

# STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE PREDGOTOVLJNOG ARMIRANOBETONSKOG STAMBENOG OBJEKTA

---

**Cvjetković, Toni**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:365681>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**

*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Toni Cvjetković

**STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE  
PREDGOTOVLJENOG ARMIRANOBETONSKOG  
STAMBENOG OBJEKATA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Toni Cvjetković

**STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE  
PREDGOTOVLJENOG ARMIRANOBETONSKOG  
STAMBENOG OBJEKATA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: doc.dr.sc. Mislav Stepinac

Komentor: dr.sc.tech. Tvrtko Renić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Toni Cvjetković

# **STATIC ANALYSIS AND DESIGN OF PRECAST CONCRETE RESIDENTIAL BUILDING**

MASTER THESIS

Supervisor: doc.dr.sc. Mislav Stepinac  
Supervisor: dr.sc.tech. Tvrtko Renić

Zagreb, 2024.



## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Mislavu Stepincu i komentoru dr.sc.tech. Tvrtku Reniću na izdvojenom vremenu i pruženoj pomoći tijekom izrade diplomskog rada.*

*Također želim se zahvaliti svim profesorima i asistentima koji su uvijek bili tu za nas kada je to bilo potrebno.*

*Hvala svim kolegama i prijateljima s kojima sam dijelio studentske klupe, učio i uživao tijekom ovih godina.*

*Najveću zahvalnost za ovaj uspjeh pripisujem svojoj obitelji i prijateljima koji su bili najveća potpora ka ostvarenju ovog cilja.*

*Jedno veliko hvala svima!*



## Sažetak

U ovom diplomskom radu napravljen je predgotovljeni armiranobetonski stambeni objekt te su objašnjene pozitivne i negativne stvari vezane za montažni način gradnje u odnosu na monolitni način gradnje. Model predgotovljenog armiranobetonskog stambenog objekta napravljen je u programskom paketu Scia Engineer. Elementi su dimenzionirani prema Eurokodu 2 i Eurokodu 8, odnosno provjerena su granična stanja nosivosti i uporabivosti. Također, u diplomskom radu je napravljeno modeliranje elemenata (stup i greda) u paketu IDEA StatiCa, te su pojedini detalji razrađeni u 3D-u sučelju.

**Ključne riječi:** predgotovljeni armiranobetonski montažni stambeni objekt, proračun i dimenzioniranje

## Abstract

In this thesis, a precast reinforced concrete residential building was made, and the positive and negative things related to the precast construction method were compared to the monolithic construction. The model of the precast reinforced concrete residential building was created in the Scia Engineer software. With the help of the obtained results, the individual elements of the structure were dimensioned according to the ultimate and serviceability limit states, in accordance with the applicable regulations, namely Eurocode 2 (HRN EN 1992) and Eurocode 8 (HRN EN 1998). Also, the modeling of elements (column and beam) was done in IDEA StatiCa software, and some details were presented in 3D environment.

**Keywords:** precast reinforced concrete residential building, calculation and dimensioning



## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PROJEKTNI ZADATAK .....	3
2.1. Tehnički opis .....	3
2.2. Konstrukcijske pojedinosti .....	4
2.3. Projektni vijek uporabe građevine i uvjeti za njezino održavanje .....	8
2.4. Temeljni zahtjevi za građevinu .....	9
2.5. Program kontrole i osiguranje kvalitete .....	10
2.6. Lokacija i opterećenja .....	11
2.7. Izvedba .....	12
2.8. Materijali .....	12
3. NACRTI KONSTRUKCIJE I PLANOVI POZICIJA .....	15
4. ANALIZA OPTEREĆENJA .....	17
4.1. Stalno opterećenje .....	17
4.2. Dodatno stalno opterećenje .....	18
4.3. Promjenjivo opterećenje .....	23
4.3.1. Opterećenje snijegom .....	24
4.4. Izvanredna opterećenja .....	26
4.4.1. Potresno opterećenje .....	26
5. NUMERIČKI MODEL .....	30
6. POTRESNA ANALIZA KONSTRUKCIJE .....	40
6.1. Uvod .....	40
6.2. Elastični spektar odziva .....	42
6.2.1. Horizontalni elastični spektar odziva .....	43
6.2.2. Vertikalni elastični spektar odziva .....	45
6.3. Projektni spektar za elastičnu analizu .....	46
6.4. Potresni parametri .....	49
6.5. Rezultati potresne analize .....	50
7. STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE STUPA .....	53
7.1. Srednji stup .....	53
7.1.1. Proračun uzdužne armature .....	53
7.1.1.1. Dimenzioniranje gornjeg presjeka stupa .....	55
7.1.1.2. Dimenzioniranje donjeg presjeka stupa .....	61
7.1.2. Proračun poprečne armature .....	67



7.1.3. Granično stanje uporabljivosti.....	68
7.2. Rubni stup.....	69
7.2.1. Proračun uzdužne armature .....	69
7.2.1.1. Dimenzioniranje gornjeg presjeka stupa .....	70
7.2.1.2. Dimenzioniranje donjeg presjeka stupa .....	74
7.2.2. Proračun poprečne armature.....	80
7.2.3. Granično stanje uporabljivosti.....	81
7.3. Proračun armature kratkih konzola .....	82
8. PRORAČUN TEMELJNE STOPE.....	86
8.1. Statički sustav i geometrijske karakteristike .....	86
8.2. Materijali .....	88
8.3. Unutarnje sile .....	89
8.4. Naprezanja ispod temeljne stope .....	93
8.4.1. Vertikalno opterećenje.....	94
8.4.2. Seizmika .....	95
8.5. Dimenzioniranje temeljne čašice i stope .....	96
8.5.1. Temeljna čašica .....	97
8.5.2. Dimenzioniranje temeljne stope .....	98
8.5.2.1. Seizmika .....	98
8.5.2.2. Proračun armature.....	100
8.5.2.3. Proboj temeljne stope.....	100
9. PRORAČUN GREDE PREMA GSN .....	101
9.1. Proračunske vrijednosti momenta savijanja i poprečne sile (reakcije).....	101
9.2. Greda – etaža 2 .....	102
9.2.1. Dimenzioniranje .....	102
9.2.2. Dimenzioniranje uzdužne armature.....	103
9.2.3. Dimenzioniranje poprečne armature .....	105
9.2.4. Granično stanje uporabljivosti.....	107
9.3. Greda – etaža 1 .....	108
9.3.1. Dimenzioniranje .....	108
9.3.2. Dimenzioniranje uzdužne armature.....	109
9.3.3. Dimenzioniranje poprečne armature .....	111
9.3.4. Granično stanje uporabljivosti.....	113
10. PRORAČUN POLUMONTAŽNE AB PLOČE .....	114
10.1. PRORAČUN KROVNE AB PLOČE .....	115



10.1.1. Sheme opterećenja.....	115
10.1.2. Karakteristike materijala i dimenzije presjeka .....	115
10.1.3. Minimalna i maksimalna armatura ploča .....	116
10.1.4. Proračunske vrijednosti momenata savijanja .....	117
10.1.5. Dimenzioniranje ploče u polju .....	119
10.1.6. Dimenzioniranje ploče nad ležajem .....	120
10.1.7. Proračun posmične otpornosti $VR_{d,c}$ .....	121
10.2. PRORAČUN MEĐUKATNE AB PLOČE.....	122
10.2.1. Sheme opterećenja.....	122
10.2.2. Karakteristike materijala i dimenzije presjeka .....	122
10.2.3. Minimalna i maksimalna armatura ploča .....	123
10.2.4. Proračunske vrijednosti momenata savijanja .....	124
10.2.5. Dimenzioniranje ploče u polju .....	126
10.2.6. Dimenzioniranje ploče nad ležajem .....	127
10.2.7. Proračun posmične otpornosti $VR_{d,c}$ .....	128
11. MODELIRANJE DETALJA KONSTRUKCIJE.....	130
12. ZAKLJUČAK .....	132
13. POPIS LITERATURE .....	134
14. POPIS SLIKA .....	135
15. POPIS TABLICA.....	138
16. POPIS PRILOGA.....	139



## 1. UVOD

Predgotovljeni beton je beton koji se ugrađuje u kalupe i u njima se njeguje na mjestu koje nije njegovo konačno odredište. Razlika između predgotovljenog betona i „in situ“ betona je u različitim reakcijama kod vanjskih utjecaja (opterećenje) i unutarnjih utjecaja (volumne promjene) koje se manifestiraju tlačnim i vlačnim naprezanjima u elementu.

Neki od zahtjeva za predgotovljene betonske elemente u očvrslom stanju:

- Geometrijska svojstva
- Površinski izgled
- Mehanička otpornost
- Otpornost na požar
- Akustička svojstva
- Termička svojstva
- Trajnost.

Prednosti montažnog načina građenja

- Kraće vrijeme izvođenja
- Smanjeni troškovi gradilišta
- Kraće vrijeme izgradnje
- Kvalitetnija kontrola proizvodnje
- Kvalitetniji finalni proizvod
- Proizvodnja s priučenom radnom snagom
- Neovisnost proizvodnje o vremenskim uvjetima
- Mogućnost ekonomičnog građenja
- Mogućnost poboljšanja estetskog dojma.

Mane montažnog načina građenja

- Dulje vrijeme projektiranja
- Obilnija tehnička i tehnološka priprema građenja
- Viši stupanj organizacije, bolje planiranje i provedba
- Složenija kontrola u svim fazama izvođenja
- Vrlo velika točnost izvođenja
- Brojni spojevi smanjuju monolitnost konstrukcije
- Veći troškovi transporta i montaže
- Pribjegavanje estetski manje prihvatljivim monolitnim objektima kada je potrebna jeftinija gradnja.

Kod projektiranja predgotovljenih elemenata, konstruktivne elemente treba promatrati u nekoliko odvojenih statičkih cjelina:

- Proizvodnja
- Transport
- Stanje prije konačnog stanja
- Nosivost spojnih i drugih ugrađenih elemenata
- Detaljna razrada svakog pojedinog elementa i spoja
- Okrupnjavanje prije montaže gotovih elemenata u veće cjeline, više završnih radova obavljati u pogonu za proizvodnju
- Još bolje koordinacija svih učesnika u gradnji
- Smanjenje broja tipova elemenata, detalja i spojeva uz istodobno povećanje proizvodnog asortimana
- Adaptacija proizvodnje na male narudžbe
- Bolja marketinška podrška.

Elementi predgotovljenih AB konstrukcija su:

- Ploče
- Grede
- Stupovi
- Temelji
- Zidni paneli
- Lučni elementi
- Stubišta.

Kada je riječ o spojevima, rade se na nekoliko načina: betoniranjem na mjestu ugradnje, zavarivanjem, vijcima ili korištenjem smola i sidra u kombinaciji s prethodno navedenim načinima.





## 2. PROJEKTI ZADATAK

### 2.1. Tehnički opis

Ovim projektom predviđena je izvedba montažnog armiranobetonskog stambenog objekta u Dubrovniku. Objekt je pravilnog tlocrta ukupnih dimenzija 24,60 x 20,00 m.

Konstruktivno, objekt je samostojeća dilatacijska cjelina.

Po visini, građevina se sastoji od prizemlja i prvog kata, a visina same građevine je 9,40 m.

Visina prizemlja iznosi 4,70 m, a visina prve etaže 4,70 m.



*Slika 2.1. Prikaz modernog stambenog objekta*

## 2.2. Konstruktivne pojedinosti

Konstrukcija građevine sastoji se od predgotovljenih armiranobetonskih elemenata koji se se izrađuju u proizvodnom pogonu, dopremaju na gradilište i montiraju uz pomoć dizalice.

Za izvedbu međukatne konstrukcije predviđen je polumontažni strop koji se sastoji od omnia ploče (napravljene na vibro stolu u proizvodnom pogonu) i dodatnog betona.

U „Omnia” ploči je obično ugrađena sva potrebna armatura za cijelu ploču. Ploča je armirana mrežastom armaturom i RAN-ovima (rešetkasti armaturni nosači).

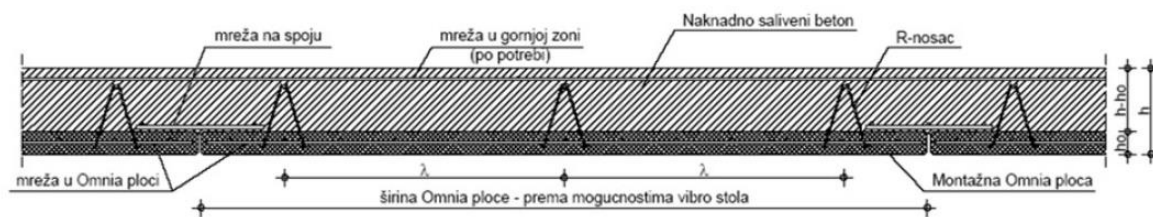
Po potrebi je moguće postaviti armaturu i u okomitom smjeru ploče te dobiti ploču koja nosi u dva smjera. Nakon polaganja ploča se zalijeva betonom.

Standardne dimenzije „Omnia” ploča: dužina do 10 m, širina 0,30 do 2,20 m, debljina 4,5 do 5 cm.

Ukupna debljina ploče između etaža iznosi  $d = 20$  cm. Izrađena je od betona razreda C 30/37.

Prednosti stropnog sistema "Omnia":

- klasična oplata nije potrebna
- sigurnost na potres
- krutost klasične AB ploče
- brza gradnja
- manja težina koja omogućuje ručnu montažu
- prethodno napravljeni otvori za dimnjake, ventilaciju i dr.

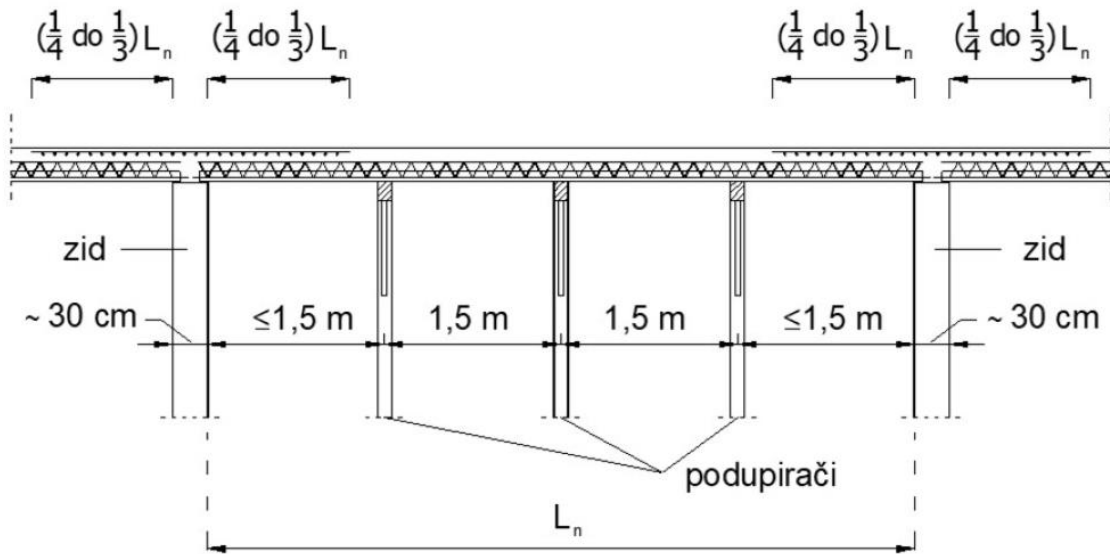


Slika 2.2. Kompozitna stropna konstrukcija – sustav „Omnia“

Omnia ploča se polaže na grede poprečnog presjeka 60 x 60 cm. Pri montaži stropa ploče je potrebno postaviti na montažne potpore koje podupiru konstrukciju dok se dodani nadsloj betona ne stvrdne i ne postigne dostatnu nosivost.

Ovisno o debljini tlačne ploče potpore se postavljaju na svakih 1,5 do 2 m.

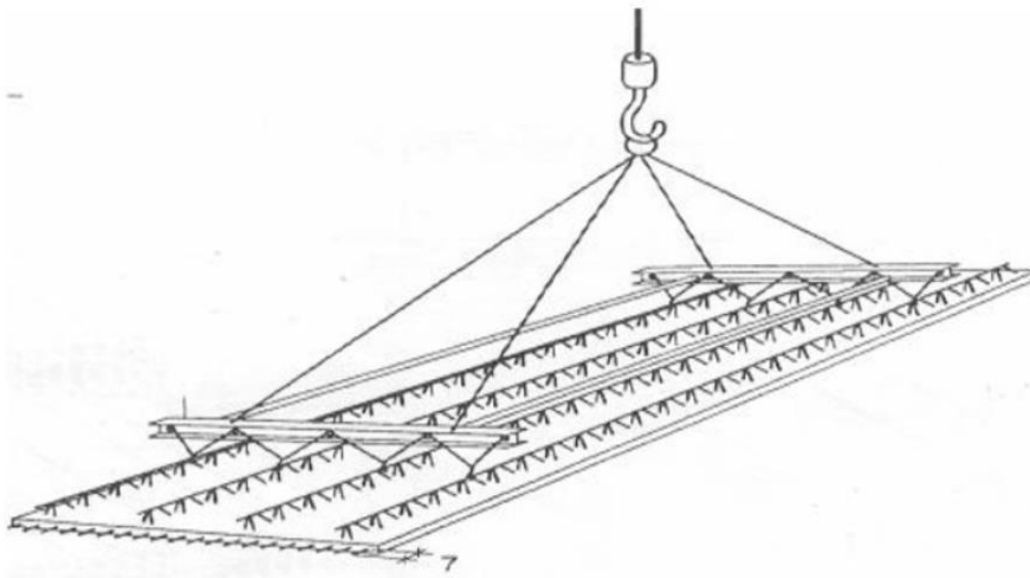
Kod oslanjanja na zid (ležaj) ploča mora ležati minimalno 3 cm nad zidom, a glavna armatura mora se protezati minimalno 11,5 cm izvan ruba ploče.



**Slika 2.3.** Prikaz podupiranja stropne ploče sustav „Omnia“

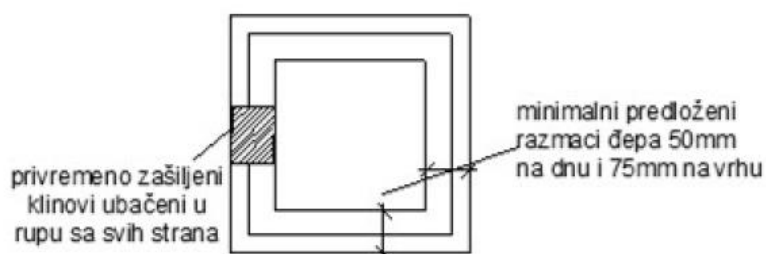
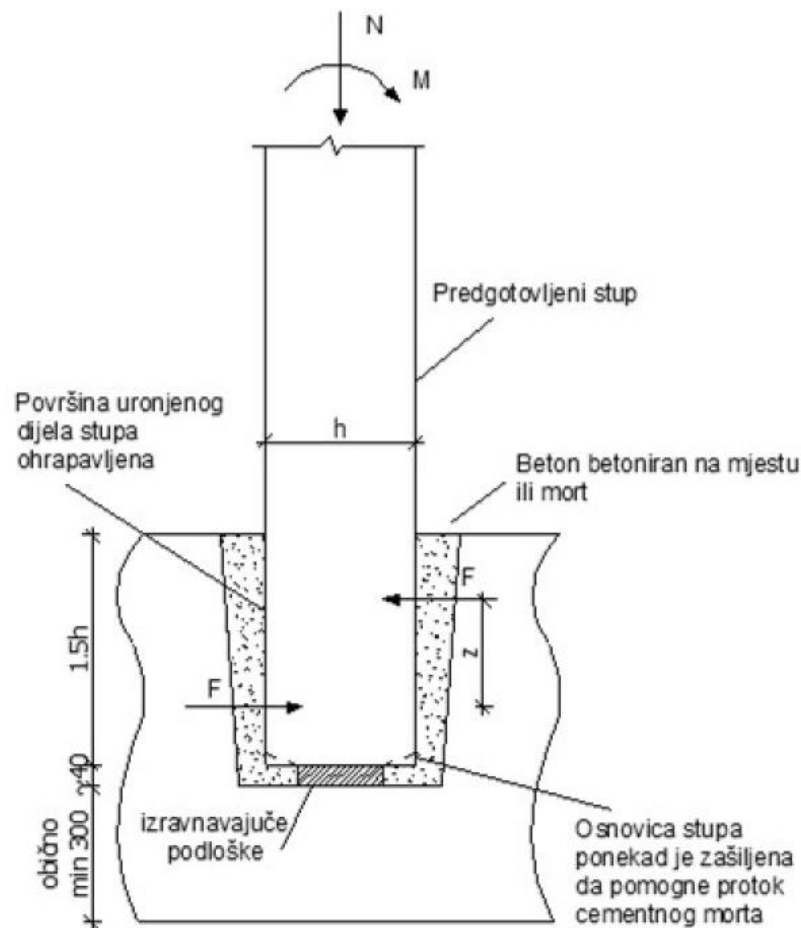
Transport "Omnia" ploče

RAN-ovi osiguravaju da element ne pukne pri odizanju i transportu



**Slika 2.4.** Transport „Omnia“ ploče

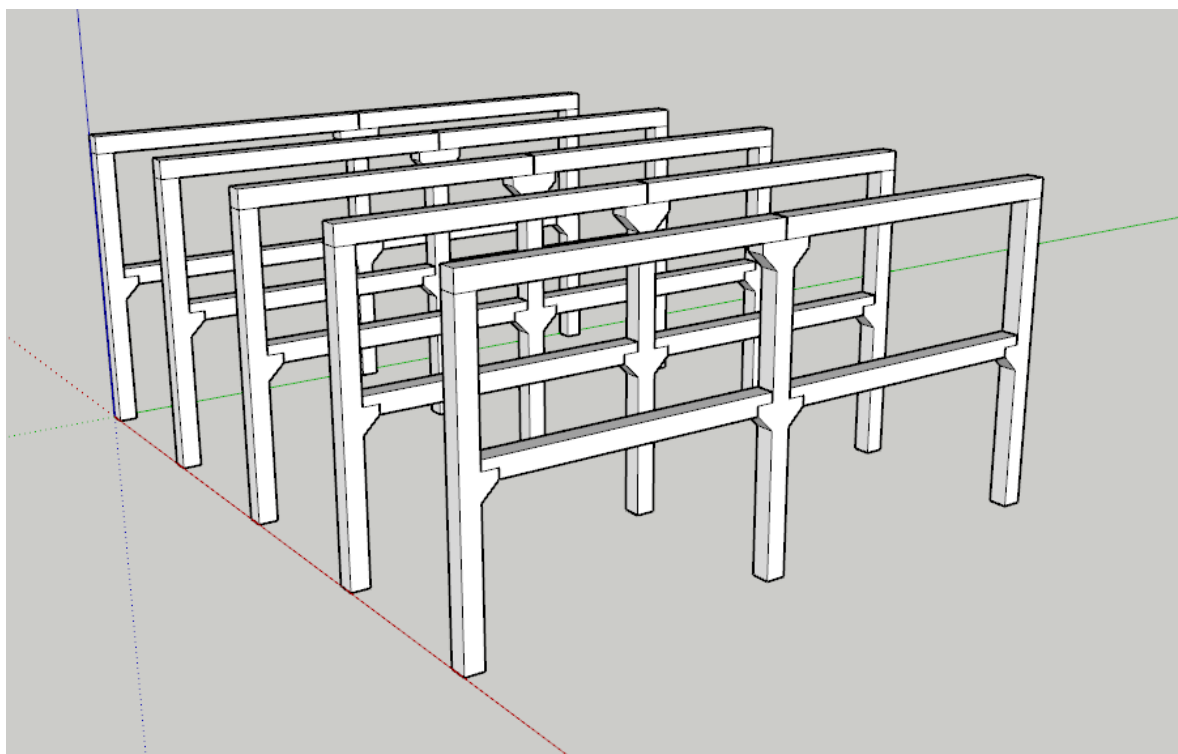
Predgotovljene grede se montiraju na kratke kontole stupa. Vertikalni dio konstrukcije u prizemlju i prvom katu je izveden od predgotovljenih armirano betonskih stupova dimenzija  $60 \times 60$  cm. Stupovi se prethodno montiraju na predgotovljene temelje. Temelj se sastoji od temeljne stope i temeljne čašice unutar koje se smješta stup. Nakon pozicioniranja stupa u čašicu slobodan prostor između stupa i čašice se ispuni dodatnim betonom ili mortom.



