

# Glavni projekt stambeno-poslovne zgrade na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda

---

Čondić - Galiničić, Zvonimir Nediljko

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*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:123:752504>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-25**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I**  
**GEODEZIJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić**

**Split, 2021.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić**

**Glavni projekt poslovno-stambene zgrade  
na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda**

**Diplomski rad**

**Split, 2021.**

# **Glavni projekt poslovno-stambene zgrade na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda**

## ***Sažetak:***

U radu je prikazan glavni projekt stambeno poslovne zgrade na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda. Konstrukcija se sastoji od dvije etaže garaže, prizemlja i 3 kata. Konstrukcija je izvedena u armiranom betonu monolitnom izvedbom betonskih temelja, zidova, stupova, grede te armirano betonskim pločama kao međukatnim konstrukcijama.

Projekt se sastoji od tehničkog opisa konstrukcije, proračuna nosivih elemenata konstrukcije te od karakterističnih građevinskih nacрта.

***Ključne riječi:*** stambeno poslovna zgrada, armirano betonska konstrukcija, glavni projekt

## ***Abstract:***

Main design of the residential and business building, which is positioned at the crossroads of Manger and Cyril-Methodius streets, is presented in this work. The construction is composed of two storey garage, ground floor and 3 upper floors. It is performed in reinforced concrete, with the monolithic design of concrete foundations, walls, columns, beams and reinforced concrete slabs as constructions between floors.

The project includes: a technical description of the construction, calculation of the bearing structural elements and characteristic construction design.

***Keywords:*** business and residential building, reinforced concrete structure, main design





**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**UNIVERSITY OF SPLIT  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,  
ARCHITECTURE AND GEODESY**

**STUDIJ: SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**

**SMJER: KONSTRUKCIJE**

**KANDIDAT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić**

**JMBAG: 0083219751**

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

**PREDMET: Betonske konstrukcije**

### **ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

**Tema: Glavni projekt stambeno-poslovne zgrade na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda**

**Opis Zadatka:** Na temelju danih arhitektonskih podloga, potrebno je izraditi glavni projekt stambeno-poslovne zgrade. Izrađeni projekt mora sadržavati:

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

U Splitu, ožujak 2021.

Voditelj diplomskog rada:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomske ispite

Doc. dr. sc. Marina Sunara

Doc. dr. sc. Ivo Andrić

**Sadržaj:**

1.	TEHNIČKI OPIS .....	6
1.1	Općenito (projektni zadatak) .....	6
1.2	Oblik i veličina građevinske čestice .....	7
1.3	Namjena konstrukcije .....	7
1.4	Konstruktivne pojedinosti – općenito .....	10
1.5	Konstruktivne pojedinosti – garaža .....	10
1.6	Konstruktivne pojedinosti – katovi.....	10
1.7	Lokacija i opterećenje.....	10
1.8	Izvedba.....	11
1.9	Materijali .....	11
2.	GEOTEHNIČKI IZVJEŠTAJ .....	12
2.1	Podaci o istražnim radovima .....	12
2.2	Geološka i inženjersko geološka istraživanja .....	12
2.3	Dubina podzemne vode .....	12
2.4	Temeljenje .....	12
3.	PLAN KONTROLE I OSIGURANJE KVALITETE.....	13
3.1	Opće namjene .....	13
3.2	Postizanje zahtijevanje geometrije .....	13
3.3	Zemljani radovi.....	14
3.4	Betonski, armirano betonski i tesarski radovi .....	14
3.4.1	Beton .....	14
3.4.2	Betonski čelici .....	15
3.4.3	Prekidi betoniranje .....	16
3.4.4	Oplata .....	16
3.4.5	Primjenjeni standardi.....	16
3.4.6	Kontrola ispitivanja .....	20
3.4.7	Dužnosti izvođača .....	20
4.	POSEBNI TEHNIČKI UVJET .....	21
4.1	Oplate i skele .....	21
4.2	Transport i ugradnja betona .....	23
4.3	Betoniranje pri visokim vanjskim temperaturama.....	24

4.4	Betoniranje pri niskim vanjskim temperaturama.....	25
4.5	Obaveze izvođača .....	26
5.	NAČIN ZBRINJAVANJA GRAĐEVINSKOG OTPADA.....	26
6.	UVJETI ODRŽAVANJA I PROJEKTIRANI VIJEK TRAJANJA .....	28
7.	PLANOVI POZICIJA .....	29
8.	ANALIZA OPTEREĆENJA.....	31
8.1	Stalno opterećenje.....	31
8.1.1	Vlastita težina .....	31
8.1.2	Dodatno stalno opterećenje .....	31
8.2	Promjenjivo opterećenje .....	35
8.2.1	Korisno opterećenje.....	35
8.2.2	Opterećenje snijegom .....	36
8.2.3	Opterećenje vjetrom .....	37
8.3	Izvanredno opterećenje.....	51
8.3.1	Potresno opterećenje.....	51
9.	NUMERIČKI MODEL .....	54
9.2	Djelovanja na konstrukciju .....	55
9.2.1	Dodatno stalno opterećenje .....	55
9.2.2	Korisno opterećenje.....	56
9.2.3	Opterećenje vjetrom .....	56
9.3	Kombinacije opterećenja .....	57
10.	REZULTATI DINAMIČKE ANALIZE.....	59
11.	PRORAČUN HORIZONTALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE.....	64
11.1	Proračun ploča pozicija 600 (ploča krova) $dpl = 16cm$ .....	64
11.1.1	Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN .....	64
11.1.2	Kontrola graničnog stanja uporabljivosti .....	70
11.2	Proračun ploča pozicija 500 (ploča kata) $dpl = 16cm$ .....	83
11.2.1	Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN .....	83
11.2.2	Kontrola graničnog stanja uporabljivosti .....	89
11.3	Proračun ploča pozicija 400 (ploča kata) $dpl = 16cm$ .....	102
11.3.1.	Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN .....	102
11.3.2	Kontrola graničnog stanja uporabljivosti .....	108
11.4	Proračun ploča pozicija 300 (ploča kata) $dpl = 16cm$ .....	120

11.4.1	Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN .....	120
11.4.2	Kontrola graničnog stanja uporabljivosti .....	127
11.5	Proračun ploča pozicija 200 (ploča garaže) $d_{pl} = 25cm$ .....	140
11.5.1	Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN .....	140
11.5.2	Kontrola graničnog stanja uporabljivosti .....	146
11.6	Proračun ploča pozicija 100 (ploča garaže) $d_{pl} = 25cm$ .....	156
11.6.1	Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN .....	156
11.7	Proračun greda .....	170
11.7.1	Dimenzioniranje na moment savijanje .....	173
11.7.2	Dimenzioniranje na poprečnu silu .....	179
11.7.3	Kontrola graničnog stanja uporabljivosti .....	183
11.8	Dimenzioniranje stubišta .....	185
11.8.1	Dimenzioniranje stubišta 1 .....	185
11.8.2	Dimenzioniranje stubišta 2 .....	186
11.8.3	Dimenzioniranje stubišta 3 .....	187
12.	PRORAČUN VERTIKALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE .....	188
12.1	Proračun stupova .....	188
12.2	Proračun stupova pozicije S1 (stupovi u garaži -2) .....	189
12.2.1	Rezne sile .....	189
12.2.2	Dimenzioniranje stupova na moment savijanja i uzdužnu silu .....	190
12.2.3	Dimenzioniranje na poprečnu silu .....	192
12.2.4	Proračun stupa na proboj ploče .....	194
12.2.5	Kontrolna naprezanja u stupu za GSU .....	196
12.3	Proračun stupova pozicije S2 (stupovi u garaži -1) .....	197
12.3.1	Rezne sile .....	197
12.3.2	Dimenzioniranje stupova na moment savijanja i uzdužnu silu .....	198
12.3.3	Dimenzioniranje na poprečnu silu .....	200
12.3.4	Proračun stupa na proboj ploče .....	202
12.3.5	Kontrolna naprezanja u stupu za GSU .....	204
12.4	Proračun stupova pozicije S3 (stupovi u prizemlju) .....	205
12.4.1	Rezne sile .....	205
12.4.2	Dimenzioniranje stupova na moment savijanja i uzdužnu silu .....	207
12.3.3	Dimenzioniranje na poprečnu silu .....	209

12.3.4	Proračun stupa na proboj ploče .....	211
12.3.5	Kontrolna naprezanja u stupu za GSU .....	213
13.	PRORAČUN ZIDOVA .....	214
13.1	Proračun zida u x smjeru .....	214
13.2	Proračun visokostijenog nosača .....	220
13.3	Proračun zida u y smjeru .....	222
14.	PRORAČUN TEMELJA .....	229
14.1	Proračun trakastog temelja.....	229
14.1.1	Rezne sile .....	229
14.1.2	Dimenzioniranje temeljne trake .....	231
14.2	Temelj samac .....	233
14.2.1	Rezne sile .....	233
14.2.2	Dimenzioniranje temelja samca .....	235
15.	GRAFIČKI PRILOZI.....	237
15.1	Tlocrt garaže -2 Plan pozicija 100 M1:200.....	237
15.2	Tlocrt garaže -1 Plan pozicija 200 M1:200.....	237
15.3	Tlocrt prizemlja Plan pozicija 300 M1:200 .....	237
15.4	Tlocrt 1. kata Plan pozicija 400 M1:200.....	237
15.5	Tlocrt 2. kata Plan pozicija 500 M1:200.....	237
15.6	Tlocrt 3. kata Plan pozicija 600 M1:200.....	237
15.7	Presjek A-A M1:200 .....	237
15.8	Pogled istok-zapad M1:200 .....	237
15.9	Pogled sjever-jug M1:200.....	237
15.10	Armatura ploče pozicija 100 Donja zona M1:200 .....	237
15.11	Armatura ploče pozicija 100 Gornja zona M1:200.....	237
15.12	Armatura ploče pozicija 200 Donja zona M1:200 .....	237
15.13	Armatura ploče pozicija 200 Gornja zona M1:200.....	237
15.14	Armatura ploče pozicija 300 Donja zona M1:200 .....	237
15.15	Armatura ploče pozicija 300 Gornja zona M1:200.....	237
15.16	Armatura ploče pozicija 400 Donja zona M1:200 .....	237
15.17	Armatura ploče pozicija 400 Gornja zona M1:200.....	237
15.18	Armatura ploče pozicija 500 Donja zona M1:200 .....	237
15.19	Armatura ploče pozicija 500 Gornja zona M1:200.....	237

15.20	Armatura ploče pozicija 600 Donja zona M1:200 .....	237
15.21	Armatura ploče pozicija 600 Gornja zona M1:200.....	238
15.22	Armatura grede pozicija 305 M1:20 .....	238
15.23	Armatura grede pozicija 205 M1:20 .....	238
15.24	Armatura grede pozicija 105 M1:20 .....	238
15.25	Armatura stubišta 1 M1:20 .....	238
15.26	Armatura stubišta 2 M1:20 .....	238
15.27	Armatura zidova M1:20 .....	238
15.28	Armatura visokostijenog nosača M1:20 .....	238
15.29	Armatura stupa S1 M1:20 .....	238
15.30	Armatura stupa S2 M1:20 .....	238
15.31	Armatura stupa S3 M1:20 .....	238
15.32	Plan pozicija temelja M1:200 .....	238
15.33	Armatura temelja samca M1:20 .....	238
15.34	Armatura temeljne trake M1:20 .....	238
16.	LITERATURA.....	238

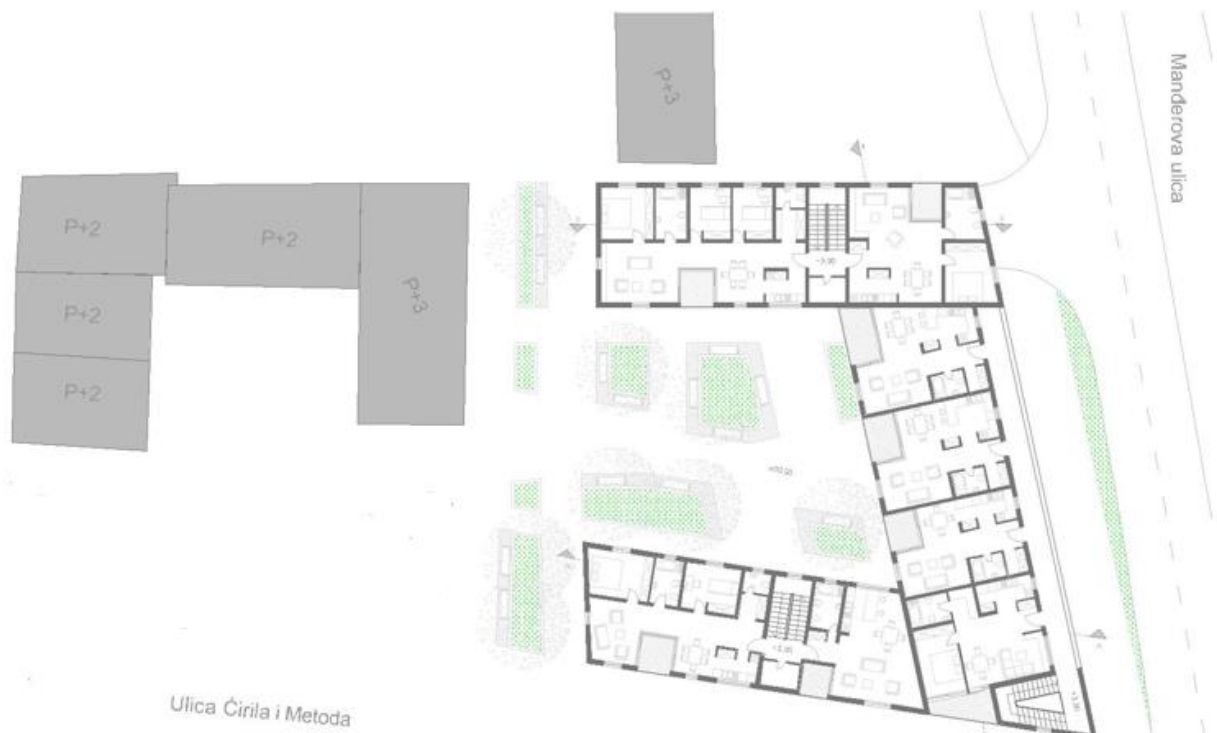
# 1. TEHNIČKI OPIS

## 1.1 Općenito (projektni zadatak)

Na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda nalazi se građevinska čestica na kojoj investitor ima namjeru izgraditi stambeno poslovnu zgradu. Parcela na kojoj se namjerava izgraditi stambeno poslovna zgrada omeđena je Mangerovom ulicom sa sjevera, Ulicom Ćirila i Metoda s istoka te već izgrađenim zgradama s juga i zapada.

Građevinska parcela je ukupne površine oko 1800 m<sup>2</sup>. Uzimajući u obzir lokaciju, veličinu i oblik građevinske parcele, visinske razlike, a vodeći obzira o važećoj planskoj dokumentaciji izrađeno je arhitektonsko rješenje stambeno poslovne zgrade.

Ovaj glavni projekt usklađen je sa svim prostorno – planskim parametrima s važećom lokacijskom dozvolom, formiranjem čestice, namjenom građevine, veličinom površine građevine, izgrađenosti, visinom, etažnosti, smještajem građevine na građevnoj čestici, uređenjem čestice, priključenjem na javno – prometnu površinu i komunalnu infrastrukturu, parkirališnim mjestima.



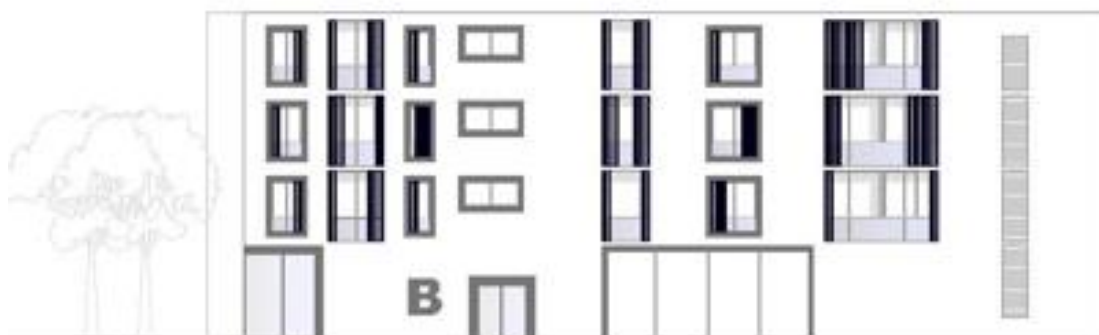
Slika 1.1. Položaj u odnosu na susjedne zgrade

## 1.2 Oblik i veličina građevinske čestice

Novoformirana čestica je nepravilnog oblika ukupne površine oko 1800m<sup>2</sup>. Objekt se sastoji od dijela konstrukcije koji se nalazi ispod zemlje. Ukupna površina podzemne garaže je 1201m<sup>2</sup>. Ukupna površina konstrukcije koja se nalazi iznad zemlje je 662m<sup>2</sup>. Stoga je koeficijent izgrađenosti 3,7. Smještaj konstrukcije na parceli proizlazi iz prometnih uvjeta, odnosno mogućnosti prilaza sa glavne prometnice koja se nalazi na sjevernoj i istočnoj strani.

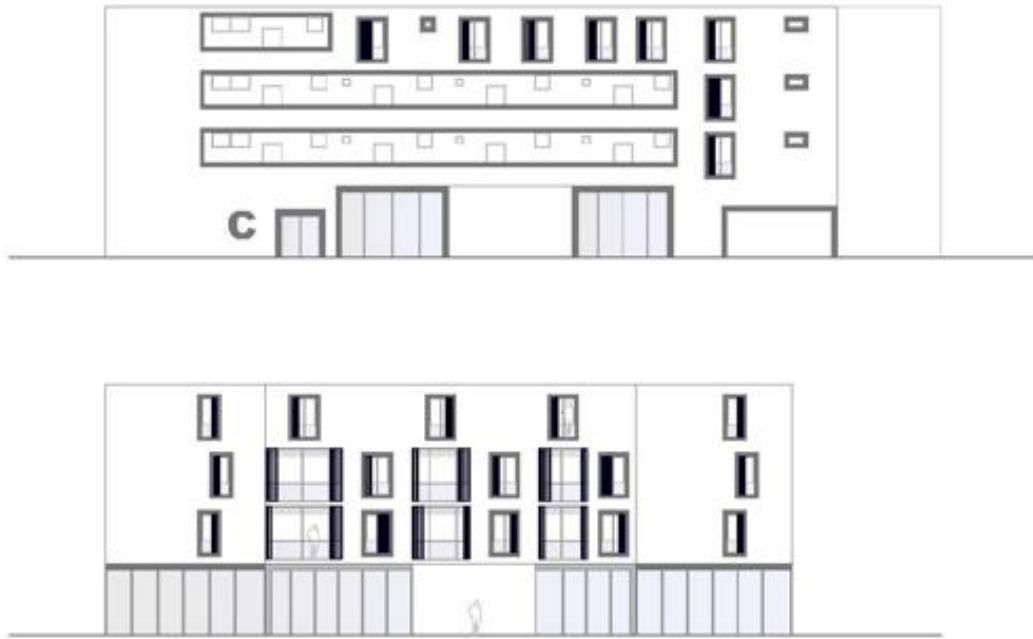
## 1.3 Namjena konstrukcije

Namjena zgrade je stambeno poslovna. Zgrada ima 2 podzemne etaže i 4 nadzemne. Sadržaji zgrade su podijeljeni prema katovima zgrade. Dvije podzemne etaže imaju namjenu garaže. Podzemne garaže imaju ukupno 50 parkirnih mjesta čime se rješava problem parkinga te se prostor između zgrade može urediti kao zelena površina. Prizemlje zgrade je isključivo poslovne namjene dok su preostala tri kata zgrade stambene namjene. Vertikalna komunikacija je ostvarena preko tri glavna stubišta koji se protežu iz garaže do zadnjeg kata. Kolni ulaz u garažu je sa sjeverne strane. U garažu se ulazi iz Ulice Ćirila i Metoda putem rampe. Pješачki ulaz u zgradu je moguć sa sve četiri strane s nivoa prizemlja. Ovisno o pojedinom katu stanovi se razlikuju. Imamo jednosobne, dvosobne i trosobne stanove. Ukupna visina zgrade mjereno od razine terena je 12,9m, a ako računamo podzemne etaže, ukupna visina je 18,5m. Podzemne garaže su visine 2,8m, prizemlje je visine 3,9m, a katovi su visine 3,0m mjereno od vrha ploče jednog kata do vrha ploče drugog kata. Okolni teren zgrade je potrebno hortikulturno urediti. Svi infrastrukturni priključci izvest će se prema posebnim zahtjevima komunalnih i javnih poduzeća ili stručnih službi grada i županije.

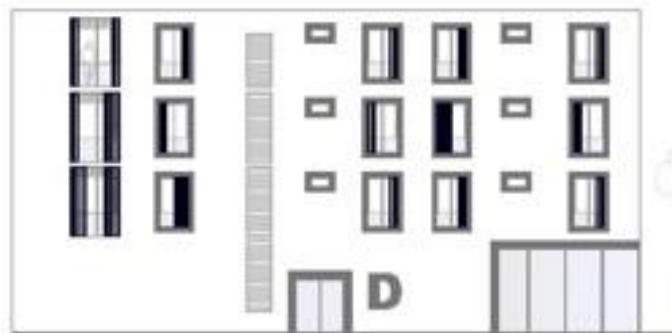


Slika 1.2. Istočno pročelje

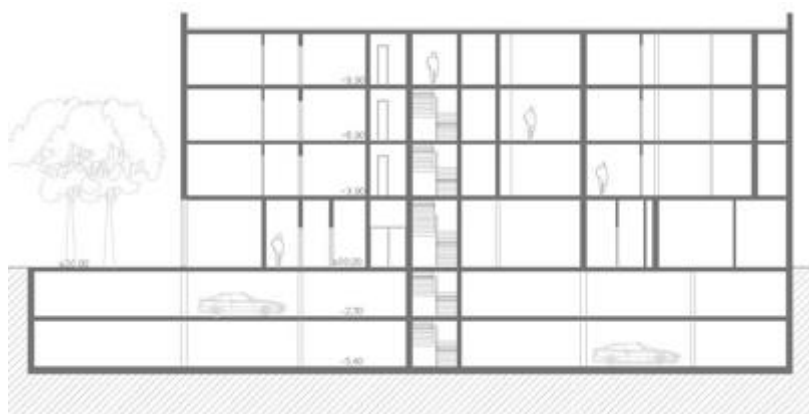




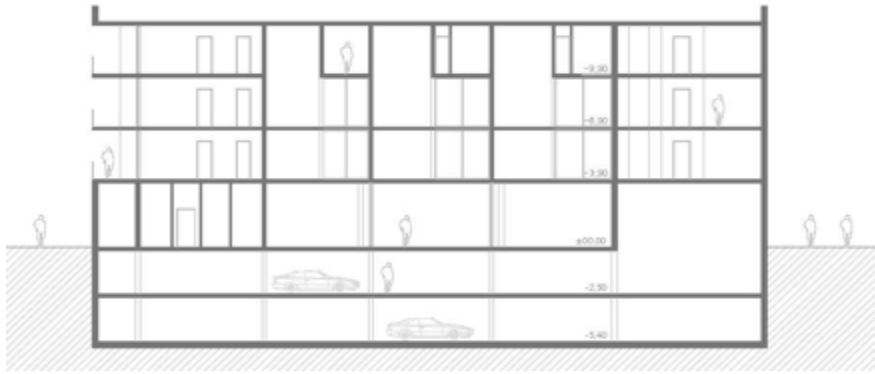
Slika 1.3. Sjeverno i južno pročelje



Slika 1.4. Zapadno pročelje



Slika 1.5. Presjek 1-1



Slika 1.6. Presjek 2-2



Slika 1.7. Tlocrt garaže



Slika 1.8. Prikaz karakterističnog kata zgrade

#### **1.4 Konstruktivne pojedinosti – općenito**

U konstruktivnom smislu građevina je armirano betonska konstrukcija. Krov konstrukcije će se izvesti kao ravni prohodni krov.

Temelji konstrukcije će se izvesti kao trakasti temelji ispod zidova te temelji samci ispod stupova. Dubina temeljenja je definirana ovim projektom.

Međukatne konstrukcije su armirano betonske ploče. Debljina ploče na svim katovima su jednake debljine i iznosi 16cm izuzev ploča iznad garaža koje iznose 25cm.

Nosivi zidovi su armirano betonski debljine 20 i 30cm. Sve ostale vertikalne pregrade su izvedene kao lagane pregrade od gips kartona debljine 10cm i nisu tretirani kao sudjelujući nosivi elementi već su uzeti kao dodatno stalno opterećenje na ploče.

#### **1.5 Konstruktivne pojedinosti – garaža**

Konstrukcija ploče garaže je armirano betonska monolitna konstrukcija koja se sastoji od armirano betonske ploče ( $d=25\text{cm}$ ) i armirano betonskih greda (50/70cm).

Garaža se sastoji od svijje ukopane etaže kojima se prilazi pomoću rampa nagiba 18% te je kao takva ukrućena obodnim zidovima i nasipom zemlje na horizontalna opterećenja.

Vertikalni nosivi sustav se sastoji od zidova i stupova. Stupovi su kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija 50/50cm, dok su nosivi zidovi podzemne etaže debljine 30cm.

Materijal izrade konstruktivnih elemenata je C 30/37.

#### **1.6 Konstruktivne pojedinosti – katovi**

Konstrukcija ploče katova je armirano betonska betonska konstrukcija koja se izvodi lijevanjem na licu mjesta u oplati. Izrađena je od betona C 30/37, debljine 16cm. U proračunu su dane osnovne dimenzije i količine armature za pojedine konstruktivne elemente. Elementi koji računati armiraju se konstruktivno. Vertikalni nosivi sustavi viših katova i prizemlja čine armirano betonski zidovi debljine 20 i 30cm te stupovi u prizemlju konstrukcije kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija 50/50cm.

#### **1.7 Lokacija i opterećenje**

Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u zonu za koju je zadano projektno ubrzanje tla  $a_g=0.22g$ . Konstrukcija seizmičke sile preuzima sustavom armirano

betonskih zidova i stupova . Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u II. zonu opterećenja vjetrom.

### **1.8 Izvedba**

Iskop građevinske jame do nivoa 5,6m ispod nivoa prizemlja buduće građevine izvršit će se u širokom iskopu s vertikalnim zasjekom (10:1). Pristup jami predviđen je na mjestu buduće rampe. U trenutku izrade projektne dokumentacije nije poznat izvođač konstrukcije. Prilikom izrade statičkog proračuna usklađena je geometrija presjeka elemenata konstrukcije s izvođačkim mogućnostima većine građevinskih firmi. Prilikom odabira izvođača moguće je da dođe do manjih odstupanja u obliku poprečnog presjeka pojedinih elemenata u odnosu na elemente iz statičkog proračuna, ali se ne očekuju bitna odstupanja, koja bi imala utjecaj na ukupnu stabilnost građevine te je dovoljno ove razlike obraditi u izvedbenom projektu konstrukcije.

### **1.9 Materijali**

#### *Armatura*

Predviđena armatura je B 500B (prema Tehničkim propisima za građevinske konstrukcije) za sve elemente, u obliku šipki ili mreža.

#### *Beton*

Za sve betonske radove koristili smo beton C 30/37, osim kod izrade temelja gdje smo koristili beton C 25/30, a sve prema Tehničkim propisima za građevinske konstrukcije.

Zaštitni sloj betona od armature iznosi minimalno 2cm. Veličinu zaštitnog sloja treba osigurati dostatnim brojem distancera. Kvalitetu zaštitnog sloja osigurati kvalitetnom oplatom i ugradnjom betona te dodacima betonu i ostalim rješenjima prema zahtjevima ovog projekta i projektu betona, kojeg je dužan izraditi izvođač radova. 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 upotrebljena armatura treba imati odgovarajuće ateste o kakvoći.

Skidanje oplata za grede i ploče može se izvršiti nakon što beton postigne min. 70% čvrstoće (cca 7 dan a uz normalnu njegu betona).

## **2. GEOTEHNIČKI IZVJEŠTAJ**

### **2.1 Podaci o istražnim radovima**

Geotehnički istražni radovi su se sastojali od obilaska terena s prospekcijskim pregledom i detaljnim geološkim kartiranjem, izrade fotodokumentacije, georadarskog snimanja, seizmičkog snimanja i iskopa i pregleda dvije istražne jame. Sve istražne jame su iskopane do dubine pojave matične stijene, na dijagonalnim kutovima građevine. U nastavku su izneseni samo najvažniji zaključci iz geotehničkog elaborata koji su bitni za ovu predmetnu građevinu.

### **2.2 Geološka i inženjersko geološka istraživanja**

Tlo je uglavnom ujednačenog sastava. U tlu se najčešće protežu čisti slojevi lapora koji su tvrdi i imaju karakteristike slične vapnencima. Na području predmetne lokacije moguće je postojanje većih krških pojava (kaverne i sl.), zbog čega je potrebno nakon iskopa temeljnih jama izvršiti kompresorsku provjeru stijenske mase.

### **2.3 Dubina podzemne vode**

U hidrogeološkom smislu, razlomljene i okršene naslage lapora imaju pukotinsku i moguće kaverno-znu poroznost te se oborinske vode relativno brzo procjeđuju u podzemlje. U nijednoj istražnoj jami nije zabilježena pojava podzemne vode.

### **2.4 Temeljenje**

Površinski sloj sačinjavaju elementi nastali trošenjem matične stijene ili nasipni materijal, koji se sastoji uglavnom od žućkasto smeđe gline, same ili pomiješane s crvenkasto smeđom zemljom. Kako je predviđena dubina dna temelja pretpostavlja se da će se svi temelji nalaziti na kvalitetnoj laporovitoj stijeni. Iskop građevinske jame do nivoa 5,6 m ispod nivoa prizemlja buduće građevine izvršit će se u širokom iskopu s vertikalnim zasjekom (10:1). Pri zasijecanju potrebno je ukloniti sve nestabilne stijene. Zasijek treba zaštititi prskanim betonom debljine  $d = 5-10\text{cm}$  uz armiranje armaturnom mrežom Q-196 i geotehničkim sidrima duljine  $l = 2.5\text{m}$  po potrebi prema posebnom projektu. Pristup jami predviđen je na mjestu buduće rampe. Nakon iskopa potrebno je temeljnu plohu ručno očistiti od ostataka razlomljenog materijala, kao i eventualnu glinovitu ispunu iz pukotina. Po obavljenom čišćenju temeljne plohe potrebno je neravnine i udubine (škrape) popuniti i izravnati podložnim betonom C 16/20 do projektirane kote temeljenja. Ukoliko se nađe na kavernu (pukotinu), veće udubine i relativno manje širine, a nije moguće potpuno uklanjanje gline

crvenice, sanaciju izvesti tako da se glina očisti do dubine cca 50 cm ispod kote temeljenja, a nastali prostor do projektiranje kote temeljenja "plombira", tj. zapuni podbetonom.

Dopuštena centrična naprezanja tla na detaljno očišćenim naslagama matične stijene uzeta su za osnovna opterećenja 0,50 MPa.

Za predviđeni način temeljenja ne očekuju se slijeganja niti diferencijalna slijeganja. Naročitu pažnju treba posvetiti na eventualne proširene pukotine bez ispune koje mogu biti dio većeg podzemnog sustava. Na tim mjestima je potrebno izvršiti provjeru bušenjem svrdlom Ø32 mm ("štamptom") do dubine 2.0 do 3.0 m od kote temeljenja.

### **3. PLAN KONTROLE I OSIGURANJE KVALITETE**

#### **3.1 Opće namjene**

Izvoditelj je odgovoran za kvalitetu izvođenja radova i za uredno poslovanje. Izvoditelj ne smije odstupati od projekta bez pismenog odobrenja nadzornog inženjera investitora, a uz prethodnu suglasnost projektanta. Sve izmjene se moraju unijeti u građevinsku knjigu i građevinski dnevnik. Kvaliteta korištenog građevinskog materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda, kao i kvaliteta izvedenih radova mora odgovarati prethodno navedenim uvjetima propisanim važećim propisima, standardima, uvjetima iz tehničke dokumentacije, te uvjetima iz ugovora.

Ukoliko izvoditelj ugrađuje materijal koji nije standardiziran, za isti je dužan pribaviti odgovarajuće dokaze o kakvoći i priložiti ih u pismenoj formi. Pri izvođenju građevine, izvoditelj se dužan pridržavati navedenih propisa kao i svih ostalih Pravilnika, Tehničkih normativa, posebnih uvjeta za izradu, ugradnju i obradu pojedinih elemenata građevine, kao i standarda propisanih za izvođenje radova na građevini (temeljenje, betonski radovi, skele i oplata, armatura, čelik za armiranje, kontrola kvalitete betona i čelika, zidanje zidova, završni radovi), kako bi osigurao da izvedena građevina odgovara projektu, te svim propisima i standardima RH.

#### **3.2 Postizanje zahtijevanje 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 objekata kao cjeline

- Kontrolu osiguranja svih točaka
- Kontrolu postavljenih profila
- Kontrolu repera i poligonalnih točaka

### **3.3 Zemljani radovi**

#### 1) Iskopi

Tijekom radova na iskopima kontrolirati sljedeće:

- Iskop se obavlja prema profilima i visinskim kotama iz projekta te spropisanim 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 iskopati 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 svi radova na objektu izvođač je dužan osigurati pravilnu odvodnju ( ne smije dozvoliti zadržavanje vode u iskopima).

#### 2) 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.

### **3.4 Betonski, armirano betonski i tesarski radovi**

#### **3.4.1 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 (kojeg je dužan izraditi Izvođač), a u svemu sukladno s Tehničkim propisom za građevinske konstrukcije (N.N.17/17) te sa 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 građevinske 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 očvrstnalog 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.

### **3.4.2 Betonski čelici**

Betonski čelici trebaju 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)
- nHRN EN 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 A norme nHRN EN 10080-1 i odredbama posebnog propisa.

Uzimanje uzoraka, priprema ispitnih uzoraka i ispitivanje svojstava čelika za armiranje 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 građevinske konstrukcije, odnosno prema normi HRN ENV 1992-1-1:2004. Sva armatura je iz čelika B500 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.

### **3.4.3 Prekidi betoniranje**

Prekid i nastavci betoniranja konstrukcija moraju biti obrađeni projektom betona.

### **3.4.4 Oplata**

Za izvedbu svih betonskih i armiranobetonskih elemenata potrebno je pravo vreme izraditi, postaviti i učvrstiti odgovarajuću drvenu, metalnu ili sličnu oplatu. Oplata mora odgovarati mjerama građevinskih nacrti, detalja i planova oplata. Podupiranjem i razupiranjem oplata mora se osigurati njena stabilnost i nedeformabilnost pod teretom ugrađene mješavine. Unutarnje površine moraju biti ravne i glatke, bilo da su vertikalne, horizontalne ili kose. Postavljena oplata mora se lako i jednostavno rastaviti, bez udaranja i upotrebe pomoćnih alata i sredstava čime bi se "mlada" konstrukcija izložila štetnim vibracijama. Ako se nakon skidanja oplata ustanovi da izvedena konstrukcija dimenzijama i oblikom ne odgovara projektu. Izvođač je obavezan istu srušiti i ponovo izvesti prema projektu. Prije ugradnje svježe mješavine betona u oplatu istu, ako je drvena, potrebno je dobro navlažiti, a ako je metalna mora se premazati odgovarajućim premazom. Izvođač ne može započeti betoniranje dok nadzor ne izvrši pregled postavljene oplata i pismeno je ne odobri.

### **3.4.5 Primjenjeni standardi**

*Nome 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 očvrtnulog betona – 1. dio: Oblik, dimenzije i drugi zahtjevi za uzorke i kalupe
- HRN EN 12390-2 Ispitivanje očvrtnulog betona – 2. dio: Izradba i njegovanje uzoraka za ispitivanje čvrstoće
- HRN EN 12390-3 Ispitivanje očvrtnulog betona – 3. dio: Tlačna čvrstoća uzoraka
- HRN EN 12390-6 Ispitivanje očvrtnulog betona – 6. dio: Vlačna čvrstoća cijepanjem uzoraka
- HRN EN 12390-7 Ispitivanje očvrtnulog betona – 7. dio: Gustoća očvrtnulog betona
- HRN EN 12390-8 Ispitivanje očvrtnulog betona – 8. dio: Dubina prodiranja vode pod tlakom
- prCEN/TS 12390-9 Ispitivanje očvrtnulog 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 očvrslom 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)

nHRN EN 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 grede (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.

#### **3.4.6 Kontrola ispitivanja**

Kontrolna ispitivanja provodi nadzorni organ, a za konačnu ocjenu kvalitete materijala i radova mjerodavni su rezultati kontrolnog ispitivanja.

Kontrolna ispitivanja obavljaju se u tijeku izvedbe radova po vrsti, obujmu i vremenu, kako to nalažu zakonski propisi i tehnička regulativa.

Ukoliko rezultati kontrolnih ispitivanja pokažu da kvaliteta upotrebljenih materijala i izvedenih radova ne odgovara zahtijevanim uvjetima, nadzorni organ je dužan izdati nalog izvođaču da nekvalitetan materijal zamjeni kvalitetnim i radove dovede u ispravno stanje.

Izvođač je dužan napraviti „Projekt betona“ koji će zadovoljiti uvjete date ovom projektnom dokumentacijom, a istovremeno uvažiti tehnologiju proizvodnje i ugradbe betona koju primjenjuje izvođač, te zadovoljiti propisane uvjete.

Kontrolu kvalitete betonskih radova treba

provjeriti za to registriranoj organizaciji, a za kontrolna ispitivanja je potrebno primijeniti u skladu s „Tehnički propisi za građevinske konstrukcije (NN 17/17)“.

#### **3.4.7 Dužnosti izvođača**

Radove izvoditi na način određen ugovorom, propisima i pravilima struke, tehničkim normativima i standardima propisanim i prihvaćenim u RH, te prema odobrenoj projektnoj dokumentaciji.

Poduzeti sve potrebne mjere za sigurnost zaposlenih radnika, javnog prometa, kao i susjednih objekata pored kojih se izvode radovi.

Organizirati kontrolu radova u terenskim i pogonskim laboratorijima, ili provjeriti tu kontrolu stručnim organizacijama koje su za to upisane u sudski registar.

Ugrađivati materijal, predgotovljene elemente, elemente, uređaje i tehničku opremu koji odgovaraju propisanim standardima i tehničkim normativima.

Kvalitetu radova, materijala i uređaja koji mogu utjecati na stabilnost i sigurnost objekta i kvalitetu cijelog objekta, odnosno radove, dokumentirati obrađenim rezultatima ispitivanja ili ispravama izdanim u skladu sa zakonom ili propisima o tehničkim normativima i standardima.

Radove izvoditi po redoslijedu kojim se osigurava kvalitetno izvođenje i o izvođenju pojedinih faza na vrijeme obavijestiti nadzorni organ zbog pregleda i utvrđivanja kvalitete. Rezultate ispitivanja Izvođač je dužan dostaviti nadzornom inženjeru.

Dužan je pribaviti sve ateste kada je to propisano tehničkim normativima ili propisima.

Ne smije upotrebljavati građevinske materijale bez odobrenja nadzornog organa, a u slučaju da ih upotrijebi, snosi rizik i troškove koji iz toga nastanu.

Izvođač je dužan tijekom građenja i po završetku istog pribaviti dokaze o kvaliteti upotrijebljenog građevinskog materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda od ovlaštenih organizacija kao što je:

- Upis geomehaničara u građevinski dnevnik s potvrdom kvalitete temeljnog tla
- Izvješće o kvaliteti betona za monolitne AB konstrukcije
- Izvješće o ispitivanju betonskog čelika
- Uvjerenje o kvaliteti zavarene građevinske armaturne mreže

## **4. POSEBNI TEHNIČKI UVJET**

### **4.1 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 ispušćenja. Nadzorni inženjer će, tamo gdje mu se čini potrebno, tražiti proračunski dokaz stabilnosti i progibanja.

Nadvišenja oplata dokazuju se računski i geodetski se provjeravaju prije betoniranja.

Oplata mora biti toliko vodotijesna da spriječi istjecanje cementnog mlijeka.

Ukoliko se za učvršćenje oplata 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 plohamo koje će biti izložene protjecanju vode. Ovakav način učvršćenja ne smije se upotrijebiti za vidljive plohe betona.

Žičane spojnice za pridržavanje oplata 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 oplata 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 prljanja za beton premazom vapnom.

Skidanje oplata se mora izvršiti čim je to provedivo, naročito tamo gdje oplata ne dozvoljava polijevanje betona, ali nakon što je beton dovoljno očvrstnuo. Svi popravci betona trebaju se izvršiti na predviđen način i to što je prije moguće.

Oplata se mora skidati prema određenom redosljedu, 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, ukružene dijagonalno u poprečnom i uzdužnom smislu, te solidno vezane sponama i kliještima. Mosnice i ograde trebaju biti također dovoljno ukružene. Skelama treba dati nadvišenje koje se određuje iskustveno u ovisnosti o građevini ili proračunski. Ako to traži nadzorni inženjer, vanjska skela, s vanjske strane, treba biti prekrivena trščanim ili lanenim pletivom kako bi se uz općenitu zaštitu osigurala i kvalitetnija izvedba i zaštita fasadnog lica.

Skele moraju biti izrađene prema pravilima struke i propisima Pravilnika o higijenskim i tehničkim zaštitnim mjerama u građevinarstvu.

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 oplata vrši se vizualno, geodetskom kontrolom i ostalom izmjerom. Pregled i prijem gotove skele, oplata i armature vrši nadzorni inženjer. Bez obzira na odobrenu primjenu skela, oplata i armature, izvođač snosi punu odgovornost za sigurnost i kvalitetu radova.

#### **4.2 Transport i ugradnja betona**

S betoniranjem se može početi samo na osnovi pismene potvrde o preuzimanju podloge, skele, oplata 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.

Transportna sredstva se ne smiju oslanjati na oplatu ili armaturu kako ne bi dovela u pitanje njihov projektirani položaj.



Svaki započeti betonski odsjek, konstruktivni dio ili element objekta mora biti neprekidno izbetoniran u opsegu, koji je predviđen programom betoniranja, bez obzira na radno vrijeme, brze vremenske promjene ili isključenja pojedinih uređaja mehanizacije pogona.

Ako dođe do neizbježnog, nepredvidljivog prekida rada, betoniranje mora biti završeno tako da se na mjestu prekida može izraditi konstruktivno i tehnološki odgovarajući radni spoj. Izrada takvog radnog spoja moguća je samo uz odobrenje nadzornog inženjera.

Svježi beton mora se ugrađivati vibriranjem u slojevima čija debljina ne smije biti veća od 70 cm. 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, a po potrebi i pjeskarenjem.

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.

### **4.3 Betoniranje pri visokim vanjskim temperaturama**

Niska početna temperatura svježeg betona ima višestruko povoljan utjecaj na poboljšanje uvjeta za betoniranje masivnih konstrukcija. Stoga je sniženje temperature svježeg betona i održavanje iste u propisanim granicama od posebnog značaja. Za održavanje temperature svježeg betona unutar dopuštenih 25 °C, neophodno je poduzeti sljedeće mjere:

-Krupne frakcije agregata hladiti raspršivanjem vode po površini deponije, što se ne preporuča s frakcijama do 8 mm, zbog poteškoća s održavanjem konzistencije betona, deponije pijeska zaštititi nadstrešnicama, silose za cement, rezervoare, miješalicu, cijevi itd. zaštititi od sunca bojenjem u bijelo.

Ukoliko ovi postupci hlađenja nisu dostatni, daljnje sniženje temperature može se postići hlađenjem vode u posebnim postrojenjima (coolerima).

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.

Ugrađivanje se mora odvijati brzo i bez zastoja. Redosljed betoniranja mora omogućiti povezivanje novog betona s prethodnim.

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.

Čelične oplate treba rashlađivati vodom, a podloga prije betoniranja mora biti dobro namočena.

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.

#### **4.4 Betoniranje pri niskim vanjskim temperaturama**

Betoniranje pri temperaturama nižim od +5 °C moguće je uz pridržavanje mjera za zimsko betoniranje.

Upotreba smrznutog agregata u mješavini nije dozvoljena, a zagrijavanje pijeska parom nije preporučljivo zbog poteškoća s održavanjem konzistencije betona.

Pri ugradnji svježi beton mora imati minimalnu temperaturu od +6 °C, koja se na nižim temperaturama zraka ( $0 < t < +5$  °C) može postići samo zagrijavanjem vode, pri čemu temperatura mješavine agregata i vode prije dodavanja cementa ne smije prijeći +25 °C.

Temperatura svježeg betona u zimskom periodu na mjestu ugradnje mora biti od +6 °C do +15 °C.

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 2h.

#### **4.5 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 otkloniti sa 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 koji se u toku garantnog roka pojave. Izvođač ne smije vršiti bušenja armirano - betonskih konstrukcije bez prethodnog odobrenja i uputstava 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.

## **5. NAČIN ZBRINJAVANJA GRAĐEVINSKOG OTPADA**

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

- Zakon o otpadu (NN 34/95)
- Pravilnik o vrstama otpada (NN 27/96)
- Pravilnik o uvjetima za postupanje s otpadom (NN 123/97)

Prema zakonu o otpadu građevni otpad spada u interni 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 i
- 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.

## **6. UVJETI ODRŽAVANJA I PROJEKTIRANI VIJEK TRAJANJA**

Građevina ne zahtijeva poseban tretman održavanja.

Ipak, relativno agresivna sredina zahtijeva povećanu mjeru opreza i pojačani nadzor nad svim elementima (konstruktivnim i nekonstruktivnim) građevine. 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 drvenih i metalnih elemenata; otpadanje žbuke sa zidova ili stropova; moguća vlaženja ili procurivanja vode s krova ili fasade, pri čemu je potrebno posebnu pažnju obratiti na krov. U tom smislu kosi krov je potrebno pregledavati najmanje jednom godišnje te spriječiti moguću pojavu nakupljanja zemlje i rasta biljaka u uvalama koje mogu dovesti do začepeljivanja oluka i prodora vode u građevinu.

Spojeve različitih elemenata konstrukcije kao što su spojevi zidova s krovom, prozora s fasadom, vanjskih vrata s konstrukcijom i sl.

Manje nedostatke može ispraviti stručna osoba (kućni majstor) na licu mjesta. U slučaju pojave znatnijih sumnjivih mjesta, prije sanacije potrebno je provesti istražne radove da bi se utvrdilo stvarno stanje. Nakon izvršenih istražnih radova potrebno je napraviti plan sanacije i hitno provesti mjere za dovođenje konstrukcije u ispravno stanje.

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.

## **7. PLANI POZICIJA**

Planovi pozicija i relevantni tlocrti i presjeci prikazani su u grafičkim priložima.

Ploče su označavane velikim slovom P (P100, P200...) i pripadajućim brojem, grede su označavane velikim slovom G (G100, G200,..) i pripadajućim brojem, stupovi velikim slovom S (S1, S2..) i pripadajućim brojem te temeljne stope velikim slovom T (T1, T2..).

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

Svi računalni proračuni su izvršeni računalnim programom "Autodesk Robot Structural Analysis Professional".

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.

Sva opterećenja uzeta 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)

## 8. ANALIZA OPTEREĆENJA

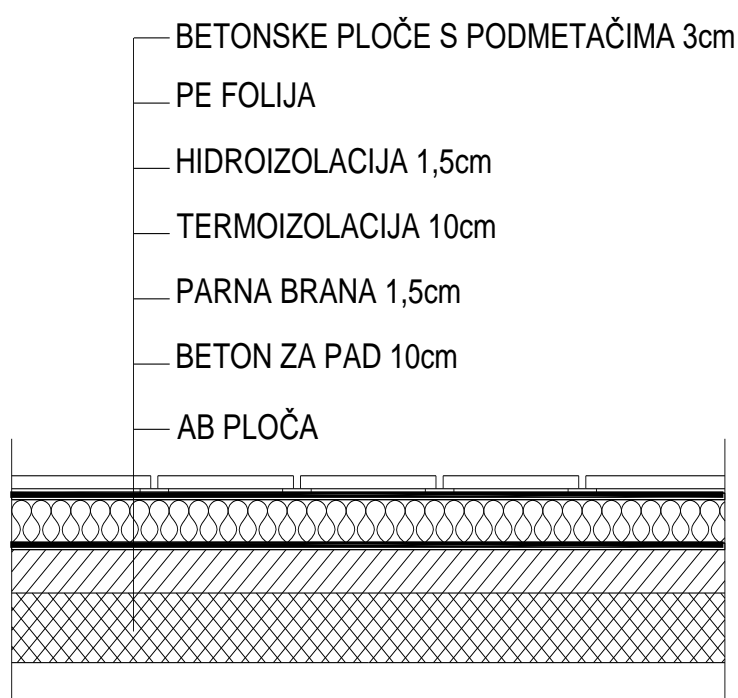
### 8.1 Stalno opterećenje

#### 8.1.1 Vlastita težina

Vlastita težina svih konstruktivnih elemenata je automatski uključena kroz računalni program za proračun i modeliranje konstrukcija Autodesk Robot Structural Analysis Professional.

#### 8.1.2 Dodatno stalno opterećenje

a) Ravni krov – Ploča pozicije 600

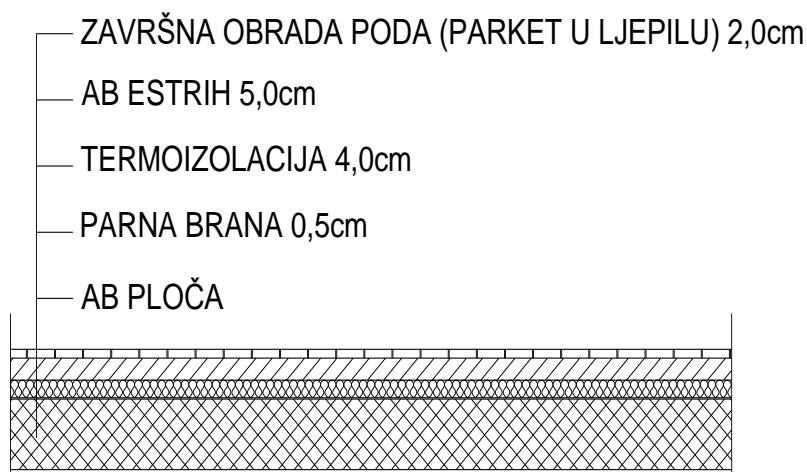


Slika 8.1. Slojevi ravnog krova

SLOJEVI RAVNOG KROVA	d(m)	g(kN/m <sup>3</sup> )	d·g (kN/m <sup>3</sup> )
Betonske ploče s podmetačima	0,03	25,0	0,75
PE folija	-	-	-
Hidroizolacija	0,015	20,0	0,3
Termoizolacija	0,1	2,0	0,2
Parna brana	0,015	0,2	0,00225
Beton za pad	0,1	24,0	2,4
AB ploča	uključena kroz računalni program		
<b>UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE:</b>			<b>3,65 (kN/m<sup>2</sup>)</b>



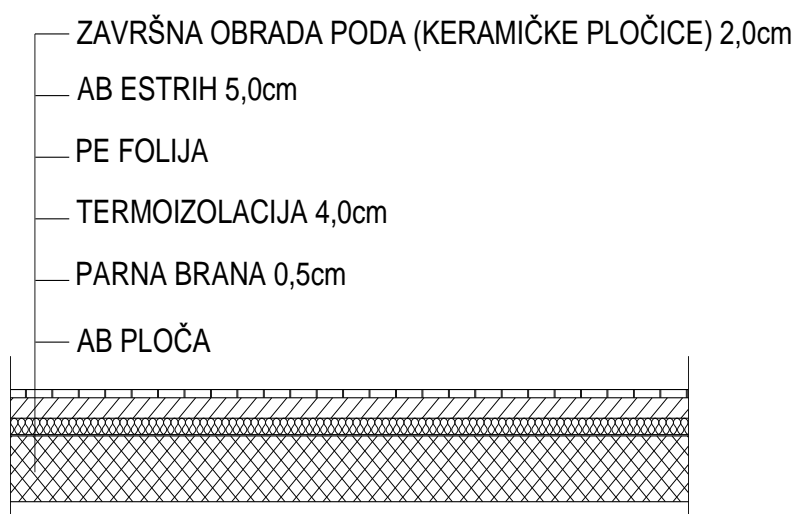
b) Pod između katova – Ploče pozicije 300, 400 i 500



Slika 8.2. Slojevi podova između katova

SLOJEVI IZMEĐU KATOVA	d(m)	g(kN/m <sup>3</sup> )	d·g (kN/m <sup>2</sup> )
Završna obrada poda (parket)	0,02	12,0	0,24
Estrih	0,05	25,0	1,25
PE folija	-	-	-
Termoizolacija	0,04	2,0	0,08
Hidroizolacija + parna brana	0,005	20,0	0,1
Pregradni zidovi	1,0 kN/m <sup>2</sup>		
AB ploča	uključena kroz računalni program		
<b>UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE:</b>			<b>2,67 kN/m<sup>2</sup></b>

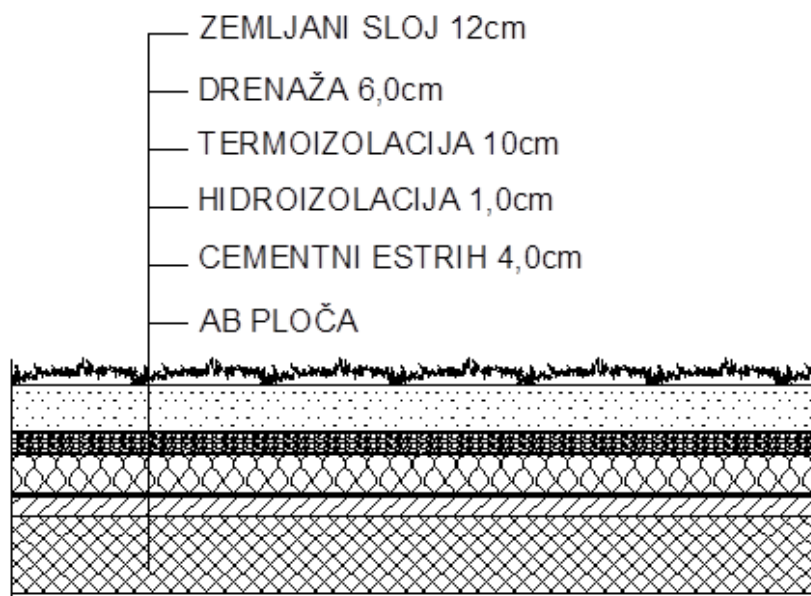
c) Pod iznad garaže – Ploča pozicije 100 i 200 (dio ploče unutar konstrukcije)



Slika 8.3. Slojevi poda garaže

SLOJEVI PODA GARAŽE	d(m)	g(kN/m <sup>3</sup> )	d·g (kN/m <sup>2</sup> )
Završna obrada poda (keramičke pločice)	0,02	24,0	0,48
Estrih	0,05	24,0	1,2
PE folija	-	-	-
Termoizolacija	0,04	2,0	0,08
Hidroizolacija + parna brana	0,005	20,0	0,1
Pregradni zidovi	1,0 kN/m <sup>2</sup>		
AB ploča	uključena kroz računalni program		
UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE:			2,86 kN/m <sup>2</sup>

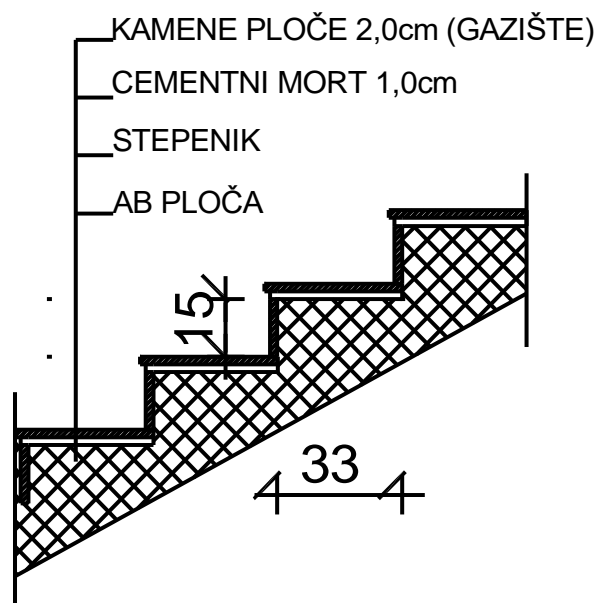
d) Pod iznad garaže – Ploča pozicije 100 (dio ploče van konstrukcije)



Slika 8.4.. Slojevi poda garaže

SLOJEVI PODA GARAŽE VAN KONSTRUKCIJE	d(m)	g(kN/m <sup>3</sup> )	d·g (kN/m <sup>2</sup> )
Zemljani sloj	0,12	18,0	2,16
Drenaža	0,06	18,0	1,08
Termoizolacija	0,1	2,0	0,2
Hidroizolacija	0,01	20,0	0,2
Cementni estrih	0,04	24,0	0,96
AB ploča	uključena kroz računalni program		
UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE:			4,60 kN/m <sup>2</sup>

## e) Stubište



Slika 8.5. Slojevi poda stubišta

SLOJEVI PODA STUBIŠTA	d(m)	g(kN/m <sup>3</sup> )	d·g (kN/m <sup>2</sup> )
Kamene ploče (gazište)	0,02	28,0	0,56
Cementni mort	0,01	20,0	0,2
Stuba	0,05	24,0	1,2
AB ploča	uključena kroz računalni program		
UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE:			1,96 kN/m <sup>2</sup>

## f) Podest stubišta

SLOJEVI PODESTA STUBIŠTA	d(m)	g(kN/m <sup>3</sup> )	d·g (kN/m <sup>2</sup> )
Kamene ploče (gazište)	0,02	28,0	0,56
Cementni mort	0,01	20,0	0,2
AB ploča	uključena kroz računalni program		
UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE:			0,76 kN/m <sup>2</sup>

## 8.2 Promjenjivo opterećenje

### 8.2.1 Korisno opterećenje

Minimalno korisno opterećenje definirano je prema EC1991-1-1. Ovo korisno opterećenje je minimalno koje se može koristiti ali na zahtjev investitora ili prema procjeni projektanta može se uzeti i veće vrijednosti. Za potrebe proračuna koristili smo slijedeće vrijednosti:

- *Ravni krov:  $q = 1,0 \text{ kN/m}^2$*
- *Stambeni prostori (A):  $q = 2,0 \text{ kN/m}^2$*
- *Stubišta (A) i poslovni prostori (B) :  $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$*
- *Pod iznad garaže:  $q = 2,0 \text{ kN/m}^2$*
- *Prostor iznad garaže van objekta (C3, C4, C5)  $q = 5,0 \text{ kN/m}^2$*

Kategorija	Namjena	Primjer
A	Prostori za stanovanje i kućanske djelatnosti	Sobe u stambenim zgradama i kućama, sobe i odjeli u bolnicama; sobe u hotelima i prenoćistima, kuhinje i kupaonice
B	Uredski prostori	
C	Prostori gdje se mogu okupljati ljudi (osim prostora određenih u kategorijama A, B, i D <sup>1)</sup> )	C1: Prostori sa stolovima i sl., primjerice u školama, kavanama, restoranima, blagovaonicama, čitaonicama, recepcijama C2: Prostori s nepomičnim sjedalima, primjerice u crkvama, kazalištima ili kinima, sobe za sastanke, dvorane za predavanja, dvorane za skupove, željezničke čekaonice i sl. C3: Prostori bez zapreka za kretanje ljudi, primjerice u muzejima, izložbenim prostorima i slično, te pristupi u javnim i upravnim zgradama, hotelima, bolnicama i željezničkim stanicama C4: Prostori gdje su moguće fizičke aktivnosti, primjerice plesne dvorane, gimnastičke dvorane, pozornice C5: Prostori za velika okupljanja ljudi, primjerice u zgradama za javne priredbe kao što su koncertne dvorane, sportske dvorane uključujući gledališta, terase, prilaze i željezničke perone
D	Prodajni prostori	D1: Prostori u trgovinama D2: Prostori u robnim kućama

Tablica 8.2. Uporabne kategorije

Kategorija opterećenog prostora	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
Kategorija A		
- stropovi	1,5 do 2,0	2,0 do 3,0
- stubišta	2,0 do 4,0	2,0 do 4,0
- balkoni	2,5 do 4,0	2,0 do 3,0
Kategorija B	2,0 do 3,0	1,5 do 4,5
Kategorija C		
- C1	2,0 do 3,0	3,0 do 4,0
- C2	3,0 do 4,0	2,5 do 7,0 (4,0)
- C3	3,0 do 5,0	4,0 do 7,0
- C4	4,5 do 5,0	3,5 do 7,0
- C5	5,0 do 7,5	3,5 do 4,5
Kategorija D		
- D1	4,0 do 5,0	3,5 do 7,0 (4,0)
- D2	4,0 do 5,0	3,5 do 7,0

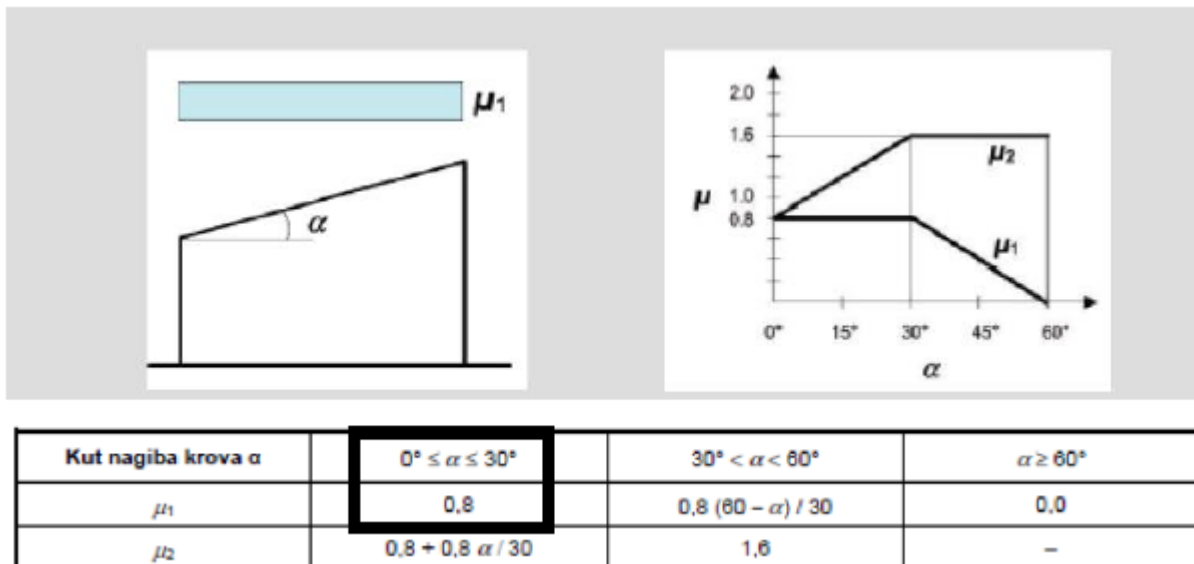
Tablica 8.3. Uporabna opterećenja prema kategorijama

### 8.2.2 Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom na krovu definira se prema izrazu:

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

- $\mu_i$ - koeficijent oblika za opterećenje snijegom – ravni krov ili jednostrešni krov do nagiba  $\alpha_1 \cong 5^\circ$



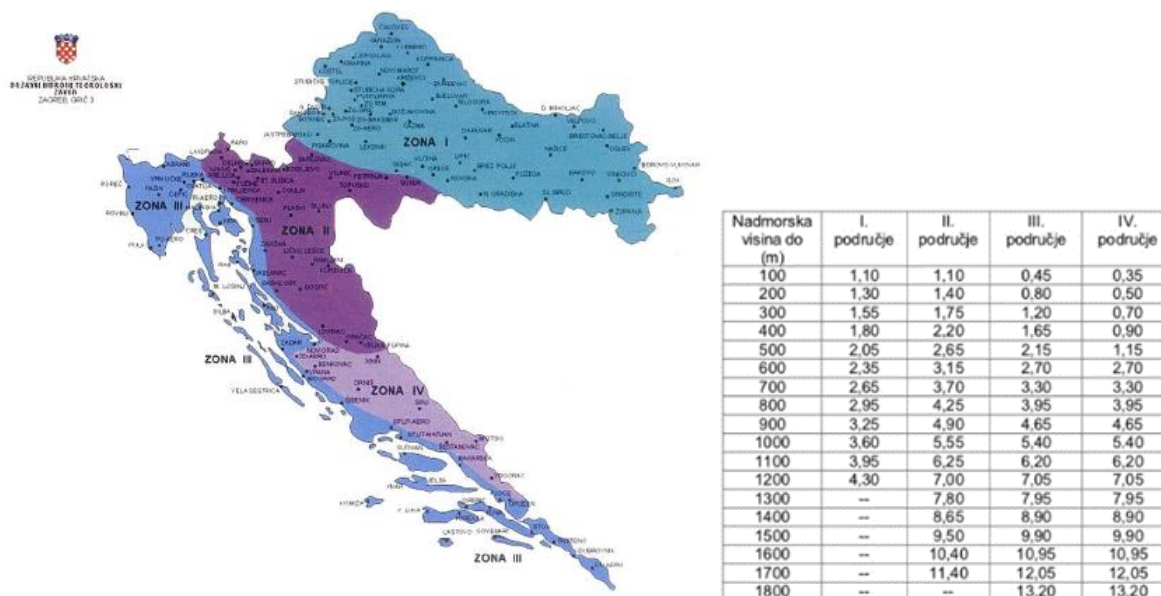
Slika 8.6. Koeficijent oblika

$$\alpha_1 \cong 5^\circ \quad \mu_1 = 0,8$$

- $C_e$  – koeficijent izloženosti  $C_e = 1,0$
- $C_t$  – koeficijent izloženosti  $C_t = 1,0$
- $S_k$  – karakteristična vrijednost opterećenja na tlu

→ Konstrukcija se nalazi na području grada Split

→ ZONA III. (priobalje i otoci), nadmorska visima do 100m



Slika 8.7. Karta karakterističnog opterećenja snijegom

Prema preporukama europske norme ENV 1991-2-3:1995, karakteristično opterećenje snijegom je  $s_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$

Opterećenje snijegom na krovu:

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

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,45 = 0,36 \text{ kN/m}^2$$

**Napomena:** Opterećenje snijegom od  $0,36 \text{ kN/m}^2$  zadajemo samo na dijelu ploče van konstrukcije, dok je opterećenje krova snijegom uzeto u obzir prilikom zadavanja pokretnog opterećenja na krovu (vjetar + snijeg) u iznosu od  $1,0 \text{ kN/m}^2$ .

### 8.2.3 Opterećenje vjetrom

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

$v_{b,0}$  = temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra - karakteristična 10-minutna srednja brzina vjetra, neovisno o smjeru vjetra i dobu godine, 10 m iznad tla na otvorenom terenu u prirodi s niskim raslinjem, primjerice travom, i osamljenim preprekama na razmaku najmanje 20 visina prepreke.

Vrijednost osnovne brzine vjetra se dodatno korigira prema izrazu:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{temp} \cdot c_{alt} \cdot v_{b,0}$$

$c_{dir}$  – faktor smjera vjetra i za cijelu Hrvatsku se uzima  $c_{dir} = 1,0$

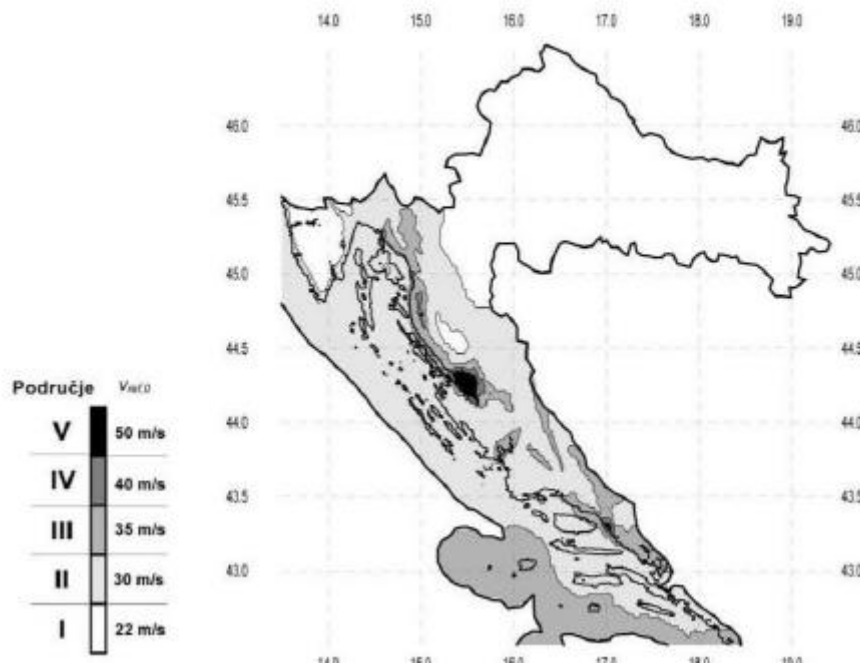
$c_{temp}$  – faktor godišnjeg doba i za cijelu Hrvatsku se uzima  $c_{temp} = 1,0$

$c_{alt}$  – faktor nadmorske visine koji uzima u obzir promjenu brzine uslijed promjene nadmorske visine. Zbog nedostatka mjernih postaja na planinskom području Republike Hrvatske, ta vrijednost se računa po izrazu:

$$c_{alt} = 1 + 0,0001 \cdot a_s$$

$a_s$  – nadmorska visina mjesta u (m)

$$c_{alt} = 1 + 0,0001 \cdot 10 = 1,001$$



Slika 8.8. Karta osnovnih brzina vjetra s obzirom na područje

→ Objekt se nalazi na području grada Splita te pripada II. vjetrovnoj zoni. Iz toga proilazi da je:

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

Vrijednost osnovne brzine:

$$v_b = c_{air} \cdot c_{temp} \cdot c_{alt} \cdot v_{b,0}$$

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,001 \cdot 30 = 30,03 \text{ m/s}$$

Srednja brzina vjetra iznad terena na nekoj visini (z):

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{o(z)} \cdot v_b$$

$c_{o(z)}$  – koeficijent topografije (uglavnom se uzima 1,0)

$c_{r(z)}$  – koeficijent hrapavosti

$$c_{r(z)} = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ za } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$c_{r(z)} = c_{r(z,min)} \text{ za } z \leq z_{min}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} - \text{koeficijent terena}$$

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

Slika 8.9. Parametri vjetrovnog opterećenja ovisno o kategoriji terena

Za područje grada Splita kategorija terena prema tablici je IV. Stoga su vrijednosti sljedeće:

$$z_0 = 1,0 \quad z_{min} = 1,0 \quad z_{max} = \text{obično se uzima } 200m$$

Turbulencija vjetra na visini  $z$  zadana je sljedećim izrazom:

$$Iv(z) = \frac{1}{c_{0(z)} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{za } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$Iv(z) = Iv(z_{min}) \quad \text{za } z \leq z_{min}$$

Maksimalan tlak brzine zadan je sljedećim izrazom:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot Iv(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

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

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

Rezultirajuća sila vjetra:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \left[ \frac{kN}{m^2} \right] - \text{sila vjetra na vanjske plohe}$$

$c_{pe}$  – koeficijent vanjskog tlaka

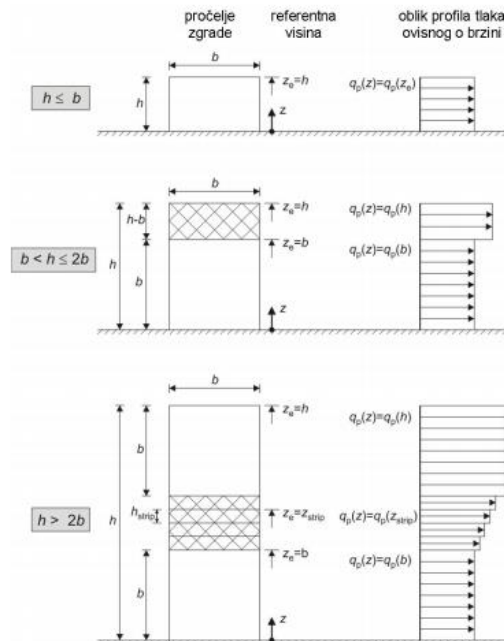
$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \left[ \frac{kN}{m^2} \right] - \text{sila vjetra na unutarnje plohe}$$

$c_{pi}$  – koeficijent vanjskog tlaka



**Određivanje koeficijenta vanjskog tlaka  $C_{pe}$**

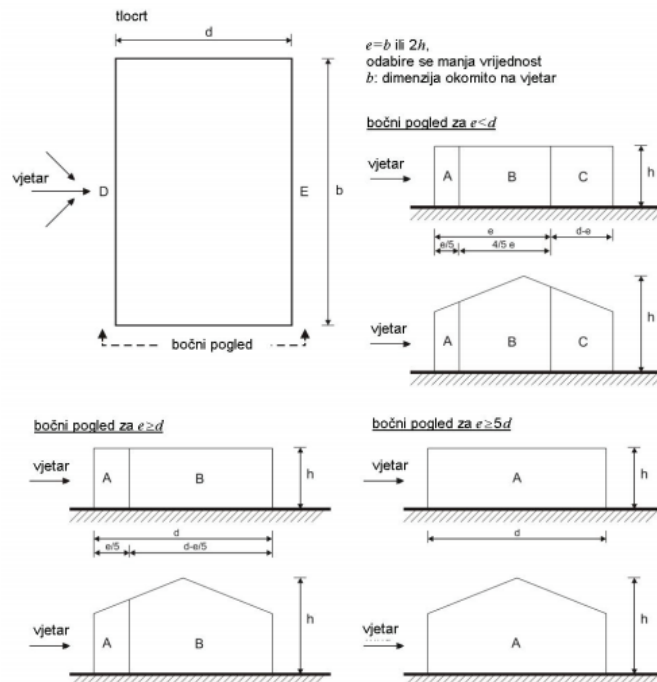
1. Referentna visina objekta  $z_e$  – određuje se prema odnosu  $h/b$



Slika 8.10. Određivanje koeficijenta vanjskog tlaka vjetra

Napomena: u radu nije uzeta u obzir promjena opterećenja vjetra po visini. Stoga smo uzeli najkritičniji slučaj  $h > 2b$ , pojednostavljen je proračun, a istovremeno smo na strani sigurnosti.

2. Podjela konstrukcije na zone (vertikalni zidovi)



Slika 8.11. Podjela zida na vjetrovne zone

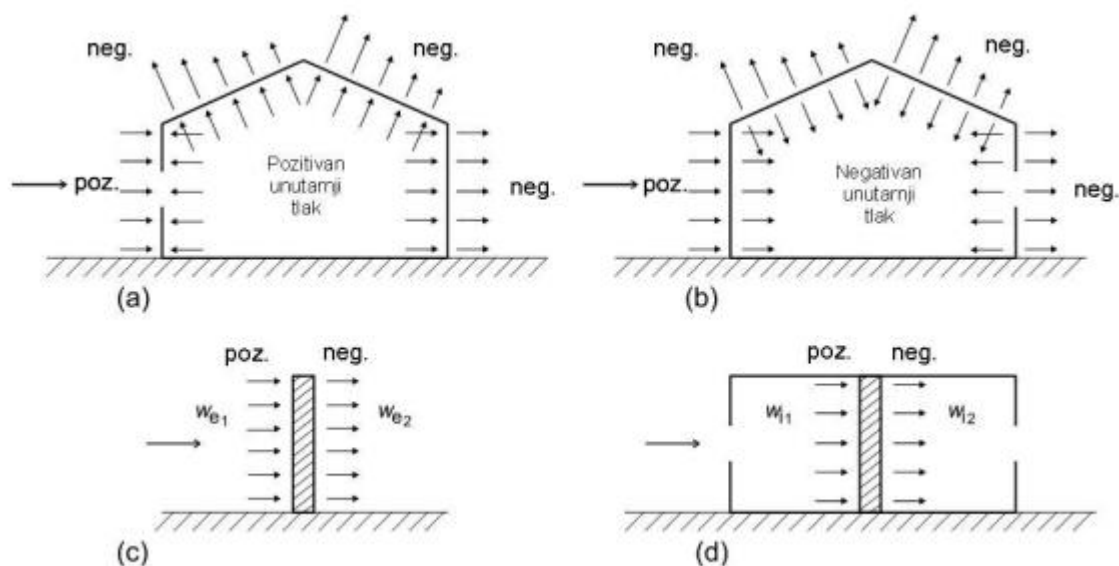
Područje	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Tablica 8.3. Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada

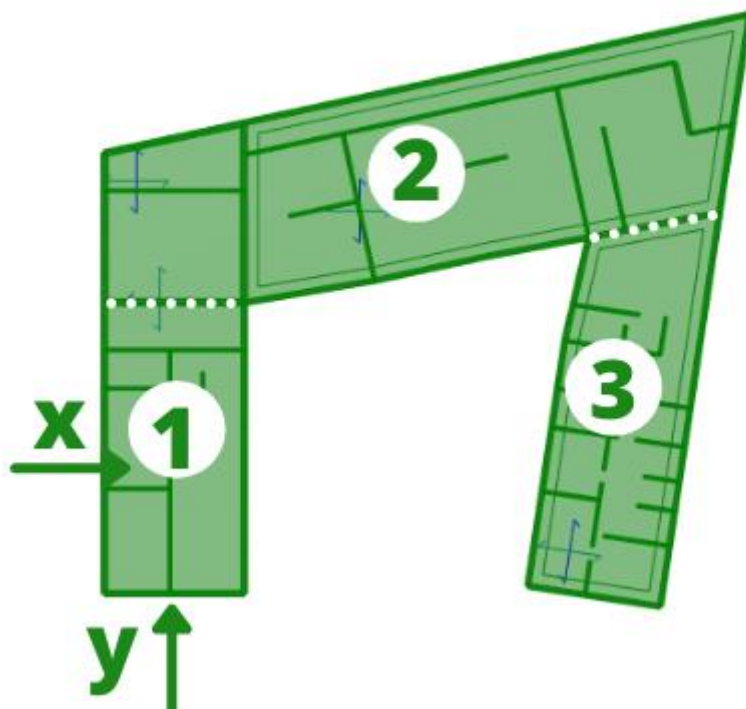
### Određivanje koeficijenta unutarnjeg tlaka $C_{pi}$

Maksimalni koeficijent unutarnjeg tlaka je 0,8, a minimalni koeficijent unutarnjeg tlaka (podtlak) je -0,5.

Rezultirajuća sila vjetra na vanjske i unutarnje plohe ( $w_e$  i  $w_i$ ) se raspoređi prema shemi prikazanoj na slici ispod te se zbrajanjem odnosno oduzimanjem rezultirajuće sile vjetra dobije ekvivalentna sila vjetra na plohu.



