Proračun konstrukcije stambeno-poslovnog objekta (dilatacije A) na otoku Korčula

Jelavić-Šako, Nikola

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:274930

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Nikola Jelavić Šako

Split, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Nikola Jelavić Šako

Projekt konstrukcije stambeno - poslovnog objekta (dilatacije A) na otoku Korčula

Diplomski rad

Split, 2019.

Projekt konstrukcije stambeno - poslovnog objekta (dilatacije A) na otoku Korčula

Sažetak:

U radu je prikazan projekt konstrukcije stambeno - poslovnog objekta (dilatacije A) na otoku Korčula.

Građevina ima ukupno 5 katova, od čega su 4 kata nad zemljom te 1 kat (garaža) pod zemljom. Građevina je izvedena u armiranom betonu monolitnom izvedbom s armirano - betonskim temeljima, zidovima, stupovima, gredama te armirano - betonskim pločama kao međukatnim konstrukcijama.

Projekt sadrži tehnički opis konstrukcije, opće i posebne tehničke uvjete, plan kontrole i osiguranja kvalitete, proračun nosivih konstrukcijskih elemenata, karakteristične građevinske nacrte i armaturne planove.

Ključne riječi:

projekt, konstrukcija, monolitna izvedba, tehnički opis, numerički model, proračun, armatura

Project of construction of the business and residental building (dilatation A) on island Korčula

Abstract:

Project of construction of the business and residental building (dilatation A), which is positioned on island Korčula, is presented in this work.

Subject building is consist of total number of 5 storeys, of which 4 storeys are above ground, and 1 storey is underground (garage). Building is made od reinforced concrete in monolithic construction with reinforced concrete foundations, walls, columns, beams and reinforced concrete plates as a ceiling slabs.

The project contains a technical description of the construction, general and particular conditions of civil engineering works, control plan and quality assurance plan, calculation of the main structural elements as well as charasteristic strucural plans and reinforcement plans.

Keywords:

project, construction, monolithic construction, techincal description, numerical model, calculation, reinforcement bar

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Nikola Jelavić Šako

BROJ INDEKSA: 692

KATEDRA: **Katedra za Betonske konstrukcije i mostove**

PREDMET: Betonske konstrukcije

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Proračun konstrukcije stambeno - poslovnog objekta (dilatacije A) na otoku Korčula

Opis zadatka: Na temelju danih arhitektonskih podloga, potrebno je izraditi proračun konstrukcije stambeno - poslovnog objekta (dilatacije A) na otoku Korčula.

Izrađeni projekt mora sadržavati:

- tehnički opis
- plan kontrole i osiguranja kvalitete
- proračune
- građevinske nacrte

U Splitu, ožujak 2019.

Voditelj diplomskog rada:

Doc. dr. sc. Nikola Grgić

Presjednik Povjerenstva za završne i diplomske ispite:

Doc. dr. sc. Ivo Andrić

Zahvala

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Nikoli Grgiću na strpljenju, stručnoj pomoći i suradnji tijekom izrade diplomskog rada.

Hvala obitelji i prijateljima na podršci i pomoći.

Sadržaj

1. TEHNIČKI OPIS 8
1.1. Općenito 8
1.1.1. Oblik i veličina građevinske čestice 8
1.1.2. Namjena građevine 9
1.2. Opis nosive konstrukcije 10
1.2.1. Temelji 10
1.2.2. Zidovi 10
1.2.3. Stupovi 11
1.2.4. Grede 11
1.2.5. Međukatne konstrukcije 11
1.3. Osnovna djelovanja i kombinacije 12
1.3.1. Osnovna djelovanja 12
1.3.2. Osnovne kombinacije djelovanja 12
1.4. Materijali 14
1.4.1. Beton 14
1.4.2. Betonski čelik 15
1.5. Pravilnici i norme 16
1.6. Plan kontrole i osiguranja kvalitete 17
1.6.1 Opće napomene 17
1.6.2. Postizanje zahtijevane geometrije 17
1.6.3. Zemljani radovi 18
1.6.4. Betonski i armirano betonski radovi 19
1.6.5. Prekidi betoniranja 21
1.6.6. Ostali radovi i materijali 21
1.6.7. Norme koje tretiraju radove u ovom programu kontrole 21
1.7. Posebni tehnički uvjeti 26
1.7.1. Oplate i skele 26
1.7.2. Transport i ugradnja betona 28
1.7.3. Betoniranje pri visokim vanjskim temperaturama 28
1.7.4. Betoniranje pri niskim temperaturama 29
1.8. Obaveze izvođača 29

1.9. Način zbrinjavanja građevnog otpada 30
1.10. Uvjeti održavanja i projektirani vijek trajanja 32
1.11. Izgled i geometrija objekta 33
2. PLANOVI POZICIJA 39
3. ANALIZA OPTEREĆENJA 40
3.1. Ploča krova (POZ 400) 41
3.2. Ploče katova (POZ 100 - 300) 42
3.3. Ploča prizemlja (POZ 0) 43
3.4. Ploča garaže - podna ploča (POZ -100) 45
3.5. Stubište 46
3.6. Težina zidova 47
3.7. Opterećenje od tla na zidove garaže 48
3.8. Opterećenje snijegom 49
3.9. Opterećenje vjetrom 51
3.10. Potres 66
4. NUMERIČKI MODEL 77
4.1. Kombinacije opterećenja 77
5. DIMENZIONIRANJE HORIZONTALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE 82
5.1. Proračun ploča 83
5.1.1. Dimenzioniranje ploče pozicije 400 (krovna ploča) 83
5.1.2. Dimenzioniranje ploče pozicije 300 (3. kat) 94
5.1.3. Dimenzioniranje ploče pozicije 200 (2. kat) 108
5.1.4. Dimenzioniranje ploče pozicije 100 (1. kat) 122
5.1.5. Dimenzioniranje ploče pozicije 0 (prizemlje) 136
5.1.6. Dimenzioniranje ploče POZ -100 (podna ploča) 148
5.1.7. Odabrana armatura ploča po pozicijama 151
5.2. Dimenzioniranje AB greda 152
5.2.1. Dimenzioniranje greda iznad otvora 153
5.2.2. Dimenzioniranje greda POZ 300 164
5.2.3. Dimenzioniranje greda POZ 100 176
5.2.4. Dimenzioniranje greda POZ 0 187
6. DIMENZIONIRANJE AB STUBIŠTA 198

7. DIMENZIONIRANJE VERTIKALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE 201
7.1. Dimenzioniranje AB zidova 202
7.1.1. Dimenzioniranje zida Z_1 203
7.1.2. Dimenzioniranje zida Z_2 209
7.1.3. Dimenzioniranje obodnih zidova garaže 215
7.2. Dimenzioniranje AB stupova 219
7.2.1. Dimenzioniranje stupa S_1 220
7.2.2. Dimenzioniranje stupa S_2 232
8. DIMENZIONIRANJE TEMELJA 239
9. GRAFIČKI PRILOZI 244
10. ARMATURNI PLANOVI 245
11. LITERATURA 246

1. TEHNIČKI OPIS

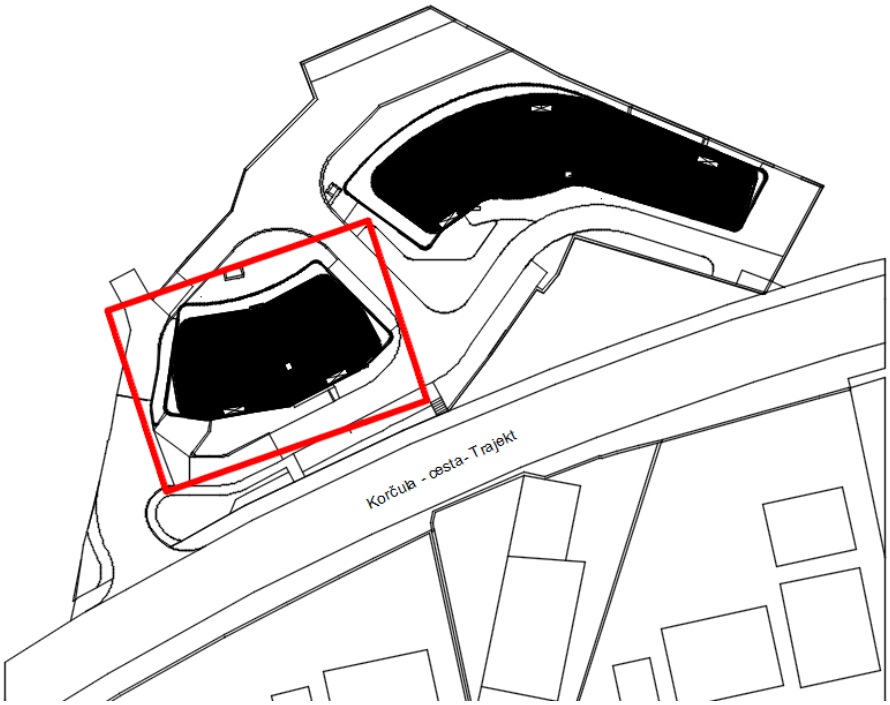
1.1. OPĆENITO

U mjestu Zagradac na otoku Korčuli u neposrednoj blizini mora nalazi se građevinska čestica na kojoj investitor ima namjeru izgraditi hotel.

Građevinska parcela površine je cca 2630 m^2. Analizirajući lokaciju, oblik i veličinu građevinske parcele, visinske razlike prisutne na terenu, a vodeći računa o važećoj planskoj dokumentaciji, izrađeno je arhitektonsko rješenje kompleksa samostojećeg ugostiteljskog objekata. Ovaj glavni projekt usklađen je sa svim prostorno - planskim parametrima s važećom lokacijskom dozvolom, kao što je formiranje čestice, namjena građevine, veličina i površina građevine, izgrađenost, visina, etažnost, smještaj građevine na građevnoj čestici, uređenje čestice, priključenje na javno - prometnu površinu i komunalnu infrastrukturu, parkirališna mjesta.

1.1.1. Oblik i veličina građevinske čestice

Parcela je nepravilnog oblika površine oko 2630 m^2. Na parceli su planirane 3 objekta odnosno dilatacije, od kojih je jedna obrađena u ovom radu. Tlocrtna povšina samog objekta je 330 m^2.



Slika 1.1. Prikaz položaja objekta na parceli

1.1.2. Namjena građevine

Namjena građevine je stambeno - poslovna. Sadržaji građevine podijeljeni su visinski u jednoj podzemnoj i četiri nadzemne etaže, i to prizemlje i tri kata, te podrum koji se koristi kao garaža sa 8 parkirnih mjesta, riješivši time problem parkirnih mjesta za korisnike građevine. Time se na najbolji način koristi površina za smještaj vozila, a okoliš se može urediti kao zelena površina.

Vertikalna komunikacija je ostvarena dvokrakim stubištem i liftom koji vode od podzemne etaže sve do posljednje tj. 3. kata.

U podrumu zgrade predviđen je jedan skladišni prostor za potrebe održavanja garaže i instalacija u njoj.

Visina zgrade je 12.60 m od nulte točke terena. Predmetna građevina sadrži ravni krov izveden sa parapetom u visini 0.4 m. Krov nema posebnu namjenu, a ograđen je sa svih strana za potrebe održavanja tlocrtne površine krova i pratećih instalacija na njemu.

Kolni pristup je na jugozapadnom dijelu parcele sa garažom za vozila u podrumu. Sa ceste se ulazi rampom u podzemnu garažu. Pješački pristup je osiguran preko zelene površine do prostora komunikacija.

Okolni teren zgrada prikladno će se hortikulturalno urediti. Svi infrastrukturni priključci izvest će se prema posebnim zahtjevima komunalnih i javnih poduzeća ili stručnih službi grada i županije.

1.2. OPIS NOSIVE KONSTRUKCIJE

U konstrukcijskom smislu građevinski kompleks je standardna armirano - betonska konstrukcija koja će se izvesti prema ovom projektu. Temelji objekta izvesti će se kao trakasti temelji ispod zidova i temeljne stope ispod stupova. Dubina temelja je definirana arhitektonskim i ovim projektom.

Sve međukatne konstrukcije su AB ploče. Debljina podne ploče je 15 cm, debljina međukatnih ploča je 18 cm, a debljina krovne ploče iznosi 15 cm.

Nosivi zidovi su debljine 20 cm, osim vanjskih zidova garaže koji su debljine 25 cm. Svi nosivi zidovi su betonski, s potrebnim termičkim slojevima. Točan položaj betonskih zidova dan je u grafičkim prilozima.

Sve ostale vertikalne pregrade izvedene su kao lagane pregrade, zidane porobetonskim blokovima (npr. Ytong) ili šupljom opekom i nisu tretirane ovim proračunom, osim kao dodatno opterećenje na pločama.

U garaži se nalaze 3 stupa dimenzije 80 x 20 cm, te jedan stup u prizemlju dimenzija 20 x 20 cm.

1.2.1. Temelji

Temelje objekta čine temeljne trake ispod zidova te temeljne stope ispod stupova koje su povezane sa trakama pomoću greda.

Nosivost tla dobivena ispitivanjem iznosti $\sigma = 400$ kPa. Predviđen je beton C 30/37, sa agregatom maksimalnog zrna 32 mm te je armiran s čelikom B 500B kako je prikazano u projektu. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min. 3.5 cm.

1.2.2. Zidovi

Nosivi zidovi su debljine 20 cm, osim vanjskih zidova garaže koji su debljine 25 cm. Svi nosivi zidovi su betonski, s potrebnim termičkim slojevima. Svi nosivi zidovi su izvedeni od betona C 30/37 i armirani s čelikom B 500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min. 3 cm. Sve ostale vertikalne pregrade izvedene su kao lagane pregrade, zidane porobetonskim blokovima (npr. Ytong) ili šupljom opekom i nisu tretirane ovim proračunom, osim kao dodatno opterećenje na pločama.

1.2.3. Stupovi

U garaži se nalaze 3 stupa dimenzije 80 x 20 cm, te jedan stup u prizemlju dimenzija 20 x 20 cm. Svi stupovi su povezani gredama. Svi stupovi su izvedeni od betona C 30/37 i armirani s čelikom B 500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min. 2.5 cm. U proračunu su dane osnovne dimenzije i količine armature za pojedine konstruktivne elemente. Elementi koji nisu računati armiraju se konstruktivno ($\geq$ 0.1% površine betonskog presjeka).

1.2.4. Grede

Sve grede su izvedene od betona C 30/37 i armirane s B 500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min. 2.5 cm. Grede su u sklopu zidova, koji čine okvir za prijenos horizontalnog i vertikalnog opterećenja.

1.2.5. Međukatne konstrukcije

Međukatnu nosivu konstrukciju zgrade tvore križno armirane betonske ploče. Debljina podne ploče je 15 cm, debljina međukatnih ploča je 18 cm, a debljina krovne ploče iznosi 15 cm. Izvode se od betona C 30/37 i armiraju armaturnim mrežama B 500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min. 2.5 cm.

1.3. OSNOVNA DJELOVANJA I KOMBINACIJE

Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u zonu za koju je zadano projektno ubrzanje tla $a_g = 0.263 \cdot g$. Konstrukcija seizmičke sile preuzima sustavom armiranobetonskih zidova i stupova, što je u skladu s Eurokodom 2 i Eurokodom 8. Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u III. zonu opterećenja vjetrom.

1.3.1. Osnovna djelovanja

Osnovna djelovanja, na čiji utjecaj se dokazuje mehanička otpornost i stabilnost predmetne građevine, obrađenja su u nastavku projektu u analizi opterećenja.

1.3.2. Osnovne kombinacije djelovanja

- **Granično stanje uporabljivosti**

Oznaka kombinacije	*Parcijalni faktor za opterećenje*	*Koristi se za*	*Parcijalni faktor za materijale*
GSU 1	osnovna kombinacija: **1.0 · (g + Δg) + 1.0 · q**	proračun progiba i pukotina AB ploča	beton: $\gamma_c = 1.5$ čelik: $\gamma_s = 1.15$
GSU 2	osnovna kombinacija: **1.0 · (g + Δg) + 1.0 · s**	proračun progiba i pukotina AB ploča	beton: $\gamma_c = 1.5$ čelik: $\gamma_s = 1.15$

- **Granično stanje nosivosti**

Oznaka kombinacije	*Parcijalni faktor za opterećenje*	*Koristi se za*	*Parcijalni faktor za materijale*
GSN 1	osnovna kombinacija: **1.35 · (g + Δg) + 1.5 · q**	proračun ploča, stupova, greda i zidova na vertikalna djelovanja kontrola naprezanja u tlu	beton: $\gamma_c = 1.5$ čelik: $\gamma_s = 1.15$
GSN 2	osnovna kombinacija: **1.35 · (g + Δg) + 1.5 · s**	proračun ploča, stupova, greda i zidova na vertikalna djelovanja kontrola naprezanja u tlu	beton: $\gamma_c = 1.5$ čelik: $\gamma_s = 1.15$
GSN 3	osnovna kombinacija: **1.35 · (g + Δg)+ 1.5 · q + 0,9 · (1,5) · S**	proračun zidova i stupova na horizontalna djelovanja kontrola naprezanja u tlu	beton: $\gamma_c = 1.3$ čelik: $\gamma_s = 1.0$
GSN 4	osnovna kombinacija: **1.35 · (g + Δg) + 1.5 · w_x**	proračun zidova i stupova na horizontalna djelovanja kontrola naprezanja u tlu	beton: $\gamma_c = 1.5$ čelik: $\gamma_s = 1.15$
GSN 5	osnovna kombinacija: **1.35 · (g + Δg) + 1.5 · w_y**	proračun zidova i stupova na horizontalna djelovanja kontrola naprezanja u tlu	beton: $\gamma_c = 1.5$ čelik: $\gamma_s = 1.15$
GSN 6	Potres: **1.0 · (g + Δg) + 0.3 · q + 1.0 · Sx**	proračun zidova i stupova na djelovanje potresa kontrola naprezanja u tlu	beton: $\gamma_c = 1.5$ čelik: $\gamma_s = 1.15$
GSN 7	Potres: **1.0 · (g + Δg) + 0.5 · q + 1.0 · Sy**	proračun zidova i stupova na djelovanje potresa kontrola naprezanja u tlu	beton: $\gamma_c = 1.5$ čelik: $\gamma_s = 1.15$

1.4. MATERIJALI

1.4.1. Beton

Projekt betona za sve konstruktivne elemente, odnosno za sve betone, treba izraditi Izvoditelj i dostaviti ga na suglasnost Projektantu. Projekt betona treba izraditi stručna osoba, detaljno i sveobuhvatno. U njemu treba precizno definirati za svaki element, odnosno za svaki različiti beton:

- fizikalno - mehanička svojstva (kakvoću)
- sastav (mješavinu)
- vodocementni faktor (konzistenciju)
- dodatke (superplastifikatori, ubrzivači, dodaci za prionjivost, dodaci za bubrenje i slično)
- način proizvodnje, transporta i ugradnje
- način zbijanja (vibriranja)
- njegu
- obradu spojnica (nastavci betoniranja)
- posebne zahtjeve, specifičnosti i sl.

U nastavku će se dati okvirne smjernice i zahtjevi koje treba uvažiti projekt betona, odnosno koje treba poštivati Izvoditelj.

Ivice elemenata trebaju biti precizno izvedene, ravne i u funkciji njihovog estetskog izgleda. U svemu treba poštivati predviđenu geometriju elemenata, te njihov projektirani prostorni položaj. Osobito voditi računa o izgledu vanjskih ploha betona. Sve vidljive plohe betona trebaju biti ravne, glatke i ujednačene boje. Nije dopuštena pojava segregacije u betonu. U slučaju eventualne segregacije, nisu dopuštena “krpanja” cementnim mortom. Sanacije takvih ploha treba obaviti stručno, prema posebnim rješenjima. Vodit računa o adekvatnoj ugradnji i njezi betona.

Osobito treba voditi računa o adekvatnoj njezi betona prvih 2 - 3 dana da se ne pojave štetne pukotine od skupljanja. Nisu propisani posebni zahtjevi na otpornost betona na mraz i vodo/zrako - propusnost. Oni su posredno obuhvaćeni kroz zahtijevanu kakvoću (čvrstoću) betona. U načelu se koriste uobičajeni beton C 30/37. Za sve podbetone (podloge) koristi se beton C 12/15. Za betone C 30/37 koristiti superplastifikatore.

1.4.2. Betonski čelik

Kao armatura koristi se betonski čelik B 500B (prema TPBK) za sve elemente, u obliku šipki ili mreža. Zaštitni slojevi betona do armature iznose 2.5 – 3.5 cm.

Veličinu zaštitnog sloja osigurati dostatnim brojem kvalitetnih razmačnika (distancera). Kvalitetu zaštitnog sloja osigurati kvalitetnom oplatom i ugradnjom betona, te dodacima betonu i ostalim rješenjima prema projektu betona. Veličina i kvaliteta zaštitnog sloja betona presudni su za trajnost objekta. U potpunosti poštivati projektirani raspored i položaj armaturnih šipki, koje trebaju biti nepomične kod betoniranja. Sva uporabljena armatura treba imati odgovarajuće ateste o kakvoći.

1.5. PRAVILNICI I NORME

Prilikom izrade predmetne projektne dokumentacije primijenjeni su sljedeći pravilnici i normativi:

- Zakon o prostornom uređenju i gradnji (N.N. 76/07)
- Tehnički propis za betonske konstrukcije (N.N. 101/05; 74/06; 85/06; 64/07)
- Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata (Sl. list 15/90)
- Zakon o zaštiti od požara (N.N. 58/93; 107/07)
- Zakon o zaštiti na radu (N.N. 59/96; 94/96; 114/03; 86/08)
- EN 1991 Eurokod 1 - Osnove proračuna i djelovanja na konstrukcije
- EN 1992 Eurokod 2 - Proračun betonskih konstrukcija
- EN 1998 Eurokod 8 - Projektiranje konstrukcija na potresno opterećenje

Sva opterećenja uzeta prema:

- HRN ENV 1991-2-1 - stalno i uporabno opterećenje
- HRN ENV 1991-2-4 - opterećenje vjetrom
- HRN ENV 1998-1-1 - potresno opterećenje

Svi ostali podaci i detalji relevantni za predmetni objekt dani su kroz projektna rješenja. Na osnovi ovog projekta potrebno je izraditi izvedbeni projekt sa svim relevantnim detaljima i dati ga na usvajanje projektantu ovog projekta. Također, za sve izmjene i dopune konzultirati projektanta.

1.6. PLAN KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE

1.6.1 Opće napomene

Predmetni je projekt izrađen sukladno Zakonu o građenju (N.N. br. 173/03), kojim su propisana tehnička svojstva bitna za građevinu.

Sve radove trebaju obavljati za to stručno osposobljene osobe, uz stalni stručni nadzor. Prije prelaska na iduću fazu radova, nužno je odobrenje nadzornog inženjera. Za svako odstupanje od projekta, te u slučaju nepredviđenih okolnosti, potrebna je konzultacija Projektanta. Izvoditelj je dužan u potpunosti poštivati sve mjere osiguranja i kontrole kvalitete. Svi upotrijebljeni materijali i svi izvedeni radovi trebaju udovoljavati zahtjevima važećih normi, propisa i pravila struke. Za vrijeme izvođenja radova potrebna je stalna nazočnost nadzornog inženjera, kontinuirani geodetski nadzor, te povremeni projektantski nadzor.

1.6.2. Postizanje zahtijevane geometrije

Od faze iskolčenja objekta, preko svih faza izgradnje do završetka objekta, nužan je stalni geodetski nadzor. Tijekom građenja vršiti:

- stalnu kontrolu geometrije svih elemenata i objekta kao cjeline
- kontrolu osiguranja svih točaka
- kontrolu postavljenih profila
- kontrolu repera i poligonalnih točaka

1.6.3. Zemljani radovi

- **Iskopi**

Tijekom radova na iskopima kontrolirati sljedeće:

- Iskop se obavlja prema profilima i visinskim kotama iz projektra, te sa propisanim nagibima pokosa iskopa (uzimajući u obzir geomehanička svojstva tla)
- Tijekom rada ne smije doći do potkopavanja ili oštećenja okolnih građevina ili okolnog tla
- Ne smiju se iskapati nepotrebno povećani ili štetni iskopi
- Ne smije se degradirati ili oštetiti temeljno tlo zbog nekontroliranih miniranja i neadekvatnih iskopa
- Za vrijeme rada na iskopu, pa do završetka svih radova na objektu, Izvođač je dužan osigurati pravilnu odvodnju, ne smije dozvoliti zadržavanje vode u iskopima
- Vrstu i karakteristiku temeljnog tla kontrolirati prema geotehničkom elaboratu, a dubine i gabarite iskopa prema građevinskom projektu građevine

- **Nasipi**

Kontrolu kvalitete materijala za izradu nasipa vršiti prema važećim normama. Kontrolom i tekućim ispitivanjima obuhvatiti:

- određivanje stupnja zbijenosti u odnosu na Proctorov postupak (Sz) ili određivanje modula stišljivosti (Ms)
- ispitivanje granulometrije nasipanog materijala

Nasipavanje izvoditi po propisanim debljinama slojeva i s propisanom zbijenošću. Kontrola zbijenosti vrši se probno po slojevima i obvezno na vrhu.

1.6.4. Betonski i armirano betonski radovi

- **Beton**

Sve komponente betona (agregat, cement, voda, dodaci), te beton kao materijal, trebaju udovoljavati zahtjevima važećih normi, propisa i pravila struke. Izvoditelj je dužan izraditi projekt betona u skladu s projektom konstrukcije i dostaviti ga na suglasnost projektantu objekta.

Kontrola kvalitete betona sastoji se od kontrole proizvodnje i kontrole suglasnosti s uvjetima projekta konstrukcije i projekta betona.

Betonski radovi moraju se izvoditi prema projektu konstrukcije i projektu betona, a u svemu sukladno s: Tehnički propis za betonske konstrukcije, te svim pratećim normativima

Kod projektiranog betona u projektu mora biti specificiran razred tlačne čvrstoće (marka betona) i to kao karakteristična vrijednost 95%-tne vjerojatnosti s kriterijima sukladnosti prema normi HRN EN 206-1.

Sastavni materijali od kojih se beton proizvodi, ili koji mu se pri proizvodnji dodaju, moraju ispunjavati zahtjeve normi na koje upućuje norma HRN EN 206-1 i zahtjeve prema Tehničkom propisu za betonske konstrukcije.

Zahtjevi za isporuku betona i informacije proizvođača betona korisniku moraju sadržavati podatke prema normi HRN EN 206-1.

Uzimanje uzoraka, priprema ispitnih uzoraka i ispitivanje svojstava svježeg betona provodi se prema normama niza HRN EN 12350, a ispitivanje svojstava očvrsnulog betona prema normama niza HRN EN 12390.

Eventualna vremenski ubrzana proizvodnja betonskih elemenata, u cilju ubrzanja građenja, dopuštena je samo uz poseban projekt tehnologije izvođenja i dokaz zahtijevanih svojstava prethodnim ispitivanjima.

Za svako odstupanje od projekta, nadzorni inženjer je dužan izvijestiti Projektanta i Investitora.

Nužna je njega ugrađenog betona da se ne pojave štetne pukotine, a u svemu prema projektu betona, važećim propisima i pravilima struke.

- **Betonski čelik**

Betonski čelik treba udovoljavati zahtjevima važećih propisa. Za čelik za armiranje primjenjuju se norme:

- nHRN EN 10080-1 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 1. dio: Opći zahtjevi (prEN 10080-1:1999)
- nHRN EN 10080-2 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 2. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda A (prEN 10080-2:1999)
- nHRNEN 10080-3 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 3. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda B (prEN 10080-3:1999)
- nHRN EN 10080-4 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 4. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda C (prEN 10080-4:1999)
- nHRN EN 10080-5 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 5. dio: Tehnički uvjeti isporuke zavarenih armaturnih mreža (prEN 10080-5:1999)
- nHRN EN 10080-6 Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 6. dio: Tehnički uvjeti isporuke zavarenih rešetki za gredice (prEN 10080-6:1999).

Potvrđivanje sukladnosti čelika za armiranje provodi se prema odredbama Dodataka ZA norme nHRN EN 10080-1 i odredbama posebnog propisa.

Uzimanje uzoraka, priprema ispitnih uzoraka i ispitivanje svojstava čelika za armiranje odnosno čelika za prednapinjanje, provodi se prema normama nizova nHRN EN 10080, odnosno nHRN EN 10138, i prema normama niza HRN EN ISO 15630 i prema normi HRN EN 10002-1.

Preklopi se izvode prema odredbama priznatim tehničkim pravilima iz Priloga H Tehničkog propisa za betonske konstrukcije, odnosno prema normi HRN ENV 1992-1-1:2004.

Sva armatura je iz čelika B 500B u obliku šipki ili mreža. Osobito poštivati projektom predviđene razmake i zaštitne slojeve armature. Ni jedno betoniranje elementa ne može započeti bez prethodnog detaljnog pregleda armature od strane nadzornog inženjera i njegove dozvole.

1.6.5. Prekidi betoniranja

Prekid i nastavci betoniranja konstrukcija moraju biti obrađeni projektom betona.

1.6.6. Ostali radovi i materijali

Svi materijali i proizvodi koji se ugrađuju u objekt trebaju biti kvalitetni i trajni, uz zadovoljenje svih važećih normi, propisa i pravila struke. Za sve se upotrijebljene materijale provode tekuća i kontrolna ispitivanja, odnosno prilažu atesti isporučitelja. Izvedba svih radova treba biti ispravna, kvalitetna i pod stalnim stručnim nadzorom. Za svako odstupanje primijenjenog gradiva ili gotovog proizvoda od projekta, potrebna je suglasnost Projektanta i Investitora.

Za vrijeme izvođenja radova potreban je stalni tehnički nadzor. Preporuča se stalni kvalificirani nadzor građevinske struke koji će moći realizirati sve postavke iz ovog proračuna.

1.6.7. Norme koje tretiraju radove u ovom programu kontrole

- **Norme za beton - osnovne norme**

HRN EN 206-1:2002	Beton – 1. dio: Specifikacije, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 206-1:2000)
HRN EN 206-1/A1:2004	Beton – 1. dio: Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 206-1:2000/A1:2004)
nHRN EN 206-1/A2	Beton – 1. dio: Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 206-1:2000/prA2:2004)

- **Norme za beton - ostale norme**

HRN EN 12350-1	Ispitivanje svježeg betona – 1. dio: Uzorkovanje
HRN EN 12350-2	Ispitivanje svježeg betona – 2. dio: Ispitivanje slijeganjem
HRN EN 12350-3	Ispitivanje svježeg betona – 3. dio: VeBe ispitivanje
HRN EN 12350-4	Ispitivanje svježeg betona – 4. dio: Stupanj zbijenosti
HRN EN 12350-5	Ispitivanje svježeg betona – 5. dio: Ispitivanje rasprostiranjem
HRN EN 12350-6	Ispitivanje svježeg betona – 6. dio: Gustoća
HRN EN 12350-7	Ispitivanje svježeg betona – 7. dio: Sadržaj pora – Tlačne metode
HRN EN 12390-1	Ispitivanje očvrsnulog betona – 1. dio: Oblik, dimenzije i drugi zahtjevi za uzorke i kalupe
HRN EN 12390-2	Ispitivanje očvrsnulog betona – 2. dio: Izradba i njegovanje uzoraka za ispitivanje čvrstoće
HRN EN 12390-3	Ispitivanje očvrsnulog betona – 3. dio: Tlačna čvrstoća uzoraka
HRN EN 12390-6	Ispitivanje očvrsnulog betona – 6. dio: Vlačna čvrstoća cijepanjem uzoraka
HRN EN 12390-7	Ispitivanje očvrsnulog betona – 7. dio: Gustoća očvrsnulog betona
HRN EN 12390-8	Ispitivanje očvrsnulog betona – 8. dio: Dubina prodiranja vode pod tlakom
prCEN/TS 12390-9	Ispitivanje očvrsnulog betona – 9. dio: otpornost na smrzavanje ljuštenjem
ISO 2859-1	Plan uzorkovanja za atributni nadzor – 1. dio: Plan uzorkovanja indeksiran prihvatljivim nivoom kvalitete (AQL) za nadzor količine po količine
ISO 3951	Postupci uzorkovanja i karta nadzora s varijablama nesukladnosti
HRN U.M1.057	Granulometrijski sastav mješavina agregata za beton
HRN U.M1.016	Beton. Ispitivanje otpornosti na djelovanje mraza

HRN EN 480-11	Dodaci betonu, mortu I injekcijskim smjesama – Metode ispitivanja – 11. dio: Utvrđivanje karakteristika zračnih pora u očvrsnulom betonu
HRN EN12504-1	Ispitivanje betona u konstrukcijama – 1. dio: Izvađeni uzorci – Uzimanje, pregled i ispitivanje tlačne čvrstoće
HRN EN 12504-2	Ispitivanje betona u konstrukcijama – 2. dio: Nerazorno ispitivanje – Određivanje veličine odskoka
HRN EN 12504-3	Ispitivanje betona u konstrukciji – 3. dio: Određivanje sile čupanja
HRN EN 12504-4	Ispitivanje betona u konstrukciji – 4. dio: Određivanje brzine ultrazvuka
prEN 13791:2003	Ocjena tlačne čvrstoće betona u konstrukcijama ili u konstrukcijskim elementima

- **Norme za čelik za armiranje - osnovne norme**

nHRN EN 10080-1	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 1.dio: Opći zahtjevi (prEN 10080-1:1999)
nHRN EN 10080-2	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 2. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda A (prEN 10080-2:1999)
nHRNEN 10080-3	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 3. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda B (prEN 10080-3:1999)
nHRN EN 10080-4	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 4. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda C (prEN 10080-4:1999)
nHRN EN 10080-5	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 5. dio: Tehnički uvjeti isporuke zavarenih armaturnih mreža (prEN 10080-5:1999)
nHRN EN 10080-6	Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 6. dio: Tehnički uvjeti isporuke zavarenih rešetki za gredice (prEN 10080-6:1999)

- **Norme za čelik za armiranje - Ostale norme**

HRN EN 10020	Definicije i razredba vrsta čelika
HRN EN 10025	Toplovaljani proizvodi od nelegiranih konstrukcijskih čelika – Tehnički uvjeti isporuke
HRN EN 10027-1	Sustavi označivanja čelika – 1. dio: Nazivi čelika, glavni simboli
HRN EN 10027-2	Sustavi označivanja čelika – 2. dio: Brojčani sustav
EN 10079	Definicije čeličnih proizvoda
HRN EN 10204	Metalni proizvodi – Vrste dokumenata o ispitivanju (uključuje dopunu A1:1995)
prEN ISO 17660	Zavarivanje čelika za armiranje
HRN EN 287-1	Provjera osposobljenosti zavarivača – Zavarivanje taljenjem – 1. dio: Čelici
HRN EN 719	Koordinacija zavarivanja – Zadaci i odgovornosti
HRN EN 729-3	Zahtjevi za kakvoću zavarivanja – Zavarivanje taljenjem metalnih materijala – 3. dio: Standardni zahtjevi za kakvoću
HRN EN ISO 4063	Zavarivanje i srodni postupci – Nomenklatura postupaka i referentni brojevi
HRN EN ISO 377	Čelik i čelični proizvodi – Položaj i priprema uzoraka i ispitnih uzoraka za mehanička ispitivanja
HRN EN 10002-1	Metalni materijali – Vlačni pokus – 1. dio: Metoda ispitivanja (pri sobnoj temperaturi)
HRN EN ISO 15630-1	Čelik za armiranje i prednapinjanje betona – Ispitne metode – 1. dio: Armaturne šipke i žice
HRN EN ISO 15630-2	Čelik za armiranje i prednapinjanje betona – Ispitne metode – 2. dio: Zavarene mreže

- **Ostale norme**

ENV 1992-1-1	Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija – 1. dio: Opća pravila i pravila za zgrade
ENV 1992-1-2	Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija – 1-2 dio: Opća pravila – Projektiranje konstrukcije na požar

Ovlaštene organizacije i institucije za atestiranje su na listi u Glasniku Zavoda kojeg izdaje Državni zavod za normizaciju i graditeljstvo.

Izvoditelj je dužan osiguravati dokaze o kvaliteti radova i ugrađenih proizvoda i opreme prema Zakonu i prema zahtjevima iz projekta (članak 20. Zakona o prostornom uređenju i gradnji NN. 76/07), te u tom smislu mora čuvati dokumentaciju o ispitivanju ugrađenog materijala, proizvoda i opreme prema programu ispitivanja iz glavnog projekta.

Nadzorni inženjer dužan je voditi računa da je kvaliteta radova, ugrađenih proizvoda i opreme u skladu sa zahtjevima projekta te da je kvaliteta dokazana propisanim ispitivanjima i dokumentima (članak 185. Zakona o prostornom uređenju i gradnji). Nadzorni inženjer dužan je da za tehnički pregled priredi završno izvješće o izvedbi građevine (članak 185. Zakona o prostornom uređenju i gradnji).

1.7. POSEBNI TEHNIČKI UVJETI

1.7.1. Oplate i skele

Skele i oplate moraju imati takvu sigurnost i krutost da bez slijeganja i štetnih deformacija mogu primiti opterećenja i utjecaje koji nastaju tijekom izvedbe radova. Skela i oplata moraju biti izvedeni tako da se osigurava puna sigurnost radnika i sredstava rada kao i sigurnost prolaznika, prometa, susjednih objekata i okoline uopće.

Materijali za izradu skela i oplata moraju biti propisane kvalitete. Nadzorni inženjer treba odobriti oplatu prije početka betoniranja. Kod izrade projekta oplate mora se uzeti u obzir kompaktiranje pomoću vibratora na oplati tamo gdje je to potrebno. Oplata mora sadržavati sve otvore i detalje prikazane u nacrtima, odnosno tražene od nadzornog inženjera.

Oplata odnosno skela treba osigurati da se beton ne onečisti. Obje moraju biti dovoljno čvrste i krute da odole pritiscima kod ugradnje i vibriranja i da spriječe ispupčenja. Nadzorni inženjer će, tamo gdje mu se čini potrebno, tražiti proračunski dokaz stabilnosti i progibanja. Nadvišenja oplate dokazuju se računski i geodetski se provjeravaju prije betoniranja. Oplata mora biti toliko vodonepropusna da spriječi istjecanje cementnog mlijeka. Ukoliko se za učvršćenje oplate rabe metalne šipke od kojih dio ostaje ugrađen u betonu, kraj stalno ugrađenog dijela ne smije biti bliži površini od 5 cm. Šupljina koja ostaje nakon uklanjanja šipke mora se dobro ispuniti, naročito ako se radi o plohama koje će biti izložene protjecanju vode. Ovakav način učvršćenja ne smije se upotrijebiti za vidljive plohe betona.

Žičane spojnice za pridržavanje oplate ne smiju prolaziti kroz vanjske plohe gdje bi bile vidljive.

Radne reške moraju biti, gdje god je moguće, horizontalne ili vertikalne i moraju biti na istoj visini zadržavajući kontinuitet. Pristup oplati i skeli radi čišćenja, kontrole i preuzimanja, mora biti osiguran. Oplata mora biti tako izrađena, naročito za nosače i konstrukcije izložene proticanju vode, da se skidanje može obaviti lako i bez oštećenja rubova i površine.

Površina oplate mora biti očišćena od inkrustacija i sveg materijala koji bi mogao štetno djelovati na izložene vanjske plohe. Kad se oplata premazuje uljem, mora se spriječiti prljanje betona i armature. Oplata, ukoliko je drvena, mora prije betoniranja biti natopljena vodom na svim površinama koje će doći u dodir s betonom i zaštićena od prianjanja za beton premazom vapnom.

Skidanje oplate se mora izvršiti čim je to provedivo, naročito tamo gdje oplata ne dozvoljava polijevanje betona, ali nakon što je beton dovoljno očvrsnuo. Svi popravci betona trebaju se izvršiti na predviđen način i to što je prije moguće. Oplata se mora skidati prema određenom redoslijedu, pažljivo i stručno, da se izbjegnu oštećenja. Moraju se poduzeti mjere predostrožnosti za slučaj neplaniranog kolapsa. Nadzorni inženjer će odrediti kad se mora, odnosno može, skidati oplata. Sve skele (za oplatu, pomoćne i fasadne) moraju se izvesti od zdravoga drva ili čeličnih cijevi potrebnih dimenzija.

Sve skele moraju biti stabilne, ukrućene dijagonalno u poprečnom i uzdužnom smislu, te solidno vezane sponama i kliještima. Mosnice i ograde trebaju biti također dovoljno ukrućene. Skelama treba dati nadvišenje koje se određuje iskustveno u ovisnosti o građevini ili proračunski.

Nadzorni inženjer mora zabraniti izradu i primjenu oplata i skela koje prema njegovom mišljenju ne bi mogle osigurati traženu kvalitetu lica gotovog betona ili su neprihvatljive kvalitete ili sigurnosti. Prijem gotove skele ili oplate vrši se vizualno, geodetskom kontrolom i ostalom izmjerom. Pregled i prijem gotove skele, oplate i armature vrši nadzorni inženjer. Bez obzira na odobrenu primjenu skela, oplate i armature, izvođač snosi punu odgovornost za sigurnost i kvalitetu radova.

1.7.2. Transport i ugradnja betona

S betoniranjem se može početi samo na osnovi pismene potvrde o preuzimanju podloge, skele, oplate i armature te po odobrenju programa betoniranja od nadzornog inženjera. Beton se mora ugrađivati prema unaprijed izrađenom programu i izabranom sistemu. Vrijeme transporta i drugih manipulacija sa svježim betonom ne smije biti duže od onog koje je utvrđeno u toku prethodnih ispitivanja (promjena konzistencije s vremenom pri raznim temperaturama). Transportna sredstva ne smiju izazivati segregaciju smjese betona. U slučaju transporta betona auto-miješalicama, poslije pražnjenja auto-miješalice treba oprati bubanj, a prije punjenja treba provjeriti je li ispražnjena sva voda iz bubnja. Zabranjeno je korigiranje sadržaja vode u gotovom svježem betonu bez prisustva tehnologa za beton.

Dozvoljena visina slobodnog pada betona je 1.0 m. Nije dozvoljeno transportiranje betona po kosinama. Sloj betona koji se ugrađuje mora vibriranjem biti dobro spojen s prethodnim donjim slojem betona. Ako dođe do prekida betoniranja, prije nastavka betoniranja površina donjeg sloja betona mora biti dobro očišćena ispuhivanjem i ispiranjem. Beton treba ubaciti što bliže njegovom konačnom položaju u konstrukciji da bi se izbjegla segregacija. Smije se vibrirati samo oplatom ukliješten beton. Nije dozvoljeno transportiranje betona pomoću pervibratora.

Ugrađeni beton ne smije imati temperaturu veću od 45 °C u periodu od 3 dana nakon ugradnje.

1.7.3. Betoniranje pri visokim vanjskim temperaturama

Za vrijeme visokih dnevnih temperatura (oko 30 °C), kada postoje poteškoće s održavanjem dozvoljene temperature svježeg betona, početak radova na betoniranju treba pomaknuti prema hladnijem dijelu dana (noć, jutro). Vrijeme od spravljanja betona do ugradnje treba biti što kraće, kako bi se izbjegli problemi pri pražnjenju transportnih sredstava i ugradnji zbog smanjenja obradivosti. U uvjetima vrućeg vremena najpogodnije je njegovanje vodom. Njegovanje treba početi čim beton počne očvršćivati. Ako je intenzitet isparavanja blizu kritične granice, površina se može finim raspršivanjem vode održavati vlažnom, bez opasnosti od ispiranja. Ukoliko se u svježem betonu pojave pukotine, treba ih zatvoriti revibriranjem.

Voda koja se upotrebljava za njegovanje ne smije biti mnogo hladnija od betona, kako razlike između temperature betona na površini i unutar jezgre ne bi prouzročile pojavu pukotina. Stoga je efikasan način njegovanja pokrivanje betona materijalima koji vodu upijaju i zadržavaju (juta, spužvasti materijal i sl.) te dodatno prekrivanje plastičnom folijom. Prekrivanje povoljno djeluje i na utjecaj razlika temperatura noć - dan.

1.7.4. Betoniranje pri niskim temperaturama

Betoniranje pri temperaturama nižim od +5 °C moguće je uz pridržavanje mjera za zimsko betoniranje. Da bi se omogućio normalni tok procesa stvrdnjavanja i spriječilo smrzavanje, odmah poslije ugradnje, beton se toplinski zaštićuje prekrivanjem otvorenih površina izolacijskim materijalima i izolacijom čeličnih oplata. Toplinska izolacija betona mora biti takva da osigura postizanje najmanje 50 % projektirane čvrstoće na pritisak prije nego što beton bude izložen djelovanju mraza. Pri temperaturama zraka nižim od +5 °C, temperatura svježeg betona mjeri se najmanje jedanput u toku 2 h.

1.8. OBAVEZE IZVOĐAČA

Izvođač je dužan na svoj trošak otkloniti sve nedostatke koji se ukažu u dogovorenom roku. Investitor može priznati samo količine materijala koje su ugrađene.

Sav neispravan ili nepropisan materijal ne smije se ugrađivati i mora se ukloniti s gradilišta. Po završetku svih radova izvođenja, treba izvršiti tehnički pregled i sastaviti zapisnik o nedostacima. Garantni rok za ispravnost ugrađenih materijala i izvršenih radova regulira se ugovorom o izvođenju radova. Za vrijeme garantnog roka izvođač je dužan da na poziv investitora otkloni sve nedostatke koje se u toku garantnog roka pojave.

Izvođač ne smije vršiti bušenja armirano betonskih konstrukcija bez prethodnog odobrenja i uputa nadzornog organa, što treba unijeti u građevinski dnevnik.

Izvođač je dužan nabaviti sve ateste za sav ugrađeni materijal.

Izvođač radova je obavezan da korisniku preda upute za rukovanje ugrađenom opremom.

1.9. NAČIN ZBRINJAVANJA GRAĐEVNOG OTPADA

Način zbrinjavanja građevnog otpada mora biti u skladu s propisima o otpadu. Osnovni propis iz tog područja su:

- Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13)

- Pravilnik o gospodarenju otpada (NN 23/14)

- Pravilnik o gospodarenju građevnim otpadom (NN 38/08)

Prema navedenom zakonu građevni otpad spada u inertni otpad jer uopće ne sadrži ili sadrži malo tvari koje podliježu fizikalnoj, kemijskoj i biološkoj razgradnji pa ne ugrožavaju okoliš. Nakon završetka radova gradilište treba očistiti od otpadaka i suvišnog materijala i okolni dio terena dovesti u prvobitno stanje.

Pravilnikom o vrstama otpada određeno je da je proizvođač otpada čija se vrijedna sredstva mogu iskoristiti dužan otpad razvrstavati na mjestu nastanka, odvojeno skupljati po vrstama i osigurati uvjete skladištenja za očuvanje kakvoće u svrhu ponovne obrade. Taj pravilnik predviđa slijedeće moguće postupke s otpadom:

- kemijsko-fizikalna obrada

- biološka obrada

- termička obrada

- kondicioniranje otpada

- odlaganje otpada

Kemijsko - fizikalna obrada otpada je obrada kemijsko - fizikalnim metodama s ciljem mijenjanja njegovih kemijsko-fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a može biti:

neutralizacija, taloženje, ekstrakcija, redukcija, oksidacija, dezinfekcija, centrifugiranje,

filtracija, sedimentacija, rezervna osmoza.

Biološka obrada je obrada biološkim metodama s ciljem mijenjanja kemijskih, fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a može biti: aerobna i anaerobna razgradnja.

Termička obrada je obrada termičkim postupkom. Provodi se s ciljem mijenjanja kemijskih, fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a može biti: spaljivanje, piroliza, isparavanje, destilacija, sinteriranje, žarenje, taljenje, zataljivanje u staklo.

Kondicioniranje otpada je priprema za određeni način obrade ili odlaganja, a može biti: usitnjavanje, ovlaživanje, pakiranje, odvodnjavanje, oprašivanje, očvršćivanje te postupci kojima se smanjuje utjecaj štetnih tvari koje sadrži otpad.

S građevnim otpadom treba postupiti u skladu s Pravilnikom o uvjetima za postupanje s otpadom. Taj pravilnik predviđa moguću termičku obradu za slijedeći otpad:

- drvo
- plastiku
- asfalt koji sadrži katran
- katran i proizvodi koji sadrže katran

Kondicioniranjem se može obraditi slijedeći otpad:

- građevinski materijali na bazi azbesta
- asfalt koji sadrži katran
- asfalt (bez katrana)
- katran i proizvodi koji sadrže katran
- izolacijski materijal koji sadrži azbest
- miješani građevni otpad i otpad od rušenja

Najveći dio građevnog otpada (prethodno obrađen ili neobrađen) može se odvesti u najbliže javno odlagalište otpada: beton, cigle, pločice i keramika, građevinski materijali na bazi gipsa, drvo, staklo, plastika, bakar, bronca, mjed, aluminij, olovo, cink, željezo i čelik, kositar, miješani materijali, kablovi, zemlja i kamenje i ostali izolacijski materijali.

Nakon završetka radova gradilište treba očistiti od otpada i suvišnog materijala, postupiti prema iznesenom, a okolni dio terena dovesti u prvobitno stanje.

1.10. UVJETI ODRŽAVANJA I PROJEKTIRANI VIJEK TRAJANJA

Građevina ne zahtijeva poseban tretman održavanja. Tehnološkim mjerama, koje su navedene u ovom projektu pokušalo se dobiti što kvalitetniju i trajniju konstrukciju. U tom smislu neophodno je poštovati mjere za postizanje kvalitete materijala i konstrukcija, kao i posebne tehničke uvjete. U cilju održavanja konstrukcije te povećanja njenog vijeka trajanja, potrebno je povremeno vršiti vizualne kontrole (najmanje jednom godišnje).

Posebnu pažnju obratiti na:

- pukotine u AB konstrukciji,
- veće deformacije (progibe) AB elemenata,
- moguće otpadanje dijelova konstrukcije (raspucavanje i otpadanje komada betona),
- koroziju armature,
- raspucavanje, nadizanje i otpadanje boje s metalnih elemenata.

Očekivani vijek trajanja građevine je 50 godina.

Preduvjet za postizanje očekivanog vijeka trajanja je pravilno održavanje u skladu s prethodno navedenim zahtjevima te zakonima i pravilima struke.

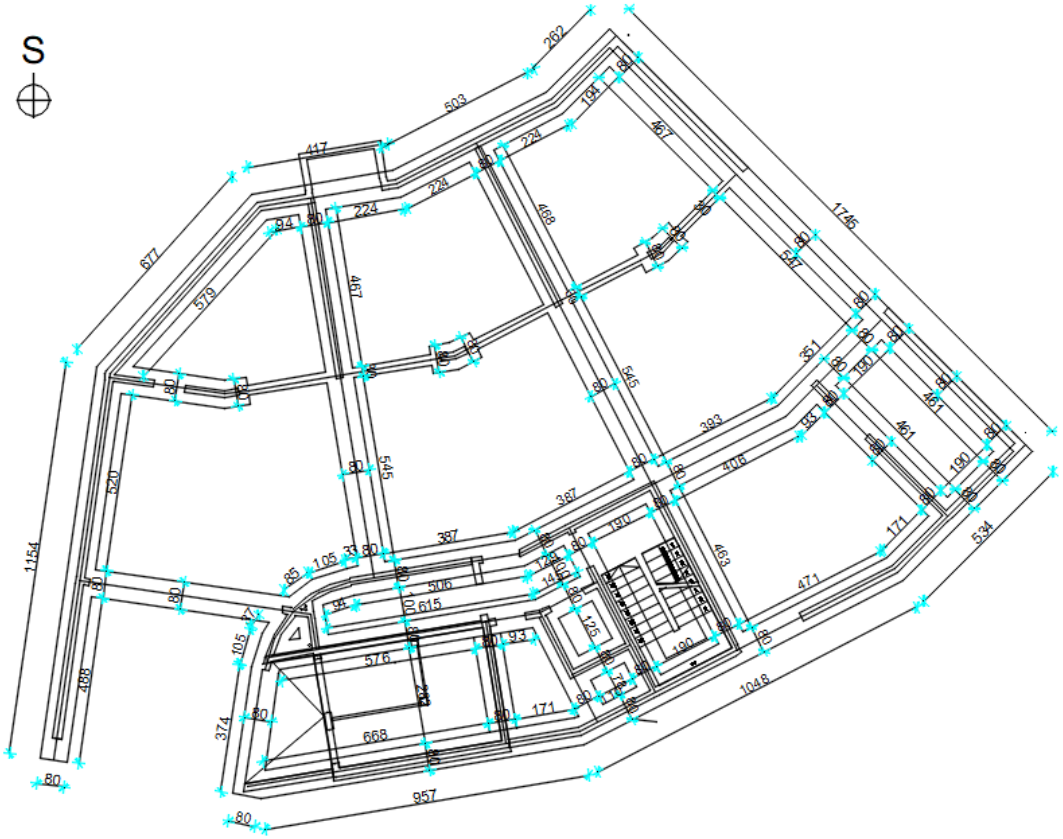
1.11. IZGLED I GEOMETRIJA OBJEKTA

Slika 1.2. Prikaz cijelog kompleksa

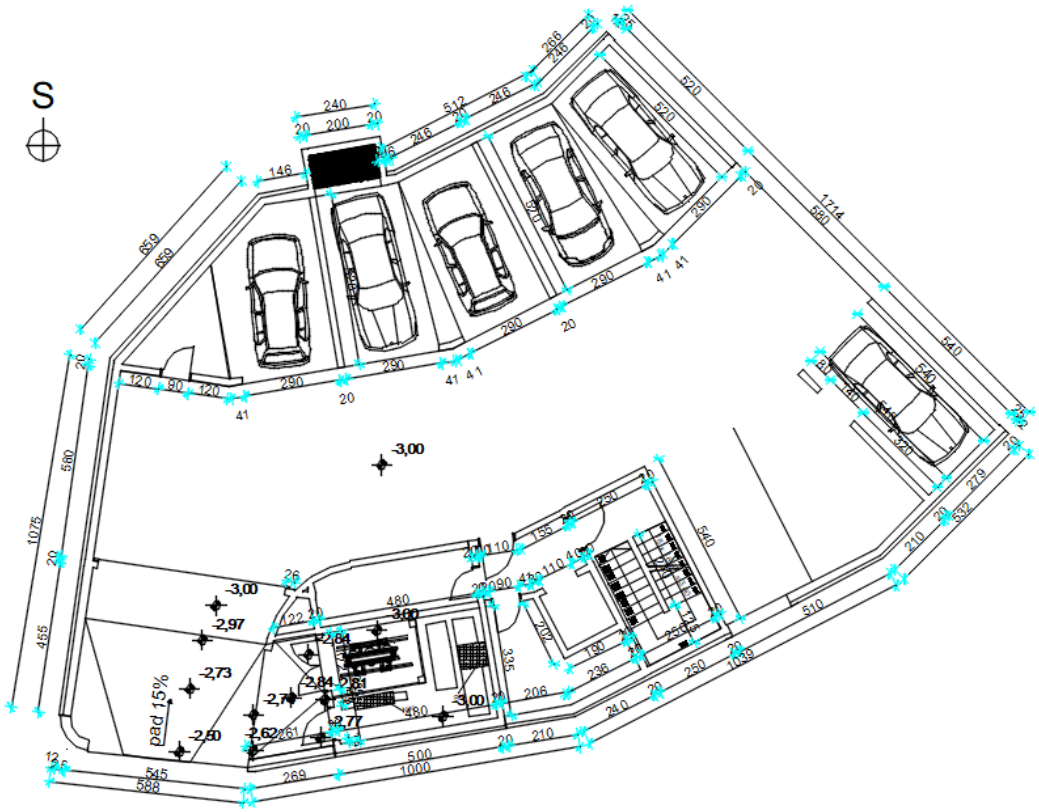
Slika 1.3. Prikaz objekta

Slika 1.4. Prikaz objekta

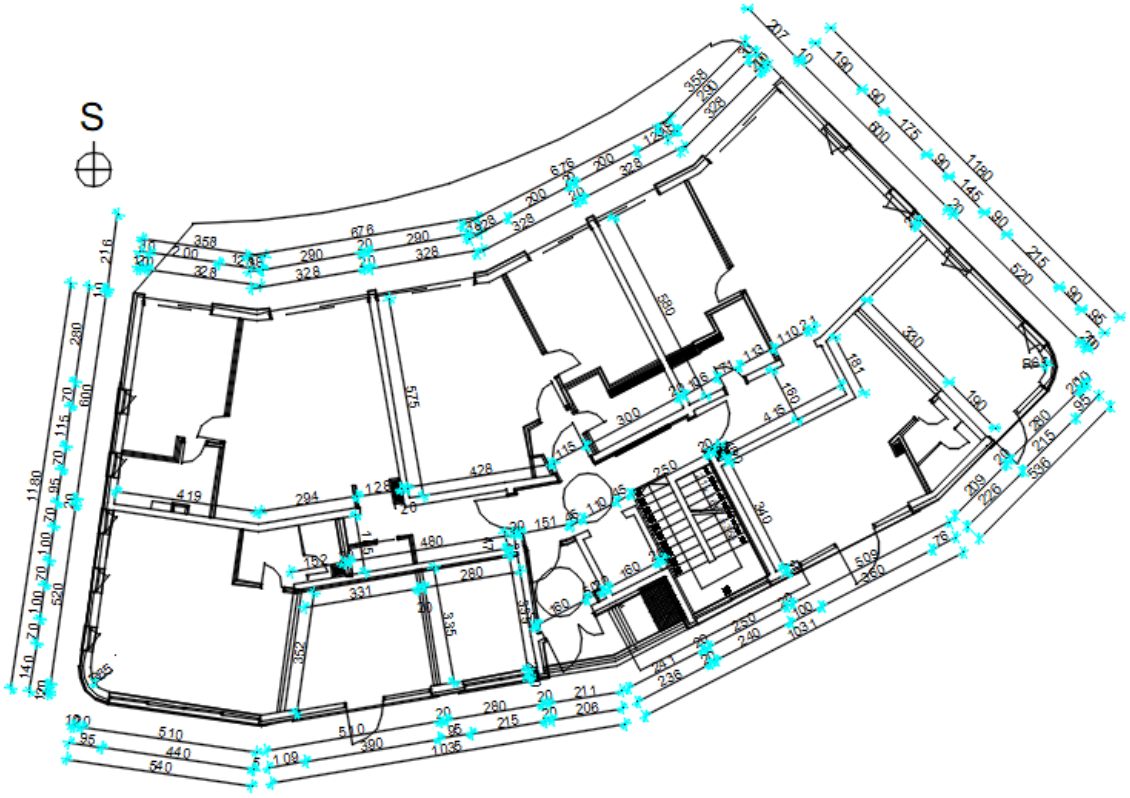
Slika 1.5. Prikaz objekta



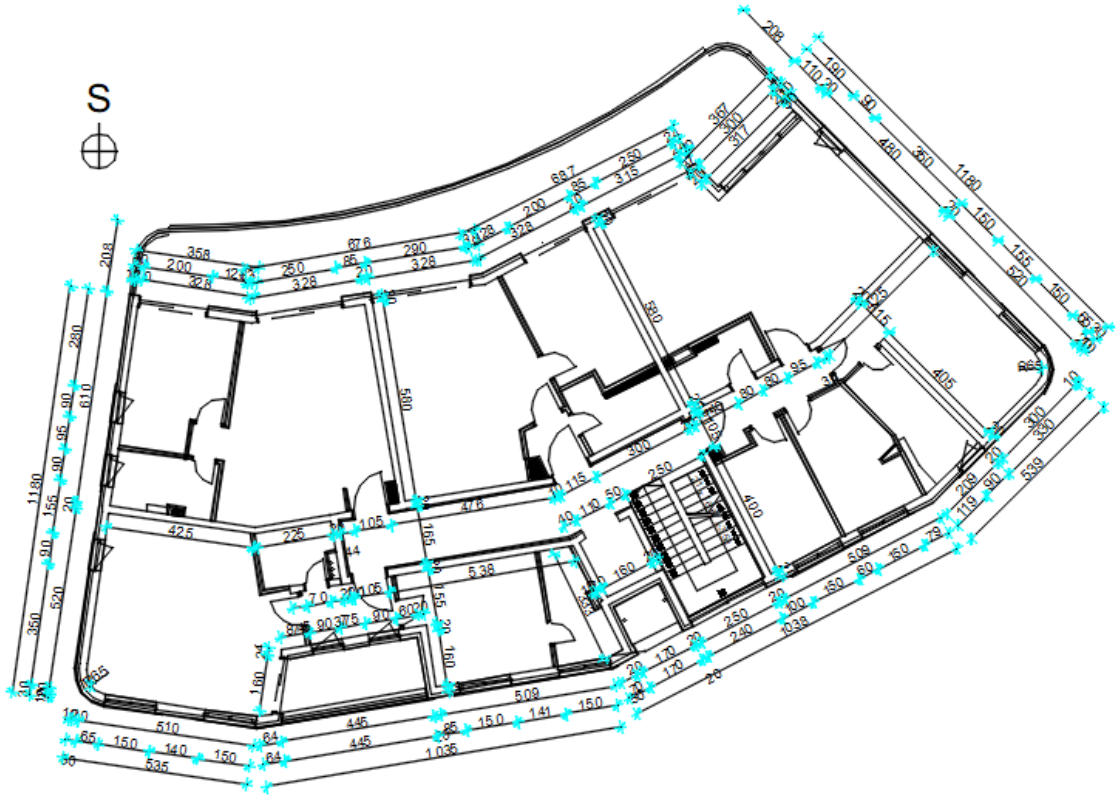
Slika 1.6. Tlocrt temelja



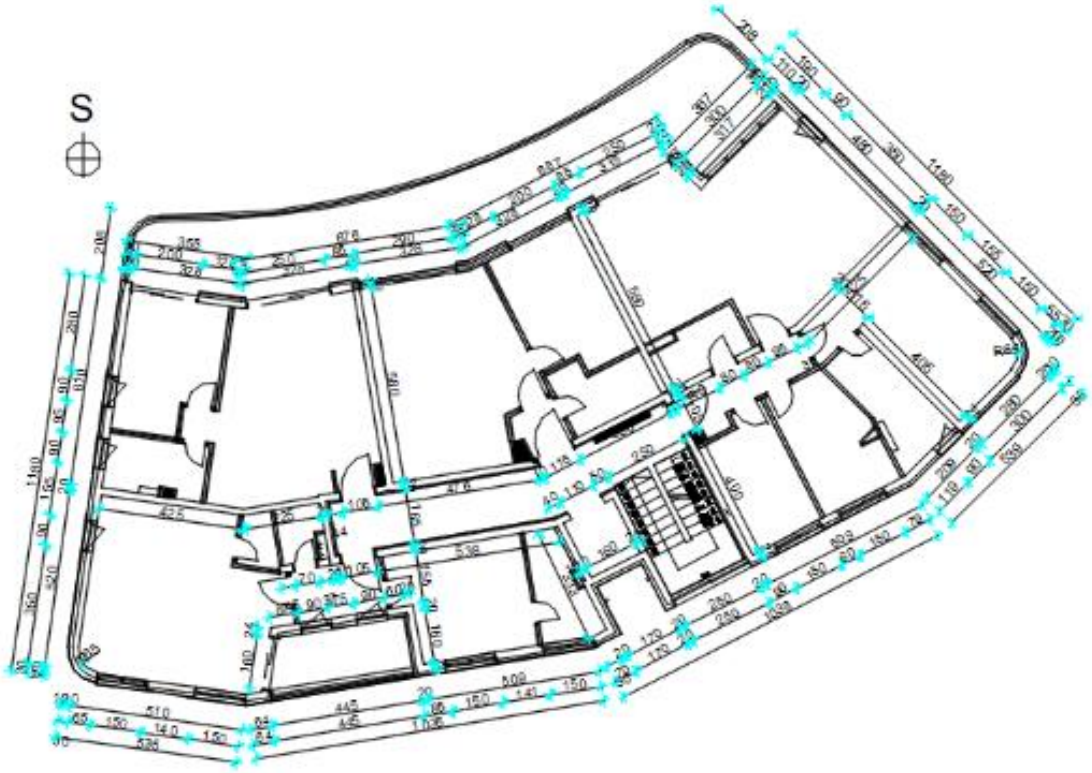
Slika 1.7. Tlocrt garaže



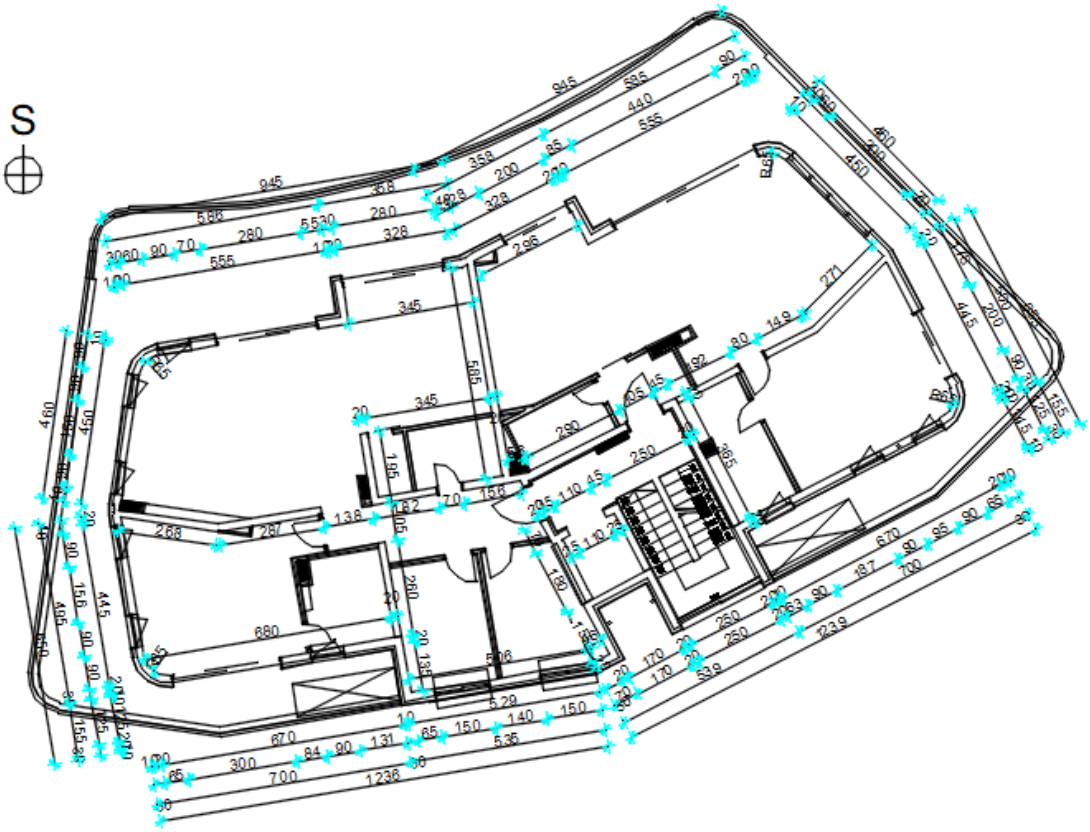
Slika 1.8. Tlocrt prizemlja



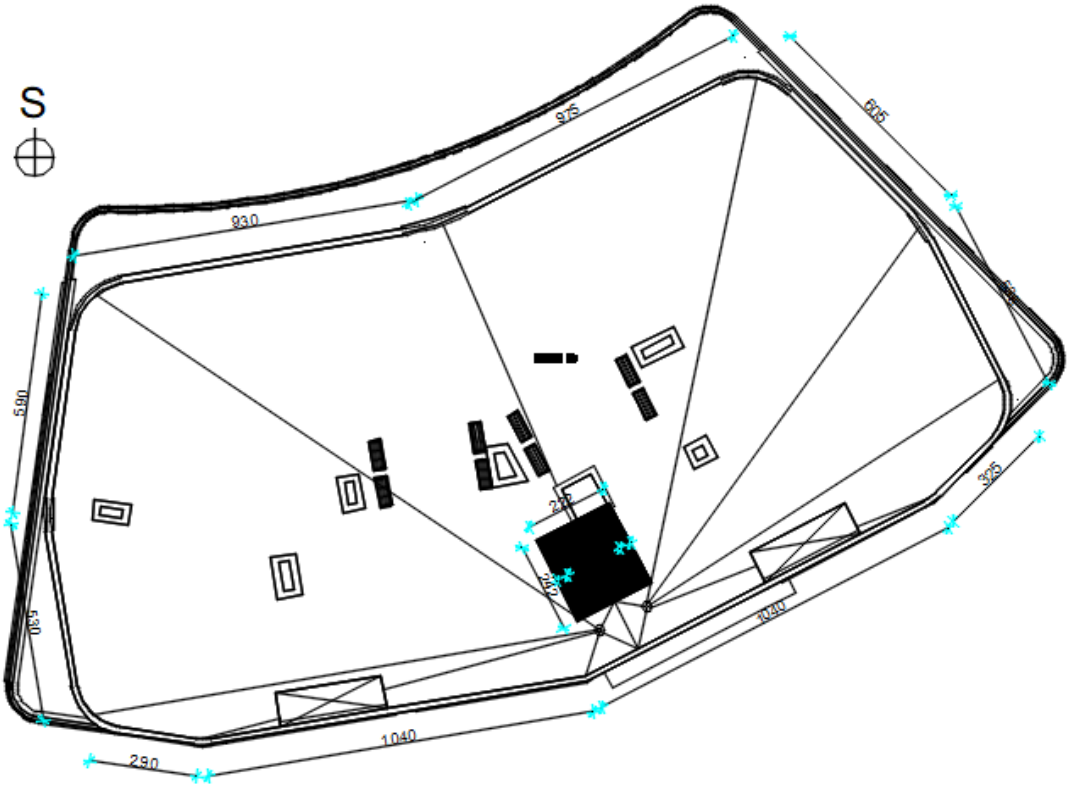
Slika 1.9. Tlocrt 1. kata



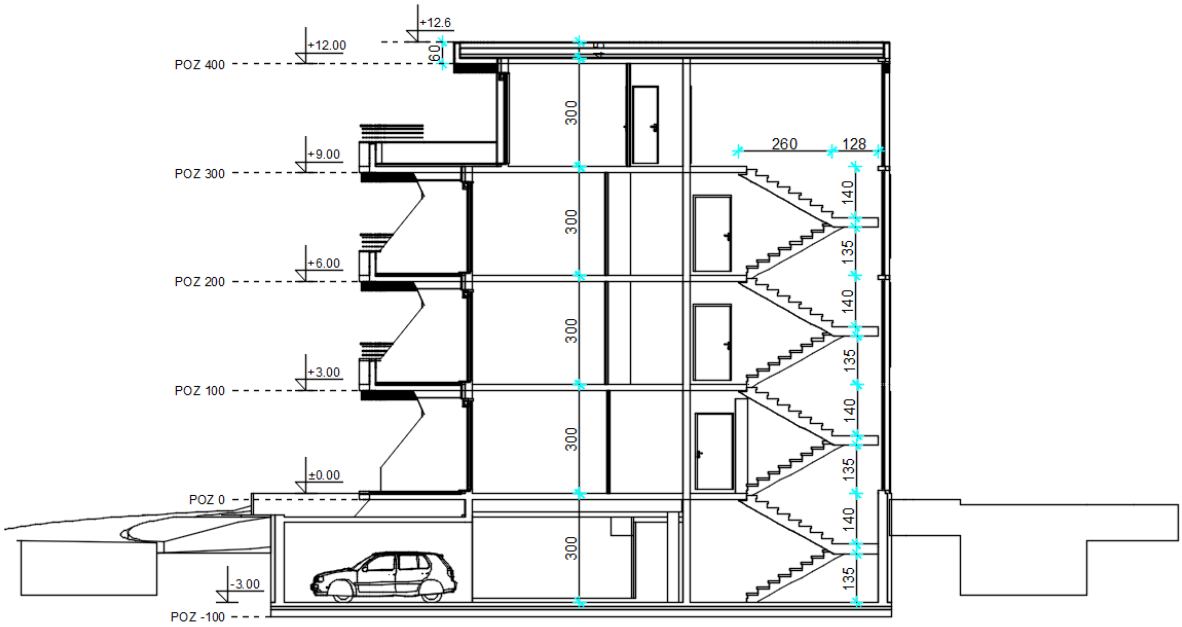
Slika 1.10. Tlocrt 2. kata



Slika 1.11. Tlocrt 3. kata



Slika 1.12. Tlocrt krova



Slika 1.13. Presjek A - A

2. PLANOVI POZICIJA

Planovi pozicija i relevantni tlocrti i presjeci prikazani su u grafičkim prilozima. Ploče su označavane velikim slovom P (P0, P100...) i pripadajućim brojem, grede su označavane velikim slovom G (G01,G102,..) i pripadajućim brojem, stupovi velikim slovom S (S1,S2..) i pripadajućim brojem, temeljne trake velikim slovima TT te temeljne stope velikim slovima TS.

U grafičkim prilozima numeričkog proračuna vidljiva je potrebna količina armature na pojedinim mjestima u ploči.

Svi računalni proračuni su izvršeni računalnim programom "Scia Engineer 2019". Zbog opširnosti projekta prikazani su samo oni rezultati koji su smatrani relevantnim. Svi ulazni i izlazni podaci se mogu, na zahtjev, dobiti kod autora ovog projekta.

Svi ostali podaci i detalji relevantni za predmetni objekt dani su kroz projektna rješenja. Za sve izmjene i dopune konzultirati projektanta.

3. ANALIZA OPTEREĆENJA

Sva opterećenja uzeta su prema:

HRN ENV 1991-1	Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije - 1. dio: Osnove projektiranja (ENV 1991-1:1994)
HRN ENV 1991-2-1	Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije - 2 - 1. dio: Djelovanja na konstrukcije - Prostorne težine, vlastite težine, uporabna opterećenja (ENV 1991-2-1:1995)
HRN ENV 1991-2-2	Eurokod 1: Osnove proračuna i djelovanja na konstrukcije - 2 - 2. dio: Djelovanja na konstrukcije - Djelovanja na konstrukcije izložene požaru (ENV 1991-2-2:1995)
HRN ENV 1991-2-3	Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije - 2 - 3. dio: Djelovanja na konstrukcije - Opterećenje snijegom (ENV 1991-2-3:1995)
HRN ENV 1991-2-4	Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije - 2 - 4. dio: Djelovanja na konstrukcije - Opterećenje vjetrom (ENV 1991-2-4:1995)
HRN ENV 1991-2-6	Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije - 2 - 6. dio: Djelovanja na konstrukcije - Djelovanja tijekom izvedbe (ENV 1991-2-6:1997)
HRN ENV 1991-2-7	Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije - 2 - 7. dio: Djelovanja na konstrukcije - Izvanredna djelovanja prouzročena udarom i eksplozijom (ENV 1991-2-7:1998)
HRN ENV 1998-1-1:2005	Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potres - 1 - 1. dio: Opća pravila - Potresna djelovanja i opći zahtjevi za konstrukcije (ENV 1998-1-1:1994)

3.1. PLOČA KROVA (POZ 400)

a) Stalno opterećenje

Uključeno je kroz numerički model.

b) Dodatno stalno opterećenje

Tablica 3.1. Iznos opterećenja od slojeva poda krova

Slojevi krova	**d (m)**	**γ (kN/m^3)**	**d × γ (kN/m^2)**
Betonske ploče	0.04	25.0	1.0
Pijesak	0.03	17.0	0.51
PE folija	0.005	-	-
Hidroizolacija	0.01	5.0	0.05
Termoizolacija	0.08	1.0	0.08
Parna brana	0.005	-	-
Beton za pad	0.08	24.0	1.92
Podgled (žbuka)	0.01	19.0	0.19
		Ukupno:	**Δg = 3.75 kN/m^2**

- Opterećenje od nadozida

Opterećenje od nadozida visine 40 cm i debljine 15 cm stavljeno je kao linijsko na rubu ploče:

$p = 25\ kN/m^3 \cdot (0.4 \cdot 0.15) = 1.5\ kN/m'$

c) Pokretno (korisno) opterećenje

$q = 1\ kN/m^2$ - za neprohodan krov

3.2. PLOČE KATOVA (POZ 100 - 300)

a) Stalno opterećenje

Uključeno je kroz numerički model.

b) Dodatno stalno opterećenje

Tablica 3.2. Iznos opterećenja od slojeva poda

Slojevi poda	**d (m)**	**γ (kN/m^3)**	**d × γ (kN/m^2)**
Završni sloj poda	0.02	15.0	0.3
AB estrih	0.05	24.0	1.2
PVC folija	0.005	-	-
Termoizolacija	0.03	1.0	0.03
Parna brana	0.005	-	-
Podgled (žbuka)	0.01	19.0	0.19
Pregradni zidovi	-	-	1
		Ukupno:	**Δg = 2.72 kN/m^2**

Opterećenje je uvećano zbog pregradnih zidova u konstrukciji čija je analiza objašnjena u jednoj od sljedećih točaka.

- Opterećenje od nadozida na balkonima

Opterećenje od nadozida visine 70 cm i debljine 15 cm stavljeno je kao linijsko na rubovima balkona:

$p = 25\ kN/m^3 \cdot (0.7 \cdot 0.15) = 2.63\ kN/m'$

c) Pokretno (korisno) opterećenje

$q = 2\ kN/m^2$ - za uobičajene prostorije

$q = 4\ kN/m^2$ - za balkone

3.3. PLOČA PRIZEMLJA (POZ 0)

a) Stalno opterećenje

Uključeno je kroz numerički model.

b) Dodatno stalno opterećenje

Tablica 3.3. Iznos opterećenja od slojeva poda

Slojevi poda	**d (m)**	**γ (kN/m^3)**	**d × γ (kN/m^2)**
Završni sloj poda	0.02	15.0	0.3
AB estrih	0.05	24.0	1.2
PVC folija	0.005	-	-
Termoizolacija	0.03	1.0	0.03
Parna brana	0.005	-	-
Podgled (žbuka)	0.01	19.0	0.19
Pregradni zidovi	-	-	1
		Ukupno:	**Δg = 2.72 kN/m^2**

Opterećenje je uvećano zbog pregradnih zidova u konstrukciji čija je analiza objašnjena u jednoj od sljedećih točaka.

- Opterećenje od zemlje

Tablica 3.4. Iznos opterećenja od slojeva zemlje

Slojevi poda	**d (m)**	**γ (kN/m^3)**	**d × γ (kN/m^2)**
Zemlja	0.12	18.0	2.16
Drenaža	0.06	20.0	1.2
Hidroizolacija	0.01	5	0.05
Termoizolacija	0.08	1.0	0.08
Parna brana	0.005	-	-
Cementna glazura	0.015	21.0	0.315
Podgled (žbuka)	0.01	19.0	0.19
		Ukupno:	**Δg = 4.0 kN/m^2**

c) Pokretno (korisno) opterećenje

q = 2 kN/m^2 - za uobičajene prostorije

3.4. PLOČA GARAŽE - PODNA PLOČA (POZ -100)

a) Stalno opterećenje

Uključeno je kroz numerički model.

b) Dodatno stalno opterećenje

Tablica 3.5. Iznos opterećenja od slojeva poda

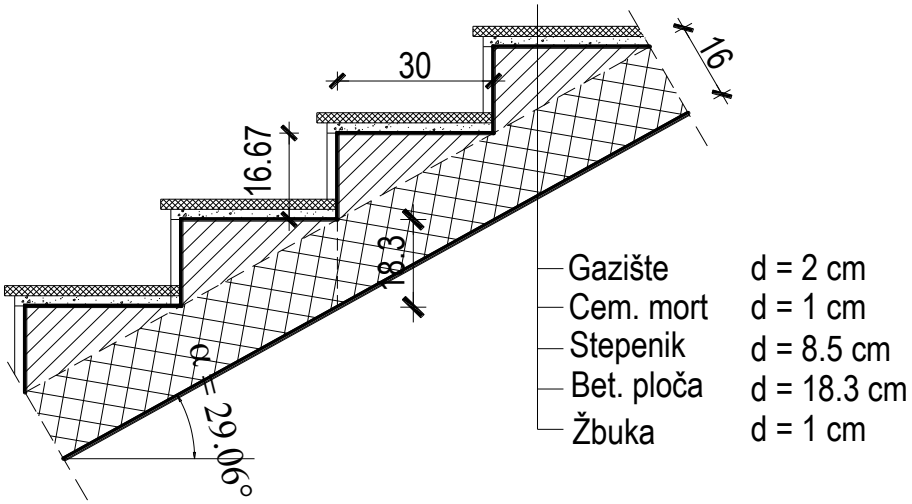
Slojevi poda	**d (m)**	**γ (kN/m^3)**	**d × γ (kN/m^2)**
Završni sloj poda	0.02	20.0	0.4
Beton za pad	0.05	24.0	1.44
Hidroizolacija	0.01	5	0.05
Pregradni zidovi	-	-	1
		Ukupno:	**Δg = 2.9 kN/m^2**

Opterećenje je uvećano zbog pregradnih zidova u konstrukciji čija je analiza objašnjena u jednoj od sljedećih točaka.

c) Pokretno (korisno) opterećenje

q = 2 kN/m^2 - površine za lagana vozila, težine do 30 kN

3.5. STUBIŠTE



Slika 3.1. Prikaz dimenzija i slojeva stubišta

$$tg\alpha = \frac{v_{st}}{š_{st}} = \frac{16.67}{30} = 0.556 \Rightarrow \alpha = 29.06^{\circ}$$

$$h' = \frac{h}{\cos\alpha} = \frac{16}{\cos 29.06^{\circ}} = 18.3\ cm$$

a) Stalno opterećenje

Uključeno je kroz numerički model

b) Dodatno stalno opterećenje

Tablica 3.6. Iznos opterećenja od slojeva stubišta

Slojevi stubišta	**d (m)**	**γ (kN/m^3)**	**d × γ (kN/m^2)**
Kamene ploče (gazište)	0.02	28.0	0.56
Cementni mort	0.01	21.0	0.21
Stepenik	0.085	24	2.04
Žbuka	0.01	19	0.19
		Ukupno:	**Δg = 3 kN/m^2**

c) Pokretno (korisno) opterećenje

q = 3 kN/m^2 - za stubišta

3.6. TEŽINA ZIDOVA

Zgrada ima dominantne armirano - betonske zidove i lagane pregradne zidove (porobeton ili gips kartonski).

Prema europskoj normi HRN EN 1991-1-1, uz uvjet da strop dopušta razdiobu opterećenja, vlastita težina pregradnih zidova može se uzeti u obzir dodavanjem jednoliko raspodijeljenog opterećenja $q_{k(P)}$. Time se uzima u obzir jednoliko raspodijeljeno opterećenje ovisno o vlastitoj težini pregrada.

Pojednostavljeno, dodatna težina predgrada procijenjena je na:

$q_{k(P)} = 1.0\ kN/m^2$

Dodatno stalno opterećenje pregradnih zidova pridodano je dodatnom stalnom opterećenju ploča katova i prizemlja kako bi se pojednostavilo nanošenje opterećenja na objekt. Sustav je i dalje opterećen iznosima koje predstavljaju najkritičnije opterećenje za promatranu konstrukciju.

Težina nadozida na rubu krova te rubovima balkona su također uzeti u obzir kao linijsko opterećenje.

Težina armirano - betonskih zidova koji se oslanjaju direktno na ploču i koji su opterećenje na ploču, uzeti su u obzir.

3.7. OPTEREĆENJE OD TLA NA ZIDOVE GARAŽE

Zidovi garaže bočno su opterećeni težinom tla. Uzeto je da specifična težina tla iznosi g = 19 kN/m^3. Opterećenje je naneseno kao 'free surface load' pomoću karakterističnih točaka u kojima je izračunato opterećenje.

