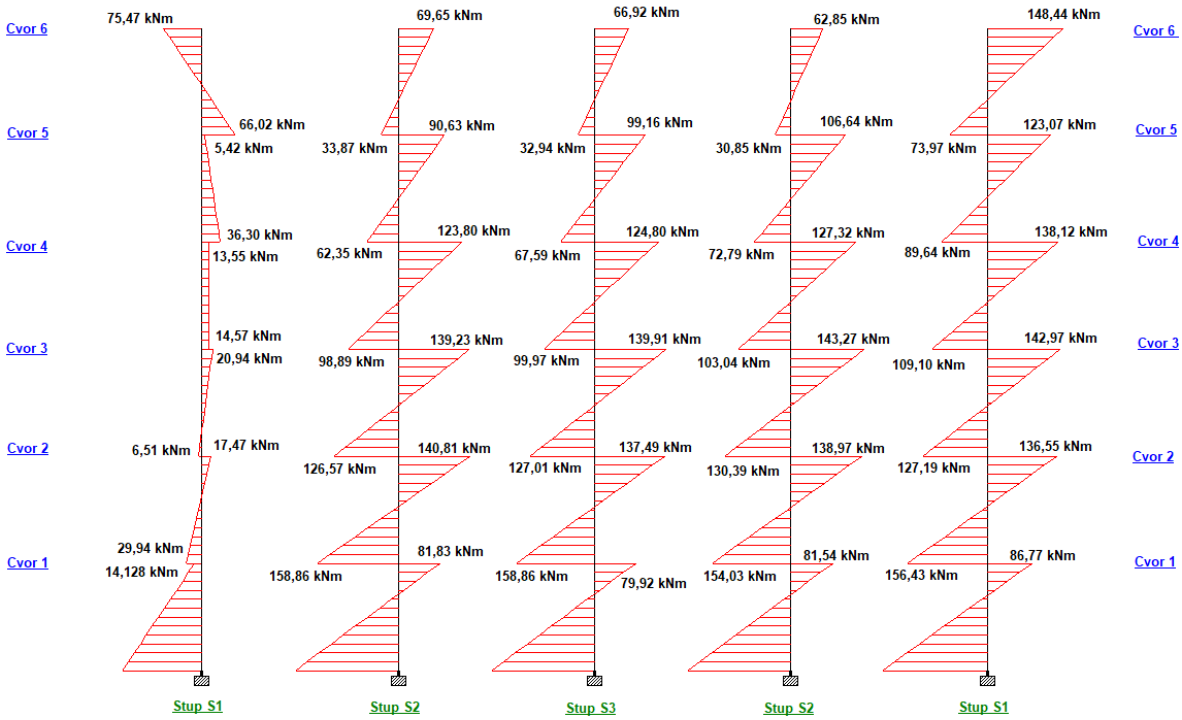
<u>Proračun momenata na temelju sposobnosti nosivosti:</u>

$$M_{i,d} = \alpha_{CD,i} * M_{Rc,i}$$

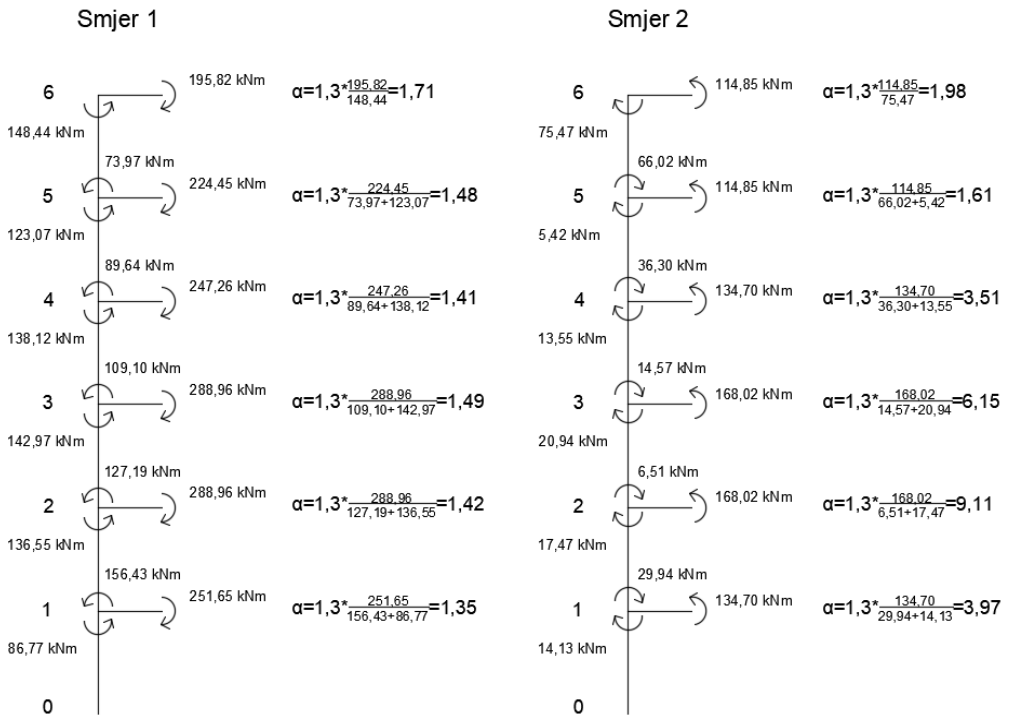
$$\alpha_{CD,i} = 1,30 * \frac{M_{ARdi} + M_{BRdi}}{|M_{CEdi} + M_{DEdi}|}$$



Slika 40: Iznos momenata u čvorovima za smjer 1



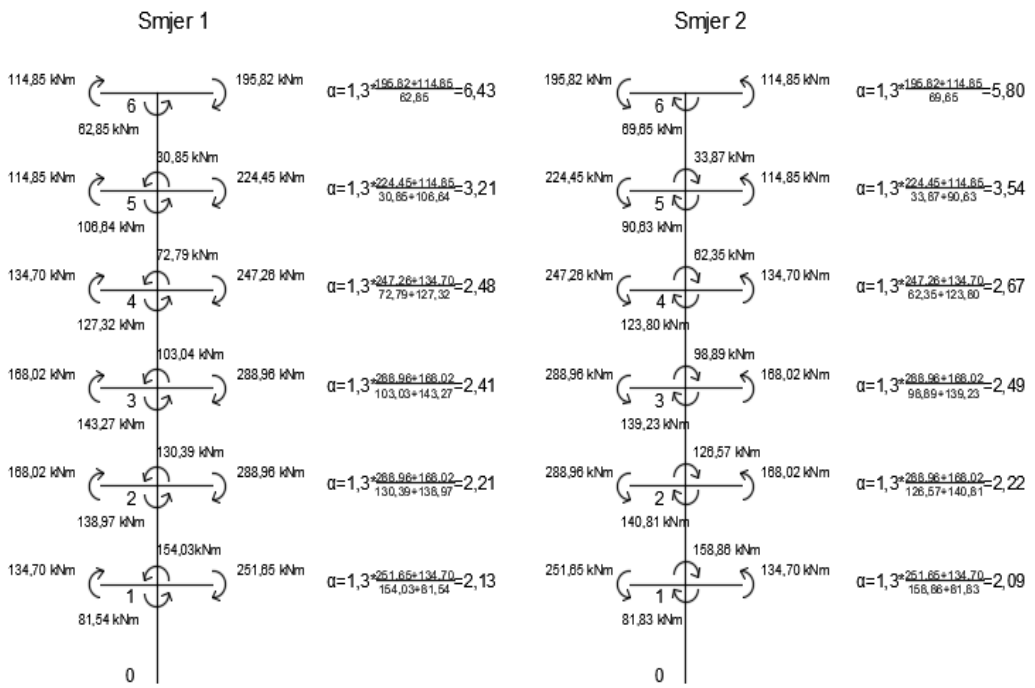
Slika 41: Iznos momenata u čvorovima za smjer 2



Slika 42: Određivanje koeficijenta α za povećanje momenata prema kapacitetu nosivosti (stup S1)

Tablica 48: Proračun momenata na temelju kapaciteta nosivosti (stup S1)

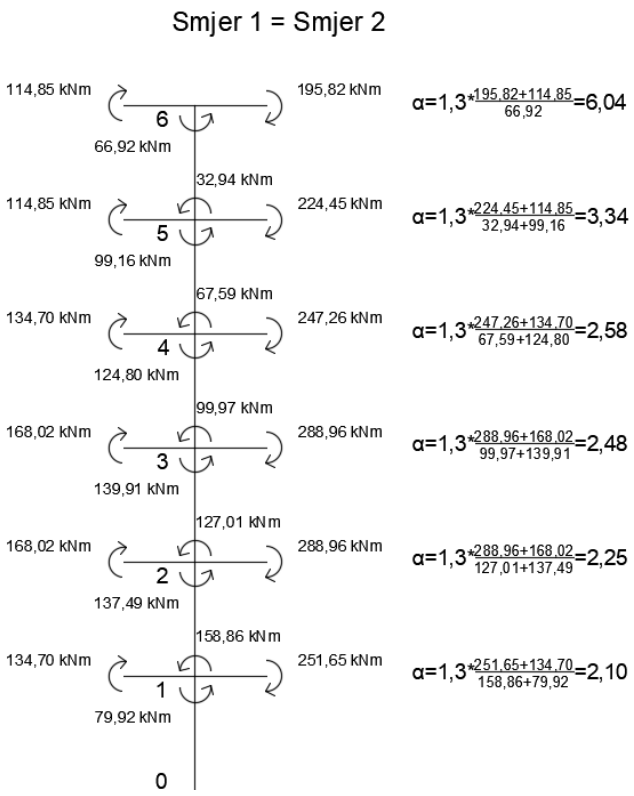
Stup S1	Čvor 1	Čvor 2	Čvor 3	Čvor 4	Čvor 5	Čvor 6
Smjer 1						
M_{ARd1} (kNm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M_{BRd1} (kNm)	251,65	288,96	288,96	247,26	224,45	195,82
M_{CEd1} (kNm)	156,43	127,19	109,10	89,64	73,97	0,00
M_{DEd1} (kNm)	86,77	136,55	142,97	138,12	123,07	148,44
$\alpha_{CD,1}$	1,35	1,42	1,49	1,41	1,48	1,71
$M_{Ed1,C}$ (kNm)	**211,18**	**180,61**	**162,56**	**126,39**	**109,48**	**0,00**
$M_{Ed1,D}$ (kNm)	**117,14**	**193,90**	**213,03**	**194,75**	**182,14**	**253,83**
Smjer 2						
M_{ARd2} (kNm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M_{BRd2} (kNm)	134,70	168,02	168,02	134,70	114,85	114,85
M_{CEd2} (kNm)	29,94	6,51	14,57	36,30	66,02	0,00
M_{DEd2} (kNm)	14,13	17,47	20,94	13,55	5,42	75,47
$\alpha_{CD,2}$	3,97	9,11	6,15	3,51	1,61	1,98
$M_{Ed2,C}$ (kNm)	**118,86**	**59,31**	**89,61**	**114,35**	**106,29**	**0,00**
$M_{Ed2,D}$ (kNm)	**56,10**	**159,15**	**128,78**	**42,68**	**8,73**	**149,43**



Slika 43: Određivanje koeficijenta α za povećanje momenata prema kapacitetu nosivosti (stup S2)

Tablica 49: Proračun momenata na temelju kapaciteta nosivosti (stup S2)

Stup S2	Čvor 1	Čvor 2	Čvor 3	Čvor 4	Čvor 5	Čvor 6
Smjer 1						
M_{ARd1} (kNm)	134,70	168,02	168,02	134,70	114,85	114,85
M_{BRd1} (kNm)	251,65	288,96	288,96	247,26	224,45	195,82
M_{CEd1} (kNm)	154,03	130,39	103,04	72,79	30,85	0,00
M_{DEd1} (kNm)	81,54	138,97	143,27	127,32	106,64	62,85
$\alpha_{CD,1}$	2,13	2,21	2,41	2,48	3,21	6,43
$M_{Ed1,C}$ (kNm)	**328,08**	**288,16**	**248,33**	**180,52**	**99,03**	**0,00**
$M_{Ed1,D}$ (kNm)	**173,68**	**307,12**	**345,28**	**315,75**	**342,31**	**404,13**
Smjer 2						
M_{ARd2} (kNm)	251,65	288,96	288,96	247,26	224,45	195,82
M_{BRd2} (kNm)	134,70	168,02	168,02	134,70	114,85	114,85
M_{CEd2} (kNm)	158,86	126,57	98,89	62,35	33,87	0,00
M_{DEd2} (kNm)	81,83	140,81	139,23	123,80	90,63	69,65
$\alpha_{CD,2}$	2,09	2,22	2,49	2,67	3,54	5,80
$M_{Ed2,C}$ (kNm)	**332,02**	**280,99**	**246,24**	**166,47**	**119,90**	**0,00**
$M_{Ed2,D}$ (kNm)	**171,02**	**312,60**	**346,68**	**330,55**	**320,83**	**403,97**