Slika 8.11. Tlak na površine

**Rezultati proračuna vjetra za konstrukciju iz programskog zadatka****1. Prikaz proračuna vjetra na zgradu 1**

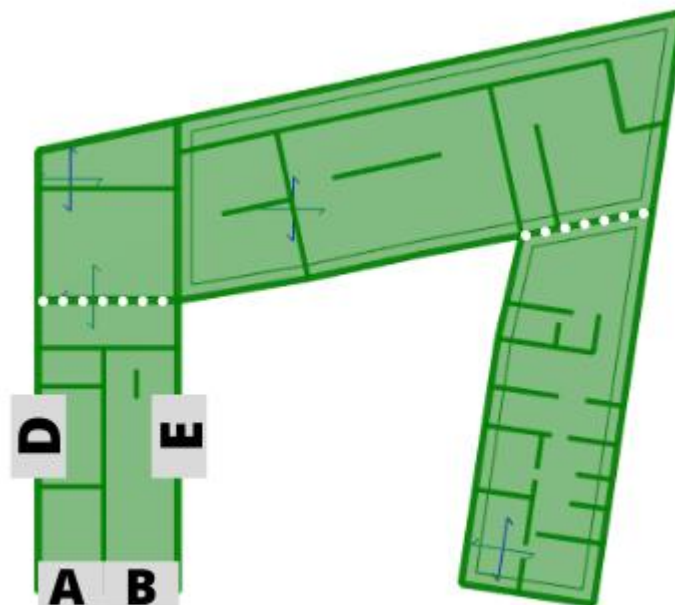
Slika 8.12. Djelovanje vjetra na zgradu 1

x smjer vjetra		
$Z_e$	12,9	m
$V_{b,0}$	30,0	m/s
$C_{alt}$	1,0	
$C_{dir}$	1,0	
$C_{tem}$	1,0	
$V_b$	30,03	m/s
$C_{r(z)}$	0,598	
$k_r$	0,234	
$Z$	12,9	m
$Z_o$	1,0	m
$C_{0(z)}$	1,0	
$v_m$	17,958	m/s
$I_v$	0,391	
$\rho$	1,25	kg/m <sup>3</sup>
$q_{p(z)}$	0,753	kg/m <sup>3</sup>

y smjer vjetra		
$Z_e$	12,9	m
$V_{b,0}$	30,0	m/s
$C_{alt}$	1,0	
$C_{dir}$	1,0	
$C_{tem}$	1,0	
$V_b$	30,03	m/s
$C_{r(z)}$	0,598	
$k_r$	0,234	
$Z$	12,9	m
$Z_o$	1,0	m
$C_{0(z)}$	1,0	
$v_m$	17,958	m/s
$I_v$	0,391	
$\rho$	1,25	kg/m <sup>3</sup>
$q_{p(z)}$	0,753	kg/m <sup>3</sup>

H	12,9	> 8,3	→	Zone A, B, D, E	H	12,9	< 16,2	→	Zone A, B, C, D, E
b	16,2				b	8,3			
d	8,3				d	16,2			
e	16,2				e	8,3			
h/d	1,554				h/d	1,554			

x smjer	$q_{p(z)}$	$C_{pe, 10}$	$C_{pi, max}$	$C_{pi, min}$	$W_e$	$W_{i, max}$	$W_{i, min}$	$W_{uk, max}$	$W_{uk, min}$	$W_{ekv}$
Zona vjetra	kN/m <sup>2</sup>				kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
A	0,753	-1,2	0,8	-0,5	-0,904	0,602	-0,453	-1,506	-0,451	-1,51
B	0,753	-0,8	0,8	-0,5	-0,602	0,602	-0,453	-1,204	-0,149	-1,2
D	0,753	0,8	0,8	-0,5	0,602	0,602	-0,453	0	1,055	1,1
E	0,753	-0,5	0,8	-0,5	-0,377	0,602	-0,453	-0,979	-0,076	-0,98



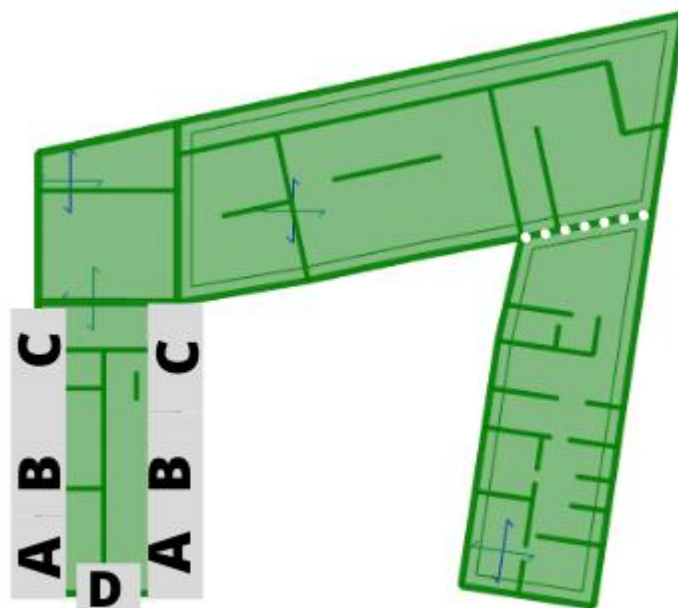
Slika 8.13. Djelovanje vjetra u x smjeru na zgradu 1

Zona A na duljini  $e/5 = 3,24$  m

Zona B na duljini  $d-e/5 = 5,06$  m

H	12,9	< 37,95	→	Zone A, B, C, D, E	H	12,9	> 11,6	→	Zone A, B, D, E
b	11,6				b	37,95			
d	37,95				d	11,6			
e	11,6				e	37,95			
h/d	0,34				h/d	1,554			

Y smjer	$q_{p(z)}$	$C_{pe, 10}$	$C_{pi, max}$	$C_{pi, min}$	$W_e$	$W_{i, max}$	$W_{i, min}$	$W_{uk, max}$	$W_{uk, min}$	$W_{ekv}$
Zona vjetra	$kN/m^2$				$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$
A	0,753	-1,2	0,8	-0,5	-0,904	0,602	-0,453	-1,506	-0,451	-1,51
B	0,753	-0,8	0,8	-0,5	-0,602	0,602	-0,453	-1,204	-0,149	-1,2
C	0,753	-0,5	0,8	-0,5	-0,377	0,602	-0,453	0,979	-0,076	0,979
D	0,753	0,8	0,8	-0,5	0,602	0,602	-0,453	0	1,055	1,1
E	0,753	-0,5	0,8	-0,5	-0,377	0,602	-0,453	-0,979	-0,076	-0,98



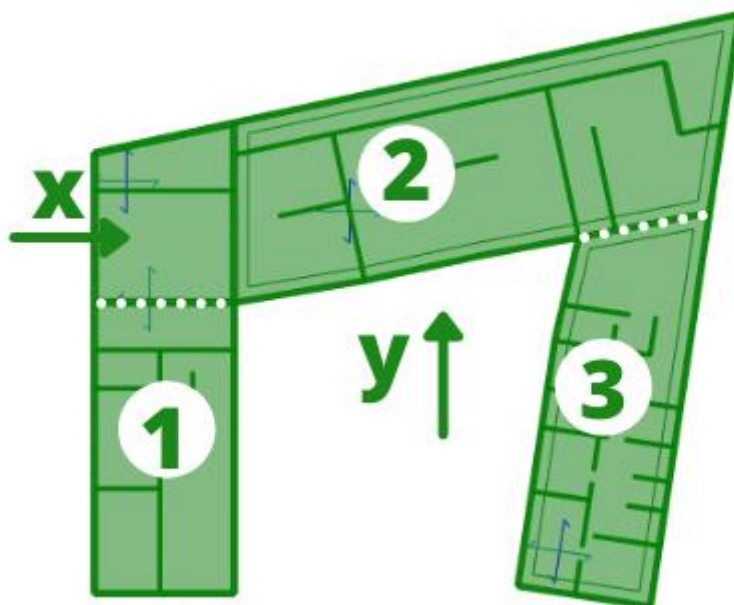
Slika 8.14. Djelovanje vjetra u y smjeru na zgradu 1

Zona A na duljini  $e/5 = 1,66$  m

Zona B na duljini  $4 \cdot e/5 = 6,64$  m

Zona C na duljini  $d - e = 7,9$  m

## 2. Prikaz proračuna vjetra na zgradu 2



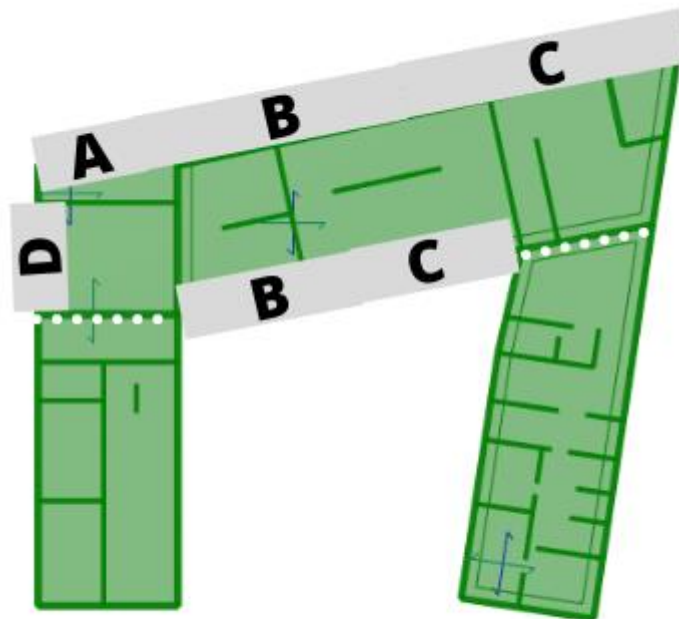
Slika 8.15. Djelovanje vjetra na zgradu 2

x smjer vjetra		
$Z_e$	12,9	m
$V_{b,0}$	30,0	m/s
$C_{alt}$	1,0	
$C_{dir}$	1,0	
$C_{tem}$	1,0	
$V_b$	30,03	m/s
$C_{r(z)}$	0,598	
$k_r$	0,234	
$Z$	12,9	m
$Z_o$	1,0	m
$C_{o(z)}$	1,0	
$v_m$	17,958	m/s
$I_v$	0,391	
$\rho$	1,25	kg/m <sup>3</sup>
$q_{p(z)}$	0,753	kg/m <sup>3</sup>

y smjer vjetra		
$Z_e$	12,9	m
$V_{b,0}$	30,0	m/s
$C_{alt}$	1,0	
$C_{dir}$	1,0	
$C_{tem}$	1,0	
$V_b$	30,03	m/s
$C_{r(z)}$	0,598	
$k_r$	0,234	
$Z$	12,9	m
$Z_o$	1,0	m
$C_{o(z)}$	1,0	
$v_m$	17,958	m/s
$I_v$	0,391	
$\rho$	1,25	kg/m <sup>3</sup>
$q_{p(z)}$	0,753	kg/m <sup>3</sup>

H	12,9	< 37,95	→	Zone A, B, C, D, E	H	12,9	> 11,6	→	Zone A, B, D, E
b	11,6				b	37,95			
d	37,95				d	11,6			
e	11,6				e	37,95			
h/d	0,34				h/d	1,554			

x smjer	$q_{p(z)}$	$C_{pe, 10}$	$C_{pi, max}$	$C_{pi, min}$	$W_e$	$W_{i, max}$	$W_{i, min}$	$W_{uk, max}$	$W_{uk, min}$	$W_{ekv}$
Zona vjetra	kN/m <sup>2</sup>				kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
A	0,753	-1,2	0,8	-0,5	-0,904	0,602	-0,453	-1,506	-0,451	-1,51
B	0,753	-0,8	0,8	-0,5	-0,602	0,602	-0,453	-1,204	-0,149	-1,2
C	0,753	-0,5	0,8	-0,5	-0,377	0,602	-0,453	0,979	-0,076	0,979
D	0,753	0,8	0,8	-0,5	0,602	0,602	-0,453	0	1,055	1,1
E	0,753	-0,5	0,8	-0,5	-0,377	0,602	-0,453	-0,979	-0,076	-0,98



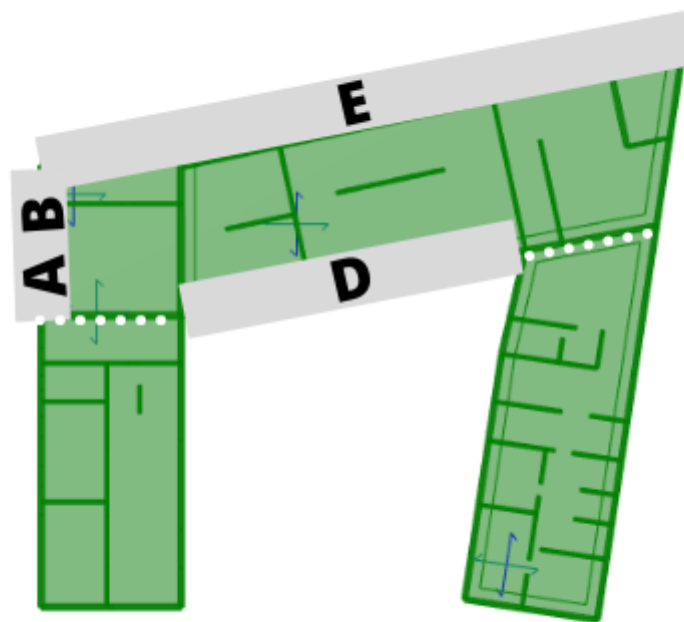
Slika 8.16. Djelovanje vjetra u x smjeru na zgradu 2

Zona A na duljini  $e/5 = 2,32$  m

Zona B na duljini  $4 \cdot e/5 = 9,28$  m

Zona C na duljini  $d - e = 26,35$  m

y smjer	$q_{p(z)}$	$C_{pe, 10}$	$C_{pi, max}$	$C_{pi, min}$	$W_e$	$W_{i, max}$	$W_{i, min}$	$W_{uk, max}$	$W_{uk, min}$	$W_{ekv}$
Zona vjetra	$kN/m^2$				$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$
A	0,753	-1,2	0,8	-0,5	-0,904	0,602	-0,453	-1,506	-0,451	-1,51
B	0,753	-0,8	0,8	-0,5	-0,602	0,602	-0,453	-1,204	-0,149	-1,2
D	0,753	0,8	0,8	-0,5	0,602	0,602	-0,453	0	1,055	1,1
E	0,753	-0,5	0,8	-0,5	-0,377	0,602	-0,453	-0,979	-0,076	-0,98



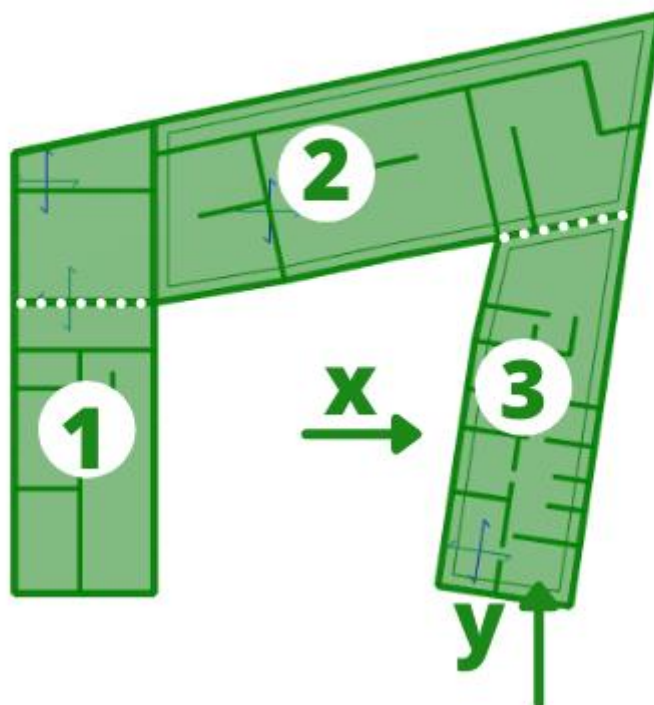
Slika 8.17. Djelovanje vjetra u y smjeru na zgradu 2

Zona A na duljini  $e/5 = 7,59$  m

Zona B na duljini  $d-e/5 = 4,01$  m



## 3. Prikaz proračuna vjetra na zgradu 3



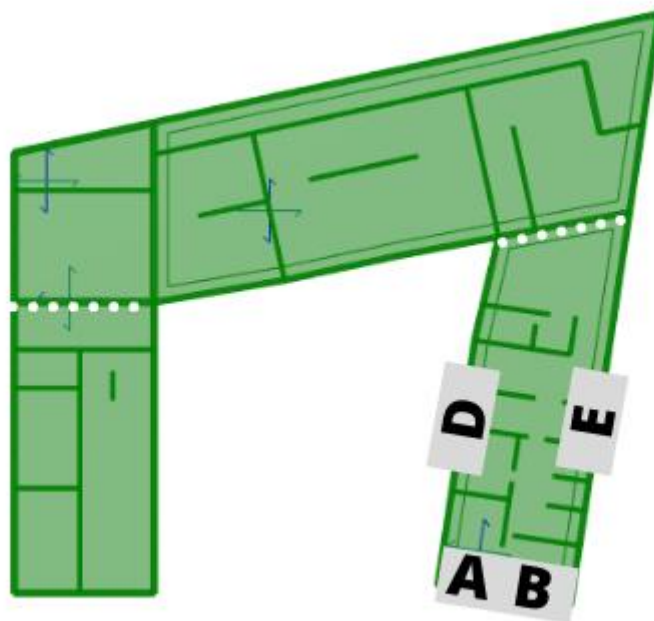
Slika 8.18. Djelovanje vjetra na zgradu 3

x smjer vjetra		
$Z_e$	12,9	m
$V_{b,0}$	30,0	m/s
$C_{alt}$	1,0	
$C_{dir}$	1,0	
$C_{tem}$	1,0	
$V_b$	30,03	m/s
$C_{r(z)}$	0,598	
$k_r$	0,234	
$Z$	12,9	m
$Z_o$	1,0	m
$C_{0(z)}$	1,0	
$v_m$	17,958	m/s
$l_v$	0,391	
$\rho$	1,25	kg/m <sup>3</sup>
$q_{p(z)}$	0,753	kg/m <sup>3</sup>

y smjer vjetra		
$Z_e$	12,9	m
$V_{b,0}$	30,0	m/s
$C_{alt}$	1,0	
$C_{dir}$	1,0	
$C_{tem}$	1,0	
$V_b$	30,03	m/s
$C_{r(z)}$	0,598	
$k_r$	0,234	
$Z$	12,9	m
$Z_o$	1,0	m
$C_{0(z)}$	1,0	
$v_m$	17,958	m/s
$l_v$	0,391	
$\rho$	1,25	kg/m <sup>3</sup>
$q_{p(z)}$	0,753	kg/m <sup>3</sup>

H	12,9	> 8,1	→	Zone A, B, D, E	H	12,9	< 22,8	→	Zone A, B, C, D, E
b	22,8				b	8,1			
d	8,1				d	22,8			
e	22,8				e	8,1			
h/d	1,554				h/d	1,554			

x smjer	$q_{p(z)}$	$C_{pe, 10}$	$C_{pi, max}$	$C_{pi, min}$	$W_e$	$W_{i, max}$	$W_{i, min}$	$W_{uk, max}$	$W_{uk, min}$	$W_{ekv}$
Zona vjetra	kN/m <sup>2</sup>				kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
A	0,753	-1,2	0,8	-0,5	-0,904	0,602	-0,453	-1,506	-0,451	-1,51
B	0,753	-0,8	0,8	-0,5	-0,602	0,602	-0,453	-1,204	-0,149	-1,2
D	0,753	0,8	0,8	-0,5	0,602	0,602	-0,453	0	1,055	1,1
E	0,753	-0,5	0,8	-0,5	-0,377	0,602	-0,453	-0,979	-0,076	-0,98

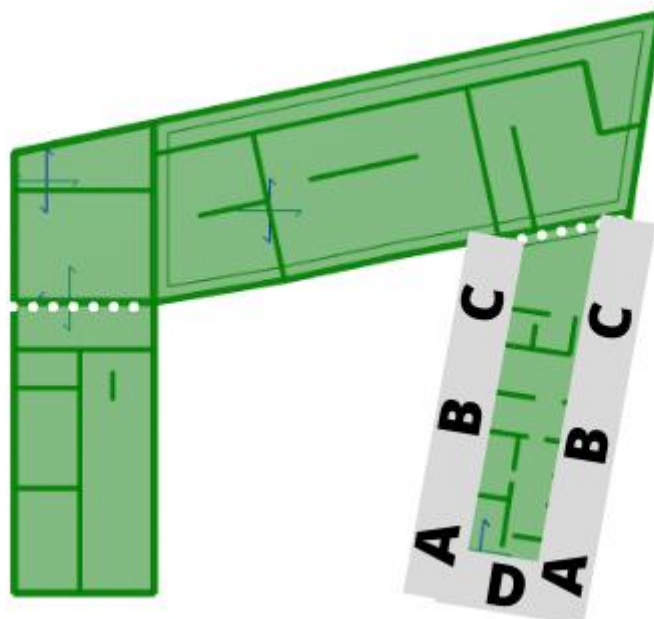


Slika 8.19. Djelovanje vjetra u x smjeru na zgradu 3

Zona A na duljini  $e/5 = 4,56$  m

Zona B na duljini  $d-e/5 = 3,54$  m

y smjer	$q_{p(z)}$	$C_{pe, 10}$	$C_{pi, max}$	$C_{pi, min}$	$W_e$	$W_{i, max}$	$W_{i, min}$	$W_{uk, max}$	$W_{uk, min}$	$W_{ekv}$
Zona vjetra	$kN/m^2$				$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$	$kN/m^2$
A	0,753	-1,2	0,8	-0,5	-0,904	0,602	-0,453	-1,506	-0,451	-1,51
B	0,753	-0,8	0,8	-0,5	-0,602	0,602	-0,453	-1,204	-0,149	-1,2
C	0,753	-0,5	0,8	-0,5	-0,377	0,602	-0,453	0,979	-0,076	0,979
D	0,753	0,8	0,8	-0,5	0,602	0,602	-0,453	0	1,055	1,1
E	0,753	-0,5	0,8	-0,5	-0,377	0,602	-0,453	-0,979	-0,076	-0,98



Slika 8.20. Djelovanje vjetra u y smjeru na zgradu 3

Zona A na duljini  $e/5 = 1,62$  m

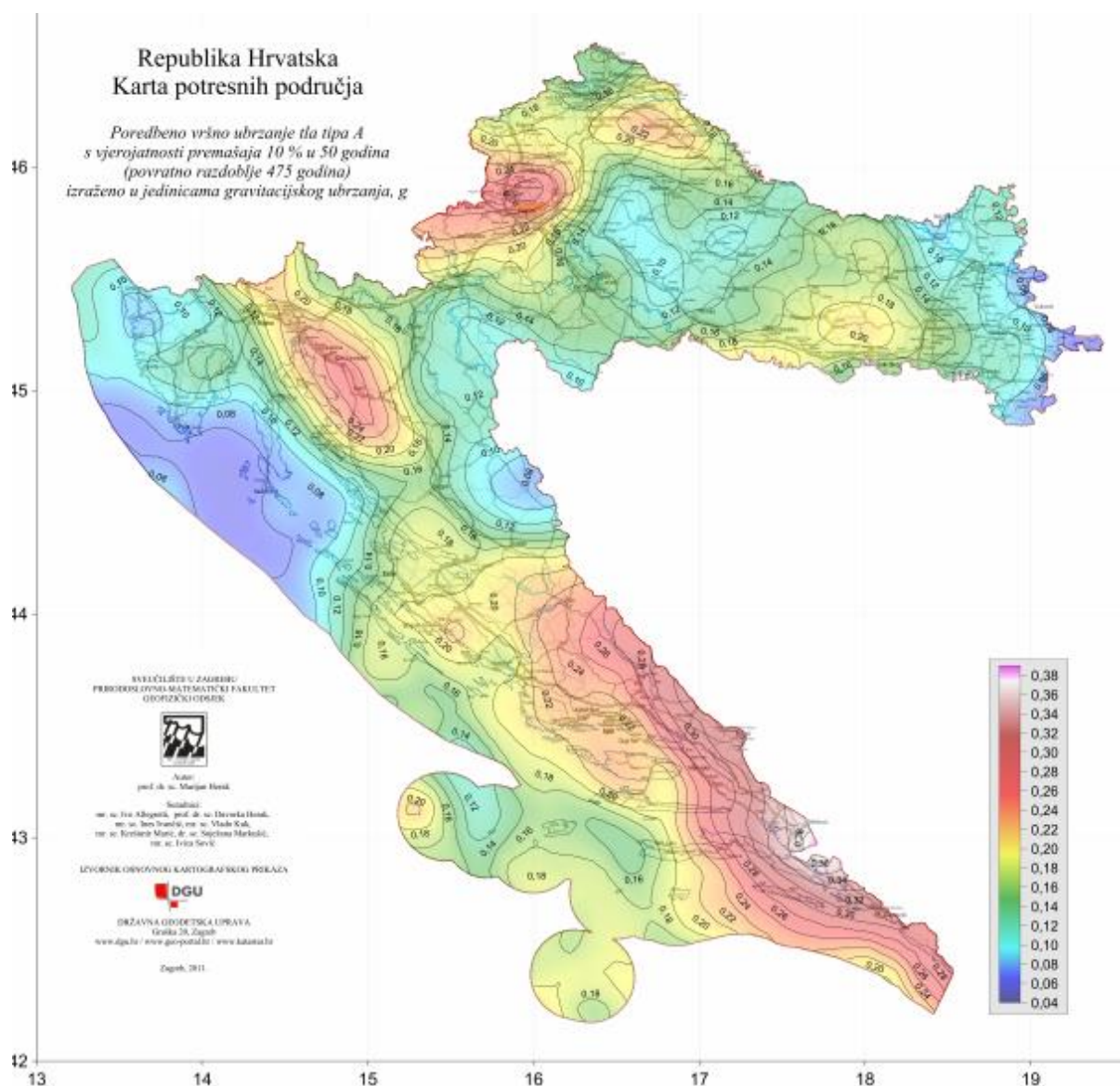
Zona B na duljini  $4 \cdot e/5 = 6,48$  m

Zona C na duljini  $d-e = 14,7$  m

## 8.3 Izvanredno opterećenje

### 8.3.1 Potresno opterećenje

Potresne sile proračunate su pojednostavljenim postupkom koristeći prostorni model konstrukcije u računalnom programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Za proračun potresnog opterećenja korištena je višemodalna spektralna analiza. Građevina se nalazi na području Splita gdje poredbeno vršno ubrzanje tla iznosi  $a_{gR} = 0,22g = 2,16m/s^2$  prema seizmološkoj karti Republike Hrvatske. Računsko ubrzanje je očitano za povratni period 475 godina.



Slika 8.21. Karta potresnih područja Republike Hrvatske



Slika 8.22. Očitano ubrzanje za područje grada Splita

Građevina je temeljena na čvrstom tlu - tlu klase A. Parametar kojim u proračun uzimamo u obzir vrstu i kvalitetu tla naziva se faktor tla ( $S$ ).

Klasa tla A  $\rightarrow S=1,0$

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

Slika 8.23. Prikaz karakterističnih perioda ovisno o klasi tla

Proračun faktora ponašanja ovisi o vrsti i tipu konstrukcije. Pretpostavlja se srednja klasa (DCM) duktilnog ponašanja konstrukcije te sustav povezanih zidova.

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

Slika 8.24. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5 \text{ za klasu DCM}$$

$$q_0 \rightarrow \text{osnovni faktor ponašanja} \rightarrow q_0 = 3,0 \cdot \frac{\alpha_0}{\alpha_1}$$

$$\frac{\alpha_0}{\alpha_1} = 1,0 \rightarrow \text{faktor prevladavajućeg sloma} \rightarrow k_w = \frac{1 + \alpha_0}{3}$$

$$k_w = 1,0$$

$$q = 3,0 \cdot 1,0 = 3,0$$

Ulazni podaci za proračun:

Slika 8.25. Ulazni podaci za proračun na potres

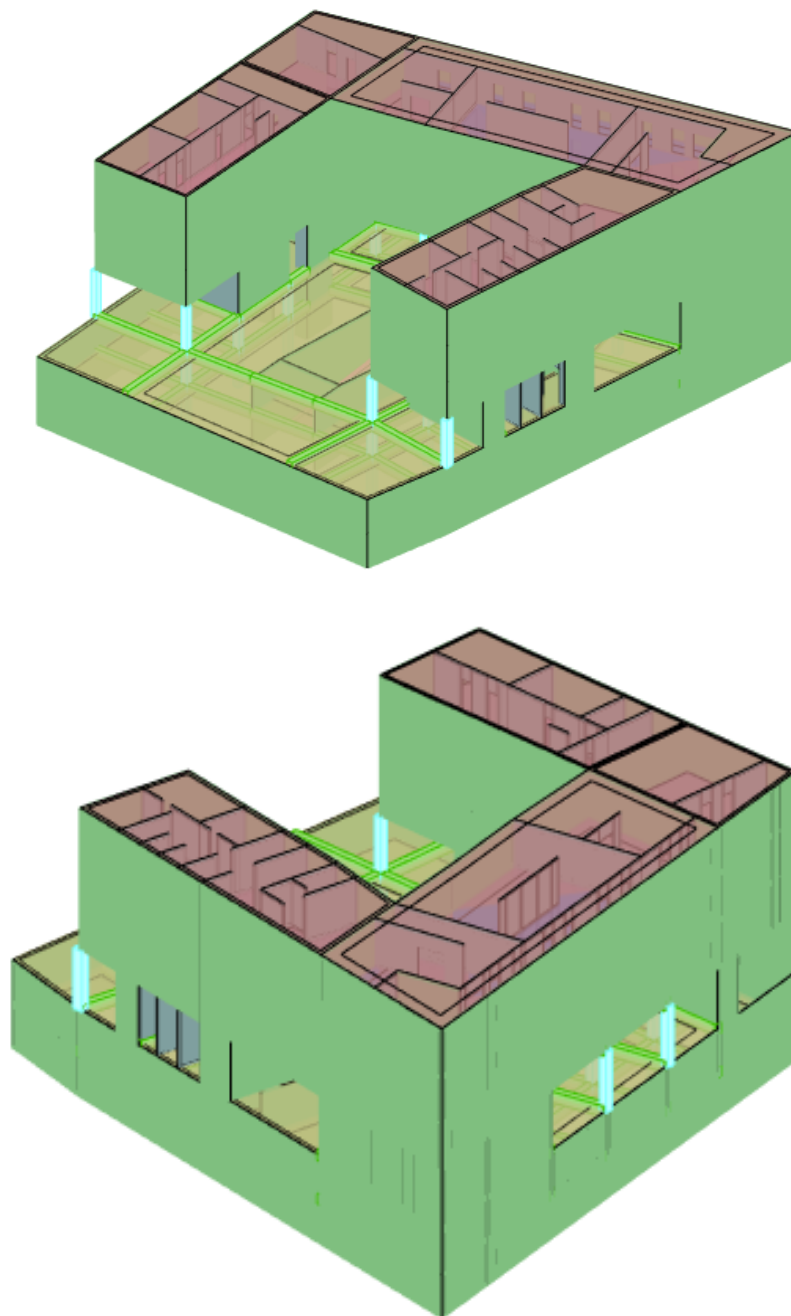
Na temelju ulaznih podataka i prostornog modela konstrukcije provedena je modalna i seizmička analiza konstrukcije. Kod modalne analize je automatski generirana ukupna masa na temelju sudjelujućih masa od vlastite težine i dodatnog stalnog opterećenja te 50% pokretnog opterećenja. Proveden je proračun te su dobiveni rezultati za 20 vlastitih oblika konstrukcije, njima pripadajućih perioda te ukupna sudjelujuća masa po svakom smjeru. U rezultatima za dinamičku analizu je prikazana aktivirana masa u svakom od smjerova. Rezultati prikazuju više od 90% aktivirane mase u svakom pojedinačnom smjeru te nije potrebno povećavati rezne sile. Nakon dovršene modalne analize napravljen je i linearni proračun za potresne kombinacije djelovanja čiji su rezultati mjerodavni za dimenzioniranje vertikalnih elemenata konstrukcije (zidovi i stupovi).



## 9. NUMERIČKI MODEL

### 9.1 Općenito o numeričkom modelu

Numerički model napravljen je kao prostorni 3D model sastavljen od 2D plošnih elementa (zidovi i ploče), te od štapnih 1D elemenata (stupovi i grede). Numerički model napravljen je u računalnom programu za proračun i modeliranje konstrukcija Autodesk Robot Structural Analysis Professional.



Slika 9.1. Numerički prostorni 3D model

Međukatne konstrukcije su pune armirano betonske ploče debljine 16cm između katova te na dvije etaže garaže ploče su debljine 25cm. Međukatne konstrukcije su modelirane kao plošni elementi opterećene okomito na svoju ravninu raspodjeljenim plošnim opterećenjem. Međukatne konstrukcije su osim svojom vlastitom težinom opterećene dodatnim stalnim opterećenjem, korisnim opterećenjem i snijegom (dio iznad garaže).

Zidovi su armirano betonski debljine 30cm i 20cm. Zidovi su modelirani kao plošni elementi opterećeni okomito na svoju ravninu raspodijeljenim opterećenjem te u smjeru svoje ravnine su opterećeni vjetrovnim opterećenjem.

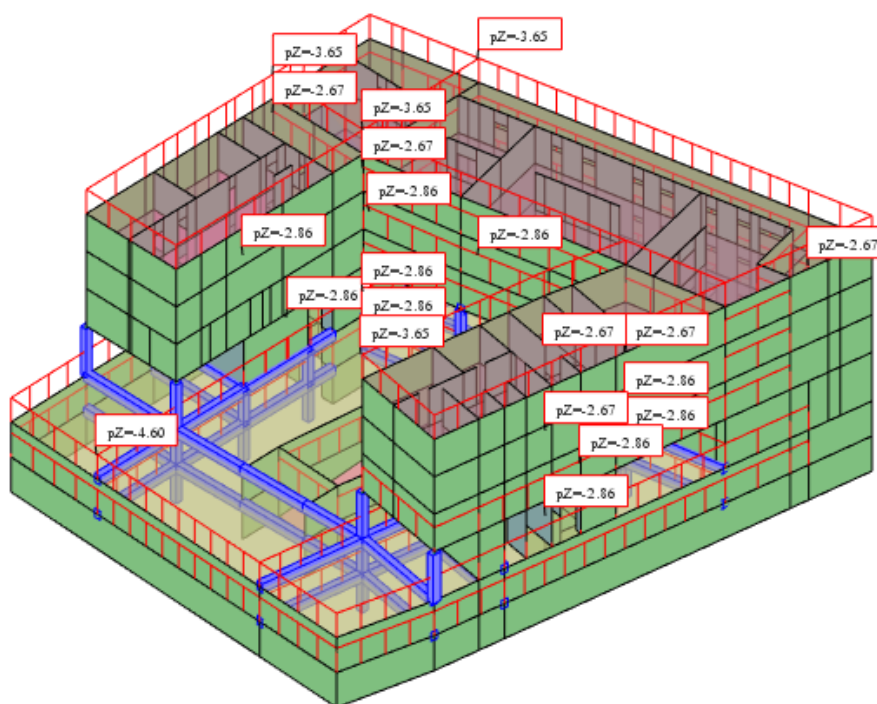
Stupovi su armirano betonski elementi. Dimenzije stupova su 50x50cm.

Grede su armirano betonski elementi. Grede su dimenzija 50x70cm.

Svi betonski elementi su napravljeni od betona klase C30/37 armirani armaturom B500B.

## 9.2 Djelovanja na konstrukciju

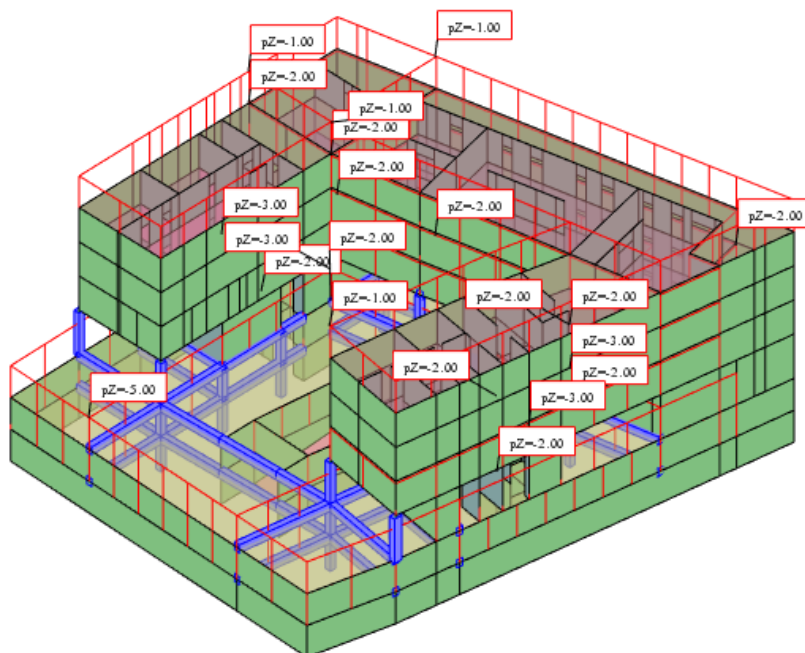
### 9.2.1 Dodatno stalno opterećenje



Slika 9.2 Dodatno stalno opterećenje

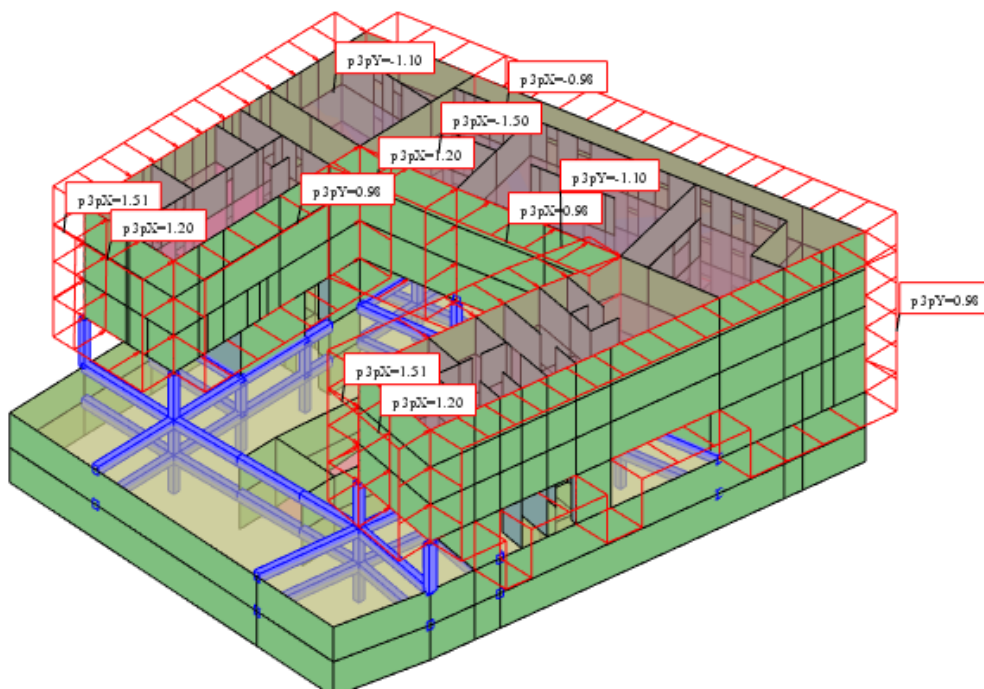


### 9.2.2 Korisno opterećenje

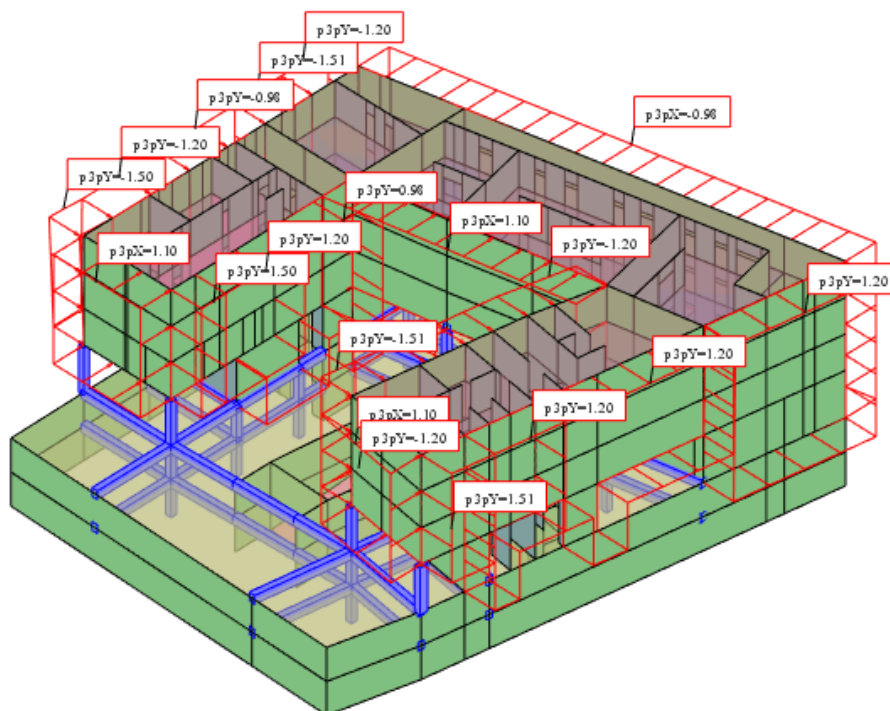


Slika 9.3. Korisno opterećenje

### 9.2.3 Opterećenje vjetrom



Slika 9.4. Opterećenje vjetrom u x smjeru



Slika 9.5. Opterećenje vjetrom u y smjeru

### 9.3 Kombinacije opterećenja

Proračun konstrukcije se sastoji od provedbe statičke i dinamičke analize. Dinamička analiza podrazumijeva višemodalnu spektralnu analizu sa rezultatima vlastitih oblika. Na osnovu statičke analize provedeno je dimenzioniranje konstruktivnih elemenata (GSN kombinacije) te kontrola graničnog stanja uporabljivosti (GSU).

#### GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI:

*Uobičajne kombinacije djelovanja:*

1. GSN 1:  $1,35 \cdot (g_k + \Delta g) + 1,5 \cdot 1,2 \cdot q_k$
2. GSN 2:  $1,35 \cdot (g_k + \Delta g) + 1,5 \cdot q_k$
3. GS2 3:  $1,35 \cdot (g_k + \Delta g) + 0,9(1,5 \cdot q + 1,5 W_x)$
4. GSN 4:  $1,35 \cdot (g_k + \Delta g) + 0,9(1,5 \cdot q + 1,5 W_y)$

*Seizmičke kombinacije djelovanja:*

5. GSN 5:  $1,0 \cdot (g_k + \Delta g) + 0,3 \cdot q + 1,0 S_x$
6. GSN 6:  $1,0 \cdot (g_k + \Delta g) + 0,3 \cdot q + 1,0 S_y$

U potresnom opterećenju  $S_x$  je uključeno 30% potresnog opterećenja iz drugog smjera, odnosno iz y smjera. Isto vrijedi i za drugi smjer.

GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI:

1. GSU 1:  $1,0 \cdot (g_k + \Delta g) + 1,0 \cdot q_k$

2. GSU 2:  $1,0 \cdot (g_k + \Delta g) + 1,0 \cdot s$

## 10. REZULTATI DINAMIČKE ANALIZE

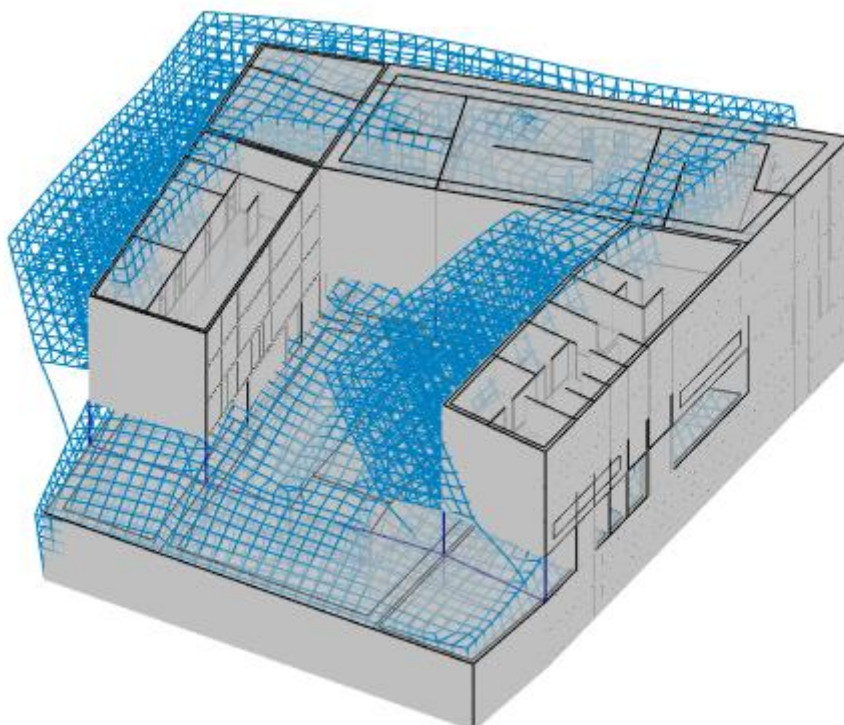
Prikaz aktivacije mase pri potresnom opterećenju:

Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)	Cur.mas.UX (%)	Cur.mas.UY (%)	Cur.mas.UZ (%)	Total mass UX (kg)	Total mass UY (kg)	Total mass UZ (kg)
8/ 1	5,54	0,18	4,56	64,39	0,0	4,56	64,39	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 2	7,16	0,14	40,41	67,42	0,0	35,85	3,03	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 3	7,75	0,13	67,55	68,01	0,0	27,14	0,58	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 4	8,30	0,12	68,84	70,25	0,0	1,29	2,25	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 5	10,15	0,10	70,16	70,30	0,0	1,33	0,04	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 6	14,80	0,07	70,28	70,46	0,0	0,11	0,17	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 7	15,54	0,06	71,59	87,05	0,0	1,32	16,58	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 8	17,56	0,06	71,62	87,05	0,0	0,03	0,01	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 9	17,90	0,06	72,63	87,08	0,0	1,01	0,02	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 10	18,43	0,05	73,10	87,12	0,0	0,46	0,04	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 11	19,27	0,05	79,24	87,92	0,0	6,15	0,80	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 12	19,76	0,05	79,58	88,29	0,0	0,33	0,37	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 13	20,01	0,05	82,53	88,30	0,0	2,95	0,01	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 14	21,51	0,05	85,61	88,59	0,0	3,08	0,29	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 15	22,09	0,05	85,92	88,65	0,0	0,31	0,06	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 16	22,83	0,04	88,12	88,86	0,0	2,20	0,21	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 17	23,05	0,04	90,26	88,89	0,0	2,15	0,03	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 18	23,53	0,04	92,25	88,90	0,0	1,99	0,02	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 19	24,32	0,04	92,27	88,90	0,0	0,02	0,00	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0
8/ 20	25,19	0,04	92,37	90,64	0,0	0,10	1,74	0,0	13570302,44	13570302,44	0,0

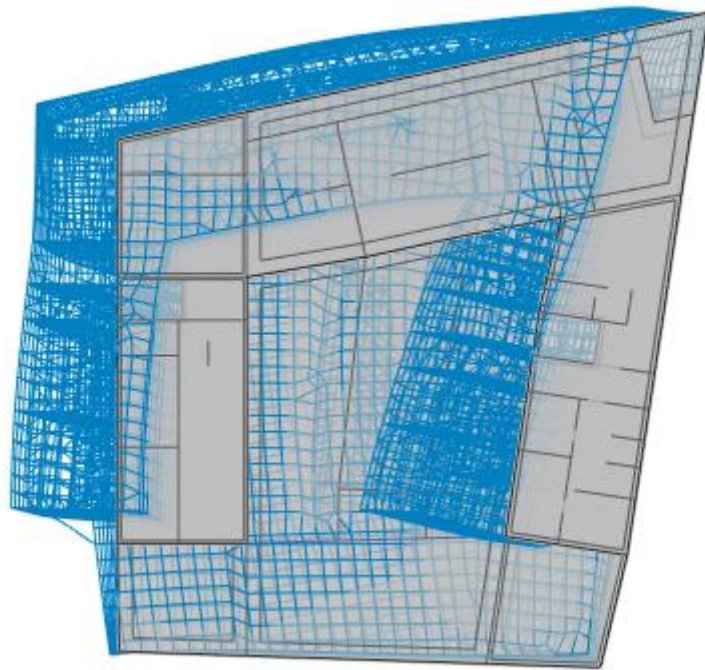
Slika 10.1. Prikaz aktivacije mase pri potresu

Rezultati prikazuju više od 90% aktivirane mase u svakom pojedinačnom smjeru te nije potrebno povećavati rezne sile.

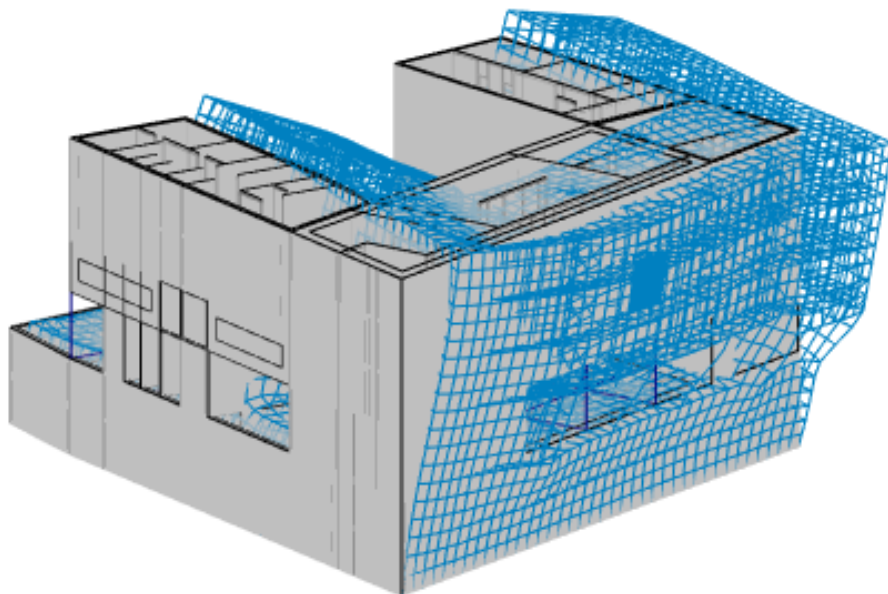
### Mod 1:



Slika 10.2. Mod 1 translacija u smjeru globalne osi y



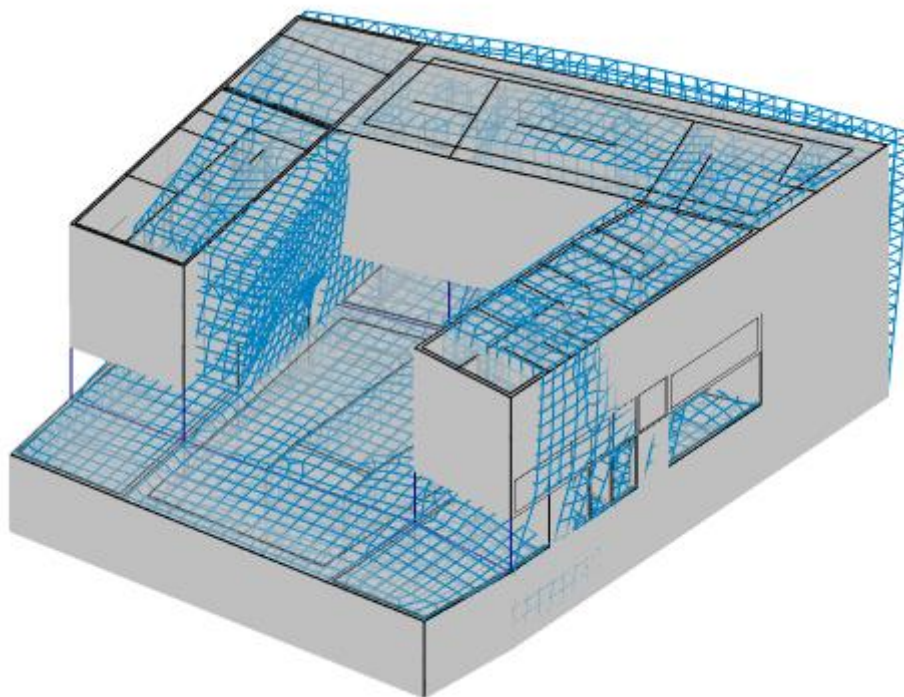
Slika 10.3. Mod 1 translacija u smjeru globalne osi y



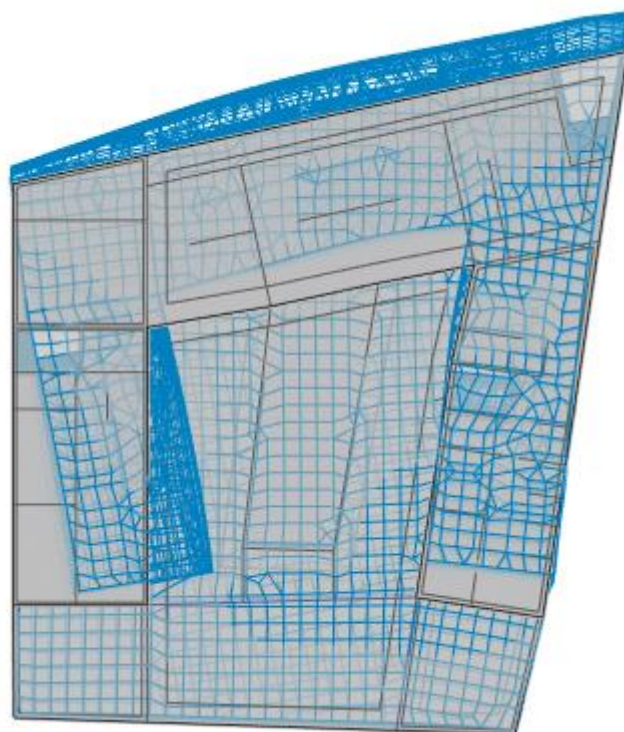
Slika 10.4. Mod 1 translacija u smjeru globalne osi y



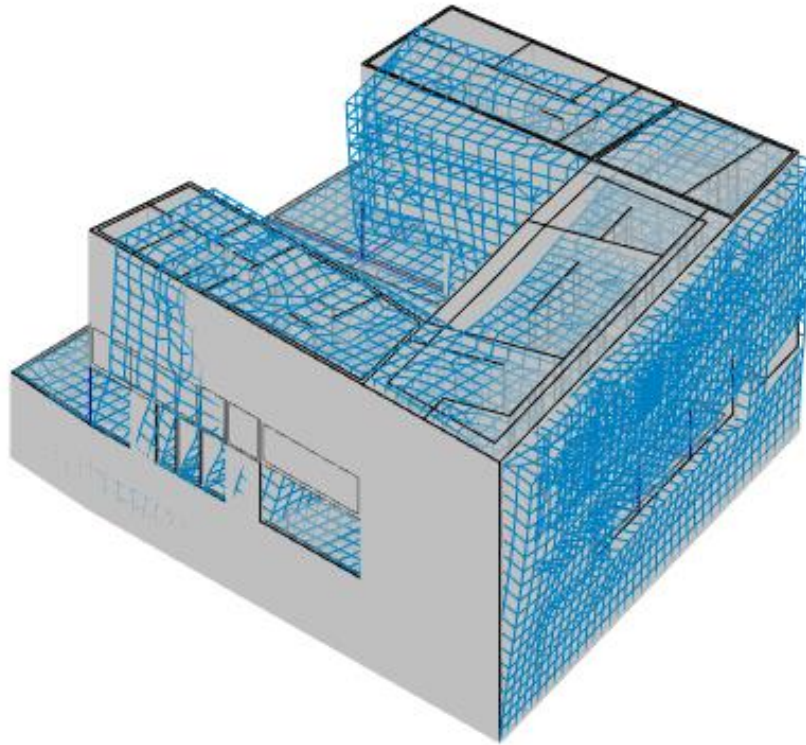
**Mod 2:**



*Slika 10.5. translacija u smjeru globalne osi x*

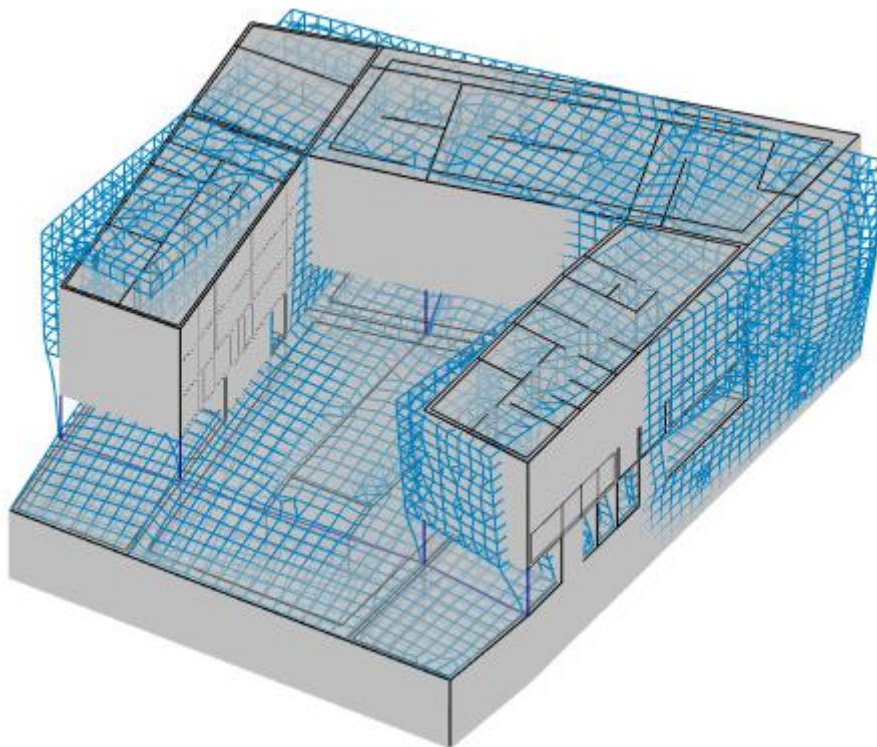


*Slika 10.6. Mod 2 translacija u smjeru globalne osi x*



Slika 10.7. Mod 2 translacija u smjeru globalne osi  $x$

**Mod 4:**

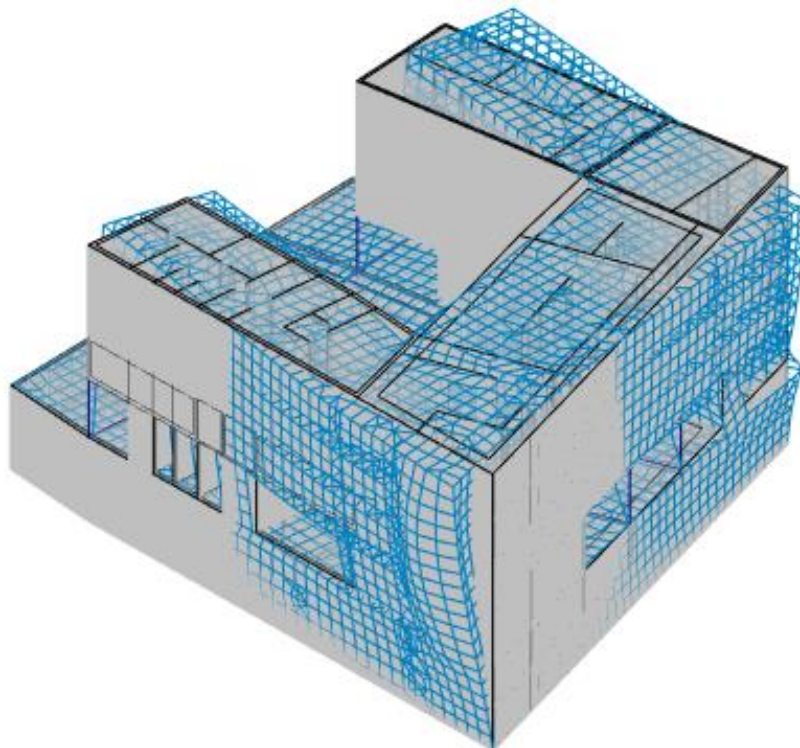


Slika 10.8. Uvrtnje u smjeru globalne osi  $z$





Slika 10.9. Uvrtnje u smjeru globalne osi z



Slika 10.10. Uvrtnje u smjeru globalne osi z

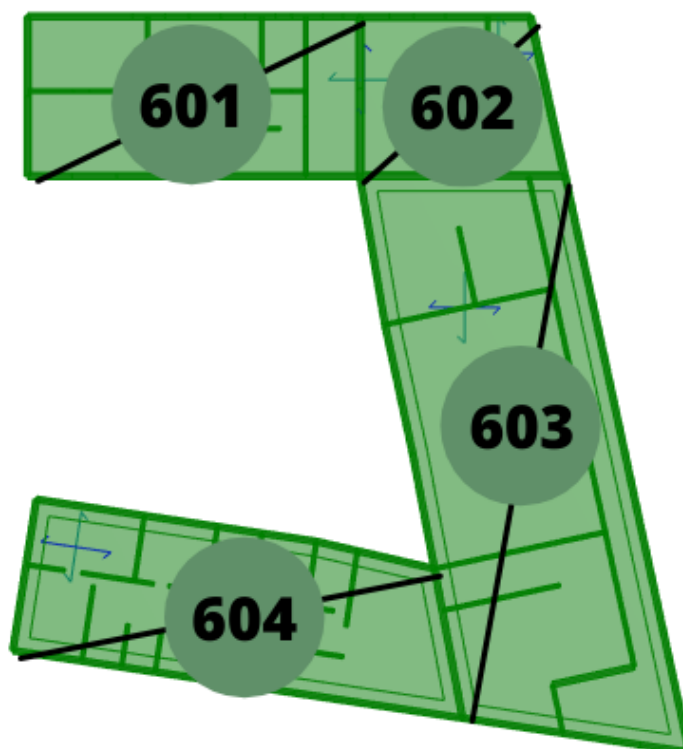


## 11. PRORAČUN HORIZONTALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE

Proračun armirano betonskih konstrukcija provedeno je po Eurocodu 2 (Projektiranje betonskih konstrukcija). Za dimenzioniranje ploča uzimani su mjerodavne kombinacije opterećenja djelovanja za granično stanje nosivosti. U kombinacijama za maksimalne sile u poljima povećali smo korisno opterećenje za 20%. Za kontrolu pukotina i progiba korištene su kombinacije opterećenja djelovanja graničnog stanja uporabljivosti.

### 11.1 Proračun ploča pozicija 600 (ploča krova) $d_{pl} = 16\text{cm}$

#### 11.1.1 Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN



Slika 11.1. Prikaz ploče pozicije 600

Postupak dimenzioniranja:

$$\text{Beton: } C30/37 \quad f_{ck} = 30\text{MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{30}{1,5} = 20\text{MPa} = 2\text{kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: } B500B \quad f_{yk} = 500\text{MPa} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{500}{1,15} = 434,8\text{MPa} = 43,48\text{kN/cm}^2$$

$$b_{pl} = 100\text{cm}, h_{pl} = 16\text{cm}$$

$$c_{nom} = 2\text{cm (XC1 klasa)}$$

$$d_1 = 3\text{cm}, d = 13\text{cm}$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,im} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd} = A_s \cdot 0,892 \cdot 13 \cdot 43,48$$

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 16 = 1,6\text{cm}^2$$

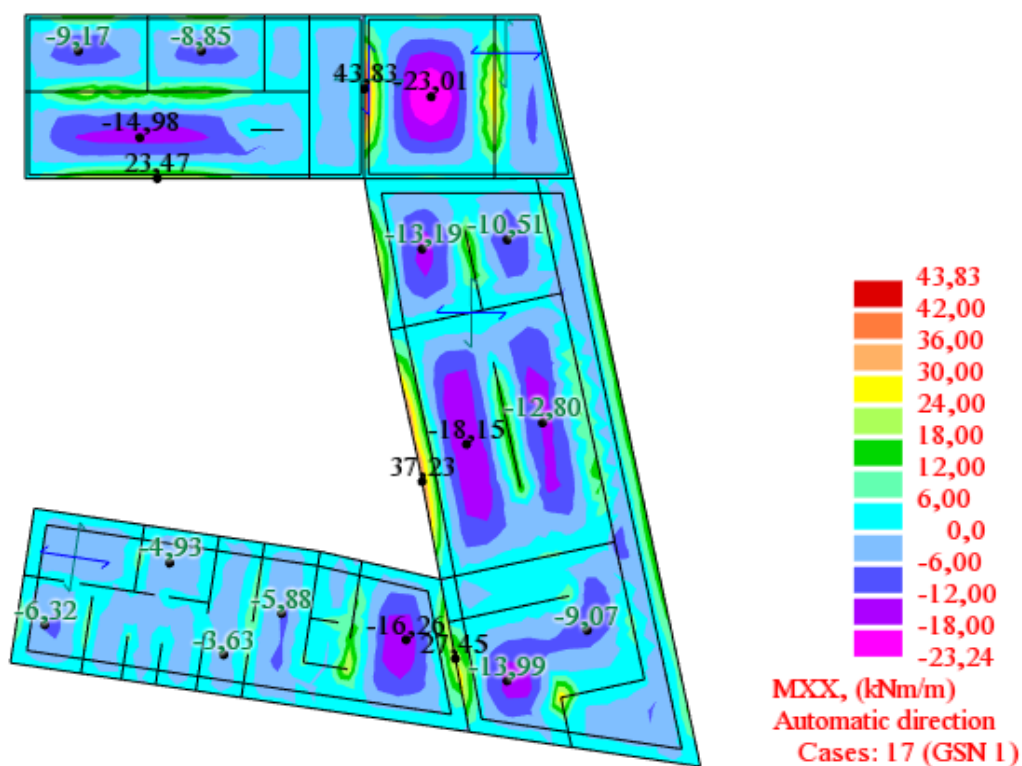
$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 16 = 32\text{cm}^2$$

MREŽA		Površina	Moment nosivosti betona	Moment nosivosti armature	Postotak armature
		$A_{s1}$	$M_{Rdc, lim}$	$M_{Rds, lim}$	
		$\text{cm}^2/\text{m}$	kNm	kNm	%
R/Q-	283	2,83	53,74	14,27	0,18
R/Q-	335	3,35	53,74	16,89	0,21
R/Q-	385	3,85	53,74	19,41	0,24
R/Q-	424	4,24	53,74	21,38	0,27
R/Q-	503	5,03	53,74	25,36	0,31
R/Q-	524	5,24	53,74	26,42	0,33
R/Q-	636	6,36	53,74	32,07	0,40
R/Q-	785	7,85	53,74	39,58	0,49

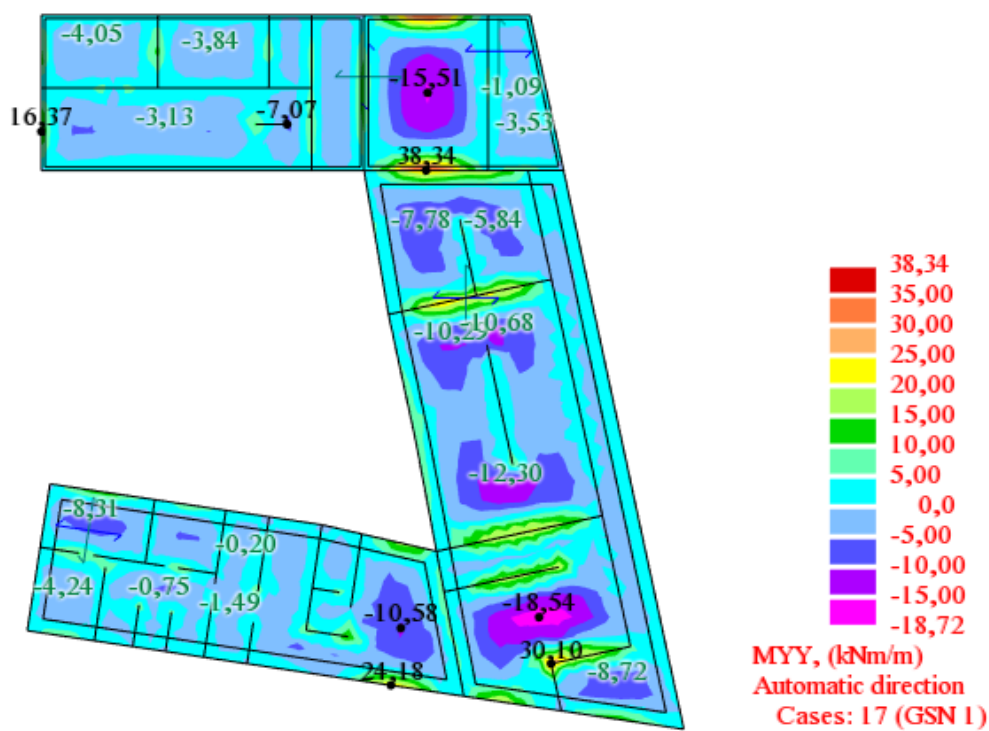
Tablica 11.1 Prikaz nosivosti betona i armature

Napomena: Dimenzioniranje ćemo računati za kritični moment savijanja na svakoj poziciji. Položaj na kojem imamo najveći moment savijanja ćemo armirati prema proračunatoj armaturi. Ostala mjesta s momentom savijanja koji je manji od kritičnog ćemo armirati s armaturom jedan ili dva razreda niže, ovisno o veličini momenta savijanja prikazanog u slikama koje se nalaze u prilogu.

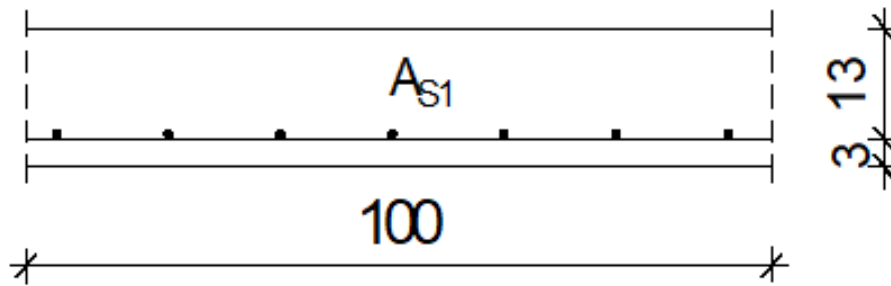
Proračun u polju:



Slika 11.2. Prikaz momenata savijanja  $M_x$



Slika 11.3. Prikaz momenata savijanja  $M_y$



**Pozicija 601** →  $M_{Ed} = 14,98 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14,98 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,044$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,3\text{‰}, \quad \zeta = 0,959, \quad \xi = 0,115$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{14,98 \cdot 100}{0,959 \cdot 13 \cdot 43,48} = 2,76 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-3,85 (3,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 602** →  $M_{Ed} = 23,24 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23,24 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,069$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,7\text{‰}, \quad \zeta = 0,947, \quad \xi = 0,145$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{23,24 \cdot 100}{0,941 \cdot 13 \cdot 43,48} = 4,36 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-636 (6,36cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 603** →  $M_{Ed} = 18,54 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{18,54 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,055$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,5\text{‰}, \quad \zeta = 0,953, \quad \xi = 0,130$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{18,54 \cdot 100}{0,953 \cdot 13 \cdot 43,48} = 3,44 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-503 (5,03cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 604** →  $M_{Ed} = 16,26 \text{ kNm}$

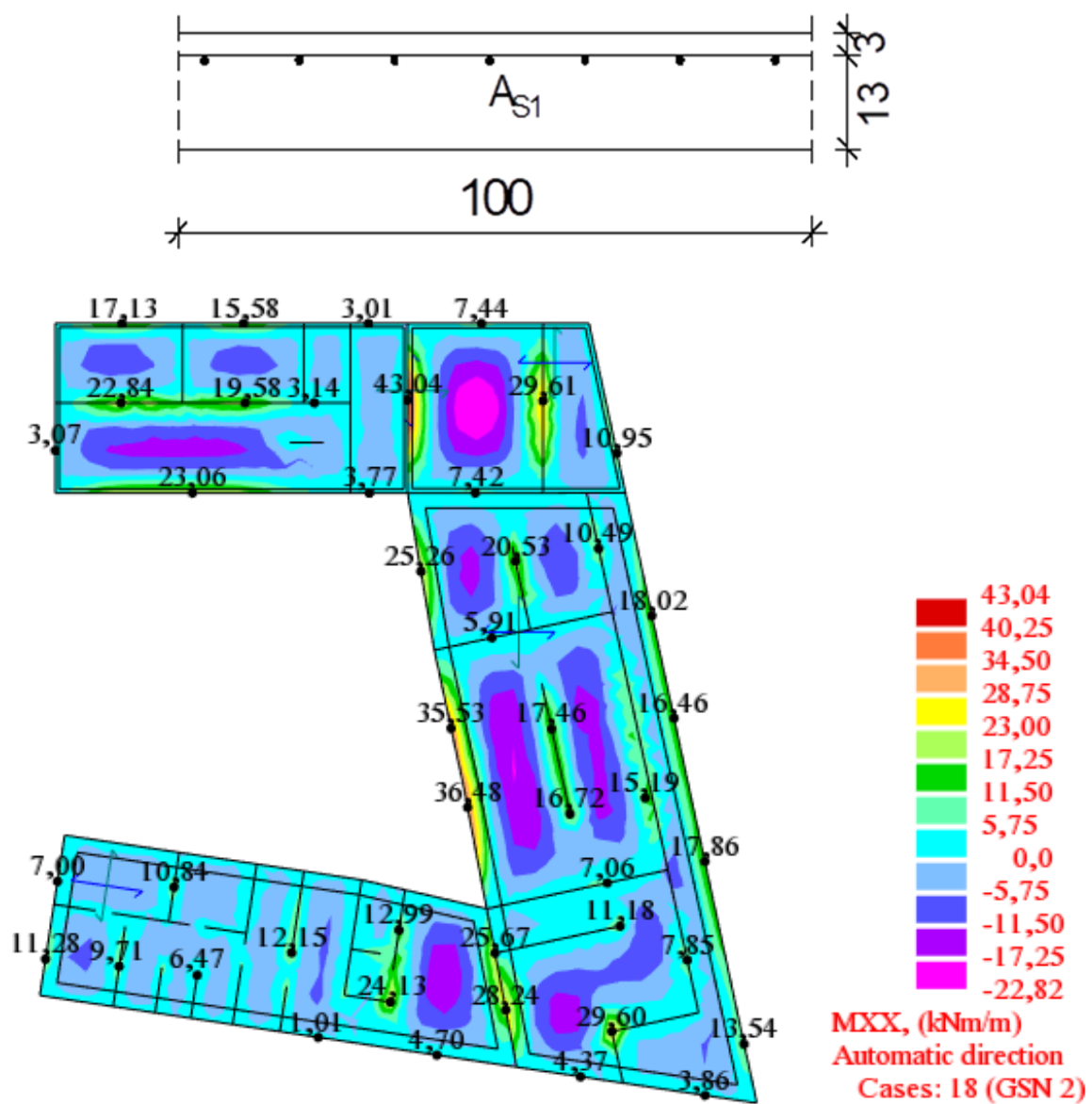
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{16,26 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,056$$

Za  $\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}$ ,  $\varepsilon_{c2} = 1,5\text{‰}$ ,  $\zeta = 0,953$ ,  $\xi = 0,130$

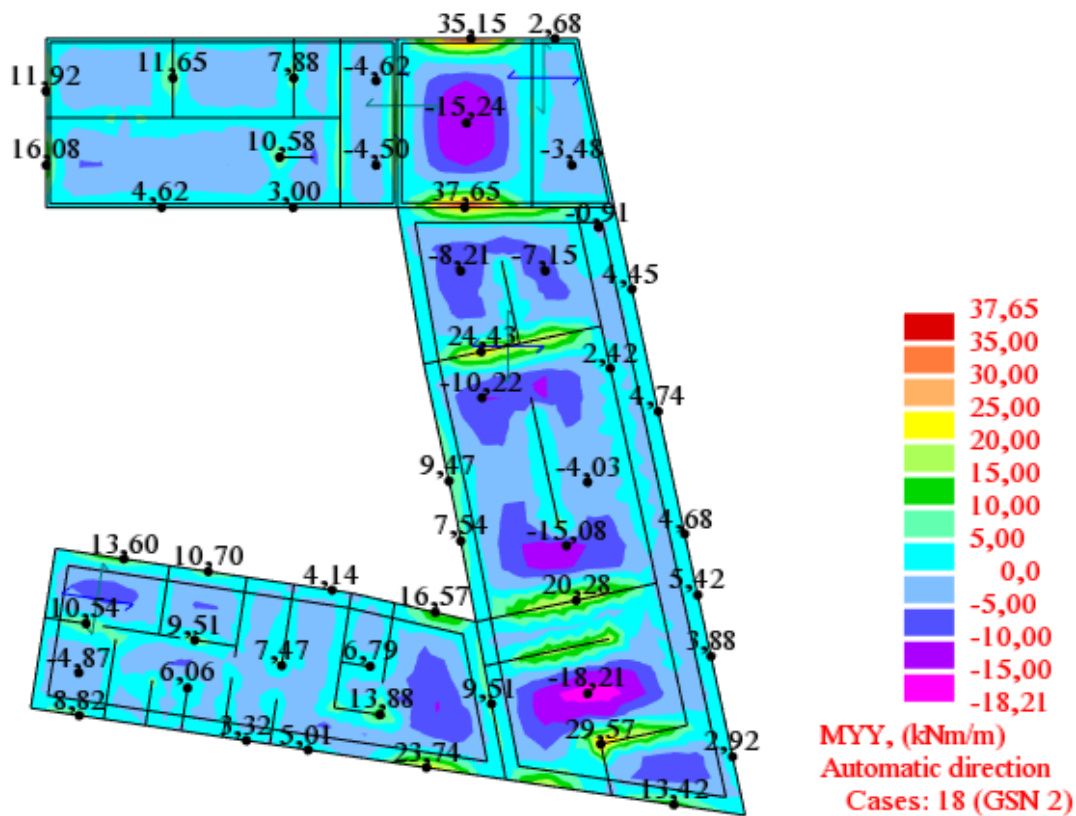
$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{16,26 \cdot 100}{0,953 \cdot 13 \cdot 43,48} = 3,02 \text{ cm}^2$$

**Odobrana armatura: Q-424 (4,24cm<sup>2</sup>)**

Proračun na ležaju:



Slika 11.4 Prikaz momenata savijanja  $M_x$

Slika 11.5. Prikaz momenata savijanja  $M_y$ 

**Pozicija 601** →  $M_{Ed} = 23,06 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23,06 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,081$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,9\text{‰}, \quad \zeta = 0,941, \quad \xi = 0,160$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{23,06 \cdot 100}{0,941 \cdot 12 \cdot 43,48} = 4,78 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-503 (5,03cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 602** →  $M_{Ed} = 43,04 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{43,04 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,148$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 3,3\text{‰}, \quad \zeta = 0,898, \quad \xi = 0,248$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{43,04 \cdot 100}{0,898 \cdot 12 \cdot 43,48} = 9,09 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785+2Ø10 (9,42cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 603** →  $M_{Ed} = 36,48 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{36,48 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,126$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 2,8\text{‰}, \quad \zeta = 0,913, \quad \xi = 0,219$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{36,48 \cdot 100}{0,913 \cdot 12 \cdot 43,48} = 7,62 \text{ cm}^2$$

**Odobrana armatura: R-785 (7,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 604** →  $M_{Ed} = 28,24 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{28,24 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,097$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 2,2\text{‰}, \quad \zeta = 0,931, \quad \xi = 0,180$$

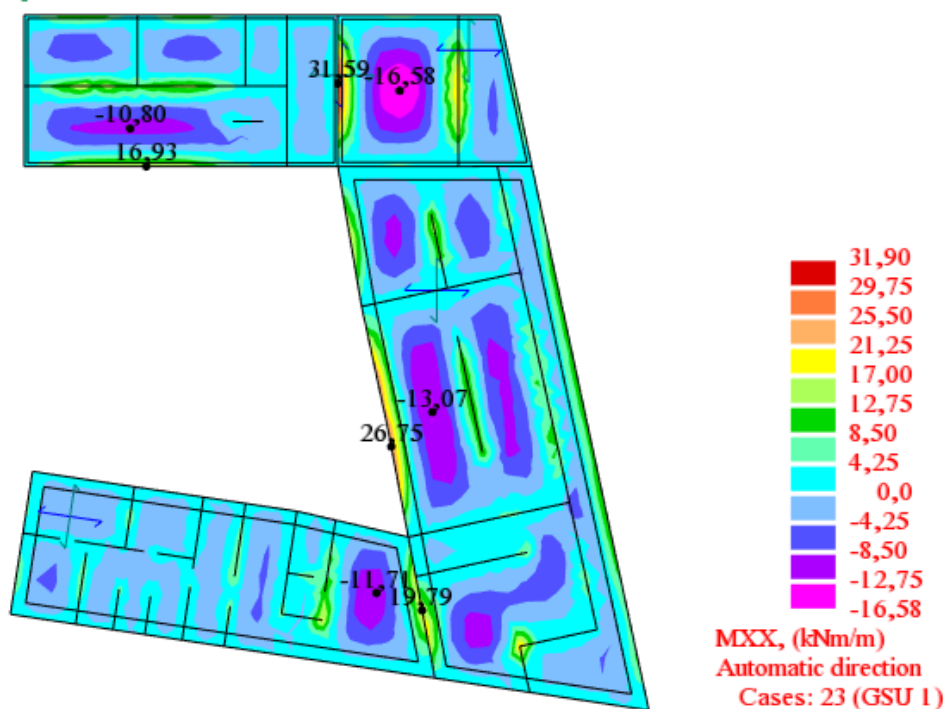
$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{28,24 \cdot 100}{0,931 \cdot 12 \cdot 43,48} = 5,77 \text{ cm}^2$$

**Odobrana armatura: R-636 (6,36cm<sup>2</sup>)**

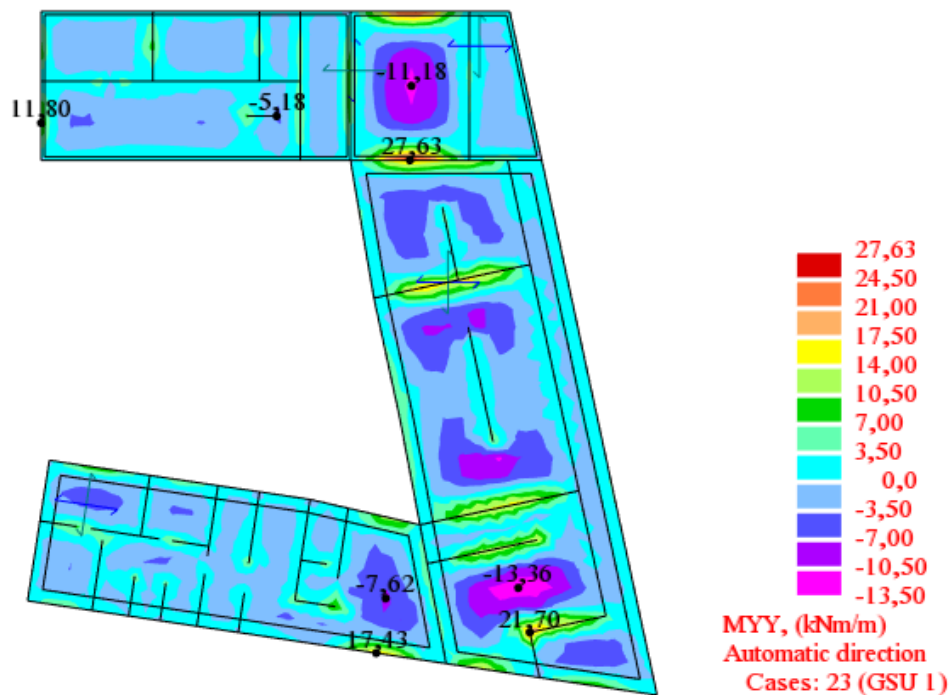
### 11.1.2 Kontrola graničnog stanja uporabljivosti

#### Pukotine:

Mjerodavni momenti u ploči dobiveni su iz kombinacija za granično stanje uporabljivosti.



Slika 11.6 Granično stanje uporabljivosti



Slika 11.7. Granično stanje uporabljivosti

Granična vrijednost širine pukotina :  $w_g = 0,3 \text{ mm}$  (EC2)

Proračunska vrijednost širine pukotine: (EC-2):  $w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$

Armatura ploče donje zone Pozicije 601: Q-385 ( $A_{s1} = 3,85 \text{ cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 10,80 \text{ kNm}$$

Prognozna širina pukotine:  $w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm})$

Vrijednost  $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm})$  određuje se prema izrazu:

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

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_s}} \right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right)}$$

Za C 30/37  $\rightarrow f_{ct,eff} = 29 \text{ MPa}$

$A_s = Q - 385 = 3,85 \text{ cm}^2$

$\varepsilon_{cm} = 33,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa}$  – Modul elastičnosti betona

$\varepsilon_{sm} = 200,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa}$  – Modul elastičnosti armature



$k_t = 0,4$  – Dugotrajno opterećenje

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06 \text{ – Odnos modula elastičnosti armature i betona}$$

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{3,85}{100 \cdot (2,5 \cdot 3)} = 0,005133$$

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} [mm]$$

$$\emptyset = 7mm \text{ – } (Q - 385 \rightarrow \emptyset 7/10)$$

$c = 20$  mm – zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0,8$  – rebrasta armatura

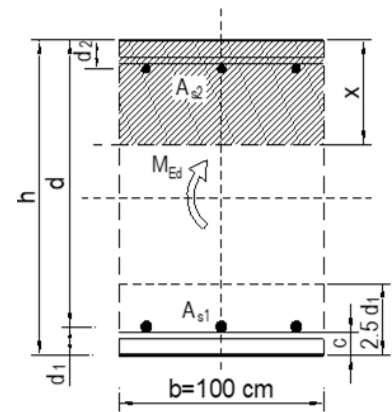
$k_2 = 0,5$  – savijanje

$k_3 = 3,4$

$k_4 = 0,425$

$b =$	100,0	cm	$d =$	12,0	cm	$h =$	15,0	cm
$f_{ck} =$	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30	mm
$A_{s1} =$	3,85	cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0	cm
$E_s =$	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e =$	6,10	
						$E_s/E_{cm} =$		
$M_{Ed} =$	10,80	kNm	$k_t =$	0,40				
$\sigma_s =$	252,53	MN/m <sup>2</sup>						
$x =$	2,15	cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0051				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,000099	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s =$	0,000758				
$\emptyset =$	7,0	mm	$c =$	2,00	cm			
$k_1 =$	0,8		$k_2 =$	0,50				
$k_3 =$	3,4		$k_4 =$	0,43				
$s_{r,max} =$	366,05	mm						

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,277 \text{ mm} < w_g$$



Karakteristična širina pukotina:

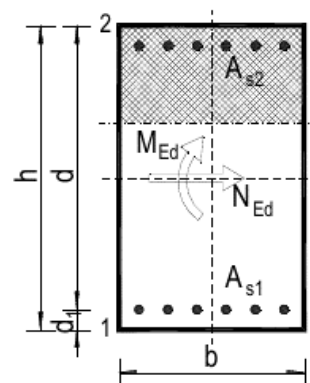
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,277mm < w_g = 0,3mm$$

Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 602: Q-636 ( $A_{s1} = 6,36\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 16,58\text{kNm}$$

$b =$	100,0	cm	$d =$	13,0	cm	$h =$	16,0	cm
$f_{ck} =$	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30	mm
$A_{s1} =$	6,36	cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0	cm
$E_s =$	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e =$	6,1	
			$E_s/E_{cm} =$					
$M_{Ed} =$	16,58	kNm	$k_t =$	0,40				
$\sigma_s =$	216,11	MN/m <sup>2</sup>						
$x =$	2,81	cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0085				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,000362	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s =$	0,000648				
$\emptyset =$	9,0	mm	$c =$	2,00	cm			
$k_1 =$	0,8		$k_2 =$	0,50				
$k_3 =$	3,4		$k_4 =$	0,43				
$s_{r,max} =$	248,42	mm						
			$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,161	mm	<	$w_g$	



Karakteristična širina pukotina:

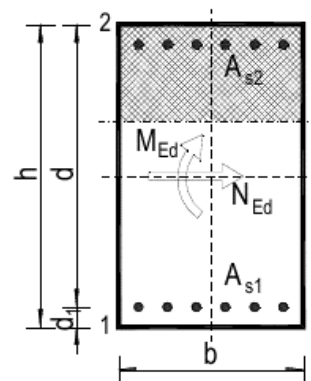
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,161\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 603: Q-503 ( $A_{s1} = 5,03\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 13,36\text{kNm}$$

$b =$	100,0	cm	$d =$	13,0	cm	$h =$	16,0	cm
$f_{ck} =$	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30	mm
$A_{s1} =$	5,03	cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0	cm
$E_s =$	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e =$	6,1	
			$E_s/E_{cm} =$					
$M_{Ed} =$	13,36	kNm	$k_t =$	0,40				
$\sigma_s =$	218,51	MN/m <sup>2</sup>						
$x =$	2,53	cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0067				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,000193	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s =$	0,000656				
$\emptyset =$	8,0	mm	$c =$	2,00	cm			
$k_1 =$	0,8		$k_2 =$	0,50				



$$k_3 = 3,4 \quad k_4 = 0,43$$

$$s_{r,max} = 270,78 \text{ mm}$$

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,178 \text{ mm} < w_g$$

Karakteristična širina pukotina:

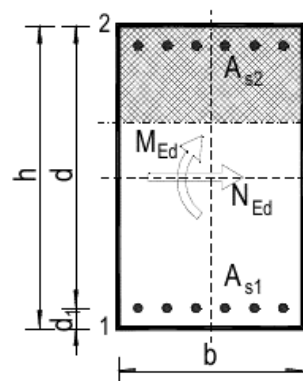
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,18 \text{ mm} < w_g = 0,3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 604: Q-424 ( $A_{s1} = 4,24 \text{ cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 11,71 \text{ kNm}$$

$b =$	100,0	cm	$d =$	13,0	cm	$h =$	16,0	cm
$f_{ck} =$	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30	mm
$A_{s1} =$	4,24	cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0	cm
$E_s =$	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e =$	6,1	
$M_{Ed} =$	11,71	kNm	$k_t =$	0,40		$E_s/E_{cm} =$		
$\sigma_s =$	226,05	MN/m <sup>2</sup>						
$x =$	2,35	cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0057				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,000070		$0,6 \cdot \sigma_s/E_s =$	0,000678				
$\emptyset =$	9,0	mm	$c =$	2,00	cm			
$k_1 =$	0,8		$k_2 =$	0,50				
$k_3 =$	3,4		$k_4 =$	0,43				
$s_{r,max} =$	338,64	mm						
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,230	mm						



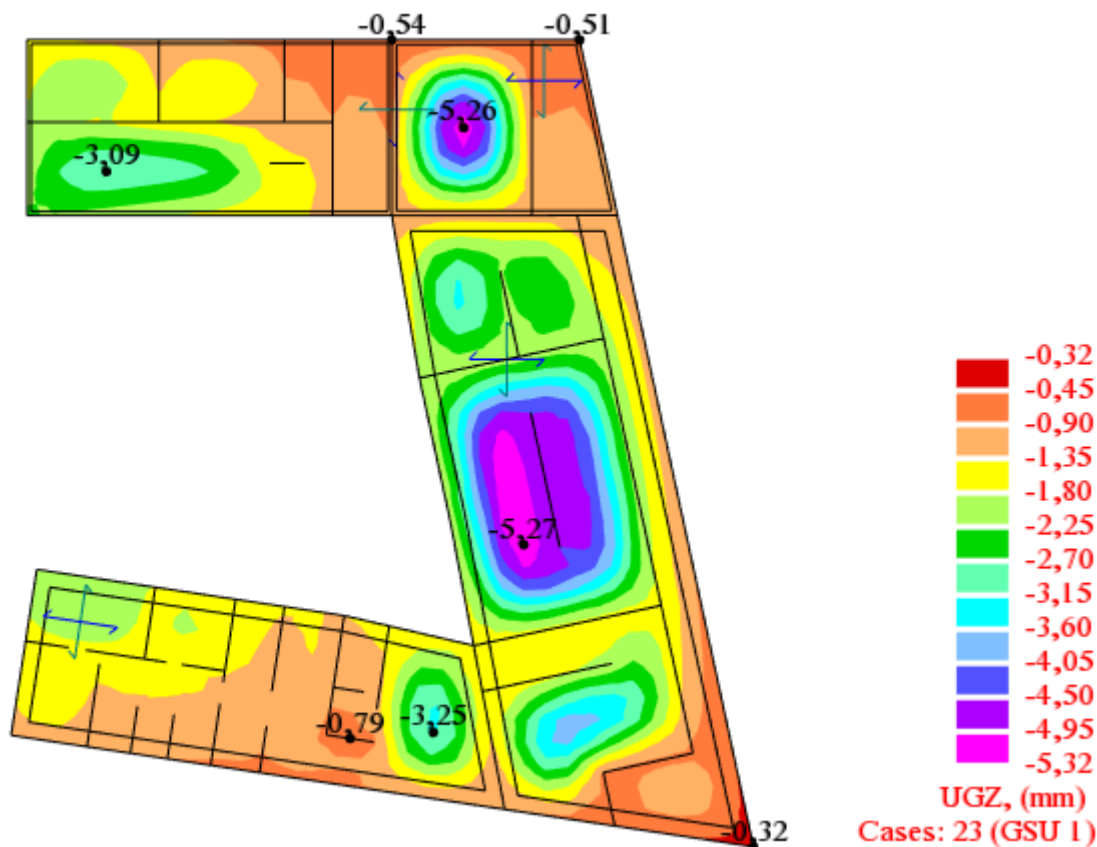
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,23 \text{ mm} < w_g = 0,3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

### 11.1.3 Kontrola progiba

Mjerodavni progibi ploče su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU : 1,0 (g+Δg) + 1,0q.

Progib kontroliramo za nefaktorizirano opterećenje i bez utjecaja puzanja.