Horizontalni bočni tlak uslijed opterećenja tlom računamo kao : $\sigma_h = \sigma_v \cdot K_0$

K_0 = 0.4 - koeficijent tlaka mirovanja

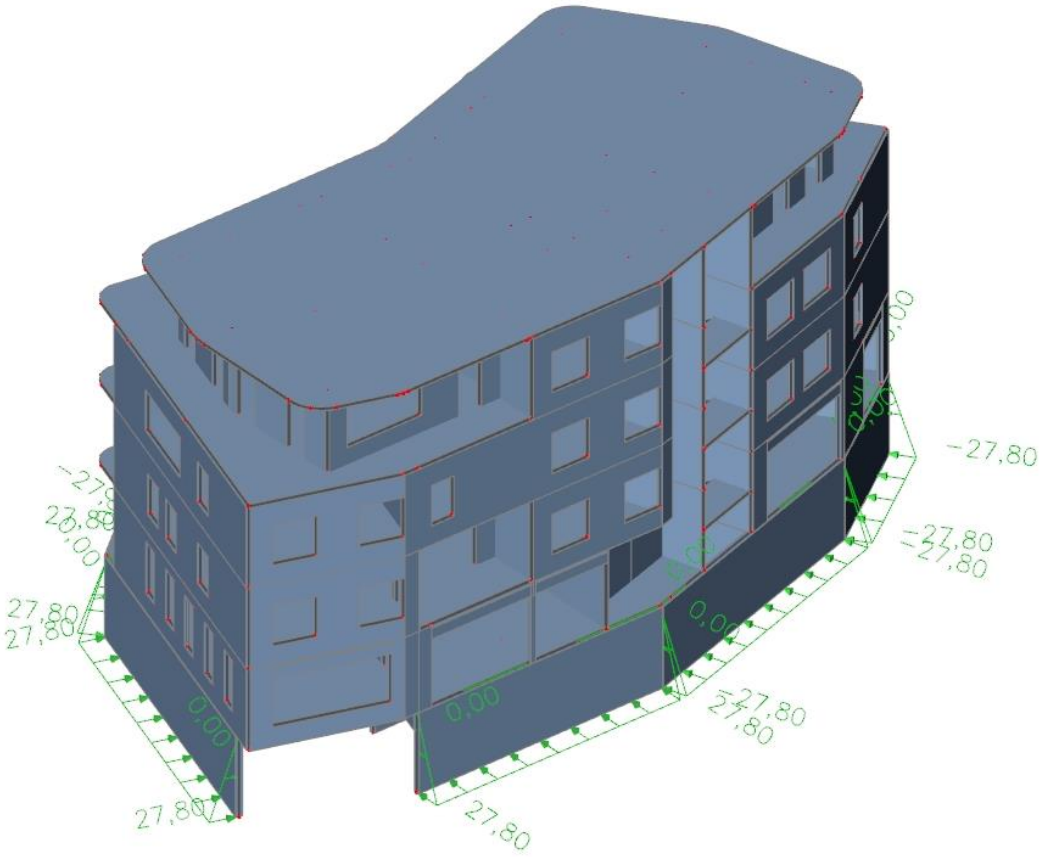
$\sigma_v = \gamma_{tla} \cdot H$ - vertikalno naprezanje u tlu

γ_{tla} = 19 kN/m^3 - jedinična težina tla za slojeve lapora slične vapnencu

H = 3 m - visina zida ispod tla, q_0 = 5 kN/m^2 - dodatno opterećenje od automobila

$p_a = 19 \cdot 3 \cdot 0.4 = 22.8$ kN/m^2

$p_a + q_0$ = 22.8 + 5 = 27.8 kN/m^2



Slika 3.2. Prikaz opterećenja od tla na zidove garaže

3.8. OPTEREĆENJE SNIJEGOM

Analiza opterećenja snijegom na konstrukciju provodi se prema HRN EN1991-1-3. Opterećenje snijegom na krovove (gravitacijsko opterećenje) definira se izrazom:

$$s = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k \qquad \left[kN / m^2\right]$$

gdje je:

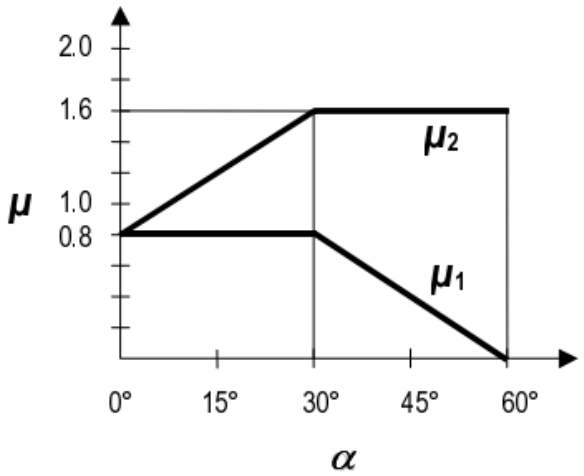
μ_i - koeficijent oblika opterećenja snijegom prema tipu i nagibu krova

C_e - koeficijent izloženosti, uzima u obzir uvjete puhanja vjetra
$C_e = 1.0$

C_t - toplinski koeficijent, uzima u obzir utjecaj snijega uslijed topljenja
$C_t = 1.0$

s_k - karakteristična vrijednost opterećenja snijegom prema geografskoj lokaciji i nadmorskoj visini

Utjecaj geometrije krova uzet je u obzir s koeficijentom oblika opterećenja snijegom, μ, u ovisnosti o nagibu krova.



Slika 3.3. Dijagram za određivanje koeficijent oblika opterećenja snijegom na krovu u ovisnosti o kutu α

Za ravni krov očitano: $\mu_i = 0.8$

Tablica 6. Karakteristična opterećenja snijegom (s_k) u zonama na različitim nadmorskim visinama

Nadmorska visina [m]	s_k [kN/m^2]			
	I	II	III	IV
0	0,88	0,75	0,14	0,18
100	1,09	1,05	0,45	0,33
200	1,31	1,38	0,80	0,50
300	1,55	1,76	1,20	0,70
400	1,80	2,18	1,65	0,92
500	2,06	2,63	2,15	1,16
600	2,34	3,13	2,70	
700	2,63	3,68	3,30	
800	2,94	4,26	3,95	
900	3,26	4,88	4,65	
1000	3,60	5,55	5,40	
1100	3,94	6,26	6,20	
1200	4,31	7,01	7,05	
1300		7,80	7,95	
1400		8,63	8,90	
1500		9,50	9,90	
1600		10,42	10,94	
1700		11,38	12,04	

Slika 3.4. Klimatske zone karakterističnog opterećenja snijegom s_k (kN/m^2)

Za otok Korčula, zona III, nadmorske visine do 100 m, za potrebe proračuna očitano:

$s_k = 0.45$ (kN/m^2)

Opterećenje snijegom:

$s = 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.45 = 0.36$ kN/m^2

3.9. OPTEREĆENJE VJETROM

Opterećenje vjetrom je promjenjivo slobodno djelovanje. Pojednostavljeni postupak vjetrenog opterećenja može se koristiti za zgrade visine manje od 200 m te se djelovanje vjetra uzima kao zamjenjujuće statičko opterećenje. U nastavku je prikazan pojednostavljen proračun.

Opterećenje vjetrom definirano je Eurokodom 1991-1-4 – Djelovanje vjetra (Eurocode 1: Actions on structures - General actions - Part 1-4: Wind actions).

$v_{b,0}$ (ili $v_{ref,0}$ - u prednormi) je osnovna poredbena brzina vjetra ovisna o geografskom položaju objekta (dana na mapi na sljedećoj stranici). Osnovna poredbena vrijednost brzine vjetra je karakteristična srednja 10 - minutna vrijednost brzine vjetra, neovisna o smjeru vjetra, vremenu i godišnjem dobu, na 10 m iznad površine otvorenog terena, koji može biti obrastao travom i grmljem i manjim preprekama.

Vrijednost osnovne poredbene brzine vjetra $v_{b,0}$ (na mapi) dodatno se korigira s obzirom na smjer vjetra, godišnje doba i nadmorsku visinu, te se tako dobiva poredbena (referentna) brzina vjetra:

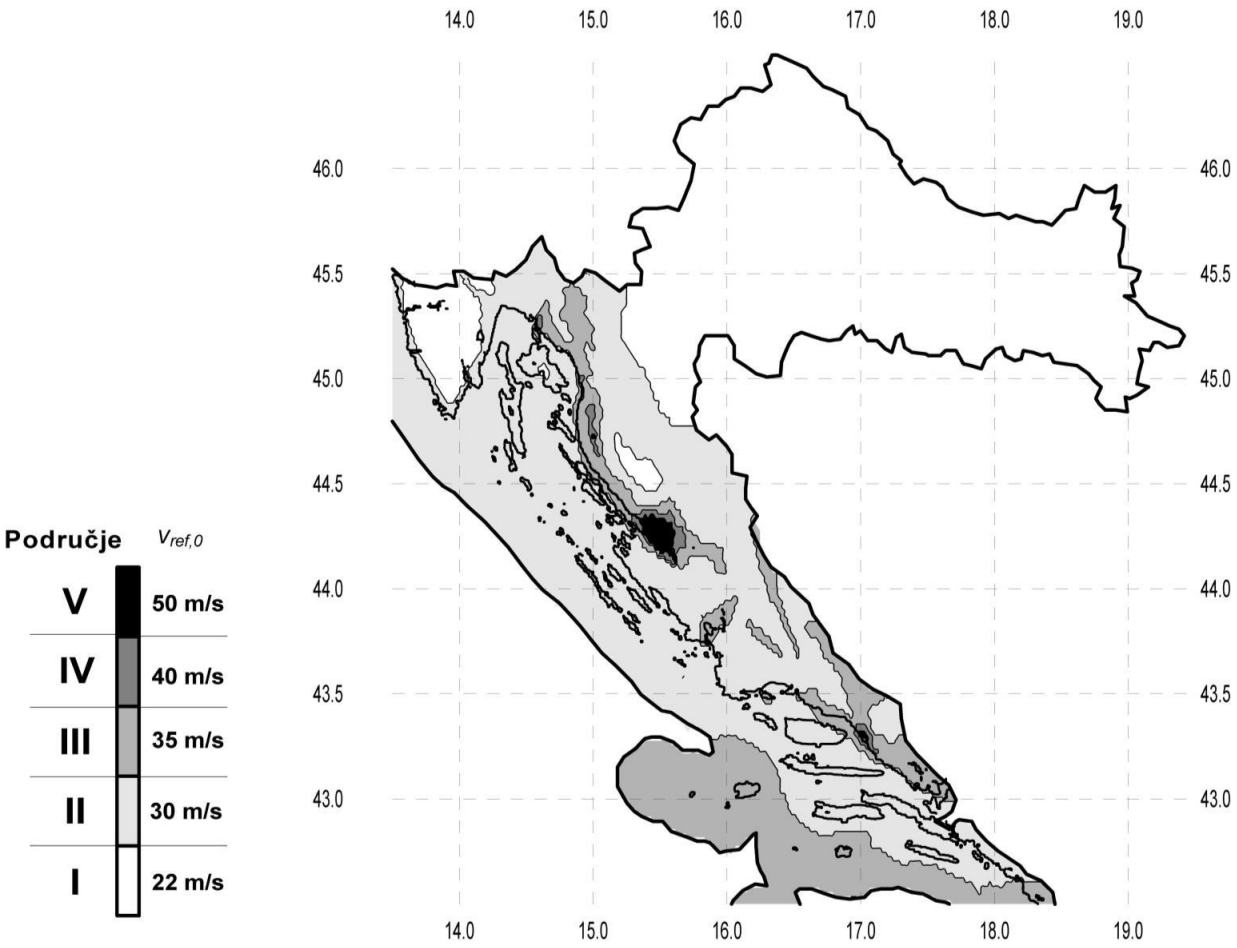
$$v_b = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{b,0}$$

Koeficijent smjera vjetra (c_{DIR}) proizlazi iz odnosa brzine vjetra za različiti smjer vjetra i uzima se za cijelo područje Hrvatske c_{DIR} =1.0.

Koeficijent godišnjeg doba (c_{TEM}) uzima se za cijelo područje Hrvatske c_{TEM} = 1.0. Koeficijent nadmorske visine (c_{ALT}) koji obuhvaća povećanje brzine vjetra s nadmorskom visinom, zbog ograničenog broja mjernih mjesta na planinskom području Republike Hrvatske nije moguće egzaktno odrediti, te se koristi izraz: $c_{ALT} = 1 + 0.0001 \cdot a_s$,
gdje je a_s = nadmorska visina mjesta u (m).

Tablica 3.7. Osnovna brzina vjetra ovisno o području

Područja	$V_{b,0}$ (m/s)
I	22
II	30
III	35
IV	40
V	50



Slika 3.5. Karta vjetrovnih zona Republike Hrvatske

Srednja brzina vjetra na nekoj visini z:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

$c_r(z) = [k_r \cdot \ln(z / z_0)]$ $za \quad z_{min} \le z \le z_{max}$

$c_r(z) = [k_r \cdot (z_{min})]$ $za \quad z \le z_{max}$

- koeficijent hrapavosti

$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0.II}} \right)^{0.07}$ - koeficijent terena (dan u tablici)

$c_0(z)$ - koeficijent topografije, uglavnom se uzima 1.0

Tablica 3.8. Koeficijent terena (k_r) s obzirom na kategoriju zemljišta

Kategorija terena	Opis	K_r	z_0 [m]	Z_{min} [m]
0	More ili područje uz more otvoreno prema moru	0.156	0.003	1
I	Uzburkano otvoreno more ili jezero, s najmanje 5 km dužine navjetrine i gladak ravan teren bez prepreka	0.170	0.01	1
II	Poljoprivredno zemljište s ogradama, povremenim malim poljoprivrednim objektima, kućama ili drvećem	0.190	0.05	2
III	Predgrađa ili industrijske zone i stalne šume	0.215	0.30	5
IV	Urbane zone u kojima je najmanje 15% površine pokriveno zgradama čija je srednja visina veća od 15 m	0.234	1.00	10

Maksimalna visina z_{max} se obično uzima 200 m.

Intezitet turbulencije vjetra na visini z iznad terena dana je izrazom:

$$I_v(z) = \frac{1}{c_0(z) \cdot \ln(z_e / z_0)} \qquad za \quad z_{\min} \le z \le z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \qquad za \quad z \le z_{\max}$$

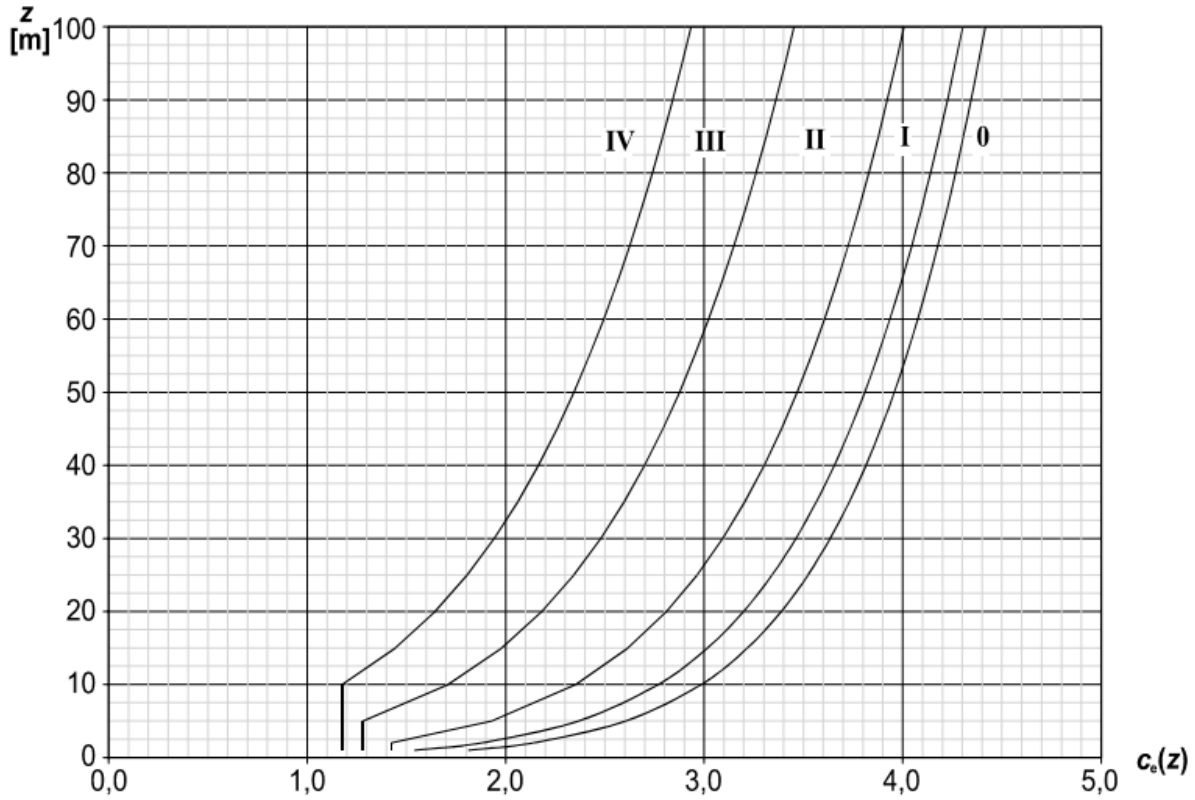
Maksimalni pritisak brzine vjetra:

$$q_p(z) = \left[1 + 7 \cdot I_v(z)\right] \cdot \frac{\rho_{zr}}{2} \cdot v_m{}^2(z) \quad odnosno \quad q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$$q_b = \frac{\rho_{zr}}{2} \cdot v_b{}^2$$

$$\rho_{zr} = 1.25 \; kg / m^3$$

Faktor izloženosti $c_e(z)$ također se može očitati sa dijagrama u ovisnosti kategorije terena i visine objekta iznad terena.



Slika 3.6. Dijagram ovisnosti kategorije terena i visine objekta iznad terena

Rezultirajući pritisak vjetra:

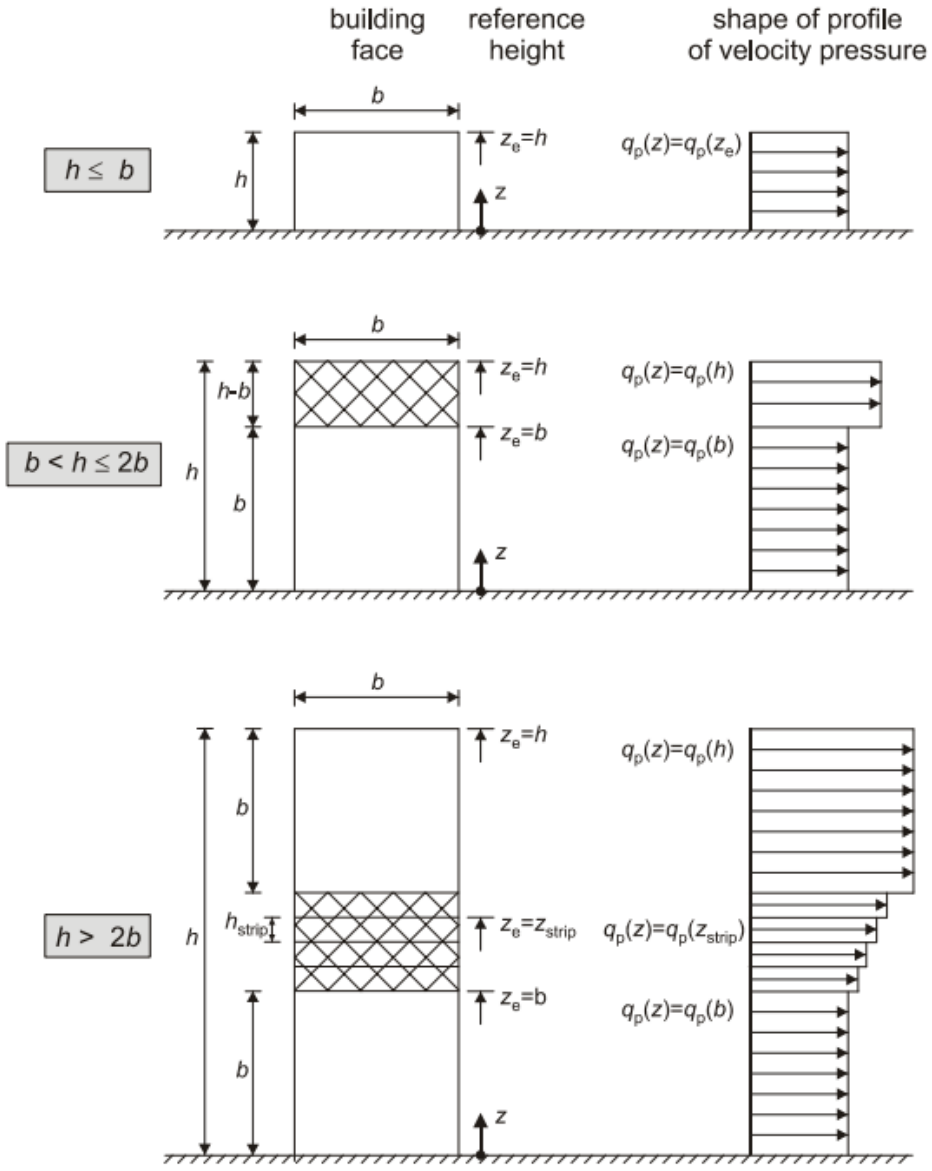
$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$ – *pritisak vjetra na vanjske plohe;*

c_{pe} – *koeficijent vanjskog tlaka*

$w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pi}$ – *pritisak vjetra na unutarnje plohe;*

c_{pi} – *koeficijent unutarnjeg tlaka*

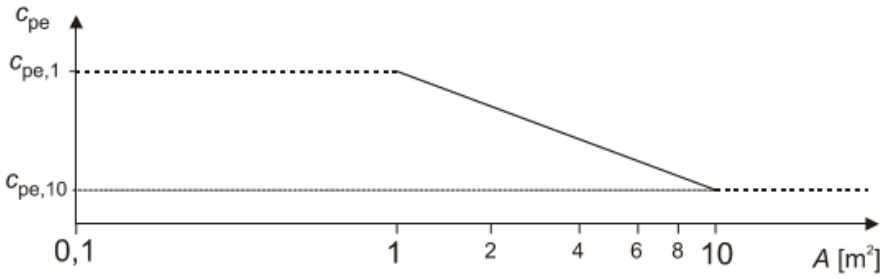
z_e – referentna visina objekta (pri izračunu q_p (z), za z koristiti z_e)



Slika 3.7. Referentna visina z_e u ovisnosti o h i b, te odgovarajući profil brzina

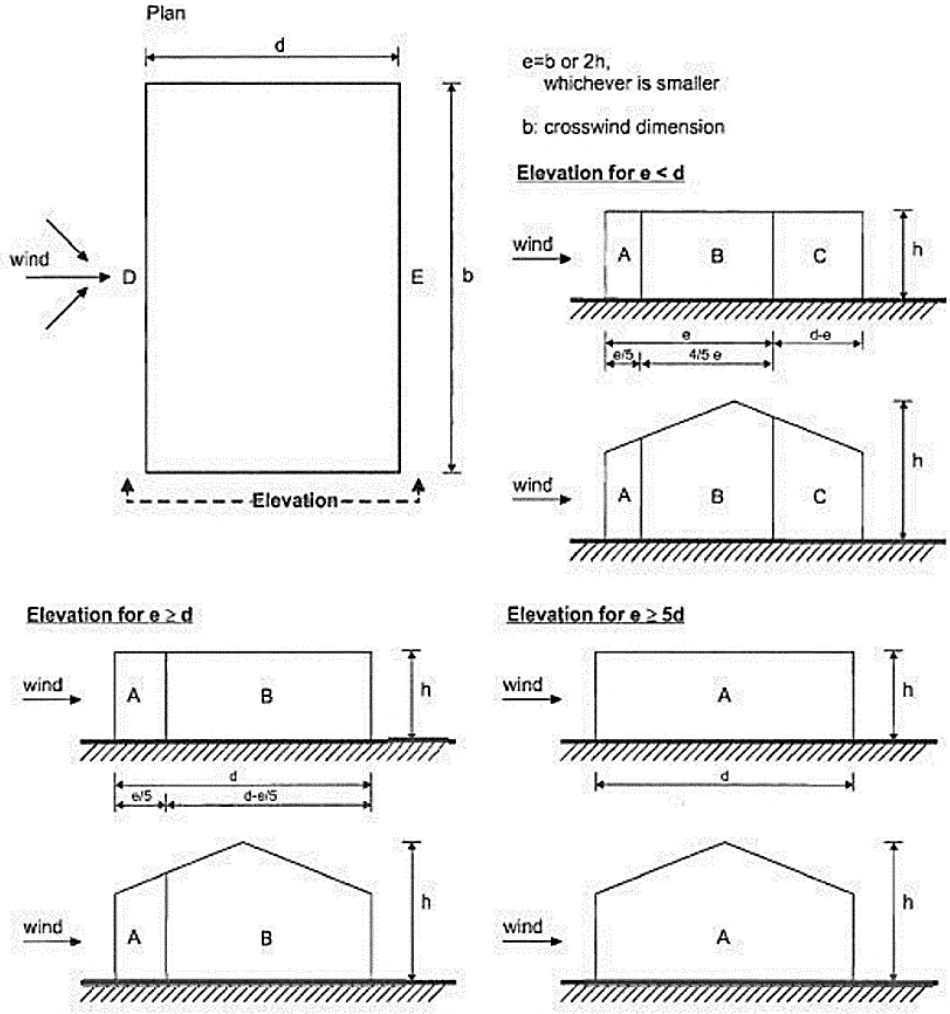
Određivanje koeficijenta vanjskog pritiska c_{pe}

Rezultirajuća sila vjetra, tj. koeficijent rezultirajuće sile c_{pe}, ovisi i o površini na koju vjetar djeluje. Primjenjuje se sljedeći graf:



Ako je površina na koju vjetar djeluje manja od 10 m^2, uzima se $c_{pe,1}$, a ako je veća od 10 m^2, uzima se $c_{pe,10}$.

- vertikalni zidovi



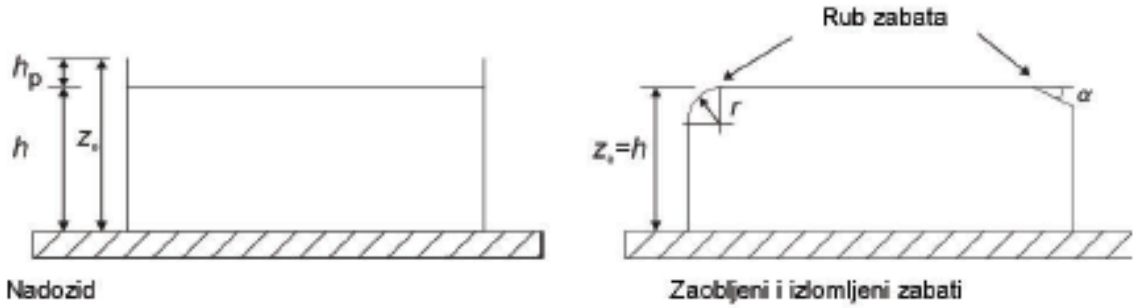
Slika 3.8. Podjela na zone A, B, C, D i E u ovisnosti o e i d

Tablica 3.9. Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog pritiska za vertikalne zidove

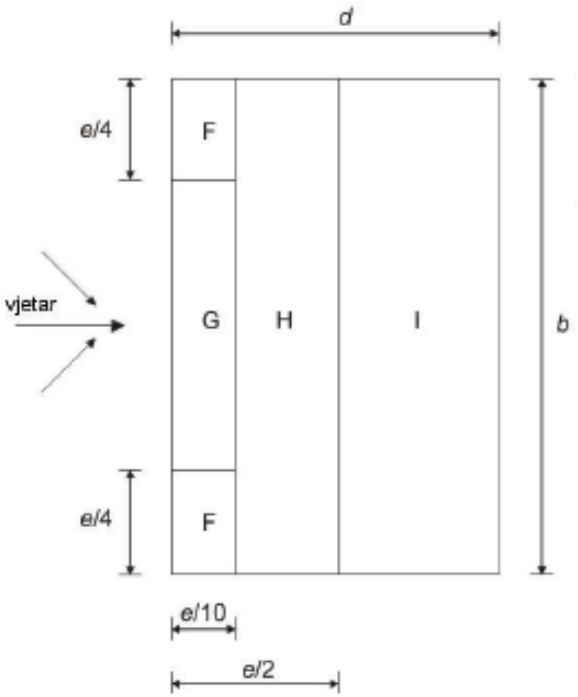
Područje	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
≥ 5	– 1,4	– 1,7	– 0,8	– 1,1	– 0,5	– 0,7	+ 0,8	+ 1,0	– 0,5	– 0,7
1	– 1,2	– 1,4	– 0,8	– 1,1	– 0,5		+ 0,8	+ 1,0	– 0,5	
≤ 0,25	– 1,2	– 1,4	– 0,8	– 1,1	– 0,5		+ 0,7	+ 1,0	– 0,3	– 0,5

NAPOMENA: Za pojedinačne zgrade na otvorenome terenu u područjima u zavjetrini mogu nastupiti i veće sile.
Međuvrijednosti se smiju linearno interpolirati.
Za zgrade čiji je omjer h/d > 5, ukupno opterećenje vjetrom smije se temeljiti na odredbama iz točaka od 7.6 do 7.8 i 7.9.2.

- ravni krov



Slika 3.9. Načini izvedbe ravnog krova



e = b ili 2·h → odabire se manja vrijednost

b - dimenzija okomito na vjetar

Slika 3.10. Prikaz područja vjetra za ravni krov

Tablica 3.10. Vrijednosti koeficijenata vanjskog pritiska za područja ravnog krova

Vrsta krova		Područje							
		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	
								− 0,2	
S nadozidima	$h_p/h = 0{,}025$	− 1,6	− 2,2	− 1,1	− 1,8	− 0,7	− 1,2	+ 0,2	
								− 0,2	
	$h_p/h = 0{,}05$	− 1,4	− 2,0	− 0,9	− 1,6	− 0,7	− 1,2	+ 0,2	
								− 0,2	
	$h_p/h = 0{,}10$	− 1,2	− 1,8	− 0,8	− 1,4	− 0,7	− 1,2	+ 0,2	
								− 0,2	
Zaobljeni zabati	$r/h = 0{,}05$	− 1,0	− 1,5	− 1,2	− 1,8	− 0,4		+ 0,2	
								− 0,2	
	$r/h = 0{,}10$	− 0,7	− 1,2	− 0,8	− 1,4	− 0,3		+ 0,2	
								− 0,2	
	$r/h = 0{,}20$	− 0,5	− 0,8	− 0,5	− 0,8	− 0,3		+ 0,2	
								− 0,2	
Izlomljeni zabati	$\alpha = 30°$	− 1,0	− 1,5	− 1,0	− 1,5	− 0,3		+ 0,2	
								− 0,2	
	$\alpha = 45°$	− 1,2	− 1,8	− 1,3	− 1,9	− 0,4		+ 0,2	
								− 0,2	
	$\alpha = 60°$	− 1,3	− 1,9	− 1,3	− 1,9	− 0,5		+ 0,2	
								− 0,2	

NAPOMENA 1: Za krovove s nadozidima ili zaobljenim zabatima, smije se upotrebljavati linearna interpolacija za međuvrijednosti h_p/h i r/h.

NAPOMENA 2: Za krovove s izlomljenim zabatima, smije se upotrebljavati linearna interpolacija između $\alpha = 30°$, 45° i $\alpha = 60°$. Za $\alpha > 60°$ smije se upotrebljavati linearna interpolacija između vrijednosti za $\alpha = 60°$ i vrijednosti za ravne krovove s oštrim (izlomljenim) zabatima.

NAPOMENA 3: U području I, gdje su dane i pozitivne i negativne vrijednosti, u obzir (A) treba (N) uzeti obje vrijednosti.

NAPOMENA 4: Za sami izlomljeni zabat, koeficijenti vanjskog tlaka dani su u tablici 7.4a „Koeficijenti vanjskog tlaka za dvostrešne krovove; smjer vjetra 0°", područje F i G, ovisno o nagibu izlomljenog zabata.

NAPOMENA 5: Za sami zaobljeni zabat, koeficijen i vanjskog tlaka dani su linearnom interpolacijom duž krivulje, između vrijednosti na zidu i na krovu.

(A) NAPOMENA 6: Za mansardne strehe čije su horizontalne dimenzije manje od $e/10$ treba uzeti vrijednosti za oštre strehe. Za definiciju e vidjeti sliku 7.6 (N)

Određivanje koeficijenta unutranjeg pritiska c_{pi}

Maksimalni koeficijent unutarnjeg pritiska je 0.8, a minimalni koeficijent unutarnjeg pritiska (podtlak) je -0.5.

Koeficijent unutarnjeg pritiska se uzima:

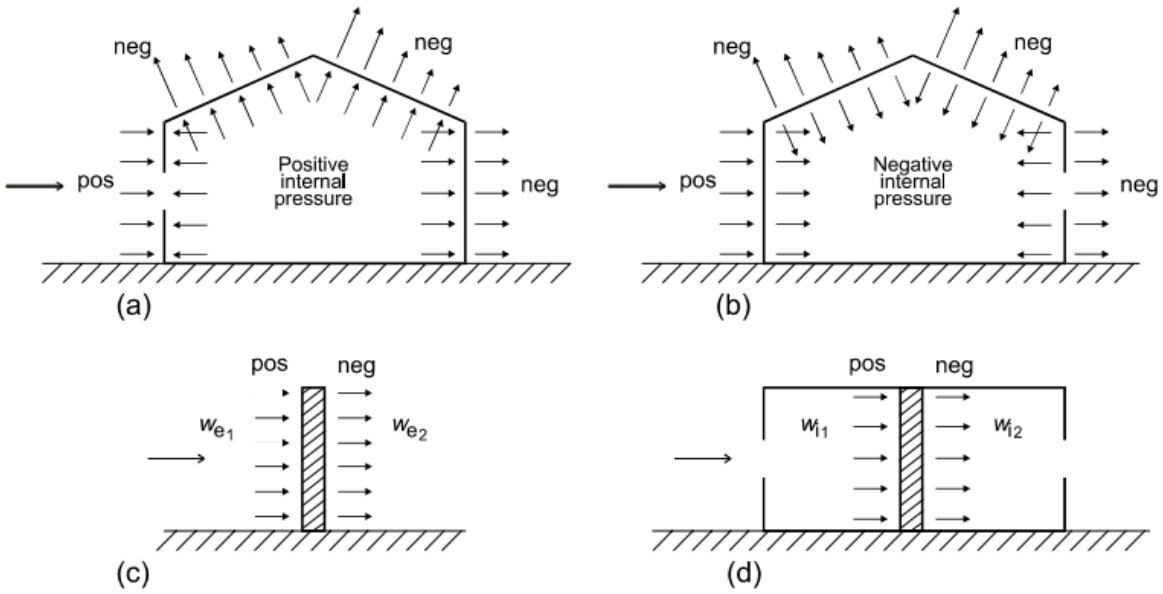
$c_{pi} = 0.75 \cdot c_{pe}$ - kada je površina otvora na dominantnom zidu bar 2 puta veća od površine otvora na ostalim zidovima

$c_{pi} = 0.90 \cdot c_{pe}$ - kada je površina otvora na dominantnom zidu bar 3 puta veća od površine otvora na ostalim zidovima

Rezultirajući pritisci vjetra w_e i w_i

Rezultirajuće pritiske vjetra je potrebno rasporediti prema shemi prikazanoj na slici 1.7. Mora se uzeti u obzir da vanjski i unutranji pritisci djeluju u isto vrijeme.

Zbrajanjem odnosno oduzimanjem rezultirajuće sile vjetra dobiva se ekvivalentna sila vjetra na plohu.



Slika 3.11. Shema vanjskog i unutarnjeg pritiska

Rezultati proračuna vjetra

$v_{b,0}$ = 30 m/s - očitano za otok Korčula (područje II)

c_{DIR} = 1.0

c_{TEM} = 1.0

$c_{ALT} = 1 + 0.0001 \cdot a_s$, a_s = 10 m.n.m.

$c_{ALT} = 1 + 0.0001 \cdot 10\ m = 1.001$

$v_b = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.001 \cdot 30 = 30.03$ m/s

Kako je zgrada veće širine od visine, mjerodavna visina joj je ukupna visina. Mjerodavna visina zgrade je 12.5 m. Mjerodavna visina je veća od minimalne (2.0 m) i manja od maksimalne (200 m), pa je:

$$c_r(z) = \left[k_r \cdot \ln(z / z_0)\right] = 0.190 \cdot \ln(12.5 / 0.05) = 1.049$$

Srednja brzina vjetra:

$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1.049 \cdot 1.0 \cdot 30.03 = 31.5$ m/s

Intezitet tubulencije:

$$I_v(z) = \frac{1}{c_0(z) \cdot \ln(z_e / z_0)} = \frac{1}{1.0 \cdot \ln(12.5 / 0.05)} = 0.181$$

Maksimalni pritisak brzine vjetra $q_p(z)$:

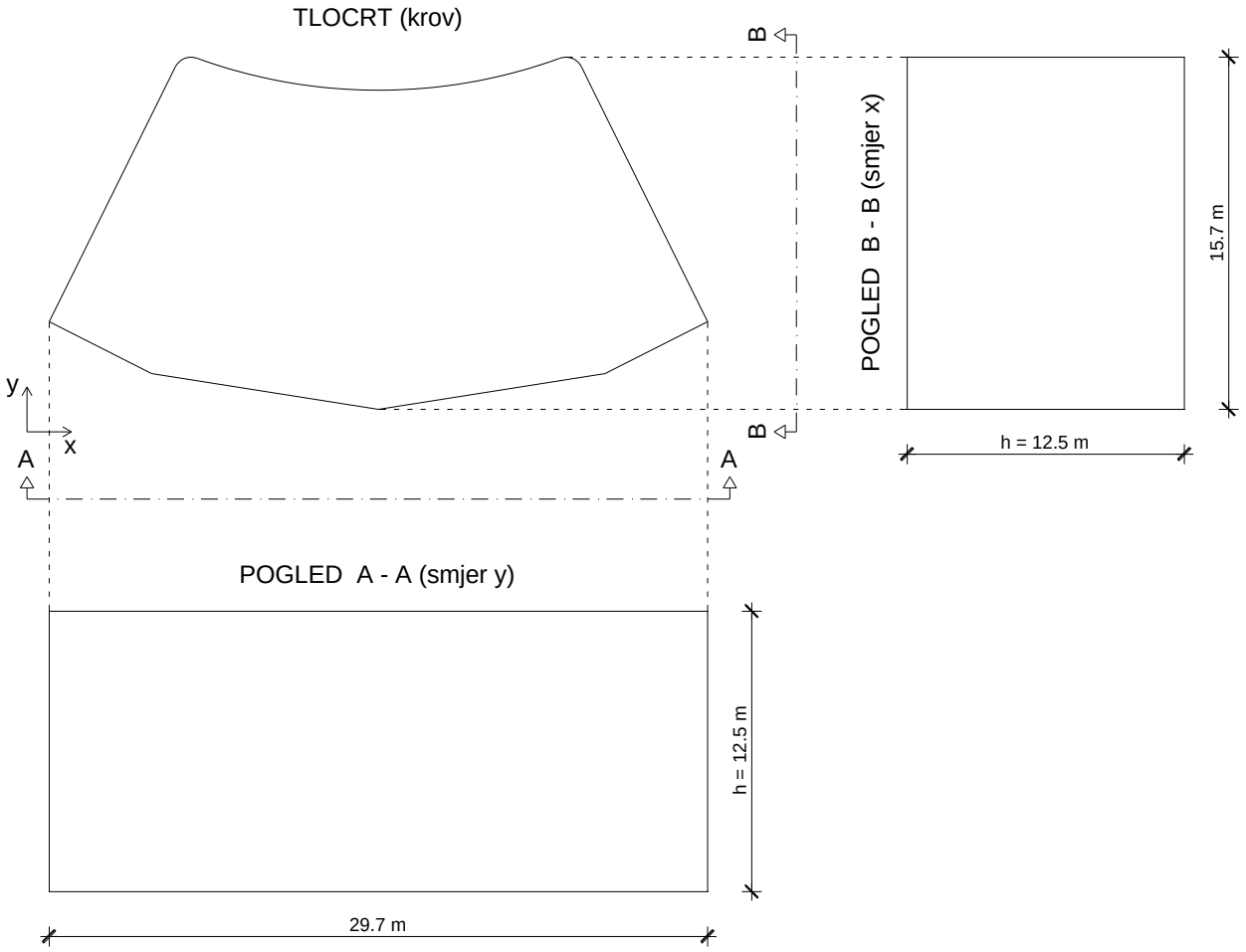
$$q_p(z) = \left[1 + 7 \cdot I_v(z)\right] \cdot \frac{\rho_{zr}}{2} \cdot v_m{}^2(z)$$

$$\rho_{zr} = 1.25\ kg / m^3$$

$$q_p(z) = \left[1 + 7 \cdot 0.181\right] \cdot \frac{1.25}{2} \cdot 31.5^2 = 2.267 \cdot 620.16 = 1405.9\ N / m^2 = 1.41\ kN / m^2$$

- **Koeficijenti vanjskog vjetra**

Površine na koje vjetar djeluje:



Slika 3.12. Površine na koje vjetar djeluje

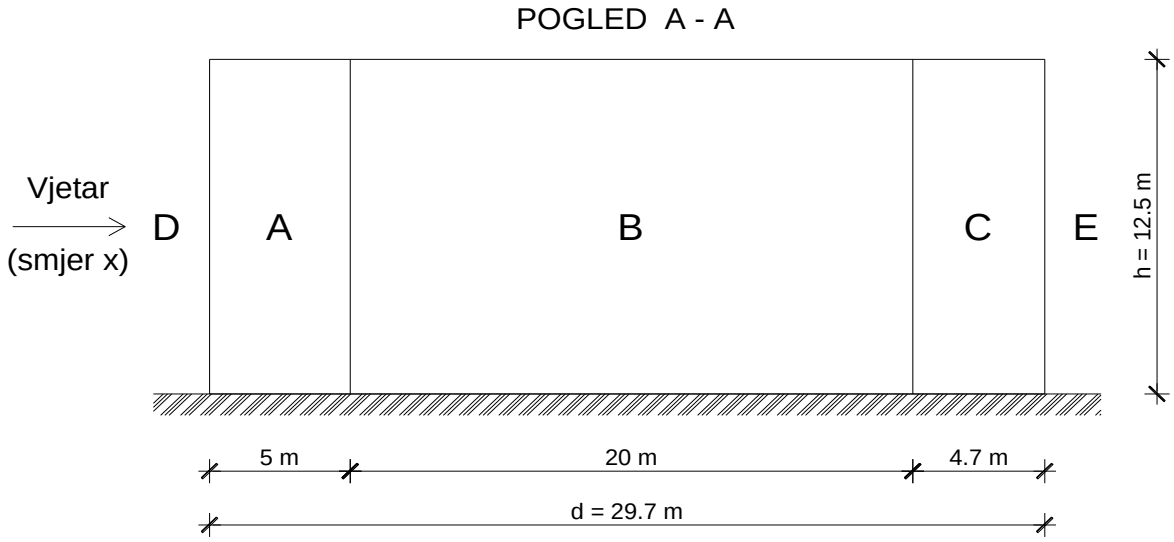
Smjer x

- vertikalni zidovi

h = 12.5 m

e = 2 · h = 2 · 12.5 = 25 m

e = 25 m < d = 29.7 m



Slika 3.13. Područja A, B, C, D i E za smjer x

Očitano iz *tablice 3.9.* za h/d = 12.5/29.7 = 0.42 i $c_{pe,10}$ (vrijednosti su linearno interpolirane):

Područje	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
c_{pe}	-1.2	-0.8	-0.5	+0.72	-0.35

- ravni krov

Djelovanje vjetra na krov je zanemareno jer je krov ravni betonski.

- **Koeficijenti unutranjeg vjetra**

c_{pi} = +0.8 i c_{pi} = -0.5

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

$q_p(z_e) = q_p(z) =$ **1.41 kN/m²**

$w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pi}$

Rezultirajuće djelovanje vjetra u x smjeru:

Područje	A	B	C	D	E
c_{pe}	-1.2	-0.8	-0.5	0	-0.35
	0	0	0	0.72	0
c_{pi}	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
$w_{e1} = q_p(z) \cdot c_{pe}$	-1.69	-1.13	-0.71	0	-0.49
$w_{e2} = q_p(z) \cdot c_{pe}$	0	0	0	1.02	0
$w_{i1} = q_p(z) \cdot c_{pi}$	-0.71	-0.71	-0.71	-0.71	-0.71
$w_{i2} = q_p(z) \cdot c_{pi}$	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
w_1 = w_{e1} "+" w_{i1}	-0.99	-0.42	0	0.71	0.21
w_2 = w_{e1} "+" w_{i2}	-2.82	-2.26	-1.83	-1.13	-1.62
w_3 = w_{e2} "+" w_{i1}	0.71	0.71	0.71	1.72	0.71
w_4 = w_{e2} "+" w_{i2}	-1.13	-1.13	-1.13	-0.11	-1.13

Mjerodavno djelovanje vjetra u x smjeru:

Područje	A	B	C	D	E
$w_{mjerodavno}$ **[kN/m²]**	-2.82	-2.26	-1.83	1.72	-1.62

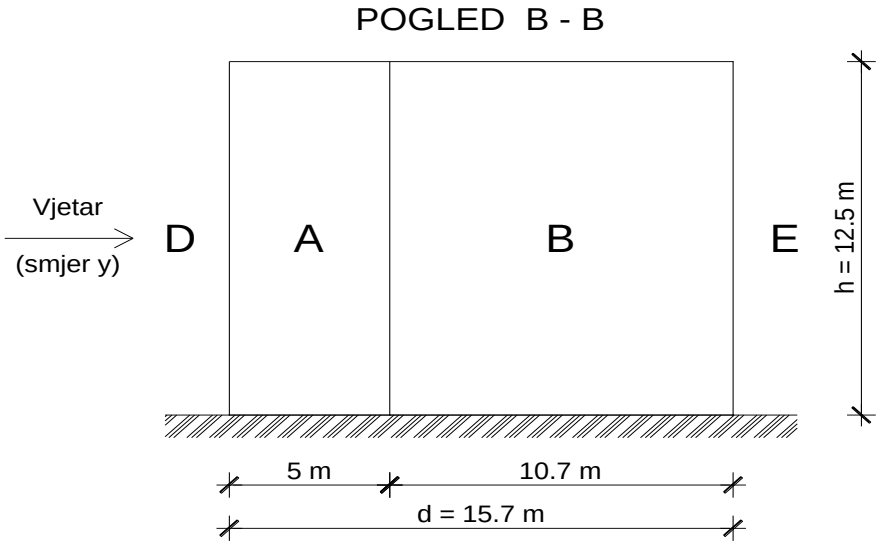
Smjer y

- vertikalni zidovi

h = 12.5 m

e = 2 · h = 2 · 12.5 = 25 m

e = 25 m > d = 15.7 m



Slika 3.14. Područja A, B, D i E za smjer y

Očitano iz *tablice 3.9.* za h/d = 12.5/15.7 = 0.8 i $c_{pe,10}$ (vrijednosti su linearno interpolirane):

Područje	**A**	**B**	**D**	**E**
c_{pe}	-1.2	-0.8	+0.77	-0.37

- ravni krov

Djelovanje vjetra na krov je zanemareno jer je krov ravni betonski.

- **Koeficijenti unutranjeg vjetra**

c_{pi} = +0.8 i c_{pi} = -0.5

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

$q_p(z_e) = q_p(z) =$ **1.41 kN/m²**

$w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pi}$

Rezultirajuće djelovanje vjetra u y smjeru:

Područje	A	B	D	E
c_{pe}	-1.2	-0.8	0	-0.37
	0	0	0.77	0
c_{pi}	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	0.8	0.8	0.8	0.8
$w_{e1} = q_p(z) \cdot c_{pe}$	-1.69	-1.13	0	-0.52
$w_{e2} = q_p(z) \cdot c_{pe}$	0	0	1.09	0
$w_{i1} = q_p(z) \cdot c_{pi}$	-0.71	-0.71	-0.71	-0.71
$w_{i2} = q_p(z) \cdot c_{pi}$	1.13	1.13	1.13	1.13
$\mathbf{w_1} = w_{e1}$ "+" w_{i1}	-0.99	-0.42	0.71	0.18
$\mathbf{w_2} = w_{e1}$ "+" w_{i2}	-2.82	-2.26	-1.13	-1.65
$\mathbf{w_3} = w_{e2}$ "+" w_{i1}	0.71	0.71	1.79	0.71
$\mathbf{w_4} = w_{e2}$ "+" w_{i2}	-1.13	-1.13	-0.04	-1.13

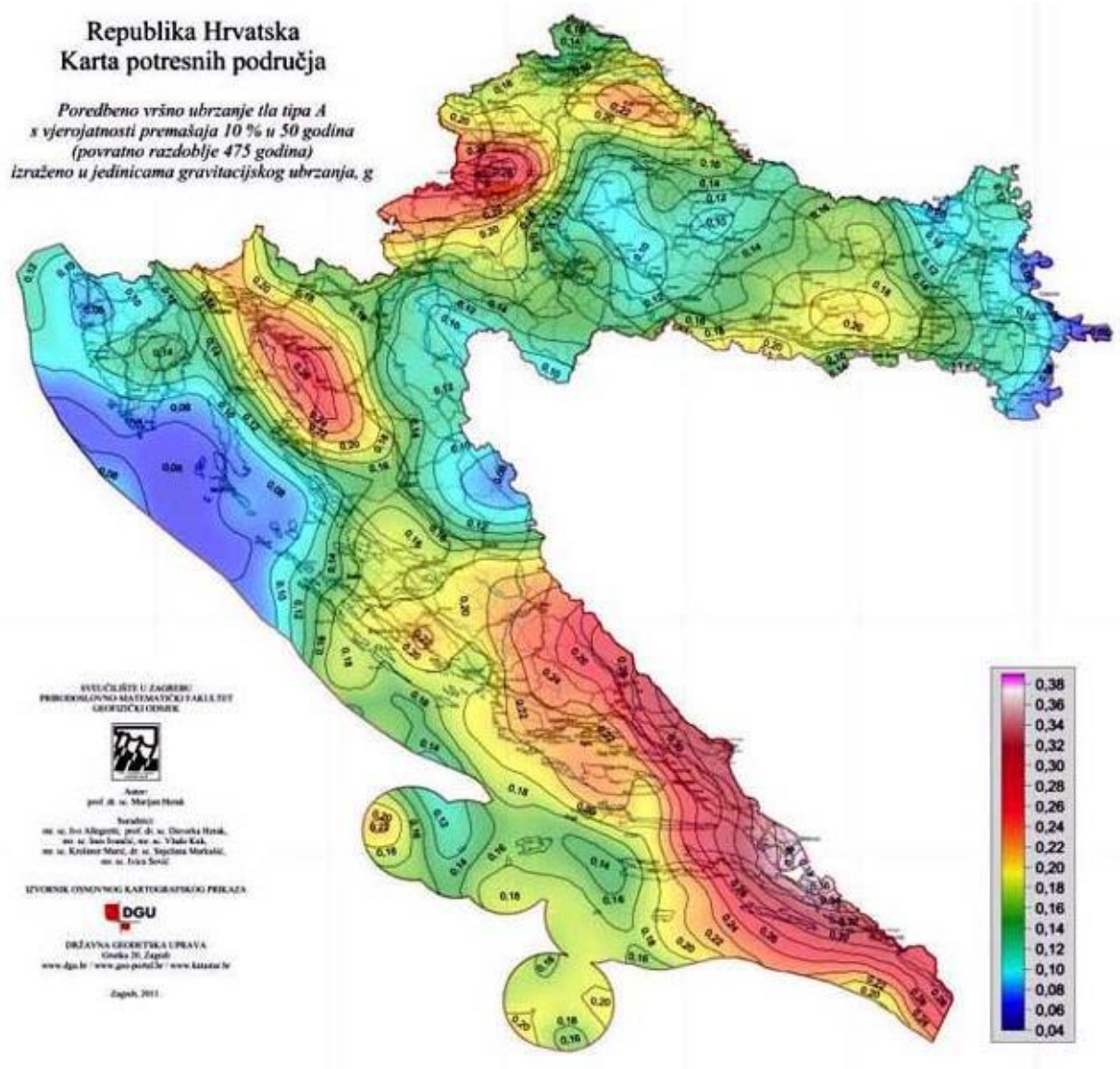
Mjerodavno djelovanje vjetra u y smjeru:

Područje	A	B	D	E
$\mathbf{w_{mjerodavno}}$ **[kN/m²]**	-2.82	-2.26	1.79	-1.65

3.10. POTRES

Potresne sile proračunate su pojednostavljenim postupkom. Za proračun potresnog opterećenja korištena je višemodalna spektralna analiza. Građevina je smještena u mjestu Zagradac na otoku Korčula, u VIII. potresnoj zoni prema važećoj seizmičkoj karti Republike Hrvatske.

Karte s tumačem su sastavni dio nacionalnog dodatka za niz normi HRN EN 1998 - 1:2011/NA:2011, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade.



Slika 3.15. Seizmička karta Republike Hrvatske

Usvojeno projektirano ubrzanje tla iznosi a = 0.263 · g za povratni period od 475 godina. Građevina je temeljena na tlu koje pripada kategoriji A, prema parametrima danim u Geotehničkom elaboratu. Pretpostavlja se srednja klasa ponašanja - DCM (medium ductility).

Slika 3.16. Prikaz parametara za predmetnu lokaciju

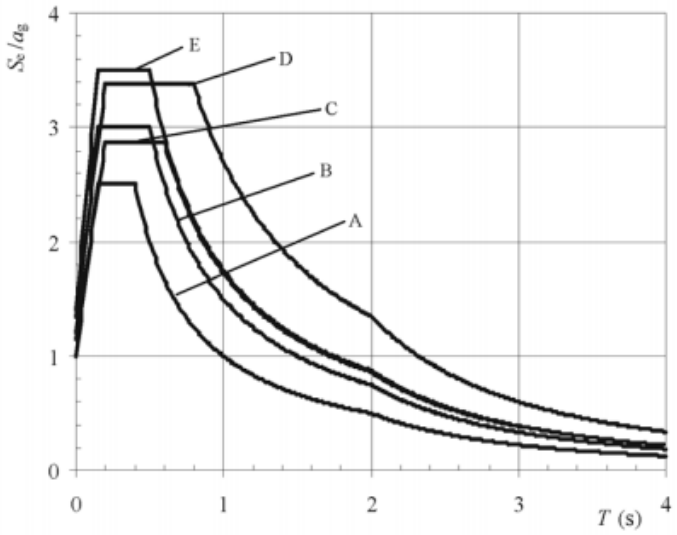
Potresno djelovanje u nekoj točki na površini općenito se prikazuje elastičnim spektrom odziva tla koji se naziva "elastični spektar odziva". Postoje dva "elastična spektra odziva", koji se odabiru u skladu s očekivanom magnitudom površinskih poprečnih valova Ms. Ovisno o tipu tla imamo različite parametre za pojedini tip elastičnog spektra odziva.

Tablica 3.10. Preporučene vrijednosti parametara za tip 1 elastičnog spektra odziva

Ground type	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

Kapacitet konstrukcijskog sustava koji preuzima potresno djelovanje u nelinearnome području općenito dopušta proračun na djelovanje sila koje su manje od onih koje odgovaraju linearnom elastičnom odzivu. Da bi se u proračunu izbjegao nelinearni proračun, uzima se u obzir kapacitet trošenja energije u konstrukciji putem uglavnom duktilnog ponašanja njezinih elemenata i/ili drugih mehanizama te se provodi linearni proračun utemeljen na spektru odziva umanjenom u odnosu na elastični spektar. Taj se spektar naziva "proračunski spektar".

To se umanjenje postiže uvođenjem faktora ponašanja q. Faktor ponašanja q približno je omjer potresnih sila kojima bi građevina bila izložena kad bi njezin odziv bio u cijelosti elastičan uz 5 % - tno viskozno prigušenje i stvarnih potresnih sila koje bi se pojavile na promatranom sustavu.



Slika 3.17. Tip 1 elastičnog spektra odziva za tipove tla od A do E s prigušenjem od 5%

Seizmički uvjeti za nosivo tlo:	klasa tla A
Seizmičko područje:	VIII. zona
Računsko ubrzanje tla:	$a_{gR} = 0.263 \cdot g$
Faktor tla:	S = 1.0
Maksimalna normirana vrijednost spektra odziva:	$\beta_0 = 2.5$
Granični periodi osciliranja:	$T_B = 0.15$ s,
	$T_C = 0.40$ s,
	$T_D = 2.0$ s

Proračun faktora ponašanja

Faktori ponašanja konstrukcije ovise o tipu konstrukcije. Načelno, veći faktor pokazuje duktilnije ponašanje i smanjuje ukupne seizmičke sile na konstrukciju.

Tablica 3.11. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za tlocrtno pravilne sustave

STRUCTURAL TYPE	DCM	DCH
Frame system, dual system, coupled wall system	$3{,}0\alpha_u/\alpha_1$	$4{,}5\alpha_u/\alpha_1$
Uncoupled wall system	3,0	$4{,}0\alpha_u/\alpha_1$
Torsionally flexible system	2,0	3,0
Inverted pendulum system	1,5	2,0

Faktor ponašanja za klasu DCM: $q = q_0 \cdot k_w \geq 1.5$, gdje je:

q_0 - osnovni faktor ponašanja

k_w - faktor prevladavajućeg načina loma sustava sa zidovima.

Osnovni faktor ponašanja za zidni sustav:

$$q_0 = 3 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1},$$

gdje je vrijednost omjera $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.0$ za tlocrtno nepravilne sustave.

Za konstrukcije koje nisu tlocrtno pravilne, osnovni faktor ponašanja umanjuje se za 20%.

$$q_0 = 3 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 3 \cdot 1.0 \cdot 0.8 = 2.4$$

Faktor prevladavajućeg sloma:

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

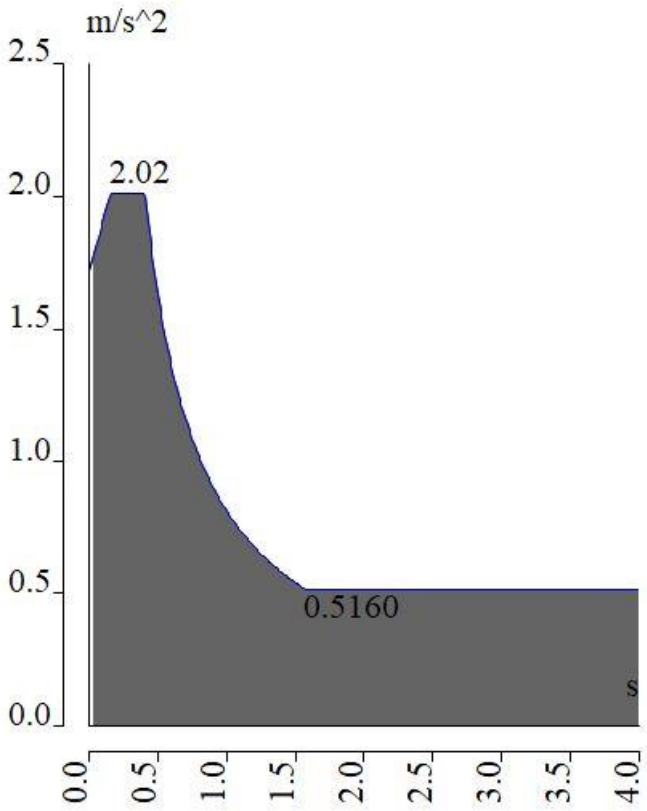
uz uvjet ne manje od 0.5 (za zidne i ekvivalentne zidne torzijski fleksibilne¸ sustave) i ne veći od 1 (za okvire i dvojne sustave istovrijedne okvirnim sustavima) gdje je,

$\alpha_0 = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}}$ prevladavajući omjer zidova promatranog konstruktivnog sustava.

$$\alpha_0 = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}} = \frac{3\ m}{1\ m} = 3,\ \ k_w = \frac{1+3}{3} = \frac{4}{3} = 1.33$$

Konačno, **faktor ponašanja**:

$$q = q_0 \cdot k_w = 2.4 \cdot 1.33 = 3.2$$



Slika 3.18. Normirani računski spektar odgovora

Za proračun seizmičkog opterećenja korištena je višemodalna spektralna analiza. Pri izračunu masa korištena je kombinacija stalnog opterećenja (težina konstrukcije i dodatno stalno opterećenje) i 50 % pokretnog opterećenja. Broj oblika (modova) osciliranja za predmetnu građevinu iznosi 160.

Suma djelotvornih modalnih masa u X smjeru iznosi 90.6 %, a u Y smjeru 92.7 % ukupne mase konstrukcije. Time je zadovoljen uvjet o aktivaciji mase preko 90 % masa.

Tablica 3.12. Aktivirana masa pri djelovanju potresa

Calculation protocol

Solution of Free vibration

Number of 2D elements	44293
Number of 1D elements	675
Number of mesh nodes	41471
Number of equations	248826
Combination of mass groups	MC1 CM
Number of frequencies	160
Method	Lanczos
Bending theory	Mindlin
Type of analysis model	Standard
Start of calculation	29.07.2019 16:03
End of calculation	29.07.2019 16:15

Sum of masses

	Mass type	X [kg]	Y [kg]	Z [kg]
1	Moving mass	2270545,9	2270545,9	2270545,9
1	Total mass	2282280,3	2282280,3	2282280,3

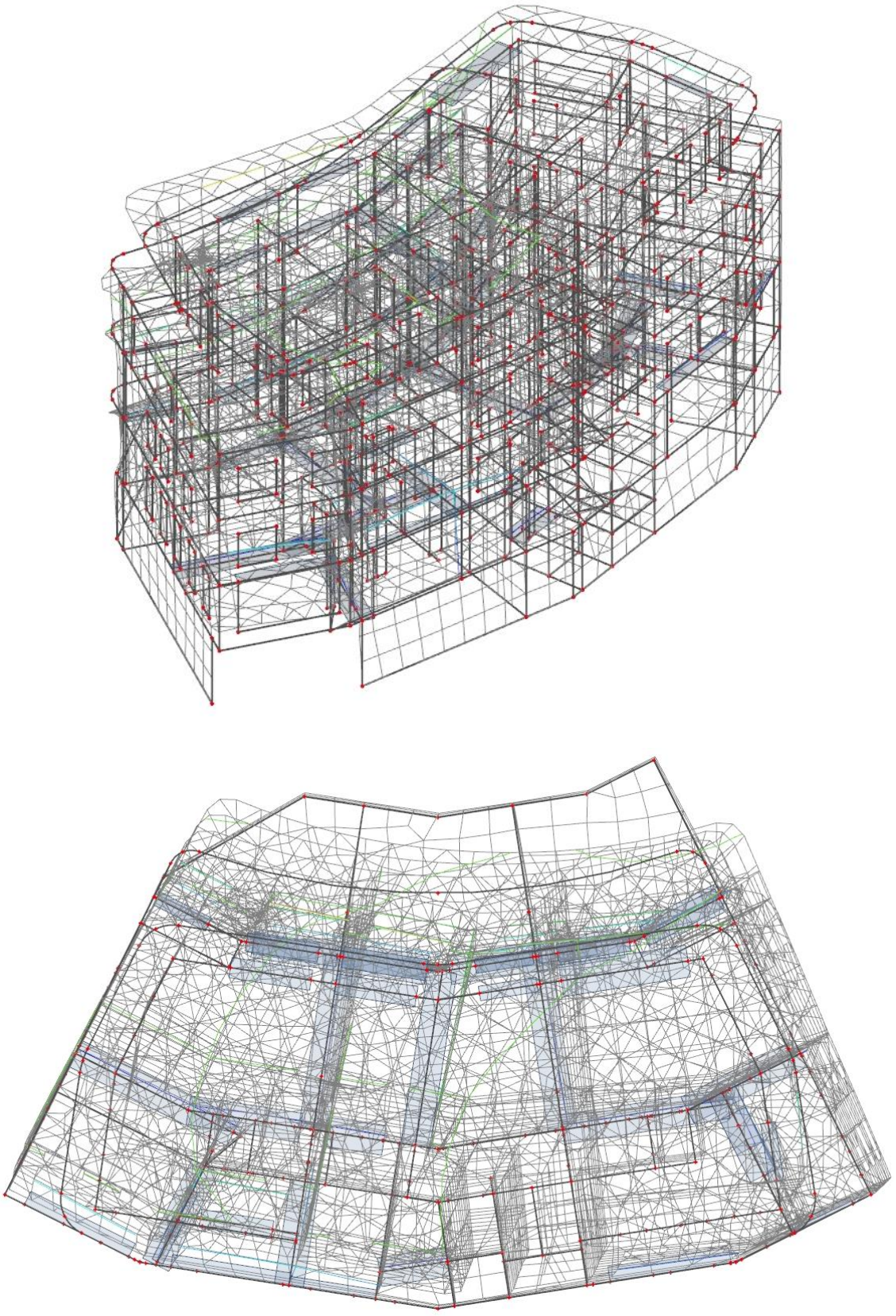
Relative modal masses

Mode	ωega [rad/s	Period [s]	Freq. [Hz]	W_{xi}/W_{xtot}	W_{yi}/W_{ytot}	W_{zi}/W_{ztot}	W_{xi_R}/W_{xtot_R}	W_{yi_R}/W_{ytot_R}	W_{zi_R}/W_{ztot_R}
1	53.2251	0,12	8,47	0,2333	0,3467	0,0002	0,1443	0,0473	0,0680
2	57.6684	0,11	9,18	0,1569	0,2299	0,0126	0,1181	0,0042	0,1468
3	64.6834	0,10	10,29	0,0489	0,0368	0,0016	0,0017	0,0199	0,0004
4	64.8111	0,10	10,32	0,0142	0,0030	0,0054	0,0031	0,0111	0,0010
5	66.9119	0,09	10,65	0,0446	0,0276	0,0035	0,0002	0,0165	0,0036
6	71.0108	0,09	11,30	0,2275	0,0084	0,0001	0,0014	0,0462	0,3401
7	73.8278	0,09	11,75	0,0047	0,0031	0,0039	0,0029	0,0000	0,0252
8	74.422	0,08	11,84	0,0061	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0267
9	76.2684	0,08	12,14	0,0029	0,0026	0,0052	0,0040	0,0020	0,0135
10	89.2027	0,07	14,20	0,0000	0,0008	0,0038	0,0013	0,0000	0,0000
11	90.467	0,07	14,40	0,0000	0,0089	0,0245	0,0106	0,0000	0,0000
12	91.5189	0,07	14,57	0,0000	0,0022	0,0005	0,0019	0,0001	0,0000
13	94.5945	0,07	15,06	0,0003	0,0019	0,0240	0,0009	0,0075	0,0051
14	95.232	0,07	15,16	0,0004	0,0001	0,0125	0,0005	0,0078	0,0010
15	97.3323	0,06	15,49	0,0005	0,0008	0,0075	0,0007	0,0061	0,0019
16	99.9503	0,06	15,91	0,0003	0,0011	0,0171	0,0005	0,0098	0,0008
17	101.315	0,06	16,12	0,0001	0,0031	0,0634	0,0065	0,0012	0,0000
18	102.329	0,06	16,29	0,0004	0,0004	0,0326	0,0045	0,0234	0,0003
19	103.754	0,06	16,51	0,0000	0,0001	0,0007	0,0004	0,0000	0,0004
20	104.913	0,06	16,70	0,0001	0,0001	0,0067	0,0015	0,0038	0,0002
21	105.493	0,06	16,79	0,0023	0,0017	0,0098	0,0067	0,0094	0,0030
22	108.191	0,06	17,22	0,0000	0,0064	0,0043	0,0125	0,0025	0,0097
23	110.341	0,06	17,56	0,0010	0,0044	0,0427	0,0038	0,0326	0,0101
24	115.053	0,05	18,31	0,0008	0,0016	0,0425	0,0090	0,0302	0,0025
25	119.994	0,05	19,10	0,0011	0,0001	0,0076	0,0006	0,0116	0,0009
26	123.036	0,05	19,58	0,0007	0,0001	0,0064	0,0006	0,0229	0,0003
27	124.47	0,05	19,81	0,0181	0,0100	0,0608	0,0306	0,1189	0,0052
28	126.192	0,05	20,08	0,0000	0,0032	0,0045	0,0054	0,0015	0,0018
29	126.858	0,05	20,19	0,0000	0,0006	0,0016	0,0013	0,0005	0,0001
30	127.796	0,05	20,34	0,0000	0,0008	0,0006	0,0003	0,0001	0,0000
31	129.209	0,05	20,56	0,0001	0,0001	0,0193	0,0024	0,0115	0,0000
32	130.437	0,05	20,76	0,0000	0,0011	0,0058	0,0054	0,0017	0,0003
33	132.252	0,05	21,05	0,0000	0,0002	0,0106	0,0003	0,0000	0,0019
34	133.061	0,05	21,18	0,0002	0,0014	0,0029	0,0009	0,0022	0,0004
35	134.726	0,05	21,44	0,0007	0,0004	0,0007	0,0012	0,0029	0,0005
36	135.036	0,05	21,49	0,0000	0,0028	0,0034	0,0010	0,0004	0,0004
37	135.464	0,05	21,56	0,0000	0,0000	0,0001	0,0007	0,0003	0,0000
38	136.844	0,05	21,78	0,0001	0,0009	0,0018	0,0014	0,0002	0,0003
39	137.384	0,05	21,87	0,0000	0,0009	0,0012	0,0028	0,0000	0,0004
40	138.526	0,05	22,05	0,0013	0,0041	0,0364	0,0037	0,0008	0,0116
41	139.336	0,05	22,18	0,0000	0,0070	0,0002	0,0164	0,0016	0,0001
42	139.838	0,04	22,26	0,0002	0,0007	0,0001	0,0014	0,0011	0,0007
43	142.234	0,04	22,64	0,0007	0,0063	0,0000	0,0372	0,0000	0,0012
44	142.484	0,04	22,68	0,0002	0,0000	0,0211	0,0001	0,0104	0,0039
45	143.529	0,04	22,84	0,0007	0,0050	0,0003	0,0008	0,0061	0,0022
46	145.218	0,04	23,11	0,0026	0,0129	0,0091	0,0252	0,0208	0,0076
47	145.996	0,04	23,24	0,0003	0,0168	0,0004	0,0087	0,0036	0,0067
48	150.32	0,04	23,92	0,0000	0,0022	0,0087	0,0029	0,0002	0,0000
49	152.813	0,04	24,32	0,0004	0,0013	0,0265	0,0128	0,0054	0,0121
50	154.592	0,04	24,60	0,0001	0,0047	0,0002	0,0077	0,0011	0,0000
51	155.785	0,04	24,79	0,0004	0,0026	0,0150	0,0113	0,0008	0,0000
52	156.333	0,04	24,88	0,0002	0,0068	0,0015	0,0098	0,0019	0,0070

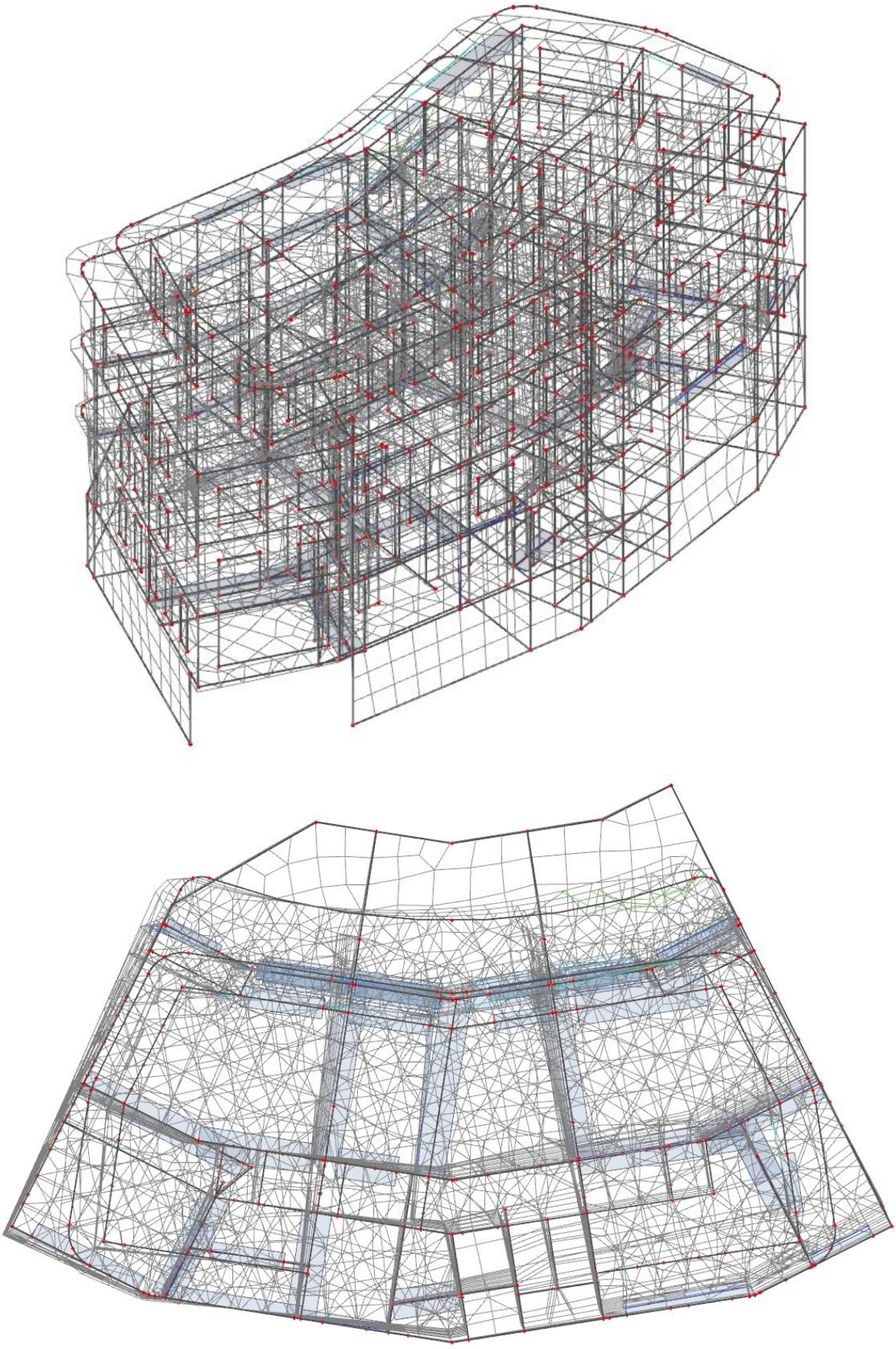
Mode	mega [rad/s	Period [s]	Freq. [Hz]	W_{xi}/W_{xtot}	W_{yi}/W_{ytot}	W_{zi}/W_{ztot}	W_{xi_ji}/W_{xtot_j}	W_{yi_ji}/W_{ytot_j}	W_{zi_ji}/W_{ztot_j}
53	159.4	0,04	25,37	0,0000	0,0002	0,0005	0,0006	0,0001	0,0009
54	165.263	0,04	26,30	0,0013	0,0616	0,0053	0,0731	0,0008	0,0008
55	166.782	0,04	26,54	0,0001	0,0001	0,0008	0,0001	0,0043	0,0022
56	169.248	0,04	26,94	0,0002	0,0011	0,0000	0,0011	0,0003	0,0014
57	171.977	0,04	27,37	0,0004	0,0001	0,0002	0,0004	0,0080	0,0033
58	172.039	0,04	27,38	0,0080	0,0000	0,0005	0,0027	0,0074	0,0000
59	173.262	0,04	27,58	0,0040	0,0001	0,0050	0,0000	0,0040	0,0012
60	174.71	0,04	27,81	0,0007	0,0001	0,0012	0,0010	0,0000	0,0002
61	175.781	0,04	27,98	0,0051	0,0034	0,0023	0,0082	0,0137	0,0000
62	176.53	0,04	28,10	0,0043	0,0002	0,0001	0,0002	0,0236	0,0039
63	177.611	0,04	28,27	0,0052	0,0012	0,0002	0,0016	0,0005	0,0005
64	178.609	0,04	28,43	0,0000	0,0030	0,0001	0,0073	0,0011	0,0017
65	180.028	0,03	28,65	0,0028	0,0001	0,0020	0,0007	0,0019	0,0001
66	180.839	0,03	28,78	0,0415	0,0001	0,0032	0,0040	0,0506	0,0044
67	182.389	0,03	29,03	0,0000	0,0007	0,0007	0,0009	0,0008	0,0003
68	184.008	0,03	29,29	0,0005	0,0000	0,0004	0,0003	0,0005	0,0000
69	185.906	0,03	29,59	0,0052	0,0000	0,0031	0,0005	0,0001	0,0004
70	186.411	0,03	29,67	0,0018	0,0017	0,0183	0,0006	0,0006	0,0004
71	187.423	0,03	29,83	0,0000	0,0000	0,0044	0,0006	0,0004	0,0006
72	188.256	0,03	29,96	0,0009	0,0023	0,0183	0,0037	0,0000	0,0002
73	188.55	0,03	30,01	0,0001	0,0014	0,0114	0,0001	0,0041	0,0008
74	189.093	0,03	30,10	0,0001	0,0001	0,0000	0,0002	0,0001	0,0009
75	189.871	0,03	30,22	0,0000	0,0005	0,0002	0,0024	0,0021	0,0005
76	191.451	0,03	30,47	0,0000	0,0002	0,0006	0,0000	0,0000	0,0015
77	191.804	0,03	30,53	0,0002	0,0006	0,0003	0,0001	0,0003	0,0024
78	192.508	0,03	30,64	0,0051	0,0019	0,0052	0,0001	0,0005	0,0001
79	194.577	0,03	30,97	0,0015	0,0002	0,0236	0,0040	0,0014	0,0003
80	197.445	0,03	31,42	0,0004	0,0068	0,0166	0,0002	0,0051	0,0006
81	198.814	0,03	31,64	0,0003	0,0012	0,0004	0,0018	0,0044	0,0000
82	202.232	0,03	32,19	0,0002	0,0046	0,0048	0,0072	0,0176	0,0029
83	203.454	0,03	32,38	0,0004	0,0011	0,0023	0,0114	0,0023	0,0043
84	204.011	0,03	32,47	0,0002	0,0010	0,0009	0,0037	0,0000	0,0001
85	206.202	0,03	32,82	0,0011	0,0001	0,0135	0,0008	0,0091	0,0018
86	207.978	0,03	33,10	0,0000	0,0000	0,0006	0,0001	0,0000	0,0030
87	208.815	0,03	33,23	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0004
88	210.761	0,03	33,54	0,0002	0,0025	0,0032	0,0054	0,0004	0,0061
89	213.021	0,03	33,90	0,0002	0,0001	0,0153	0,0014	0,0017	0,0000
90	213.553	0,03	33,99	0,0000	0,0004	0,0051	0,0044	0,0045	0,0055
91	216.132	0,03	34,40	0,0034	0,0007	0,0000	0,0111	0,0035	0,0125
92	220.176	0,03	35,04	0,0000	0,0017	0,0011	0,0040	0,0030	0,0019
93	221.89	0,03	35,31	0,0004	0,0003	0,0054	0,0002	0,0075	0,0000
94	223.669	0,03	35,60	0,0016	0,0007	0,0002	0,0016	0,0008	0,0095
95	223.875	0,03	35,63	0,0001	0,0007	0,0009	0,0014	0,0010	0,0004
96	226.971	0,03	36,12	0,0001	0,0002	0,0029	0,0025	0,0022	0,0000
97	227.523	0,03	36,21	0,0000	0,0013	0,0002	0,0010	0,0010	0,0001
98	227.634	0,03	36,23	0,0004	0,0004	0,0000	0,0002	0,0007	0,0036
99	228.166	0,03	36,31	0,0000	0,0013	0,0004	0,0009	0,0000	0,0000
100	228.751	0,03	36,41	0,0001	0,0030	0,0013	0,0024	0,0012	0,0005
101	229.285	0,03	36,49	0,0004	0,0008	0,0014	0,0003	0,0001	0,0001
102	231.54	0,03	36,85	0,0009	0,0001	0,0007	0,0004	0,0021	0,0019
103	232.31	0,03	36,97	0,0002	0,0012	0,0000	0,0013	0,0000	0,0026
104	232.557	0,03	37,01	0,0001	0,0000	0,0000	0,0004	0,0003	0,0009
105	232.736	0,03	37,04	0,0004	0,0025	0,0013	0,0030	0,0009	0,0002
106	233.956	0,03	37,24	0,0001	0,0000	0,0000	0,0005	0,0001	0,0001
107	234.629	0,03	37,34	0,0003	0,0010	0,0029	0,0005	0,0001	0,0002
108	236.535	0,03	37,65	0,0001	0,0000	0,0023	0,0000	0,0003	0,0000
109	236.74	0,03	37,68	0,0000	0,0002	0,0011	0,0000	0,0000	0,0008
110	237.549	0,03	37,81	0,0000	0,0008	0,0029	0,0014	0,0010	0,0026
111	240.543	0,03	38,28	0,0000	0,0029	0,0073	0,0000	0,0021	0,0001
112	244.839	0,03	38,97	0,0002	0,0009	0,0147	0,0009	0,0043	0,0000
113	245.035	0,03	39,00	0,0000	0,0028	0,0146	0,0032	0,0035	0,0000
114	248.637	0,03	39,57	0,0014	0,0002	0,0018	0,0011	0,0103	0,0002
115	249.928	0,03	39,78	0,0028	0,0008	0,0001	0,0012	0,0135	0,0007
116	250.941	0,03	39,94	0,0031	0,0020	0,0009	0,0009	0,0014	0,0008
117	253.174	0,02	40,29	0,0005	0,0008	0,0001	0,0027	0,0002	0,0001
118	253.488	0,02	40,34	0,0009	0,0007	0,0000	0,0011	0,0008	0,0000
119	256.777	0,02	40,87	0,0006	0,0006	0,0000	0,0012	0,0061	0,0040
120	258.967	0,02	41,22	0,0003	0,0018	0,0013	0,0014	0,0041	0,0006
121	260.48	0,02	41,46	0,0002	0,0012	0,0003	0,0001	0,0008	0,0007
122	262.424	0,02	41,77	0,0003	0,0001	0,0001	0,0009	0,0102	0,0011
123	264.535	0,02	42,10	0,0006	0,0001	0,0076	0,0005	0,0007	0,0000
124	264.945	0,02	42,17	0,0002	0,0002	0,0017	0,0000	0,0044	0,0000
125	265.288	0,02	42,22	0,0000	0,0003	0,0000	0,0005	0,0003	0,0000
126	265.571	0,02	42,27	0,0010	0,0017	0,0005	0,0037	0,0032	0,0006
127	267.391	0,02	42,56	0,0001	0,0001	0,0001	0,0011	0,0000	0,0001
128	268.202	0,02	42,69	0,0007	0,0010	0,0045	0,0001	0,0011	0,0004

Mode	mega [rad/s	Period [s]	Freq. [Hz]	W_{xi}/W_{xtot}	W_{yi}/W_{ytot}	W_{zi}/W_{ztot}	N_{xi_R}/W_{xtot_s}	N_{yi_R}/W_{ytot_s}	N_{zi_R}/W_{ztot_s}
129	270.58	0,02	43,06	0,0007	0,0000	0,0003	0,0003	0,0000	0,0024
130	273.077	0,02	43,46	0,0010	0,0000	0,0004	0,0008	0,0047	0,0000
131	274.318	0,02	43,66	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000
132	274.753	0,02	43,73	0,0002	0,0007	0,0002	0,0007	0,0002	0,0017
133	275.819	0,02	43,90	0,0002	0,0005	0,0001	0,0005	0,0027	0,0004
134	276.718	0,02	44,04	0,0001	0,0004	0,0002	0,0018	0,0007	0,0001
135	277.017	0,02	44,09	0,0026	0,0007	0,0008	0,0023	0,0022	0,0000
136	278.439	0,02	44,31	0,0000	0,0004	0,0012	0,0003	0,0042	0,0004
137	281.33	0,02	44,78	0,0001	0,0008	0,0001	0,0002	0,0010	0,0003
138	281.723	0,02	44,84	0,0005	0,0002	0,0001	0,0001	0,0007	0,0008
139	283.639	0,02	45,14	0,0004	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0003
140	283.985	0,02	45,20	0,0002	0,0001	0,0003	0,0010	0,0001	0,0000
141	284.781	0,02	45,32	0,0005	0,0000	0,0001	0,0007	0,0006	0,0005
142	286.344	0,02	45,57	0,0006	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0003
143	286.858	0,02	45,65	0,0015	0,0000	0,0001	0,0000	0,0039	0,0001
144	287.236	0,02	45,71	0,0006	0,0003	0,0017	0,0005	0,0003	0,0000
145	287.564	0,02	45,77	0,0002	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001
146	289.238	0,02	46,03	0,0003	0,0002	0,0001	0,0000	0,0001	0,0002
147	289.352	0,02	46,05	0,0002	0,0000	0,0001	0,0003	0,0001	0,0005
148	290.625	0,02	46,25	0,0000	0,0008	0,0003	0,0012	0,0001	0,0005
149	292.628	0,02	46,57	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
150	293.441	0,02	46,70	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000
151	293.722	0,02	46,75	0,0002	0,0015	0,0003	0,0000	0,0010	0,0000
152	295.379	0,02	47,01	0,0007	0,0006	0,0000	0,0002	0,0009	0,0021
153	296.065	0,02	47,12	0,0035	0,0001	0,0002	0,0001	0,0020	0,0008
154	296.614	0,02	47,21	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0012	0,0002
155	297.046	0,02	47,28	0,0000	0,0001	0,0002	0,0008	0,0006	0,0009
156	298.065	0,02	47,44	0,0002	0,0000	0,0003	0,0003	0,0004	0,0026
157	299.358	0,02	47,64	0,0029	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0026
158	299.84	0,02	47,72	0,0000	0,0001	0,0014	0,0008	0,0026	0,0003
159	300.579	0,02	47,84	0,0000	0,0004	0,0056	0,0005	0,0001	0,0001
160	300.93	0,02	47,89	0,0003	0,0000	0,0000	0,0004	0,0009	0,0006
				0,9057	0,9270	0,8392	0,7489	0,8079	0,8453

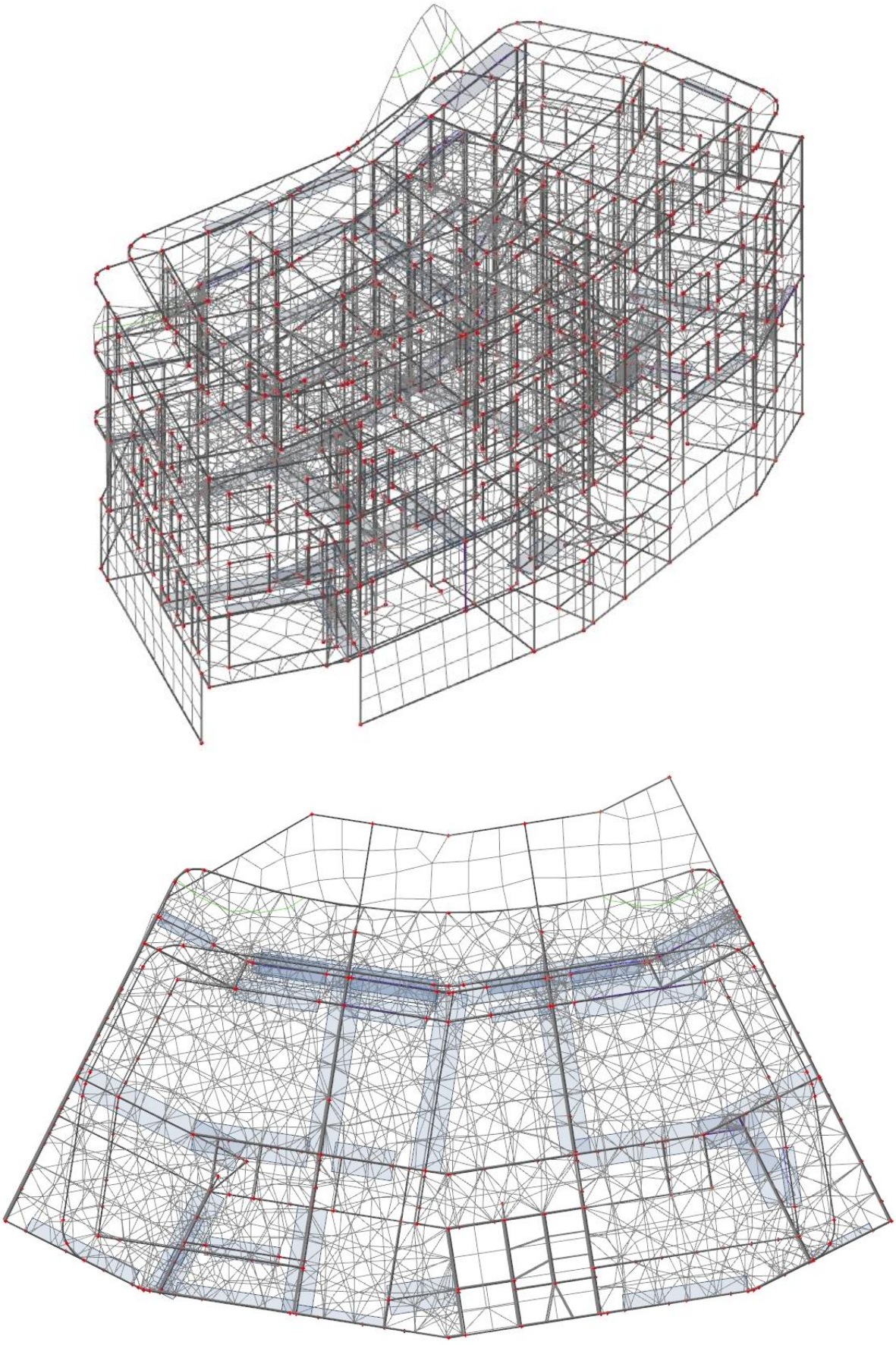
Na sljedećim grafičkim prilozima prikazano je nekoliko karakterističnih vlastitih oblika (modova), nastalih uslijed djelovanja potresa.