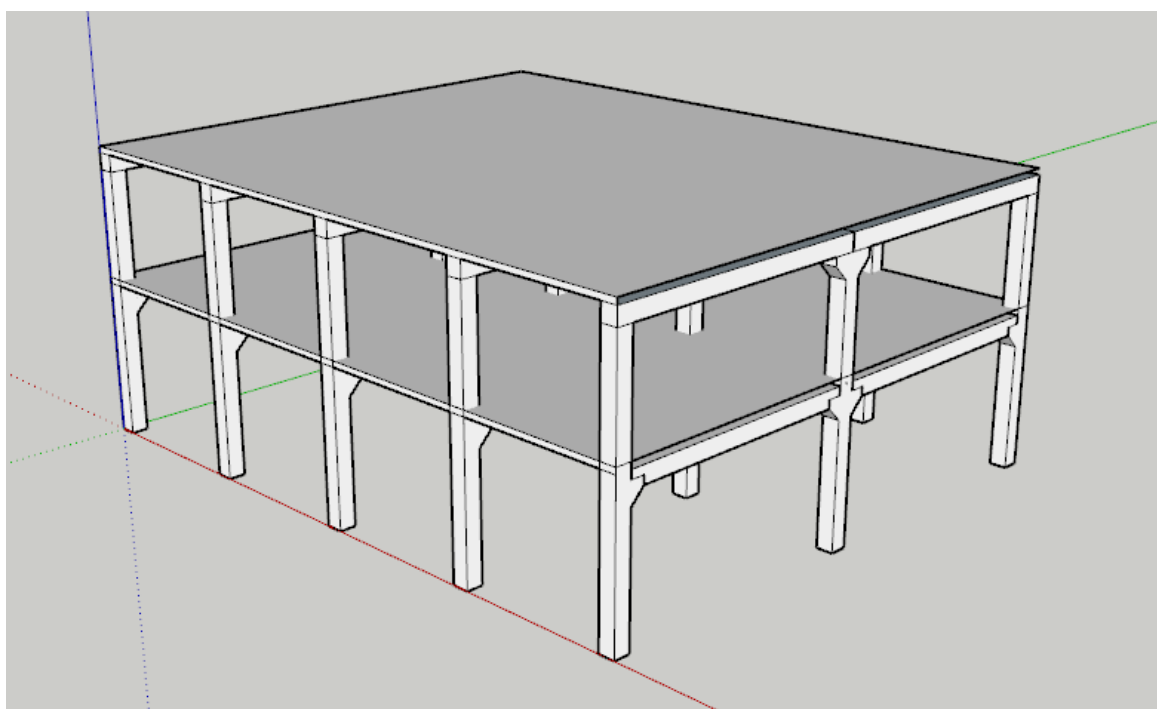
**Slika 2.5.** Prikaz pozicioniranja stupa u temelj i međusobnog sprezanja



Glavna konstrukcija objekta sastoji se od stupova i greda čiji je točan položaj dan u priložima.



*Slika 2.6. 3D model - okvir konstrukcije*



*Slika 2.7. 3D model konstrukcije*



### 2.3. Projektni vijek uporabe građevine i uvjeti za njezino održavanje

Projektirani vijek trajanja konstrukcije je minimalno 50 godina. Tehničkim propisom za građevinske konstrukcije (NN 17/17, 14/10, 125/10) propisuju se tehnička svojstva za zidanu i betonsku konstrukciju, zahtjevi za projektiranje, izvođenje radova na izradi, uporabljivosti, održavanju i drugi zahtjevi za betonsku konstrukciju, a isto tako i svojstva i drugi zahtjevi za građevne proizvode namijenjene ugradnji u betonsku konstrukciju, te se primjenom navedenih propisa ispunjava navedeni vijek trajanja.

Tehnička svojstva armirane betonske konstrukcije moraju biti takva da tijekom trajanja građevine uz propisano, odnosno projektom određeno izvođenje i održavanje zidane/armirane betonske konstrukcije, ona podnese sve utjecaje uobičajene uporabe i utjecaje okoliša, tako da tijekom građenja i uporabe predvidiva djelovanja na građevinu ne prouzroče:

- rušenje građevine ili njezinog dijela,
- deformacije nedopuštena stupnja
- oštećenja građevnog sklopa ili opreme zbog deformacije zidane konstrukcije
- nerazmjerno velika oštećenja građevine ili njezinog dijela u odnosu na uzrok zbog kojih su nastala.

Prema TPGK (NN 17/17, 14/10, 125/10) pod održavanjem se podrazumijeva:

- redovite preglede konstrukcije, u razmacima od 10 godina
- izvanredne preglede betonske konstrukcije nakon kakvog izvanrednog događaja ili po zahtjevu inspekcije
- izvođenje radova kojima se betonska/zidana konstrukcija zadržava ili se vraća u stanje određeno projektom građevine i u skladu s propisima (u skladu s kojima je konstrukcija izvedena).
- Ispunjavanje propisanih uvjeta održavanja armiranobetonske konstrukcije dokumentira se u skladu s projektom građevine te:
  - izvješćima o pregledima i ispitivanjima zidane/armiranobetonske konstrukcije,
  - zapisima o radovima održavanja
  - na drugi prikladan način, TPBK-om ili drugim propisom donesenim u skladu s odredbama Zakona o prostornom planiranju i gradnji nije što drugo određeno.

Redovita provedba pregleda, u odgovarajućim vremenskim razmacima omogućuje utvrđivanje promjena stanja i ponašanja konstrukcije. U tom smislu je od najveće važnosti prvi pregled novoizgrađene građevine. Prvi pregled mora biti takvoga opsega da se kasnijim pregledima i

ispitivanjima može utvrditi napredovanje oštećenja pojedinih konstrukcijskih elemenata i promjene u globalnom ponašanju konstrukcije.

## 2.4. Temeljni zahtjevi za građevinu

### - Mehanička otpornost i stabilnost

Građevina mora biti projektirana i izgrađena tako da tijekom gradnje i korištenja predvidiva djelovanja ne prouzroče:

1. Rušenje građevine ili njezina dijela
2. Deformacije nedopuštena stupnja
3. Oštećenja građevnog dijela ili opreme zbog deformacije nosive konstrukcije
4. Nerazmjerno velika oštećenja u odnosu na uzrok zbog kojih su nastala

### - Sigurnost u slučaju požara

Građevina mora biti projektirana i izgrađena tako da se u slučaju požara:

1. Očuva nosivost konstrukcije tijekom određenog vremena utvrđena posebnim propisom
2. Spriječi širenje vatre i dima unutar građevine
3. Spriječi širenje vatre na susjedne građevine
4. Omogući da osobe mogu neozlijeđene napustiti građevinu, odnosno da se omogući njihovo spašavanje
5. Omogući zaštita spašavatelja

U dokazu kvalitete ugrađenih konstrukcija, proizvoda i opreme, kvalitete radova, stručnosti djelatnika koji su tu ugradnju obavili, kao i potrebnih ispitivanja ispravnosti i funkcionalnosti, primjenjuju se odredbe sljedećih propisa i normi.

### - Higijena, zdravlje i okoliš

Građevina mora biti projektirana i izgrađena tako da ne ugrožava higijenu i zdravlje ljudi, radni i životni okoliš, posebice zbog:

1. Oslobođanja opasnih plinova, para i drugih štetnih tvari (onečišćenja zraka i sl.)
2. Opasnih zračenja
3. Onečišćenja voda i tla
4. Nestručnog odvođenja otpadnih voda, dima, plinova te tekućeg otpada
5. Nestručnog postupanje s krutim otpadom
6. Skupljanja vlage u dijelovima građevine ili na površinama unutar građevine





Građevne proizvode i opremu mora se u građenju izabrati, izvesti, ugraditi ili povezati, preinačiti i održavati tako da zbog kemijskih, fizikalnih i drugih utjecaja ne može doći do opasnosti, smetnji, šteta ili nedopustivih oštećenja tijekom uporabe građevine.

#### - Sigurnost i pristupačnost tijekom uporabe

Građevina mora biti projektirana i izgrađena tako da se tijekom njezine uporabe izbjegnu moguće ozljede korisnika građevine koje mogu nastati od skliznuća, pada, sudara, opekline, električnog udara i eksplozije.

#### - Zaštita od buke

Građevina mora biti projektirana i izgrađena na način da zvuk što ga zamjećuju osobe koje borave u građevini ili njezinoj blizini bude na takvoj razini da ne ugrožava zdravlje te da osigurava noćni mir i zadovoljavajuće uvjete za odmor i rad.

#### - Gospodarenje energije i očuvanje topline

Građevina i njezini uređaji za grijanje, hlađenje i provjetravanje moraju biti projektirani i izgrađeni na način da, u odnosu na mjesne klimatske prilike, potrošnja energije prilikom njihovog korištenja bude jednaka propisanoj razini ili niža od nje, a da za osobe koje borave u građevini budu osigurani zadovoljavajući toplinski uvjeti.

#### - Održiva uporaba prirodnih izvora

Građevina mora biti projektirana, izgrađena i uklonjena tako da je uporaba prirodnih izvora održiva, a posebno moraju zajamčiti sljedeće:

1. Ponovnu uporabu ili mogućnost reciklaže građevine, njezinih materijala i dijelova nakon uklanjanja
2. Trajnost građevine
3. Uporabu okolišu prihvatljivih sirovina i sekundarnih materijala u građevinama

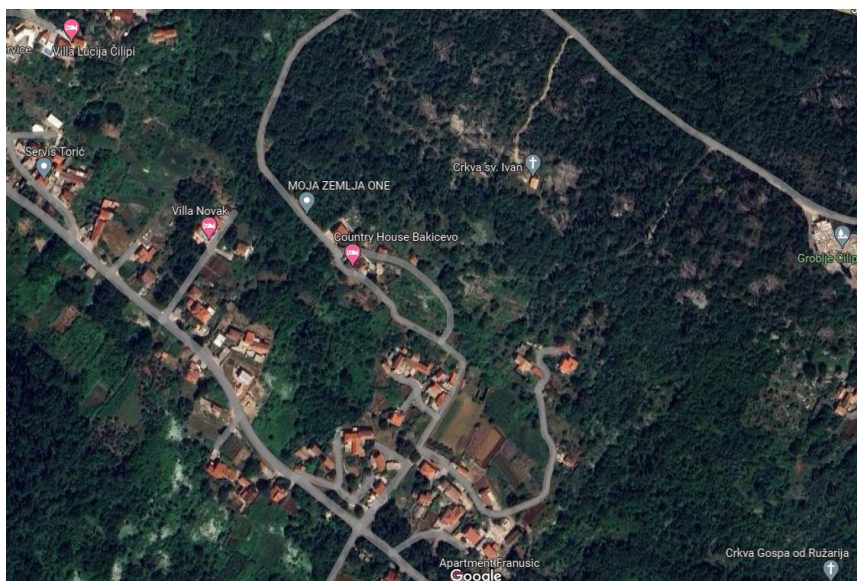
## **2.5. Program kontrole i osiguranje kvalitete**

Ovi tehnički uvjeti i program kontrole kvalitete (u daljnjem tekstu Tehnički uvjeti) sadrže tehničke uvjete izvođenja radova, tehnologiju izvođenja, način ocjenjivanja kvalitete. Tehnički uvjeti vrijede za radove na konstrukciji i za radove koji se naknadno odrede na gradilištu, a koji su neophodni za potpuno dovršenje predmetne građevine. Primjena ovih Tehničkih uvjeta je obavezna. Ovi tehnički uvjeti izrađeni su sukladno Zakonu o gradnji (NN 153/13) i Zakonu o prostornom uređenju (NN 153/13). Svi sudionici u građenju (investitor, izvođač i dr.) dužni su se pridržavati odredbi navedenog zakona. [5]



## 2.6. Lokacija i opterećenja

Građevina se nalazi u Dubrovniku, koja prema važećim propisima spada u zonu za koju je zadano projektno ubrzanje tla  $a_g = 0,28 \cdot g$ . Konstrukcija je namijenjena za stanovanje i kućanske djelatnosti.



*Slika 2.8. Lokacija konstrukcije*

Konstrukcija seizmičke sile preuzima sustavom armiranobetonskih zidova i stupova, što je u skladu s HRN EN 1992 i HRN EN 1998.

Propisi korišteni za određivanje djelovanja na konstrukciju su sljedeći:

HRN EN 1991-1-1 Eurokod 1:Djelovanja na konstrukciju – Dio 1-1: Opća djelovanja – Obujamske težine, vlastite težine i uporabno opterećenje zgrada

HRN EN 1991-1-2 Eurokod 1:Djelovanja na konstrukciju – Dio 1-2: Opća djelovanja – Djelovanja na konstrukciju izložene požaru

HRN EN 1991-1-3 Eurokod 1:Djelovanja na konstrukciju – Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenja snijegom

HRN EN 1991-1-4 Eurokod 1:Djelovanja na konstrukciju–Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra

HRN EN 1991-1-5 Eurokod 1:Djelovanja na konstrukciju–Dio 1-5: Opća djelovanja – Toplinska djelovanja

HRN EN 1991-1-6 Eurokod 1:Djelovanja na konstrukciju–Dio 1-6: Opća djelovanja – Djelovanja tijekom izvedbe

HRN EN 1991-1-7 Eurokod 1:Djelovanja na konstrukciju–Dio 1-7: Opća djelovanja – Izvanredna djelovanja



HRN EN 1998-1-1 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade

## 2.7. Izvedba

Opterećenja su uzeta prema podacima dobivenim od strane investitora, projektanata instalacija te prema normama i pravilima struke.

Zbog veličine i složenosti građevine u cilju osiguranja što kvalitetnije izvedbe nosive konstrukcije investitor je dužan osigurati projektantski nadzor nad konstrukcijom tijekom cijelog vremena izvedbe konstrukcije u skladu s Zakonom o gradnji (NN1 53/13).

## 2.8. Materijali

Betonski i armiranobetonski radovi

Svi betonski i armiranobetonski radovi moraju se vršiti prema važećim hrvatskim normama i Tehničkom propisu za građevinske konstrukcije (NN 17/17). Sva gradiva potrebna za betoniranje, agregati, cementi, voda i armatura moraju biti kvalitetni prema važećim propisima i normama, uz odgovarajuće isprave o sukladnosti. Sve betonske mješavine moraju se izraditi prema projektu betona. Beton predviđen za stupove je C35/45, za sve ostale elemente je C30/37.

- Agregat

Za spravljanje betona može se upotrijebiti agregat koji udovoljava uvjetima iz norme HRN EN 12620. Ovom normom utvrđena su svojstva i specifikacije agregata kao i postupak potvrđivanja sukladnosti. Kontrola agregata provodi se odgovarajućom primjenom nizova normi HRN EN 932, HRN EN 933, HRN EN 1097, HRN EN 1367 i HRN EN 1744 i odredbi Priloga D TPBK. Granulometrijski sastav mješavine agregata utvrđuje se ispitivanjem i ne smije se mijenjati bez odgovarajućih dodatnih ispitivanja.

- Cement

Za spravljanje betona može se upotrijebiti cement koji je sukladan normi HRN EN 197-1 sa svojstvima ispitanim prema normi HRN EN 196-1 i sukladnošću dokazanom po normi HRN EN 196-2. U uvjetima agresivnog djelovanja okoliša smrzavanjem treba izbjegavati primjenu cementa s visokim postocima mineralnih dodataka, a cimente s dodatkom iznad 5% kamenog brašna je zabranjeno.

#### - Voda

Za spravljanje betona može se koristiti isključivo voda koja zadovoljava zahtjeve norme HRN EN 1008. Za pitku vodu iz vodovoda nije potrebno provoditi potvrđivanje sukladnosti vode za pripremu betona i morta za injektiranje. Voda koja nije pitka može također biti prikladna za pripremu betona, ali to ispitivanjima treba dokazati. Takve vode su povratne vode iz procesa industrije betona, voda iz podzemnih izvora, prirodna površinska voda i industrijska otpadna voda te morska i bočata voda. Vodu iz kanalizacije se ne smije koristiti za uporabu u betonu. Voda za njegu betona treba ispunjavati iste zahtjeve kao i voda za pripremu betona.

#### - Ispitivanje posebnih svojstava

Ovisno o položaju u konstrukciji i uvjetima izloženosti za svaki pojedini element potrebno je utvrditi svojstva vodonepropusnosti (prema HRN EN 12390-8), otpornosti na djelovanje mraza (HRN U.M1.016) i otpornost betona prema djelovanju mraza i soli (HRN EN 12390- 9).

#### - Čelik za armirani beton

Projektom konstrukcije predviđena je uporaba visokovrijedne prirodno tvrde rebraste armature B500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose min 2,0 cm. Iznimno može se za neke sporedne konstruktivne elemente koristiti armatura iz glatkog betonskog čelika (GA). Osim ovog čelika mogu se koristiti i drugi oblici i vrste čelika ako se ispitivanjem prethodno dokaže da oni udovoljavaju uvjetima iz Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije (NN 17/17), te da se njihovom uporabom osigurava jednaka sigurnost i trajnost betonskih konstrukcija i elemenata.

Izvođač mora prema normi HRN EN 13670-1 prije početka ugradnje provjeriti je li armatura u skladu sa zahtjevima iz projekta betonske konstrukcije, te je li tijekom rukovanja i skladištenja armature došlo do njezinog oštećivanja, deformacije ili druge promjene koja bi bila od utjecaja na tehnička svojstva betonske konstrukcije. Rukovanje, skladištenje i zaštita armature treba biti u skladu sa zahtjevima tehničkih specifikacija koje se odnose na čelik za armiranje, projekta betonske konstrukcije i Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije (NN 17/17).

Nadzorni inženjer neposredno prije početka betoniranja mora:

- Provjeriti postoji li isprava o sukladnosti za čelik za armiranje tj. jesu li iskazana svojstva sukladna zahtjevima iz projekta
- Provjeriti je li armatura izrađena, postavljena i povezana u skladu s projektom betonske konstrukcije te u skladu s priložima Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije (NN 17/17)
- Dokumentirati nalaze svih provedenih provjera zapisom u građevni dnevnik



Veličinu zaštitnog sloja osigurati dostatnim brojem kvalitetnih 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 upotrijebljena armatura treba imati odgovarajuće ateste o kakvoći.

#### - Oplata

Za izvedbu betonskih i armiranobetonskih elemenata potrebno je pravovremeno izraditi, postaviti i učvrstiti odgovarajuću drvenu, metalnu ili sličnu oplatu. Oplata mora odgovarati mjerama građevinskih nacrtā, 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 uporabe 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 ponovno izvesti prema projektu. Prije ugradnje svježe mješavine betona u oplatu, ako je drvena, potrebno ju je dobro navlažiti, a ako je metalna mora se premazati odgovarajućim premazom. Izvođač ne može započeti betoniranje dok nadzorni inženjer ne izvrši pregled postavljene oplata i pismeno je ne odobri.

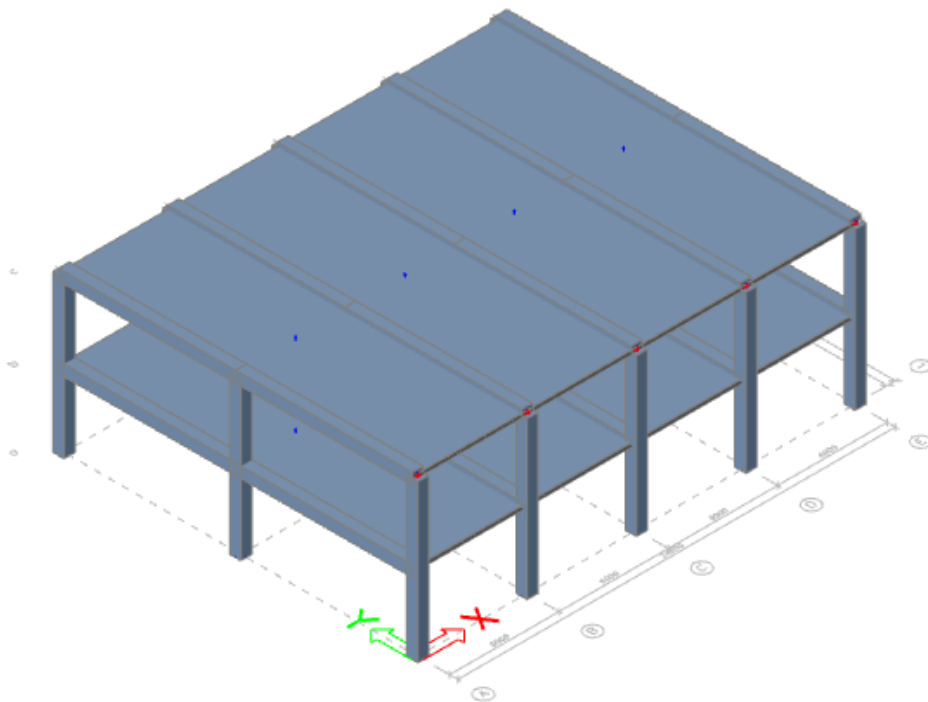
Skidanje oplata za grede i ploče može se izvršiti nakon što beton postigne min. 70% čvrstoće (cca 7 dana uz normalnu njegu betona). Za temelje se može upotrijebiti beton nižeg razreda.

### 3. NACRTI KONSTRUKCIJE I PLANovi POZICIJA

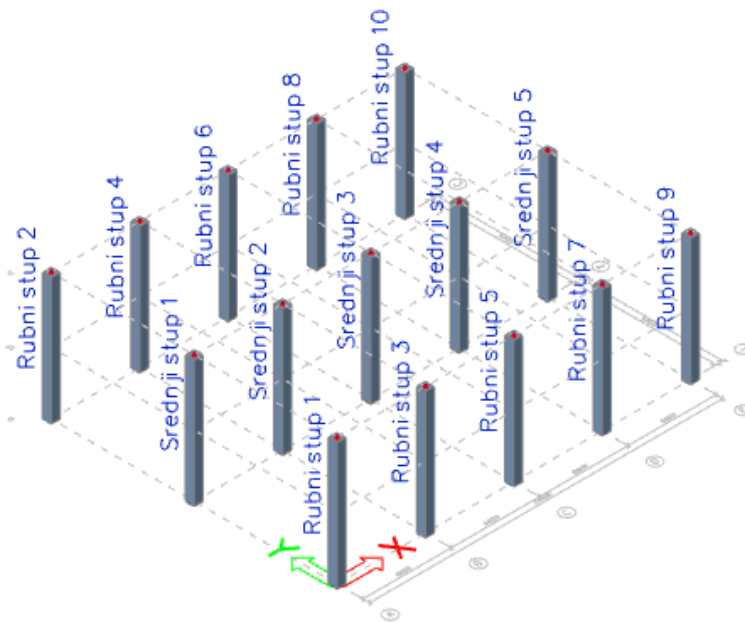
Planovi pozicija i relevantni tlocrti i presjeci prikazani su u grafičkim priložima.

Nosive grede označene su kraticom N.G.i.ET.i.

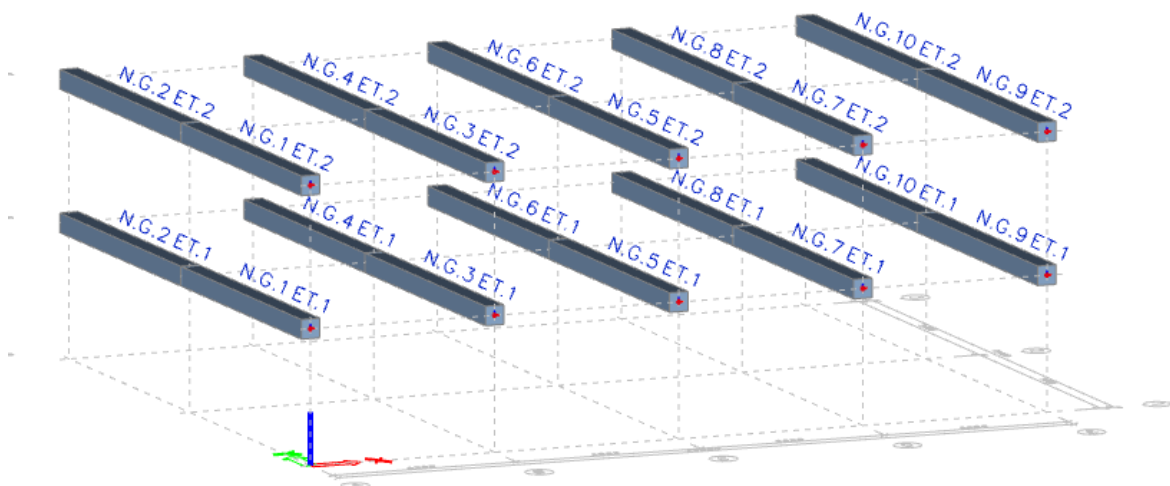
Svi računalni proračuni su izvršeni računalnim programom "Scia Engineer 2020".



**Slika 3.1.** Prikaz 3D modela



**Slika 3.2.** Pozicija stupova



**Slika 3.3.** Pozicija greda



## 4. ANALIZA OPTEREĆENJA

Polumontažna stropna konstrukcija sastoji se od Omnia ploča i dodatnog betona.  
Ukupna debljina AB ploče: 20 cm.

Opterećenja

Promatra se ponašanje konstrukcije pod djelovanjem stalnog opterećenja, uporabnog i potresnog opterećenja.

Djelovanje vjetra se zanemaruje jer je zgrada niska i armiranobetonska.

**Dominantno bočno djelovanje je seizmičko djelovanje (potres) pa se istovremeno djelovanje potresa i vjetra ne razmatra.**

### 4.1. Stalno opterećenje

Stalno opterećenje sastoji se od vlastite težine i dodatnog stalnog opterećenja

Vlastita težina svih konstruktivnih elemenata automatski je uključena u programskom paketu Scia Engineer.