Slika 11.8 Ukupan progib za GSU

- **Progib za ploču pozicije 601**

$$M_{Ed,polje} = 10,80 \text{ kNm}$$

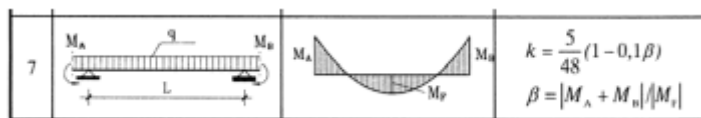
$$M_{Ed,rub} = 17,09 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,ležaj} = 16,93 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{4250}{250} = 17,0 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|17,09 + 16,39|}{|10,8|} = 3,1$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,1) = 0,072 \text{ – koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$$l = 425 \text{ cm raspon elementa}$$

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$\begin{aligned} E_{cm} &= 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ &= 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona} \end{aligned}$$

$E = 200000N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 28125 + 6,26 \cdot \left(3,85 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 28613,05cm^4$$

$$\frac{1}{r_i} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1080}{3194 \cdot 28613,05} = 0,000012 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,15 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 82,82 + 248,46 + 2338,34 = 2669,62cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1080}{3194 \cdot 2669,62} = 0,00013 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9MPa$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 15^2}{6} = 1087,5kNcm = 10,88kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1087,5}{11,28 \cdot 3,85} = 25,05 \text{ kN/cm}^2 = 251 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{1080}{11,28 \cdot 3,85} = 24,85 \text{ kN/cm}^2 = 249 \text{ N/m}^2$$

$M_{cr} > M_{Ed} \rightarrow$  koeficijent raspodjele se uzima jednak 0

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 0$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_l} = 0,000012 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,072 \cdot 425^2 \cdot 0,000012 = 0,16 \text{ cm} < v_{lim} = 1,7 \text{ cm}$$

Progibi zadovoljavaju

• **Progib za ploču pozicije 602**

$$M_{Ed, polje} = 16,58 \text{ kNm}$$

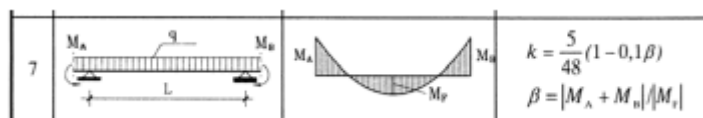
$$M_{Ed, rub} = 31,59 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed, ležaj} = 21,71 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p, dop} = \frac{l}{250} = \frac{639}{250} = 25,6 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed, rub} + M_{Ed, ležaj}|}{|M_{Ed, polje}|} = \frac{|31,59 + 21,71|}{|16,58|} = 3,1$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,1) = 0,072 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 639 \text{ cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$E = 200000N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 28125 + 6,26 \cdot \left(6,36 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 28762,63cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1658}{3194 \cdot 28762,63} = 0,000018 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,81 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 122,55 + 367,65 + 2871,77 = 3361,97cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1658}{3194 \cdot 3361,97} = 0,00016 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9MPa$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 15^2}{6} = 1087,5kNcm = 10,88kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1087,5}{11,18 \cdot 6,36} = 19,34kN/cm^2 = 193N/m^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{S1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{S1}} = \frac{1658}{11,18 \cdot 6,36} = 29,64kN/cm^2 = 296N/m^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left( \frac{193}{296} \right)^2 = 0,787$$

$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_I} + (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} = 0,787 \cdot 0,000018 + (1 - 0,787) \cdot 0,00016 = 0,000048 \frac{1}{cm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,072 \cdot 639^2 \cdot 0,000048 = 1,41 \text{ cm} < v_{lim} = 2,6 \text{ cm}$$

### Progibi zadovoljavaju

- **Progib za ploču pozicije 603**

$$M_{Ed,polje} = 13,36 \text{ kNm}$$

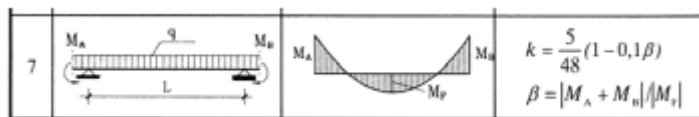
$$M_{Ed,rub} = 21,70 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,ležaj} = 12,53 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{462}{250} = 18,5 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|21,70 + 12,53|}{|13,53|} = 2,5$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 2,5) = 0,079 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$$l = 462 \text{ cm raspon elementa}$$

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2 - \text{modul elastičnosti čelika}$$



$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 28125 + 6,26 \cdot \left(5,03 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 28762,63 \text{ cm}^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1336}{3194 \cdot 28762,63} = 0,000015 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,53 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 122,55 + 367,65 + 2871,77 = 3361,97 \text{ cm}^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1336}{3194 \cdot 3361,97} = 0,00013 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 15^2}{6} = 1087,5 \text{ kNcm} = 10,88 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1087,5}{11,18 \cdot 5,03} = 19,34 \text{ kN/cm}^2 = 193 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{1336}{11,18 \cdot 5,03} = 24,06 \text{ kN/cm}^2 = 241 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{193}{241}\right)^2 = 0,679$$

$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_I} + (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} = 0,679 \cdot 0,000015 + (1 - 0,679) \cdot 0,00013 = 0,000052 \frac{1}{cm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,079 \cdot 462^2 \cdot 0,000052 = 0,876 \text{ cm} < v_{lim} = 1,85 \text{ cm}$$

#### Progibi zadovoljavaju

##### • **Progib za ploču pozicije 604**

$$M_{Ed,polje} = 11,71 \text{ kNm}$$

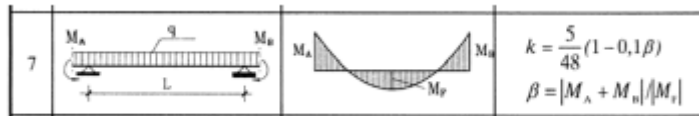
$$M_{Ed,rub} = 19,79 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,ležaj} = 17,67 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{529}{250} = 21,2 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|19,79 + 17,67|}{|11,71|} = 3,2$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,2) = 0,071 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$$l = 529 \text{ cm raspon elementa}$$

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2 - \text{modul elastičnosti čelika}$$

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 28125 + 6,26 \cdot \left(4,24 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 28662,48 \text{ cm}^4$$

$$\frac{1}{r_i} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1171}{3194 \cdot 28662,48} = 0,000013 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,8 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 182,93 + 548,8 + 2246,55 = 2978,78 \text{ cm}^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1171}{3194 \cdot 2978,78} = 0,00013 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 15^2}{6} = 1087,5 \text{ kNcm} = 10,88 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1087,5}{11,04 \cdot 4,24} = 23,23 \text{ kN/cm}^2 = 232 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{S1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{S1}} = \frac{1171}{11,04 \cdot 4,24} = 25,48 \text{ kN/cm}^2 = 255 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{232}{255}\right)^2 = 0,586$$

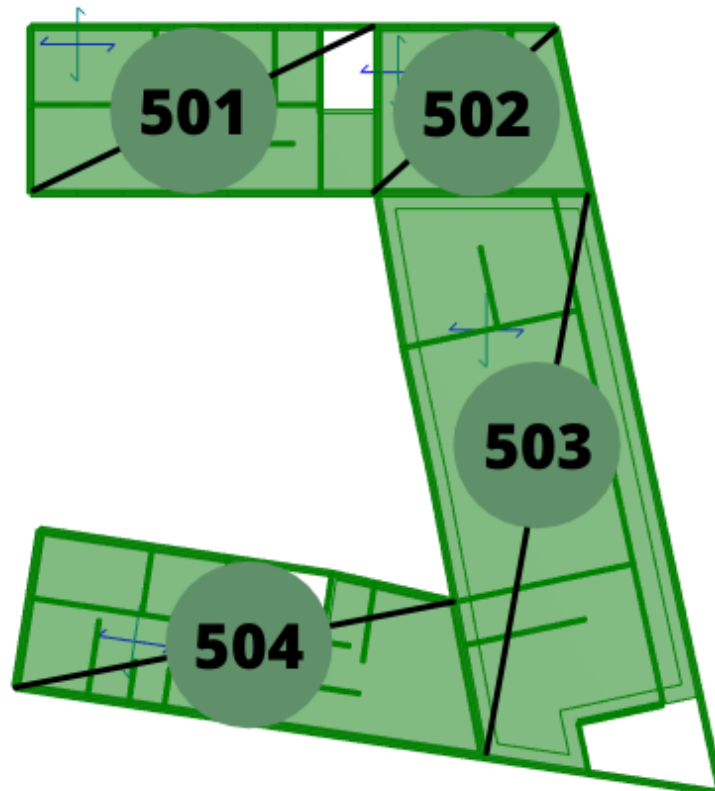
$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_i} + (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} = 0,586 \cdot 0,000013 + (1 - 0,586) \cdot 0,00013 = 0,000061 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,071 \cdot 529^2 \cdot 0,000061 = 1,21 \text{ cm} < v_{lim} = 2,1 \text{ cm}$$

Progibi zadovoljavaju

## 11.2 Proračun ploča pozicija 500 (ploča kata) $d_{pl} = 16 \text{ cm}$

### 11.2.1 Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN



Slika 11.10 Prikaz pozicije 500

Postupak dimenzioniranja:

$$\text{Beton: C30/37 } f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B } f_{yk} = 500 \text{ MPa} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_{pl} = 100 \text{ cm}, h_{pl} = 16 \text{ cm}$$

$$c_{nom} = 2 \text{ cm (XC1 klasa)}$$

$$d_1 = 3 \text{ cm}, d = 13 \text{ cm}$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,im} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd} = A_s \cdot 0,892 \cdot 13 \cdot 43,48$$

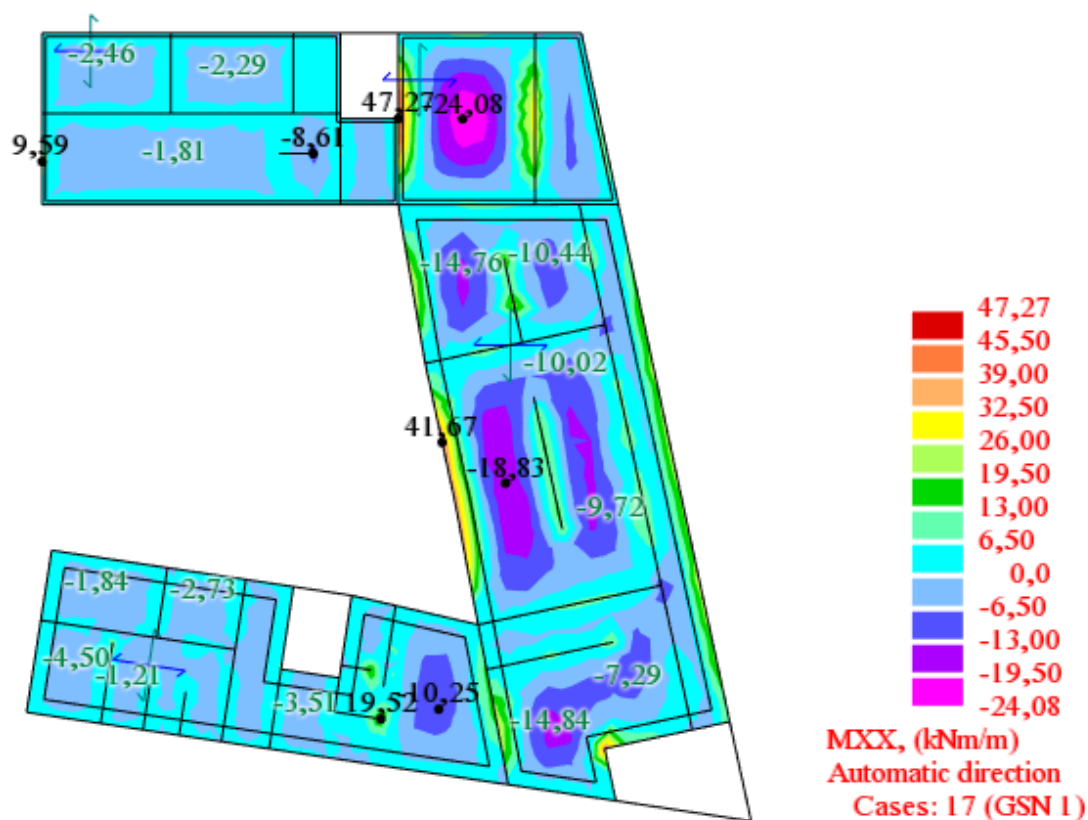
$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 16 = 1,6\text{cm}^2$$

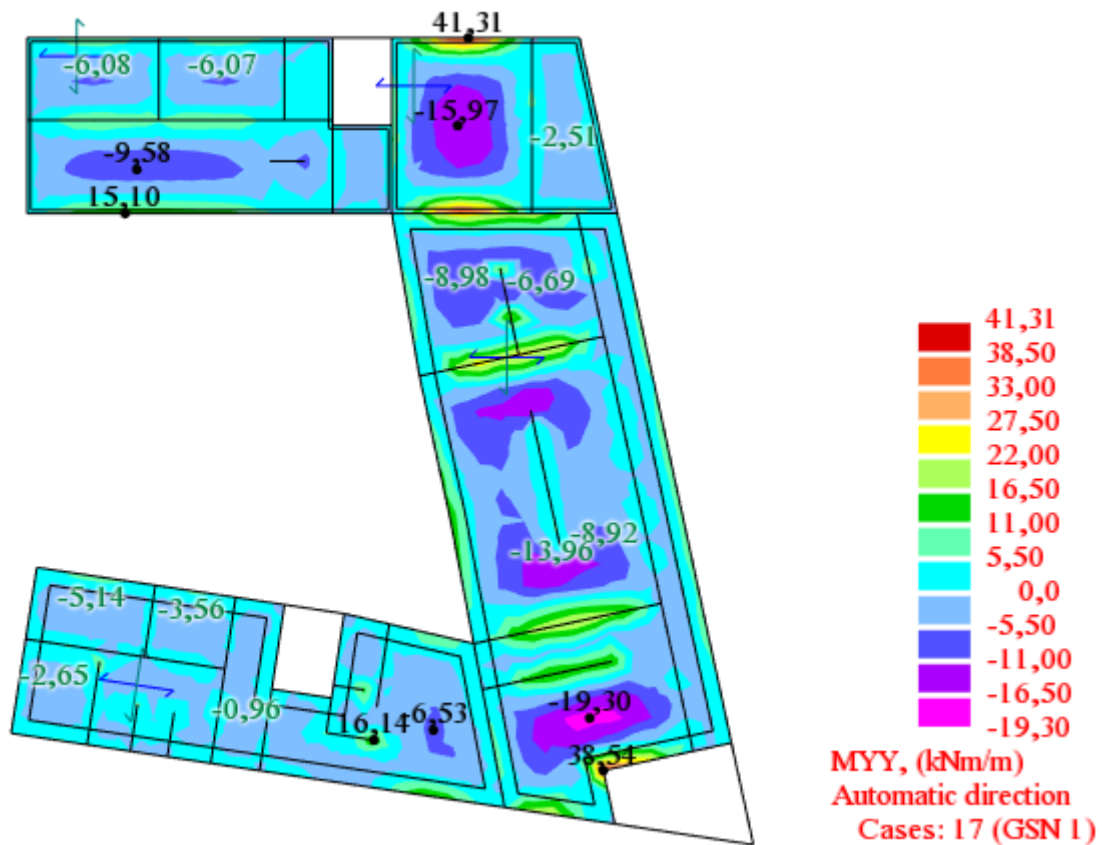
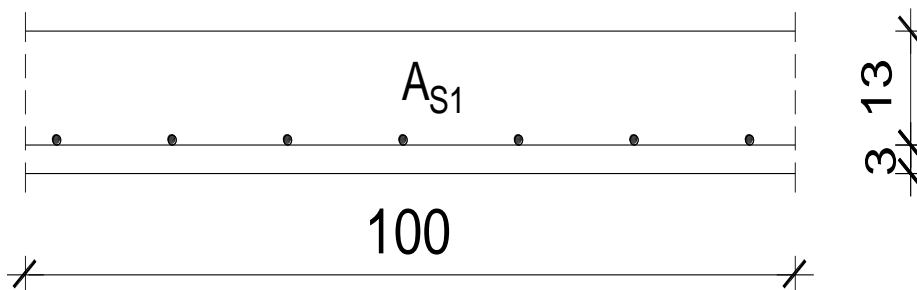
$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 1 = 32\text{cm}^2$$

MREŽA		Površina	Moment nosivosti betona	Moment nosivosti armature	Postotak armature
		$A_{s1}$	$M_{Rdc, lim}$	$M_{Rds, lim}$	
		cm <sup>2</sup> /m	kNm	kNm	%
R/Q-	283	2,83	53,74	14,27	0,18
R/Q-	335	3,35	53,74	16,89	0,21
R/Q-	385	3,85	53,74	19,41	0,24
R/Q-	424	4,24	53,74	21,38	0,27
R/Q-	503	5,03	53,74	25,36	0,31
R/Q-	524	5,24	53,74	26,42	0,33
R/Q-	636	6,36	53,74	32,07	0,40
R/Q-	785	7,85	53,74	39,58	0,49

Tablica 11.2. Prikaz nosivosti betona i armature

Proračun u polju:

Slika 11.11. Prikaz momenta savijanja  $M_x$

Slika 11.12. Prikaz momenta savijanja  $M_x$ 

**Pozicija 501** →  $M_{Ed} = 9,58 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9,58 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,028$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,0\text{‰}, \quad \zeta = 0,968, \quad \xi = 0,091$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9,58 \cdot 100}{0,968 \cdot 13 \cdot 43,48} = 1,75 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-335 (3,35cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 502** →  $M_{Ed} = 24,08\text{kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{24,08 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,071$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,8\text{‰}, \quad \zeta = 0,944, \quad \xi = 0,153$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{24,08 \cdot 100}{0,944 \cdot 13 \cdot 43,48} = 4,51\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-636 (6,36cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 503** →  $M_{Ed} = 19,30\text{kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{19,3 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,057$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,5\text{‰}, \quad \zeta = 0,953, \quad \xi = 0,130$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{19,30 \cdot 100}{0,953 \cdot 13 \cdot 43,48} = 3,58\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-503 (5,03cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 504** →  $M_{Ed} = 19,52\text{kNm}$

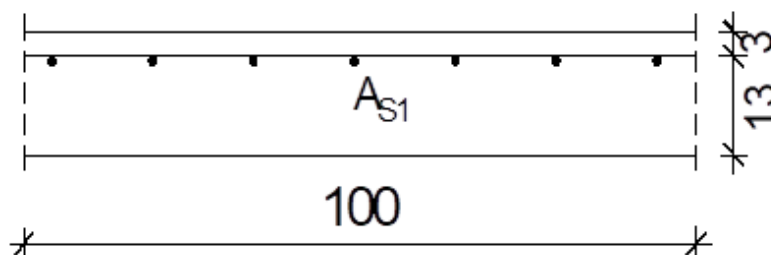
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{19,52 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,058$$

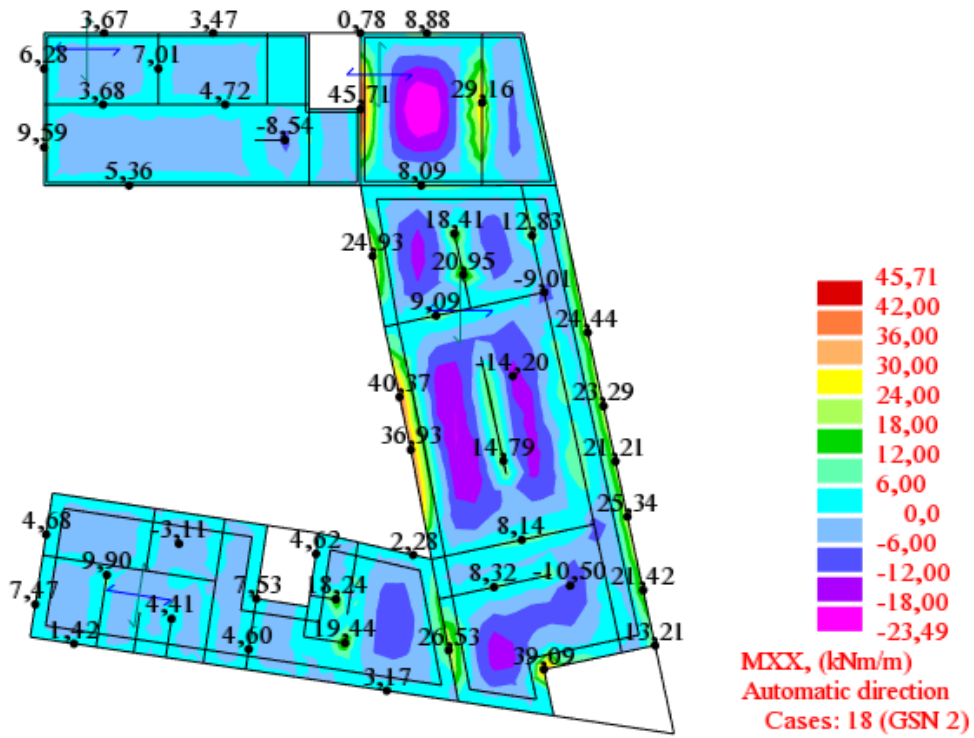
$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,5\text{‰}, \quad \zeta = 0,953, \quad \xi = 0,130$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{19,52 \cdot 100}{0,953 \cdot 13 \cdot 43,48} = 3,62\text{cm}^2$$

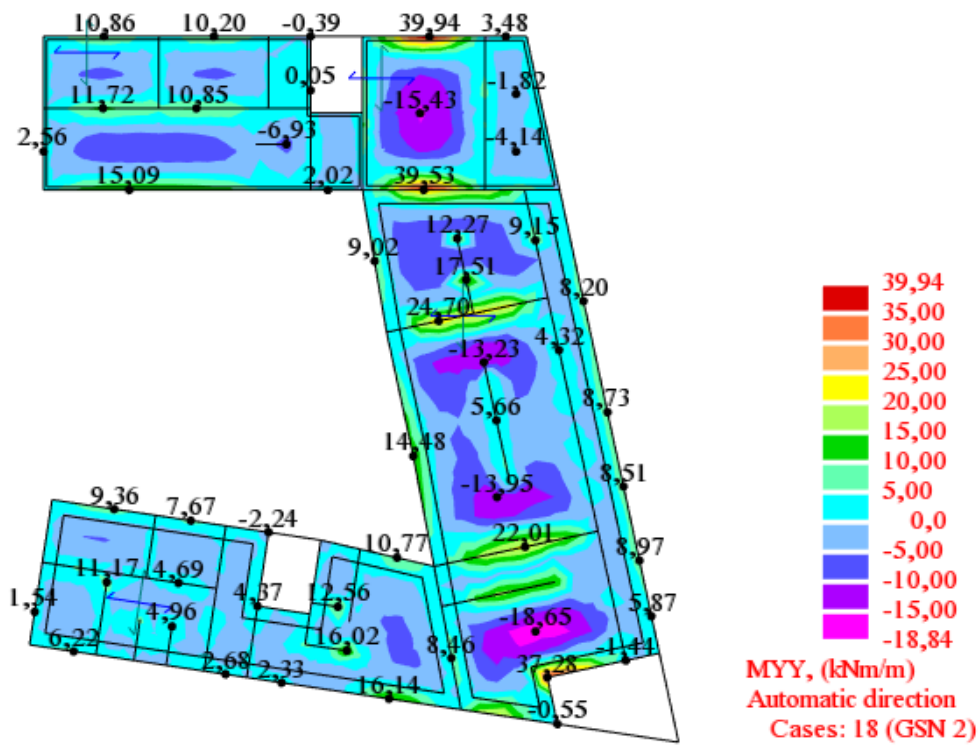
**Odabrana armatura: Q-503 (5,03cm<sup>2</sup>)**

Proračun na ležaju:





Slika 11.13. Prikaz momenata savijanja  $M_x$



Slika 11.12. Prikaz momenata savijanja  $M_y$



**Pozicija 501 →  $M_{Ed} = 15,06\text{kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{15,09 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,046$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,3\text{‰}, \quad \zeta = 0,959, \quad \xi = 0,115$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{15,09 \cdot 100}{0,959 \cdot 13 \cdot 43,48} = 2,78\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-385 (3,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 502 →  $M_{Ed} = 45,83\text{kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{45,71 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,135$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 3,0\text{‰}, \quad \zeta = 0,907, \quad \xi = 0,231$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{45,71 \cdot 100}{0,907 \cdot 13 \cdot 43,48} = 8,91\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785+2Ø10 (9,42cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 503 →  $M_{Ed} = 40,37\text{kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{40,37 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,119$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 2,6\text{‰}, \quad \zeta = 0,919, \quad \xi = 0,206$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{40,37 \cdot 100}{0,919 \cdot 13 \cdot 43,48} = 7,75\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785 (7,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 504 →  $M_{Ed} = 26,53\text{kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{26,53 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,078$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,9\text{‰}, \quad \zeta = 0,941, \quad \xi = 0,160$$

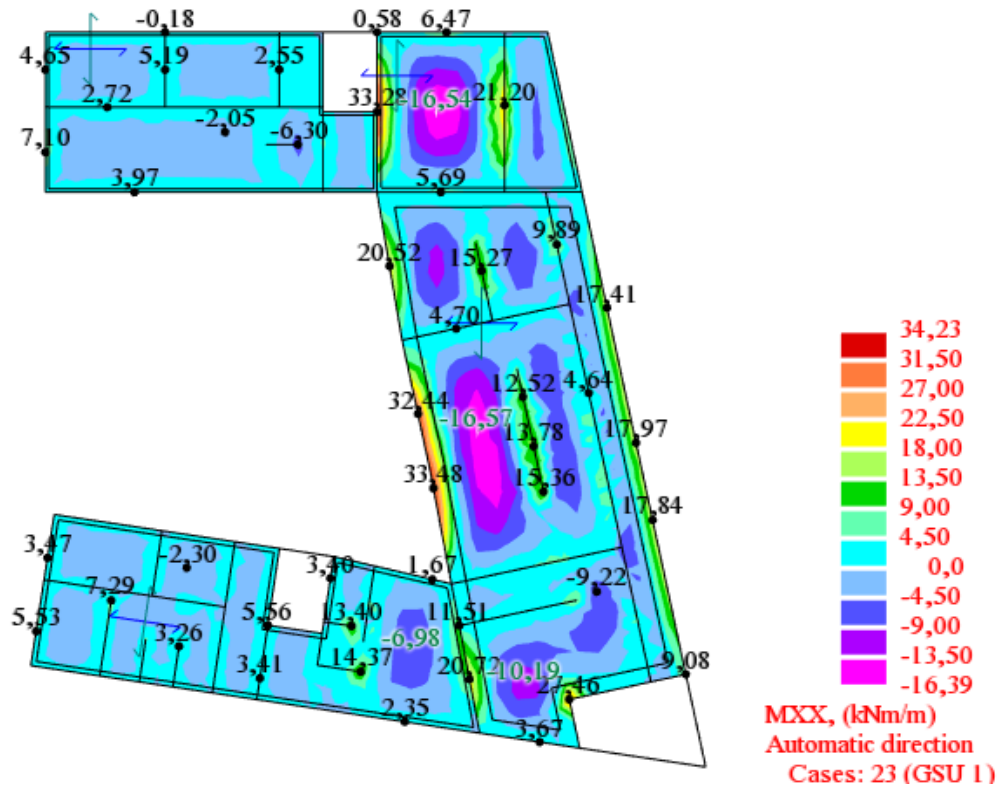
$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{26,53 \cdot 100}{0,941 \cdot 13 \cdot 43,48} = 4,98\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-636 (6,36cm<sup>2</sup>)**

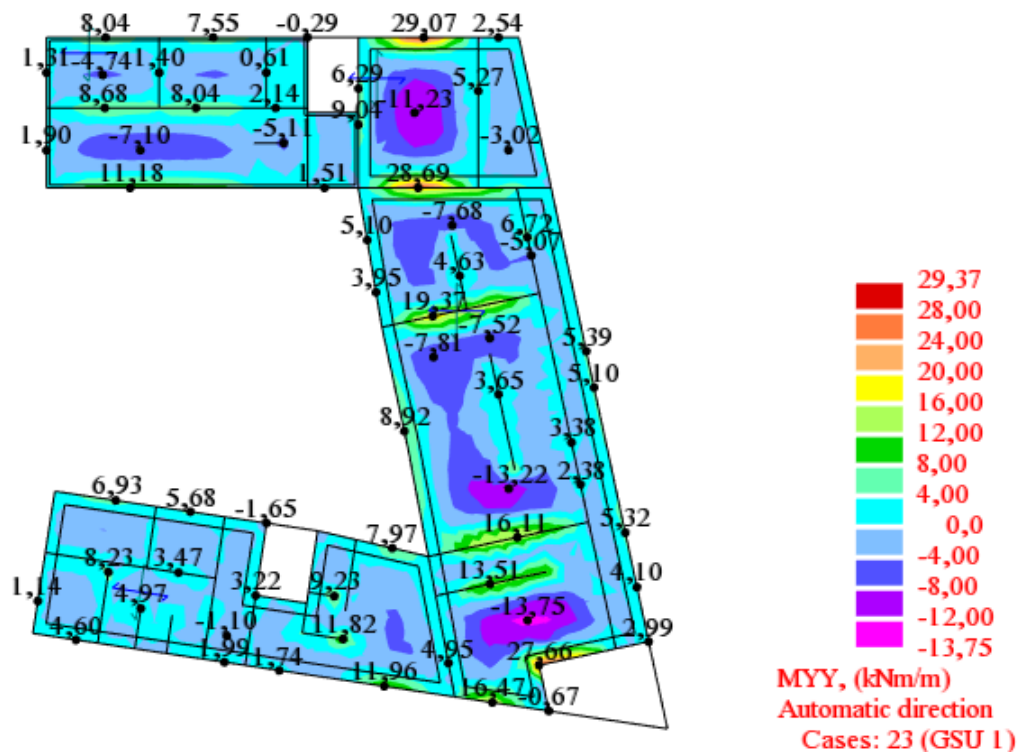
### 11.2.2 Kontrola graničnog stanja uporabljivosti

#### Pukotine:

Mjerodavni momenti u ploči dobiveni su iz kombinacija za granično stanje uporabljivosti.



Slika 11.13. Granično stanje uporabljivosti  $M_x$



Slika 11.14. Granično stanje uporabljivosti  $M_y$

- Armatura ploče donje zone Pozicije 501: Q-335 ( $A_{s1} = 3,35\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 7,10\text{kNm}$$

$$\text{Prognozna širina pukotine: } w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Vrijednost  $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$  određuje se prema izrazu:

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

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_s}} \right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right)}$$

$$\text{Za C 30/37} \rightarrow f_{ct,eff} = 29\text{MPa}$$

$$A_s = Q - 335 = 3,35\text{cm}^2$$

$$\varepsilon_{cm} = 33,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti betona}$$

$$\varepsilon_{sm} = 200,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti armature}$$

$$k_t = 0,4 - \text{Dugotrajno opterećenje}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06 - \text{Odnos modula elastičnosti armature i betona}$$

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{3,35}{100 \cdot (2,5 \cdot 3)} = 0,0045$$

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} [\text{mm}]$$

$$\emptyset = 8\text{mm} - (Q - 3,35 \rightarrow \emptyset 8/10)$$

$$c = 20 \text{ mm} - \text{zaštitni sloj uzdužne armature}$$

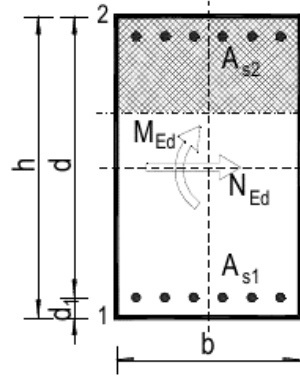
$$k_1 = 0,8 - \text{rebrasta armatura}$$

$$k_2 = 0,5 - \text{savijanje}$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$b =$	100,0 cm	$d =$	13,0 cm	$h =$	16,0 cm
$f_{ck} =$	30,0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30 mm
$A_{s1} =$	3,35 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0 cm
$E_s =$	200,00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6,1
$M_{Ed} =$	7,10 kNm	$k_t =$	0,40		
$\sigma_s =$	172,35 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	2,11 cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0045		
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	-0,000470	$<$	$0,6 \cdot \sigma_s/E_s =$	0,000517	
$\emptyset =$	8,0 mm	$c =$	2,00 cm		
$k_1 =$	0,8	$k_2 =$	0,50		
$k_3 =$	3,4	$k_4 =$	0,43		
$s_{r,max} =$	372,48 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,193 mm	$<$	$w_g$		



Karakteristična širina pukotina:

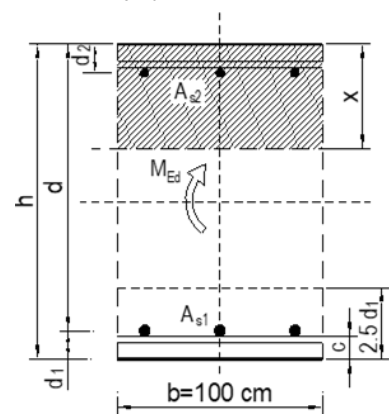
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,19\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 502: Q-503 ( $A_{s1} = 5,03\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 16,92\text{kNm}$$

$b =$	100,0 cm	$d =$	13,0 cm	$h =$	16,0 cm
$f_{ck} =$	30,0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30 mm
$A_{s1} =$	5,03 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0 cm
$E_s =$	200,00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e =$	6,10
				$E_s/E_{cm} =$	6,10
$M_{Ed} =$	16,92 kNm	$k_t =$	0,40		
$\sigma_s =$	276,73 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	2,53 cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0067		
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,000485	$<$	$0,6 \cdot \sigma_s/E_s =$	0,000830	
$\emptyset =$	8,0 mm	$c =$	2,00 cm		
$k_1 =$	0,8	$k_2 =$	0,50		
$k_3 =$	3,4	$k_4 =$	0,43		
$s_{r,max} =$	270,78 mm				



$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,225 \text{ mm} < w_g$$

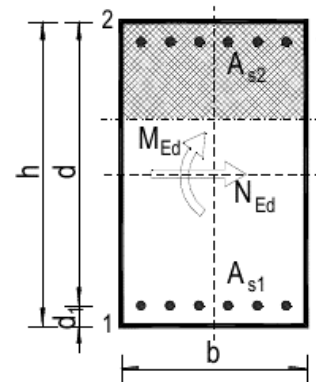
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,23\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 503: Q-503 ( $A_{s1} = 5,03\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 16,57\text{kNm}$$

b =	100,0	cm	d =	13,0	cm	h =	16,0	cm
$f_{ck}$ =	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm}$ =	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g$ =	0,30	mm
$A_{s1}$ =	5,03	cm <sup>2</sup>	$A_{s2}$ =	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2$ =	3,0	cm
$E_s$ =	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm}$ =	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\frac{\alpha_e}{E_s/E_{cm}}$ =	6,1	
$M_{Ed}$ =	16,57	kNm	$k_t$ =	0,40				
$\sigma_s$ =	271,01	MN/m <sup>2</sup>						
x =	2,53	cm	$\rho_{p,eff}$ =	0,0067				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ =	0,000456	<	$\frac{0,6 \cdot \sigma_s / E_s}{=}$	0,000813				
$\varnothing$ =	8,0	mm	c =	2,00	cm			
$k_1$ =	0,8		$k_2$ =	0,50				
$k_3$ =	3,4		$k_4$ =	0,43				
$s_{r,max}$ =	270,78	mm						
$\frac{w_k = s_{r,max}}{(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})} =$	0,220	mm	<	$w_g$				



$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,22\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

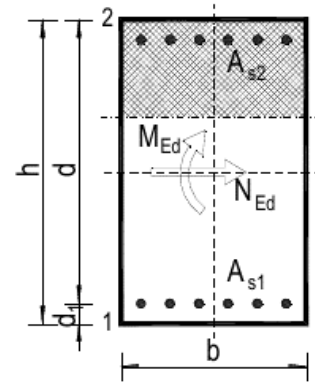
- Armatura ploče donje zone Pozicije 504: Q-385 ( $A_{s1} = 3,85\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 7,59\text{kNm}$$

b =	100,0	cm	d =	13,0	cm	h =	16,0	cm
$f_{ck}$ =	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm}$ =	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g$ =	0,30	mm
$A_{s1}$ =	3,85	cm <sup>2</sup>	$A_{s2}$ =	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2$ =	3,0	cm
$E_s$ =	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm}$ =	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\frac{\alpha_e}{E_s/E_{cm}}$ =	6,1	
$M_{Ed}$ =	7,59	kNm	$k_t$ =	0,40				
$\sigma_s$ =	160,92	MN/m <sup>2</sup>						
x =	2,25	cm	$\rho_{p,eff}$ =	0,0051				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ =	-0,000359	<	$\frac{0,6 \cdot \sigma_s / E_s}{=}$	0,000483				

$\varnothing =$	7,0 mm	$c =$	2,00 cm
$k_1 =$	0,8	$k_2 =$	0,50
$k_3 =$	3,4	$k_4 =$	0,43
$s_{r,max} =$	299,82 mm		

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,145 \text{ mm} < w_g$$



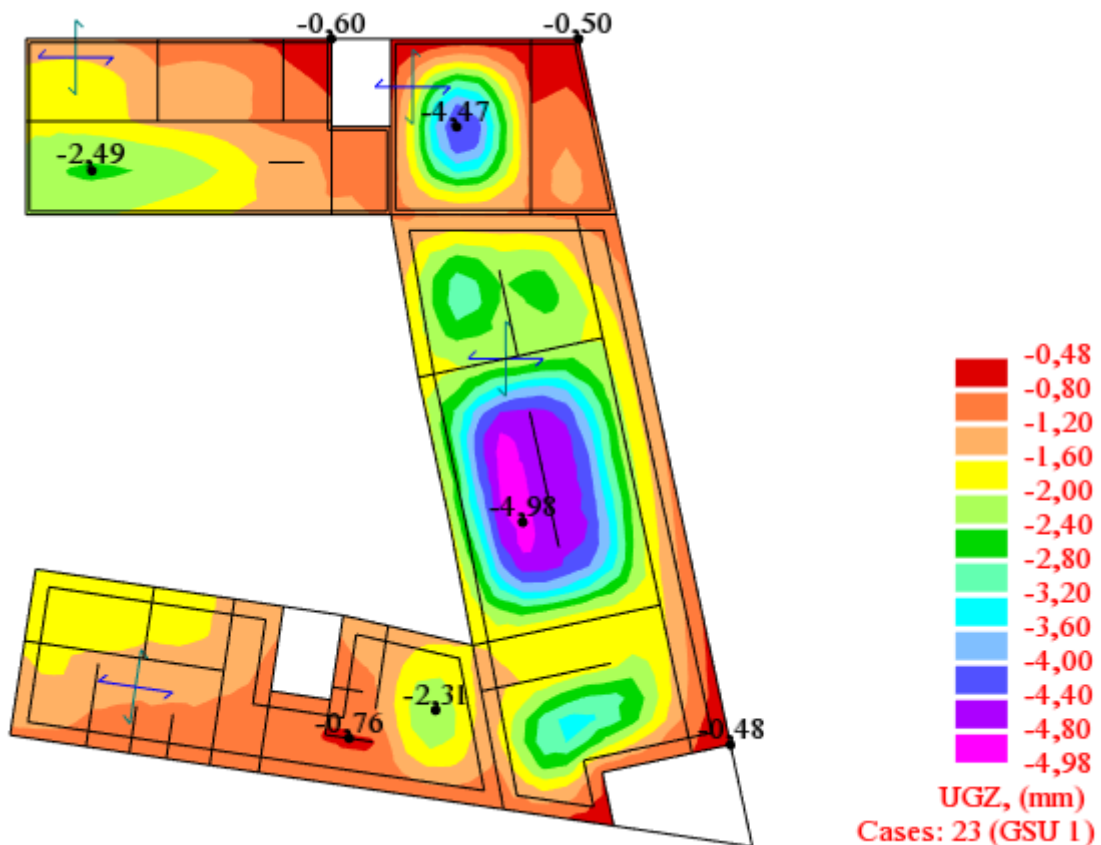
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,15 \text{ mm} < w_g = 0,3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

**Kontrola progiba:**

Mjerodavni progibi ploče su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU : 1,0 (g+Δg) + 1,0q.

Progib kontroliramo za nefaktorizirano opterećenje i bez utjecaja puzanja.



Slika 11.15. Ukupan progib za GSU

- **Progib za ploču pozicije 501**

$$M_{Ed,polje} = 7,1kNm$$

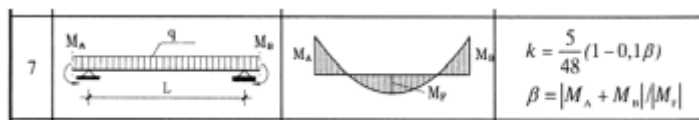
$$M_{Ed,rub} = 11,18kNm$$

$$M_{Ed,ležaj} = 8,63kNm$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{4250}{250} = 17,0 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|11,8 + 8,63|}{|7,1|} = 2,8$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 2,8) = 0,075 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$$l = 425 \text{ cm raspon elementa}$$

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$E = 200000N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(3,85 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 35363,42cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{710}{3194 \cdot 35363,42} = 0,000006 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}} \right) = 2,11 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left( \frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 61,79 + 185,37 + 2163,14 = 2410,30 \text{ cm}^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{710}{3194 \cdot 2410,3} = 0,00009 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33 \text{ kNcm} = 12,37 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left( d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,35 \cdot 3,35} = 26,20 \text{ kN/cm}^2 = 262 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{S1}} = \frac{M_{Ed}}{\left( d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_{S1}} = \frac{710}{12,35 \cdot 3,35} = 14,93 \text{ kN/cm}^2 = 149 \text{ N/m}^2$$

$M_{cr} > M_{Ed} \rightarrow$  koeficijent raspodjele se uzima jednak 0

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 0$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_l} = 0,000006 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,075 \cdot 425^2 \cdot 0,000006 = 0,1 \text{ cm} < v_{lim} = 1,7 \text{ cm}$$

Progibi zadovoljavaju

- **Progib za ploču pozicije 502**

$$M_{Ed,polje} = 16,92 \text{ kNm}$$



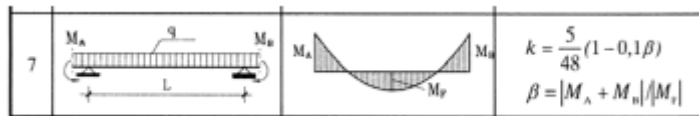
$$M_{Ed,rub} = 33,28kNm$$

$$M_{Ed,ležaj} = 21,20kNm$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{639}{250} = 25,56 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|33,28 + 21,20|}{|16,92|} = 3,2$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,2) = 0,071 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 639 \text{ cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$E = 200000N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(6,36 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 34735,86cm^4$$

$$\frac{1}{r_l} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1692}{3194 \cdot 34735,86} = 0,000015 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,25 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 94,92 + 337,64 + 2785,17 = 3217,73 \text{ cm}^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1692}{3194 \cdot 3217,73} = 0,00016 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33 \text{ kNm} = 12,37 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,25 \cdot 6,36} = 26,23 \text{ kN/cm}^2 = 262 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{1692}{12,25 \cdot 6,36} = 35,86 \text{ kN/cm}^2 = 359 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{262}{359}\right)^2 = 0,734$$

$$\zeta = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} + \zeta \cdot \frac{1}{r_I} = (1 - 0,734) \cdot 0,00016 + 0,734 \cdot 0,000015 = 0,000054$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,071 \cdot 639^2 \cdot 0,000054 = 1,55 \text{ cm} < v_{lim} = 2,56 \text{ cm}$$

Progibi zadovoljavaju

- **Progib za ploču pozicije 503**

$$M_{Ed,polje} = 16,57 \text{ kNm}$$

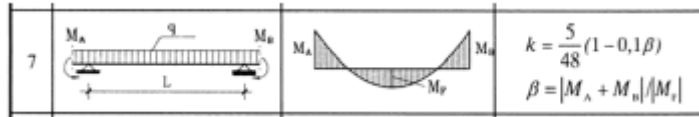
$$M_{Ed,rub} = 33,48 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,ležaj} = 15,36 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{529}{250} = 21,2 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|33,48 + 15,36|}{|16,57|} = 2,9$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 2,9) = 0,074 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 462\text{cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$E = 200000\text{N/mm}^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(5,03 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 34920,53\text{cm}^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1657}{3194 \cdot 34920,53} = 0,000015 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,25 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 94,92 + 284,77 + 4725,14 = 5104,83 \text{ cm}^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1657}{3194 \cdot 5104,83} = 0,00010 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33 \text{ kNcm} = 12,37 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,25 \cdot 5,03} = 20,08 \text{ kN/cm}^2 = 201 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{1357}{12,25 \cdot 5,03} = 22,02 \text{ kN/cm}^2 = 220 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{201}{220}\right)^2 = 0,582$$

$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_I} + (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} = 0,582 \cdot 0,000015 + (1 - 0,582) \cdot 0,0001 = 0,000051 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,074 \cdot 462^2 \cdot 0,000051 = 0,81 \text{ cm} < v_{lim} = 2,1 \text{ cm}$$

#### Progibi zadovoljavaju

##### • Progib za ploču pozicije 504

$$M_{Ed,polje} = 7,59 \text{ kNm}$$

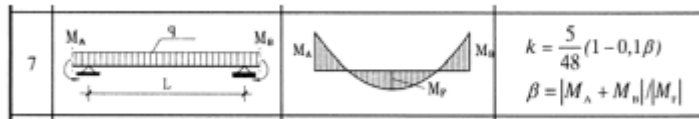
$$M_{Ed,rub} = 20,72 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,ležaj} = 14,37 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{529}{250} = 21,2 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|20,72 + 14,37|}{|7,59|} = 4,6$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 4,6) = 0,056 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 529 \text{ cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$E = 200000 N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(5,03 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 34735,86 cm^4$$

$$\frac{1}{r_i} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{759}{3194 \cdot 34735,86} = 0,000007 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,53 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 42,19 + 284,77 + 2733,6 = 3060,56 cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{759}{3194 \cdot 3060,56} = 0,00008 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9MPa$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33kNcm = 12,37kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,21 \cdot 5,03} = 26,32kN/cm^2 = 262N/m^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{759}{12,21 \cdot 5,03} = 16,14kN/cm^2 = 161N/m^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$M_{cr} > M_{Ed} \rightarrow$  koeficijent raspodjele se uzima jednak 0

$$\zeta = 0$$

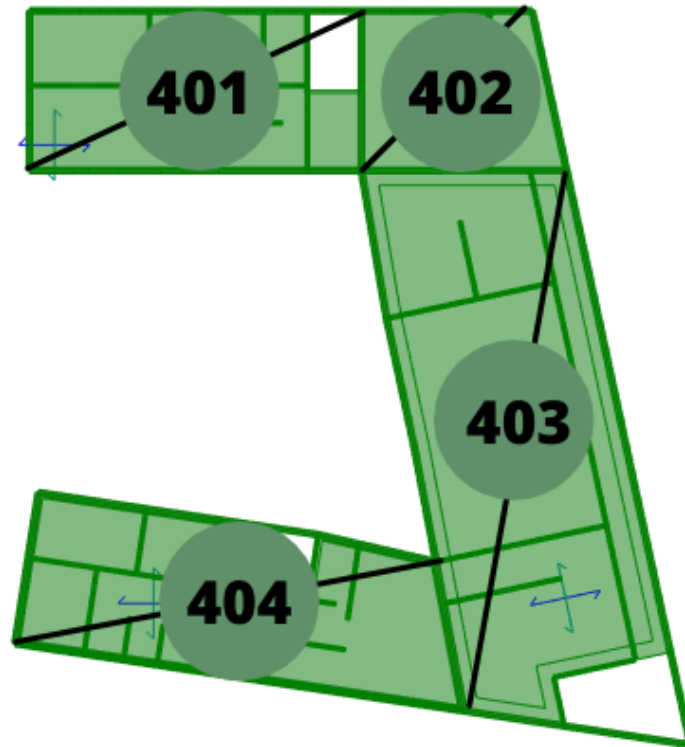
$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} = 0,000007 \frac{1}{cm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,069 \cdot 529^2 \cdot 0,000007 = 0,14cm < v_{lim} = 2,1cm$$

Progibi zadovoljavaju

### 11.3 Proračun ploča pozicija 400 (ploča kata) $d_{pl} = 16\text{cm}$

#### 11.3.1. Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN



Slika 11.16. Prikaz pozicije 400

Postupak dimenzioniranja:

$$\text{Beton: C30/37 } f_{ck} = 30\text{MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{30}{1,5} = 20\text{MPa} = 2\text{kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B } f_{yk} = 500\text{MPa} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{500}{1,15} = 434,8\text{MPa} = 43,48\text{kN/cm}^2$$

$$b_{pl} = 100\text{cm}, h_{pl} = 16\text{cm}$$

$$c_{nom} = 2\text{cm (XC1 klasa)}$$

$$d_1 = 3\text{cm}, d = 13\text{cm}$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,im} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd} = A_s \cdot 0,892 \cdot 13 \cdot 43,48$$

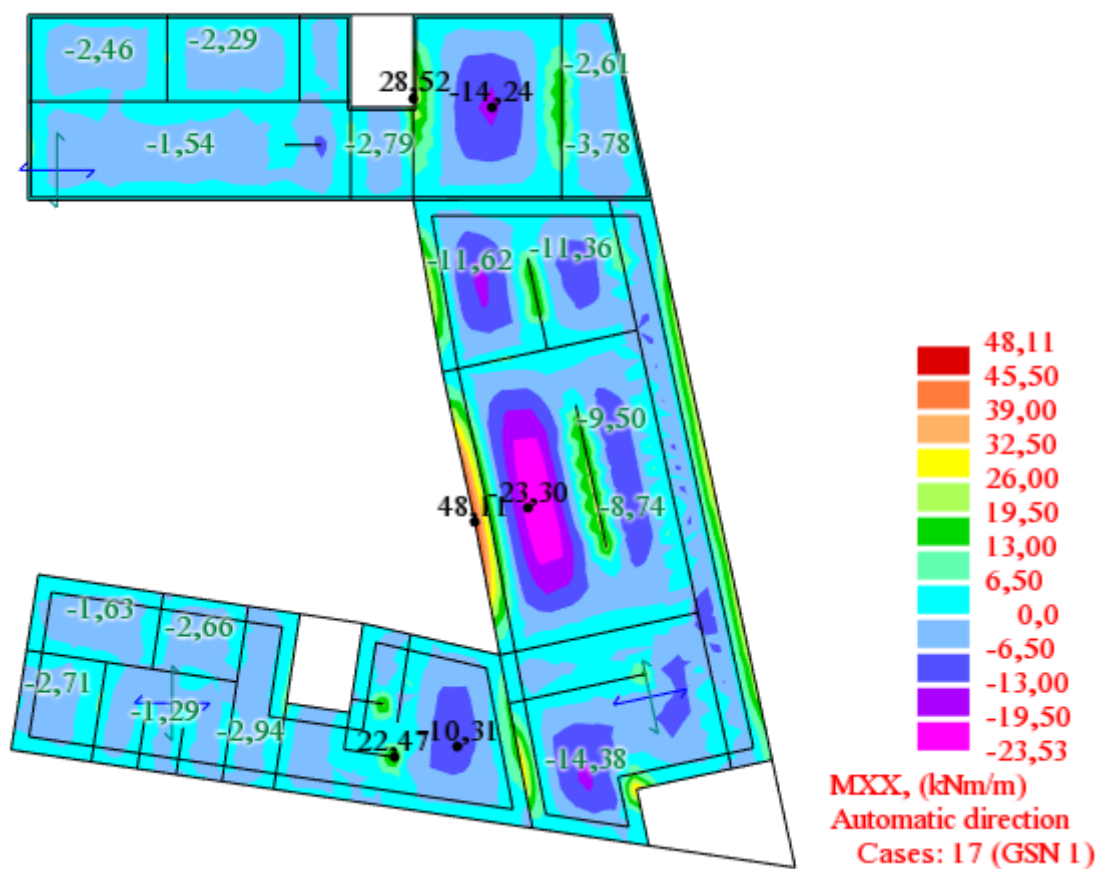
$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 16 = 1,6\text{cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 16 = 32\text{cm}^2$$

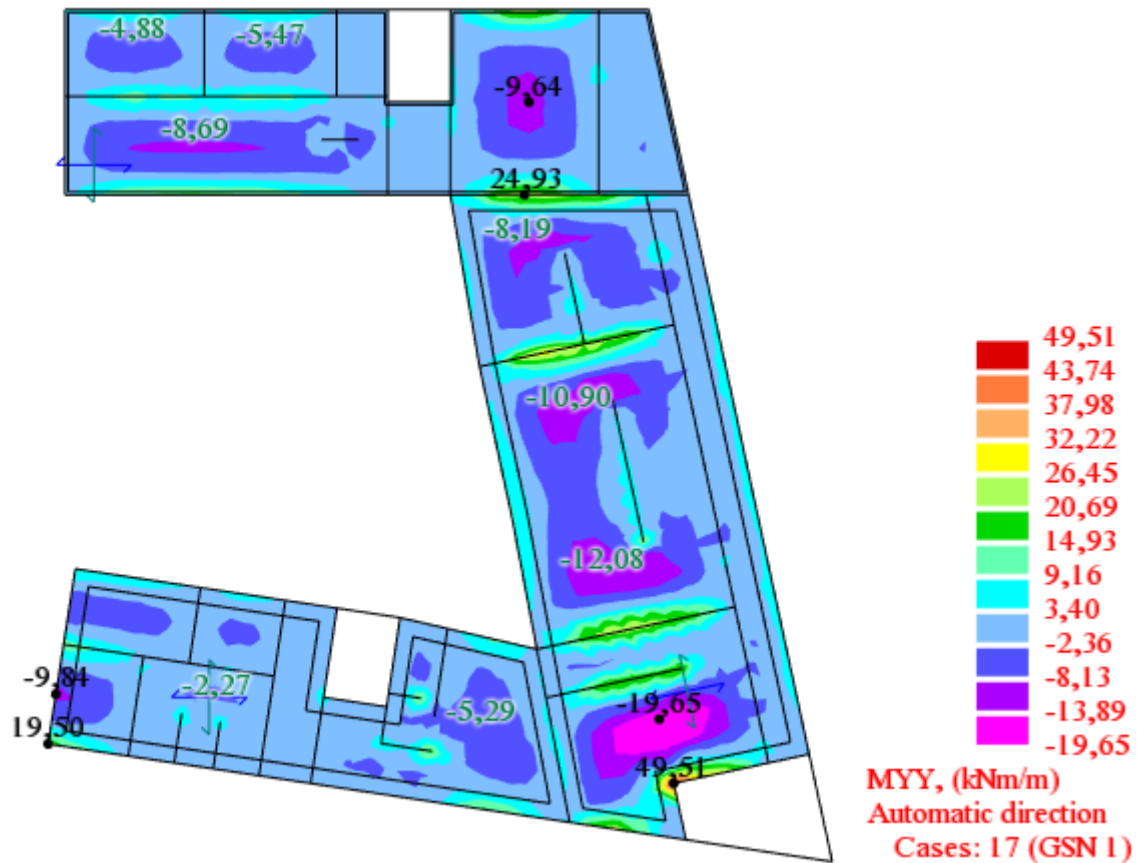
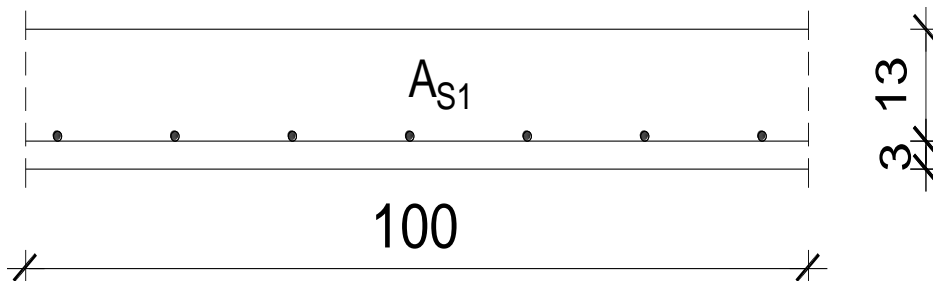
MREŽA		Površina	Moment nosivosti betona	Moment nosivosti armature	Postotak armature
		$A_{s1}$	$M_{Rdc, lim}$	$M_{Rds, lim}$	
		cm <sup>2</sup> /m	kNm	kNm	%
R/Q-	283	2,83	53,74	14,27	0,18
R/Q-	335	3,35	53,74	16,89	0,21
R/Q-	385	3,85	53,74	19,41	0,24
R/Q-	424	4,24	53,74	21,38	0,27
R/Q-	503	5,03	53,74	25,36	0,31
R/Q-	524	5,24	53,74	26,42	0,33
R/Q-	636	6,36	53,74	32,07	0,40
R/Q-	785	7,85	53,74	39,58	0,49

Tablica 11.3. Prikaz nosivosti betona i armature

Proračun u polju:

Slika 11.17. Prikaz momenata savijanja  $M_x$



Slika 11.18. Prikaz momenata savijanja  $M_y$ 

**Pozicija 401** →  $M_{Ed} = 8,69 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{8,69 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,026$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,0\text{‰}, \quad \zeta = 0,968, \quad \xi = 0,091$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{8,69 \cdot 100}{0,965 \cdot 13 \cdot 43,48} = 1,59 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-385 (3,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 402** →  $M_{Ed} = 14,24 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14,24 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,042$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,3\text{‰}, \quad \zeta = 0,959, \quad \xi = 0,115$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{14,24 \cdot 100}{0,959 \cdot 13 \cdot 43,48} = 2,62 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-385 (3,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 403** →  $M_{Ed} = 23,33 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23,33 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,069$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,7\text{‰}, \quad \zeta = 0,947, \quad \xi = 0,145$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{23,33 \cdot 100}{0,947 \cdot 13 \cdot 43,48} = 4,35 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-503 (5,03cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 404** →  $M_{Ed} = 10,31 \text{ kNm}$

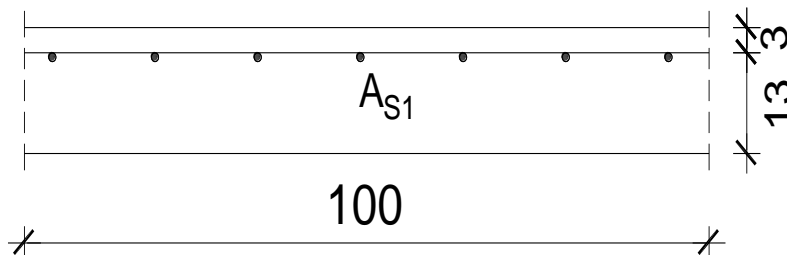
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{10,31 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,031$$

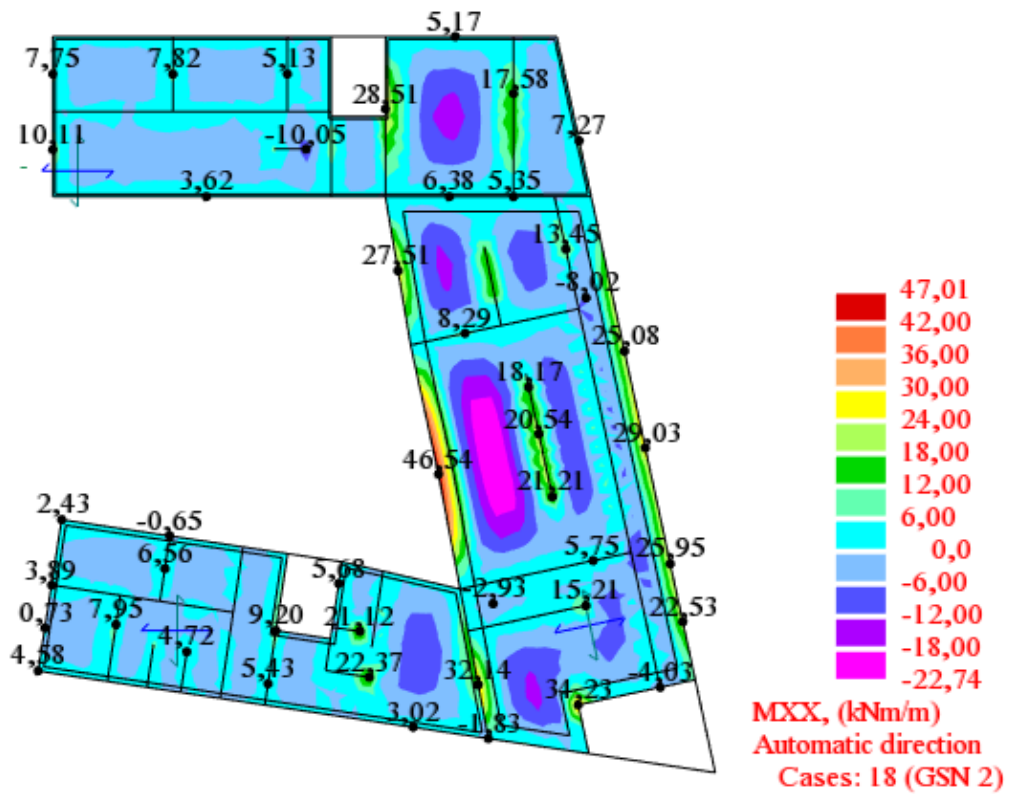
$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,1\text{‰}, \quad \zeta = 0,965, \quad \xi = 0,099$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{10,31 \cdot 100}{0,965 \cdot 13 \cdot 43,48} = 1,89 \text{ cm}^2$$

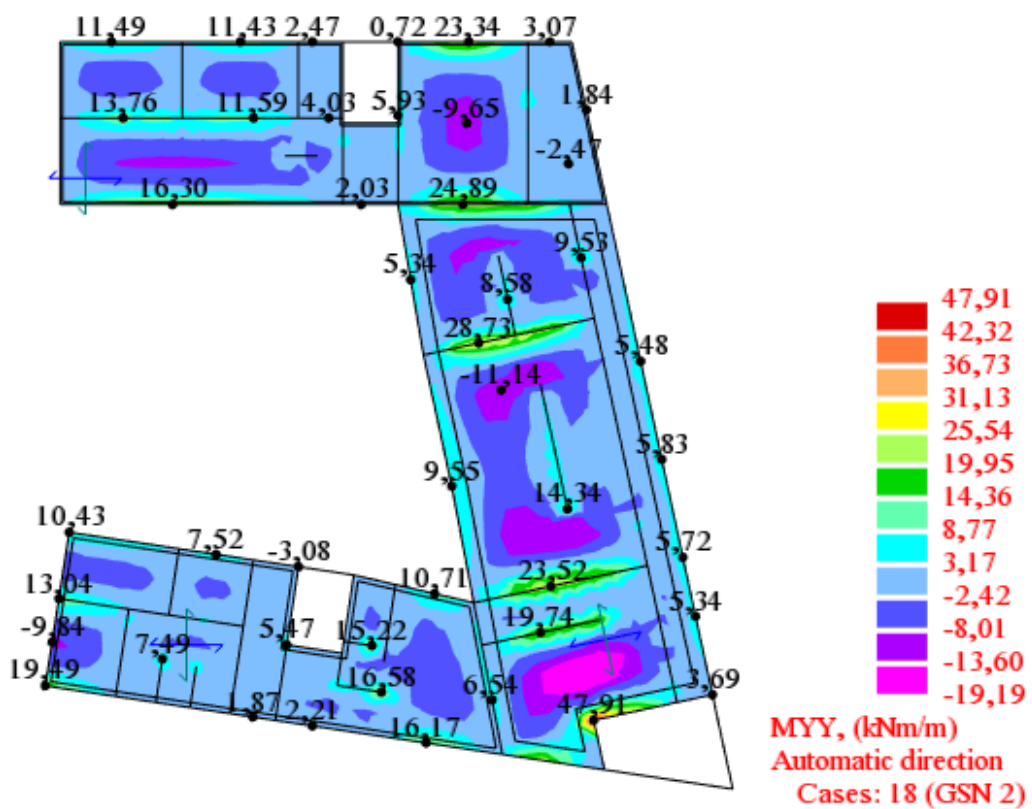
**Odabrana armatura: Q-385 (3,85cm<sup>2</sup>)**

Proračun na ležaju:





Slika 11.19. Prikaz momenata savijanja  $M_x$



Slika 11.20. Prikaz momenata savijanja  $M_y$

**Pozicija 401 →  $M_{Ed} = 16,30\text{kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{16,30 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,048$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,4\text{‰}, \quad \zeta = 0,956, \quad \xi = 0,123$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{16,30 \cdot 100}{0,956 \cdot 13 \cdot 43,48} = 3,01\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-385 (3,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 402 →  $M_{Ed} = 24,89\text{kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{24,89 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,074$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,3\text{‰}, \quad \zeta = 0,926, \quad \xi = 0,206$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{24,89 \cdot 100}{0,926 \cdot 13 \cdot 43,48} = 4,75\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-503 (5,03cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 403 →  $M_{Ed} = 48,33\text{kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{47,91 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,143$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 3,2\text{‰}, \quad \zeta = 0,901, \quad \xi = 0,242$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{47,91 \cdot 100}{0,901 \cdot 13 \cdot 43,48} = 9,41\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785+3Ø10 (10,21cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 404 →  $M_{Ed} = 22,37\text{kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{22,37 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,066$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,7\text{‰}, \quad \zeta = 0,947, \quad \xi = 0,145$$

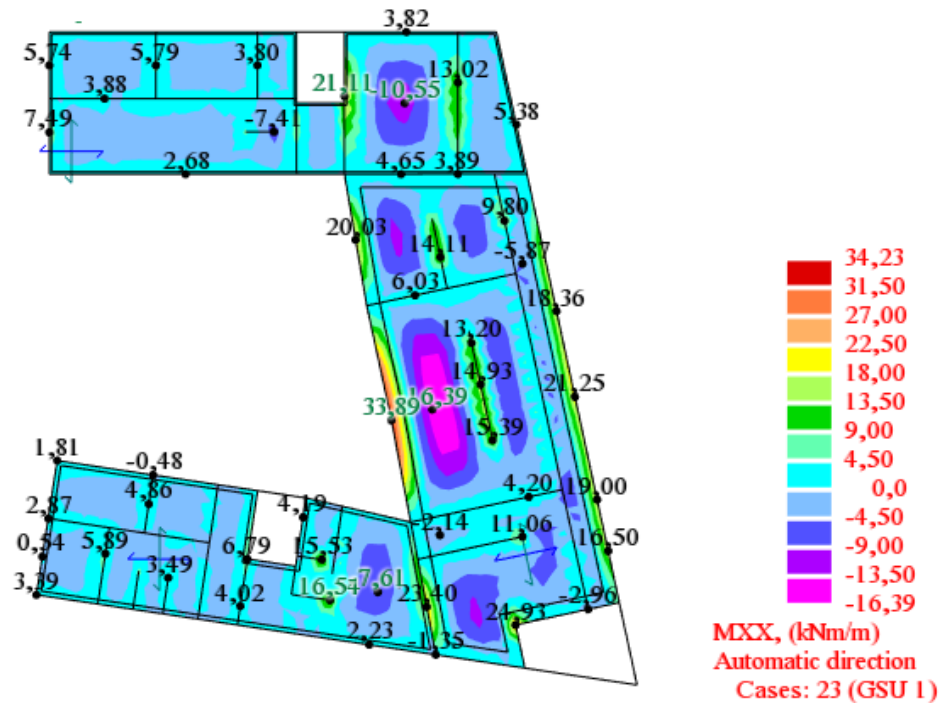
$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{22,37 \cdot 100}{0,937 \cdot 13 \cdot 43,48} = 4,22\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-503 (5,03cm<sup>2</sup>)**

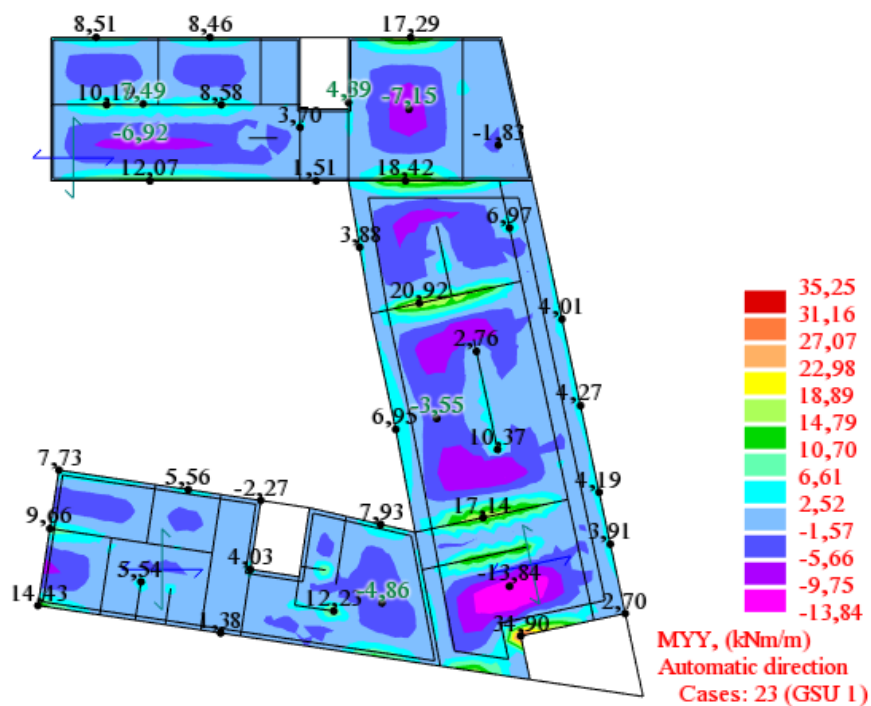
### 11.3.2 Kontrola graničnog stanja uporabljivosti

#### Pukotine:

Mjerodavni momenti u ploči dobiveni su iz kombinacija za granično stanje uporabljivosti.



Slika 11.21. Granično stanje uporabljivosti  $M_x$



Slika 11.22. Granično stanje uporabljivosti  $M_y$

- Armatura ploče donje zone Pozicije 401: Q-385 ( $A_{s1} = 3,85\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 6,92\text{kNm}$$

$$\text{Prognozna širina pukotine: } w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Vrijednost  $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$  određuje se prema izrazu:

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

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_s}} \right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right)}$$

$$\text{Za C 30/37} \rightarrow f_{ct,eff} = 29\text{MPa}$$

$$A_s = Q - 283 = 2,83\text{cm}^2$$

$$\varepsilon_{cm} = 33,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti betona}$$

$$\varepsilon_{sm} = 200,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti armature}$$

$$k_t = 0,4 - \text{Dugotrajno opterećenje}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06 - \text{Odnos modula elastičnosti armature i betona}$$

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnim vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2,83}{100 \cdot (2,5 \cdot 3)} = 0,0038$$

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} [\text{mm}]$$

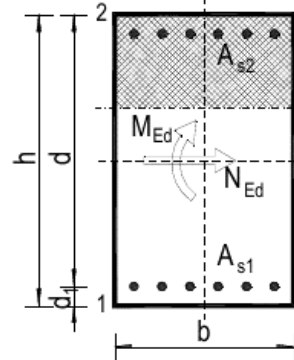
$$\emptyset = 7\text{mm} - (Q - 385 \rightarrow \emptyset 7/10)$$

$$c = 20 \text{ mm} - \text{zaštitni sloj uzdužne armature}$$

$$k_1 = 0,8 - \text{rebrasta armatura}$$

$$k_2 = 0,5 - \text{savijanje}$$

$b =$	100,0 cm	$d =$	13,0 cm	$h =$	16,0 cm
$f_{ck} =$	30,0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30 mm
$A_{s1} =$	3,85 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0 cm
$E_s =$	200,00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6,1
$M_{Ed} =$	8,69 kNm	$k_t =$	0,40		
$\sigma_s =$	184,24 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	2,25 cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0051		
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	-0,000243	$< 0,6 \cdot \sigma_s/E_s =$	0,000553		
$\emptyset =$	7,0 mm	$c =$	2,00 cm		
$k_1 =$	0,8	$k_2 =$	0,50		
$k_3 =$	3,4	$k_4 =$	0,43		
$S_{r,max} =$	299,82 mm				
$W_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,166 mm	$< w_g$			



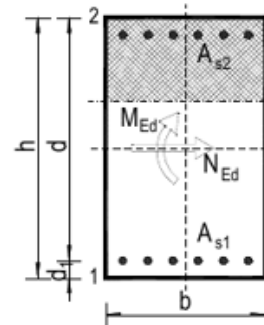
$$W_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,17 \text{ mm} < w_g = 0,3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 402: Q-385 ( $A_{s1} = 3,85 \text{ cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 10,55 \text{ kNm}$$

$b =$	100,0 cm	$d =$	13,0 cm	$h =$	16,0 cm
$f_{ck} =$	30,0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30 mm
$A_{s1} =$	3,85 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0 cm
$E_s =$	200,00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e =$	6,1
$M_{Ed} =$	10,55 kNm	$k_t =$	0,40		
$\sigma_s =$	223,68 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	2,25 cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0051		
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	-0,000045	$< 0,6 \cdot \sigma_s/E_s =$	0,000671		
$\emptyset =$	7,0 mm	$c =$	2,00 cm		
$k_1 =$	0,8	$k_2 =$	0,50		
$k_3 =$	3,4	$k_4 =$	0,43		
$S_{r,max} =$	299,82 mm				
$W_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,201 mm	$< w_g$			



$$W_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,20 \text{ mm} < w_g = 0,3 \text{ mm}$$

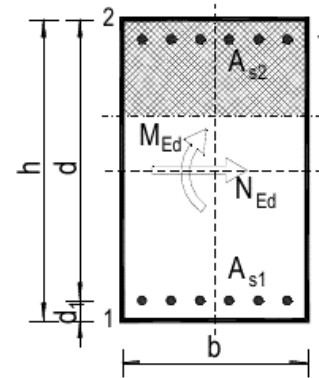
Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 403: Q-503 ( $A_{s1} = 5,03 \text{ cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 16,57 \text{ kNm}$$

$b =$	100,0 cm	$d =$	13,0 cm	$h =$	16,0 cm
$f_{ck} =$	30,0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30 mm
$A_{s1} =$	5,03 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0 cm

$E_s =$	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e =$	6,1
$M_{Ed} =$	16,57	kNm	$k_t =$	0,40		$E_s/E_{cm} =$	
$\sigma_s =$	268,07	MN/m <sup>2</sup>					
$x =$	2,53	cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0067			
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,000441	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s =$	0,000804			
$\varnothing =$	8,0	mm	$c =$	2,00	cm		
$k_1 =$	0,8		$k_2 =$	0,50			
$k_3 =$	3,4		$k_4 =$	0,43			
$s_{r,max} =$	270,78	mm					
	$W_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,218	mm	<	$w_g$		



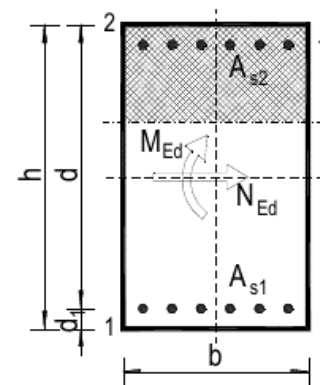
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,22\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 404: Q-385 ( $A_{s1} = 3,85\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 7,61\text{kNm}$$

$b =$	100,0	cm	$d =$	13,0	cm	$h =$	16,0	cm
$f_{ck} =$	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30	mm
$A_{s1} =$	3,85	cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0	cm
$E_s =$	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e =$	6,1	
$M_{Ed} =$	7,61	kNm	$k_t =$	0,40		$E_s/E_{cm} =$		
$\sigma_s =$	161,34	MN/m <sup>2</sup>						
$x =$	2,25	cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0051				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	-0,000357	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s =$	0,000484				
$\varnothing =$	7,0	mm	$c =$	2,00	cm			
$k_1 =$	0,8		$k_2 =$	0,50				
$k_3 =$	3,4		$k_4 =$	0,43				
$s_{r,max} =$	299,82	mm						
	$W_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,145	mm	<	$w_g$			



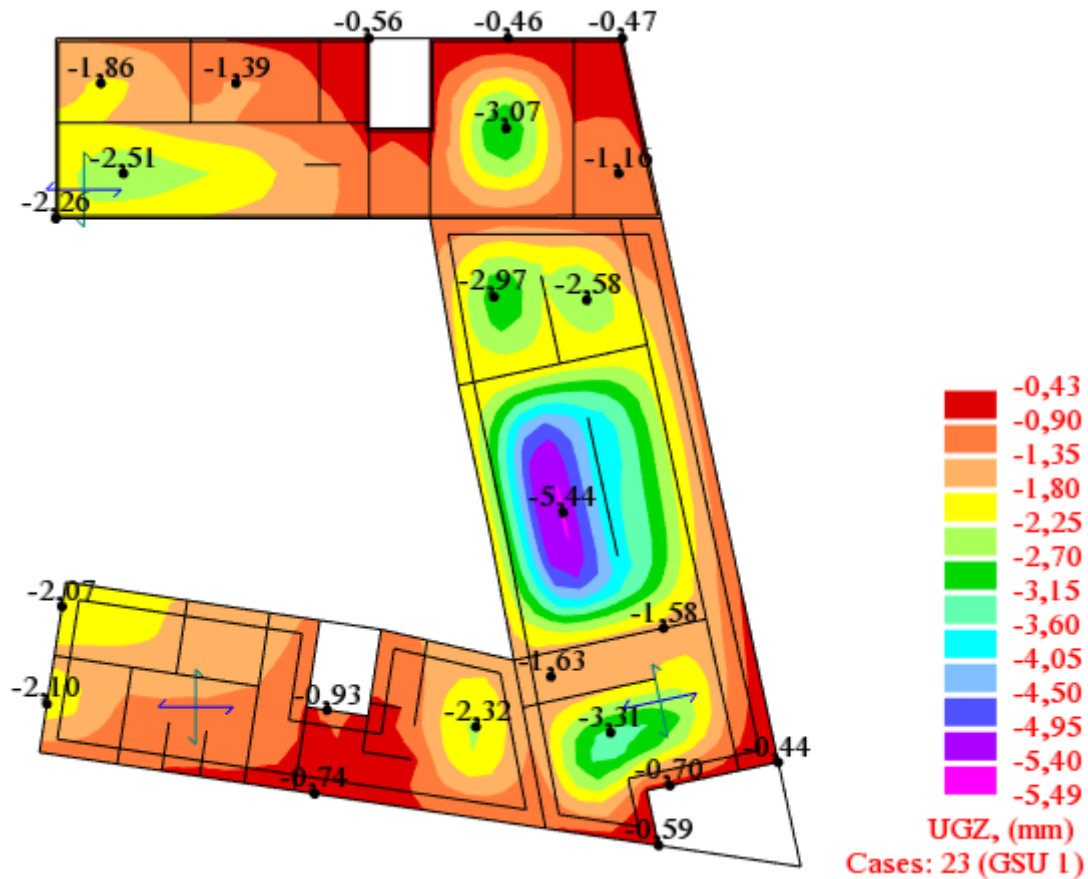


$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,15\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

### Kontrola progiba

Mjerodavni progibi ploče su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU 1 : 1,0 (g+Δg) + 1,0q.



Slika 11.23. Ukupan progib za GSU

- **Progib za ploču pozicije 401**

$$M_{Ed,polje} = 6,92\text{kNm}$$

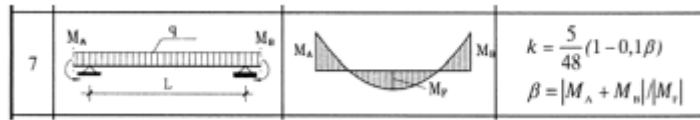
$$M_{Ed,rub} = 12,07\text{kNm}$$

$$M_{Ed,ležaj} = 10,12\text{kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{4250}{250} = 17,0 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|12,07 + 10,12|}{|6,92|} = 3,2$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,2) = 0,071 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$$l = 425 \text{ cm raspon elementa}$$

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$$E = 200000 N/mm^2 - \text{modul elastičnosti čelika}$$

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(3,85 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 35363,42 cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{692}{3194 \cdot 35363,42} = 0,000006 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,25 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 61,79 + 185,37 + 2163,14 = 2410,30 cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{692}{3194 \cdot 2410,3} = 0,00009 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 \text{MPa}$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33 \text{kNcm} = 12,37 \text{kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,35 \cdot 3,85} = 35,40 \text{kN/cm}^2 = 354 \text{N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{692}{12,35 \cdot 3,85} = 19,79 \text{kN/cm}^2 = 198 \text{N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$M_{cr} > M_{Ed} \rightarrow$  koeficijent raspodjele se uzima jednak 0

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 0$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_l} = 0,000006 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,071 \cdot 425^2 \cdot 0,000006 = 0,1 \text{cm} < v_{lim} = 1,7 \text{cm}$$

Progibi zadovoljavaju

• **Progib za ploču pozicije 402**

$$M_{Ed, polje} = 10,55 \text{kNm}$$

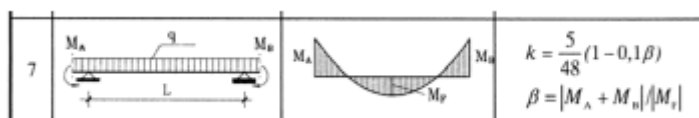
$$M_{Ed, rub} = 21,11 \text{kNm}$$

$$M_{Ed, ležaj} = 13,02 \text{kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p, dop} = \frac{l}{250} = \frac{639}{250} = 25,56 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed, rub} + M_{Ed, ležaj}|}{|M_{Ed, polje}|} = \frac{|21,11 + 13,02|}{|10,55|} = 3,2$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,2) = 0,071 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$$l = 639 \text{ cm raspon elementa}$$

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$E = 200000 N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(3,85 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 34735,86 cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1055}{3194 \cdot 34735,86} = 0,000009 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,25 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 94,92 + 284,77 + 2785,17 = 3164,86 cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1055}{3194 \cdot 3164,86} = 0,0001 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33 \text{ kNm} = 12,37 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,25 \cdot 3,85} = 26,24 \text{ kN/cm}^2 = 262 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{1055}{12,25 \cdot 3,85} = 22,37 \text{ kN/cm}^2 = 224 \text{ N/m}^2$$

$M_{cr} > M_{Ed} \rightarrow$  koeficijent raspodjele se uzima jednak 0

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 0$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_l} = 0,000001 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,071 \cdot 639^2 \cdot 0,000001 = 0,3 \text{ cm} < v_{lim} = 2,6 \text{ cm}$$

### Progibi zadovoljavaju

#### • Progib za ploču pozicije 403

$$M_{Ed, polje} = 16,39 \text{ kNm}$$

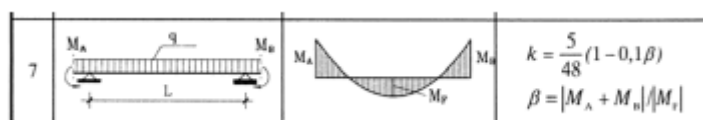
$$M_{Ed, rub} = 33,89 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed, ležaj} = 13,02 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p, dop} = \frac{l}{250} = \frac{462}{250} = 1,848 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed, rub} + M_{Ed, ležaj}|}{|M_{Ed, polje}|} = \frac{|33,89 + 13,02|}{|16,39|} = 2,9$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 2,9) = 0,074 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 462\text{cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$\begin{aligned} E_{cm} &= 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ &= 31938,77 \frac{N}{mm^2} \text{ – modul elastičnosti betona} \end{aligned}$$

$E = 200000N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 \text{ – omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(5,03 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 34920,53\text{cm}^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1639}{3194 \cdot 34920,53} = 0,000015 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,53 \text{ – položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 134,95 + 404,86 + 3451,72 = 3991,53\text{cm}^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1639}{3194 \cdot 3991,53} = 0,00013 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30\text{MPa}$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9\text{MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33 \text{ kNm} = 12,37 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,15 \cdot 5,03} = 20,25 \text{ kN/cm}^2 = 203 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{1639}{12,15 \cdot 5,03} = 26,82 \text{ kN/cm}^2 = 268 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{203}{268}\right)^2 = 0,713$$

$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_I} + (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} = 0,713 \cdot 0,000015 + (1 - 0,713) \cdot 0,00013 = 0,000048 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,073 \cdot 462^2 \cdot 0,000048 = 0,75 \text{ cm} < v_{lim} = 1,85 \text{ cm}$$

Progibi zadovoljavaju

• **Progib za ploču pozicije 404**

$$M_{Ed, polje} = 7,61 \text{ kNm}$$

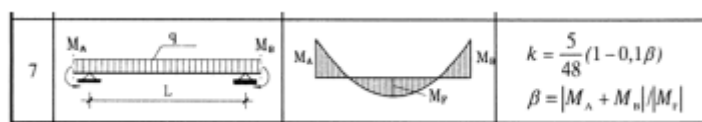
$$M_{Ed, rub} = 23,4 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed, ležaj} = 16,51 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p, dop} = \frac{l}{250} = \frac{529}{250} = 21,16 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed, rub} + M_{Ed, ležaj}|}{|M_{Ed, polje}|} = \frac{|23,4 + 16,51|}{|7,61|} = 5,2$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 5,2) = 0,05 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$$l = 529 \text{ cm raspon elementa}$$

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$\begin{aligned} E_{cm} &= 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ &= 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona} \end{aligned}$$

$E = 200000N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(3,85 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 34735,86cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{761}{3194 \cdot 34735,86} = 0,000007 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,25 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 94,92 + 284,77 + 2785,17 = 3164,86cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{761}{3194 \cdot 3164,86} = 0,00008 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9MPa$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33kNcm = 12,37kNm$$



$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,25 \cdot 3,85} = 26,24 \text{ kN/cm}^2 = 262 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{761}{12,25 \cdot 3,85} = 16,14 \text{ kN/cm}^2 = 161 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 0$$

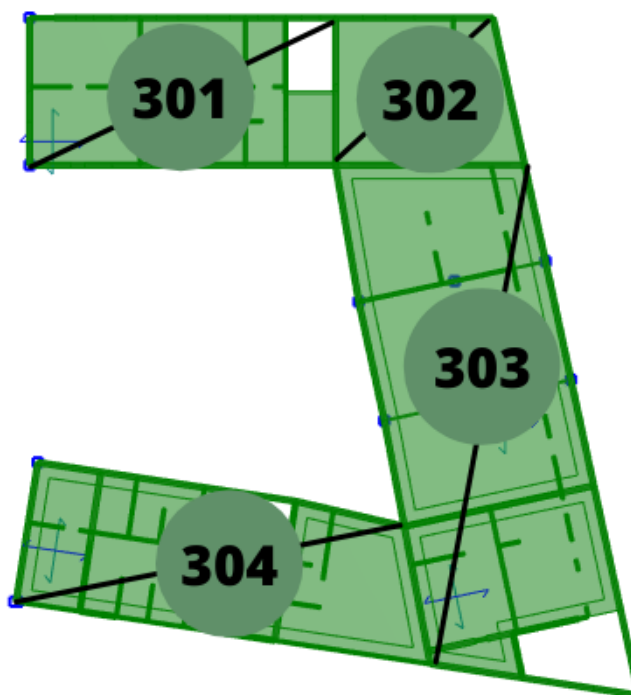
$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_l} = 0,000007 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,065 \cdot 529^2 \cdot 0,000007 = 0,13 \text{ cm} < v_{lim} = 2,1 \text{ cm}$$

Progibi zadovoljavaju

#### 11.4 Proračun ploča pozicija 300 (ploča kata) $d_{pl} = 16 \text{ cm}$

##### 11.4.1 Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN



Slika 11.24. Prikaz pozicije 300

Postupak dimenzioniranja:

$$\text{Beton: C30/37 } f_{ck} = 30\text{MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{30}{1,5} = 20\text{MPa} = 2\text{kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B } f_{yk} = 500\text{MPa} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{500}{1,15} = 434,8\text{MPa} = 43,48\text{kN/cm}^2$$

$$b_{pl} = 100\text{cm}, h_{pl} = 16\text{cm}$$

$$c_{nom} = 2\text{cm (XC1 klasa)}$$

$$d_1 = 3\text{cm}, d = 13\text{cm}$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,im} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd} = A_s \cdot 0,892 \cdot 13 \cdot 43,48$$

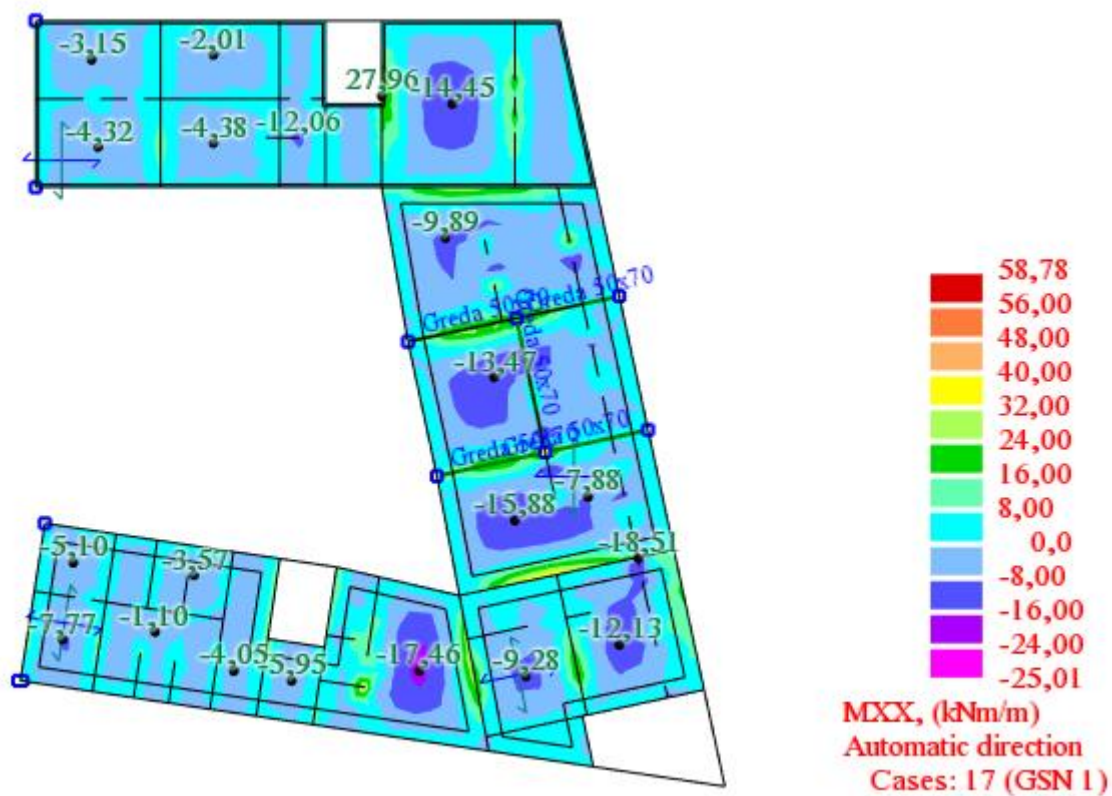
$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 16 = 1,6\text{cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 16 = 32\text{cm}^2$$

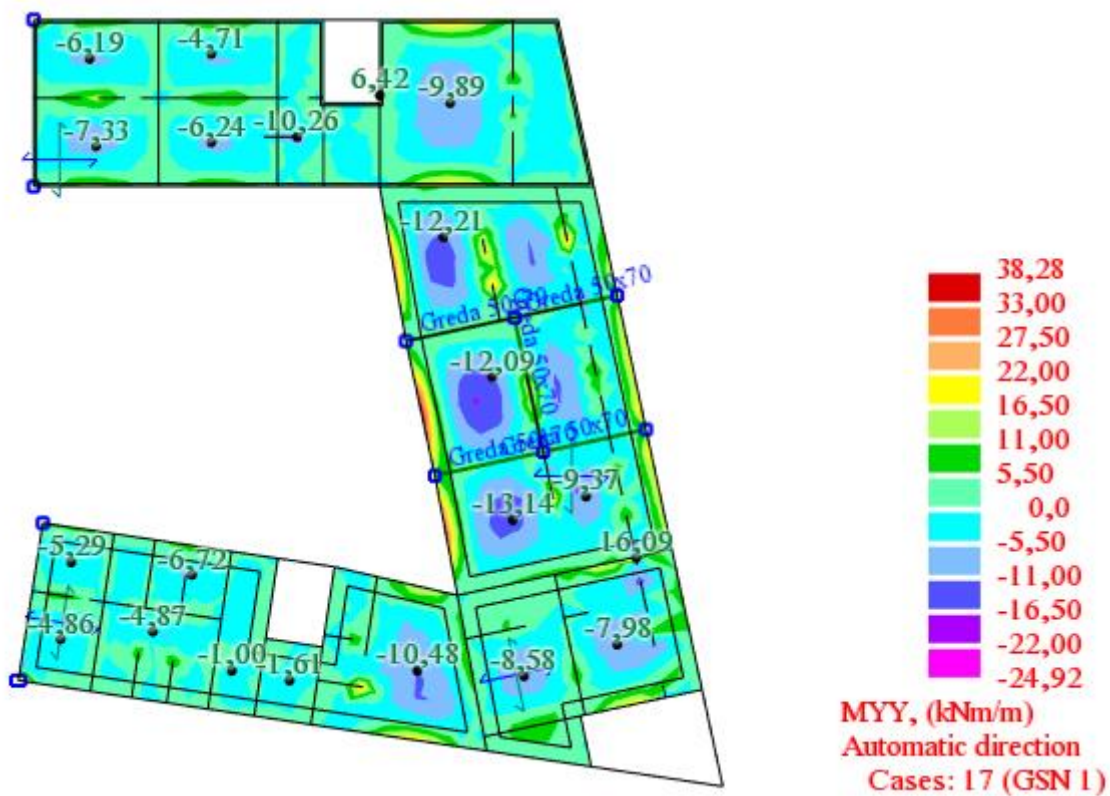
MREŽA		Površina	Moment nosivosti betona	Moment nosivosti armature	Postotak armature
		$A_{s1}$	$M_{Rdc, lim}$	$M_{Rds, lim}$	
		$\text{cm}^2/\text{m}$	$\text{kNm}$	$\text{kNm}$	$\%$
R/Q-	283	2,83	53,74	14,27	0,18
R/Q-	335	3,35	53,74	16,89	0,21
R/Q-	385	3,85	53,74	19,41	0,24
R/Q-	424	4,24	53,74	21,38	0,27
R/Q-	503	5,03	53,74	25,36	0,31
R/Q-	524	5,24	53,74	26,42	0,33
R/Q-	636	6,36	53,74	32,07	0,40
R/Q-	785	7,85	53,74	39,58	0,49

Tablica 11.4. Prikaz nosivosti betona i armature

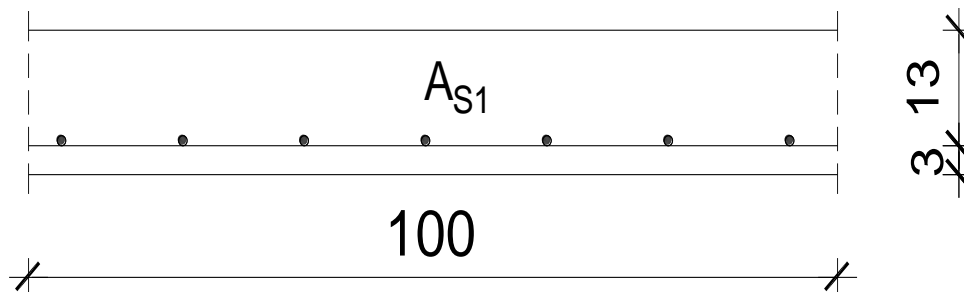
12. Proračun u polju:



Slika 11.25. Prikaz momenata savijanja  $M_x$



Slika 11.26. Prikaz momenata savijanja  $M_y$



**Pozicija 301** →  $M_{Ed} = 12,06 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12,06 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2} = 0,036$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 0,8\text{‰}, \quad \zeta = 0,952, \quad \xi = 0,138$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{12,06 \cdot 100}{0,952 \cdot 13 \cdot 43,48} = 2,24 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-385(3,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 302** →  $M_{Ed} = 14,45 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14,45 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,043$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 0,9\text{‰}, \quad \zeta = 0,947, \quad \xi = 0,153$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{14,45 \cdot 100}{0,947 \cdot 13 \cdot 43,48} = 2,70 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-385(3,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 303** →  $M_{Ed} = 15,88 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{15,88 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,047$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,0\text{‰}, \quad \zeta = 0,942, \quad \xi = 0,167$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{15,88 \cdot 100}{0,942 \cdot 13 \cdot 43,48} = 2,98 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-385 (3,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 304** →  $M_{Ed} = 17,46 \text{ kNm}$

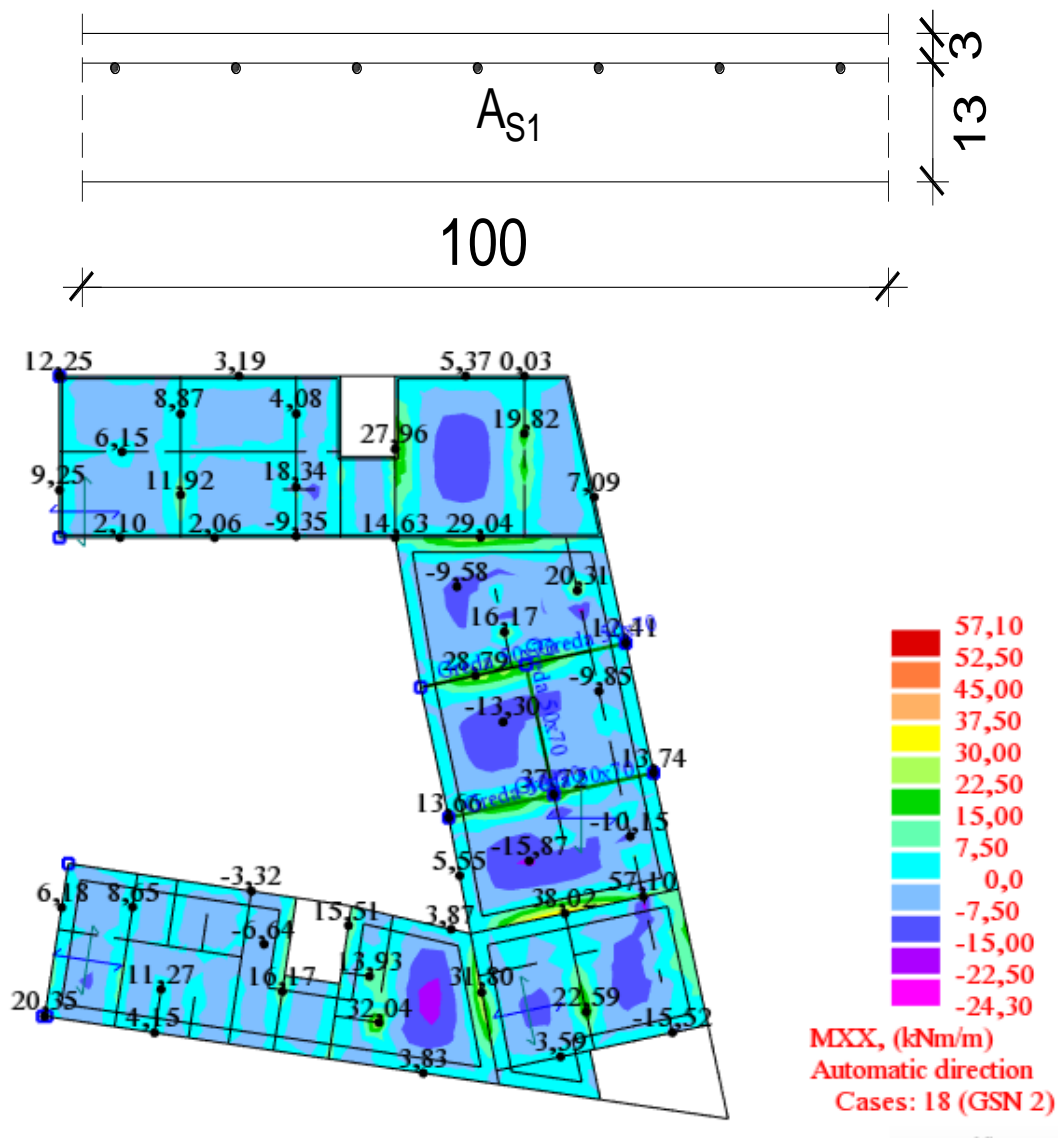
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{17,46 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,052$$

Za  $\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}$ ,  $\varepsilon_{c2} = 1,4\text{‰}$ ,  $\zeta = 0,956$ ,  $\xi = 0,123$

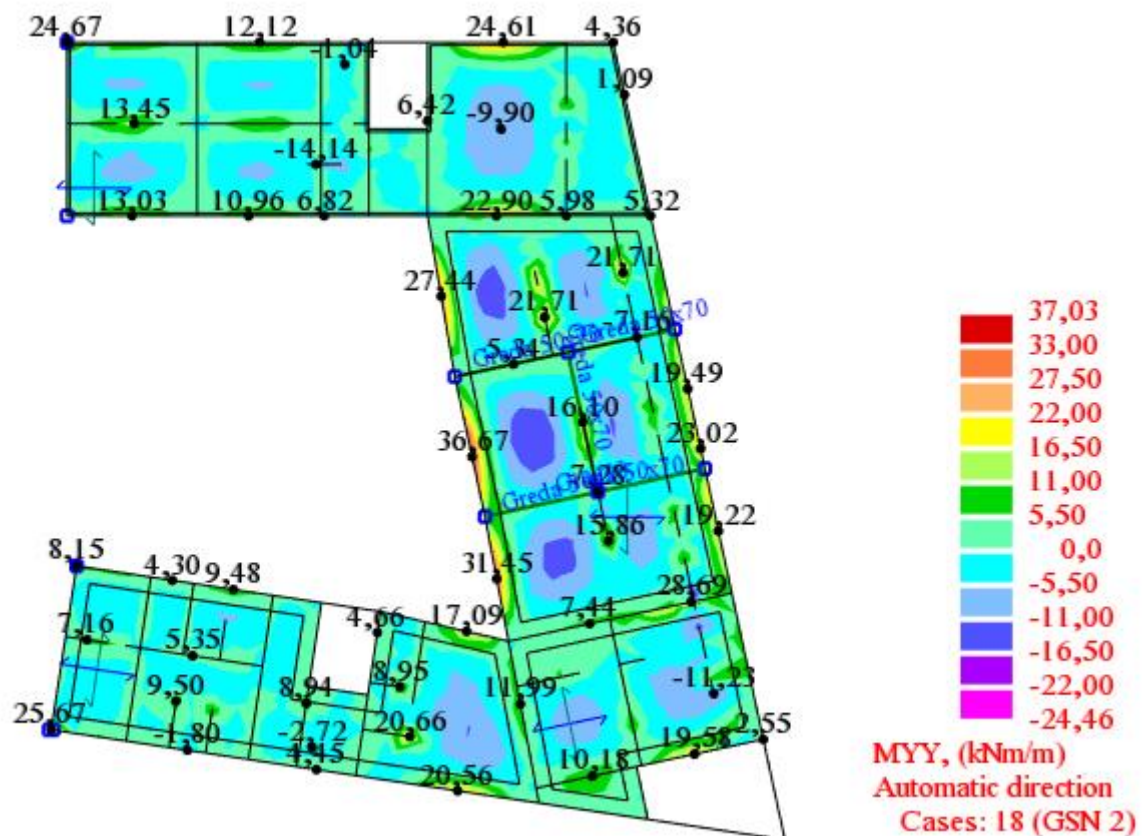
$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{17,46 \cdot 100}{0,956 \cdot 13 \cdot 43,48} = 3,23 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-385 (3,85cm<sup>2</sup>)**

Proračun na ležaju:



Slika 11.26. Prikaz momenata savijanja  $M_x$

Slika 11.27. Prikaz momenata savijanja  $M_y$ 

**Pozicija 301  $\rightarrow M_{Ed} = 18,34 \text{ kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{18,34 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,054$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,5\text{‰}, \quad \zeta = 0,953, \quad \xi = 0,130$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{18,34 \cdot 100}{0,953 \cdot 13 \cdot 43,48} = 4,41 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-503 (5,03 cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 302  $\rightarrow M_{Ed} = 29,04 \text{ kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{29,04 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,086$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 2,0\text{‰}, \quad \zeta = 0,938, \quad \xi = 0,167$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{29,04 \cdot 100}{0,938 \cdot 13 \cdot 43,48} = 5,47 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785 (7,85 cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 303** →  $M_{Ed} = 57,10 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{57,10 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,169$$

Vidljivo je da izračunati  $\mu_{Ed}$  veći od maksimalnog kojeg možemo očitati iz tablica. Presjek je potrebno dvostruko armirati.