Slika 3.19. Prvi vlastiti vektor od djelovanja potresa na konstrukciju



Slika 3.20. Drugi vlastiti vektor od djelovanja potresa na konstrukciju



Slika 3.21. Treći vlastiti vektor od djelovanja potresa na konstrukciju

4. NUMERIČKI MODEL

Numerički model je izrađen u računalnom programu Scia Engineer 19. Modelom su obuhvaćene sve ploče, grede, zidovi i stupovi. Za vertikalna opterećenja izrađeni su 2D modeli koji služe za dimenzioniranje ploča i greda. Za horizontalna opterećenja izrađen je 3D model koji služi za dimenzioniranje zidova, stupova, stubišta i temelja.

Model je opterećen stalnim opterećenjem (vlastita težina konstrukcije), dodatnim stalnim opterećenjem (nekonstruktivni slojevi konstrukcije i nadozidi), korisnim opterećenjem, snijegom, vjetrom u dva glavna smjera kao linijsko u razini ploča te seizmičkim opterećenjem u dva glavna smjera. Sva opterećenja, osim vjetra i seizmičkog koje je generirano kroz računalni program, zadana su kao raspodijeljena opterećenja po pločama. Također je u proračunu obodnih zidova u podzemnoj etaži uzet u obzir pritisak tla.

Za potrebe analize na potres izvršena je višemodalna spektralna analiza, pri čemu su rezultati svakog moda kombinirani SRSS metodom (direktno obrađeno kroz program). Rezultati numeričkog proračuna prikazani su za pojedinačne slučajeve opterećenja, kao i za računsko (granično, ultimativno) opterećenje.

4.1. KOMBINACIJE OPTEREĆENJA

- **Granično stanje uporabljivosti**

a) Osnovne kombinacije djelovanja

GSU 1: $1.0 \cdot (g + \Delta g) + 1.0 \cdot q$

GSU 2: $1.0 \cdot (g + \Delta g) + 1.0\ s$

- **Granično stanje nosivosti**

a) Osnovne kombinacije djelovanja:

GSN 1: $1.35 \cdot (g + \Delta g) + 1.5 \cdot q$

GSN 2: $1.35 \cdot (g + \Delta g) + 1.5 \cdot s$

GSN 3: $1.35 \cdot (g + \Delta g) + 1.5 \cdot q + 0.9 \cdot (1.5 \cdot s)$

GSN 4: $1.35 \cdot (g + \Delta g) + 1.5 \cdot W_x$

GSN 5: $1.35 \cdot (g + \Delta g) + 1.5 \cdot W_y$

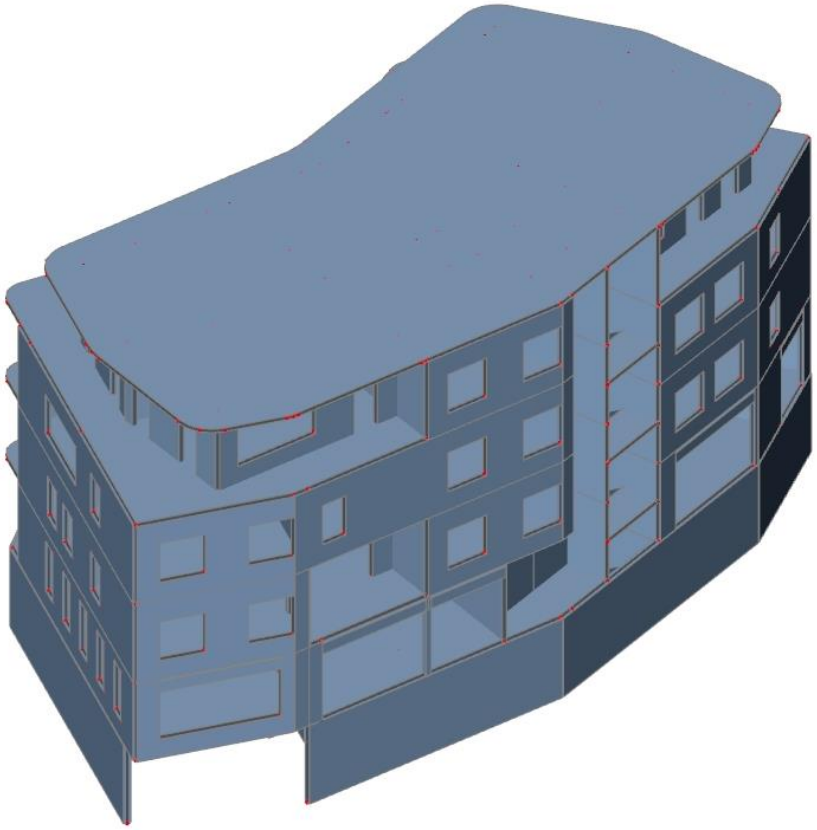
b) Seizmičke kombinacije djelovanja:

GSN 6: $1.0 \cdot (g + \Delta g) + 0.5 \cdot q + 1.0 \cdot S_x$

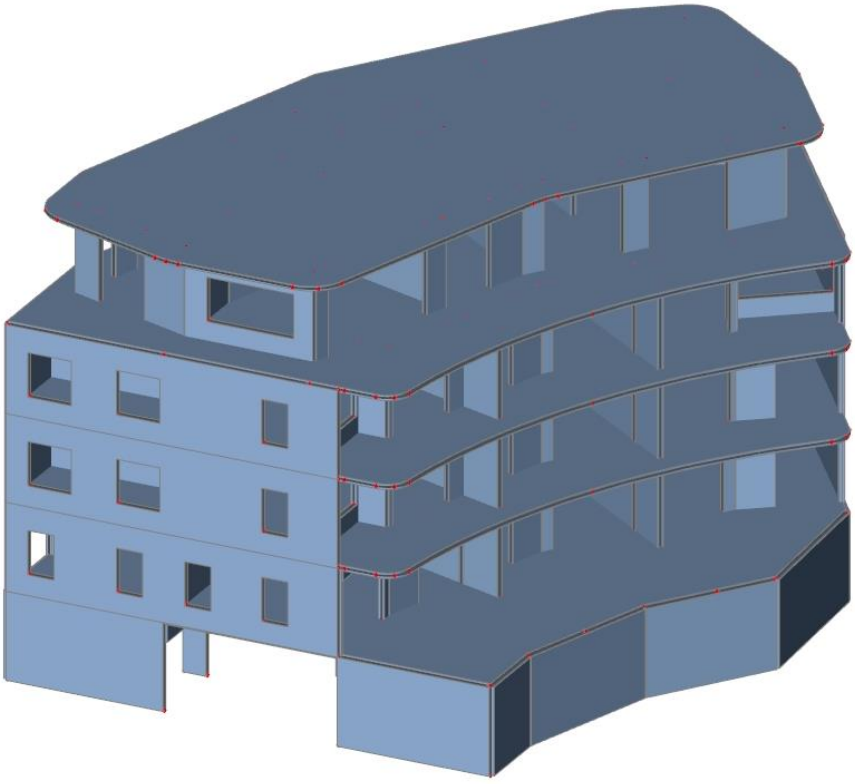
GSN 7: $1.0 \cdot (g + \Delta g) + 0.5 \cdot q + 1.0 \cdot S_y$

U potresnom opterećenju S_x je uključeno 30 % potresnog opterećenja iz suprotnog smjera, tj. y smjera. Isto vrijedi i za potresno opterećenje S_y.

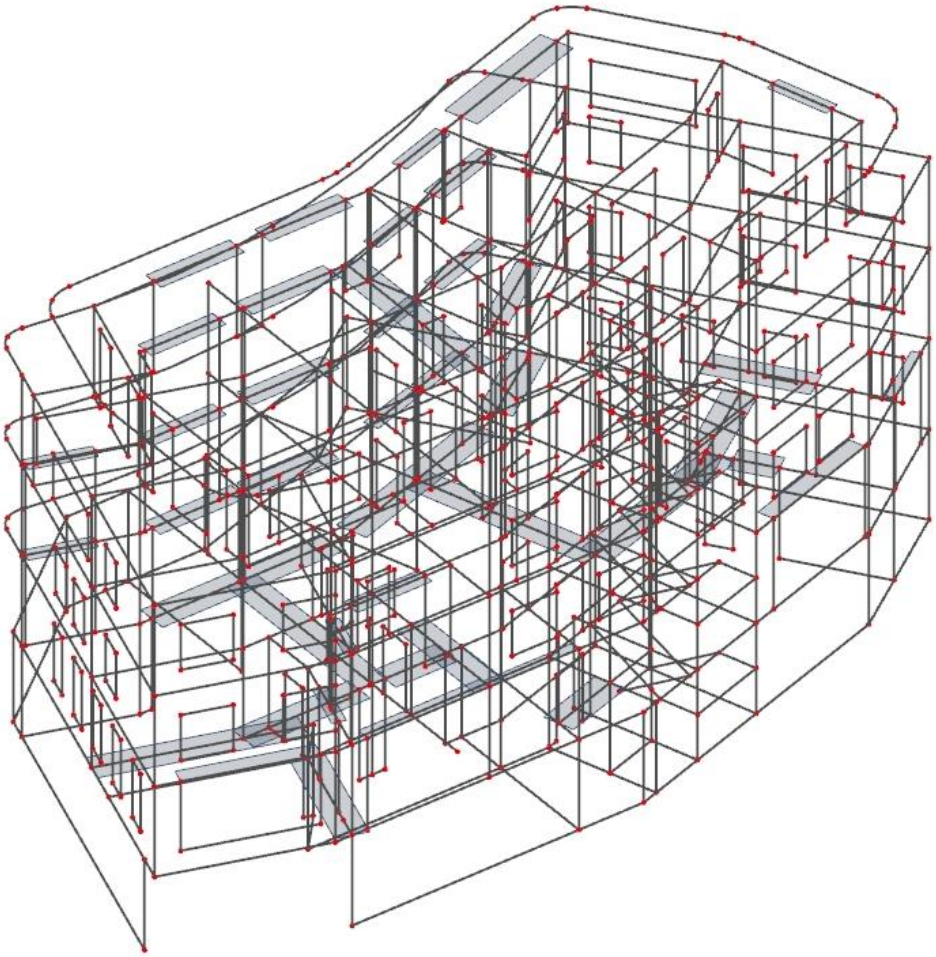
Zidovi su armirano - betonski debljine 20 cm, osim u podzemnoj etaži gdje su vanjski zidovi debljine 25 cm i modelirani su kao 2D elementi. Međukatne konstrukcije su pune armirano - betonske ploče debljine 15 cm na krovu, 18 cm između katova, a podna ploča je debljine 15 cm i sve su modelirane kao pločasti elementi. Grede su pravokutnih poprečnih presjeka i modelirane su kao štapni elementi. Svi nosivi elementi su klase betona C 30/37 te čelika B 500B.



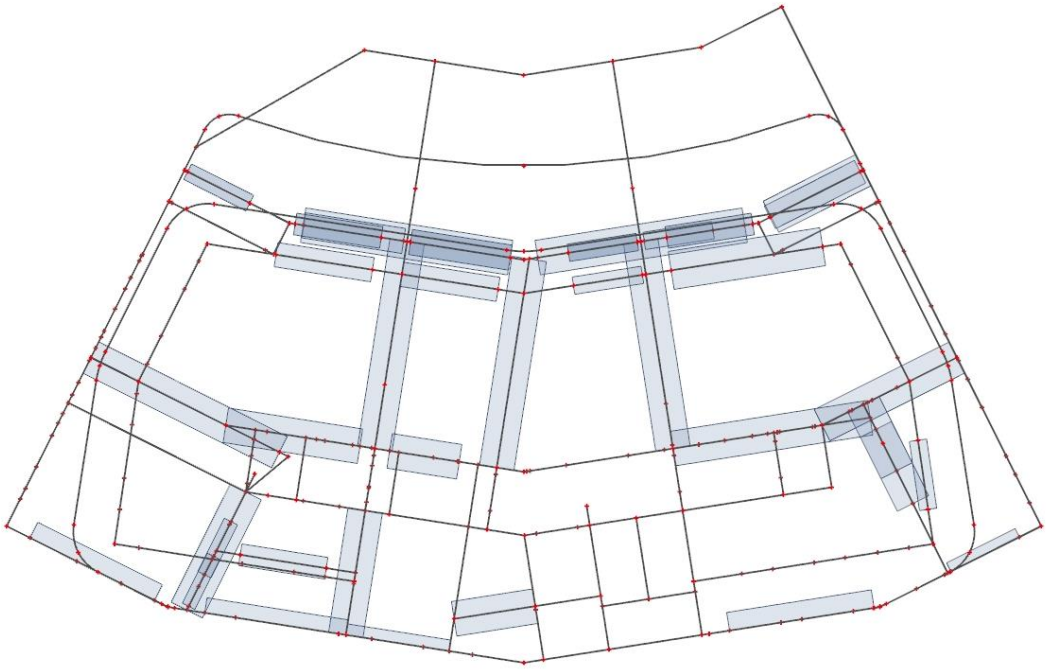
Slika 4.1. Renderirani prikaz modela zgrade - aksonometrija 1



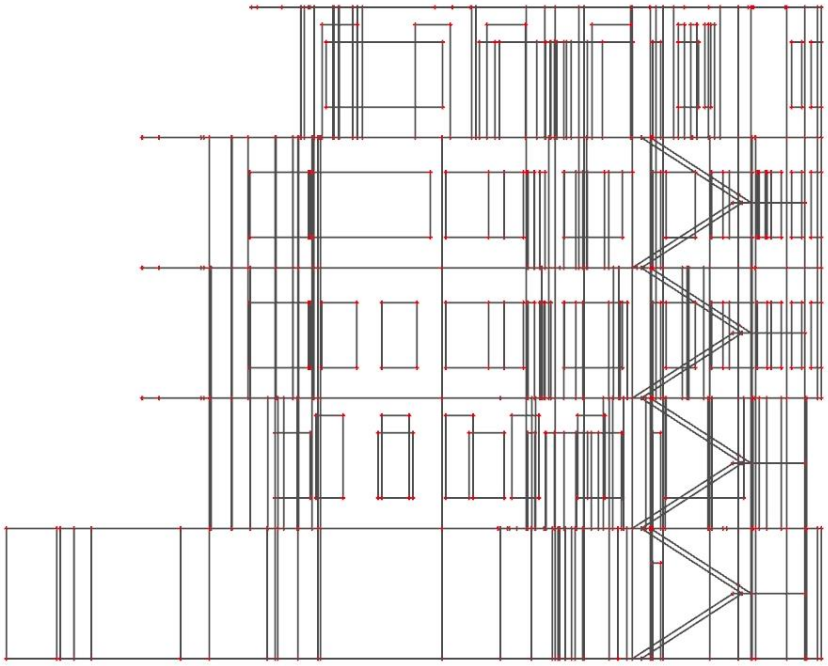
Slika 4.2. Renderirani prikaz modela zgrade - aksonometrija 2



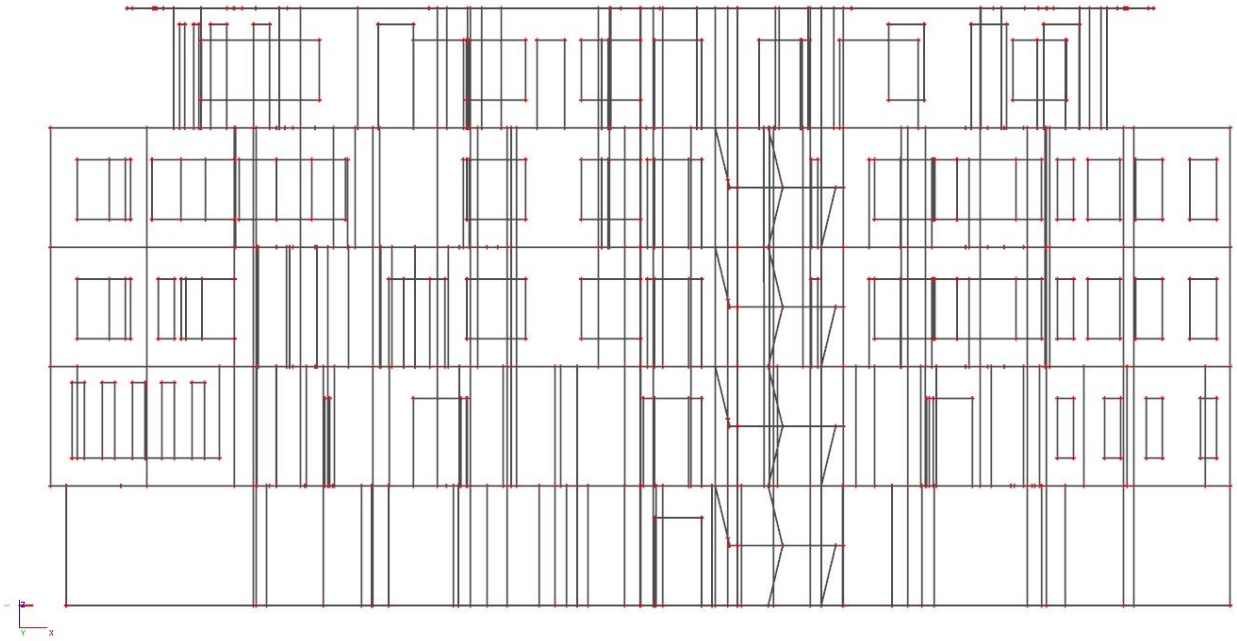
Slika 4.3. Model za proračun zgrade - aksonometrija



Slika 4.4. Model za proračun zgrade (pogled u z smjeru)



Slika 4.5. Model za proračun zgrade (pogled u x smjeru)



Slika 4.6. Model za proračun zgrade (pogled u y smjeru)

5. DIMENZIONIRANJE HORIZONTALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE

Za sve horizontalne elemente konstrukcije koristi se beton C 30/37 i čelik B 500B.

Beton C 30/37

f_{ck}= 30.0 Mpa

$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 30.0 / 1.5$

f_{cd} = 20.0 MPa = 2.0 kN/cm^2

f_{ctm} = 2.9 Mpa = 0.29 kN/cm^2

Čelik B 500B

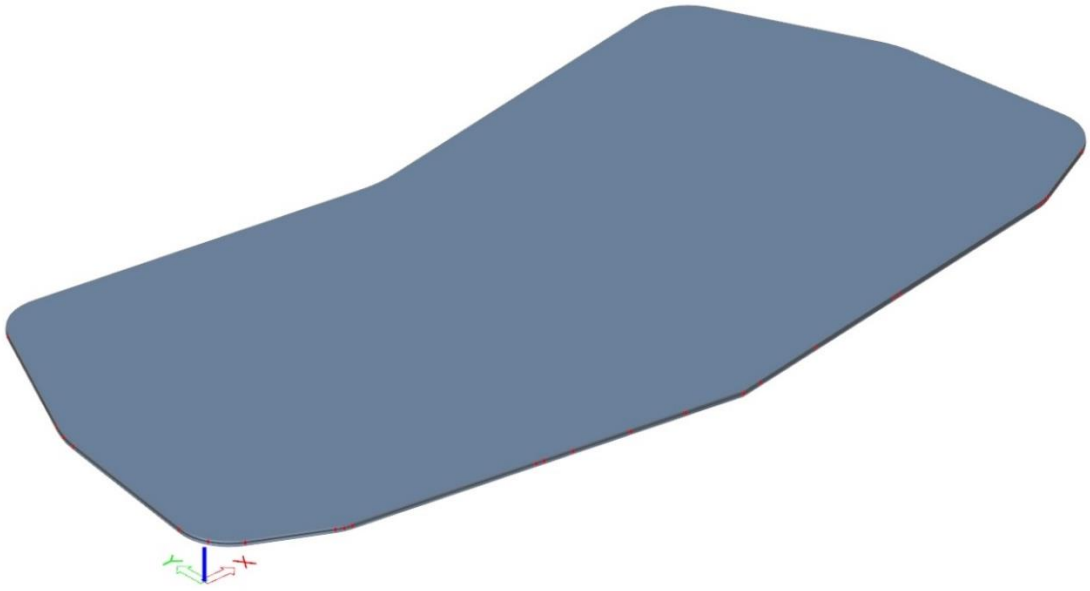
f_{yk} = 500.0 MPa

$f_{yd} = f_{yk} /\gamma_s = 500.0/1.15$

f_{yd} = 434.8 Mpa = 43.5 kN/cm^2

5.1. PRORAČUN PLOČA

5.1.1. Dimenzioniranje ploče pozicije 400 (krovna ploča)



Slika 5.1. Renderirani prikaz ploče POZ 400

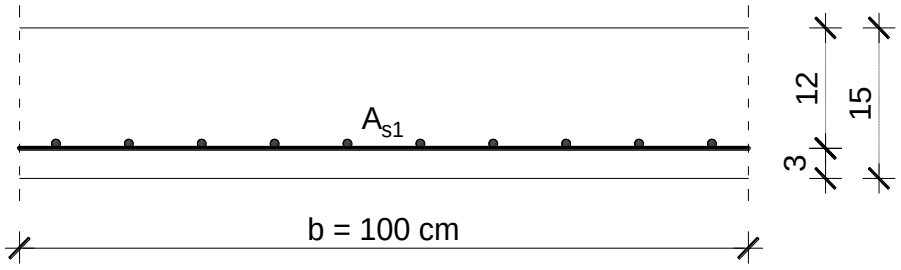
Debljina ploče:

$$h = \frac{L_{us}}{35} = \frac{500\ cm}{35} = 14.3\ cm \Rightarrow h_{US} = 15\ cm$$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$ (XC2 - umjerena vlažnost; dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup)

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$$

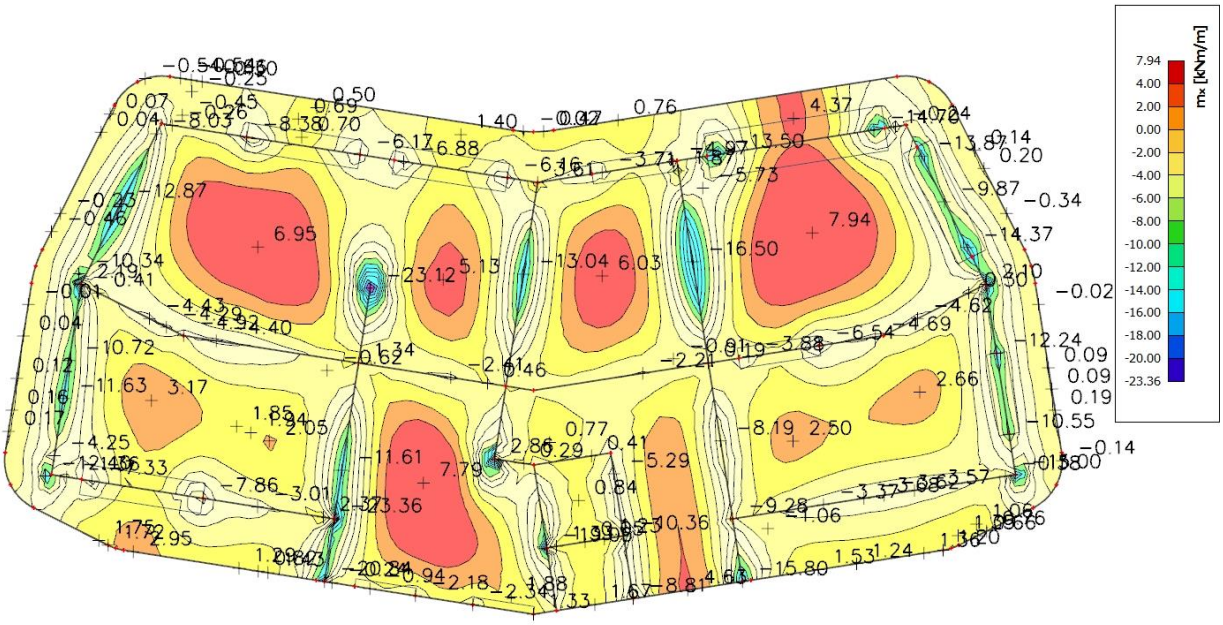
$$d = h - d_1 = 15 - 3 = 12\ cm$$



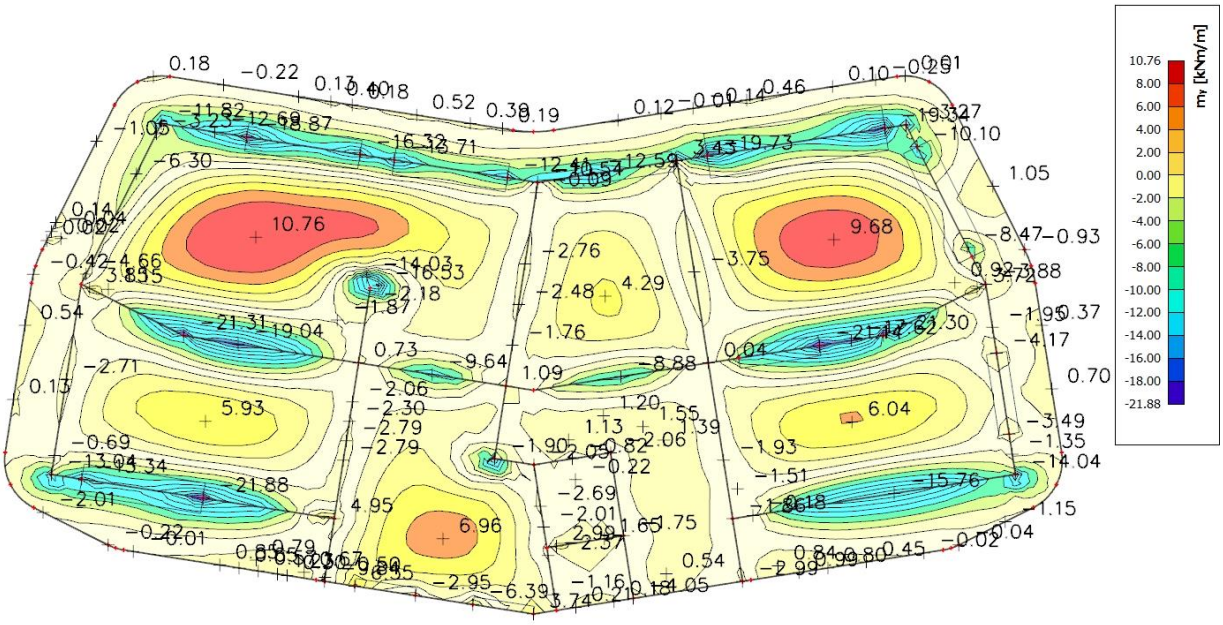
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 3:

$1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot (1.5 \cdot S)$



Slika 5.2. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.3. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

- **Armatura u polju**

$M_{ed,y}$ = 10.76 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{10.76 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2} = 0.037$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.2$ ‰, $\xi = 0.107$, $\zeta = 0.962$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{10.76 \cdot 100}{0.962 \cdot 12 \cdot 43.5} = 2.14 cm^2 + 20\ \% \Rightarrow 2.57\ cm^2$$

Napomena: Zbog preraspodjele momenata dobivena armatura uvećana je u polju za 20 %.

Odabrano za cijelu ploču: Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 7/10 cm

⇒ Veća armatura je odabrana zbog GSU.

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 12 = 1.56 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 12 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.81\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 15 = 60\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 15 = 33\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 1.81\ cm^2 < A_{s1,odab} = 3.85\ cm^2 < A_{s1,max} = 33\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura nad ležajem**

$M_{ed,y}$ = 21.88 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{21.88 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2} = 0.076$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.8$ ‰, $\xi = 0.153$, $\zeta = 0.944$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{21.88 \cdot 100}{0.944 \cdot 12 \cdot 43.5} = 4.44\ cm^2$$

Odabrano: Q 503 (A_{s1} = 5.03 cm^2) - glavna armatura ϕ 8/10 cm

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 12 = 1.56\,cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 12 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.81\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 15 = 60\ cm^2$$

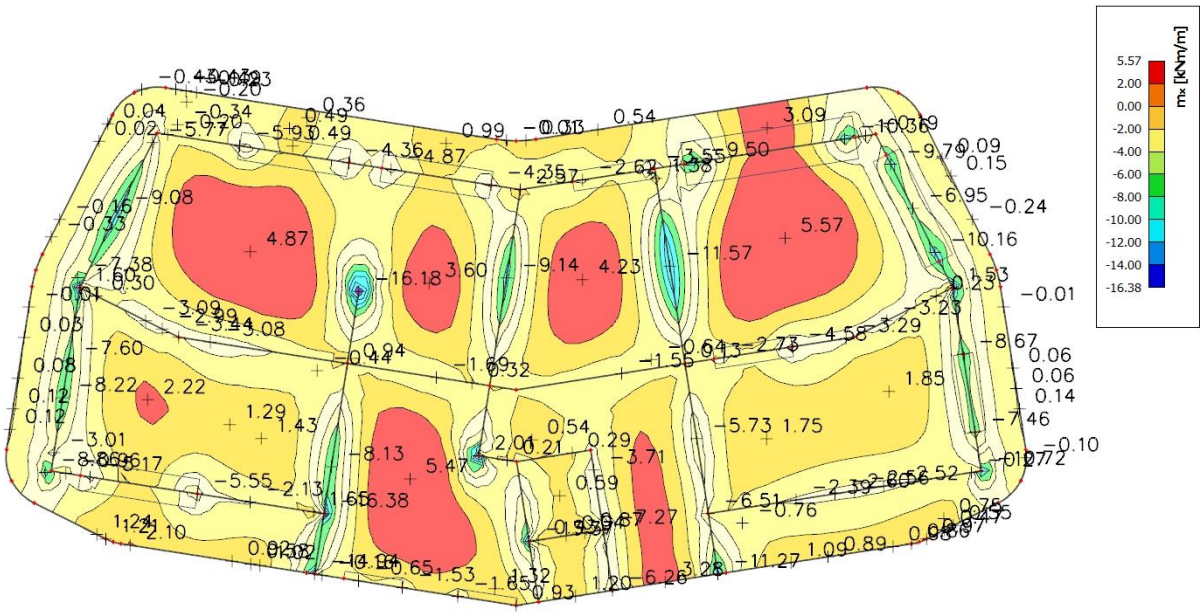
$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 15 = 33\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 1.81\ cm^2 < A_{s1,odab} = 5.03\ cm^2 < A_{s1,\max} = 33\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

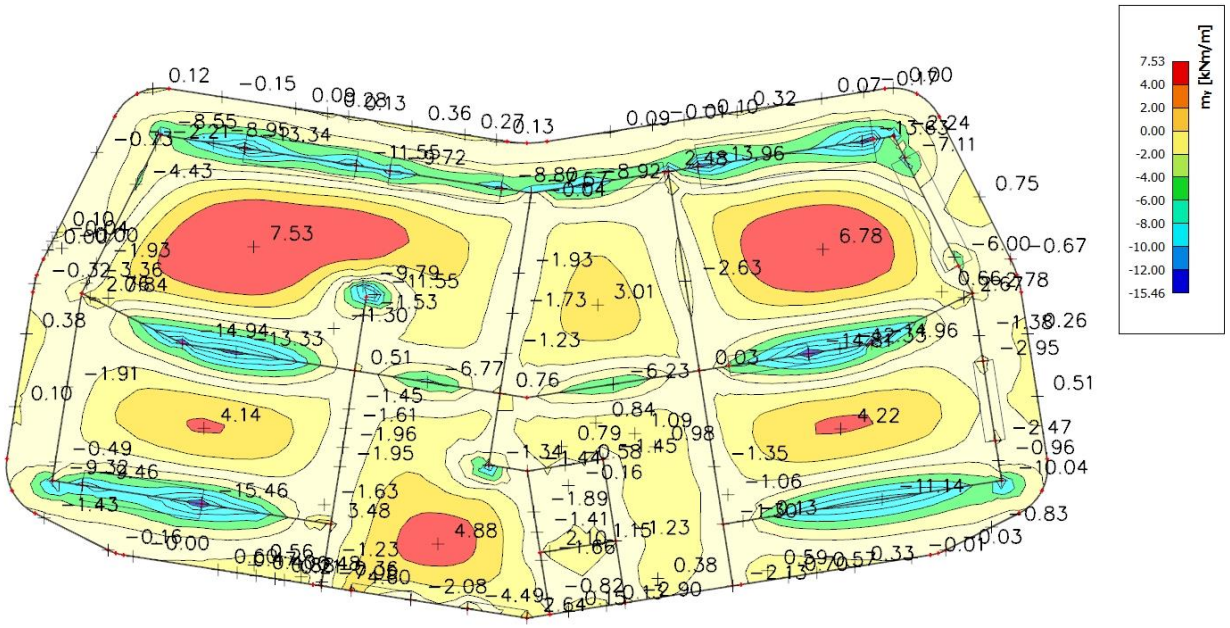
- **Granično stanje uporabljivosti (GSU)**

Proračun za granično stanje uporabljivosti proveden je za kombinaciju GSU 1:

$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.0 \cdot Q$



Slika 5.4. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.5. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

- **Kontrola pukotina**

Armiranobetonske i prednapete ploče naprezane savijanjem bez značajnijeg uzdužnog osnog vlaka nije potrebno kontrolirati na granično stanje širina pukotina ako ukupna debljina ploče ne prelazi 20 cm, te ako su poštovani uvjeti razmaka i profila ramature glavnih šipki armature i razdjelne armature.

Armiranobetonske i prednapete elemente treba uvijek armirati u području vlačnih naprezanja barem minimalnom armaturom za ograničenje širina pukotina.

Minimalna armatura može se izračunati po izrazu:

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

gdje je:

- k_c - koeficijent kojim se uzima u obzir raspodjela naprezanja i promjena kraka unutarnjih sila u poprečnom presjeku neposrednoprije pojave prve pukotine (k_c = 1.0 za čisti vlak; k_c = 0.4 za čisto savijanje)
- k - korekcijski koeficijent (k = 1.0 za h ≤ 300 mm)
- $f_{ct,eff}$ - vlačna čvrstoća betona pri pojavi prve pukotine, tj.srednja vrijednost vlačne čvrstoće betona koja je postojala u vrijeme kada se može očekivati pojava prvih pukotina ($f_{ct,eff}$ = 2.9 MPa = 0.29 kN/cm^2 za beton klase C 30/37)
- A_{ct} - vlačna površina betona; Vlačno područje je dio presjeka koji je prema proračunu vlačno napregnut neposredno prije pojave prve pukotine

  $A_{ct} = 2.5 \cdot (c + \emptyset/2 = 2.5 + 0.5) \cdot 100$

- σ_s - naprezanje u armaturi neposredno nakon pojave pukotine. Smije se uzeti da je to čvrstoća pri popuštanju armature f_{yk} (za B 500B, f_{yk} = 50 kN/cm^2 = 500 N/mm^2)

$$A_{s,\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0.4 \cdot 1.0 \cdot 0.29 \cdot \frac{2.5 \cdot 3 \cdot 100}{50} = 1.74\ cm^2 < 3.85\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

Kako postoji minimalna armatura, širine pukotina se mogu ograničiti na određenu vrijednost (0.3 mm), ako se ograniče promjer i razmaci armaturnih šipki. Vrijednosti iz tablica 5.1 i 5.2 osiguravanju da karakteristična širina pukotina, w_k neće premašiti 0.3 mm za armirani beton. Pri kratkotrajnom opterećenju mogu se pojaviti i šire pukotine, ali se to ne smatra štetnom pojavom, jer se pukotine „zatvaraju“ nakon takvog opterećenja.

Tablica 5.1. Granične vrijednosti promjera šipke ϕ_s^* za kontrolu karakterističnih širina pukotina w_k u ovisnosti o naprezanju u armaturi σ_s

Naprezanje u čeličnoj armaturi σ_s (N/mm^2)	Granične vrijednosti promjera šipke glavne armature ϕ_s^* (mm)		
	w_k = 0.4 mm	w_k = 0.3 mm	w_k = 0.2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	/

Tablica 5.2. Granične razmaka šipki za kontrolu karakterističnih širina pukotina w_k u ovisnosti o naprezanju u armaturi σ_s

Naprezanje u čeličnoj armaturi σ_s (N/mm^2)	Granične vrijednosti razmaka šipki glavne armature (mm)		
	w_k = 0.4 mm	w_k = 0.3 mm	w_k = 0.2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	/
360	100	50	/

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$
$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa

$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

M_{ed} = 7.53 kNm/m'

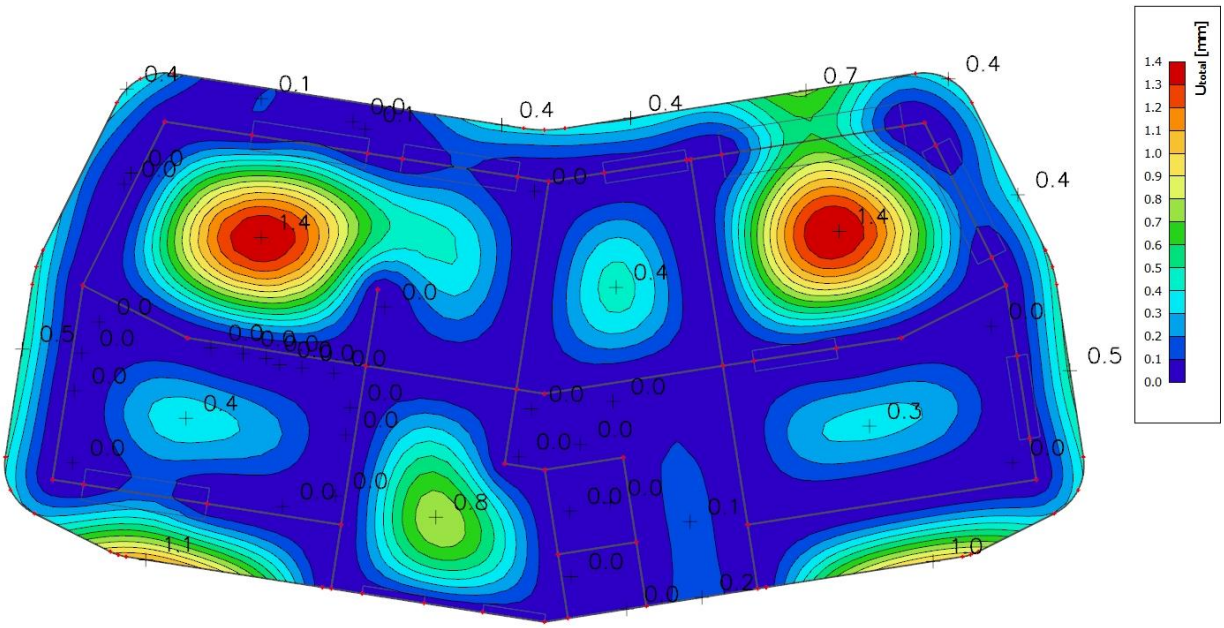
$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 3.85}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 12}{6.25 \cdot 3.85}} \right) = 2.18\ cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{7.53 \cdot 100}{\left(12 - \frac{2.18}{3} \right) \cdot 3.85} = 17.35\ kN/m^2 = 173.5\ N/mm^2$$

Odabrana je armatura **Q 385** (A_{s1} = 3.85 cm^2) kod koje su šipke promjera 7 mm na razmaku od 10 cm. Iz tablica 5.1 i 5.2 vidi se da odabrana armatura zadovoljava.

Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu pukotina!

- **Kontrola progiba**



Slika 5.6. Progib Uz ploče POZ 400 za GSU [mm]

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa

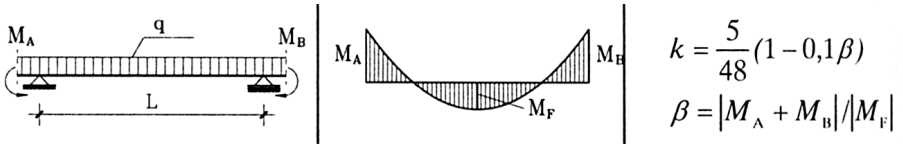
$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

Granični progib u polju: $v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{500\ cm}{250} = 2\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left| M_{l1} + M_{l2} \right| / \left| M_p \right| = \left| 13.34 + 14.94 \right| / 7.53 = 3.76$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta \right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 3.76 \right) = 0.065$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left| M_A + M_B \right| / \left| M_F \right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right]$$

$$= \frac{100 \cdot 15^3}{12} + 6.25 \cdot \left[3.85 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3 \right)^2 + 0.0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3 \right)^2 \right] =$$

$$= 28125 + 487.27 = 28612.27 \; cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 7.53 \, kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32 \; GN/m^2 = 3200.0 \; kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{7.53 \cdot 100}{3200 \cdot 28612.27} = 0.0000082 \; \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 3.85}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 12}{6.25 \cdot 3.85}} \right) = 2.18 \, cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2 \right]$$

$$= \frac{100 \cdot 2.18^3}{12} + (100 \cdot 2.18) \cdot \left(\frac{2.18}{2} \right)^2 + 6.25 \cdot \left[3.85 \cdot (12 - 2.18)^2 + 0.0 \cdot (2.18 - 3)^2 \right]$$

$$= 86.34 + 259.01 + 2320.41 = 2665.76 \; cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{7.53 \cdot 100}{3200 \cdot 2665.76} = 0.000088 \frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0 \; MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0.3 \cdot (30.0)^{2/3} = 2.9 \; MPa$$

$$M_{cr} = 0.29 \cdot \frac{100 \cdot 15^2}{6} = 1087.5 \, kNcm = 10.88 \; kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{1087.5}{\left(12 - \frac{2.18}{3} \right) \cdot 3.85} = 25.06 \; \frac{kN}{cm^2} = 250.6 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{7.53 \cdot 100}{\left(12 - \frac{2.18}{3}\right) \cdot 3.85} = 17.35\ kN/m^2 = 173.5\ N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0 -$ *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ *– dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{250.6}{174.5}\right)^2 = 0.031$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000082\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.000088\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.031) \cdot 0.0000082 + 0.031 \cdot 0.000088 = 0.000011 \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.000011\ \frac{1}{cm}$$

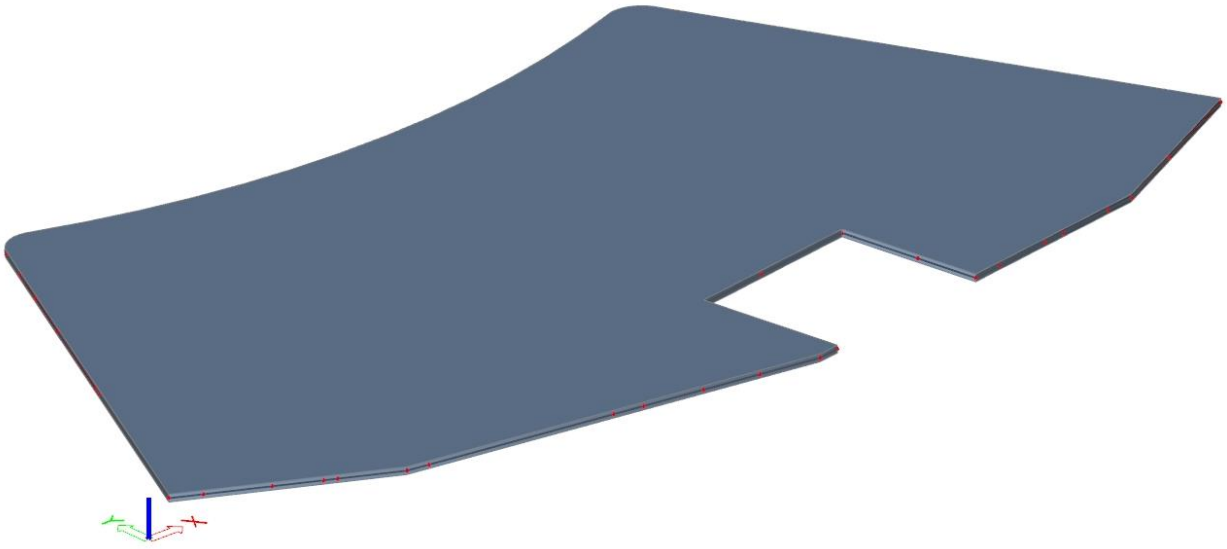
$k = 0.065$

$L = 500\ cm$

$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.065 \cdot 500^2 \cdot 0.000011 = 0.18\ cm < v_{\lim} = 2\ cm$$

Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

5.1.2. Dimenzioniranje ploče pozicije 300 (3. kat)



Slika 5.7. Renderirani prikaz ploče POZ 300

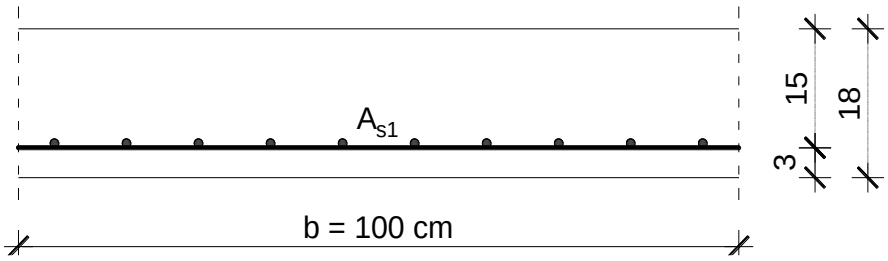
Debljina ploče:

$$h = \frac{L_{us}}{35} = \frac{600\ cm}{35} = 17.14\ cm \ \Rightarrow\ h_{US} = 18\ cm$$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$ (XC2 - umjerena vlažnost; dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup)

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$$

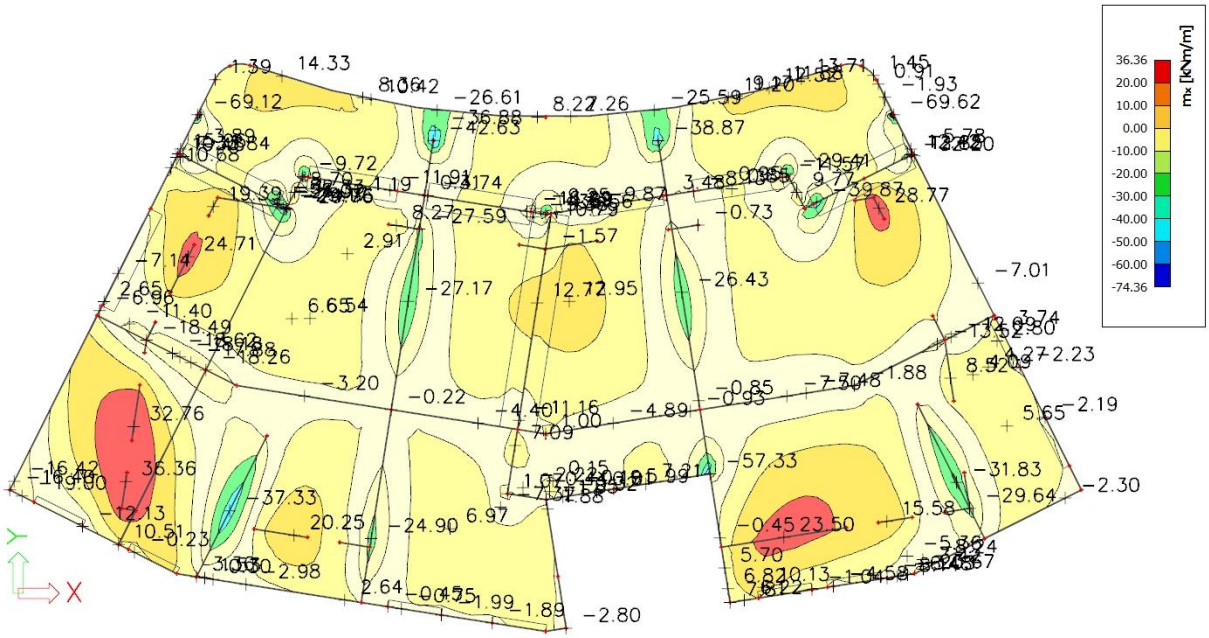
$$d = h - d_1 = 18 - 3 = 15\ cm$$



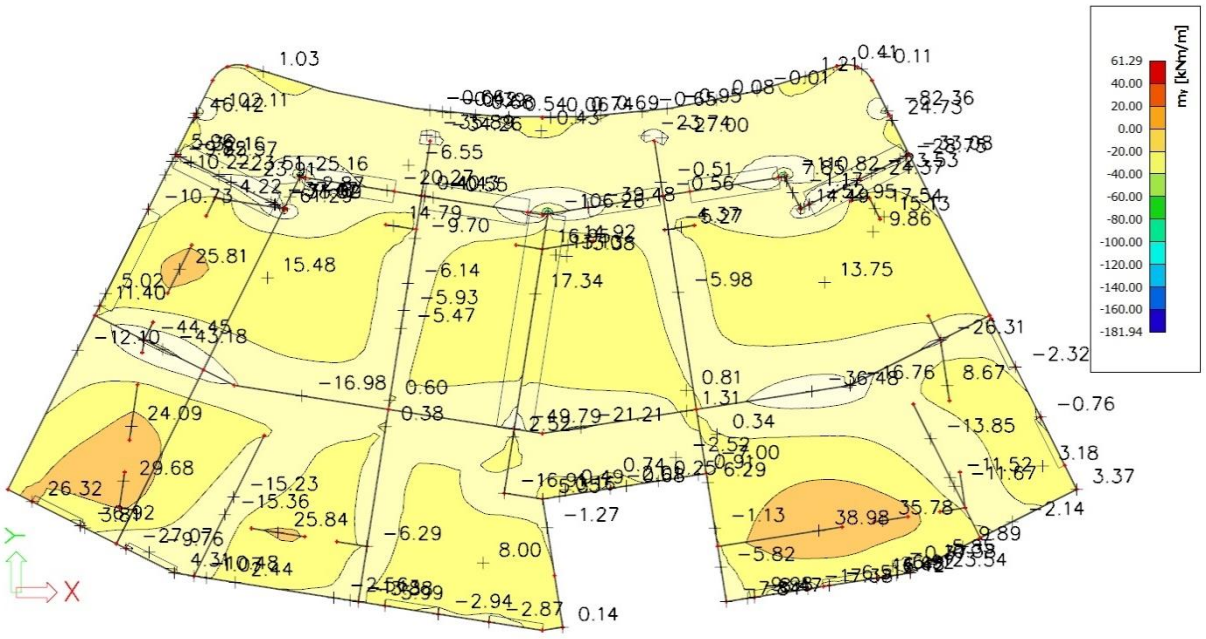
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 1:

$1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q$



Slika 5.8. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.9. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

- **Armatura u polju za cijelu ploču**

$M_{ed,y}$ = 17.34 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{17.34 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.039$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.2$ ‰, $\xi = 0.107$, $\zeta = 0.962$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{17.34 \cdot 100}{0.962 \cdot 15 \cdot 43.5} = 2.76\ cm^2 + 20\ \% \Rightarrow 3.31\ cm^2$$

Napomena: Zbog preraspodjele momenata dobivena armatura uvećana je u polju za 20 %.

Odabrano za cijelu ploču: Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 7/10 cm

⇒ Veća armatura je odabrana zbog GSU.

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 3.85\ cm^2 < A_{s1,max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura u kritičnom presjeku**

$M_{ed,y}$ = 38.98 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{38.98 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.087$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 2.0$ ‰, $\xi = 0.167$, $\zeta = 0.938$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{38.98 \cdot 100}{0.938 \cdot 15 \cdot 43.5} = 6.67\,cm^2 + 20\ \% \Rightarrow 7.64\ cm^2$$

Napomena: Zbog preraspodjele momenata dobivena armatura uvećana je u polju za 20 %.

Odabrano za kritične presjeke:

Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 7/10 cm **+ 5** ϕ **10/20 = 3.85 + 3.93 = 7.78 cm^2**

Šipke postaviti u oba smjera!

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95\,cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6\,cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 7.78\ cm^2 < A_{s1,max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura nad ležajem**

$M_{ed,y}$ = 44.45 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{44.45 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.099$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 2.3$ ‰, $\xi = 0.187$, $\zeta = 0.928$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{44.45 \cdot 100}{0.928 \cdot 15 \cdot 43.5} = 7.34\ cm^2$$

Odabrano: Q 785 (A_{s1} = 7.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 10/10 cm

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

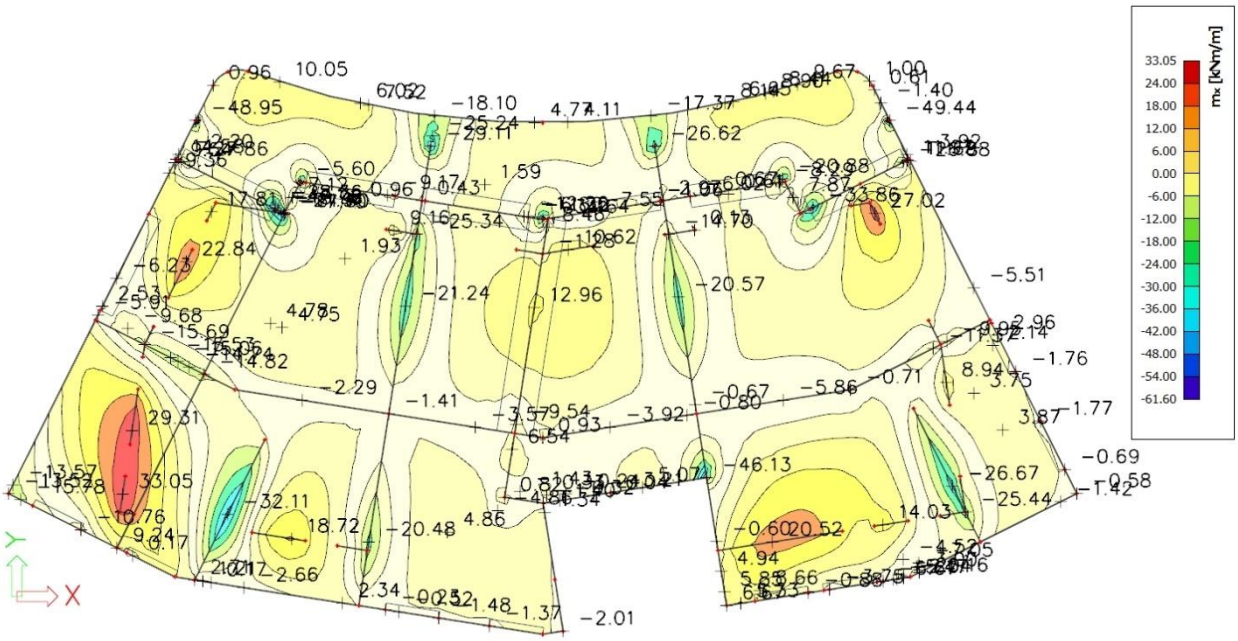
$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 7.85\ cm^2 < A_{s1,\max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

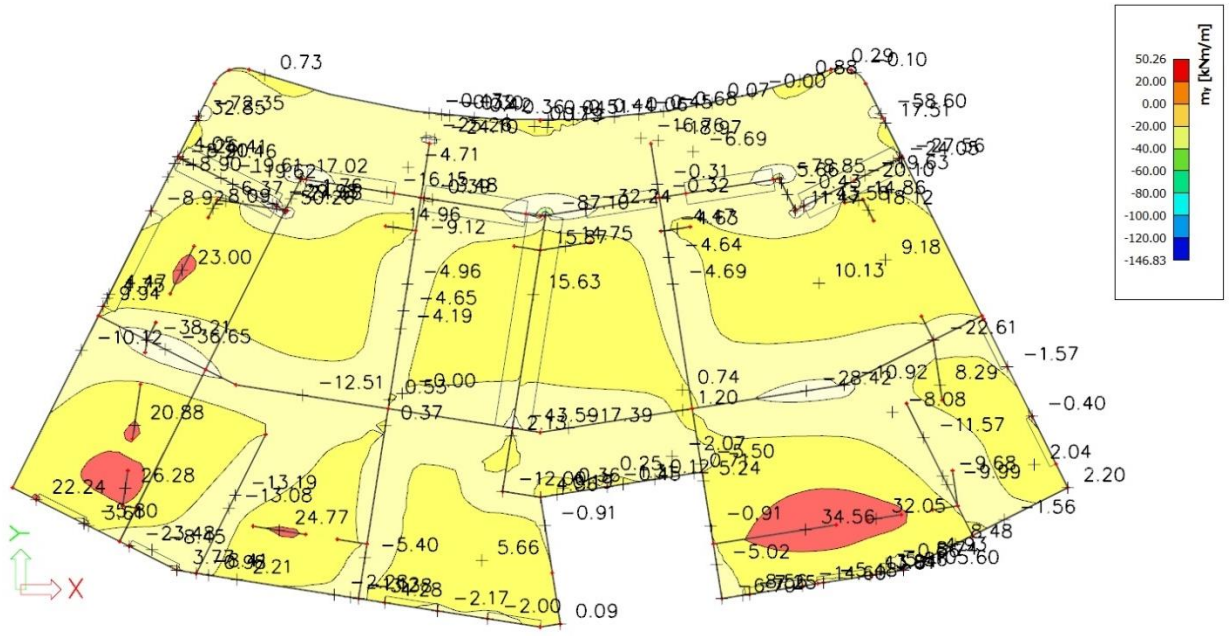
- **Granično stanje uporabljivosti (GSU)**

Proračun za granično stanje uporabljivosti proveden je za kombinaciju GSU 1:

$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.0 \cdot Q$



Slika 5.10. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.11. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

- **Kontrola pukotina**

Armiranobetonske i prednapete ploče naprezane savijanjem bez značajnijeg uzdužnog osnog vlaka nije potrebno kontrolirati na granično stanje širina pukotina ako ukupna debljina ploče ne prelazi 20 cm, te ako su poštovani uvjeti razmaka i profila ramature glavnih šipki armature i razdjelne armature.

Armiranobetonske i prednapete elemente treba uvijek armirati u području vlačnih naprezanja barem minimalnom armaturom za ograničenje širina pukotina.

Minimalna armatura može se izračunati po izrazu:

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

gdje je:

- k_c - koeficijent kojim se uzima u obzir raspodjela naprezanja i promjena kraka unutarnjih sila u poprečnom presjeku neposrednoprije pojave prve pukotine (k_c = 1.0 za čisti vlak; k_c = 0.4 za čisto savijanje)
- k - korekcijski koeficijent (k = 1.0 za h ≤ 300 mm)
- $f_{ct,eff}$ - vlačna čvrstoća betona pri pojavi prve pukotine, tj.srednja vrijednost vlačne čvrstoće betona koja je postojala u vrijeme kada se može očekivati pojava prvih pukotina ($f_{ct,eff}$ = 2.9 MPa = 0.29 kN/cm^2 za beton klase C 30/37)
- A_{ct} - vlačna površina betona; Vlačno područje je dio presjeka koji je prema proračunu vlačno napregnut neposredno prije pojave prve pukotine

  $A_{ct} = 2.5 \cdot (c + \emptyset/2 = 2.5 + 0.5) \cdot 100$

- σ_s - naprezanje u armaturi neposredno nakon pojave pukotine. Smije se uzeti da je to čvrstoća pri popuštanju armature f_{yk} (za B 500B, f_{yk} = 50 kN/cm^2 = 500 N/mm^2)

$$A_{s,\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0.4 \cdot 1.0 \cdot 0.29 \cdot \frac{2.5 \cdot 3 \cdot 100}{50} = 1.74\ cm^2 < 3.85\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

Kako postoji minimalna armatura, širine pukotina se mogu ograničiti na određenu vrijednost (0.3 mm), ako se ograniče promjer i razmaci armaturnih šipki. Vrijednosti iz tablica 5.1 i 5.2 osiguravanju da karakteristična širina pukotina, w_k neće premašiti 0.3 mm za armirani beton. Pri kratkotrajnom opterećenju mogu se pojaviti i šire pukotine, ali se to ne smatra štetnom pojavom, jer se pukotine „zatvaraju“ nakon takvog opterećenja.

Tablica 5.1. Granične vrijednosti promjera šipke ϕ_s^* za kontrolu karakterističnih širina pukotina w_k u ovisnosti o naprezanju u armaturi σ_s

Naprezanje u čeličnoj armaturi σ_s (N/mm^2)	Granične vrijednosti promjera šipke glavne armature ϕ_s^* (mm)		
	w_k = 0.4 mm	w_k = 0.3 mm	w_k = 0.2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	/

Tablica 5.2. Granične razmaka šipki za kontrolu karakterističnih širina pukotina w_k u ovisnosti o naprezanju u armaturi σ_s

Naprezanje u čeličnoj armaturi σ_s (N/mm^2)	Granične vrijednosti razmaka šipki glavne armature (mm)		
	w_k = 0.4 mm	w_k = 0.3 mm	w_k = 0.2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	/
360	100	50	/

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$
$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa

$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

M_{ed} = 15.63 kNm/m'

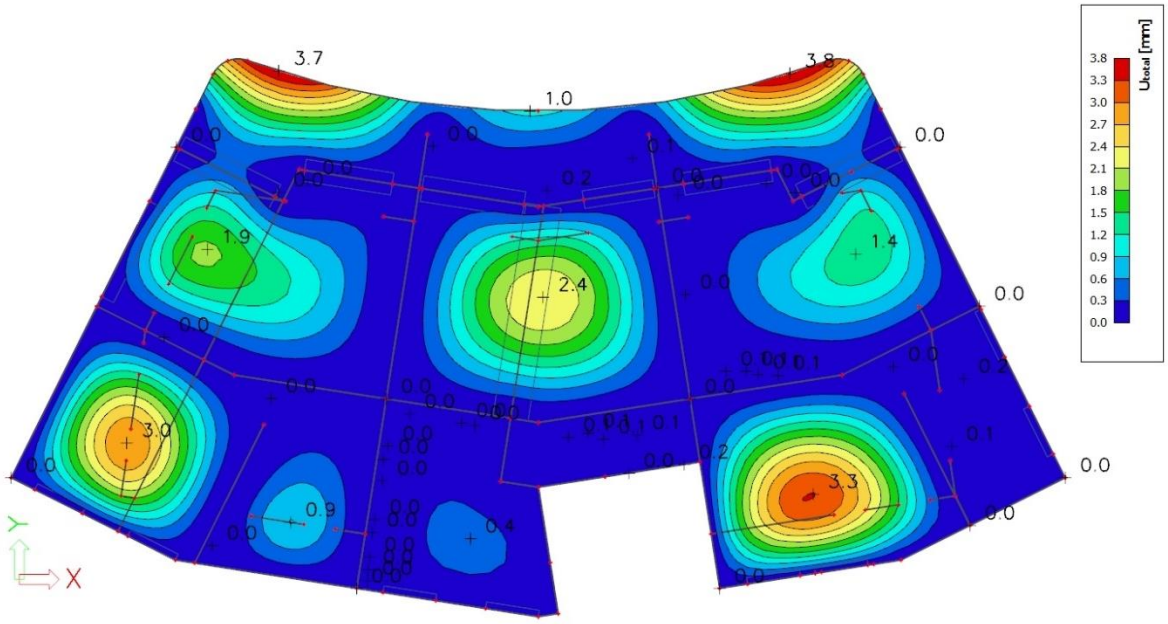
$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 3.85}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 15}{6.25 \cdot 3.85}} \right) = 2.46\ cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{15.63 \cdot 100}{\left(15 - \frac{2.46}{3} \right) \cdot 3.85} = 28.63\ kN/m^2 = 286.3\ N/mm^2$$

Odabrana armatura je **Q 385** (A_{s1} = 3.85 cm^2) kod koje su šipke promjera 7 mm na razmaku od 10 cm. Iz tablica 5.1 i 5.2 vidi se da odabrana armatura zadovoljava.

Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu pukotina!

- **Kontrola progiba**



Slika 5.12. Progib Uz ploče POZ 300 za GSU [mm]

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa

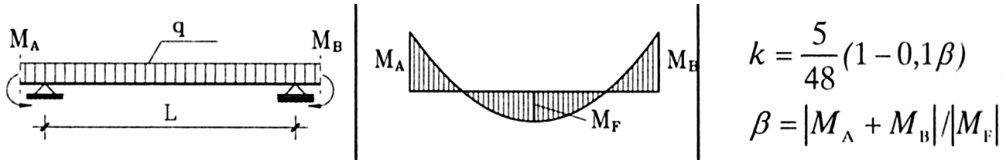
$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

Granični progib u polju: $v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{600\ cm}{250} = 2.4\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left| M_{l1} + M_{l2} \right| / \left| M_p \right| = \left| 4.96 + 4.69 \right| / 15.63 = 0.62$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta \right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 0.62 \right) = 0.098$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left| M_A + M_B \right| / \left| M_F \right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b\cdot h^3}{12} + \alpha_{eI}\cdot\left[A_{s1}\cdot\left(\frac{h}{2}-d_2\right)^2 + A_{s2}\cdot\left(\frac{h}{2}-d_1\right)^2\right]$$

$$= \frac{100\cdot 18^3}{12} + 6.25\cdot\left[3.85\cdot\left(\frac{18}{2}-3\right)^2 + 0.0\cdot\left(\frac{18}{2}-3\right)^2\right] =$$

$$= 48600 + 866.25 = 49\ 466.25\ cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 15.63\ kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32\ GN/m^2 = 3200.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff}\cdot I_I} = \frac{15.63\cdot 100}{3200\cdot 49466.25} = 0.0000099\frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI}\cdot A_{s1}}{b}\left(-1+\sqrt{1+\frac{2\cdot b\cdot d}{\alpha_{eI}\cdot A_{s1}}}\right) = \frac{6.25\cdot 3.85}{100}\cdot\left(-1+\sqrt{1+\frac{2\cdot 100\cdot 15}{6.25\cdot 3.85}}\right) = 2.46\ cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b\cdot x^3}{12} + b\cdot x\cdot\left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_{eI}\cdot\left[A_{s1}\cdot(d-x)^2 + A_{s2}\cdot(x-d_2)^2\right]$$

$$= \frac{100\cdot 2.46^3}{12} + (100\cdot 2.46)\cdot\left(\frac{2.46}{2}\right)^2 + 6.25\cdot\left[3.85\cdot(15-2.46)^2 + 0.0\cdot(2.46-3)^2\right]$$

$$= 124.06 + 372.17 + 3783.87 = 4280.1\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff}\cdot I_{II}} = \frac{15.36\cdot 100}{3200\cdot 4280.1} = 0.00011\frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z\cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm}\cdot\frac{b\cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3\cdot(f_{ck})^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0\ MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3\cdot(f_{ck})^{2/3} = 0.3\cdot(30.0)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

$$M_{cr} = 0.29\cdot\frac{100\cdot 18^2}{6} = 1566\ kNcm = 15.66\ kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z\cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d-\frac{x}{3}\right)\cdot A_s} = \frac{1566}{\left(15-\frac{2.46}{3}\right)\cdot 3.85} = 28.68\ \frac{kN}{cm^2} = 286.8 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{15.63 \cdot 100}{\left(15 - \frac{2.46}{3}\right) \cdot 3.85} = 28.63\ kN/m^2 = 286.3\ N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0 -$ *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ *– dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{286.8}{286.3}\right)^2 = 0.498$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000099\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.00011\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.498) \cdot 0.0000099 + 0.498 \cdot 0.00011 = 0.00006\ \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.00006\ \frac{1}{cm}$$

$k = 0.098$

$L = 600\ cm$

$$\nu_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.098 \cdot 600^2 \cdot 0.00006 = 2.12\ cm < \nu_{\lim} = 2.4\ cm$$

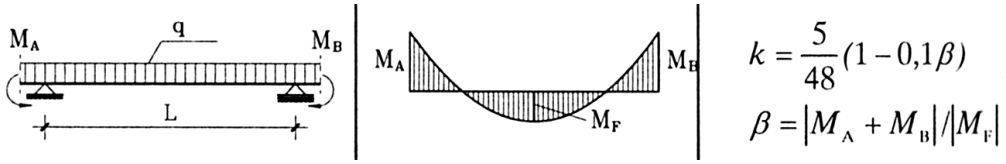
Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

Granični progib na balkonu: $\nu_{\lim} = \frac{2 \cdot L}{250} = \frac{2 \cdot 250\ cm}{250} = 2\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left|M_{l1} + M_{l2}\right| / \left|M_p\right| = \left|34.64 + 0\right| / 0 = 0$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta\right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 0\right) = 0.104$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left|M_A + M_B\right| / \left|M_F\right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right]$$

$$= \frac{100 \cdot 18^3}{12} + 6.25 \cdot \left[7.85 \cdot \left(\frac{18}{2} - 3 \right)^2 + 0.0 \cdot \left(\frac{18}{2} - 3 \right)^2 \right] =$$

$$= 48600 + 1766.25 = 50\,366.25\ cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 34.64\ kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32\ GN/m^2 = 3200.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{34.64 \cdot 100}{3200 \cdot 50366.25} = 0.000021 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 7.85}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 15}{6.25 \cdot 7.85}} \right) = 3.38\ cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2 \right]$$

$$= \frac{100 \cdot 3.38^3}{12} + (100 \cdot 3.38) \cdot \left(\frac{3.38}{2} \right)^2 + 6.25 \cdot \left[7.85 \cdot (15 - 3.38)^2 + 0.0 \cdot (3.38 - 3)^2 \right]$$

$$= 321.79 + 965.36 + 6624.63 = 7911.78\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{34.64 \cdot 100}{3200 \cdot 7911.78} = 0.00014 \frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0\ MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0.3 \cdot (30.0)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

$$M_{cr} = 0.29 \cdot \frac{100 \cdot 18^2}{6} = 1566\ kNcm = 15.66\ kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{1566}{\left(15 - \frac{3.38}{3} \right) \cdot 7.85} = 14.38\ \frac{kN}{cm^2} = 143.8 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{34.64 \cdot 100}{\left(15 - \frac{3.38}{3}\right) \cdot 7.85} = 31.81\ kN/m^2 = 318.1 N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0 -$ *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ *– dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{143.8}{318.1}\right)^2 = 0.898$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.000021 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.00013 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.898) \cdot 0.000021 + 0.898 \cdot 0.00014 = 0.00013 \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.00006 \frac{1}{cm}$$

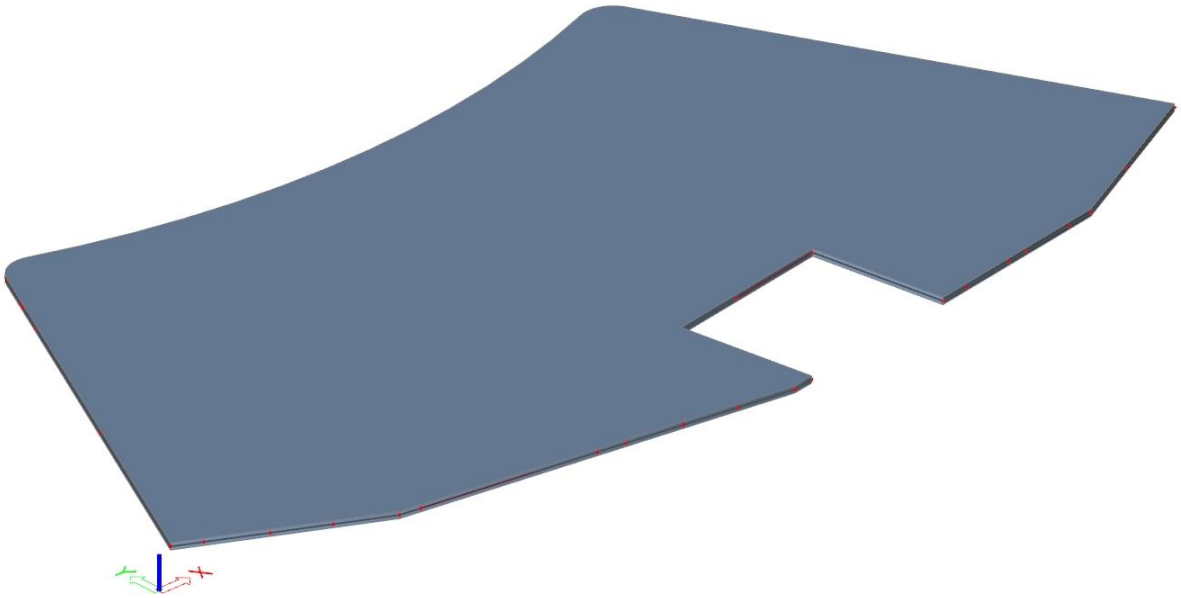
$k = 0.104$

$L = 250\ cm$

$$\nu_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.104 \cdot 250^2 \cdot 0.00013 = 0.845\ cm < \nu_{\lim} = 2\ cm$$

Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

5.1.3. Dimenzioniranje ploče pozicije 200 (2. kat)



Slika 5.13. Renderirani prikaz ploče POZ 200

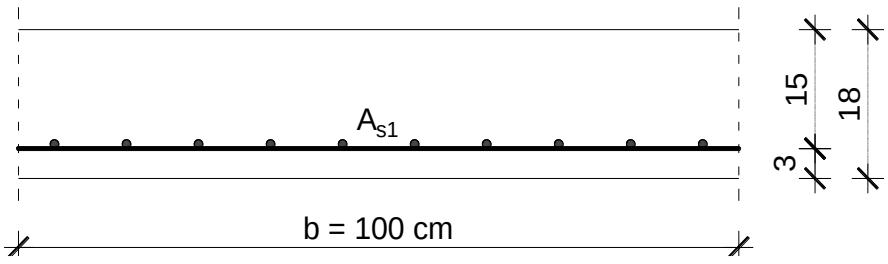
Debljina ploče:

$$h = \frac{L_{us}}{35} = \frac{600\ cm}{35} = 17.14\ cm \ \Rightarrow\ h_{US} = 18\ cm$$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$ (XC2 - umjerena vlažnost; dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup)

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$$

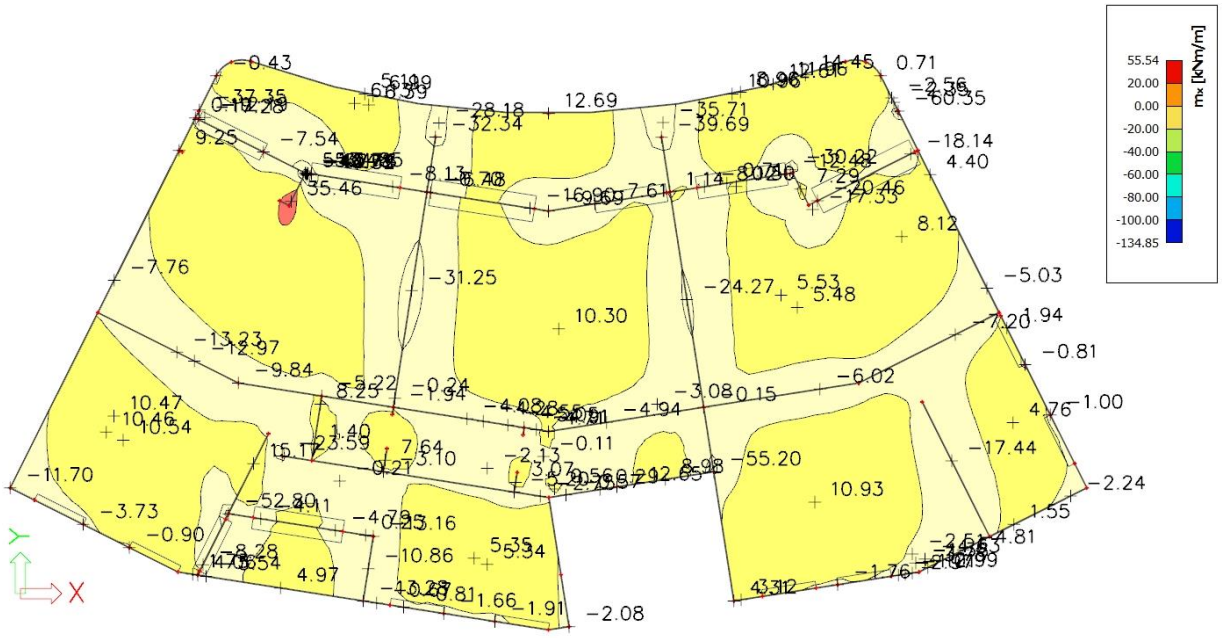
$$d = h - d_1 = 18 - 3 = 15\ cm$$



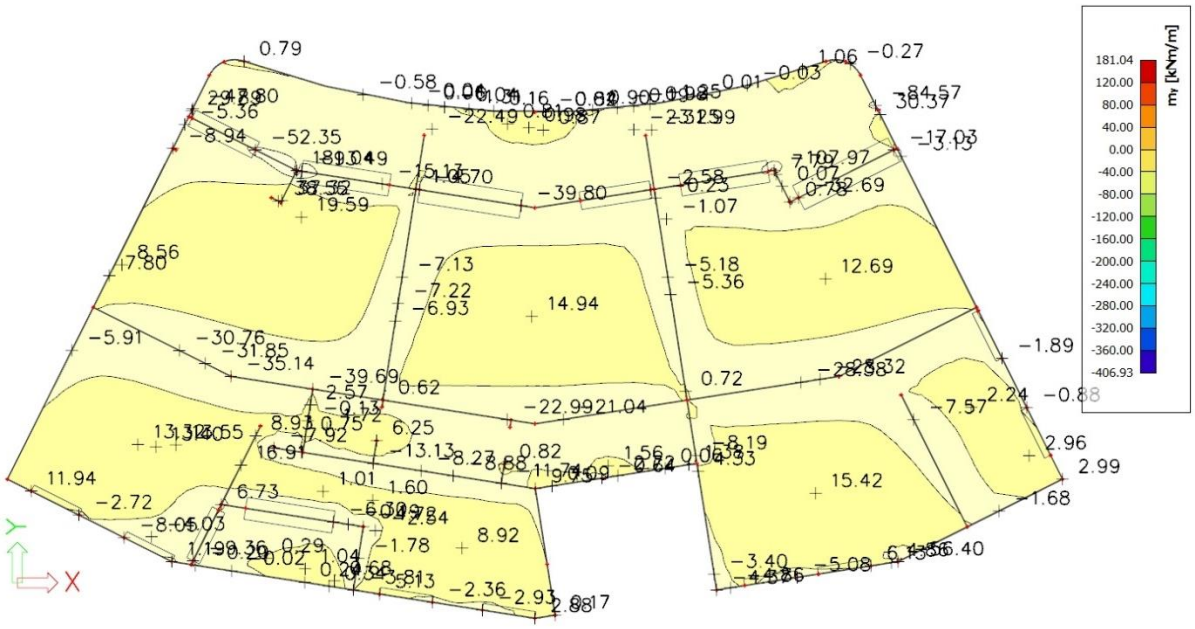
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 1:

$1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q$



Slika 5.14. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.15. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

- **Armatura u polju za cijelu ploču**

$M_{ed,y}$ = 15.42 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{15.42 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.034$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.1$ ‰, $\xi = 0.099$, $\zeta = 0.965$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{15.42 \cdot 100}{0.965 \cdot 15 \cdot 43.5} = 2.45\ cm^2 + 20\ \% \Rightarrow 2.94\ cm^2$$

Napomena: Zbog preraspodjele momenata dobivena armatura uvećana je u polju za 20 %.

Odabrano za cijelu ploču: Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 7/10 cm

⇒ Veća armatura je odabrana zbog GSU.