## 4.2. Dodatno stalno opterećenje

### Zidovi

Kao pregrade se koriste zidovi od gipskartonskih (knauf) ploča s dvoslojnom oblogom. Na slici 52 prikazan je karakteristični presjek zida. Iz kataloga proizvođača obloge masa zida bez izolacije (4 sloja obloge i aluminijska potkonstrukcija) iznosi  $m_o=45 \text{ kg/m}^2$

Masa izolacije (mineralna staklena vuna) iznosi  $m_i=18 \text{ kg/m}^3 * 0,05 \text{ m} = 0,9 \text{ kg/m}^2$



**Slika 4.1.** Presjek gipskartonskog pregradnog zida

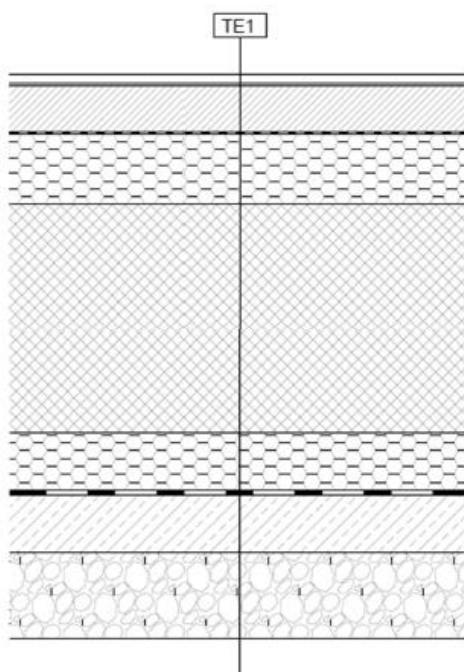
Ukupna masa pregradnog zida iznosi  $m_{pz} = 45 + 0,9 = 45,9 \text{ kg/m}^2$ .

Visina pregradnih zidova prizemlja iznosi 4,50 m pa je masa pregradnog zida po metru dužnom zida, odnosno opterećenje iznosi  $q_{pz} = 2 \text{ kN/m}$ .

Kako je moguće tijekom životnog vijeka konstrukcije proizvoljno mijenjati položaj i broj pregradnih zidova njihovo stvarno linijsko opterećenje zamjenjuje se površinskim opterećenjem u skladu s normom EN 1991-1-1 [5], točka 6.3.1.2 i s knjigom Betonske konstrukcije 1 [6]. Linijska opterećenja iznosa između 1,0 kN/m i 2,0 kN/m mogu se zamijeniti površinskim opterećenjem u iznosu  $q_{pz,k} = 0,8 \text{ kN/m}^2$  koje se smatra dodatnim stalnim.



## Temeljna ploča

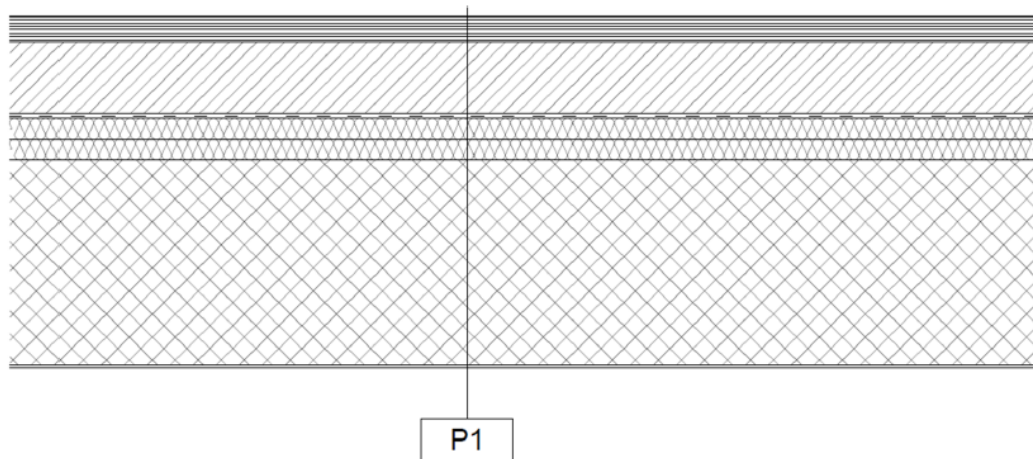


**Slika 4.2.** Slojevi temeljne ploče

**Tablica 4.1.** Prikaz slojeva temeljne ploče

SLOJ	Težina sloja [kN/m <sup>3</sup> ]	Debljina sloja [m]	Opterećenje [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramičke pločice	22	0,02	0,44
Cementni estrih	22	0,04	0,88
Pjenasta PE folija	0,5	0,005	0,00
Ekstrudirani polistiren XPS 300	0,3	0,12	0,04
AB temeljna ploča	25		0,00
Ekstrudirani polistiren XPS 500	0,5	0,1	0,05
Polimerbitumenska hidroizolacija	1	0,008	0,01
Zaglađena betonska podloga	24	0,1	2,40
Nabijeno tlo			
	Ukupno [kN/m <sup>2</sup> ] gk =		3,82

**Ploča 1. kata**

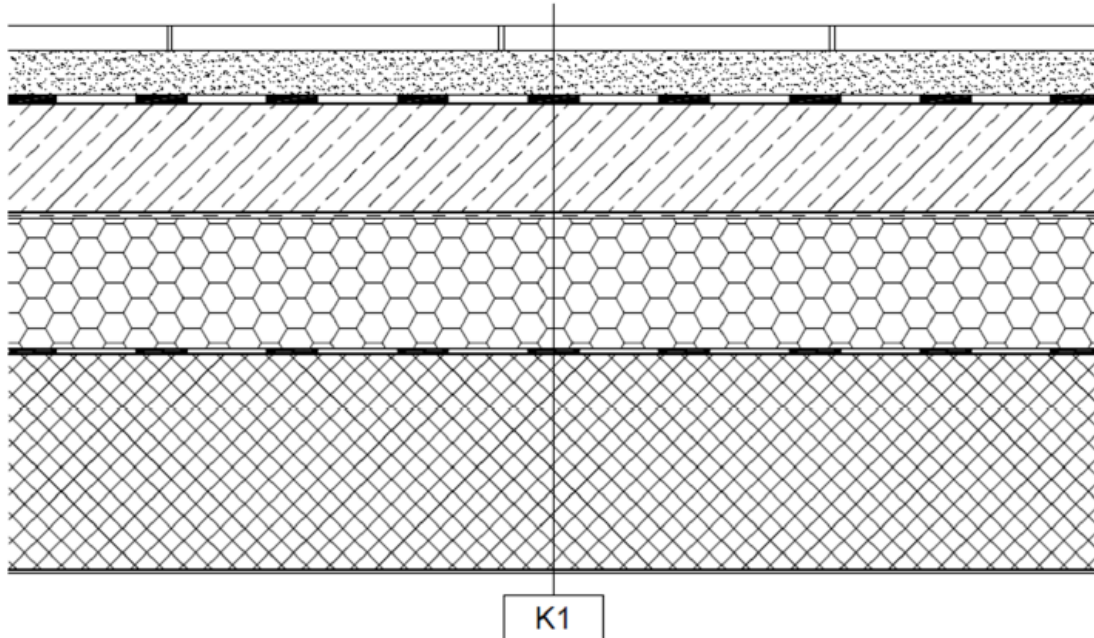


**Slika 4.3.** Presjek ploče 1. kata

**Tablica 4.2.** Prikaz slojeva ploče 1. kata

SLOJ	Težina sloja [kN/m <sup>3</sup> ]	Debljina sloja [m]	Opterećenje [kN/m <sup>2</sup> ]
Kamen	30	0,02	0,60
Cementni estrih	22	0,04	0,88
Pjenasta PE folija	0,5	0,005	0,00
Elastični polistiren (termoizolacija) EPS	0,3	0,04	0,01
AB ploča/omnia ploča	25		0,00
Podgled-žbuka	22	0,02	0,44
Gips zidovi			0,80
Ukupno [kN/m <sup>2</sup> ]		gk =	2,73

### Krovna ploča



Slika 4.4. Presjek krovne ploče

Tablica 4.3. Prikaz slojeva krovne ploče

SLOJ	Težina sloja [kN/m <sup>3</sup> ]	Debljina sloja [m]	Opterećenje [kN/m <sup>2</sup> ]
Završna podna obloga, kamene ploče	30	0,03	0,90
Zbijeni pijesak	18	0,04	0,72
Polimerbitumenska hidroizolacija	10	0,008	0,08
Betonska ploča s padom 2%	25	0,1	2,50
Pjenasta PE folija	0,5	0,005	0,00
Ekstrudirani polistiren XPS 300	0,3	0,12	0,04
Parna brana			0,00
AB ploča/omnia ploča	25		
Podgled-žbuka	22	0,02	0,44
	Ukupno [kN/m <sup>2</sup> ] gk =		4,68

**Napomena:** za opterećenje ploče zanemarena je vlastita težina, koja se automatski generira u programu. Kako je za odvodnju potreban nagib izvodi se gornja ploča pod nagibom od 2%. Za njezinu težinu uzeta je srednja vrijednost, a nagib se izvodi višestrešno.



## Stubište

Stubište će biti izvedene kao spiralne stepenice gdje se opterećenje s stepenica prenosi preko nosača stubišta na temeljnu ploču.



*Slika 4.5. Stubište*

### 4.3. Promjenjivo opterećenje

Tablica 4.4. Uporabne kategorije

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 prenoćištima, 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: Prostorije 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
<sup>1)</sup> Obratiti pažnju na točku 6.3.1.1(2), posebno za kategorije C4 i C5. Kad se dinamički učinci trebaju uzeti u obzir, vidjeti normu EN 1990. Za kategoriju E, vidjeti tablicu 6.3.		
NAPOMENA 1: Ovisno o predviđenom načinu upotrebe, prostori koji bi mogli pripadati kategorijama C2, C3 i C4 smiju se odlukom investitora i/ili nacionalnim dodatkom svrstati u kategoriju C5		
NAPOMENA 2: U nacionalnome dodatku smiju se odrediti potkategorije za A, B, C1 do C5, D1 i D2.		
NAPOMENA 3: Za proizvodne djelatnosti ili skladištenje, vidjeti točku 6.3.2.		

Odabrano : kategorija A

Tablica 4.5. Uporabna opterećenaj stropova, balkona i stubišta u zgradama

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





#### 4.3.1. Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom na krovu iznosi:

$$S = S_k \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu_i$$

$\mu_i$  – koeficijent oblika za opterećenje snijegom (ravni krov  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$   $\mu_1 = \mu_2 = 0,8$ )

$c_e$  – koeficijent izloženosti  $\rightarrow c_e = 1,0$ ;

$c_t$  – toplinski koeficijent  $\rightarrow c_t = 1,0$

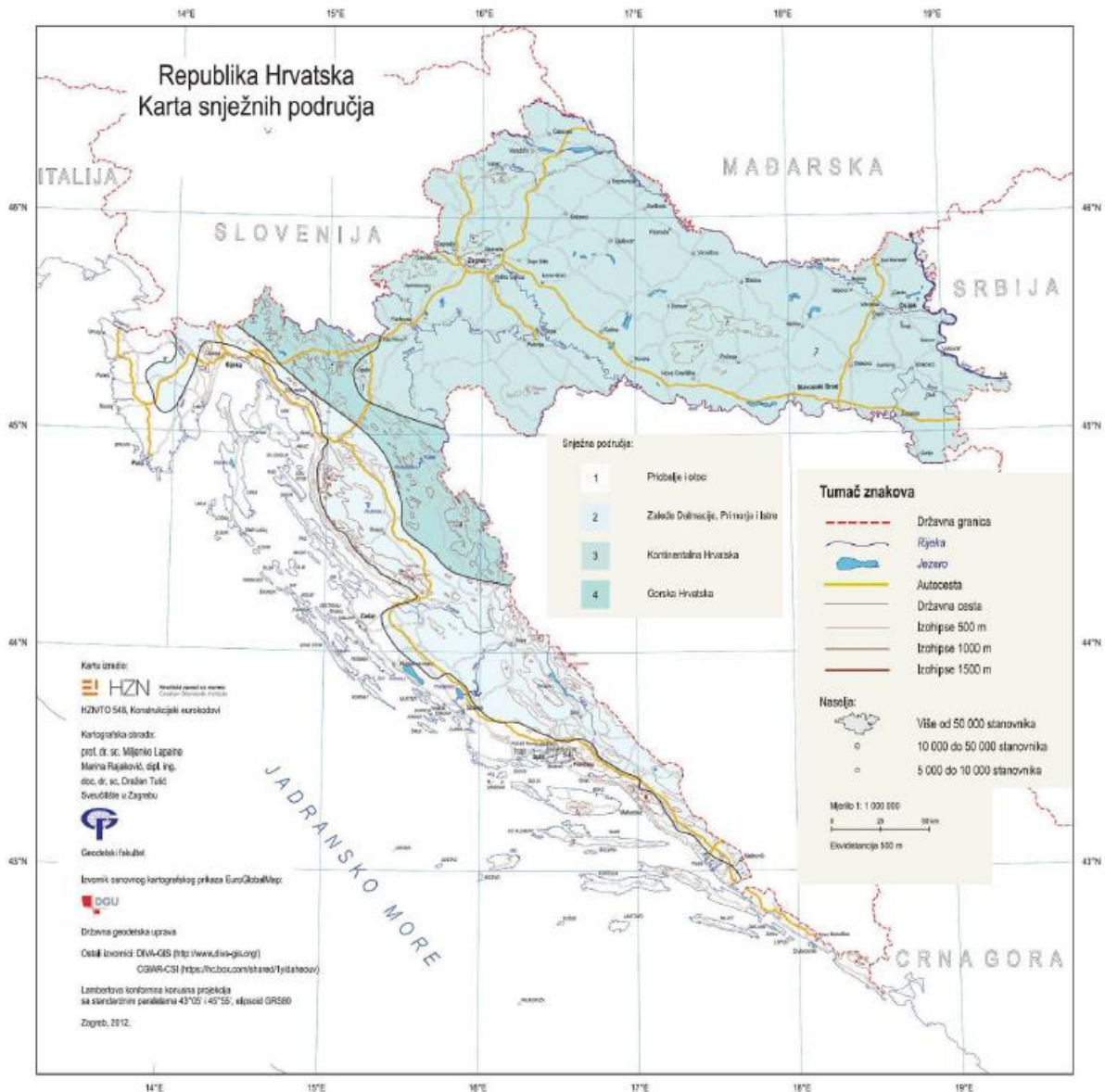
Karakteristično opterećenje snijegom za područje 1 (priobalje i otoci), do 100 m nadmorske visine:

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

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

**Tablica 4.6.** Osnovna vrijednost opterećenja snijegom

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m <sup>2</sup> ]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m <sup>2</sup> ]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1 000	2,00	4,00	3,50	5,00
1 100	3,00	5,00	4,00	5,50
1 200	4,00	6,00	4,50	6,00
1 300	5,00	7,00		7,00
1 400	6,00	8,00		8,00
1 500		9,00		9,00
1 600		10,00		10,00
1 700		11,00		11,00
1 800		12,00		

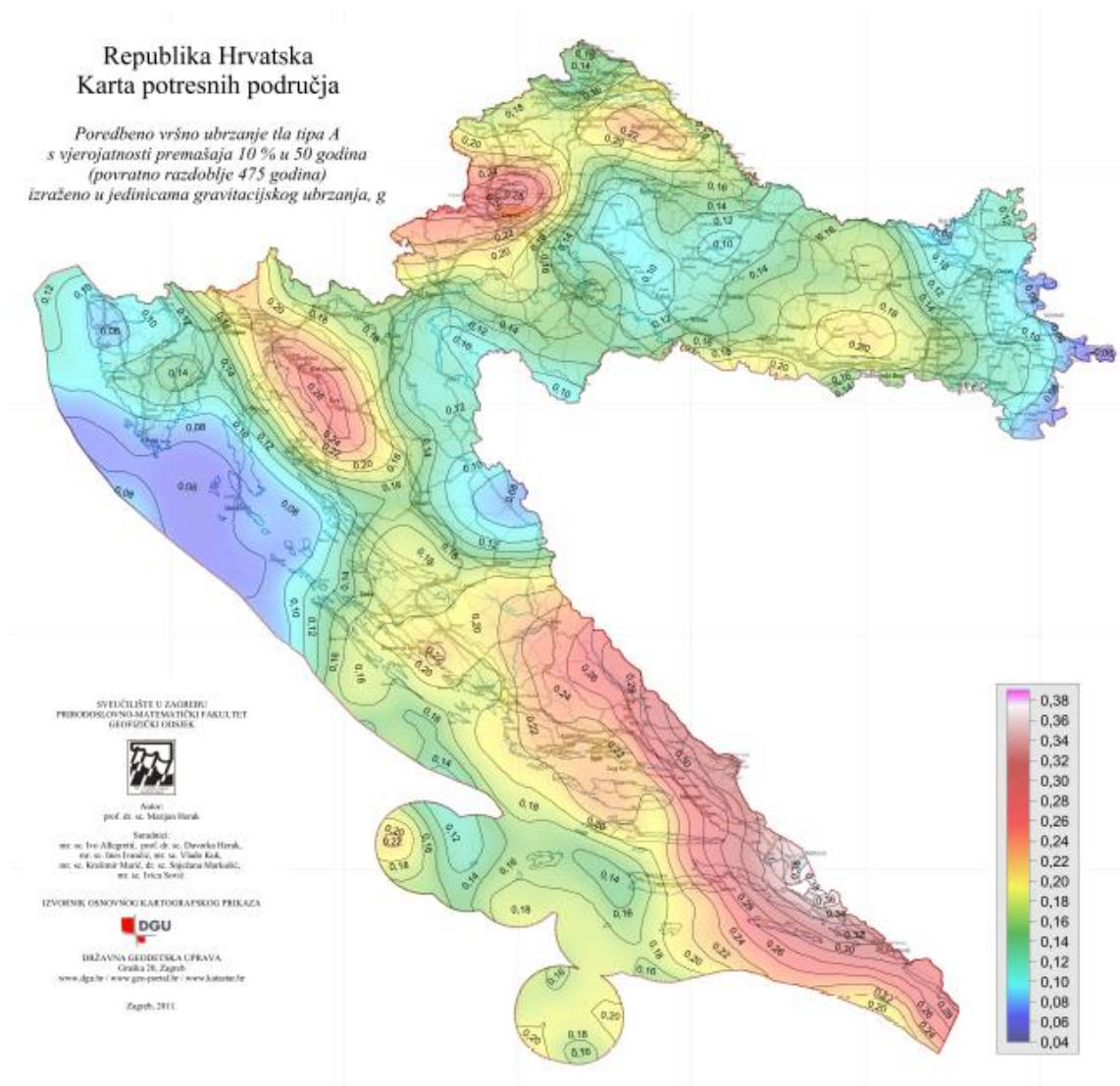


Slika 4.6. Karta snježnih područja

## 4.4. Izvanredna opterećenja

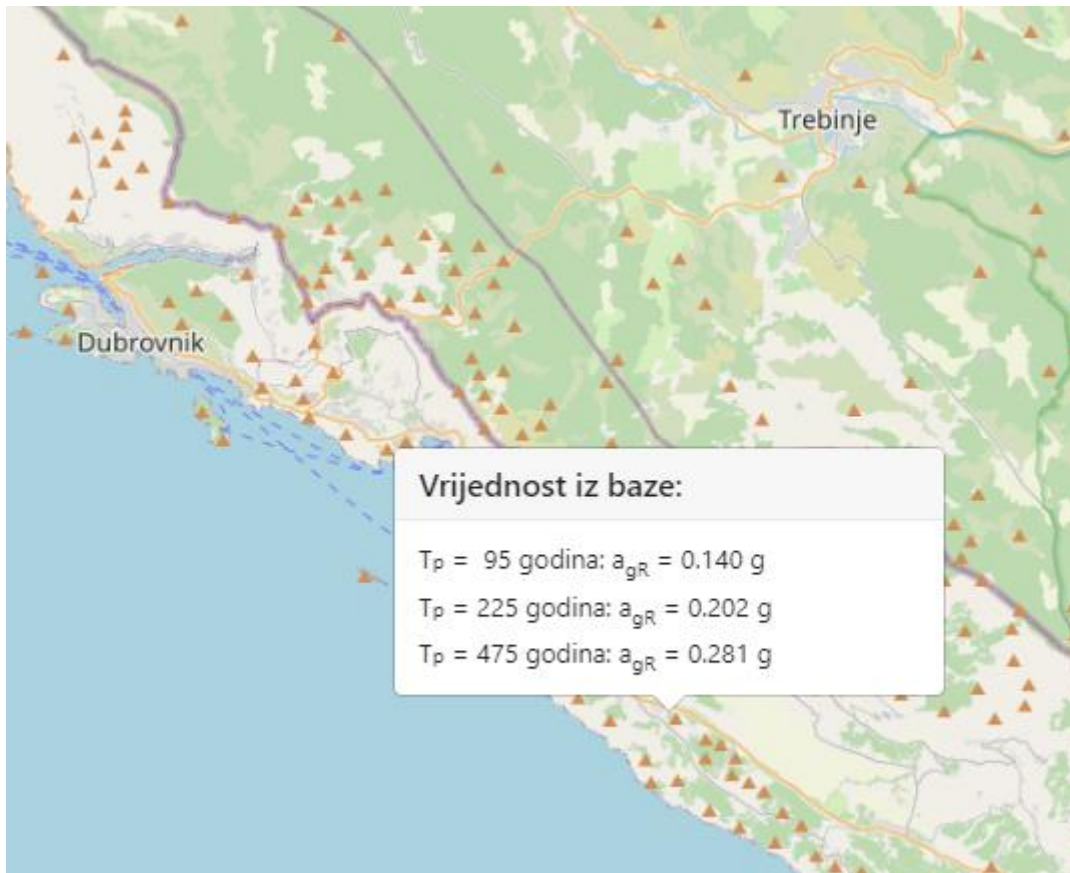
### 4.4.1. Potresno opterećenje

Za proračun potresnog opterećenja korištena je višemodalna spektralna analiza. Pri izračunu masa korištena je kombinacija stalnog opterećenja (težina konstrukcije i dodatno stalno opterećenje) i 30% promjenjivog opterećenja. Građevina se nalazi u Dubrovniku i smještena je u zonu gdje poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla iznosi  $\alpha = 0,281$  g prema važećoj seizmičkoj karti (povratni period 475 godina za GSN).



Slika 4.7. Seizmološka karta Republike Hrvatske





**Slika 4.8.** Prikaz ubrzanja tla za promatranu lokaciju



**Tablica 4.7. Tip temeljnog tla**

Tip temeljnog tla	Opis stratigrafskog profila	Parametri		
		$v_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (udara/ 30 cm)	$c_u$ (kPa)
A	Stijena ili druga geološka formacija poput stijene uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini	> 800	–	–
B	Nanosi vrlo gustog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline, debljine najmanje nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom	360-800	> 50	> 250
C	Duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara	180-360	15-50	70-250
D	Nanosi rahlog do srednje zbijenog nekoherentnog tla (s nešto mekih koherentnih slojeva ili bez njih), ili pretežno meko do dobro koherentno tlo	< 180	< 15	< 70
E	Profil tla koji se sastoji od površinskog aluvijskog sloja s vrijednostima $v_s$ za tipove C ili D i debljinom između 5 i 20 m ispod kojeg je krući materijal s $v_s > 800$ m/s			
S <sub>1</sub>	Nanosi koji se sastoje od, ili sadrže, sloj debljine najmanje 10 m mekih glina/praha s velikim indeksom plastičnosti (PI > 40) i velikim sadržajem vode	< 100 (približno)	–	10-20
S <sub>2</sub>	Nanosi tla podložnih likvefakciji, osjetljivih glina ili svaki drugi profil tla koji nije obuhvaćen tipovima A do E ili S <sub>1</sub>			

**Tablica 4.8. Prikaz parametara spektra za obranu kategoriju tla**

Horizontalni spektar Tip 1	S	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
A	1,00	0,15	0,4	2,0
B	1,20	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	1,40	0,15	0,5	2,0

Vertikalni spektar	$a_{vg} / a_g$	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>	S
Sve kategorije tla	0,9	0,05	0,15	1,0	1,0

*Ulazni podaci za proračun potresnog opterećenja*

**Tablica 4.9.** *Ulazni podaci za proračun potresnog opterećenja*

Razred tla	A
Računsko ubrzanje tla $a_g$	0,281g
Koeficijent računskog ubrzanja tla $\alpha$	0,281
Faktor tla S za klasu tla A	1,00
Granični periodi osciliranja za klasu tla A	$T_B = 0,15$ s
	$T_C = 0,40$ s
	$T_D = 2,0$ s

Proračun je proveden pomoću računalnog programa „Scia Engineer“ s ulaznim podacima navedenim u tablici.



## 5. NUMERIČKI MODEL

Za ovaj tip konstrukcije imamo 3 numerička modela.

Numerički modeli su izrađeni u računalnom programu „Scia Engineer“.