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 3,5\text{‰}, \quad \zeta = 0,892, \quad \xi = 0,259$$

$$M_{Ed,lim} = \mu_{Ed,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot 100 \cdot 13^2 \cdot 2,0 = 53,74 \text{ kNm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Rd,c,lim}}{\zeta_{lim} \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Ed} - M_{Rd,c,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}} = \frac{53,74 \cdot 100}{0,892 \cdot 13 \cdot 43,48} + \frac{(57,10 - 53,74) \cdot 100}{(13 - 3) \cdot 43,48}$$

$$A_{s1} = 10,65 + 0,55 = 11,20 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785+5Ø10 (11,78cm<sup>2</sup>)**

$$x = \xi_{lim} \cdot d = 0,259 \cdot 13 = 3,367 \text{ cm}$$

$$\frac{\varepsilon_{c2}}{x} = \frac{\varepsilon_{s2}}{x - d_2} \rightarrow \varepsilon_{s2} = \frac{x - d_2}{x} \cdot \varepsilon_{c2} = \frac{3,367 - 3,0}{3,367} \cdot 3,5 = 0,38\text{‰}$$

$$\varepsilon_v = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200000} \cdot 1000(\text{‰}) = 2,17\text{‰}$$

$$\varepsilon_{s2} > \varepsilon_v \rightarrow f_{s2} = E_s \cdot \varepsilon_{s2} = 200000 \cdot 0,00038 = 76,0 \text{ MPa}$$

$$A_{s2} = \frac{M_{Ed} - M_{Rd,c,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{s2}} = \frac{(57,10 - 53,74) \cdot 100}{(13 - 3) \cdot 7,6} = 3,14 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-335 (3,35cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 304** →  $M_{Ed} = 32,04 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{32,04 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,094$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 2,2\text{‰}, \quad \zeta = 0,931, \quad \xi = 0,180$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{32,04 \cdot 100}{0,931 \cdot 13 \cdot 43,48} = 6,06 \text{ cm}^2$$

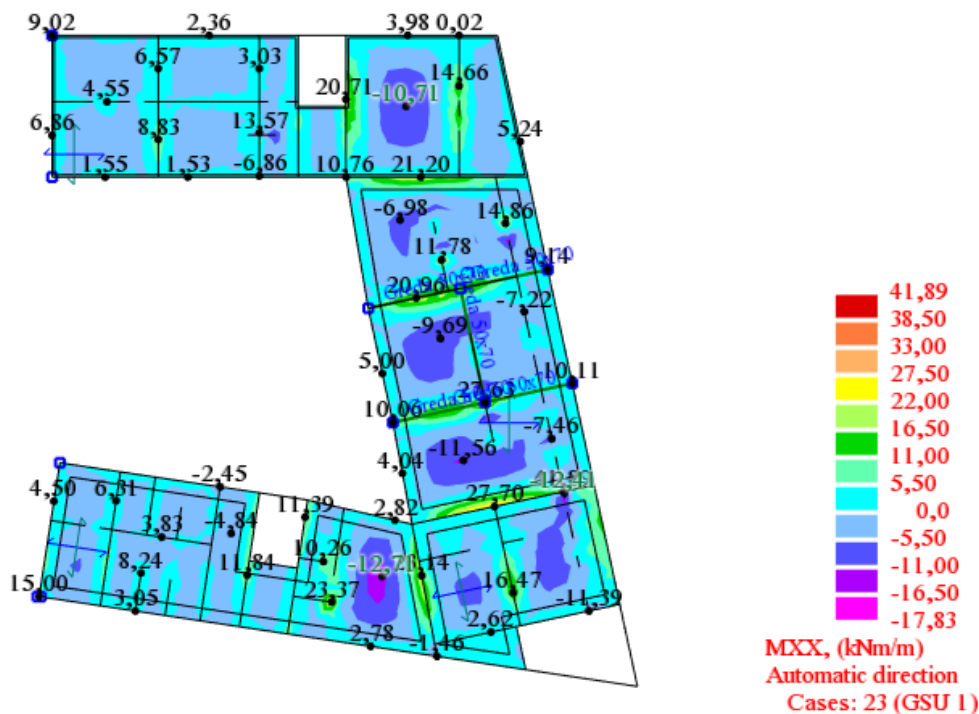
**Odabrana armatura: R-636 (6,36cm<sup>2</sup>)**



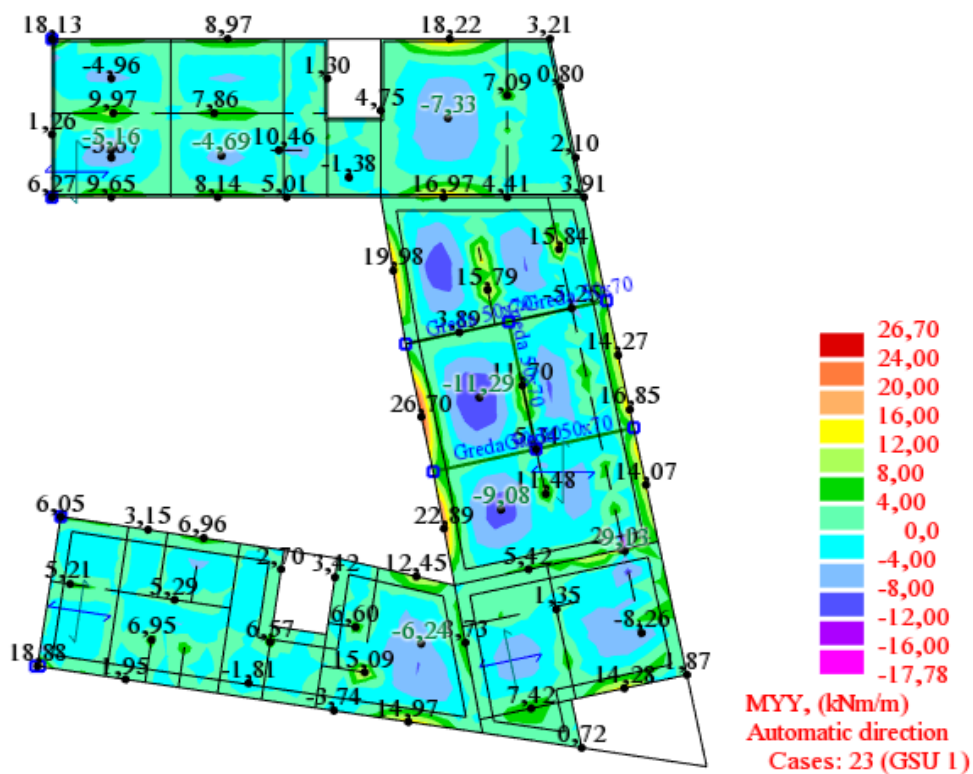
### 11.4.2 Kontrola graničnog stanja uporabljivosti

#### Pukotine:

Mjerodavni momenti u ploči dobiveni su iz kombinacija za granično stanje uporabljivosti.



Slika 11.28. Granično stanje uporabljivosti  $M_x$



Slika 11.29. Granično stanje uporabljivosti  $M_y$



- Armatura ploče donje zone Pozicije 301: Q-335 ( $A_{s1}=3,35\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 13,57\text{kNm}$$

$$\text{Prognozna širina pukotine: } w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Vrijednost  $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$  određuje se prema izrazu:

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

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_s}} \right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right)}$$

$$\text{Za C 30/37} \rightarrow f_{ct,eff} = 29\text{MPa}$$

$$A_s = Q - 335 = 3,35\text{cm}^2$$

$$\varepsilon_{cm} = 33,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti betona}$$

$$\varepsilon_{sm} = 200,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti armature}$$

$$k_t = 0,4 - \text{Dugotrajno opterećenje}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06 - \text{Odnos modula elastičnosti armature i betona}$$

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{3,85}{100 \cdot (2,5 \cdot 3)} = 0,0051$$

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} [\text{mm}]$$

$$\emptyset = 7\text{mm} - (Q - 385 \rightarrow \emptyset 7/10)$$

$$c = 20 \text{ mm} - \text{zaštitni sloj uzdužne armature}$$

$$k_1 = 0,8 - \text{rebrasta armatura}$$

$$k_2 = 0,5 - \text{savijanje}$$

$$k_3 = 3,4$$

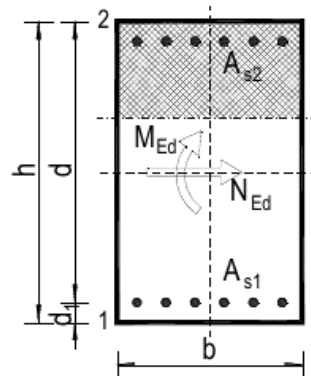
$$k_4 = 0,425$$

b =	100,0	cm	d =	13,0	cm	h =	16,0	cm
f <sub>ck</sub> =	30,0	MN/m <sup>2</sup>	f <sub>ctm</sub> =	2,90	MN/m <sup>2</sup>	w <sub>g</sub> =	0,30	mm
A <sub>s1</sub> =	3,85	cm <sup>2</sup>	A <sub>s2</sub> =	0,00	cm <sup>2</sup>	d <sub>1</sub> = d <sub>2</sub> =	3,0	cm

$E_s =$	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6,1
$M_{Ed} =$	13,57	kNm	$k_t =$	0,40			
$\sigma_s =$	287,70	MN/m <sup>2</sup>					
$x =$	2,25	cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0051			
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,000275	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s =$	0,000863			
$\varnothing =$	7,0	mm	$c =$	2,00	cm		
$k_1 =$	0,8		$k_2 =$	0,50			
$k_3 =$	3,4		$k_4 =$	0,43			
$S_{r,max} =$	299,82	mm					

$W_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,259	mm	<	$w_g$
---	-------	----	---	-------



$$w_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,26\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

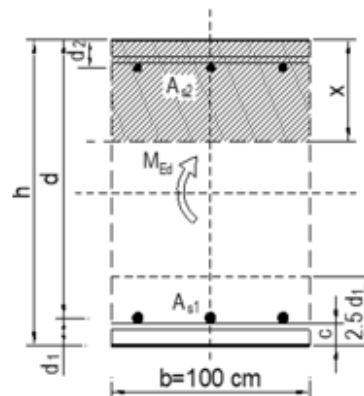
- Armatura ploče donje zone Pozicije 302: Q-503(A<sub>s1</sub>=5,03cm<sup>2</sup>)

$$M_{Ed} = 10,71\text{kNm}$$

$b =$	100,0	cm	$d =$	13,0	cm	$h =$	16,0	cm
$f_{ck} =$	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30	mm
$A_{s1} =$	5,03	cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0	cm
$E_s =$	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e =$	6,1	
$M_{Ed} =$	10,71	kNm	$k_t =$	0,40		$E_s/E_{cm} =$	6,1	
$\sigma_s =$	175,17	MN/m <sup>2</sup>						
$x =$	2,53	cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0067				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	-0,000023	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s =$	0,000526				
$\varnothing =$	8,0	mm	$c =$	2,00	cm			
$k_1 =$	0,8		$k_2 =$	0,50				
$k_3 =$	3,4		$k_4 =$	0,43				
$S_{r,max} =$	270,78	mm						

$W_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,142	mm	<	$w_g$
---	-------	----	---	-------



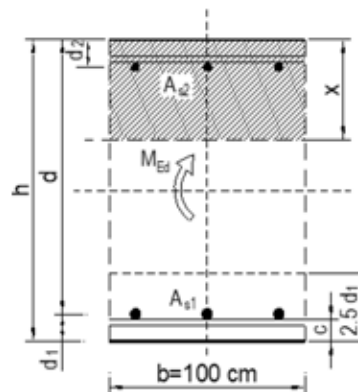
$$w_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,14\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 303: Q-385 ( $A_{s1}=3,85\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 11,29\text{kNm}$$

b =	100,0	cm	d =	13,0	cm	h =	16,0	cm
$f_{ck}$ =	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm}$ =	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g$ =	0,30	mm
$A_{s1}$ =	3,85	cm <sup>2</sup>	$A_{s2}$ =	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2$ =	3,0	cm
$E_s$ =	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm}$ =	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e$ =	6,1	
$M_{Ed}$ =	11,29	kNm	$k_t$ =	0,40		$E_s/E_{cm}$ =	6,1	
$\sigma_s$ =	253,99	MN/m <sup>2</sup>						
x =	2,25	cm	$\rho_{p,eff}$ =	0,0051				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ =	0,000106	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s$ =	0,000762				
$\varnothing$ =	7,0	mm	c =	2,00	cm			
$k_1$ =	0,8		$k_2$ =	0,50				
$k_3$ =	3,4		$k_4$ =	0,43				
$s_{r,max}$ =	299,82	mm						
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ =	0,228	mm	<	$w_g$				



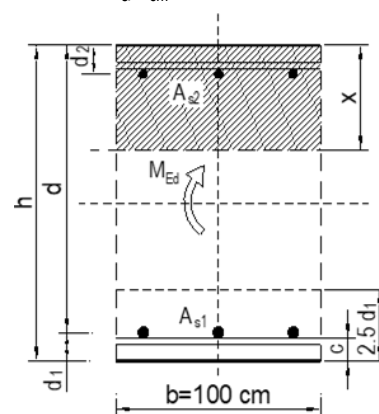
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,23\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 304: Q-385 ( $A_{s1}=3,85\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 12,28\text{kNm}$$

b =	100,0	cm	d =	13,0	cm	h =	16,0	cm
$f_{ck}$ =	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm}$ =	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g$ =	0,30	mm
$A_{s1}$ =	3,85	cm <sup>2</sup>	$A_{s2}$ =	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2$ =	3,0	cm
$E_s$ =	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm}$ =	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e$ =	6,1	
$M_{Ed}$ =	12,28	kNm	$k_t$ =	0,40		$E_s/E_{cm}$ =	6,1	
$\sigma_s$ =	269,26	MN/m <sup>2</sup>						
x =	2,25	cm	$\rho_{p,eff}$ =	0,0051				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ =	0,000182	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s$ =	0,000808				
$\varnothing$ =	7,0	mm	c =	2,00	cm			
$k_1$ =	0,8		$k_2$ =	0,50				
$k_3$ =	3,4		$k_4$ =	0,43				
$s_{r,max}$ =	299,82	mm						
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ =	0,242	mm	<	$w_g$				



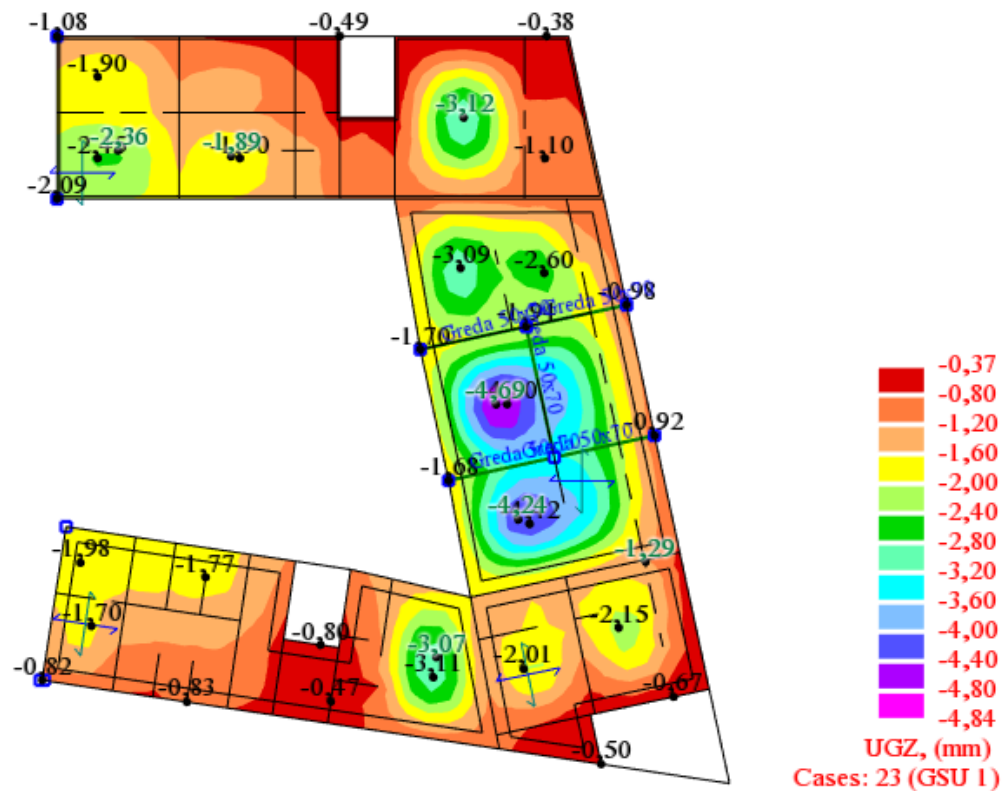
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,24\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

### Kontrola progiba

Mjerodavni progibi ploče su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU : 1,0 (g+Δg) + 1,0q.

Progib kontroliramo za nefaktorizirano opterećenje i bez utjecaja puzanja.



Slika 11.30. Ukupan progib za GSU

- **Progib za ploču pozicije 301**

$$M_{Ed,polje} = 5,16\text{kNm}$$

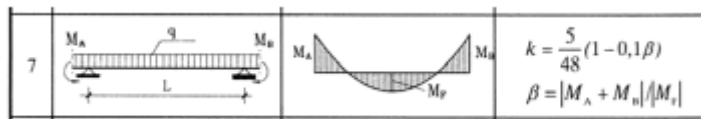
$$M_{Ed,rub} = 9,97\text{kNm}$$

$$M_{Ed,ležaj} = 9,65\text{kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{4250}{250} = 17,0\text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|9,97 + 9,65|}{|5,16|} = 3,45$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,45) = 0,068 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 425 \text{ cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$E = 200000 N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(3,85 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 34735,86 cm^4$$

$$\frac{1}{r_i} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{516}{3194 \cdot 34735,86} = 0,000005 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,11 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 78,28 + 234,85 + 3050,28 = 3363,41 cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{516}{3194 \cdot 3363,14} = 0,000048 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9MPa$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33kNcm = 12,37kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,3 \cdot 3,85} = 30,02kN/cm^2 = 300N/m^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{516}{12,3 \cdot 3,85} = 13,76kN/cm^2 = 138N/m^2$$

$$M_{cr} > M_{Ed}$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 0$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} = 0,000005 \frac{1}{cm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,068 \cdot 425^2 \cdot 0,000005 = 0,1cm < v_{lim} = 1,7cm$$

#### Progibi zadovoljavaju

##### • Progib za ploču pozicije 302

$$M_{Ed,polje} = 10,71kNm$$

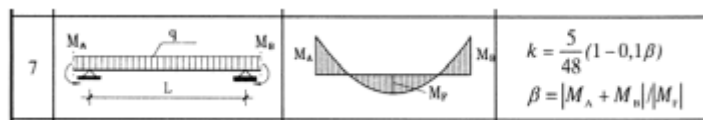
$$M_{Ed,rub} = 20,70kNm$$

$$M_{Ed,ležaj} = 14,61kNm$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{6390}{250} = 25,6 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|20,70 + 14,61|}{|10,71|} = 3,29$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,29) = 0,070 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$$l = 639 \text{ cm raspon elementa}$$

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$$E = 200000 N/mm^2 - \text{modul elastičnosti čelika}$$

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(3,85 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 34920,53 cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1071}{3194 \cdot 34920,53} = 0,00001 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,53 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 134,95 + 404,86 + 3451,72 = 3991,53 cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1071}{3194 \cdot 3991,53} = 0,00008 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 \text{MPa}$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33 \text{kNcm} = 12,37 \text{kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,26 \cdot 3,85} = 20,06 \text{kN/cm}^2 = 201 \text{N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{1071}{12,26 \cdot 3,85} = 17,37 \text{kN/cm}^2 = 174 \text{N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$$M_{cr} > M_{Ed}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 0$$

$$\frac{1}{r_m} = 0,00001 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,07 \cdot 639^2 \cdot 0,00001 = 0,3 \text{cm} < v_{lim} = 2,56 \text{cm}$$

Progibi zadovoljavaju

• **Progib za ploču pozicije 303**

$$M_{Ed,polje} = 11,29 \text{kNm}$$

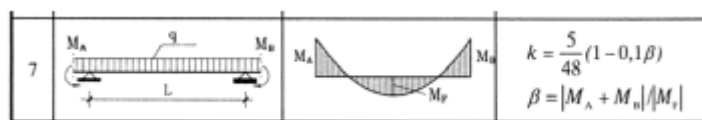
$$M_{Ed,rub} = 26,70 \text{kNm}$$

$$M_{Ed,ležaj} = 11,70 \text{kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{4620}{250} = 18,5 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|26,70 + 11,70|}{|11,29|} = 3,4$$





$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,4) = 0,069 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$$l = 462 \text{ cm raspon elementa}$$

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$E = 200000 N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(3,85 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 34735,86 cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1129}{3194 \cdot 34735,86} = 0,00001 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,25 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 94,92 + 284,77 + 2785,17 = 3164,86 cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{11129}{3194 \cdot 3164,86} = 0,00012 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33 \text{ kNcm} = 12,37 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,25 \cdot 3,85} = 26,24 \text{ kN/cm}^2 = 262 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{1198}{12,25 \cdot 3,85} = 25,40 \text{ kN/cm}^2 = 254 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$M_{cr} > M_{Ed}$$

$$\zeta = 0$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_l} = 0,00001 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,069 \cdot 462^2 \cdot 0,00001 = 0,15 \text{ cm} < v_{lim} = 1,85 \text{ cm}$$

### Progibi zadovoljavaju

#### • Progib za ploču pozicije 303

$$M_{Ed, polje} = 11,29 \text{ kNm}$$

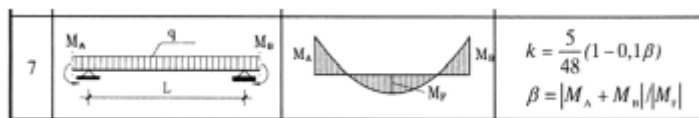
$$M_{Ed, rub} = 26,70 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed, ležaj} = 11,70 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p, dop} = \frac{l}{250} = \frac{5290}{250} = 21,2 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed, rub} + M_{Ed, ležaj}|}{|M_{Ed, polje}|} = \frac{|26,70 + 11,70|}{|11,29|} = 3,4$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,4) = 0,069 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 462 \text{ cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$\begin{aligned} E_{cm} &= 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ &= 31938,77 \frac{N}{mm^2} \text{ – modul elastičnosti betona} \end{aligned}$$

$E = 200000N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 \text{ – omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 34133,33 + 6,26 \cdot \left(3,85 \cdot \left(\frac{16}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 34735,86cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{1129}{3194 \cdot 34735,86} = 0,00001 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 2,25 \text{ – položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 94,92 + 284,77 + 2785,17 = 3164,86cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1129}{3194 \cdot 3164,86} = 0,00011 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9MPa$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 16^2}{6} = 1237,33 \text{ kNcm} = 12,37 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1237,33}{12,25 \cdot 3,85} = 26,24 \text{ kN/cm}^2 = 262 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{1129}{12,25 \cdot 3,85} = 26,93 \text{ kN/cm}^2 = 269 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$M_{cr} > M_{Ed}$$

$$\zeta = 0$$

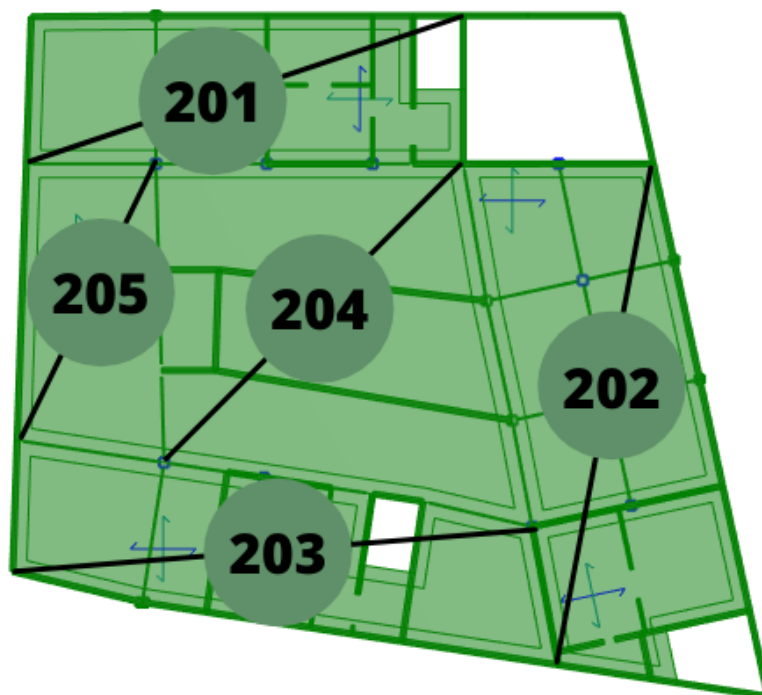
$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_l} = 0,0001 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,069 \cdot 529^2 \cdot 0,00001 = 0,19 \text{ cm} < v_{lim} = 2,1 \text{ cm}$$

Progibi zadovoljavaju

## 11.5 Proračun ploča pozicija 200 (ploča garaže) $d_{pl} = 25\text{cm}$

### 11.5.1 Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN



Slika 11.31. Prikaz pozicije 200

Postupak dimenzioniranja:

$$\text{Beton: C30/37 } f_{ck} = 30\text{MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{30}{1,5} = 20\text{MPa} = 2\text{kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B } f_{yk} = 500\text{MPa} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{500}{1,15} = 434,8\text{MPa} = 43,48\text{kN/cm}^2$$

$$b_{pl} = 100\text{cm}, h_{pl} = 25\text{cm}$$

$$c_{nom} = 2\text{cm (XC1 klasa)}$$

$$d_1 = 3\text{cm}, d = 22\text{cm}$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,im} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd} = A_s \cdot 0,892 \cdot 22 \cdot 43,48$$

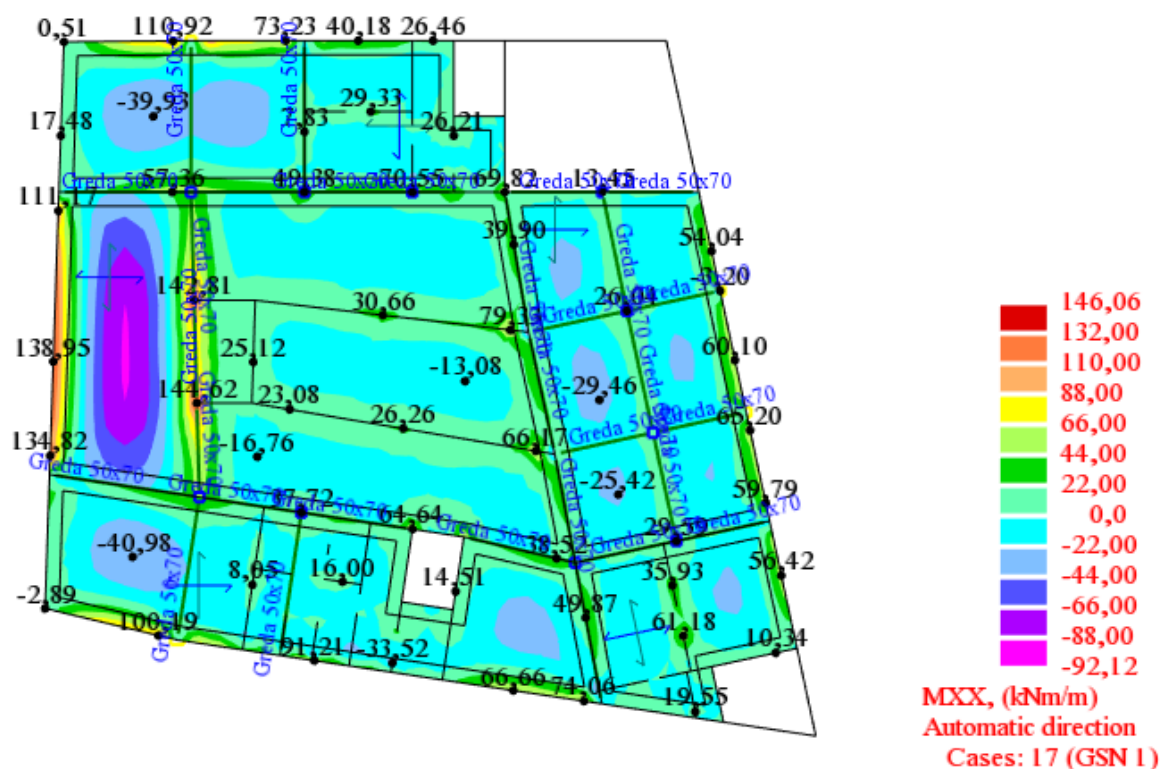
$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 22 = 2,2\text{cm}^2$$

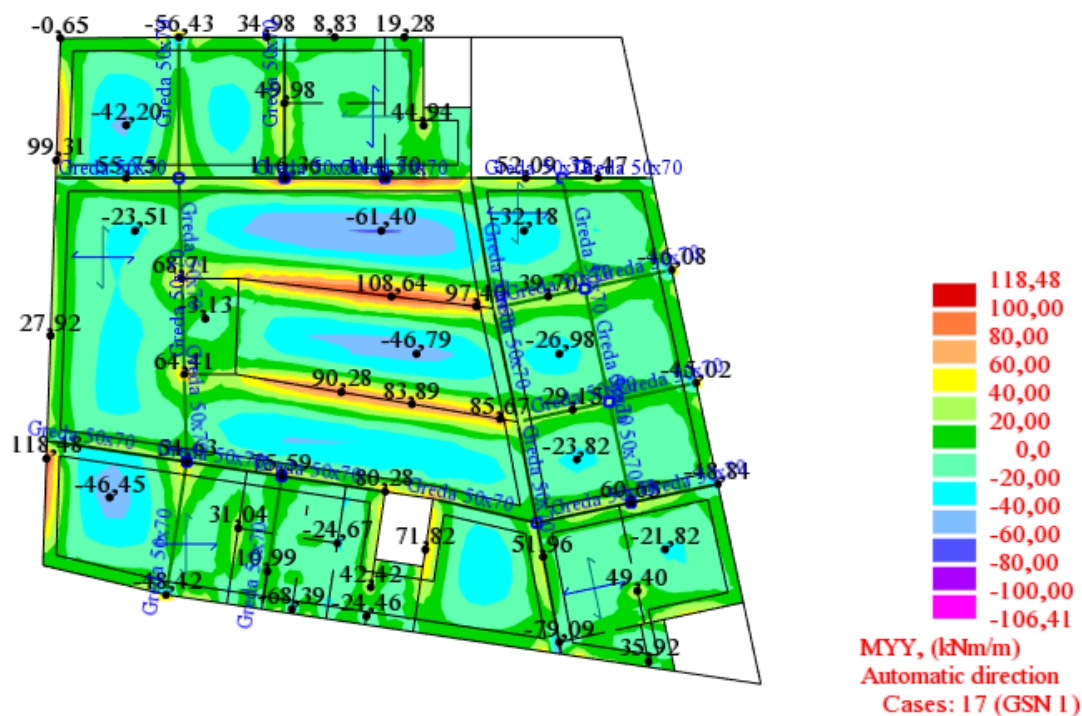
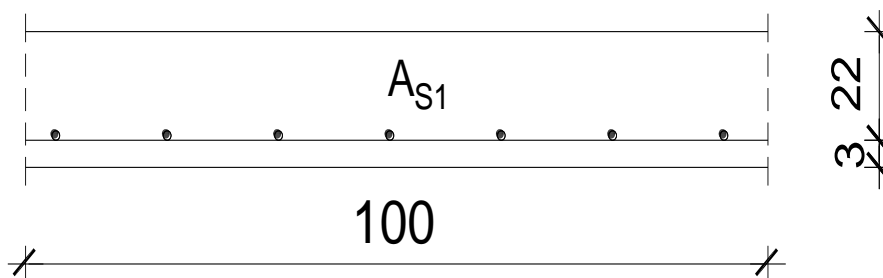
$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 22 = 44\text{cm}^2$$

MREŽA		Površina	Moment nosivosti betona	Moment nosivosti armature	Postotak armature
		$A_{s1}$	$M_{Rdc, lim}$	$M_{Rds, lim}$	
		cm <sup>2</sup> /m	kNm	kNm	%
R/Q-	283	2,83	153,91	24,15	0,11
R/Q-	335	3,35	153,91	28,58	0,13
R/Q-	385	3,85	153,91	32,85	0,15
R/Q-	424	4,24	153,91	36,18	0,17
R/Q-	503	5,03	153,91	42,92	0,20
R/Q-	524	5,24	153,91	44,71	0,21
R/Q-	636	6,36	153,91	54,26	0,25
R/Q-	785	7,85	153,91	66,98	0,31

Tablica 11.5 Prikaz nosivosti betona i armature

Proračun u polju:

Slika 11.32. Prikaz momenata savijanja  $M_x$

Slika 11.33. Prikaz momenata savijanja  $M_y$ 

Napomena: Pozicije 201, 202 i 203 imaju ujednačene momente u polju. Stoga ćemo na ekstremnim mjestima usvojiti istu armaturu.

**Pozicija 201, 202, 203** →  $M_{Ed} = 46,45 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{46,45 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,042$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 0,9\text{‰}, \quad \zeta = 0,947, \quad \xi = 0,153$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{46,45 \cdot 100}{0,947 \cdot 22 \cdot 43,48} = 4,52 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-636(6,36cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 204** →  $M_{Ed} = 61,40\text{kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{61,40 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,063$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,1\text{‰}, \quad \zeta = 0,937, \quad \xi = 0,180$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{61,40 \cdot 100}{0,937 \cdot 22 \cdot 43,48} = 6,85\text{cm}^2$$

**Odobrana armatura: Q-785 (7,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 205** →  $M_{Ed} = 91,91\text{kNm}$

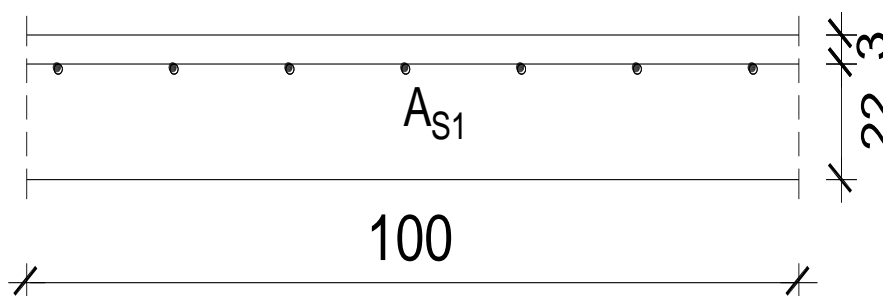
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{91,91 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,095$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,5\text{‰}, \quad \zeta = 0,917, \quad \xi = 0,231$$

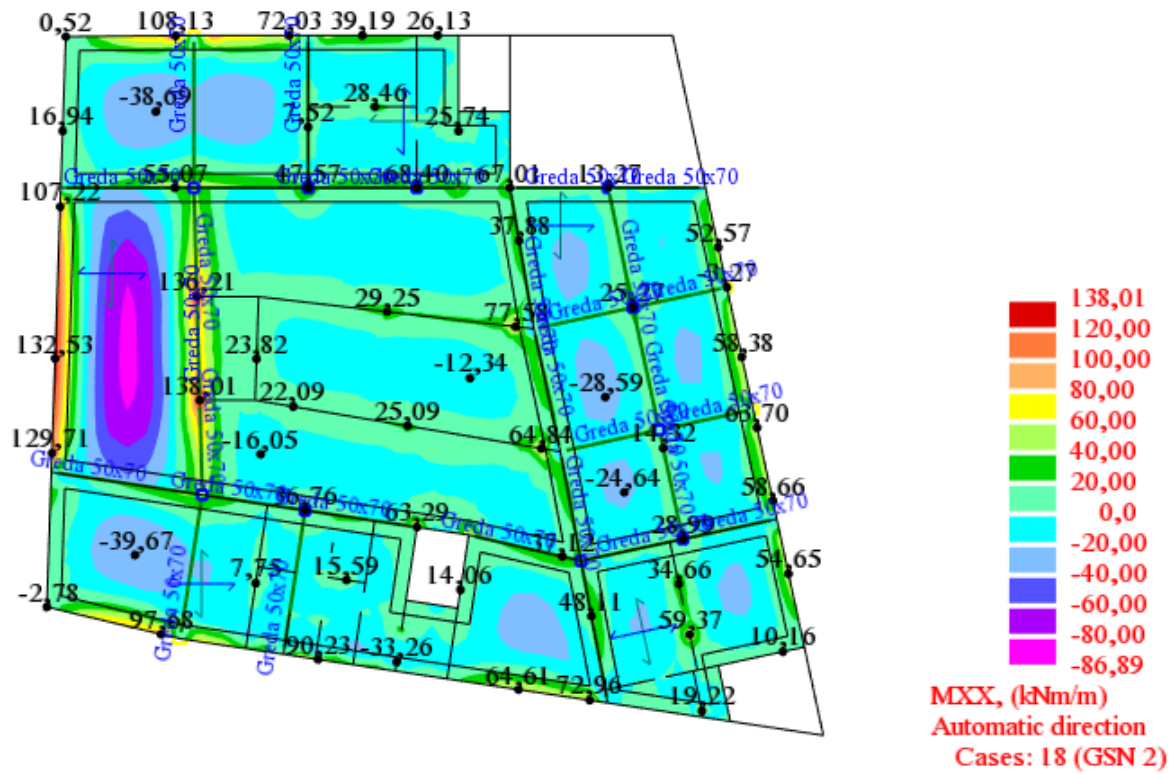
$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{91,91 \cdot 100}{0,917 \cdot 22 \cdot 43,48} = 10,47\text{cm}^2$$

**Odobrana armatura: Q-785+4Ø10(10,99cm<sup>2</sup>)**

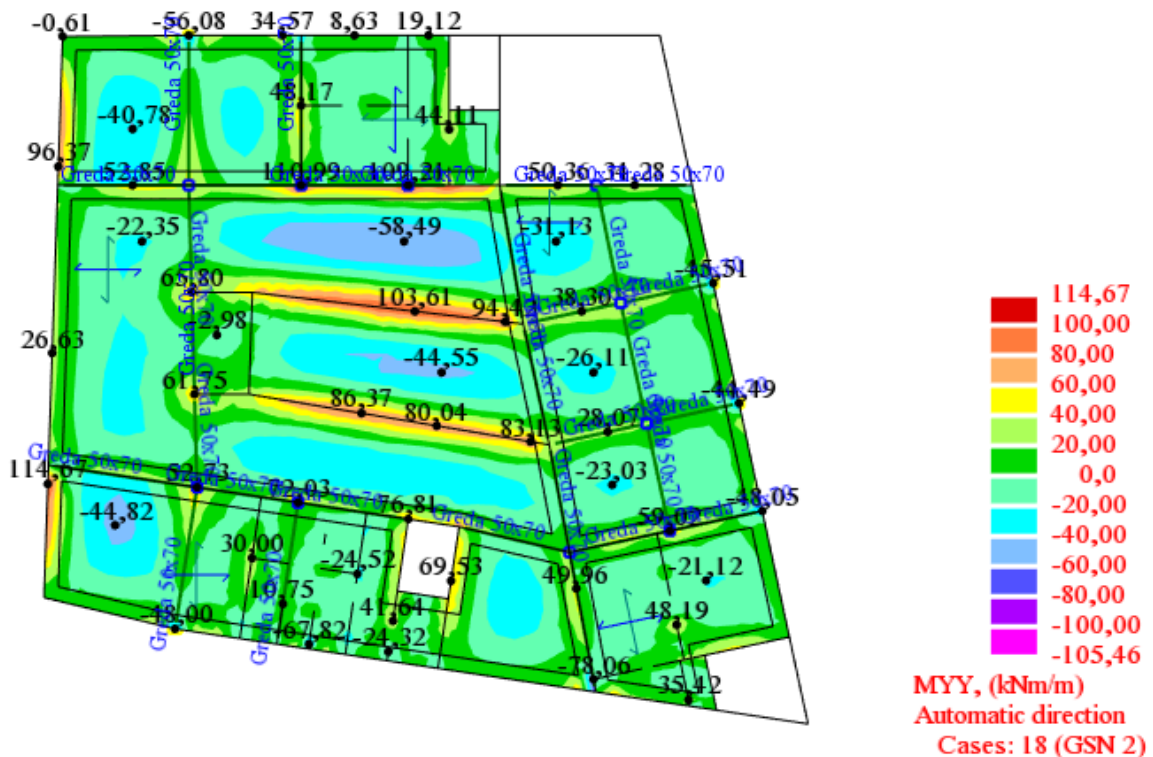
Proračun na ležaju:







Slika 11.34. Prikaz momenata savijanja  $M_x$ .



Slika 11.35. Prikaz momenata savijanja  $M_y$ .

**Pozicija 201** →  $M_{Ed} = 108,14\text{kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{108,14 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,117$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,7\text{‰}, \quad \zeta = 0,907, \quad \xi = 0,254$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{108,14 \cdot 100}{0,907 \cdot 22 \cdot 43,48} = 12,46\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785+6Ø10(12,56cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 202** →  $M_{Ed} = 46,98\text{kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{46,98 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,081$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,9\text{‰}, \quad \zeta = 0,941, \quad \xi = 0,160$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{46,98 \cdot 100}{0,941 \cdot 22 \cdot 43,48} = 5,21\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-636 (6,36cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 203** →  $M_{Ed} = 78,10\text{kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{78,10 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,081$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,3\text{‰}, \quad \zeta = 0,926, \quad \xi = 0,206$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{78,10 \cdot 100}{0,926 \cdot 22 \cdot 43,48} = 7,22\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785 (7,85cm<sup>2</sup>)**

Kritičan presjek: **Pozicija 203** →  $M_{Ed} = 114,97\text{kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{109,92 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,114$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,8\text{‰}, \quad \zeta = 0,902, \quad \xi = 0,265$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{109,92 \cdot 100}{0,902 \cdot 22 \cdot 43,48} = 12,73\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785+7Ø10 (13,35cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 204 →  $M_{Ed} = 110,99\text{kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{110,99 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,115$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,7\text{‰}, \quad \zeta = 0,907, \quad \xi = 0,254$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{110,99 \cdot 100}{0,907 \cdot 22 \cdot 43,48} = 12,80\text{cm}^2$$

**Odobrana armatura: R-785+7Ø10 (13,35cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 205 →  $M_{Ed} = 138,01\text{kNm}$**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{138,01 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,143$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 2,0\text{‰}, \quad \zeta = 0,893, \quad \xi = 0,286$$

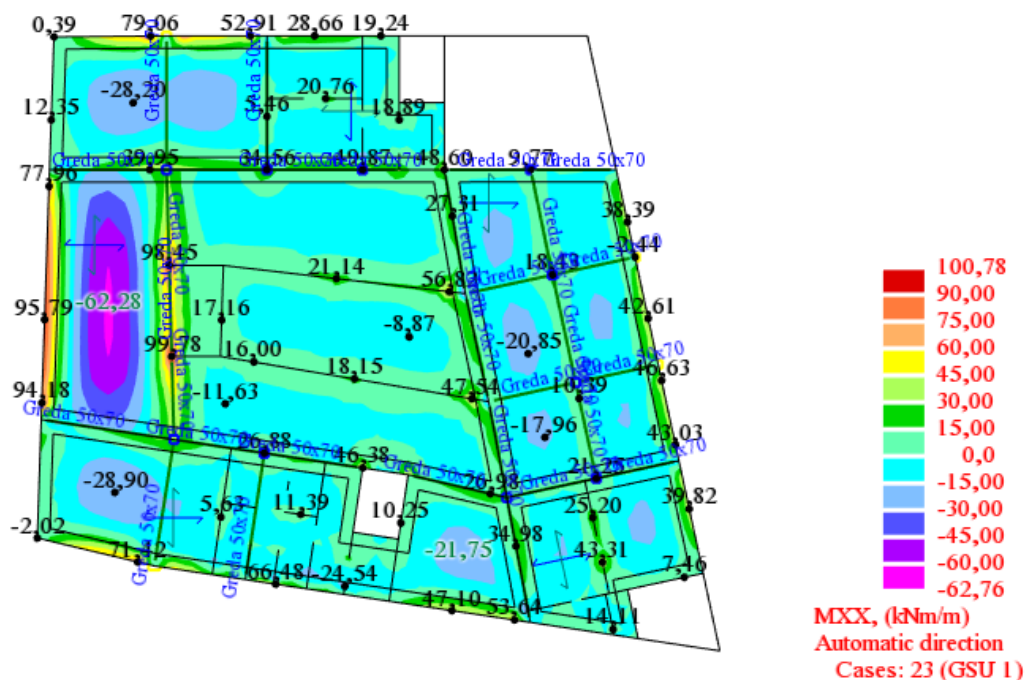
$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{138,01 \cdot 100}{0,893 \cdot 22 \cdot 43,48} = 16,15\text{cm}^2$$

**Odobrana armatura: R-785+11Ø10 (16,49cm<sup>2</sup>)**

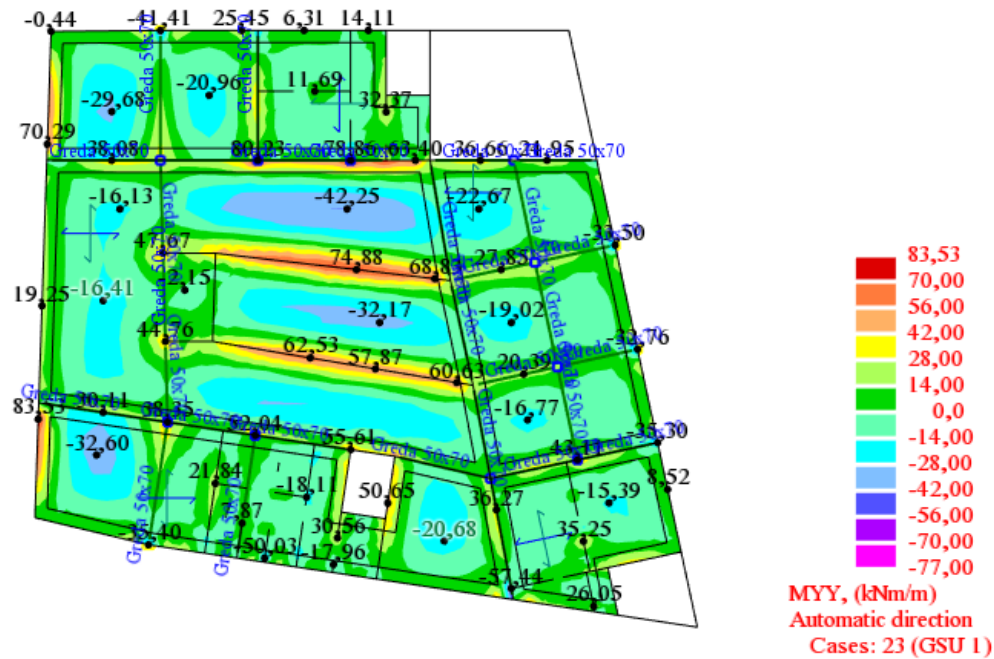
### 11.5.2 Kontrola graničnog stanja uporabljivosti

#### Pukotine:

Mjerodavni momenti u ploči dobiveni su iz kombinacija za granično stanje uporabljivosti.



Slika 11.36. Granično stanje uporabljivosti  $M_x$

Slika 11.37. Granično stanje uporabljivosti  $M_y$ 

- Armatura ploče donje zone Pozicije 201, 202, 203: **Q-503** ( $A_{s1}=5,03\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 28,90\text{kNm}$$

$$\text{Prognozna širina pukotine: } w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm})$$

Vrijednost  $(\varepsilon_{cm} - \varepsilon_{sm})$  određuje se prema izrazu:

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

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_s}} \right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right)}$$

$$\text{Za C 30/37} \rightarrow f_{ct,eff} = 29\text{MPa}$$

$$A_s = Q - 636 = 6,36\text{cm}^2$$

$$\varepsilon_{cm} = 33,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti betona}$$

$$\varepsilon_{sm} = 200,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti armature}$$

$$k_t = 0,4 - \text{Dugotrajno opterećenje}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06 - \text{Odnos modula elastičnosti armature i betona}$$

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{6,36}{100 \cdot (2,5 \cdot 3)} = 0,0085$$

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} [mm]$$

$$\phi = 10mm - (Q - 503 \rightarrow \emptyset 8/10)$$

c = 20 mm – zaštitni sloj uzdužne armature

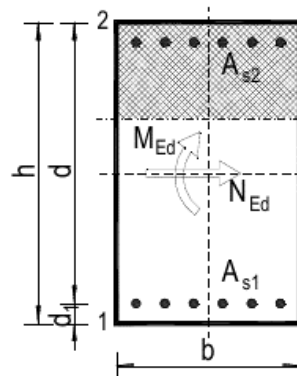
k<sub>1</sub> = 0,8 – rebrasta armatura

k<sub>2</sub> = 0,5 – savijanje

k<sub>3</sub> = 3,4

k<sub>4</sub> = 0,425

b =	100,0 cm	d =	13,0 cm	h =	16,0 cm
f <sub>ck</sub> =	30,0 MN/m <sup>2</sup>	f <sub>ctm</sub> =	2,90 MN/m <sup>2</sup>	w <sub>g</sub> =	0,30 mm
A <sub>s1</sub> =	6,36 cm <sup>2</sup>	A <sub>s2</sub> =	0,00 cm <sup>2</sup>	d <sub>1</sub> = d <sub>2</sub> =	3,0 cm
E <sub>s</sub> =	200,00 GN/m <sup>2</sup>	E <sub>cm</sub> =	32,80 GN/m <sup>2</sup>	α <sub>e</sub> = E <sub>s</sub> /E <sub>cm</sub> =	6,1
M <sub>Ed</sub> =	28,90 kNm	k <sub>t</sub> =	0,40		
σ <sub>s</sub> =	376,69 MN/m <sup>2</sup>				
x =	2,81 cm	ρ <sub>p,eff</sub> =	0,0085		
(ε <sub>sm</sub> - ε <sub>cm</sub> ) =	0,001165 >	0,6 · σ <sub>s</sub> /E <sub>s</sub> =	0,001130		
∅ =	8,0 mm	c =	2,00 cm		
k <sub>1</sub> =	0,8	k <sub>2</sub> =	0,50		
k <sub>3</sub> =	3,4	k <sub>4</sub> =	0,43		
s <sub>r,max</sub> =	228,38 mm				
w <sub>k</sub> = s <sub>r,max</sub> · (ε <sub>sm</sub> - ε <sub>cm</sub> ) =	0,266 mm	<	w <sub>g</sub>		



$$C_x = 0,176$$

$$C_c = 15,098$$

$$C_{s1} = 333,679$$

$$C_{s2} = 6,18$$

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,27mm < w_g = 0,3mm$$

Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 204: Q-785 (A<sub>s1</sub> = 7,85cm<sup>2</sup>)

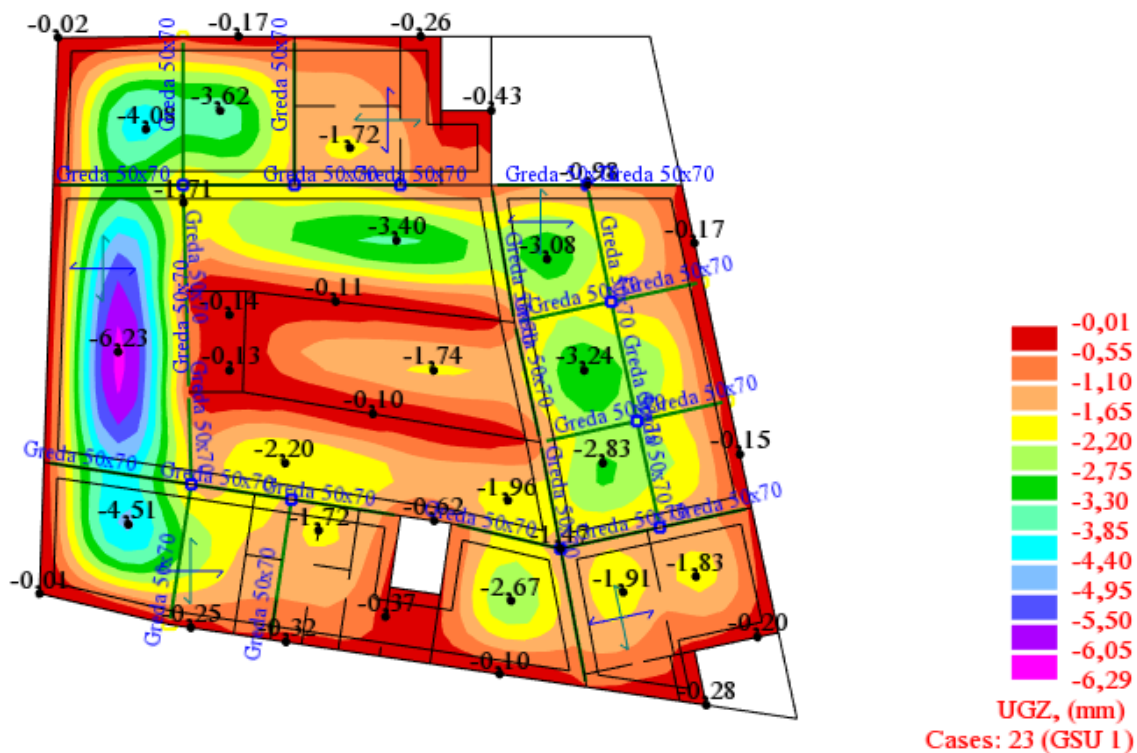
f <sub>ck</sub> =	30,0	MN/m <sup>2</sup>	f <sub>ctm</sub> =	2,90	MN/m <sup>2</sup>	w <sub>g</sub> =	0,30	mm
A <sub>s1</sub> =	7,85	cm <sup>2</sup>	A <sub>s2</sub> =	0,00	cm <sup>2</sup>	d <sub>1</sub> = d <sub>2</sub> =	3,0	cm
E <sub>s</sub> =	200,00	GN/m <sup>2</sup>	E <sub>cm</sub> =	32,80	GN/m <sup>2</sup>	α <sub>e</sub> =	6,1	
						E <sub>s</sub> /E <sub>cm</sub> =		
M <sub>Ed</sub> =	42,25	kNm	k <sub>t</sub> =	0,40				
σ <sub>s</sub> =	261,00	MN/m <sup>2</sup>						



**Kontrola progiba**

Mjerodavni progibi ploče su dobiveni kroz numerički model. Koriste se rezultati od kratkotrajnog djelovanja i radne kombinacije opterećenja: GSU : 1,0 (g+Δg) + 1,0q.

Progib kontroliramo za nefaktorizirano opterećenje i bez utjecaja puzanja.



Slika 11.38. Ukupan progib za GSU

- **Progib za ploču pozicije 201, 202, 203**

$$M_{Ed,polje} = 28,90 \text{ kNm}$$

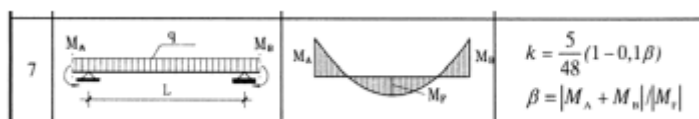
$$M_{Ed,rub} = 30,11 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,ležaj} = 7,65 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{7350}{250} = 29,4 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|30,11 + 7,65|}{|28,90|} = 1,31$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,31) = 0,091 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 425 \text{ cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$\begin{aligned} E_{cm} &= 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ &= 31938,77 \frac{N}{mm^2} \text{ – modul elastičnosti betona} \end{aligned}$$

$E = 200000N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 \text{ – omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 130208,33 + 6,26 \cdot \left(6,36 \cdot \left(\frac{25}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 130773,3cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{2890}{3194 \cdot 130773,3} = 0,000007 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 3,38 \text{ – položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 321,79 + 965,36 + 10916,96 = 12204,11cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{2890}{3194 \cdot 12204,11} = 0,00007 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9MPa$$



$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 25^2}{6} = 3020,83 \text{ kNm} = 30,21 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{3020,83}{20,87 \cdot 6,36} = 28,78 \text{ kN/cm}^2 = 288 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{2890}{20,87 \cdot 6,36} = 27,53 \text{ kN/cm}^2 = 274 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{288}{274}\right)^2 = 0,448$$

$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_I} + (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} = 0,448 \cdot 0,000007 + (1 - 0,448) \cdot 0,00007 = 0,000042 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,091 \cdot 735^2 \cdot 0,000042 = 2,06 \text{ cm} < v_{lim} = 2,94 \text{ cm}$$

#### Progibi zadovoljavaju

##### • **Progib za ploču pozicije 204**

$$M_{Ed, polje} = 42,25 \text{ kNm}$$

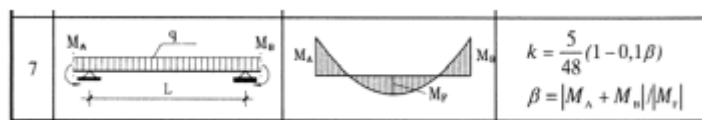
$$M_{Ed, rub} = 78,87 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed, ležaj} = 74,89 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p, dop} = \frac{l}{250} = \frac{6650}{250} = 26,6 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed, rub} + M_{Ed, ležaj}|}{|M_{Ed, polje}|} = \frac{|78,87 + 74,89|}{|42,25|} = 3,64$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,64) = 0,038 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 665 \text{ cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$E = 200000N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 130208,33 + 6,26 \cdot \left(7,85 \cdot \left(\frac{25}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 134643,31cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{4225}{3194 \cdot 134643,31} = 0,00001 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 4,14 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 591,32 + 1773,95 + 15674,98 = 18040,25cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{4225}{3194 \cdot 18040,25} = 0,00007 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9MPa$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 25^2}{6} = 3020,83kNcm = 30,21kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{3020,83}{20,62 \cdot 7,85} = 18,66kN/cm^2 = 187N/m^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{s1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{s1}} = \frac{4225}{20,62 \cdot 7,85} = 26,10 \text{ kN/cm}^2 = 261 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{187}{261}\right)^2 = 0,743$$

$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_I} + (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} = 0,743 \cdot 0,00001 + (1 - 0,743) \cdot 0,00007 = 0,000025 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,038 \cdot 665^2 \cdot 0,000025 = 0,42 \text{ cm} < v_{lim} = 2,66 \text{ cm}$$

#### Progibi zadovoljavaju

- **Progib za ploču pozicije 205**

$$M_{Ed, polje} = 62,76 \text{ kNm}$$

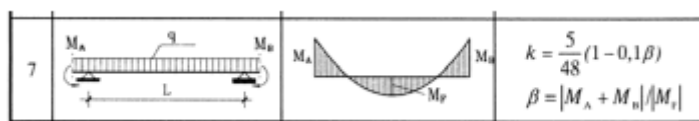
$$M_{Ed, rub} = 95,79 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed, ležaj} = 48,41 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p, dop} = \frac{l}{250} = \frac{7500}{250} = 30,0 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed, rub} + M_{Ed, ležaj}|}{|M_{Ed, polje}|} = \frac{|95,79 + 48,41|}{|62,76|} = 2,3$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 2,3) = 0,08 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 750 \text{ cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$$E = 200000 N/mm^2 - \text{modul elastičnosti čelika}$$

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 130208,33 + 6,26 \cdot \left(10,99 \cdot \left(\frac{25}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 136417,3 cm^4$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{6276}{3194 \cdot 136417,3} = 0,00001 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 4,80 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 921,6 + 2764,8 + 20353,02 = 24039,42 cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{6276}{3194 \cdot 24039,42} = 0,00008 \frac{1}{cm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 MPa$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 MPa$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 25^2}{6} = 3020,83 kNcm = 30,21 kNm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{3020,83}{20,4 \cdot 10,99} = 13,46 kN/cm^2 = 135 N/m^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{S1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{S1}} = \frac{6276}{20,4 \cdot 10,99} = 27,96 kN/cm^2 = 280 N/m^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{135}{280}\right)^2 = 0,884$$

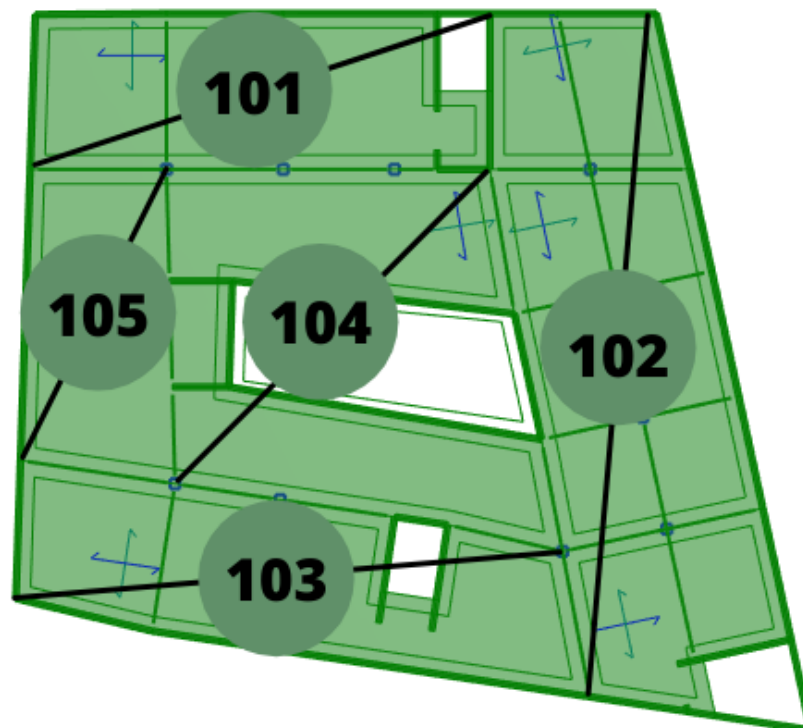
$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_I} + (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} = 0,884 \cdot 0,00001 + (1 - 0,884) \cdot 0,00008 = 0,000018 \frac{1}{cm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,08 \cdot 750^2 \cdot 0,000018 = 0,81cm < v_{lim} = 3,0cm$$

Progibi zadovoljavaju

## 11.6 Proračun ploča pozicija 100 (ploča garaže) $d_{pl} = 25cm$

### 11.6.1 Dimenzioniranje ploče na savijanje GSN



Slika 11.39. Prikaz pozicije 100

Postupak dimenzioniranja:

$$\text{Beton: C30/37 } f_{ck} = 30\text{MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{30}{1,5} = 20\text{MPa} = 2\text{kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B } f_{yk} = 500\text{MPa} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{500}{1,15} = 434,8\text{MPa} = 43,48\text{kN/cm}^2$$

$$b_{pl} = 100\text{cm}, h_{pl} = 25\text{cm}$$

$$c_{nom} = 2\text{cm (XC1 klasa)}$$

$$d_1 = 3\text{cm}, d = 22\text{cm}$$

$$M_{Rd,c,lim} = \mu_{Rd,im} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,s,lim} = A_s \cdot \zeta \cdot d \cdot f_{yd} = A_s \cdot 0,892 \cdot 22 \cdot 43,48$$

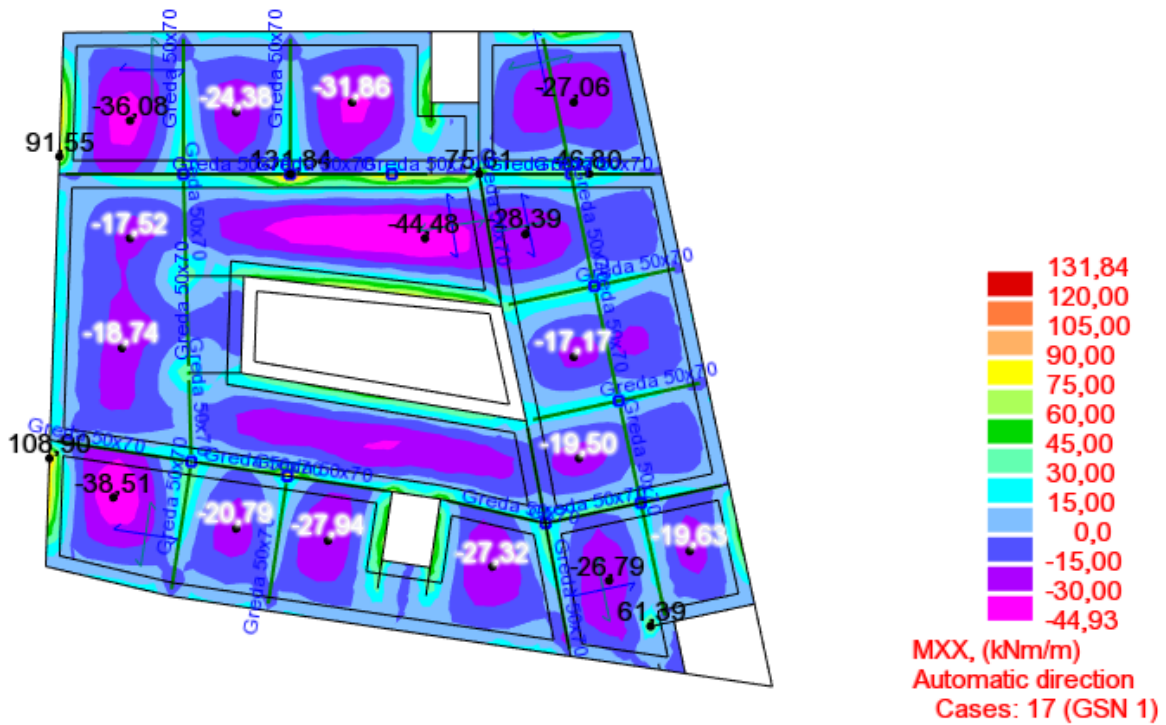
$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 22 = 2,2\text{cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 22 = 44\text{cm}^2$$

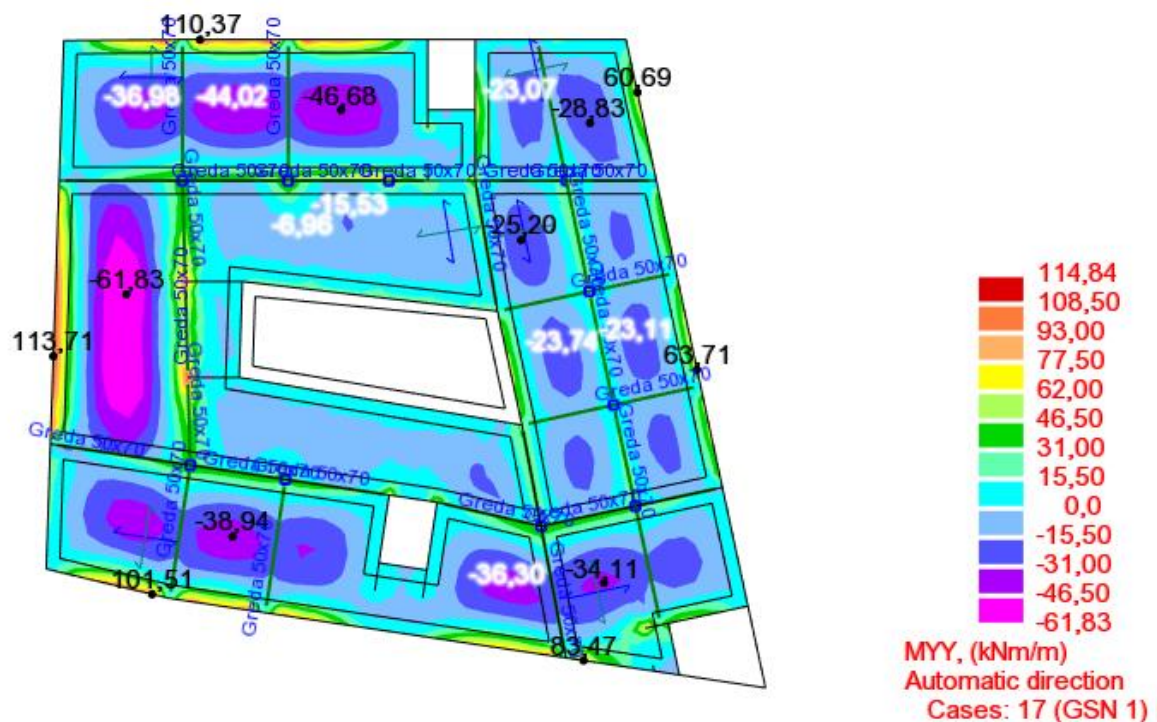
MREŽA		Površina	Moment nosivosti betona	Moment nosivosti armature	Postotak armature
		$A_{s1}$	$M_{Rdc, lim}$	$M_{Rds, lim}$	
		$\text{cm}^2/\text{m}$	$\text{kNm}$	$\text{kNm}$	$\%$
R/Q-	283	2,83	153,91	24,15	0,11
R/Q-	335	3,35	153,91	28,58	0,13
R/Q-	385	3,85	153,91	32,85	0,15
R/Q-	424	4,24	153,91	36,18	0,17
R/Q-	503	5,03	153,91	42,92	0,20
R/Q-	524	5,24	153,91	44,71	0,21
R/Q-	636	6,36	153,91	54,26	0,25
R/Q-	785	7,85	153,91	66,98	0,31

Tablica 11.6. Prikaz nosivosti betona i armature

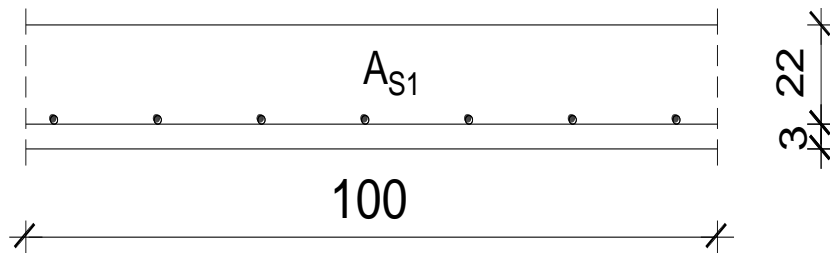
Proračun u polju:



Slika 11.40. Prikaz momenata savijanja  $M_x$



Slika 11.41. Prikaz momenata savijanja  $M_y$



Napomena: Pozicije 101, 102, 103 i 104 imaju ujednačene momente u polju. Stoga ćemo usvojiti istu armaturu po mjerodavnom momentu.

**Pozicija 101, 102, 103, 104** →  $M_{Ed} = 44,48 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{44,48 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,048$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,0\text{‰}, \quad \zeta = 0,942, \quad \xi = 0,167$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{44,48 \cdot 100}{0,942 \cdot 22 \cdot 43,48} = 5,18 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-636(6,36cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 105** →  $M_{Ed} = 61,82 \text{ kNm}$

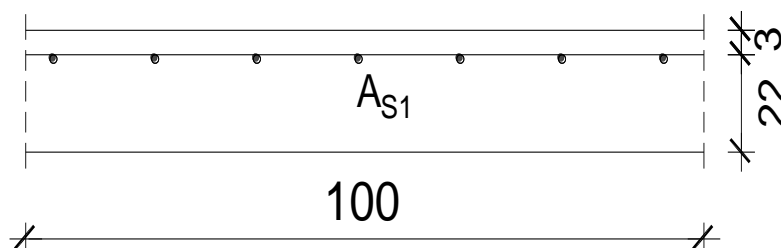
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{61,82 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,2\text{‰}, \quad \zeta = 0,931, \quad \xi = 0,194$$

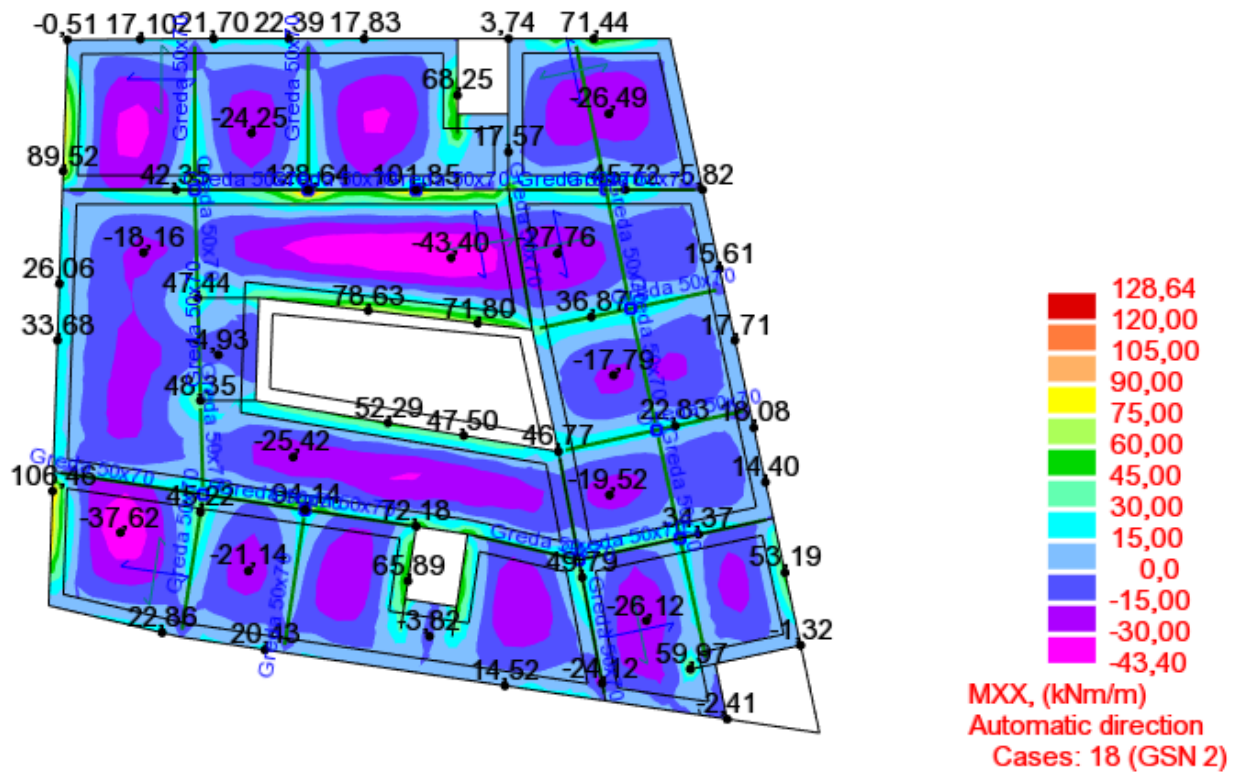
$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{61,82 \cdot 100}{0,931 \cdot 22 \cdot 43,48} = 6,94 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-785(7,85cm<sup>2</sup>)**

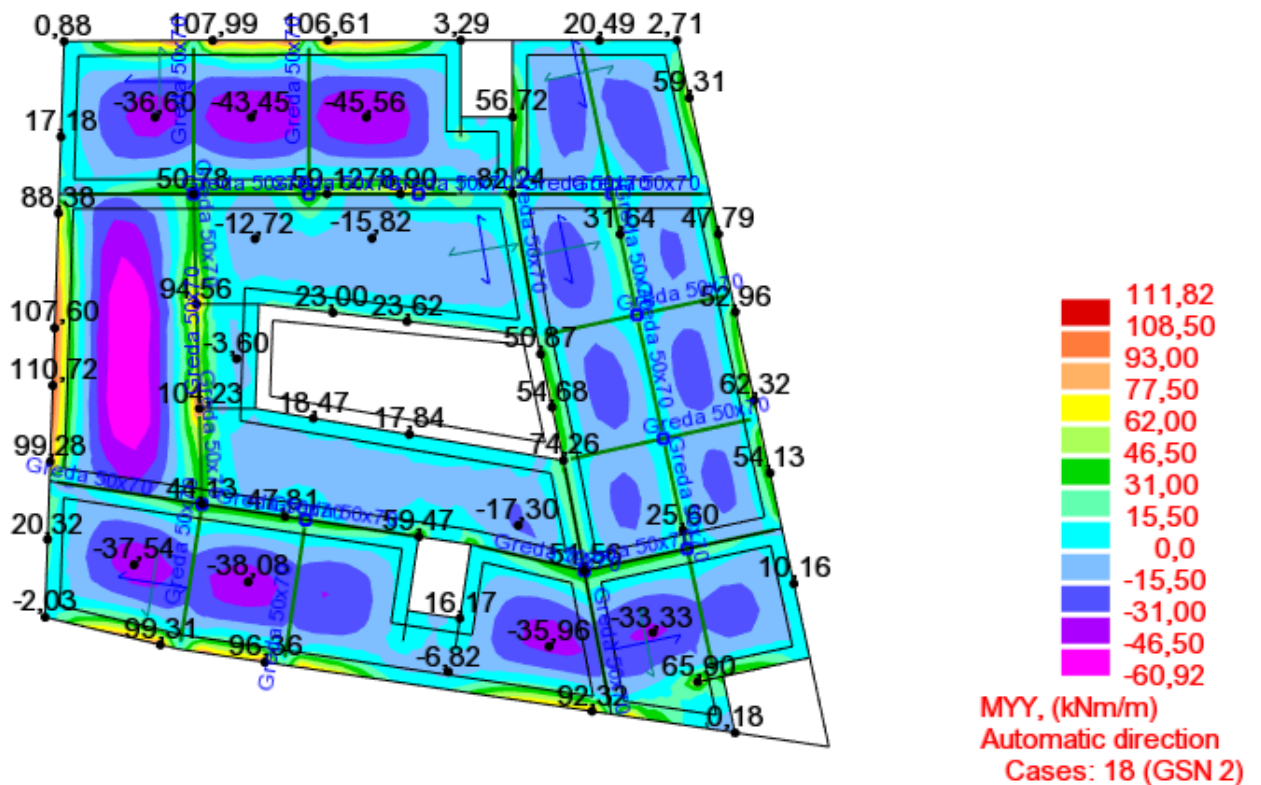
Proračun na ležaju:







Slika 11.42. Prikaz momenata savijanja  $M_x$



Slika 11.43. Prikaz momenata savijanja  $M_y$

**Pozicija 101 → M<sub>Ed</sub> = 107,99kNm**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{107,99 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,117$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,7\text{‰}, \quad \zeta = 0,907, \quad \xi = 0,254$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{107,99 \cdot 100}{0,907 \cdot 22 \cdot 43,48} = 12,46\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785+6Ø10(12,56cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 102 → M<sub>Ed</sub> = 61,85kNm**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{61,85 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,064$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,2\text{‰}, \quad \zeta = 0,931, \quad \xi = 0,194$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{61,85 \cdot 100}{0,931 \cdot 22 \cdot 43,48} = 6,95\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785 (7,85cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 103 → M<sub>Ed</sub> = 99,31kNm**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{99,31 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,103$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 2,3\text{‰}, \quad \zeta = 0,928, \quad \xi = 0,187$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{99,31 \cdot 100}{0,928 \cdot 22 \cdot 43,48} = 11,19\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785+5Ø10(11,78cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 104 → M<sub>Ed</sub> = 96,36kNm**

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{96,36 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,01$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 2,3\text{‰}, \quad \zeta = 0,928, \quad \xi = 0,187$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{96,36 \cdot 100}{0,928 \cdot 22 \cdot 43,48} = 10,85\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785+4Ø10(10,99cm<sup>2</sup>)**

**Pozicija 105** →  $M_{Ed} = 110,71 \text{ kNm}$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{110,71 \cdot 100}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,0} = 0,014$$

Za  $\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}$ ,  $\varepsilon_{c2} = 2,5\text{‰}$ ,  $\zeta = 0,922$ ,  $\xi = 0,200$

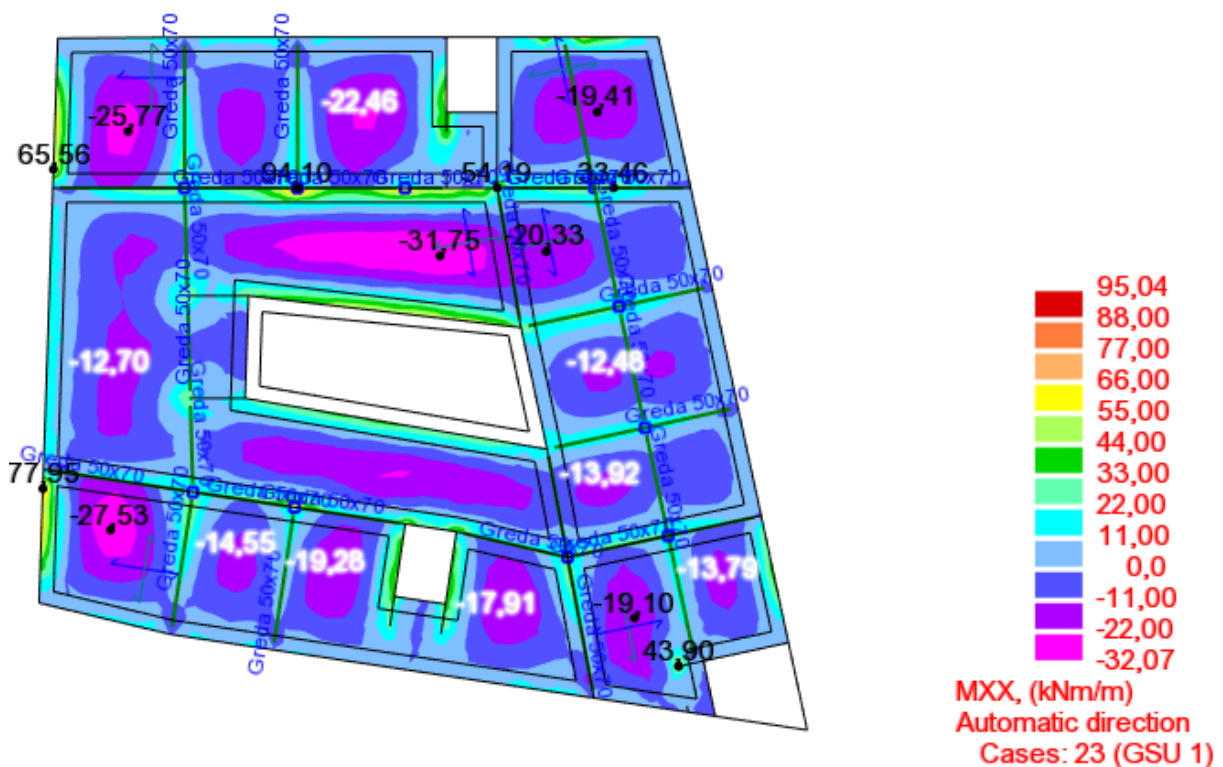
$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{110,71 \cdot 100}{0,922 \cdot 22 \cdot 43,48} = 12,55 \text{ cm}^2$$

**Odobrana armatura: R-785+6Ø10(12,56cm<sup>2</sup>)**

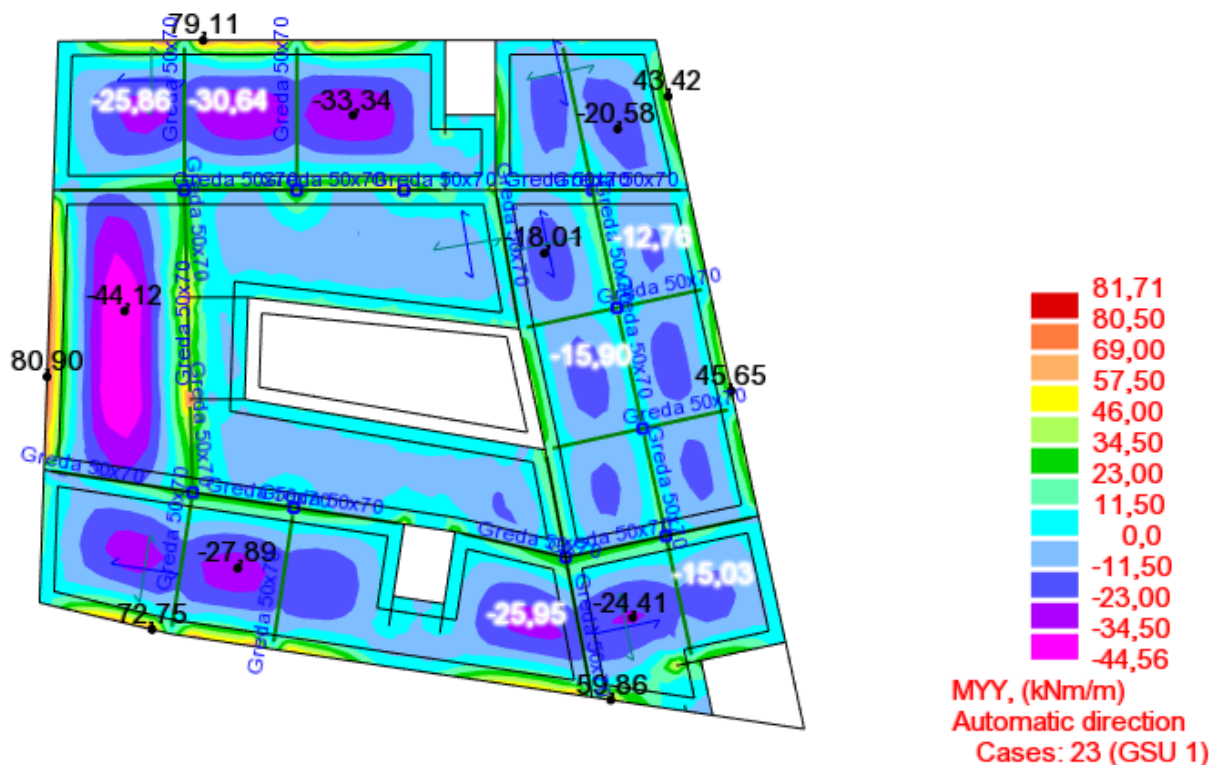
### 11.6.2 Kontrola graničnog stanja uporabljivosti

**Pukotine:**

Mjerodavni momenti u ploči dobiveni su iz kombinacija za granično stanje uporabljivosti.