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 3.85\ cm^2 < A_{s1,max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura u kritičnom presjeku**

$M_{ed,y}$ = 38.55 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{38.55 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.086$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 2.0$ ‰, $\xi = 0.167$, $\zeta = 0.938$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{38.55 \cdot 100}{0.938 \cdot 15 \cdot 43.5} = 6.3\ cm^2 + 20\ \% \Rightarrow 7.56\ cm^2$$

Napomena: Zbog preraspodjele momenata dobivena armatura uvećana je u polju za 20 %.

Odabrano za kritične presjeke:

Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 7/10 cm **+ 5 ϕ 10/20 = 3.85 + 3.93 = 7.78 cm^2**

Šipke postaviti u oba smjera!

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 7.78\ cm^2 < A_{s1,max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura nad ležajem**

$M_{ed,y}$ = 39.80 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{39.80 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.088$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 2.0$ ‰, $\xi = 0.167$, $\zeta = 0.938$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{39.80 \cdot 100}{0.938 \cdot 15 \cdot 43.5} = 6.5\ cm^2$$

Odabrano: Q 785 (A_{s1} = 7.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 10/10 cm

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

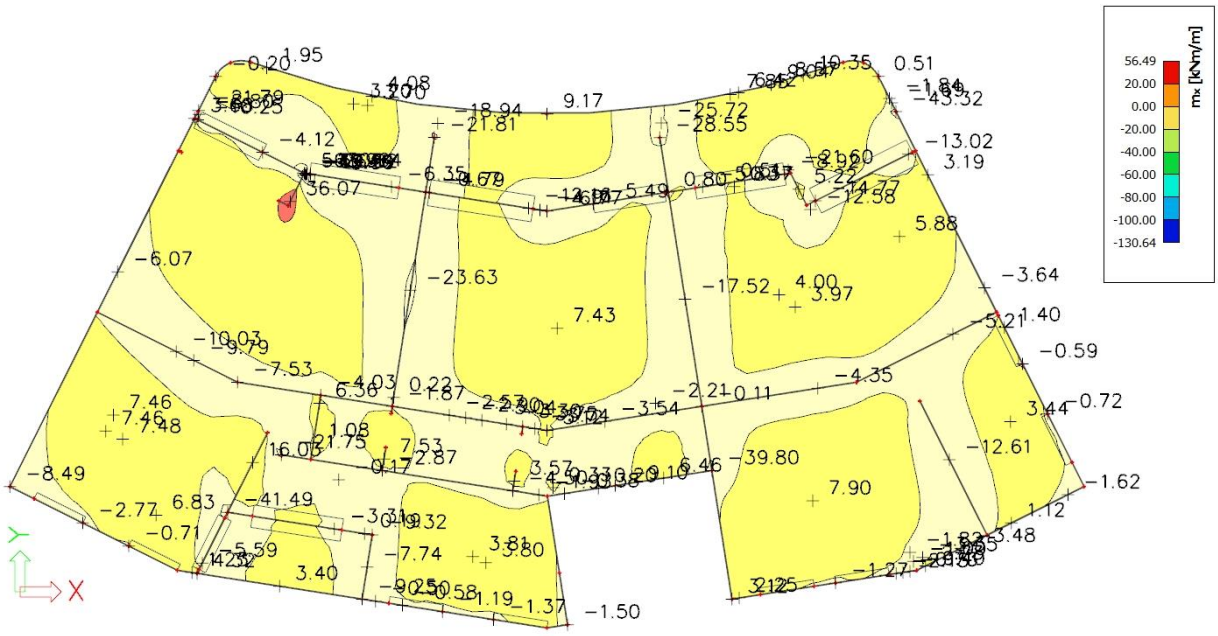
$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 7.85\ cm^2 < A_{s1,max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

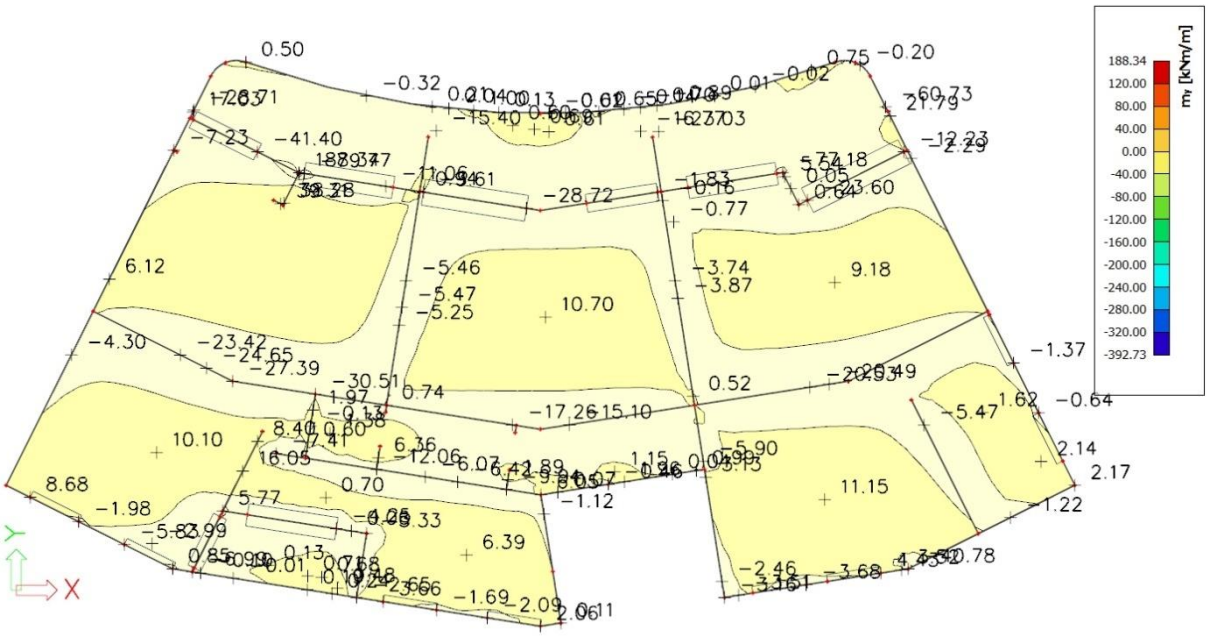
- **Granično stanje uporabljivosti (GSU)**

Proračun za granično stanje uporabljivosti proveden je za kombinaciju GSU 1:

$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.0 \cdot Q$



Slika 5.16. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.17. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

- **Kontrola pukotina**

Armiranobetonske i prednapete ploče naprezane savijanjem bez značajnijeg uzdužnog osnog vlaka nije potrebno kontrolirati na granično stanje širina pukotina ako ukupna debljina ploče ne prelazi 20 cm, te ako su poštovani uvjeti razmaka i profila ramature glavnih šipki armature i razdjelne armature.

Armiranobetonske i prednapete elemente treba uvijek armirati u području vlačnih naprezanja barem minimalnom armaturom za ograničenje širina pukotina.

Minimalna armatura može se izračunati po izrazu:

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

gdje je:

- k_c - koeficijent kojim se uzima u obzir raspodjela naprezanja i promjena kraka unutarnjih sila u poprečnom presjeku neposrednoprije pojave prve pukotine (k_c = 1.0 za čisti vlak; k_c = 0.4 za čisto savijanje)
- k - korekcijski koeficijent (k = 1.0 za h ≤ 300 mm)
- $f_{ct,eff}$ - vlačna čvrstoća betona pri pojavi prve pukotine, tj.srednja vrijednost vlačne čvrstoće betona koja je postojala u vrijeme kada se može očekivati pojava prvih pukotina ($f_{ct,eff}$ = 2.9 MPa = 0.29 kN/cm^2 za beton klase C 30/37)
- A_{ct} - vlačna površina betona; Vlačno područje je dio presjeka koji je prema proračunu vlačno napregnut neposredno prije pojave prve pukotine

  $A_{ct} = 2.5 \cdot (c + \emptyset/2 = 2.5 + 0.5) \cdot 100$

- σ_s - naprezanje u armaturi neposredno nakon pojave pukotine. Smije se uzeti da je to čvrstoća pri popuštanju armature f_{yk} (za B 500B, f_{yk} = 50 kN/cm^2 = 500 N/mm^2)

$$A_{s,\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0.4 \cdot 1.0 \cdot 0.29 \cdot \frac{2.5 \cdot 3 \cdot 100}{50} = 1.74\ cm^2 < 3.85\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

Kako postoji minimalna armatura, širine pukotina se mogu ograničiti na određenu vrijednost (0.3 mm), ako se ograniče promjer i razmaci armaturnih šipki. Vrijednosti iz tablica 5.1 i 5.2 osiguravanju da karakteristična širina pukotina, w_k neće premašiti 0.3 mm za armirani beton. Pri kratkotrajnom opterećenju mogu se pojaviti i šire pukotine, ali se to ne smatra štetnom pojavom, jer se pukotine „zatvaraju“ nakon takvog opterećenja.

Tablica 5.1. Granične vrijednosti promjera šipke ϕ_s^* za kontrolu karakterističnih širina pukotina w_k u ovisnosti o naprezanju u armaturi σ_s

Naprezanje u čeličnoj armaturi σ_s (N/mm^2)	Granične vrijednosti promjera šipke glavne armature ϕ_s^* (mm)		
	w_k = 0.4 mm	w_k = 0.3 mm	w_k = 0.2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	/

Tablica 5.2. Granične razmaka šipki za kontrolu karakterističnih širina pukotina w_k u ovisnosti o naprezanju u armaturi σ_s

Naprezanje u čeličnoj armaturi σ_s (N/mm^2)	Granične vrijednosti razmaka šipki glavne armature (mm)		
	w_k = 0.4 mm	w_k = 0.3 mm	w_k = 0.2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	/
360	100	50	/

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$
$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa

$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

M_{ed} = 11.15 kNm/m'

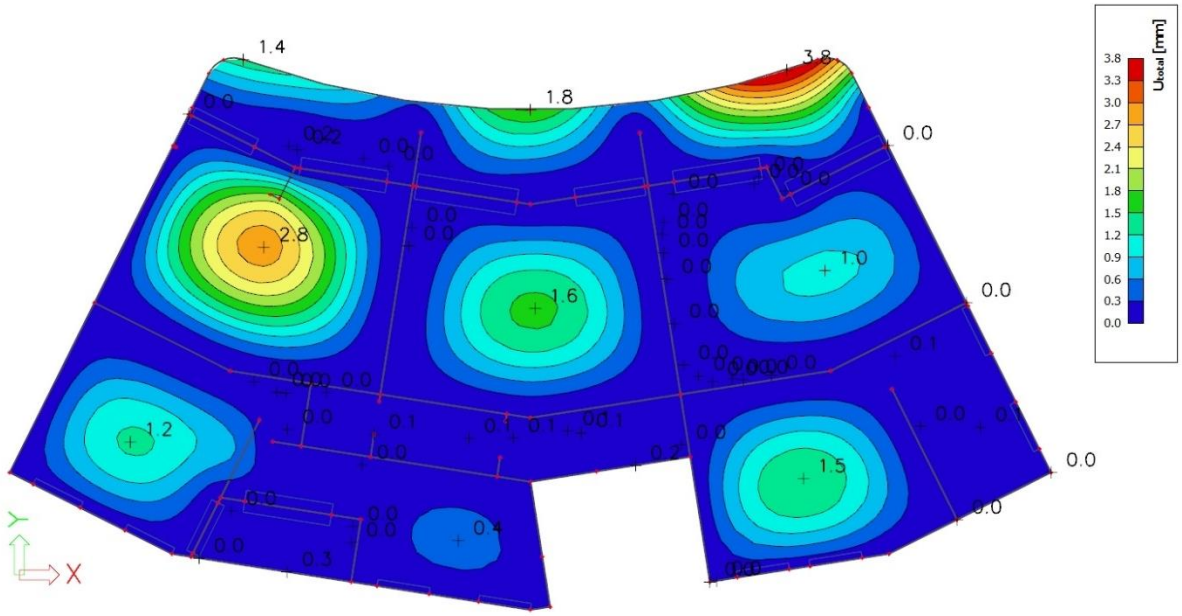
$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 3.85}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 15}{6.25 \cdot 3.85}} \right) = 2.46\ cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{11.15 \cdot 100}{\left(15 - \frac{2.46}{3} \right) \cdot 3.85} = 20.42\ kN/m^2 = 204.2\ N/mm^2$$

Odabrana armatura je **Q 385** (A_{s1} = 3.85 cm^2) kod koje su šipke promjera 7 mm na razmaku od 10 cm. Iz tablica 5.1 i 5.2 vidi se da odabrana armatura zadovoljava.

Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu pukotina!

- **Kontrola progiba**



Slika 5.18. Progib Uz ploče POZ 200 za GSU [mm]

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa

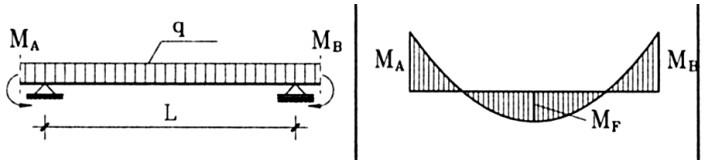
$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

Granični progib u polju: $v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{600\ cm}{250} = 2.4\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left| M_{l1} + M_{l2} \right| / \left| M_p \right| = \left| 0 + 5.47 \right| / 11.15 = 0.49$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta \right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 0.49 \right) = 0.099$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left| M_A + M_B \right| / \left| M_F \right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b\cdot h^3}{12} + \alpha_{eI}\cdot\left[A_{s1}\cdot\left(\frac{h}{2}-d_2\right)^2 + A_{s2}\cdot\left(\frac{h}{2}-d_1\right)^2\right]$$

$$= \frac{100\cdot 18^3}{12} + 6.25\cdot\left[3.85\cdot\left(\frac{18}{2}-3\right)^2 + 0.0\cdot\left(\frac{18}{2}-3\right)^2\right] =$$

$$= 48600 + 866.25 = 49\ 466.25\ cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 11.15\ kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32\ GN/m^2 = 3200.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff}\cdot I_I} = \frac{11.15\cdot 100}{3200\cdot 49466.25} = 0.0000070\frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI}\cdot A_{s1}}{b}\left(-1+\sqrt{1+\frac{2\cdot b\cdot d}{\alpha_{eI}\cdot A_{s1}}}\right) = \frac{6.25\cdot 3.85}{100}\cdot\left(-1+\sqrt{1+\frac{2\cdot 100\cdot 15}{6.25\cdot 3.85}}\right) = 2.46\ cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b\cdot x^3}{12} + b\cdot x\cdot\left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_{eI}\cdot\left[A_{s1}\cdot(d-x)^2 + A_{s2}\cdot(x-d_2)^2\right]$$

$$= \frac{100\cdot 2.46^3}{12} + (100\cdot 2.46)\cdot\left(\frac{2.46}{2}\right)^2 + 6.25\cdot\left[3.85\cdot(15-2.46)^2 + 0.0\cdot(2.46-3)^2\right]$$

$$= 124.06 + 372.17 + 3783.87 = 4280.1\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff}\cdot I_{II}} = \frac{11.15\cdot 100}{3200\cdot 4280.1} = 0.000081\frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z\cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm}\cdot\frac{b\cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3\cdot(f_{ck})^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0\ MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3\cdot(f_{ck})^{2/3} = 0.3\cdot(30.0)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

$$M_{cr} = 0.29\cdot\frac{100\cdot 18^2}{6} = 1566\ kNcm = 15.66\ kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z\cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d-\frac{x}{3}\right)\cdot A_s} = \frac{1566}{\left(15-\frac{2.46}{3}\right)\cdot 3.85} = 28.68\ \frac{kN}{cm^2} = 286.8 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{11.15 \cdot 100}{\left(15 - \frac{2.46}{3}\right) \cdot 3.85} = 20.42\ kN/m^2 = 204.2\ N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0$ – *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ – *dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{286.8}{204.2}\right)^2 = 0.014$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000070\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.000081\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.014) \cdot 0.0000070 + 0.014 \cdot 0.000081 = 0.000008\ \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.000008\ \frac{1}{cm}$$

$k = 0.099$

$L = 600\ cm$

$$\nu_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.099 \cdot 600^2 \cdot 0.000008 = 0.29\ cm < \nu_{\lim} = 2.4\ cm$$

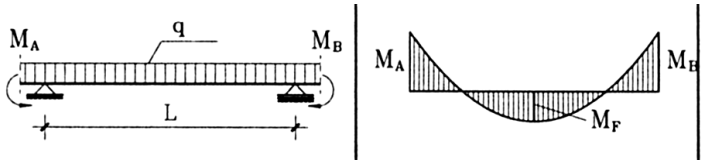
Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

Granični progib na balkonu: $\nu_{\lim} = \frac{2 \cdot L}{250} = \frac{2 \cdot 250\ cm}{250} = 2\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left|M_{l1} + M_{l2}\right| / \left|M_p\right| = \left|26.82 + 0\right| / 0 = 0$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta\right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 0\right) = 0.104$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left|M_A + M_B\right| / \left|M_F\right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right]$$

$$= \frac{100 \cdot 18^3}{12} + 6.25 \cdot \left[7.85 \cdot \left(\frac{18}{2} - 3 \right)^2 + 0.0 \cdot \left(\frac{18}{2} - 3 \right)^2 \right] =$$

$$= 48600 + 1766.25 = 50\,366.25\ cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 26.82\ kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32\ GN/m^2 = 3200.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{26.82 \cdot 100}{3200 \cdot 50366.25} = 0.000017 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 7.85}{100} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 15}{6.25 \cdot 7.85}} \right) = 3.38\ cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2 \right]$$

$$= \frac{100 \cdot 3.38^3}{12} + (100 \cdot 3.38) \cdot \left(\frac{3.38}{2} \right)^2 + 6.25 \cdot \left[7.85 \cdot (15 - 3.38)^2 + 0.0 \cdot (3.38 - 3)^2 \right]$$

$$= 321.79 + 965.36 + 6624.63 = 7911.78\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{26.82 \cdot 100}{3200 \cdot 7911.78} = 0.000084 \frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0\ MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot (30.0)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

$$M_{cr} = 0.29 \cdot \frac{100 \cdot 18^2}{6} = 1566\ kNcm = 15.66\ kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{1566}{\left(15 - \frac{3.38}{3} \right) \cdot 7.85} = 14.38 \frac{kN}{cm^2} = 143.8 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{26.82 \cdot 100}{\left(15 - \frac{3.38}{3}\right) \cdot 7.85} = 24.63\ kN/m^2 = 246.3\ N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0$ – *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ – *dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{143.8}{246.3}\right)^2 = 0.83$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.000017\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.000084\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.83) \cdot 0.000017 + 0.83 \cdot 0.000084 = 0.000073 \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.000073\ \frac{1}{cm}$$

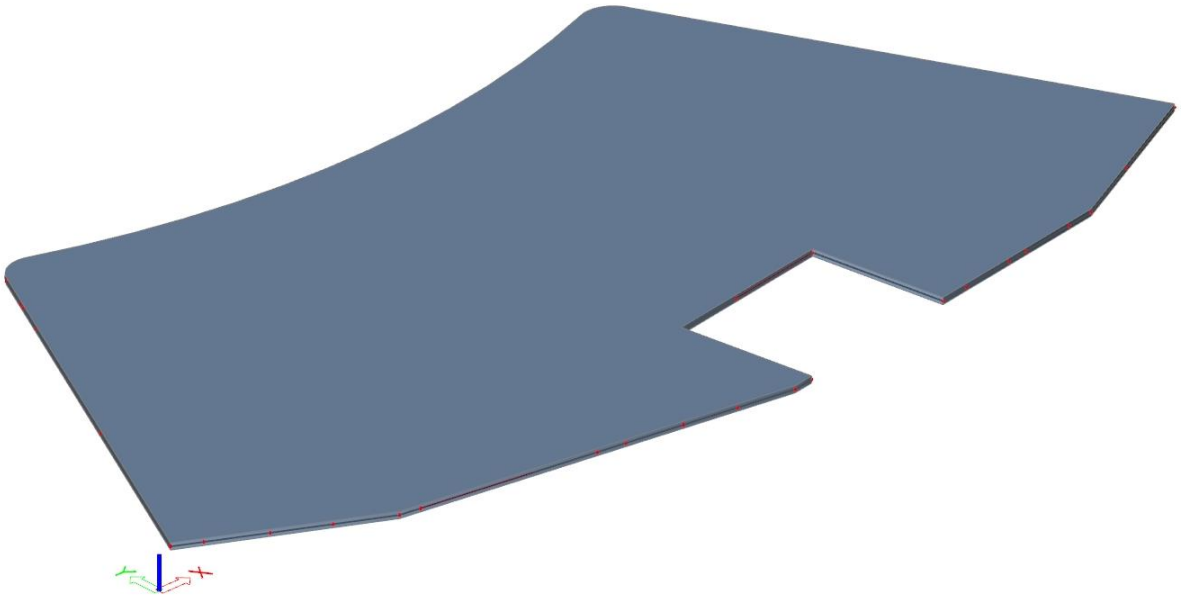
$k = 0.104$

$L = 250\ cm$

$$\nu_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.104 \cdot 250^2 \cdot 0.000073 = 0.48\ cm < \nu_{\lim} = 2\ cm$$

Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

5.1.4. Dimenzioniranje ploče pozicije 100 (1. kat)



Slika 5.19. Renderirani prikaz ploče POZ 100

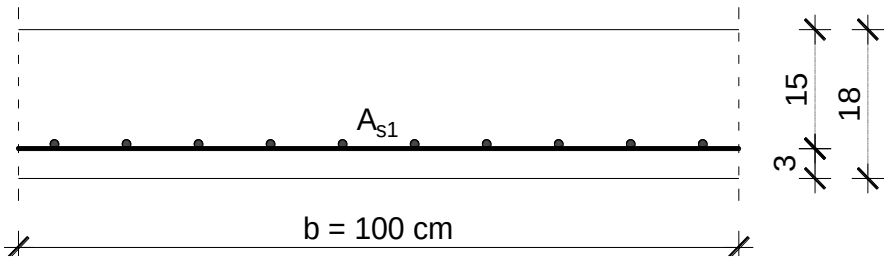
Debljina ploče:

$$h = \frac{L_{us}}{35} = \frac{600\ cm}{35} = 17.14\ cm \ \Rightarrow\ h_{US} = 18\ cm$$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$ (XC2 - umjerena vlažnost; dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup)

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$$

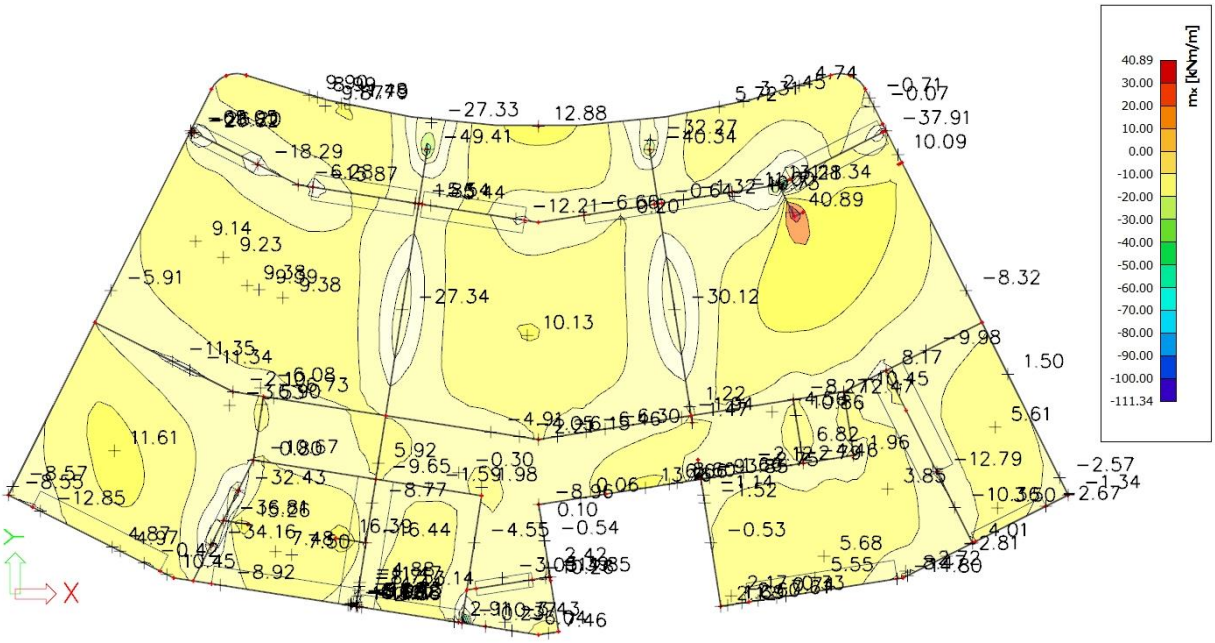
$$d = h - d_1 = 18 - 3 = 15\ cm$$



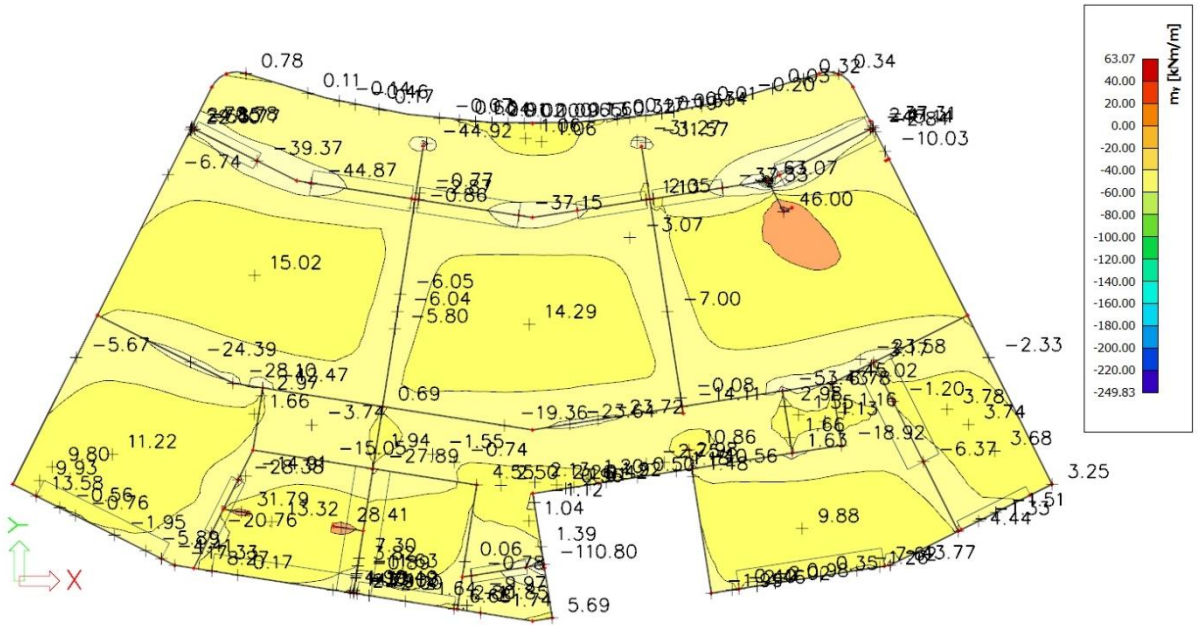
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 1:

$1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q$



Slika 5.20. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.21. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

- **Armatura u polju za cijelu ploču**

$M_{ed,y}$ = 15.02 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{15.02 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.033$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.1$ ‰, $\xi = 0.099$, $\zeta = 0.965$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{15.02 \cdot 100}{0.965 \cdot 15 \cdot 43.5} = 2.39\ cm^2 + 20\ \% \Rightarrow 2.87\ cm^2$$

Napomena: Zbog preraspodjele momenata dobivena armatura uvećana je u polju za 20 %.

Odabrano za cijelu ploču: Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 7/10 cm

⇒ Veća armatura je odabrana zbog GSU.

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 3.85\ cm^2 < A_{s1,max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura u kritičnom presjeku**

$M_{ed,y}$ = 46.00 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{46.0 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.102$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 2.3$ ‰, $\xi = 0.187$, $\zeta = 0.928$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{46.0 \cdot 100}{0.928 \cdot 15 \cdot 43.5} = 7.6\ cm^2 + 20\ \% \Rightarrow 9.12\ cm^2$$

Napomena: Zbog preraspodjele momenata dobivena armatura uvećana je u polju za 20 %.

Odabrano za kritične presjeke:

Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 7/10 cm **+ 10 ϕ 10/10 = 3.85 + 7.85 = 11.7 cm^2**

Šipke postaviti u oba smjera!

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 11.7\ cm^2 < A_{s1,max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura nad ležajem**

$M_{ed,y}$ = 45.02 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{45.02 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.100$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 2.3$ ‰, $\xi = 0.187$, $\zeta = 0.928$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{45.02 \cdot 100}{0.928 \cdot 15 \cdot 43.5} = 7.44\ cm^2$$

Odabrano: Q 785 (A_{s1} = 7.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 10/10 cm

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

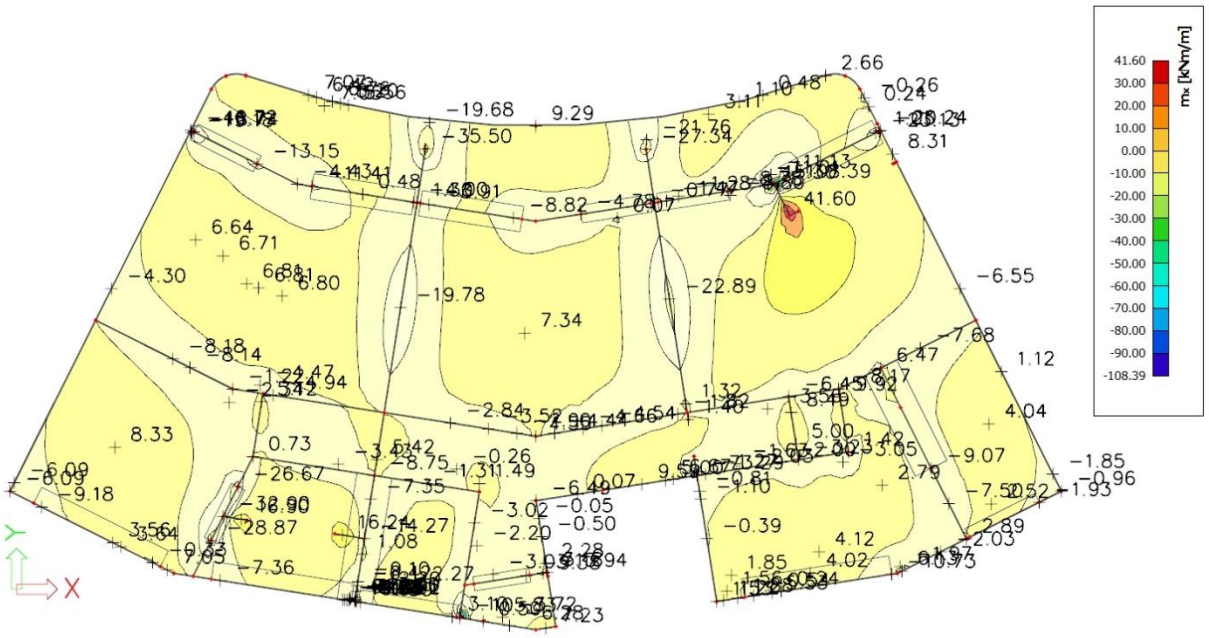
$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 7.85\ cm^2 < A_{s1,max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

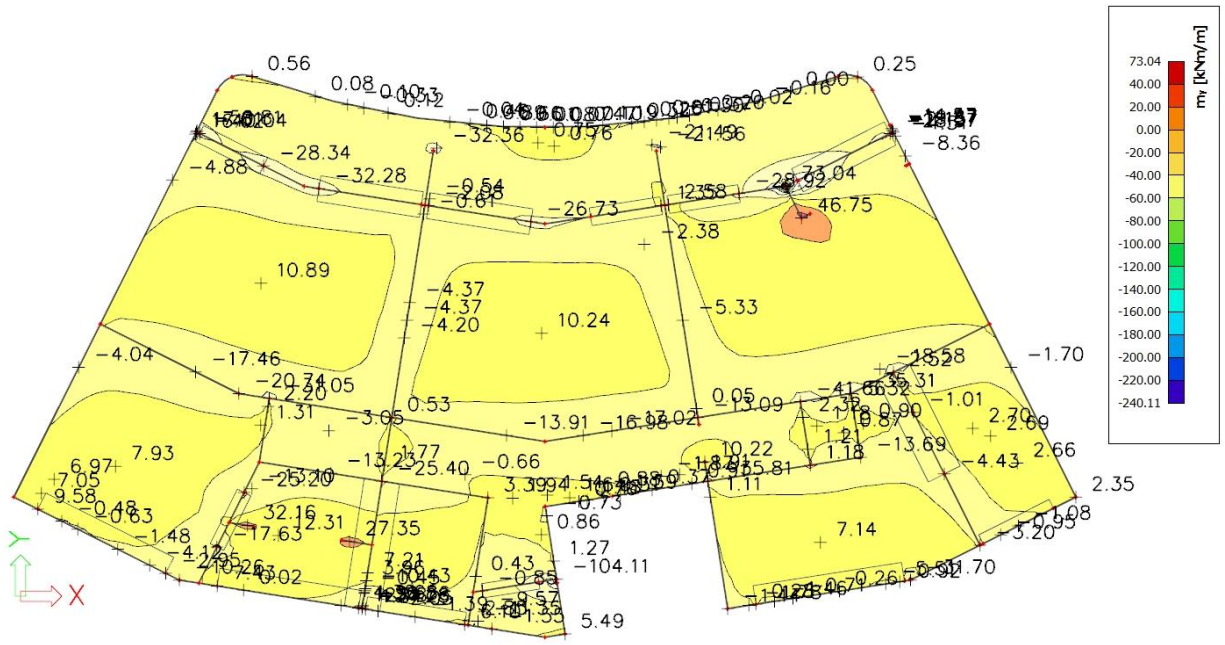
- **Granično stanje uporabljivosti (GSU)**

Proračun za granično stanje uporabljivosti proveden je za kombinaciju GSU 1:

$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.0 \cdot Q$



Slika 5.22. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.23. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

- **Kontrola pukotina**

Armiranobetonske i prednapete ploče naprezane savijanjem bez značajnijeg uzdužnog osnog vlaka nije potrebno kontrolirati na granično stanje širina pukotina ako ukupna debljina ploče ne prelazi 20 cm, te ako su poštovani uvjeti razmaka i profila ramature glavnih šipki armature i razdjelne armature.

Armiranobetonske i prednapete elemente treba uvijek armirati u području vlačnih naprezanja barem minimalnom armaturom za ograničenje širina pukotina.

Minimalna armatura može se izračunati po izrazu:

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

gdje je:

- k_c - koeficijent kojim se uzima u obzir raspodjela naprezanja i promjena kraka unutarnjih sila u poprečnom presjeku neposrednoprije pojave prve pukotine (k_c = 1.0 za čisti vlak; k_c = 0.4 za čisto savijanje)
- k - korekcijski koeficijent (k = 1.0 za h ≤ 300 mm)
- $f_{ct,eff}$ - vlačna čvrstoća betona pri pojavi prve pukotine, tj.srednja vrijednost vlačne čvrstoće betona koja je postojala u vrijeme kada se može očekivati pojava prvih pukotina ($f_{ct,eff}$ = 2.9 MPa = 0.29 kN/cm^2 za beton klase C 30/37)
- A_{ct} - vlačna površina betona; Vlačno područje je dio presjeka koji je prema proračunu vlačno napregnut neposredno prije pojave prve pukotine

  $A_{ct} = 2.5 \cdot (c + \emptyset/2 = 2.5 + 0.5) \cdot 100$

- σ_s - naprezanje u armaturi neposredno nakon pojave pukotine. Smije se uzeti da je to čvrstoća pri popuštanju armature f_{yk} (za B 500B, f_{yk} = 50 kN/cm^2 = 500 N/mm^2)

$$A_{s,\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0.4 \cdot 1.0 \cdot 0.29 \cdot \frac{2.5 \cdot 3 \cdot 100}{50} = 1.74\ cm^2 < 3.85\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

Kako postoji minimalna armatura, širine pukotina se mogu ograničiti na određenu vrijednost (0.3 mm), ako se ograniče promjer i razmaci armaturnih šipki. Vrijednosti iz tablica 5.1 i 5.2 osiguravanju da karakteristična širina pukotina, w_k neće premašiti 0.3 mm za armirani beton. Pri kratkotrajnom opterećenju mogu se pojaviti i šire pukotine, ali se to ne smatra štetnom pojavom, jer se pukotine „zatvaraju“ nakon takvog opterećenja.

Tablica 5.1. Granične vrijednosti promjera šipke ϕ_s^* za kontrolu karakterističnih širina pukotina w_k u ovisnosti o naprezanju u armaturi σ_s

Naprezanje u čeličnoj armaturi σ_s (N/mm^2)	Granične vrijednosti promjera šipke glavne armature ϕ_s^* (mm)		
	w_k = 0.4 mm	w_k = 0.3 mm	w_k = 0.2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	/

Tablica 5.2. Granične razmaka šipki za kontrolu karakterističnih širina pukotina w_k u ovisnosti o naprezanju u armaturi σ_s

Naprezanje u čeličnoj armaturi σ_s (N/mm^2)	Granične vrijednosti razmaka šipki glavne armature (mm)		
	w_k = 0.4 mm	w_k = 0.3 mm	w_k = 0.2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	/
360	100	50	/

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$
$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa

$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

M_{ed} = 10.89 kNm/m'

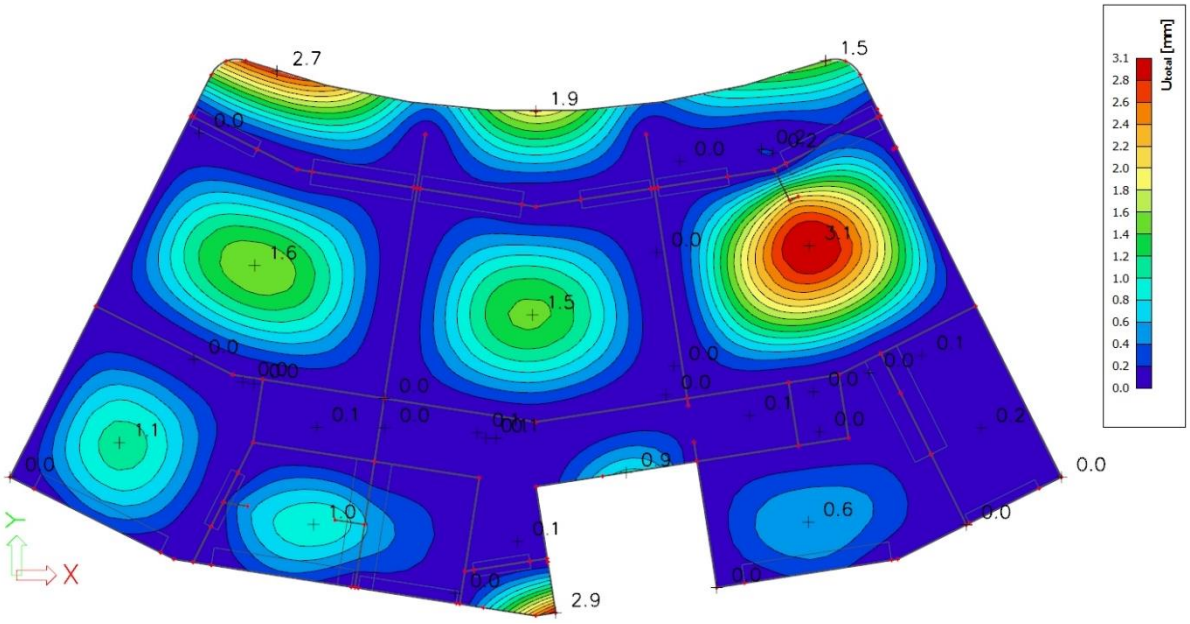
$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 3.85}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 15}{6.25 \cdot 3.85}} \right) = 2.46\ cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{10.89 \cdot 100}{\left(15 - \frac{2.46}{3} \right) \cdot 3.85} = 19.95\ kN/m^2 = 199.5\ N/mm^2$$

Odabrana armatura je **Q 385** (A_{s1} = 3.85 cm^2) kod koje su šipke promjera 7 mm na razmaku od 10 cm. Iz tablica 5.1 i 5.2 vidi se da odabrana armatura zadovoljava.

Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu pukotina!

- **Kontrola progiba**



Slika 5.24. Progib Uz ploče POZ 100 za GSU [mm]

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0\right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa

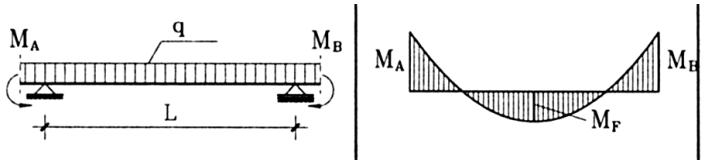
$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

Granični progib u polju: $v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{600\ cm}{250} = 2.4\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left|M_{l1} + M_{l2}\right| / \left|M_p\right| = \left|4.88 + 4.37\right| / 10.89 = 0.849$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta\right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 0.849\right) = 0.095$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left|M_A + M_B\right| / \left|M_F\right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b\cdot h^3}{12} + \alpha_{eI}\cdot\left[A_{s1}\cdot\left(\frac{h}{2}-d_2\right)^2 + A_{s2}\cdot\left(\frac{h}{2}-d_1\right)^2\right]$$

$$= \frac{100\cdot 18^3}{12} + 6.25\cdot\left[3.85\cdot\left(\frac{18}{2}-3\right)^2 + 0.0\cdot\left(\frac{18}{2}-3\right)^2\right] =$$

$$= 48600 + 866.25 = 49\ 466.25\ cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 10.89\ kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32\ GN/m^2 = 3200.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff}\cdot I_I} = \frac{10.89\cdot 100}{3200\cdot 49466.25} = 0.0000069\frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI}\cdot A_{s1}}{b}\left(-1+\sqrt{1+\frac{2\cdot b\cdot d}{\alpha_{eI}\cdot A_{s1}}}\right) = \frac{6.25\cdot 3.85}{100}\cdot\left(-1+\sqrt{1+\frac{2\cdot 100\cdot 15}{6.25\cdot 3.85}}\right) = 2.46\ cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b\cdot x^3}{12} + b\cdot x\cdot\left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_{eI}\cdot\left[A_{s1}\cdot(d-x)^2 + A_{s2}\cdot(x-d_2)^2\right]$$

$$= \frac{100\cdot 2.46^3}{12} + (100\cdot 2.46)\cdot\left(\frac{2.46}{2}\right)^2 + 6.25\cdot\left[3.85\cdot(15-2.46)^2 + 0.0\cdot(2.46-3)^2\right]$$

$$= 124.06 + 372.17 + 3783.87 = 4280.1\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff}\cdot I_{II}} = \frac{10.89\cdot 100}{3200\cdot 4280.1} = 0.00008\frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z\cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm}\cdot\frac{b\cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3\cdot(f_{ck})^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0\ MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3\cdot(f_{ck})^{2/3} = 0.3\cdot(30.0)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

$$M_{cr} = 0.29\cdot\frac{100\cdot 18^2}{6} = 1566\ kNcm = 15.66\ kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z\cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d-\frac{x}{3}\right)\cdot A_s} = \frac{1566}{\left(15-\frac{2.46}{3}\right)\cdot 3.85} = 28.68\ \frac{kN}{cm^2} = 286.8 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{10.89 \cdot 100}{\left(15 - \frac{2.46}{3}\right) \cdot 3.85} = 19.95\ kN/m^2 = 199.5\ N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0$ – *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ – *dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{286.8}{199.5}\right)^2 = 0.033$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000069\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.00008\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.033) \cdot 0.0000069 + 0.033 \cdot 0.00008 = 0.0000093 \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.0000093\ \frac{1}{cm}$$

$k = 0.095$

$L = 600\ cm$

$$\nu_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.095 \cdot 600^2 \cdot 0.0000093 = 0.32\ cm < \nu_{\lim} = 2.4\ cm$$

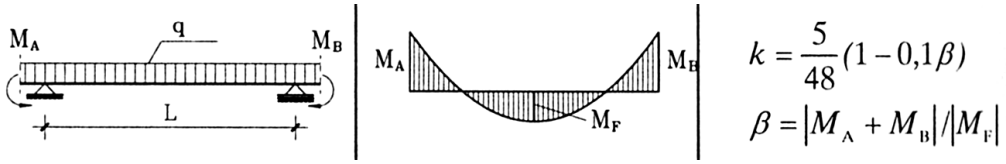
Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

Granični progib na balkonu: $\nu_{\lim} = \frac{2 \cdot L}{250} = \frac{2 \cdot 250\ cm}{250} = 2\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left|M_{l1} + M_{l2}\right| / \left|M_p\right| = \left|18.74 + 0\right| / 0 = 0$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta\right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 0\right) = 0.104$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left|M_A + M_B\right| / \left|M_F\right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right]$$

$$= \frac{100 \cdot 18^3}{12} + 6.25 \cdot \left[7.85 \cdot \left(\frac{18}{2} - 3 \right)^2 + 0.0 \cdot \left(\frac{18}{2} - 3 \right)^2 \right] =$$

$$= 48600 + 1766.25 = 50\,366.25\ cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 18.74\ kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32\ GN/m^2 = 3200.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{18.74 \cdot 100}{3200 \cdot 50366.25} = 0.000012\ \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 7.85}{100} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 15}{6.25 \cdot 7.85}} \right) = 3.38\ cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2 \right]$$

$$= \frac{100 \cdot 3.38^3}{12} + (100 \cdot 3.38) \cdot \left(\frac{3.38}{2} \right)^2 + 6.25 \cdot \left[7.85 \cdot (15 - 3.38)^2 + 0.0 \cdot (3.38 - 3)^2 \right]$$

$$= 321.79 + 965.36 + 6624.63 = 7911.78\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{18.74 \cdot 100}{3200 \cdot 7911.78} = 0.000074\ \frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0\ MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0.3 \cdot (30.0)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

$$M_{cr} = 0.29 \cdot \frac{100 \cdot 18^2}{6} = 1566\ kNcm = 15.66\ kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{1566}{\left(15 - \frac{3.38}{3} \right) \cdot 7.85} = 14.38\ \frac{kN}{cm^2} = 143.8 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{18.74 \cdot 100}{\left(15 - \frac{3.38}{3}\right) \cdot 7.85} = 17.21\ kN/m^2 = 172.1\ N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0$ – *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ – *dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{143.8}{172.1}\right)^2 = 0.65$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.000012\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.000074\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.65) \cdot 0.000012 + 0.65 \cdot 0.000074 = 0.000052\ \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.000052\ \frac{1}{cm}$$

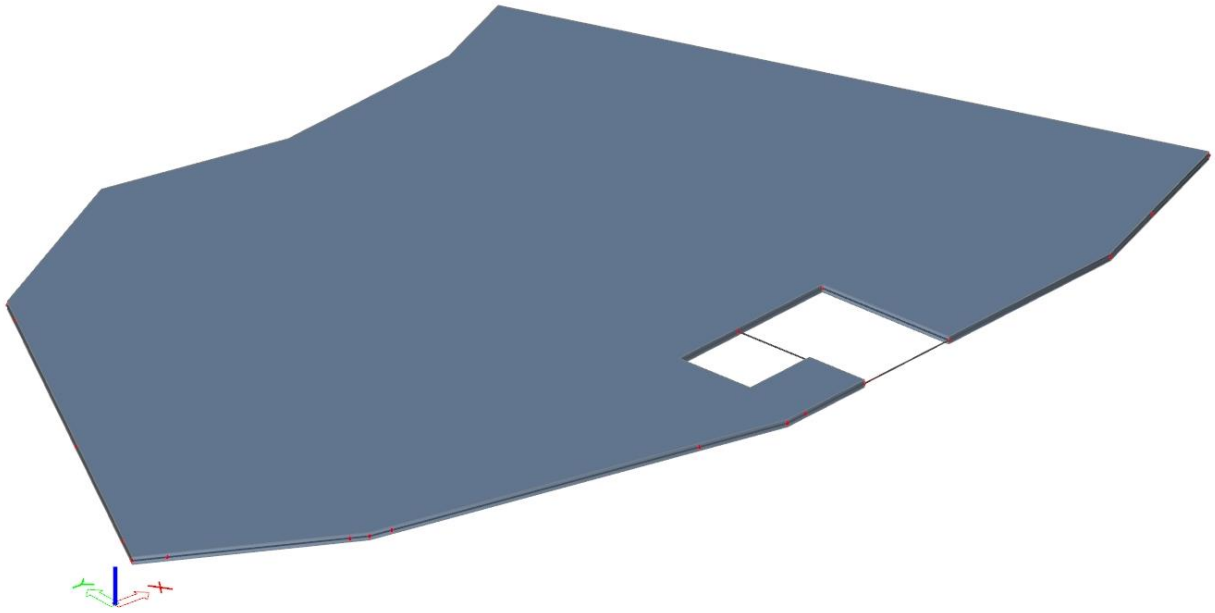
$k = 0.104$

$L = 250\ cm$

$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.104 \cdot 250^2 \cdot 0.000052 = 0.34\ cm < v_{\lim} = 2\ cm$$

Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

5.1.5. Dimenzioniranje ploče pozicije 0 (prizemlje)



Slika 5.25. Renderirani prikaz ploče POZ 0

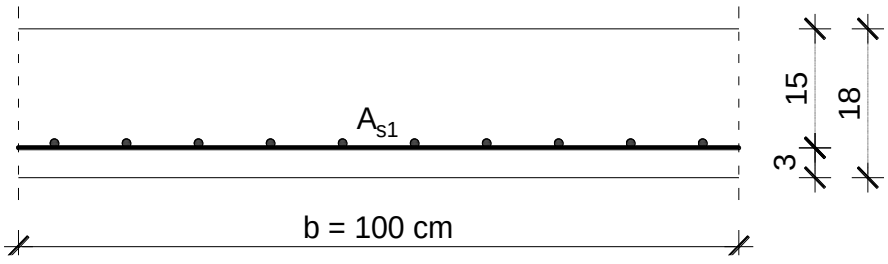
Debljina ploče:

$$h = \frac{L_{us}}{35} = \frac{600\ cm}{35} = 17.14\ cm \ \Rightarrow\ h_{US} = 18\ cm$$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$ (XC2 - umjerena vlažnost; dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup)

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$$

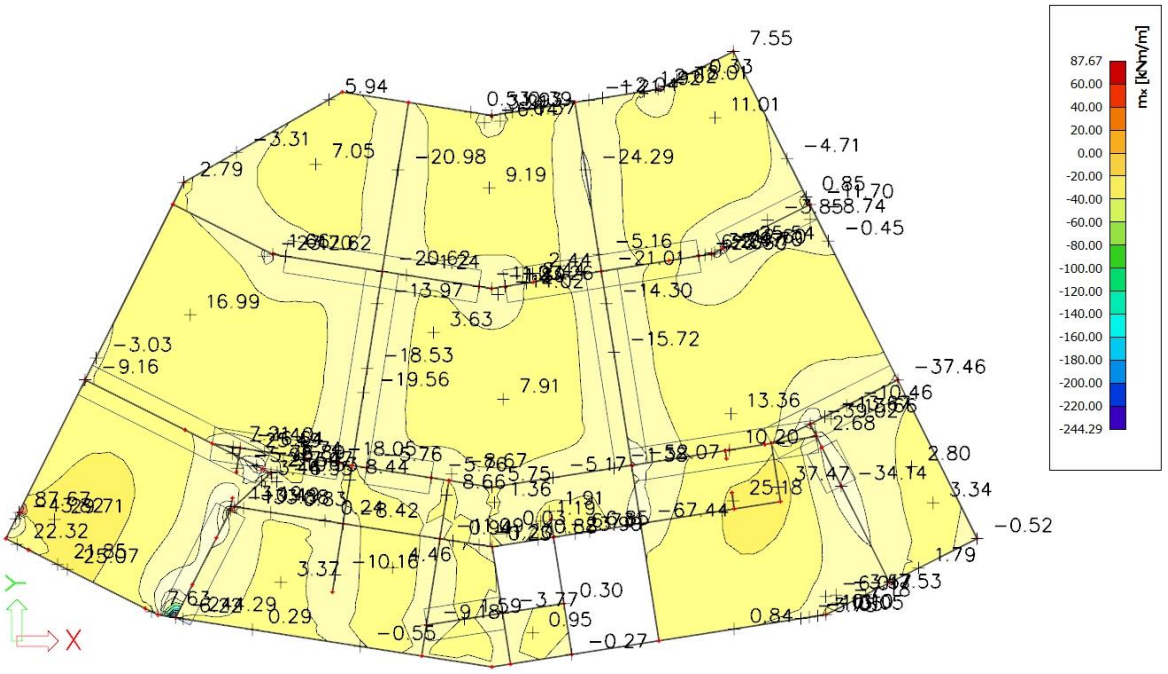
$$d = h - d_1 = 18 - 3 = 15\ cm$$



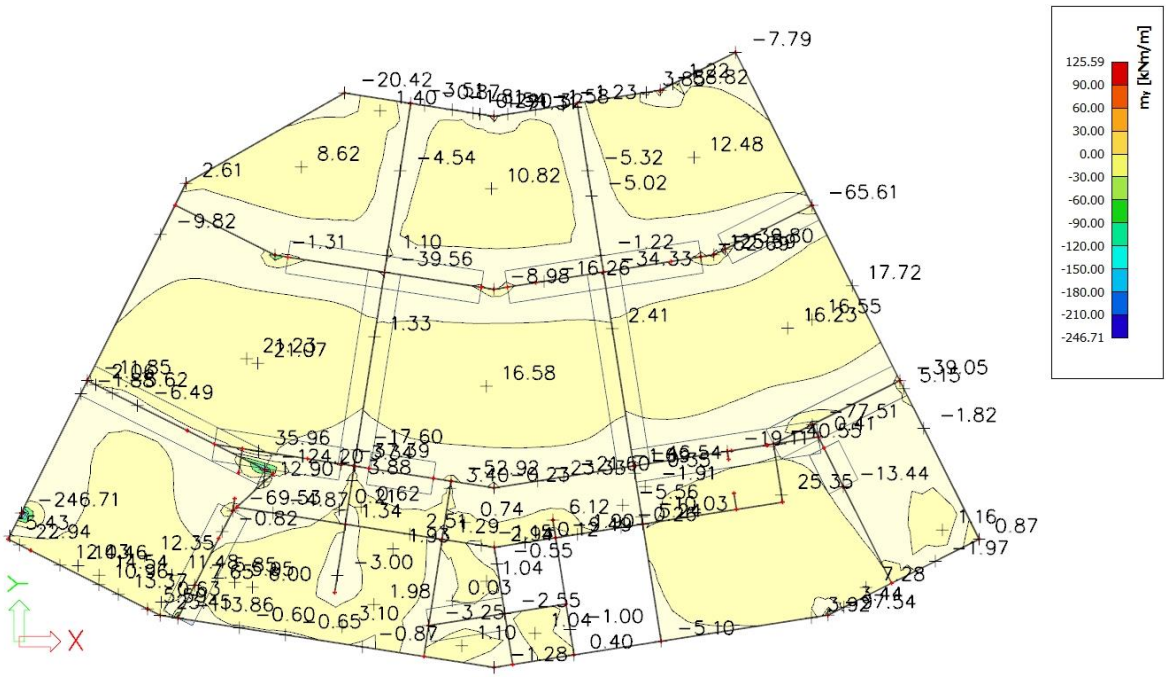
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 1:

$1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q$



Slika 5.26. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.27. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

- **Armatura u polju za cijelu ploču**

$M_{ed,x}$ = 16.99 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{16.99 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.038$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.2$ ‰, $\xi = 0.107$, $\zeta = 0.962$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{16.99 \cdot 100}{0.962 \cdot 15 \cdot 43.5} = 2.71\ cm^2 + 20\ \% \Rightarrow 3.25\ cm^2$$

Napomena: Zbog preraspodjele momenata dobivena armatura uvećana je u polju za 20 %.

Odabrano za cijelu ploču: Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 7/10 cm

⇒ Veća armatura je odabrana zbog GSU.

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 3.85\ cm^2 < A_{s1,max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura u kritičnom presjeku**

$M_{ed,y}$ = 29.71 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{29.71 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.066$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.7$ ‰, $\xi = 0.145$, $\zeta = 0.947$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{29.71 \cdot 100}{0.947 \cdot 15 \cdot 43.5} = 4.81\ cm^2 + 20\ \% \Rightarrow 5.77\ cm^2$$

Napomena: Zbog preraspodjele momenata dobivena armatura uvećana je u polju za 20 %.

Odabrano za kritične presjeke:

Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 7/10 cm **+ 5** ϕ **10/20 = 3.85 + 3.93 = 7.78 cm^2**

Šipke postaviti u oba smjera!

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 7.78\ cm^2 < A_{s1,max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura nad ležajem**

$M_{ed,y}$ = 46.54 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{46.54 \cdot 100}{100 \cdot 15^2 \cdot 2} = 0.103$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 2.3$ ‰, $\xi = 0.187$, $\zeta = 0.928$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{46.54 \cdot 100}{0.928 \cdot 15 \cdot 43.5} = 7.69\ cm^2$$

Odabrano: Q 785 (A_{s1} = 7.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 10/10 cm

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 15 = 1.95 cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 15 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 2.26\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 18 = 72\ cm^2$$

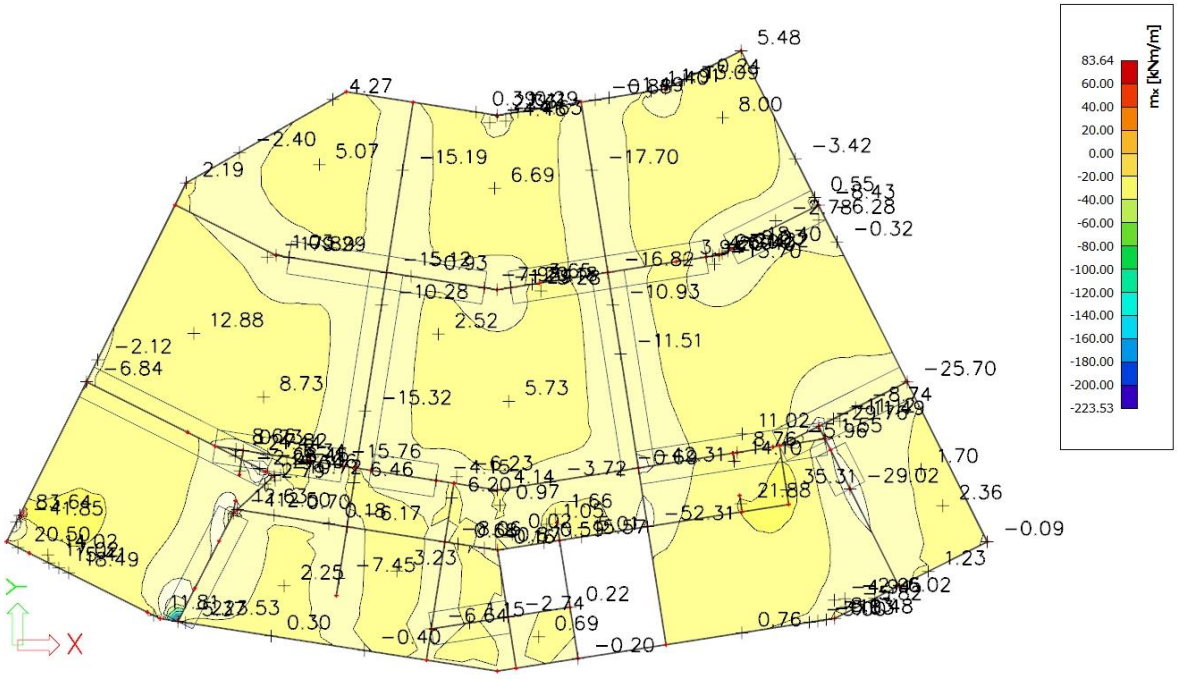
$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 18 = 39.6 cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 2.26\ cm^2 < A_{s1,odab} = 7.85\ cm^2 < A_{s1,\max} = 39.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

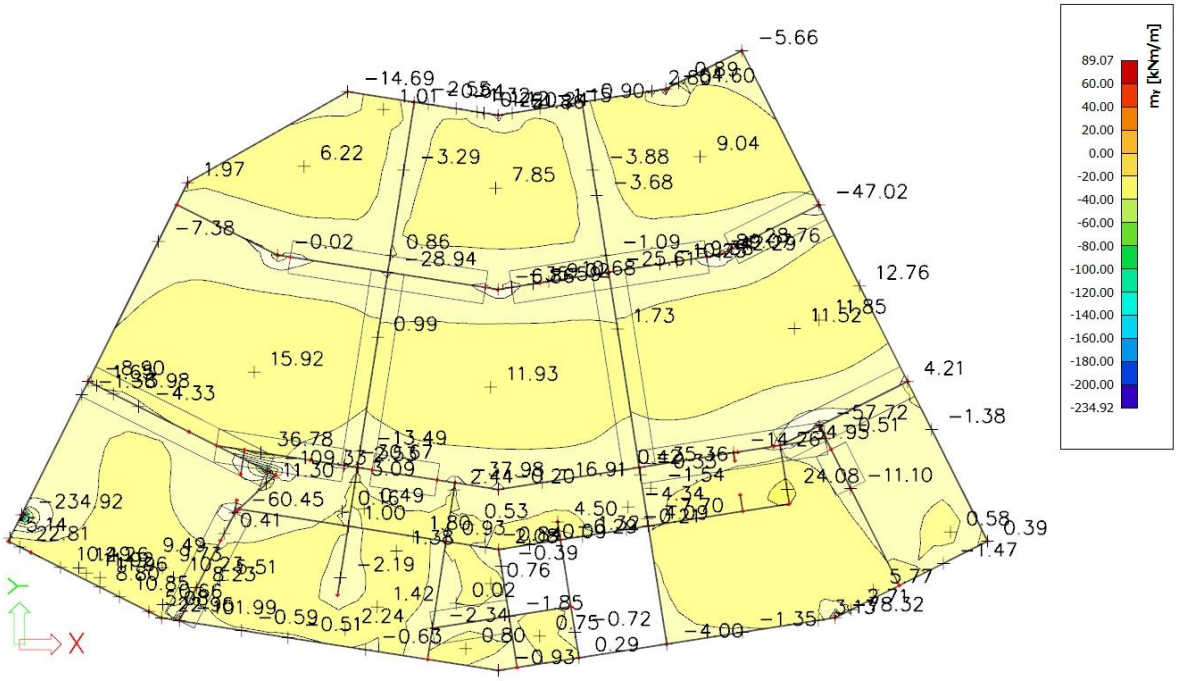
- **Granično stanje uporabljivosti (GSU)**

Proračun za granično stanje uporabljivosti proveden je za kombinaciju GSU 1:

$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.0 \cdot Q$



Slika 5.28. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.29. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

- **Kontrola pukotina**

Armiranobetonske i prednapete ploče naprezane savijanjem bez značajnijeg uzdužnog osnog vlaka nije potrebno kontrolirati na granično stanje širina pukotina ako ukupna debljina ploče ne prelazi 20 cm, te ako su poštovani uvjeti razmaka i profila ramature glavnih šipki armature i razdjelne armature.

Armiranobetonske i prednapete elemente treba uvijek armirati u području vlačnih naprezanja barem minimalnom armaturom za ograničenje širina pukotina.

Minimalna armatura može se izračunati po izrazu:

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

gdje je:

- k_c - koeficijent kojim se uzima u obzir raspodjela naprezanja i promjena kraka unutarnjih sila u poprečnom presjeku neposrednoprije pojave prve pukotine (k_c = 1.0 za čisti vlak; k_c = 0.4 za čisto savijanje)
- k - korekcijski koeficijent (k = 1.0 za h ≤ 300 mm)
- $f_{ct,eff}$ - vlačna čvrstoća betona pri pojavi prve pukotine, tj.srednja vrijednost vlačne čvrstoće betona koja je postojala u vrijeme kada se može očekivati pojava prvih pukotina ($f_{ct,eff}$ = 2.9 MPa = 0.29 kN/cm^2 za beton klase C 30/37)
- A_{ct} - vlačna površina betona; Vlačno područje je dio presjeka koji je prema proračunu vlačno napregnut neposredno prije pojave prve pukotine

  $A_{ct} = 2.5 \cdot (c + \emptyset/2 = 2.5 + 0.5) \cdot 100$

- σ_s - naprezanje u armaturi neposredno nakon pojave pukotine. Smije se uzeti da je to čvrstoća pri popuštanju armature f_{yk} (za B 500B, f_{yk} = 50 kN/cm^2 = 500 N/mm^2)

$$A_{s,\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0.4 \cdot 1.0 \cdot 0.29 \cdot \frac{2.5 \cdot 3 \cdot 100}{50} = 1.74\ cm^2 < 3.85\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

Kako postoji minimalna armatura, širine pukotina se mogu ograničiti na određenu vrijednost (0.3 mm), ako se ograniče promjer i razmaci armaturnih šipki. Vrijednosti iz tablica 5.1 i 5.2 osiguravanju da karakteristična širina pukotina, w_k neće premašiti 0.3 mm za armirani beton. Pri kratkotrajnom opterećenju mogu se pojaviti i šire pukotine, ali se to ne smatra štetnom pojavom, jer se pukotine „zatvaraju“ nakon takvog opterećenja.

Tablica 5.1. Granične vrijednosti promjera šipke ϕ_s^* za kontrolu karakterističnih širina pukotina w_k u ovisnosti o naprezanju u armaturi σ_s

Naprezanje u čeličnoj armaturi σ_s (N/mm^2)	Granične vrijednosti promjera šipke glavne armature ϕ_s^* (mm)		
	w_k = 0.4 mm	w_k = 0.3 mm	w_k = 0.2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	/

Tablica 5.2. Granične razmaka šipki za kontrolu karakterističnih širina pukotina w_k u ovisnosti o naprezanju u armaturi σ_s

Naprezanje u čeličnoj armaturi σ_s (N/mm^2)	Granične vrijednosti razmaka šipki glavne armature (mm)		
	w_k = 0.4 mm	w_k = 0.3 mm	w_k = 0.2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	/
360	100	50	/

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$
$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa

$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

M_{ed} = 12.88 kNm/m'

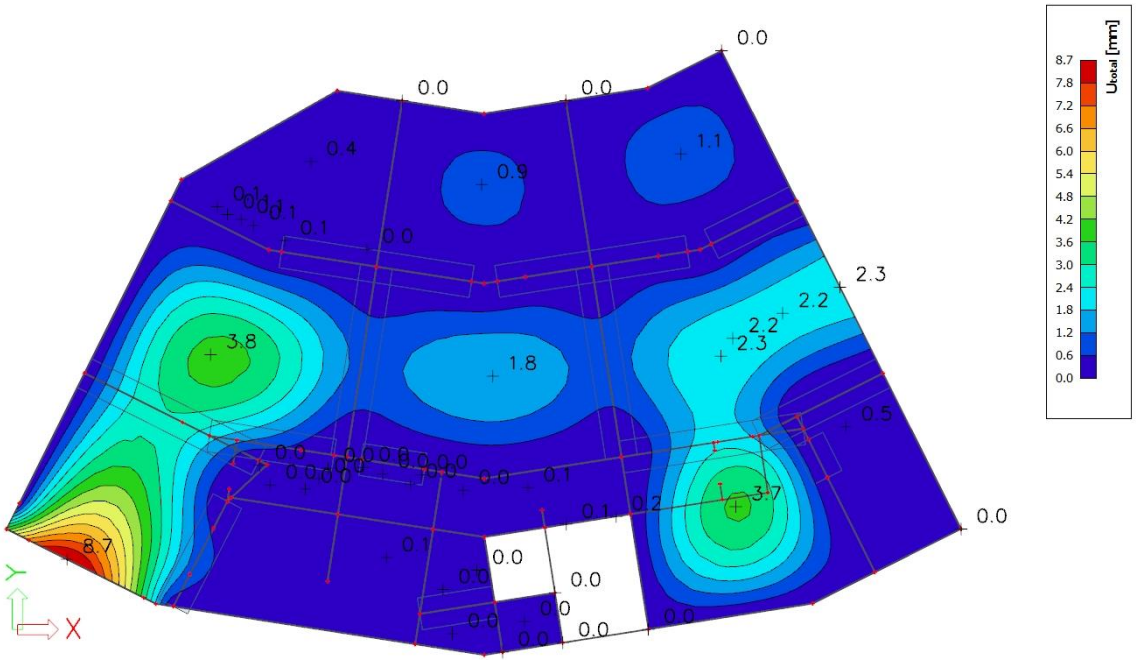
$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 3.85}{100} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 15}{6.25 \cdot 3.85}} \right) = 2.46\ cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{12.88 \cdot 100}{\left(15 - \frac{2.46}{3} \right) \cdot 3.85} = 23.59\ kN/m^2 = 235.9\ N/mm^2$$

Odabrana armatura je **Q 385** (A_{s1} = 3.85 cm^2) kod koje su šipke promjera 7 mm na razmaku od 10 cm. Iz tablica 5.1 i 5.2 vidi se da odabrana armatura zadovoljava.

Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu pukotina!

- **Kontrola progiba**



Slika 5.30. Progib Uz ploče POZ 0 za GSU [mm]

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa

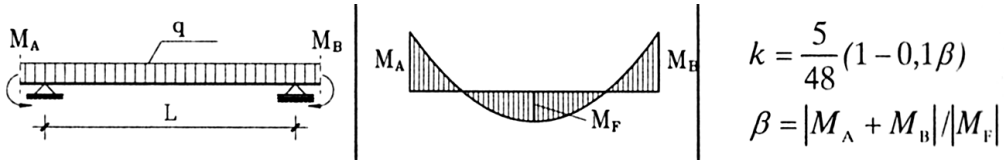
$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

Granični progib u polju: $v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{600\ cm}{250} = 2.4\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left| M_{l1} + M_{l2} \right| / \left| M_p \right| = \left| 22.49 + 7.22 \right| / 12.88 = 2.31$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta \right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 2.31 \right) = 0.08$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left| M_A + M_B \right| / \left| M_F \right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b\cdot h^3}{12} + \alpha_{eI}\cdot\left[A_{s1}\cdot\left(\frac{h}{2}-d_2\right)^2 + A_{s2}\cdot\left(\frac{h}{2}-d_1\right)^2\right]$$

$$= \frac{100\cdot 18^3}{12} + 6.25\cdot\left[3.85\cdot\left(\frac{18}{2}-3\right)^2 + 0.0\cdot\left(\frac{18}{2}-3\right)^2\right] =$$

$$= 48600 + 866.25 = 49\ 466.25\ cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 12.88\ kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32\ GN/m^2 = 3200.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff}\cdot I_I} = \frac{12.88\cdot 100}{3200\cdot 49466.25} = 0.0000081\frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI}\cdot A_{s1}}{b}\left(-1+\sqrt{1+\frac{2\cdot b\cdot d}{\alpha_{eI}\cdot A_{s1}}}\right) = \frac{6.25\cdot 3.85}{100}\cdot\left(-1+\sqrt{1+\frac{2\cdot 100\cdot 15}{6.25\cdot 3.85}}\right) = 2.46\ cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b\cdot x^3}{12} + b\cdot x\cdot\left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_{eI}\cdot\left[A_{s1}\cdot(d-x)^2 + A_{s2}\cdot(x-d_2)^2\right]$$

$$= \frac{100\cdot 2.46^3}{12} + (100\cdot 2.46)\cdot\left(\frac{2.46}{2}\right)^2 + 6.25\cdot\left[3.85\cdot(15-2.46)^2 + 0.0\cdot(2.46-3)^2\right]$$

$$= 124.06 + 372.17 + 3783.87 = 4280.1\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff}\cdot I_{II}} = \frac{12.88\cdot 100}{3200\cdot 4280.1} = 0.000094\frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z\cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm}\cdot\frac{b\cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3\cdot(f_{ck})^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0\ MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3\cdot(f_{ck})^{2/3} = 0.3\cdot(30.0)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

$$M_{cr} = 0.29\cdot\frac{100\cdot 18^2}{6} = 1566\ kNcm = 15.66\ kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z\cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d-\frac{x}{3}\right)\cdot A_s} = \frac{1566}{\left(15-\frac{2.46}{3}\right)\cdot 3.85} = 28.68\ \frac{kN}{cm^2} = 286.8 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{12.88 \cdot 100}{\left(15 - \frac{2.46}{3}\right) \cdot 3.85} = 23.59\ kN/m^2 = 235.9\ N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0$ – *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ – *dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{286.8}{235.9}\right)^2 = 0.261$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000081 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.000094 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.261) \cdot 0.0000081 + 0.261 \cdot 0.000094 = 0.000031 \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.000031 \frac{1}{cm}$$

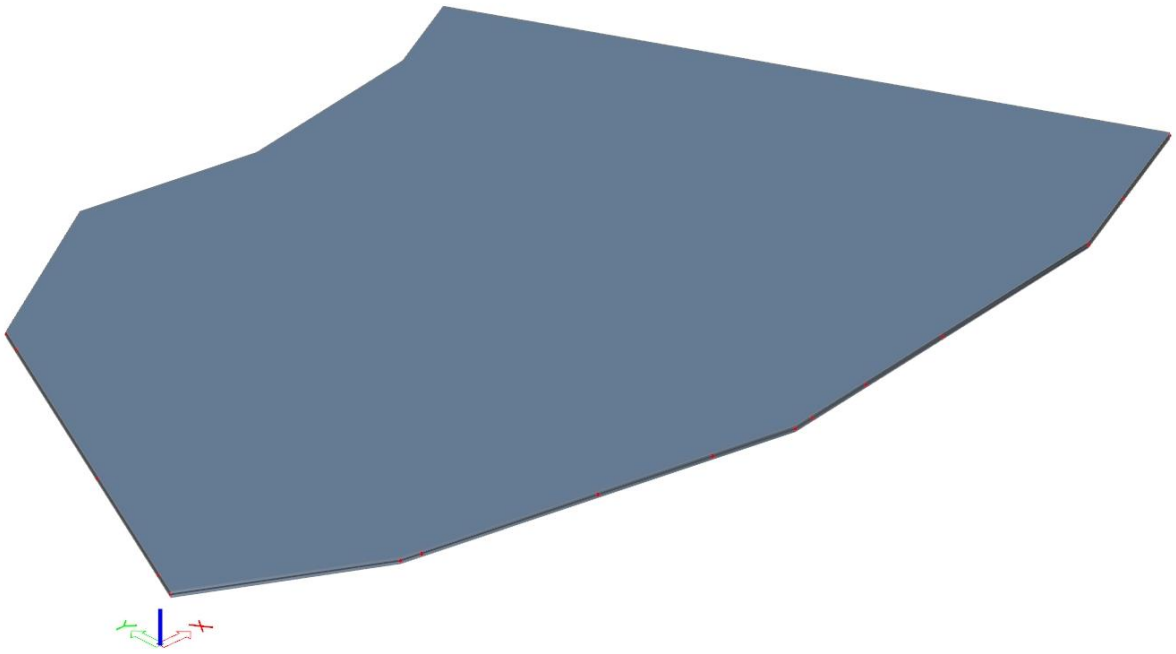
$k = 0.08$

$L = 600\ cm$

$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.08 \cdot 600^2 \cdot 0.000031 = 0.89\ cm < v_{\lim} = 2.4\ cm$$

Odabrane dimenzije ploče i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

5.1.6. Dimenzioniranje ploče POZ -100 (podna ploča)



Slika 5.31. Renderirani prikaz ploče POZ -100 (podna ploča)

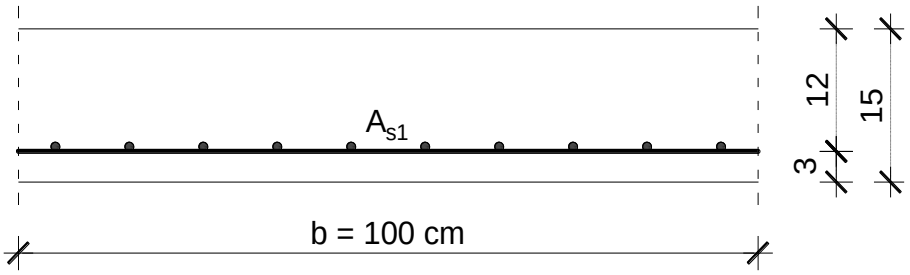
Debljina ploče:

$h_{US} = 15\ cm$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$ (XC2 - umjerena vlažnost; dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup)

$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$

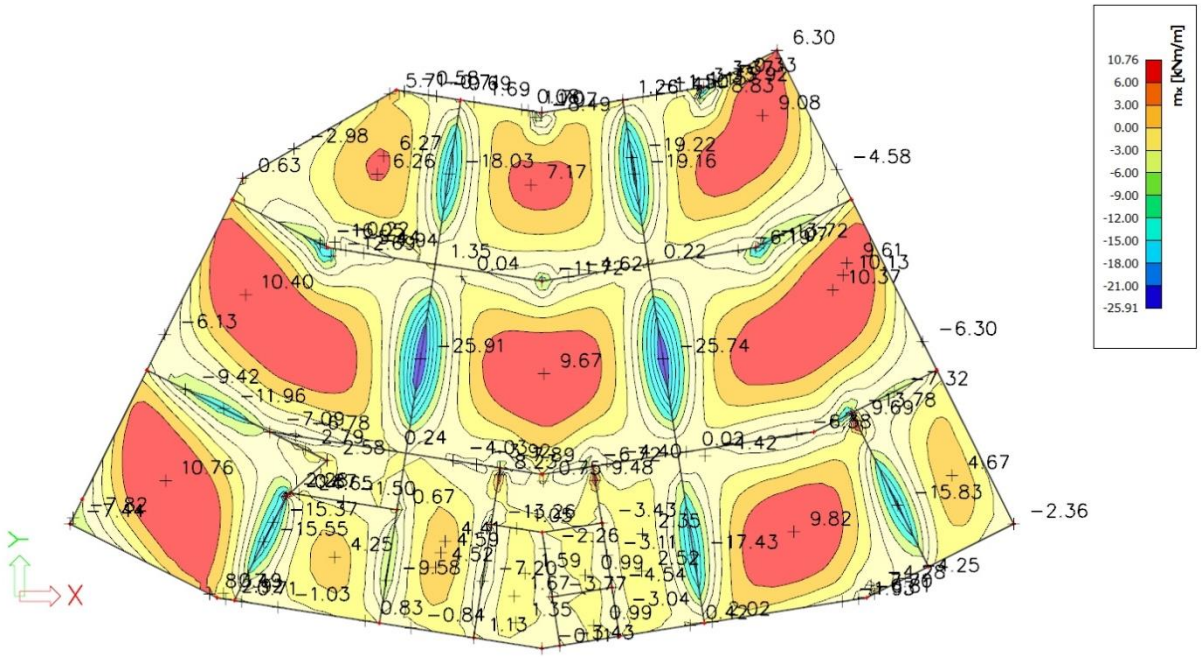
$d = h - d_1 = 15 - 3 = 12\ cm$



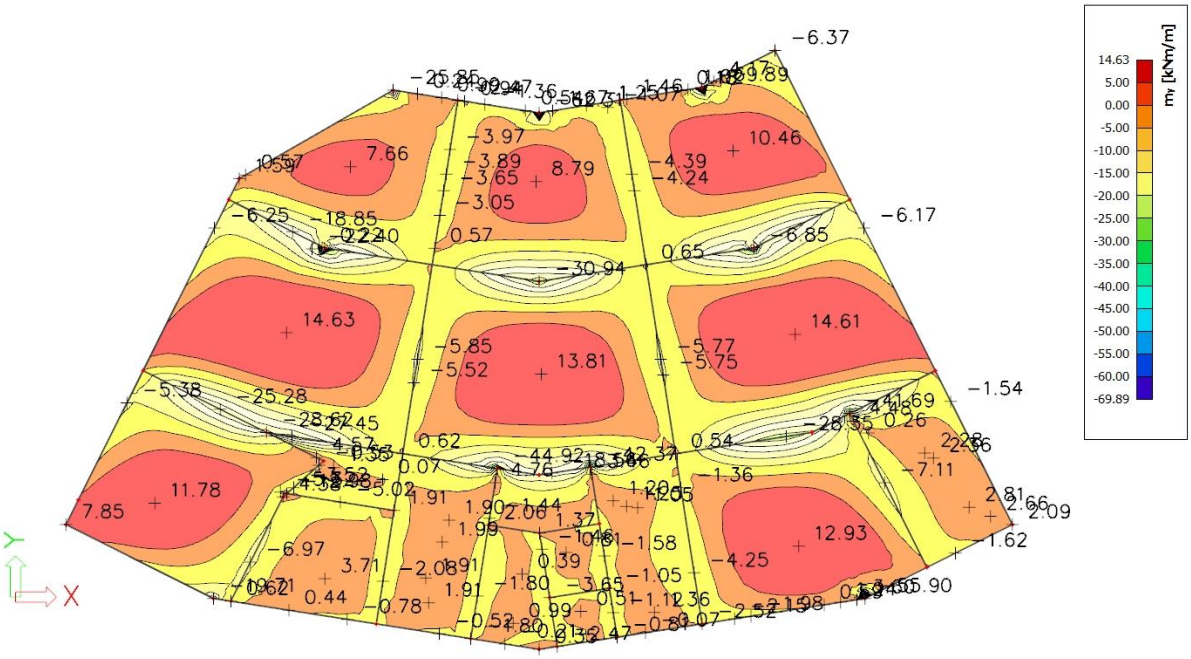
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 1:

$1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q$



Slika 5.32. Dijagram momenata savijanja M_x [kNm/m']



Slika 5.33. Dijagram momenata savijanja M_y [kNm/m']

$M_{ed,y}$ = 14.63 kNm/m'

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14.63 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2} = 0.051$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.4$ ‰, $\xi = 0.123$, $\zeta = 0.956$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{14.63 \cdot 100}{0.956 \cdot 12 \cdot 43.5} = 2.93 cm^2 + 20\ \% \Rightarrow 3.4\ cm^2$$

Odabrano za cijelu ploču u donjoj i gornjoj zoni:

Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2) - glavna armatura ϕ 7/10 cm

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 11 = 1.43 cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 11 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.66\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 15 = 60\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 15 = 33\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 1.66\ cm^2 < A_{s1,odab} = 3.85\ cm^2 < A_{s1,max} = 33\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

Podnu ploču izvesti na dobro zbijenoj podlozi od kvalitetnog kamena. Zbijenost kontrolirati kružnom pločom. Minimalni modul zbijenosti MS mora biti veći od 60 MPa.