Standardnim modelom su obuhvaćeni sve nosive ploče, stupovi i grede. Nosive ploče su zadane kao ortotropne s opcijom „type of orthotropy“ – two heights.

Osim standardnog numeričkog modela u kojem su obuhvaćene sve nosive ploče, stupovi, grede, napravljen je zasebno numerički model za proračun nosivih ploča kako bi dobili što točnije rezultate reznih sila na koje dimenzioniramo AB ploče.

Opterećenja u zasebnom modelu za proračun sila u ploči su zadana istom oznakom i istim rasporedom (pozicijom).

Razlog zbog kojih smo odvojili ploče u zasebni model je taj što računalni program smatra ploču upeto povezanu s stupovima, pa na mjestima iznad stupova daje ekstremne reakcije momenta u ploči.

Kod zasebnog modela za proračun sila u ploči oslonci ploče su zadani kao kontinuirani zglobovi na mjestima gdje se ploča naslanja na grede.

Treći model je napravljen iz sličnog razloga kao i model ploče, a razlog je taj što računalni program za standardni model smatra stropne ploče upetim za stupove i iz tog razloga kod proračuna stupova na potresno djelovanje dio momenta savijanja u stupovima preuzimaju ploče, te ga umanje za znatnu vrijednost što također nije ispravno jer je stup predgotovljen i izrađen iz jednog komada, te veza ploča i stupa nije upeta, kao što nije ni greda koja naliježe na kratku konzolu stupa (zglobni spoj).

Kako bi dobili ispravne momente savijanja u stupovima za potresno djelovanje izradili smo treći numerički model na način da su ploče zadane kao „Load panel“. Stupovi su međusobno povezani opcijom „Rigid arms“ (kruti spoj) ,gdje je jedan stup glavni (master), a ostali sporedni (slave). Ovim postupkom se svi sporedni stupovi vežu za glavni, te se istodobno zadaju i zglobovi (hinge) unutar opcije „Rigid arms“.

Ovim postupkom zamjenjujemo ploču i elimineramo upetost ploče i stupova, te dobijamo ispravne rezultate momenata savijanja s kojima dimenzioniramo stup.

U svim modelima na krajevima grede zadajemo zglobove (hinge) iz razloga jer spoj greda – stup nije upet nego zgloban (montažna gradnja).

Za sve modele opterećenja zadajemo s istim iznosom, rasporedom i oznakom, osim kod trećeg modela gdje je stropna ploča zadana kao „Load panel“.

Jedino je razlika što vlastitu težinu ploče moramo sami zadati, na isti princip kao što zadajemo dodatno stalno opterećenje.

Rezultate za sve ostale potrebe proračuna konstrukcije osim navedenih problema uzimamo iz standardnog modela.

Stupovi su kvadratnog poprečnog presjeka duljine stranice 60 cm, modelirani kao štapni elementi, dok su oslonci stupova modelirani upeto. Međukatna konstrukcija je polumontažni strop koje se sastoji od montažne ploče (obično napravljene na vibro stolu), debljine 5 cm, armirane mrežastom armaturom i dodatnog betona, debljine 15 cm.

Međukatna konstrukcija je modelirana kao pločasti elementi.

Grede su poprečnog presjeka 60 × 60 cm.

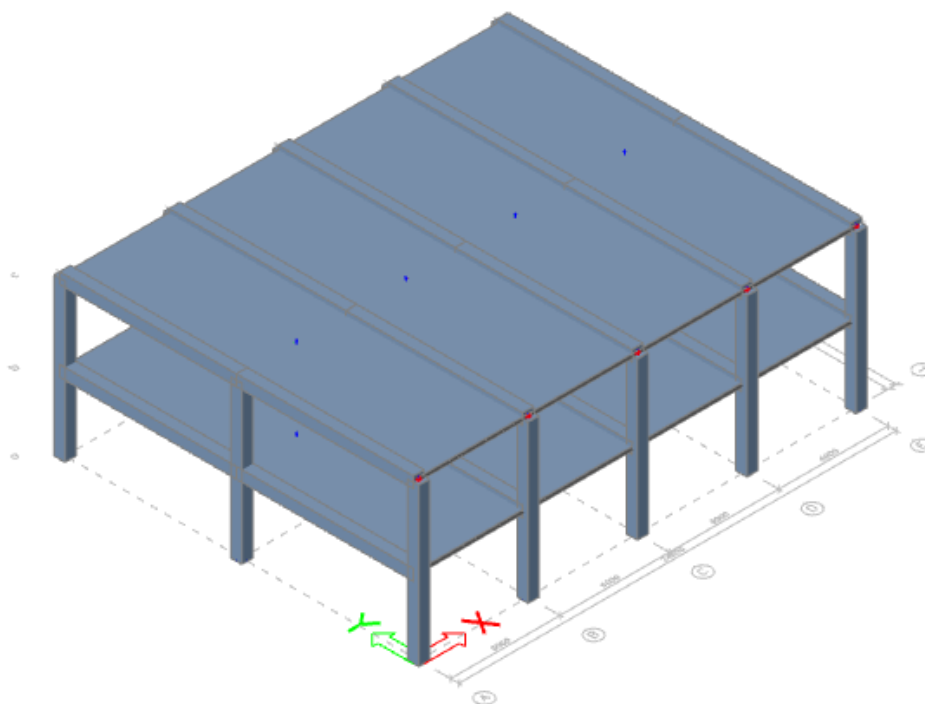
Grede, AB ploča i temelji su razreda betona C30/37, te kvalitete čelika B500B.

Stupovi su razreda betona C35/45 i kvalitete čelika B500B.

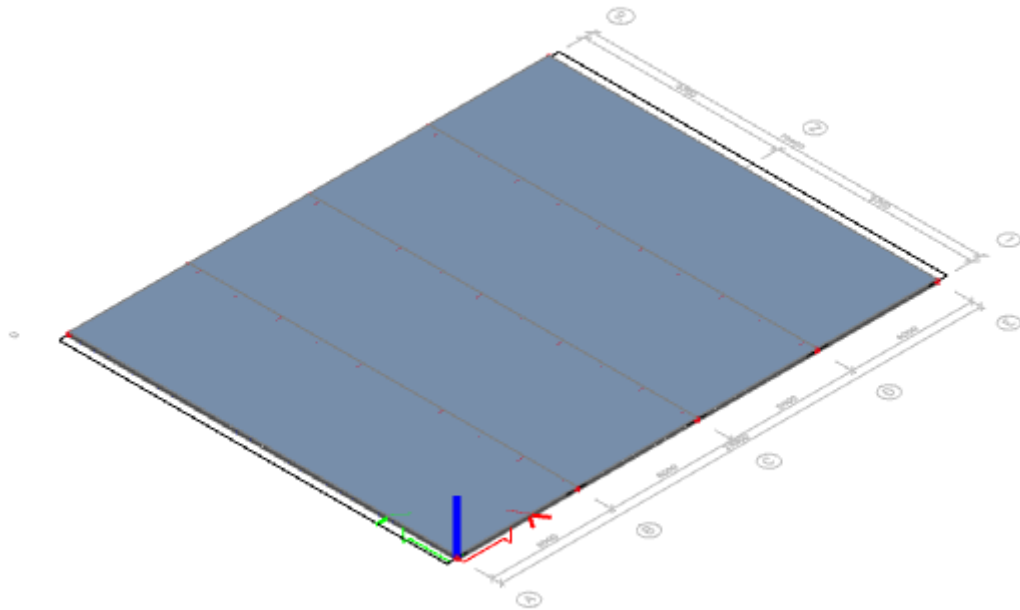
Numerički modeli su opterećeni stalnim opterećenjem koja je u softveru zadana pod vlastitom težinom te je softver sam uzima u obzir, dodatnim stalnim i korisnim opterećenjem te opterećenjem snijegom. Svi koeficijenti potrebni za proračun uzeti su iz HRN 1991-1.

Metoda korištena za potres je modalna spektralna analiza, te su mjerodavni rezultati dobiveni CQC metodom. Svi koeficijenti potrebni za proračun preuzeti su iz HRN 1998.

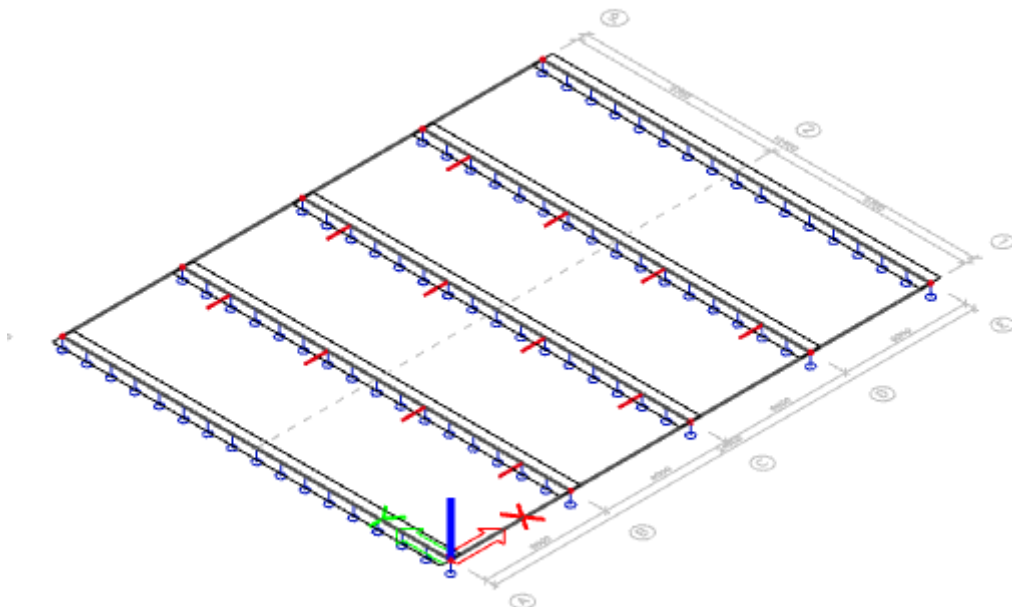
Proračun je proveden u računalnom programu „Scia Engineer“ i to za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti za sve GSN, GSU i potresne kombinacije.



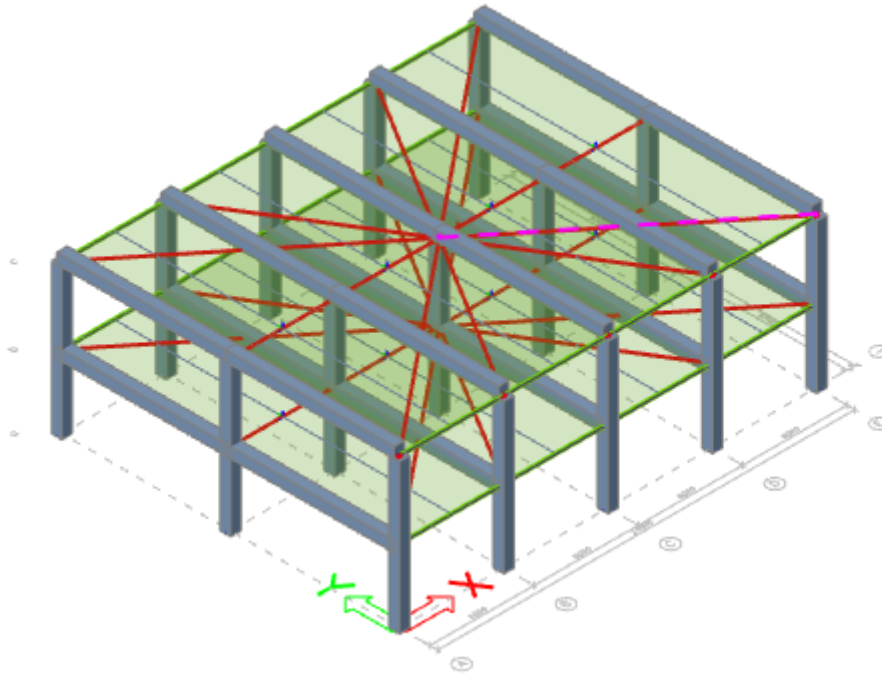
**Slika 5.1.** Standardni numerički model



*Slika 5.2. Numeriki model stropne ploče*



*Slika 5.3. Numeriki model stropne ploče – prikaz oslonaca*



**Slika 5.4.** Treći numerički model



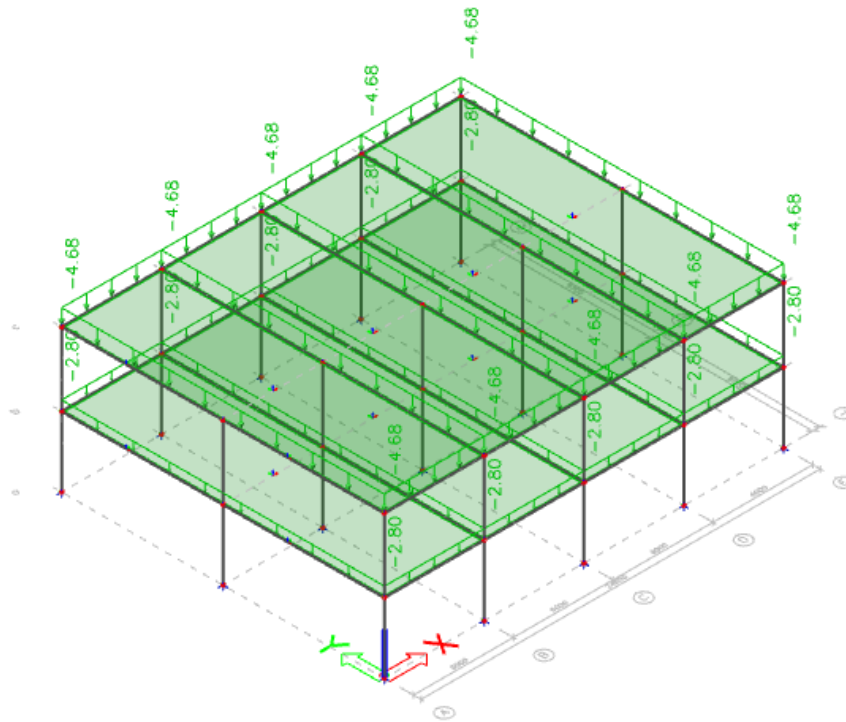
**Tablica 5.1. Prikaz svih opterećenja**

Name	Description	Action type	Loadgroup	Direction	Duration	Master load case
	Spec	Load type				
VT	Vlastita težina	Permanent Self weight	LG1	-Z		
Sk	Snijeg Standard	Variable Static	Snijeg		Short	None
Q	Uporabno Standard	Variable Static	Uporabno		Short	None
DS	Dodatno stalno	Permanent Standard	LG1			
Sx	Potres u x smjeru Seismicity	Variable Dynamic	Potres			None
Sx_AE	Accidental eccentricity for Sx Seismic accidental eccentricity	Variable Static	Sx_AE		Short	Sx - Potres u x smjeru
Sy	Potres u y smjeru Seismicity	Variable Dynamic	Potres			None
Sy_AE	Accidental eccentricity for Sy Seismic accidental eccentricity	Variable Static	Sy_AE		Short	Sy - Potres u y smjeru
Q1	Uporabno Standard	Variable Static	Uporabno		Short	None
Q2	Uporabno Standard	Variable Static	Uporabno		Short	None
Q3	Uporabno Standard	Variable Static	Uporabno		Short	None
Q4	Uporabno Standard	Variable Static	Uporabno		Short	None
Q5	Uporabno Standard	Variable Static	Uporabno		Short	None
Q6	Uporabno Standard	Variable Static	Uporabno		Short	None

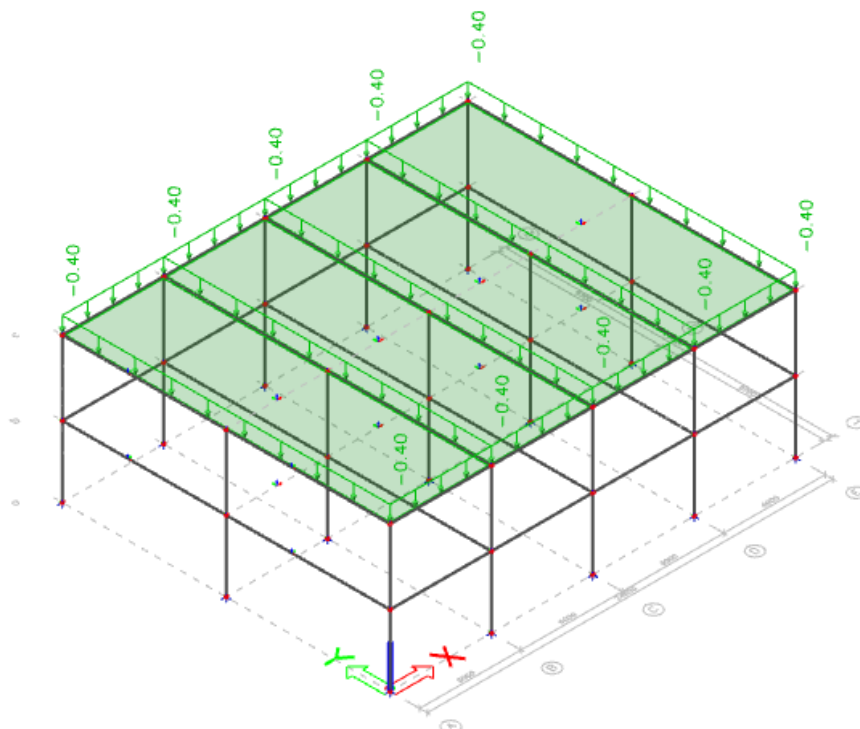
**Tablica 5.2. Grupe opterećenja**

Name	Load	Relation	Type
LG1	Permanent		
Uporabno	Variable	Exclusive	Cat A : Domestic
Vjetar	Variable	Standard	Wind
Snijeg	Variable	Standard	Snow
Krov	Variable	Standard	Cat H : Roofs
Potres	Seismic	Together	
Sx_AE	Seismic Accidental Eccentricity	Exclusive	
Sy_AE	Seismic Accidental Eccentricity	Exclusive	

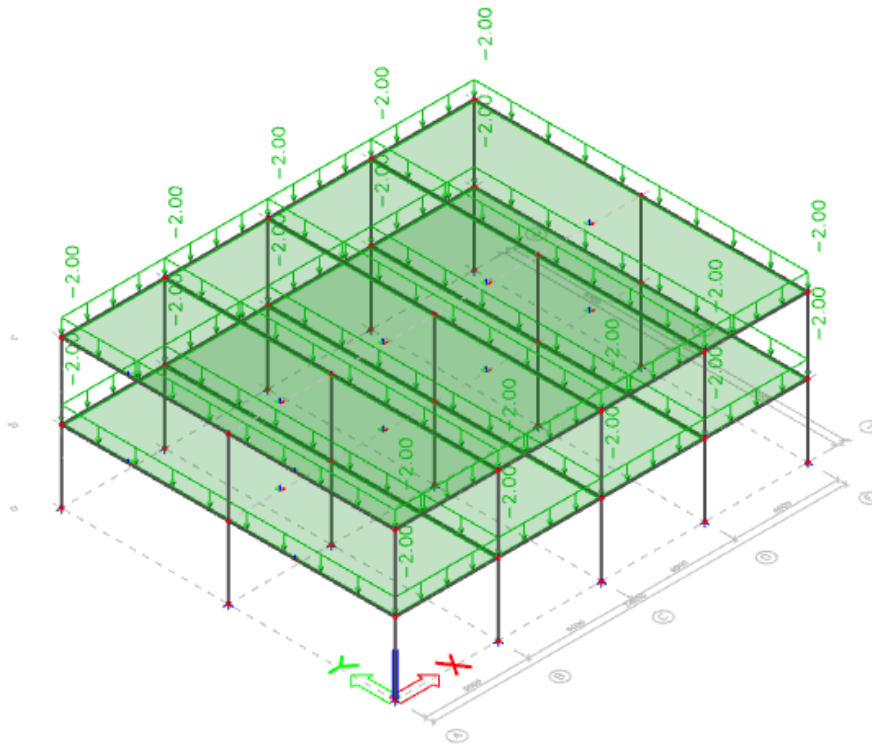




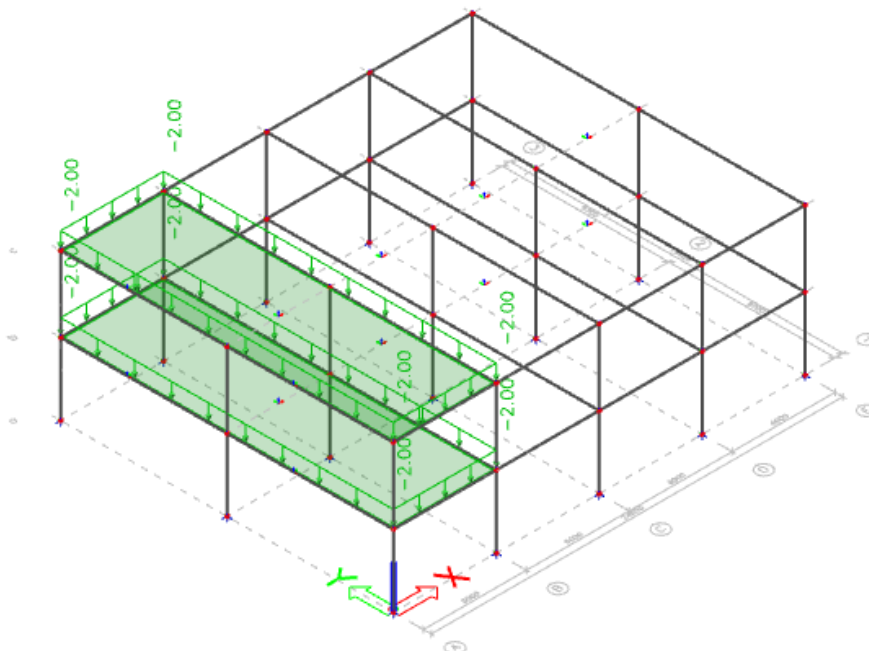
*Slika 5.5. Prikaz dodatnog stalnog opterećenja*