Slika 11.44. Granično stanje uporabljivosti  $M_x$

Slika 11.42. Granično stanje uporabljivosti  $M_y$ 

- Armatura ploče donje zone Pozicije 101, 102, 103, 104: Q-636 ( $A_{s1}=6,36\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 33,34\text{kNm}$$

$$\text{Prognozna širina pukotine: } w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm})$$

Vrijednost  $(\varepsilon_{cm} - \varepsilon_{sm})$  određuje se prema izrazu:

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

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_s}} \right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right)}$$

$$\text{Za C 30/37} \rightarrow f_{ct,eff} = 29\text{MPa}$$

$$A_s = Q - 636 = 6,36\text{cm}^2$$

$$\varepsilon_{cm} = 33,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti betona}$$

$$\varepsilon_{sm} = 200,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti armature}$$

$$k_t = 0,4 - \text{Dugotrajno opterećenje}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06 - \text{Odnos modula elastičnosti armature i betona}$$

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{6,36}{100 \cdot (2,5 \cdot 3)} = 0,0085$$

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} [mm]$$

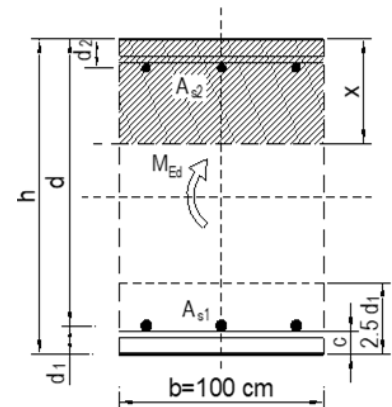
$$\phi = 9mm - (Q - 636 \rightarrow \phi 9/10)$$

$c = 20$  mm – zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0,8$  – rebrasta armatura

$k_2 = 0,5$  – savijanje

$b =$	100,0	cm	$d =$	22,0	cm	$h =$	25,0	cm
$f_{ck} =$	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30	mm
$A_{s1} =$	6,36	cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0	cm
$E_s =$	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e =$	6,1	
						$E_s/E_{cm} =$		
$M_{Ed} =$	33,34	kNm	$k_t =$	0,40				
$\sigma_s =$	252,68	MN/m <sup>2</sup>						
$x =$	3,76	cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0085				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,000545	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s =$	0,000758				
$\phi =$	9,0	mm	$c =$	2,00	cm			
$k_1 =$	0,8		$k_2 =$	0,50				
$k_3 =$	3,4		$k_4 =$	0,43				
$s_{r,max} =$	248,42	mm						



$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,188 \text{ mm} < w_g$$

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,19mm < w_g = 0,3mm$$

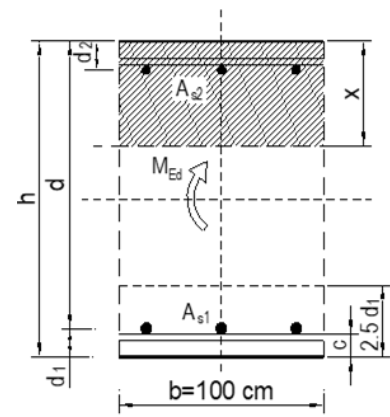
Pukotine zadovoljavaju

- Armatura ploče donje zone Pozicije 105: Q-785 ( $A_{s1}=7,85\text{cm}^2$ )

$$M_{Ed} = 44,12\text{kNm}$$

$b =$	100,0	cm	$d =$	22,0	cm	$h =$	25,0	cm
$f_{ck} =$	30,0	MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90	MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30	mm

$A_{s1} =$	7,85	cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00	cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	3,0	cm
$E_s =$	200,00	GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80	GN/m <sup>2</sup>	$\frac{\alpha_e}{E_s/E_{cm}} =$	6,1	
$M_{Ed} =$	44,12	kNm	$k_t =$	0,40				
$\sigma_s =$	272,55	MN/m <sup>2</sup>						
$x =$	4,14	cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0105				
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,000774	<	$0,6 \cdot \sigma_s / E_s =$	0,000818				
$\varnothing =$	9,0	mm	$c =$	2,00	cm			
$k_1 =$	0,8		$k_2 =$	0,50				
$k_3 =$	3,4		$k_4 =$	0,43				
$S_{r,max} =$	214,18	mm						

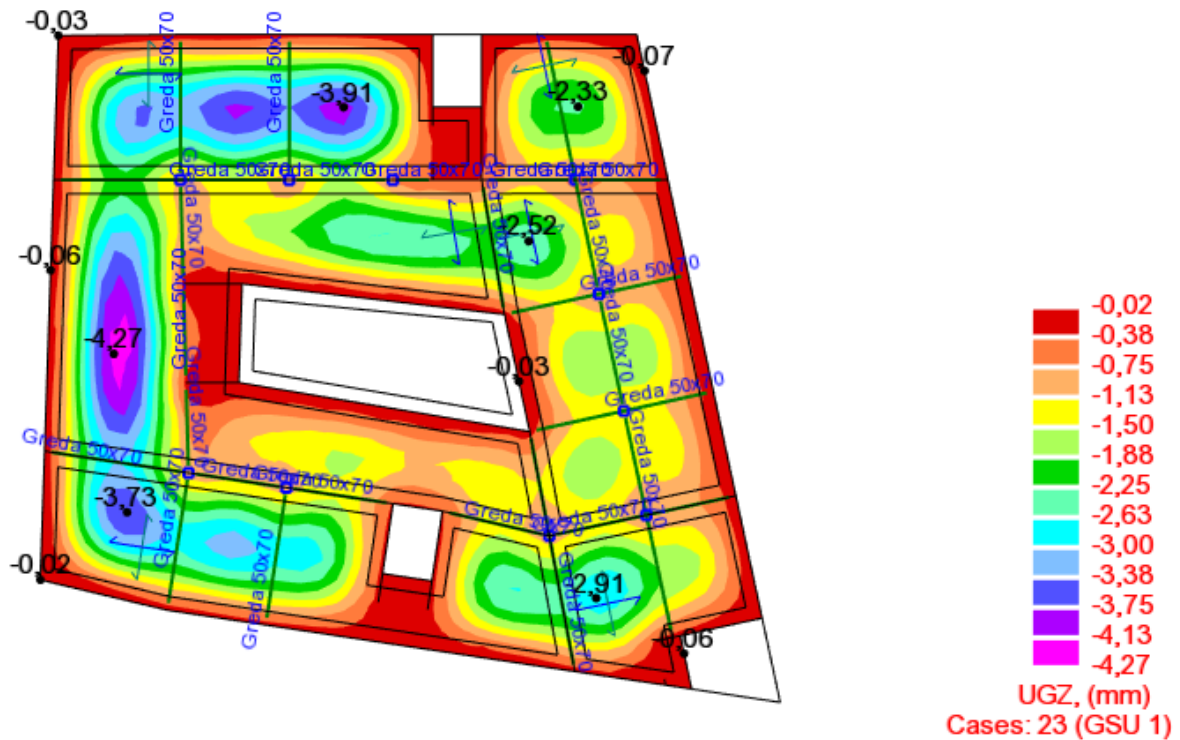


$$W_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,175 \text{ mm} < w_g$$

$$W_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,18 \text{ mm} < w_g = 0,3 \text{ mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

**Kontrola progiba**



Slika 11.43. Ukupan progib za GSU

- **Progib za ploču pozicije 101, 102, 103, 104**

$$M_{Ed,polje} = 33,34 \text{ kNm}$$

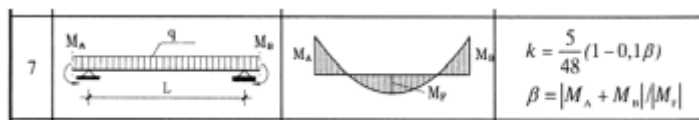
$$M_{Ed,rub} = 78,12 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,ležaj} = 57,70 \text{ kNm}$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{8000}{250} = 32 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|78,12 + 57,70|}{|33,34|} = 4,1$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 4,1) = 0,061 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$$l = 800 \text{ cm raspon elementa}$$

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$$E = 200000 \text{ N/mm}^2 - \text{modul elastičnosti čelika}$$

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{s2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 130208,33 + 6,26 \cdot \left(6,36 \cdot \left(\frac{25}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 133801,51 \text{ cm}^4$$

$$\frac{1}{r_l} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{3340}{3194 \cdot 133801,51} = 0,000008 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}} \right) = 3,76 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left( \frac{x}{2} \right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 442,98 + 1328,93 + 13245,89 = 15017,83 \text{ cm}^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{3340}{3194 \cdot 15017,83} = 0,00007 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 25^2}{6} = 3020,83 \text{ kNcm} = 30,21 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left( d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{3020,83}{20,75 \cdot 6,36} = 22,89 \text{ kN/cm}^2 = 229 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{S1}} = \frac{M_{Ed}}{\left( d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_{S1}} = \frac{3340}{20,75 \cdot 6,36} = 25,31 \text{ kN/cm}^2 = 253 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left( \frac{229}{253} \right)^2 = 0,590$$

$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_l} + (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} = 0,590 \cdot 0,000008 + (1 - 0,590) \cdot 0,00007 = 0,000033 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,061 \cdot 800^2 \cdot 0,000033 = 1,29 \text{ cm} < v_{lim} = 3,2 \text{ cm}$$

Progibi zadovoljavaju

- **Progib za ploču pozicije 105**

$$M_{Ed,polje} = 44,12 \text{ kNm}$$



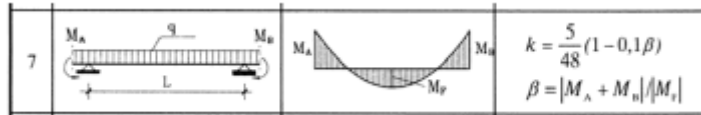
$$M_{Ed,rub} = 80,90 kNm$$

$$M_{Ed,ležaj} = 76,28 kNm$$

$$\text{Granični progib: } f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{7500}{250} = 30 \text{ mm}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}}$$

$$\beta = \frac{|M_{Ed,rub} + M_{Ed,ležaj}|}{|M_{Ed,polje}|} = \frac{|80,90 + 76,28|}{|44,12|} = 3,56$$



$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0,1 \cdot 3,56) = 0,067 - \text{koeficijent ovisan o statičkom sustavu i opterećenju}$$

$l = 800 \text{ cm}$  raspon elementa

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}}$$

$r_{tot}$  – ukupna zakrivljenost

$r_m$  – zakrivljenost zbog opterećenja i puzanja

$r_{csm}$  – zakrivljenost zbog skupljanja

$$E_{cm} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}} = 9500 \cdot (30 + 8)^{\frac{1}{3}} \\ = 31938,77 \frac{N}{mm^2} - \text{modul elastičnosti betona}$$

$E = 200000 N/mm^2$  – modul elastičnosti čelika

$$\alpha_e = \frac{200000}{31938,77} = 6,26 - \text{omjer module elastičnosti i čelika}$$

Moment tromosti za neraspucano stanje:

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot (A_{S1} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_2\right)^2 + A_{S2} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_1\right)^2)$$

$$I_i = 130208,33 + 6,26 \cdot \left(7,85 \cdot \left(\frac{25}{2} - 3\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{15}{2} - 3\right)^2\right) = 134643,31 cm^4$$

$$\frac{1}{r_l} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_i} = \frac{4412}{3194 \cdot 134643,31} = 0,00001 \frac{1}{cm}$$

$$x = \frac{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_{el} \cdot A_{S1}}}\right) = 4,14 - \text{položaj neutralne osi}$$

Moment tromosti za raspucalo stanje:

$$I_{II} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + \alpha_e \cdot [A_{S1} \cdot (d - x)^2 + A_{S2} \cdot (x - d_2)^2]$$

$$I_{II} = 591,32 + 1773,95 + 15684,98 = 18400,25 \text{ cm}^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{4412}{3194 \cdot 18400,25} = 0,00008 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 30^{\frac{2}{3}} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100 \cdot 25^2}{6} = 3020,83 \text{ kNcm} = 30,21 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{cr}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{3020,83}{20,62 \cdot 7,85} = 18,66 \text{ kN/cm}^2 = 187 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_{S1}} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_{S1}} = \frac{4412}{20,62 \cdot 7,85} = 27,26 \text{ kN/cm}^2 = 273 \text{ N/m}^2$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2 - \text{koeficijent raspodjele}$$

$\beta_1 = 1$  – koeficijent koji uzima u obzir vrstu armature

$\beta_2 = 0,5$  – koeficijent koji uzima u obzir trajanje opterećenja

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{187}{273}\right)^2 = 0,765$$

$$\frac{1}{r_m} = \zeta \cdot \frac{1}{r_l} + (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{II}} = 0,765 \cdot 0,00001 + (1 - 0,765) \cdot 0,00008 = 0,000026 \frac{1}{\text{cm}}$$

$$v_{tot} = k \cdot l^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,067 \cdot 750^2 \cdot 0,000026 = 0,97 \text{ cm} < v_{lim} = 3,0 \text{ cm}$$

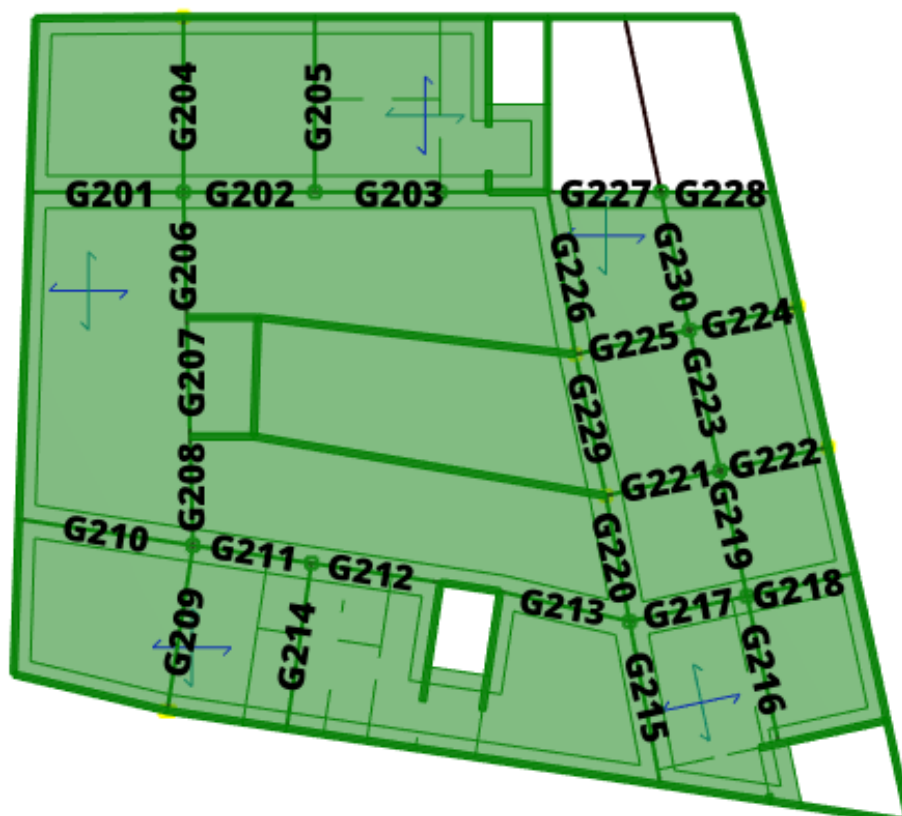
Progibi zadovoljavaju

### 11.7 Proračun greda

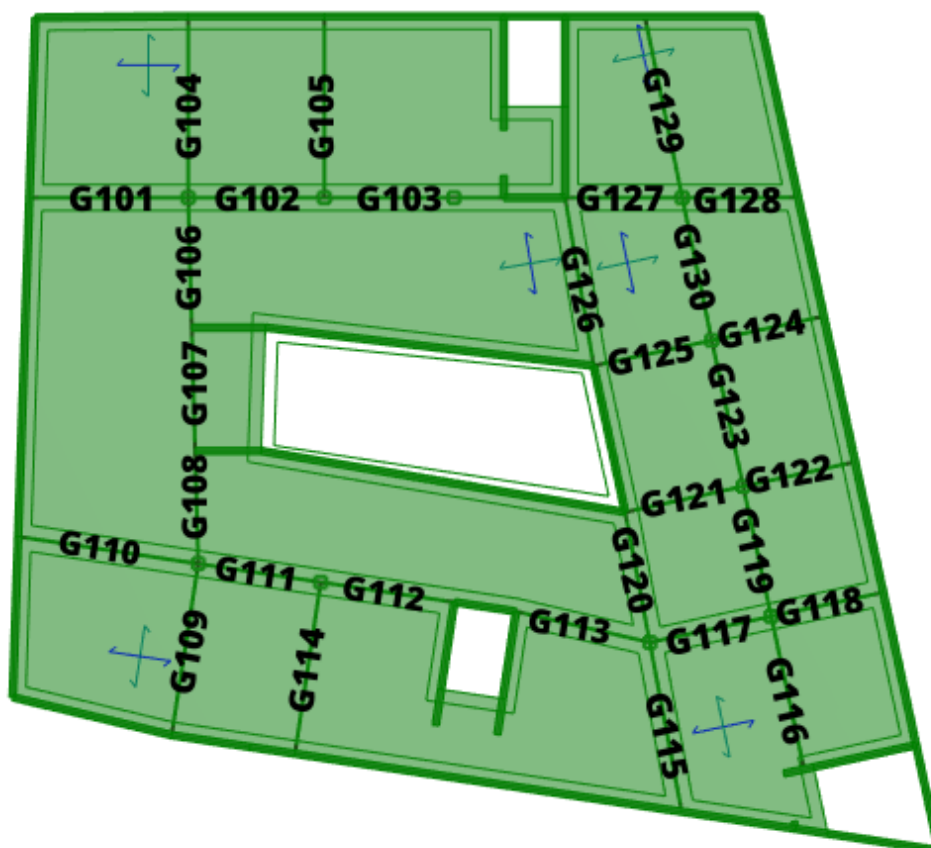
Grede su u modelu modelirane kao 1D štapni elementi. Prostorni model je proračunat za uobičajne i izvanredne kombinacije. Grede su poprečnog presjeka 50/70cm različitih duljina. Grede se izgrade monolitno na licu mjesta u oplati. AB grede su napravljene od betona klase C30/37 i armirane armaturom B500B. Zaštitni sloj betona od armature iznosi 5cm. Proračun greda na savijanje i poprečnu silu je prikazan samo za gredu G210, dok su ostale grede izračunate u Excel-u i konačne vrijednosti su ubačene u obliku tablice. Grede se javljaju na tri etaže i sukladno tome podijelili smo ih na 3 različite pozicije ovisno o etaži na kojoj se nalazimo (G100, G200, G300).



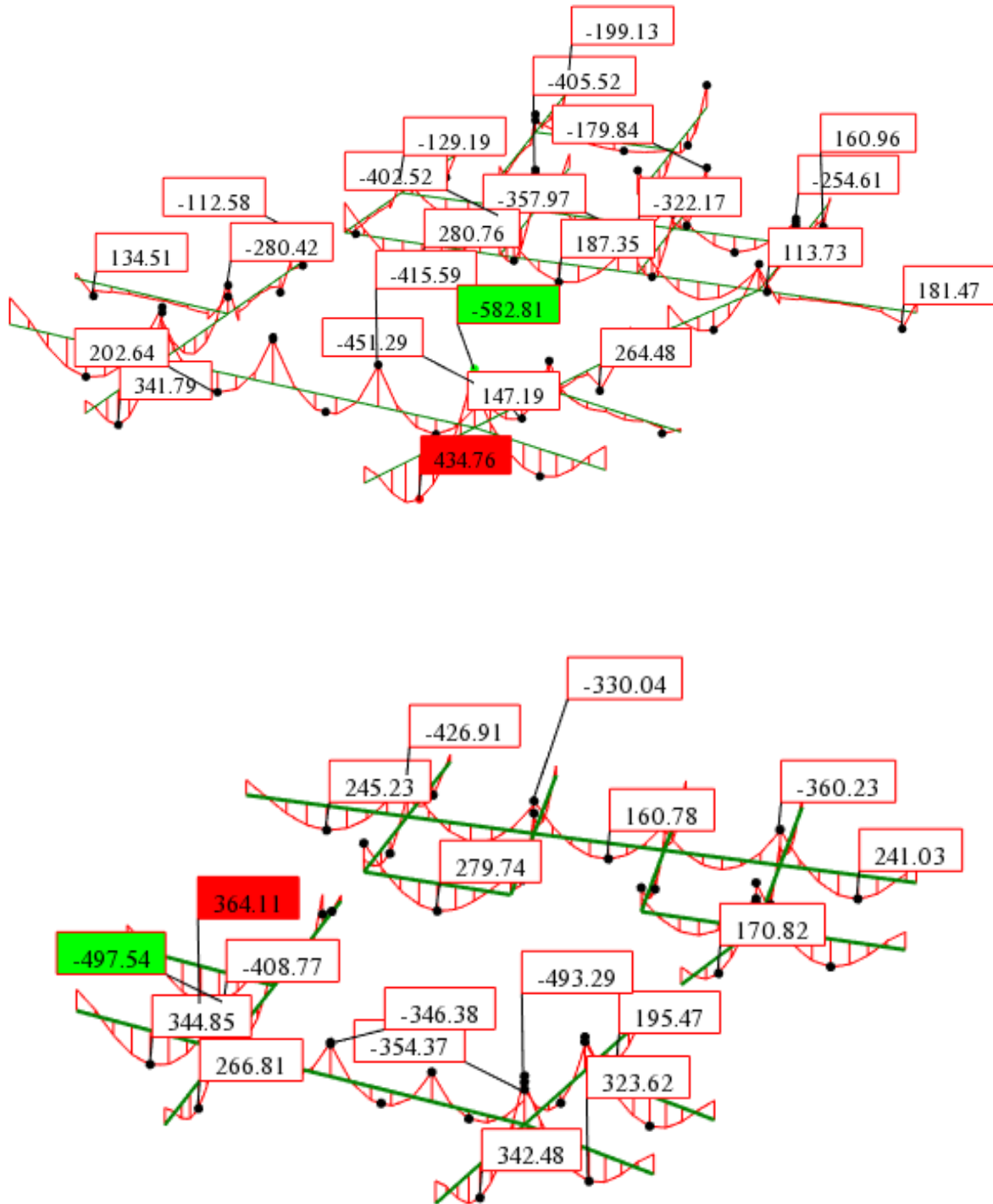
Slika 11.44. Prikaz greda pozicije G300



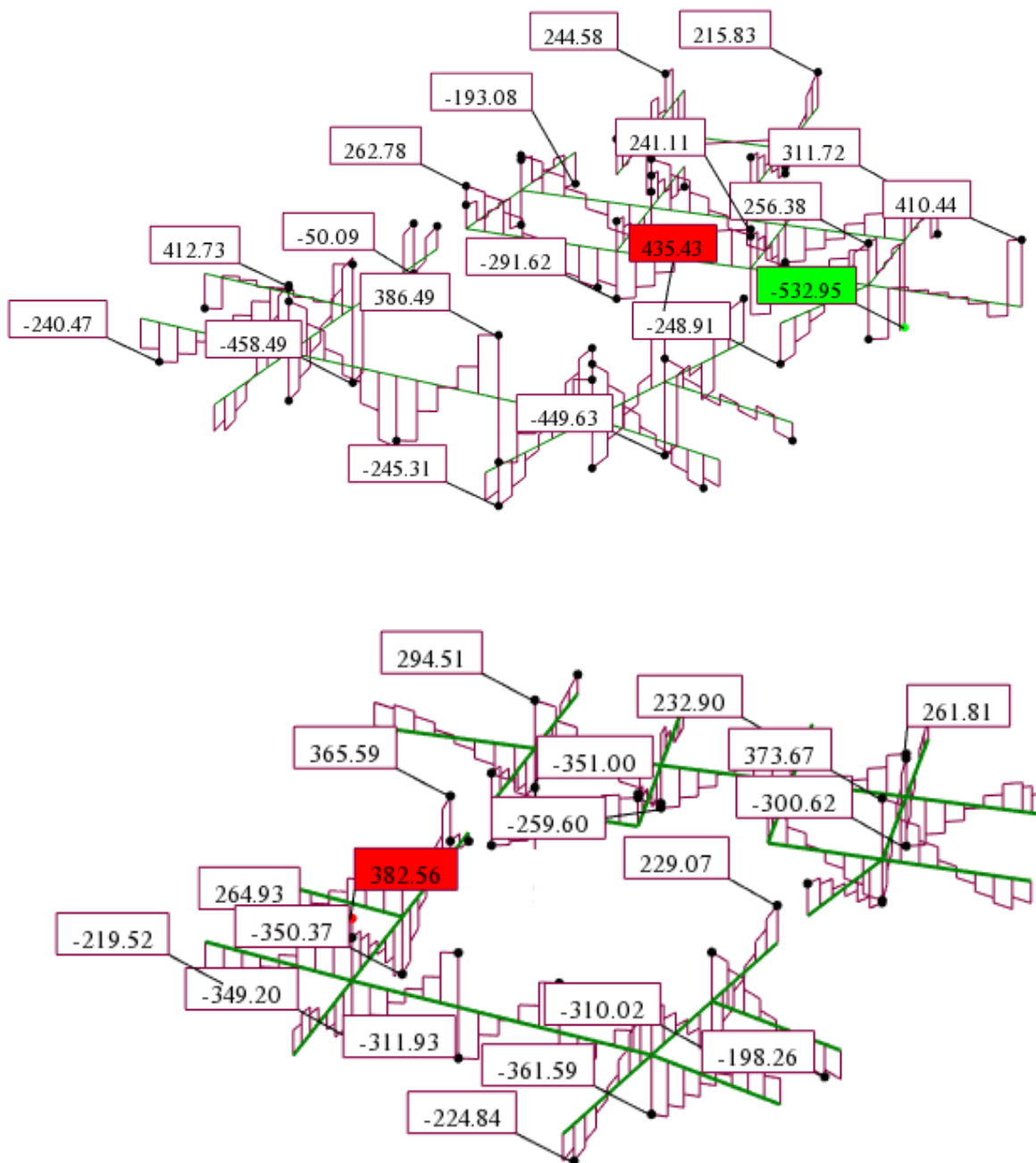
Slika 11.45. Prikaz greda pozicije G200



Slika 11.46. Prikaz greda pozicije G100



Slika 11.47. Prikaz momenta savijanja  $M_y$

Slika 11.48. Prikaz poprečnih sila  $F_z$ 

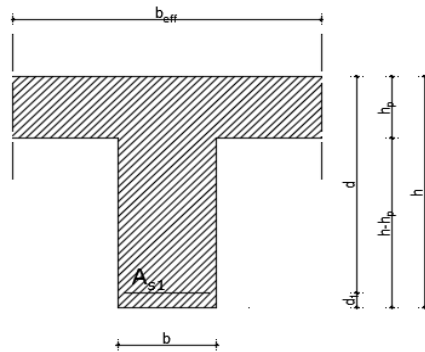
### 11.7.1 Dimenzioniranje na moment savijanje

$$\text{Beton: C30/37 } f_{ck} = 30\text{MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{30}{1,5} = 20\text{MPa} = 2\text{kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B } f_{yk} = 500\text{MPa} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{500}{1,15} = 434,8\text{MPa} = 43,48\text{kN/cm}^2$$

$$\text{Utjecajna širina: } b_{eff} = b_w + \frac{0,85 \cdot L}{5} \leq e \rightarrow b_{eff} = 50 + \frac{0,85 \cdot 803}{5} = 186,5 \leq 600 \text{ cm}$$

Polje:



Slika 11.49. Prikaz grede 50x70cm

$$M_{Ed} = 434,76 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{434,76 \cdot 100}{186,5 \cdot 65^2 \cdot 2,0} = 0,028$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,0\text{‰}, \quad \zeta = 0,968, \quad \xi = 0,091$$

$$x = \xi \cdot d = 0,091 \cdot 65 = 5,9 \text{ cm} < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{434,76 \cdot 100}{0,968 \cdot 65 \cdot 43,48} = 15,89 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: 6Ø20 (18,85cm<sup>2</sup>)**

Ležaj:

$$M_{Ed} = 582,81 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{582,81 \cdot 100}{186,5 \cdot 65^2 \cdot 2,0} = 0,037$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,2\text{‰}, \quad \zeta = 0,962, \quad \xi = 0,107$$

$$x = \xi \cdot d = 0,107 \cdot 65 = 6,96 < h_{pl}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{582,81 \cdot 100}{0,962 \cdot 65 \cdot 43,48} = 21,66 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: 6Ø22 (22,81cm<sup>2</sup>)**

Armatura  $A_{s1}$ :

POZICIJA		$M_y$ polje	$F_z$	$l$	$b_{eff}$	$\mu_{sd}$	$\zeta$	$A_{s1}$	Usvojena armatura	$A_{stv}$
		(kNm)	(kN)	(m)	(cm)			cm <sup>2</sup>	∅	cm <sup>2</sup>
G	305	85,93	369,94	5,32	140,44	0,007	0,984	3,09	3∅18	7,63
G	304	340,72	329,79	5,05	135,85	0,030	0,968	12,45	5∅18	12,72
G	303	181,89	215,12	5,32	140,44	0,015	0,977	6,59	3∅18	7,63
G	302	135,01	215,83	5,05	135,85	0,012	0,981	4,87	3∅18	7,63
G	301	72,93	152,38	6,58	161,86	0,005	0,987	2,61	3∅18	7,63
G	229	187,35	241,11	6,6	162,2	0,014	0,977	6,79	3∅18	7,63
G	228	159,94	193,08	5,11	136,87	0,014	0,977	5,79	3∅18	7,63
G	227	94,09	211,31	5,16	137,72	0,008	0,984	3,38	3∅18	7,63
G	226	280,76	262,78	7,51	177,67	0,019	0,974	10,20	5∅18	12,72
G	225	230,72	277,58	5,32	140,44	0,019	0,974	8,38	4∅18	10,18
G	224	111,8	125,29	5,05	135,85	0,010	0,981	4,03	3∅18	7,63
G	223	187,35	211,31	6,42	159,14	0,014	0,977	6,79	3∅18	7,63
G	222	140,28	227,46	5,05	135,85	0,012	0,981	5,06	3∅18	7,63
G	221	111,8	125,29	5,05	135,85	0,010	0,981	4,03	3∅18	7,63
G	220	131,13	256,38	5,86	149,62	0,010	0,981	4,73	3∅18	7,63
G	219	158,7	311,72	5,86	149,62	0,013	0,977	5,75	3∅18	7,63
G	218	160,96	214,14	5,05	135,85	0,014	0,977	5,83	3∅18	7,63
G	217	113,73	532,95	5,47	142,99	0,009	0,981	4,10	3∅18	7,63
G	216	158,7	311,72	5,86	149,62	0,013	0,977	5,75	3∅18	7,63
G	215	131,13	256,38	5,86	149,62	0,010	0,981	4,73	3∅18	7,63
G	214	74,76	109,7	7,64	179,88	0,005	0,987	2,68	3∅18	7,63
G	213	264,48	449,63	5,95	151,15	0,021	0,971	9,64	4∅18	10,18
G	212	264,48	449,63	5,95	151,15	0,021	0,971	9,64	4∅18	10,18
G	211	147,19	435,63	5,64	145,88	0,012	0,981	5,31	3∅18	7,63
G	210	434,76	245,31	8,03	186,51	0,028	0,968	15,89	6∅20	18,85
G	209	273,21	205,71	7,65	180,05	0,018	0,974	9,93	4∅18	10,18
G	208	150,14	391,46	4,97	134,49	0,013	0,977	5,44	3∅18	7,63
G	207	164,04	396,15	5,41	141,97	0,014	0,977	5,94	3∅18	7,63
G	206	202,64	294,29	5,73	147,41	0,016	0,977	7,34	3∅18	7,63
G	205	134,51	213,46	8	186	0,009	0,981	4,85	3∅18	7,63



G	204	344,27	240,47	8	186	0,022	0,971	12,55	5Ø18	12,72
G	203	150,71	50,09	5,71	147,07	0,012	0,981	5,44	3Ø18	7,63
G	202	341,79	294,29	8,03	186,51	0,022	0,971	12,45	5Ø18	12,72
G	201	341,79	294,29	8,03	186,51	0,022	0,971	12,45	5Ø18	12,72
G	130	245,23	294,51	8,17	188,89	0,015	0,977	8,88	4Ø18	10,18
G	129	245,23	294,51	8,17	188,89	0,015	0,977	8,88	4Ø18	10,18
G	128	114,48	135,1	5,11	136,87	0,010	0,981	4,13	3Ø18	7,63
G	127	149,11	351	5,16	137,72	0,013	0,977	5,40	3Ø18	7,63
G	126	279,74	196,91	7,51	177,67	0,019	0,974	10,16	4Ø18	10,18
G	125	160,37	259,9	5,16	137,72	0,014	0,977	5,81	3Ø18	7,63
G	124	160,37	259,9	5,16	137,72	0,014	0,977	5,81	3Ø18	7,63
G	123	166,78	232,9	6,58	161,86	0,012	0,981	6,02	3Ø18	7,63
G	122	146,32	232,9	5,16	137,72	0,013	0,977	5,30	3Ø18	7,63
G	121	146,32	232,9	5,16	137,72	0,013	0,977	5,30	3Ø18	7,63
G	120	281,84	373,67	7,59	179,03	0,019	0,974	10,24	5Ø18	12,72
G	119	241,03	300,62	7,59	179,03	0,016	0,977	8,73	4Ø18	10,18
G	118	142,52	300,62	5,16	137,72	0,012	0,981	5,14	3Ø18	7,63
G	117	142,52	300,62	5,16	137,72	0,012	0,981	5,14	3Ø18	7,63
G	116	241,03	300,62	7,59	179,03	0,016	0,977	8,73	4Ø18	10,18
G	115	281,84	373,67	7,59	179,03	0,019	0,974	10,24	5Ø18	12,72
G	114	312,79	310,02	7,64	179,88	0,021	0,971	11,40	5Ø18	12,72
G	113	170,92	253,41	6,05	152,85	0,013	0,977	6,19	3Ø18	7,63
G	112	195,47	229,07	5,95	151,15	0,015	0,977	7,08	3Ø18	7,63
G	111	110,26	268,43	5,46	142,82	0,009	0,981	3,98	3Ø18	7,63
G	110	342,48	361,59	8,03	186,51	0,022	0,971	12,48	5Ø18	12,72
G	109	323,62	361,59	7,65	180,05	0,021	0,971	11,79	5Ø18	12,72
G	108	82,28	283,72	4,97	134,49	0,007	0,984	2,96	3Ø18	7,63
G	107	144,34	331,43	5,44	142,48	0,012	0,981	5,21	3Ø18	7,63
G	106	133,95	382,56	5,73	147,41	0,011	0,981	4,83	3Ø18	7,63
G	105	364,11	339,24	8	186	0,023	0,971	13,27	6Ø18	15,27
G	104	346,05	264,93	8	186	0,022	0,971	12,61	5Ø18	12,72
G	103	219,52	365,59	5,71	147,07	0,018	0,974	7,97	4Ø18	10,18
G	102	267,23	349,2	8,03	186,51	0,017	0,974	9,71	4Ø18	10,18
G	101	267,23	349,2	8,03	186,51	0,017	0,974	9,71	4Ø18	10,18

Armatura A<sub>s2</sub>:

POZICIJA		M <sub>y</sub> polje	F <sub>z</sub>	l	b <sub>eff</sub>	μ <sub>sd</sub>	ζ	A <sub>s1</sub>	Usvojena armatura	A <sub>stv</sub>
		(kNm)	(kN)	(m)	(cm)			cm <sup>2</sup>	∅	cm <sup>2</sup>
G	305	176,31	369,94	5,32	140,44	0,015	0,977	6,39	3∅18	7,63
G	304	199,13	329,79	5,05	135,85	0,017	0,974	7,23	3∅18	7,63
G	303	242,4	215,12	5,32	140,44	0,020	0,974	8,81	4∅18	10,18
G	302	220,93	215,83	5,05	135,85	0,019	0,974	8,03	4∅18	10,18
G	301	176,31	152,38	6,58	161,86	0,013	0,977	6,39	3∅18	7,63
G	229	357,97	241,11	6,6	162,2	0,026	0,968	13,08	6∅18	15,27
G	228	129,19	193,08	5,11	136,87	0,011	0,981	4,66	3∅18	7,63
G	227	129,19	211,31	5,16	137,72	0,011	0,981	4,66	3∅18	7,63
G	226	402,52	262,78	7,51	177,67	0,027	0,968	14,71	6∅18	15,27
G	225	402,52	277,58	5,32	140,44	0,034	0,965	14,76	6∅18	15,27
G	224	247,5	125,29	5,05	135,85	0,022	0,971	9,02	4∅18	10,18
G	223	357,97	211,31	6,42	159,14	0,027	0,968	13,08	6∅18	15,27
G	222	179,84	227,46	5,05	135,85	0,016	0,977	6,51	3∅18	7,63
G	221	247,5	125,29	5,05	135,85	0,022	0,971	9,02	4∅18	10,18
G	220	181,47	256,38	5,86	149,62	0,014	0,977	6,57	3∅18	7,63
G	219	254,61	311,72	5,86	149,62	0,020	0,974	9,25	4∅18	10,18
G	218	254,61	214,14	5,05	135,85	0,022	0,971	9,28	4∅18	10,18
G	217	254,61	532,95	5,47	142,99	0,021	0,971	9,28	4∅18	10,18
G	216	254,61	311,72	5,86	149,62	0,020	0,974	9,25	4∅18	10,18
G	215	181,47	256,38	5,86	149,62	0,014	0,977	6,57	3∅18	7,63
G	214	143,21	109,7	7,64	179,88	0,009	0,981	5,17	3∅18	7,63
G	213	287,18	449,63	5,95	151,15	0,022	0,971	10,46	5∅18	12,72
G	212	287,18	449,63	5,95	151,15	0,022	0,971	10,46	5∅18	12,72
G	211	287,18	435,63	5,64	145,88	0,023	0,971	10,46	5∅18	12,72
G	210	582,81	245,31	8,03	186,51	0,037	0,965	21,37	6∅22	22,81
G	209	451,29	205,71	7,65	180,05	0,030	0,968	16,50	7∅18	17,81
G	208	451,29	391,46	4,97	134,49	0,040	0,962	16,60	7∅18	17,81
G	207	415,59	396,15	5,41	141,97	0,035	0,965	15,24	6∅18	15,27
G	206	441,34	294,29	5,73	147,41	0,035	0,965	16,18	7∅18	17,81
G	205	280,42	213,46	8	186	0,018	0,974	10,19	5∅18	12,72
G	204	469,41	240,47	8	186	0,030	0,968	17,16	7∅18	17,81

G	203	280,42	50,09	5,71	147,07	0,023	0,971	10,22	<b>5Ø18</b>	12,72
G	202	469,51	294,29	8,03	186,51	0,030	0,968	17,16	<b>7Ø18</b>	17,81
G	201	469,51	294,29	8,03	186,51	0,030	0,968	17,16	<b>7Ø18</b>	17,81
G	130	287,18	449,63	5,95	151,15	0,022	0,971	10,46	<b>5Ø18</b>	12,72
G	129	287,18	449,63	5,95	151,15	0,022	0,971	10,46	<b>5Ø18</b>	12,72
G	128	426,91	135,1	5,11	136,87	0,037	0,962	15,70	<b>7Ø18</b>	17,81
G	127	292,25	351	5,16	137,72	0,025	0,971	10,65	<b>5Ø18</b>	12,72
G	126	292,25	196,91	7,51	177,67	0,019	0,974	10,62	<b>5Ø18</b>	12,72
G	125	330,34	259,9	5,16	137,72	0,028	0,968	12,07	<b>5Ø18</b>	12,72
G	124	330,34	259,9	5,16	137,72	0,028	0,968	12,07	<b>5Ø18</b>	12,72
G	123	330,04	232,9	6,58	161,86	0,024	0,971	12,03	<b>5Ø18</b>	12,72
G	122	241,58	232,9	5,16	137,72	0,021	0,971	8,80	<b>4Ø18</b>	10,18
G	121	241,58	232,9	5,16	137,72	0,021	0,971	8,80	<b>4Ø18</b>	10,18
G	120	460,31	373,67	7,59	179,03	0,030	0,968	16,83	<b>7Ø18</b>	17,81
G	119	360,23	300,62	7,59	179,03	0,024	0,971	13,13	<b>6Ø18</b>	15,27
G	118	330,04	232,9	6,58	161,86	0,024	0,971	12,03	<b>5Ø18</b>	12,72
G	117	330,04	232,9	6,58	161,86	0,024	0,971	12,03	<b>5Ø18</b>	12,72
G	116	360,23	300,62	7,59	179,03	0,024	0,971	13,13	<b>6Ø18</b>	15,27
G	115	460,31	373,67	7,59	179,03	0,030	0,968	16,83	<b>7Ø18</b>	17,81
G	114	292,3	310,02	7,64	179,88	0,019	0,974	10,62	<b>5Ø18</b>	12,72
G	113	271,8	253,41	6,05	152,85	0,021	0,974	9,87	<b>4Ø18</b>	10,18
G	112	292,3	229,07	5,95	151,15	0,023	0,971	10,65	<b>5Ø18</b>	12,72
G	111	354,37	268,43	5,46	142,82	0,029	0,968	12,95	<b>6Ø18</b>	15,27
G	110	493,29	361,59	8,03	186,51	0,031	0,965	18,09	<b>6Ø20</b>	18,85
G	109	354,37	361,59	7,65	180,05	0,023	0,971	12,91	<b>6Ø18</b>	15,27
G	108	298,73	283,72	4,97	134,49	0,026	0,968	10,92	<b>5Ø18</b>	12,72
G	107	298,73	283,72	4,97	134,49	0,026	0,968	10,92	<b>5Ø18</b>	12,72
G	106	346,38	382,56	5,73	147,41	0,028	0,968	12,66	<b>5Ø18</b>	12,72
G	105	497,54	264,93	8	186	0,032	0,965	18,24	<b>6Ø20</b>	18,85
G	104	354,37	268,43	8,03	186,51	0,022	0,971	12,91	<b>6Ø18</b>	15,27
G	103	368,69	365,59	5,71	147,07	0,030	0,968	13,48	<b>6Ø18</b>	15,27
G	102	408,77	349,2	8,03	186,51	0,026	0,968	14,94	<b>6Ø18</b>	15,27
G	101	408,77	349,2	8,03	186,51	0,026	0,968	14,94	<b>6Ø18</b>	15,27

**11.7.2 Dimenzioniranje na poprečnu silu**

$$\text{Beton: C 30/37} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}; f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B 500 B} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,5} = 333,33 \text{ MPa}; f_{yd} = 43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Ra čunska poprečna sila: } V_{Ed,max} = 245,31 \text{ kN}$$

$$b_w = 50,0 \text{ cm}, d = 65,0 \text{ cm}$$

$$\sum A_s = 18,85 + 22,81 + 8,04 = 49,7 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{49,7}{50 \cdot 65} = 0,0153$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{650}} = 1,55 < 2,0 \rightarrow k = 1,55$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$C_{Rdc} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,55 \cdot (100 \cdot 0,0153 \cdot 30,0)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0,0 \right] \cdot 500 \cdot 650 = 216,438 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0,15$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,55^{\frac{3}{2}} \cdot 30,0^{\frac{1}{2}} = 0,370$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$V_{Rd,c} \geq 0,370 \cdot 500 \cdot 650$$

$$V_{Rd,c} \geq 120250 \text{ N} = 120,25 \text{ kN}$$

Maksimalna poprečna sila koju se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 500 \cdot 650 \cdot 20,0 = 1716000 \text{ N} = 1716,0 \text{ kN} > V_{Ed,max}$$

$$V_{Ed,max} = 245,31 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd,max}} = \frac{245,32}{1716,0} \approx 0,15 \rightarrow V_{Ed} = 0,15 \cdot V_{Rd,max}$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30,0 \text{ cm}\} = \min\{0,75 \cdot 65 = 48,75 ; 30,0 \text{ cm}\} \rightarrow s_{max} = 30,0 \text{ cm}$$

$$\rho_{w,min} = 0,00100$$

Maksimalni razmak spona:

$$s \leq \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot A_{sw}}{0,00100 \cdot 50} = \frac{2 \cdot 0,79}{0,00100 \cdot 50} = 31,6 \text{ cm}$$

**Odabrane spona: Ø10/30cm**

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot \text{ctg}\theta$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 65 = 58,5 \text{ cm}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0,79}{20} \cdot 58,50 \cdot 43,5 \cdot 2 = 201,03 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,a} > V_{Rd,s}$$

Kontrola nosivosti betona:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\tan\theta + \text{ctg}\theta} = \frac{1,0 \cdot 500,0 \cdot 585,0 \cdot 0,60 \cdot 20,0}{1 + 1} = 1755,0 \text{ kN} > V_{Ed,max}$$

Odabrane spona zadovoljavaju na cijelom nosaču osim kod ležaja.

$$s_{pot} \leq \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z}{V_{sd}} = \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,5 \cdot 58,5}{245,31} = 16,39 \text{ cm}$$

**Odabrane spona na mjestu maksimalne poprečne sile: Ø10/15cm**

POZICIJA		A <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	F <sub>z</sub>	Profil spone	Maksimalan razmak spone	Razmak na mjestu maksimalne poprečne sile
		cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	kN	∅	cm	cm
G	305	3∅18	3∅18	369,94	∅10	30	10
G	304	5∅18	3∅18	329,79	∅10	30	10
G	303	3∅18	4∅18	215,12	∅10	30	15
G	302	3∅18	4∅18	382,56	∅10	30	10
G	301	3∅18	3∅18	294,29	∅10	30	10
G	229	3∅18	6∅18	241,11	∅10	30	15
G	228	3∅18	3∅18	193,08	∅10	30	20
G	227	3∅18	3∅18	211,31	∅10	30	15
G	226	5∅18	6∅18	262,78	∅10	30	15
G	225	4∅18	6∅18	277,58	∅10	30	10
G	224	3∅18	4∅18	125,29	∅10	30	30
G	223	3∅18	6∅18	211,31	∅10	30	15
G	222	3∅18	3∅18	227,46	∅10	30	15
G	221	3∅18	4∅18	125,29	∅10	30	30
G	220	3∅18	3∅18	256,38	∅10	30	15
G	219	3∅18	4∅18	311,72	∅10	30	10
G	218	3∅18	4∅18	214,14	∅10	30	15
G	217	3∅18	4∅18	532,95	∅10	30	7
G	216	3∅18	4∅18	311,72	∅10	30	10
G	215	3∅18	3∅18	256,38	∅10	30	15
G	214	3∅18	3∅18	109,70	∅10	30	30
G	213	4∅18	5∅18	449,63	∅10	30	9
G	212	4∅18	5∅18	449,63	∅10	30	9
G	211	3∅18	5∅18	435,63	∅10	30	9
G	210	6∅20	6∅22	245,31	∅10	30	15
G	209	4∅18	7∅18	205,71	∅10	30	15
G	208	3∅18	7∅18	391,46	∅10	30	10
G	207	3∅18	6∅18	396,15	∅10	30	10
G	206	3∅18	7∅18	294,29	∅10	30	10
G	205	3∅18	5∅18	213,46	∅10	30	15

G	204	5Ø18	7Ø18	240,47	Ø10	30	15
G	203	3Ø18	5Ø18	50,09	Ø10	30	30
G	202	5Ø18	7Ø18	294,29	Ø10	30	10
G	201	5Ø18	7Ø18	294,29	Ø10	30	10
G	130	4Ø18	5Ø18	294,51	Ø10	30	10
G	129	4Ø18	5Ø18	294,51	Ø10	30	10
G	128	3Ø18	7Ø18	391,46	Ø10	30	10
G	127	3Ø18	5Ø18	351,00	Ø10	30	10
G	126	4Ø18	5Ø18	196,91	Ø10	30	20
G	125	3Ø18	5Ø18	259,90	Ø10	30	15
G	124	3Ø18	5Ø18	259,90	Ø10	30	15
G	123	3Ø18	5Ø18	232,90	Ø10	30	15
G	122	3Ø18	4Ø18	232,90	Ø10	30	15
G	121	3Ø18	4Ø18	232,90	Ø10	30	15
G	120	5Ø18	7Ø18	373,67	Ø10	30	10
G	119	4Ø18	6Ø18	300,62	Ø10	30	10
G	118	3Ø18	5Ø18	300,62	Ø10	30	10
G	117	3Ø18	5Ø18	300,62	Ø10	30	10
G	116	4Ø18	6Ø18	300,62	Ø10	30	10
G	115	5Ø18	7Ø18	373,67	Ø10	30	10
G	114	5Ø18	5Ø18	310,02	Ø10	30	10
G	113	3Ø18	4Ø18	253,41	Ø10	30	15
G	112	3Ø18	5Ø18	229,07	Ø10	30	15
G	111	3Ø18	6Ø18	268,43	Ø10	30	15
G	110	5Ø18	6Ø20	361,59	Ø10	30	10
G	109	5Ø18	6Ø18	361,59	Ø10	30	10
G	108	3Ø18	5Ø18	283,72	Ø10	30	10
G	107	3Ø18	5Ø18	331,43	Ø10	30	10
G	106	3Ø18	5Ø18	382,56	Ø10	30	10
G	105	6Ø18	6Ø20	339,24	Ø10	30	10
G	104	5Ø18	6Ø18	268,43	Ø10	30	15
G	103	4Ø18	6Ø18	365,59	Ø10	30	10
G	102	4Ø18	6Ø18	349,20	Ø10	30	10
G	101	4Ø18	6Ø18	349,20	Ø10	30	10

### 11.7.3 Kontrola graničnog stanja uporabljivosti

#### Pukotine:

Mjerodavni momenti u ploči dobiveni su iz kombinacija za granično stanje uporabljivosti.

Polje:

$$M_{Ed} = 315,56 \text{ kNm}$$

$$\text{Prognozna širina pukotine: } w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Vrijednost  $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$  određuje se prema izrazu:

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

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_s}} \right)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right)}$$

$$\text{Za C 30/37} \rightarrow f_{ct,eff} = 29 \text{ MPa}$$

$$A_s = 6\emptyset 20 = 18,85 \text{ cm}^2$$

$$E_{cm} = 33,0 \text{ GPa} = 33000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti betona}$$

$$E_{sm} = 200,0 \text{ GPa} = 200000 \text{ MPa} - \text{Modul elastičnosti armature}$$

$$k_t = 0,4 - \text{Dugotrajno opterećenje}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06 - \text{Odnos modula elastičnosti armature i betona}$$

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{18,85}{50 \cdot (2,5 \cdot 5)} = 0,0030$$

Srednji razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} [\text{mm}]$$

$$\emptyset = 20 \text{ mm} - (6\emptyset 20)$$

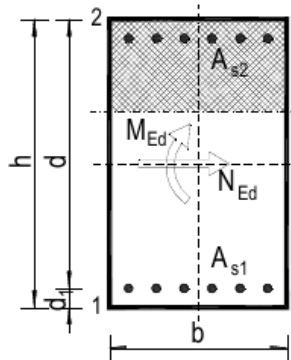
$c = 40 \text{ mm}$  – zaštitni sloj uzdužne armature

$$k_1 = 0,8 - \text{rebrasta armatura}$$

$$k_2 = 0,5 - \text{savijanje}$$



$b =$	50,0 cm	$d =$	65,0 cm	$h =$	70,0 cm
$f_{ck} =$	30,0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30 mm
$A_{s1} =$	18,85 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5,0 cm
$E_s =$	200,00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6,1
$M_{Ed} =$	315,56 kNm	$k_t =$	0,40		
$\sigma_s =$	243,24 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	15,14 cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0302		
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,000989	$>$	$0,6 \cdot \sigma_s/E_s =$	0,000730	
$\varnothing =$	20,0 mm	$c =$	4,00 cm		
$k_1 =$	0,8	$k_2 =$	0,50		
$k_3 =$	3,4	$k_4 =$	0,43		
$s_{r,max} =$	248,73 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,246 mm	$<$	$w_g$		



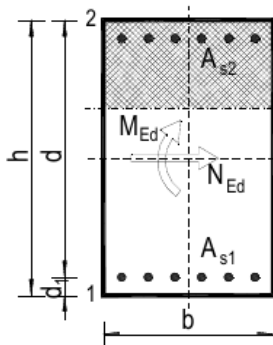
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,25\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

Ležaj:

$$M_{Ed} = 423,52\text{kNm}$$

$b =$	50,0 cm	$d =$	65,0 cm	$h =$	70,0 cm
$f_{ck} =$	30,0 MN/m <sup>2</sup>	$f_{ctm} =$	2,90 MN/m <sup>2</sup>	$w_g =$	0,30 mm
$A_{s1} =$	22,81 cm <sup>2</sup>	$A_{s2} =$	0,00 cm <sup>2</sup>	$d_1 = d_2 =$	5,0 cm
$E_s =$	200,00 GN/m <sup>2</sup>	$E_{cm} =$	32,80 GN/m <sup>2</sup>	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6,1
$M_{Ed} =$	423,52 kNm	$k_t =$	0,40		
$\sigma_s =$	271,74 MN/m <sup>2</sup>				
$x =$	16,44 cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0365		
$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,001165	$>$	$0,6 \cdot \sigma_s/E_s =$	0,000815	
$\varnothing =$	22,0 mm	$c =$	4,00 cm		
$k_1 =$	0,8	$k_2 =$	0,50		
$k_3 =$	3,4	$k_4 =$	0,43		
$s_{r,max} =$	238,48 mm				
$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	0,278 mm	$<$	$w_g$		

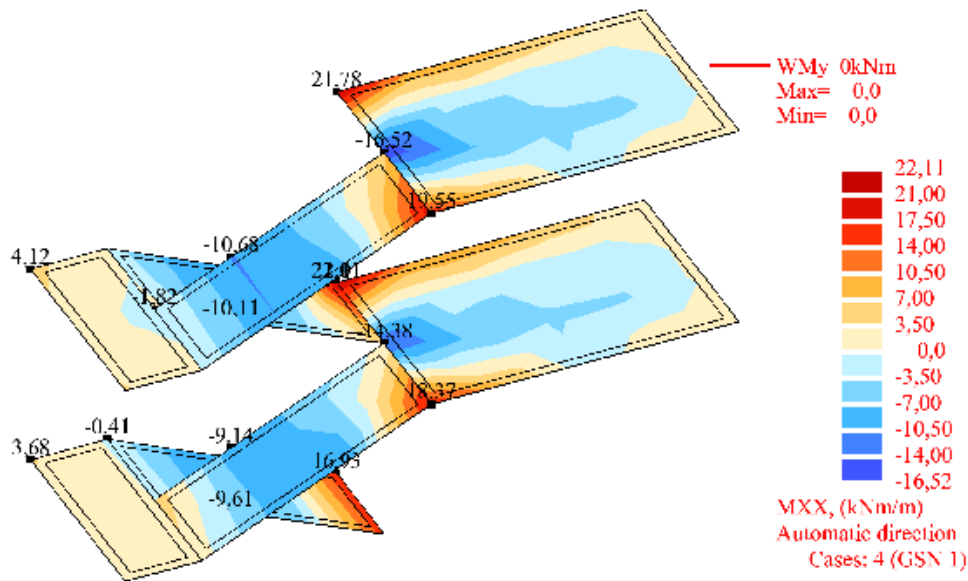


$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sm}) = 0,28\text{mm} < w_g = 0,3\text{mm}$$

Pukotine zadovoljavaju

## 11.8 Dimenzioniranje stubišta

### 11.8.1 Dimenzioniranje stubišta 1



Slika 11.50. Prikaz momenta savijanja

Polje:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{10,68 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,037$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,2\text{‰}, \quad \zeta = 0,962, \quad \xi = 0,107$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{10,68 \cdot 100}{0,962 \cdot 12 \cdot 43,48} = 2,14 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-385(3,85cm<sup>2</sup>)**

Ležaj:

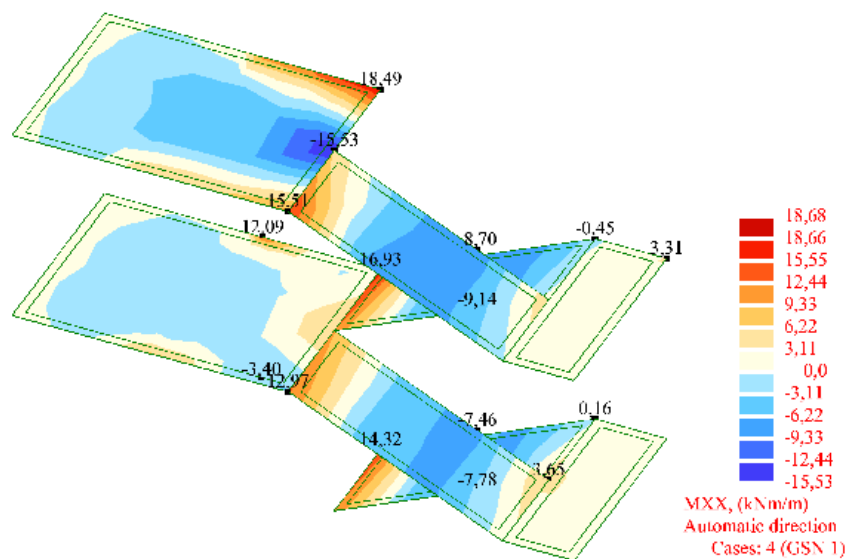
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{22,01 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,076$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,8\text{‰}, \quad \zeta = 0,944, \quad \xi = 0,153$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{22,01 \cdot 100}{0,944 \cdot 12 \cdot 43,48} = 4,46 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-636 (6,36cm<sup>2</sup>)**

## 11.8.2 Dimenzioniranje stubišta 2



Slika 11.51. Prikaz momenta savijanja

Polje:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9,14 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,032$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,1\text{‰}, \quad \zeta = 0,965, \quad \xi = 0,099$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9,14 \cdot 100}{0,965 \cdot 12 \cdot 43,48} = 1,82 \text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-385(3,85cm<sup>2</sup>)**

Ležaj:

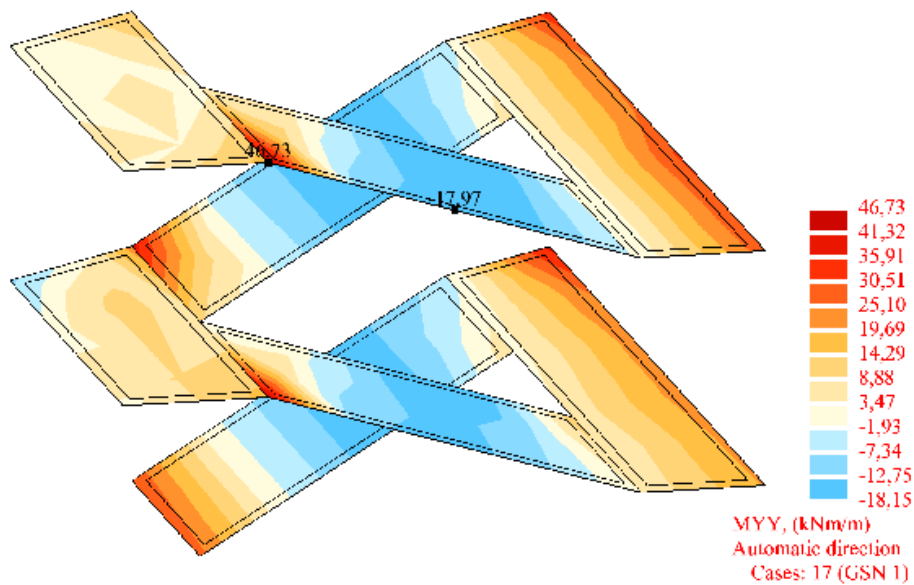
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{15,51 \cdot 100}{100 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,054$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,5\text{‰}, \quad \zeta = 0,953, \quad \xi = 0,130$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{15,51 \cdot 100}{0,953 \cdot 12 \cdot 43,48} = 3,12 \text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-636 (6,36cm<sup>2</sup>)**

## 11.8.3 Dimenzioniranje stubišta 3



Slika 11.52. Prikaz momenta savijanja

Polje:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{18,15 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,054$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 1,5\text{‰}, \quad \zeta = 0,953, \quad \xi = 0,130$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{18,15 \cdot 100}{0,953 \cdot 13 \cdot 43,48} = 3,36\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-503(5,03cm<sup>2</sup>)**

Ležaj:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{46,73 \cdot 100}{100 \cdot 13^2 \cdot 2,0} = 0,139$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 3,1\text{‰}, \quad \zeta = 0,904, \quad \xi = 0,237$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{46,73 \cdot 100}{0,904 \cdot 13 \cdot 43,48} = 9,15\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: R-785+2Ø10 (9,42cm<sup>2</sup>)**

## 12. PRORAČUN VERTIKALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE

### 12.1 Proračun stupova

Stupovi su u modelu modelirani kao 1D štapni elementi. Prostorni model je proračunat na uobičajne i izvanredne kombinacije iz kojih su izvučene maksimalne rezne sile. Razlikujemo dvije pozicije stupova. Prva pozicija stupova S1 su na dvije etaže garaže. Stupovi pozicije S1 visine su 280cm i kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija 40/40cm. Stupovi pozicije S1 nalaze se u garaži pa su stoga dimenzionirani samo na uobičajnu kombinaciju. Druga pozicija stupova su AB stupovi pozicije S2 koji se nalaze u prizemlju konstrukcije. Stupovi pozicije S2 su kvadratnog poprečnog presjeka 40/40cm i visine 390cm. AB stupovi su napravljeni od betona klase C30/37 i armirani armaturom B500B. Zaštitni sloj betona do armature iznosi 5cm. Stupovi se izvode monolitno na licu mjesta u oplati. Proračun stupova proveden je pomoću programskog paketa AspalathosSectionDesign. Pretpostavimo armaturu u stupu i za nekoliko različitih profila izračunamo graničnu nosivost stupa za odabrani poprečni presjek i odabranu armaturu.

Povećanje momenta zbog vitkosti stupa provedeno je približnim postupkom prema EC-2:

$$C30/37 \rightarrow E = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 32GPa$$

$$M_{računski} = \psi \cdot M_{očitanj}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}}$$

$$C_m = 1.0 \quad \gamma = 1.5$$

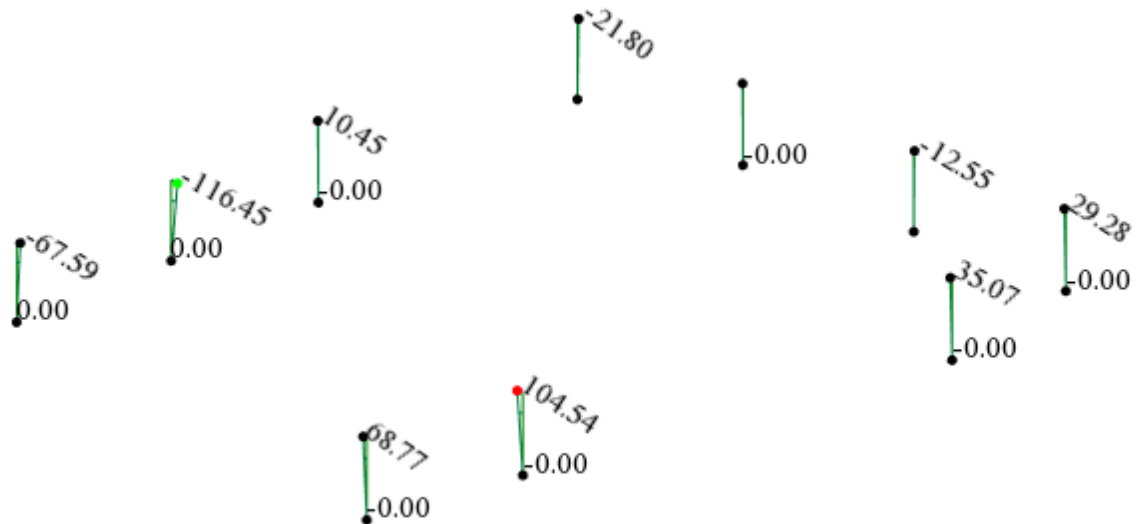
$$N_e = \pi^2 \frac{E_\varphi \cdot I}{l_i^2}$$

$$E_\varphi = \frac{E}{1 + \varphi}$$

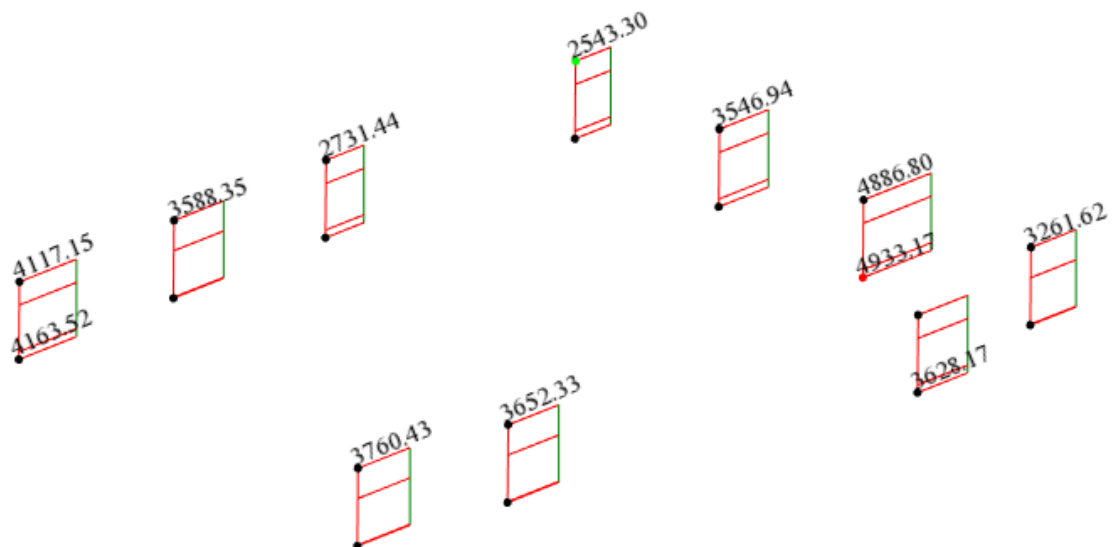
## 12.2 Proračun stupova pozicije S1 (stupovi u garaži -2)

### 12.2.1 Rezne sile

#### - Uobičajna kombinacija



Slika 12.1.. Moment savijanja



Slika 12.2.. Uzdužne sile

## 12.2.2 Dimenzioniranje stupova na moment savijanja i uzdužnu silu

$$C30/37 \rightarrow E = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 32GPa$$

$$E_{\varphi} = \frac{E}{1 + \varphi} = \frac{3200}{1 + 2,4} = 9411,76Mpa$$

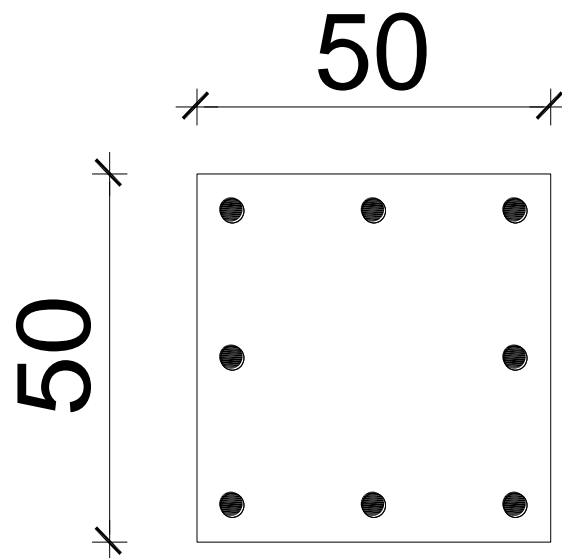
$$I = \frac{a^4}{12} = \frac{0,5^4}{12} = 0,0052$$

$$l_i = 1,4 \cdot 2,8 = 3,92m$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_{\varphi} \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{9411,76 \cdot 0,0052 \cdot 1000}{3,92^2} = 31434kN$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}}$$

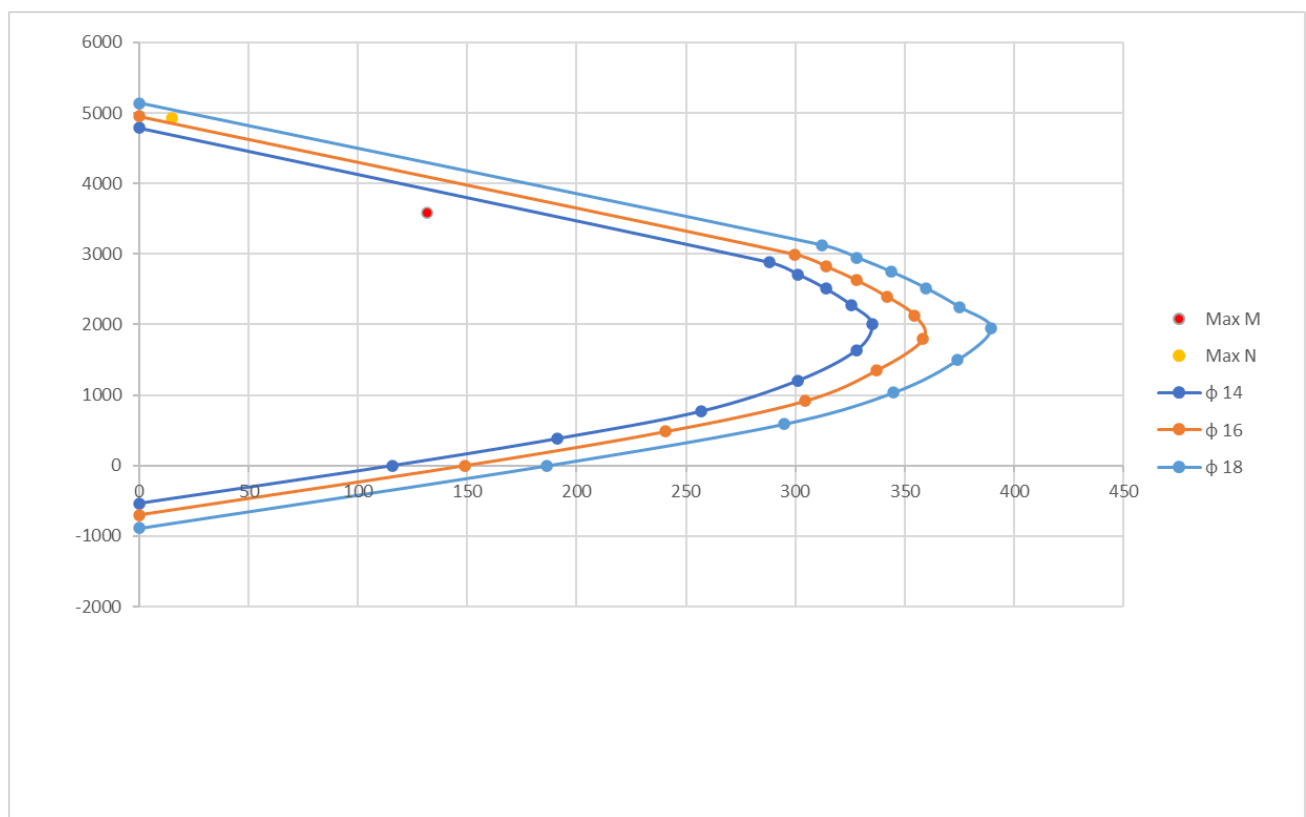
Uobičajna kombinacija	N	M <sub>očitano</sub>	ψ	M <sub>računski</sub>
	(kN)	(kNm)		(kNm)
N <sub>max</sub> M <sub>prip</sub>	-4933,17	12,55	1,19	14,93
N <sub>prip</sub> M <sub>max</sub>	-3588,35	116,45	1,13	131,59



Slika 12.3. Poprečni presjek stupa

Ø14		Ø16		Ø18	
M	N	M	N	M	N
0	-535,44	0	-699,35	0	-885,11
115,55	0	149	0	186,34	0
191,17	382,33	240,68	481,35	294,9	589,79
257,05	771,16	304,36	913,09	344,89	1034,66
301,13	1204,53	337,24	1348,95	374,29	1497,16
328,18	1640,89	358,38	1791,9	389,57	1947,84
335,04	2010,22	354,55	2127,31	375,05	2250,29
325,49	2278,44	342	2394	359,72	2518,05
313,91	2511,3	328,11	2625,72	343,83	2750,64
301,22	2710,96	313,91	2825,16	327,93	2951,34
288,115	2881,5	299,59	2995,94	312,38	3123,77
0	4785,4	0	4949,34	0	5135,11

Talica 12.1. Prikaz vrijednosti za dijagram nosivosti stupova



Slika 12.4. Dijagram nosivosti stupova

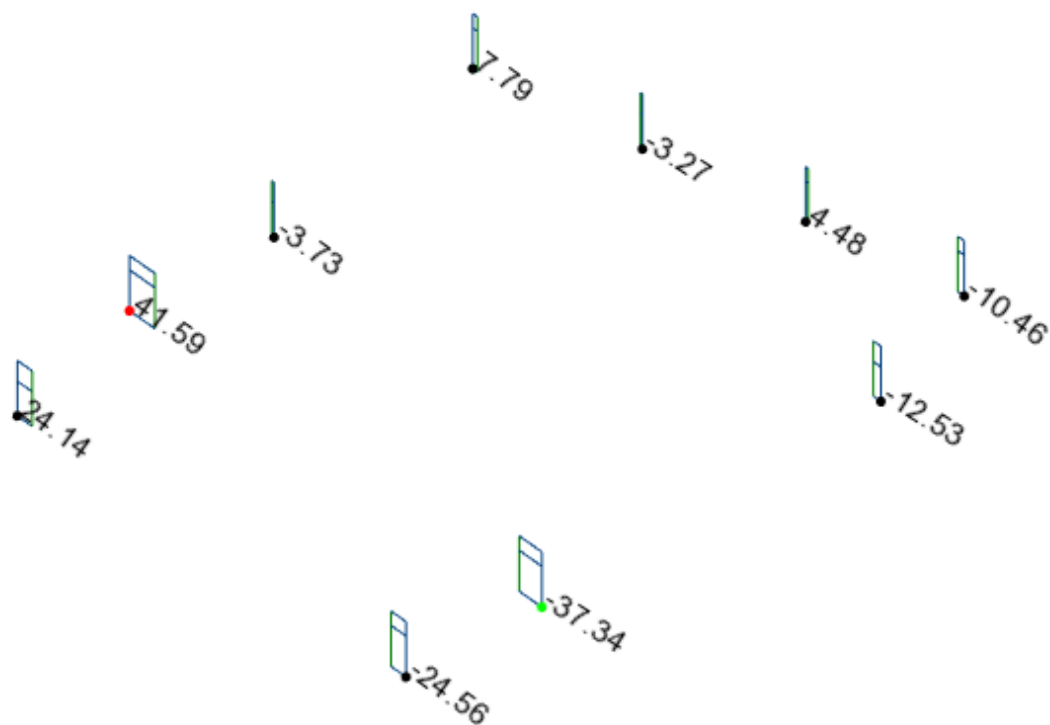
Odabrana armatura stupova pozicije S1 u garaži na razini -2: 8Ø18 (20,36cm<sup>2</sup>)

$$A_{s,min} = 0,1\% \cdot A_c = 0,1\% \cdot 50 \cdot 50 = 2,5\text{cm}^2$$

$$A_{s,max} = 2,0\% \cdot A_c = 2,0\% \cdot 50 \cdot 50 = 50,0\text{cm}^2$$



## 12.2.3 Dimenzioniranje na poprečnu silu



Slika 12.5. Poprečne sile

Beton: C 30/37  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$  ;  $f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$

Armatura: B 500 B  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,5} = 333,33 \text{ MPa}$  ;  $f_{yd} = 33,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Računska poprečna sila:  $V_{Ed, \max} = 41,59 \text{ kN}$

$$\sum A_s = 20,36 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{20,36}{50 \cdot 45} = 0,009$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1,67 < 2,0 \rightarrow k = 1,67$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$C_{Rdc} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,009 \cdot 30,0)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0,0 \right] \cdot 450 \cdot 500 = 135,27 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq [v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0,15$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,67^{\frac{3}{2}} \cdot 30,0^{\frac{1}{2}} = 0,414$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$V_{Rd,c} \geq 0,414 \cdot 450 \cdot 500$$

$$V_{Rd,c} \geq 93086 \text{ N} = 93,09 \text{ kN}$$

Maksimalna poprečna sila koju se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 500 \cdot 450 \cdot 20,0 = 1188000 \text{ N} = 1188,0 \text{ kN} > V_{Ed,max}$$

$$V_{Ed,max} = 41,59 \text{ kN} < V_{Rd,c}$$

Nije potreban proračun poprečne armature, usvojiti ćemo minimalnu poprečnu armaturu.

$$s_{\max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30,0 \text{ cm}\} = \min\{0,75 \cdot 45 = 33,75 ; 30,0 \text{ cm}\} \rightarrow s_{\max} = 30,0 \text{ cm}$$

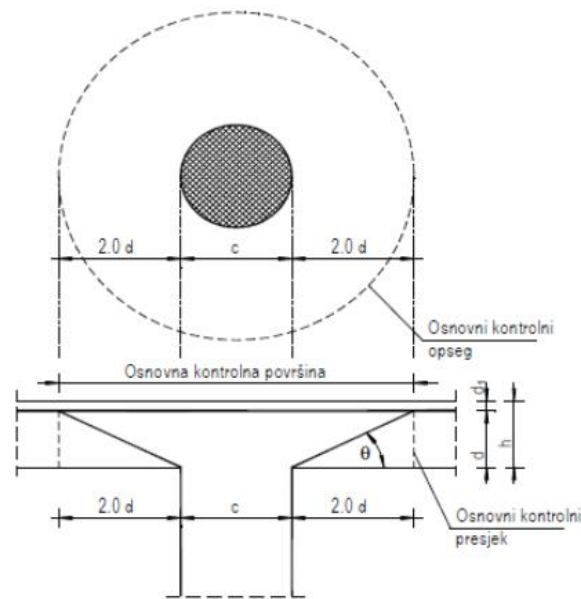
$$\rho_{w,\min} = 0,001$$

Maksimalni razmak spona:

$$s \leq \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{w,\min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot A_{sw}}{0,00100 \cdot 50} = \frac{2 \cdot 0,5}{0,00100 \cdot 50} = 20,0 \text{ cm}$$

**Odabrane spona: Ø10/20cm**

## 12.2.4. Proračun stupa na proboj ploče



Slika 12.6. Proboj stupa kroz ploča

Uvjet nosivosti ploče na proboj:  $U_{Ed} \leq Vcd_{Rd,max}$

Ako je gornji uvjet nosivosti na proboj zadovoljen, potrebno je kontrolirati je li ugrađena armatura zadovoljava ili je potrebno ploču dodatno armirati na proboj.

Armatura za osiguravanje od proboj neće biti potrebna ako je zadovoljen uvjet

$$U_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \geq \left[ v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right]$$

$$U_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d}$$

gdje je:

$\beta$  – korekcijski faktor kojim se uzima u obzir ekscentrično djelovanje sile proboja u odnosu na kritični presjek

$\beta = 1,15$  za unutrašnje stupove

$\beta = 1,4$  za stupove na rubu i stupove uz otvore

$\beta = 1,5$  za stupove u kutu

$V_{Ed}$  – maksimalna poprečna sila u kritičnom opsegu ( $V_{Ed} = 41,59\text{kN}$ )

$u_i$  – osnovni kontrolni opseg

$d$  – statička visina ploče ( $d = 17\text{cm}$ )

$$u_i = (2 \cdot 2d + c) \cdot \pi = (2 \cdot 2 \cdot 17 + 50) \cdot \pi = 370,71\text{cm}$$

$$v_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{41,59}{370,71 \cdot 17} = 0,0075 \text{ kN/cm}^2 = 0,075\text{MPa}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[1,0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1,0 - \frac{30}{250}\right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 2 = 0,4224$$

$$v_{Ed} = 0,075\text{MPa} < V_{Rd,max} = 4,22 \text{ MPa}$$

Uvjet nosivost ploče na proboj je zadovoljen. Potrebno je provjeriti je li ploču treba dodatno armirati ili je odabrana poprečna armatura dostatna.