5.1.7. Odabrana armatura ploča po pozicijama

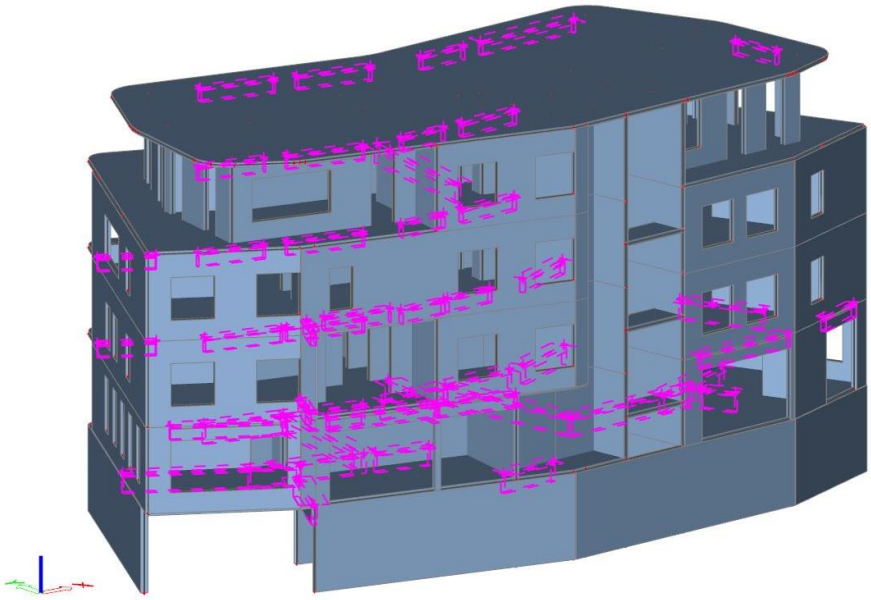
POZICIJA PLOČE	ARMATURA U DONJOJ ZONI	ARMATURA U KRITIČNOM PRESJEKU	ARMATURA U GORNJOJ ZONI
POZ 400	Q 385	-	Q 503
POZ 300	Q 385	Q 385 + 5 ϕ 10/20	Q 785
POZ 200	Q 385	Q 385 + 5 ϕ 10/20	Q 785
POZ 100	Q 385	Q 385 + 10 ϕ 10/10	Q 785
POZ 0	Q 385	Q 385 + 5 ϕ 10/20	Q 785
POZ -100	Q 385	-	Q 385

5.2. DIMENZIONIRANJE AB GREDA

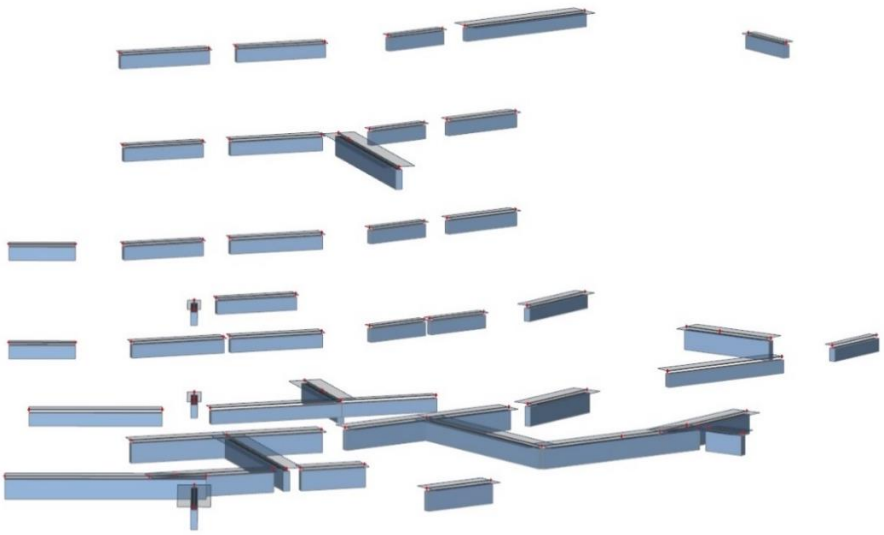
Grede su modelirane zajedno sa pločama pomoću numeričkog programa „Scia Engineer 2019“. Prikaz položaja greda prikazan je u nastavku.

Grede iznad iznad otvora su konstruktivne i predstavljaju ojačanje iznad staklenih stijenki. Dimenzionirana je jedna greda te je armatura usvojena za sve ostale grede.

Napravljen je proračun greda POZ 300, POZ 100 i POZ 0, te se na temelju dobivenih rezultata proračuna uzima mjerodavna armatura za armiranje greda iste pozicije i raspona.

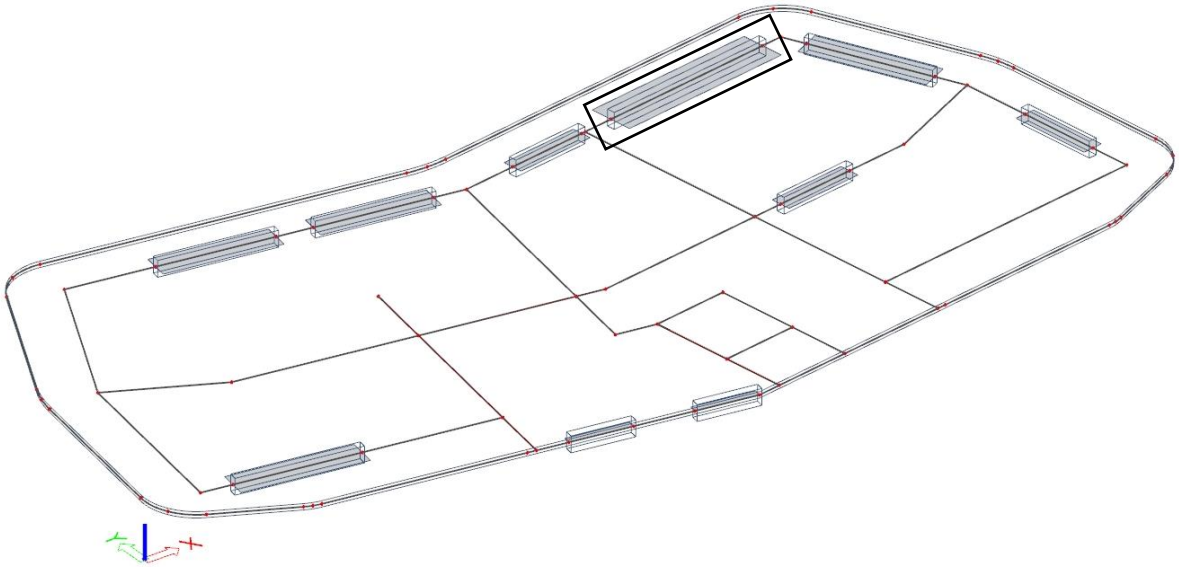


Slika 5.34. Renderirani prikaz zgrade i položaja greda u zgradi



Slika 5.35. Prikaz položaja greda u zgradi

5.2.1. Dimenzioniranje greda iznad otvora



Slika 5.36. Prikaz greda u ploči POZ 400

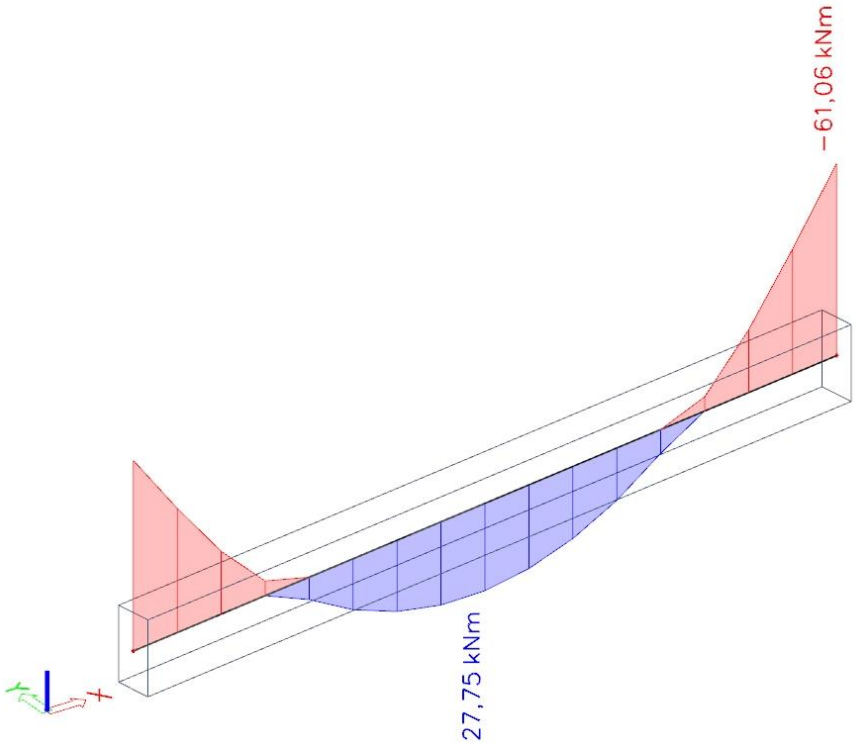
Sve grede iznad otvora u konstrukciji su dimenzionirane obzirom na istaknutu gredu POZ 400. Njezini maksimalni momenti u polju te na ležaju predstavljaju mjerodavne rezne sile. Rezne sile u preostalim greda su manje ili gotovo zanemarive.

Sljedećim proračunom, dobivena uzdužna i poprečna armatura usvaja se za sve grede dimenzija b/h = 20/40 cm iznad otvora.

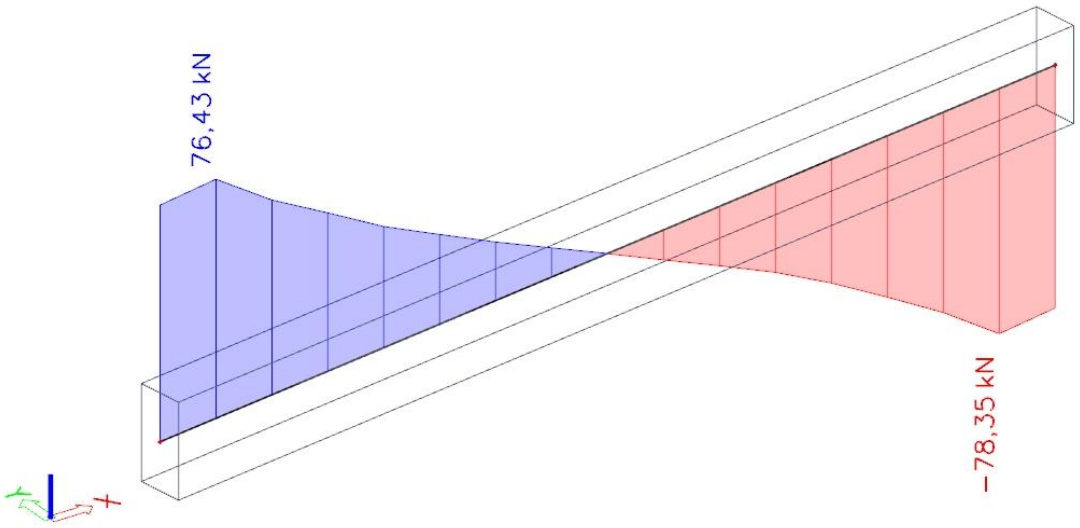
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 3:

$1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot (1.5 \cdot S)$



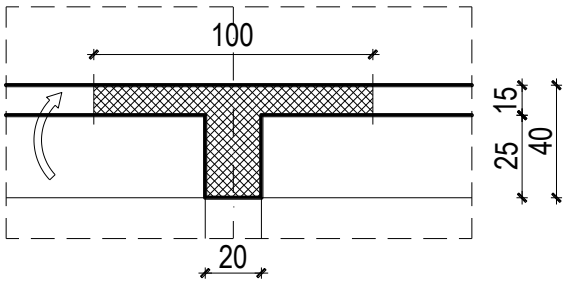
Slika 5.37. Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju My [kNm] za gredu POZ 400



Slika 5.38. Dijagram poprečnih sila Vz [kN] za pripadajuću gredu POZ 400

- Dimenzioniranje na moment savijanja

➢ **Armatura u polju**



Slika 5.39. Poprečni presjek grede u polju

$h = 40\ cm$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$

$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$

$d = h - d_1 = 40 - 3 = 37\ cm$

$M_{ed,y}$ = 27.75 kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{27.75 \cdot 100}{20 \cdot 37^2 \cdot 2} = 0.051$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.4$ ‰, $\xi = 0.123$, $\zeta = 0.956$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{27.75 \cdot 100}{0.956 \cdot 37 \cdot 43.5} = 1.80\ cm^2$$

Odabrano: 2 Ø16 (A_{s1} = 4.02 cm^2)

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 20 \cdot 37 = 0.962\ cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 20 \cdot 37 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.12\ cm^2 - mjerodavno$$

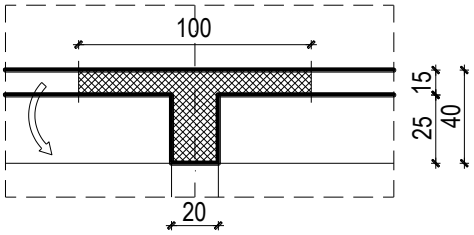
Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 20 \cdot 40 = 32\ cm^2$$

$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 20 \cdot 40 = 17.6\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 1.12\ cm^2 < A_{s1,odab} = 4.02\ cm^2 < A_{s1,\max} = 17.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura nad ležajem**



Slika 5.40. Poprečni presjek grede na ležaju

$h = 40\ cm$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$

$d_2 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$

$d = h - d_2 = 40 - 3 = 37\ cm$

$M_{ed,y}$ = 61.06 kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{61.06 \cdot 100}{20 \cdot 37^2 \cdot 2} = 0.112$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 2.5$ ‰, $\xi = 0.200$, $\zeta = 0.922$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{61.06 \cdot 100}{0.922 \cdot 37 \cdot 43.5} = 4.12\ cm^2$$

Odabrano: 3 Ø16 (A_{s1} = 6.03 cm^2)

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 20 \cdot 37 = 0.962\ cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 20 \cdot 37 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.12\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 20 \cdot 40 = 32\ cm^2$$

$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 20 \cdot 40 = 17.6\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 1.12\ cm^2 < A_{s1,odab} = 6.03\ cm^2 < A_{s1,\max} = 17.6\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- Dimenzioniranje na poprečnu silu

$V_{Ed} = 78.35\ kN,\ N_{Ed} = 0.0\ kN$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{370}} = 1.74 < 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.74$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.0$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 4.02 + 6.03 = 10.05\ cm^2 \qquad \rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{10.05}{20 \cdot 40} = 0.013$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.74 \cdot \left(100 \cdot 0.013 \cdot 30\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 200 \cdot 370 = 52\,398.3\,N = 52.4\ kN$$

$V_{Rd,c} = 52.4\ kN < V_{Ed} = 78.35\ kN \Rightarrow$ *Potrebna računska armatura*!

$$V_{Rd,c} \geq \left[\nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d = \left[0.44 + 0\right] \cdot 200 \cdot 370 = 32.56\ kN$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{\ 1/2} = 0.035 \cdot 1.74^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.44$$

$V_{Rd,c} = 52.4\ kN > 32.56\ kN \Rightarrow$ *Uvjet zadovoljen*!

Poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 20 \cdot 200 \cdot 370 = 390.72\ kN$$

$$\nu = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0.528$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\max}} = \frac{78.35}{390.72} = 0.201 < 0.3 \Rightarrow s_{w,\max} = \min \begin{Bmatrix} 0.75 \cdot d = 0.75 \cdot 37 = 27.75\ cm \\ 30\ cm \end{Bmatrix}$$

$$s_{w,\max} = 25\ cm,\ \rho_{\min} = 0.001,\ m = 2$$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 25 \cdot 20}{2} = 0.25\ cm^2 \ \rightarrow$$ Odabrano: Ø8/25 cm (A_{sw} = 0.5 cm^2)

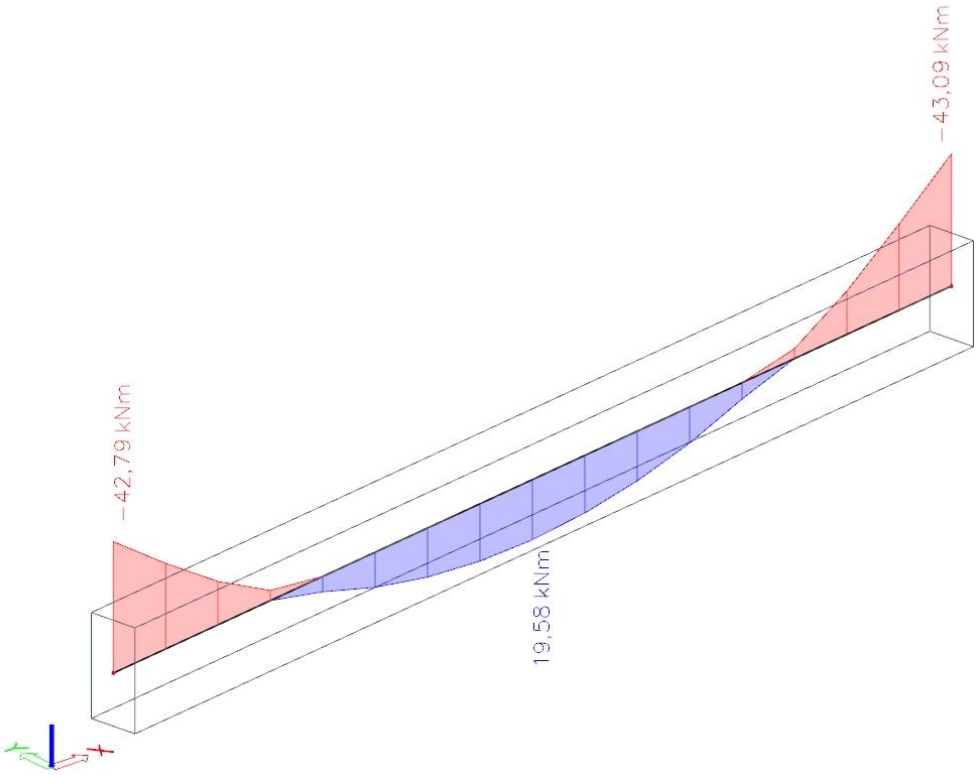
$$s_w = \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot 0.9 \cdot d}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 43.5 \cdot 0.9 \cdot 37}{78.35} = 18.49\ cm$$

Usvojene spone: Ø8/15 cm (A_{sw} = 0.5 cm^2)

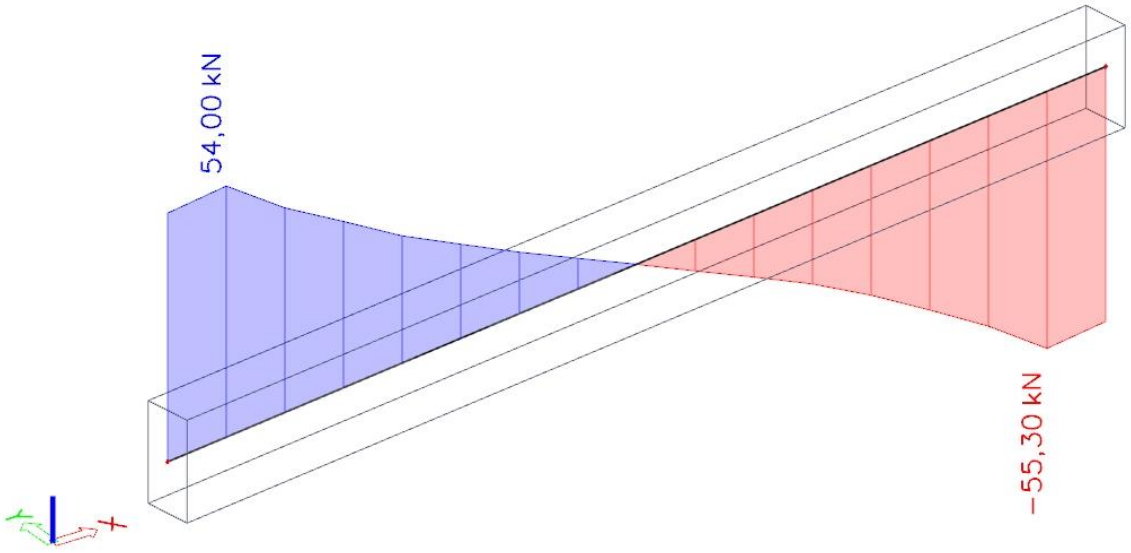
- **Granično stanje uporabljivosti (GSU)**

Proračun za granično stanje uporabljivosti proveden je za kombinaciju GSU 1:

$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.0 \cdot Q$



Slika 5.41. Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju My [kNm] za gredu POZ 400



Slika 5.42. Dijagram poprečnih sila Vz [kN] za pripadajuću gredu POZ 400

- **Kontrola pukotina**

Granična vrijednost širine pukotine:

w_g = 0.3 mm (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2)

$$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \le w_g$$

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju: M_{Ed} = 19.58 kNm

Dimenzije grede: b/h = 20/40 cm

Armatura grede - donja zona: **2 Ø16** (A_{s1} = 4.02 cm^2)

Proračun srednje deformacije armature:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \dfrac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}\right)}{E_s} \ge 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$f_{ct,eff}$ = efektivna vlačna čvrstoća betona, može se uzeti f_{ctm} = 2.9 MPa

k_t = 0.4 (dugotrajno opterećenje)

E_s = 200 GPa

E_{cm} = 32.0 GPa (iz tablice)

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32.0} = 6.25$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b}\left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}}\right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \dfrac{x}{3}\right) \cdot A_s}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$\rho_{p,eff}$ - djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom

$A_{c,eff}$ - sudjelujuća vlačna zona presjeka

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,\max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} (mm)$$

c – zaštitni sloj uzdužne armature [mm]

k_1 – koeficijent kojim se uzima u obzir prionjivost čelika i betona

k_1 = 0.8 - rebrasta armatura

k_2 - koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj raspodjele deformacija

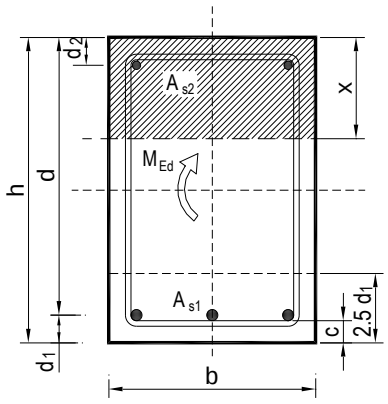
k_2 = 0.5 - savijanje

k_3 = 3.4

k_4 = 0.425

b =	20,0	cm	d =	37,0	cm	h =	40,0	cm
f_{ck} =	30,0	MN/m^2	f_{ctm} =	2,90	MN/m^2	w_g =	0,30	mm
A_{s1} =	4,02	cm^2	A_{s2} =	0,00	cm^2	$d_1 = d_2$ =	3,0	cm
E_s =	200,00	GN/m^2	E_{cm} =	32,80	GN/m^2	$\alpha_e = E_s/E_{cm}$ =	6,10	
M_{Ed} =	19,6	kNm	k_t =	0,40				
σ_s =	142,38	MN/m^2						
x =	8,38	cm	$\rho_{p,eff}$ =	0,0268				
$(\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm})$ =	0,000460	>	$0.6 \cdot \sigma_s/E_s$ =	0,000427				
Ø =	16,0	mm	c =	2,50	cm			
k_1 =	0,8		k_2 =	0,50				
k_3 =	3,4		k_4 =	0,43				
$s_{r,max}$ =	186,49	mm						

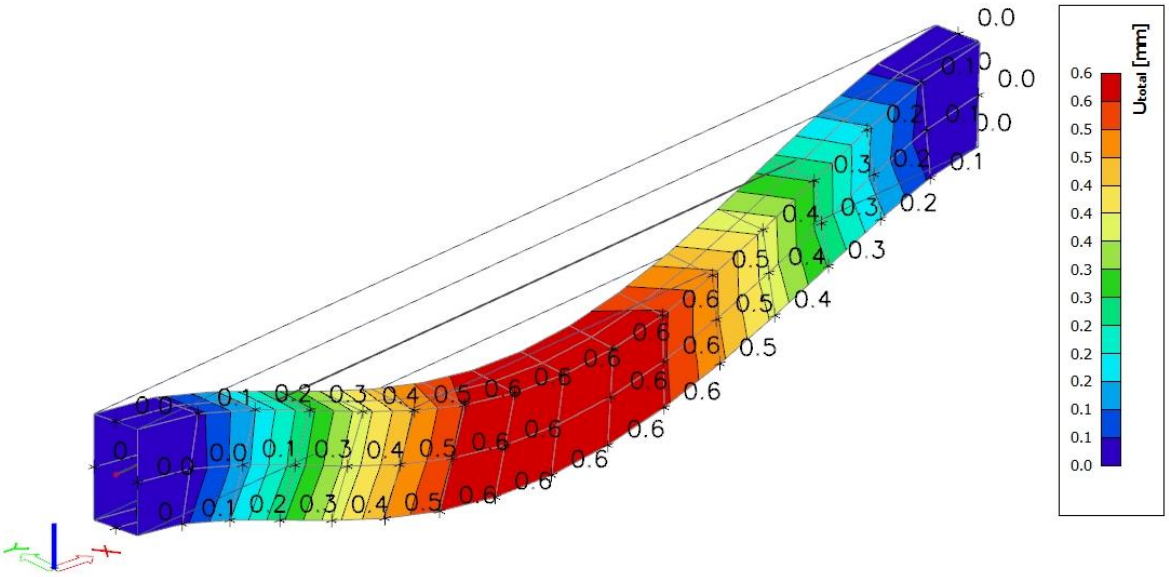
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm})$ = 0,086 mm < w_g



Kontrolom pukotina greda zaključeno je da odabrana armatura u polju (**2 Ø16**, A_{s1} = 4.02 cm^2) zadovoljava na cijeloj gredi kao i na mjestu maksimalnog momenta.

Odabrane dimenzije grede i armature zadovoljavaju u pogledu pukotina!

- **Kontrola progiba**



Slika 5.43. Progib Uz grede POZ 400 za GSU [mm]

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa, armatura **2 Ø16** (A_{s1} = 4.02 cm^2)

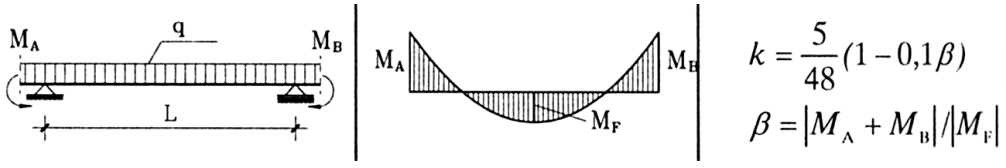
$$\alpha_{el} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

Granični progib grede: $\nu_{\lim} = \dfrac{L}{250} = \dfrac{440\ cm}{250} = 1.76\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left| M_{l1} + M_{l2} \right| / \left| M_p \right| = \left| 43.09 + 42.79 \right| / 19.58 = 4.39$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta \right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 4.39 \right) = 0.06$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left| M_A + M_B \right| / \left| M_F \right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right]$$

$$= \frac{20 \cdot 40^3}{12} + 6.25 \cdot \left[4.02 \cdot \left(\frac{40}{2} - 3 \right)^2 + 0.0 \cdot \left(\frac{40}{2} - 3 \right)^2 \right] =$$

$$= 106666.67 + 7261.13 = 113927.8 \; cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 19.58 \; kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32 \; GN/m^2 = 3200.0 \; kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{19.58 \cdot 100}{3200 \cdot 113927.8} = 0.0000054 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 4.02}{20} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 20 \cdot 37}{6.25 \cdot 4.02}} \right) = 8.47 \; cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2 \right]$$

$$= \frac{20 \cdot 8.47^3}{12} + (20 \cdot 8.47) \cdot \left(\frac{8.47}{2} \right)^2 + 6.25 \cdot \left[4.02 \cdot (37 - 8.47)^2 + 0.0 \cdot (8.47 - 3)^2 \right]$$

$$= 1012.74 + 3038.23 + 20450.77 = 24501.74 \; cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{19.58 \cdot 100}{3200 \cdot 24501.74} = 0.000025 \frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0 \; MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot (30.0)^{2/3} = 2.9 \; MPa$$

$$M_{cr} = 0.29 \cdot \frac{20 \cdot 40^2}{6} = 1546.67 \; kNcm = 15.47 \; kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{1546.67}{\left(37 - \frac{8.47}{3} \right) \cdot 4.02} = 11.26 \; \frac{kN}{cm^2} = 112.6 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{19.58 \cdot 100}{\left(37 - \frac{8.47}{3}\right) \cdot 4.02} = 14.25\ kN/m^2 = 142.5\ N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0$ – *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ – *dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{112.6}{142.5}\right)^2 = 0.688$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000054\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.000025\ \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.688) \cdot 0.0000054 + 0.688 \cdot 0.000025 = 0.000019\ \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.000019\ \frac{1}{cm}$$

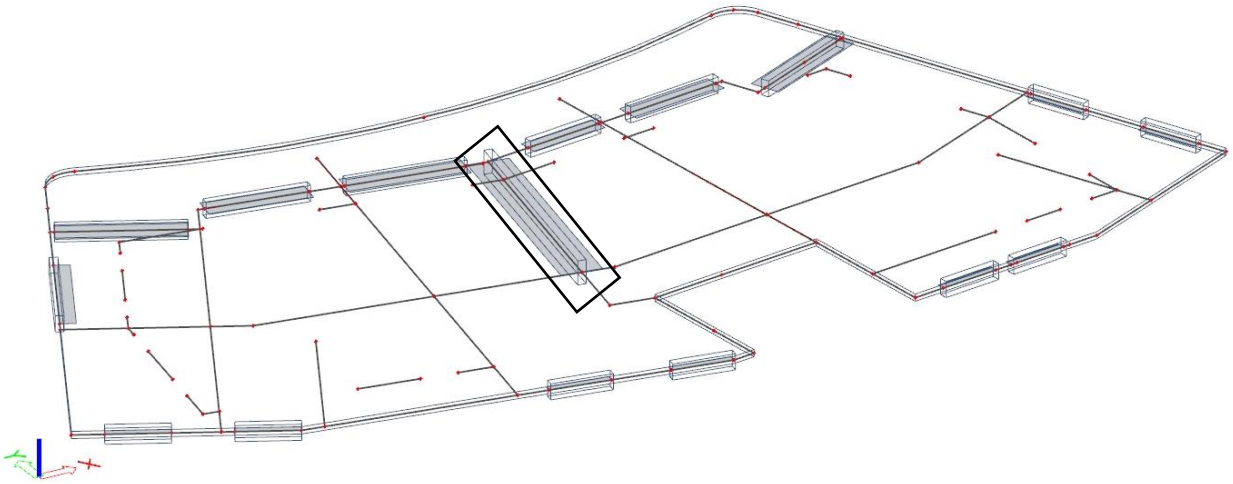
$k = 0.06$

$L = 440\ cm$

$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.06 \cdot 440^2 \cdot 0.000019 = 0.22\ cm < v_{\lim} = 1.76\ cm$$

Odabrane dimenzije grede i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

5.2.2. Dimenzioniranje greda POZ 300



Slika 5.44. Prikaz greda u ploči POZ 300

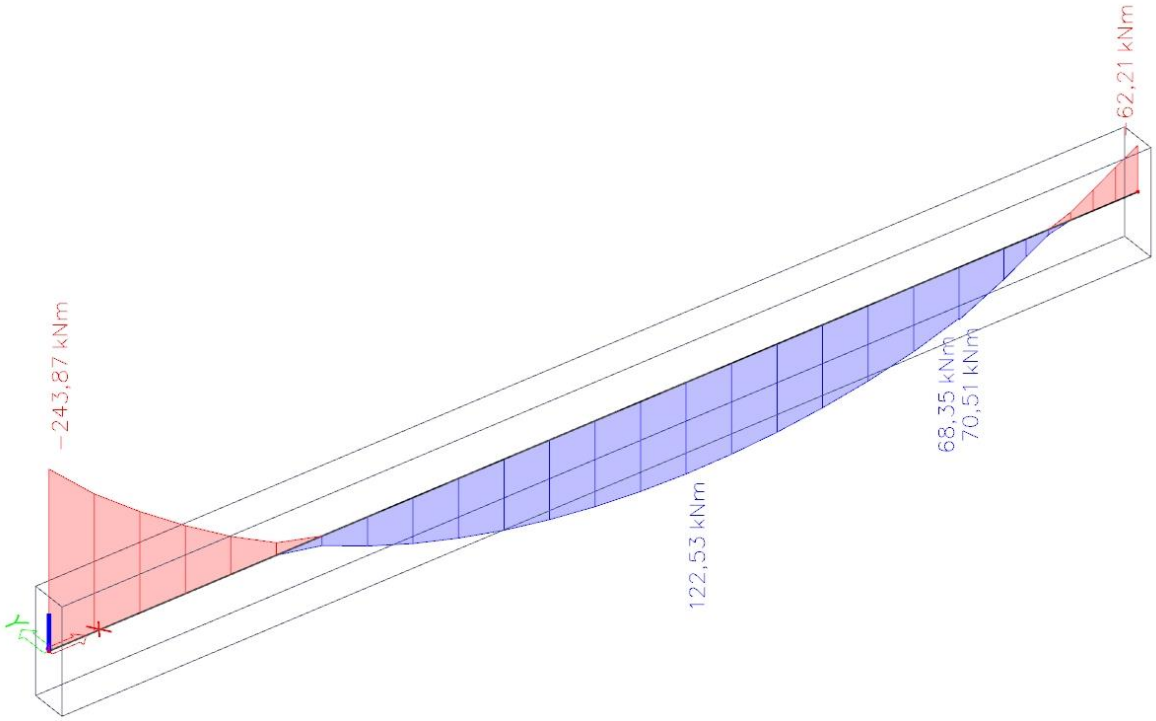
Za sve grede iznad otvora kod ploče POZ 300 usvojena je armatura dobivena dimenzioniranjem grede POZ 400. Usvojena armatura je **2 Ø16** (A_{s1} = 4.02 cm^2) u polju i **3 Ø16** (A_{s1} = 6.03 cm^2) na ležaju.

U nastavku je dimenzionirana greda POZ 300 dimenzija b/h = 20/60 cm.

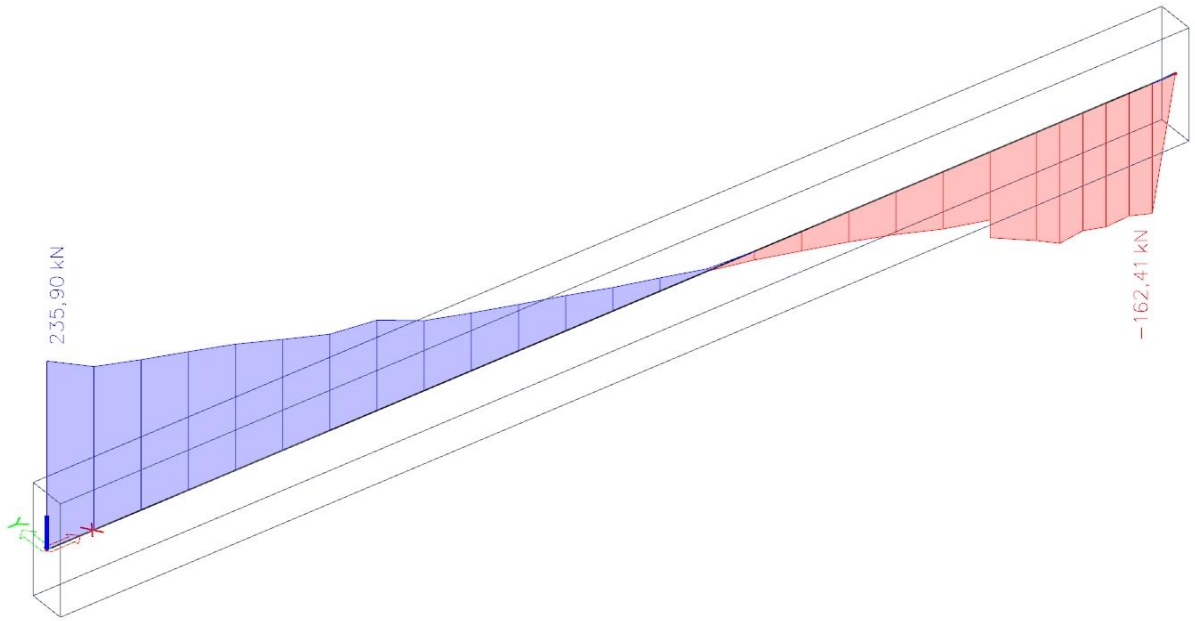
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 1:

$1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q$



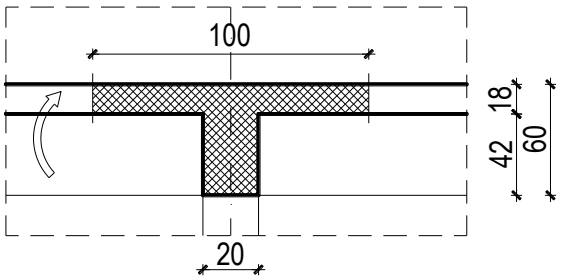
Slika 5.45. Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju My [kNm] za gredu POZ 300



Slika 5.46. Dijagram poprečnih sila Vz [kN] za pripadajuću gredu POZ 300

- Dimenzioniranje na moment savijanja

➢ **Armatura u polju**



Slika 5.47. Poprečni presjek grede u polju

$h = 60\ cm$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$

$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$

$d = h - d_1 = 60 - 3 = 57\ cm$

$M_{ed,y}$ = 122.53 kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{122.53 \cdot 100}{20 \cdot 57^2 \cdot 2} = 0.094$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 2.2$ ‰, $\xi = 0.180$, $\zeta = 0.931$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{122.53 \cdot 100}{0.931 \cdot 57 \cdot 43.5} = 5.31\ cm^2$$

Odabrano: 3 Ø16 (A_{s1} = 6.03 cm^2)

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 20 \cdot 57 = 1.48\ cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 20 \cdot 57 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.72\ cm^2 - mjerodavno$$

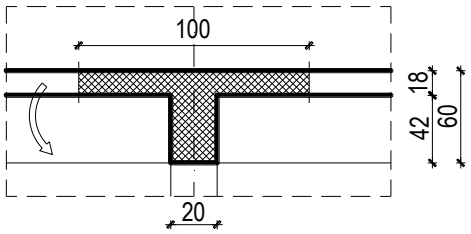
Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 20 \cdot 60 = 48\ cm^2$$

$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 20 \cdot 60 = 26.4\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 1.72\ cm^2 < A_{s1,odab} = 6.03\ cm^2 < A_{s1,\max} = 26.4\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura nad ležajem**



Slika 5.48. Poprečni presjek grede na ležaju

$h = 60\ cm$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$

$d_2 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$

$d = h - d_2 = 60 - 3 = 57\ cm$

$M_{ed,y}$ = 243.87 kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{243.87 \cdot 100}{20 \cdot 57^2 \cdot 2} = 0.188 \Rightarrow \textit{dvostruko armiranje}$$

$\varepsilon_{s1} = 10\ ‰,\ \varepsilon_{c2} = 3.5\ ‰,\ \xi = 0.259,\ \zeta = 0.892,\ \mu_{Ed,\lim} = 0.159$

$$M_{Rd,\lim} = \mu_{Ed,\lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.159 \cdot 20 \cdot 57^2 \cdot 2 = 206.64\ kNm$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s2,req} = \frac{M_{Rd,\lim}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Ed} - M_{Rd,\lim}}{(d_2 - d) \cdot f_{yd}} = \frac{206.64 \cdot 100}{0.892 \cdot 57 \cdot 43.5} + \frac{(243.87 - 206.64) \cdot 100}{(57 - 3) \cdot 43.5}$$

$$A_{s2,req} = 9.34 + 1.59 = 10.93\ cm^2$$

Odabrano za gornju zonu: 3 Ø22 (A_{s1} = 11.40 cm^2)

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed} - M_{Rd,\lim}}{(d_2 - d) \cdot f_{yd}} = \frac{(243.87 - 206.64) \cdot 100}{(57 - 3) \cdot 43.5} = 1.59\ cm^2$$

Odabrano za donju zonu: 2 Ø16 (A_{s1} = 4.02 cm^2)

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 20 \cdot 57 = 1.48\ cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 20 \cdot 57 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.72\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 20 \cdot 60 = 48\ cm^2$$

$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 20 \cdot 60 = 26.4\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 1.72\ cm^2 < A_{s1,odab} = 11.40\ cm^2 < A_{s1,\max} = 26.4\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- <u>Dimenzioniranje na poprečnu silu</u>

$$V_{Ed} = 235.90\ kN,\ N_{Ed} = 0.0\ kN$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{570}} = 1.59 < 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.59$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.0$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 4.02 + 11.40 = 15.42\ cm^2 \qquad \rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{15.42}{20 \cdot 60} = 0.013$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.59 \cdot \left(100 \cdot 0.013 \cdot 30\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 200 \cdot 570 = 73762.92\ N = 73.76\ kN$$

$$V_{Rd,c} = 73.76\ kN < V_{Ed} = 235.90\ kN \Rightarrow Potrebna\ računska\ armatura!$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[\nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d = \left[0.38 + 0\right] \cdot 200 \cdot 570 = 43.32\ kN$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.59^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.38$$

$$V_{Rd,c} = 73.76\ kN > 43.32\ kN \Rightarrow Uvjet\ zadovoljen!$$

Poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 20 \cdot 200 \cdot 570 = 601.92 \; kN$$

$$\nu = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0.528$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\max}} = \frac{235.90}{601.92} = 0.392 \rightarrow 0.3 < 0.392 < 0.6 \Rightarrow s_{w,\max} = \min \left\{ \begin{matrix} 0.55 \cdot d = 0.55 \cdot 57 = 31.25 \; cm \\ 30 \; cm \end{matrix} \right\}$$

$$s_{w,\max} = 30 \; cm, \; \rho_{\min} = 0.001, \; m = 2$$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 20}{2} = 0.3 \; cm^2 \; \rightarrow$$ Odabrano: Ø8/30 cm (A_{sw} = 0.5 cm^2)

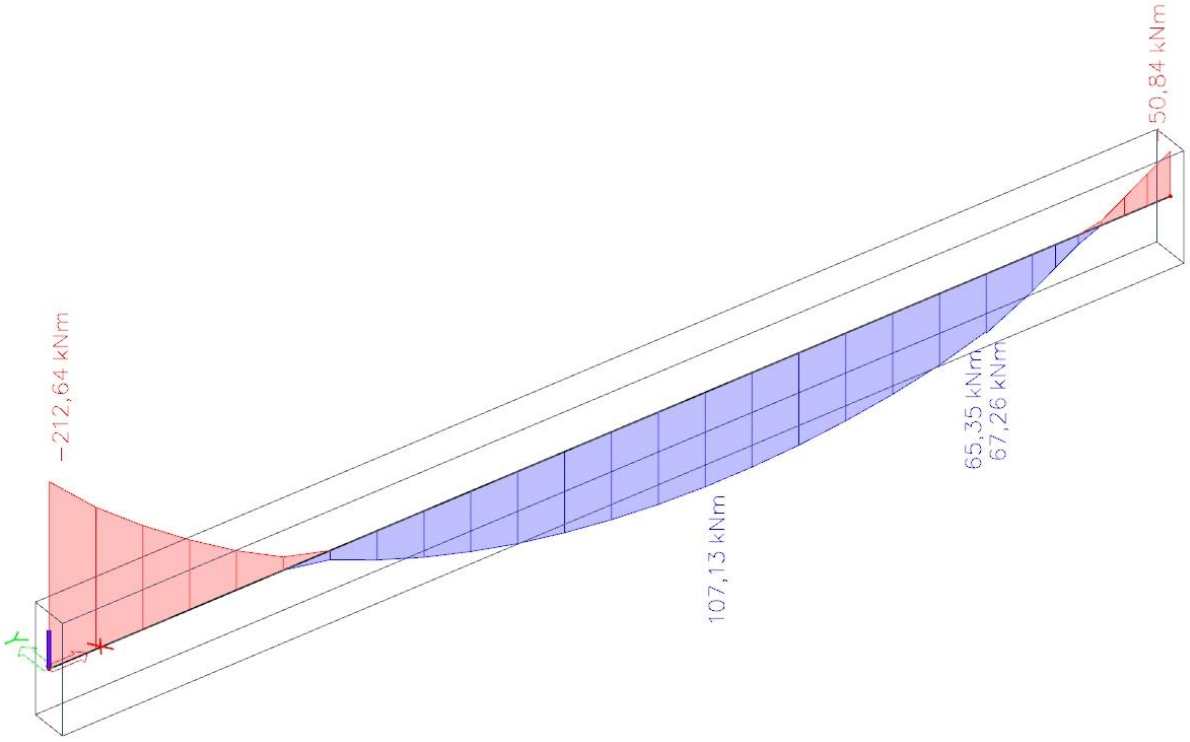
$$s_w = \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot 0.9 \cdot d}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 43.5 \cdot 0.9 \cdot 57}{235.90} = 9.46 \; cm$$

Usvojene spone: Ø8/7.5 cm (A_{sw} = 0.5 cm^2)

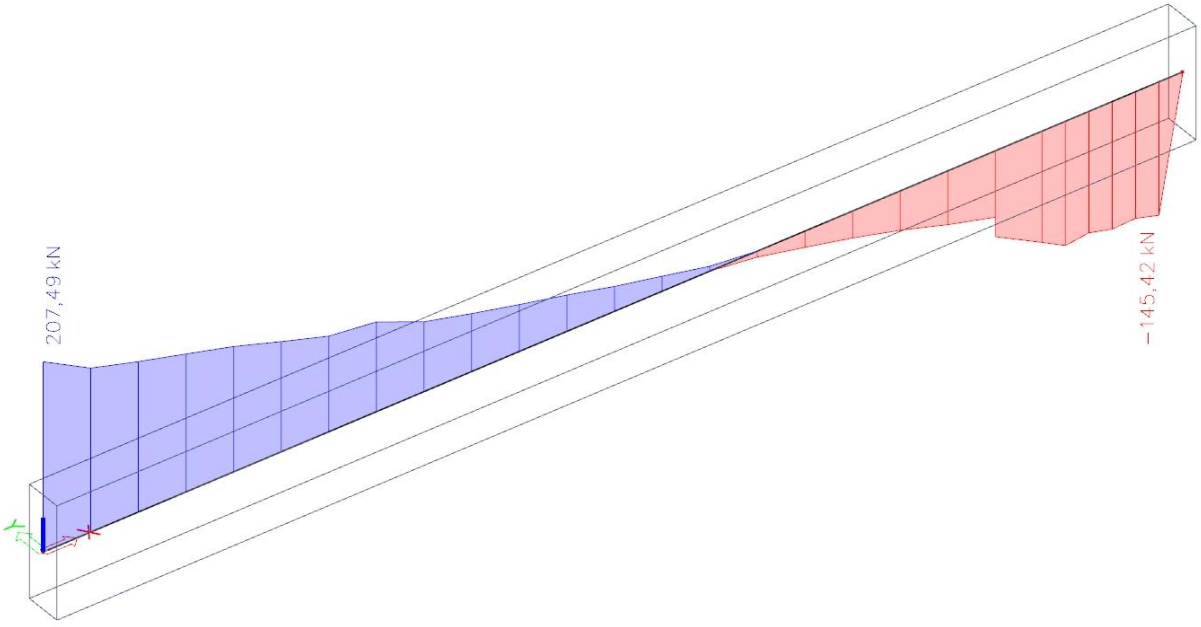
- **Granično stanje uporabljivosti (GSU)**

Proračun za granično stanje uporabljivosti proveden je za kombinaciju GSU 1:

$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.0 \cdot Q$



Slika 5.49. Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju My [kNm] za gredu POZ 300



Slika 5.50. Dijagram poprečnih sila Vz [kN] za pripadajuću gredu POZ 300

- **Kontrola pukotina**

Granična vrijednost širine pukotine:

w_g = 0.3 mm (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2)

$$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \le w_g$$

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju: M_{Ed} = 107.13 kNm

Dimenzije grede: b/h = 20/60 cm

Armatura grede - donja zona: **3 Ø16** (A_{s1} = 6.03 cm^2)

Proračun srednje deformacije armature:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \dfrac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}\right)}{E_s} \ge 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$f_{ct,eff}$ = efektivna vlačna čvrstoća betona, može se uzeti f_{ctm} = 2.9 MPa

k_t = 0.4 (dugotrajno opterećenje)

E_s = 200 GPa

E_{cm} = 32.0 GPa (iz tablice)

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32.0} = 6.25$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b}\left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}}\right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \dfrac{x}{3}\right) \cdot A_s}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$\rho_{p,eff}$ - djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom

$A_{c,eff}$ - sudjelujuća vlačna zona presjeka

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,\max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} (mm)$$

c – zaštitni sloj uzdužne armature [mm]

k_1 – koeficijent kojim se uzima u obzir prionjivost čelika i betona

$k_1 = 0.8$ - rebrasta armatura

k_2 - koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj raspodjele deformacija

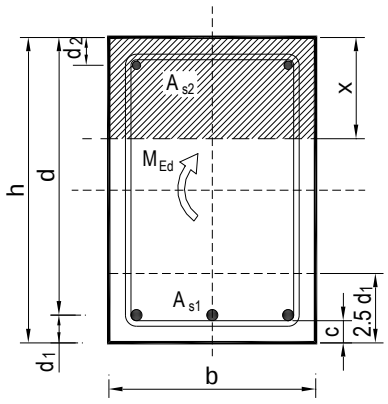
$k_2 = 0.5$ - savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

b =	20,0	cm	d =	57,0	cm	h =	60,0	cm
f_{ck} =	30,0	MN/m^2	f_{ctm} =	2,90	MN/m^2	w_g =	0,30	mm
A_{s1} =	6,03	cm^2	A_{s2} =	0,00	cm^2	$d_1 = d_2$ =	3,0	cm
E_s =	200,00	GN/m^2	E_{cm} =	32,80	GN/m^2	$\alpha_e = E_s/E_{cm}$ =	6,10	
M_{Ed} =	107,1	kNm	k_t =	0,40				
σ_s =	336,81	MN/m^2						
x =	12,75	cm	$\rho_{p,eff}$ =	0,0402				
$(\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm})$ =	0,001505	>	$0.6\cdot\sigma_s/E_s$ =	0,001010				
Ø =	16,0	mm	c =	2,50	cm			
k_1 =	0,8		k_2 =	0,50				
k_3 =	3,4		k_4 =	0,43				
$s_{r,max}$ =	152,66	mm						

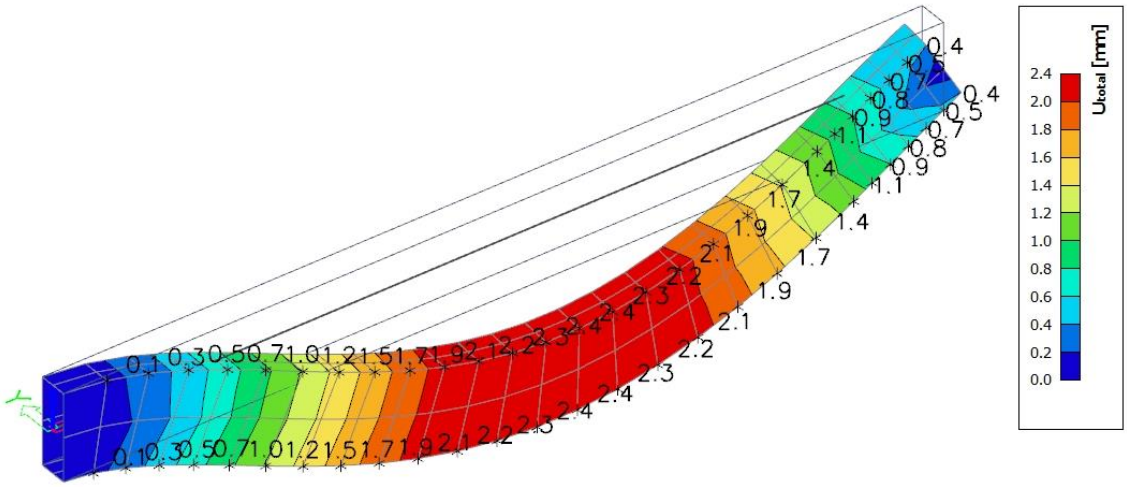
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm})$ = 0,230 mm < w_g



Kontrolom pukotina greda zaključeno je da odabrana armatura u polju (**3 Ø16**, $A_{s1} = 6.03$ cm^2) zadovoljava na cijeloj gredi kao i na mjestu maksimalnog momenta.

Odabrane dimenzije grede i armature zadovoljavaju u pogledu pukotina!

- **Kontrola progiba**



Slika 5.51. Progib Uz grede POZ 300 za GSU [mm]

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa, armatura **3 Ø16**, A_{s1} = 6.03 cm^2

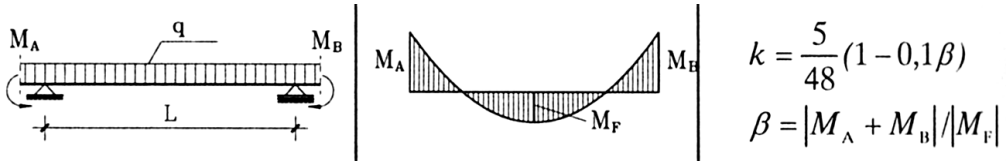
$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

Granični progib grede: $\nu_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{605\ cm}{250} = 2.42\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left| M_{l1} + M_{l2} \right| / \left| M_p \right| = \left| 212.64 + 50.84 \right| / 107.13 = 2.46$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta \right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 2.46 \right) = 0.078$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left| M_A + M_B \right| / \left| M_F \right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right]$$

$$= \frac{20 \cdot 60^3}{12} + 6.25 \cdot \left[6.03 \cdot \left(\frac{60}{2} - 3 \right)^2 + 0.0 \cdot \left(\frac{60}{2} - 3 \right)^2 \right] =$$

$$= 360\,000 + 27\,474.19 = 387\,474.19\ cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 107.13\ kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32\ GN/m^2 = 3200.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{107.13 \cdot 100}{3200 \cdot 387\,474.19} = 0.0000086 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 6.03}{20} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 20 \cdot 57}{6.25 \cdot 6.03}} \right) = 12.9\ cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2 \right]$$

$$= \frac{20 \cdot 12.9^3}{12} + (20 \cdot 12.9) \cdot \left(\frac{12.9}{2} \right)^2 + 6.25 \cdot \left[6.03 \cdot (57 - 12.9)^2 + 0.0 \cdot (12.9 - 3)^2 \right]$$

$$= 3577.82 + 10733.45 + 73295.03 = 87\,606.3\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{107.13 \cdot 100}{3200 \cdot 87\,606.3} = 0.000038 \frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0\ MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot (30.0)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

$$M_{cr} = 0.29 \cdot \frac{20 \cdot 60^2}{6} = 3480\ kNcm = 34.80\ kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{3480}{\left(57 - \frac{12.9}{3} \right) \cdot 6.03} = 10.95\ \frac{kN}{cm^2} = 109.5 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{107.13 \cdot 100}{\left(57 - \frac{12.9}{3}\right) \cdot 6.03} = 33.71 kN/m^2 = 337.1 N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0 -$ *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ *– dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{109.5}{337.1}\right)^2 = 0.947$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000086 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.000038 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.947) \cdot 0.0000086 + 0.947 \cdot 0.000038 = 0.000036 \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.000036 \frac{1}{cm}$$

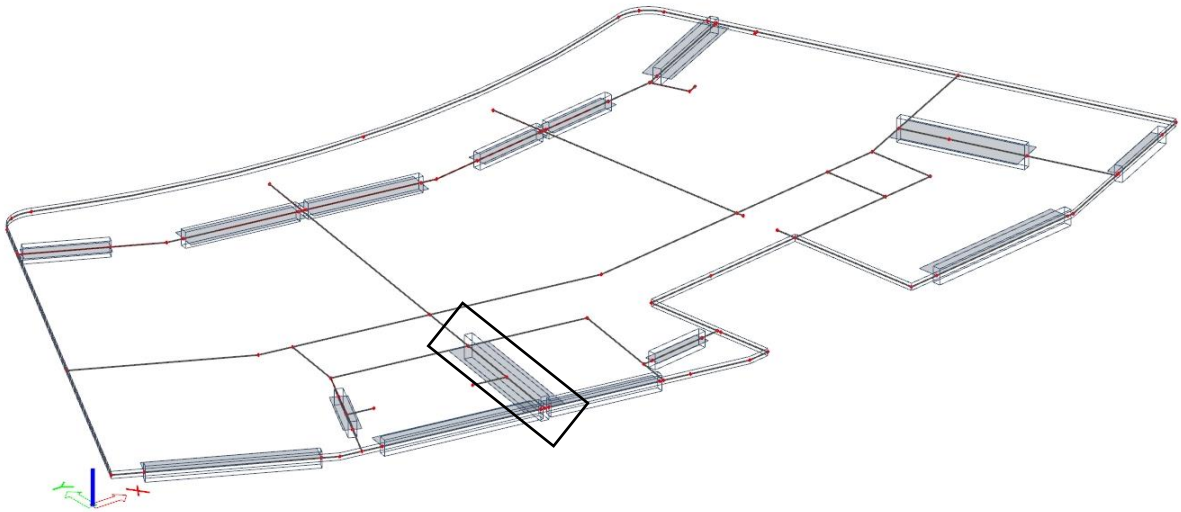
$k = 0.078$

$L = 605\ cm$

$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.078 \cdot 605^2 \cdot 0.000036 = 1.03\ cm < v_{\lim} = 2.42\ cm$$

Odabrane dimenzije grede i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

5.2.3. Dimenzioniranje greda POZ 100



Slika 5.52. Prikaz greda u ploči POZ 100

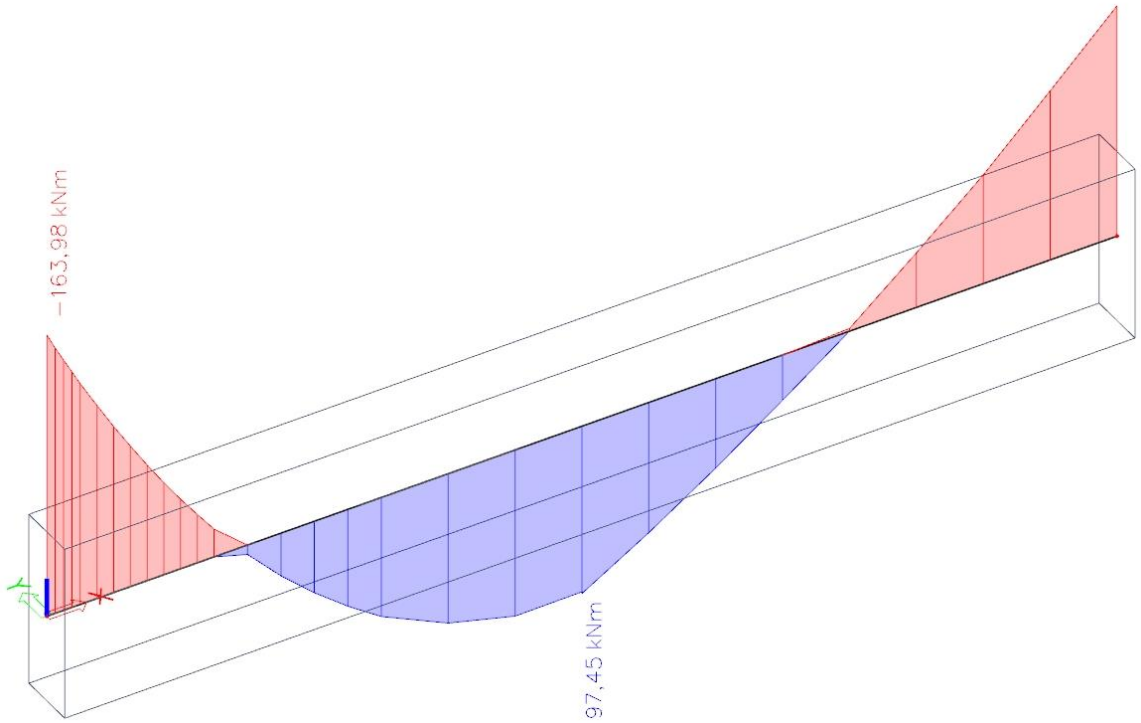
Za sve grede iznad otvora kod ploče POZ 200 i POZ 100 je usvojena armatura dobivena dimenzioniranjem grede POZ 400. Usvojena armatura je **2 Ø16** (A_{s1} = 4.02 cm^2) u polju i **3 Ø16** (A_{s1} = 6.03 cm^2) na ležaju.

U nastavku je dimenzionirana greda POZ 100 dimenzija b/h = 20/60 cm.

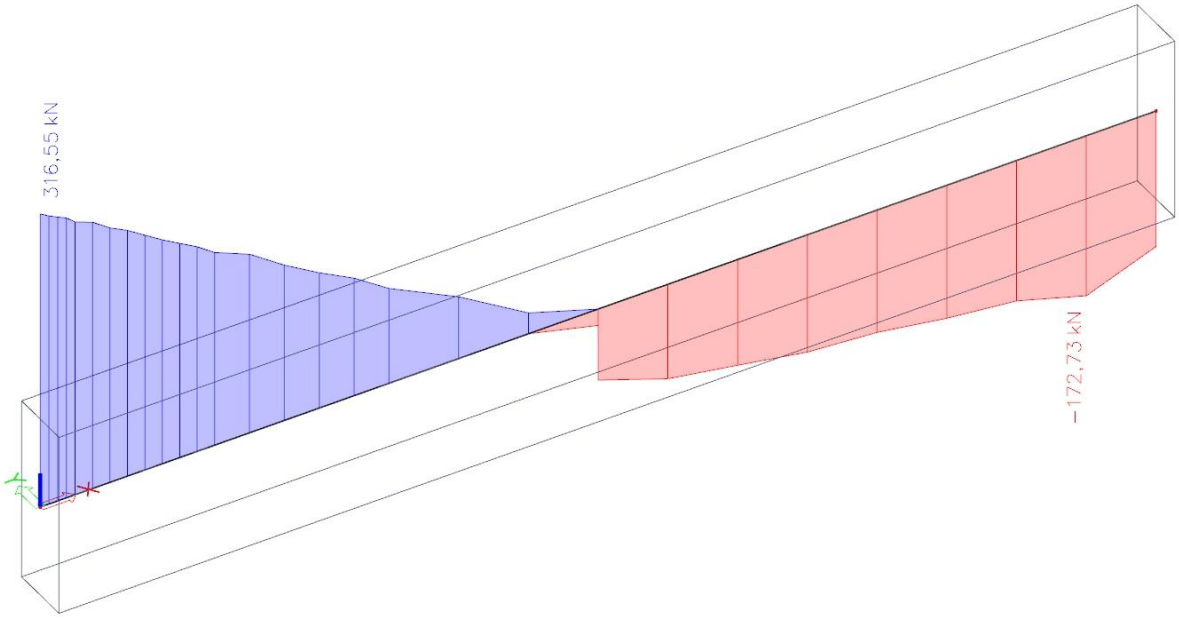
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 1:

$1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q$



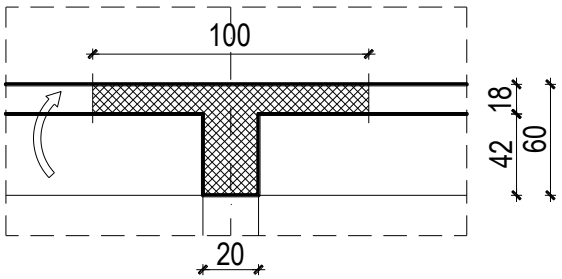
Slika 5.53. Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju My [kNm] za gredu POZ 100



Slika 5.54. Dijagram poprečnih sila Vz [kN] za pripadajuću gredu POZ 100

- Dimenzioniranje na moment savijanja

➢ **Armatura u polju**



Slika 5.55. Poprečni presjek grede u polju

$h = 60\ cm$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$

$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$

$d = h - d_1 = 60 - 3 = 57\ cm$

$M_{ed,y} = 97.45$ kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{97.45 \cdot 100}{20 \cdot 57^2 \cdot 2} = 0.075$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.8$ ‰, $\xi = 0.153$, $\zeta = 0.944$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{97.45 \cdot 100}{0.944 \cdot 57 \cdot 43.5} = 4.16\ cm^2$$

Odabrano: 3 Ø16 ($A_{s1} = 6.03\ cm^2$)

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 20 \cdot 57 = 1.48\ cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 20 \cdot 57 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.72\ cm^2 - mjerodavno$$

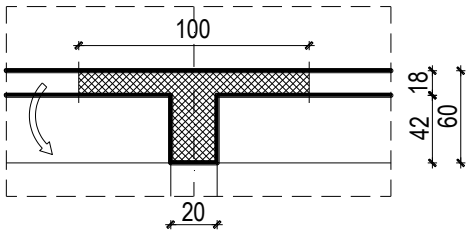
Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 20 \cdot 60 = 48\ cm^2$$

$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 20 \cdot 60 = 26.4\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 1.72\ cm^2 < A_{s1,odab} = 6.03\ cm^2 < A_{s1,\max} = 26.4\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura nad ležajem**



Slika 5.56. Poprečni presjek grede na ležaju

$h = 60\ cm$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$

$d_2 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$

$d = h - d_2 = 60 - 3 = 57\ cm$

$M_{ed,y}$ = 163.98 kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{163.98 \cdot 100}{20 \cdot 57^2 \cdot 2} = 0.126$$

$\varepsilon_{s1} = 10\ ‰,\ \varepsilon_{c2} = 2.8\ ‰,\ \xi = 0.219,\ \zeta = 0.913$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{163.98 \cdot 100}{0.913 \cdot 57 \cdot 43.5} = 7.24\ cm^2$$

Odabrano: 2 Ø22 (A_{s1} = 7.60 cm^2)

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 20 \cdot 57 = 1.48\ cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 20 \cdot 57 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.72\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 20 \cdot 60 = 48\ cm^2$$

$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 20 \cdot 60 = 26.4\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 1.72\ cm^2 < A_{s1,odab} = 7.60\ cm^2 < A_{s1,\max} = 26.4\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- Dimenzioniranje na poprečnu silu

$V_{Ed} = 316.55\ kN,\ N_{Ed} = 0.0\ kN$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{570}} = 1.59 < 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.59$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.0$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 6.03 + 7.60 = 13.63\ cm^2 \qquad \rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{13.63}{20 \cdot 60} = 0.011$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.59 \cdot \left(100 \cdot 0.011 \cdot 30\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 200 \cdot 570 = 69\,767.72\ N = 69.77\ kN$$

$V_{Rd,c} = 79.77\ kN < V_{Ed} = 316.55\ kN \Rightarrow$ *Potrebna računska armatura*!

$$V_{Rd,c} \geq \left[\nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d = \left[0.38 + 0\right] \cdot 200 \cdot 570 = 43.32\ kN$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.59^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.38$$

$V_{Rd,c} = 69.77\ kN > 43.32\ kN \Rightarrow$ *Uvjet zadovoljen*!

Poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 20 \cdot 200 \cdot 570 = 601.92\ kN$$

$$\nu = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0.528$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\max}} = \frac{316.55}{601.92} = 0.53 \rightarrow 0.3 < 0.392 < 0.6 \Rightarrow s_{w,\max} = \min \begin{Bmatrix} 0.55 \cdot d = 0.55 \cdot 57 = 31.25\ cm \\ 30\ cm \end{Bmatrix}$$

$$s_{w,\max} = 30\ cm,\ \rho_{\min} = 0.001,\ m = 2$$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 20}{2} = 0.3\ cm^2 \ \rightarrow$$ Odabrano: Ø8/30 cm (A_{sw} = 0.5 cm^2)

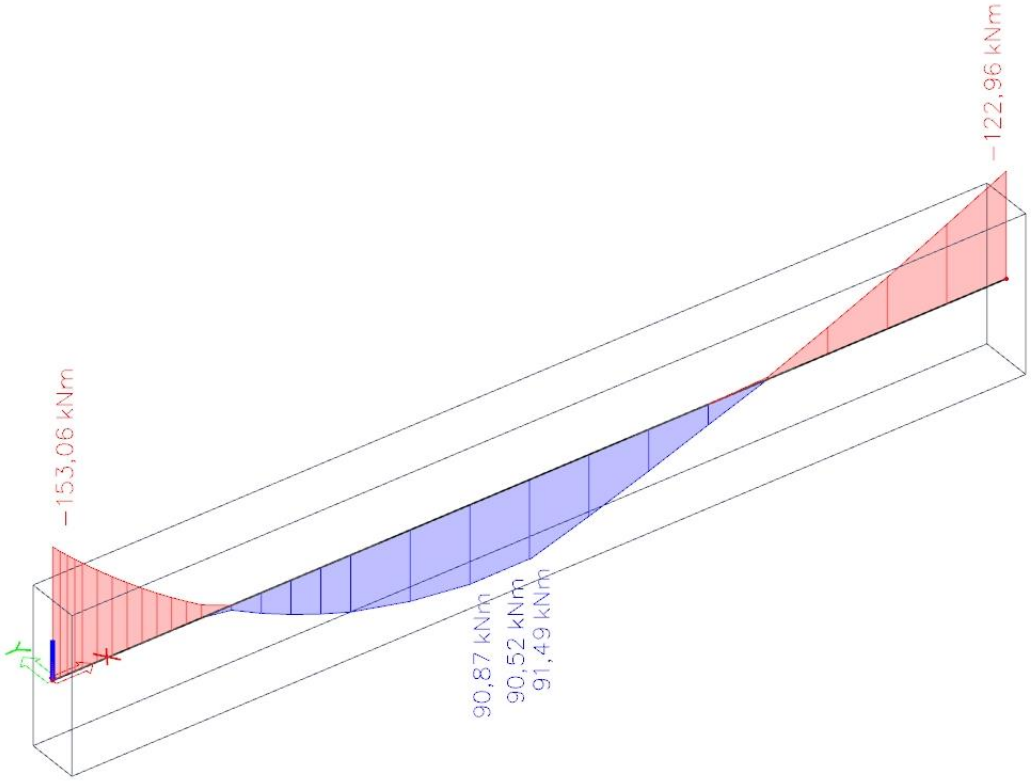
$$s_w = \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot 0.9 \cdot d}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 43.5 \cdot 0.9 \cdot 57}{316.55} = 7.05\ cm$$

Usvojene spone: Ø8/5 cm (A_{sw} = 0.5 cm^2)

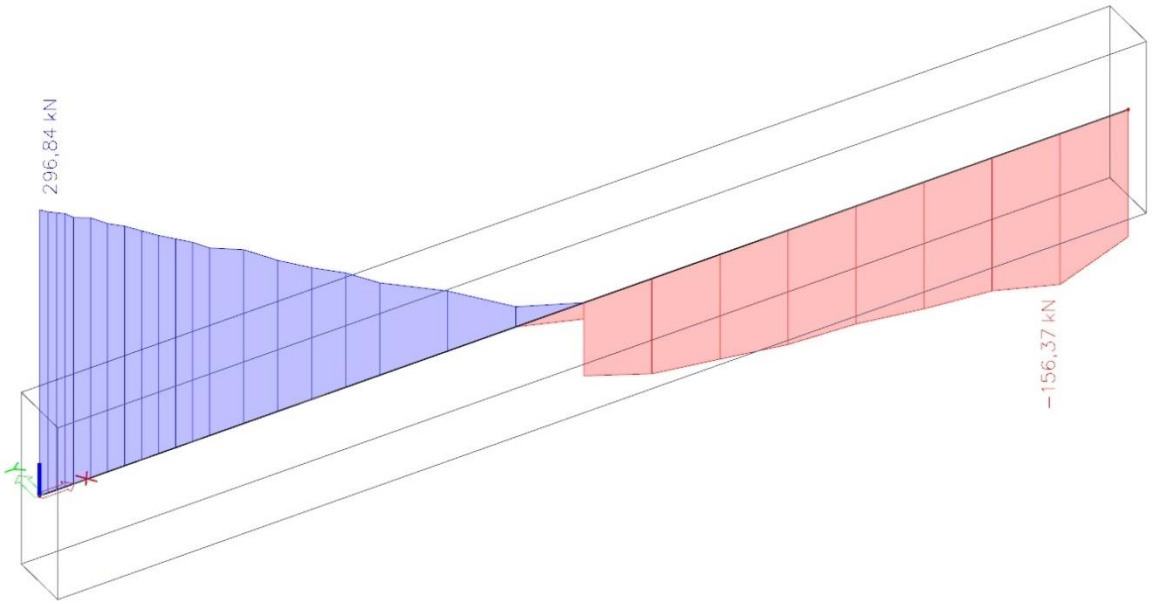
- **Granično stanje uporabljivosti (GSU)**

Proračun za granično stanje uporabljivosti proveden je za kombinaciju GSU 1:

$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.0 \cdot Q$



Slika 5.57. Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju My [kNm] za gredu POZ 100



Slika 5.58. Dijagram poprečnih sila Vz [kN] za pripadajuću gredu POZ 100

- **Kontrola pukotina**

Granična vrijednost širine pukotine:

w_g = 0.3 mm (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2)

$$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \le w_g$$

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju: M_{Ed} = 91.49 kNm

Dimenzije grede: b/h = 20/60 cm

Armatura grede - donja zona: **3 Ø16** (A_{s1} = 6.03 cm^2)

Proračun srednje deformacije armature:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \dfrac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}\right)}{E_s} \ge 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$f_{ct,eff}$ = efektivna vlačna čvrstoća betona, može se uzeti f_{ctm} = 2.9 MPa

k_t = 0.4 (dugotrajno opterećenje)

E_s = 200 GPa

E_{cm} = 32.0 GPa (iz tablice)

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32.0} = 6.25$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b}\left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}}\right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \dfrac{x}{3}\right) \cdot A_s}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$\rho_{p,eff}$ - djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom

$A_{c,eff}$ - sudjelujuća vlačna zona presjeka

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,\max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} (mm)$$

c – zaštitni sloj uzdužne armature [mm]

k_1 – koeficijent kojim se uzima u obzir prionjivost čelika i betona

$k_1 = 0.8$ - rebrasta armatura

k_2 - koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj raspodjele deformacija

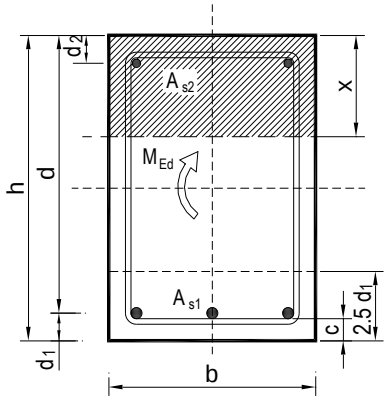
$k_2 = 0.5$ - savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

b =	20,0	cm	d =	57,0	cm	h =	60,0	cm
f_{ck} =	30,0	MN/m^2	f_{ctm} =	2,90	MN/m^2	w_g =	0,30	mm
A_{s1} =	6,03	cm^2	A_{s2} =	0,00	cm^2	$d_1 = d_2$ =	3,0	cm
E_s =	200,00	GN/m^2	E_{cm} =	32,80	GN/m^2	$\alpha_e = E_s/E_{cm}$ =	6,10	
M_{Ed} =	91,5	kNm	k_t =	0,40				
σ_s =	287,64	MN/m^2						
x =	12,75	cm	$\rho_{p,eff}$ =	0,0402				
$(\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm})$ =	0,001259	>	$0.6 \cdot \sigma_s/E_s$ =	0,000863				
Ø =	16,0	mm	c =	2,50	cm			
k_1 =	0,8		k_2 =	0,50				
k_3 =	3,4		k_4 =	0,43				
$s_{r,max}$ =	152,66	mm						

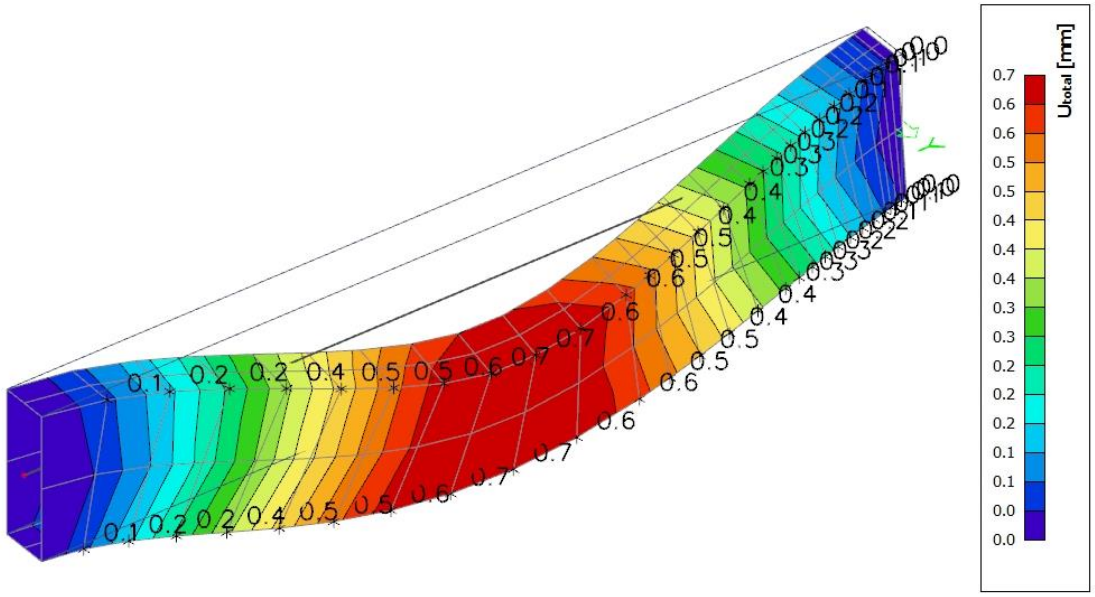
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm})$ = 0,192 mm < w_g



Kontrolom pukotina greda zaključeno je da odabrana armatura u polju (**3 Ø16**, A_{s1} = 6.03 cm^2) zadovoljava na cijeloj gredi kao i na mjestu maksimalnog momenta.

Odabrane dimenzije grede i armature zadovoljavaju u pogledu pukotina!

- **Kontrola progiba**



Slika 5.59. Progib Uz grede POZ 100 za GSU [mm]

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa, armatura **3 Ø16**, A_{s1} = 6.03 cm^2

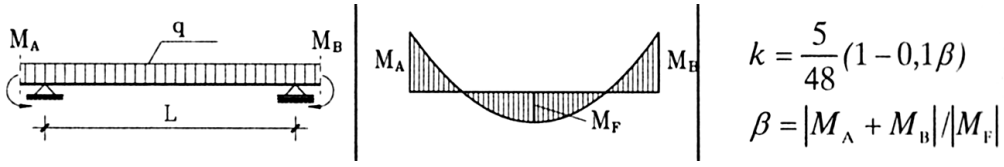
$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

Granični progib grede: $v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{360\ cm}{250} = 1.44\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left| M_{l1} + M_{l2} \right| / \left| M_p \right| = \left| 153.06 + 122.96 \right| / 91.49 = 3.02$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta \right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 3.02 \right) = 0.073$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left| M_A + M_B \right| / \left| M_F \right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right]$$

$$= \frac{20 \cdot 60^3}{12} + 6.25 \cdot \left[6.03 \cdot \left(\frac{60}{2} - 3 \right)^2 + 0.0 \cdot \left(\frac{60}{2} - 3 \right)^2 \right] =$$

$$= 360\,000 + 27\,474.19 = 387\,474.19 \; cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 91.49 \; kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32 \; GN/m^2 = 3200.0 \; kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{91.49 \cdot 100}{3200 \cdot 387\,474.19} = 0.0000074 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 6.03}{20} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 20 \cdot 57}{6.25 \cdot 6.03}} \right) = 12.9 \; cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2 \right]$$

$$= \frac{20 \cdot 12.9^3}{12} + (20 \cdot 12.9) \cdot \left(\frac{12.9}{2} \right)^2 + 6.25 \cdot \left[6.03 \cdot (57 - 12.9)^2 + 0.0 \cdot (12.9 - 3)^2 \right]$$

$$= 3577.82 + 10733.45 + 73295.03 = 87\,606.3 \; cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{91.49 \cdot 100}{3200 \cdot 87\,606.3} = 0.000033 \frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0 \; MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot (30.0)^{2/3} = 2.9 \; MPa$$

$$M_{cr} = 0.29 \cdot \frac{20 \cdot 60^2}{6} = 3480 \; kNcm = 34.80 \; kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{3480}{\left(57 - \frac{12.9}{3} \right) \cdot 6.03} = 10.95 \; \frac{kN}{cm^2} = 109.5 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{91.49 \cdot 100}{\left(57 - \frac{12.9}{3}\right) \cdot 6.03} = 28.79\,kN/m^2 = 287.9\,N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0$ – *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ – *dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{109.5}{287.9}\right)^2 = 0.928$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000074\,\frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.000033\,\frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.928) \cdot 0.0000074 + 0.928 \cdot 0.000033 = 0.000031\frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.000031\,\frac{1}{cm}$$

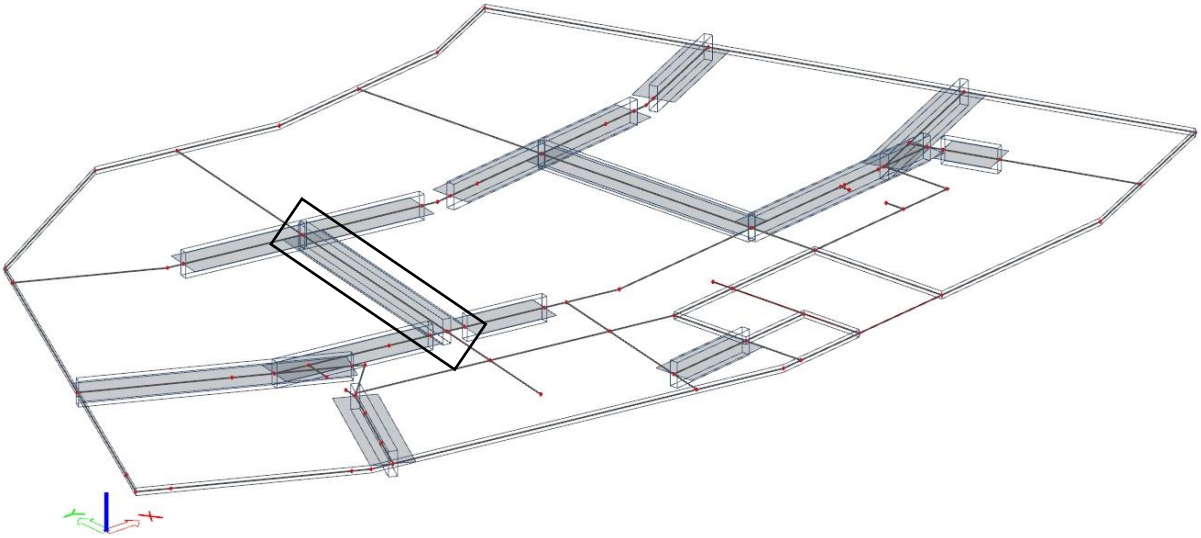
$k = 0.073$

$L = 360\,cm$

$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.073 \cdot 360^2 \cdot 0.000031 = 0.29\,cm < v_{\lim} = 1.44\,cm$$

Odabrane dimenzije grede i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

5.2.4. Dimenzioniranje greda POZ 0



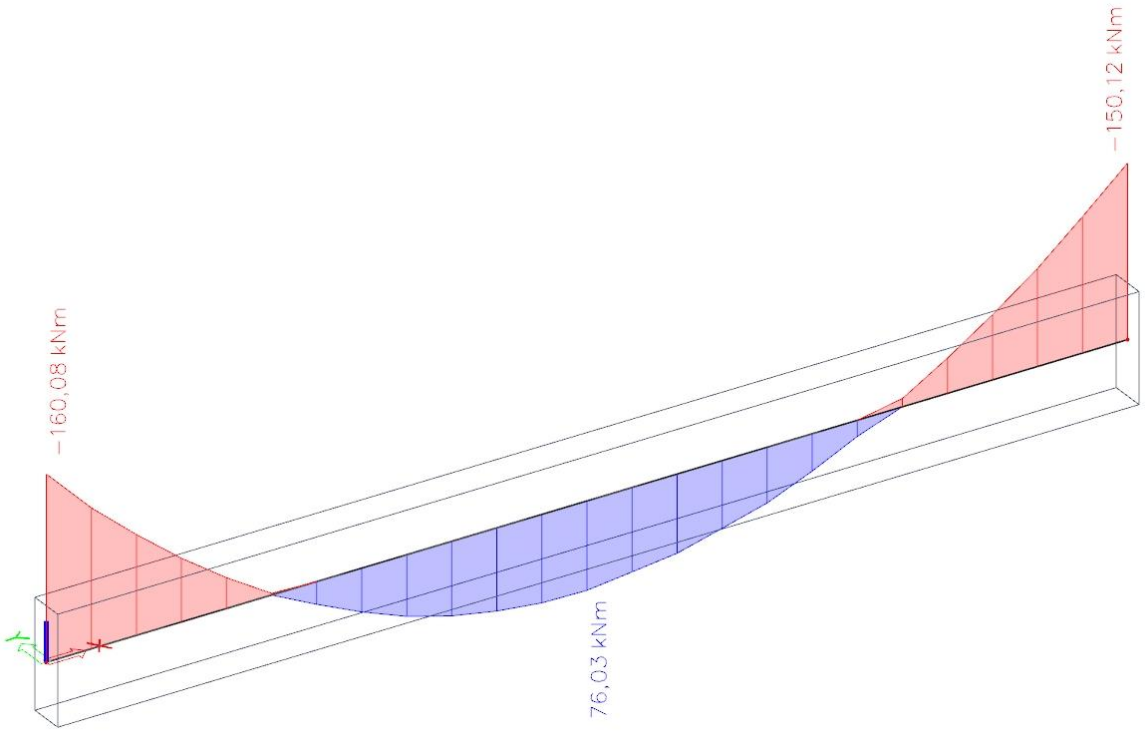
Slika 5.60. Prikaz greda u ploči POZ 0

U nastavku je dimenzionirana greda POZ 0 dimenzija b/h = 20/60 cm.