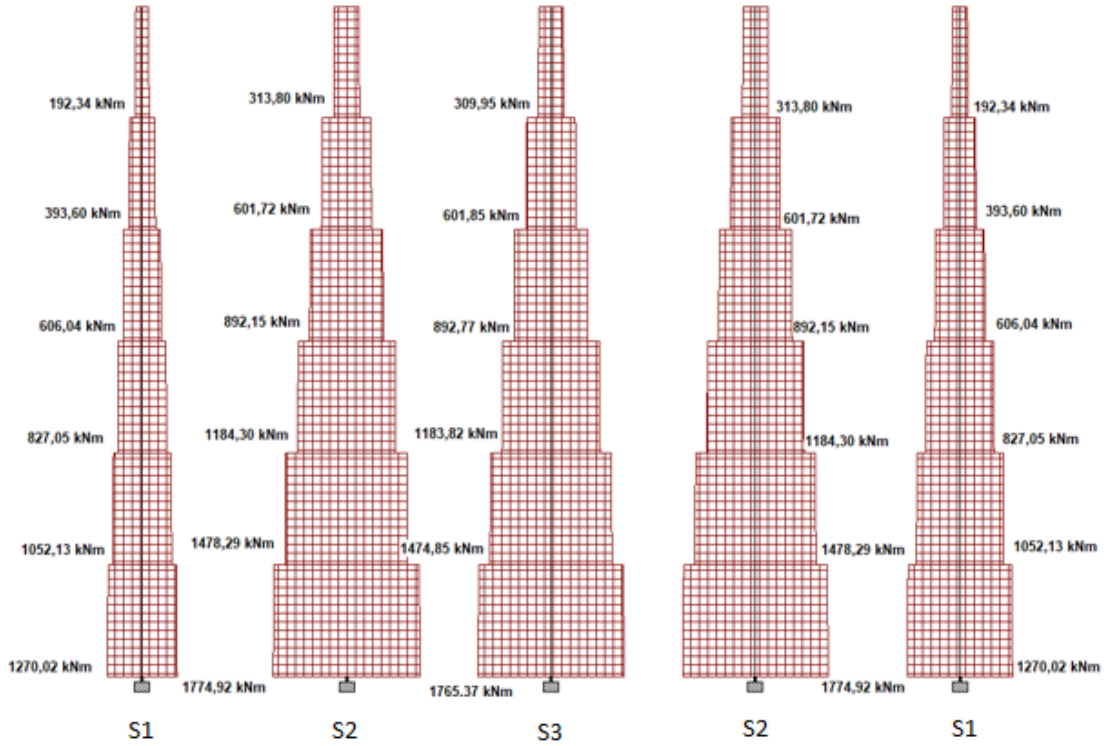


Slika 44: Određivanje koeficijenta α za povećanje momenata prema kapacitetu nosivosti (stup S3)

Tablica 50: Proračun momenata na temelju kapaciteta nosivosti (stup S3)

Stup S3	Čvor 1	Čvor 2	Čvor 3	Čvor 4	Čvor 5	Čvor 6
Smjer 1 = Smjer 2						
M_{ARd1} (kNm)	134,70	168,02	168,02	134,70	114,85	114,85
M_{BRd1} (kNm)	251,65	288,96	288,96	247,26	224,45	195,82
M_{CEd1} (kNm)	158,86	127,01	99,97	67,59	32,94	0,00
M_{DEd1} (kNm)	79,92	137,49	139,91	124,80	99,16	66,92
$\alpha_{CD,1}$	2,10	2,25	2,48	2,58	3,34	6,04
$M_{Ed1,C}$ (kNm)	**333,61**	**285,77**	**247,93**	**174,38**	**110,02**	**0,00**
$M_{Ed1,D}$ (kNm)	**167,83**	**309,35**	**346,98**	**321,98**	**331,19**	**404,20**

Potresna kombinacija 1:



Slika 45: Uzdužna sila u potresnoj kombinaciji 1

Tablica 51: Potrebna armatura za 1. potresnu situaciju (stup S1)

Stup S1	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{1} (kN)	-1270,02	-1052,13	-827,05	-606,04	-393,60	-192,34
M_{Ed}^{1} (kNm)	205,19	211,18	180,61	162,56	126,39	109,48
ν_{Ed}	-0,25	-0,21	-0,17	-0,12	-0,08	-0,04
μ_{Ed}	0,0821	0,0845	0,0722	0,0650	0,0506	0,0438
ω	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A_s (cm^2)	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**

Tablica 52: Potrebna armatura za 1. potresnu situaciju (stup S2)

Stup S2	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{1} (kN)	-1774,92	-1478,29	-1184,30	-892,15	-601,72	-313,80
M_{Ed}^{1} (kNm)	202,70	328,08	288,16	248,33	180,52	119,90
ν_{Ed}	-0,35	-0,30	-0,24	-0,18	-0,12	-0,06
μ_{Ed}	0,0811	0,1312	0,1153	0,0993	0,0722	0,0480
ω	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00
$\mathbf{A_S}$ **(cm²)**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**

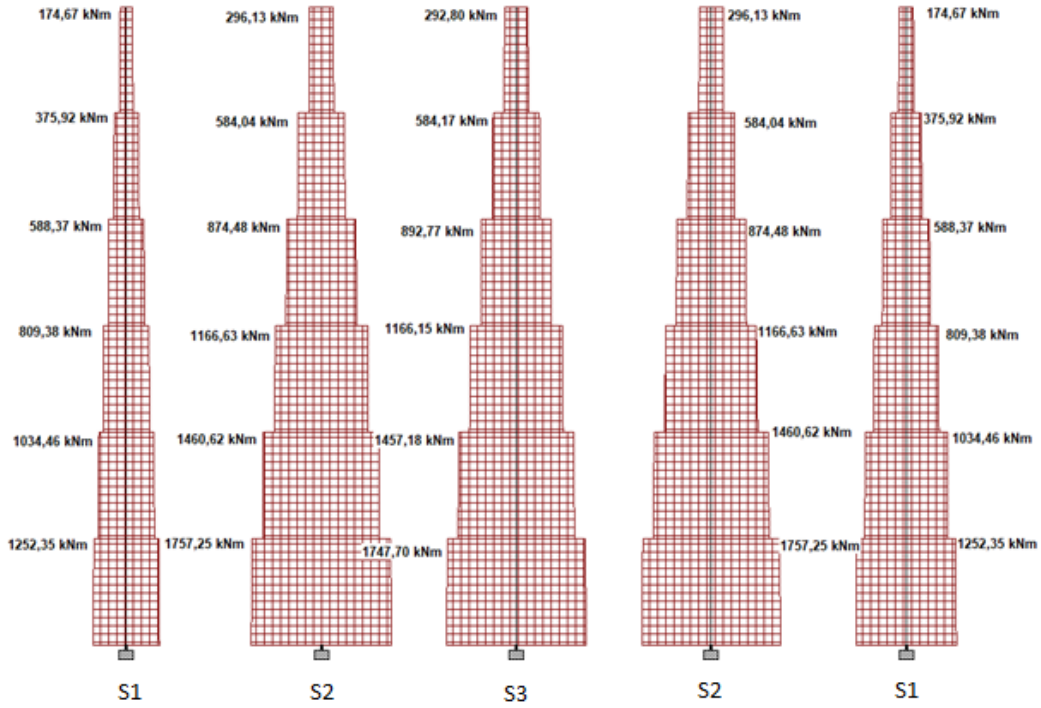
Tablica 53: Potrebna armatura za 1. potresnu situaciju (stup S3)

Stup S3	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{1} (kN)	1765,37	1474,85	1183,82	892,77	601,85	309,95
M_{Ed}^{1} (kNm)	201,73	333,61	285,77	247,93	174,38	110,02
ν_{Ed}	-0,35	-0,29	-0,24	-0,18	-0,12	-0,06
μ_{Ed}	0,0807	0,1334	0,1143	0,0992	0,0698	0,0440
ω	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00
$\mathbf{A_S}$ **(cm²)**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**

Minimalna armatura za potresnu kombinaciju:

$$A_{s,min} = 0{,}01 * A_c = 0{,}01 * 50 * 50 = 25\ cm^2$$

Potresna kombinacija 2:



Slika 46: Uzdužna sila u potresnoj kombinaciji 2

Tablica 54: Potrebna armatura za 2. potresnu situaciju (stup S1)

Stup S1	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{1} (kN)	-1252,35	-1034,46	-809,38	-588,37	-375,92	-174,67
M_{Ed}^{1} (kNm)	117,14	193,90	213,03	194,75	182,14	253,83
ν_{Ed}	-0,25	-0,21	-0,16	-0,12	-0,08	-0,03
μ_{Ed}	0,0469	0,0776	0,0852	0,0779	0,0729	0,1015
ω	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,00
A_S (cm^2)	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**

Tablica 55: Potrebna armatura za 2. potresnu situaciju (stup S2)

Stup S2	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{1} (kN)	-1757,25	-1460,62	-1166,63	-874,48	-584,04	-296,13
M_{Ed}^{1} (kNm)	173,68	312,60	346,68	330,55	342,31	404,13
ν_{Ed}	-0,35	-0,29	-0,23	-0,17	-0,12	-0,06
μ_{Ed}	0,0695	0,1250	0,1387	0,1322	0,1369	0,1617
ω	0,00	0,02	0,07	0,05	0,08	0,15
$\mathbf{A_S}$ **(cm²)**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**

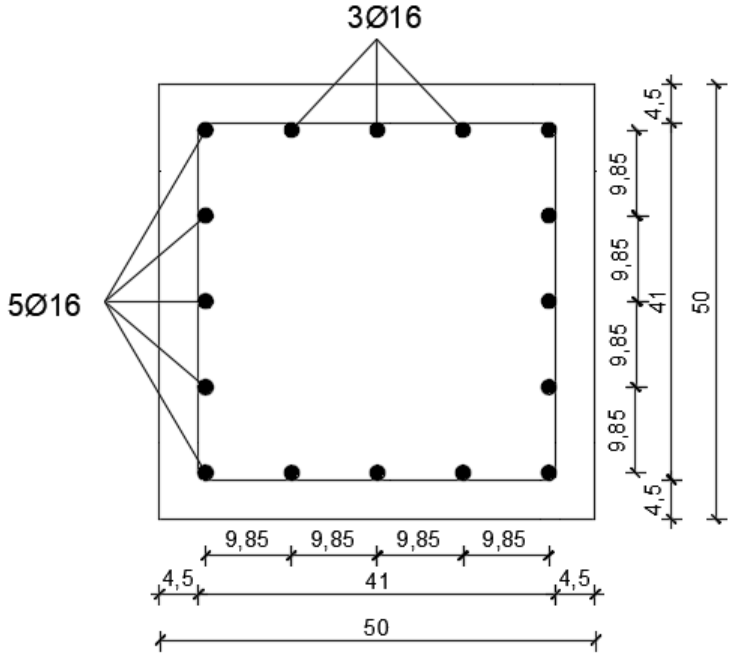
Tablica 56: Potrebna armatura za 2. potresnu situaciju (stup S3)

Stup S3	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed}^{1} (kN)	-1747,70	-1457,18	-1166,15	892,77	-584,17	-292,80
M_{Ed}^{1} (kNm)	167,83	309,35	346,98	321,98	331,19	404,20
ν_{Ed}	-0,35	-0,29	-0,23	-0,18	-0,12	-0,06
μ_{Ed}	0,0671	0,1237	0,1388	0,1288	0,1325	0,1617
ω	0,00	0,02	0,07	0,05	0,08	0,15
$\mathbf{A_S}$ **(cm²)**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**	**minimalna**

Mjerodavna armatura za sve stupove je minimalna armatura za potres:

$$A_{s,min} = 25\ cm^2$$

Odabrana armatura: $2x5\emptyset16\ (20{,}05\ cm^2) + 2x3\emptyset16\ (12{,}06\ cm^2) = 32{,}11\ cm^2$



Slika 47: Poprečni presjek stupa s prikazanom uzdužnom armaturom i međusobnim udaljenostima

7.3. Dimenzioniranje stupova na poprečne sile

Za sve stupove vrijedi:

$$\omega = \frac{A_s}{b * d} * \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\omega = \frac{10{,}025}{50 * 50} * \frac{39{,}13}{2} = 0{,}078$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b * h * f_{cd}}$$

$$M_{rd} = \mu_{Ed} * b * h^2 * f_{cd}$$

Tablica 57: Određivanje proračunskog momenta savijanja (stup S1)