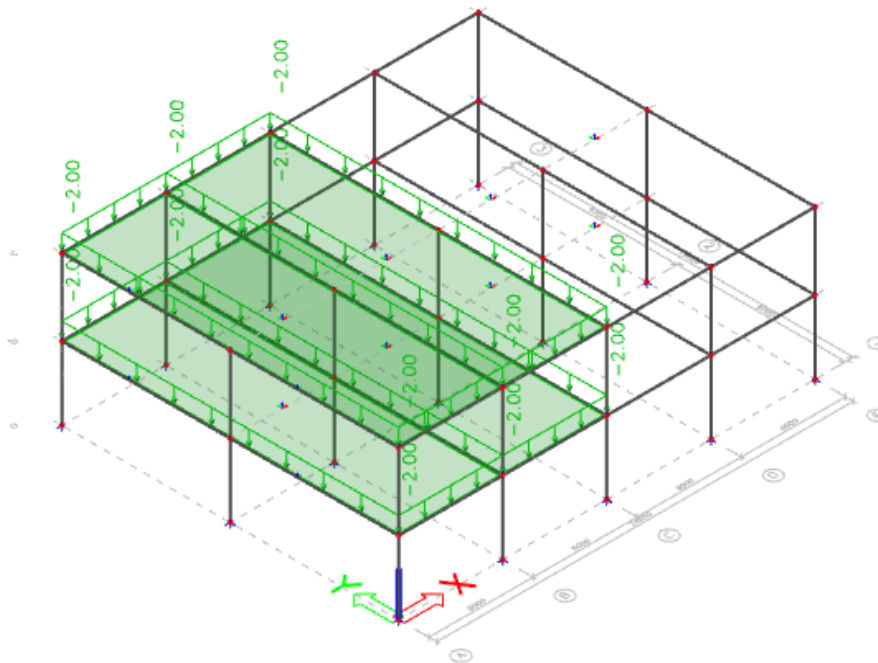
*Slika 5.6. Opterećenje snijegom*



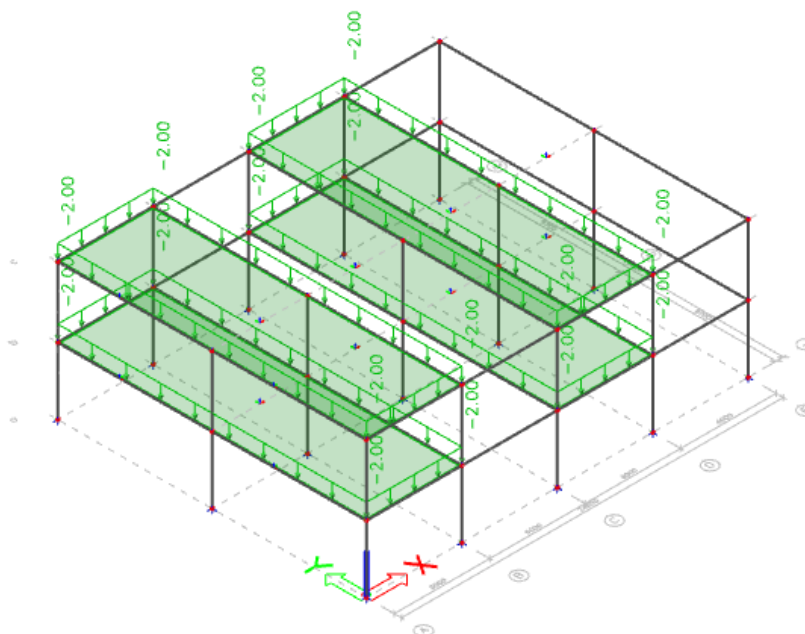
*Slika 5.7. Uporabno opterećenje Q*



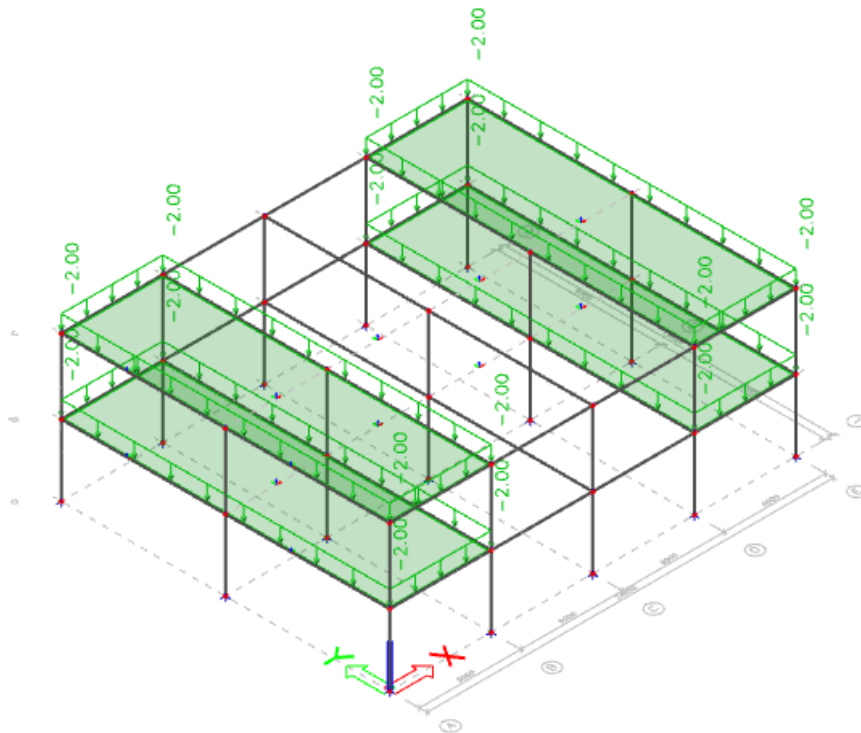
*Slika 5.8. Uporabno opterećenje Q1*



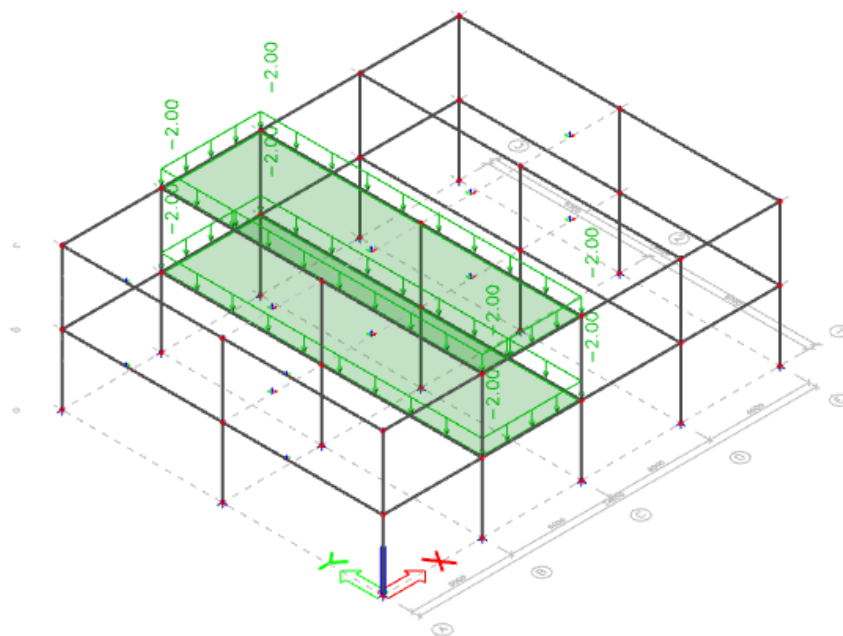
*Slika 5.9. Uporabno opterećenje Q2*



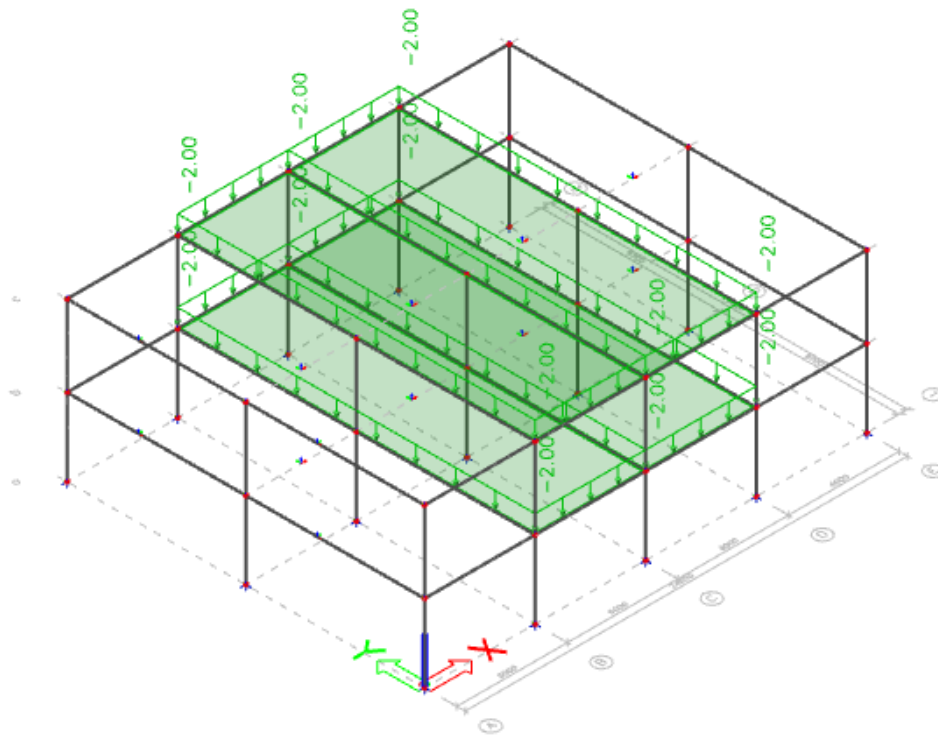
*Slika 5.10. Uporabno opterećenje Q3*



*Slika 5.11. Uporabno opterećenje Q4*



*Slika 5.12. Uporabno opterećenje Q5*



*Slika 5.13. Uporabno opterećenje Q6*



## 6. POTRESNA ANALIZA KONSTRUKCIJE

### 6.1. Uvod

Konstrukcije u potresnim područjima se projektiraju i izvede na način da odgovarajućim stupnjem pouzdanosti zadovolje sljedeće uvjete:

- uvjet neurušavanja konstrukcije
- uvjet ograničenja oštećenja.

Za zadovoljenje uvjeta neurušavanja konstrukcija treba biti projektirana i izvedena na način da izdrži projektna seizmička djelovanja bez lokalnih i globalnih urušavanja, s dostatnim kapacitetom nosivosti nakon potresa.

Projektno seizmičko djelovanje je dano preko (a) poredbenog seizmičkog djelovanja za vrijednost poredbenog srednjeg povratnog perioda seizmičkog djelovanja i (b) faktora važnosti građevine.

Različite pouzdanosti primjenjuju se klasificiranjem konstrukcija u različite razrede važnosti. Svakom razredu važnosti pridružen je **faktor važnosti**  $\gamma_I$ .

Drugi uvjet, *ograničenja oštećenja*, podrazumijeva da se konstrukcija projektira i izgradi na način da izdrži potrese manjeg intenziteta za koje se smatra da postoji veća vjerojatnost da će se dogoditi u odnosu na projektna seizmička djelovanja, bez pojave oštećenja i njima pridruženih ograničenja upotrebe, troškova koji bi bili nesrazmjerno veliki u usporedbi s cijenom konstrukcije.

Teritorij države u kojoj će se primjenjivati HRN EN 1998 treba podijeliti u seizmička područja, ovisno od tektonskih karakteristika tih područja u odnosu na njihovu lokalnu seizmičku aktivnost u prošlosti, što se naziva lokalni *hazard*.

Po definiciji seizmičkog hazarda on se podrazumijeva kao konstanta u okviru svakog navedenog područja. Za primjenu Eurokoda 8 hazard se opisuje preko poredbenog maksimalnog ubrzanja u tlu razreda A,  $a_{gR}$ .

Za potrebe definiranja elastičnih i projektnih spektara, kojima se predstavlja gibanje u potresu na određenom mjestu zemljine površine, koriste se vrijednosti **projektnih ubrzanja u tlu razreda C**,  $a_g$



$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$$

$a_g$  - projektno ubrzanje u tlu razreda C

$a_{gR}$  - poredbeno maksimalno ubrzanje u tlu razreda C

$\gamma_I$  - faktor važnosti građevine (kreće se od 0,8 do 1,4)

Kako bi se ispunili ovi zahtjevi moraju se provjeriti sljedeća granična stanja:

- Granično stanje nosivosti
- Granično stanje oštećenja

Granično stanje nosivosti su stanja povezana s rušenjem ili drugim oblicima konstrukcijskog sloma koja mogu ugroziti sigurnosti ljudi.

Granična stanja oštećenja su stanja povezana s oštećenjem nakon kojeg su specificirani uporabni zahtjevi više nisu ispunjeni.

Kod proračuna je bitno da konstrukcije imaju što jednostavnije i pravilne oblike u tlocrtu i po visini, ako je nužno to se može postići podjelom konstrukcije na međusobno dinamički neovisne jedinice.

Za proračun je izuzetno važno procijeniti tip temeljnog tla, te se za uzimanje u obzir utjecaja lokalnih uvjeta temeljnog tla na potresno djelovanje smiju upotrijebiti tipovi temeljnog tla A,B,C,D i E opisani stratigrafskim profilima i parametrima danim u tablici 7.1. i niže opisanim. To se smije učiniti i dodatnim uzimanjem u obzir utjecaja dubinske geologije na potresno djelovanje.



**Tablica 6.1. Tipovi temeljnog tla**

Tip temeljnog tla	Opis stratigrafskog profila	Parametri		
		$v_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (udara/ 30 cm)	$c_u$ (kPa)
A	Stijena ili druga geološka formacija poput stijene uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini	> 800	–	–
B	Nanosi vrlo gustog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline, debljine najmanje nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom	360-800	> 50	> 250
C	Duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara	180-360	15-50	70-250
D	Nanosi rahlog do srednje zbijenog nekoherentnog tla (s nešto mekih koherentnih slojeva ili bez njih), ili pretežno meko do dobro koherentno tlo	< 180	< 15	< 70
E	Profil tla koji se sastoji od površinskog aluvijskog sloja s vrijednostima $v_s$ za tipove C ili D i debljinom između 5 i 20 m ispod kojeg je krući materijal s $v_s > 800$ m/s			
S <sub>1</sub>	Nanosi koji se sastoje od, ili sadrže, sloj debljine najmanje 10 m mekih glina/praha s velikim indeksom plastičnosti ( $PI > 40$ ) i velikim sadržajem vode	< 100 (približno)	–	10-20
S <sub>2</sub>	Nanosi tla podložnih likvefakciji, osjetljivih glina ili svaki drugi profil tla koji nije obuhvaćen tipovima A do E ili S <sub>1</sub>			

Jedan od bitnih faktora kod proračuna potresa vrijednost poredbenog vršnog ubrzanja temeljnog tla A,  $a_{gr}$ . Za potrebe norme EN 1998 nacionalni teritorij tijelo državne uprave mora podijeliti ovisno o lokalnoj opasnosti. Po definicije se pretpostavlja da je opasnost u svakom području konstantna. U Republici Hrvatskoj podatke o vršnom ubrzanju tla očitati ćemo sa Karte potresnih područja Republike Hrvatske. Na karti su dane vrijednosti povratnog perioda od 475 i 95 godina.

## 6.2. Elastični spektar odziva

Temeljni prikaz potresnog djelovanje, odnosno potresno gibanje u nekoj točki prikazat će se elastičnim spektrom ubrzanja odziva temeljnog tla koji se naziva „elastični spektar odziva“. Oblik elastičnog spektra odziva uzima se da je isti za dvije razine potresnog djelovanja: za slučaj zahtjeva da ne smije doći do rušenja (granično stanje nosivosti – proračunsko potresno opterećenje) i zahtjeva ograničenog oštećenja.

Razlikujemo dva elastična spektra odziva:

- Horizontalni elastični spektar odziva
- Vertikalni elastični spektar odziva



### 6.2.1. Horizontalni elastični spektar odziva

Elastični spektar odziva  $S_e(T)$  definiran je za horizontalnu komponentu potresnog djelovanja sljedećim izrazima:

$$0 \leq T \leq T_B: S_e(T) = a_g S \left[ 1 + \frac{T}{T_B} (\eta \times 2,5 - 1) \right]$$

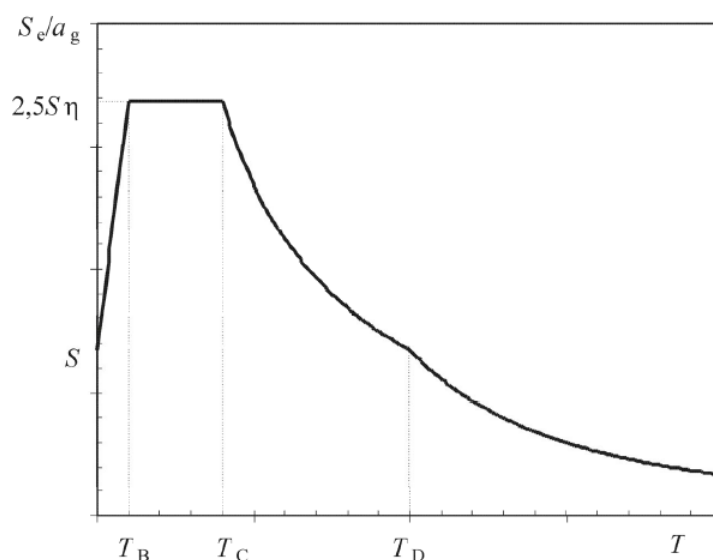
$$T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = a_g S \times 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = a_g S \times 2,5 \left[ \frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4 s: S_e(T) = a_g S \times 2,5 \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

gdje je:

- $S_e(T)$  – elastični spektar odziva
- $T$  – period vibracija linearno sustava s jednim stupnjem slobode
- $a_g$  – proračunsko ubrzanje na temeljnom tipu tla A
- $T_B$  – donja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja
- $T_C$  – gornja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja
- $T_D$  – vrijednost koja definira početak konstantnog raspona odziva u spektru pomaka
- $S$  – faktor tla
- $\eta$  – faktor korekcije prigušenja uz poredbenu vrijednost  $\eta = 1$  za 5%-tno viskozno prigušenje



**Slika 6.1.** Oblik elastičnog spektra odziva



Vrijednosti perioda  $T_B$ ,  $T_C$ , i  $T_D$  i faktora tla  $S$  koje opisuju obliku elastičnog spektra odziva ovise o tipu temeljnog tla koje se navedeni u tablici 6.2.

**Tablica 6.2.** Vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni elastični spektar odziva

Tip temeljnog tla	$S$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

### 6.2.2. Vertikalni elastični spektar odziva

Vertikalna komponenta potresnog djelovanja prikazuje se elastičnim spektrom odziva,  $S_{ve}(T)$ , izvedenog iz jednadžbi:

$$0 \leq T \leq T_B: S_{ve}(T) = a_{vg}S \left[ 1 + \frac{T}{T_B} (\eta \times 3,0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_{ve}(T) = a_{vg}S \times 3,0$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_{ve}(T) = a_{vg}S \times 3,0 \left[ \frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4 \text{ s}: S_{ve}(T) = a_{vg}S \times 3,0 \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

Vrijednosti perioda  $T_B$ ,  $T_C$ , i  $T_D$  i faktora tla  $S$  koje opisuju obliku elastičnog spektra odziva ovise o tipu temeljnog tla koje se navadeni u tablici 6.3.

**Tablica 6.3.** Preporučene vrijednosti parametara koje opisuju vertikalni elastični spektar odziva

Spektar	$a_{vg} / a_g$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
Tip 1	0,90	0,05	0,15	1,0



### 6.3. Projektni spektar za elastičnu analizu

Horizontalna seizmička djelovanja predstavljena su s dvije međusobno okomite neovisne komponente koje su dane istim spektrom odziva, a treća je komponenta u vertikalnom pravcu i ima svoj poseban elastični spektar odziva ubrzanja podloge.

Da bi konstrukcija imala kapacitet nošenja sila potresa te da bi se osiguralo njeno nelinearno ponašanje, ona se projektira na djelovanje sila koje su manje od onih kada je odziv konstrukcije linearan. Da bi se izbjegla nelinearna analiza konstrukcije, kapacitet gubljenja energije u konstrukciji uzima se u obzir linearnom analizom konstrukcije zasnovanom na reduciranom elastičnom spektru odziva ubrzanja podloge. Takav spektar nazvan je projektni spektar. Redukcija je izvršena uvođenjem posebnog koeficijenta nazvanog faktor ponašanja,  $q$ , čija vrijednost je veća od jedinice.

Faktor ponašanja  $q$  je približno omjer potresnih sila koje bi djelovale na konstrukciju ako bi njezin odziv u cijelosti bio elastičan uz 5 %-tno viskozno prigušenje i potresnih sila koje se smiju uzeti u proračunu uz uobičajeni elastični model, još uvijek osiguravajući zadovoljavajući odziv konstrukcije. Vrijednosti faktora ponašanja  $q$  kojim se uzima u obzir i utjecaj viskoznog prigušenja različitog od 5% za različite materijale i konstrukcije sustave dane su u skladu s odgovarajućim razredima duktilnosti u različitim dijelovima norme EN 1998. Vrijednosti faktora ponašanja  $q$  smiju biti različite u različitim horizontalnim smjerovima konstrukcije iako razredba duktilnosti mora biti ista za sve smjerove.

Faktor ponašanja predstavlja sposobnost konstrukcije da apsorbira i troši energiju unesenu u konstrukciju prilikom potresa. To trošenje ostvaruje se nelinearnim ponašanjem konstrukcije, odnosno njenim oštećenjem, na koje se računa pri radu s projektnim silama. Zapravo, faktor ponašanja predstavlja kvocijent između seizmičkih sila koje djeluju na konstrukciju kada je odziv konstrukcije elastičan i projektnih seizmičkih sila. Parametar  $q$  uzima u obzir kapacitet trošenja energije duktilnim ponašanjem konstrukcije.

Sposobnost kontrakcijskih sustava da se odupru potresnim djelovanjima u nelinearnom području općenito dopušta da se one proračunaju na potresne sile manje od onih koje odgovaraju linearno elastičnom odzivu.



Projektni spektar za horizontalne komponente seizmičkog djelovanja definiran je na sljedeći način:

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

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

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

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

$S_d$ -vrijednosti odziva projektnog spektra ubrzanja

$T$  -period vibracija linearnoga sustava s jednim stupnjem slobode

$a_g$ -projektno ubrzanje tla razreda C

$T_B, T_C, T_D$  - karakteristične vrijednosti perioda koje definiraju početak dijelova spektra odziva s konstantnim ubrzanjem, brzinom i pomacima odziva

$S$  - parametar tla

$q$  - faktor ponašanja, dan prema vrsti i tipu konstrukcije

$\beta$  - donji granični faktor horizontalnog projektnog spektra, čija je preporučena vrijednost 0,2.

U potresnim područjima pitanje potresne opasnosti mora se uzeti u obzir u ranim fazama idejnog projekta zgrade kako bi se stvorio konstrukcijski sustav koji, uz prihvatljive troškove, ispunjava temeljne zahtjeve.

Vodeća načela tog idejnog projekta jesu:

- jednostavnost konstrukcije
- jednoličnost, simetrija i prekobrojnost elemenata (redundantnost)
- otpornost i krutost u dva smjera
- otpornost i krutost na torziju
- kruta dijafragma u razini kata
- prikladni temelji

Ovisno o značajkama konstrukcije zgrade smije se upotrijebiti jedan od dvaju tipova linearno-elastičnog proračuna:

- metoda proračuna bočnih sila
- modalni proračun primjenom spektra odziva

Osim linearne metode smije se upotrijebiti i nelinearna metoda i to:

- nelinearni statički proračun postupnim guranjem
- nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa

U ovom projektu je korištena linearno – elastični proračun, baziran na metodi „modalnog proračuna primjenom spektra odziva“.

Ovaj tip proračuna primjenjuje se na zgrade koje ne ispunjavaju uvjete za primjenu proračuna metodom bočnih sila. U obzir se mora uzet odziv svih oblika vibracija koji znatno pridonose općem odzivu. Zahtjevi koji su navedeni u rečenici prije smije se smatrati ispunjenim ako se može pokazati nešto od sljedećeg:

- da zbroj proračunskih modalnih masa za oblike koji su uzeti u obzir iznosi najmanje 90% ukupne mase konstrukcije
- da su u obzir uzeti svi oblici s proračunskim modalnim masama većim od 5% ukupne mase

U slučaju da se upotrebljava prostorni model, navedeni uvjeti se trebaju provjeriti za svaki smjer.

Ako se navedeni zahtjevi ne mogu ispuniti (npr. u zgradama sa znatnim doprinosom torzijskih oblika), najmanji broj oblika  $k$  koji se uzima u obzir u prostornom proračunu treba ispuniti oba od navedenih uvjeta:

- $k \geq 3\sqrt{n}$
- $T_k \leq 0,20 s$

gdje je:

- $k$  – broj oblika koji je uzet u obzir
- $n$  – broj katova iznad temelja ili gornjeg ruba krutoga podruma
- $T_k$  – period vibracija oblika  $k$  [8]

## 6.4. Potresni parametri

Vrsta nosivog sustava je obrnuto njihalo tj. sustav u kojemu je 50% mase ili više u gornjoj trećini visine sustava ili sustav u kojemu je disipacija energije uglavnom predviđena u podnožju jednog elementa zgrade. Iz tablice 5.1. u EN 1998-1 očitana je vrijednost faktora ponašanja za razred duktilnosti M (DCM – srednja duktilnost) koja iznosi  $q_0 = 1,5$ .

Za okvirni sustav iznos faktora prevladavajućeg oblika sloma nosivog sustava sa zidovima je  $k_w = 1,0$ . Kod predgotovljenih konstrukcija s energetskim disipativnim (duktilnim) spojevima iznosi  $k_p = 1,0$ .