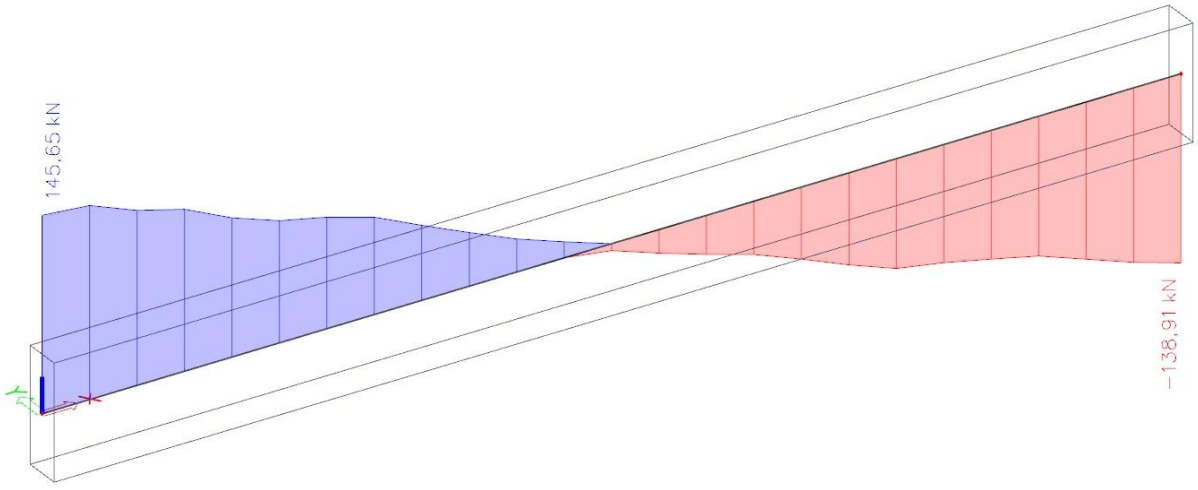
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 1:

$1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q$



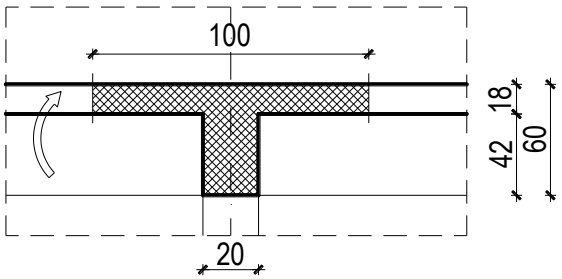
Slika 5.61. Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju My [kNm] za gredu POZ 0



Slika 5.62. Dijagram poprečnih sila Vz [kN] za pripadajuću gredu POZ 0

- Dimenzioniranje na moment savijanja

➢ **Armatura u polju**



Slika 5.63. Poprečni presjek grede u polju

$h = 60\ cm$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$

$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$

$d = h - d_1 = 60 - 3 = 57\ cm$

$M_{ed,y}$ = 76.03 kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{76.03 \cdot 100}{20 \cdot 57^2 \cdot 2} = 0.059$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.5$ ‰, $\xi = 0.130$, $\zeta = 0.953$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{76.03 \cdot 100}{0.953 \cdot 57 \cdot 43.5} = 3.22\ cm^2$$

Odabrano: 2 Ø16 (A_{s1} = 4.02 cm^2)

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 20 \cdot 57 = 1.48\ cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 20 \cdot 57 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.72\ cm^2 - mjerodavno$$

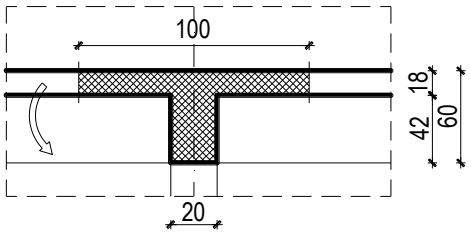
Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 20 \cdot 60 = 48\ cm^2$$

$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 20 \cdot 60 = 26.4\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 1.72\ cm^2 < A_{s1,odab} = 4.02\ cm^2 < A_{s1,\max} = 26.4\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- **Armatura nad ležajem**



Slika 5.64. Poprečni presjek grede na ležaju

$h = 60\ cm$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$

$d_2 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$

$d = h - d_2 = 60 - 3 = 57\ cm$

$M_{ed,y}$ = 160.08 kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{160.08 \cdot 100}{20 \cdot 57^2 \cdot 2} = 0.123$$

$\varepsilon_{s1} = 10\ ‰,\ \varepsilon_{c2} = 2.7\ ‰,\ \xi = 0.213,\ \zeta = 0.916$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{160.08 \cdot 100}{0.916 \cdot 57 \cdot 43.5} = 7.05\ cm^2$$

Odabrano: 2 Ø22 (A_{s1} = 7.60 cm^2)

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,\min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 20 \cdot 57 = 1.48\ cm^2$$

$$A_{s1,\min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 20 \cdot 57 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.72\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 20 \cdot 60 = 48\ cm^2$$

$$A_{s1,\max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 20 \cdot 60 = 26.4\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,\min} = 1.72\ cm^2 < A_{s1,odab} = 7.60\ cm^2 < A_{s1,\max} = 26.4\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

- Dimenzioniranje na poprečnu silu

$V_{Ed} = 145.65\ kN,\ N_{Ed} = 0.0\ kN$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{570}} = 1.59 < 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.59$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.0$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 4.02 + 7.60 = 11.62\ cm^2 \qquad \rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{11.62}{20 \cdot 60} = 0.01$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.59 \cdot \left(100 \cdot 0.01 \cdot 30\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 200 \cdot 570 = 67586.04\ N = 67.6\ kN$$

$V_{Rd,c} = 67.6\ kN < V_{Ed} = 145.65\ kN \Rightarrow$ *Potrebna računska armatura*!

$$V_{Rd,c} \geq \left[\nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d = \left[0.38 + 0\right] \cdot 200 \cdot 570 = 43.32\ kN$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{\ 1/2} = 0.035 \cdot 1.59^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.38$$

$V_{Rd,c} = 67.6\ kN > 43.32\ kN \Rightarrow$ *Uvjet zadovoljen*!

Poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 20 \cdot 200 \cdot 570 = 601.92\ kN$$

$$\nu = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0.528$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\max}} = \frac{145.65}{601.92} = 0.242 < 0.3 \Rightarrow s_{w,\max} = \min \begin{Bmatrix} 0.75 \cdot d = 0.75 \cdot 57 = 42.75\ cm \\ 30\ cm \end{Bmatrix}$$

$$s_{w,\max} = 30\ cm,\ \rho_{\min} = 0.001,\ m = 2$$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 20}{2} = 0.3\ cm^2 \ \rightarrow$$ Odabrano: Ø8/30 cm (A_{sw} = 0.5 cm^2)

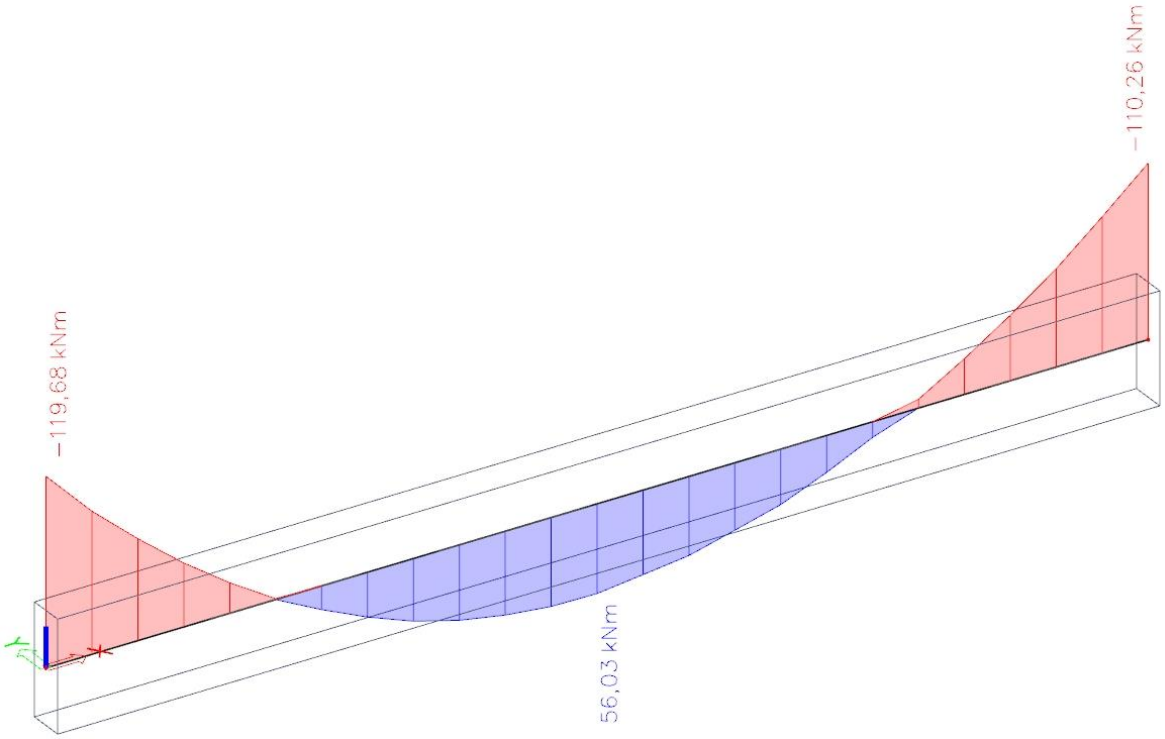
$$s_w = \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot 0.9 \cdot d}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 43.5 \cdot 0.9 \cdot 57}{145.65} = 15.3\ cm$$

Usvojene spone: Ø8/15 cm (A_{sw} = 0.5 cm^2)

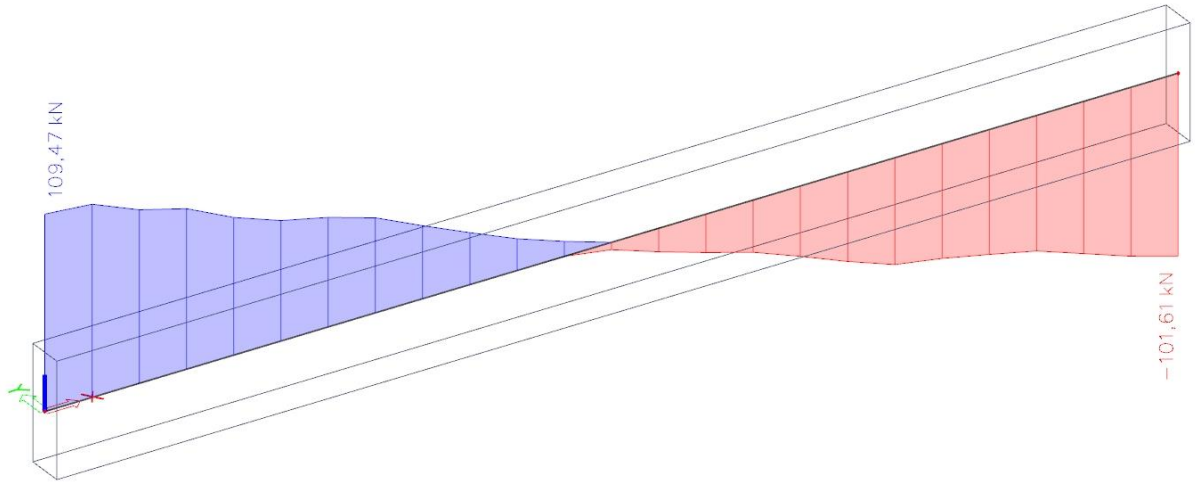
- **Granično stanje uporabljivosti (GSU)**

Proračun za granično stanje uporabljivosti proveden je za kombinaciju GSU 1:

$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.0 \cdot Q$



Slika 5.65. Dijagram maksimalnih momenata savijanja u polju i na ležaju My [kNm] za gredu POZ 0



Slika 5.66. Dijagram poprečnih sila Vz [kN] za pripadajuću gredu POZ 0

- **Kontrola pukotina**

Granična vrijednost širine pukotine:

w_g = 0.3 mm (EC-2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2)

$$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \le w_g$$

Maksimalni eksploatacijski (radni) moment u polju: M_{Ed} = 56.03 kNm

Dimenzije grede: b/h = 20/60 cm

Armatura grede - donja zona: **2 Ø16** (A_{s1} = 4.02 cm^2)

Proračun srednje deformacije armature:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \dfrac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}\right)}{E_s} \ge 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$f_{ct,eff}$ = efektivna vlačna čvrstoća betona, može se uzeti f_{ctm} = 2.9 MPa

k_t = 0.4 (dugotrajno opterećenje)

E_s = 200 GPa

E_{cm} = 32.0 GPa (iz tablice)

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32.0} = 6.25$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b}\left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}}\right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \dfrac{x}{3}\right) \cdot A_s}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$\rho_{p,eff}$ - djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom

$A_{c,eff}$ - sudjelujuća vlačna zona presjeka

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,\max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} (mm)$$

c – zaštitni sloj uzdužne armature [mm]

k_1 – koeficijent kojim se uzima u obzir prionjivost čelika i betona

k_1 = 0.8 - rebrasta armatura

k_2 - koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj raspodjele deformacija

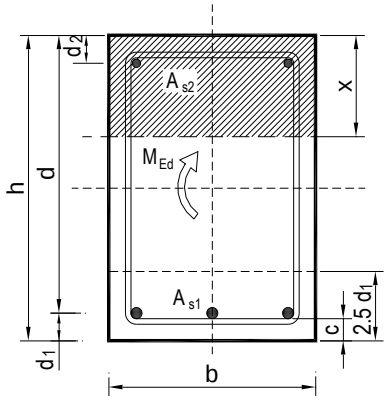
k_2 = 0.5 - savijanje

k_3 = 3.4

k_4 = 0.425

b =	20,0	cm	d =	57,0	cm	h =	60,0	cm
f_{ck} =	30,0	MN/m^2	f_{ctm} =	2,90	MN/m^2	w_g =	0,30	mm
A_{s1} =	4,02	cm^2	A_{s2} =	0,00	cm^2	$d_1 = d_2$ =	3,0	cm
E_s =	200,00	GN/m^2	E_{cm} =	32,80	GN/m^2	$\alpha_e = E_s/E_{cm}$ =	6,10	
M_{Ed} =	56,0	kNm	k_t =	0,40				
σ_s =	260,78	MN/m^2						
x =	10,66	cm	$\rho_{p,eff}$ =	0,0268				
$(\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm})$ =	0,001052	>	$0.6\cdot\sigma_s/E_s$ =	0,000782				
Ø =	16,0	mm	c =	2,50	cm			
k_1 =	0,8		k_2 =	0,50				
k_3 =	3,4		k_4 =	0,43				
$s_{r,max}$ =	186,49	mm						

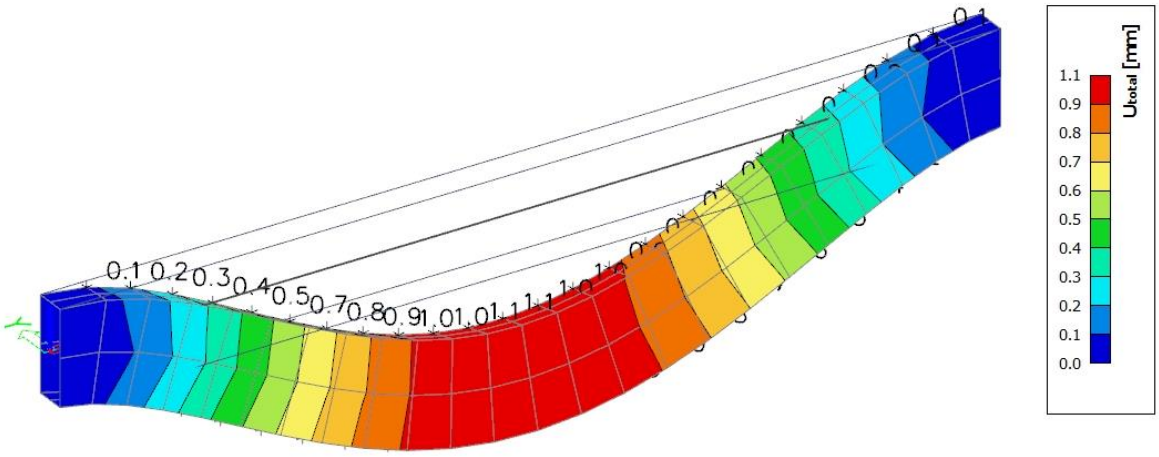
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm})$ = 0,196 mm < w_g



Kontrolom pukotina greda zaključeno je da odabrana armatura u polju (**2 Ø16**, A_{s1} = 4.02 cm^2) zadovoljava na cijeloj gredi kao i na mjestu maksimalnog momenta.

Odabrane dimenzije grede i armature zadovoljavaju u pogledu pukotina!

- **Kontrola progiba**



Slika 5.67. Progib Uz grede POZ 0 za GSU [mm]

Beton: C 30/37, f_{ck} = 30.0 Mpa

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot \left(f_{ck} \right)^{2/3} = 0.3 \cdot \left(30.0 \right)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

Čelik: B 500B, E_s = 200.0 Gpa, armatura **2 Ø16**, A_{s1} = 4.02 cm^2

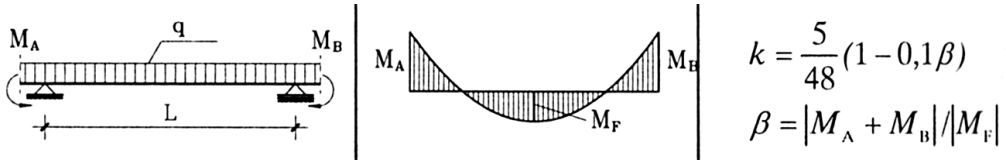
$$\alpha_{el} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32} = 6.25$$

Granični progib grede: $v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{600\ cm}{250} = 2.4\ cm$

$$\nu_{tot} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \left| M_{l1} + M_{l2} \right| / \left| M_p \right| = \left| 119.68 + 110.26 \right| / 56.03 = 4.1$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \beta \right) = 0.104 \cdot \left(1 - 0.1 \cdot 4.1 \right) = 0.078$$



$$k = \frac{5}{48}(1 - 0{,}1\beta)$$

$$\beta = \left| M_A + M_B \right| / \left| M_F \right|$$

- Srednja zakrivljenost u neraspucanom stanju:

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2 \right)^2 + A_{s2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1 \right)^2 \right]$$

$$= \frac{20 \cdot 60^3}{12} + 6.25 \cdot \left[4.02 \cdot \left(\frac{60}{2} - 3 \right)^2 + 0.0 \cdot \left(\frac{60}{2} - 3 \right)^2 \right] =$$

$$= 360\,000 + 18316.13 = 378316.13\ cm^4$$

$$M_{Ed} = M_p = 56.03\ kNm$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32\ GN/m^2 = 3200.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{56.03 \cdot 100}{3200 \cdot 378316.13} = 0.0000046 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{s1}}} \right) = \frac{6.25 \cdot 4.02}{20} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 20 \cdot 57}{6.25 \cdot 4.02}} \right) = 10.78\ cm$$

- Srednja zakrivljenost u raspucanom stanju:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_{eI} \cdot \left[A_{s1} \cdot (d - x)^2 + A_{s2} \cdot (x - d_2)^2 \right]$$

$$= \frac{20 \cdot 10.78^3}{12} + (20 \cdot 10.78) \cdot \left(\frac{10.78}{2} \right)^2 + 6.25 \cdot \left[4.02 \cdot (57 - 10.78)^2 + 0.0 \cdot (10.78 - 3)^2 \right]$$

$$= 2087.88 + 6263.63 + 53674.25 = 62\,025.76\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{56.03 \cdot 100}{3200 \cdot 62\,025.76} = 0.000028 \frac{1}{cm}$$

- Ukupni progib

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \quad ; \quad M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} \quad ; \quad f_{ctm} \approx 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} \quad ; \quad f_{ck} = 30.0\ MPa$$

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0.3 \cdot (30.0)^{2/3} = 2.9\ MPa$$

$$M_{cr} = 0.29 \cdot \frac{20 \cdot 60^2}{6} = 3480\ kNcm = 34.80\ kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{3480}{\left(57 - \frac{10.78}{3} \right) \cdot 4.02} = 16.21 \frac{kN}{cm^2} = 162.1 MPa$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{56.03 \cdot 100}{\left(57 - \frac{10.78}{3}\right) \cdot 4.02} = 26.1 kN/m^2 = 261 N/mm^2$$

$\beta_1 = 1.0$ – *rebrasta armatura*

$\beta_2 = 0.5$ – *dugotrajno opterećenje*

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{162.1}{261}\right)^2 = 0.807$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000046 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.000028 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.807) \cdot 0.0000046 + 0.807 \cdot 0.000028 = 0.000024 \frac{1}{cm}$$

$$r_{tot} = 0.000024 \frac{1}{cm}$$

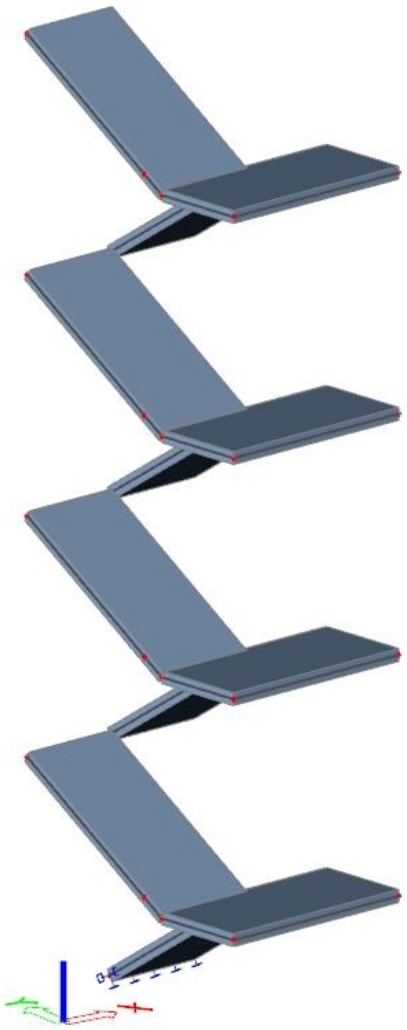
$k = 0.078$

$L = 600\ cm$

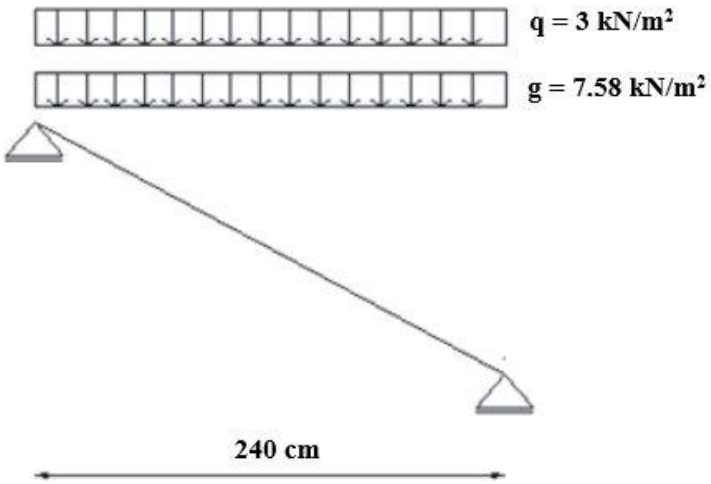
$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.078 \cdot 600^2 \cdot 0.000024 = 0.67\ cm < v_{\lim} = 2.4\ cm$$

Odabrane dimenzije grede i armature zadovoljavaju u pogledu progiba!

6. DIMENZIONIRANJE AB STUBIŠTA



Slika 6.1. Prikaz statičkog sustava kraka stubišta



Slika 6.2. Prikaz statičkog sustava kraka stubišta

- **Moment na kraku:**

$$q_s = 1.35 \cdot g + 1.5 \cdot q = 1.35 \cdot 7.58 + 1.5 \cdot 3 = 14.73\ kN/m'$$

$$M_{Ed} = \frac{q_s \cdot l^2}{8} = \frac{17.73 \cdot 2.4^2}{8} = 12.77\ kNm$$

Beton C 30/37	**Čelik B 500B**
f_{ck}= 30.0 Mpa	f_{yk} = 500.0 MPa
$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$ = 30.0 / 1.5	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$ = 500.0/1.15
f_{cd} = 20.0 MPa = 2.0 kN/cm^2	f_{yd} = 434.8 Mpa = 43.5 kN/cm^2

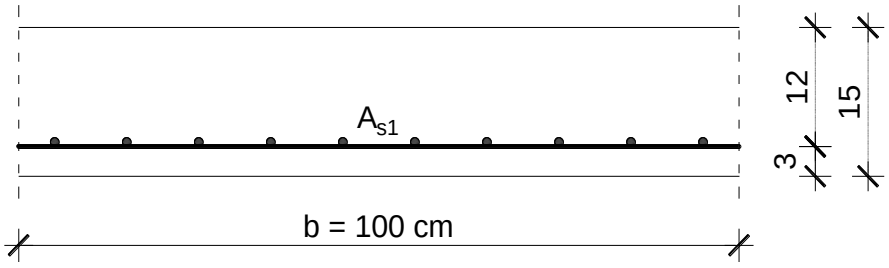
Debljina ploče:

$$h_{US} = 15 cm$$

$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c = 2.5\ cm$ (XC2 - umjerena vlažnost; dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup)

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$$

$$d = h - d_1 = 15 - 3 = 12\ cm$$



M_{ed} = 12.77 kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12.77 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2} = 0.044$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.3$ ‰, $\xi = 0.115$, $\zeta = 0.959$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{12.77 \cdot 100}{0.959 \cdot 12 \cdot 43.5} = 2.55\ cm^2$$

Odabrano: Q 283 (A_{s1} = 2.83 cm^2)

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 12 = 1.56\,cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 12 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 1.81\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 15 = 60\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 15 = 33\ cm^2 - mjerodavno$$

$$A_{s1,min} = 1.81\ cm^2 < A_{s1,odab} = 2.83\ cm^2 < A_{s1,max} = 33\ cm^2 \rightarrow Zadovoljava!$$

7. DIMENZIONIRANJE VERTIKALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE

Za sve vertikalne elemente konstrukcije koristi se beton C 30/37 i čelik B 500B.

Beton C 30/37

f_{ck}= 30.0 Mpa

$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 30.0 / 1.5$

f_{cd} = 20.0 MPa = 2.0 kN/cm^2

f_{ctm} = 2.9 Mpa = 0.29 kN/cm^2

Čelik B 500B

f_{yk} = 500.0 MPa

$f_{yd} = f_{yk} /\gamma_s = 500.0/1.15$

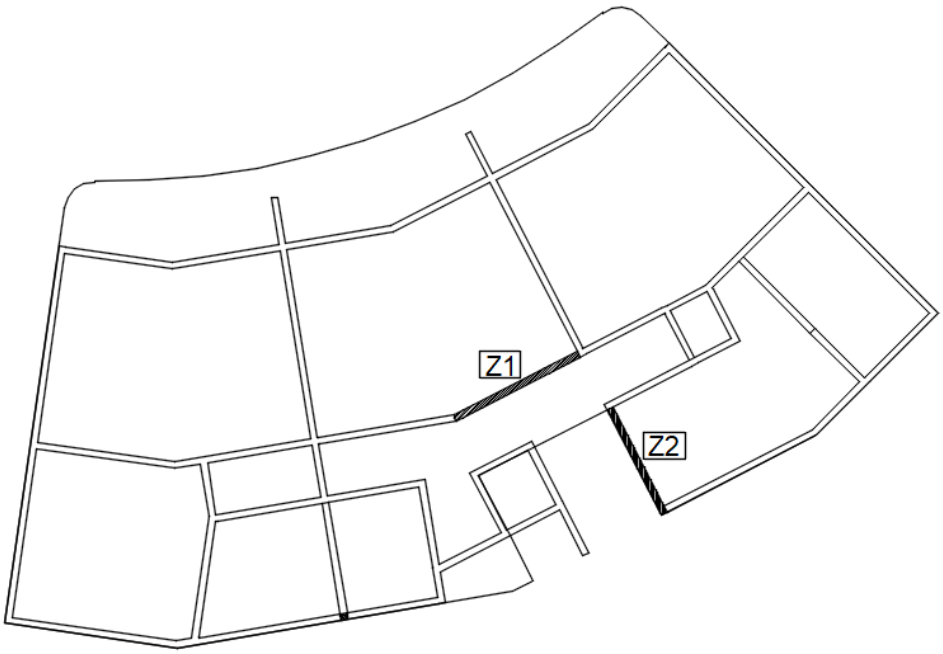
f_{yd} = 434.8 Mpa = 43.5 kN/cm^2

7.1. DIMENZIONIRANJE AB ZIDOVA

Proračun zidova proveden je prema EC-8 (Projektiranje konstrukcija na otpornost potresa). Zidovi su predviđeni kao klasično armirani betonski elementi. Debljina zidova je 20 cm osim obodnih zidova garaže koji su debljine 25 cm. Izvode se kao monolitni elementi lijevani u dvostranoj oplati na licu mjesta. Za sve zidove predviđen je beton C 30/37, te armatura B 500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min 2.5 cm.

Rezne sile na zidovima očitane su iz numeričkog modela u računalnom programu ″Scia Engineer 19″. Unutarnje sile u zidovima prikazane su kao na 1D elementu i dobivene su integriranjem naprezanja duž cijele duljine odabranog zida korištenjem opcije Integration strip u računalnom programu. U nastavku su prikazane vrijednosti za moment savijanja (M_{Ed}), poprečnu silu (V_{Ed}) i uzdužnu silu (N_{Ed}).

Dimenzioniran je najopterećeniji zid u X smjeru i najopterećeniji zid u Y smjeru te je dobivena armatura usvojena za sve ostale zidove. Armatura je izabrana što uniformnija zbog jednostavnosti izvedbe.

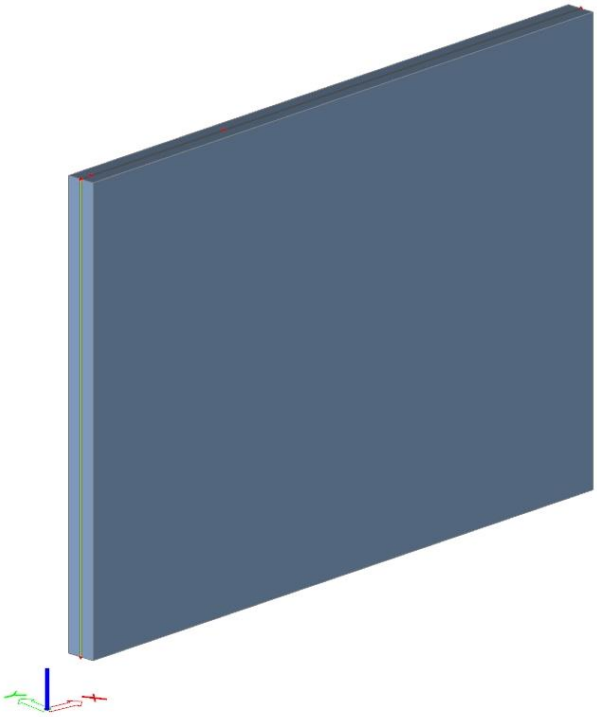


Slika 7.1. Plan pozicija karakterističnih zidova

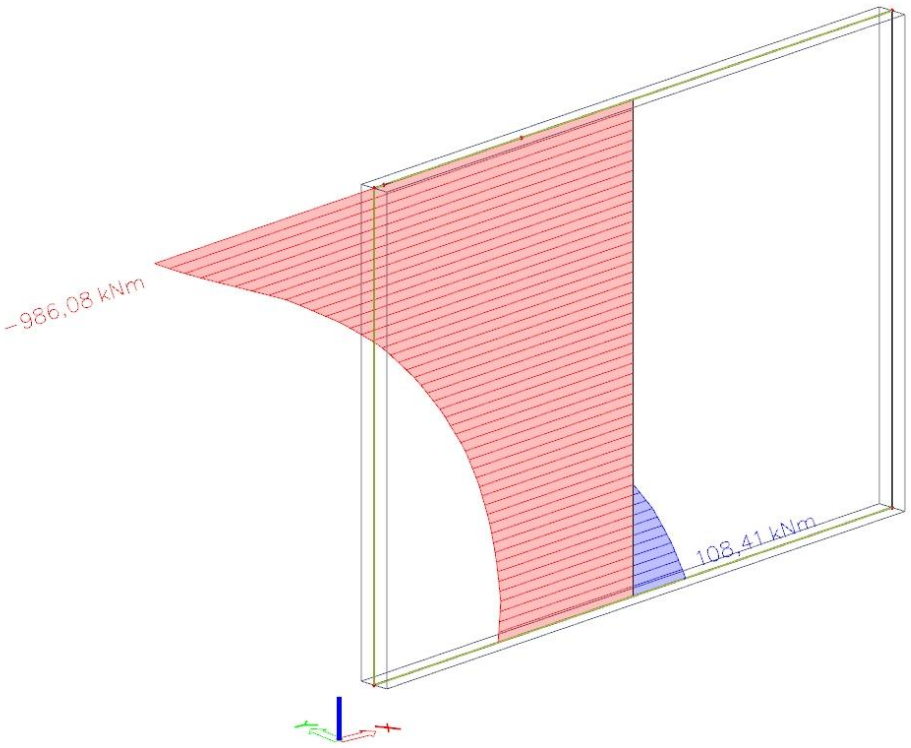
7.1.1. Dimenzioniranje zida Z_1

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 6:

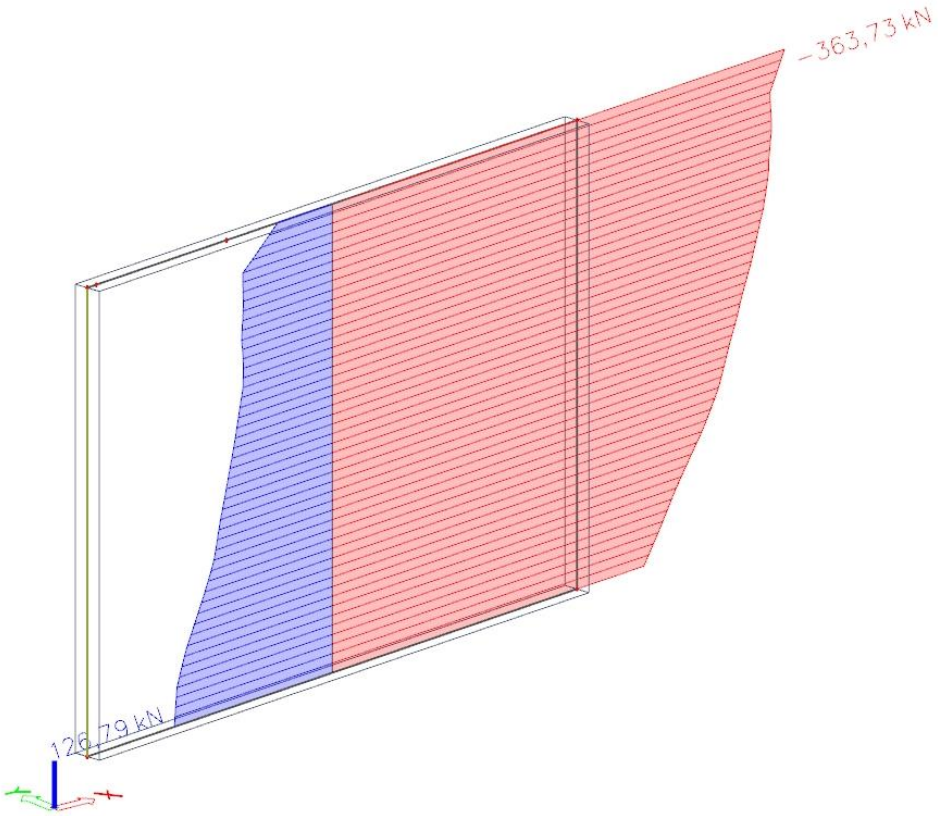
$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 0.5 \cdot Q + 1.0 \cdot S_x$



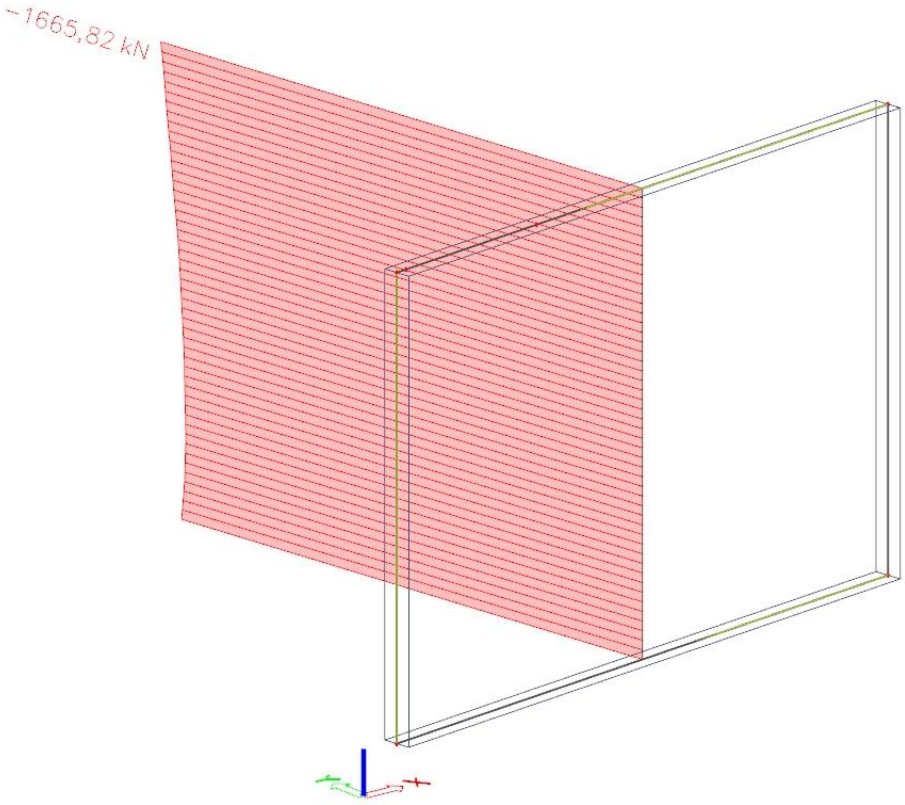
Slika 7.2. Zid u X smjeru



Slika 7.3. Dijagram momenta Mz [kNm] za mjerodavnu kombinaciju



Slika 7.4. Dijagram poprečnih sila V_y [kN] za mjerodavnu kombinaciju



Slika 7.5. Dijagram uzdužnih sila N [kN] za mjerodavnu kombinaciju

- **Geometrija zida**

b_w (cm) - debljina zida	**20**
h_s (cm) - visina etaže	**300**
l_w (cm) - duljina zida	**433**
h_w (cm) - visina zida	**300**
n - broj etaža	**5**
d_1 (cm)	**2.5**
d (cm)	**428**

Duktilnost: DCM – srednja duktilnost

Faktor ponašanja q = 3.2

Dužina rubnog serklaža:	$l_{c0} = \min \{0.15 \cdot l_w; 1.50 \cdot b_w\}$	l_{c0} = 30.0 cm
Uvjet za debljinu zida:	$b_{w0} = \min\{0.15\ l_w; h_s/20\}$	b_{w0} = 15 cm
Vitkost zida:	$h_w / l_w = 0.69 < 2$	zid nije vitak
Visina kritične zone:	$h_{cr} = \max \{l_w;\ h_w/6\}$	h_{cr} = 433 cm

- **Proračun nosivosti na uzdužnu silu i moment savijanja**

Proračunske rezne sile:

M_{Ed} = 986.08 kNm

V_{Ed} = 363.73 kN

N_{Ed} = 1665.82 kN

Računski moment savijanja:

$$M_{Eds} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$b_w = 20\ cm,\ d = 428\ cm,\ h_{cr} = 433\ cm$

$$M_{Eds} = 986.08 + 1665.82 \cdot \left(4.28 - \frac{4.33}{2} \right) = 4509.3\ kNm$$

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Eds}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4509.3 \cdot 100}{20 \cdot 428^2 \cdot 2} = 0.062$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.6$ ‰, $\xi = 0.138$, $\zeta = 0.950$

Potrebna površina uzdužne vlačne armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{4509.3 \cdot 100}{0.950 \cdot 428 \cdot 43.5} - \frac{1665.82}{43.5} = -12.8\ cm^2$$

Minimalna površina uzdužne vlačne armature u rubovima zida:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 20 \cdot 428 = 11.13\ cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 20 \cdot 428 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 12.91\ cm^2 - mjerodavno$$

Odabrano za rubni serklaž: 8 Ø16 (A_{s1} = 16.08 cm^2)

- **Proračun nosivosti na poprečnu silu**

$V_{Ed,y} = V_{Ed,y}' \cdot \varepsilon$

$V_{Ed,y}$ - računska poprečna sila

$V_{Ed,y}'$ - korigirana poprečna sila

ε - korekcijski faktor

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} + 0.1 \cdot \left(\frac{s_e(T_c)}{s_e(T_1)} \right)} \leq q$$

Kako gornji izraz mora biti manji od q, radi jednostavnosti proračuna uzmimamo:

$\varepsilon = q = 3.2 \rightarrow$ faktor ponašanja

$V_{Ed,y} = V_{Ed,y}' \cdot \varepsilon = 363.73 \cdot 3.2 = 1163.94$ kN

- **Nosivost tlačnih dijagonala**

$$V_{Ed,y} \leq V_{Rd,2}$$

U kritičnoj zoni:

$$V_{Rd,2} = 0.4 \cdot \left(0.7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \cdot f_{cd} \cdot b \cdot 0.8 \cdot d$$

$$V_{Rd,2} = 0.4 \cdot \left(0.7 - \frac{30}{200}\right) \cdot 20 \cdot 20 \cdot 0.8 \cdot 428$$

$$V_{Rd,2} = 30131.2 \ kN$$

Izvan kritične zone:

$$V_{Rd,2} = 0.5 \cdot \left(0.7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \cdot f_{cd} \cdot b \cdot 0.8 \cdot d$$

$$V_{Rd,2} = 0.5 \cdot \left(0.7 - \frac{30}{200}\right) \cdot 20 \cdot 20 \cdot 0.8 \cdot 428$$

$$V_{Rd,2} = 37\,664 \ kN$$

$V_{Ed,y} = 1163.94$ kN $\leq V_{Rd,2} = 30\,131.2$ kN $\rightarrow$ Uvjet zadovoljen!

- **Nosivost vlačnih dijagonala hrpta**

$$V_{Ed,y} \leq V_{Rd,3}$$

$V_{Rd,3} = V_{cd} + V_{wd}$

Postupak ovisi o koeficijentu smicanja:

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} \cdot l_w} = \frac{986.08}{363.73 \cdot 4.33} = 0.63$$

Ako je $\alpha_s \leq 1.3$, koristi se izraz (i za vertikalnu i za horizontalnu armaturu):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,3} = \left[\rho_h \cdot f_{yw,d} \cdot (\alpha_s - 0.3) + \rho_v \cdot f_{yw,d} \cdot (1.3 - \alpha_s)\right] \cdot b_{w0} \cdot z + V_{cd}$$

Minimalna površina vertikalne i horizontalne armature:

$$A_{sv,\min} = A_{sh,\min} = 0.002 \cdot b \cdot d = 0.002 \cdot 20 \cdot 100 = 4.0 \ cm^2 / m'$$

Usvojena obostrana armatura: Q 257 (A_{s1} = 2.57 cm^2/m' → obostrano A_s = 5.14 cm^2/m')

Koeficijent armiranja vertikalnom i horizontalnom armaturom:

$$\rho_v = \rho_h = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{5.14}{20 \cdot 100} = 0.0025$$
$$V_{wd} = \rho_v \cdot f_{yk} \cdot b \cdot 0.8 \cdot d = 0.0025 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 0.8 \cdot 428$$
$$V_{wd} = 856 \ kN$$

Nosivost betona i odabrane uzdužne armature:

- za tlačnu uzdužnu silu N_{Ed} vrijedi izraz: $V_{cd} = \tau_{Rd} \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho_v) \cdot b_w \cdot z$

$$\tau_{Rd} = 0.34 \ N / mm^2 = 0.034 \ kN / cm^2$$

$$V_{cd} = 0.034 \cdot (1.2 + 40 \cdot 0.0025) \cdot 20 \cdot 0.8 \cdot 428$$
$$V_{cd} = 302.68 \ kN$$

Ukupna nosivost vlačnih dijagonala hrpta:

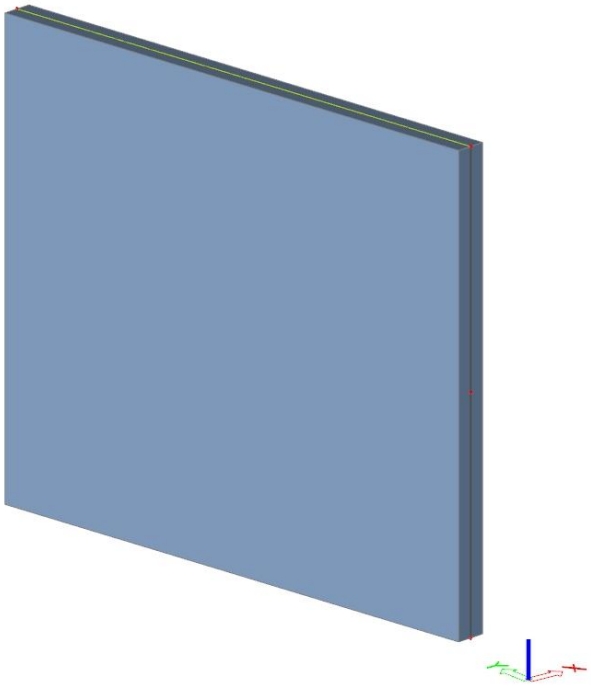
$$V_{Rd,3} = V_{wd} + V_{cd} = 856 + 302.68$$

$$V_{Rd,3} = 1158.68 \ kN > V_{Ed} = 363.73 \ kN \ \rightarrow \text{Odabrana armatura zadovoljava!}$$

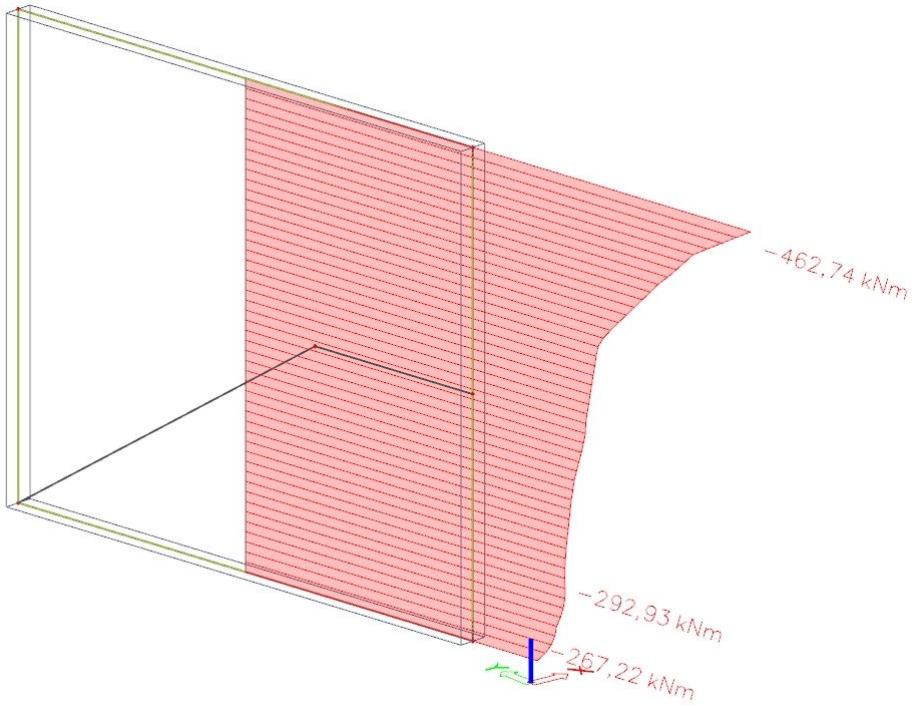
7.1.2. Dimenzioniranje zida Z_2

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinaciju GSN 7:

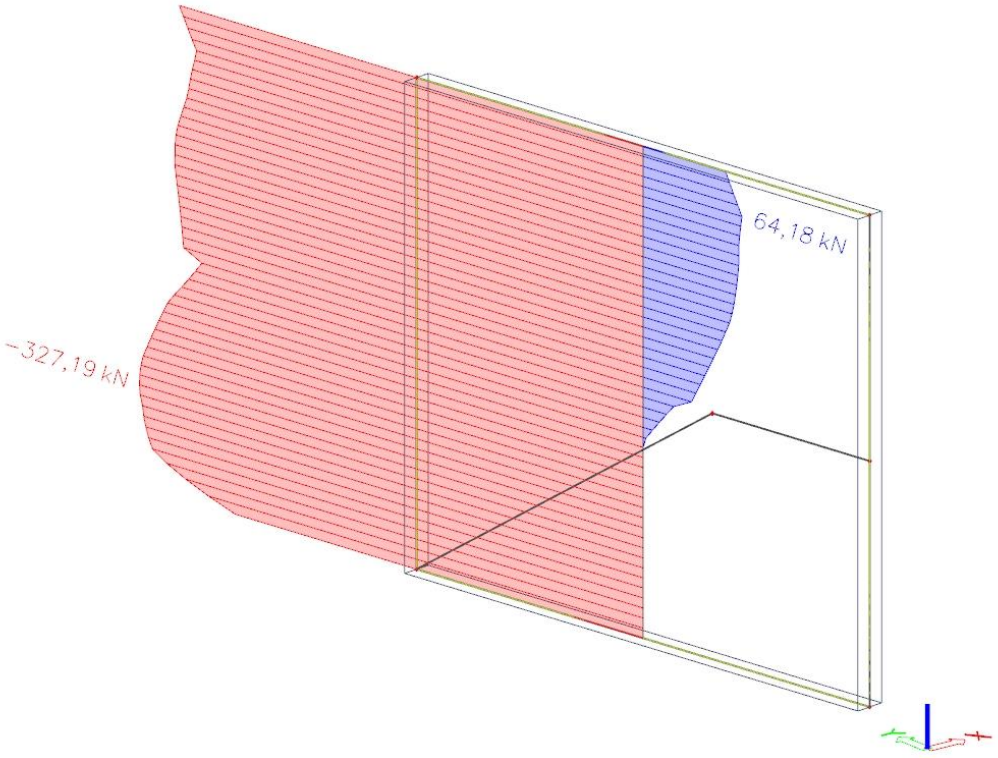
$1.0 \cdot (G + \Delta G) + 0.5 \cdot Q + 1.0 \cdot S_y$



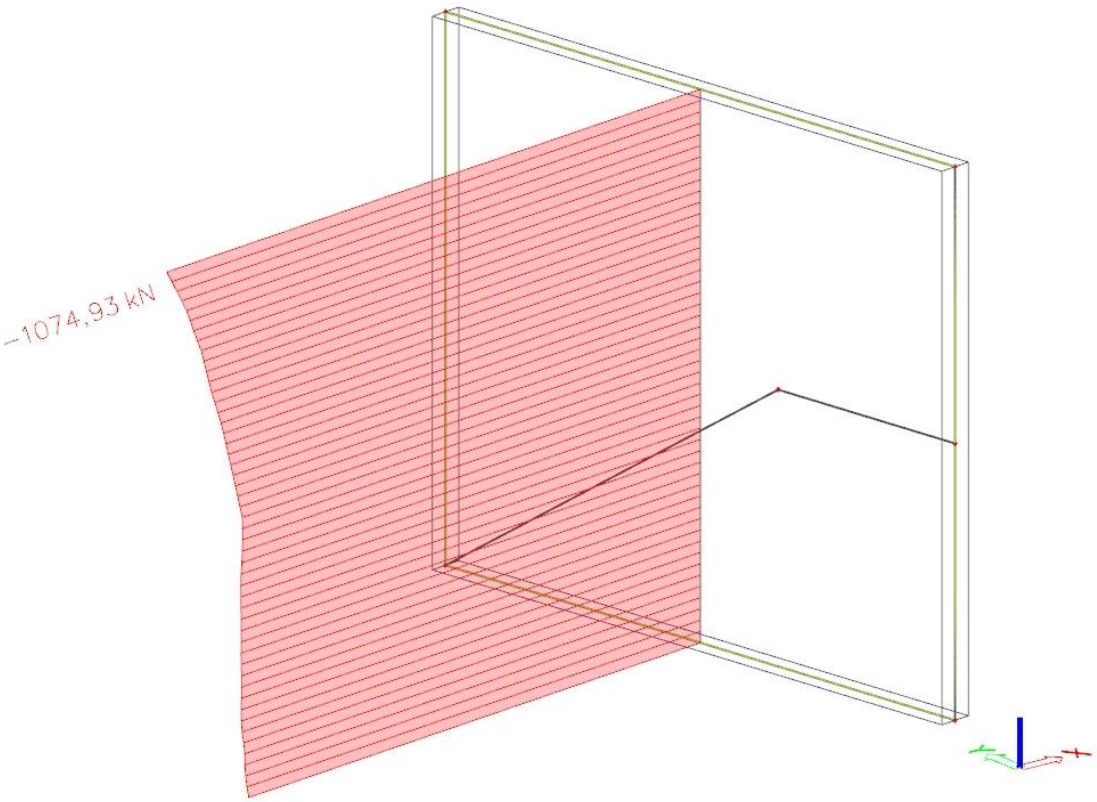
Slika 7.6. Zid u Y smjeru



Slika 7.7. Dijagram momenta Mz [kNm] za mjerodavnu kombinaciju



Slika 7.8. Dijagram poprečnih sila V_y [kN] za mjerodavnu kombinaciju



Slika 7.9. Dijagram uzdužnih sila N [kN] za mjerodavnu kombinaciju

- **Geometrija zida**

b_w (cm) - debljina zida	**20**
h_s (cm) - visina etaže	**300**
l_w (cm) - duljina zida	**360**
h_w (cm) - visina zida	**300**
n - broj etaža	**5**
d_1 (cm)	**2.5**
d (cm)	**355**

Duktilnost: DCM – srednja duktilnost

Faktor ponašanja q = 3.2

Dužina rubnog serklaža:	$l_{c0} = \min\{0.15 \cdot l_w; 1.50 \cdot b_w\}$	l_{c0} = 30.0 cm
Uvjet za debljinu zida:	$b_{w0} = \min\{0.15\ l_w; h_s/20\}$	b_{w0} = 15 cm
Vitkost zida:	$h_w / l_w = 0.83 < 2$	zid nije vitak
Visina kritične zone:	$h_{cr} = \max\{l_w; h_w/6\}$	h_{cr} = 360 cm

- **Proračun nosivosti na uzdužnu silu i moment savijanja**

Proračunske rezne sile:

M_{Ed} = 462.74 kNm

V_{Ed} = 327.19 kN

N_{Ed} = 1074.93 kN

Računski moment savijanja:

$$M_{Eds} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$b_w = 20\ cm,\ d = 355\ cm,\ h_{cr} = 360\ cm$$

$$M_{Eds} = 462.74 + 1074.93 \cdot \left(3.55 - \frac{3.6}{2} \right) = 2343.87\ kNm$$

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Eds}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2343.87 \cdot 100}{20 \cdot 355^2 \cdot 2} = 0.047$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.3$ ‰, $\xi = 0.115$, $\zeta = 0.959$

Potrebna površina uzdužne vlačne armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{2343.87 \cdot 100}{0.959 \cdot 355 \cdot 43.5} - \frac{1074.93}{43.5} = -8.88\ cm^2$$

Minimalna površina uzdužne vlačne armature u rubovima zida:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 20 \cdot 355 = 9.23\ cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 20 \cdot 355 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 10.71\ cm^2 - mjerodavno$$

Odabrano za rubni serklaž: 8 Ø16 (A_{s1} = 16.08 cm^2)

- **Proračun nosivosti na poprečnu silu**

$V_{Ed,y} = V_{Ed,y}' \cdot \varepsilon$

$V_{Ed,y}$ - računska poprečna sila

$V_{Ed,y}'$ - korigirana poprečna sila

ε - korekcijski faktor

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} + 0.1 \cdot \left(\frac{s_e(T_c)}{s_e(T_1)} \right)} \leq q$$

Kako gornji izraz mora biti manji od q, radi jednostavnosti proračuna uzmimamo:

$\varepsilon = q = 3.2 \rightarrow$ faktor ponašanja

$V_{Ed,y} = V_{Ed,y}' \cdot \varepsilon = 327.19 \cdot 3.2 = 1047.01$ kN

- **Nosivost tlačnih dijagonala**

$$V_{Ed,y} \leq V_{Rd,2}$$

U kritičnoj zoni:

$$V_{Rd,2} = 0.4 \cdot \left(0.7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \cdot f_{cd} \cdot b \cdot 0.8 \cdot d$$

$$V_{Rd,2} = 0.4 \cdot \left(0.7 - \frac{30}{200}\right) \cdot 20 \cdot 20 \cdot 0.8 \cdot 355$$

$$V_{Rd,2} = 24992\ kN$$

Izvan kritične zone:

$$V_{Rd,2} = 0.5 \cdot \left(0.7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \cdot f_{cd} \cdot b \cdot 0.8 \cdot d$$

$$V_{Rd,2} = 0.5 \cdot \left(0.7 - \frac{30}{200}\right) \cdot 20 \cdot 20 \cdot 0.8 \cdot 355$$

$$V_{Rd,2} = 31240\ kN$$

$V_{Ed,y} = 1047.01$ kN $\leq V_{Rd,2} = 24992$ kN $\rightarrow$ Uvjet zadovoljen!

- **Nosivost vlačnih dijagonala hrpta**

$$V_{Ed,y} \leq V_{Rd,3}$$

$V_{Rd,3} = V_{cd} + V_{wd}$

Postupak ovisi o koeficijentu smicanja:

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} \cdot l_w} = \frac{462.74}{327.19 \cdot 3.6} = 0.393$$

Ako je $\alpha_s \leq 1.3$, koristi se izraz (i za vertikalnu i za horizontalnu armaturu):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,3} = \left[\rho_h \cdot f_{yw,d} \cdot (\alpha_s - 0.3) + \rho_v \cdot f_{yw,d} \cdot (1.3 - \alpha_s)\right] \cdot b_{w0} \cdot z + V_{cd}$$

Minimalna površina vertikalne i horizontalne armature:

$$A_{sv,\min} = A_{sh,\min} = 0.002 \cdot b \cdot d = 0.002 \cdot 20 \cdot 100 = 4.0 \ cm^2 / m'$$

Usvojena obostrana armatura: Q 257 (A_{s1} = 2.57 cm^2/m' → obostrano A_s = 5.14 cm^2/m')

Koeficijent armiranja vertikalnom i horizontalnom armaturom:

$$\rho_v = \rho_h = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{5.14}{20 \cdot 100} = 0.0025$$
$$V_{wd} = \rho_v \cdot f_{yk} \cdot b \cdot 0.8 \cdot d = 0.0025 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 0.8 \cdot 355$$
$$V_{wd} = 710 \ kN$$

Nosivost betona i odabrane uzdužne armature:

- za tlačnu uzdužnu silu N_{Ed} vrijedi izraz: $V_{cd} = \tau_{Rd} \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho_v) \cdot b_w \cdot z$

$$\tau_{Rd} = 0.34 \ N / mm^2 = 0.034 \ kN / cm^2$$

$$V_{cd} = 0.034 \cdot (1.2 + 40 \cdot 0.0025) \cdot 20 \cdot 0.8 \cdot 355$$
$$V_{cd} = 351.06 \ kN$$

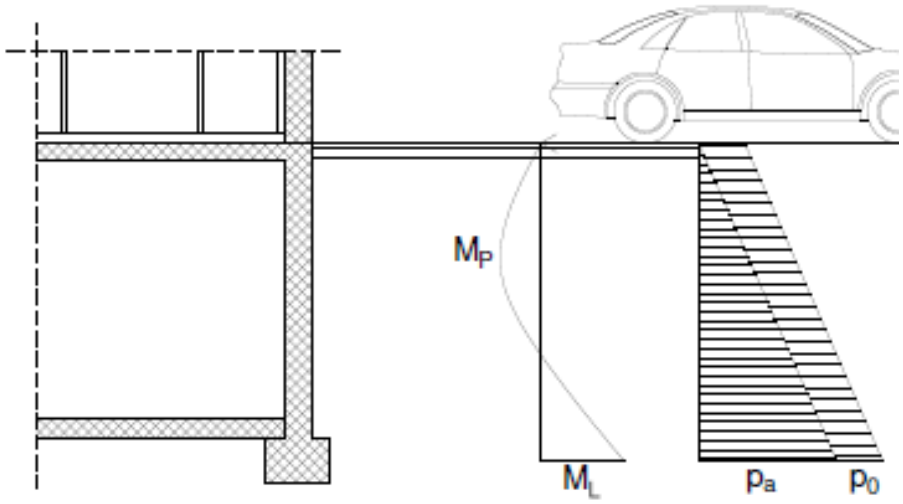
Ukupna nosivost vlačnih dijagonala hrpta:

$$V_{Rd,3} = V_{wd} + V_{cd} = 710 + 351.06$$

$$V_{Rd,3} = 1061.06 \ kN > V_{Ed} = 327.19 \ kN \ \rightarrow \text{ Odabrana armatura zadovoljava!}$$

7.1.3. Dimenzioniranje obodnih zidova garaže

Obodni zidovi garaže opterećeni su dodatno i aktivnim tlakom tla. Uz svoju nosivu ulogu u konstrukciji imaju i ulogu potpornog zida koji omeđuje cijelu građevinu na podzemnoj etaži. Postoji i mogućnost opterećenja toga zida uslijed dodatnog tlaka od terena u blizini zida na tlu (npr. automobili). Stoga je uzeto dodatno opteećenje u iznosu 5 kN/m^2. Dodatni tlak vode se na uzima u obzir budući je nivo podzemne vode niži od kote temeljenja.



Slika 7.10. Prikaz opterećenja na obodni zid garaže

Horizontalni bočni tlak uslijed opterećenja tlom računamo kao : $\sigma_h = \sigma_v \cdot K_0$

K_0 = 0.4 - koeficijent tlaka mirovanja

$\sigma_v = \gamma_{tla} \cdot H$ - vertikalno naprezanje u tlu

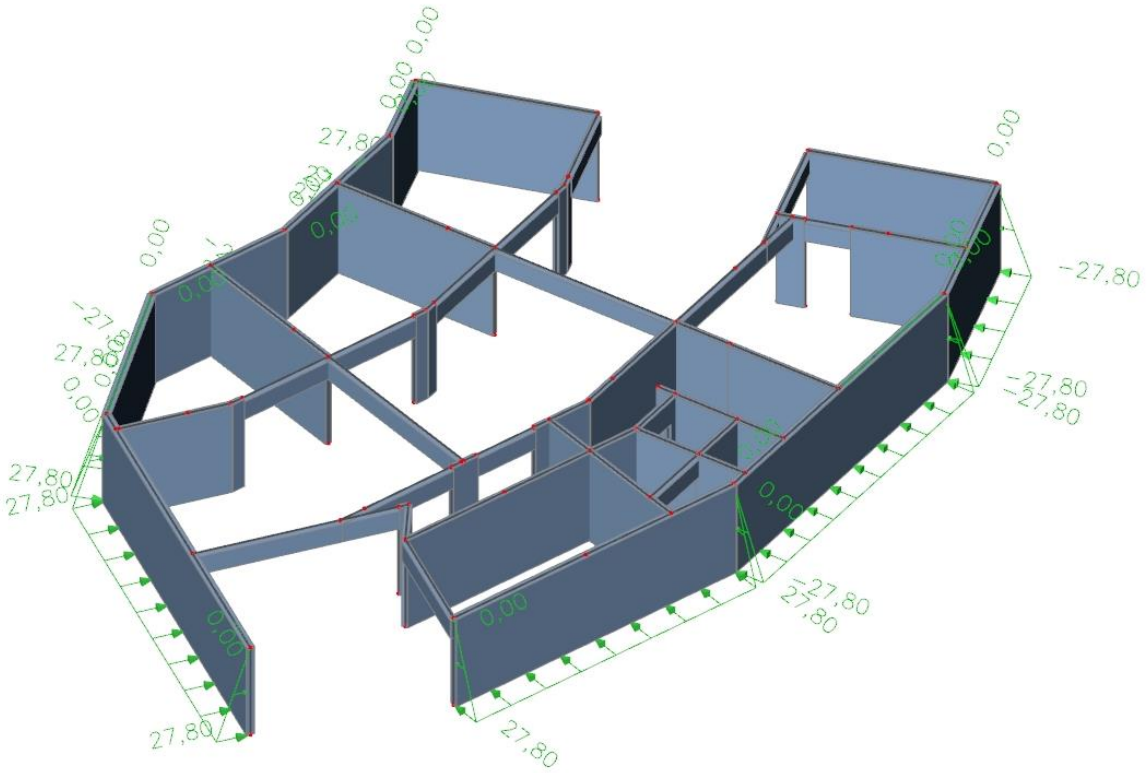
γ_{tla} = 19 kN/m^3 - jedinična težina tla za slojeve lapora slične vapnencu

H = 3 m - visina zida ispod tla

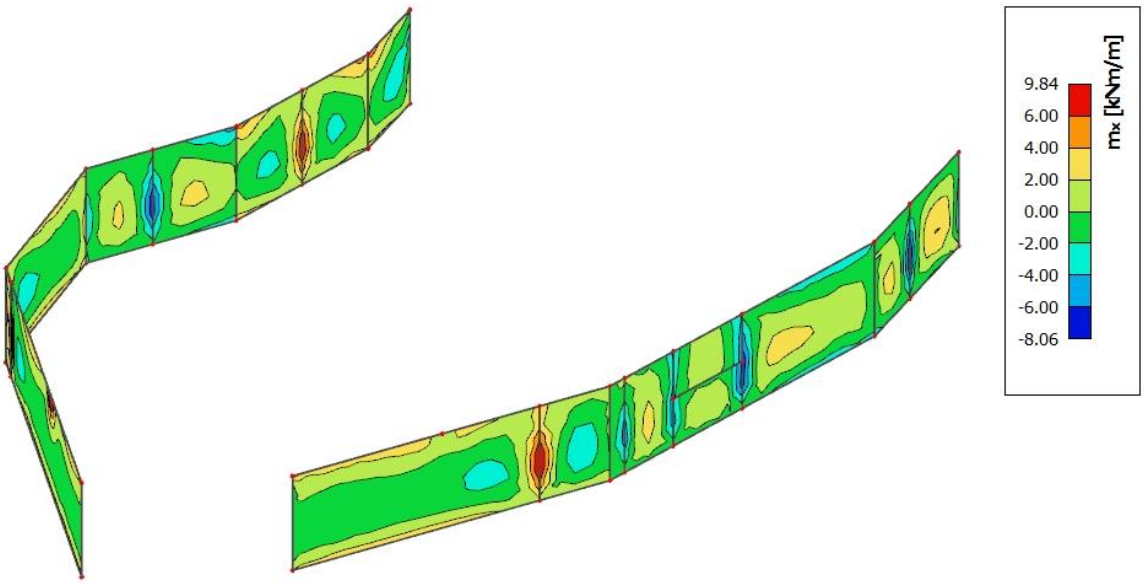
q_0 = 5 kN/m^2

$p_a = 19 \cdot 3 \cdot 0.4 = 22.8$ kN/m^2

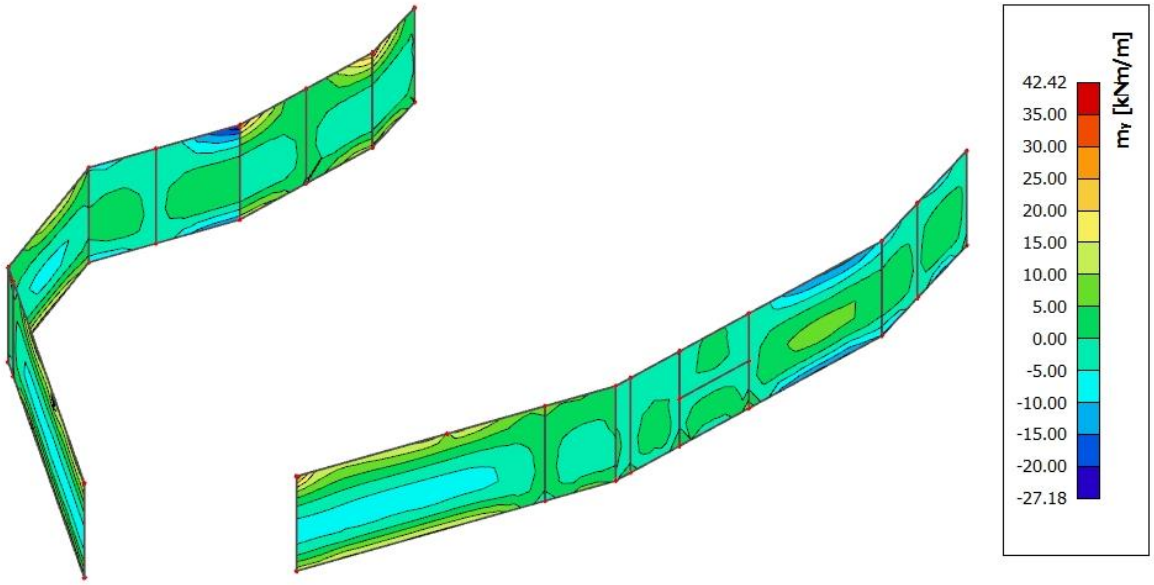
$\mathbf{p_a + q_0} = 22.8 + 5 = 27.8$ kN/m^2



Slika 7.11. Prikaz opterećenja na obodni zid garaže u modelu



Slika 7.12. Dijagram momenta savijanja Mx [kNm]



Slika 7.13. Dijagram momenta savijanja Mx [kNm]

$b_{zida} = 25 cm$

$d_1 = c_{nom} + \varnothing / 2 = 2.5 + 1.0 / 2.0 = 3\ cm$

$d = b_{zida} - d_1 = 25 - 3 = 22\ cm$

- **Armatura za unutarnju stranu zida**

$M_{ed,y}$ = 27.18 kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{27.18 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2} = 0.028$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.0$ ‰, $\xi = 0.091$, $\zeta = 0.968$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{27.18 \cdot 100}{0.968 \cdot 22 \cdot 43.5} = 2.93\ cm^2$$

Odabrano: Q 385 (A_{s1} = 3.85 cm^2)

- **Armatura za vanjsku stranu zida**

$M_{ed,y}$ = 42.42 kNm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{42.42 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2} = 0.044$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 1.3$ ‰, $\xi = 0.115$, $\zeta = 0.959$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{42.42 \cdot 100}{0.959 \cdot 22 \cdot 43.5} = 4.62\ cm^2$$

Odabrano: Q 503 (A_{s1} = 5.03 cm^2)

7.2. DIMENZIONIRANJE AB STUPOVA

Stupovi su modelirani kao 1D štapni elementi. Prostorni model je proračunat na uobičajene i izvanredne kombinacije iz kojih su izvučene maksimalne rezne sile. Razlikujemo dvije pozicije stupova u modelu.

Prva pozicija su AB stupovi u garaži pravokutnog presjeka dimenzija 80 x 20 cm. Visina tih stupova je 3 m. Stupovi S1 nalaze se u garaži. Dimenzioniran je najopterećeniji stup te je dobivena armatura usvojena i za ostala 2 stupa.

Druga pozicija je AB stup kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija 20 x 20 cm koji se nalazi u prizemlju. Visina stupa je također 3 m.

Svi stupovi su svi napravljeni od betona C 30/37 te armirani armaturom B 500B. Zaštitni sloj betona do armature iznosi 2.5 cm. Svi stupovi se izvode monolitno na licu mjesta u oplati.

Proračun stupova proveden je pomoću programskog paketa AspalathosSectionDesign. Pretpostavljena je armatura u stupu te je za nekoliko različitih profila armaturnih šipki izračunata granična nosivost stupa za zadani poprečni presjek i odabranu armaturu. Potom je u programu Microsoft Excel napravljen dijagram nosivosti stupa sa podacima dobivenim iz SectionDesigna. Nanošenjem maksimalnih reznih sila (kombinacija M i N) na graf nosivosti utvrđeno je koji profil armature zadovoljava.

Pri proračunu je u obzir uzet i utjecaj vitkosti stupa približnim postupkom prema EC-2 na način da su dobiveni momenti iz modela uvećani za određenu vrijednost ψ.

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8}$$

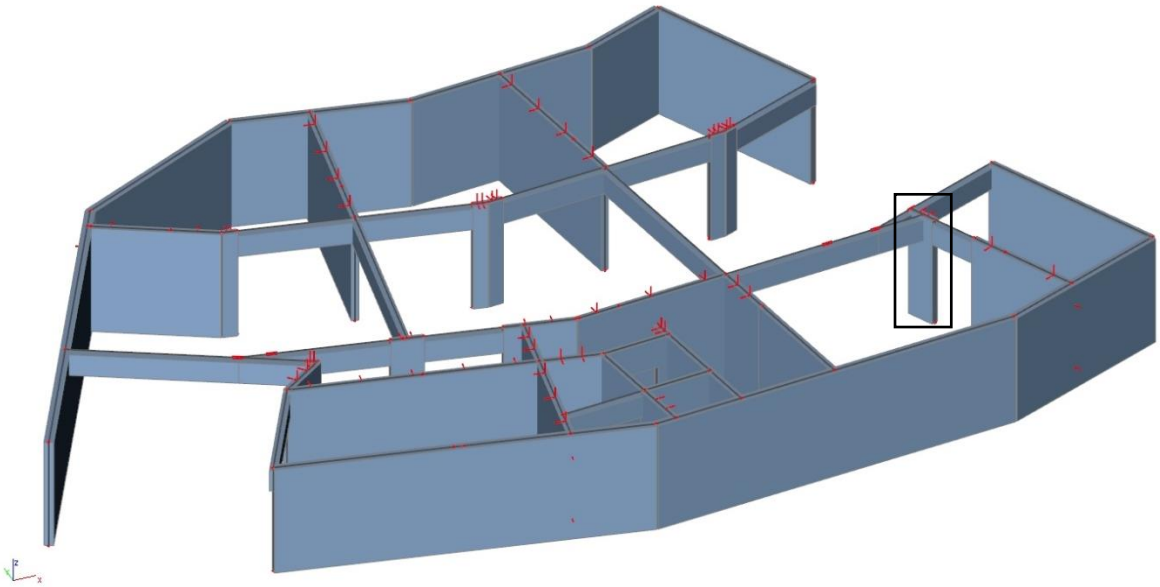
$$E_{\varphi} = \frac{E}{1+\varphi}$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_{\varphi} \cdot I}{l_i^{\,2}}$$

$$\psi = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_e}}$$

$$M_{računski} = \psi \cdot M_{\text{očitani}}$$

7.2.1. Dimenzioniranje stupa S_1



Slika 7.14. Položaj stupa S1

$h \leq 4 \cdot b \rightarrow 80 \leq 4 \cdot 20 \Rightarrow$ Stup dimenzija 80 x 20 cm

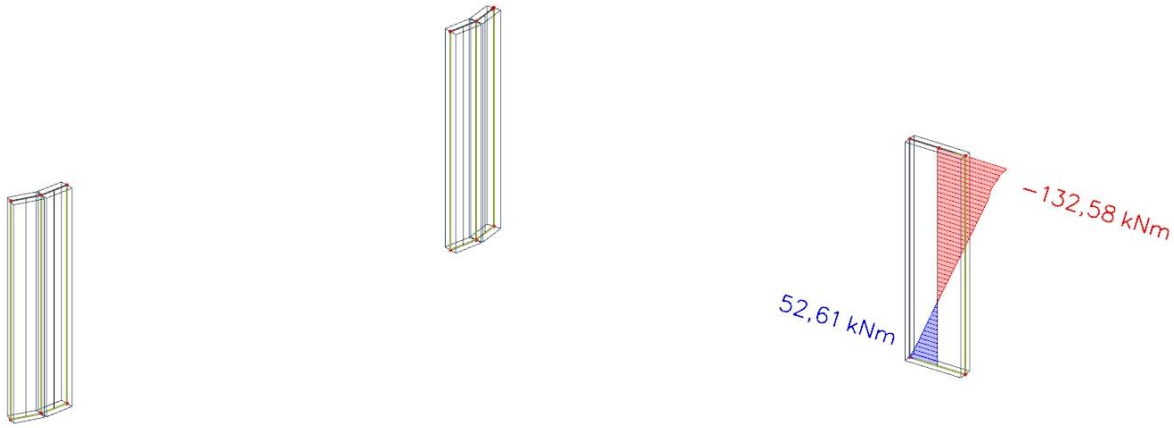
- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinacije koje daju najveći moment (i pripadnu uzdužnu silu) te najveću uzdužnu silu (i pripadni moment).