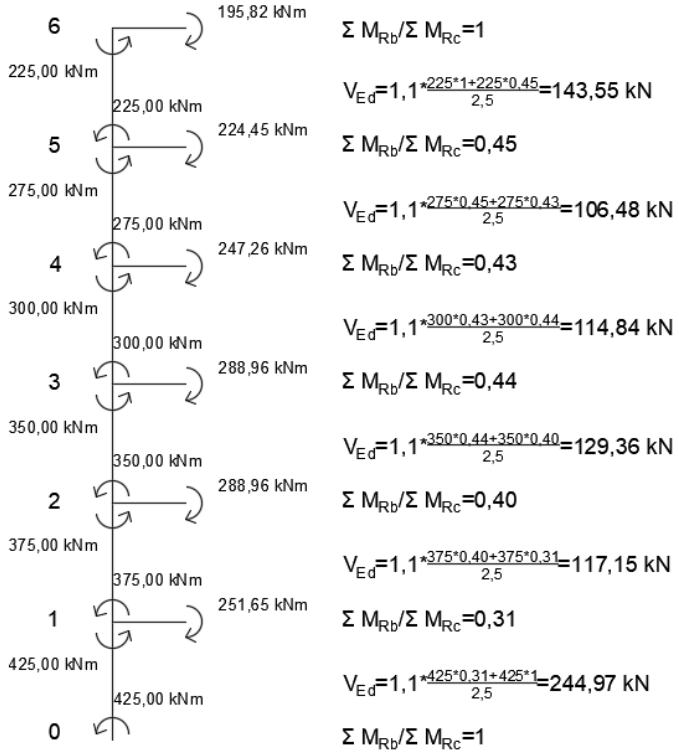
Stup S1	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed} (kN)	-1645,75	-1367,13	-1085,46	-804,93	-526,42	-253,82
ν_{Ed}	-0,33	-0,27	-0,22	-0,16	-0,11	-0,05
ω	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078
μ_{Ed}	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09
M_{Rd} (kNm)	425,00	375,00	350,00	300,00	275,00	225,00

$$V_{Ed} = \frac{\Upsilon_{Rd}\left(\frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} * M_{Rd,1} + \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} * M_{Rd,2}\right)}{l_{cl}}$$

$\Upsilon_{Rd} - 1{,}1$

l_{cl} - svijetla duljina stupa

$$l_{cl} = 3{,}0 - \frac{(0{,}5 + 0{,}5)}{2} = 2{,}50 \text{ m}$$



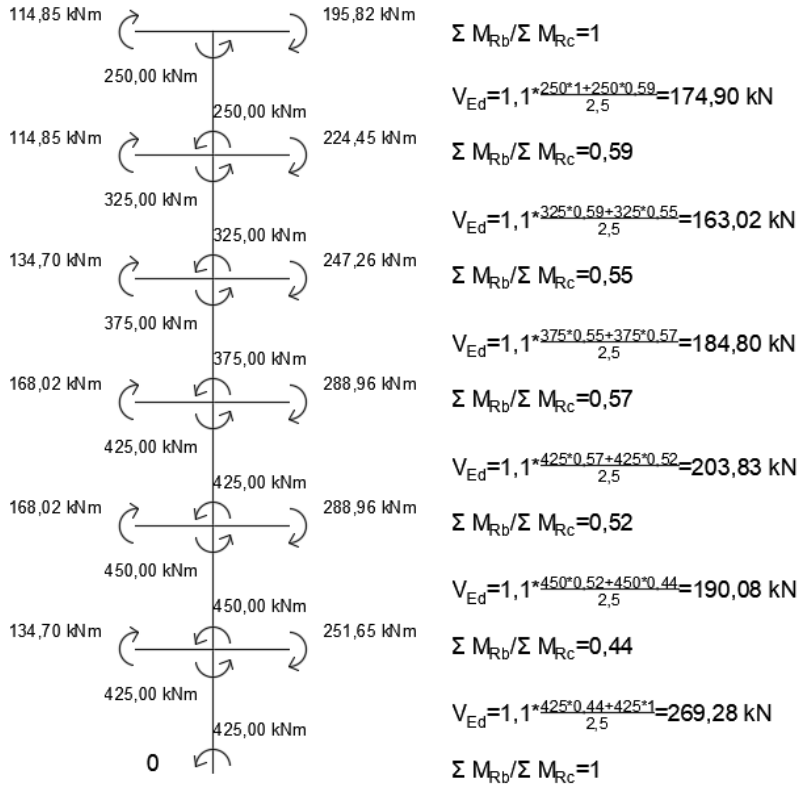
Slika 48: Određivanje veličine poprečne sile V_{Ed} na stupu S1

Tablica 58: Određivanje proračunskog momenta savijanja (stup S2)

Stup S2	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed} (kN)	-2723,14	-2259,31	-1799,34	-1341,38	-885,41	-440,88
ν_{Ed}	-0,54	-0,45	-0,36	-0,27	-0,18	-0,09
ω	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078
μ_{Ed}	0,17	0,18	0,17	0,15	0,13	0,10
M_{Rd} (kNm)	425,00	450,00	425,00	375,00	325,00	250,00

Tablica 59: Određivanje proračunskog momenta savijanja (stup S3)

Stup S3	Poz 100	Poz 200	Poz 300	Poz 400	Poz 500	Poz 600
N_{Ed} (kN)	2723,13	2264,82	1805,79	1346,75	887,82	436,59
ν_{Ed}	-0,54	-0,45	-0,36	-0,27	-0,18	-0,09
ω	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078
μ_{Ed}	0,17	0,18	0,17	0,15	0,13	0,10
M_{Rd} (kNm)	425,00	450,00	425,00	375,00	325,00	250,00



Slika 49: Određivanje veličine poprečne sile V_{Ed} na stupu S2 i S3

1.) <u>Provjera nosivosti tlačnih štapova:</u>

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * \nu_1 * f_{cd} * \frac{1}{ctg(\theta) + tg(\theta)}$$

$\alpha_{cw} = 1 -$ za neprednapete elemente

$bw = 50$ cm

$z = \zeta * d \approx 0{,}9 * d = 0{,}9 * 45{,}5 = 40{,}95$ cm

$$\nu_1 = 0{,}6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0{,}6 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0{,}528$$

$\theta = 40°$

$$V_{Rd,max} = 1 * 50 * 40{,}95 * 0{,}528 * 2 * \frac{1}{1{,}2 + \frac{1}{1{,}2}}$$

$$V_{Rd,max} = 1063{,}36 \text{ kN}$$

2.) <u>Minimalna armatura:</u>

- najveći razmak spona iz uvjeta minimalne poprečne armature:

$$\rho_{w,min} = 0{,}15 * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0{,}15 * \frac{2{,}9}{391{,}3} = 0{,}0011$$

$$s_{L,max} = \frac{A_{sw^1} * m}{\rho_{w,min} * b_w}$$

pretpostavljen promjer spona: Ø10: $A_{sw^1} = 0{,}79$ cm^2, m = 4

$$s_{L,max} = \frac{0{,}79 * 4}{0{,}0011 * 50} = 57{,}45 \text{ cm}$$

- najveći razmak poprečne armature iz odnosa $V_{Ed}/V_{Rd,max}$:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} < 0{,}3$$

$$s_{L,max} = \min\{0{,}75 * d; 300 \text{ mm}\} = \min\{0{,}75 * 455; 300 \text{ mm}\}$$

$$s_{L,max} = \min\{341{,}25; 300 \text{ mm}\}$$

$$s_{L,max} = 30 \text{ cm}$$

- poprečna sila koju „nose“ minimalne spone Ø10, m = 4, $s_{L,max} = 30$ cm

$$V_{Rds^{min}} = \frac{A_{sw^1} * m}{s_{L,max}} * z * f_{ywd} * ctg\,(\theta)$$

$$V_{Rds^{min}} = \frac{0,79 * 4}{30} * 40,95 * 39,13 * 1,2$$

$$V_{Rds^{min}} = 202,54 \text{ kN}$$

3.) <u>Potrebna poprečna armatura:</u>

$$s = \frac{A_{sw^1} * m * z * f_{ywd}}{V_{Ed}} * ctg(\theta)$$

Tablica 60: Odabir poprečne armature stupa iz mjerodavne poprečne sile

	POZ 100	POZ 200	POZ 300	POZ 400	POZ 500	POZ 600
V_{ed} - Stup S1	244,97	117,15	129,36	114,84	106,48	143,55
Razmak s (cm)	24,80	30	30	30	30	30
Odabrana poprečna armatura	Ø10/24 cm	Ø10/30 cm	Ø10/30 cm	Ø10/30 cm	Ø10/30 cm	Ø10/30 cm
V_{ed} - Stup S2 i S3	269,28	190,08	203,83	184,80	163,02	174,90
Razmak s (cm)	22,56	30	30	30	30	30
Odabrana poprečna armatura	Ø10/22 cm	Ø10/30 cm	Ø10/30 cm	Ø10/30 cm	Ø10/30 cm	Ø10/30 cm

7.3.1. Dodatne odredbe za dimenzioniranje na potres (EC8)

Minimalna i maksimalna količina ukupne uzdužne armature:

$$\rho_{min} = 0{,}01 \leq \rho = \frac{A_{s,tot}}{b * h} \leq \rho_{max} = 0{,}04$$

$$\rho = \frac{A_{s,tot}}{b * h} = \frac{32{,}11}{50 * 50} = 0{,}013$$

Minimalni broj uzdužnih šipki na svakoj strani: 3

Minimalna udaljenost dviju uzdužnih šipki:

$$b_i = 20 \text{ cm}$$

Minimalni promjer uzdužnih šipki: $\emptyset_{min} = 8 \text{ mm}$

Kritično područje:

<u>Kriterij lokalne duktilnosti:</u>

Kritično područje stupa nalazi se na udaljenosti l_{cr} od oba kraja stupa:

$$l_{cr} = \max\left\{h_c; \frac{L_{cl}}{6}; 45\right\} (\text{cm})$$

$$l_{cr} = \left\{50; \frac{250}{6}; 45\right\}$$

$$l_{cr} = \{50; 41{,}67; 45\} = 50 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak spona u kritičnom području:

$$s = \min\left\{\frac{b_0}{2}; 8d_{bL}^{min}; 175\right\} (\text{mm})$$

$b_0 = \min(h; b) = 50 \text{ cm}$

d_{bL}^{min} – promjer najmanje uzdužne šipke; $d_{bL}^{min} = 16 \text{ mm}$

$$s = \min\left\{\frac{500}{2}; 8 * 16; 175\right\}$$

$$s = \min\{250; 128; 175\}$$

$$s = 12{,}8 \text{ cm}$$

Usvojeni razmak spona u kritičnom području:

$$s = 8{,}0 \text{ cm}$$

Maksimalni promjer poprečnih spona:

$$d_{bw} > \max\left\{\frac{d_{bL}^{max}}{4}; 6\right\} (\text{mm})$$

d_{bL}^{max} - promjer najveće uzdužne šipke; $d_{bL}^{max} = 16$ mm

$$d_{bw} > \max\left\{\frac{16}{4}; 6\right\}$$

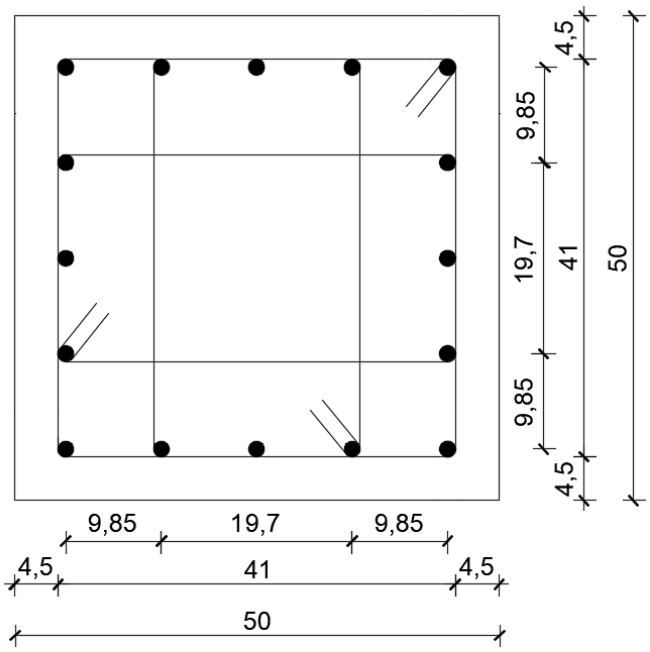
$$d_{bw} > \max\{4; 6\} = 6 \text{ mm}$$