Armatura za osiguranje od proboja nije potrebna ukoliko je zadovoljen uvjet:

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1,67 < 2,0 \rightarrow k = 1,67$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,y}}$$

$$\rho_{l,x} = \rho_{l,y} = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{6,36 + 10,85}{2500} = 0,0076$$

$$\rho_l = \sqrt{0,0076^2} = 0,0076$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,0076 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,57\text{MPa}$$

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}]$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,67^{\frac{3}{2}} \cdot 30,0^{\frac{1}{2}} = 0,414$$

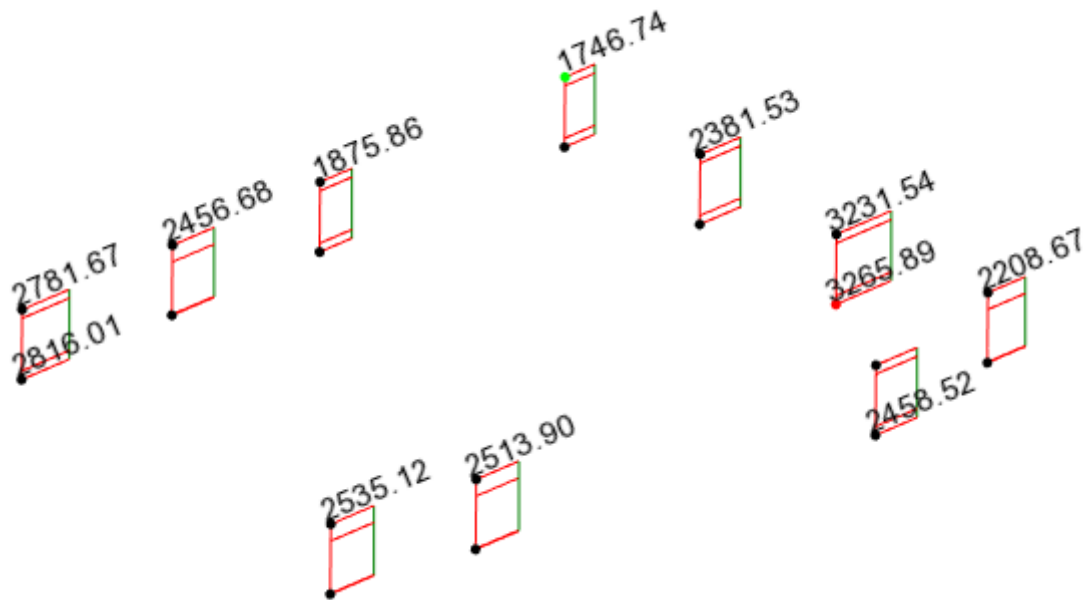
$$V_{Rd,c} \geq 0,414 < 0,57\text{MPa} \rightarrow V_{Rd,c} = 0,57\text{MPa}$$

$$v_{Ed} = 0,075\text{MPa} < V_{Rd,c} = 0,57\text{MPa}$$

→ nije potrebna armatura za osiguranje od proboja

### 12.2.5 Kontrolna naprezanja u stupu za GSU

Naprezanja u betonu za kombinaciju opterećenja za granično stanje uporabljivosti ograničavamo na vrijednost:  $\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck}$



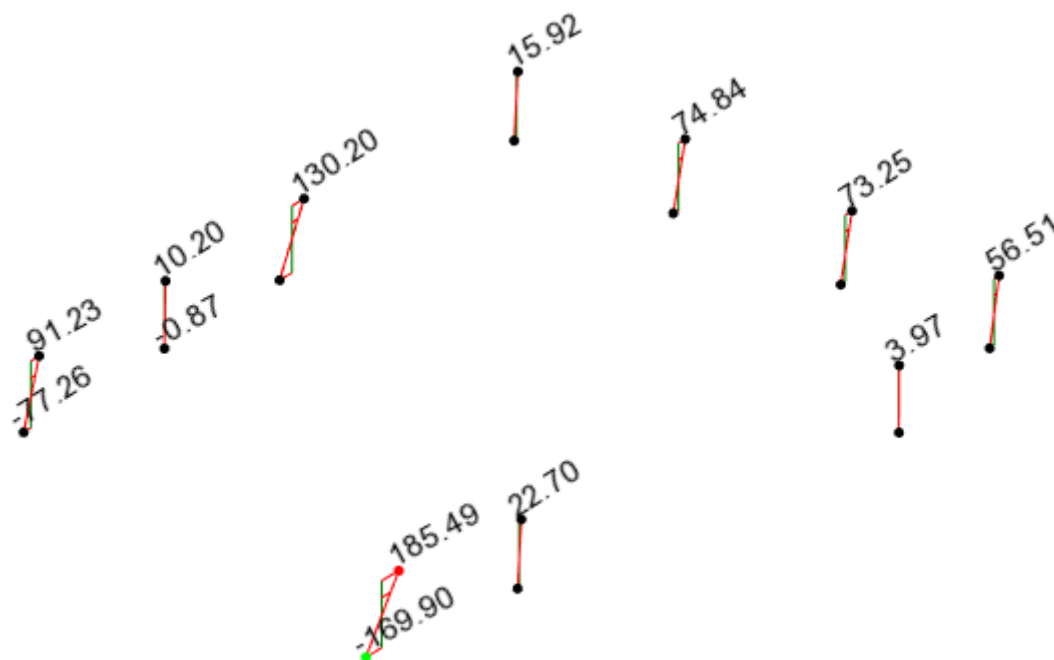
Slika 12.7. Uzdužna sila za GSU

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed,max}}{A_c} = \frac{3265,89}{2500} = 1,31 \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

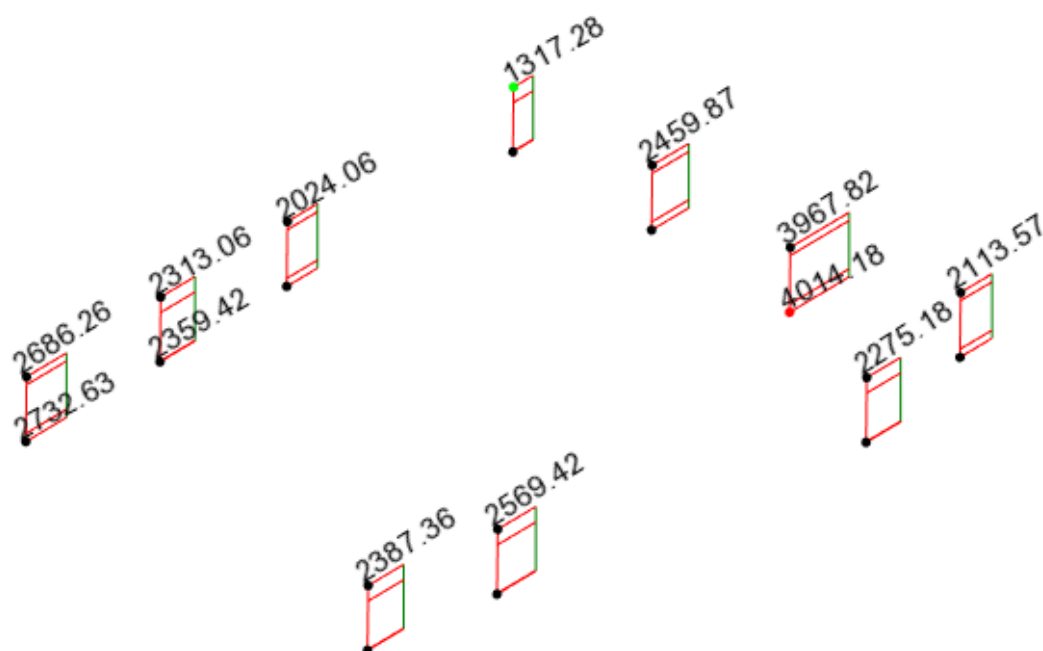
## 12.3 Proračun stupova pozicije S2 (stupovi u garaži -1)

### 12.3.1 Rezne sile

#### - Uobičajna kombinacija



Slika 12.8. Moment savijanja



Slika 12.9. Uzdužne sile

## 12.3.2 Dimenzioniranje stupova na moment savijanja i uzdužnu silu

$$C30/37 \rightarrow E = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 32GPa$$

$$E_\varphi = \frac{E}{1 + \varphi} = \frac{3200}{1 + 2,4} = 9411,76Mpa$$

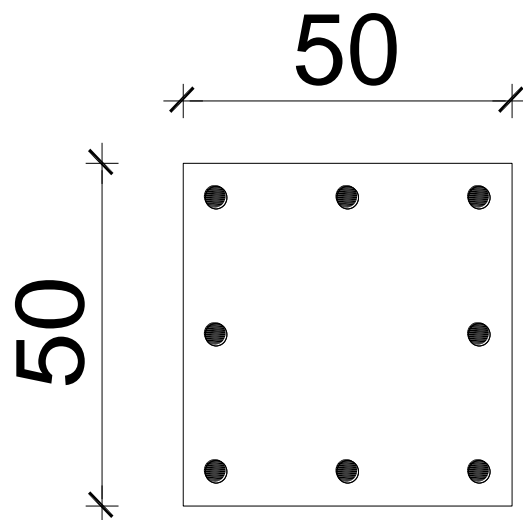
$$I = \frac{a^4}{12} = \frac{0,5^4}{12} = 0,0052$$

$$l_i = 1,4 \cdot 2,8 = 3,92m$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\varphi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{9411,76 \cdot 0,0052 \cdot 1000}{3,92^2} = 31434kN$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}}$$

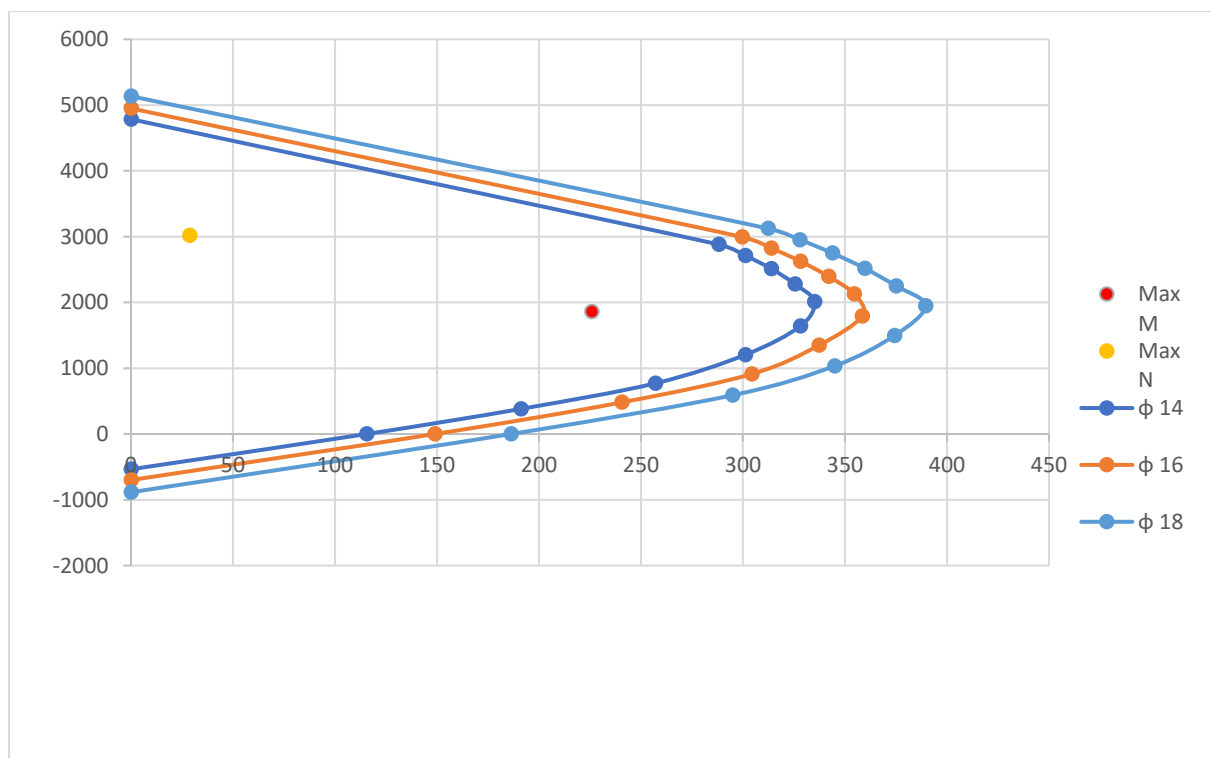
Uobičajna kombinacija	N	M <sub>očitano</sub>	ψ	M <sub>računski</sub>
	(kN)	(kNm)		(kNm)
N <sub>max</sub> M <sub>prip</sub>	-4014,18	73,25	1,15	84,24
N <sub>prip</sub> M <sub>max</sub>	-2387,36	185,49	1,08	200,33



Slika 12.10. Poprečni presjek stupa

Ø14		Ø16		Ø18	
M	N	M	N	M	N
0	-535,44	0	-699,35	0	-885,11
115,55	0	149	0	186,34	0
191,17	382,33	240,68	481,35	294,9	589,79
257,05	771,16	304,36	913,09	344,89	1034,66
301,13	1204,53	337,24	1348,95	374,29	1497,16
328,18	1640,89	358,38	1791,9	389,57	1947,84
335,04	2010,22	354,55	2127,31	375,05	2250,29
325,49	2278,44	342	2394	359,72	2518,05
313,91	2511,3	328,11	2625,72	343,83	2750,64
301,22	2710,96	313,91	2825,16	327,93	2951,34
288,115	2881,5	299,59	2995,94	312,38	3123,77
0	4785,4	0	4949,34	0	5135,11

Talica 12.2. Prikaz vrijednosti za dijagram nosivosti stupova



Slika 12.11. Dijagram nosivosti stupova

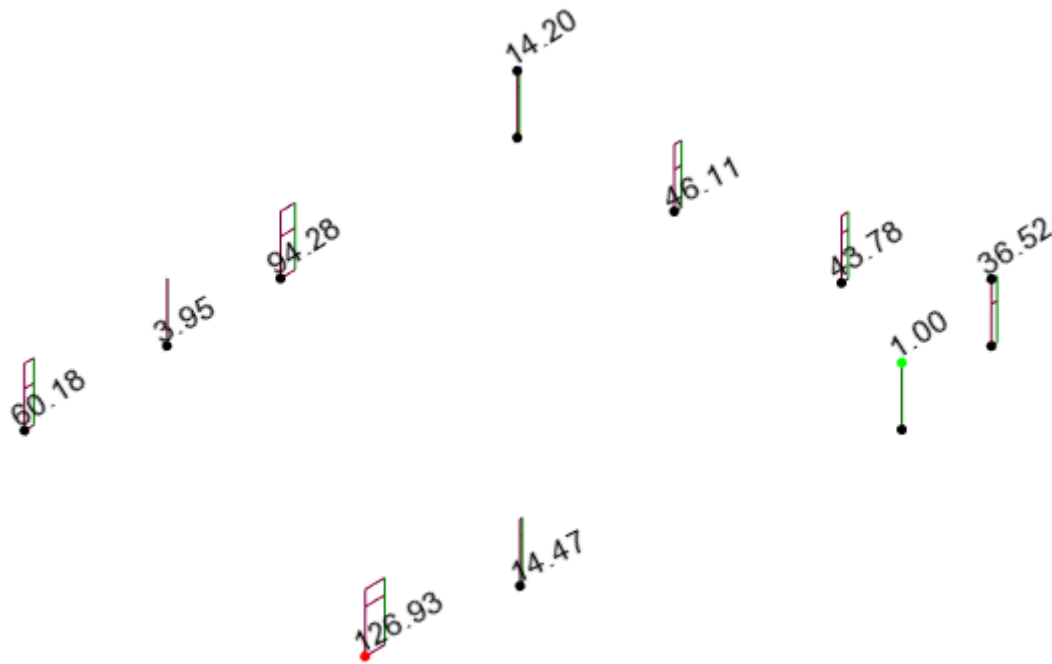
Odabrana armatura stupova pozicije S2 u garaži na razini -1: 8Ø14 (12,32cm<sup>2</sup>)

$$A_{s,min} = 0,1\% \cdot A_c = 0,1\% \cdot 50 \cdot 50 = 2,5\text{cm}^2$$

$$A_{s,max} = 2,0\% \cdot A_c = 2,0\% \cdot 50 \cdot 50 = 50,0\text{cm}^2$$



## 12.3.3 Dimenzioniranje na poprečnu silu



Slika 12.12. Poprečne sile

Beton: C 30/37  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$  ;  $f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$

Armatura: B 500 B  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,5} = 434,78 \text{ MPa}$  ;  $f_{yd} = 43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Računska poprečna sila:  $V_{Ed,max} = 126,93 \text{ kN}$

$$\sum A_s = 12,32 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{12,32}{50 \cdot 45} = 0,0055$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1,67 < 2,0 \rightarrow k = 1,67$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$C_{Rdc} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,009 \cdot 30,0)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0,0 \right] \cdot 450 \cdot 500 = 135,27 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq [v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0,15$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,67^{\frac{3}{2}} \cdot 30,0^{\frac{1}{2}} = 0,414$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$V_{Rd,c} \geq 0,414 \cdot 450 \cdot 500$$

$$V_{Rd,c} \geq 93086 \text{ N} = 93,09 \text{ kN}$$

Maksimalna poprečna sila koju se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 500 \cdot 450 \cdot 20,0 = 1188000 \text{ N} = 1188,0 \text{ kN} > V_{Ed,max}$$

$$V_{Ed,max} = 126,93 \text{ kN} < V_{Rd,c}$$

Nije potreban proračun poprečne armature, usvojiti ćemo minimalnu poprečnu armaturu.

$$s_{\max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30,0 \text{ cm}\} = \min\{0,75 \cdot 45 = 33,75 ; 30,0 \text{ cm}\} \rightarrow s_{\max} = 30,0 \text{ cm}$$

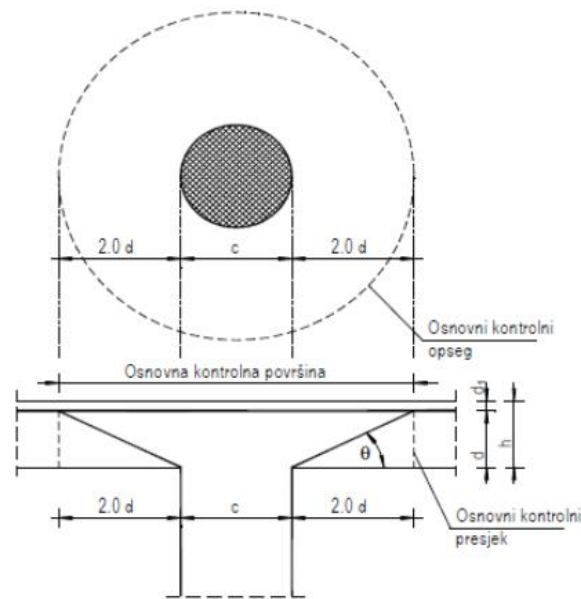
$$\rho_{w,\min} = 0,001$$

Maksimalni razmak spona:

$$s \leq \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{w,\min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot A_{sw}}{0,00100 \cdot 50} = \frac{2 \cdot 0,5}{0,00100 \cdot 50} = 20,0 \text{ cm}$$

**Odabrane spona: Ø10/20cm**

## 12.3.4 Proračun stupa na proboj ploče



Slika 12.12. Proboj stupa kroz ploča

Uvjet nosivosti ploče na proboj:  $U_{Ed} \leq Vcd_{Rd,max}$

Ako je gornji uvjet nosivosti na proboj zadovoljen, potrebno je kontrolirati je li ugrađena armatura zadovoljava ili je potrebno ploču dodatno armirati na proboj.

Armatura za osiguravanje od proboj neće biti potrebna ako je zadovoljen uvjet

$$U_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \geq \left[ v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right]$$

$$U_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d}$$

gdje je:

$\beta$  – korekcijski faktor kojim se uzima u obzir ekscentrično djelovanje sile proboja u odnosu na kritični presjek

$\beta = 1,15$  za unutrašnje stupove

$\beta = 1,4$  za stupove na rubu i stupove uz otvore

$\beta = 1,5$  za stupove u kutu

$V_{Ed}$  – maksimalna poprečna sila u kritičnom opsegu ( $V_{Ed} = 126,93\text{kN}$ )

$u_i$  – osnovni kontrolni opseg

$d$  – statička visina ploče ( $d = 17\text{cm}$ )

$$u_i = (2 \cdot 2d + c) \cdot \pi = (2 \cdot 2 \cdot 17 + 50) \cdot \pi = 370,71\text{cm}$$

$$v_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{126,93}{370,71 \cdot 17} = 0,023 \text{ kN/cm}^2 = 0,23\text{MPa}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 2 = 0,4224$$

$$v_{Ed} = 0,23\text{MPa} < V_{Rd,max} = 4,22 \text{ MPa}$$

Uvjet nosivost ploče na proboj je zadovoljen. Potrebno je provjeriti je li ploču treba dodatno armirati ili je odabrana poprečna armatura dostatna.

Armatura za osiguranje od proboja nije potrebna ukoliko je zadovoljen uvjet:

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1,67 < 2,0 \rightarrow k = 1,67$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,y}}$$

$$\rho_{l,x} = \rho_{l,y} = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{10,99 + 16,49}{2500} = 0,011$$

$$\rho_l = \sqrt{0,011^2} = 0,011$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,011 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,64\text{MPa}$$

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}]$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,67^{\frac{3}{2}} \cdot 30,0^{\frac{1}{2}} = 0,414$$

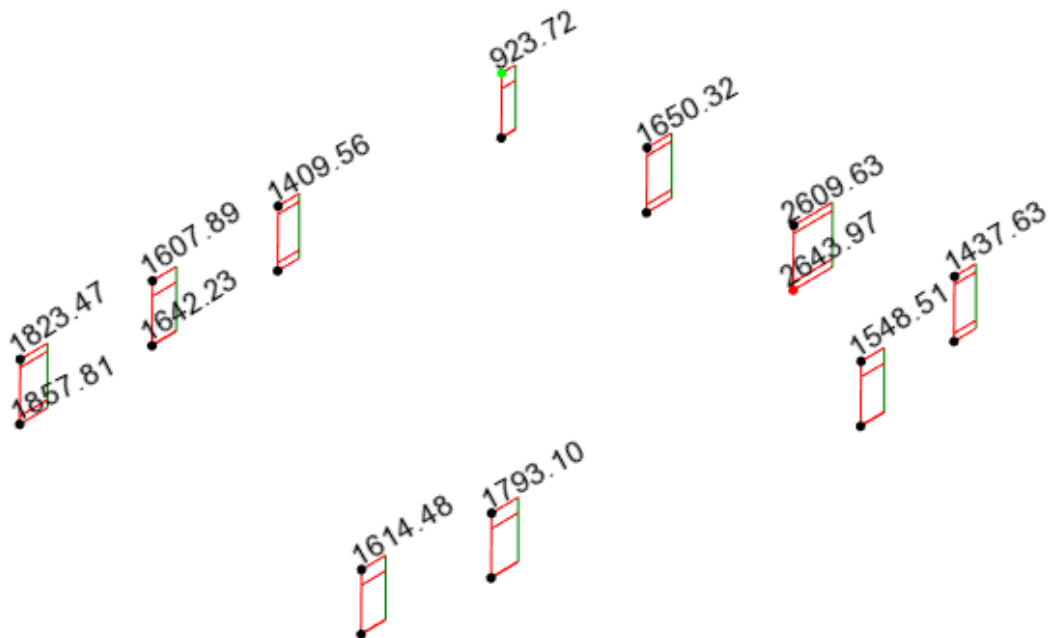
$$V_{Rd,c} \geq 0,414 < 0,64\text{MPa} \rightarrow V_{Rd,c} = 0,64\text{MPa}$$

$$v_{Ed} = 0,23\text{MPa} < V_{Rd,c} = 0,64\text{MPa}$$

→ nije potrebna armatura za osiguranje od proboja

### 12.3.5 Kontrolna naprezanja u stupu za GSU

Naprezanja u betonu za kombinaciju opterećenja za granično stanje uporabljivosti ograničavamo na vrijednost:  $\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck}$



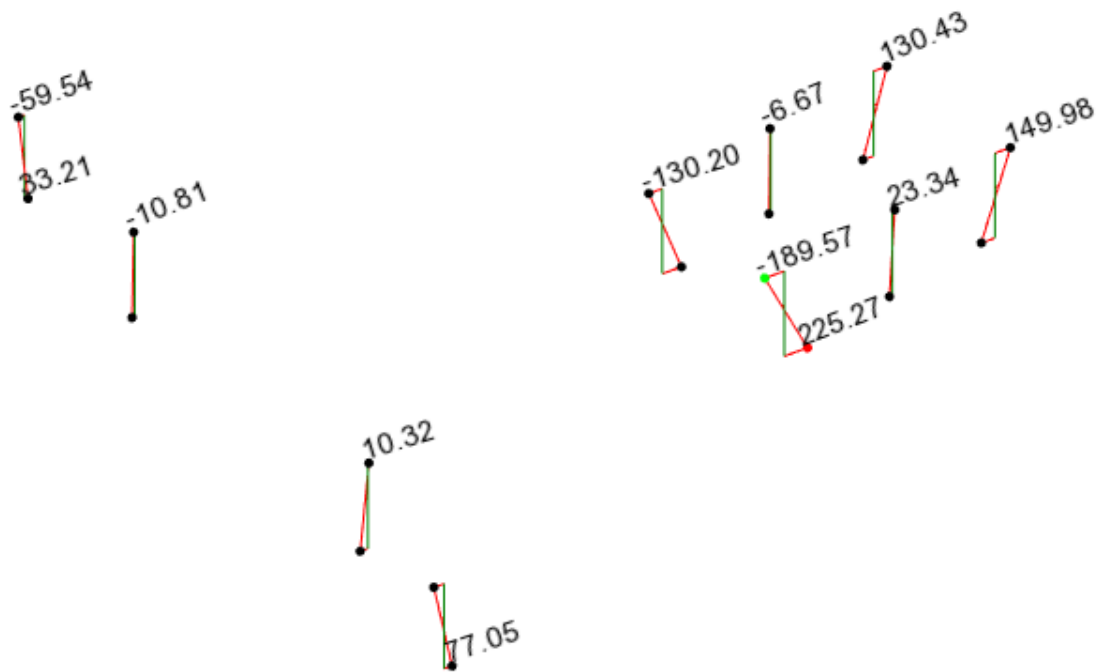
Slika 12.13. Uzdužna sila za GSU

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed,max}}{A_c} = \frac{2643,97}{2500} = 1,06 \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

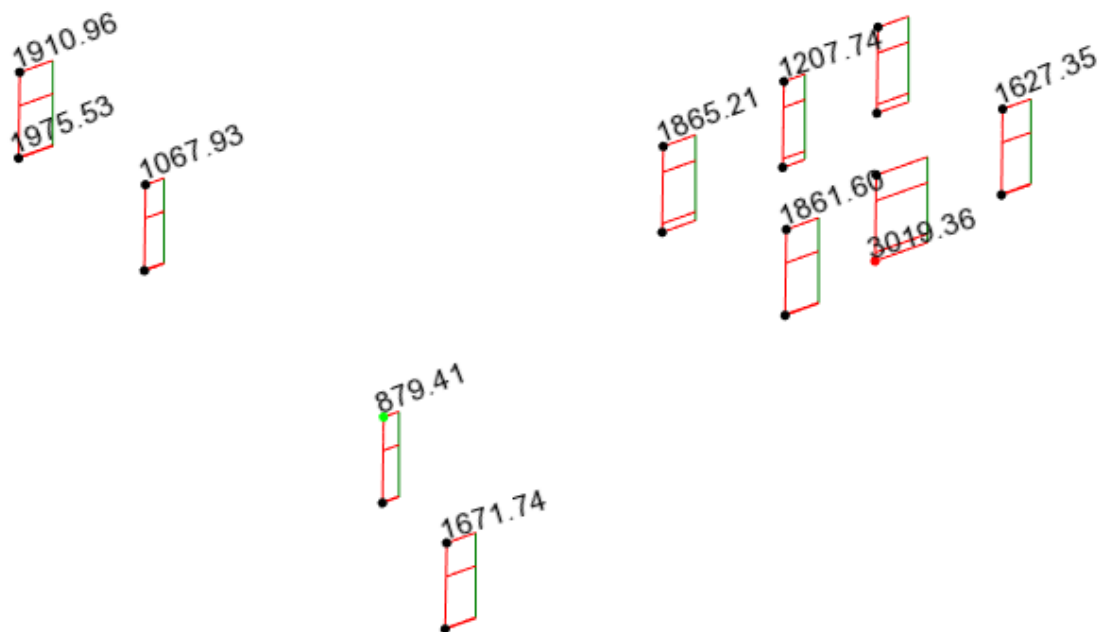
## 12.4 Proračun stupova pozicije S3 (stupovi u prizemlju)

### 12.4.1 Rezne sile

#### - Uobičajna kombinacija



Slika 12.14. Moment savijanja

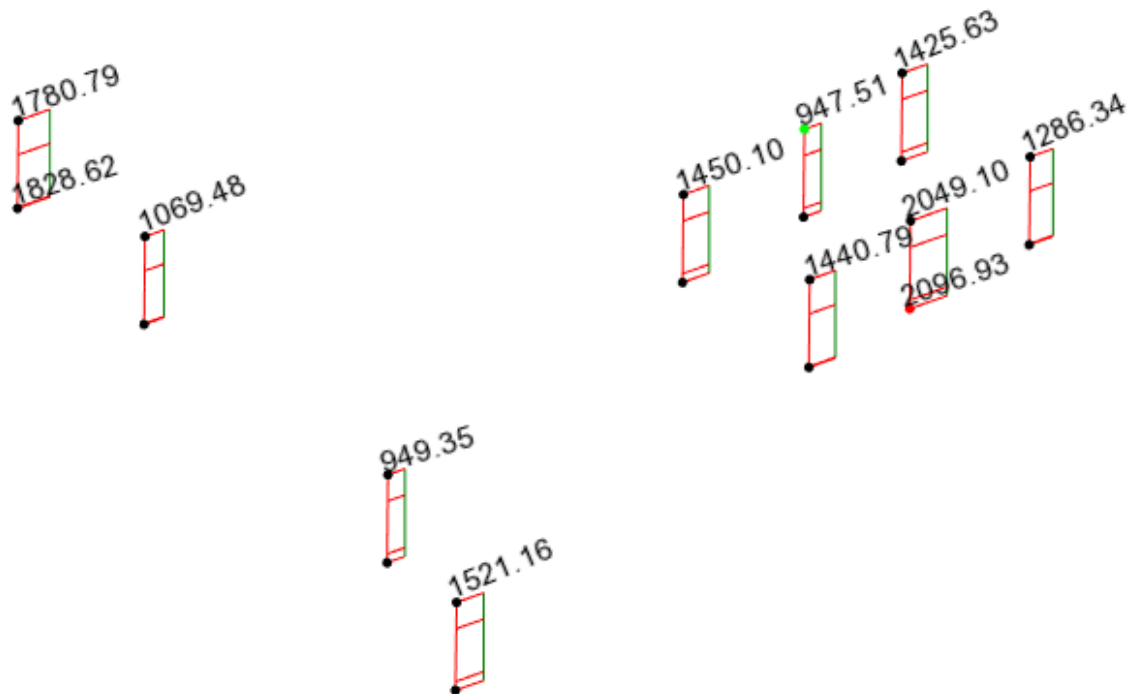


Slika 12.15. Uzdužne sile

- Izvanredna kombinacija



Slika 12.16. Moment savijanja



Slika 12.17. Uzdužne sile

## 12.4.2 Dimenzioniranje stupova na moment savijanja i uzdužnu silu

$$C30/37 \rightarrow E = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 32GPa$$

$$E_\varphi = \frac{E}{1 + \varphi} = \frac{3200}{1 + 2,4} = 9411,76Mpa$$

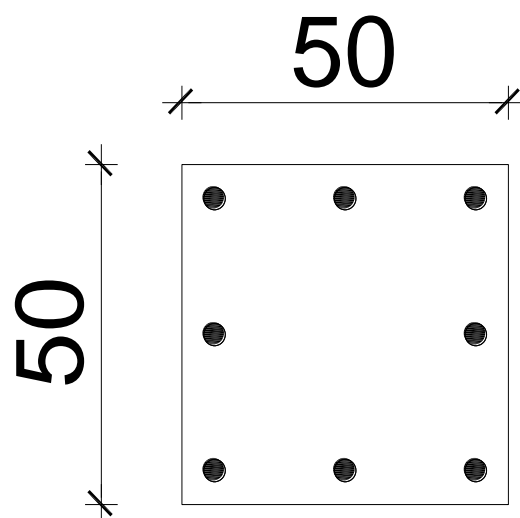
$$I = \frac{a^4}{12} = \frac{0,5^4}{12} = 0,0052$$

$$l_i = 1,4 \cdot 3,9 = 5,46m$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\varphi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{9411,76 \cdot 0,0052 \cdot 1000}{5,46^2} = 16202,75kN$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N}{N_e}}$$

Uobičajna kombinacija	N	M <sub>očitano</sub>	ψ	M <sub>računski</sub>
	(kN)	(kNm)		
N <sub>max</sub> M <sub>prp</sub>	-3019,36	23,34	1,23	28,71
N <sub>prp</sub> M <sub>max</sub>	-1861,3	225,87	1,13	255,23
Izvanredna kombinacija	N	M <sub>očitano</sub>	ψ	M <sub>računski</sub>
	(kN)	(kNm)		
N <sub>max</sub> M <sub>prp</sub>	-2096,93	2,1	1,15	2,42
N <sub>prp</sub> M <sub>max</sub>	-1440,79	149,61	1,10	164,57

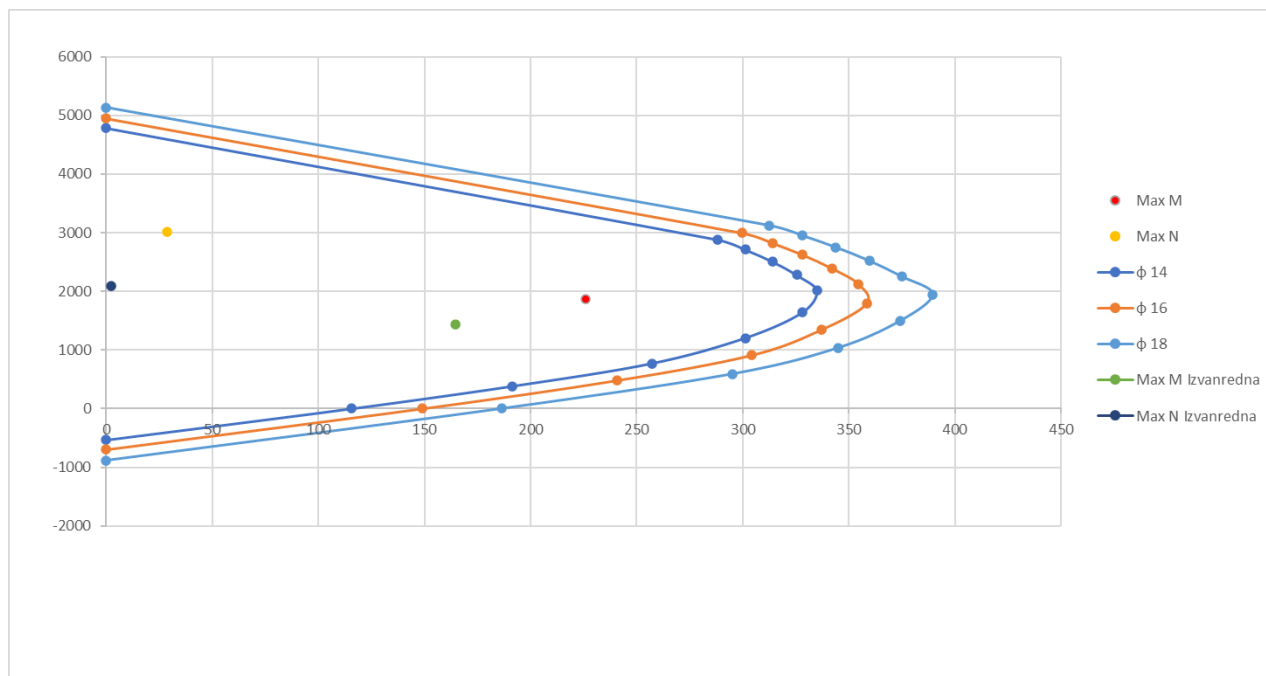


Slika 12.18. Poprečni presjek stupa



Ø14		Ø16		Ø18	
M	N	M	N	M	N
0	-535,44	0	-699,35	0	-885,11
115,55	0	149	0	186,34	0
191,17	382,33	240,68	481,35	294,9	589,79
257,05	771,16	304,36	913,09	344,89	1034,66
301,13	1204,53	337,24	1348,95	374,29	1497,16
328,18	1640,89	358,38	1791,9	389,57	1947,84
335,04	2010,22	354,55	2127,31	375,05	2250,29
325,49	2278,44	342	2394	359,72	2518,05
313,91	2511,3	328,11	2625,72	343,83	2750,64
301,22	2710,96	313,91	2825,16	327,93	2951,34
288,115	2881,5	299,59	2995,94	312,38	3123,77
0	4785,4	0	4949,34	0	5135,11

Talica 12.3. Prikaz vrijednosti za dijagram nosivosti stupova



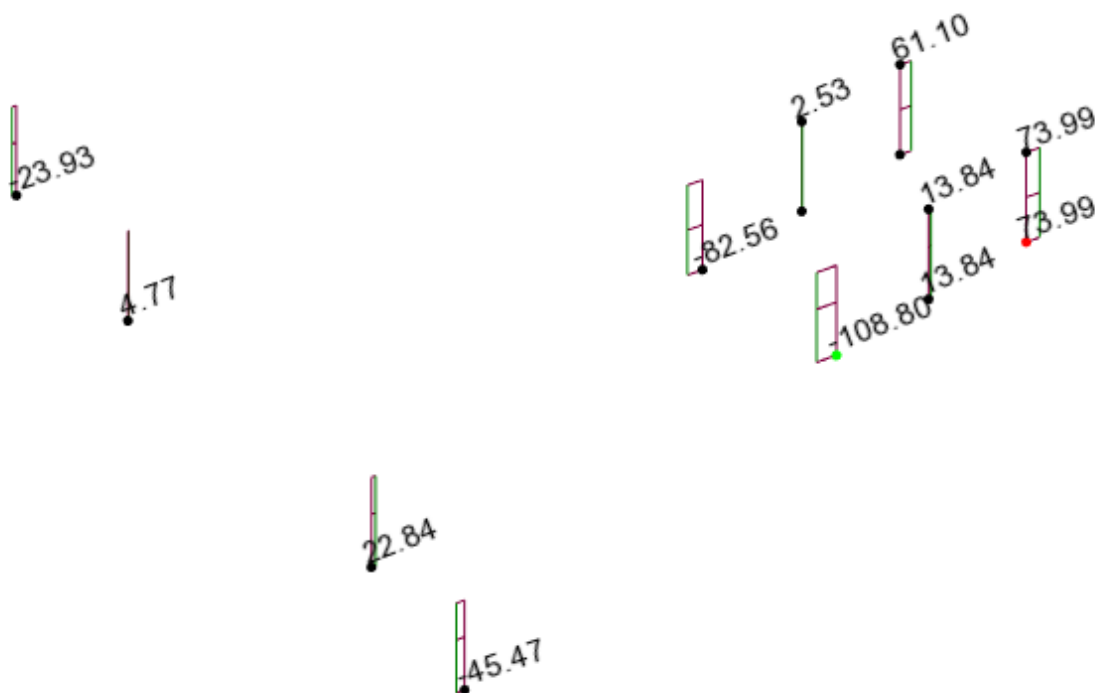
Slika 12.19. Dijagram nosivosti stupova

Odabrana armatura stupova pozicije S3 u prizemlju: 8Ø14 (12,32cm<sup>2</sup>)

$$A_{s,min} = 0,1\% \cdot A_c = 0,1\% \cdot 50 \cdot 50 = 2,5\text{cm}^2$$

$$A_{s,max} = 2,0\% \cdot A_c = 2,0\% \cdot 50 \cdot 50 = 50,0\text{cm}^2$$

## 12.3.3 Dimenzioniranje na poprečnu silu



Slika 12.20. Poprečne sile

Beton: C 30/37  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$  ;  $f_{cd} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$

Armatura: B 500 B  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,5} = 333,33 \text{ MPa}$  ;  $f_{yd} = 33,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Računska poprečna sila:  $V_{Ed, \max} = 108,8 \text{ kN}$

$$\sum A_s = 12,32 \text{ cm}^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{12,32}{50 \cdot 45} = 0,0055$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1,67 < 2,0 \rightarrow k = 1,67$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$C_{Rdc} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,009 \cdot 30,0)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0,0 \right] \cdot 450 \cdot 500 = 135,27 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0,15$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,67^{\frac{3}{2}} \cdot 30,0^{\frac{1}{2}} = 0,414$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$V_{Rd,c} \geq 0,414 \cdot 450 \cdot 500$$

$$V_{Rd,c} \geq 93086 \text{ N} = 93,09 \text{ kN}$$

Maksimalna poprečna sila koju se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 500 \cdot 450 \cdot 20,0 = 1188000 \text{ N} = 1188,0 \text{ kN} > V_{Ed,max}$$

$$V_{Ed,max} = 108,80 \text{ kN} < V_{Rd,c}$$

Nije potreban proračun poprečne armature, usvojiti ćemo minimalnu poprečnu armaturu.

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30,0 \text{ cm}\} = \min\{0,75 \cdot 45 = 33,75 ; 30,0 \text{ cm}\} \rightarrow s_{max} = 30,0 \text{ cm}$$

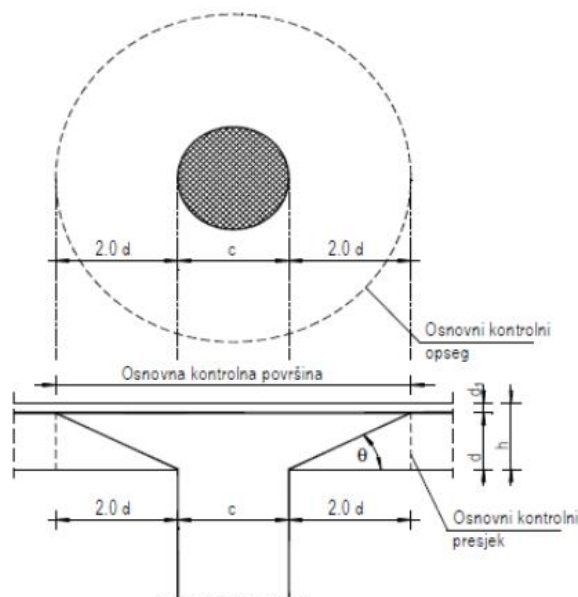
$$\rho_{w,min} = 0,001$$

Maksimalni razmak spona:

$$s \leq \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot A_{sw}}{0,00100 \cdot 50} = \frac{2 \cdot 0,5}{0,00100 \cdot 50} = 20,0 \text{ cm}$$

**Odabrane spona: Ø10/20cm**

## 12.3.4 Proračun stupa na proboj ploče



Slika 12.21. Proboj stupa kroz ploča

Uvjet nosivosti ploče na proboj:  $U_{Ed} \leq Vcd_{Rd,max}$

Ako je gornji uvjet nosivosti na proboj zadovoljen, potrebno je kontrolirati je li ugrađena armatura zadovoljava ili je potrebno ploču dodatno armirati na proboj.

Armatura za osiguravanje od proboj neće biti potrebna ako je zadovoljen uvjet

$$U_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \geq \left[ v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right]$$

$$U_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_l \cdot d}$$

gdje je:

$\beta$  – korekcijski faktor kojim se uzima u obzir ekscentrično djelovanje sile proboja u odnosu na kritični presjek

$\beta = 1,15$  za unutrašnje stupove

$\beta = 1,4$  za stupove na rubu i stupove uz otvore

$\beta = 1,5$  za stupove u kutu

$V_{Ed}$  – maksimalna poprečna sila u kritičnom opsegu ( $V_{Ed} = 108,80\text{kN}$ )

$u_i$  – osnovni kontrolni opseg

$d$  – statička visina ploče ( $d = 12\text{cm}$ )

$$u_i = (2 \cdot 2d + c) \cdot \pi = (2 \cdot 2 \cdot 12 + 50) \cdot \pi = 307,88\text{cm}$$

$$v_{Ed} = 1,5 \cdot \frac{108,80}{307,88 \cdot 12} = 0,044 \text{ kN/cm}^2 = 0,44\text{MPa}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[ 1,0 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 2 = 0,4224$$

$$v_{Ed} = 0,44\text{MPa} < V_{Rd,max} = 4,22 \text{ MPa}$$

Uvjet nosivost ploče na proboj je zadovoljen. Potrebno je provjeriti je li ploču treba dodatno armirati ili je odabrana poprečna armatura dostatna.

Armatura za osiguranje od proboja nije potrebna ukoliko je zadovoljen uvjet:

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1,67 < 2,0 \rightarrow k = 1,67$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,y}}$$

$$\rho_{l,x} = \rho_{l,y} = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{3,85 + 7,85}{2500} = 0,005$$

$$\rho_l = \sqrt{0,005^2} = 0,005$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,005 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,49\text{MPa}$$

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}]$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,67^{\frac{3}{2}} \cdot 30,0^{\frac{1}{2}} = 0,414$$

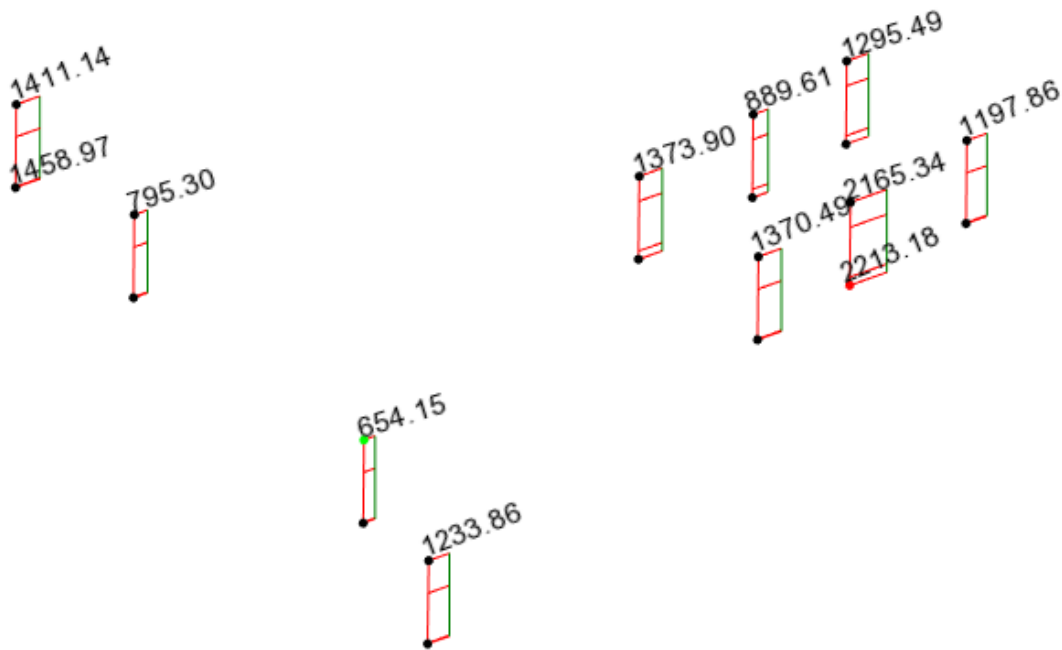
$$V_{Rd,c} \geq 0,414 < 0,49\text{MPa} \rightarrow V_{Rd,c} = 0,49\text{MPa}$$

$$v_{Ed} = 0,44\text{MPa} < V_{Rd,c} = 0,49\text{MPa}$$

→ nije potrebna armatura za osiguranje od proboja

### 12.3.5 Kontrolna naprezanja u stupu za GSU

Naprezanja u betonu za kombinaciju opterećenja za granično stanje uporabljivosti ograničavamo na vrijednost:  $\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck}$



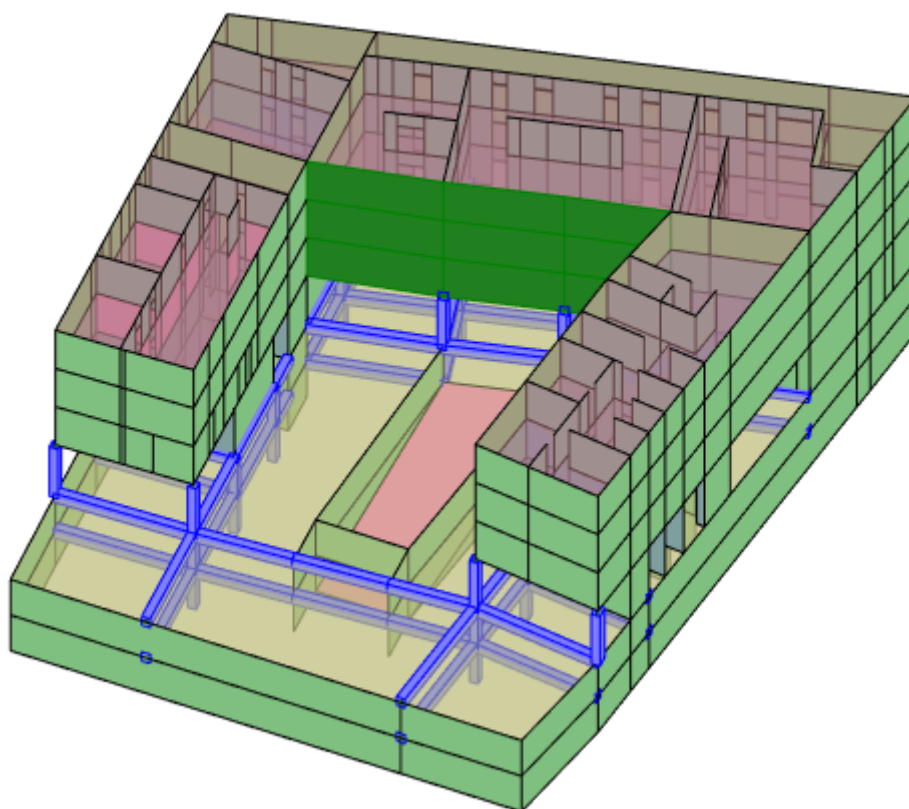
Slika 12.22. Uzdužna sila za GSU

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed,max}}{A_c} = \frac{2213,18}{2500} = 0,89 \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 1,35\text{kN/cm}^2$$

### 13. PRORAČUN ZIDOVA

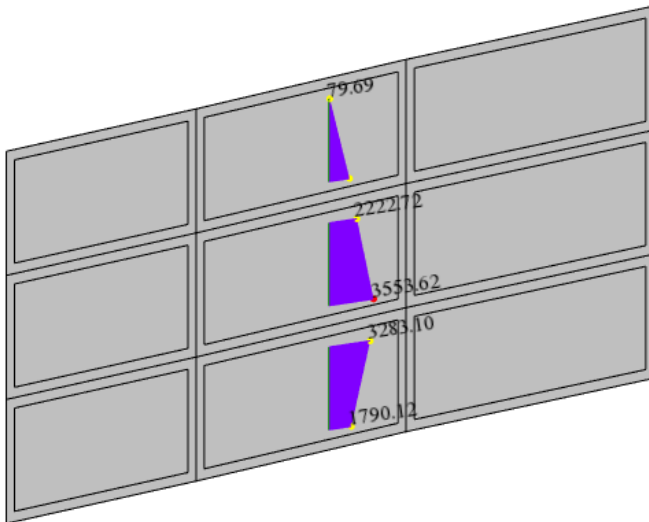
Proračun zidova je proveden po Eurocodu 8. Proračun provodimo za 2 karakteristična smjera, jedan u x smjeru, a drugi u y smjeru. Odabrani zidovi su vanjski zidovi konstrukcije. Njihova debljina je 30cm. Izvedeni su iz betona klase C30/37, a armirani armaturom B500B. Proračun je proveden za uobičajne i seizmičke kombinacije te su iz modela izvedeni M, N i V dijagrami.

#### 13.1 Proračun zida u x smjeru

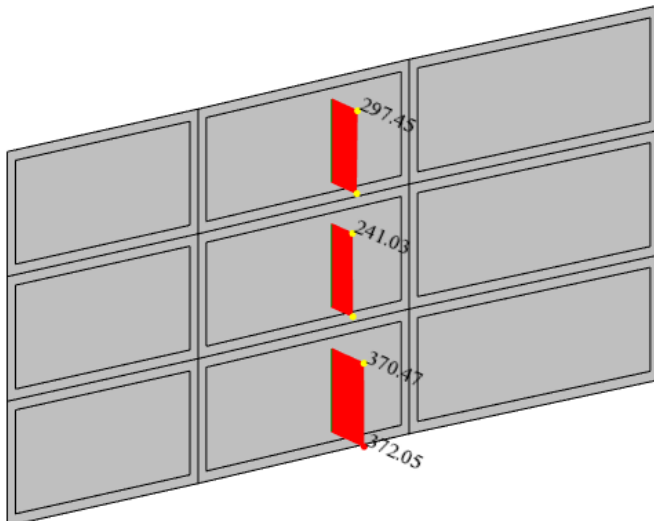


Slika 13.1. Proračun zida u x smjeru

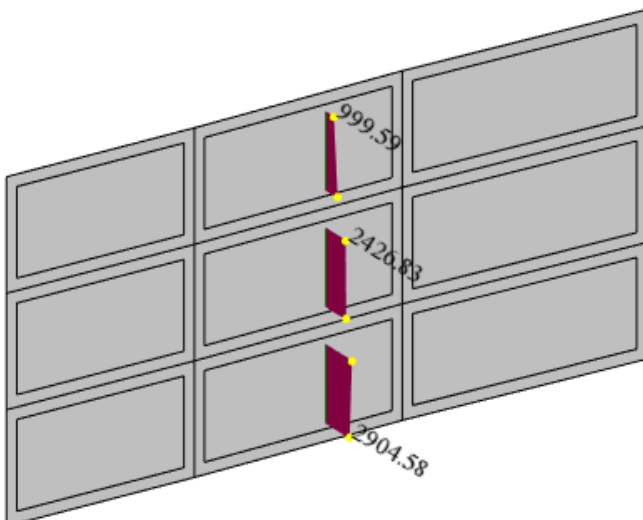
Uobičajna kombinacija:



Slika 13.2. M



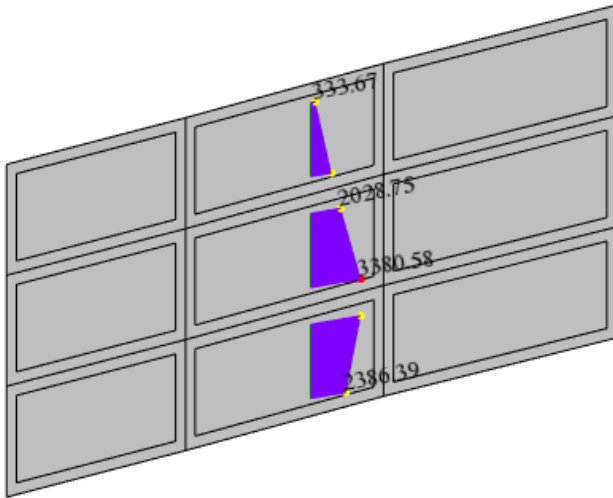
Slika 13.3. V



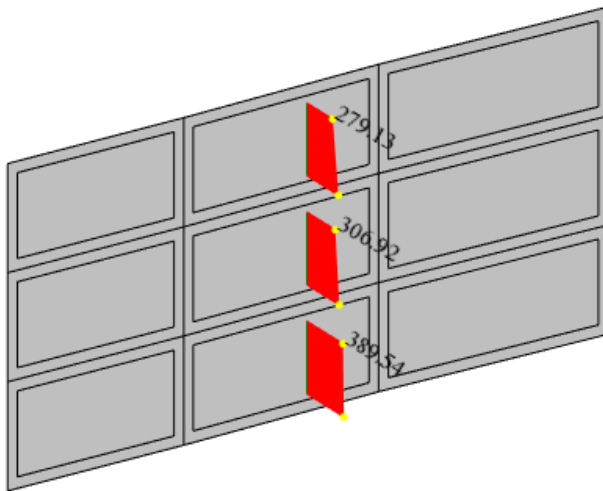
Slika 13.4. N



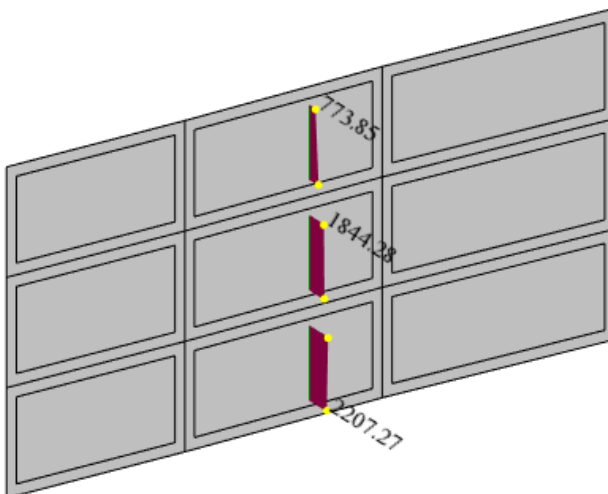
Izvanredna kombinacija:



Slika 13.5. M



Slika 13.6. V



Slika 13.7. N

Proračun seizmičkog zida

Geometrijske karakteristike zida:

$h_s$  - visina etaže  $\rightarrow h_s = 300$  cm

$b_w$  - debljina zida  $\rightarrow b_w = 30$  cm

$l_w$  - duljina zida  $\rightarrow l_w = 1995$  cm

$h_w$  - visina zida  $\rightarrow h_w = 900$  cm

$n$  - broj etaža  $\rightarrow n = 3$

$d_1 = 3$  cm

$d = 1989$  cm

Duktilnost: DCM- srednja duktilnost (vitki zidovi  $(h_s/l_w) > 2$ )

Faktor ponašanja  $q = 3,0$

Dužina rubnog serklaža:  $I_{co} > \{0,15l_w; 1,5b_w\} = \{299; 45\} \rightarrow 300$  cm

Uvjet za debljinu zida:  $b_{wo} \geq \min\left\{0,15l_w; \frac{h_s}{20}\right\} \rightarrow 15$  cm

Vitkost zida:  $\frac{h_w}{l_w} = 0,451 < 2 \rightarrow$  zid nije vitak

Visina kritične zone:  $h_{cr} = \max\left\{l_w; \frac{h_w}{6}\right\} \rightarrow 1995$  cm

Proračun nosivosti na uzdužnu silu i moment

$$M_{Ed} = 3553,62 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 2904,58 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 370,47 \text{ kN}$$

$$b = 30 \text{ cm} ; d = 1989 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) = 3553,62 + 2904,58 \cdot \left(19,89 - \frac{9,0}{2}\right) = 48255,11 \text{ kNm}$$

Moment nosivosti jednostruko armiranog presjeka:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 30 \cdot 1989^2 \cdot 2,0 = 377413,94 \text{ kNm/m} > M_{Ed}$$

Potrebna površina uzdužne vlačne armature:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{48255,11 \cdot 100}{30 \cdot 1989^2 \cdot 2,0} = 0,020$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}; \varepsilon_{c2} = 0,8\text{‰}; \xi = 0,074; \zeta = 0,974$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{48255,11 \cdot 100}{0,974 \cdot 1989 \cdot 43,48} - \frac{2094,58}{43,48} = 9,11 \text{ cm}^2$$

Potrebna minimalna površina uzdužne vlačne armature u rubovima zida:

$$A_{s1,min} = 0,15\% \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 30 \cdot 1989 = 89,51 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura 20Ø25 (98,2 cm<sup>2</sup>)**

Proračun nosivosti na poprečnu silu

$$V'_{Ed} = \varepsilon \cdot V_{Ed,i}$$

$\varepsilon \rightarrow$  korekcijski koeficijent

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} + 0,1 \cdot \left(\frac{s_e(T_c)}{s_e(T_1)}\right)^2} \leq q$$

Kako gornji izraz mora biti manji od q zbog jednostavnosti uzimamo  $\varepsilon = q = 3,0$

$$V'_{Ed} = 3,0 \cdot 370,47 = 1111,41 \text{ kN}$$

$$C 30/37 \quad f_{ck}=30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Lom tlačne dijagonale u zidu

$$V_{Ed} \leq V_{Rd2}$$

$$V_{Rd2} = \begin{cases} 0,4 \cdot \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z & \rightarrow \text{u kritičnoj zoni} \\ 0,5 \cdot \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z & \rightarrow \text{van kritične zone} \end{cases}$$

$$V_{Rd2} = \begin{cases} 0,4 \cdot (0,7 - 2,0/200) \cdot 2,0 \cdot 30 \cdot 0,9 \cdot 1989 = 29644,06 \text{ kN} \\ 0,5 \cdot (0,7 - 2,0/200) \cdot 2,0 \cdot 30 \cdot 0,9 \cdot 1989 = 37055,07 \text{ kN} \end{cases}$$

$$V_{Ed} = 1111,41 \text{ kN} \leq V_{Rd2} (29644,06; 37055,07) \text{ kN}$$

Zid zadovoljava na slom tlačne dijagonale.

Lom vlačne dijagonale u zidu

$$V_{Ed} \leq V_{Rd3}$$

Ovisno o koeficijentu smicanja.

Postupak ovisi o koeficijentu  $\alpha_s$ :

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} \cdot l_w} = \frac{3553,62}{1111,41 \cdot 19,95} = 0,160$$

Primjenjuje se slijedeći postupak:

Ako je  $\alpha_s \leq 1,3$  koristi se izraz (i za vertikalnu i horizontalnu armaturu):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd3} = [\rho_h \cdot f_{ywd} \cdot (\alpha_s - 0,3) + \rho_v \cdot f_{ywd} \cdot (1,3 - \alpha_s)] \cdot b_w \cdot z + V_{cd}$$

Nosivost betona

Ako je  $N_{Ed}$  vlačna:

$V_{cd}=0$  u kritičnom području

$V_{cd}$  prema izrazu za poprečnu silu van kritičnog područja

Ako je  $N_{Ed}$  tlačna:

$V_{cd} = \tau_{Rd} \cdot (1,2 + 40\rho_v) \cdot b_w \cdot z$  u kritičnom području

$V_{cd}$  prema izrazu za poprečnu silu van kritičnog područja

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,15\% \cdot d \cdot 100$$

$$\text{Zid debljine 30 cm : } A_{s,min} = 0,0015 \cdot 30 \cdot 100 = 4,5\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-503 obostrano (Ø10/15 cm – vilice)**

Koeficijent armiranja vertikalnom i horizontalnom armaturom:

$$\rho_v = \rho_h = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{10,06}{30 \cdot 100} = 0,00335$$

$$V_{wd} = \rho_v \cdot f_{yw,d} \cdot b \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{wd} = 0,00335 \cdot 43,48 \cdot 30 \cdot 0,9 \cdot 1989 = 8172,53 \text{ kN}$$

Nosivost betona i odabrane uzdužne armature:

$$V_{cd} = \tau_{rd} \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_v) \cdot b \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{cd} = 0,34 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,00335) \cdot 30 \cdot 0,9 \cdot 1989 = 24357,53 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost vlačnih dijagonala hrpta:

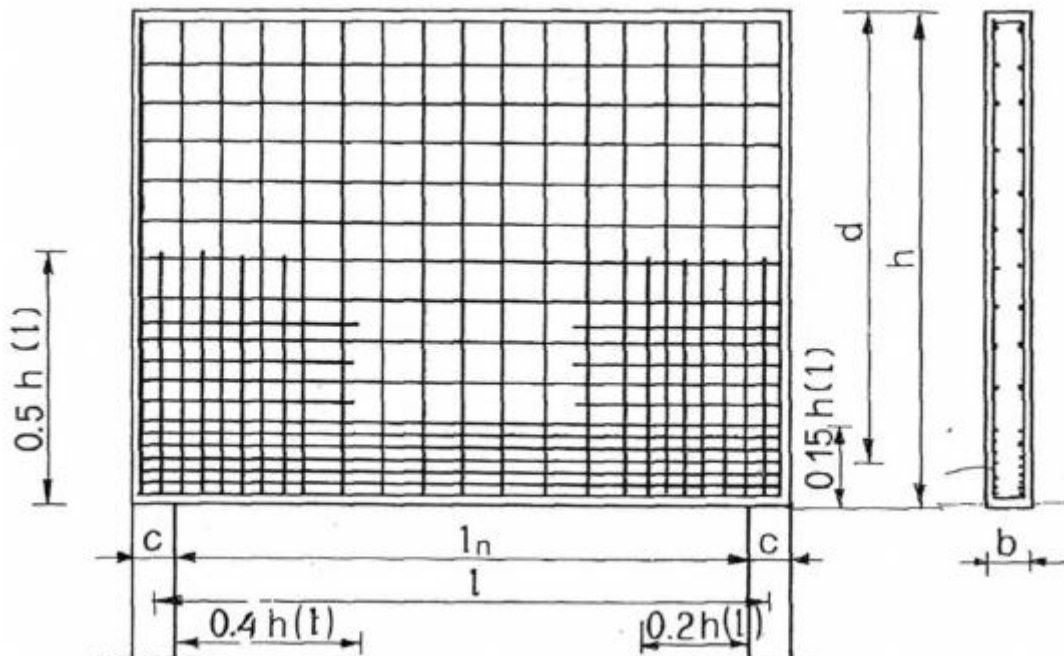
$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 24357,53 + 8172,53 = 32530,06 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1111,41 \text{ kN} < V_{Rd3} = 32530,06 \text{ kN}$$

-Zid zadovoljava na slom vlačne dijagonale.

### 13.2 Proračun visokostijenog nosača

Promatrani zid je u svojoj donjoj 1/3 visine ujedno i visokostijeni nosač. Stoga je zid potrebno dodatno armirati u uzdužnom i poprečnom smjeru.



Slika 13.8. Armiranje visokostijenog nosača

#### Glavna uzdužna armatura

Minimalna uzdužna armatura:

$$A_{s,min} = 0,15\% \cdot b \cdot h = 0,15\% \cdot 30 \cdot 300 = 13,5 \text{ cm}^2$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3553,62 \cdot 100}{30 \cdot 660^2 \cdot 2,0} = 0,014$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}; \varepsilon_{c2} = 0,7\text{‰}; \xi = 0,065; \zeta = 0,977$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3553,62 \cdot 100}{0,987 \cdot 660 \cdot 43,48} = 12,54 \text{ cm}^2$$

Glavnu uzdužnu armaturu postavljamo na visinu od  $0,15h$

**Odabrana uzdužna armatura:  $10\emptyset 14/45\text{cm}(15,39\text{cm}^2)$**

**Glavna poprečna armatura**

$$\frac{h}{l} = \frac{300}{1995} = 0,15 > 100 \rightarrow A_{s,min} = 0,15 \cdot h \cdot b \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$$

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot 300 \cdot 30 \cdot \frac{2,9}{50} = 8,70\text{cm}^2$$

**Odabrana poprečna armatura:  $Q - 503 \text{ obostano } (10,06\text{cm}^2)$**

Ograničenje poprečne sile zidnog nosača:

$$V_{Sdmax} = 0,1 \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 0,1 \cdot 30 \cdot 300 \cdot 0,85 \cdot 2,0 = 1530\text{kN}$$

$$V_{Ed} = 370,47 \text{ kN}$$

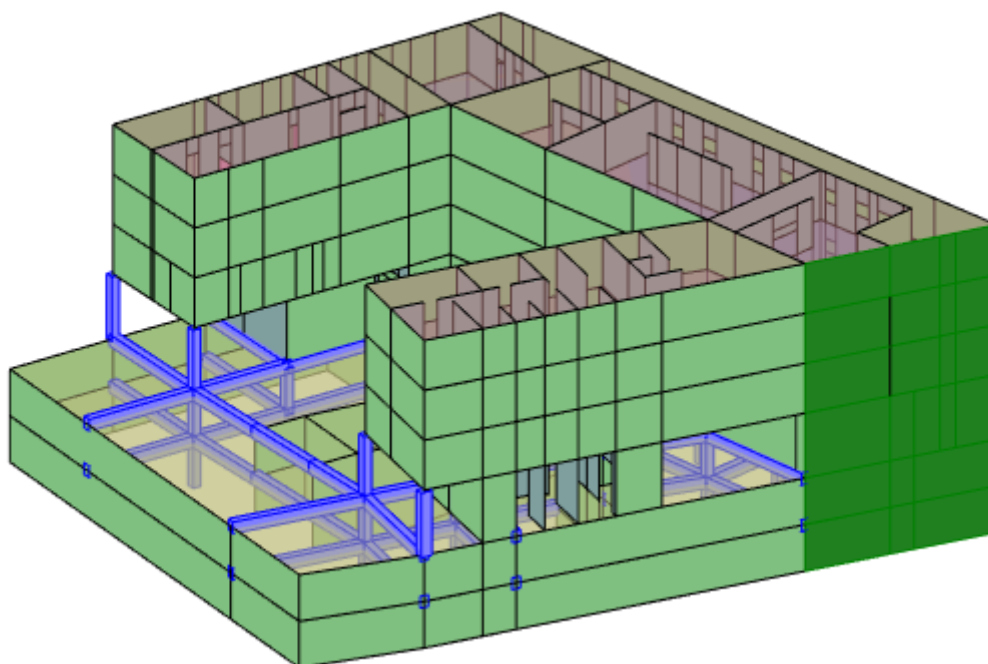
$$A_{sv} = \frac{V_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{370,47}{43,48} = 8,52\text{cm}^2$$

**Odabrana armatura:  $8\emptyset 14(12,32\text{cm}^2)$**

$$A_{sh} = 0,8 \cdot \frac{V_{Ed}}{f_{yd}} = 0,8 \cdot \frac{370,47}{43,48} = 6,81\text{cm}^2$$

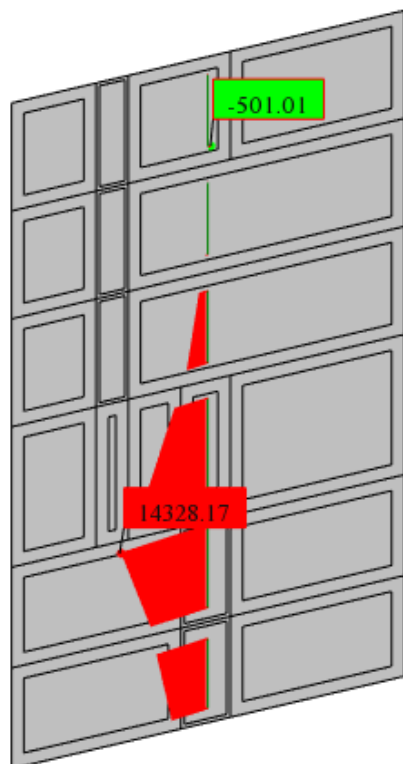
**Odabrana armatura:  $6\emptyset 14(9,24\text{cm}^2)$**

### 13.3 Proračun zida u y smjeru

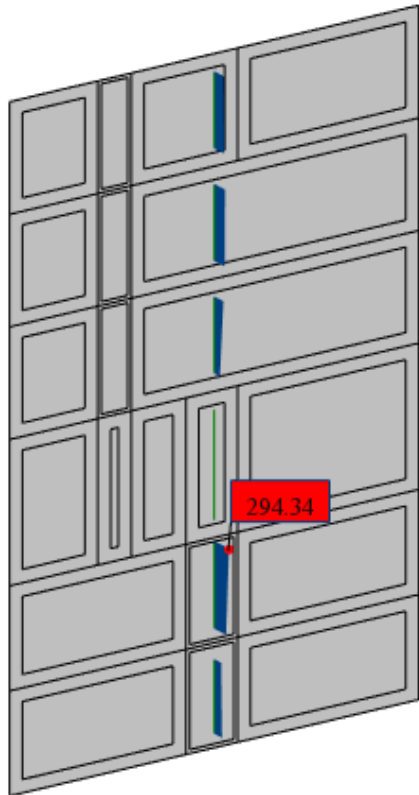


Slika 13.9. Proračun zida u y smjeru

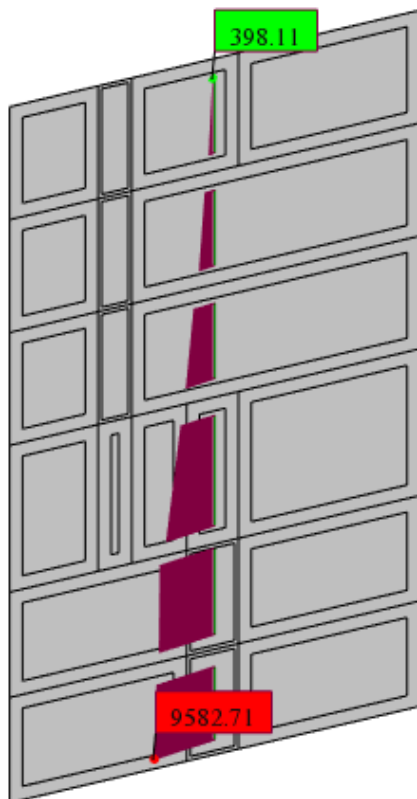
Uobičajna kombinacija:



Slika 13.10. *M*



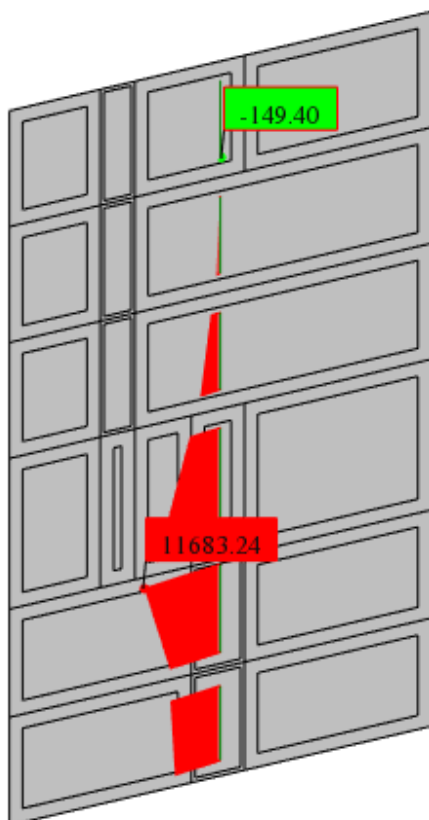
Slika 13.11. V



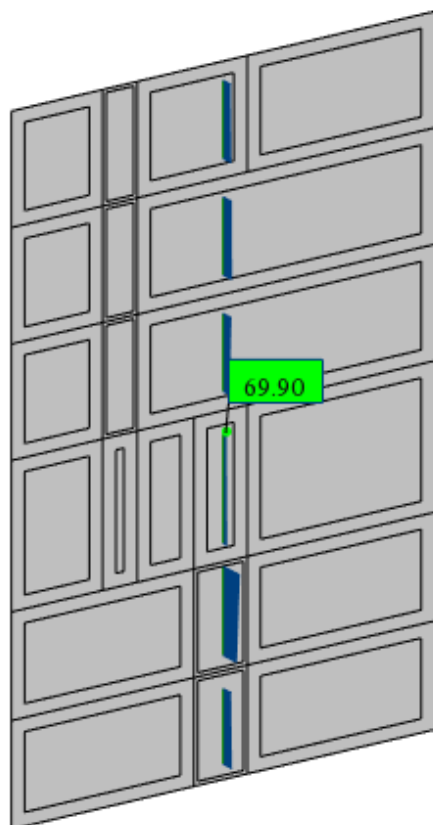
Slika 13.12. N



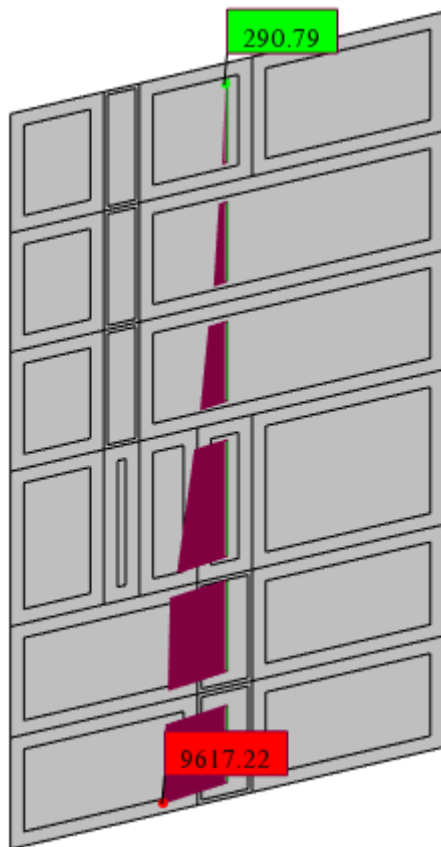
Izvanredna kombinacija:



Slika 13.14. M



Slika 13.15. V



Slika 13.16. N

### Proračun seizmičkog zida

Geometrijske karakteristike zida:

$h_s$  - visina etaže  $\rightarrow h_s = 300; 390$  cm

$b_w$  - debljina zida  $\rightarrow b_w = 30$  cm

$l_w$  - duljina zida  $\rightarrow l_w = 1146$  cm

$h_w$  - visina zida  $\rightarrow h_w = 1290$  cm

$n$  - broj etaža  $\rightarrow n = 4$

$d_1 = 3$  cm

$d = 1140$  cm

Duktilnost: DCM- srednja duktilnost (vitki zidovi  $(h_s/l_w) > 2$ )

Faktor ponašanja  $q = 3,0$

Dužina rubnog serklaža:  $I_{co} > \{0,15l_w; 1,5b_w\} = \{171,9; 45\} \rightarrow 175$  cm

Uvjet za debljinu zida:  $b_{wo} \geq \min \left\{ 0,15l_w; \frac{h_s}{20} \right\} \rightarrow 15$  cm

Vitkost zida :  $\frac{h_w}{l_w} = 1,126 < 2 \rightarrow$  zid nije vitak

Visina kritične zone:  $h_{cr} = \max \left\{ l_w; \frac{h_w}{6} \right\} \rightarrow 1146 \text{ cm}$

#### Proračun nosivosti na uzdužnu silu i moment

$$M_{Ed} = 14328,17 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 9582,71 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 294,34 \text{ kN}$$

$$b = 30 \text{ cm} ; d = 1140 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right) = 14328,17 + 9582,71 \cdot \left( 11,4 - \frac{9,0}{2} \right) = 80445,87 \text{ kNm}$$

Moment nosivosti jednostruko armiranog presjeka:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 30 \cdot 1140^2 \cdot 2,0 = 123981,84 \text{ kNm/m} > M_{Ed}$$

Potrebna površina uzdužne vlačne armature:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{80445,87 \cdot 100}{30 \cdot 1140^2 \cdot 2,0} = 0,103$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}; \varepsilon_{c2} = 2,3\text{‰}; \xi = 0,187; \zeta = 0,928$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{80445,87 \cdot 100}{0,971 \cdot 1140 \cdot 43,48} - \frac{9582,71}{43,48} = -53,25 \text{ cm}^2$$

Potrebna minimalna površina uzdužne vlačne armature u rubovima zida:

$$A_{s1,min} = 0,15\% \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 30 \cdot 1140 = 51,13 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura 12Ø25 (58,90 cm<sup>2</sup>)**

#### Proračun nosivosti na poprečnu silu

$$V'_{Ed} = \varepsilon \cdot V_{Ed,i}$$

$\varepsilon \rightarrow$  korekcijski koeficijent

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} + 0,1 \cdot \left( \frac{s_e(T_c)}{s_e(T_1)} \right)^2} \leq q$$

Kako gornji izraz mora biti manji od  $q$  zbog jednostavnosti uzimamo  $\varepsilon = q = 3,0$

$$V'_{Ed} = 3,0 \cdot 294,34 = 883,02 \text{ kN}$$

C 30/37  $f_{ck}=30$  MPa

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

#### Lom tlačne dijagonale u zidu

$$V_{Ed} \leq V_{Rd2}$$

$$V_{Rd2} = \begin{cases} 0,4 \cdot \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z & \rightarrow \text{u kritičnoj zoni} \\ 0,5 \cdot \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{200}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z & \rightarrow \text{van kritične zone} \end{cases}$$

$$V_{Rd2} = \begin{cases} 0,4 \cdot (0,7 - 2,0/200) \cdot 2,0 \cdot 30 \cdot 0,9 \cdot 1140 = 16990,56 \text{ kN} \\ 0,5 \cdot (0,7 - 2,0/200) \cdot 2,0 \cdot 30 \cdot 0,9 \cdot 1140 = 21238,2 \text{ kN} \end{cases}$$

$$V_{Ed} = 883,02 \text{ kN} \leq V_{Rd2}(16990,56; 21238,2) \text{ kN}$$

Zid zadovoljava na slom tlačne dijagonale.

#### Lom vlačne dijagonale u zidu

$$V_{Ed} \leq V_{Rd3}$$

Ovisno o koeficijentu smicanja.

Postupak ovisi o koeficijentu  $\alpha_s$ :

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} \cdot l_w} = \frac{14328,17}{883,02 \cdot 11,40} = 1,42$$

$\alpha_s < 2 \rightarrow$  Primjenjuje se sljedeći postupak:

$$V_{Rd,s} = b_{w0} \cdot (0,8 \cdot l_w) \rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot ctg\theta$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,s} \rightarrow V_{Ed} < b_{w0} \cdot (0,8 \cdot l_w) \rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot ctg\theta$$

$$\rho_h > \frac{V_{Ed}}{b_{w0} \cdot (0,8 \cdot l_w) \cdot f_{yd,h} \cdot ctg\theta}$$

$$\rho_h > \frac{883,02}{30 \cdot (0,8 \cdot 1140) \cdot 43,48 \cdot 1}$$

$$\rho_h > 0,0005$$

$$\rho_h = \max(0,001; 0,25\rho_v) = \max(0,001; 0,000125)$$

$$\rho_h = \frac{A_h}{b_{wo} \cdot s_h} \rightarrow A_h = \rho_h \cdot b_{wo} \cdot s_h = 0,001 \cdot 30 \cdot 100 = 3 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura:

$$A_{s,\min} = 0,15\% \cdot d \cdot 100$$

$$\text{Zid debljine 30 cm : } A_{s,\min} = 0,0015 \cdot 30 \cdot 100 = 4,5 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-503 obostrano (Ø10/15 cm – vilice)**

Koeficijent armiranja vertikalnom i horizontalnom armaturom:

$$\rho_v = \rho_h = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{10,06}{30 \cdot 100} = 0,00335$$

$$V_{wd} = \rho_v \cdot f_{yw,d} \cdot b \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{wd} = 0,00335 \cdot 43,48 \cdot 30 \cdot 0,9 \cdot 1140 = 4684,10 \text{ kN}$$

Nosivost betona i odabrane uzdužne armature:

$$V_{cd} = \tau_{rd} \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_v) \cdot b \cdot 0,9 \cdot d$$

$$V_{cd} = 0,34 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,00335) \cdot 30 \cdot 0,9 \cdot 1140 = 13960,58 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost vlačnih dijagonala hrpta:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 13960,58 + 4684,10 = 18644,67 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 880,03 \text{ kN} < V_{Rd3} = 18644,67 \text{ kN}$$

-Zid zadovoljava na slom vlačne dijagonale.

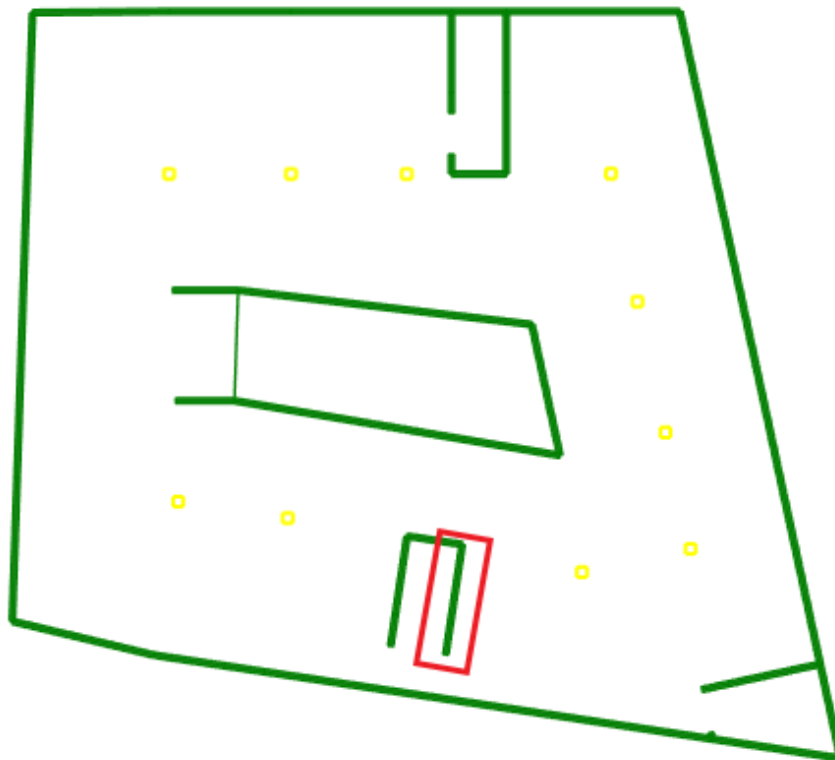
## 14. PRORAČUN TEMELJA

Temelji se izvode kao temelji samci ispod stupova te kao temeljne trake ispod zidova. Radi jednostavnost izvedbe ali i ujednačenih reakcija ispod zidova i temelja za sve temeljne trake ćemo usvojiti iste dimenzije. Isto vrijedi i za temelje samce. Proračun je proveden na način da smo za uobičajnu i izvanrednu kombinaciju dobili rezne sile i kao mjerodavne usvojili one sa najvećom vrijednošću. Svi temelji su izvedeni iz betona klase C25/30 i armirani armaturom B500B.

### 14.1 Proračun trakastog temelja

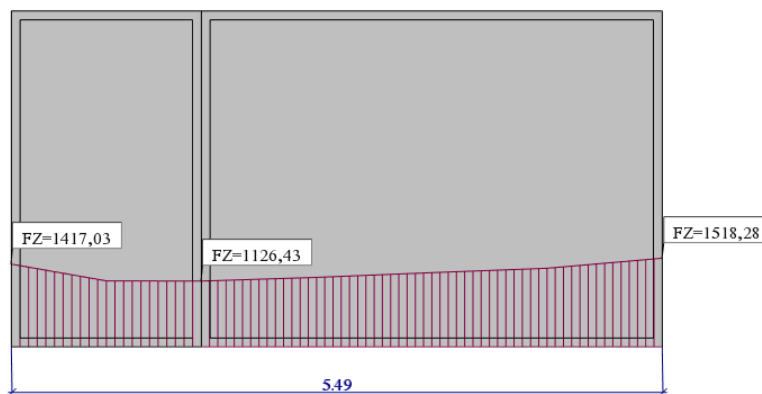
#### 14.1.1 Rezne sile

Napomena: Na zidu na kojem nam se javlja najveći moment savijanja ujedno se i javlja i najveća uzdužna sila.