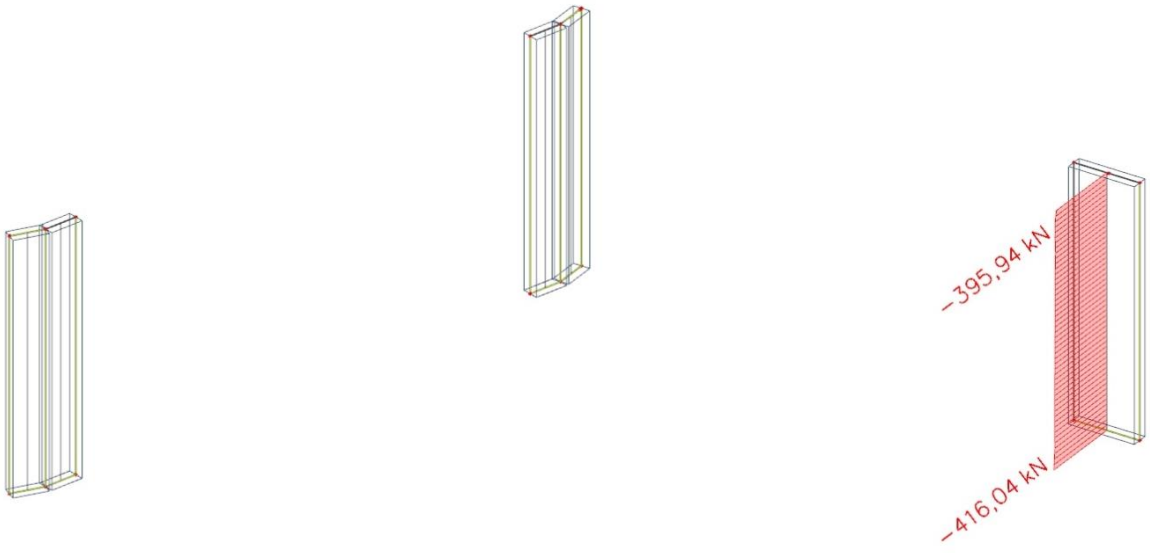
- **Dimenzioniranje stupova na savijanje i uzdužnu silu**

➢ **Moment oko osi y**

$\mathbf{My_{max} + N_{prip}} \rightarrow 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q + 1.5 \cdot W_y$

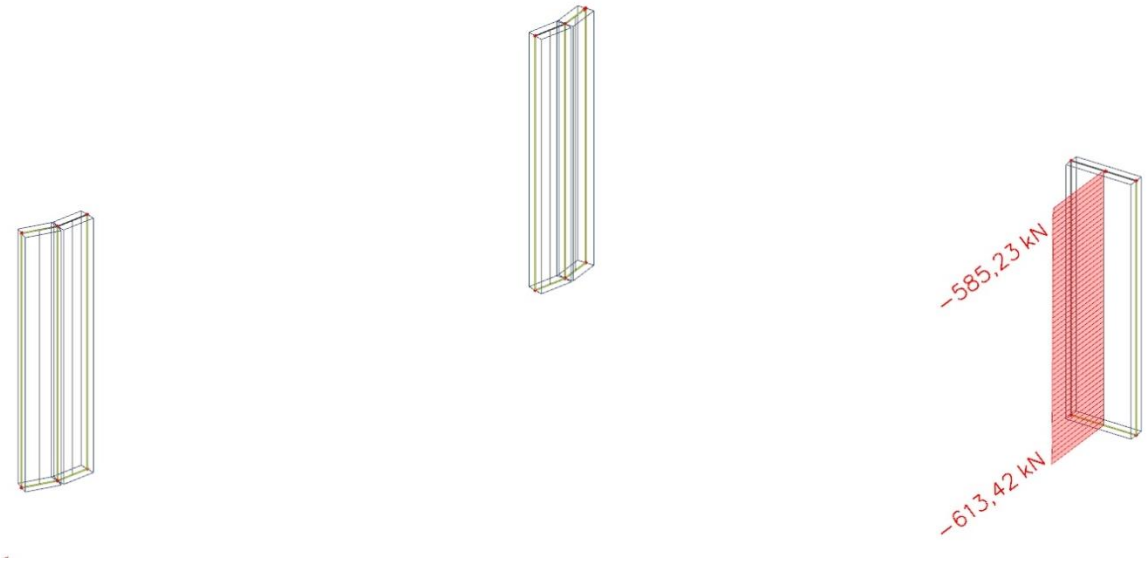


Slika 7.15. My_{max} [kNm]

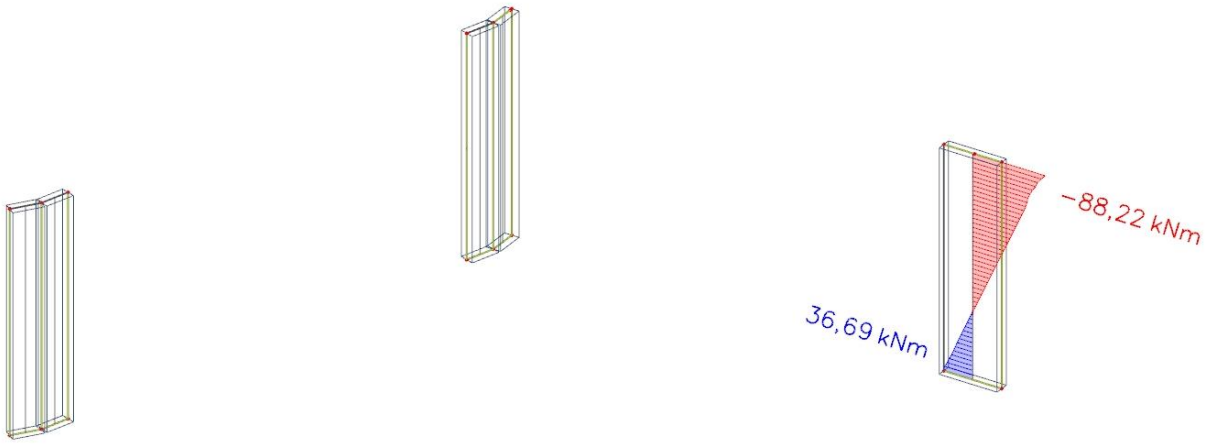


Slika 7.16. N_{prip} [kN]

$\mathbf{N_{max} + My_{prip}} \rightarrow 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q + 1.35 \cdot S$



Slika 7.17. N_{max} [kN]



Slika 7.18. My_{prip} [kNm]

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$E_{\varphi} = \frac{E}{1+\varphi} = \frac{32000}{1+2.4} = 9\,411.76$$

$$I = \frac{a \cdot b^3}{12} = \frac{0.2 \cdot 0.8^3}{12} = 0.0085\ m^4$$

$$l_i = 1.4 \cdot h_{stupa} = 1.4 \cdot 3 = 4.2\ cm$$

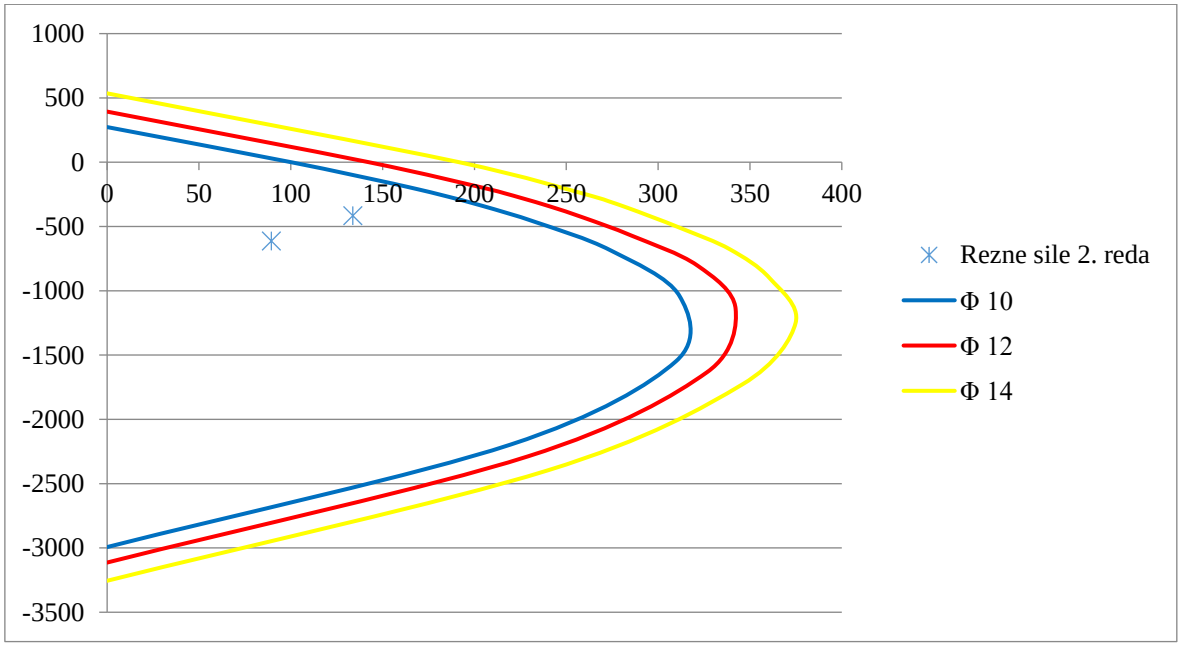
$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_{\varphi} \cdot I}{l_i^{\,2}} = \pi^2 \cdot \frac{9411.76 \cdot 1000 \cdot 0.0085}{4.2^2} = 44\,760.1\ kN$$

$$\psi = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_e}}$$

$$M_{računski} = \psi \cdot M_{\text{očitani}}$$

M_y + N	N [kN]	M_y I. reda [kNm]	**ψ**	M_y II. reda [kNm]
N_{max}, $M_{y,prip}$	**613.42**	88.22	1.014	**89.45**
$M_{y,max}$, N_{prip}	**416.04**	132.58	1.009	**133.82**

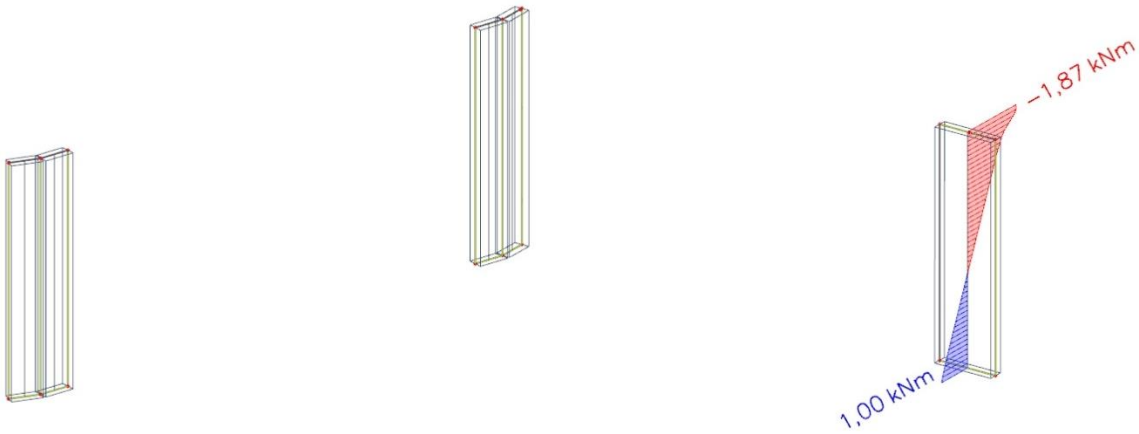
Dijagram granične nosivosti stupa S1 dimenzija 80 x 20 cm za M_y i N:



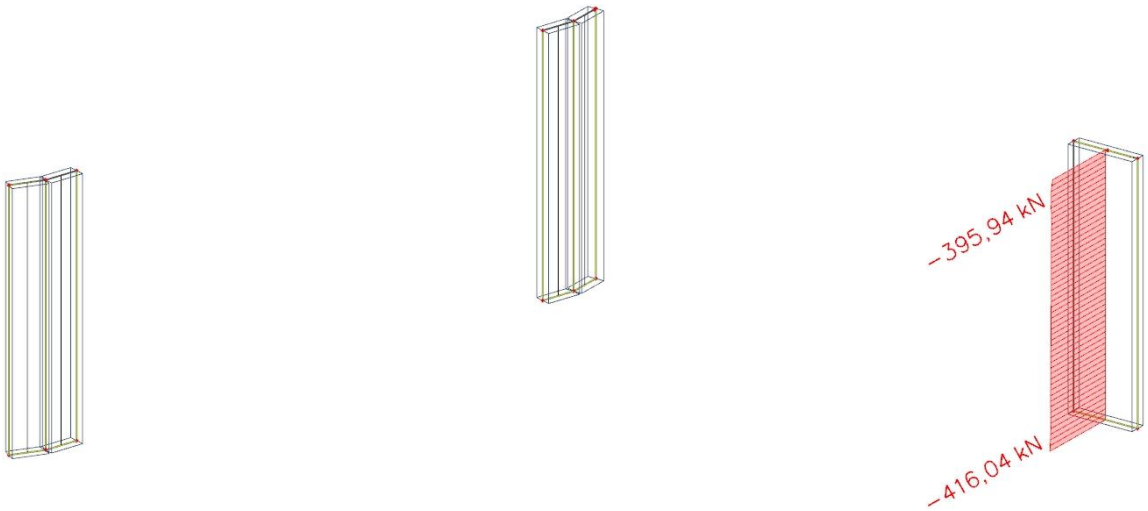
Armatura očitana iz dijagrama interakcije → **Ø10**

- **Moment oko osi z**

$\mathbf{Mz_{max} + N_{prip}} \rightarrow 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q + 1.5 \cdot W_y$



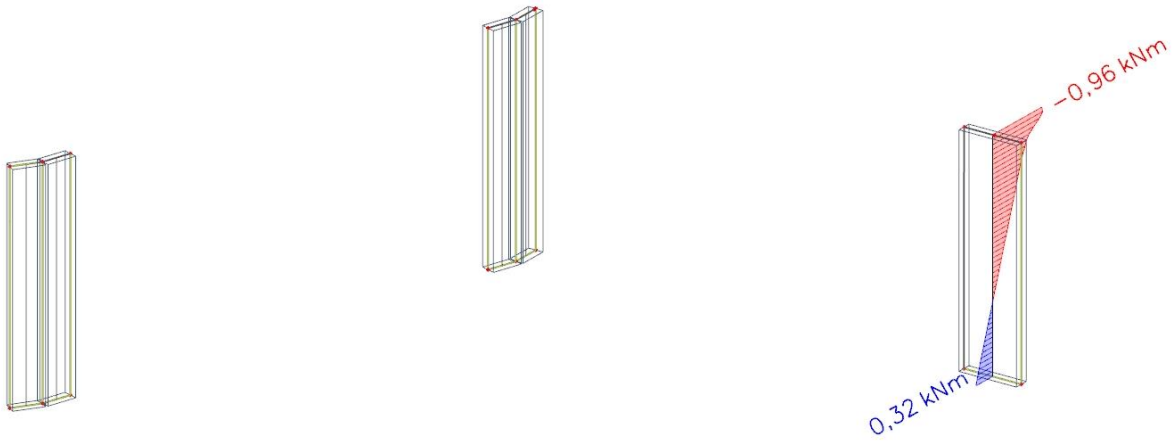
Slika 7.20. Mz_{max} [kNm]



Slika 7.21. N_{prip} [kN]

$\mathbf{N_{max} + Mz_{prip}} \rightarrow 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q + 1.35 \cdot S$

Slika 7.22. N_{max} [kN]



Slika 7.23. Mz_{prip} [kNm]

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$E_{\varphi} = \frac{E}{1+\varphi} = \frac{32000}{1+2.4} = 9411.76$$

$$I = \frac{b \cdot a^3}{12} = \frac{0.8 \cdot 0.2^3}{12} = 0.00053\ m^4$$

$$l_i = 1.4 \cdot h_{stupa} = 1.4 \cdot 3 = 4.2\ cm$$

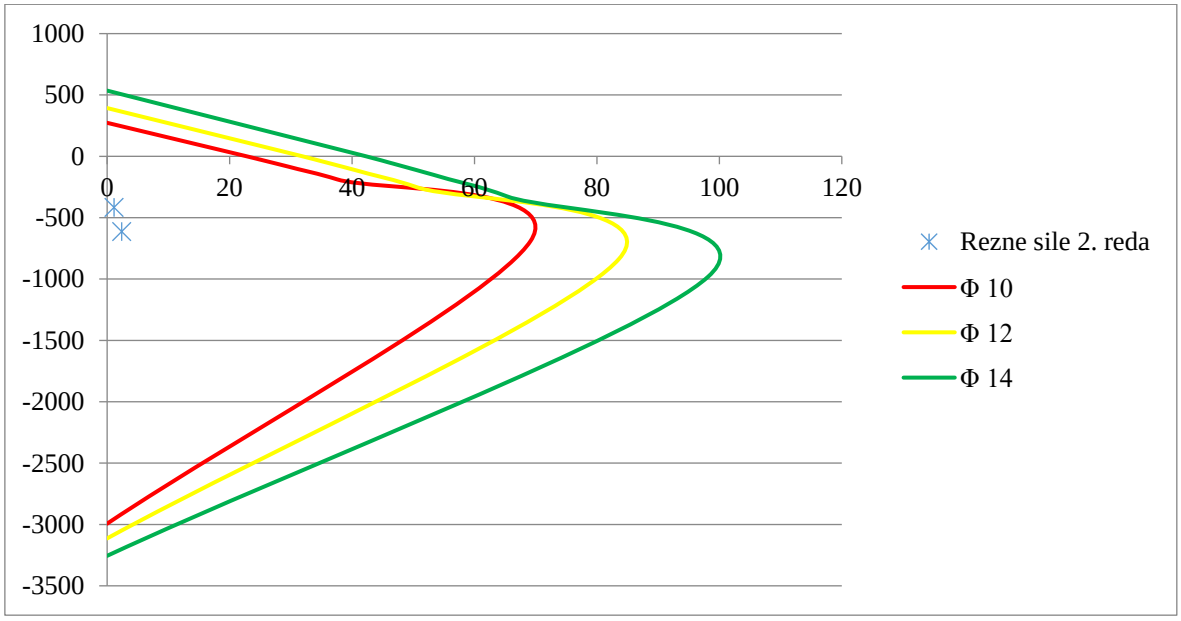
$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_{\varphi} \cdot I}{l_i^{\,2}} = \pi^2 \cdot \frac{9411.76 \cdot 1000 \cdot 0.00053}{4.2^2} = 2790.92\ kN$$

$$\psi = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_e}}$$

$$M_{računski} = \psi \cdot M_{\text{očitani}}$$

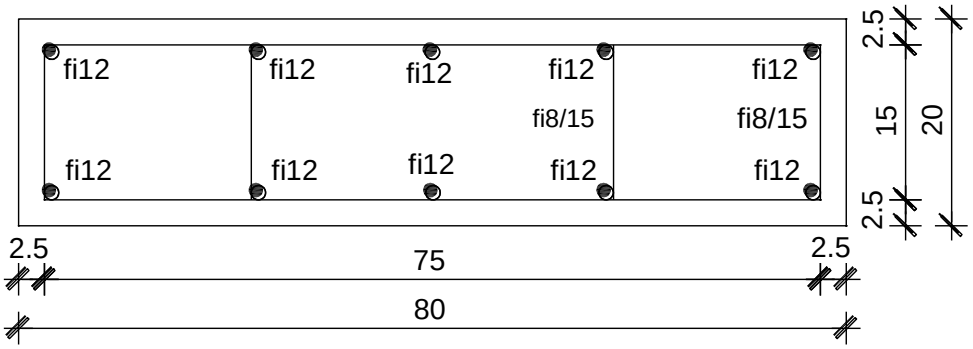
M_z + N	N [kN]	M_z I. reda [kNm]	**ψ**	M_z II. reda [kNm]
N_{max}, $M_{z,prip}$	**613,42**	1.87	1.282	**2.40**
$M_{z,max}$, N_{prip}	**416,04**	0.96	1.175	**1.13**

Dijagram granične nosivosti stupa S1 dimenzija 80 x 20 cm za M_z i N:



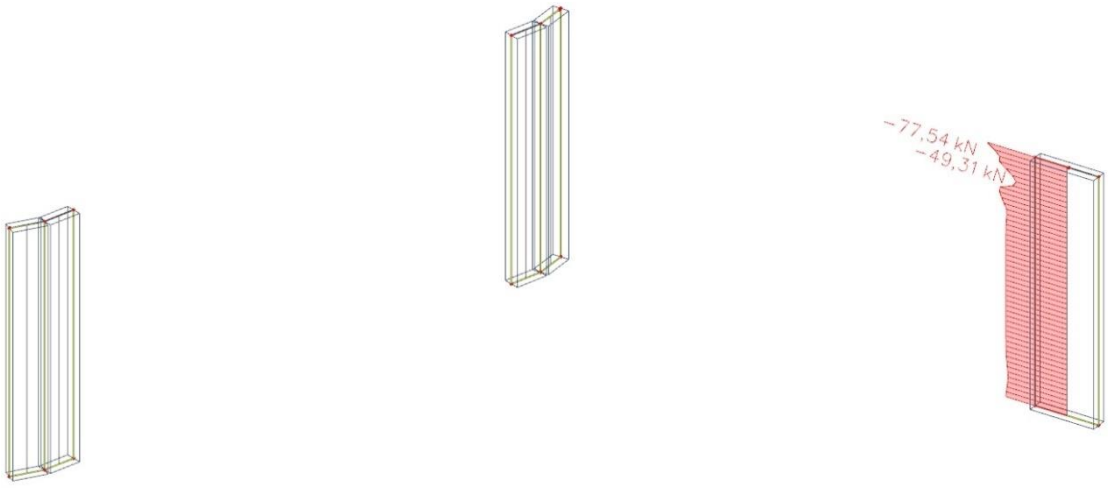
Armatura očitana iz dijagrama interakcije → **Ø10**

Usvojena armatura za stup: **8 Ø12** + 2 Ø12 konstruktivna



Slika 7.24. Poprečni presjek stupa S1

- **Dimenzioniranje stupova na poprečnu silu**



Slika 7.25. Poprečna sila V [kN]

$V_{Ed} = 77.54\ kN,\ N_{Ed} = 613.42\ kN$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{770}} = 1.51 < 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.51$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 613.42 / 1600 = 0.383\ kN / cm^2$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 8\phi 10 = 6.32\ cm^2 \qquad \rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{6.32}{20 \cdot 80} = 0.004$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.51 \cdot \left(100 \cdot 0.004 \cdot 30\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.383 \right] \cdot 200 \cdot 770 = 72\,733.3\,N = 72.73\ kN$$

$$V_{Rd,c} = 72.73 kN < V_{Ed} = 77.54 kN \Rightarrow \textit{Potrebna računska armatura}!$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[\nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d = \left[0.36 + 0 \right] \cdot 200 \cdot 770 = 55.44\ kN$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.51^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0.36$$

$$V_{Rd,c} = 72.73 kN > 55.44\ kN \Rightarrow \textit{Uvjet zadovoljen}!$$

Poprečna sila koju mogu preuzeti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 20 \cdot 200 \cdot 770 = 813.12 \; kN$$

$$\nu = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0.528$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\max}} = \frac{77.54}{813.12} = 0.1 < 0.3 \Rightarrow s_{w,\max} = \min \begin{Bmatrix} 0.75 \cdot d = 0.75 \cdot 77 = 57.75 \; cm \\ 30 \; cm \end{Bmatrix}$$

$$s_{w,\max} = 30 \; cm, \; \rho_{\min} = 0.001, \; m = 4$$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 20}{4} = 0.15 \; cm^2 \;\; \rightarrow \text{ Odabrano: Ø8/30 cm } (A_{sw} = 0.5 \text{ cm}^2)$$

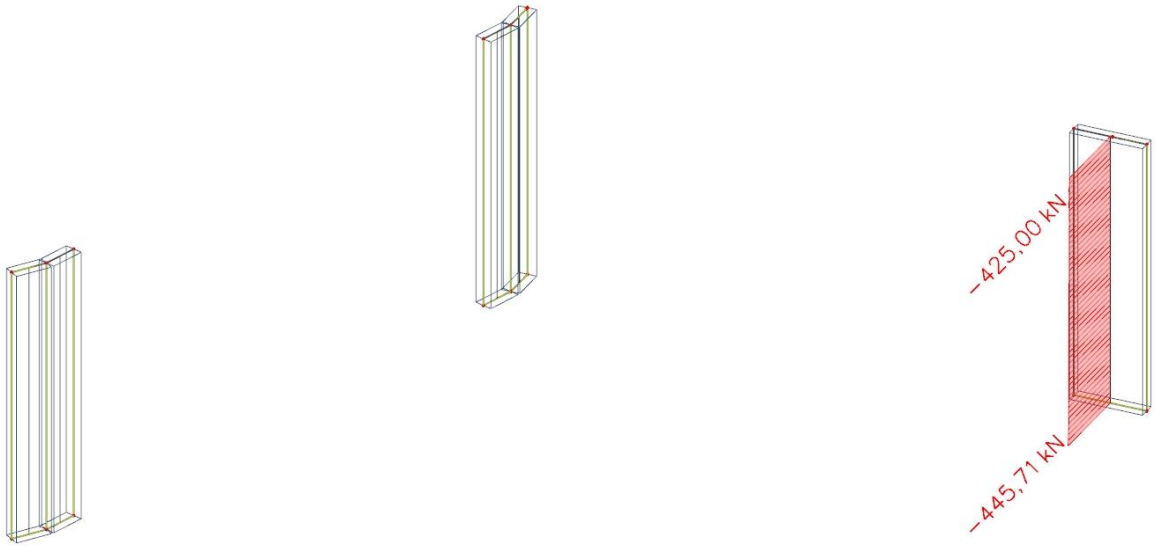
$$s_{w,req} = \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot 0.9 \cdot d}{V_{Ed}} = \frac{4 \cdot 0.5 \cdot 43.5 \cdot 0.9 \cdot 77}{77.54} = 77.75 \; cm$$

Usvojene spone: Ø8/20 cm ($A_{sw} = 0.5$ cm^2)

Pri dnu i vrhu zida staviti spone na razmaku od 15 cm.

- **Kontrola naprezanja u stupu za GSU**

Naprezanja u betonu za kombinaciju opterećenja za granično stanje uporabljivosti ograničavamo na vrijednost $\boldsymbol{\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}}$

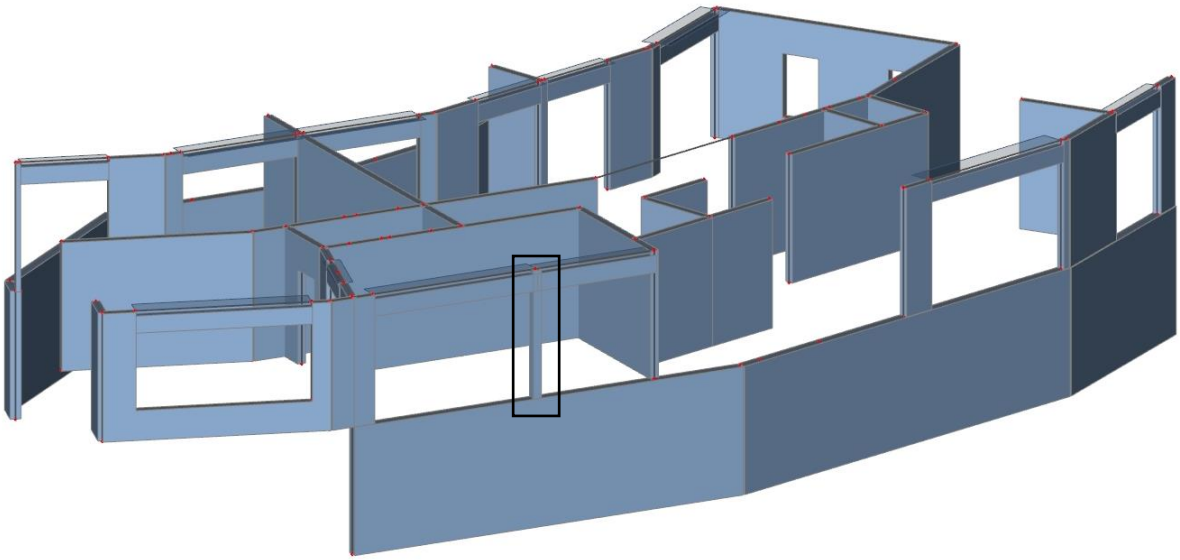


Slika 7.26. Uzdužna sila N [kN] za GSU

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed,\max}}{A_c} = \frac{445.71}{20 \cdot 80} = 0.28\ kN/cm^2 < 0.45 \cdot f_{ck} = 0.45 \cdot 3 = 1.35\ kN/cm^2$$

Naprezanja zadovoljavaju!

7.2.2. Dimenzioniranje stupa S_2



Slika 7.27. Položaj stupa S2

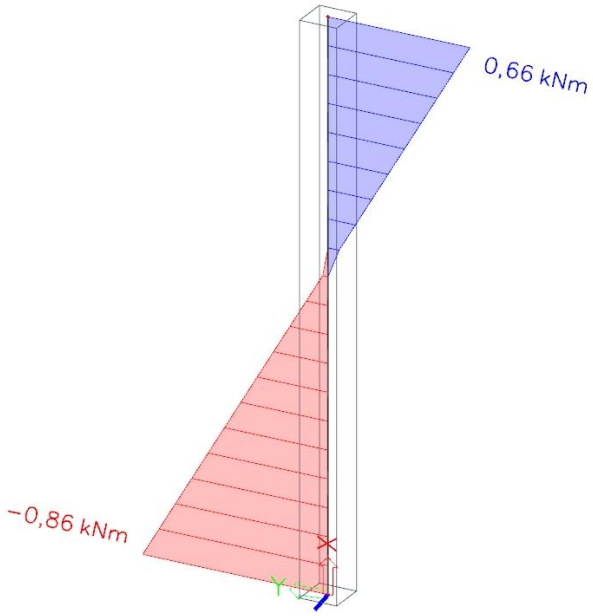
Stup dimenzija 20 x 20 cm

- **Granično stanje nosivosti (GSN)**

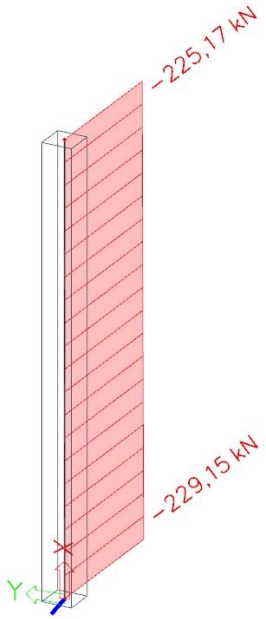
Proračun za granično stanje nosivosti proveden je za kombinacije koje daju najveći moment (i pripadnu uzdužnu silu) te najveću uzdužnu silu (i pripadni moment).

- **Dimenzioniranje stupova na savijanje i uzdužnu silu**

$\mathbf{M_{max} + N_{prip}} \rightarrow 1.35 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q + 1.5 \cdot W_x$

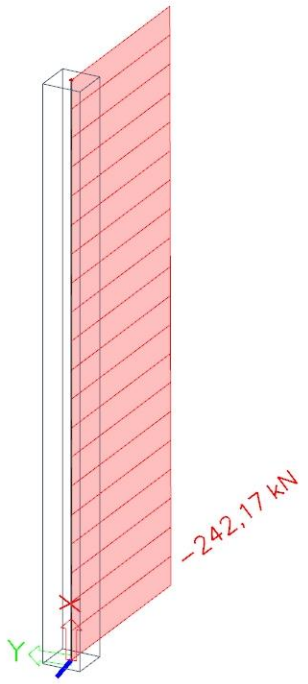


Slika 7.28. M_{max} [kNm]

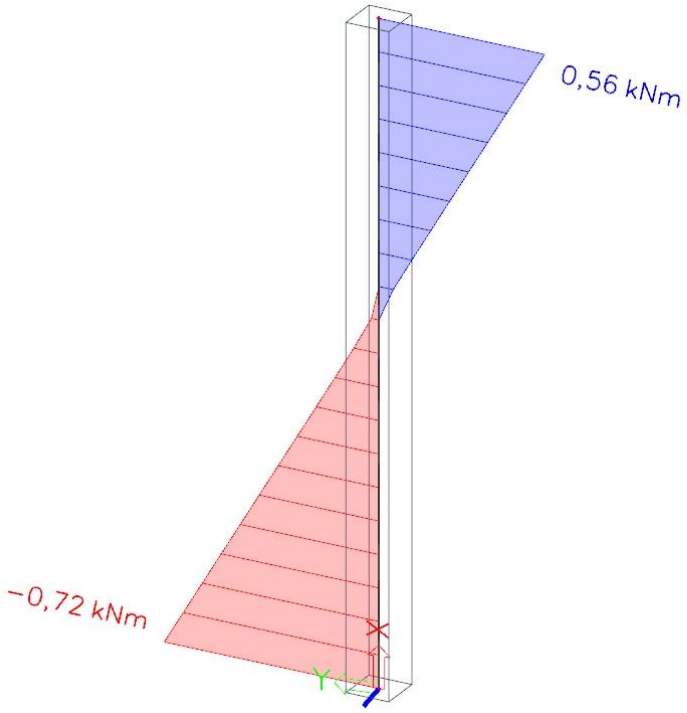


Slika 7.29. N_{prip} [kN]

$\mathbf{N_{max} + M_{prip}} \rightarrow 1.0 \cdot (G + \Delta G) + 1.5 \cdot Q + 1.0 \cdot S_y$



Slika 7.30. N_{max} [kN]



Slika 7.31. M_{prip} [kNm]

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} \approx 32000\ MPa$$

$$E_{\varphi} = \frac{E}{1+\varphi} = \frac{32000}{1+2.4} = 9\,411.76$$

$$I = \frac{a \cdot b^3}{12} = \frac{0.2 \cdot 0.2^3}{12} = 0.00013\ m^4$$

$$l_i = 1.4 \cdot h_{stupa} = 1.4 \cdot 3 = 4.2\ cm$$

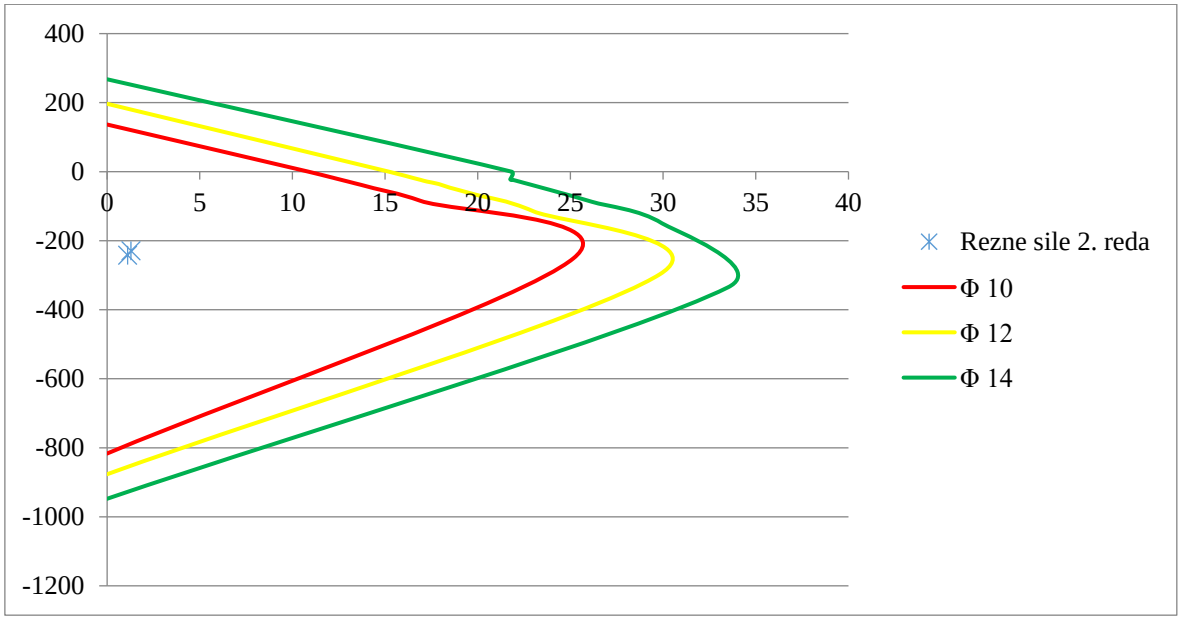
$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_{\varphi} \cdot I}{l_i^{\,2}} = \pi^2 \cdot \frac{9411.76 \cdot 1000 \cdot 0.00013}{4.2^2} = 684.6\ kN$$

$$\psi = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_e}}$$

$$M_{računski} = \psi \cdot M_{\text{očitani}}$$

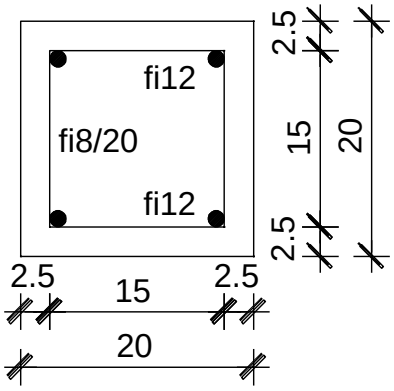
M + N	N [kN]	M I. reda [kNm]	**ψ**	M II. reda [kNm]
N_{max}, M_{prip}	**242.17**	0.72	1.547	**1.11**
M_{max}, N_{prip}	**229.15**	0.86	1.503	**1.29**

Dijagram granične nosivosti stupa S2 dimenzija 20 x 20 cm za M i N:



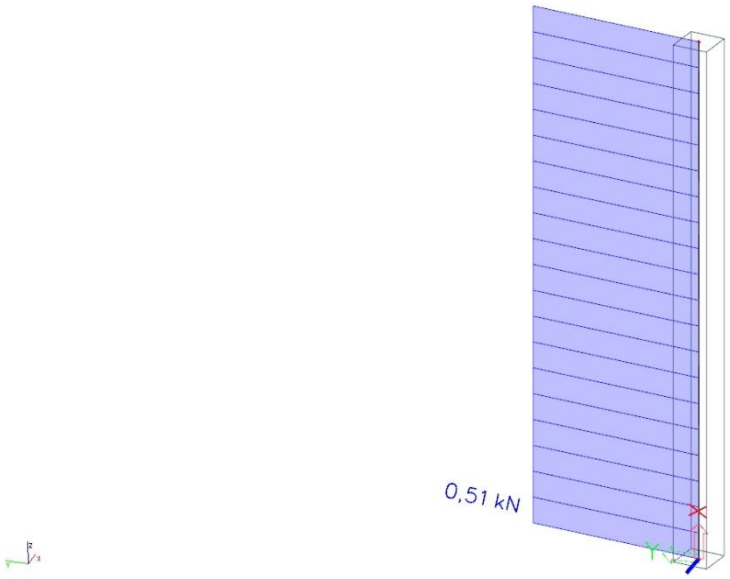
Armatura očitana iz dijagrama interakcije → **Ø10**

Usvojena armatura za stup: 4 Ø12



Slika 7.32. Poprečni presjek stupa S2

- **Dimenzioniranje stupova na poprečnu silu**



Slika 7.33. Poprečna sila V [kN]

$V_{Ed} = 0.51\ kN,\ N_{Ed} = 242.17\ kN$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{170}} = 2.09 > 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 2$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 242.17 / 400 = 0.605\ kN / cm^2$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 4\phi 10 = 3.16\ cm^2 \qquad \rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3.16}{20 \cdot 20} = 0.0079$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 2 \cdot \left(100 \cdot 0.0079 \cdot 30\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.605 \right] \cdot 200 \cdot 170 = 26524.53\,N = 26.52\ kN$$

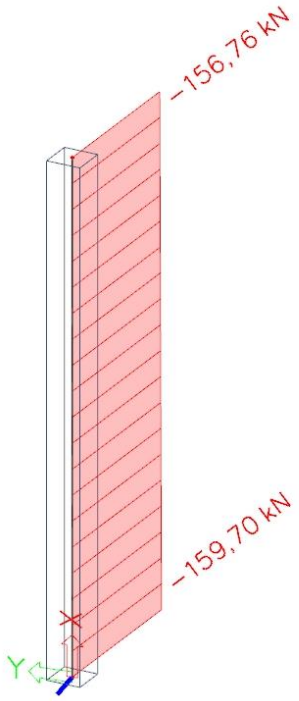
$V_{Rd,c} = 26.52\,kN > V_{Ed} = 0.51 kN \Rightarrow$ *Nije potrebna računska armatura*!

Usvojene spone: Ø8/20 cm (A_{sw} = 0.5 cm^2)

Pri dnu i vrhu zida staviti spone na razmaku od 15 cm.

- **Kontrola naprezanja u stupu za GSU**

Naprezanja u betonu za kombinaciju opterećenja za granično stanje uporabljivosti ograničavamo na vrijednost $\boldsymbol{\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}}$



Slika 7.34. Uzdužna sila N [kN] za GSU

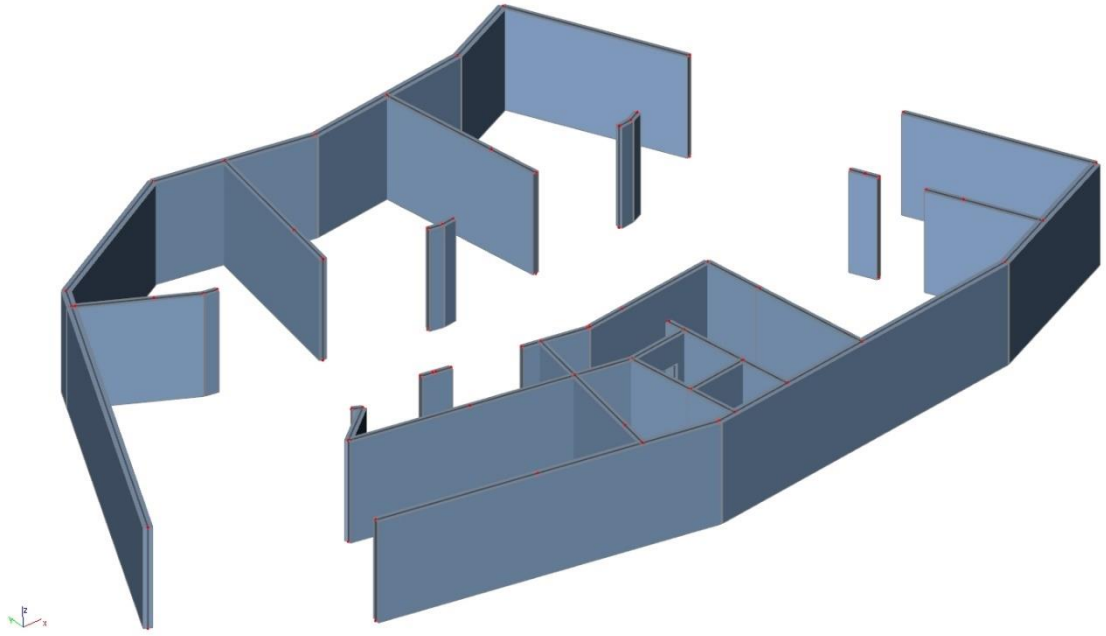
$$\sigma_c = \frac{N_{Ed,\max}}{A_c} = \frac{159.7}{20 \cdot 20} = 0.4\ kN/cm^2 < 0.45 \cdot f_{ck} = 0.45 \cdot 3 = 1.35\ kN/cm^2$$

Naprezanja zadovoljavaju!

8. DIMENZIONIRANJE TEMELJA

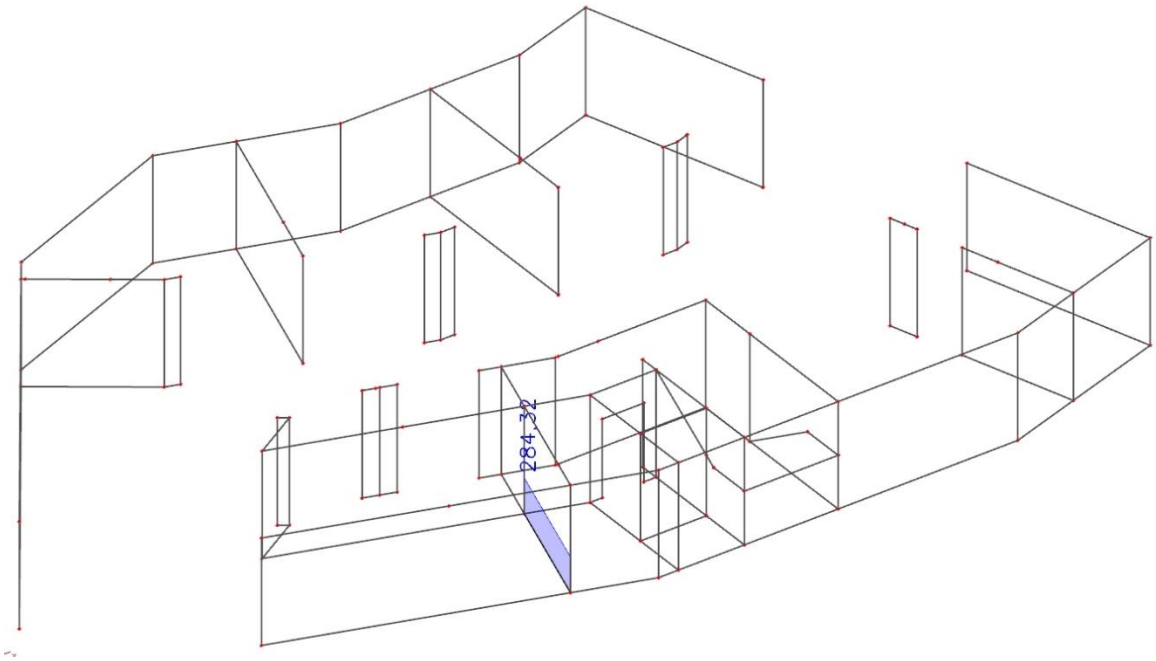
Temelji se izvode kao trakasti temelji ispod zidova te temelji samci ispod stupova u garaži. Sve temeljne trake i temelji samci izvedeni su od beton C 30/37 te armirani armaturom B 500B. Na slici je prikazan raspored temelja. Radi jednostavnosti izvedbe, a i ujednačenosti reakcija ispod zidova i temelja sve su temeljne trake istih dimenzija te jednako armirane. Isto vrijedi i za temelje samce stupova. Temelji samci su gredama dimenzija širine 30 cm i visine 50 cm povezani sa trakama.

Proračun je proveden na način da su iz prostornog modela za kritične uobičajene kombinacije dobivene maksimalne rezne sile na ležajevima ispod zidova i stupova. Potom je provedena kontrola naprezanja koje mora zadovoljiti uvjet: $\sigma < \sigma_{dop} = 400$ kPa.

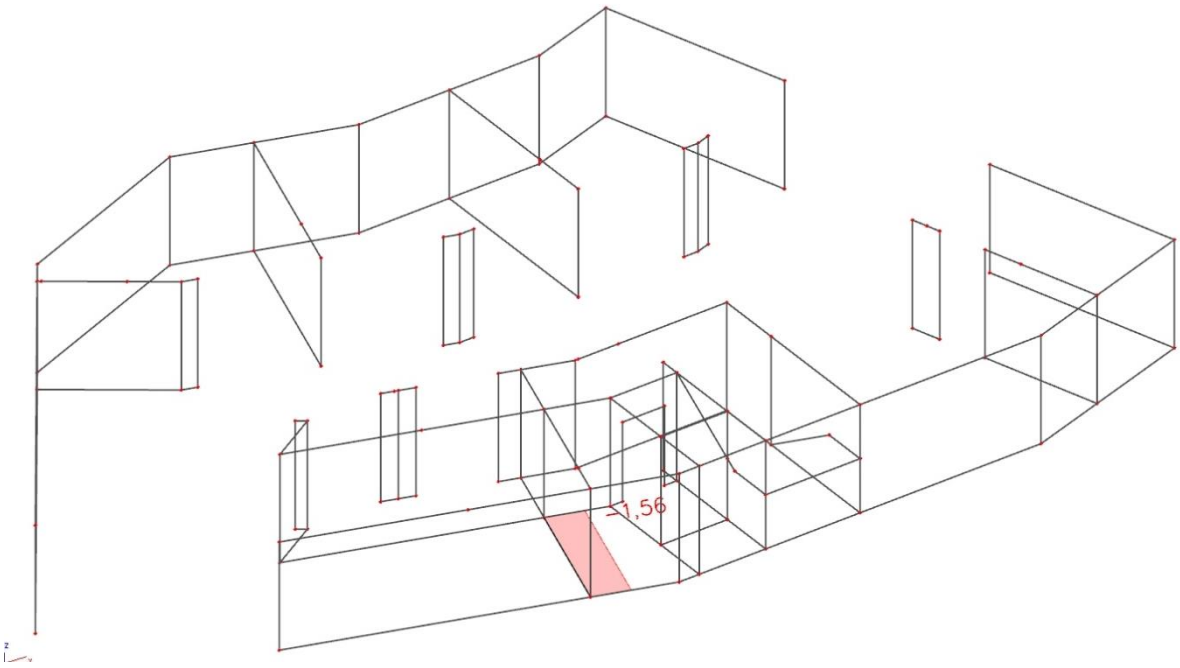


Slika 8.1. Prikaz zidova i stupova

- **Dimenzioniranje AB temeljne trake**



Slika 8.2. N_{max} [kN]



Slika 8.3. M_{prip} [kNm]

- **Dimenzije temelja i provjera naprezanja**

σ_{dop} = 0.40 Mpa = 400 kN/m^2

Dimenzije temelja:

- širina temelja: B = 80 cm

- visina temelja: h = 50 cm

Težina temelja: $W_{tem} = L \cdot B \cdot h \cdot \gamma_{bet}$ = 1 m' · 0.8 m · 0.5 m · 25 kN/m^3 = 10 kN/m'

Očitano opterećenje: q = 284.32 kN/m'

Ukupno opterećnje: q + W = 284.32 + 10 = 294.32 kN/m'

Moment otpora: $W = \frac{B \cdot L^2}{6} = \frac{1 \cdot 0.8^2}{6} = 0.107\ m^3$

Provjera naprezanja:

Naprezanje: $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{294.32}{0.8 \cdot 1} + \frac{1.56}{0.107} = 367.9 + 14.6 = 382.5\ kn/m^2$

$\sigma = 382.5\ kn/m^2 < \sigma_{dop} = 400\ kN/m^2 \rightarrow$ *Naprezanja zadovoljavaju*!

$\sigma_1 = 367.9 + 14.6 = 382.5\ kN/m^2$

$\sigma_2 = 367.9 - 14.6 = 353.3\ kN/m^2$

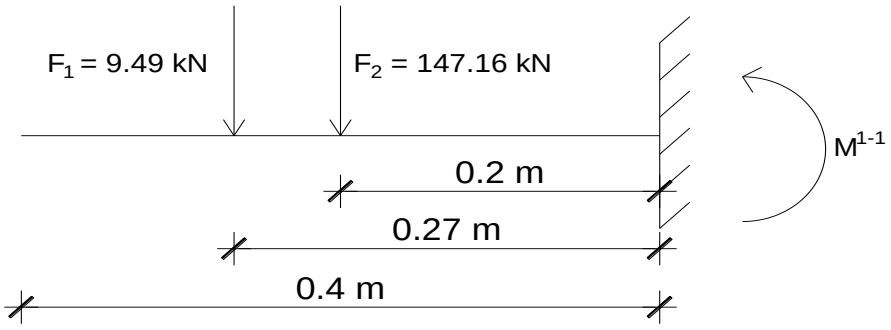
Usvojene dimenzije temelja: B x h = 80 x 50 cm

- **Dimenzioniranje na moment savijanja**

Mjerodavni moment za proračun armature:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{294.32}{0.8 \cdot 1} + \frac{1.56}{0.107}$$

$$\sigma_1 = 367.9 + 14.6 = 382.5\ kN/m^2$$
$$\sigma_2 = 367.9 - 14.6 = 353.3\ kN/m^2 \quad \Rightarrow \text{ F1 i F2}$$



$M_{Ed}^{1-1} = 9.49 \cdot 0.27 + 147.16 \cdot 0.2$

$M_{Ed}^{1-1} = 32$ kNm

b = 100 cm, c = 5 cm, d = 45 cm

Bezdimenzionalni koeficijent momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{32 \cdot 100}{100 \cdot 45^2 \cdot 2} = 0.008$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10$ ‰, $\varepsilon_{c2} = 0.5$ ‰, $\xi = 0.0.048$, $\zeta = 0.948$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{32 \cdot 100}{0.948 \cdot 45 \cdot 43.5} = 1.72\ cm^2/m'$$

Minimalna površina armature:

$$A_{s1,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d = 0.0013 \cdot 100 \cdot 45 = 5.85\ cm^2$$

$$A_{s1,min} = 0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0.26 \cdot 100 \cdot 45 \cdot \frac{0.29}{50.0} = 6.79\ cm^2 - mjerodavno$$

Maksimalna površina armature:

$$A_{s1,max} = 0.04 \cdot b \cdot h = 0.04 \cdot 100 \cdot 50 = 200\ cm^2$$

$$A_{s1,max} = 0.022 \cdot b \cdot h = 0.022 \cdot 100 \cdot 50 = 110\ cm^2 - mjerodavno$$

Odabrano: Ø10/10 cm (A_{s1} = 7.9 cm^2/m') za donju i gornju zonu

U uzdužnom smjeru armirati sa šipkama **Ø10/15.**

Odabrana armatura za trakasti temelj usvaja se i za temelje samce ispod stupova u garaži.

9. GRAFIČKI PRILOZI

Prilog 9.1 - Situacija M 1:500

Prilog 9.2 - Tlocrt temelja M 1:100

Prilog 9.3 - Tlocrt garaže M 1:100

Prilog 9.4 - Tlocrt prizemlja M 1:100

Prilog 9.5 - Tlocrt 1. kata M 1:100

Prilog 9.6 - Tlocrt 2. kata M 1:100

Prilog 9.7 - Tlocrt 3. kata M 1:100

Prilog 9.8 - Tlocrt krova M 1:100

Prilog 9.9 - Presjek A - A M 1:100

Prilog 9.10 - Plan pozicije temelja M 1:100

Prilog 9.11 - Plan pozicije -100 M 1:100

Prilog 9.12 - Plan pozicije 0 M 1:100

Prilog 9.13 - Plan pozicije 100 M 1:100

Prilog 9.14 - Plan pozicije 200 M 1:100

Prilog 9.15 - Plan pozicije 300 M 1:100

Prilog 9.16 - Plan pozicije 400 M 1:100

10. ARMATURNI PLANOVI

Prilog 10.1 - Plan armature temelja M 1:25

Prilog 10.2 - Plan armature temelja M 1:25

Prilog 10.3 - Plan armature zida Z_1 M 1:50

Prilog 10.4 - Plan armature stupa S_1 M 1:25

Prilog 10.5 - Plan armature stupa S_2 M 1:25

Prilog 10.6 - Plan armature stubišta M 1:25

Prilog 10.7 - Plan armature ploče POZ 300 - donja zona M 1:50

Prilog 10.8 - Plan armature ploče POZ 300 - gornja zona M 1:50

Prilog 10.9 - Iskaz količine armature za ploču POZ 300

Prilog 10.10 - Plan armature grede POZ G301 M 1:25

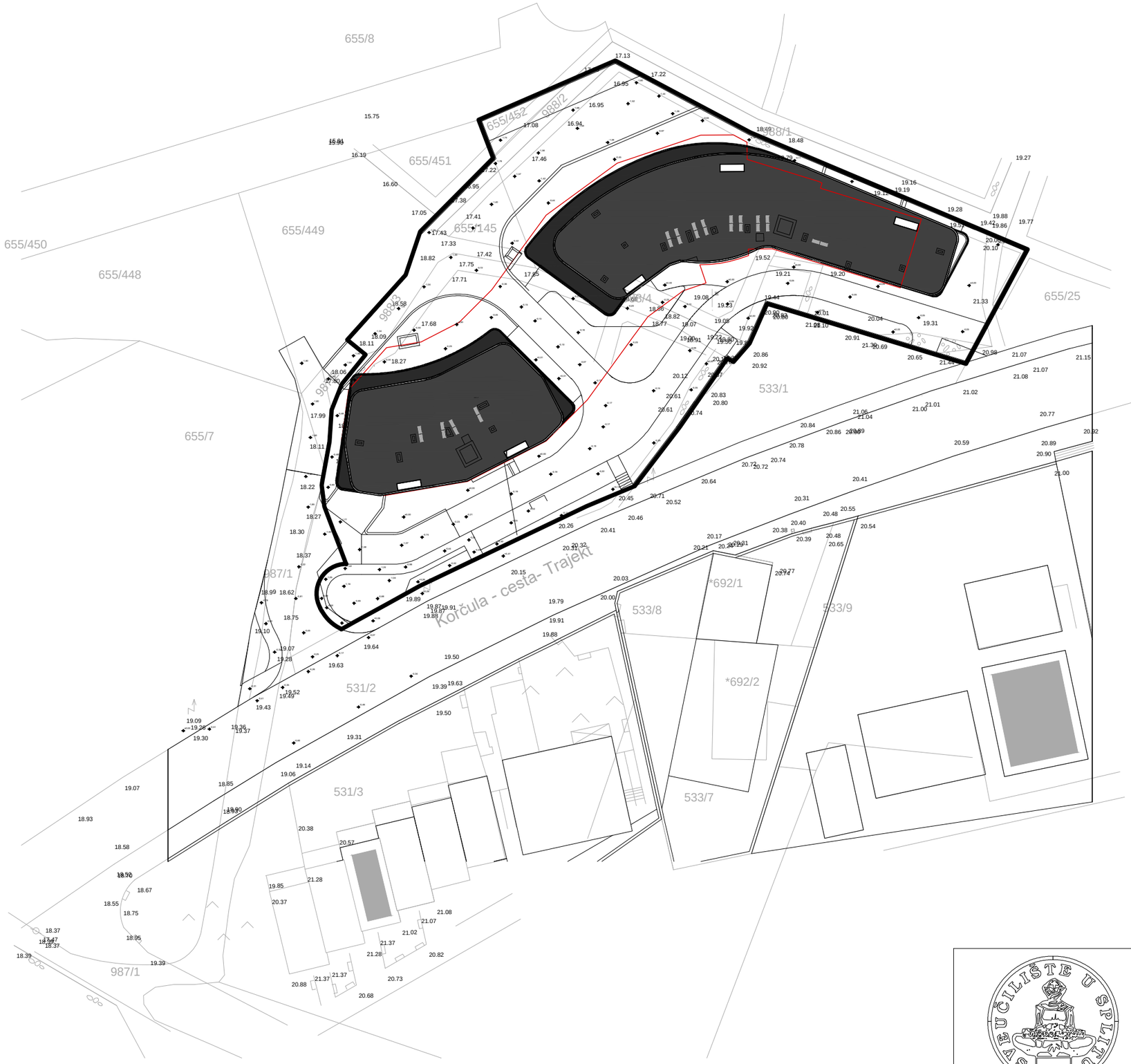
Prilog 10.11 - Plan armature ploče POZ 400 - donja zona M 1:50

Prilog 10.12 - Plan armature ploče POZ 400 - gornja zona M 1:50

Prilog 10.13 - Iskaz količine armature za ploču POZ 400

Prilog 10.14 - Plan armature grede POZ G401 M 1:25

Situacija
M 1:500



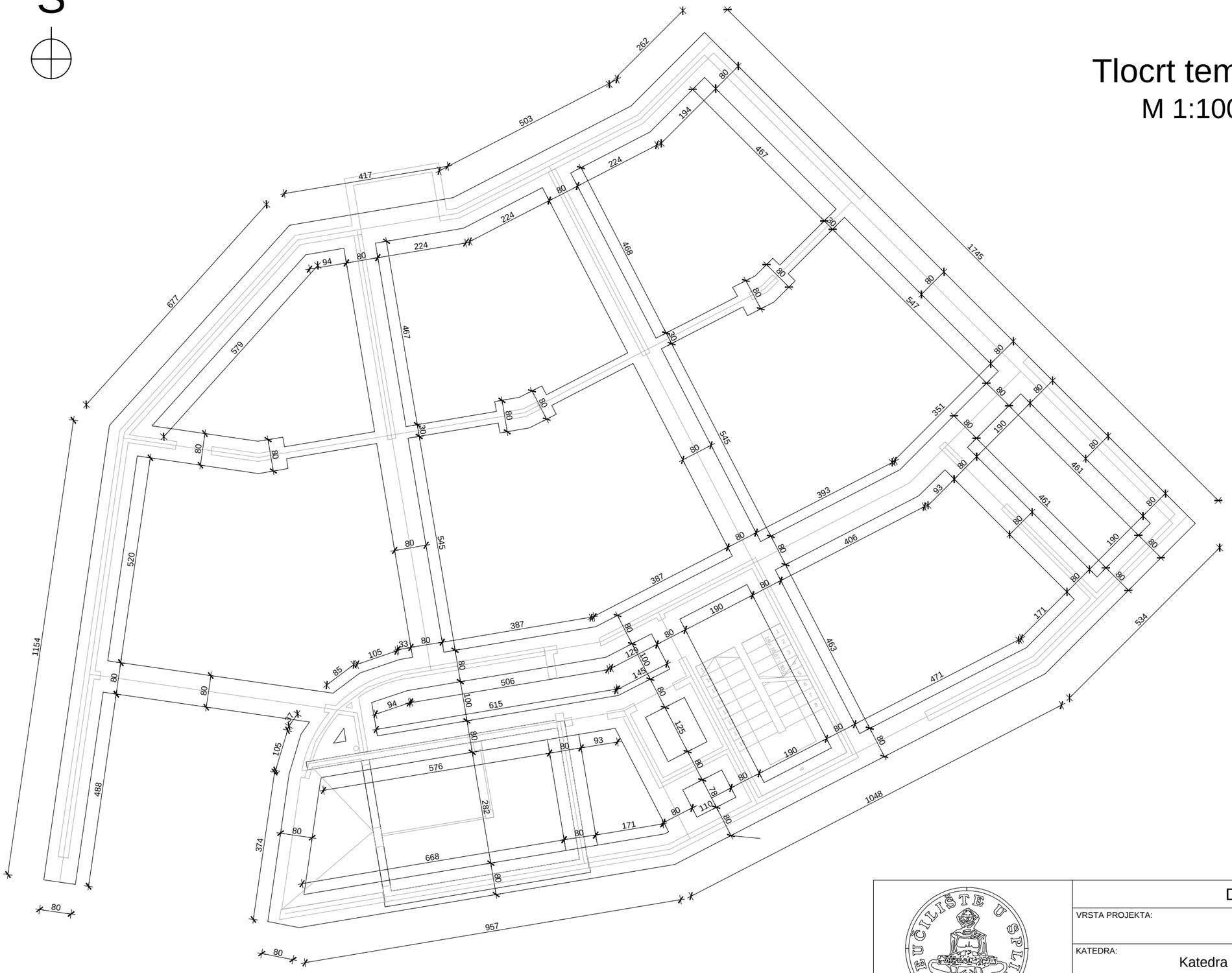
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD		
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt		
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove		
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić	
SADRŽAJ: Situacija	MJERILO: 1:500	
DATUM: rujan, 2019.	PRILOG: 9.1	

S

Tlocrt temelja

M 1:100

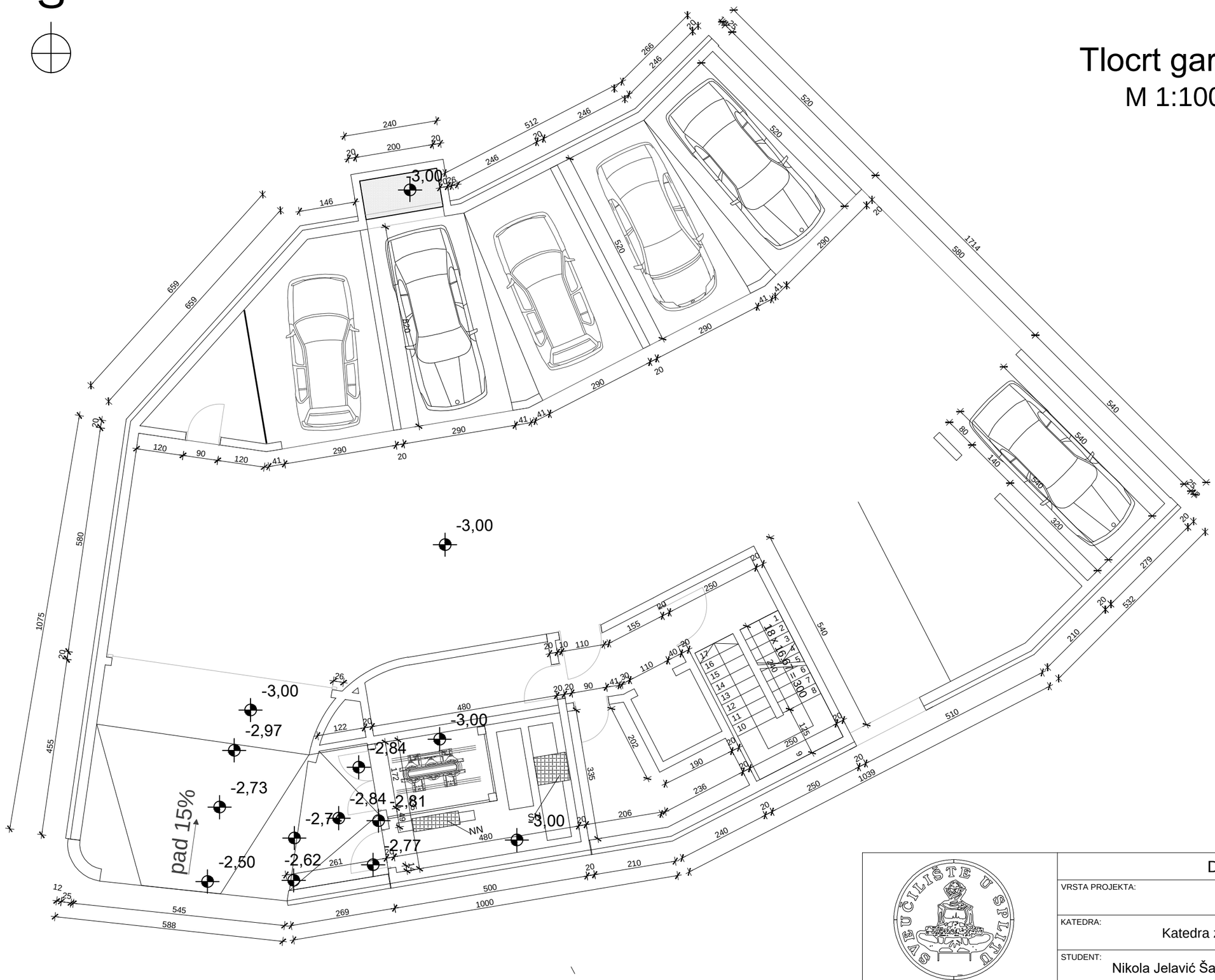


SVEUČILIŠTE U SPLITU	DIPLOMSKI RAD
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692 — MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić SADRŽAJ: Tlocrt temelja — MJERILO: 1:100 DATUM: rujan, 2019. — PRILOG: 9.2

S

Tlocrt garaže

M 1:100

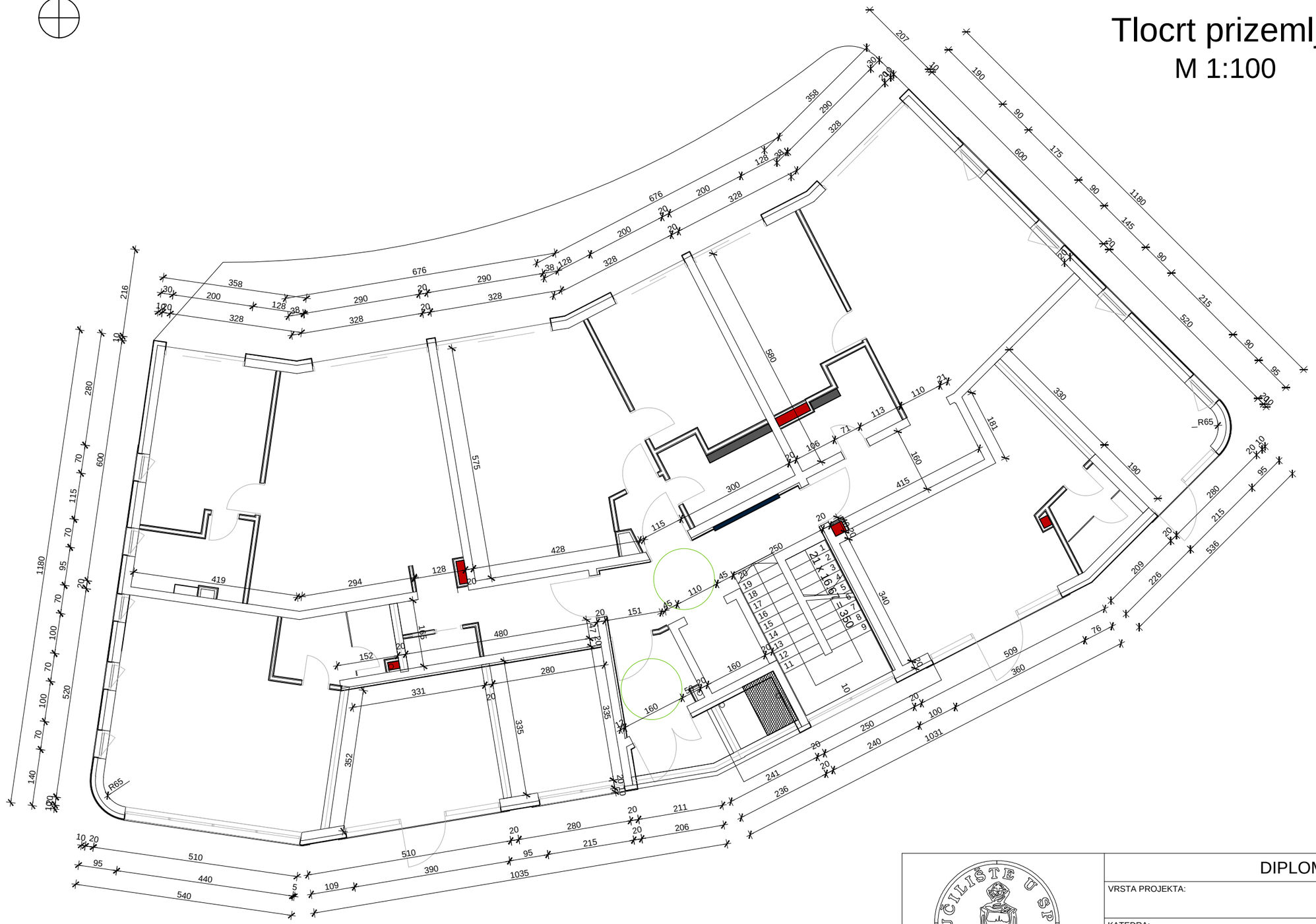


FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD
VRSTA PROJEKTA:	Glavni projekt
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić
SADRŽAJ: Tlocrt garaže	MJERILO: 1:100
DATUM: rujan, 2019.	PRILOG: 9.3

S

Tlocrt prizemlja

M 1:100



SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

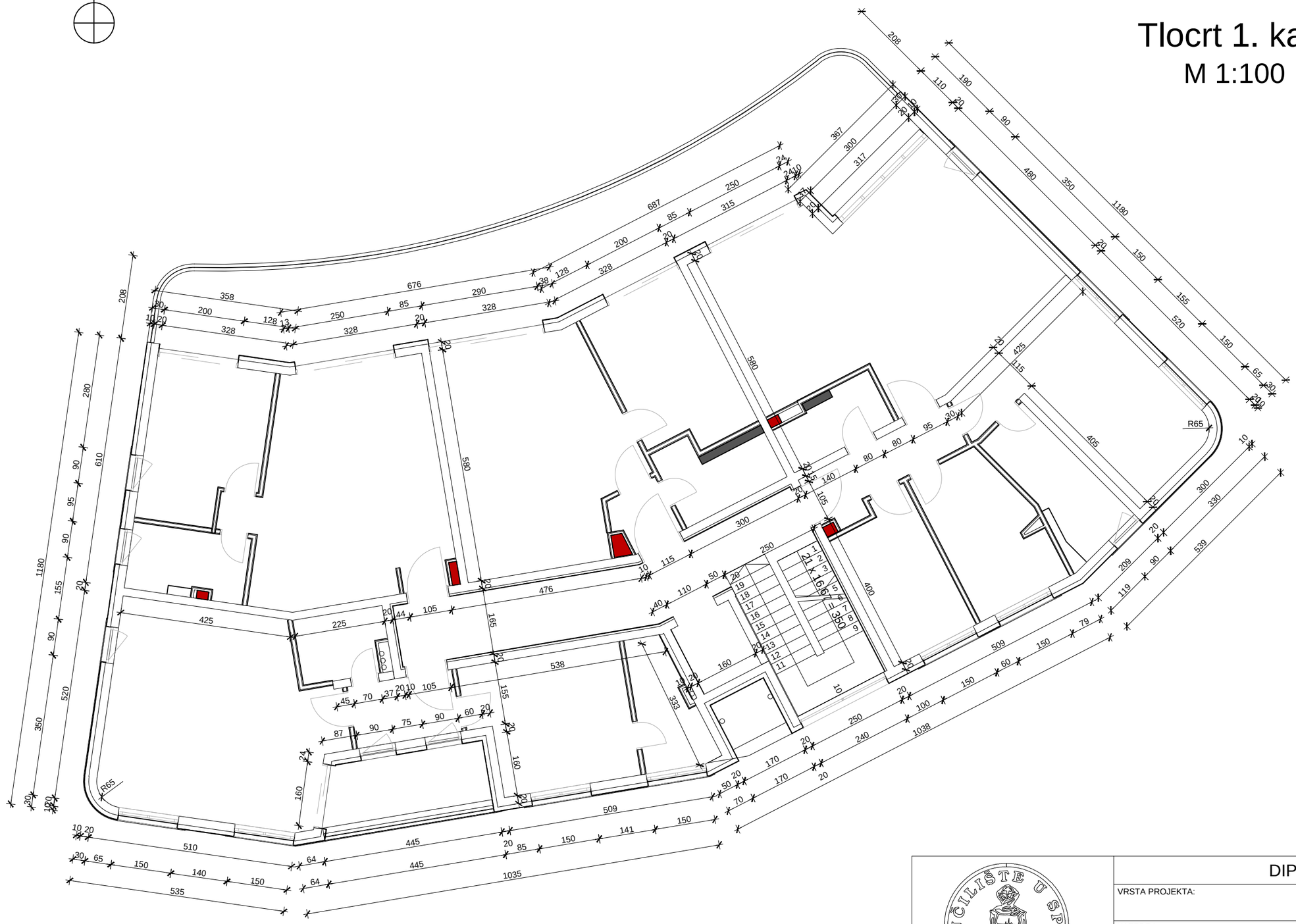
DIPLOMSKI RAD

VRSTA PROJEKTA:	Glavni projekt		
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove		
STUDENT:	Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR:	Doc. dr. sc. Nikola Grgić
SADRŽAJ:	Tlocrt prizemlja	MJERILO:	1:100
DATUM:	rujan, 2019.	PRILOG:	9.4

S

Tlocrt 1. kata

M 1:100

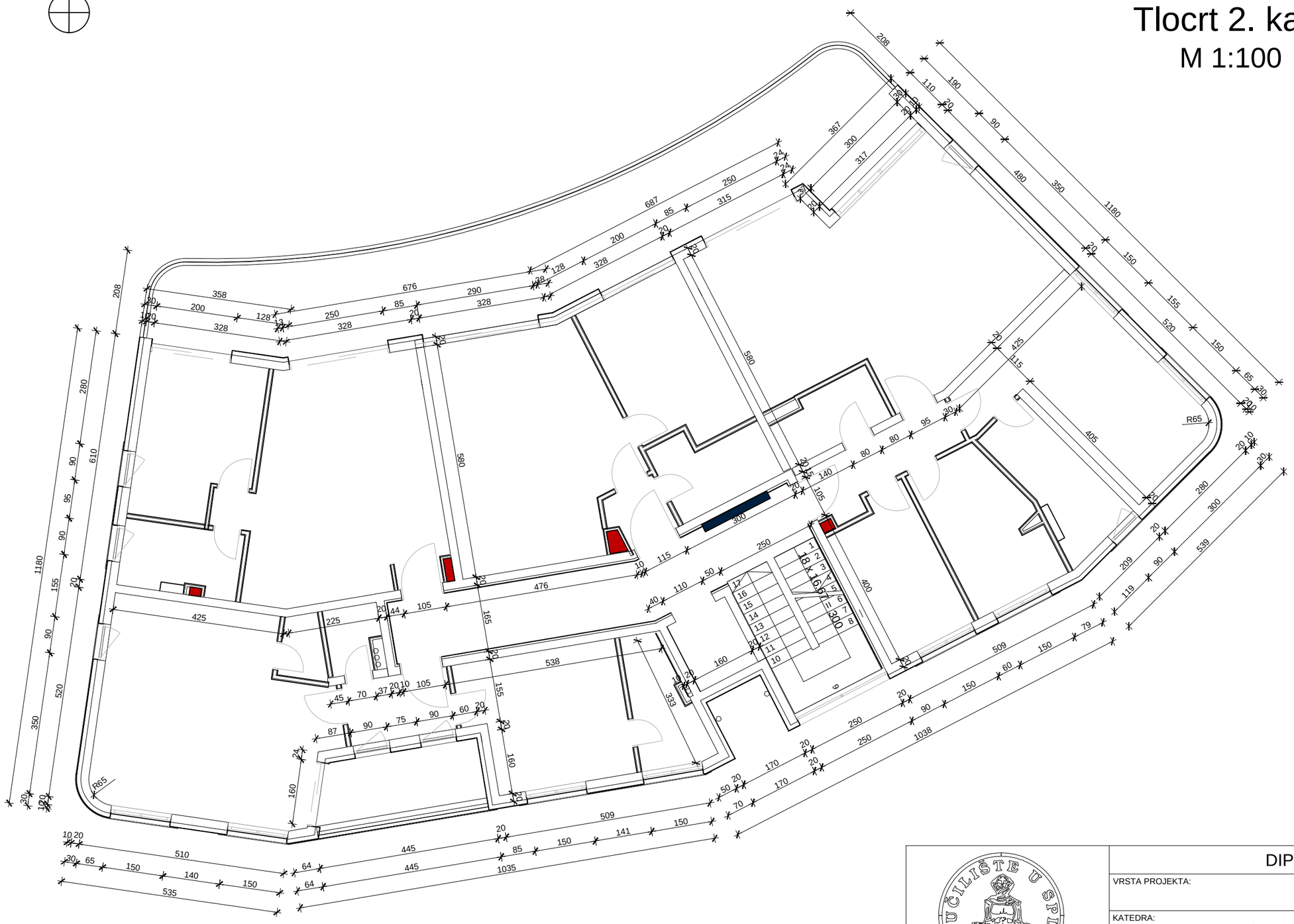


FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD
	VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt
	KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove
	STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692 — MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić
	SADRŽAJ: Tlocrt 1. kata — MJERILO: 1:100
	DATUM: rujan, 2019. — PRILOG: 9.5

S

Tlocrt 2. kata

M 1:100



	DIPLOMSKI RAD
VRSTA PROJEKTA:	Glavni projekt
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić
SADRŽAJ: Tlocrt 2. kata	MJERILO: 1:100
DATUM: rujan, 2019.	PRILOG: 9.6

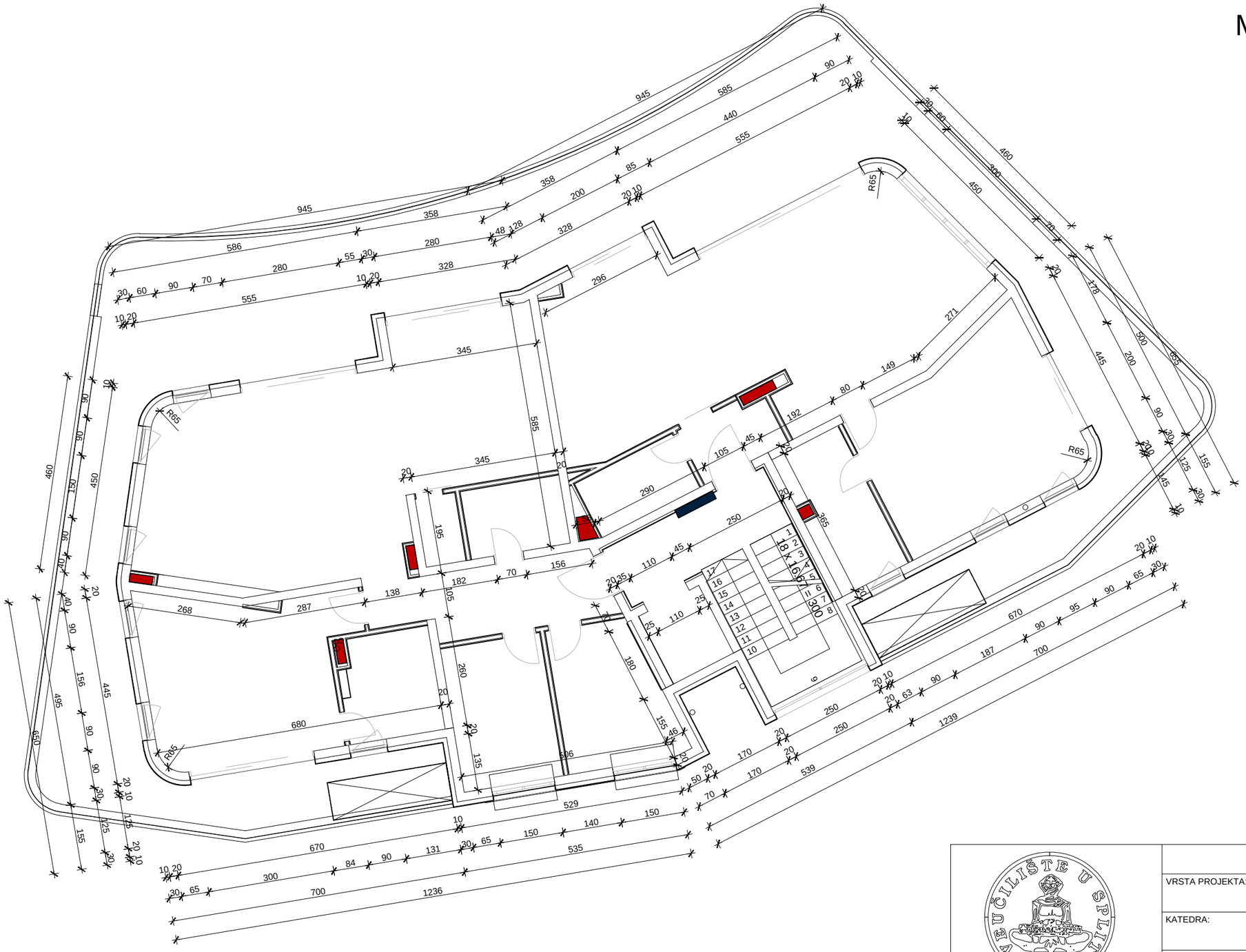
SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

S

Tlocrt 3. kata

M 1:100

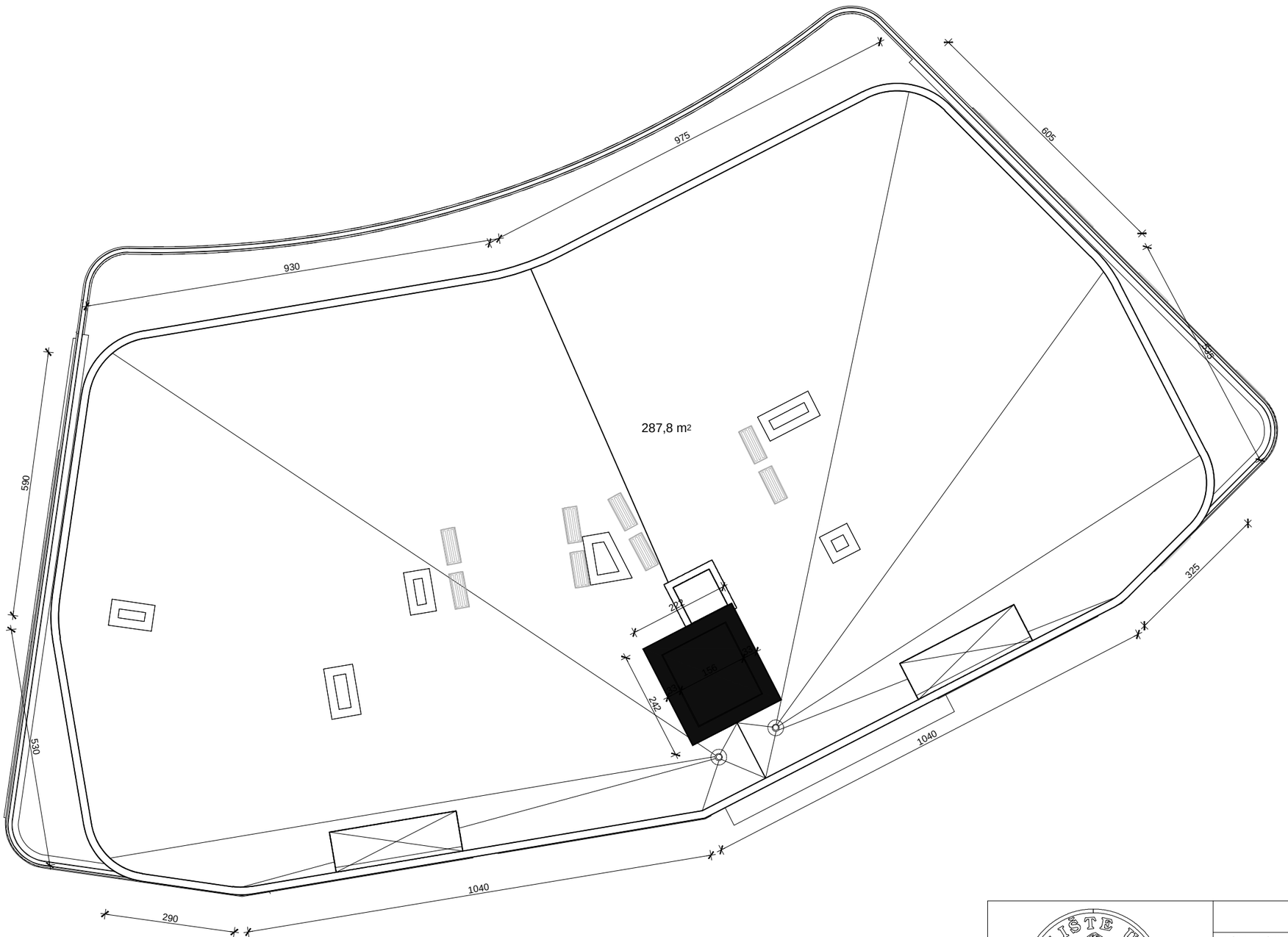


FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD
VRSTA PROJEKTA:	Glavni projekt
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić
SADRŽAJ: Tlocrt 3. kata	MJERILO: 1:100
DATUM: rujan, 2019.	PRILOG: 9.7

S

Tlocrt krova

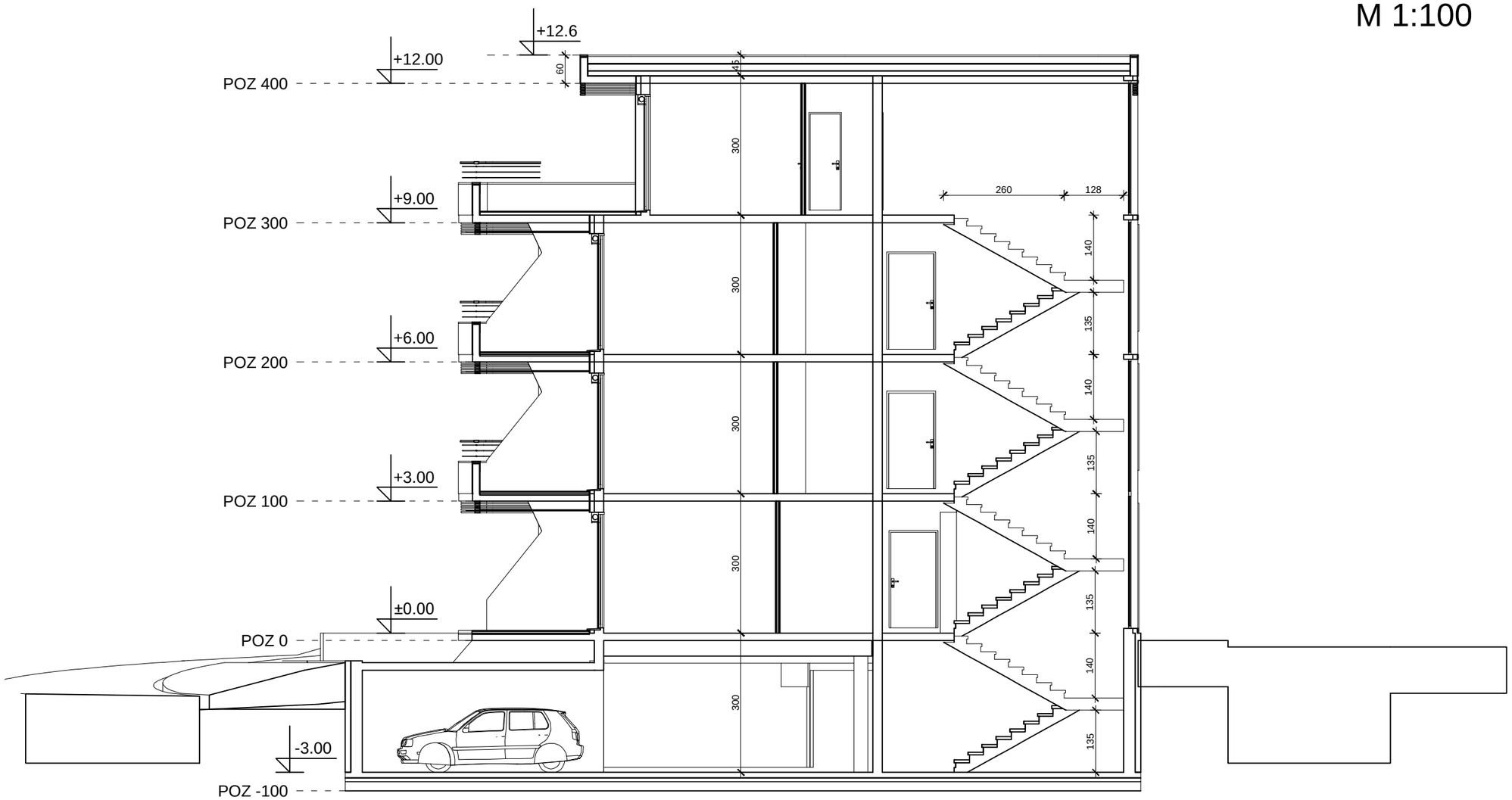
M 1:100



SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD
VRSTA PROJEKTA:	Glavni projekt
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić
SADRŽAJ: Tlocrt krova	MJERILO: 1:100
DATUM: rujan, 2019.	PRILOG: 9.8