Vrijednost faktora duktilnosti s obzirom na zakrivljenost:

$$\mu_\Phi = 2 * q_o - 1 \text{ ako je } T_1 \geq T_C$$

$$T_1 = 0{,}79 \text{ s} > T_c = 0{,}4 \text{ s}$$

$$\mu_\Phi = 2 * 3{,}9 - 1 = 6{,}8$$



Slika 50: Poprečni presjek stupa s prikazanom poprečnom armaturom i međusobnim udaljenostima

$$\alpha * \omega_{wd} \geq 30 * \mu_{\Phi} * v_d * \varepsilon_{sy,d} * \frac{b_c}{b_0} - 0{,}035$$

ω_{wd} – mehanički obujamski omjer ovijenih spona u kritičnom području (donjem)

$$\omega_{wd,min} = 0{,}08$$

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} * \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\omega_{wd} = \frac{(0{,}79 * 42 * 8) + (0{,}79 * 4 * 19{,}7)}{42 * 42 * 8} * \frac{39{,}13}{2} = 0{,}45$$

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{2723{,}14}{50 * 50 * 2} = 0{,}54$$

α – faktor djelotvornosti ovijanja

$$\alpha = \alpha_n * \alpha_s$$

$$\alpha_n = 1 - \sum \frac{b_i^2}{6(b_0 * h_0)} = 1 - \frac{8 * 9{,}85^2 + 4 * 19{,}7^2}{6(42 * 42)} = 0{,}78$$

$$\alpha_n = \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) = \left(1 - \frac{8}{2 * 42}\right) * \left(1 - \frac{8}{2 * 42}\right) = 0{,}82$$

$$\alpha = 0{,}78 * 0{,}82 = 0{,}64$$

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{391{,}3}{210000} = 1{,}863 * 10^{-3}$$

$$0{,}64 * 0{,}45 \geq 30 * 6{,}8 * 0{,}54 * 1{,}863 * 10^{-3} * \frac{50}{41} - 0{,}035$$

$$0{,}288 \geq 0{,}22$$

7.4. Detalj spoja stupa i grede

Projektiranje spojeva jedan je od najvažnijih dijelova predgotovljenih armiranobetonskih konstrukcija. Kod tradicionalnog građenje svi se elementi izvode na gradištu, postoji jasan tok izvođenja svakog elementa te su spojevi podložni prilagodbi jer se uvijek ostvaruju na već izvedenom elementu. Predgotovljene konstrukcije se razlikuju u tome što elementi dolaze gotovi na gradilište pa je potrebno unaprijed predvidjeti moguće probleme kod spojeva. Potrebno je ostvariti planiranu vrstu spoja i omogućiti odgovarajući prijenos sila i momenata. Postoje mnogobrojna rješenja spoja stupa i grede no u konačnosti ona sva moraju biti jednostavna i dati jednoznačne upute radnicima na gradilištu.

Odabrani sustav spoja stupa i grede sastoji se od višekatnog predgotovljenog armiranobetonskog stupa koji u razini svakoga kata ima otvor. Stup se u tvornici izvodi u jednom komadu te se proteže kroz određen broj katova odnosno do određene visine kada će biti potrebno napraviti prekid, primarno zbog transporta na gradilište (tema poglavlja 7.5.). Duž cijele duljine jednog stupa proteže se neprekinuta uzdužna armatura koja se vidi kroz ostavljene otvore.

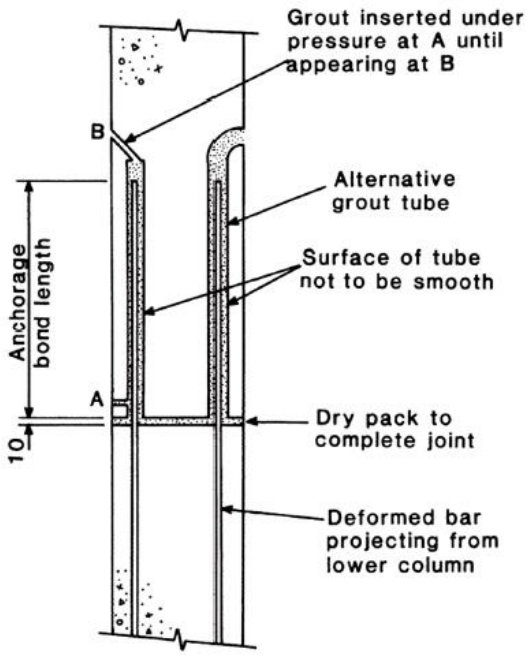
Slika 51: Ostavljeni otvori u predgotovljenim stupovima [11]

Predgotovljene grede oslanjaju se na kratke konzole stupa gdje se uzdužna armatura iz donje zone produljuje i sidre u područje stupa koji će se ispuniti „in-situ“ betonom. Na postavljene grede oslanjaju se Omnia ploče visine 8 cm nakon čega se može postaviti uzdužna armatura gornje zone grede te na isti način usidriti kao i armatura donje zone. Za kraj, potrebno je postaviti poprečnu armaturu stupa i područje izbetonirati „in-situ“ betonom. Na ovaj način ostvaren je monolitni spoj predgotovljenog stupa i grede [11].

7.5. Detalj nastavka stupa

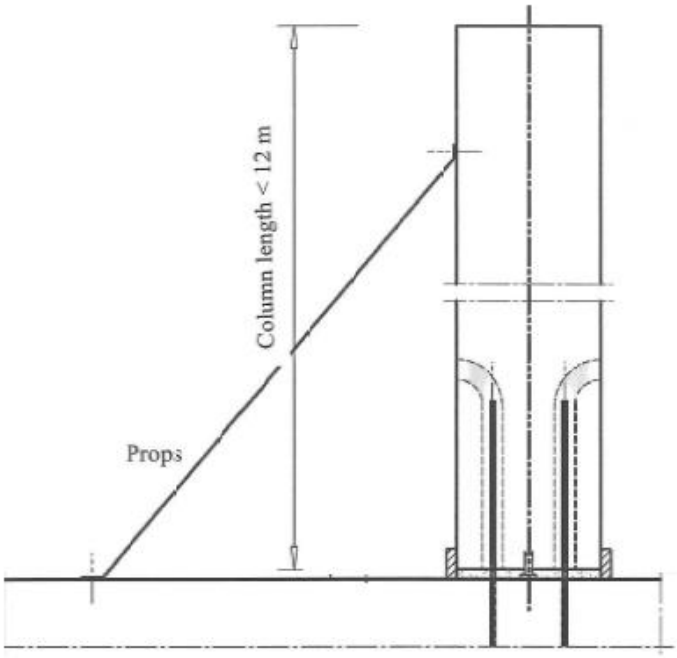
Kod proračuna predgotovljenih stupova ne uzima se u obzir njegovi prekidi na određenoj duljini već se računa kao da su oni kontinuirani elementi duž cijele visine konstrukcije. Ipak, u stvarnosti je visina stupa koji se proizvede u tvornici primarno ograničena najvećom mogućom duljinom transporta (uglavnom oko 12 metara) pa se s toga rade prekidi na manjoj duljini ukoliko se radi o visokoj konstrukciji.

Odabrani nastavak stupa za ovu konstrukciju je spoj stupa injektiranjem prethodno izvedenih kanala. To je jedan od najčešćih i najekonomičnijih vrsta spojeva stupa upravo zbog jednostavnosti proizvodnje i izvedbe. Na mjestu prekida jednog elemenata produljuju se uzdužne šipke armature tako da vire van elementa za duljinu preklopa na koje dolazi drugi element sa prethodno ugrađenim cijevima u koje ulaze šipke prethodnog elementa. U cijevi se na gradilištu ulije „in-situ“ beton nakon kojeg je ostvaren spoj, odnosno nastavak, dva stupa koji se bitno ne razlikuje od preklopljenih armatura u monolitnom stupu.



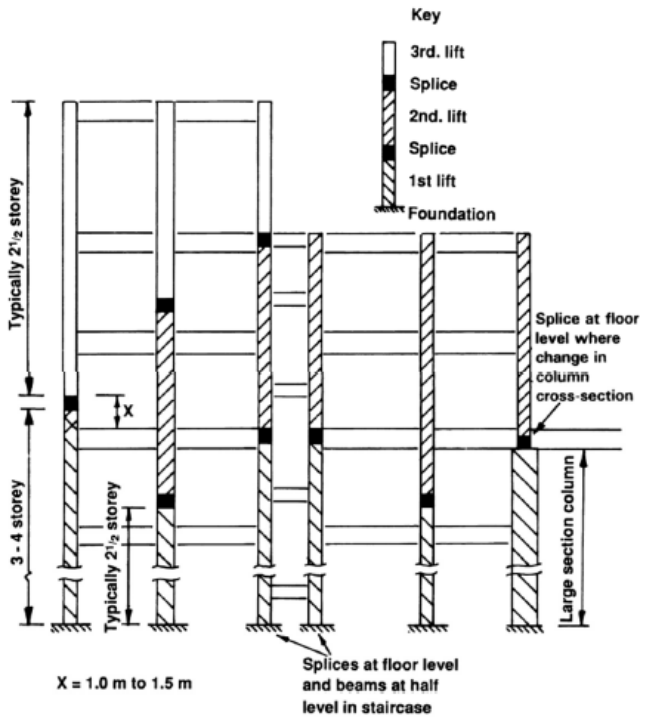
Slika 52: Nastavak stupa uz pomoć injektiranja prethodno izvedenih kanala [12]

Spoj stupa i temelja ostvaren je na isti način, na dnu svakoga stupa nalaze se prethodno ugrađene cijevi duljine jednakoj duljini prijeklopa uzdužnih šipki. Na gradilištu se stup postavlja tako da uzdužna armatura temelja uđe u postavljene cijevi i prostor se ispuni „in-situ“ betonom. Stup je potrebno pridržati podupiračima na visini od otprilike 2/3 visine stupa dok beton ne očvrsne i ostvari se zadovoljavajući spoj.



Slika 53: Detalj spoja stupa i temelja [13]

Također, kako bi se izbjeglo formiranje ravnine oslabljenja, ovdje će se primijeniti stepenasti raspored nastavljanja. Takvi nastavci bi se trebali nalaziti u razini stropne konstrukcije ili na mjestima minimalnih momenata savijanja (1,0-1,5 m iznad stropne konstrukcije). To znači da će se na stupu S1 izvesti prvi prekid na visini od 10,25 m, na stupu S2 na visini od 7,0 m, a na stupu S3 ponovo na visini 10,25 m. [12]



Slika 54: Stepenasti raspored nastavljanja stupova [12]

8. ISKAZ ARMATURE

Tablica 61: Iskaz armature Omnia ploče – proizvodna faza (POZ. 100)

Iskaz armature Omnia ploče - proizvodna faza							
POZ	DULJINA (m)	Ø (mm)	KOM.	UKUPNA DULJINA (m)			
				Ø5	Ø6	Ø8	Ø14
1	0,17	5	14144	2404,48			
2	5,48	8	272			1490,56	
3	5,48	6	544		2981,12		
4	5,48	14	340				1863,2
5	1,28	8	1836			2350,08	
Ukupno (m):				2404,48	2981,12	3840,64	1863,2
Masa (kg/m):				0,154	0,222	0,405	1,242
Ukupno po promjerima (kg):				370,28	661,80	1555,45	2314,09
Sveukupno (kg)				**4901,65**			

Tablica 62: Iskaz armature gornje zone AB. ploče – faza montaže (POZ.100)

Iskaz armature gornje zone AB. ploče - faza montaže					
POZ	DULJINA (m)	Ø (mm)	KOM.	UKUPNA DULJINA (m)	
				Ø6	Ø8
1	7,56	8	330		2494,8
2	7,50	6	330	2475	
3	0,40	6	330	132	
4	0,62	8	330		204,6
Ukupno (m):				2607	2699,4
Masa (kg/m):				0,222	0,405
Ukupno po promjerima (kg):				578,75	1093,26
Sveukupno (kg)				**1672,01**	

Tablica 63: Iskaz armature greda okvira 2 – proizvodna faza

Iskaz armature greda okvira 2 - proizvodna faza						
POZ	DULJINA (m)	Ø (mm)	KOM.	UKUPNA DULJINA (m)		
				Ø8	Ø12	Ø16
1	5,80	16	48			278,4
2	6,22	16	72			447,84
3	6,22	12	48		298,56	
4	1,50	8	1008	1512		
Ukupno (m):				1512	298,56	726,24
Masa (kg/m):				0,405	0,911	1,621
Ukupno po promjerima (kg):				612,36	271,98	1177,23
Sveukupno (kg)				**2061,58**		