Faktor ponašanja:

$$q = k_w \cdot q_0 = 1,0 \cdot 1,5 = 1,5 \geq 1,5$$

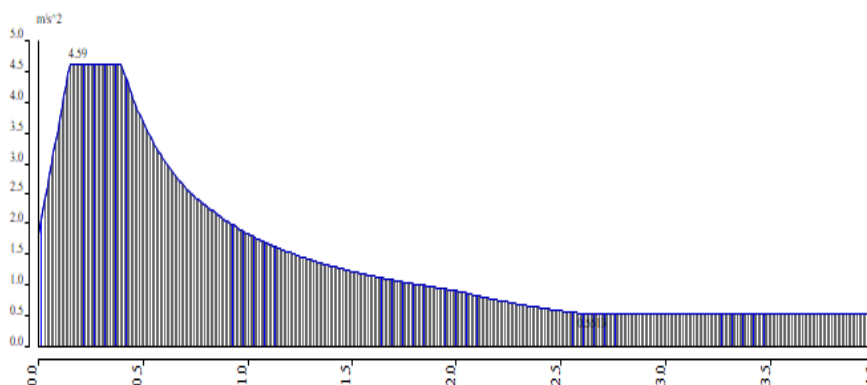
$$q_p = k_p \cdot q = 1,0 \cdot 1,5 = 1,5 \geq 1,5$$

Odabrano:  $q = 1,5$

Proračun je proveden pomoću računalnog programa „Scia Engineer“ s ulaznim podacima navedenim u tablici:

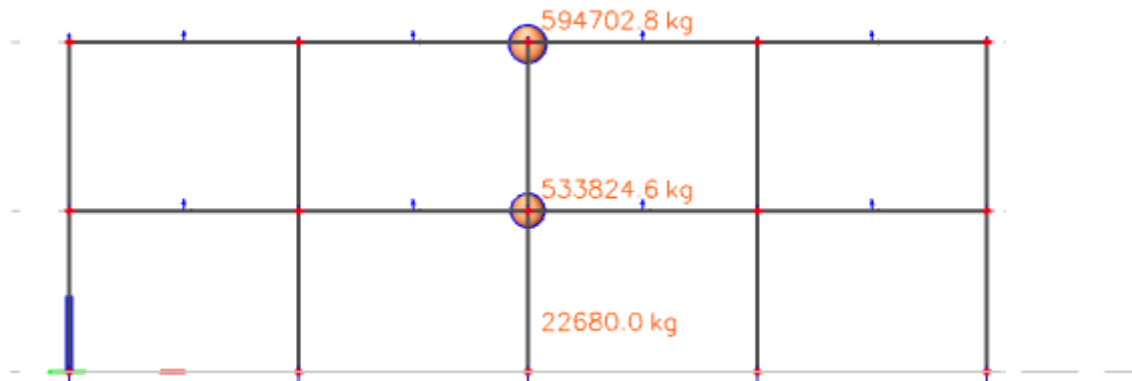
**Tablica 6.4. Potresni parametri**

Razred tla	A
Računsko ubrzanje tla $a_g$	0,281g
Koeficijent računskog ubrzanja tla $\alpha$	0,281
Faktor ponašanja $q$	1,5
Faktor tla S za klasu tla A	1,00
Granični periodi osciliranja za klasu tla A	$T_B = 0,15$ s
	$T_C = 0,40$ s
	$T_D = 2,0$ s



**Slika 6.2. Računski spektar odziva**

## 6.5. Rezultati potresne analize



Slika 6.3. Ukupna masa konstrukcije po etažama

Tablica 6.5. Prikaz aktivacije masa

Relative modal masses

Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	$W_{xi}/W_{xtot}$	$W_{yi}/W_{ytot}$	$W_{zi}/W_{ztot}$	$W_{xi,R}/W_{xtot,R}$	$W_{yi,R}/W_{ytot,R}$	$W_{zi,R}/W_{ztot,R}$
1	6.26147	1.00	1.00	0.0000	0.7772	0.0000	0.0293	0.0000	0.0000
2	8.76156	0.72	1.39	0.8010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0187	0.0000
3	9.54001	0.66	1.52	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7769
4	16.8783	0.37	2.69	0.0000	0.0000	0.4065	0.0000	0.0000	0.0000
5	17.1352	0.37	2.73	0.0000	0.0000	0.0000	0.2471	0.0000	0.0000
6	18.5047	0.34	2.95	0.0000	0.0000	0.3163	0.0000	0.0000	0.0000
7	18.699	0.34	2.98	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3414	0.0000
8	18.7502	0.34	2.98	0.0000	0.0000	0.0000	0.2037	0.0000	0.0000
9	20.4903	0.31	3.26	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2728	0.0000
10	42.9594	0.15	6.84	0.0000	0.2057	0.0000	0.0898	0.0000	0.0000
11	44.5596	0.14	7.09	0.1817	0.0000	0.0000	0.0000	0.0622	0.0000
12	53.696	0.12	8.55	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1969
13	562.486	0.01	89.52	0.0133	0.0000	0.0000	0.0000	0.0031	0.0000
14	566.398	0.01	90.14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0203
15	572.496	0.01	91.12	0.0000	0.0132	0.0000	0.0000	0.0026	0.0000
				0.9960	0.9961	0.7226	0.5726	0.6983	0.9941

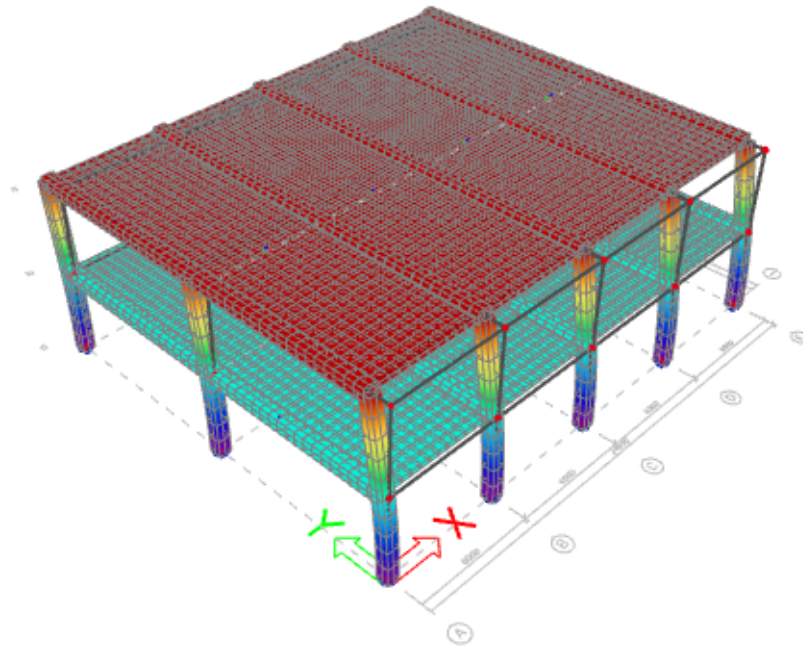
Ukoliko se ne može aktivirati više od 90% mase građevine, treba biti zadovoljen uvjet:

$$k \geq 3 \cdot \sqrt{n}$$

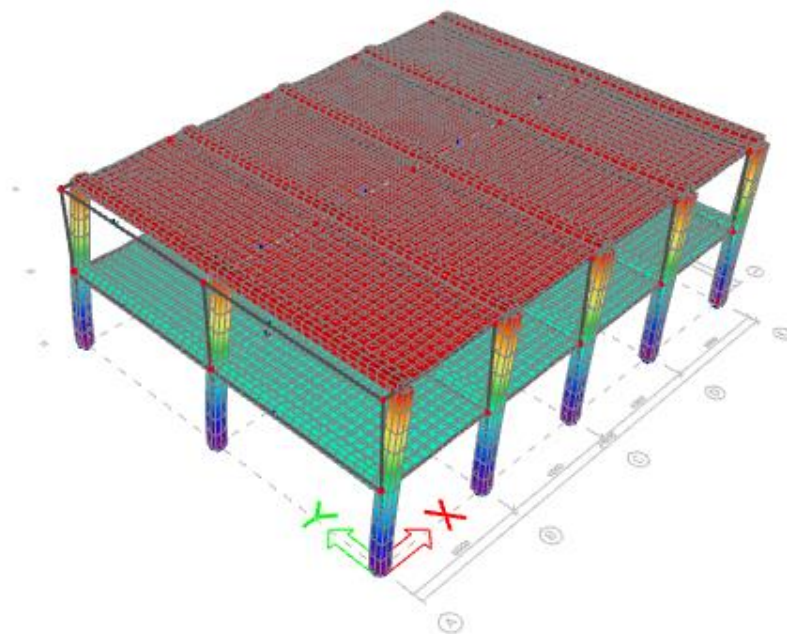
gdje je k – broj modova

n – broj katova

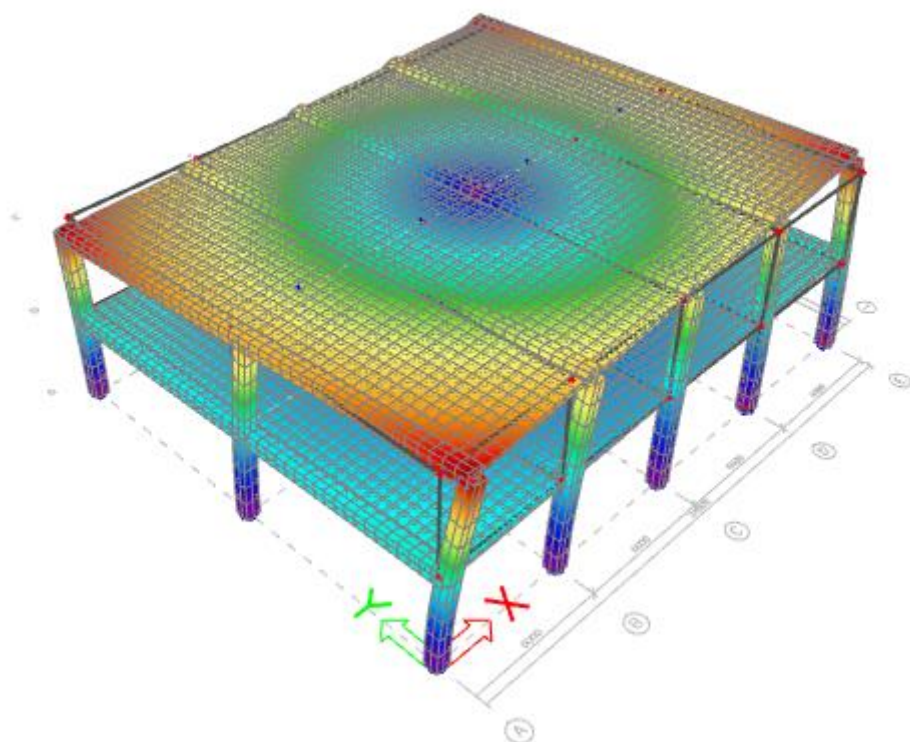




**Slika 6.4.** Prvi mod ( $T=1,00$  s)



**Slika 6.5.** Drugi mod ( $T=0,72$  s)



**Slika 6.6.** Treći mod ( $T=0,66$  s)

## 7. STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE STUPA

### Statički sustav, geometrijske karakteristike i materijali

Materijali:

Beton: C35/45

Čelik: B500 B

Proračunska čvrstoća betona:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{35,0}{1,5} = 23,33 \text{ N/mm}^2 = 2,33 \text{ kN/cm}^2$$

Proračunska granica popuštanja čelika:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500,0}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,478 \text{ kN/cm}^2$$

Srednja osna vlačna čvrstoća :

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

Sekantni modul elastičnosti:

$$E_{cm} = 34000 \text{ N/mm}^2$$

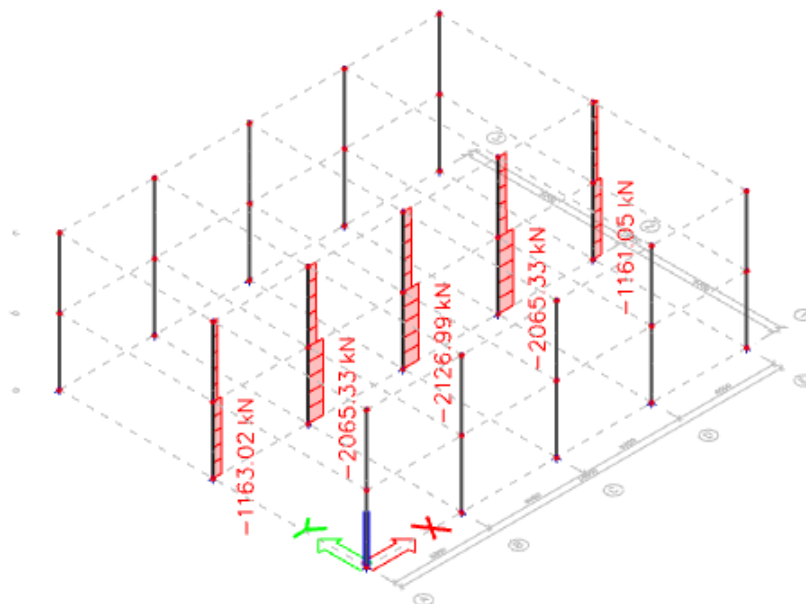
$$c_{\min} = 20 \text{ mm}$$

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

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c = 20 + 10 = 30 \text{ mm} = 3,0 \text{ cm}$$

### 7.1. Srednji stup

#### 7.1.1. Proračun uzdužne armature



**Slika 7.1.** Dijagram uzdužnih sila – srednji stup – najveća uzdužna sila za sve kombinacije djelovanja

### Zahtjev duktilnosti stupova na uzdužnu silu

Srednji razred duktilnosti:

$$v_{d,max} = 0,65 \quad \text{ili} \quad N_{Ed} \leq 0,65 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}$$

$$N_{Ed} = 2126,99 \text{ kN} < 0,65 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 2,0 = 4680 \text{ kN}$$

- zadovoljen zahtjev duktilnosti!

### Proračun duljine izvijanja i vitkosti stupova

Proračunska duljina izvijanja stupa:

$$l_0 = \beta \cdot l_{col} = 2 \cdot 8,6 = 17,20 \text{ m}$$

$$\beta = 2 \quad (\text{konzola})$$

$$l_{col} = 17,20 \text{ m}$$

Vitkost:

$$\lambda = \frac{l_0}{i_{min}} = \frac{17,20}{0,289 \cdot 0,60} = 99,19$$

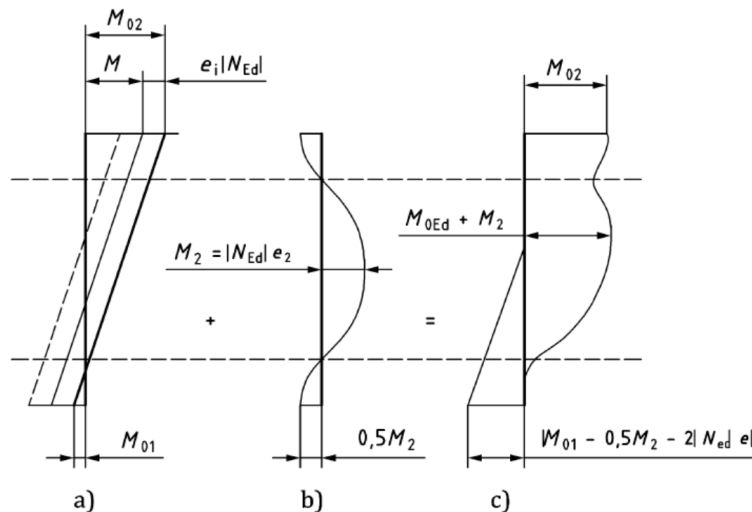
Pojedinačni tlačni element smatra se vitkim ako je njegova vitkost veća od  $\lambda_{lim}$

$$\begin{aligned} \lambda_{lim} &= 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{N_{Ed} / A_c f_{cd}} \\ &= 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7 \cdot \frac{1}{\sqrt{2126,99 / 3600 \cdot 2,33}} = 21,423 \end{aligned}$$

$\lambda = 99,19 > \lambda_{lim} = 21,423 \rightarrow$  stup je vitak, proračun po teoriji II reda.

### Dimenzioniranje stupova prema pojednostavljenom postupku proračuna pojedinačnih vitkih stupova

#### METODA OSNOVANA NA NAZIVNOJ ZAKRIVLJENOSTI



a) First order moments

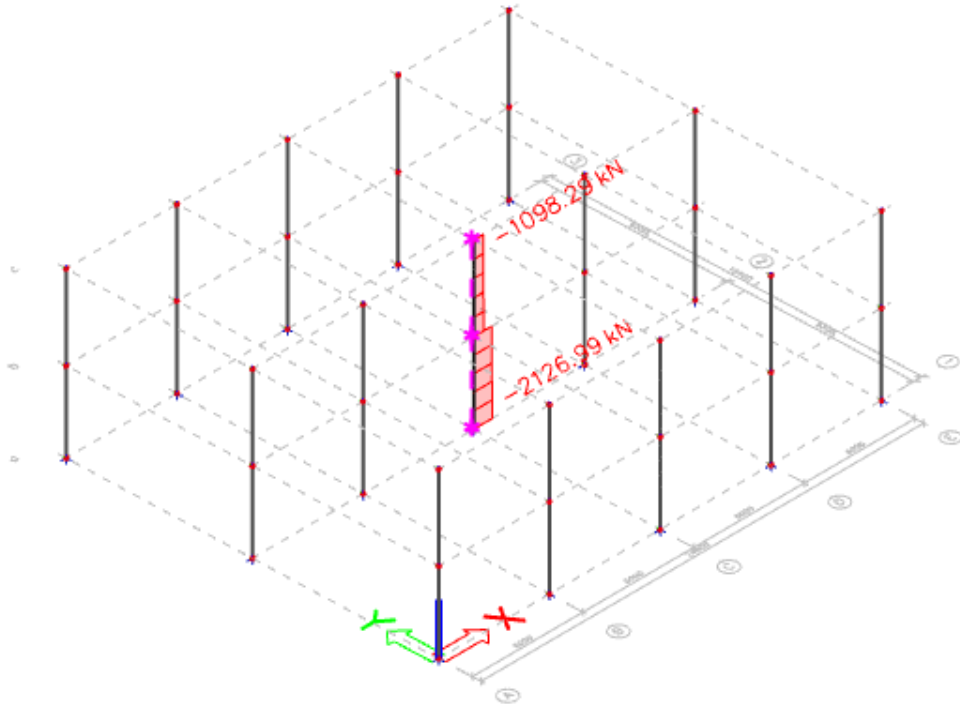
b) Additional second order moments

c) Envelope of design moments

**Slika 7.2.** Proračunski moment savijanja vitkih stupova – teorija II reda.

### 7.1.1.1. Dimenzioniranje gornjeg presjeka stupa

#### Kombinacija za stalne i prolazne proračunske situacije



*Slika 7.3. Maksimalna uzdužna sila - srednji stup – GSN kombinacija*

Proračunske vrijednosti unutarnjih sila proračunatih prema teoriji I. reda:

$$M_{0Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = - (1098,29 - 1,35 \cdot 0,60 \cdot 0,60 \cdot 8,6 \cdot 25) = -993,80 \text{ kN}$$

Nazivni (nominalni) moment II. reda:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2$$

Ukupni proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

Ekscentričnost prema teoriji I. reda:

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{0}{993,80} = 0 \text{ cm}$$

Dodatna ekscentričnost zbog geometrijskih nesavršenosti:

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\theta_0 = \frac{1}{200} = 0,005 \text{ – preporučena vrijednost nagiba}$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}} \leq 1,00 \text{ – faktor smanjanja za visinu}$$



$m = 1$  (*pojedinačni element*) – broj vertikalnih elemenata

$\alpha_m = \sqrt{0,50 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$  – faktor smanjenja za broj elemenata

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{8,6}} = 0,682$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,50 \cdot \left(1 + \frac{1}{1}\right)} = 1,00$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} \cdot 0,682 \cdot 1,00 = \frac{1}{300} = 0,00341$$

Dodatna ekscentričnost zbog geometrijskih nesavršenosti:

$$e_i > e_{0,min}$$

$$e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 0,0033 \cdot \frac{17,20}{2} = 0,0293 \text{ m} = 2,93 \text{ cm}$$

$$e_{0,min} = \frac{h}{30} = \frac{60}{30} = 2,00 \text{ cm}$$

$$2,93 \text{ cm} > 2,00 \text{ cm}$$

Ekscentričnost prema teoriji drugog reda:

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

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} \text{ – zakrivljenost}$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1,00 \text{ – korekcijski faktor ovisan o uzdužnoj sili}$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1,00 \text{ – faktor kojim se uzima u obzir puzanje}$$

$$c = 10 \approx \pi^2 \text{ (za konstantan presjek – faktor ovisan o raspodjeli zakrivljenosti)}$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{f_{yd}}{0,45 \cdot d \cdot E_s} \text{ – početna zakrivljenost}$$

$$d_1 = c + \phi_v + \phi_u/2 = 3,00 + 0,80 + 2,00/2 = 4,80 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 60,00 - 4,80 = 55,20 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{434,78}{0,45 \cdot 55,20 \cdot 200\,000} = 8,75 \cdot 10^{-5}$$

$$e_2 = 8,75 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{17,20^2}{10} = 25,89 \text{ cm}$$

Ukupni proračunski moment savijanja

$$e_{tot} = 0,00 + 2,93 + 25,89 = 28,82 \text{ cm} = 0,2882 \text{ m}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$M_{Ed} = 993,80 \cdot 0,2882 = 286,45 \text{ kNm}$$



Potrebna armatura za gornji presjek stupa:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = M_{0Ed} + N_{Ed} \cdot e_{tot} = 0 + 993,80 \cdot 0,2882 = 286,45 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -993,80 \text{ kN}$$

$$\frac{d}{h} = \frac{55,2}{60} = 0,92 \approx 0,9$$

Proračun armature pomoću dijagrama interakcije:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{28645}{60 \cdot 60^2 \cdot 2,333} = 0,057$$

Bezdimenzijska veličina uzdužne sile:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-993,80}{60 \cdot 60 \cdot 2,333} = -0,118$$

Očitano iz dijagrama interakcije (slika 7.4.)

$$\omega = 0,03$$

Maksimalni dopušteni mehanički koeficijent armiranja za beton C35/45 [2]:

$$\omega_{lim} = 0,365$$

Minimalni mehanički koeficijent armiranja izračunat je prema izrazu

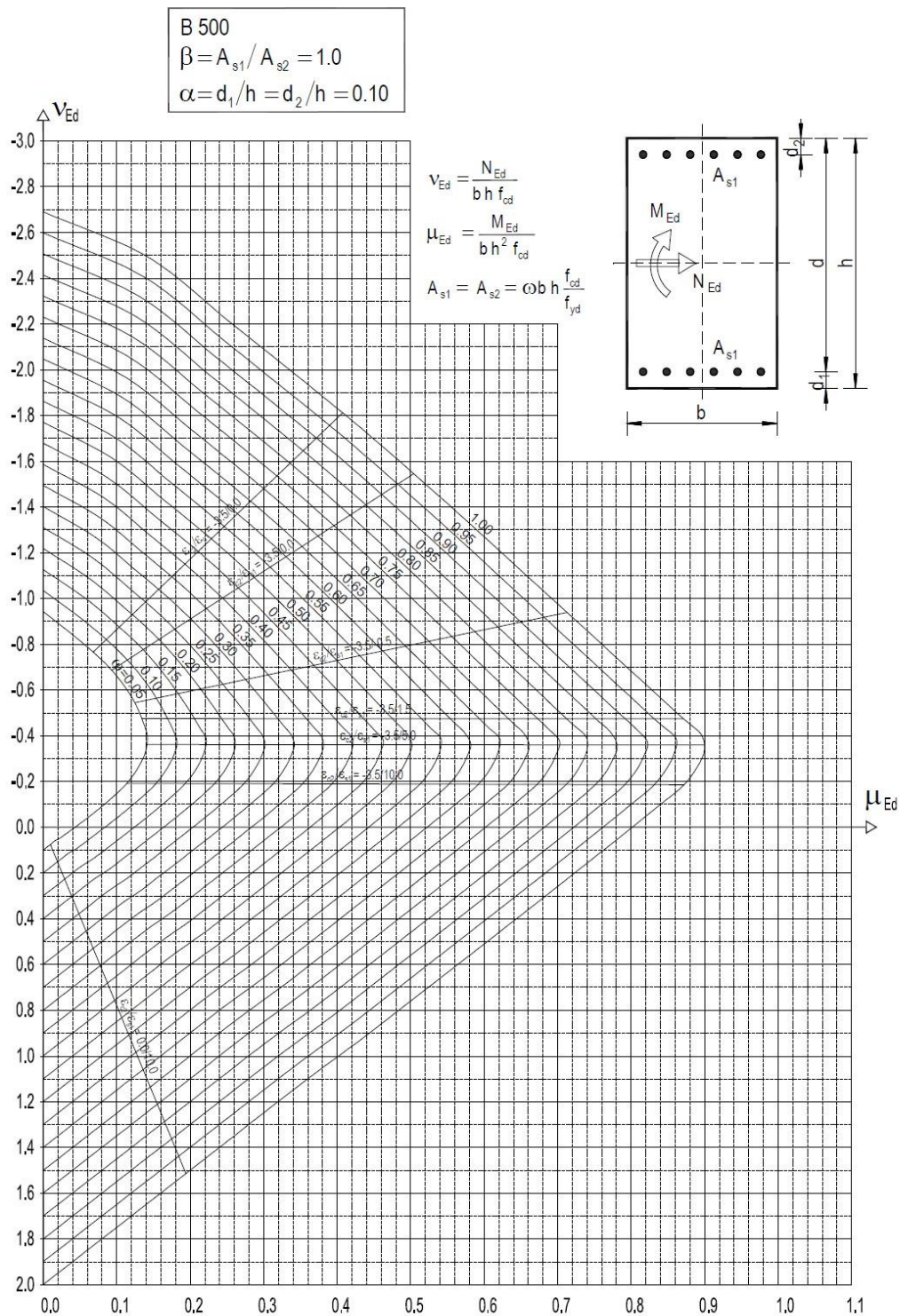
$$\omega_{min} = \frac{0,0015 \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,0015 \cdot 434,78}{23,33} = 0,0280$$

Ukupna površina potrebne armature:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,03 \cdot \frac{2,333}{43,478} \cdot 60 \cdot 60 = 5,80 \text{ cm}^2$$



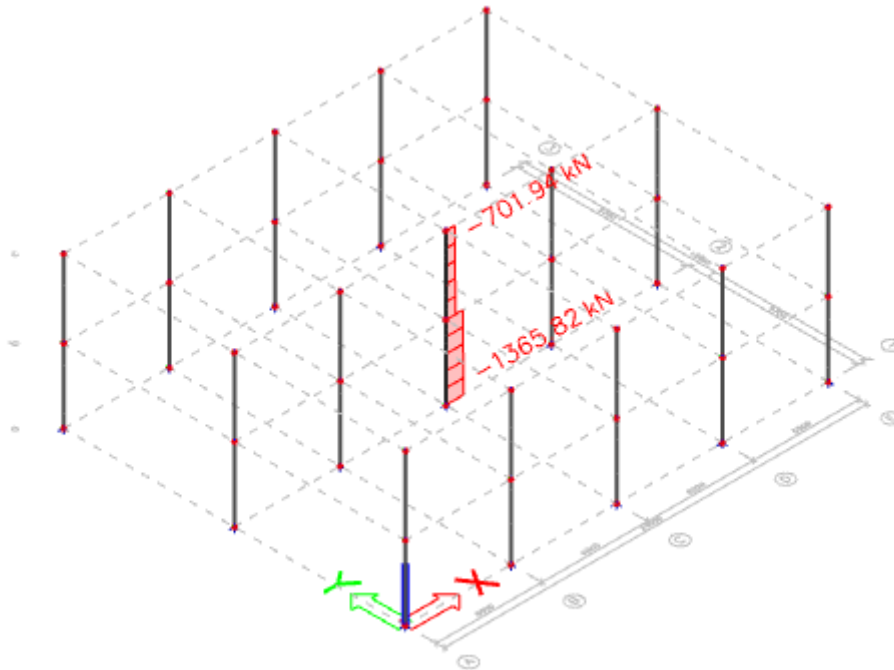
Dijagram za dimenzioniranje simetrično armiranih pravokutnih presjeka,  $\alpha=0.10$



Slika 7.4. Dijagram za dimenzioniranje simetrično armiranih pravokutnih presjeka,  $\alpha = 0.10$ .