Slika 14.1. Položaj mjerodavnog zida

Uobičajna kombinacija:

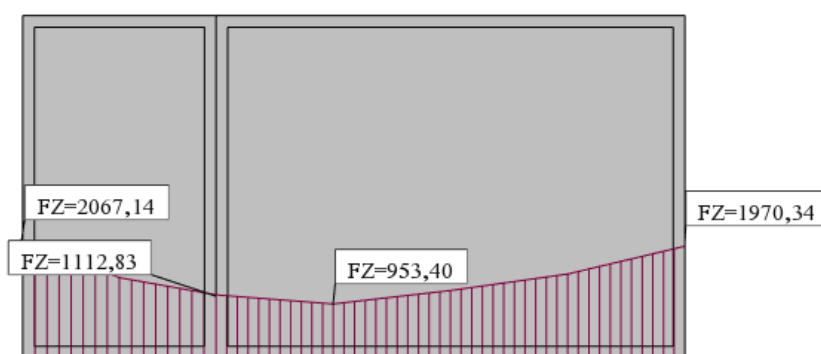


Slika 14.2. Uobičajna kombinacija  $F_z$

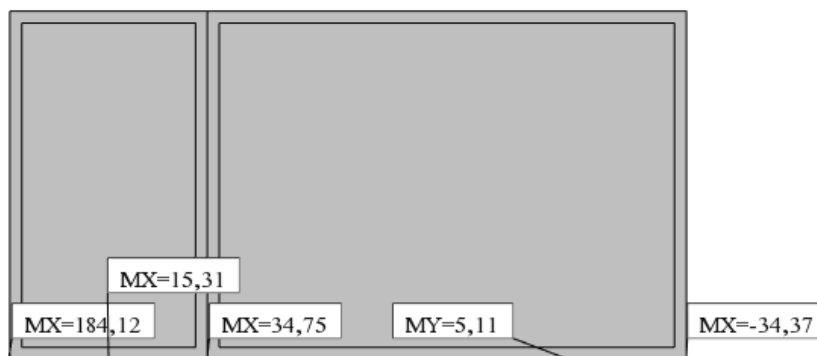


Slika 14.3. Uobičajna kombinacija  $M_x$

Izvanredna kombinacija:



Slika 14.4. Izvanredna kombinacija  $F_z$

Slika 14.5. Izvanredna kombinacija  $M_x$ 

### 14.1.2 Dimenzioniranje temeljne trake

Dopušteno naprezanje u tlu  $\sigma_{dop} = 500 \text{ kN/m}^2$

Beton C25/30  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$ ;  $f_{cd} = 1,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Odabrana visina temelja  $h = 0,5 \text{ m}$

Duljina temelja  $l = 5,49 \text{ m}$

Maksimalno tlačno naprezanje mora biti manje od dopuštenog:

$$\sigma_1 = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W} < \sigma_{dop}$$

$$A = B \cdot 5,49$$

$$W = \frac{B \cdot l^2}{6}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= N + N_T = N + B \cdot h \cdot l \cdot \gamma_{bet} = 2067,14 + B \cdot 0,5 \cdot 5,49 \cdot 25,0 \\ &= 2067,14 + 68,63 \cdot B \end{aligned}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{2067,14 + 68,63 \cdot B}{B \cdot 5,49} \pm \frac{184,12}{\frac{B \cdot 5,49^2}{6}} < 500$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{2067,14 + 68,63 \cdot B}{B \cdot 5,49} \pm \frac{1104,72}{B \cdot 5,49^2} < 500$$

$$B > 0,85 \text{ m}$$

$$B_{odabrano} = 1,0 \text{ m}$$



Dimenzije trakastog temelja :  $B = 1,0m, h = 0,5 m$

$$\sigma_1 = \frac{2067,14 + 68,63 \cdot B}{B \cdot 5,49} + \frac{1104,72}{B \cdot 5,49^2} < 500$$

$$\sigma_1 = \frac{2067,14 + 68,63 \cdot 1,0}{1,0 \cdot 5,49} + \frac{1104,72}{1,0 \cdot 5,49^2} < 500$$

$$\sigma_1 = 425,68 < 500 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{2067,14 + 68,63 \cdot B}{B \cdot 5,49} - \frac{1104,72}{B \cdot 5,49^2} < 500$$

$$\sigma_2 = \frac{2067,14 + 68,63 \cdot 1,0}{1,0 \cdot 5,49} - \frac{1104,72}{1,0 \cdot 5,49^2} < 500$$

$$\sigma_2 = 352,38 < 500 \text{ kN/m}^2$$

$$M'_{Ed} = \sigma' \cdot \frac{b'^2}{2} \cdot 1,0 + (\sigma_1 - \sigma') \cdot \frac{2 \cdot b'^2 \cdot 1,0}{6}$$

$$M'_{Ed} = 400,01 \cdot \frac{0,35^2}{2} \cdot 1,0 + (425,68 - 400,01) \cdot \frac{2 \cdot 0,35^2 \cdot 1,0}{6} = 25,56 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sds} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{25,56 \cdot 100}{100 \cdot 47^2 \cdot 1,67} = 0,007$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 0,5\text{‰}, \quad \zeta = 0,984 \quad \xi = 0,048$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{25,56 \cdot 100}{0,984 \cdot 47 \cdot 43,48} = 1,27 \text{ cm}^2$$

$$A_{S1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 100 \cdot 60 = 6,0 \text{ cm}^2$$

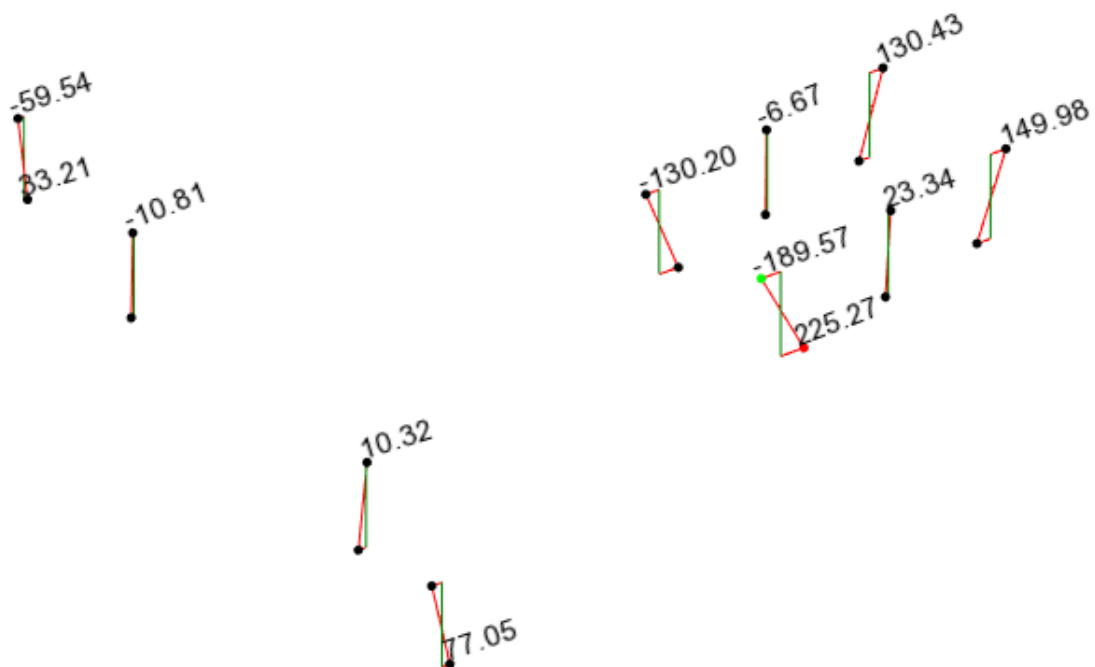
$$A_{S1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 100 \cdot 60 = 120 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura: Q-636 (6,36cm<sup>2</sup>)**

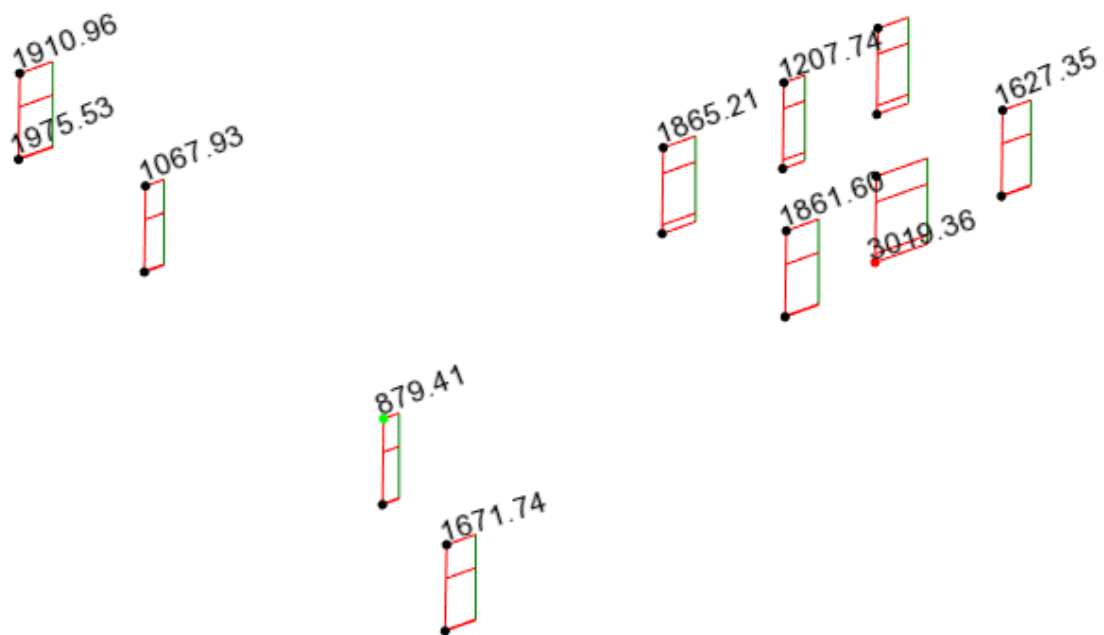
## 14.2 Temelj samac

### 14.2.1 Rezne sile

#### Uobičajna kombinacija

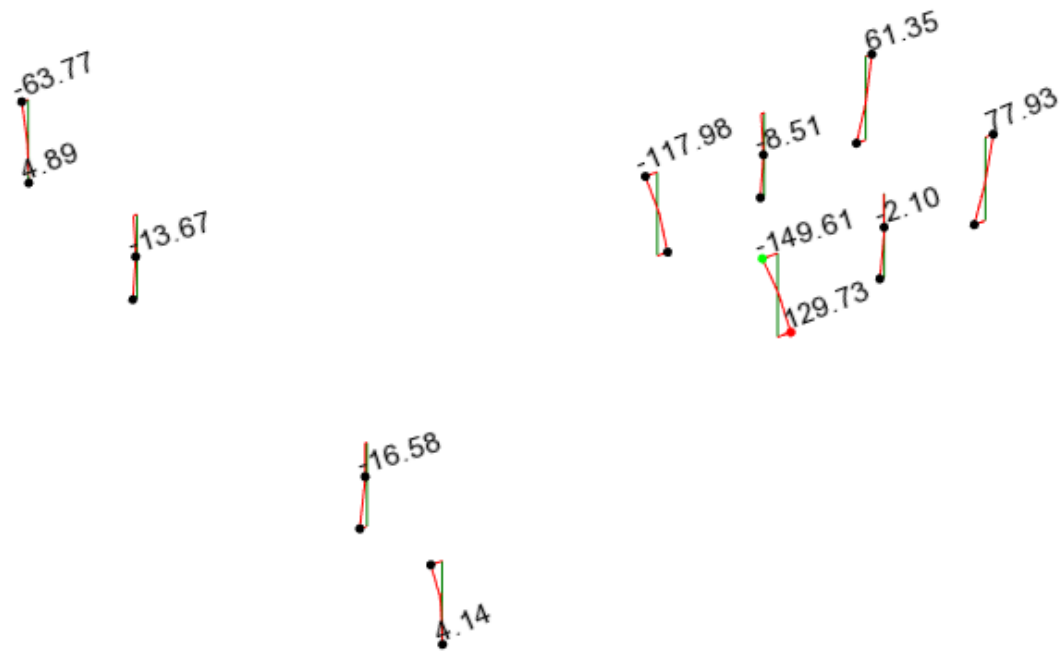


Slika 14.6. Moment savijanja

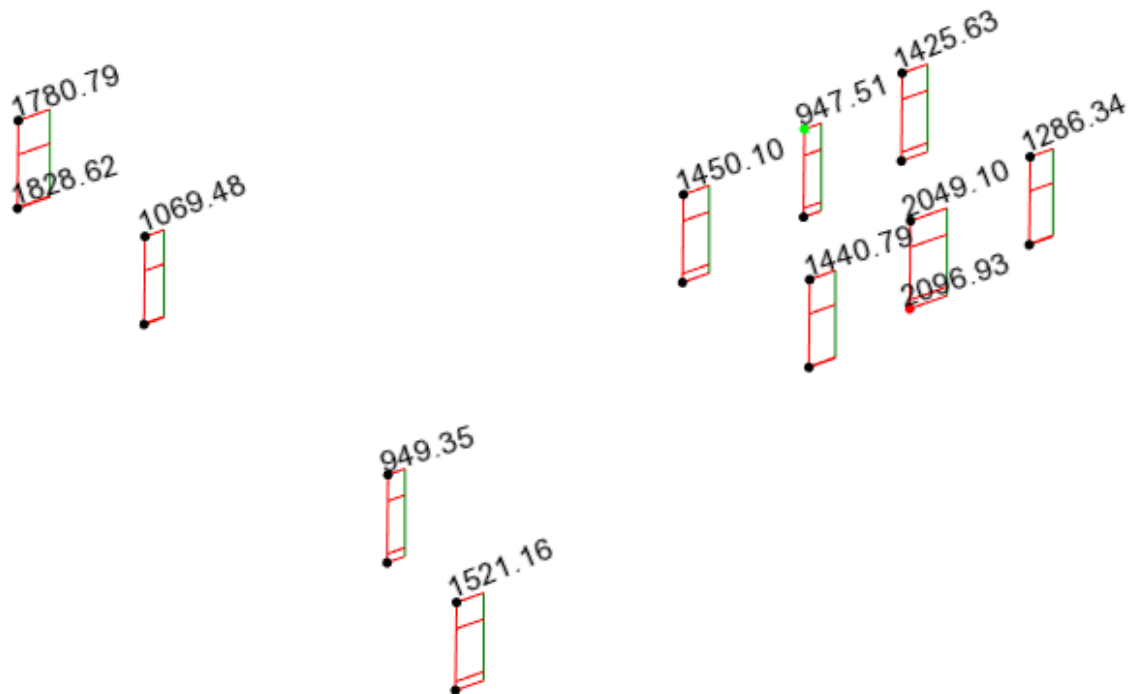


Slika 14.7. Uzdužne sile

- Izvanredna kombinacija



Slika 14.8. Moment savijanja



Slika 14.9. Uzdužne sile

### 14.2.2 Dimenzioniranje temelja samca

Temelj je centrično opterećen zbog čega odabiremo kvadratni poprečni presjek.

$$\text{Dopuštena naprezanja u tlu:} \quad \sigma_{dop} = 0,5 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Širina i duljina temelja:} \quad a = \sqrt{\frac{N}{\sigma_{dop}}} = \sqrt{\frac{3019,36}{500}} = 2,45 \text{ m}$$

$$\text{Usvojena širina i duljina temelja:} \quad a = 2,7 \text{ m}$$

$$\text{Visina temelja:} \quad v = 1,5 \cdot a_{stup} = 1,5 \cdot 0,50 = 0,75 \text{ m}$$

$$\text{Usvojena visina temelja} \quad v = 80 \text{ cm}$$

$$\text{Težina temelja:} \quad N_t = 2,7 \cdot 2,7 \cdot 0,80 \cdot 25 = 145,8 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$A = 2,7 \cdot 2,7 = 7,29 \text{ m}^2$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{2,7 \cdot 2,7^2}{6} = 3,28 \text{ m}^3$$

Prva kombinacija:

$$N_{max} = 3019,36 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad N_{Ed} = N_{max} + N_t = 3019,36 + 145,8 = 3165,16 \text{ kN}$$

$$M_{pripadno} = 23,34 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{3165,16}{7,29} \pm \frac{23,34}{3,28} = 434,18 \pm 7,12$$

$$\sigma_1 = 441,29 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{t,dop} = 500 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = 427,06 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{t,dop} = 500 \text{ kN/m}^2$$

Druga kombinacija:

$$M_{max} = 225,27 \text{ kNm}$$

$$N_{pripadno} = 1861,60 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad N_{Ed} = N_{prip} + N_t = 1861,6 + 145,8 = 2007,4 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{2007,4}{7,29} \pm \frac{225,27}{3,28} = 275,36 \pm 68,68$$

$$\sigma_1 = 344,04 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{t,dop} = 500 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = 206,68 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{t,dop} = 500 \text{ kN/m}^2$$

Prva kombinacija:

$$M'_{Ed} = \sigma' \cdot \frac{b'^2}{2} \cdot 1,0 + (\sigma_1 - \sigma') \cdot \frac{2 \cdot b'^2 \cdot 1,0}{6}$$

$$M'_{Ed} = 435,49 \cdot \frac{1,1^2}{2} \cdot 1,0 + (441,29 - 435,49) \cdot \frac{2 \cdot 1,1^2 \cdot 1,0}{6} = 268,23 \text{ kNm}$$

Druga kombinacija:

$$M'_{Ed} = \sigma' \cdot \frac{b'^2}{2} \cdot 1,0 + (\sigma_1 - \sigma') \cdot \frac{2 \cdot b'^2 \cdot 1,0}{6}$$

$$M'_{Ed} = 344,04 \cdot \frac{1,1^2}{2} \cdot 1,0 + (344,04 - 288,1) \cdot \frac{2 \cdot 1,1^2 \cdot 1,0}{6} = 230,71 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sds} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{268,23 \cdot 100}{270 \cdot 77^2 \cdot 1,67} = 0,01$$

$$\text{Za } \varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \quad \varepsilon_{c2} = 0,6\text{‰}, \quad \zeta = 0,981 \quad \xi = 0,057$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{268,23 \cdot 100}{0,981 \cdot 77 \cdot 43,48} = 8,16 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0,1\% \cdot b \cdot h = 0,001 \cdot 270 \cdot 80 = 21,60 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 2,0\% \cdot b \cdot h = 0,02 \cdot 270 \cdot 80 = 432 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura 10Ø18 (25,45cm<sup>2</sup>)**

## **15. GRAFIČKI PRILOZI**

- 15.1 Tlocrt garaže -2 Plan pozicija 100 M1:200**
- 15.2 Tlocrt garaže -1 Plan pozicija 200 M1:200**
- 15.3 Tlocrt prizemlja Plan pozicija 300 M1:200**
- 15.4 Tlocrt 1. kata Plan pozicija 400 M1:200**
- 15.5 Tlocrt 2. kata Plan pozicija 500 M1:200**
- 15.6 Tlocrt 3. kata Plan pozicija 600 M1:200**
- 15.7 Presjek A-A M1:200**
- 15.8 Pogled istok-zapad M1:200**
- 15.9 Pogled sjever-jug M1:200**
- 15.10 Armatura ploče pozicija 100 Donja zona M1:200**
- 15.11 Armatura ploče pozicija 100 Gornja zona M1:200**
- 15.12 Armatura ploče pozicija 200 Donja zona M1:200**
- 15.13 Armatura ploče pozicija 200 Gornja zona M1:200**
- 15.14 Armatura ploče pozicija 300 Donja zona M1:200**
- 15.15 Armatura ploče pozicija 300 Gornja zona M1:200**
- 15.16 Armatura ploče pozicija 400 Donja zona M1:200**
- 15.17 Armatura ploče pozicija 400 Gornja zona M1:200**
- 15.18 Armatura ploče pozicija 500 Donja zona M1:200**
- 15.19 Armatura ploče pozicija 500 Gornja zona M1:200**
- 15.20 Armatura ploče pozicija 600 Donja zona M1:200**

**15.21 Armatura ploče pozicija 600 Gornja zona M1:200**

**15.22 Armatura grede pozicija 305 M1:20**

**15.23 Armatura grede pozicija 205 M1:20**

**15.24 Armatura grede pozicija 105 M1:20**

**15.25 Armatura stubišta 1 M1:20**

**15.26 Armatura stubišta 2 M1:20**

**15.27 Armatura zidova M1:20**

**15.28 Armatura visokostijenog nosača M1:20**

**15.29 Armatura stupa S1 M1:20**

**15.30 Armatura stupa S2 M1:20**

**15.31 Armatura stupa S3 M1:20**

**15.32 Plan pozicija temelja M1:200**

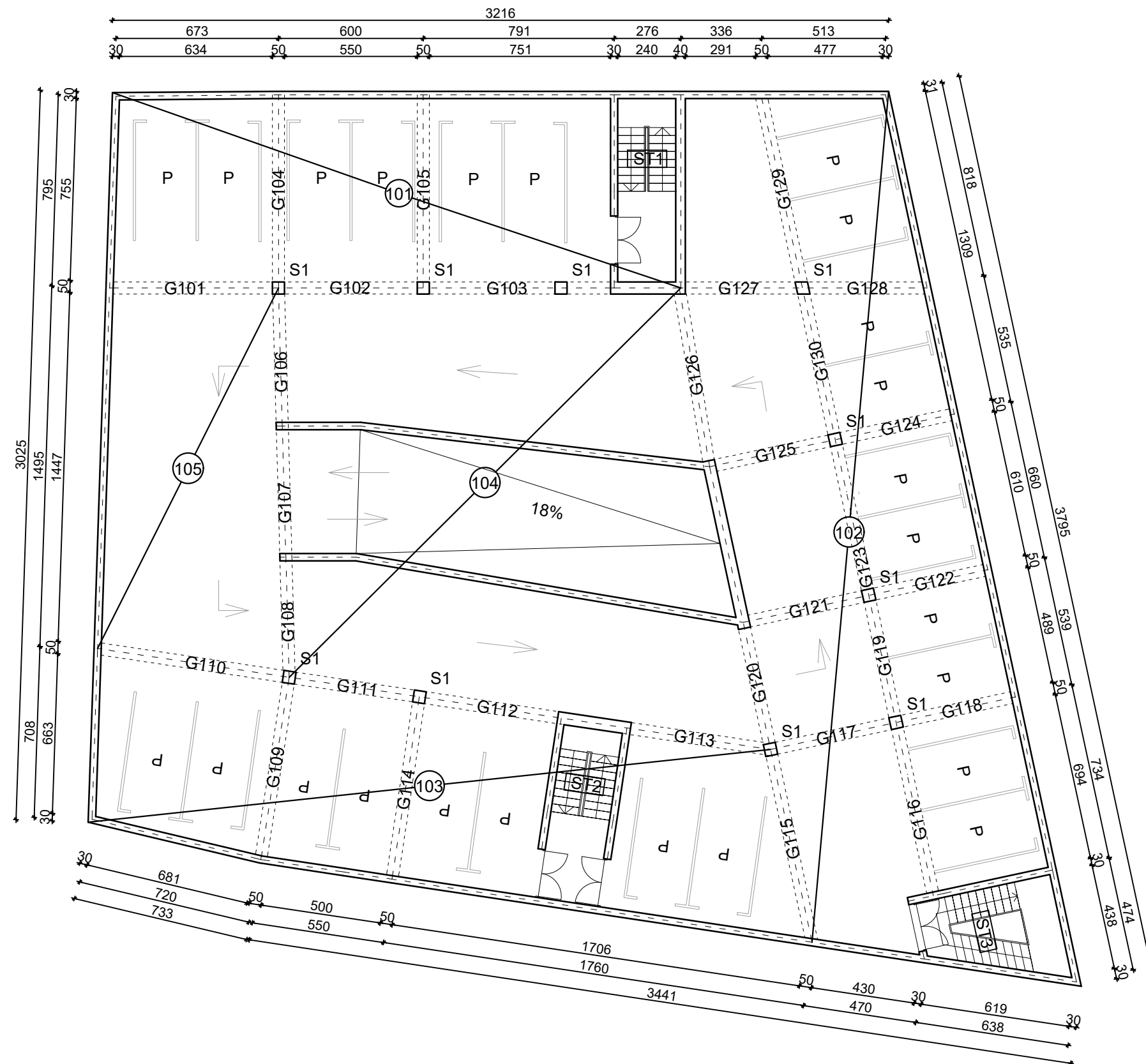
**15.33 Armatura temelja samca M1:20**


**15.34 Armatura temeljne trake M1:20**

## **16. LITERATURA**

- A. Harapin, J.Radnić: Osnove betonskih konstrukcija, interna skripta- zapisi s predavanja; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split
- I. Tomičić : Betonske konstrukcije -3. izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Zagreb 1996
- EN 1990:2008 Eurokod- osnove projektiranja konstrukcija (EN1990:2008+A1:2005+AC:2008)
- EN 1991: Eurokod 1 – Djelovanja na konstrukciju
- EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija
- Dio 1-1 :Opća pravila i pravila za zgrade
- EN 1998:2008 Eurokod 8 –Projektiranje konstrukcija otpornih na potres-1.dio

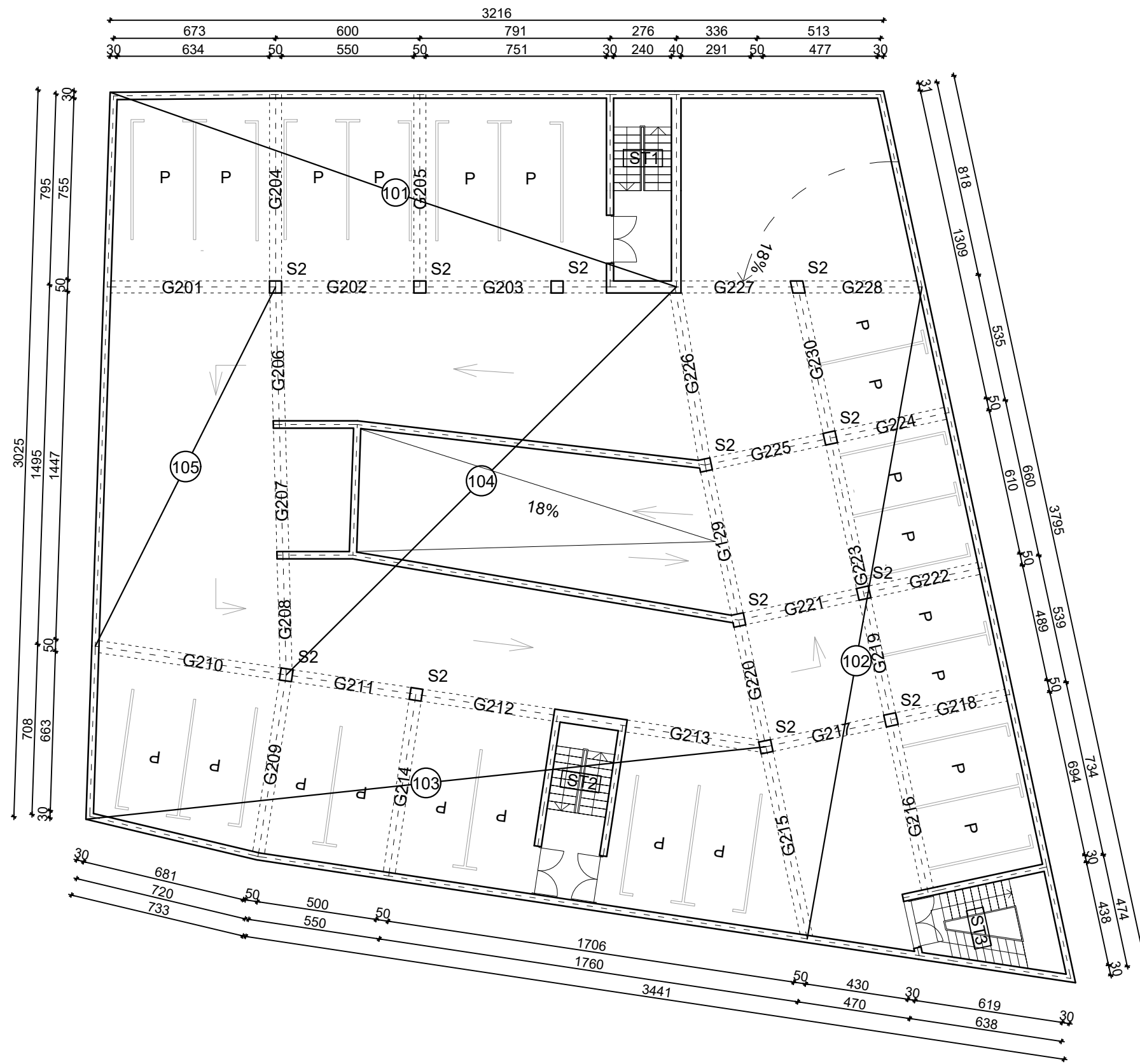
# Tlocrt garaže etaža -2 plan pozicija 100 M 1:200



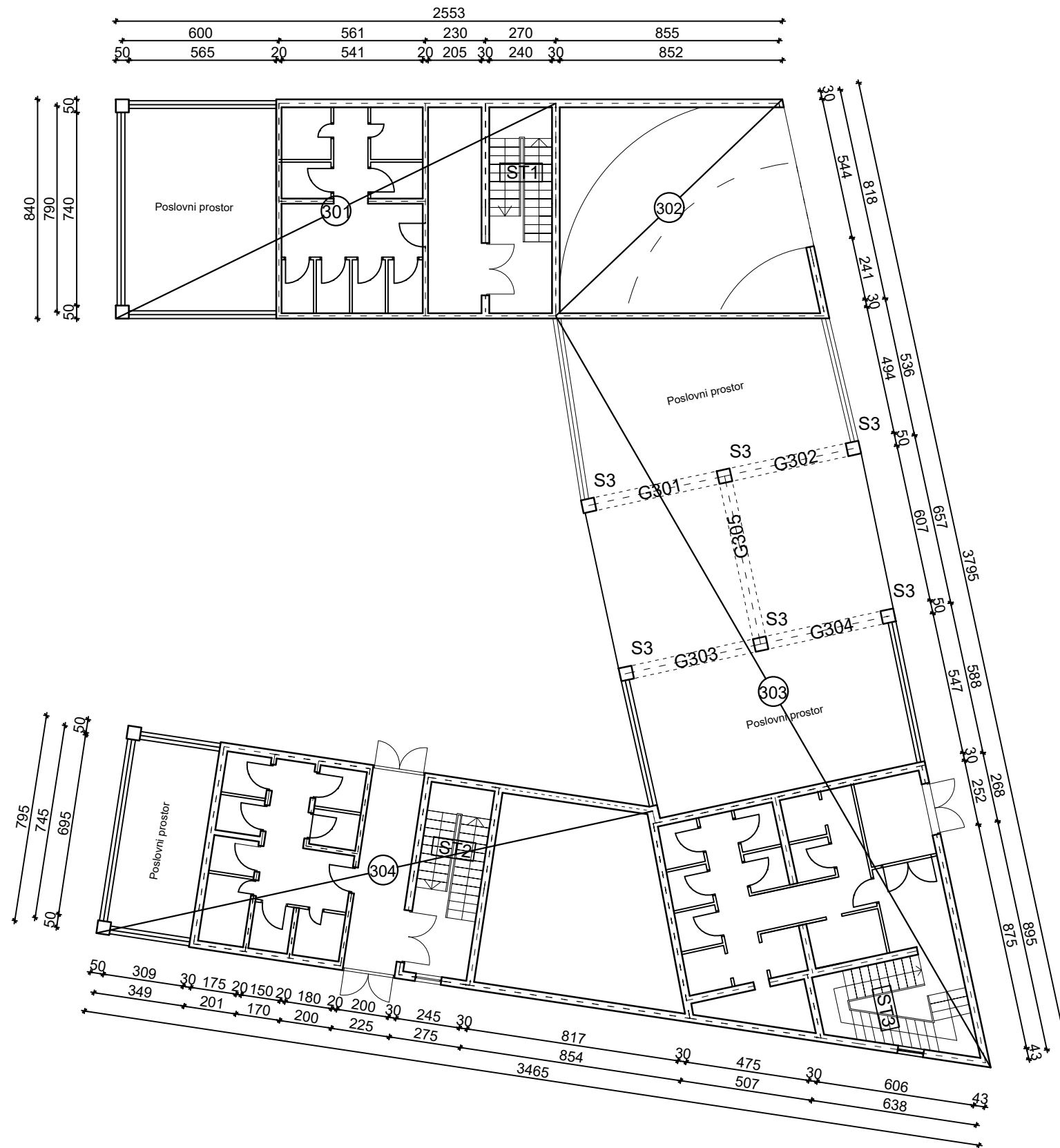
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel. + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Tlocrt garaže -2 - plan pozicija 100	BROJ PRILOGA: <b>1</b>




# Tlocrt garaže etaža -1 plan pozicija 200 M 1:200

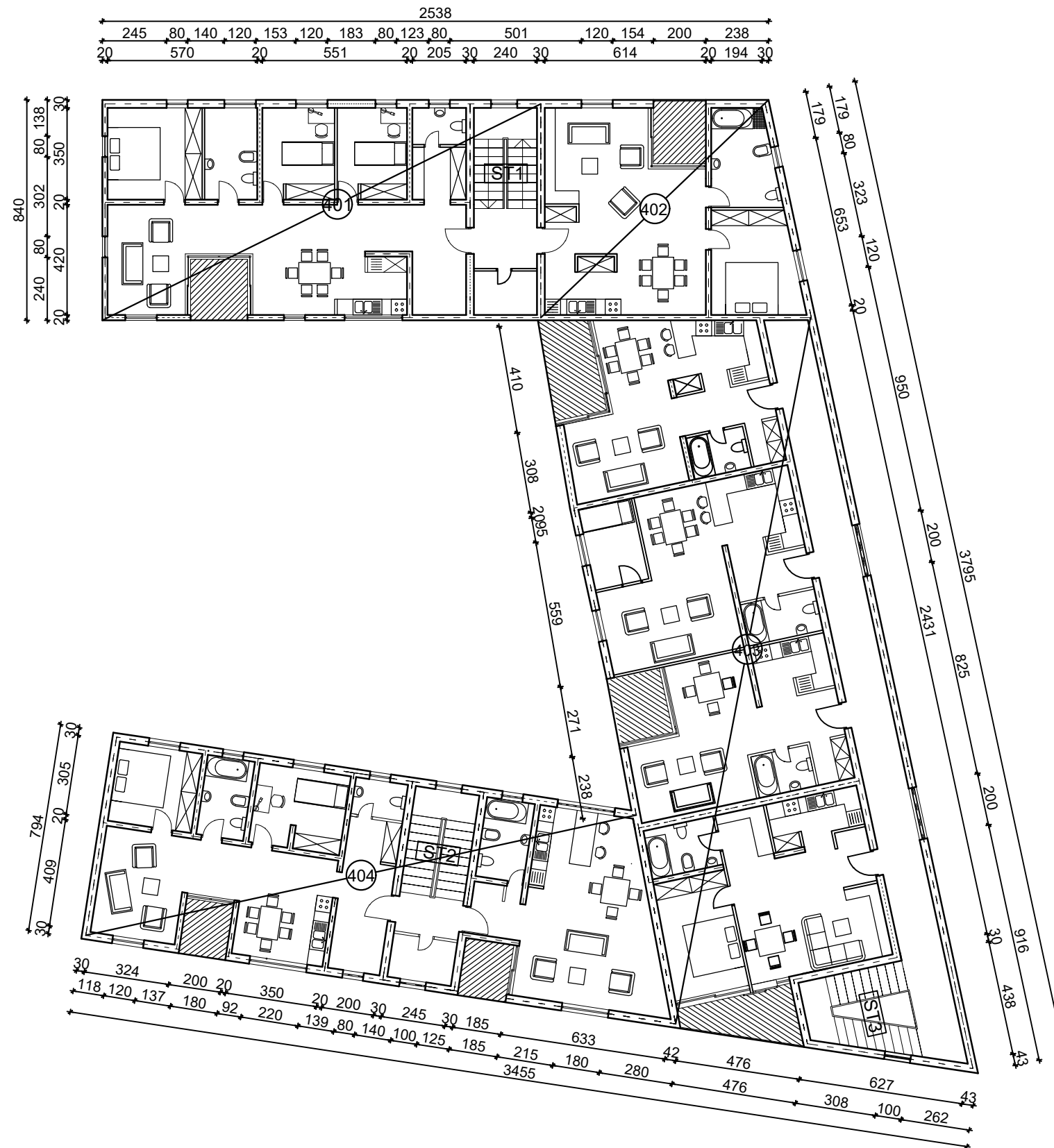



# Tlocrt prizemlja plan pozicija 300 M 1:200



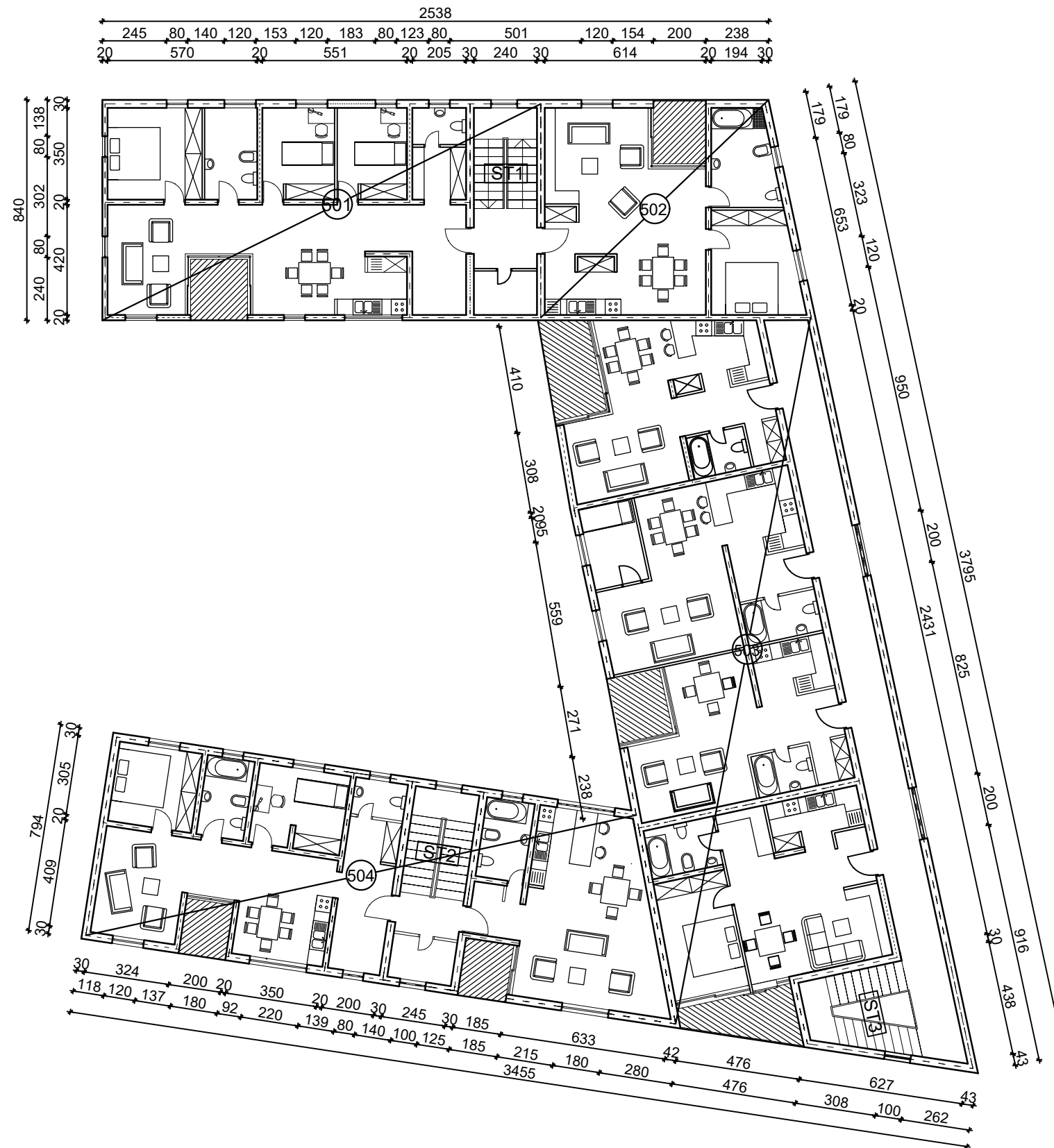
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Tlocrt prizemlja - plan pozicija 300	BROJ PRILOGA: 3


# Tlocrt 1. kata plan pozicija 400 M 1:200



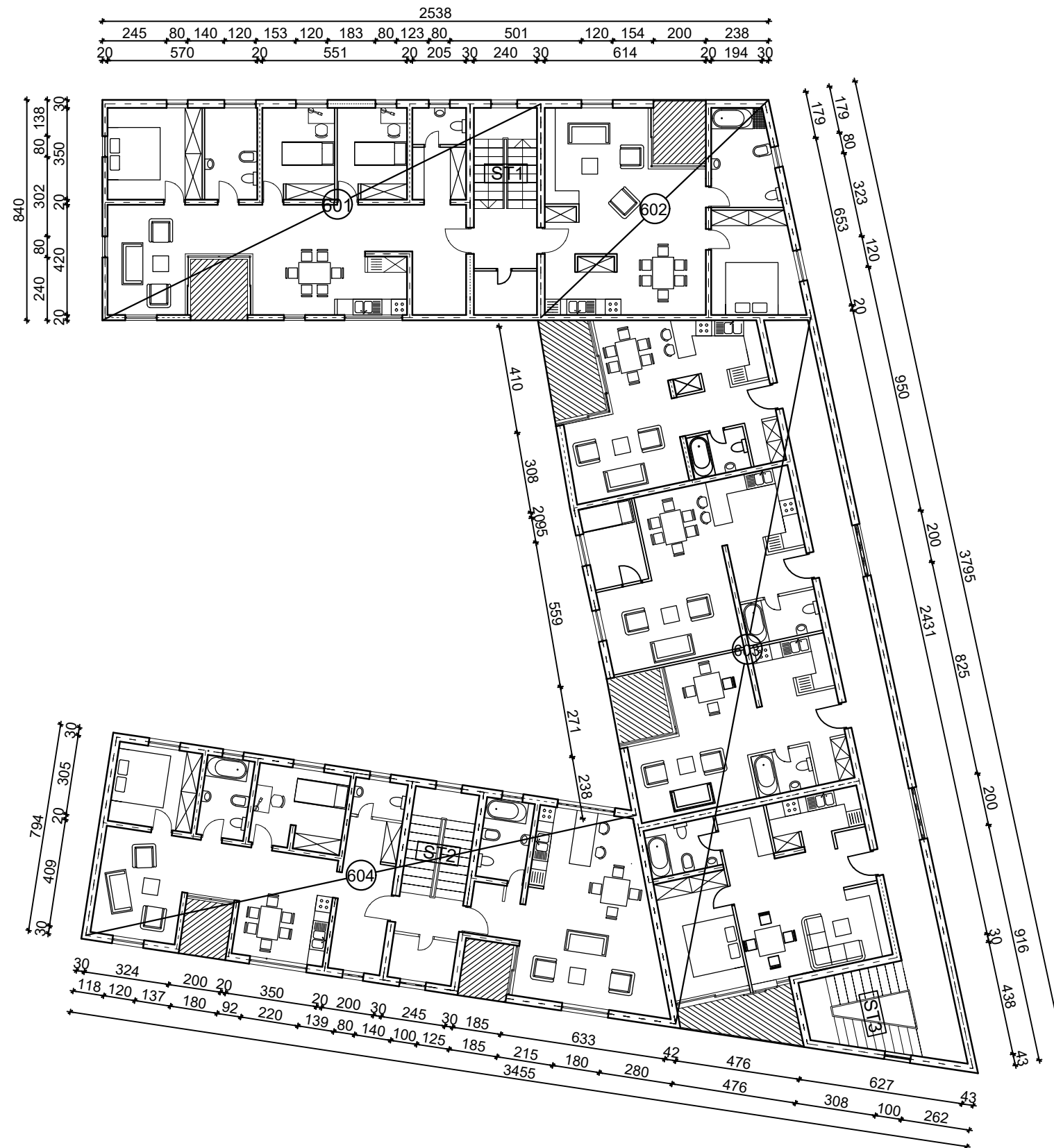
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Tlocrt 1. kata - plan pozicija 400	BROJ PRILOGA: 4


# Tlocrt 2. kata plan pozicija 500 M 1:200



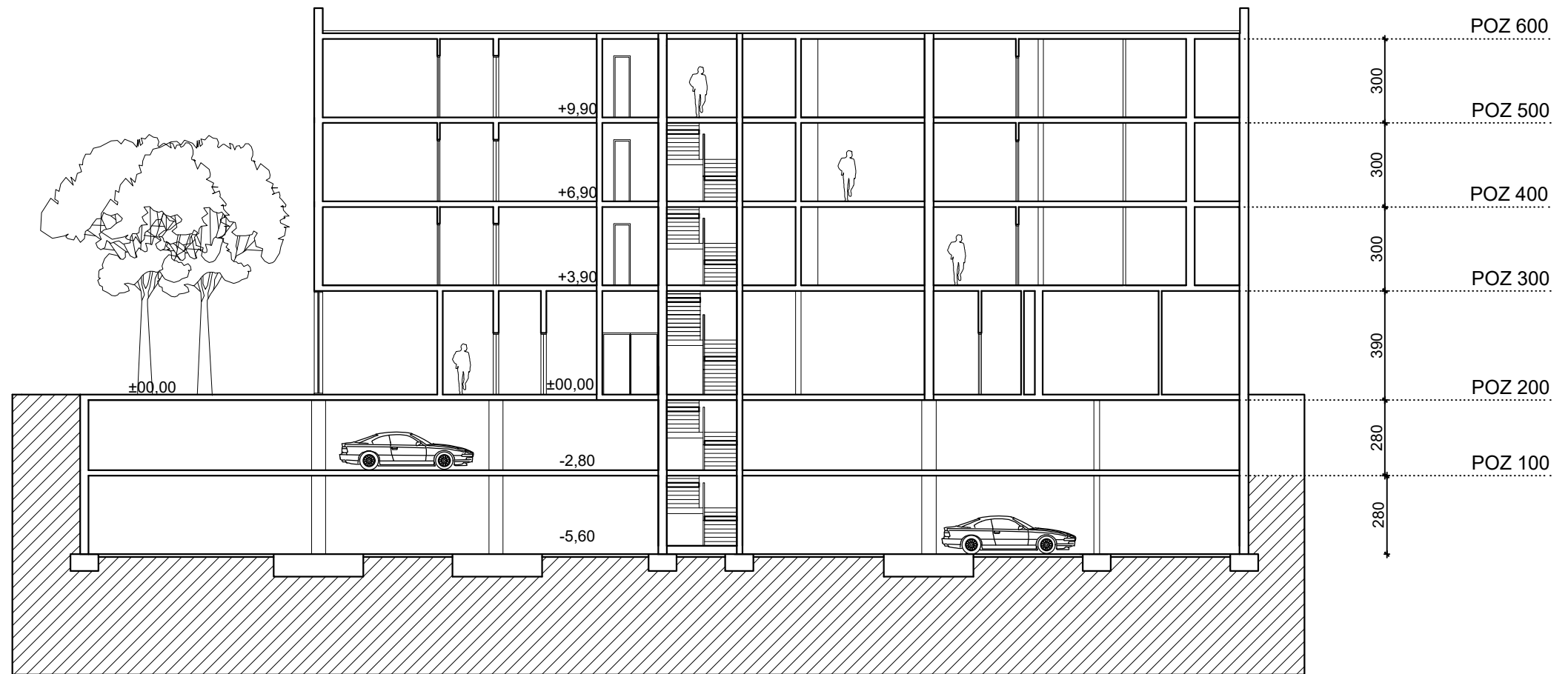
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Tlocrt 2. kata - plan pozicija 500	BROJ PRILOGA: <b>5</b>


# Tlocrt 3. kata plan pozicija 600 M 1:200



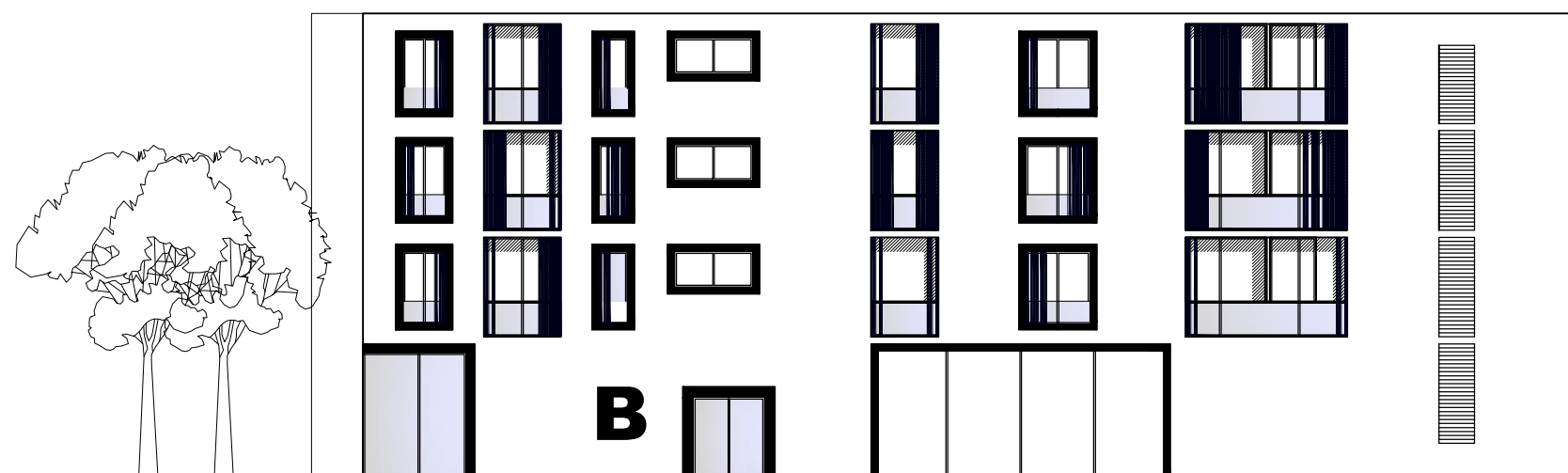
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Tlocrt 3. kata - plan pozicija 600	BROJ PRILOGA: 6

# Presjek A-A M 1:200

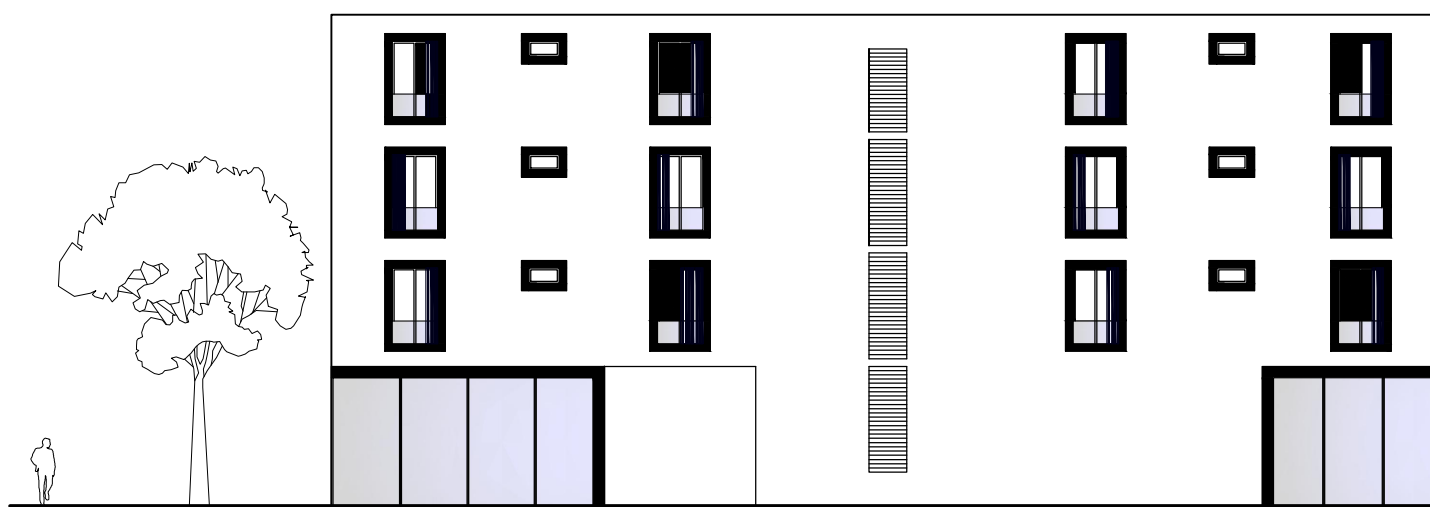


 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Presjek A-A	BROJ PRILOGA: 7


Pogled  
M 1:200



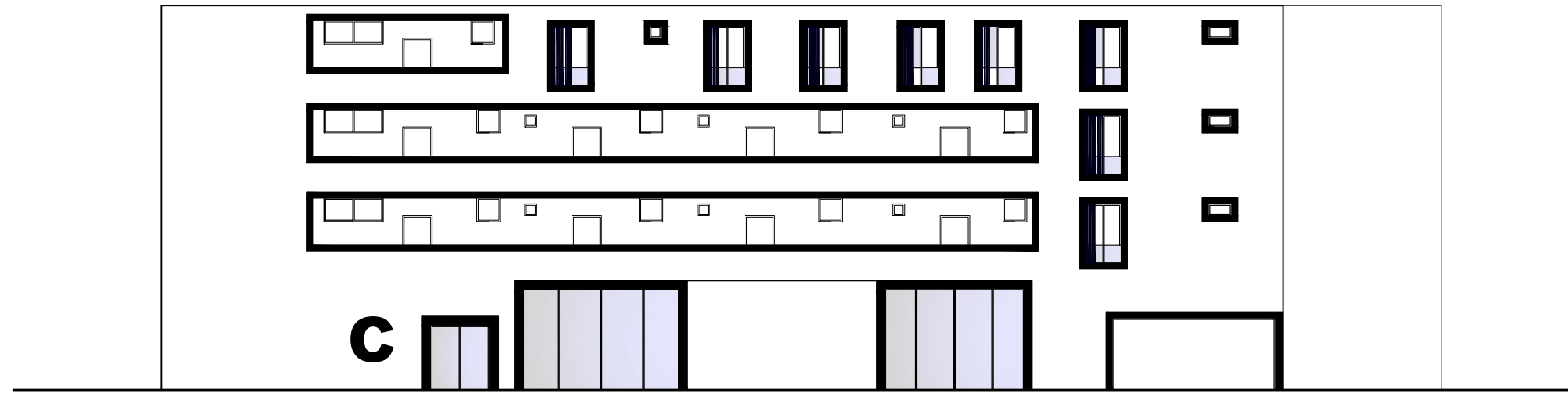
Istočno pročelje



Zapadno pročelje

 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Pogled	BROJ PRILOGA: 8


Pogled  
M 1:200



Sjeverno pročelje

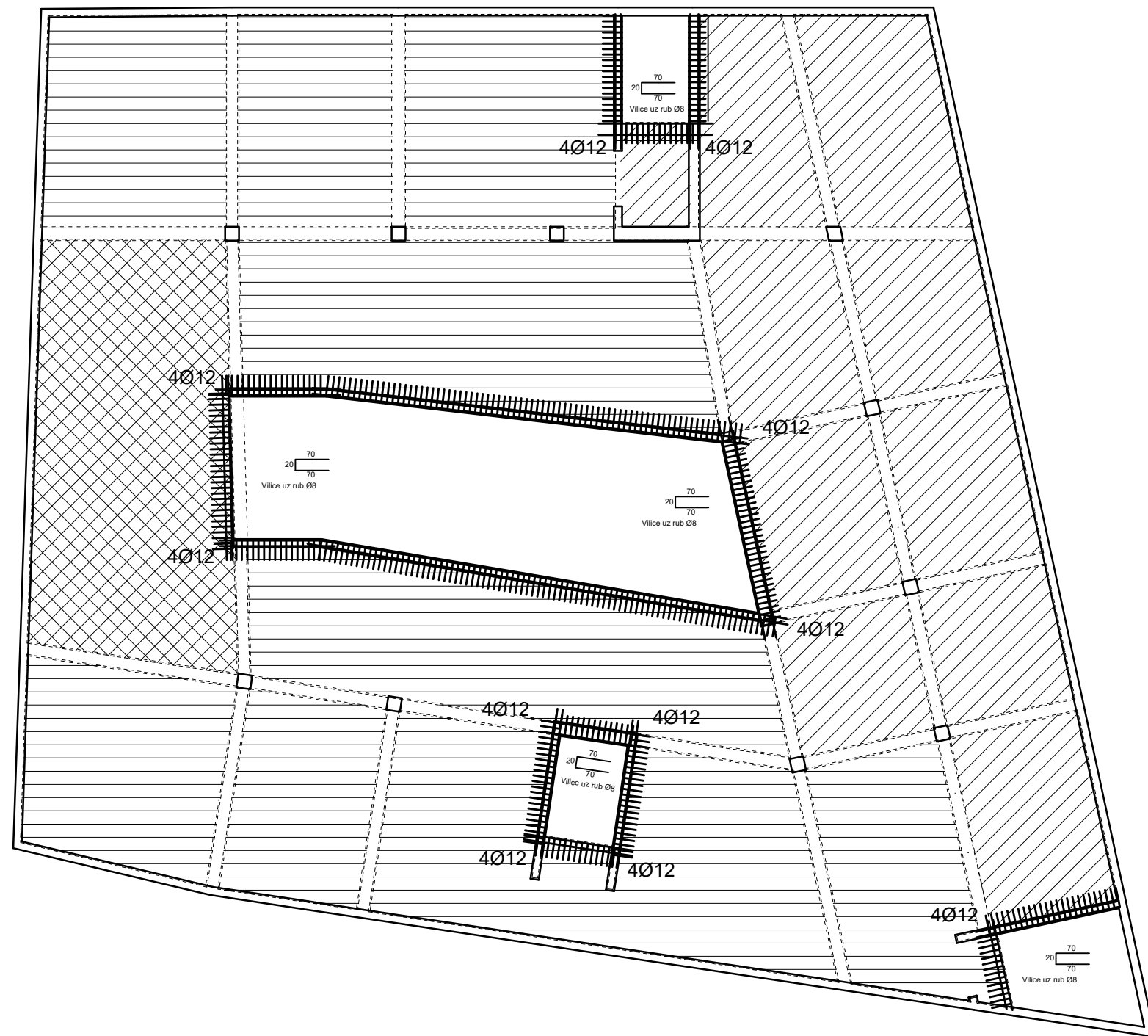



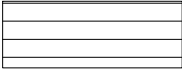


Južno pročelje

 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel. + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRAĐEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Pogled	BROJ PRILOGA: 9



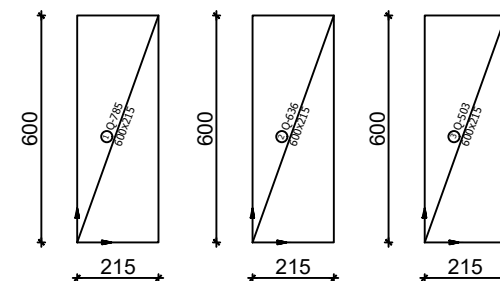
# Armatura ploče pozicija 100 DONJA ZONA M 1:200




-  Q-785
-  Q-636
-  Q-503
-  otvor u ploči

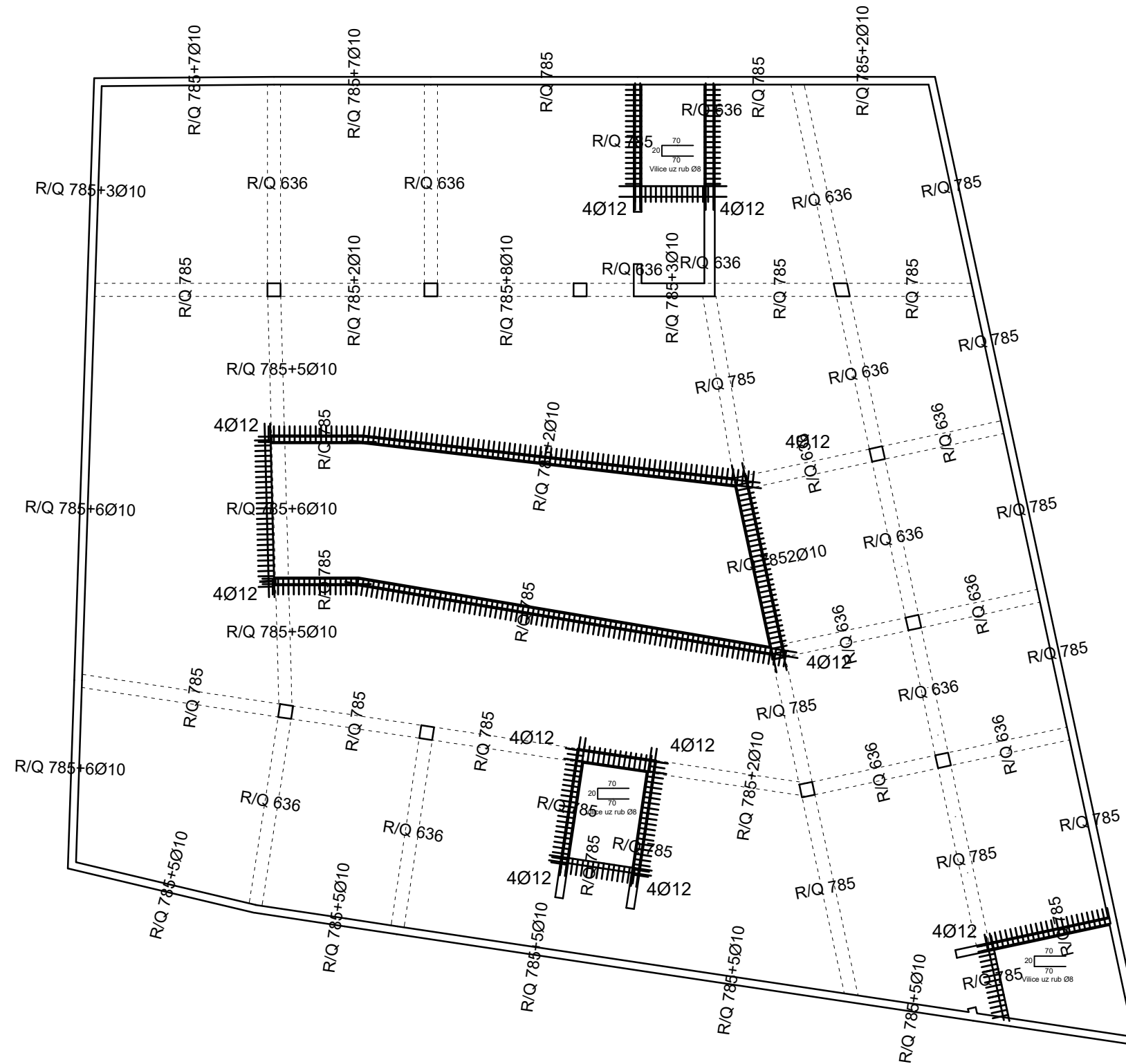
Napomene: - Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta  
- Mreže postavljati s preklapima 40 cm ili većim

Beton: C 30/37  
Armatura: B 500B



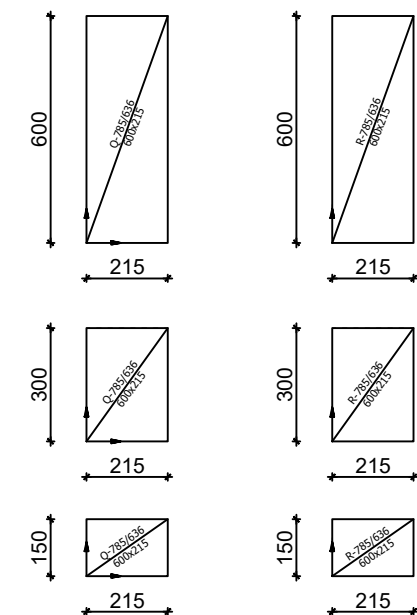
 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 100	BROJ PRILOGA: 10

# Armatura ploče pozicija 100 GORNJA ZONA M 1:200



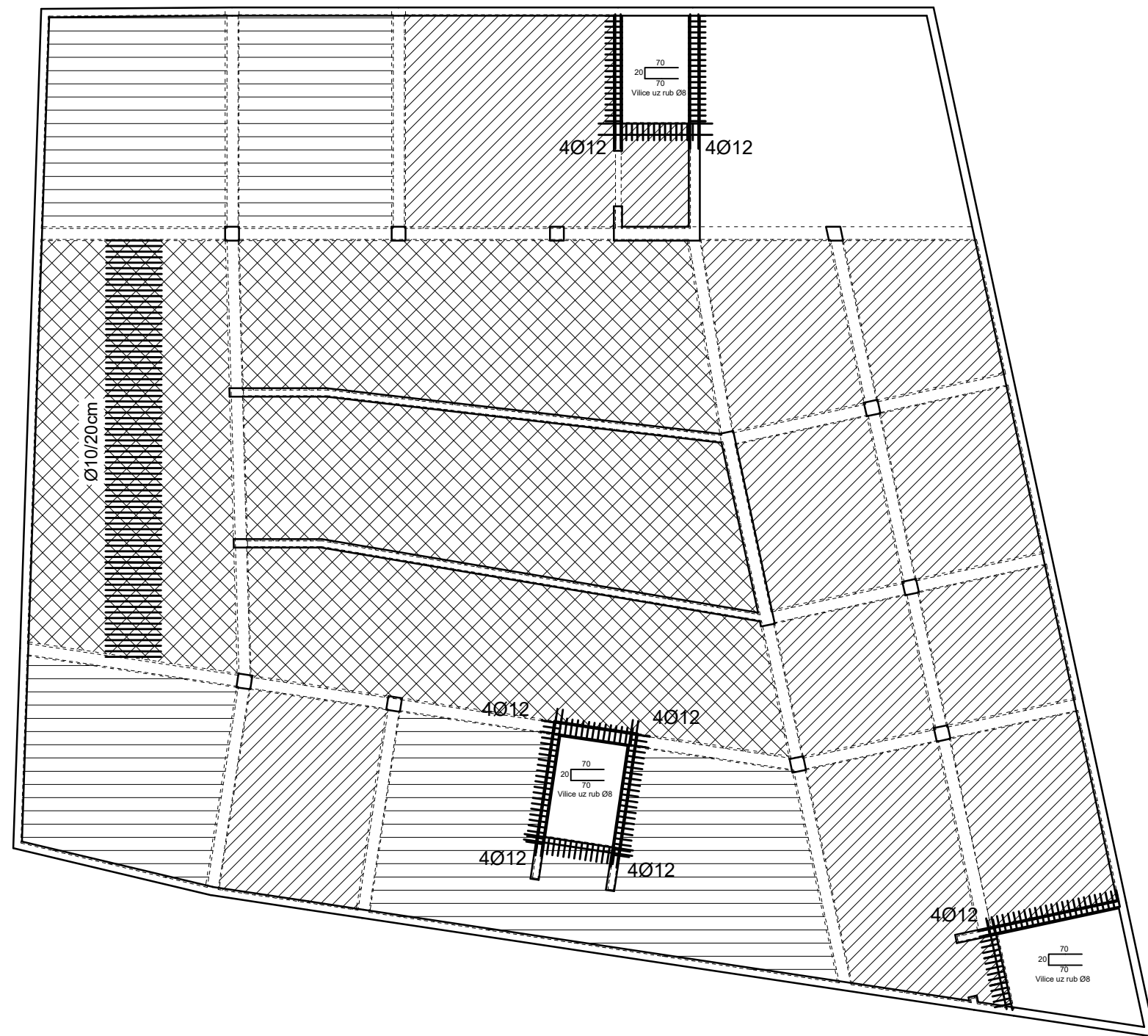
otvor u ploči


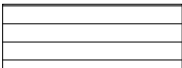

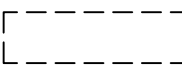
- Napomene:
- Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta
  - R mreže postavljati s preklapima 20 cm ili većim, R i Q mreže s preklapom 30 cm, a Q mreže s preklapom 40 cm
  - Na rubovima ploča postavljati R mreže, a na sjecištima zidova Q mreže.



<p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 100	BROJ PRILOGA: 11

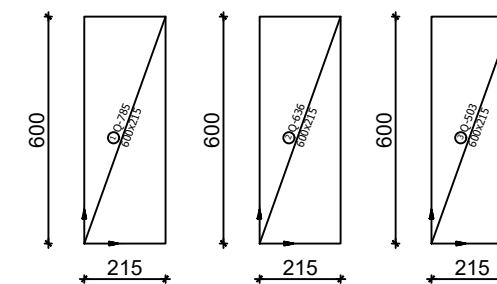
# Armatura ploče pozicija 200 DONJA ZONA M 1:200




-  Q-785
-  Q-636
-  Q-503
-  otvor u ploči

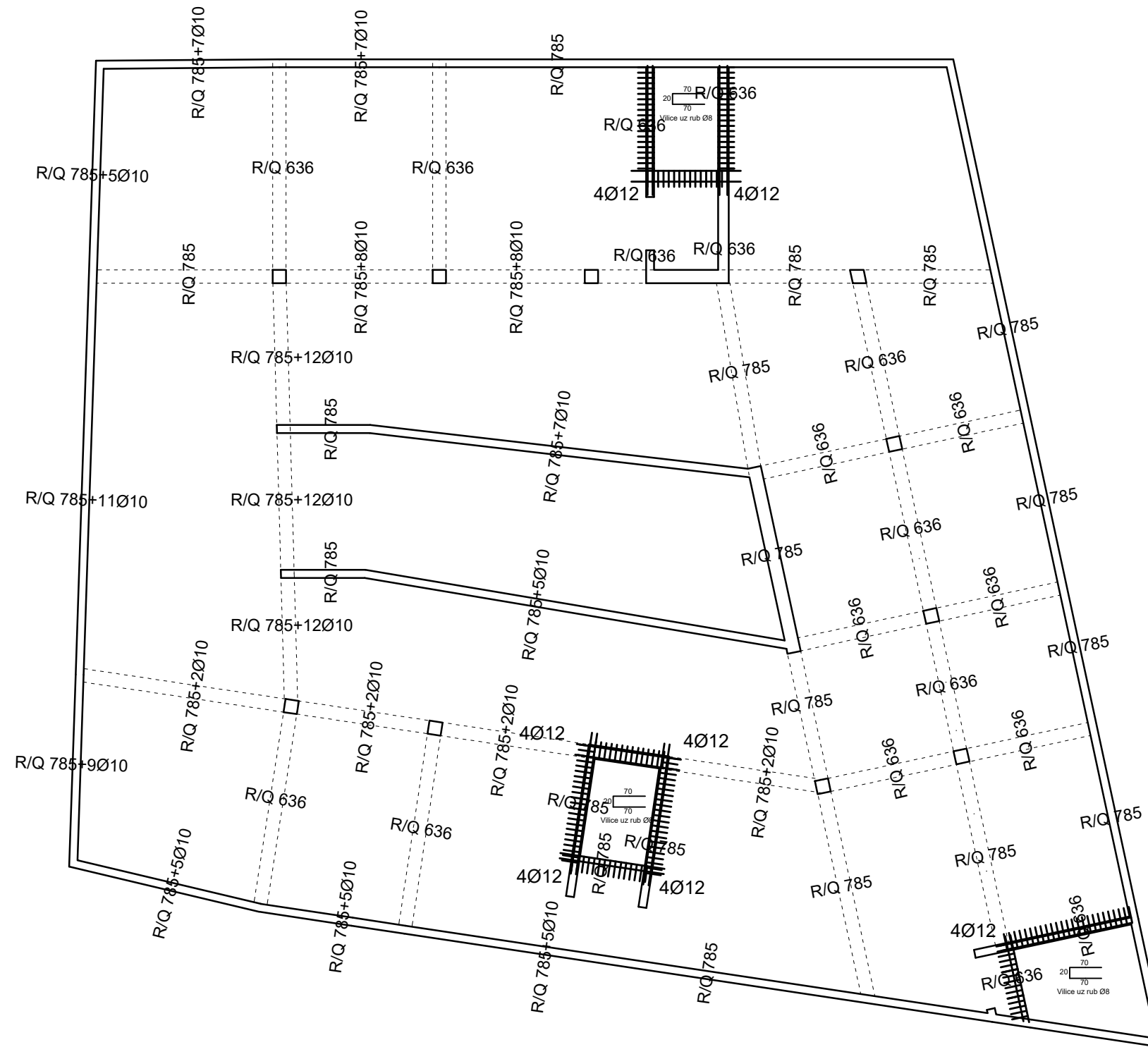
Napomene: - Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta  
- Mreže postavljati s preklapima 40 cm ili većim

Beton: C 30/37  
Armatura: B 500B



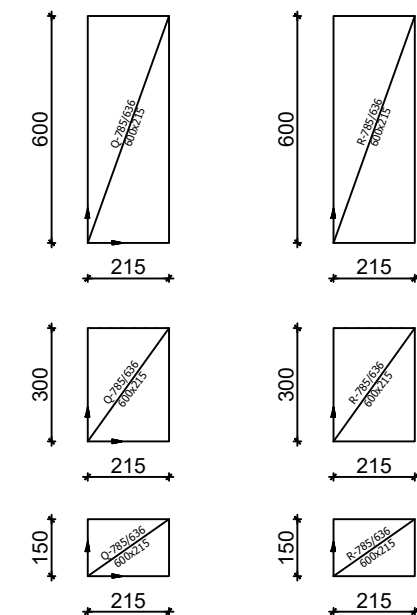
 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRAĐEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 200	BROJ PRILOGA: 12

# Armatura ploče pozicija 200 GORNJA ZONA M 1:200



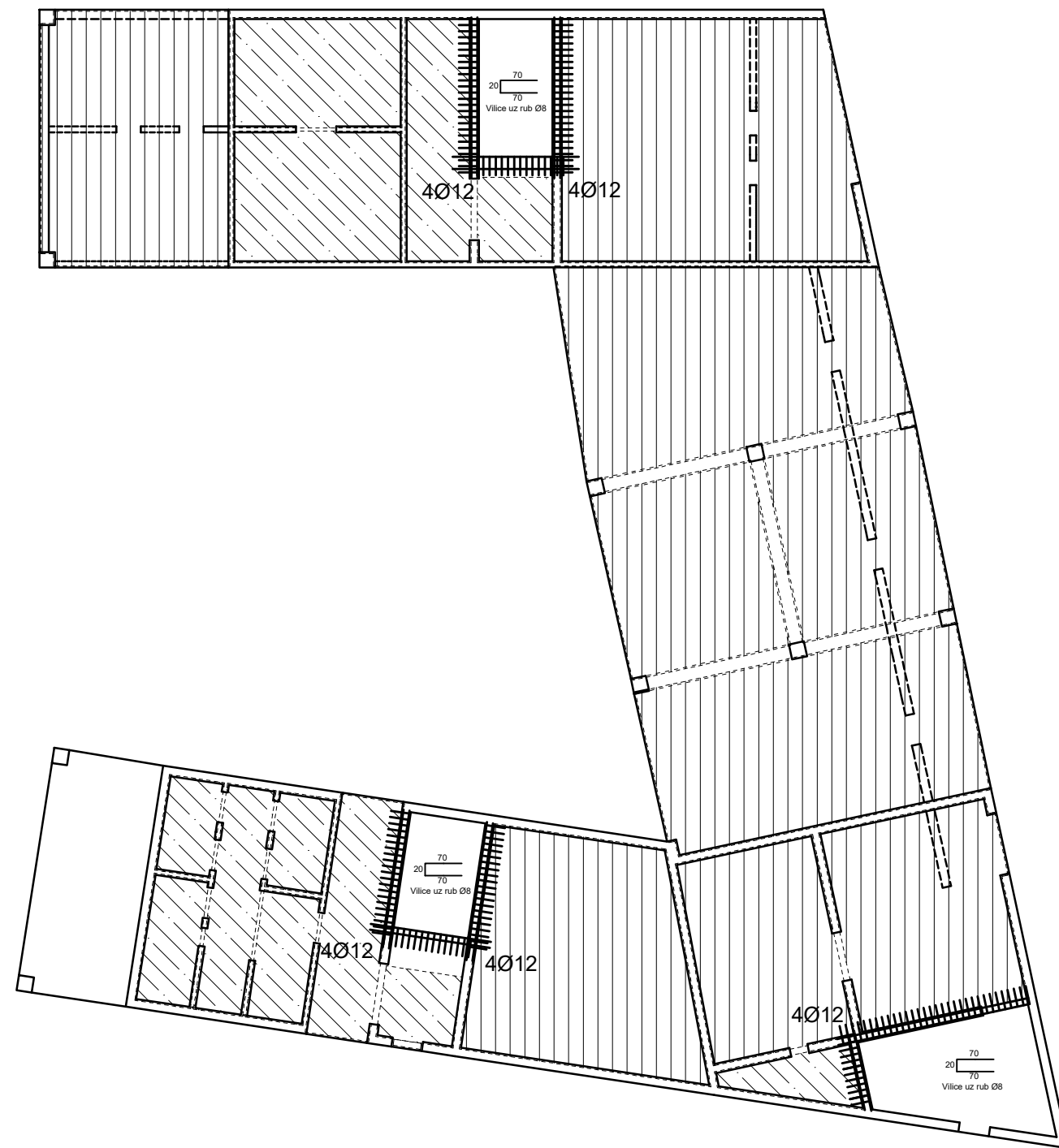
otvor u ploči

- Napomene:
- Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta
  - R mreže postavljati s preklapima 20 cm ili većim, R i Q mreže s preklapom 30 cm, a Q mreže s preklapom 40 cm
  - Na rubovima ploča postavljati R mreže, a na sjecištima zidova Q mreže.



<p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 200	BROJ PRILOGA: 13

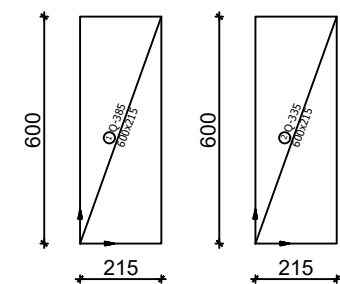
# Armatura ploče pozicija 300 DONJA ZONA M 1:200




-  Q-385
-  Q-335
-  otvor u ploči

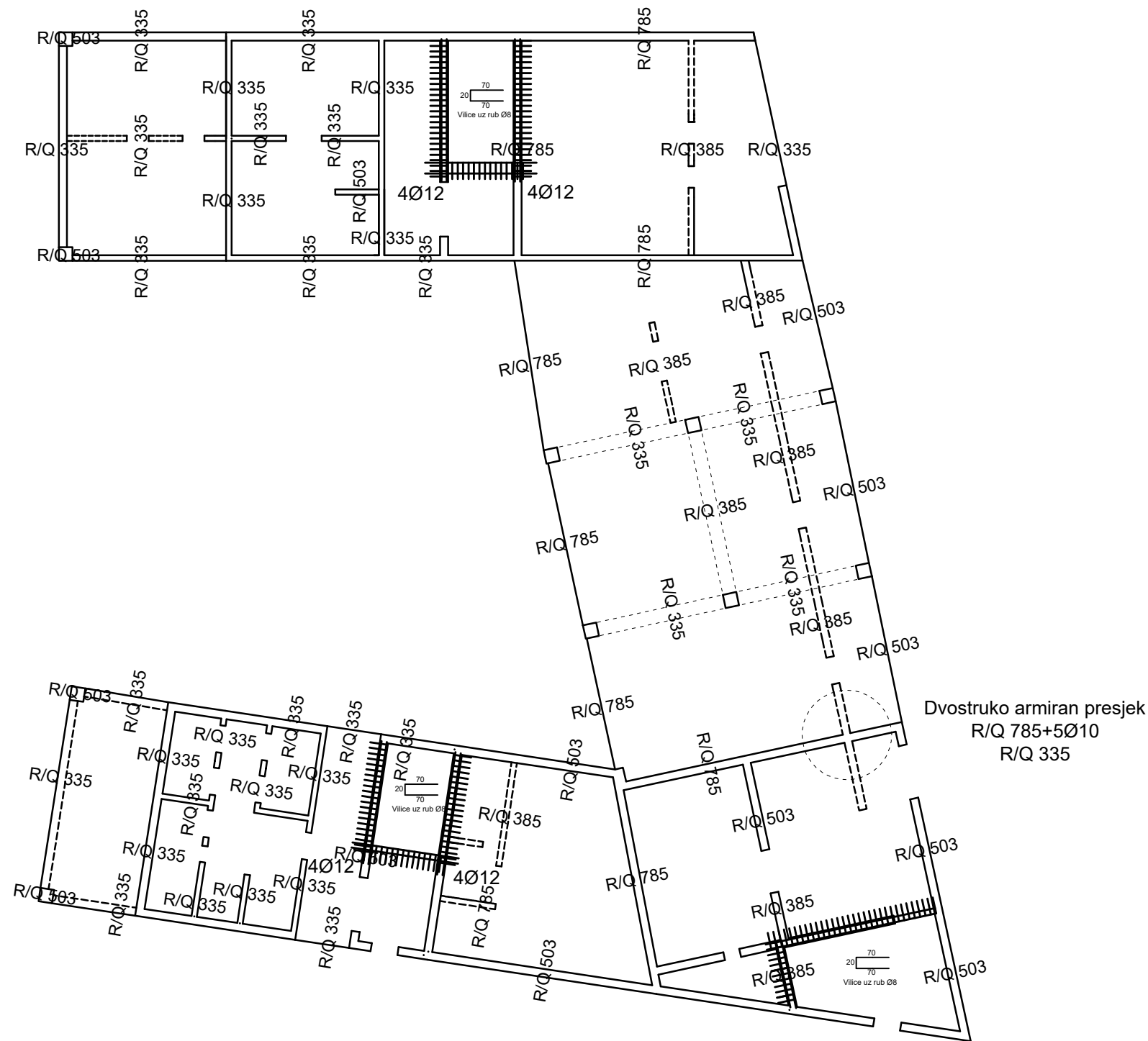
Napomene: - Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta  
 - Mreže postavljati s preklapima 40 cm ili većim

Beton: C 30/37  
 Armatura: B 500B



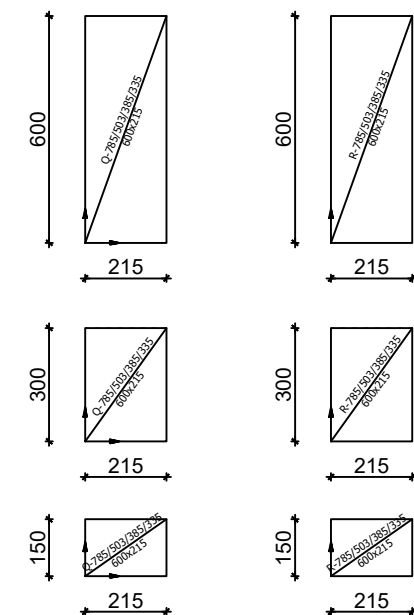
 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRAĐEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 300	BROJ PRILOGA: 14


# Armatura ploče pozicija 300 GORNJA ZONA M 1:200



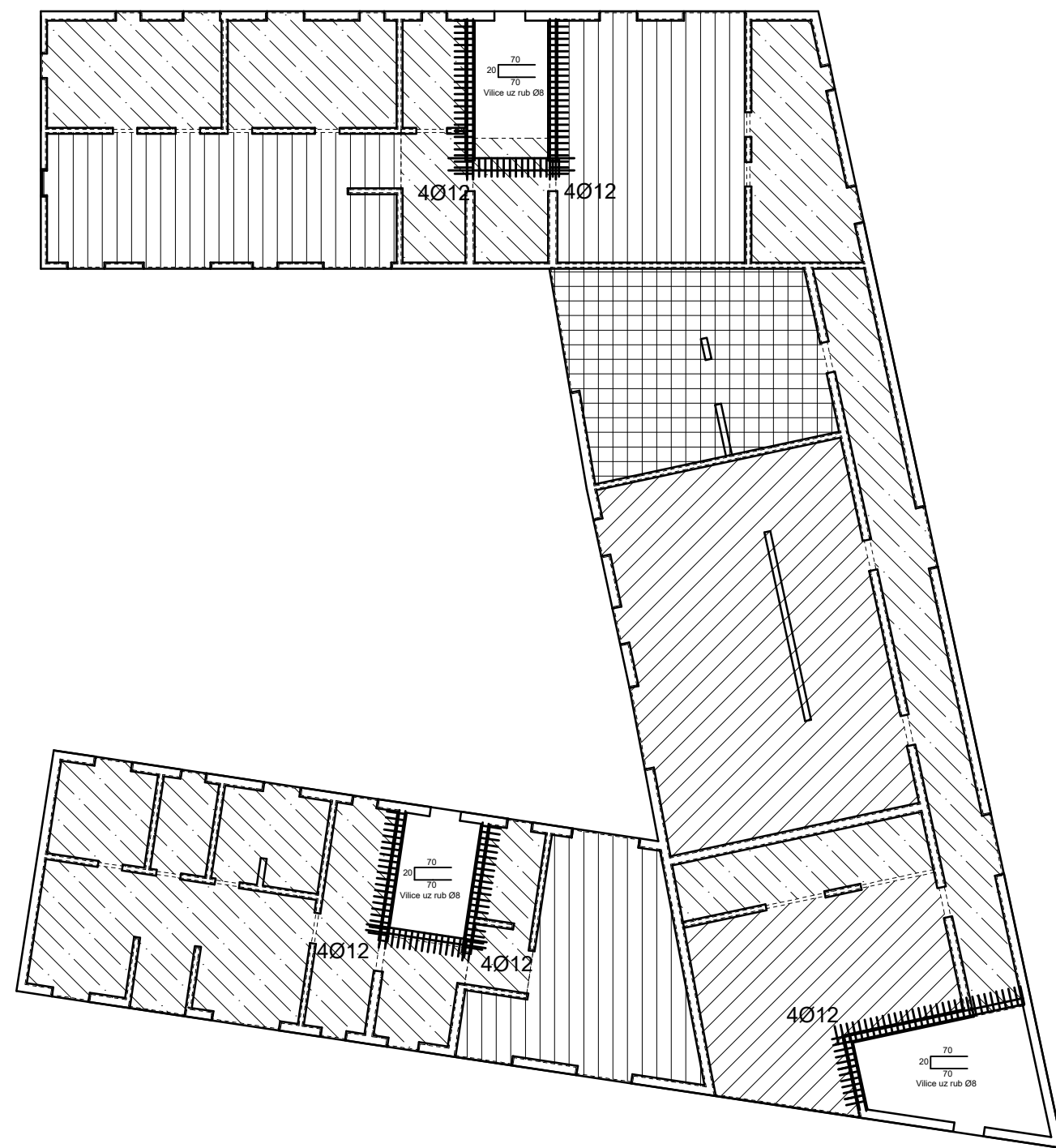
otvor u ploči


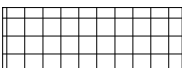


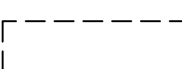
- Napomene:
- Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta
  - R mreže postavljati s preklopima 20 cm ili većim, R i Q mreže s preklopom 30 cm, a Q mreže s preklopom 40 cm
  - Na rubovima ploča postavljati R mreže, a na sjecištima zidova Q mreže.



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 300	BROJ PRILOGA: 15

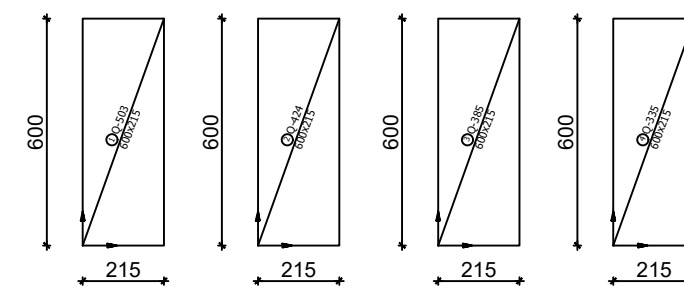
# Armatura ploče pozicija 400 DONJA ZONA M 1:200




-  Q-503
-  Q-424
-  Q-385
-  Q-335
-  otvor u ploči

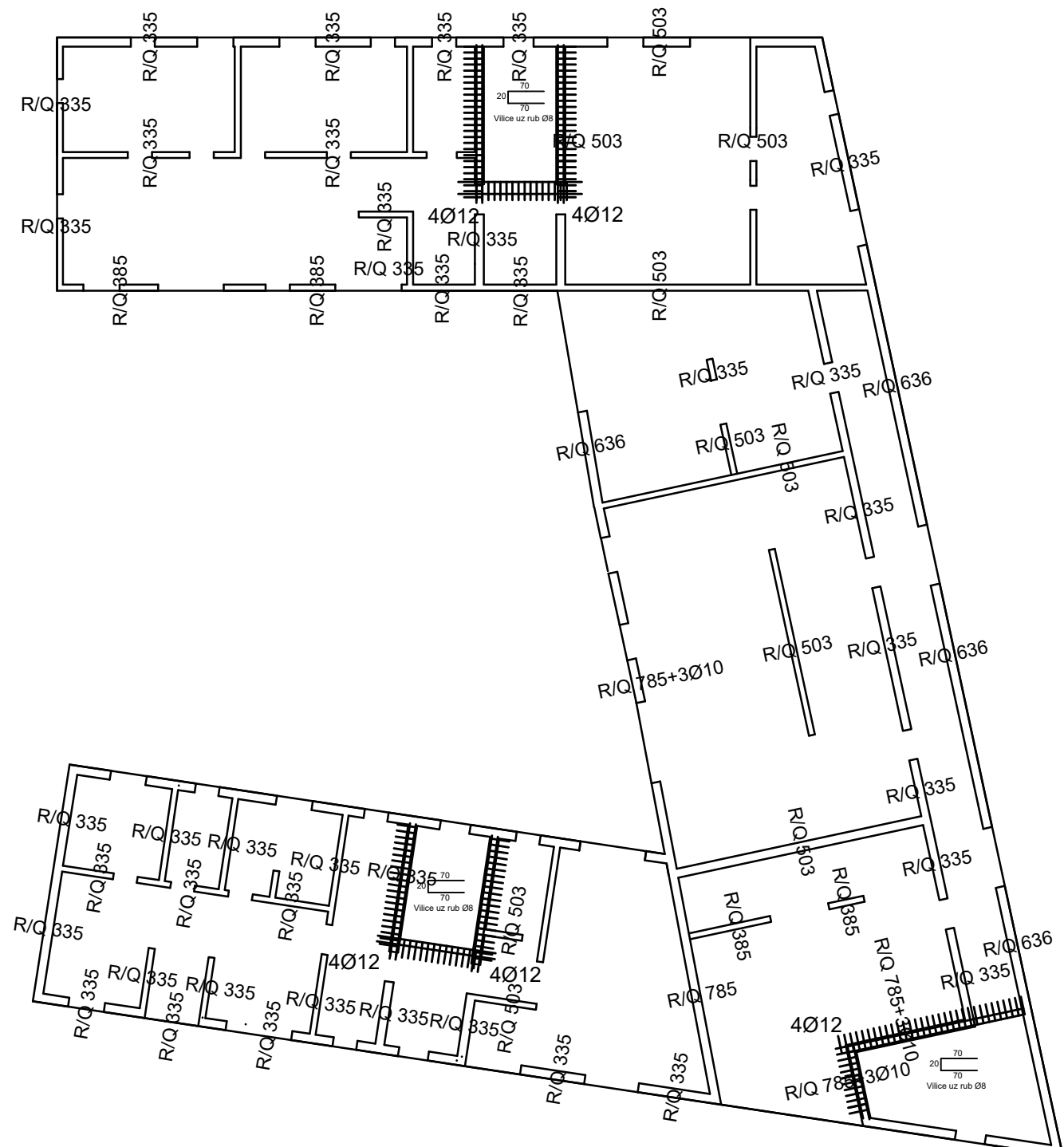
Napomene: - Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta  
- Mreže postavljati s preklapima 40 cm ili većim

Beton: C 30/37  
Armatura: B 500B



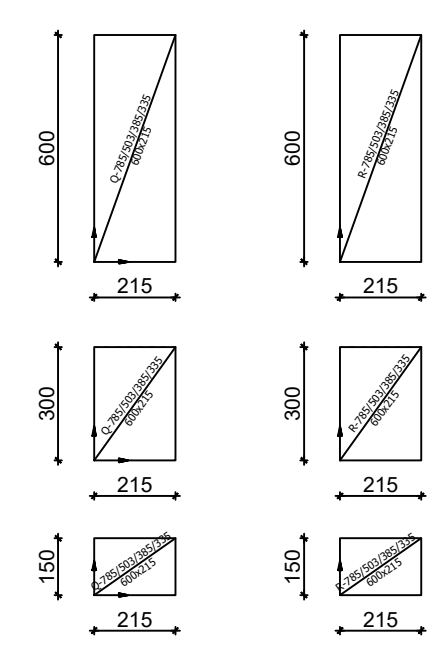
 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 400	BROJ PRILOGA: 16

# Armatura ploče pozicija 400 GORNJA ZONA M 1:200



otvor u ploči

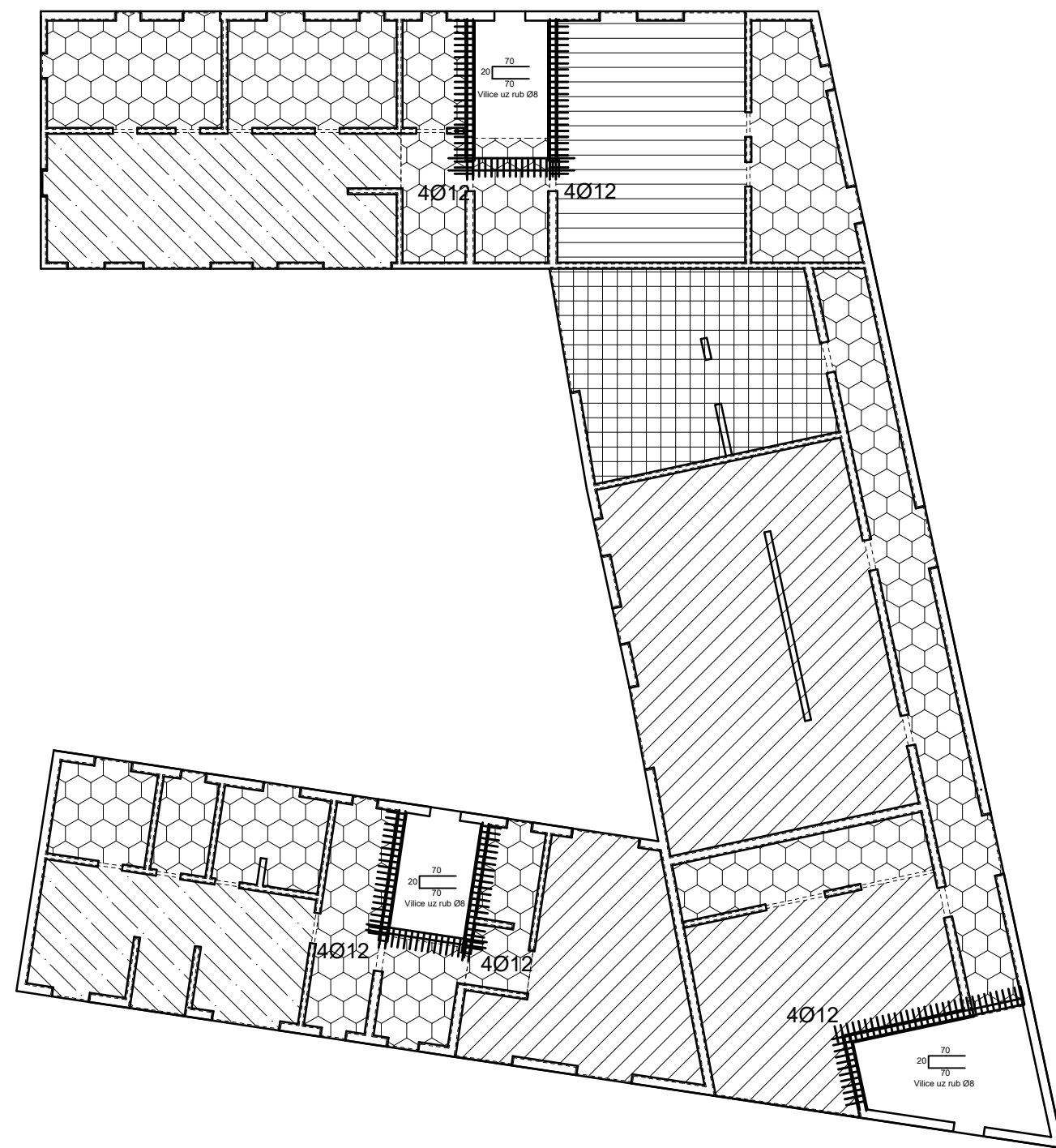
- Napomene:
- Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta
  - R mreže postavljati s preklopima 20 cm ili većim, R i Q mreže s preklapom 30 cm, a Q mreže s preklapom 40 cm
  - Na rubovima ploča postavljati R mreže, a na sjecištima zidova Q mreže.

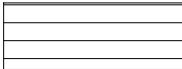




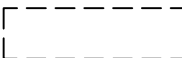


<p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 400	BROJ PRILOGA: 17

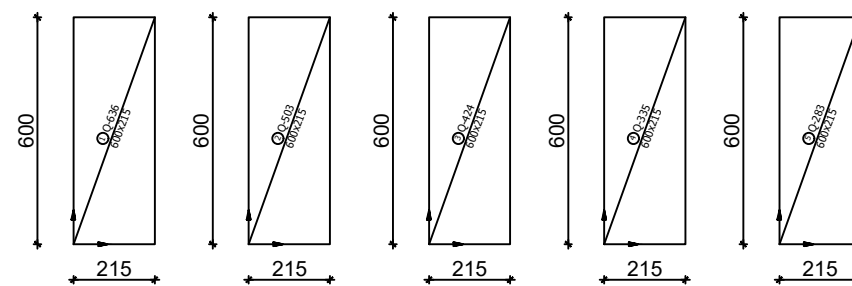



# Armatura ploče pozicija 500 DONJA ZONA M 1:200



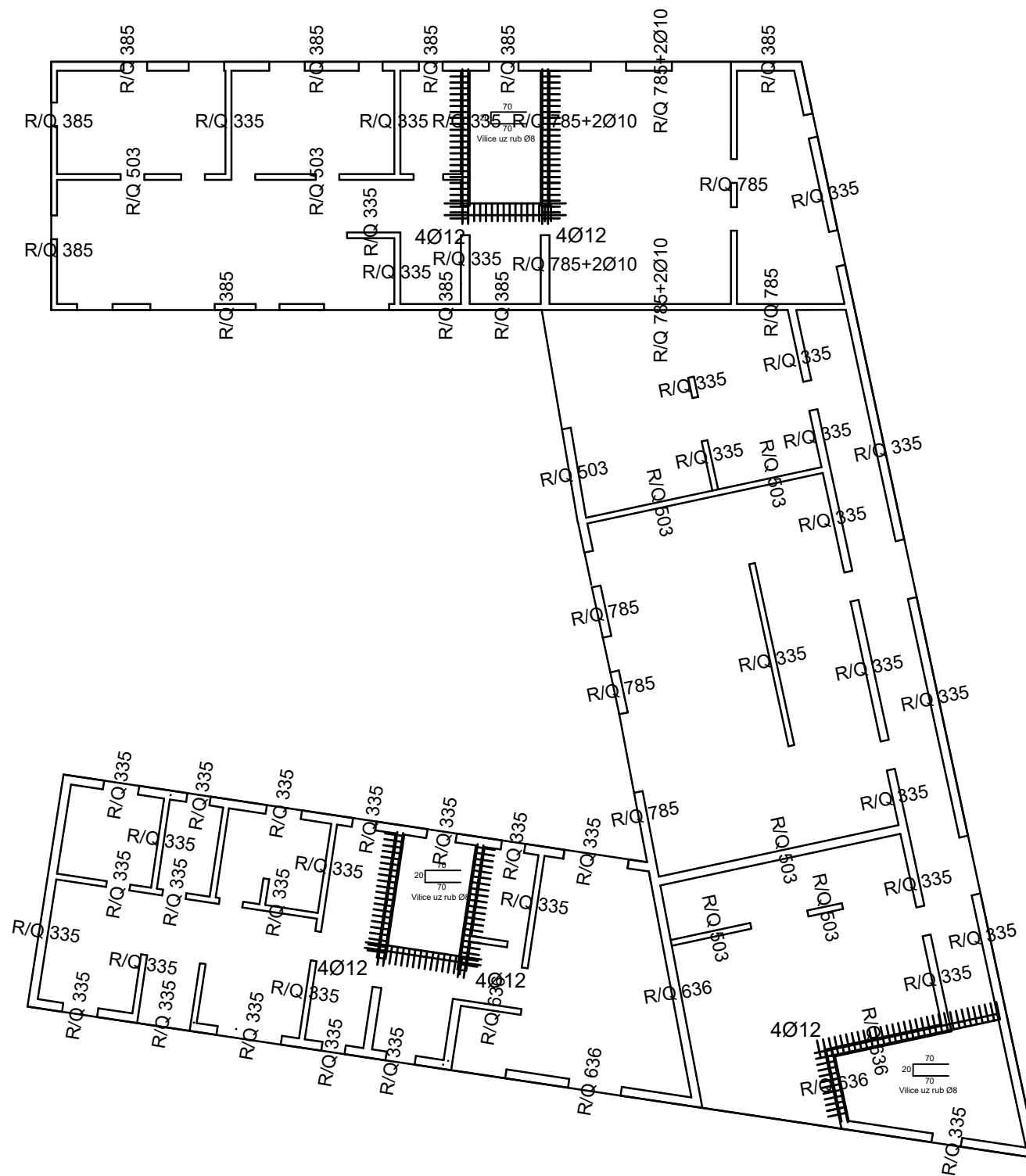
-  Q-636
-  Q-503
-  Q-424
-  Q-335
-  Q-283
-  otvor u ploči


Napomene: - Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta  
 - Mreže postavljati s preklapima 40 cm ili većim  
 Beton: C 30/37  
 Armatura: B 500B



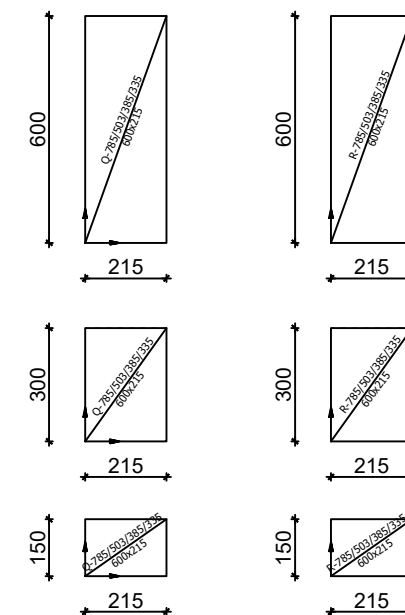
 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel: + 385 (0)21 303333; fax: + 385 (0)21 465117	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BRJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 500	BRJ PRILOGA: 18


# Armatura ploče pozicija 500 GORNJA ZONA M 1:200



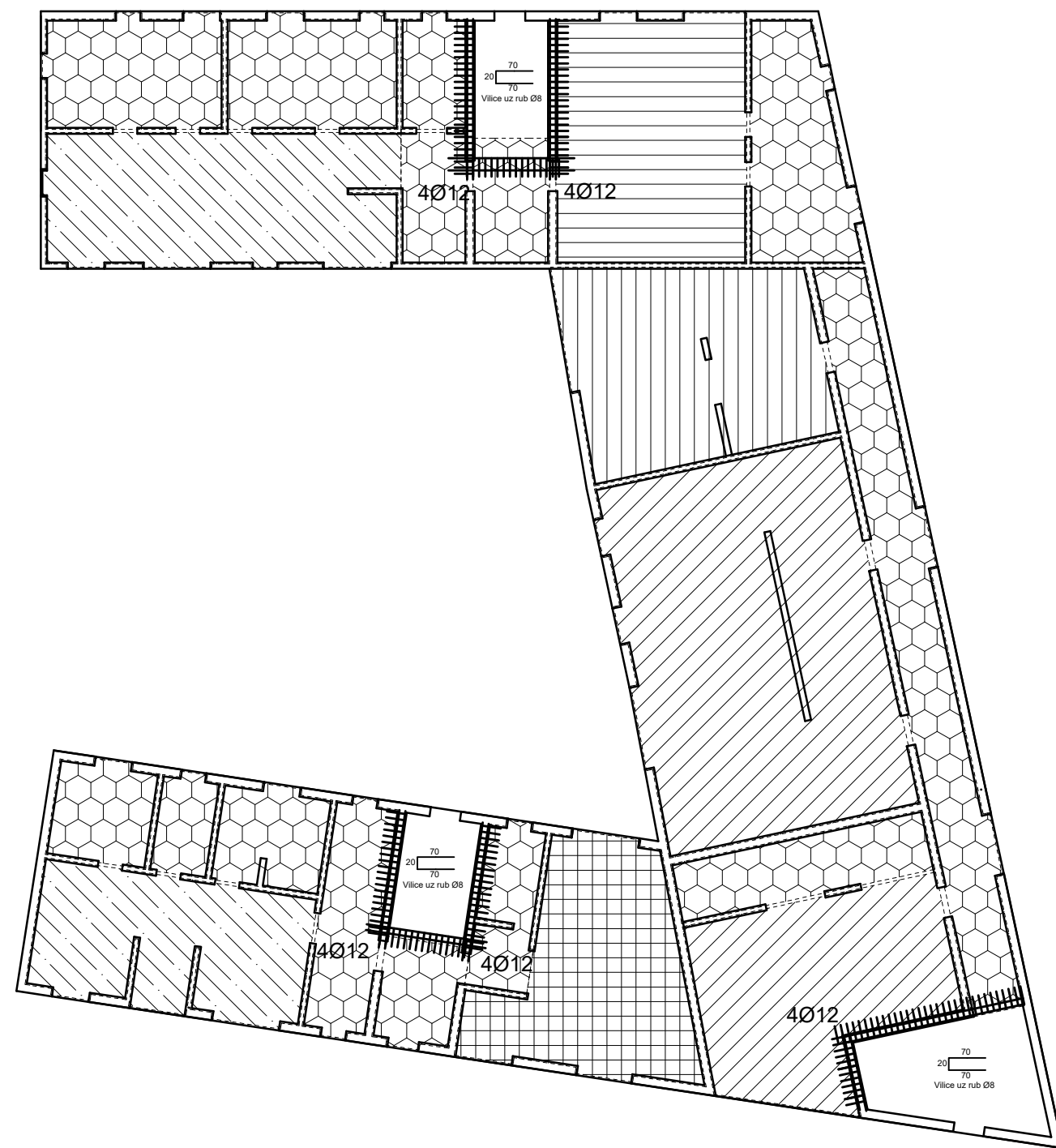
 otvor u ploči

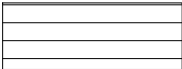



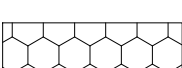
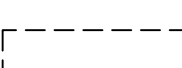
- Napomene:
- Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta
  - R mreže postavljati s preklopima 20 cm ili većim, R i Q mreže s preklopom 30 cm, a Q mreže s preklopom 40 cm
  - Na rubovima ploča postavljati R mreže, a na sjecištima zidova Q mreže.