Tablica 64: Iskaz armature greda okvira 2 – faza montaže

Iskaz armature greda okvira 2 - faza montaže						
POZ	DULJINA (m)	Ø (mm)	KOM.	UKUPNA DULJINA (m)		
				Ø8	Ø16	Ø20
1	2,71	16	42		113,82	
2	4,14	16	63		260,82	
3	2,90	16	44		127,6	
4	2,71	20	34			92,14
5	4,14	20	51			211,14
6	3,30	20	36			118,8
7	0,35	8	80	28		
Ukupno (m):				28	495,94	422,08
Masa (kg/m):				0,405	1,621	2,536
Ukupno po promjerima (kg):				11,34	803,91	1070,39
Sveukupno (kg)				**1895,87**		

Tablica 65: Iskaz armature stupova okvira 2 – proizvodna faza

Iskaz armature stupova okvira 2 - proizvodna faza					
POZ	DULJINA (m)	Ø (mm)	KOM.	UKUPNA DULJINA (m)	
				Ø10	Ø16
1	11,25	16	48		540
2	8,55	16	48		410,4
3	8,00	16	32		256
4	11,80	16	32		377,6
5	1,62	10	60	97,2	
6	1,61	10	60	96,6	
7	1,36	10	60	81,6	
8	2,06	10	600	1236	
9	1,61	10	600	966	
10	1,61	10	660	1062,6	
Ukupno (m):				3540	1584
Masa (kg/m):				0,634	1,621
Ukupno po promjerima (kg):				2244,36	2567,66
Sveukupno (kg)				**4812,02**	

Tablica 66: Iskaz armature jednostrane konzole – okvir 2

Iskaz armature jednostrane konzole – okvir 2						
POZ	DULJINA (m)	Ø (mm)	KOM.	UKUPNA DULJINA (m)		
				Ø8	Ø10	Ø12
1	2,45	12	24			58,8
2	2,46	10	24		59,04	
3	1,62	8	24	38,88		
Ukupno (m):				38,88	59,04	58,8
Masa (kg/m):				0,405	0,634	0,911
Ukupno po promjerima (kg):				15,75	37,43	53,57
Sveukupno (kg)				**106,74**		

Tablica 67: Iskaz armature dvostrane konzole – okvir 2

Iskaz armature dvostrane konzole – okvir 2						
POZ	DULJINA (m)	φ (mm)	KOM.	UKUPNA DULJINA (m)		
				Ø8	Ø10	Ø12
1	3,45	12	36			124,2
2	2,86	10	36		102,96	
3	2,10	8	36	75,6		
Ukupno (m):				75,6	102,96	124,2
Masa (kg/m):				0,405	0,634	0,911
Ukupno po promjerima (kg):				30,62	65,28	113,15
Sveukupno (kg)				**209,04**		

9. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog diplomskog rada bio je proračunati predgotovljenu armiranobetonsku konstrukciju za trajnu i potresnu proračunsku situaciju u skladu sa normama HRN EN 1992-1-1 i HRN EN 1998-1. U programskom softveru STAAD.Pro provedena je analiza modela ravninskog okvira sa proračunatim opterećenjima stalnog i promjenjivog djelovanja kao i potresno djelovanje. Također, u istome je i napravljen 3D model konstrukcije koji je služio za dobivanje prvih perioda konstrukcije i provjeru ograničenja oštećenja.

Odabrane Omnia ploče bilo je potrebno proračunavati ovisno o fazi izvođenja ploče. Tako je prvo bilo potrebno proračunati armaturu ploče kada bi se ona nakon transporta na gradilište podigla pomoću dizalice. Sljedeća faza bila je postavljanje ploča u svoj položaj kako bi se na njoj mogao izvesti završni sloj betona u debljini od 12 cm. Na posljetku, proračunata je ploča sa svim predviđenim opterećenjem. Ovakav pristup nužan je pri proračunu predgotovljenih ploča jer ovisno o fazi izvođenja ploče mijenja se opterećenja, statički sustavi i debljina same ploče pa dobivena mjerodavna armatura ne mora nužno biti iz konačnog položaja i opterećenja ploče.

Grede i stupovi proračunati su kao okvirni sustav sa monolitnim spojem. Oba elementa proračunata su na rezne sile i momente savijanja dobivenih iz okvirnog sustava u STAAD.Pro. Kod dimenzioniranja na poprečne sile korišten je proračun prema sposobnosti nosivosti. U konstrukcijama se nastoji izbjeći krhki slom i prerano stvaranje nestabilnosti elementa pa se teži ka duktilnijem ponašanju i trošenjem, već i ovako nepredvidljive, potresne energije i to plastičnim deformiranjem. Zato se nastoji proračunati konstrukciju na zadovoljavajuću potresnu otpornost iako u stvarno neće doći do pojave takvih potresnih sila.

Grede se u tvornici betoniraju kao elementi dimenzija 30 cm * 30 cm sa proračunatom armaturom donje zone kao i poprečnim sponama. Na gradilištu se uz pomoć dizalice podižu i oslanjaju na kratke konzole stupa nakon kojeg se ugrađuje armatura gornje zone i betonira „in-situ“ betonom. Zbog približno sličnih vrijednosti momenata na osloncu duž cijelog kata usvojena jednaka armatura na osloncu, dok je za donju zonu oslonca usvojena armatura iz polja koja se sidri u područje stupa. Valja napomenuti da je produljena armatura iz polja veća od propisane armature donje zone oslonca koja mora biti najmanje 50% vlačne armature radi osiguranja lokalne duktilnosti. Dimenzije grede u nekim dijelovima zgrade su

stvarali problem jer je bilo potrebno postaviti armaturu u dva reda a taj problem bi se riješio da se širina presjeka malo povećala, recimo na 40 cm.

Stupovi su u sklopu ovoga rada proračunati za fazu korištenja. Dimenzionirani su kao da su kontinuirani monolitni stupovi no zbog uvjeta transporta u tvornici se rade sa prekidom, na visini definiranom ovim diplomskim radom. Odabrani nastavak stupova u praksi se pokazao jednako dobrim kao da se radi o monolitnom spoju jer uz odgovarajuću duljinu preklapanja armature dolazi do zadovoljavajućeg prenošenja momenata savijanja i reznih sila. Stupovima se u tvornici ostavlja ne izbetoniran prostor u visini međukatne konstrukcije kako bi se ostvario monolitni spoj stupa i grede na gradilištu sidrenjem uzdužne armature grede u područje stupa.

Predgotovljene konstrukcije karakterizira, za razliku od tradicionalnog načina gradnje, zagarantirana kvaliteta elementa zbog proizvodnje u kontroliranim uvjetima u tvornici. S toga se očekuje da će vrijeme izvođenja biti što kraće pa ne smije doći do ne predvidljivih situacija na gradilištu. Spojevi i nastavci elemenata moraju biti planirani i predviđeni kao i sva dodatna armatura tako da se na gradilištu vrši jedino montaža elemenata, postavljanje dodatne armature te betoniranje „in-situ“ betonom. Napretkom tehnologije građenja ovakav način gradnje mogao bi postati sve češći u praksi.

10. LITERATURA

[1] HRN EN 1992-1-1:20013: Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004 + AC:2010)

[2] HRN EN 1991-1-1:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukciju – Dio 1-1: Opća djelovanja – Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrade (EN 1991-1-1:2002 + AC:2009)

[3] HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenje snijegom – Nacionalni dodatak

[4] HRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra – Nacionalni dodatak

[5] HRN EN 1998-1:2011 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrkcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004 + AC:2009)

[6] Karte potresnih područja Republike Hrvatske; http://seizkarta.gfz.hr/, pristup 20.04.2020.

[7] Kim S. Elliott, Precast concrete structures, CRC Press, 1997.

[8] L. Koržinek, S. Tešović: Primjena Omnia ploča u mostogradnji, Građevinar 55 (1), 21-25, 2003.

[9] Predgotovljene betonske konstrukcije – Predavanja, P. Šćulac, Građevinski fakultet u Rijeci, 2020.

[10] Proračun potresno otpornih konstrukcija prema sposobnosti nosivosti, D. Grandić i P. Šćulac, Predavanje, Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Opatija 2017.

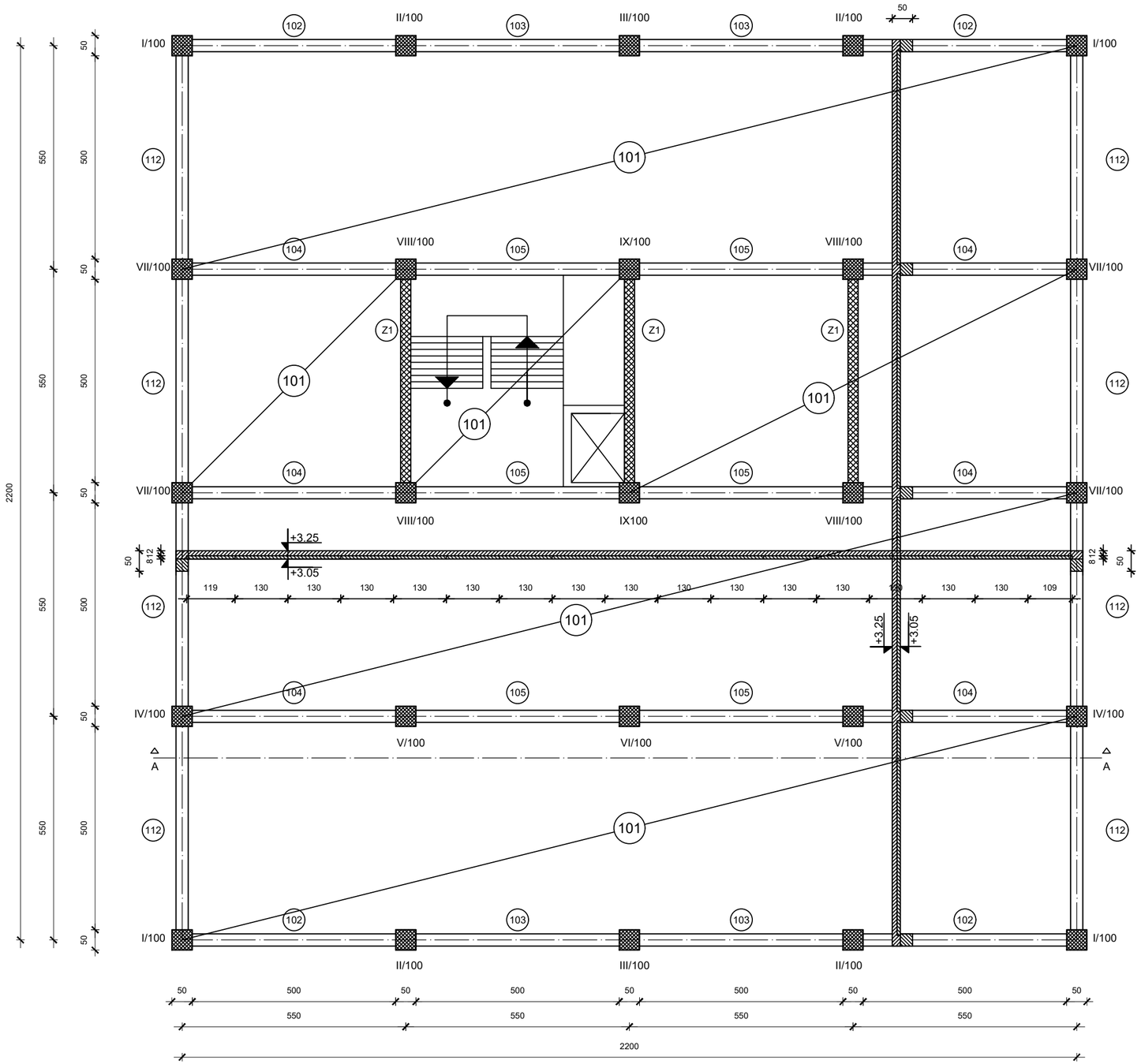
[11] fib Bulletin 78, Precast-concrete buildings in seismic areas, Fédération internationale du béton (fib), 2016

[12] Kim S. Elliott, Colin K. Jolly: Multi-storey Precast Concrete Framed Structures, Wiley Blackwell, 2013.

[13] fib Bulletin 74, Planning and design handbook on precast building structures, Fédération internationale du béton (fib), 2014.