**Kombinacija za seizmičku proračunsku situaciju, gornji dio stupa.**



*Slika 7.5. Maksimalna uzdužna sila – srednji stup - seizmička kombinacija*

$$N = -701,94 \text{ kN}$$

$$M_{0Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -(701,94 - 1,00 \cdot 0,60 \cdot 0,60 \cdot 8,6 \cdot 25) = -624,54 \text{ kN}$$

Ukupni proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

Ekscentričnost prema teoriji I. reda:

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{0}{624,54} = 0 \text{ cm}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2 = 0,0 + 2,93 + 25,89 = 28,82 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot} = 624,54 \cdot 0,2882 = 180,01 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -624,54 \text{ kN}$$

$$\frac{d}{h} = \frac{55,2}{60} = 0,92 \approx 0,9$$

Proračun armature pomoću dijagrama interakcije:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{180,01 \cdot 100}{60 \cdot 60^2 \cdot 2,333} = 0,036$$

Bezdimenzijska veličina uzdužne sile:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-624,54}{60 \cdot 60 \cdot 2,333} = -0,074$$

Očitano iz dijagrama interakcije (slika 7.4.)

$$\omega = 0,03$$

Maksimalni dopušteni mehanički koeficijent armiranja za beton C35/45 [2]:

$$\omega_{lim} = 0,365$$

Ukupna površina potrebne armature:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,03 \cdot \frac{2,333}{43,478} \cdot 60 \cdot 60 = 5,80 \text{ cm}^2$$



### 7.1.1.2. Dimenzioniranje donjeg presjeka stupa

#### Kombinacija za trajne i prolazne proračunske situacije

Proračunske vrijednosti unutarnjih sila proračunatih prema teoriji I. reda:

$$M_{Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2126,99 \text{ kN}$$

Nazivni (nominalni) moment II. reda:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2$$

Ukupni proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2$$

Ekscentričnost prema teoriji I. reda:

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{0}{2126,99} = 0 \text{ cm}$$

$$e_1 = 2,93 \text{ cm}$$

$$e_2 = 25,89 \text{ cm}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2 = 0,0 + 2,93 + 25,89 = 28,82 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot} = 2126,99 \cdot 0,2882 = 613,07 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2126,99 \text{ kN}$$

$$\frac{d}{h} = \frac{55,2}{60} = 0,92 \approx 0,9$$

Proračun armature pomoću dijagrama interakcije:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{613,07}{60 \cdot 60^2 \cdot 2,333} = 0,122$$

Bezdimenzijska veličina uzdužne sile:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-2126,99}{60 \cdot 60 \cdot 2,333} = -0,253$$

Očitano iz dijagrama interakcije (slika 7.4.)

$$\omega = 0,045$$

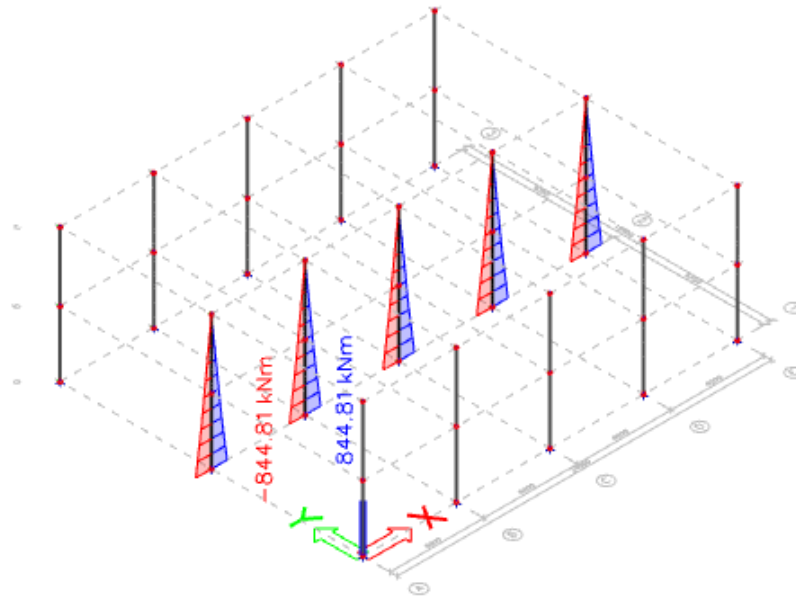
Maksimalni dopušteni mehanički koeficijent armiranja za beton C35/45 [2]:

$$\omega_{lim} = 0,365$$

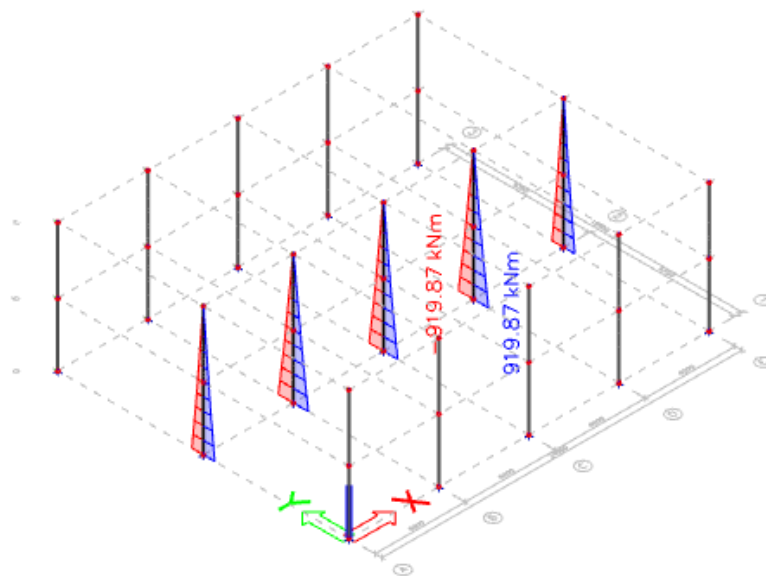
Ukupna površina potrebne armature:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,045 \cdot \frac{2,333}{43,478} \cdot 60 \cdot 60 = 8,69 \text{ cm}^2$$

**Kombinacija za seizmičku proračunsku situaciju**



*Slika 7.6. Maksimalni momenat savijanja  $M_y$  – srednji stup – seizmička kombinacija*



*Slika 7.7. Maksimalni momenat savijanja  $M_z$  – srednji stup – seizmička kombinacija*

$$N_{Ed} = 1338,78 \text{ kN}$$

$$M_{0Ed,y} = 844,81 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed,z} = 919,87 \text{ kNm}$$



### My – potres u x smjeru

Ukupni proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2$$

Ekscentričnost prema teoriji I. reda:

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{84481}{1365,82} = 61,85 \text{ cm}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2 = 61,85 + 2,93 + 25,89 = 90,68 \text{ cm}$$

$$M_{Ed,y} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot} = 1365,82 \cdot 0,9068 = 1238,49 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1365,82 \text{ kN}$$

$$\frac{d}{h} = \frac{55,2}{40} = 0,92 \approx 0,9$$

### Mz – potres u y smjeru

Ukupni proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2$$

Ekscentričnost prema teoriji I. reda:

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{91987}{1365,82} = 67,35 \text{ cm}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2 = 67,35 + 2,93 + 25,89 = 96,17 \text{ cm}$$

$$M_{Ed,y} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot} = 1365,82 \cdot 0,9617 = 1313,55 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1365,82 \text{ kN}$$

$$\frac{d}{h} = \frac{55,2}{40} = 0,92 \approx 0,9$$

Proračun armature pomoću dijagrama interakcije:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1238,49 \cdot 10^2}{60 \cdot 60^2 \cdot 2,333} = 0,246$$

$$\mu_{Ed,z} = \frac{M_{Ed,z}}{h \cdot b^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1313,55 \cdot 10^2}{60 \cdot 60^2 \cdot 2,333} = 0,261$$

Veći nam je  $\mu_{Ed,z}$ , potres u smjeru y, pa ćemo  $\mu_{Ed,y}$  pomnožiti s 0,3 jer za potresnu kombinaciju uzimamo 100% iznos jednog smjera i 30% iznos drugog smjera.

$$\mu_{Ed,y} = 0,246 \cdot 0,3 = 0,073$$

$$\mu_{Ed,z} = 0,261$$

Bezdimenzijska veličina uzdužne sile:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1365,82}{60 \cdot 60 \cdot 2,333} = -0,163$$

Mehanički koeficijent armiranja za beton C 35/45

$$\mu_1 = \max(\mu_{Ed,y}, \mu_{Ed,z}) = 0,261$$

$$\mu_2 = \min(\mu_{Ed,y}, \mu_{Ed,z}) = 0,073$$

Iz dijagrama interakcije za dvoosno savijanje (slika 7.8.) :

$$\text{Za } v_{Ed}=0,0, \text{ očitano: } \omega_1 = 0,74$$

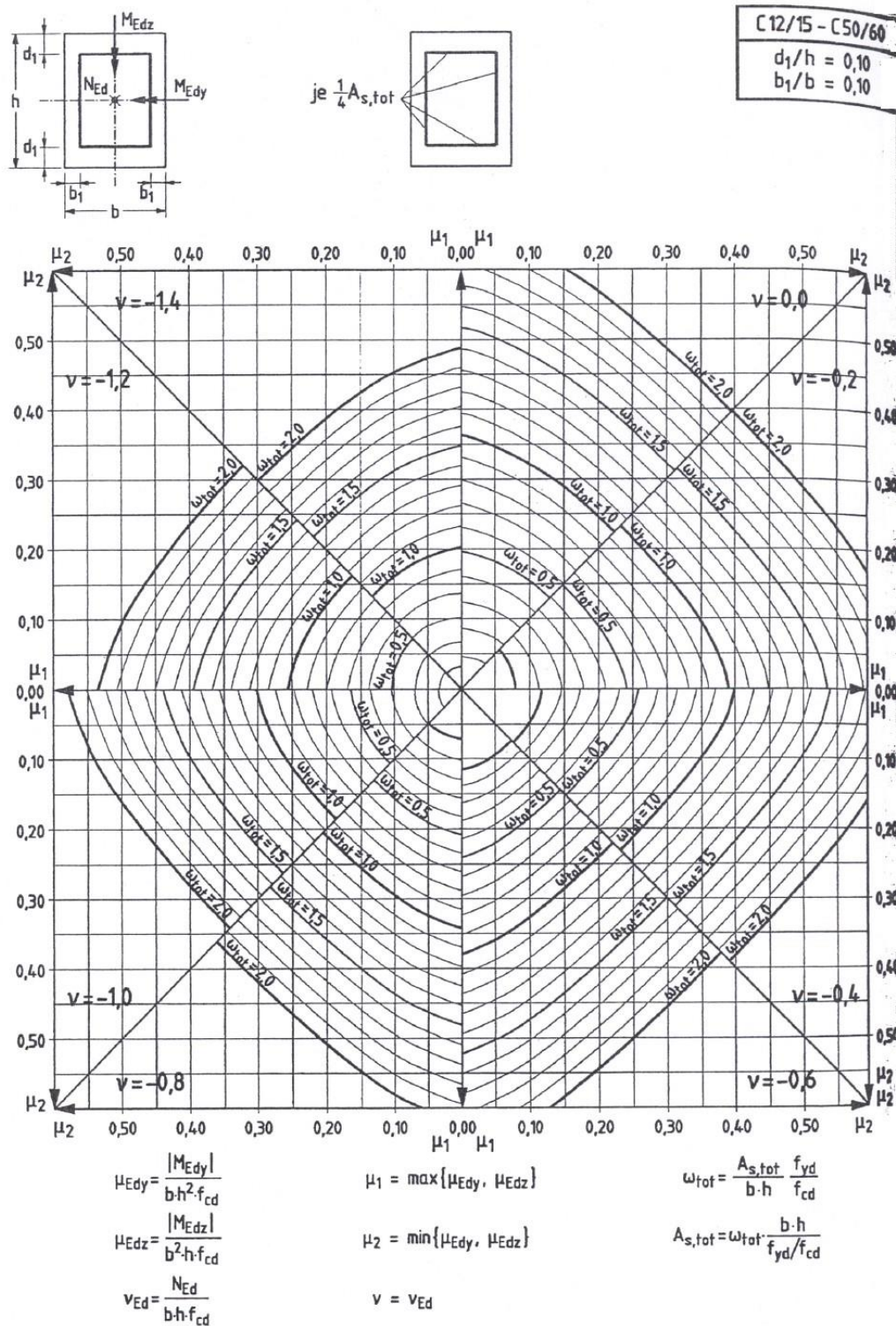
$$\text{Za } v_{Ed}=-0,2, \text{ očitano: } \omega_2 = 0,64$$

$$\omega_{tot} = \omega_1 - (\omega_1 - \omega_2) \cdot \left( \frac{v_{Ed} - v_1}{v_2 - v_1} \right)$$

$$\omega_{tot} = 0,74 - (0,74 - 0,64) \cdot \left( \frac{-0,163 - 0,0}{-0,20 - 0} \right) = 0,658$$

Ukupna površina potrebne armature:

$$A_{s,req} = \omega_{tot} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,658 \cdot \frac{2,333}{43,478} \cdot 60 \cdot 60 = 127,26 \text{ cm}^2$$



**Slika 7.8.** Dijagram za dimenzioniranje pravokutnih presjeka na dvoosno savijanje – armatura simetrično raspoređena po stranicama



### Minimalna vertikalna (uzdužna) armatura

$$A_{s,min} = 4\Phi 12 = 4,52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min,potres} = 12\Phi 12 = 9,04 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2126}{43,478} = 7,34 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,3}{100} \cdot A_c = 0,003 \cdot 60 \cdot 60 = 10,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min,potres} = \frac{1}{100} \cdot A_c = 0,01 \cdot 60 \cdot 60 = 36 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Mjerodavno.}$$

### Maksimalna vertikalna (uzdužna) armatura

$$A_{s,max} = \frac{4}{100} \cdot A_c = 0,04 \cdot 60 \cdot 60 = 144 \text{ cm}^2$$

**ODABRANO: 16Φ32**      $A_{s,prov} = 128,64 \text{ cm}^2 > A_{s,req} = 127,26 \text{ cm}^2$

$$A_{s,min} = 36 \text{ cm}^2 < A_{s,prov} = 128,64 \text{ cm}^2 < A_{s,max} = 144 \text{ cm}^2$$

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





### 7.1.2. Proračun poprečne armature

#### Razmak spona

$$\text{Za } \phi_s \geq 25\text{mm} \rightarrow \text{promjer spona } \phi_w = \frac{\phi_s}{4} = \frac{32}{4} = 8 \text{ mm}$$

Odabrane su vilice  $\phi 10$ .

*Duljina kritičnog područja*

$$l_{cr} \geq h_c = 0,60 \text{ m}$$

$$l_{cr} \geq \frac{l_{cl}}{6} = \frac{8,60}{6} = 1,433 \text{ m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

$$l_{cr} \geq 0,45 \text{ m}$$

$$\frac{l_{cr}}{h_c} < 3 \rightarrow \text{cijela visina stupa je kritično područje}$$

$$\frac{l_{cr}}{h_c} = \frac{8,60}{0,6} = 14,33$$

$$14,33 > 3 \rightarrow \text{cijela visina stupa nije kritično područje}$$

*Razmak spona u kritičnom području*

$$s_{cl,t} = b_0/2 = 53 / 2 = 26,5 \text{ cm}$$

$b_0$  - manja dimenzija betonske jezgre (od osi do osi spona)

$$s_{cl,t} \leq 17,5 \text{ cm} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

$$s_{cl,t} \leq 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 3,2 = 25,60 \text{ cm}$$

Progušćavanje spona pri vrhu i podnožju stupa:

$$\text{Razmak progušćavanja spona } s'_{cl,t} \leq 0,6 \cdot s_{cl,t} \leq 0,6 \cdot 17,5 = 10,5 \text{ cm}$$

Spone se progušćuju na dužini od  $h_c = 60 \text{ cm}$ .

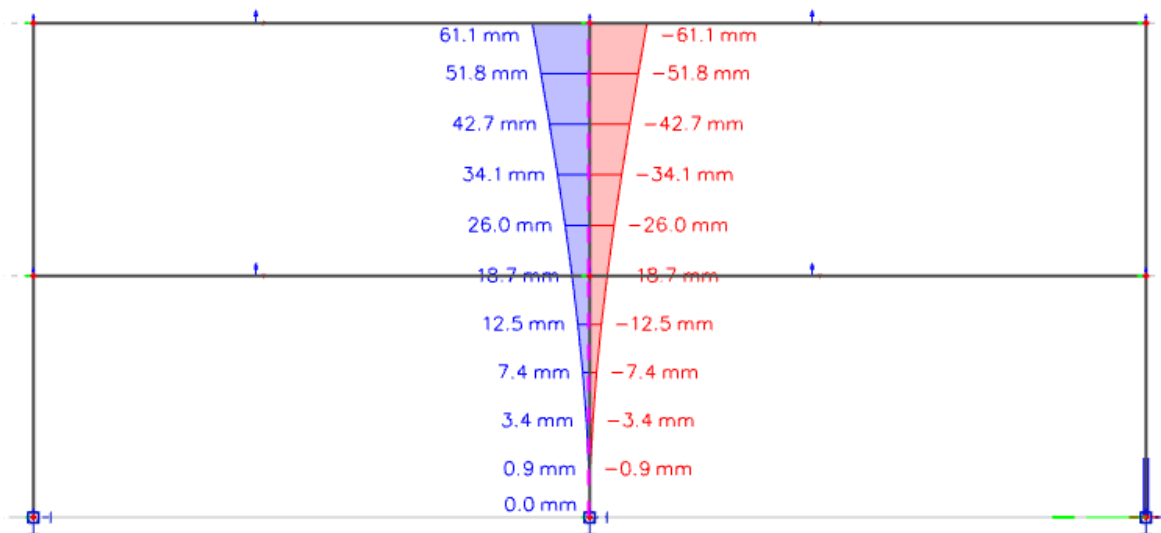
Pri vrhu i dnu stupa (iznad kote temeljne čašice) na duljini od 60 cm spona se postavljaju na razmaku od 10,5 cm. Tako progušćene spona treba voditi i na mjestu preklopa vertikalne armature promjera većeg od  $\Phi 14$ .

**ODABRANO: spona  $\Phi 10 / 17,5 / 10,5 \text{ cm}$**

### 7.1.3. Granično stanje uporabljivosti

Ograničenje međukatnog pomaka

Ukupna visina objekta je 9,4m, visina etaže je 4,7m.



*Slika 7.9. Horizontalni pomak srednjeg stupa izazvan seizmičkim djelovanjem*

Horizontalni pomak izazvan seizmičkim djelovanjem

$$u_d = q_d \cdot u_e$$

$$q_d = q = 1,65$$

Iz dijagrama horizontalnog pomaka konstrukcije:

$$u_{e1} = 18,70 \text{ mm}$$

$$u_{e2} = 61,10 - 18,70 = 42,40 \text{ mm}$$

Proračunski međukatni pomak:

$$u_{d1} = 1,65 \cdot 0,0187 = 0,03 \text{ m}$$

$$u_{d2} = 1,65 \cdot 0,0424 = 0,070 \text{ m}$$

Prema EN 1998-1 zgrade koje imaju nekonstrukcijske elemente pričvršćene tako da na njih ne utječe deformiranje konstrukcije treba zadovoljiti uvjet:

$$u \cdot v \leq 0,010h$$

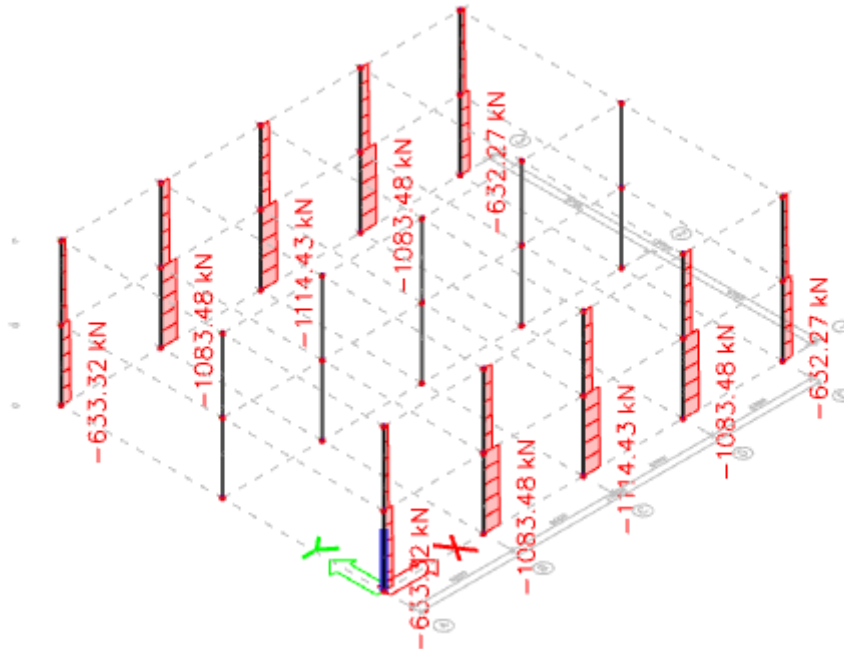
$$u_{d1} = 0,03 \cdot 0,5 = 0,015 < 0,010 \cdot 4,7 = 0,047 \text{ m}$$

$$u_{d2} = 0,07 \cdot 0,5 = 0,035 < 0,010 \cdot 4,7 = 0,047 \text{ m}$$

Horizontalni pomak kata je u granicama dozvoljenog, tj. zadovoljen je uvjet graničnog stanja uporabivosti.

## 7.2. Rubni stup

### 7.2.1. Proračun uzdužne armature



*Slika 7.10. Dijagram uzdužnih sila – rubni stup – najveća uzdužna sila za sve kombinacije djelovanja*

### Zahtjev duktilnosti stupova na uzdužnu silu

Srednji razred duktilnosti:

$$V_{d,max} = 0,65 \quad \text{ili} \quad N_{Ed} \leq 0,65 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}$$

$$N_{Ed} = 1114,43 \text{ kN} < 0,65 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 2,0 = 4680 \text{ kN}$$

- zadovoljen zahtjev duktilnosti!

### Proračun duljine izvijanja i vitkosti stupova

Proračunska duljina izvijanja stupa:

$$l_0 = \beta \cdot l_{col} = 2 \cdot 8,6 = 17,20 \text{ m}$$

$$\beta = 2 \quad (\text{konzola})$$

$$l_{col} = 17,20 \text{ m}$$

Vitkost:

$$\lambda = \frac{l_0}{i_{min}} = \frac{17,20}{0,289 \cdot 0,60} = 99,19$$

Pojedinačni tlačni element smatra se vitkim ako je njegova vitkost veća od  $\lambda_{lim}$

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{N_{Ed} / A_c f_{cd}}$$

$$= 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7 \frac{1}{\sqrt{1114,43 / 3600 \cdot 2,333}} = 29,596$$

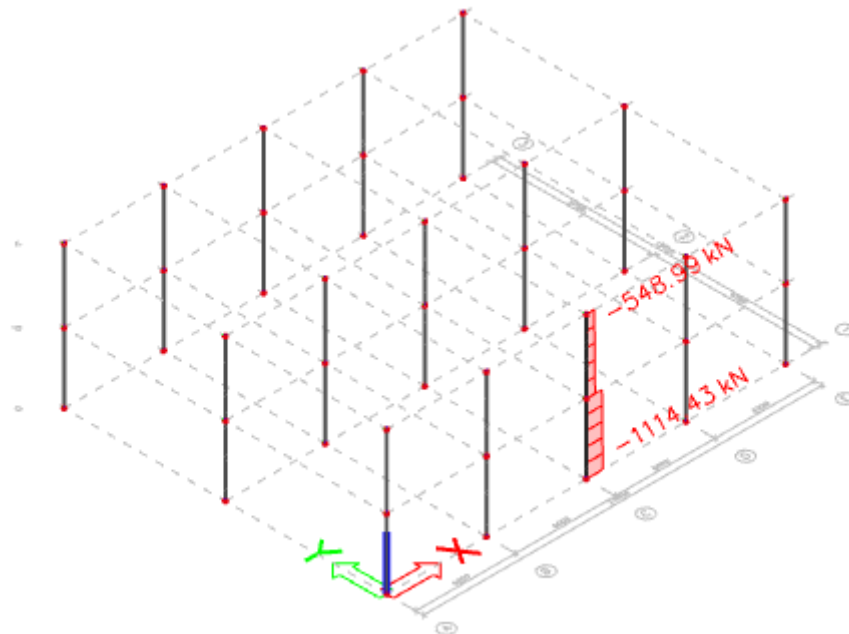
$\lambda = 99,19 > \lambda_{lim} = 29,596 \rightarrow$  stup je vitak, proračun po teoriji II reda.