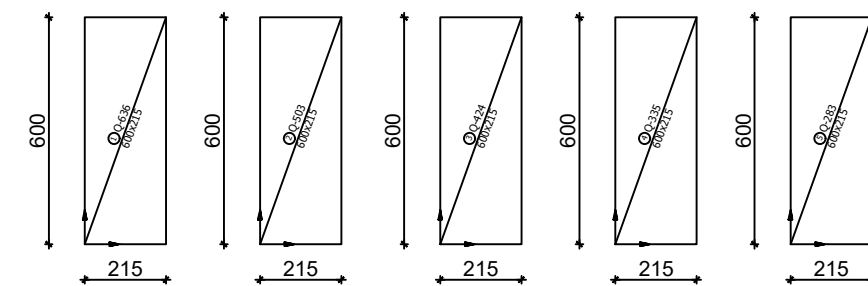
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 500	BROJ PRILOGA: 19


# Armatura ploče pozicija 600 DONJA ZONA M 1:200



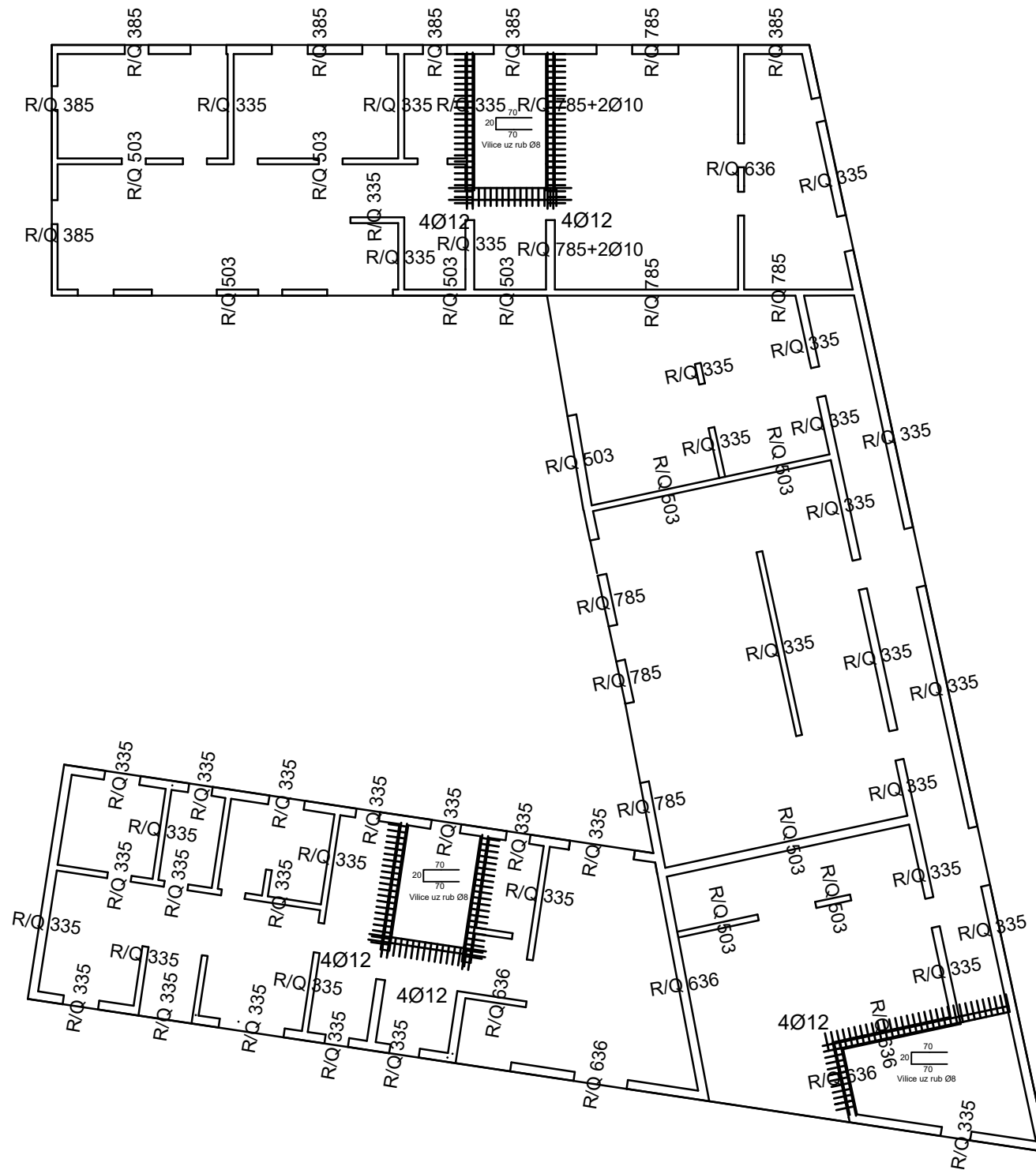
-  Q-636
-  Q-503
-  Q-424
-  Q-335
-  Q-283
-  otvor u ploči

Napomene: - Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta  
 - Mreže postavljati s preklapima 40 cm ili većim  
 Beton: C 30/37  
 Armatura: B 500B



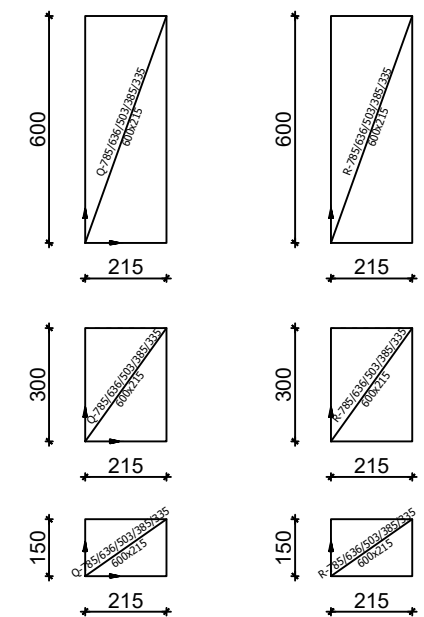
 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 600	BROJ PRILOGA: 20


# Armatura ploče pozicija 600 GORNJA ZONA M 1:200



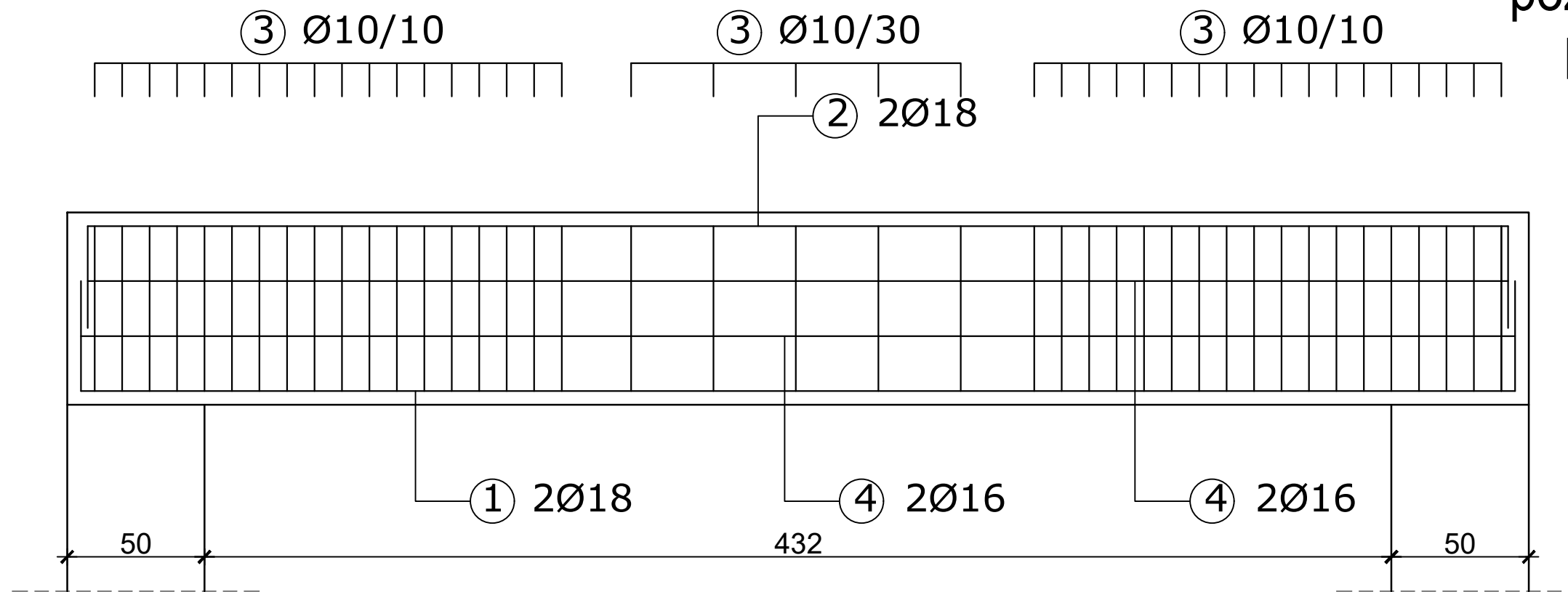
otvor u ploči

- Napomene:
- Na mjestima otvora mreže isjeći na licu mjesta
  - R mreže postavljati s preklopima 20 cm ili većim, R i Q mreže s preklapom 30 cm, a Q mreže s preklapom 40 cm
  - Na rubovima ploča postavljati R mreže, a na sjecištima zidova Q mreže.

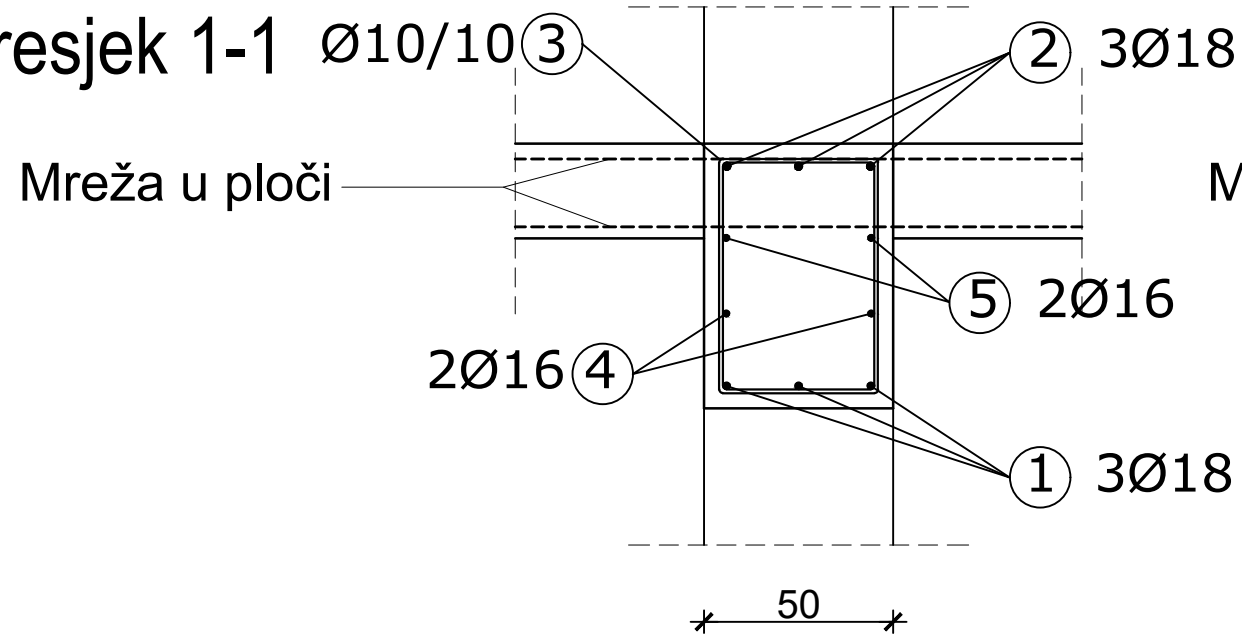


 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armaturni plan pozicija 600	BROJ PRILOGA: 21

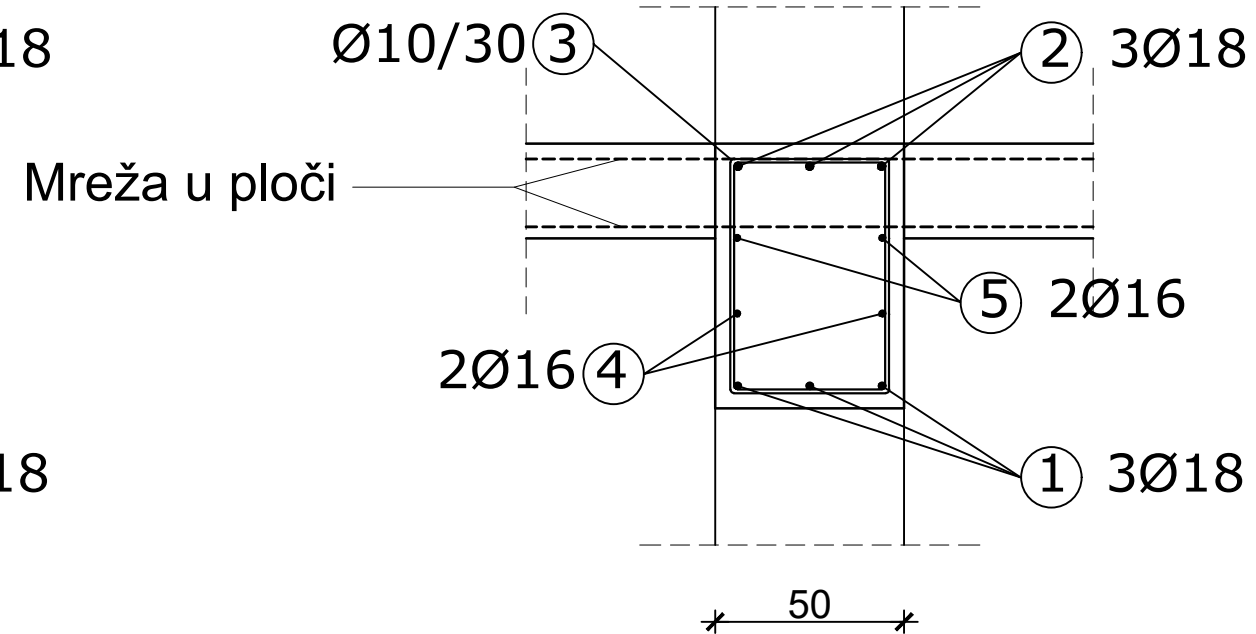
# Armatura grede pozicije 305 M 1:20




## Presjek 1-1 Ø10/10

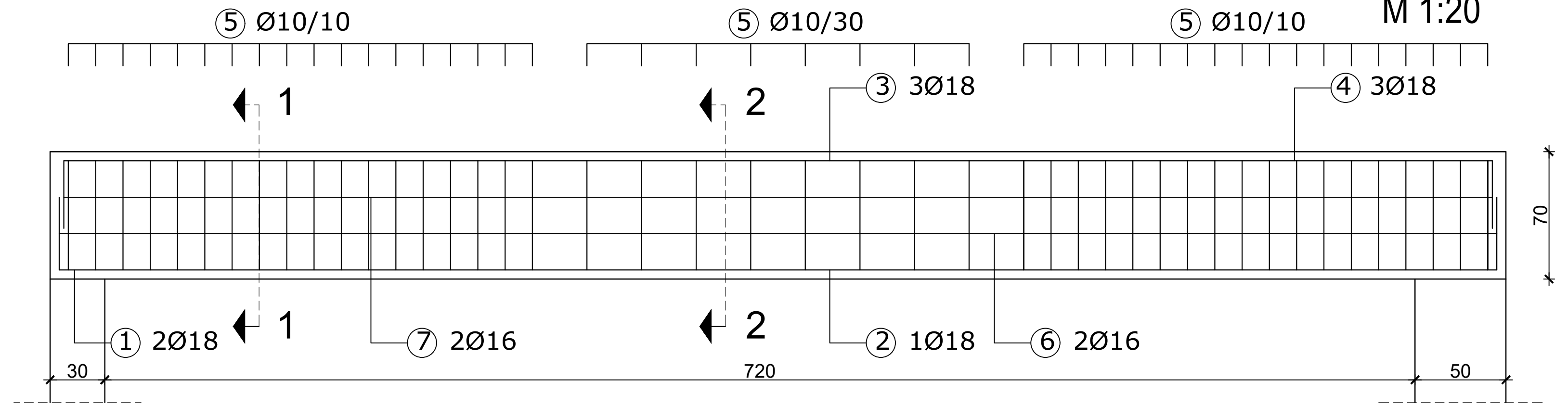


## Ø10/30 Presjek 2-2

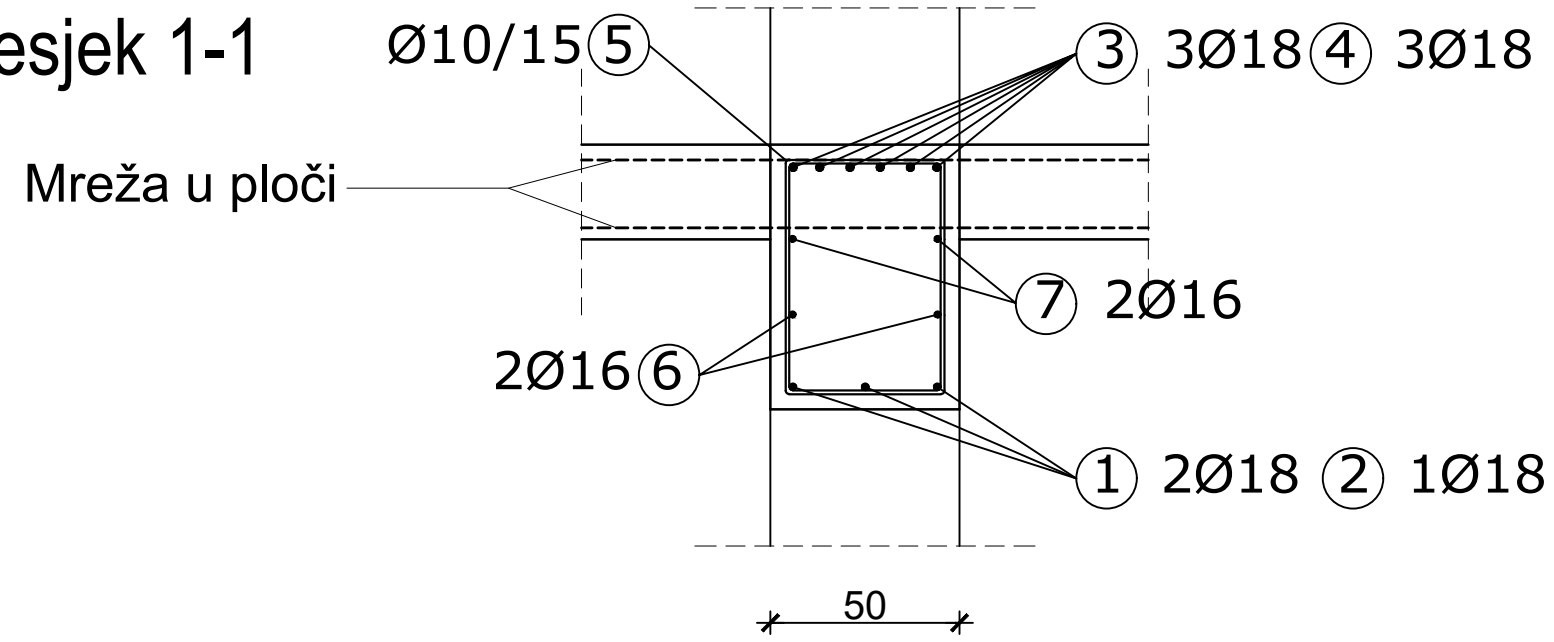


 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel. + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRAĐEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armatura grede pozicije 305	BROJ PRILOGA: 22

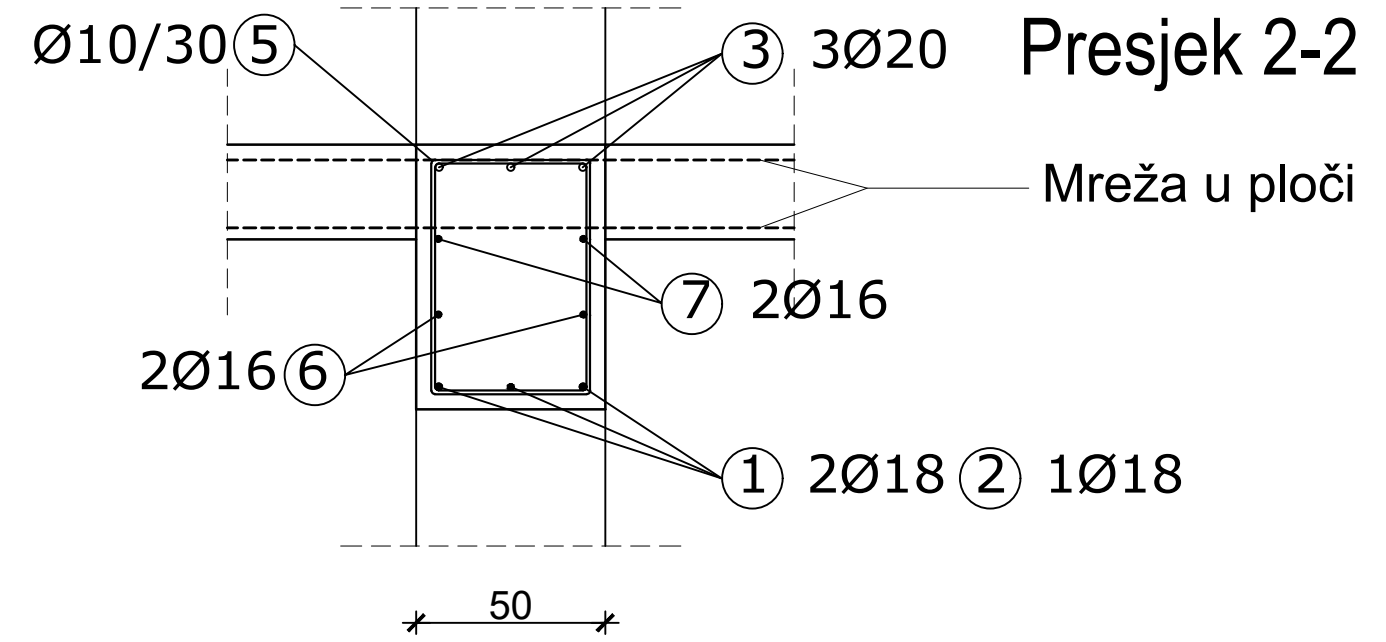
# Armatura grede pozicije 205 M 1:20



Presjek 1-1

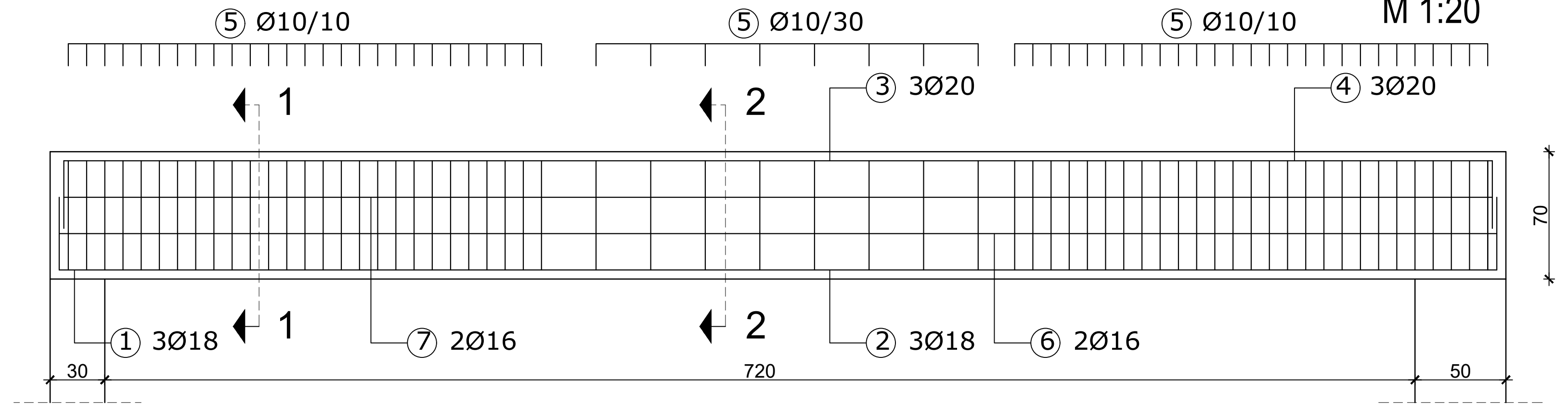


Presjek 2-2

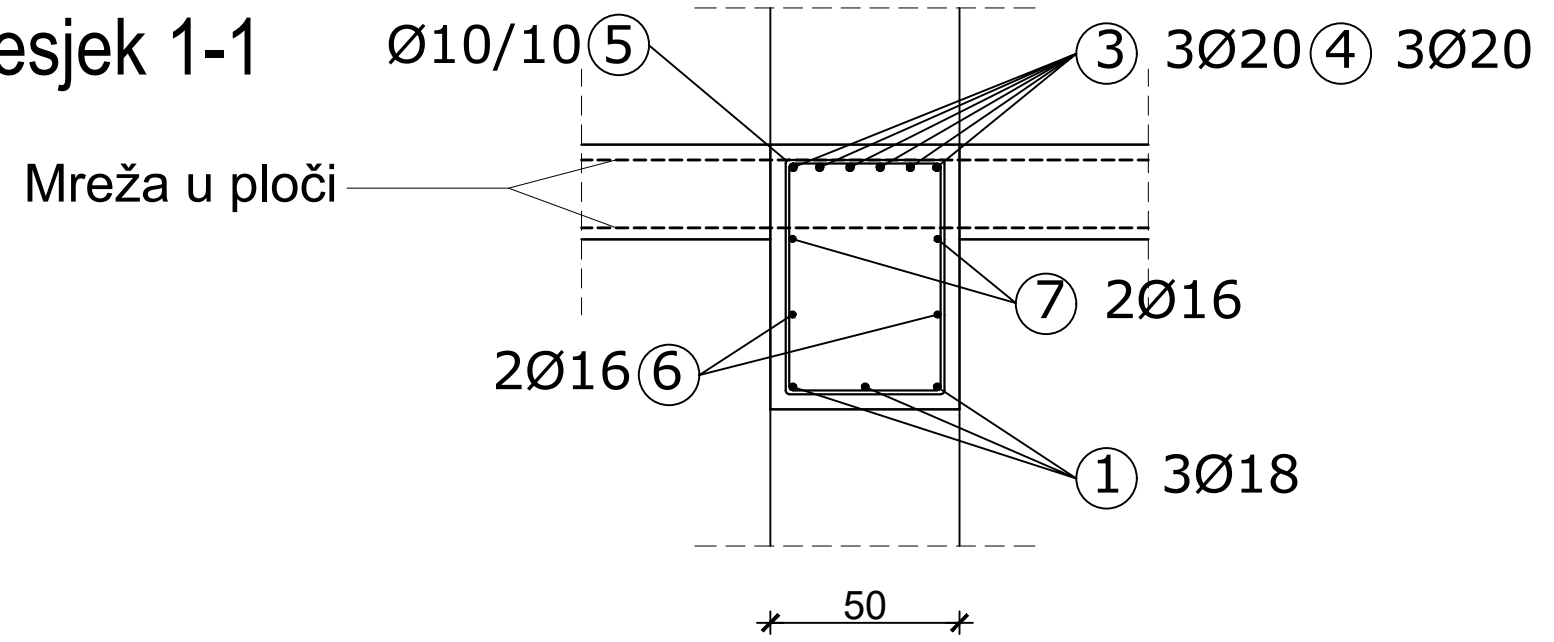


<p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463, tel: +385 (0)21 303333, fax: +385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRAĐEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nedijko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armatura grede pozicije 205	BROJ PRILOGA: 23

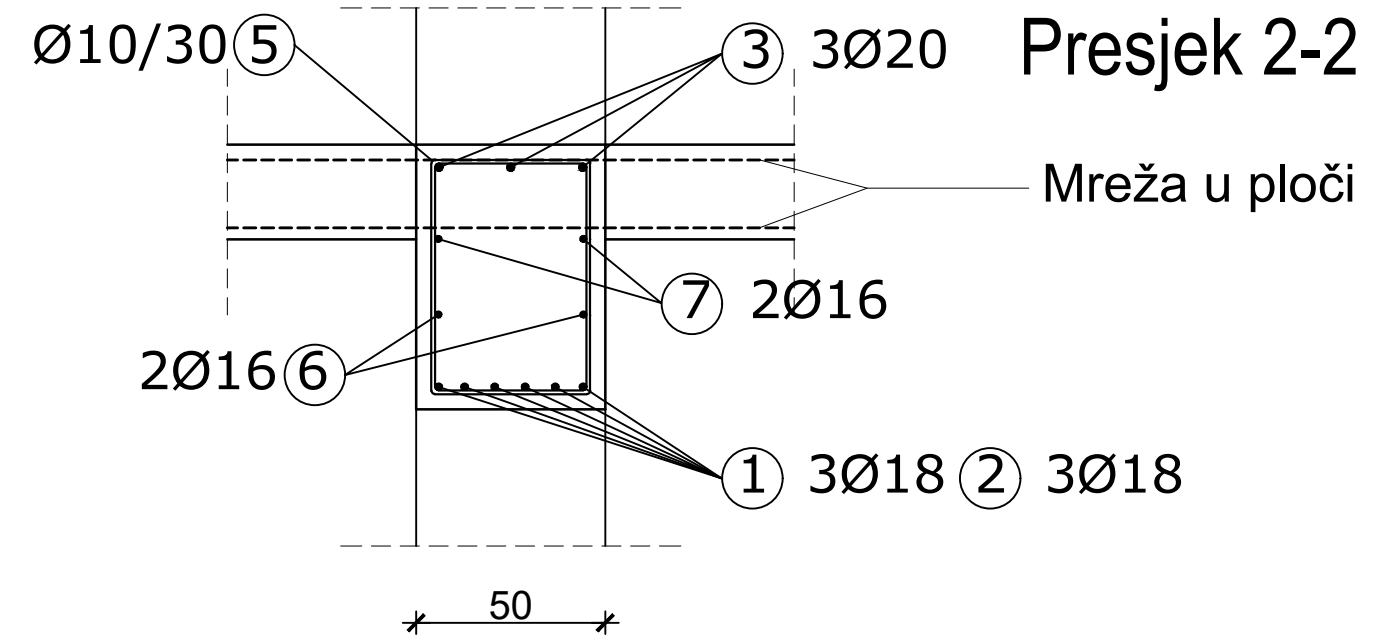
Armatura grede  
pozicije 105  
M 1:20



Presjek 1-1



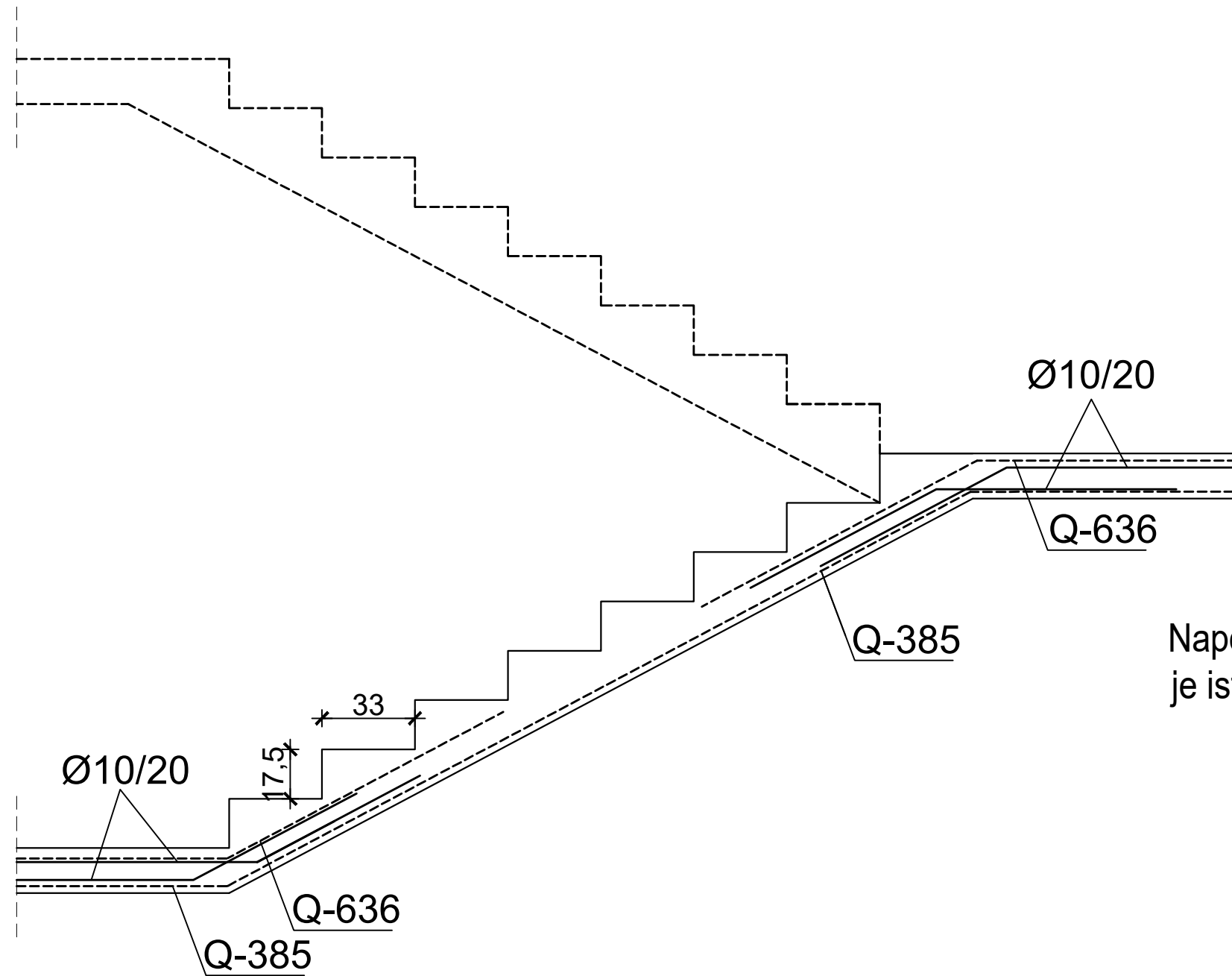
Presjek 2-2




<p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463, tel: +385 (0)21 303333, fax: +385 (0)21 456117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRAĐEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nedijko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armatura grede pozicije 105	BROJ PRILOGA: 24

# Armatura stubišta 1

## M 1:20

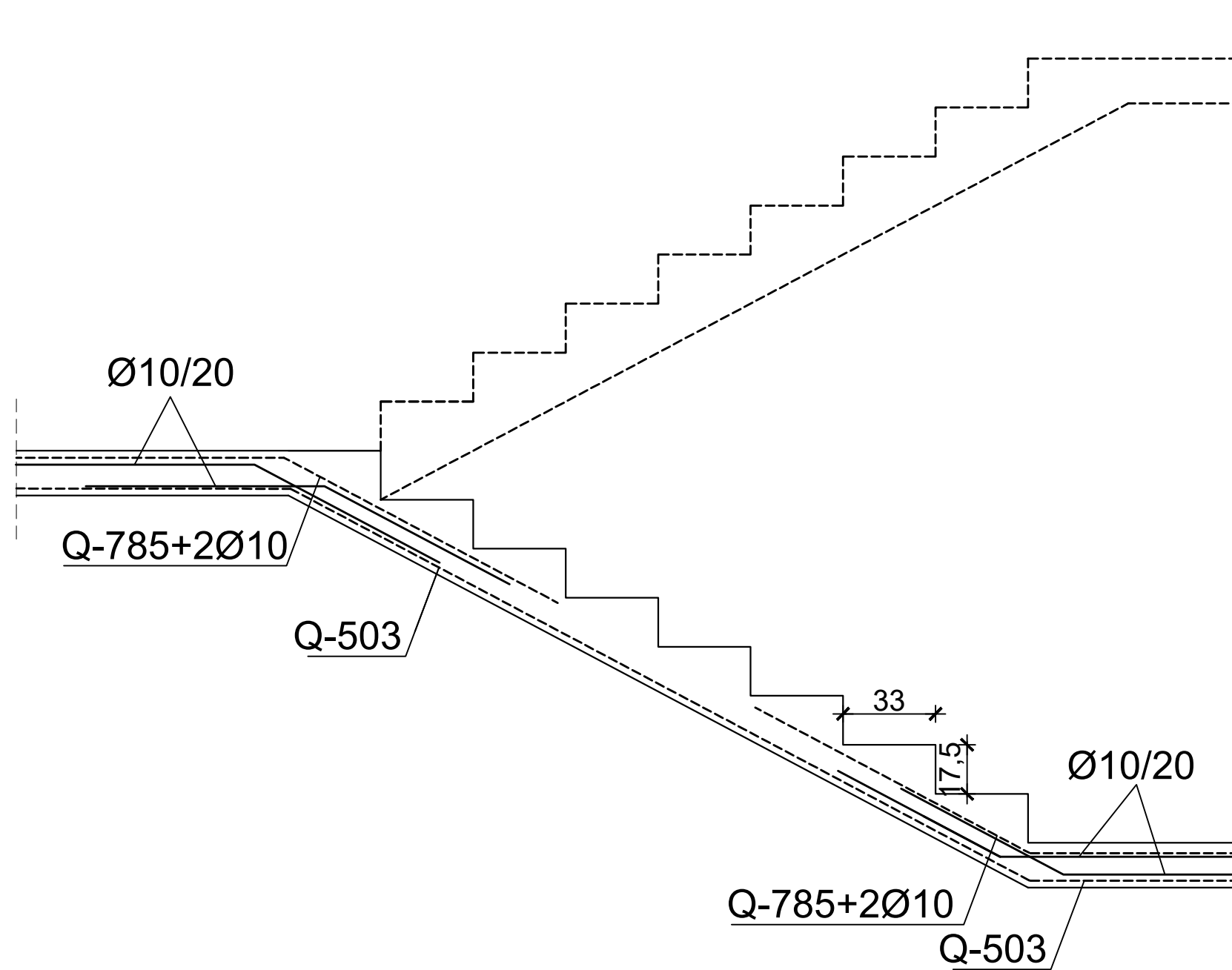



Napomena: armatura stubišta 2 je ista pa je nećemo prikazivati.

 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armatura stubišta 1	BROJ PRILOGA: <b>25</b>

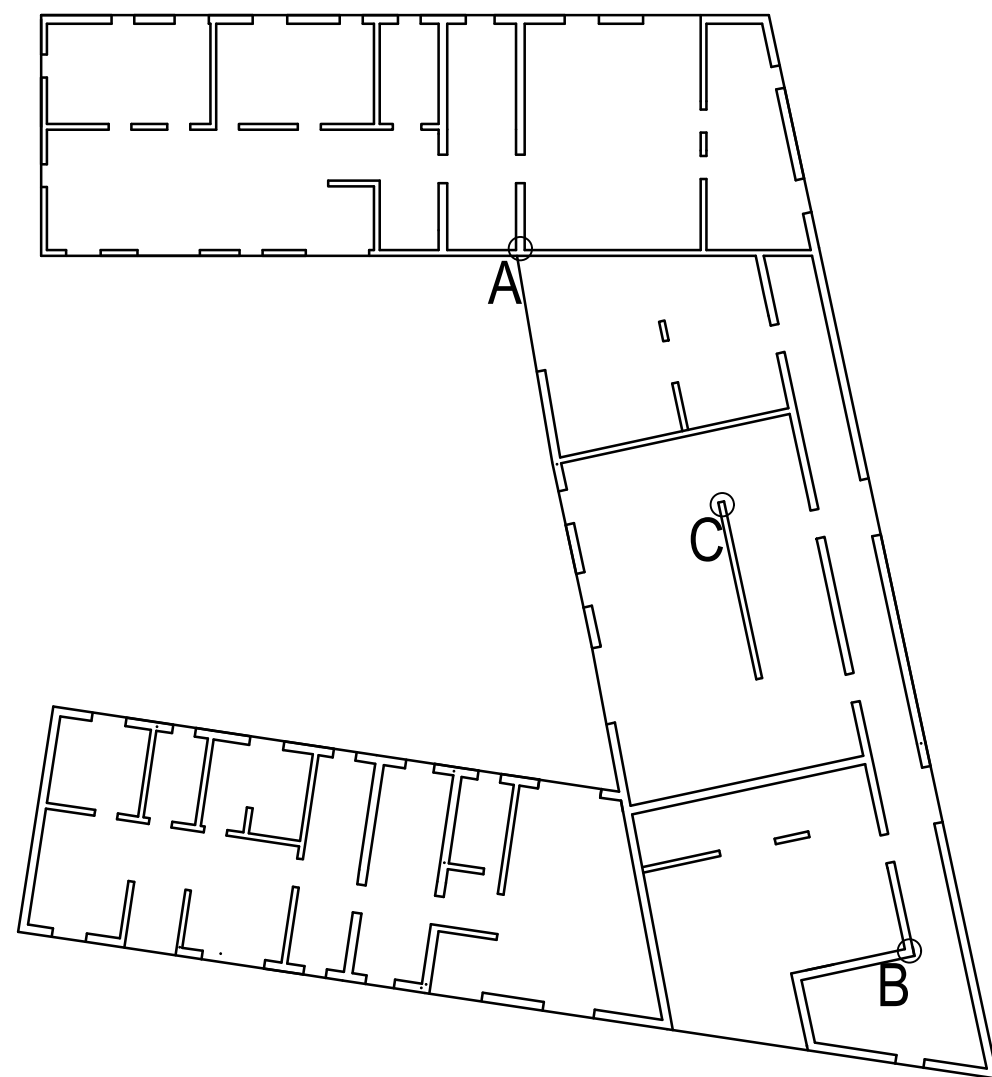


# Armatura stubišta 3 M 1:20

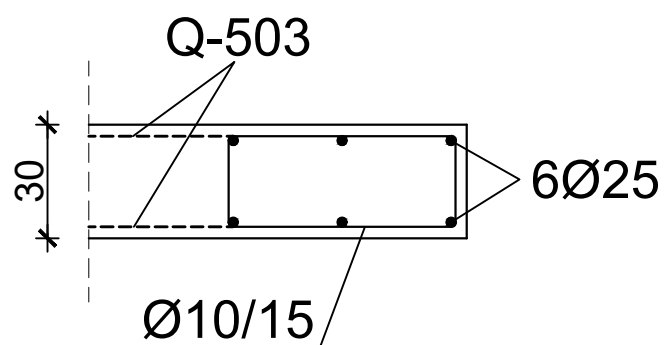


 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armatura stubišta 3	BROJ PRILOGA: 26

# Zidovi karakterističnog kata

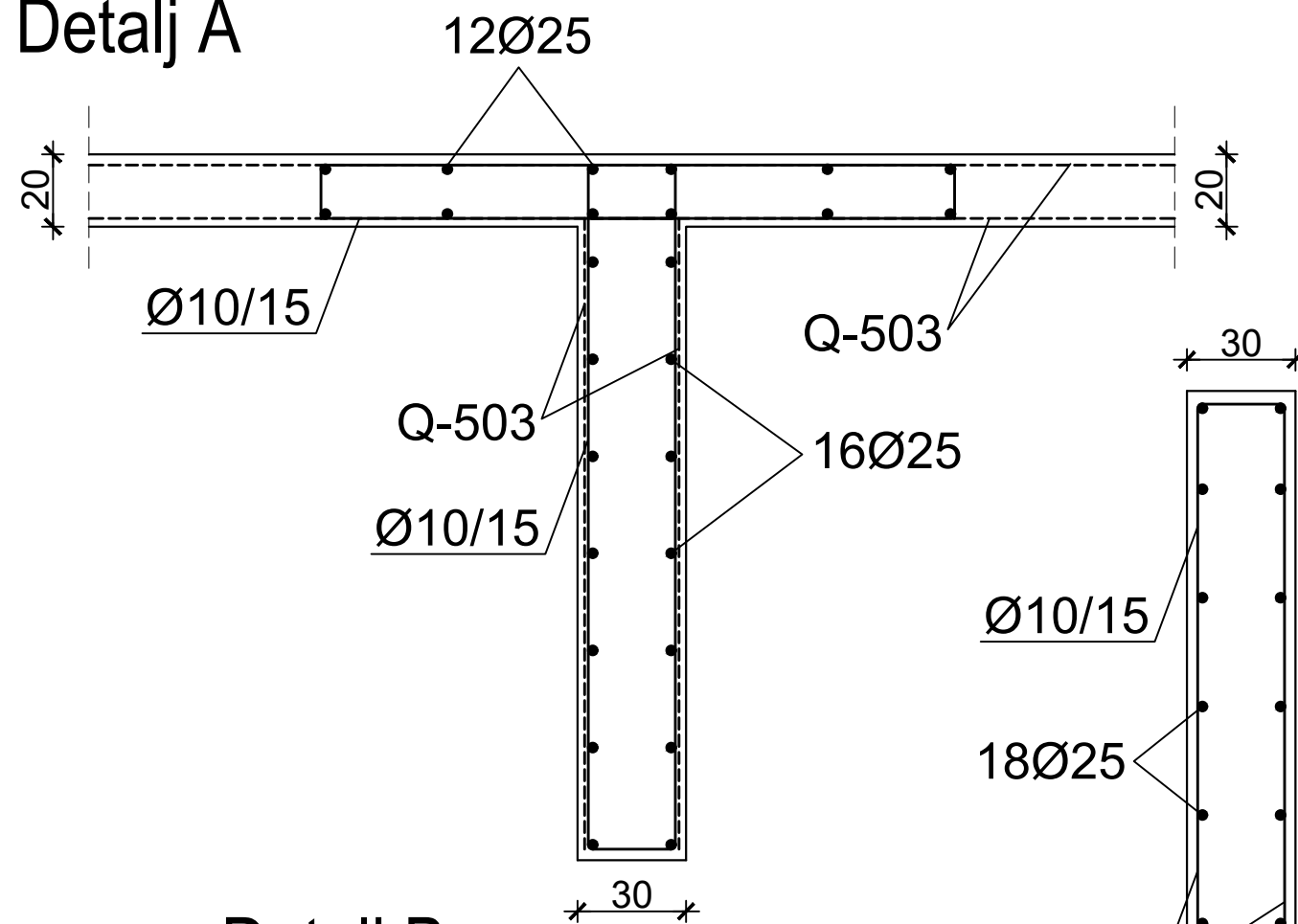


## Detalj C

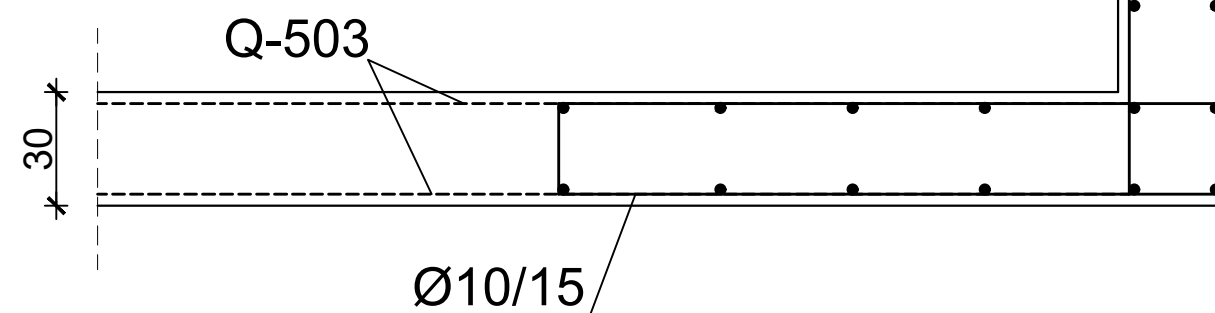


# Plan pozicija i armatura zidova M 1:20

## Detalj A

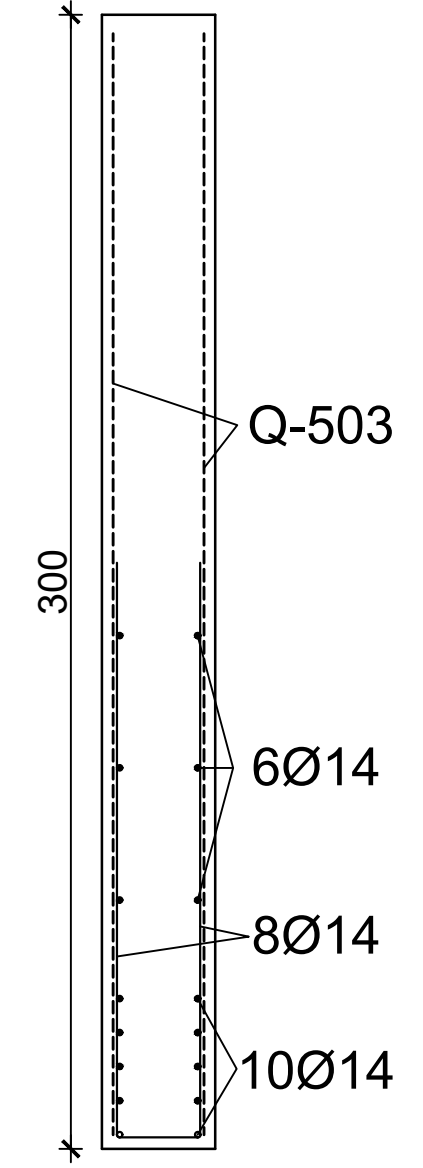
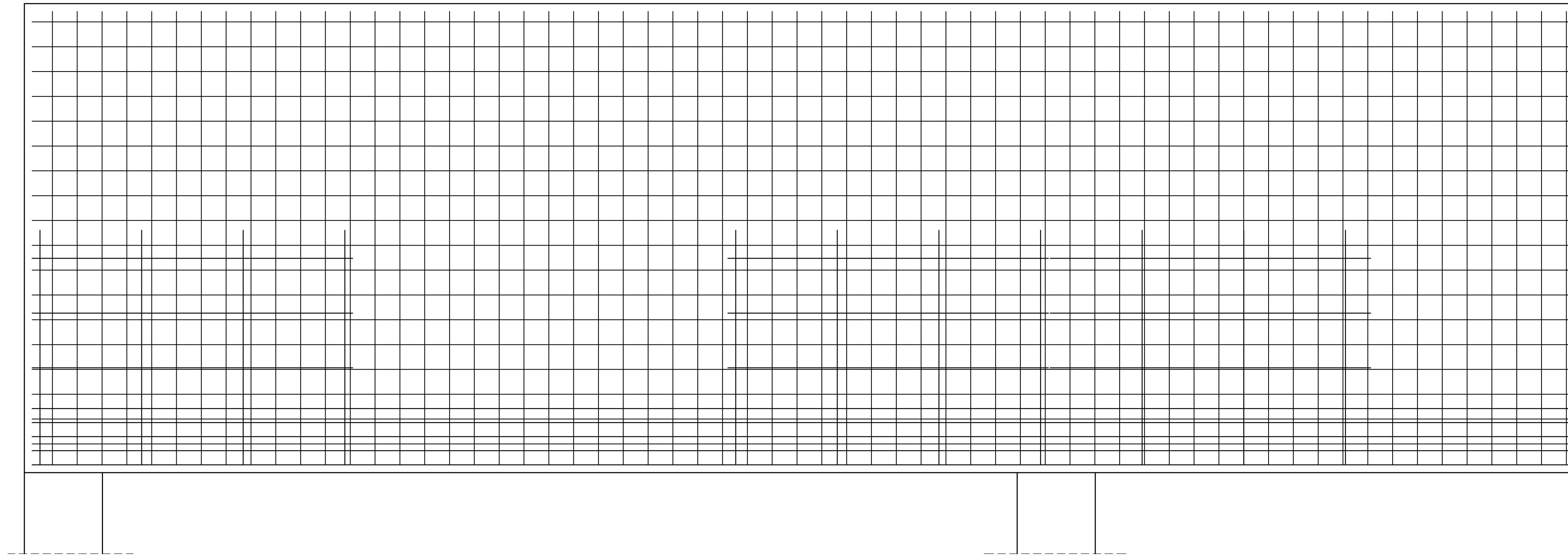



## Detalj B



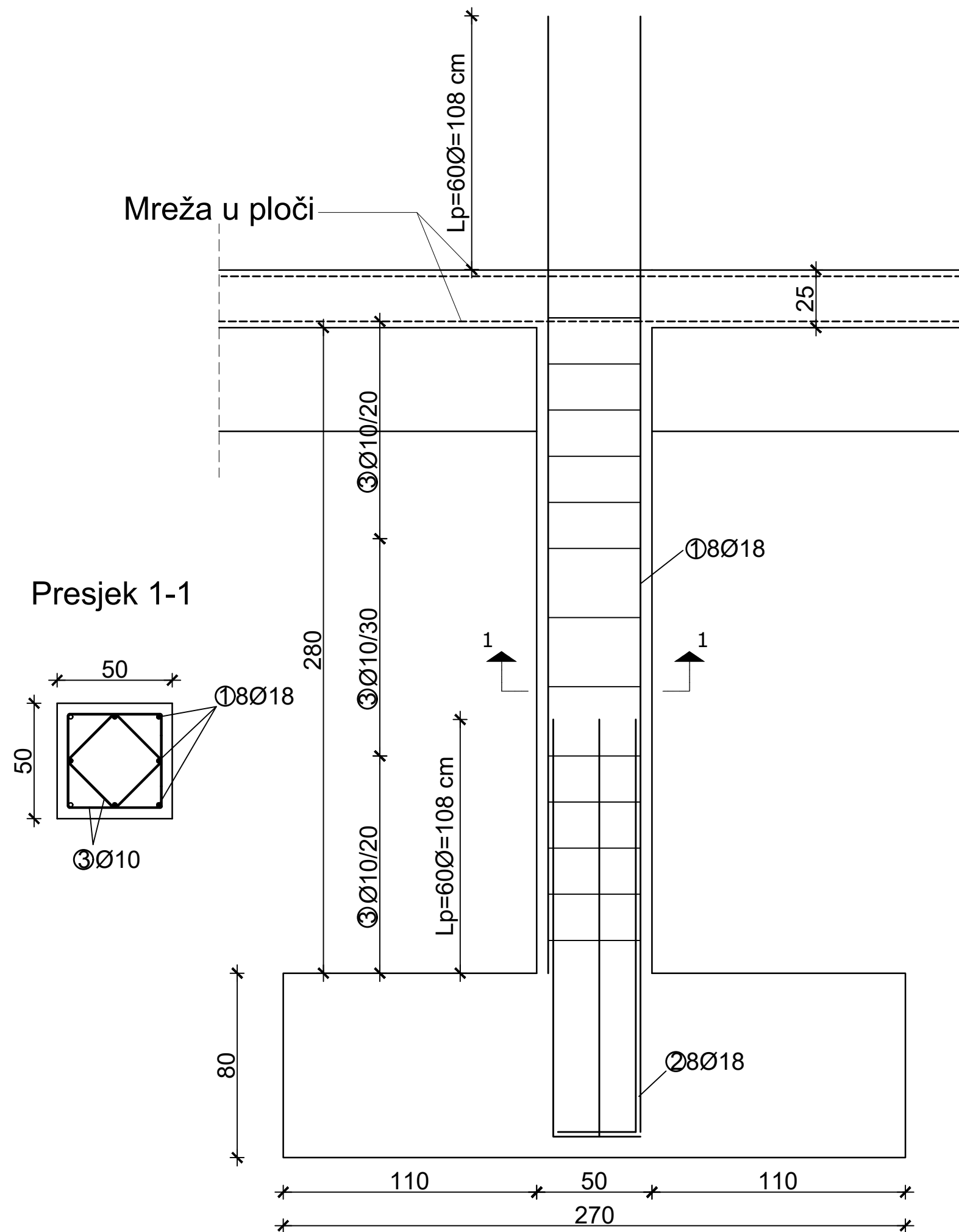
<p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463, tel: +385 (0)21 303333; fax: +385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRAĐEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
SADRŽAJ: Armatura zidova	BROJ PRILOGA: 27	


# Armatura visokostijenog nosača M 1:20



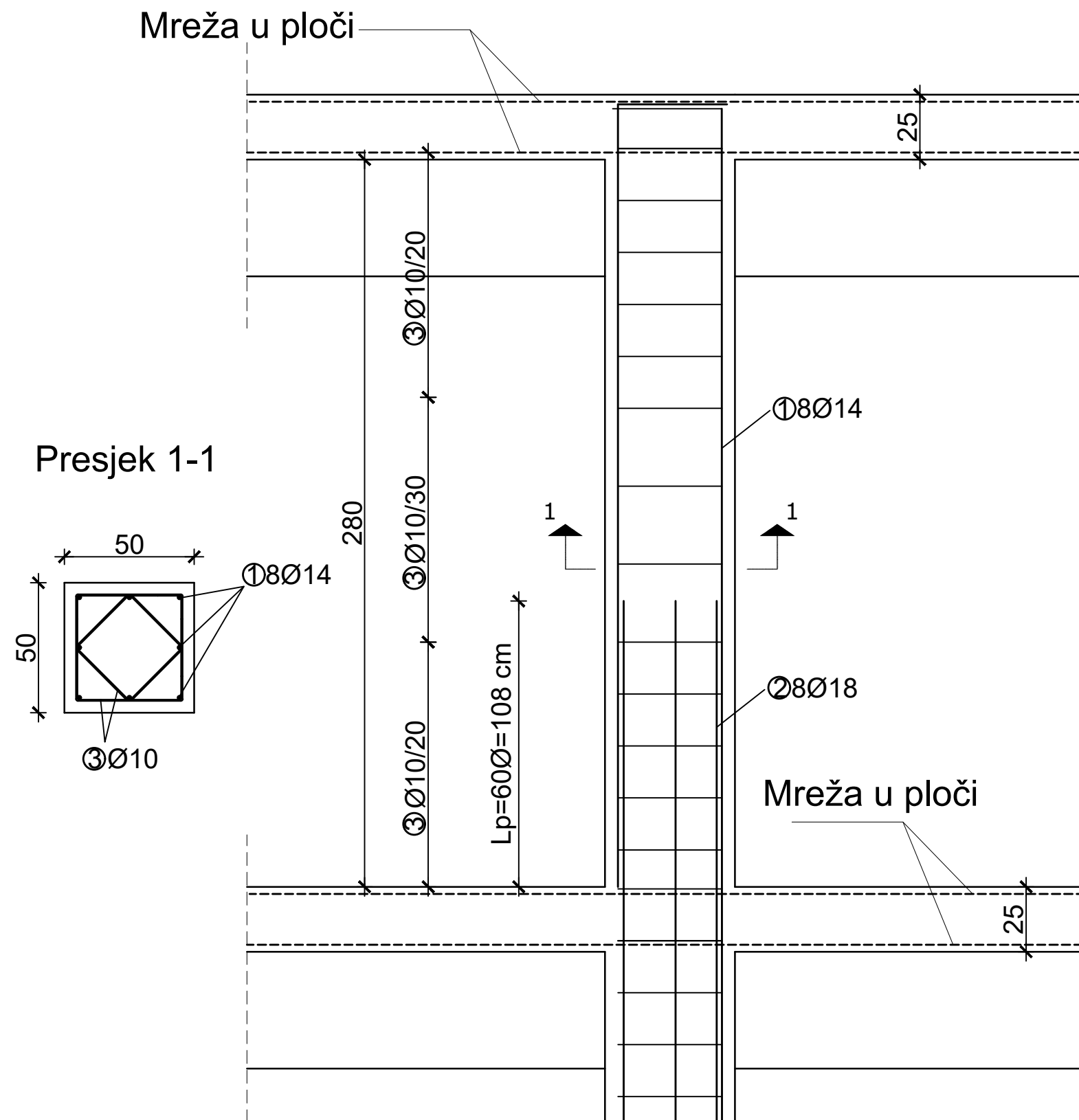
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149433, tel. +385 (0)21 303333, fax. +385 (0)21 485117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galinčić
	SADRŽAJ: Armatura visokostijenog nosača	BROJ PRILOGA: 28


# Armatura karakterističnog stupa S1 M 1:20



 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:20
	GRAĐEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armatura stupa S1	BROJ PRILOGA: 29

# Armatura karakterističnog stupa S2 M 1:20

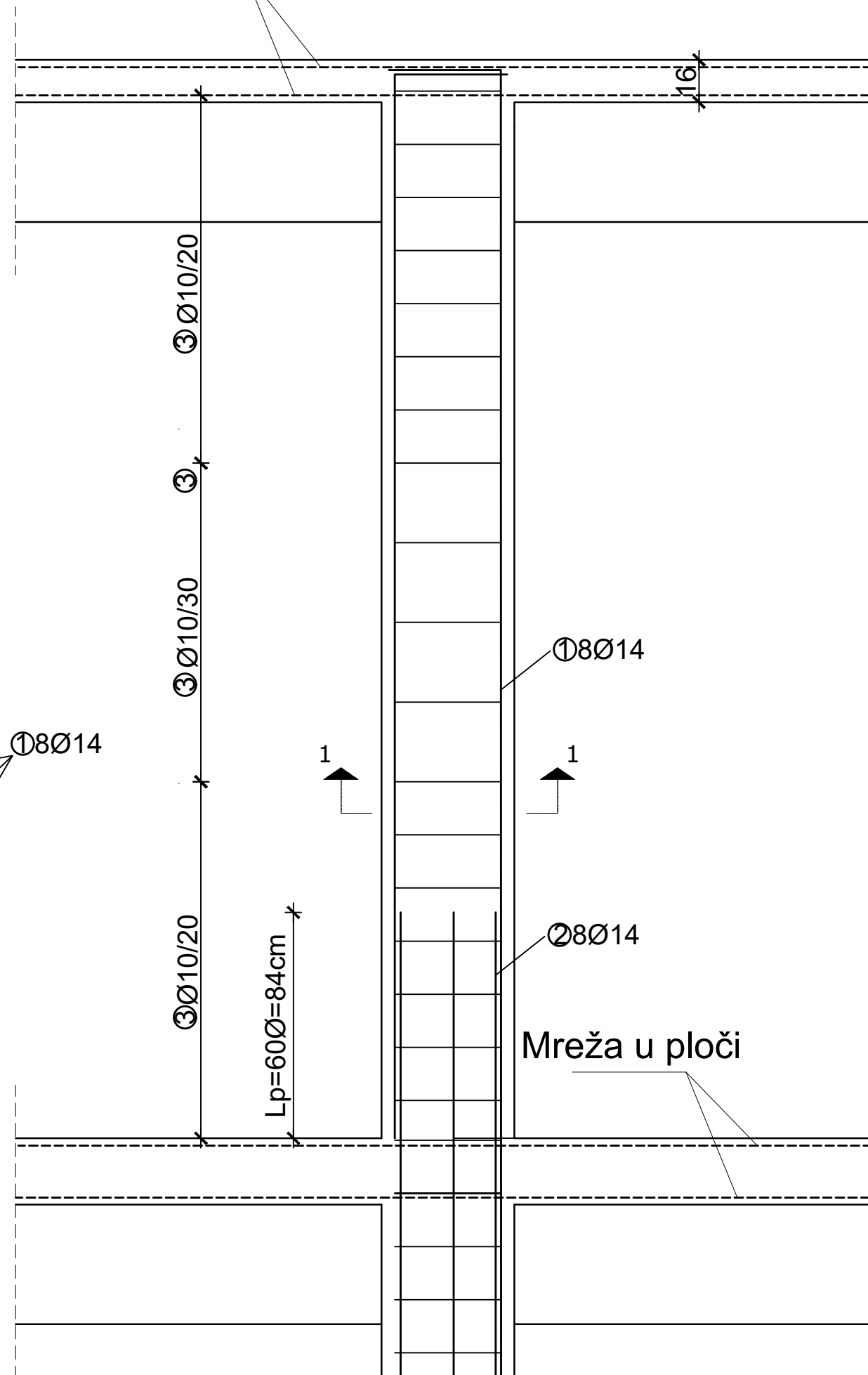
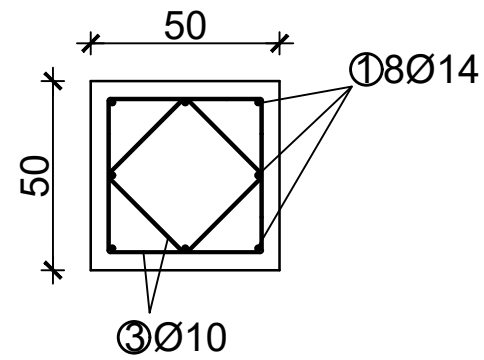



 SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:20
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armatura stupa S2	BROJ PRILOGA: 30

Mreža u ploči

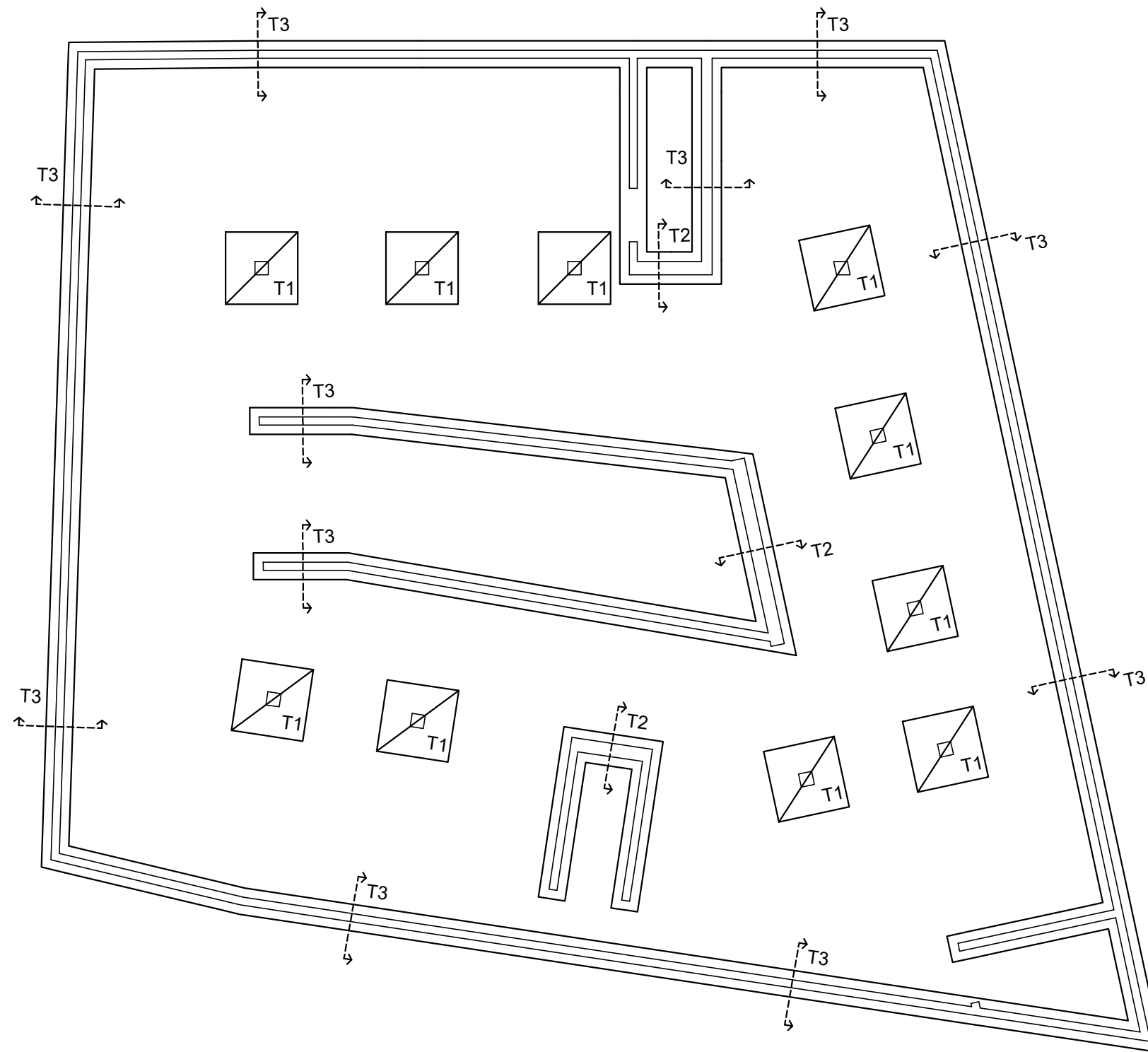
# Armatura karakterističnog stupa S3 M 1:20


Presjek 1-1



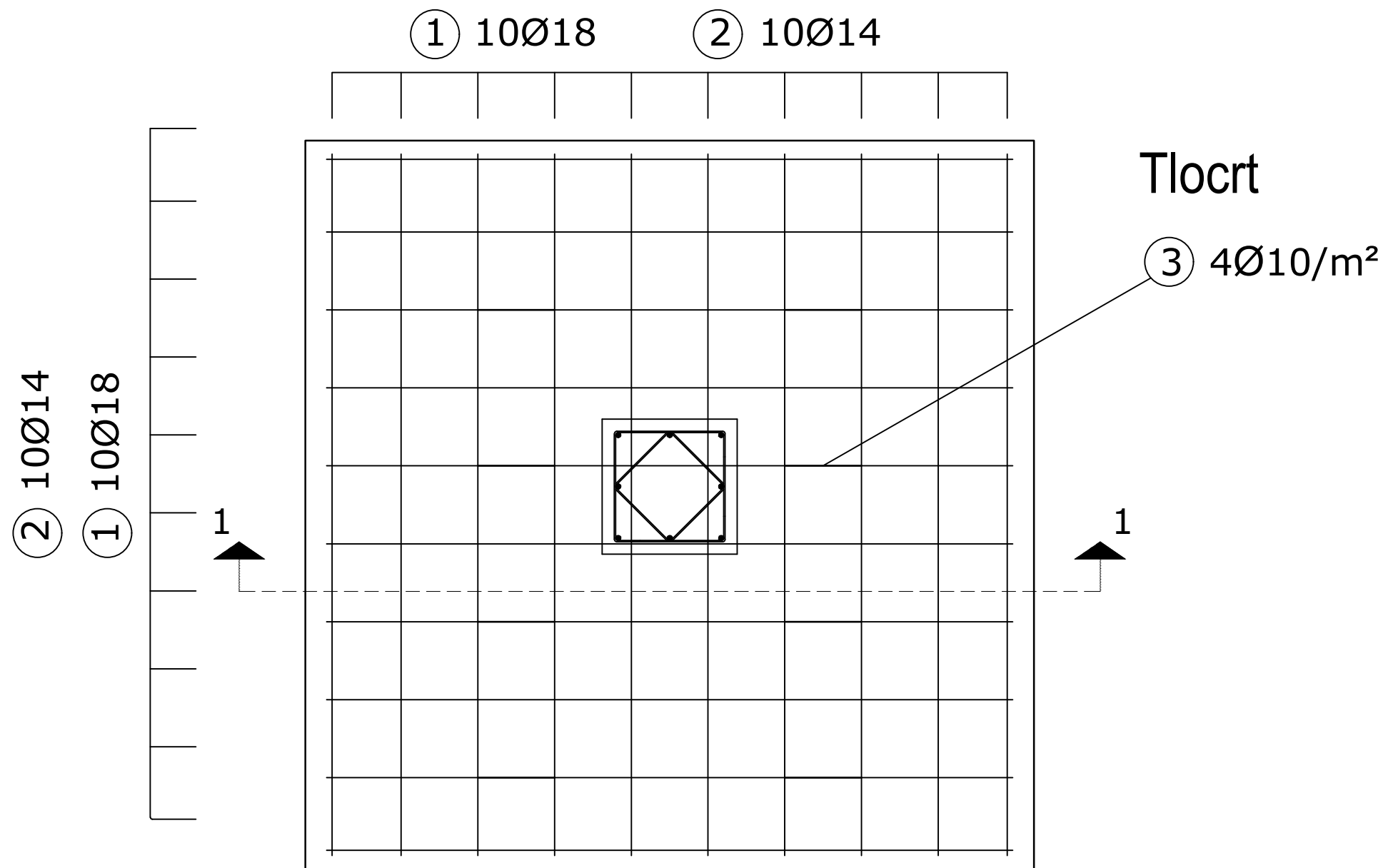
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel. + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:20
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Čirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armatura stupa S3	BROJ PRILOGA: 31

# Plan pozicija temelja M 1:200

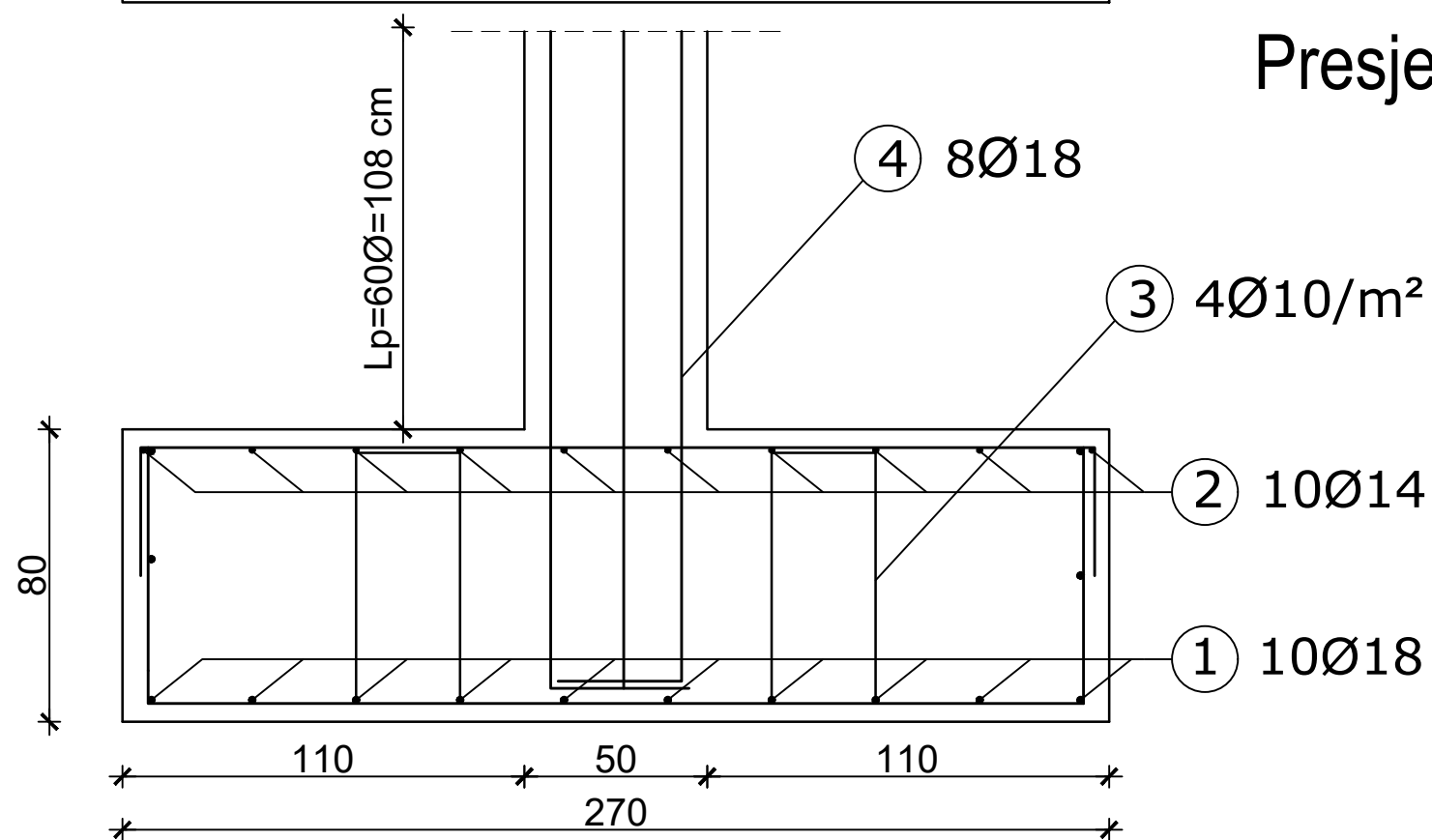



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel. + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Plan pozicija temelja	BROJ PRILOGA: 32

Temelj samac  
T1  
M 1:20



Presjek 1-1

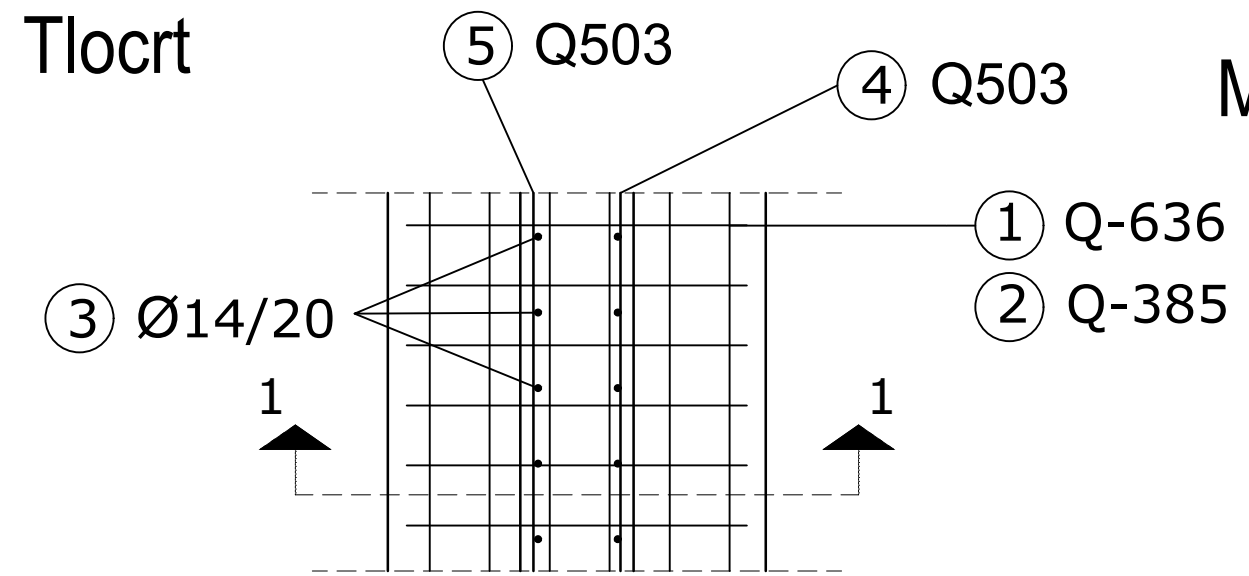
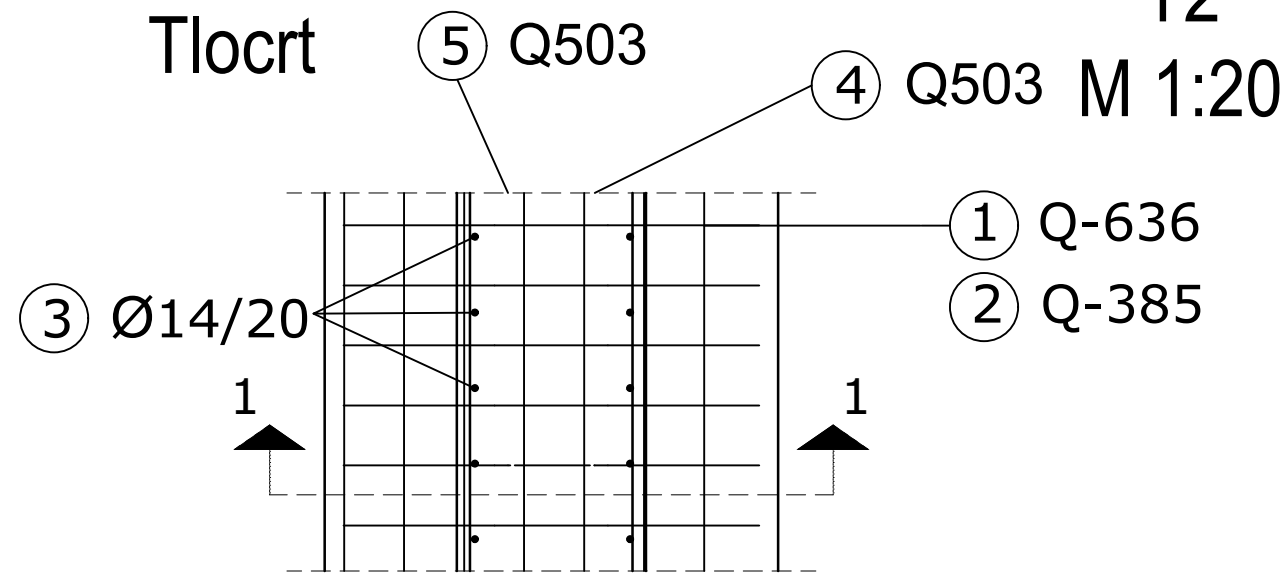


 SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRADEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armatura temelja samca	BROJ PRILOGA: 33

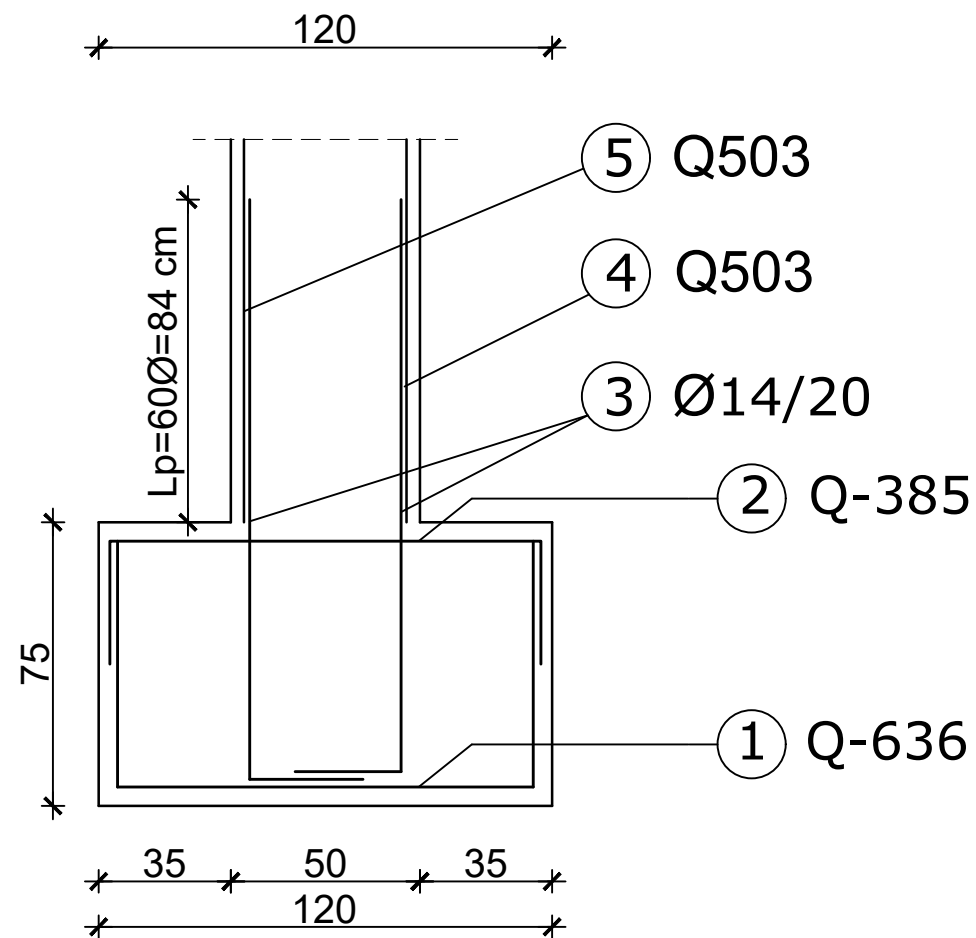


### Temeljna traka T2

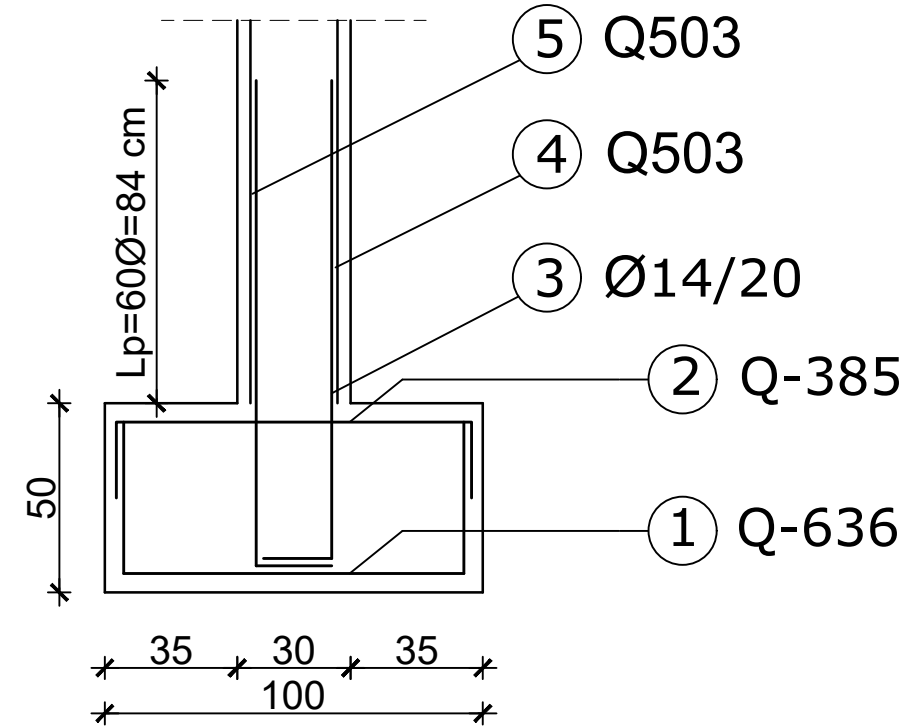
### Temeljna traka T3



### Presjek 1-1



### Presjek 1-1



<p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 MB 3149463; tel. + 385 (0)21 303333; fax + 385 (0)21 465117</p>	INVESTITOR / NARUČITELJ: FGAG, Matice hrvatske 15, 21000 Split	MJERILO: 1:200
	GRAĐEVINA: Poslovno-stambena zgrada na križanju Mangerove ulice i Ulice Ćirila i Metoda	DATUM: srpanj, 2021.
	VRSTA PROJEKTA: Projekt konstrukcije	BROJ PROJEKTA: kk-07-2021.
	RAZINA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT	PROJEKTANT: Zvonimir Nediljko Čondić-Galiničić
	SADRŽAJ: Armatura temeljne trake	BROJ PRILOGA: 34