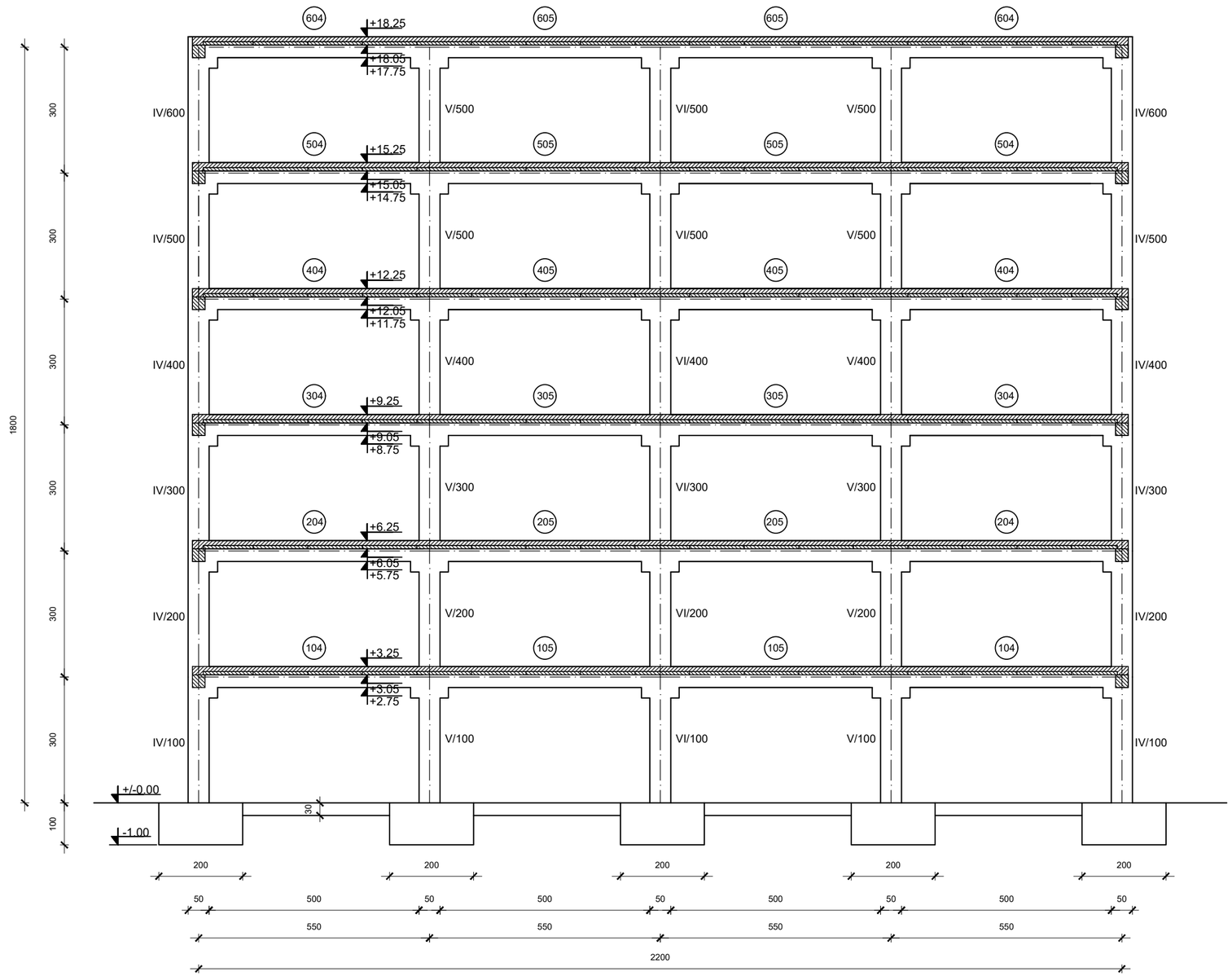
11. NACRTNA DOKUMENTACIJA

Presjek karakterističnog kata - POZ. 100
M 1:100



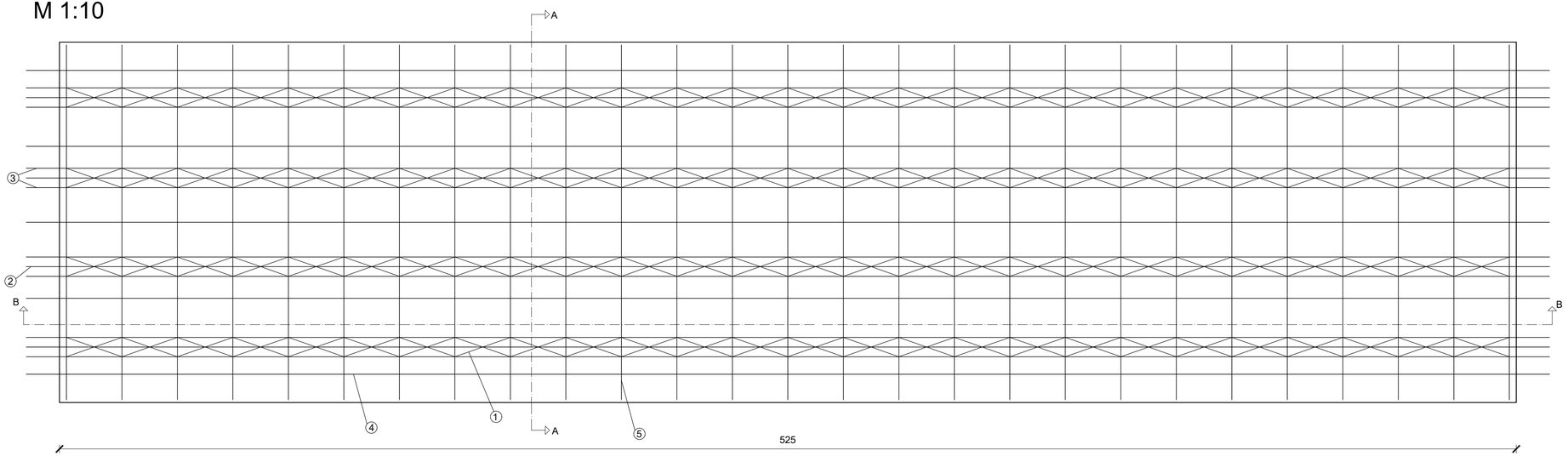
GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Proračun montažne okvirne višekatne zgrade s upetim spojevima greda-stup	Sadržaj nacrta: Presjek karakterističnog kata POZ. 100		
Student: Ivan Vranić	Kolegij: Predgotovljene betonske konstrukcije		
Mentor: doc.dr.sc. Paulo Šćulac	Datum: rujan 2020.	Mjerilo: 1:100	List: 1

Presjek karakterističnog okvira
Presjek A-A
M 1:100

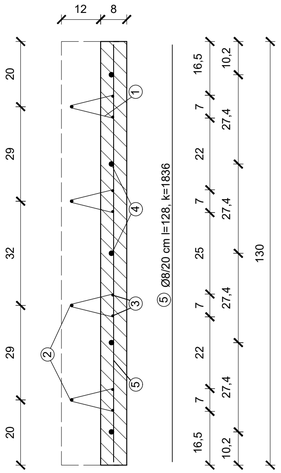


GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Proračun montažne okvirne višekatne zgrade s upetim spojevima greda-stup	Sadržaj nacrta: Presjek karakterističnog okvira Presjek A-A		
Student: Ivan Vranić	Kolegij: Predgotovljene betonske konstrukcije		
Mentor: doc.dr.sc. Paulo Šćulac	Datum: rujan 2020.	Mjerilo: 1:100	List: 2

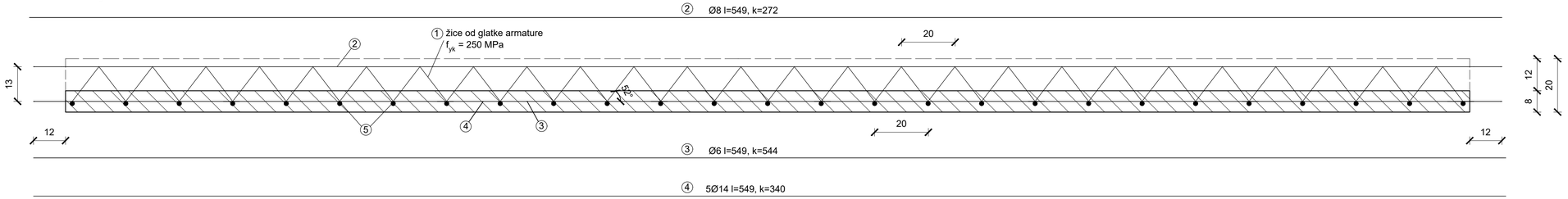
Armatura Omnia ploče
Proizvodna faza
M 1:10