Presjek A - A

M 1:100



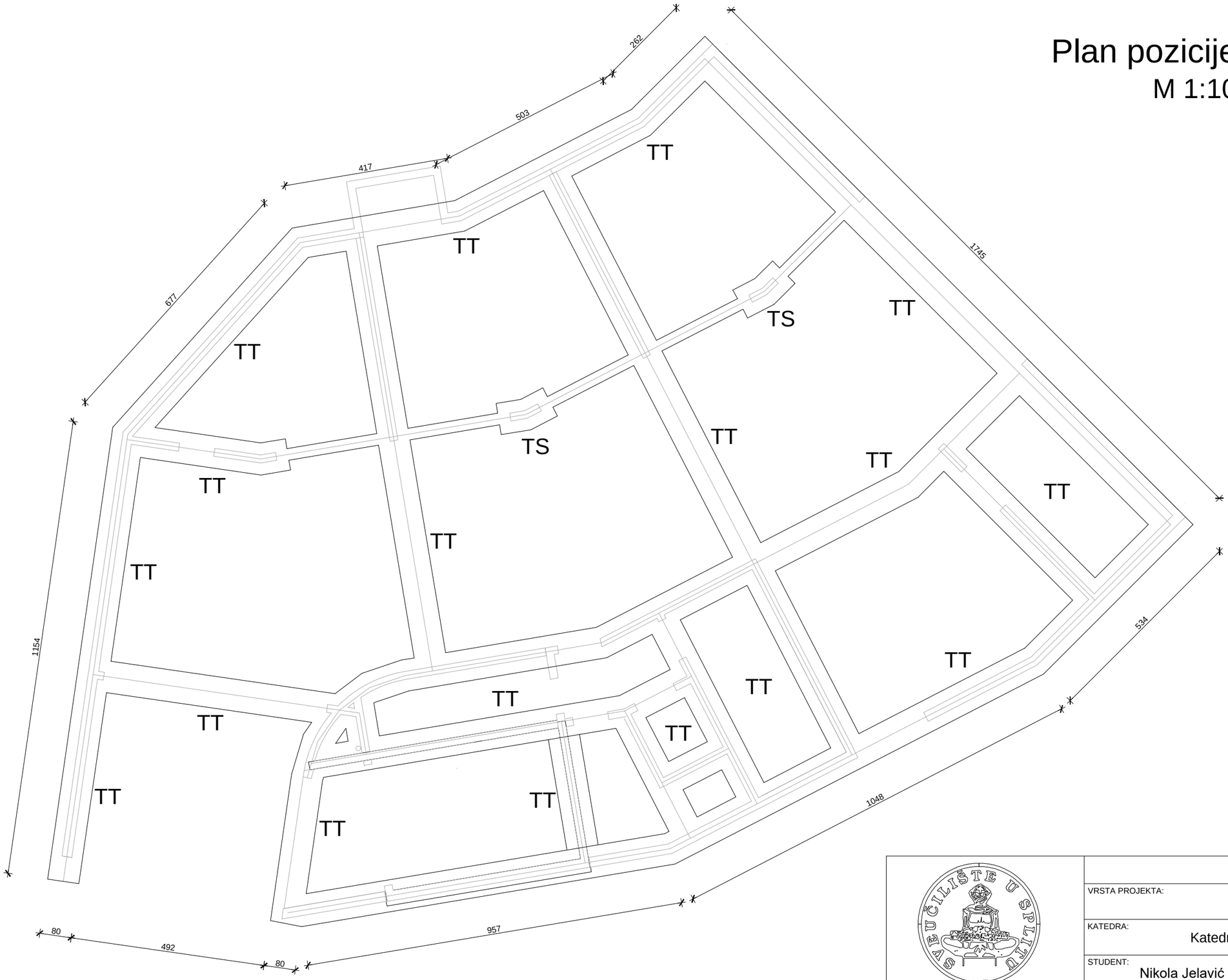
SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Presjek A - A		MJERILO: 1:100	
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG: 9.9	

Plan pozicije temelja

M 1:100



TT - temeljna traka

TS - temelj samac

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan pozicije temelja		MJERILO: 1:100	
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG: 9.10	

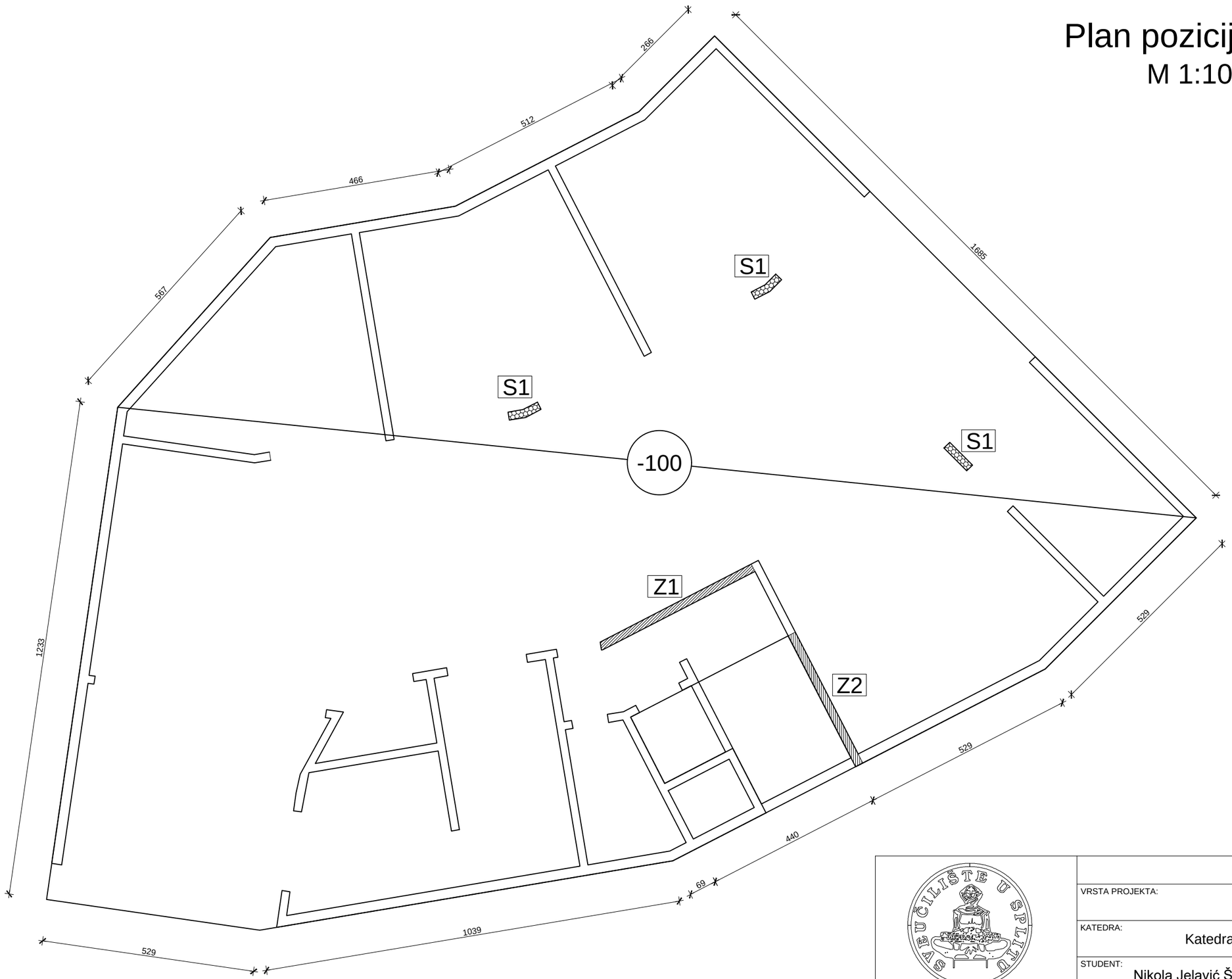
Plan pozicije -100

M 1:100

P - ploča

S - stup

Z - zid

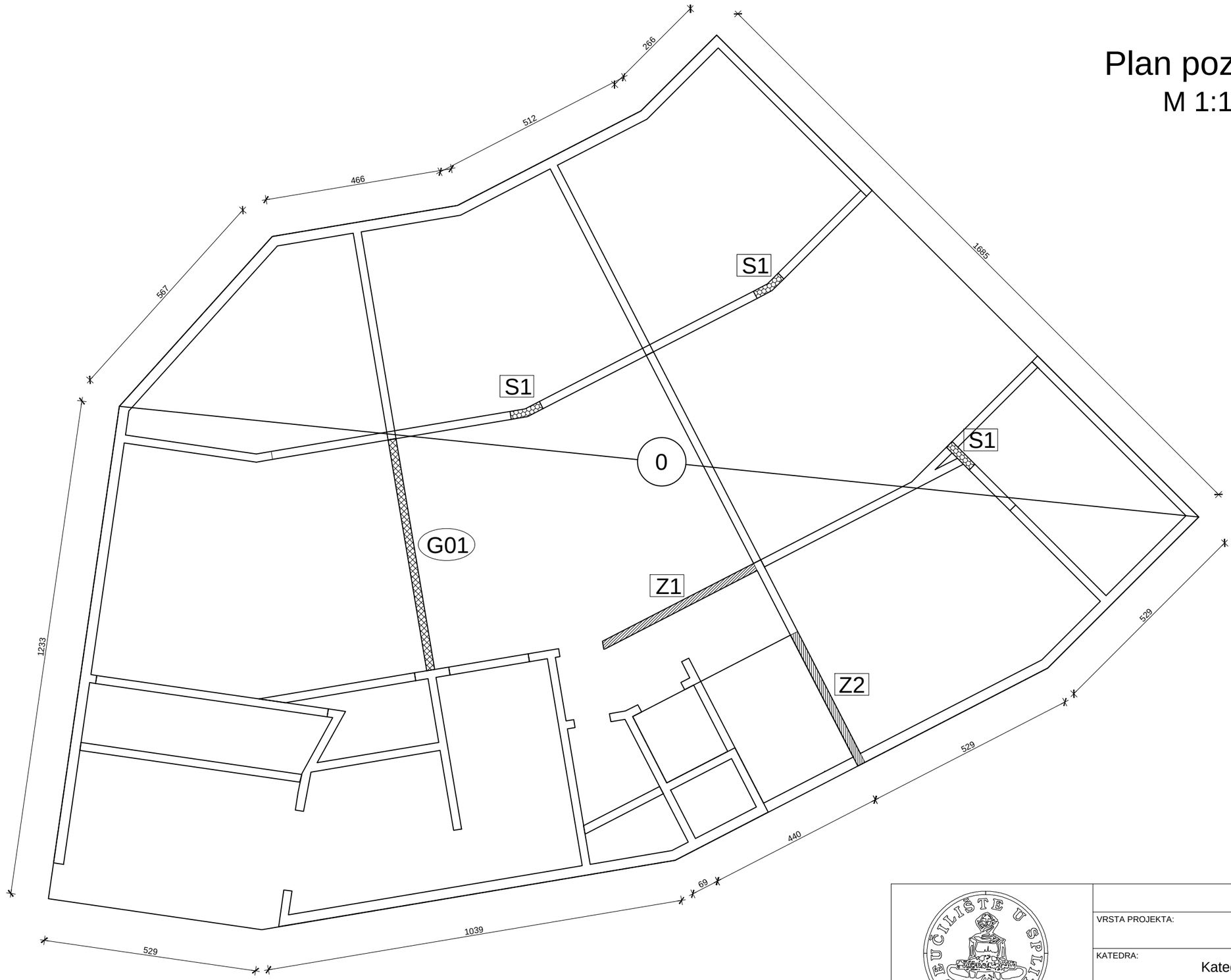


FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan pozicije -100		MJERILO: 1:100	
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG: 9.11	

Plan pozicije 0

M 1:100



P - ploča

S - stup

Z - zid

G - greda

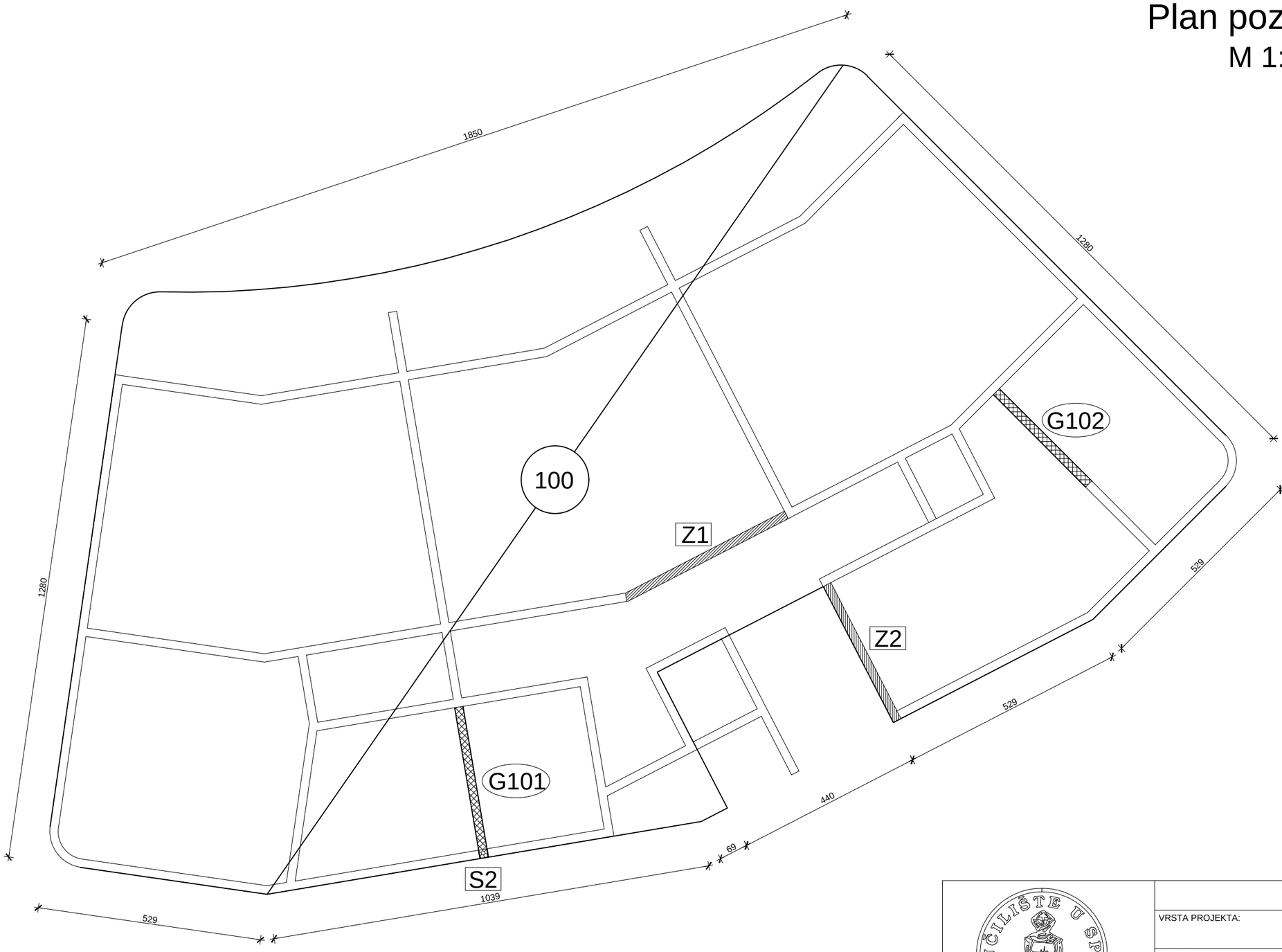
SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA:	Glavni projekt		
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove		
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692		MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić	
SADRŽAJ: Plan pozicije 0		MJERILO:	1:100
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG:	9.12

Plan pozicije 100

M 1:100



P - ploča

S - stup

Z - zid

G - greda

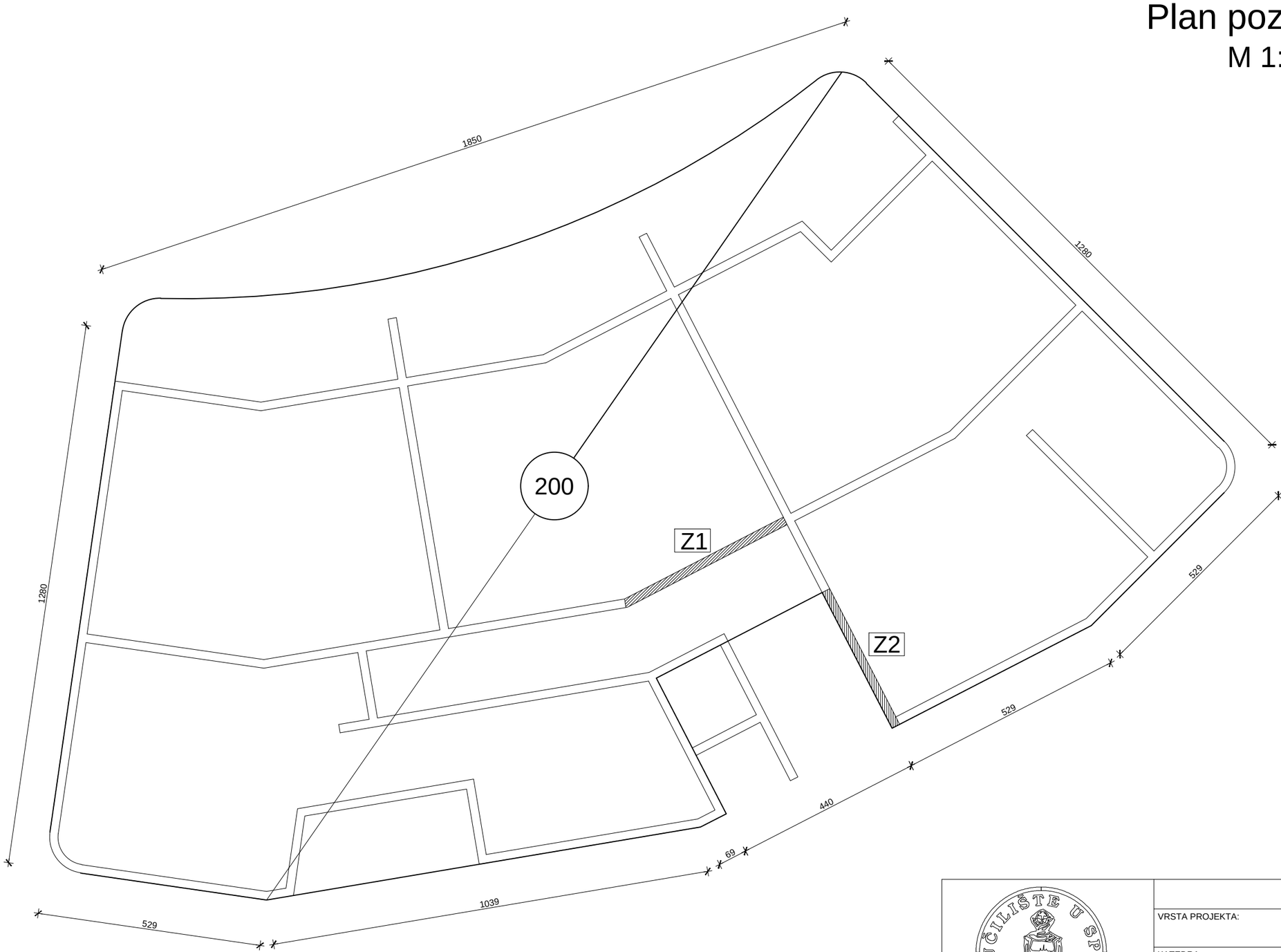
SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan pozicije 100		MJERILO:	1:100
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG:	9.13

Plan pozicije 200

M 1:100



P - ploča

Z - zid

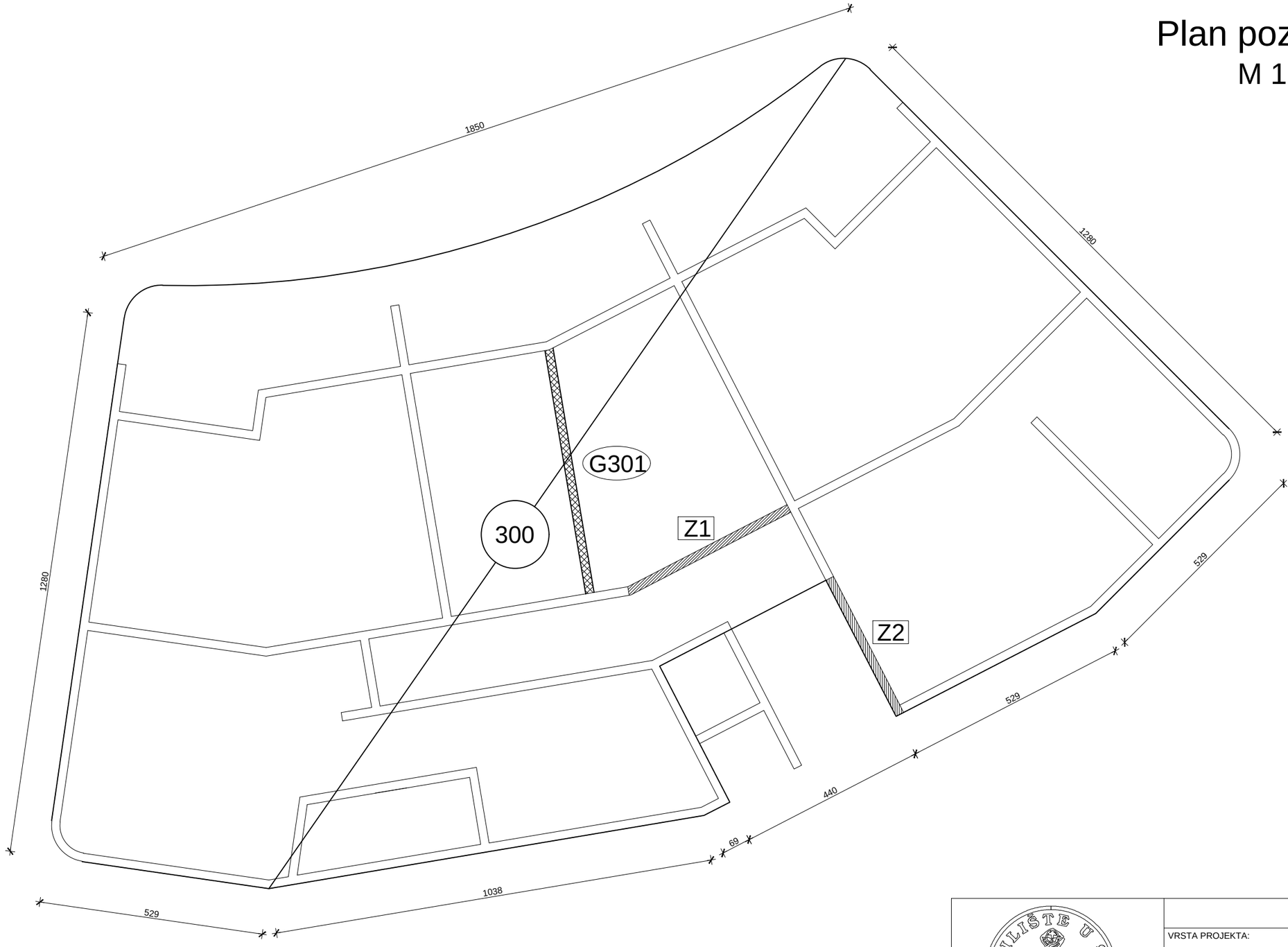
SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA:	Glavni projekt		
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove		
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692		MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić	
SADRŽAJ: Plan pozicije 100		MJERILO:	1:100
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG:	9.14

Plan pozicije 300

M 1:100



P - ploča

Z - zid

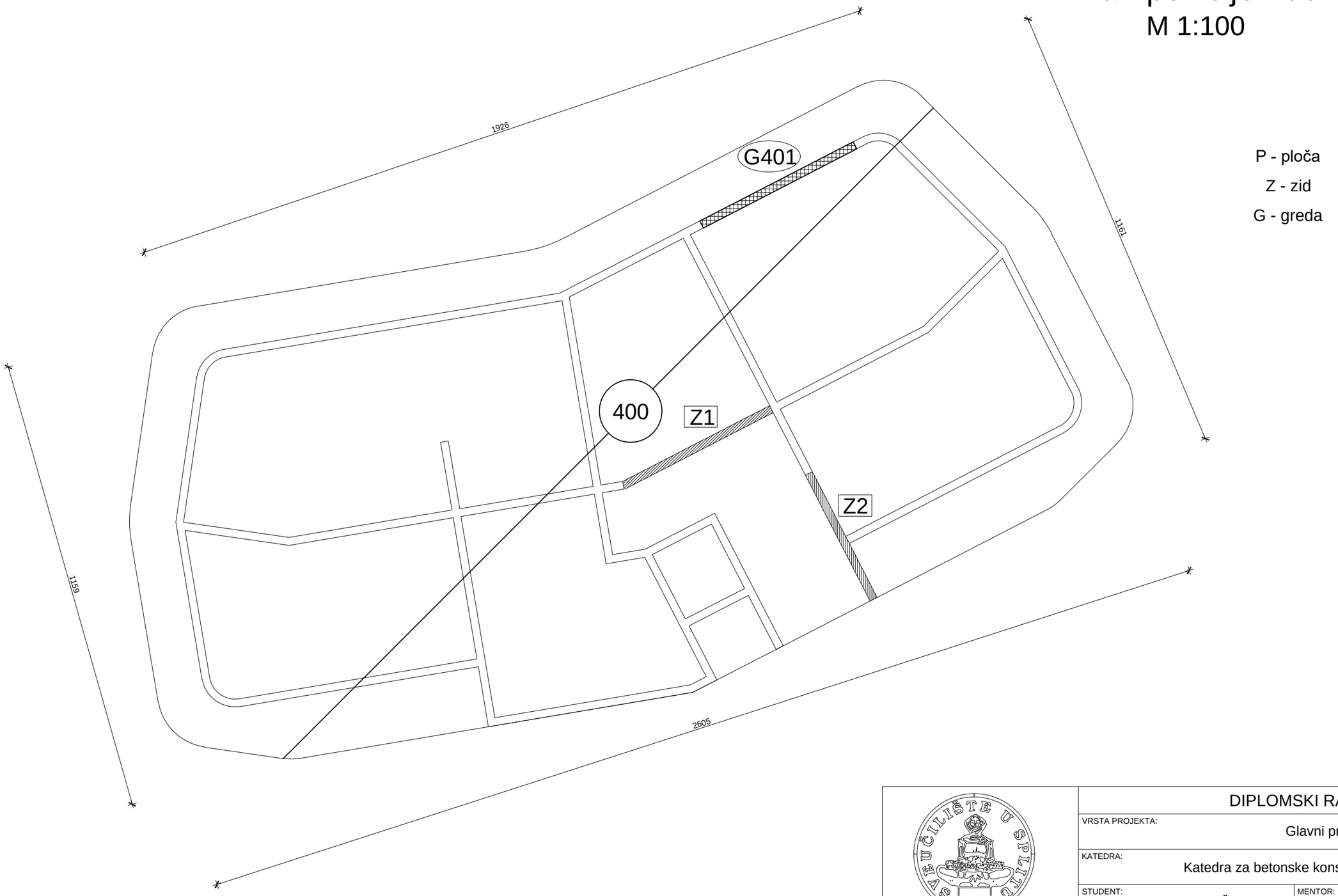
G - greda

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan pozicije 300		MJERILO:	1:100
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG:	9.15

Plan pozicije 400

M 1:100



P - ploča

Z - zid

G - greda

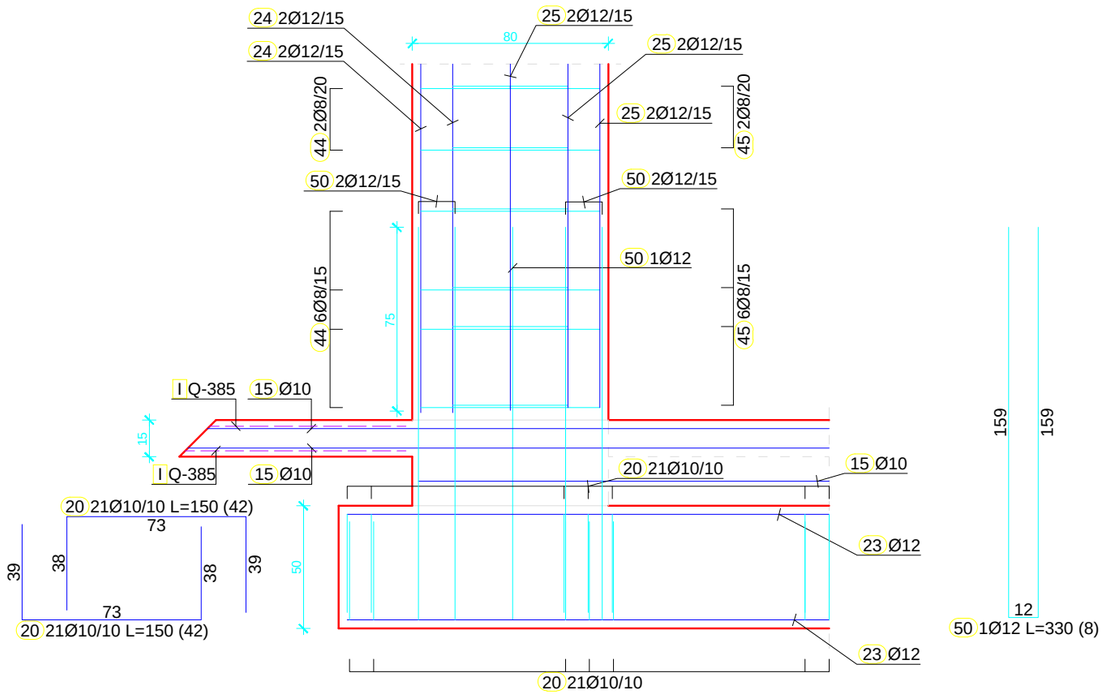
SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

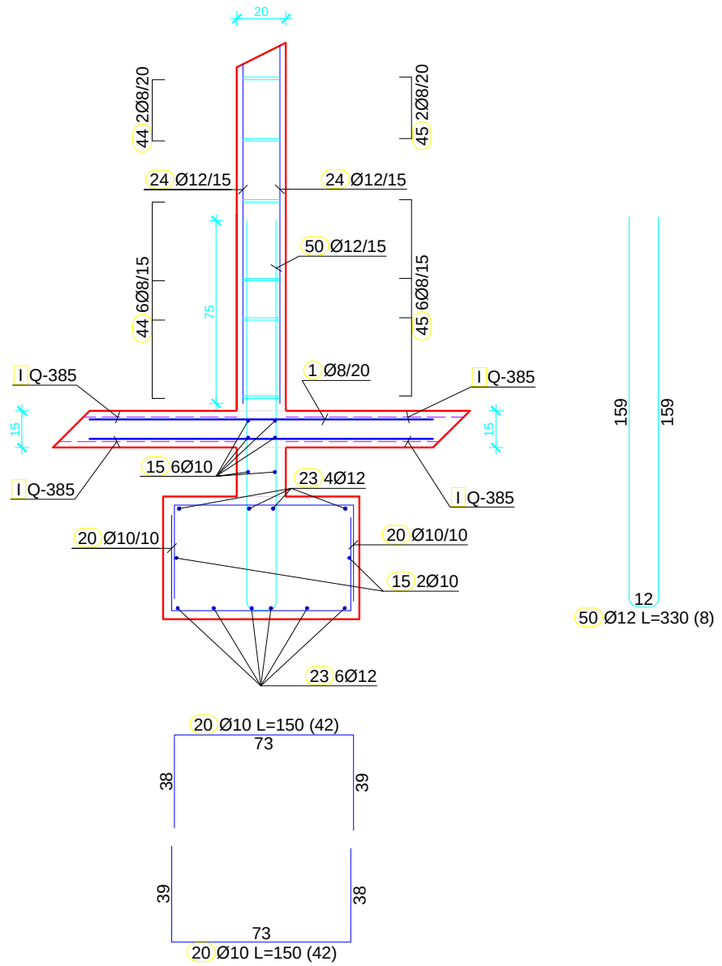
DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan pozicije 400		MJERILO: 1:100	
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG: 9.16	

Plan armature temelja
M 1:25

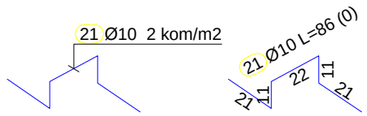
Presjek 1 kroz temelj samac



Presjek 2 kroz temelj samac



Jahači za gornju zonu
M 1:25



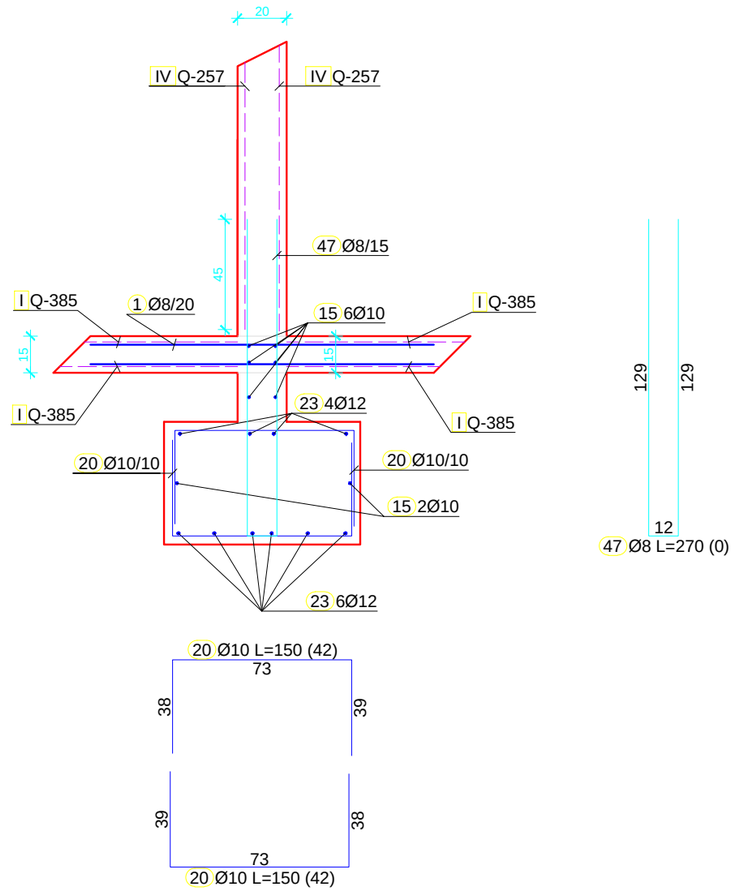
MATERIJAL:
*Beton C 30/37
*Armatura B 500B
*Zaštitni slojevi: c = 3.5 cm - temeljne trake
c = 2.5 cm - temeljna ploča
*Minimalni preklop armature:
-šipke p=60Ø
-mreže: Q 385 p=50 cm

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

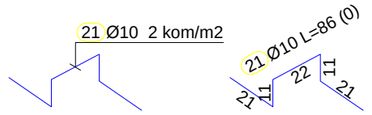
DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA:	Glavni projekt		
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove		
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan armature temelja		MJERILO: 1:25	
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG: 10.1	

Plan armature temelja
M 1:25

Presjek kroz temeljnu traku



Jahači za gornju zonu
M 1:25



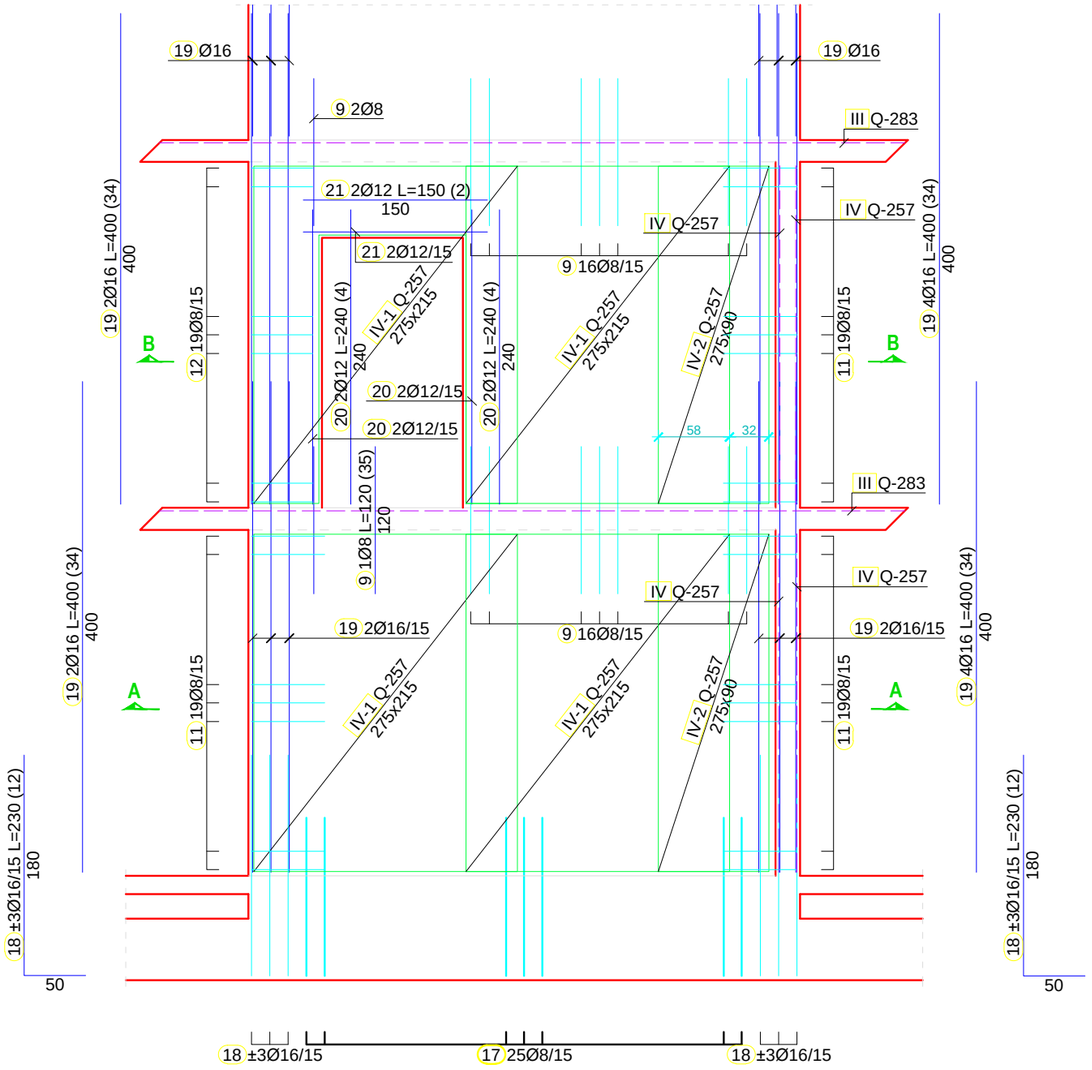
MATERIJAL:
*Beton C 30/37
*Armatura B 500B
*Zaštitni slojevi: c = 3.5 cm - temeljne trake
c = 2.5 cm - temeljna ploča
*Minimalni preklop armature
-šipke p=60Ø
-mreže: Q 385 p=50 cm, Q 257 p=45 cm

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

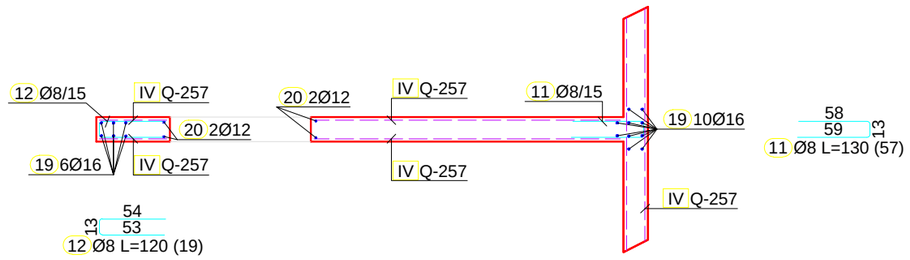
DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan armature temelja		MJERILO: 1:25	
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG: 10.2	

Plan armature zida Z_1

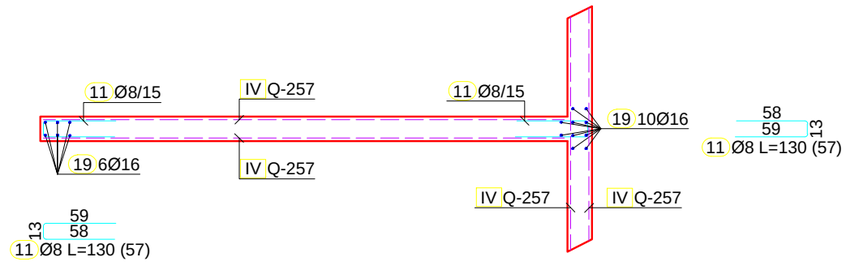
M 1:50



Presjek B - B



Presjek A - A



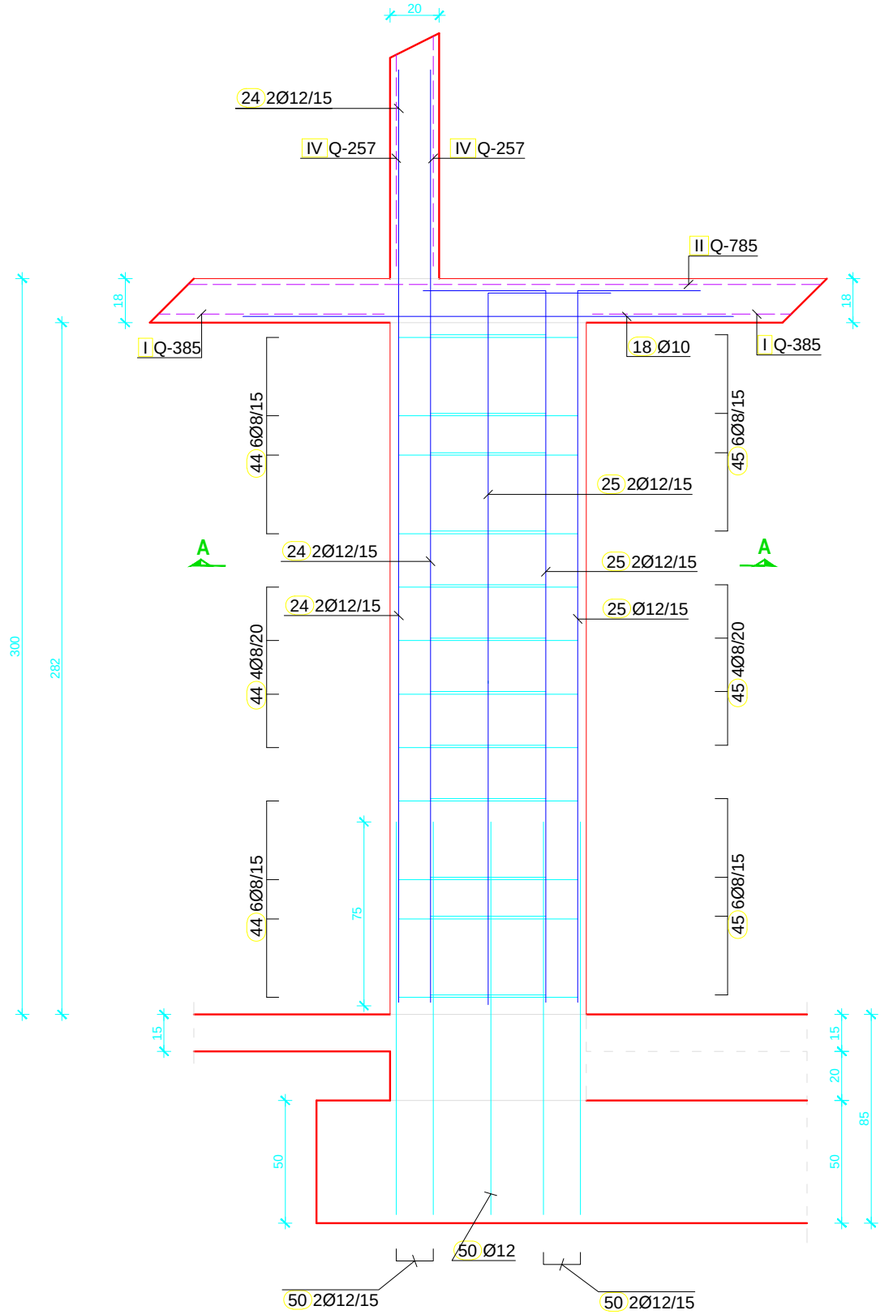
SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

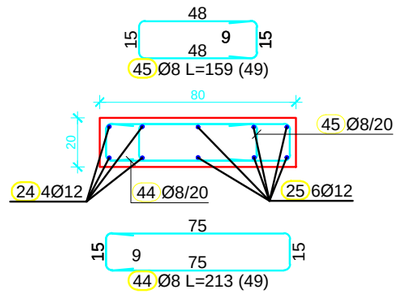
DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan armature zida Z_1		MJERILO: 1:50	
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG: 10.3	

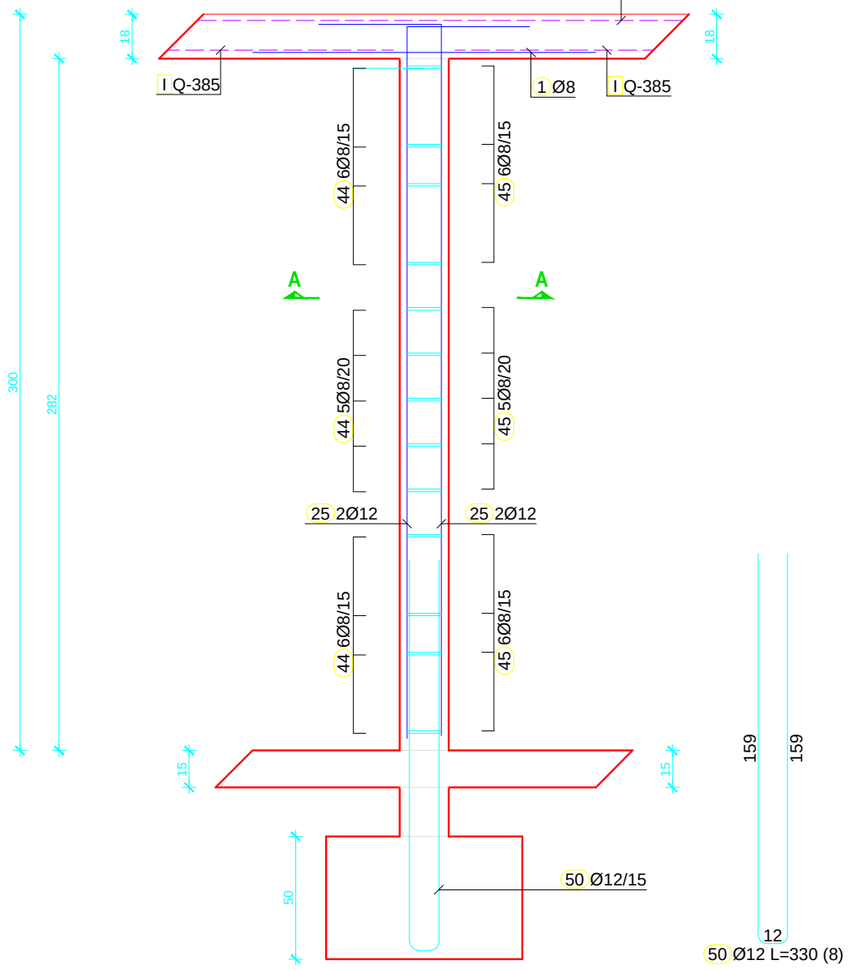
Plan armature stupa S_1

M 1:25



Presjek A - A





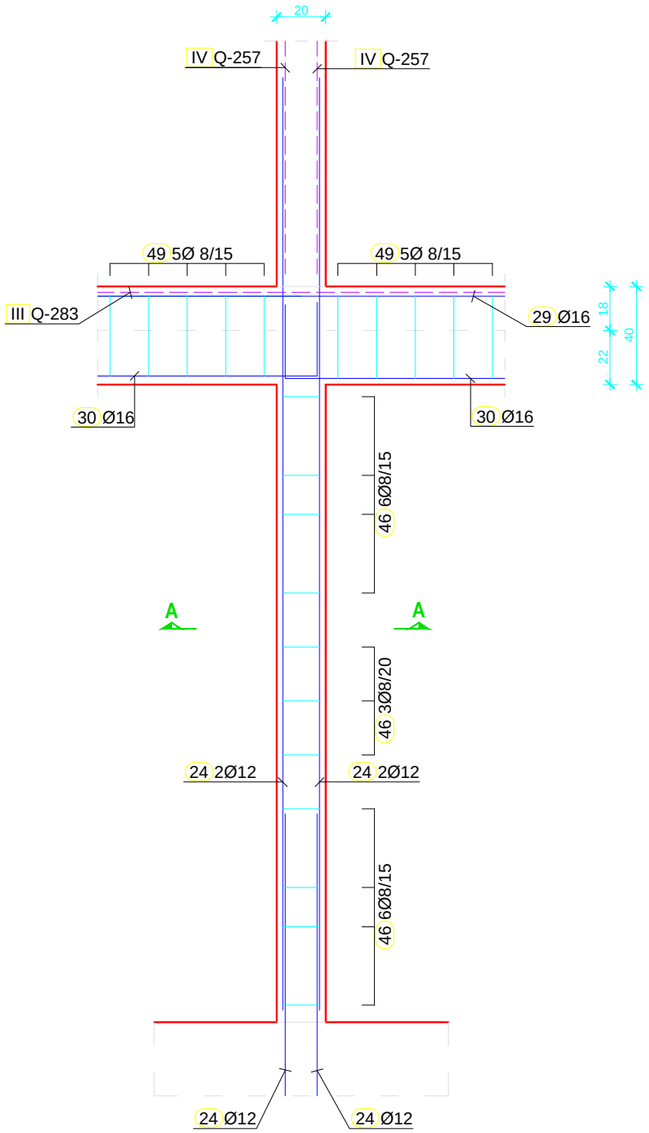
SVEUČILIŠTE U SPLITU

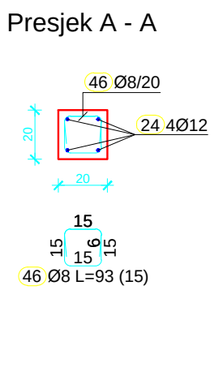
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

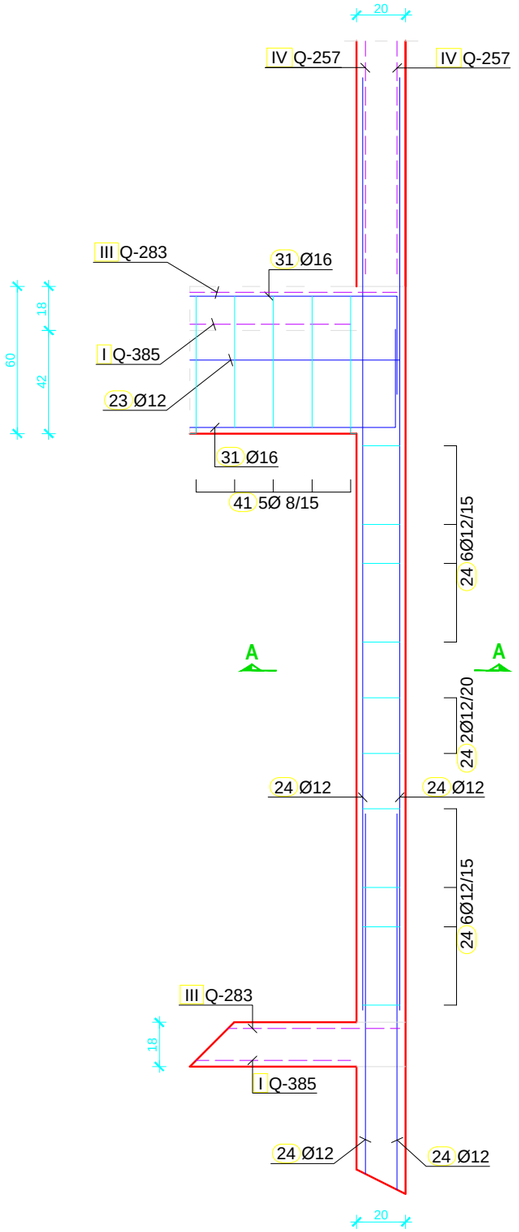
DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA:	Glavni projekt		
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove		
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692		MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić	
SADRŽAJ:	Plan armature stupa S_1	MJERILO:	1:25
DATUM:	rujan, 2019.	PRILOG:	10.4

Plan armature stupa S_2

M 1:25







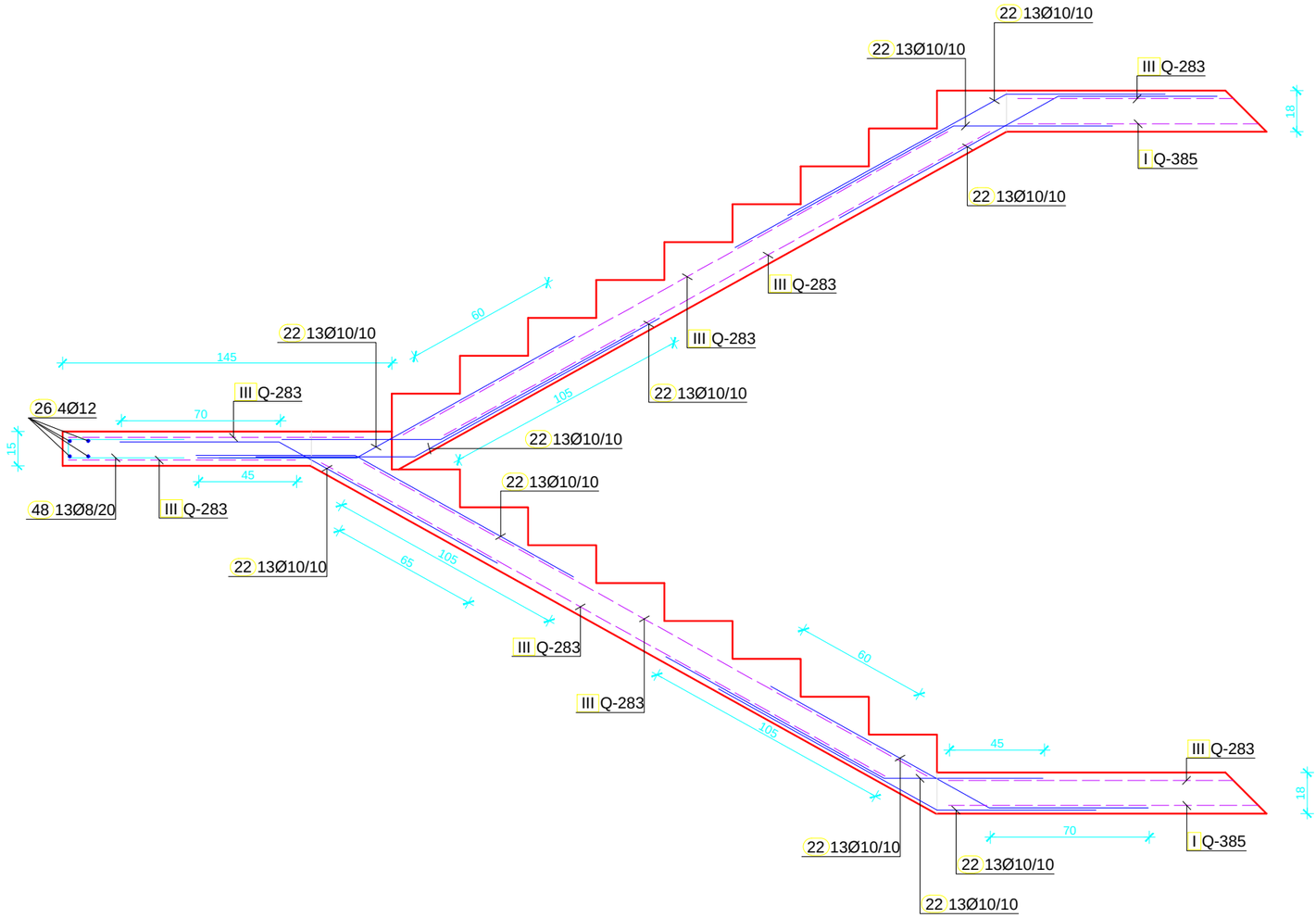
SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan armature stupa S_2		MJERILO:	1:25
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG:	10.5

Plan armature stubišta

M 1:25



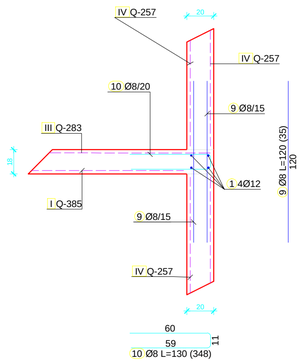
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan armature stubišta		MJERILO: 1:25	
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG: 10.6	

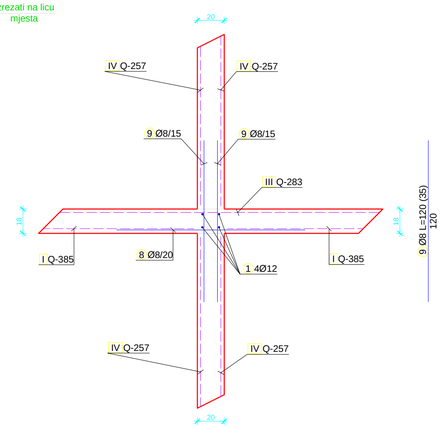
Plan armature ploče
POZ 300 - donja zona
M 1:50

Presjek 1 - 1 (spoj zidova)
M 1:25

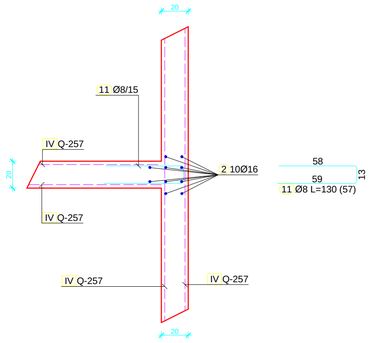
Presjek B - B
M 1:25



Presjek A - A
M 1:25



Presjek 2 - 2 (spoj zidova)
M 1:25



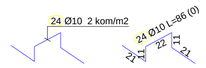
MATERIJAL:
*Beton C 30/37
*Armatura B 500B
*Zaštitni slojevi c = 2.5 cm
*Minimalni preklop armature:
-šipke p=60Ø
-mreže: Q 385 p=50 cm, Q 785 p=60 cm, Q 283 p=40 cm

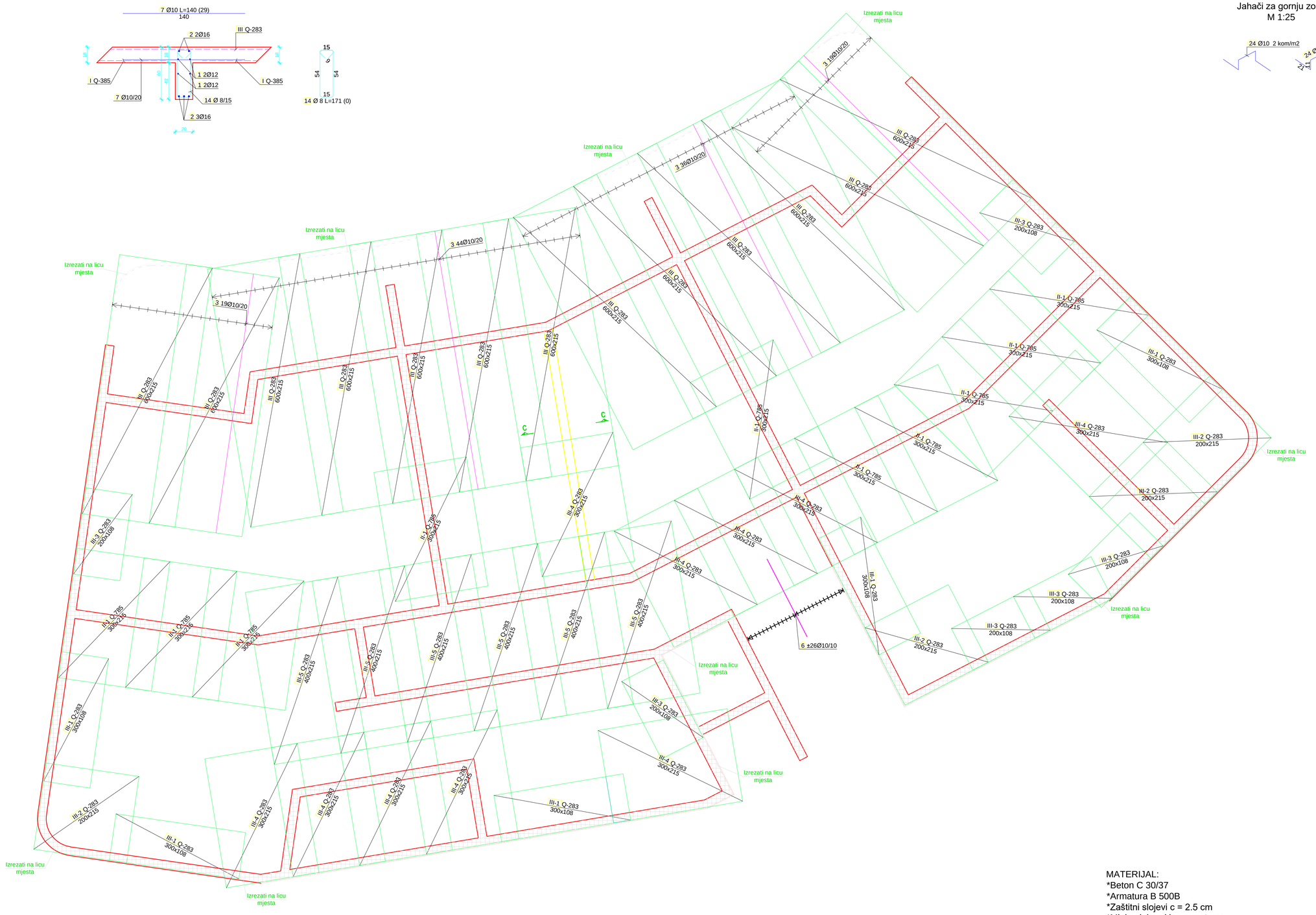
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD		
	VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt		
	KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove		
	STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić	
	SADRŽAJ: Plan armature ploče POZ 300 donja zona	MJERILO: 1:50	
	DATUM: rujan, 2019.	PRILOG: 10.7	

Plan armature ploče
POZ 300 - gornja zona
M 1:50

Presjek C - C (greda u polju)
M 1:25

Jahači za gornju zonu
M 1:25





MATERIJAL:
*Beton C 30/37
*Armatura B 500B
*Zaštitni slojevi c = 2.5 cm
*Minimalni preklop armature:
-šipke p=60Ø
-mreže: Q 385 p=50 cm, Q 785 p=60 cm, Q 283 p=40 cm

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD		
	VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt		
	KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove		
	STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić	
	SADRŽAJ: Plan armature ploče POZ 300 gornja zona	MJERILO: 1:50	
	DATUM: rujan, 2019.	PRILOG: 10.8	

Iskaz količine armature za ploču POZ 300

Šipke - specifikacija					
ozn	oblik i mjere [cm]	Ø	lg [m]	n [kom]	lgn [m]
POZ 300 (1 kom)					
3	600	10	6.00	118	708.00
4	400	10	4.00	11	44.00
5	300	10	3.00	11	33.00
6	200	10	2.00	81	162.00
7	140	10	1.40	29	40.60
8	140	8	1.40	421	589.40
10	59 / 11 / 60	8	1.30	290	377.00

Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m']	Težina [kg]
RA1			
8	0.00	0.41	0.00
8	966.40	0.41	395.26
10	987.60	0.65	640.95
12	0.00	0.92	0.00
16	0.00	1.62	0.00
Ukupno			1036.21

Mreže - rekapitulacija					
Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	n	Jedinična težina [kg/m2]	Ukupna težina [kg]
Q-385	215	600	34	6.12	2684.23
Q-785	215	600	5	12.49	805.60
Q-283	215	600	26	4.50	1509.30
Ukupno					4999.14

Mreže - specifikacija						
Pozicija	Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	n	Jedinična težina [kg/m2]	Ukupna težina [kg]
POZ 300 (1 kom)						
I-1	Q-385	215	510	3	6.12	201.32
I-2	Q-385	150	330	1	6.12	30.33
I-3	Q-385	215	270	2	6.12	71.05
I-4	Q-385	215	510	5	6.12	335.53
I-5	Q-385	180	270	1	6.12	29.74
I-6	Q-385	215	330	4	6.12	173.69
I-7	Q-385	150	600	2	6.12	110.16
I-8	Q-385	215	470	4	6.12	247.37
I-9	Q-385	215	300	8	6.12	315.79
I-10	Q-385	215	440	7	6.12	405.27
I-11	Q-385	215	370	1	6.12	48.68
I-12	Q-385	215	470	2	6.12	123.69
I-13	Q-385	150	425	1	6.12	39.05
II-1	Q-785	215	300	10	12.49	805.60
III	Q-283	215	600	13	4.50	754.65
III-1	Q-283	108	300	5	4.50	72.56
III-2	Q-283	215	200	4	4.50	77.40
III-3	Q-283	108	200	6	4.50	58.05
III-4	Q-283	215	300	10	4.50	290.25
III-5	Q-283	215	400	6	4.50	232.20
Ukupno						4422.39

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt

KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove

STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692

MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić

SADRŽAJ: Iskaz količine armature za ploču POZ 300

MJERILO: 1:50

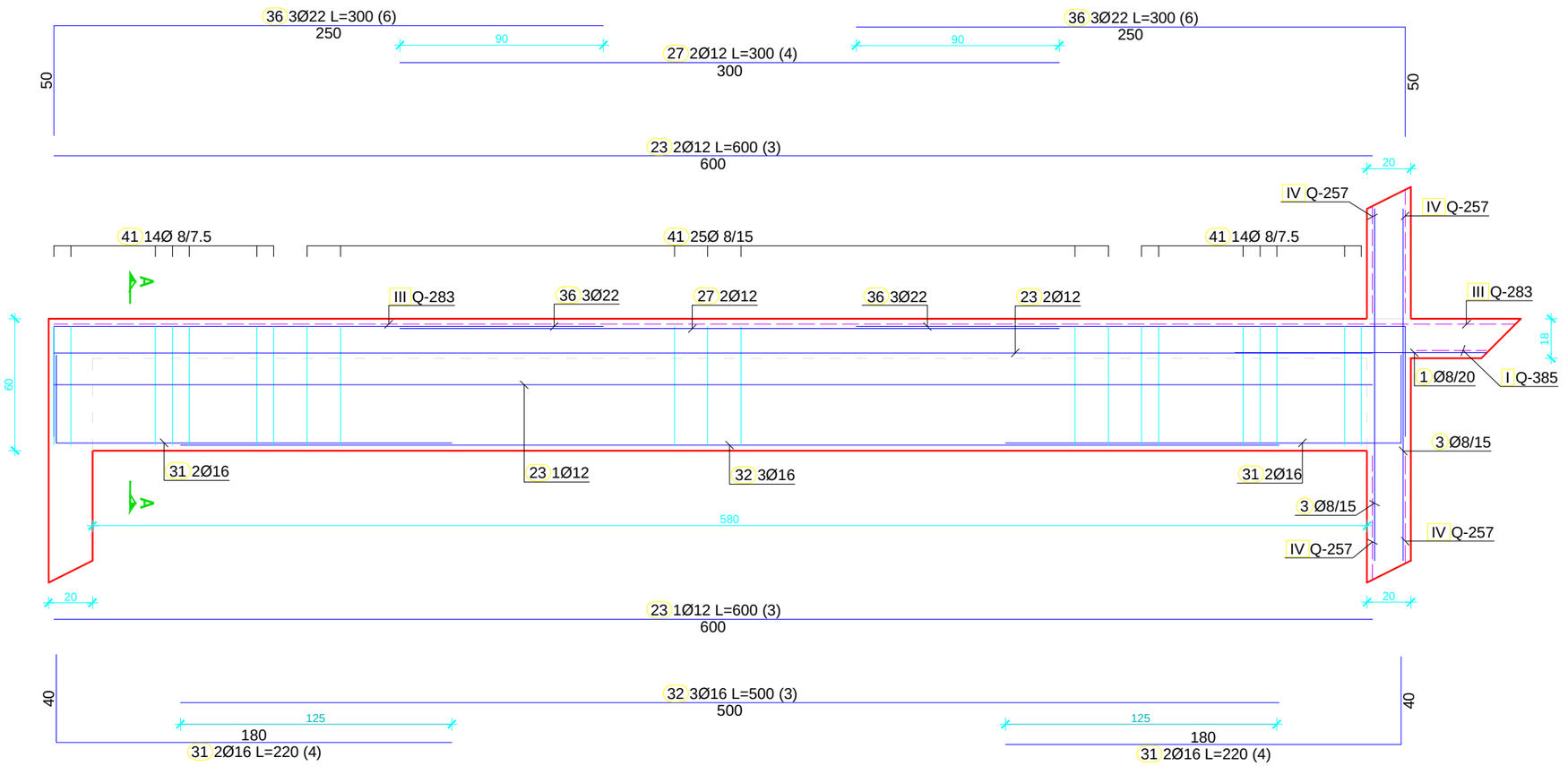
DATUM: rujan, 2019.

PRILOG: 10.9

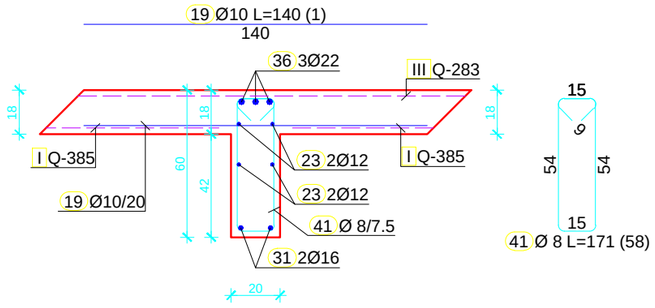
Plan armature grede POZ G301

M 1:25

Uzdužni presjek grede



Presjek A - A (na ležaju)



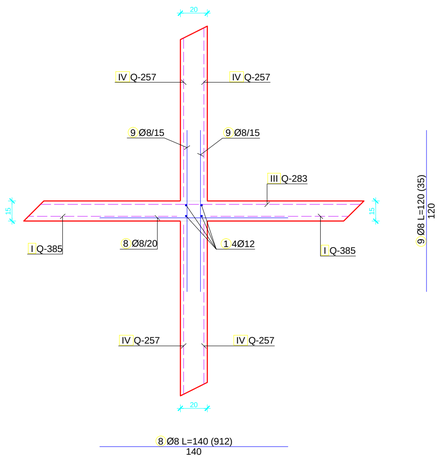
SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

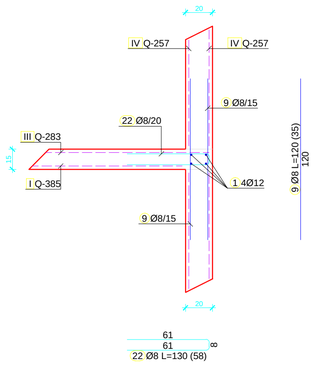
DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan armature grede POZ G301		MJERILO:	1:25
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG:	10.10

Plan armature ploče
POZ 400 - donja zona
M 1:50

Presjek B - B
M 1:25



Presjek A - A
M 1:25



MATERIJAL:
*Beton C 30/37
*Armatura B 500B
*Zaštitni slojevi c = 2.5 cm
*Minimalni preklop armature:
-šipke p=60Ø
-mreže: Q 385 p=50 cm, Q 503 p=50 cm, Q 283 p=40 cm

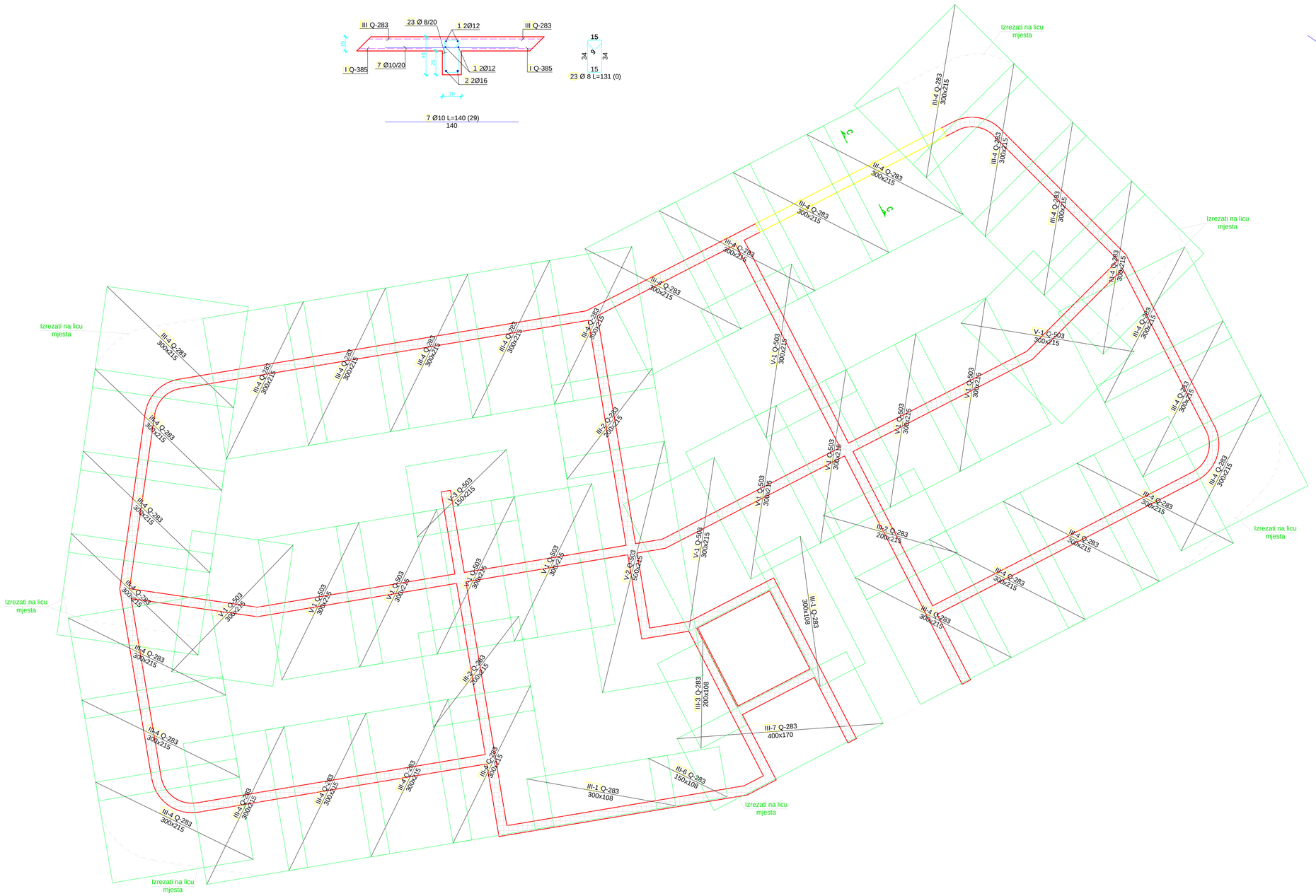
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD	
VRSTA PROJEKTA:	Glavni projekt
KATEDRA:	Katedra za betonske konstrukcije i mostove
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić
SADRŽAJ: Plan armature ploče POZ 400 donja zona	MJERILO: 1:50
DATUM: rujan, 2019.	PRILOG: 10.11

Plan armature ploče
POZ 400 - gornja zona
M 1:50

Presjek C - C (greda u polju)
M 1:25

Jahači za gornju zonu
M 1:25

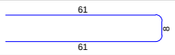


MATERIJAL:
*Beton C 30/37
*Armatura B 500B
*Zaštitni slojevi c = 2.5 cm
*Minimalni preklop armature:
 -šipke p=60Ø
 -mreže: Q 385 p=50 cm, Q 503 p=50 cm, Q 283 p=40 cm

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD		
	VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt		
	KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove		
	STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić	
	SADRŽAJ: Plan armature ploče POZ 400 gornja zona	MJERILO: 1:50	
	DATUM: rujan, 2019.	PRILOG: 10.12	

Iskaz količine armature za ploču POZ 400

Mreže - specifikacija						
Pozicija	Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	n	Jedinična težina [kg/m2]	Ukupna težina [kg]
POZ 300 (1 kom)						
I-6	Q-385	215	330	1	6.12	43.42
I-8	Q-385	215	470	8	6.12	494.75
I-14	Q-385	145	600	2	6.12	106.49
I-15	Q-385	108	600	6	6.12	236.84
I-16	Q-385	108	300	2	6.12	39.47
I-17	Q-385	108	500	2	6.12	65.79
I-18	Q-385	215	435	2	6.12	114.47
I-19	Q-385	215	355	4	6.12	186.84
I-20	Q-385	175	355	2	6.12	76.04
I-21	Q-385	180	400	2	6.12	88.13
I-22	Q-385	85	470	1	6.12	24.45
I-23	Q-385	150	480	1	6.12	44.06
I-24	Q-385	150	120	1	6.12	11.02
I-25	Q-385	215	240	2	6.12	63.16
I-26	Q-385	100	240	1	6.12	14.69
I-27	Q-385	145	160	1	6.12	14.20
I-28	Q-385	215	450	1	6.12	59.21
I-29	Q-385	215	400	1	6.12	52.63
I-30	Q-385	140	370	1	6.12	31.70
I-31	Q-385	215	335	2	6.12	88.16
I-32	Q-385	180	335	1	6.12	36.90
I-33	Q-385	100	150	1	6.12	9.18
III-1	Q-283	108	300	2	4.50	29.03
III-2	Q-283	215	200	3	4.50	58.05
III-3	Q-283	108	200	1	4.50	9.68
III-4	Q-283	215	300	31	4.50	899.77
III-6	Q-283	108	150	1	4.50	7.26
III-7	Q-283	170	400	1	4.50	30.60
V-1	Q-503	215	300	12	8.00	619.20
V-2	Q-503	215	500	1	8.00	86.00
V-3	Q-503	215	150	1	8.00	25.80
Ukupno						3666.99

Šipke - specifikacija					
ozn	oblik i mjere [cm]	Ø	lg [m]	n [kom]	lgn [m]
POZ 300 (1 kom)					
8		8	1.40	491	687.40
22		8	1.30	58	75.40

Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m']	Težina [kg]
RA1			
8	762.80	0.41	311.99
Ukupno			311.99

Mreže - rekapitulacija					
Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	n	Jedinična težina [kg/m2]	Ukupna težina [kg]
Q-385	215	600	33	6.12	2605.28
Q-283	215	600	19	4.50	1102.95
Q-503	215	600	8	8.00	825.60
Ukupno					4533.83

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt

KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove

STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692

MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić

SADRŽAJ: Iskaz količine armature za ploču POZ 400

MJERILO: 1:50

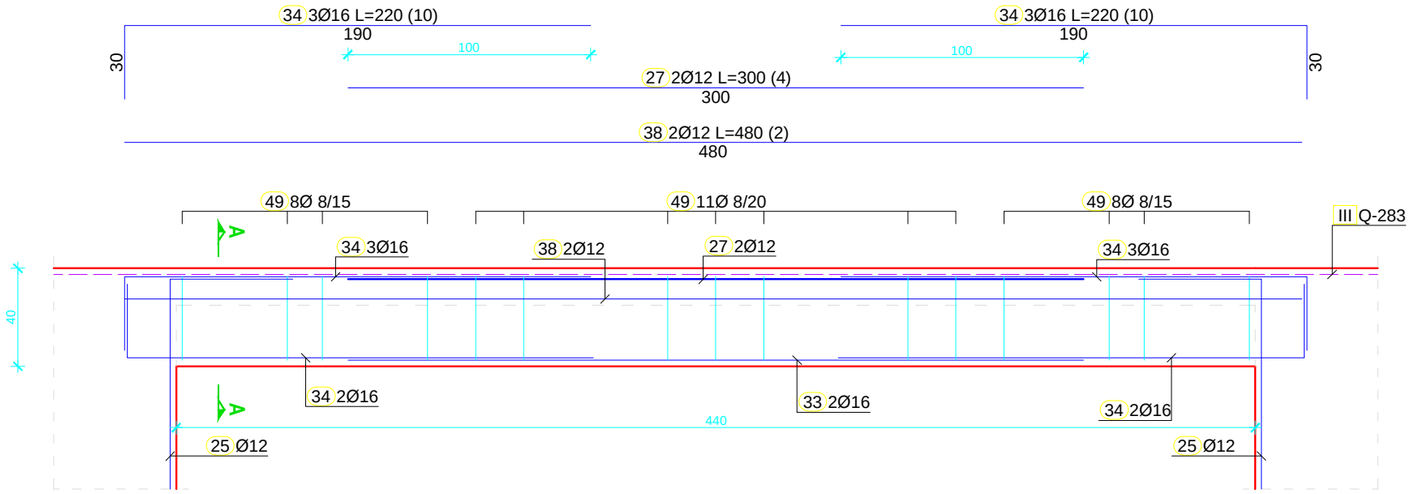
DATUM: rujan, 2019.

PRILOG: 10.13

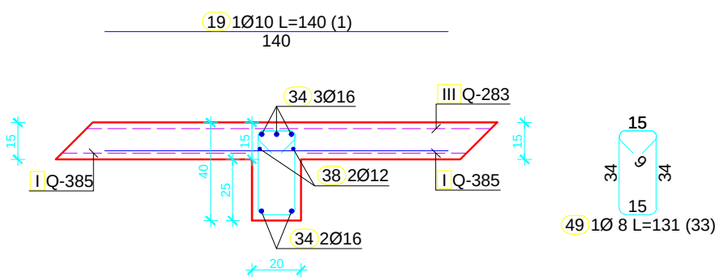
Plan armature grede POZ G401

M 1:25

Uzdužni presjek grede iznad otvora



Presjek A - A (na ležaju)



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
VRSTA PROJEKTA: Glavni projekt			
KATEDRA: Katedra za betonske konstrukcije i mostove			
STUDENT: Nikola Jelavić Šako, 692	MENTOR: Doc. dr. sc. Nikola Grgić		
SADRŽAJ: Plan armature grede POZ G401		MJERILO: 1:25	
DATUM: rujan, 2019.		PRILOG: 10.14	

11. LITERATURA

- **Knjige, skripte i članci**

[1] EN 1990:2008 Eurokod - Osnove projektiranja konstrukcija (EN 1990:2008 + A1: 2005 + AC:2008).

[2] EN 1991: Eurokod 1 – Djelovanja na konstrukcije (EN 1991:2002)

[3] EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004 + AC:2008)

[4] EN 1998:2008 Eurokod 8 – Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004)

[5] A. Harapin, J. Radnić: Osnove betonskih konstrukcija, interna skripta – zapisi s predavanja; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, Split, listopad 2013.

[6] J. Radić i suradnici: Betonske konstrukcije – Priručnik, Zagreb 2006.

[7] I. Tomičić: Betonske konstrukcije - 3. Izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Zagreb 1996

[8] Z. Sorić, T. Kišiček: Betonske konstrukcije 2, Sveučilište u Zagrebu, 2018

[9] Grgić, N; Radnić, J; Matešan, D; Buzov, A.: „Effect of mass on the behavior of concrete columns under seismic load“, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, p.p. 483-494, 2016.

[10] Matešan, D.; Radnić, J.; Grgić, N.: „Strength capacity of square reinforced concrete slabs“, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, p.p. 393-397, 2012.

- **Računalni programi**

[1] Microsoft Office Word 2016, Microsoft nv, Copyright © 2016.

[2] Microsoft Office Excel 2016, Microsoft nv, Copyright © 2016.

[3] AutoCAD 2018, Autodesk nv, Copyright © 2018.

[4] ArmCAD 2005, Radimpex, Copyright © 2005.

[5] SCIA Engineer 2019, Nemetschek Scia nv, Copyright © 2019.

[6] Aspalathos Section Design