Presjek A-A

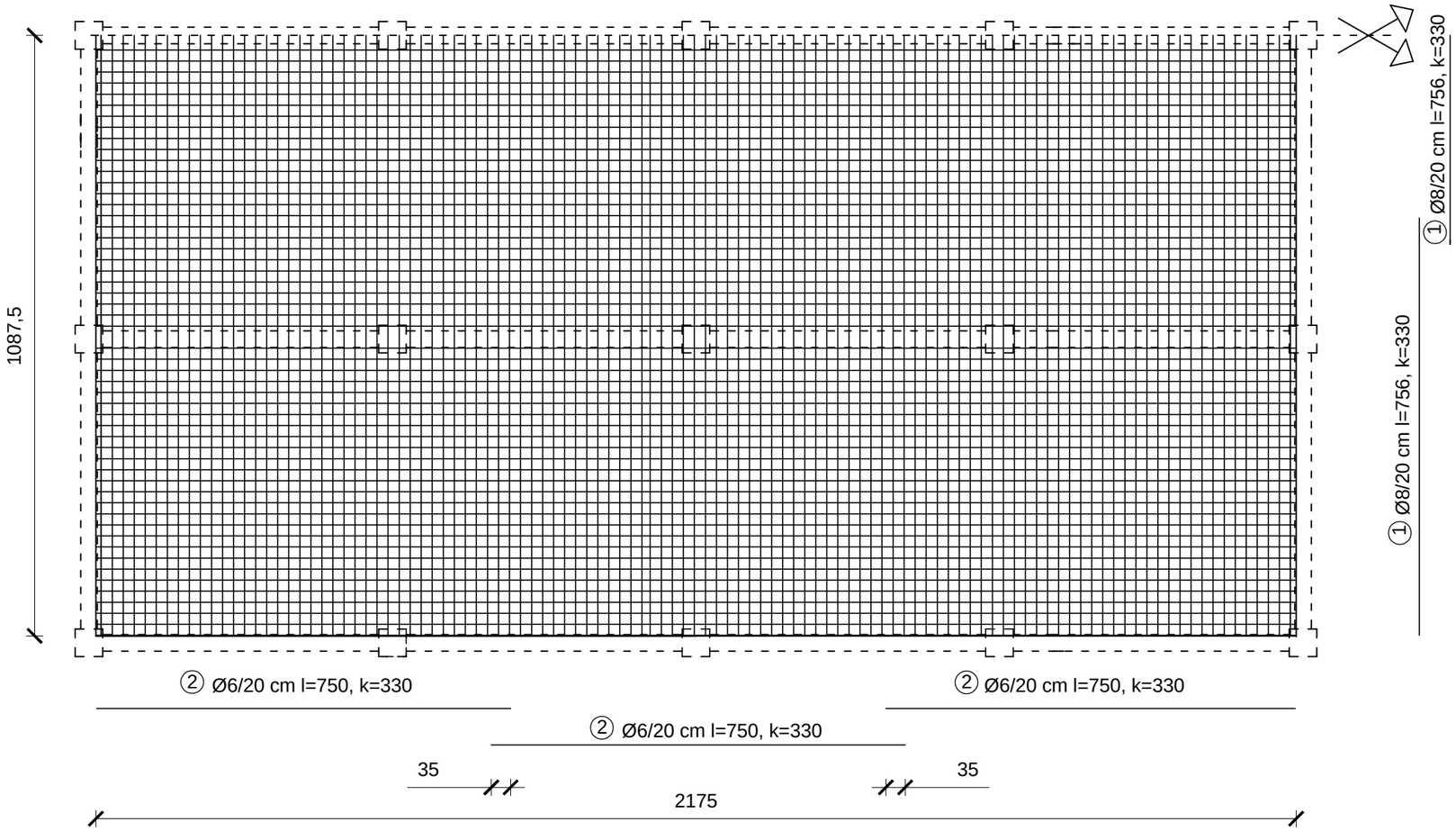


Presjek B-B

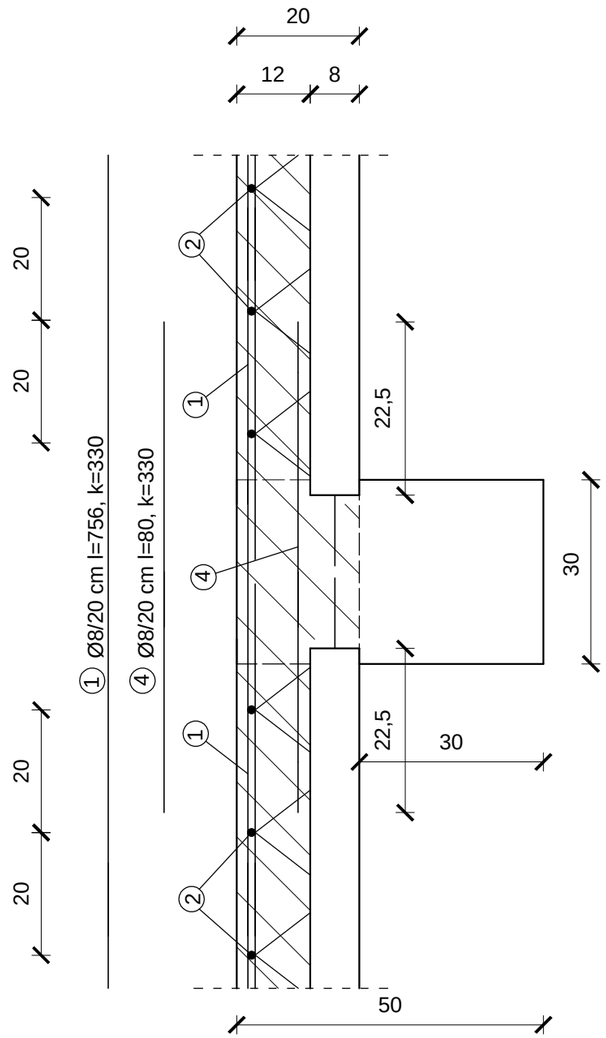


GF **GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI**			
Diplomski rad: Proračun montažne okvirne višekatne zgrade s upetim spojevima greda-stup	Sadržaj nacrta: Armatura Omnia ploče Proizvodna faza		
Student: Ivan Vranić	Kolegij: Predgotovljene betonske konstrukcije		
Mentor: doc.dr.sc. Paulo Šćulac	Datum: rujan 2020.	Mjerilo: 1:10	List: 3

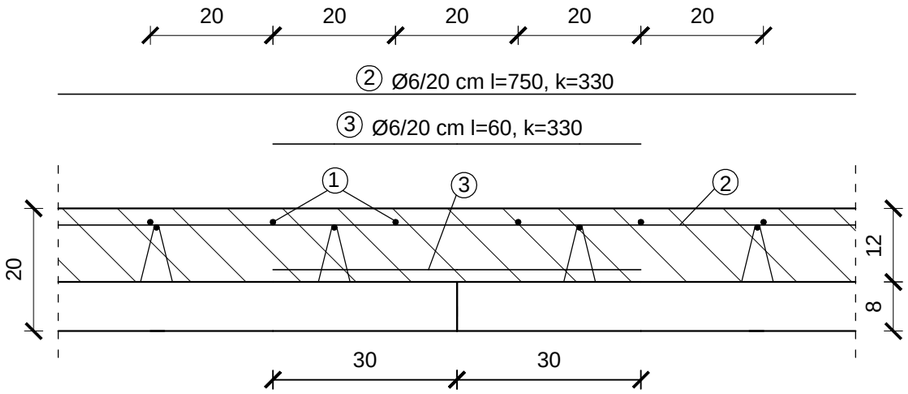
Armatura gornje zone AB. ploče (polovica ploče)
Faza montaže
M 1:100



Uzdužni spoj Omnia ploča
M 1:10

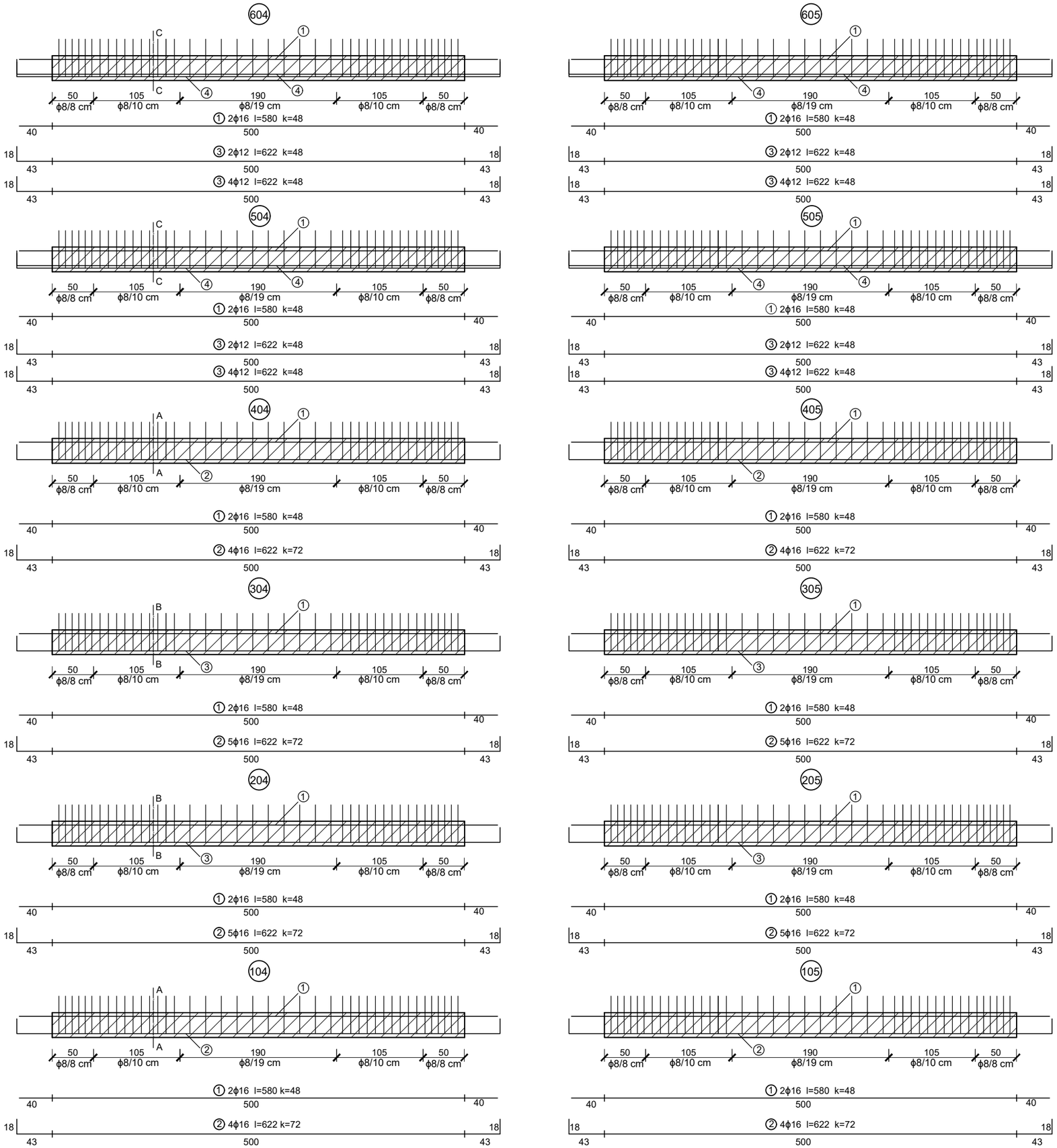


Poprečni spoj Omnia ploče
M 1:10

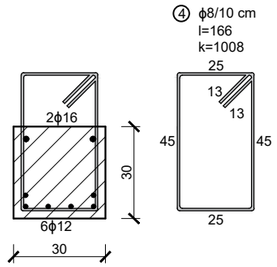


GF **GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI**			
Diplomski rad: Proračun montažne okvirne višekatne zgrade s upetim spojevima greda-stup	Sadržaj nacrta: Armatura gornje zone AB. ploče (polovica ploče) Faza montaže		
Student: Ivan Vranić	Kolegij: Predgotovljene betonske konstrukcije		
Mentor: doc.dr.sc. Paulo Šćulac	Datum: rujan 2020.	Mjerilo: 1:100	List: 4

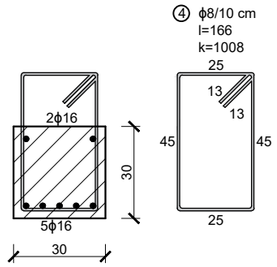
Presjek greda okvira
Proizvodna faza
M 1:50



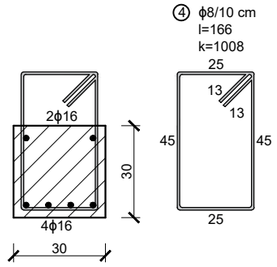
Presjek C-C, M 1:20



Presjek B-B, M 1:20

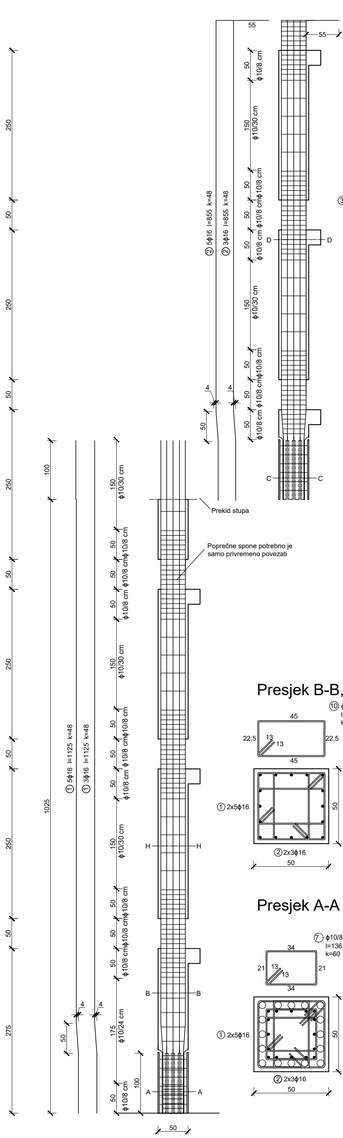


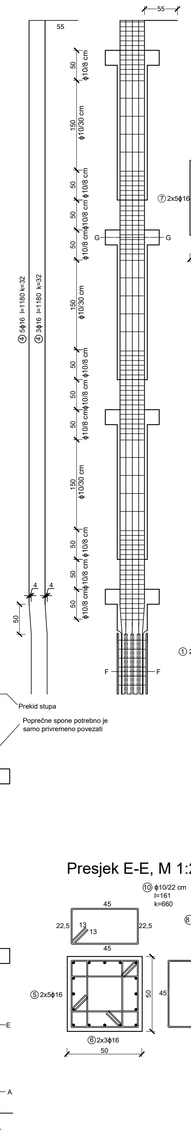
Presjek A-A, M 1:20

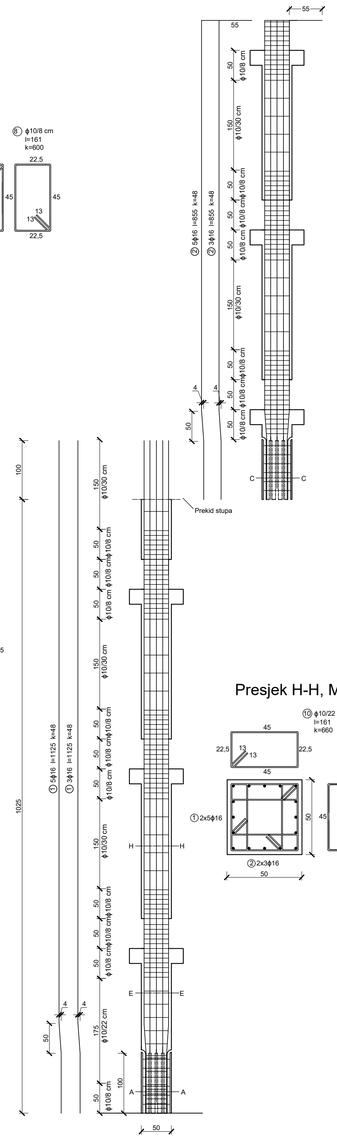


GF **GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI**			
Diplomski rad: Proračun montažne okvirne višekatne zgrade s upetim spojevima greda-stup	Sadržaj nacrta: Presjek greda okvira Proizvodna faza		
Student: Ivan Vranić	Kolegij: Predgotovljene betonske konstrukcije		
Mentor: doc.dr.sc. Paulo Šćulac	Datum: rujan 2020.	Mjerilo: 1:50	List: 5

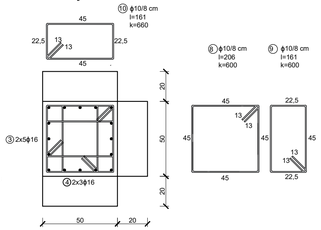
Presjek stupova - proizvodna faza
M 1:50



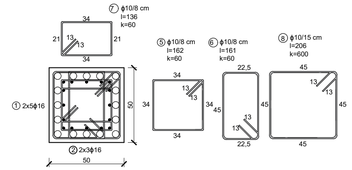




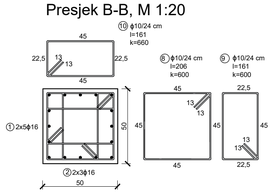
Presjek D-D, M 1:20



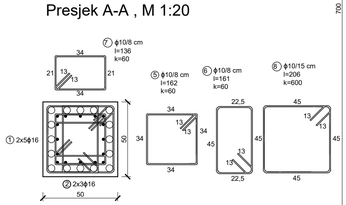
Presjek C-C , M 1:20



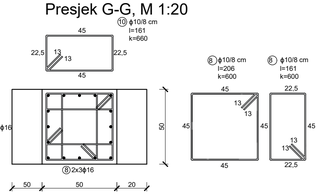
Presjek B-B, M 1:20



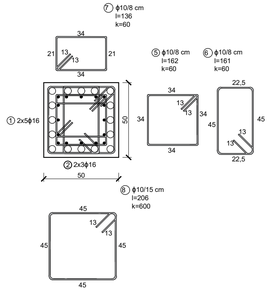
Presjek A-A , M 1:20



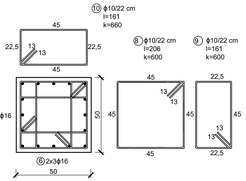
Presjek G-G, M 1:20



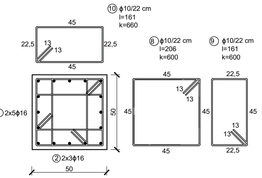
Presjek F-F, M 1:20



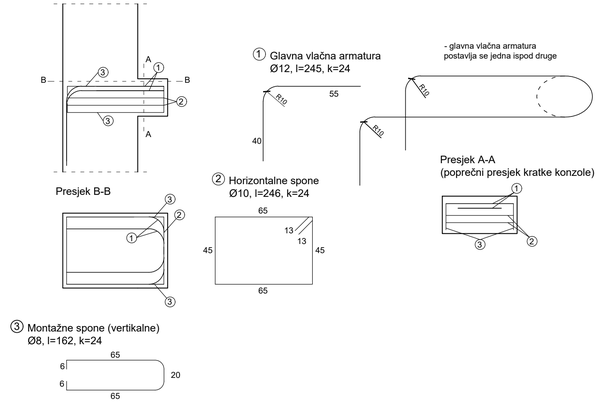
Presjek E-E, M 1:20



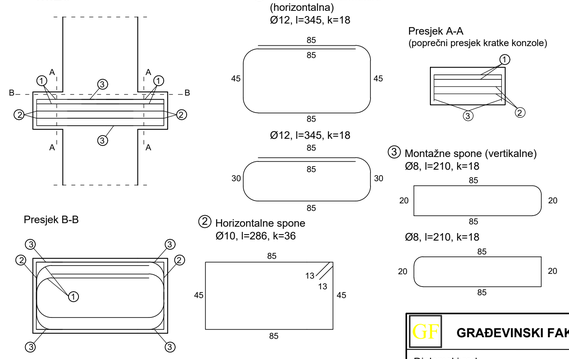
Presjek H-H, M 1:20



Armiranje kratke konzole - jednostrana konzola krajnjeg stupa
M:20

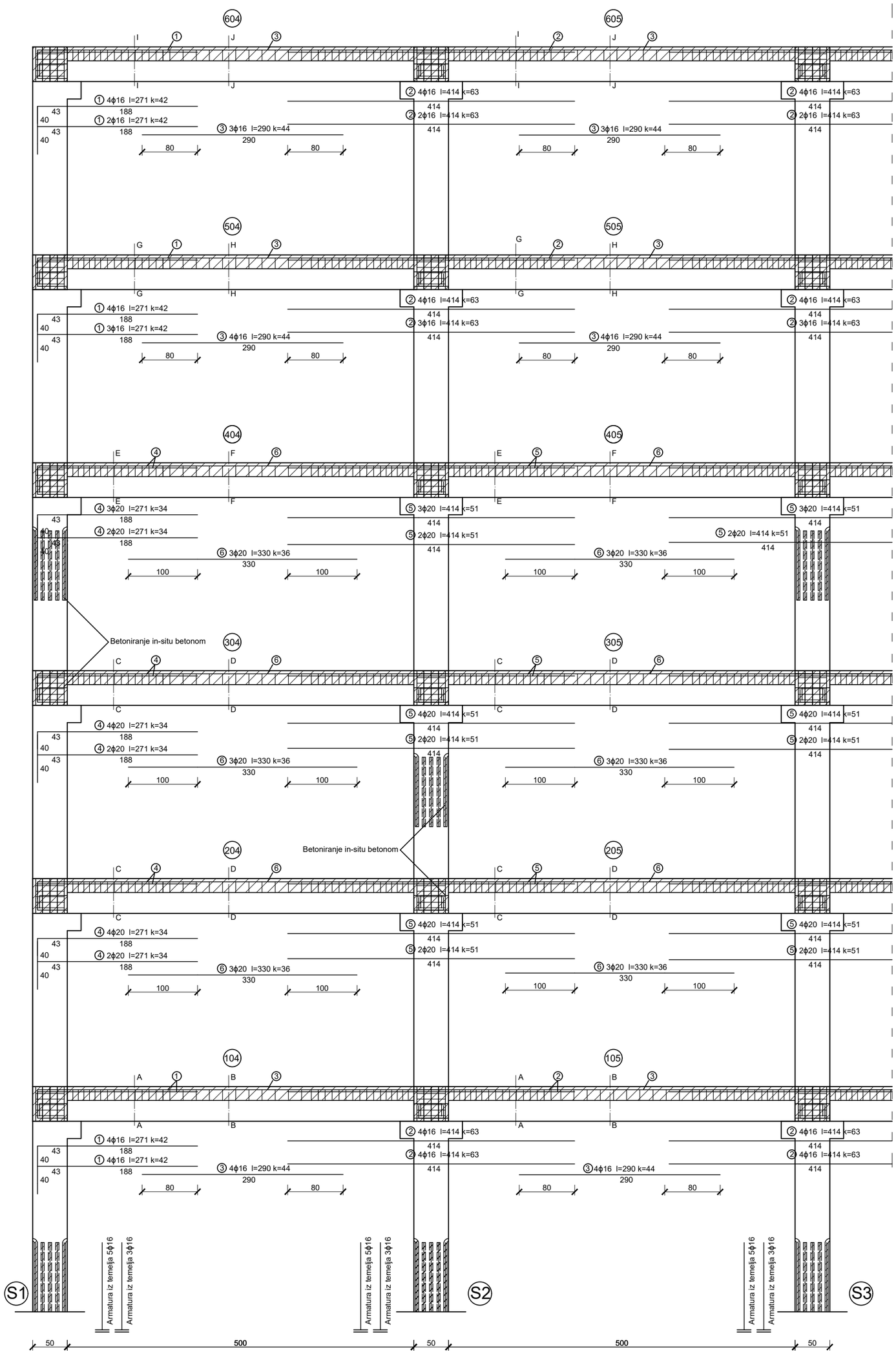


Armiranje kratke konzole - dvostruka konzola središnjeg stupa
M:20

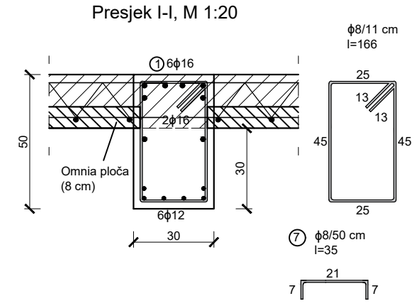


GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Proračun montažne okvirne višekatne zgrade s upetim spojevima greda-stup	Sadržaj nacrta: Presjek stupova okvira - proizvodna faza Armiranje jednostrane i dvostrane konzole		
Student: Ivan Vranić	Kolegij: Predgotovljene betonske konstrukcije		
Mentor: doc.dr.sc. Paulo Šćulac	Datum: rujan 2020.	Mjerilo: 1:50	List: 6

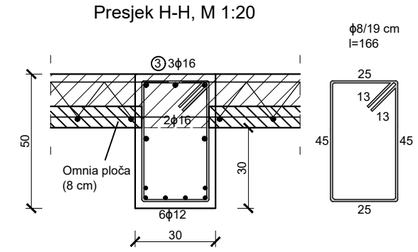
Presjek greda okvira
Faza montaže
M 1:50



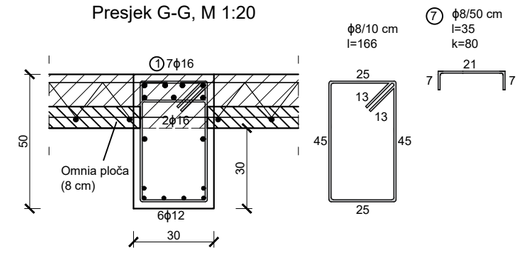
Presjek I-I, M 1:20



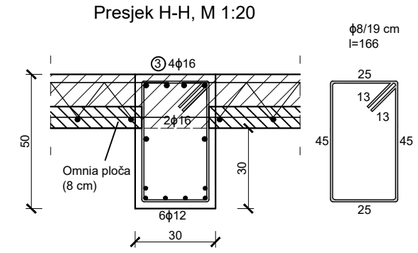
Presjek H-H, M 1:20



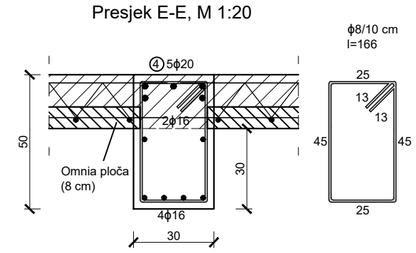
Presjek G-G, M 1:20



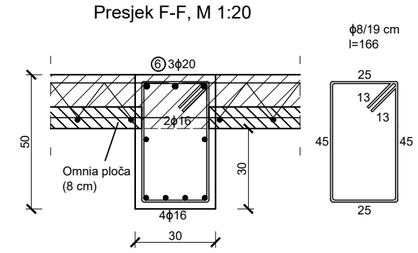
Presjek H-H, M 1:20



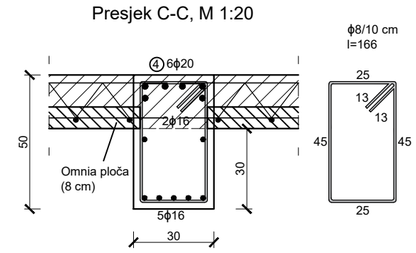
Presjek E-E, M 1:20



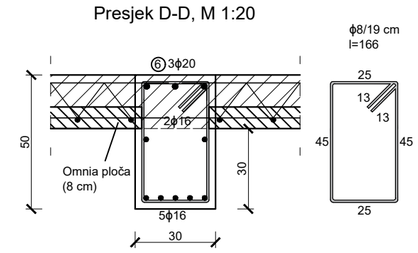
Presjek F-F, M 1:20



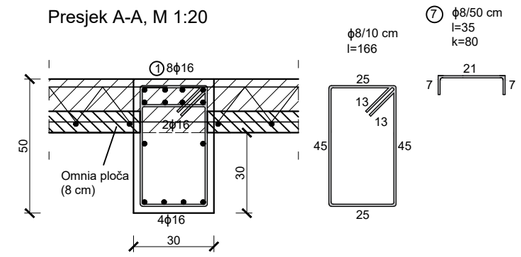
Presjek C-C, M 1:20



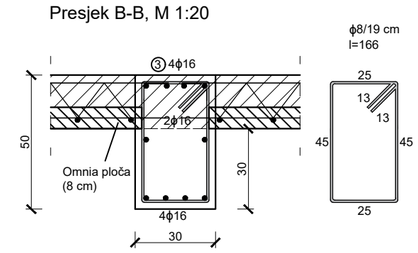
Presjek D-D, M 1:20



Presjek A-A, M 1:20



Presjek B-B, M 1:20



GF **GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI**			
Diplomski rad: Proračun montažne okvirne višekatne zgrade s upetim spojevima greda-stup	Sadržaj nacrta: Presjek greda okvira Faza montaže		
Student: Ivan Vranić	Kolegij: Predgotovljene betonske konstrukcije		
Mentor: doc.dr.sc. Paulo Šćulac	Datum: rujan 2020.	Mjerilo: 1:50	List: 7