**Dimenzioniranje stupova prema pojednostavljenom postupku proračuna pojedinačnih vitkih stupova**

#### METODA OSNOVANA NA NAZIVNOJ ZAKRIVLJENOSTI

##### 7.2.1.1. Dimenzioniranje gornjeg presjeka stupa

##### Kombinacija za stalne i prolazne proračunske situacije



**Slika 7.11.** Maksimalna uzdužna sila – rubni stup - GSN kombinacija

Proračunske vrijednosti unutarnjih sila proračunatih prema teoriji I. reda:



$$M_{0Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = - (548,99 - 1,35 \cdot 0,60 \cdot 0,60 \cdot 8,6 \cdot 25) = -444,50 \text{ kN}$$

Nazivni (nominalni) moment II. reda:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2$$

Ukupni proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

Ekscentričnost prema teoriji I. reda:

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{0}{444,50} = 0 \text{ cm}$$

Dodatna ekscentričnost zbog geometrijskih nesavršenosti:

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\theta_0 = \frac{1}{200} = 0,005 \text{ – preporučena vrijednost nagiba}$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}} \leq 1,00 \text{ – faktor smanjanja za visinu}$$

$m = 1$  (pojedinačni element) – broj vertikalnih elemenata

$$\alpha_m = \sqrt{0,50 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \text{ – faktor smanjenja za broj elemenata}$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{8,6}} = 0,682$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,50 \cdot \left(1 + \frac{1}{1}\right)} = 1,00$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} \cdot 0,682 \cdot 1,00 = \frac{1}{300} = 0,00341$$

Dodatna ekscentričnost zbog geometrijskih nesavršenosti:

$$e_i > e_{0,min}$$

$$e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = 0,0033 \cdot \frac{17,20}{2} = 0,0293 \text{ m} = 2,93 \text{ cm}$$

$$e_{0,min} = \frac{h}{30} = \frac{60}{30} = 2,00 \text{ cm}$$

$$2,93 \text{ cm} > 2,00 \text{ cm}$$

Ekscentričnost prema teoriji drugog reda:

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

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} \text{ – zakrivljenost}$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1,00 \text{ – korekcijski faktor ovisan o uzdužnoj sili}$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1,00 \text{ – faktor kojim se uzima u obzir puzanje}$$



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

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{f_{yd}}{0,45 \cdot d \cdot E_s} - \text{početna zakrivljenost}$$

$$d_1 = c + \phi_v + \phi_u/2 = 3,00 + 0,80 + 2,00/2 = 4,80 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 60,00 - 4,80 = 55,20 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{434,78}{0,45 \cdot 55,20 \cdot 200\,000} = 8,75 \cdot 10^{-5}$$

$$e_2 = 8,75 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{17,20^2}{10} = 25,89 \text{ cm}$$

Ukupni proračunski moment savijanja

$$e_{tot} = 0,00 + 2,93 + 25,89 = 28,82 \text{ cm} = 0,2882 \text{ m}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$M_{Ed} = 444,50 \cdot 0,2882 = 128,12 \text{ kNm}$$

Potrebna armatura za gornji presjek stupa:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = M_{0Ed} + N_{Ed} \cdot e_{tot} = 0 + 444,50 \cdot 0,2882 = 128,12 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -444,50 \text{ kN}$$

$$\frac{d}{h} = \frac{55,2}{60} = 0,92 \approx 0,9$$

Proračun armature pomoću dijagrama interakcije:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12812}{60 \cdot 60^2 \cdot 2,333} = 0,025$$

Bezdimenzijska veličina uzdužne sile:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-444,50}{60 \cdot 60 \cdot 2,333} = -0,053$$

Očitano iz dijagrama interakcije (slika 7.4.)

$$\omega = 0,03$$

Maksimalni dopušteni mehanički koeficijent armiranja za beton C35/45 [2]:

$$\omega_{lim} = 0,365$$

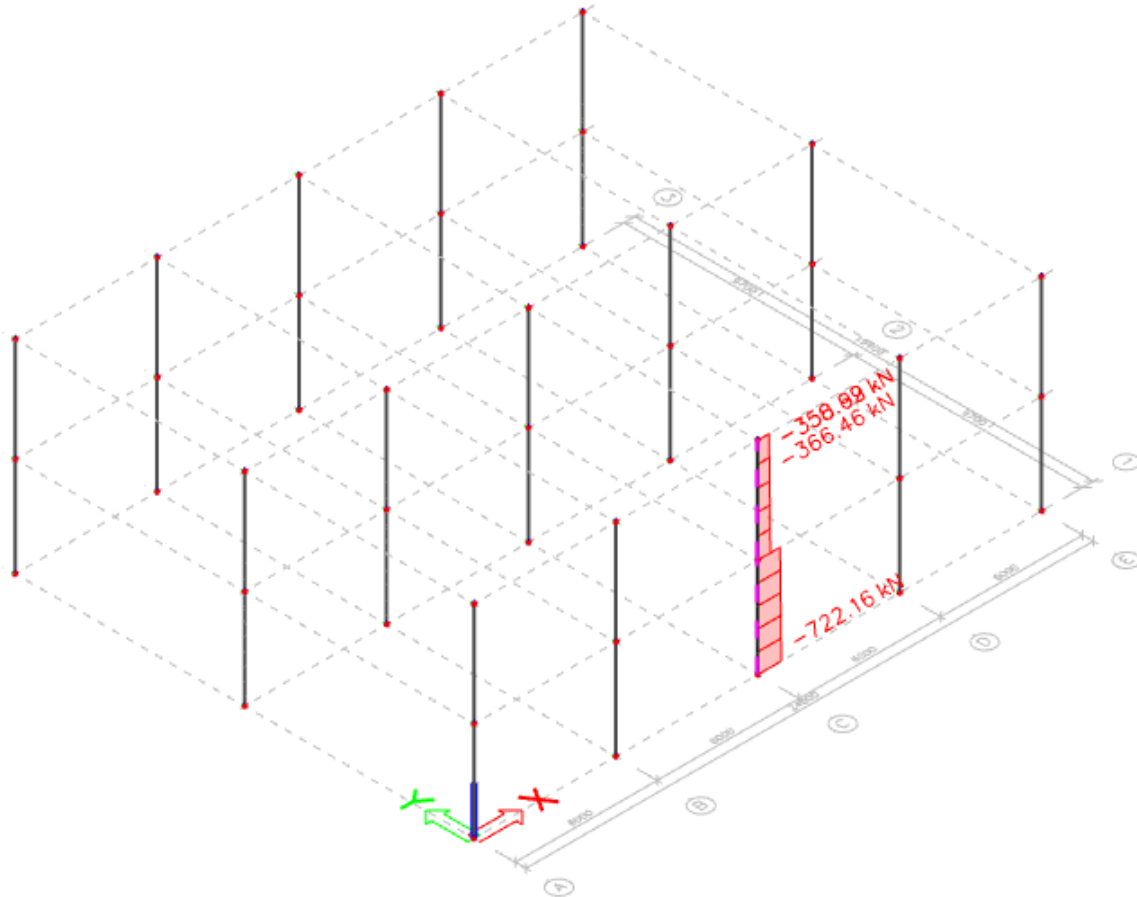
Minimalni mehanički koeficijent armiranja izračunat je prema izrazu

$$\omega_{min} = \frac{0,0015 \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,0015 \cdot 434,78}{23,33} = 0,0280$$

Ukupna površina potrebne armature:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,03 \cdot \frac{2,333}{43,478} \cdot 60 \cdot 60 = 5,80 \text{ cm}^2$$

**Kombinacija za seizmičku proračunsku situaciju, gornji dio stupa.**



**Slika 7.12.** Maksimalna uzdužna sila – rubni stup - seizmička kombinacija

$$N = -366,46 \text{ kN}$$

$$M_{0Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = - (366,46 - 1,00 \cdot 0,60 \cdot 0,60 \cdot 8,6 \cdot 25) = -289,06 \text{ kN}$$

Ukupni proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

Ekscentričnost prema teoriji I. reda:

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{0}{289,06} = 0 \text{ cm}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2 = 0,0 + 2,93 + 25,89 = 28,82 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot} = 289,06 \cdot 0,2882 = 83,32 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -289,06 \text{ kN}$$



$$\frac{d}{h} = \frac{55,2}{60} = 0,92 \approx 0,9$$

Proračun armature pomoću dijagrama interakcije:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{83,32 \cdot 100}{60 \cdot 60^2 \cdot 2,333} = 0,017$$

Bezdimenzijska veličina uzdužne sile:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-289,06}{60 \cdot 60 \cdot 2,333} = -0,034$$

Očitano iz dijagrama interakcije (slika 7.4.)

$$\omega = 0,010$$

Maksimalni dopušteni mehanički koeficijent armiranja za beton C35/45 [2]:

$$\omega_{lim} = 0,365$$

Minimalni mehanički koeficijent armiranja izračunat je prema izrazu

$$\omega_{min} = \frac{0,0015 \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,0015 \cdot 434,78}{23,33} = 0,0280$$

Ukupna površina potrebne armature:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,0280 \cdot \frac{2,333}{43,478} \cdot 60 \cdot 60 = 5,40 \text{ cm}^2$$

### 7.2.1.2. Dimenzioniranje donjeg presjeka stupa

#### Kombinacija za trajne i prolazne proračunske situacije

Proračunske vrijednosti unutarnjih sila proračunatih prema teoriji I. reda:

$$M_{Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1114,43 \text{ kN}$$

Nazivni (nominalni) moment II. reda:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2$$

Ukupni proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2$$

Ekscentričnost prema teoriji I. reda:

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{0}{1114,43} = 0 \text{ cm}$$

$$e_i = 2,93 \text{ cm}$$

$$e_2 = 25,89 \text{ cm}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2 = 0,0 + 2,93 + 25,89 = 28,82 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot} = 1114,43 \cdot 0,2882 = 321,22 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1114,43 \text{ kN}$$



$$\frac{d}{h} = \frac{55,2}{60} = 0,92 \approx 0,9$$

Proračun armature pomoću dijagrama interakcije:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{321,22}{60 \cdot 60^2 \cdot 2,333} = 0,064$$

Bezdimenzijska veličina uzdužne sile:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1114,43}{60 \cdot 60 \cdot 2,333} = -0,133$$

Očitano iz dijagrama interakcije (slika 7.4.)

$$\omega = 0,03$$

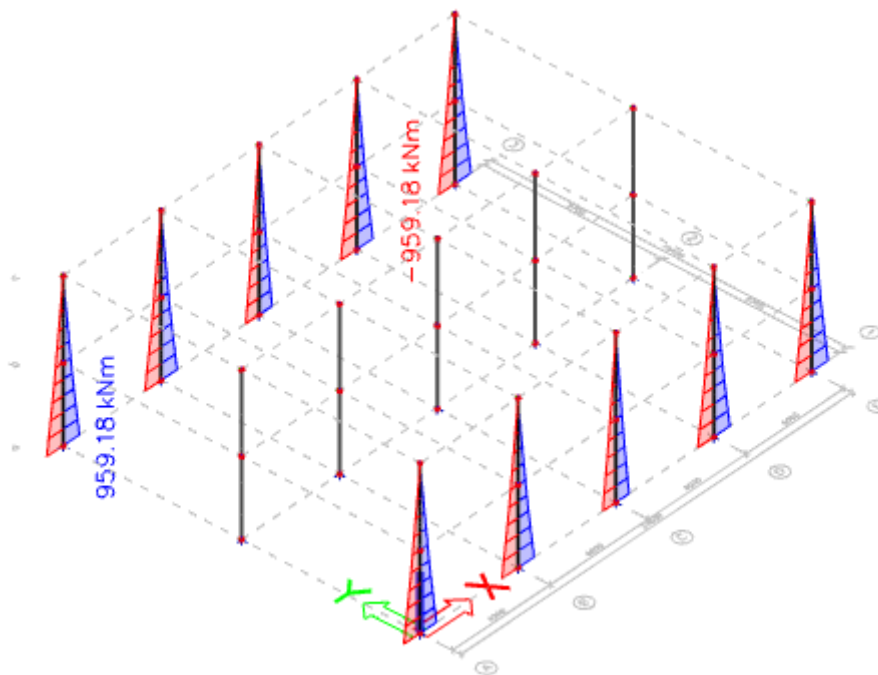
Maksimalni dopušteni mehanički koeficijent armiranja za beton C35/45 [2]:

$$\omega_{lim} = 0,365$$

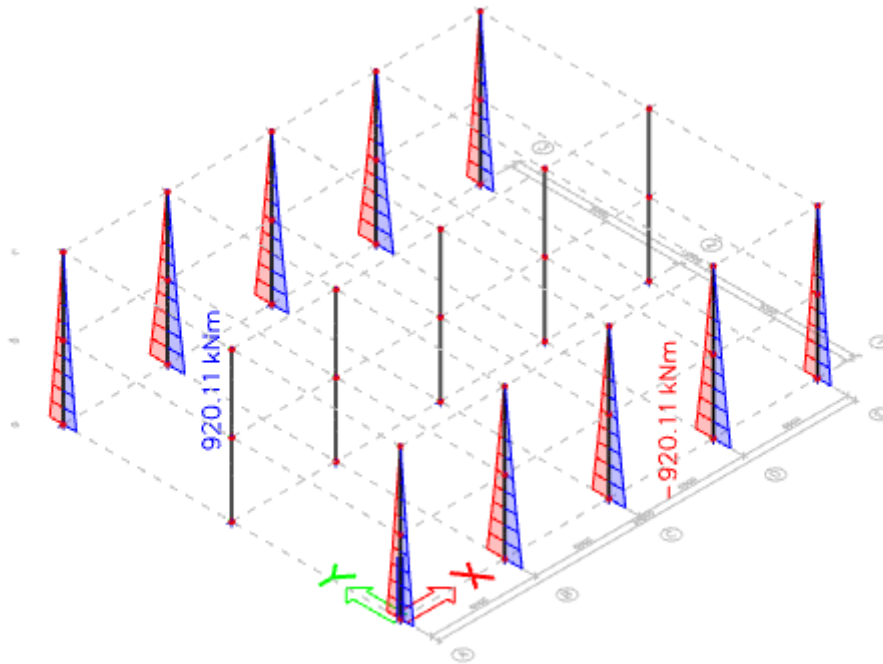
Ukupna površina potrebne armature:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,03 \cdot \frac{2,0}{43,478} \cdot 60 \cdot 60 = 5,80 \text{ cm}^2$$

### Kombinacija za seizmičku proračunsku situaciju



**Slika 7.13.** Maksimalni moment savijanja  $M_y$  – rubnii stup – seizmička kombinacija



**Slika 7.14.** Maksimalni moment savijanja  $M_z$  – rubni stup – seizmička kombinacija

$$M_{0Ed,y} = 959,18 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed,z} = 920,11 \text{ kNm}$$

### **$M_y$ – potres u x smjeru**

Ukupni proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2$$

Ekscentričnost prema teoriji I. reda:

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{95918}{1114,43} = 86,07 \text{ cm}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2 = 86,07 + 2,93 + 25,89 = 114,89 \text{ cm}$$

$$M_{Ed,y} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot} = 1114,43 \cdot 1,1489 = 1280,40 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1114,43 \text{ kN}$$

$$\frac{d}{h} = \frac{55,2}{60} = 0,92 \approx 0,9$$

### **$M_z$ – potres u y smjeru**

Ukupni proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_1 + e_2$$



Ekscentričnost prema teoriji I. reda:

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{95918}{1114,43} = 82,56 \text{ cm}$$

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2 = 82,56 + 2,93 + 25,89 = 111,39 \text{ cm}$$

$$M_{Ed,y} = M_{0Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_{tot} = 1114,43 \cdot 1,1139 = 1241,33 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1114,43 \text{ kN}$$

$$\frac{d}{h} = \frac{55,2}{60} = 0,92 \approx 0,9$$

Proračun armature pomoću dijagrama interakcije:

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1280,40 \cdot 10^2}{60 \cdot 60^2 \cdot 2,333} = 0,254$$

$$\mu_{Ed,z} = \frac{M_{Ed,z}}{h \cdot b^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1241,33 \cdot 10^2}{60 \cdot 60^2 \cdot 2,333} = 0,246$$

Veći nam je  $\mu_{Ed,z}$ , potres u smjeru y, pa ćemo  $\mu_{Ed,y}$  pomnožiti s 0,3 jer za potresnu kombinaciju uzimamo 100% iznos jednog smjera i 30% iznos drugog smjera.

$$\mu_{Ed,y} = 0,254$$

$$\mu_{Ed,z} = 0,246 \cdot 0,3 = 0,073$$

Bezdimenzijska veličina uzdužne sile:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1114,43}{60 \cdot 60 \cdot 2,333} = -0,133$$

Mehanički koeficijent armiranja za beton C 35/45

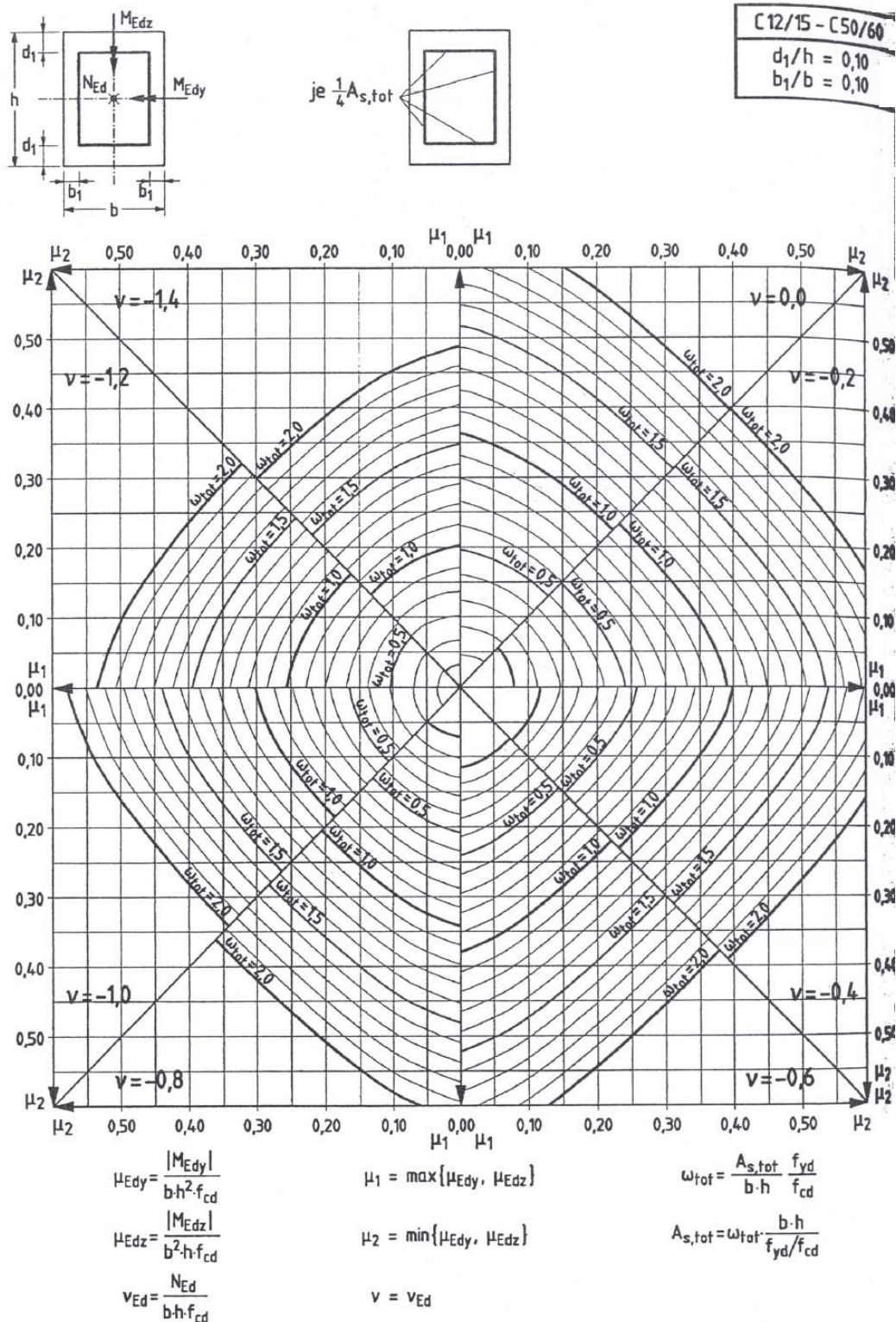
$$\mu_1 = \max(\mu_{Ed,y}, \mu_{Ed,z}) = 0,254$$

$$\mu_2 = \min(\mu_{Ed,y}, \mu_{Ed,z}) = 0,086$$

Iz dijagrama interakcije za dvoosno savijanje (slika 7.15.):

$$\text{Za } \nu_{Ed}=0,0, \text{ očitano: } \omega_1 = 0,72$$

$$\text{Za } \nu_{Ed}=-0,2, \text{ očitano: } \omega_2 = 0,62$$



Slika 7.15. Dijagram za dimenzioniranje pravokutnih presjeka na dvoosno savijanje – armatura simetrično raspoređena po stranicama



$$\omega_{tot} = \omega_1 - (\omega_1 - \omega_2) \cdot \left( \frac{v_{Ed} - v_1}{v_2 - v_1} \right)$$
$$\omega_{tot} = 0,72 - (0,72 - 0,62) \cdot \left( \frac{-0,133 - 0,0}{-0,20 - 0} \right) = 0,653$$

Ukupna površina potrebne armature:

$$A_{s,req} = \omega_{tot} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,653 \cdot \frac{2,333}{43,478} \cdot 60 \cdot 60 = 126,10 \text{ cm}^2$$

### Minimalna vertikalna (uzdužna) armatura

$$A_{s,min} = 4\Phi 12 = 4,52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min,potres} = 12\Phi 12 = 9,04 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2126}{43,478} = 7,34 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,3}{100} \cdot A_c = 0,003 \cdot 60 \cdot 60 = 10,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min,potres} = \frac{1}{100} \cdot A_c = 0,01 \cdot 60 \cdot 60 = 36 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Mjerodavno.}$$

### Maksimalna vertikalna (uzdužna) armatura

$$A_{s,max} = \frac{4}{100} \cdot A_c = 0,04 \cdot 60 \cdot 60 = 144 \text{ cm}^2$$

**ODABRANO: 16Φ32**  $A_{s,prov} = 128,64 \text{ cm}^2 > A_{s,req} = 126,10 \text{ cm}^2$

$$A_{s,min} = 36 \text{ cm}^2 < A_{s,prov} = 128,64 \text{ cm}^2 < A_{s,max} = 144 \text{ cm}^2$$

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



## 7.2.2. Proračun poprečne armature

### Razmak spona

$$\text{Za } \phi_s \geq 25\text{mm} \rightarrow \text{promjer spona } \phi_w = \frac{\phi_s}{4} = \frac{32}{4} = 8 \text{ mm}$$

Odabrane su vilice  $\phi 10$ .

### *Duljina kritičnog područja*

$$l_{cr} \geq h_c = 0,60 \text{ m}$$

$$l_{cr} \geq \frac{l_{cl}}{6} = \frac{8,60}{6} = 1,43 \text{ m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

$$l_{cr} \geq 0,45 \text{ m}$$

$$\frac{l_{cr}}{h_c} < 3 \rightarrow \text{cijela visina stupa je kritično područje}$$

$$\frac{l_{cr}}{h_c} = \frac{8,60}{0,6} = 14,43$$

$$14,43 < 3 \rightarrow \text{cijela visina stupa nije kritično područje}$$

### *Razmak spona u kritičnom području*

$$s_{cl,t} = b_0/2 = 53 / 2 = 26,5 \text{ cm}$$

$b_0$  - manja dimenzija betonske jezgre (od osi do osi spona)

$$s_{cl,t} \leq 17,5 \text{ cm} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

$$s_{cl,t} \leq 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 3,2 = 25,60 \text{ cm}$$

Progušćavanje spona pri vrhu i podnožju stupa:

$$\text{Razmak progušćavanja spona } s'_{cl,t} \leq 0,6 \cdot s_{cl,t} \leq 0,6 \cdot 17,5 = 10,5 \text{ cm}$$

Spone se progušćuju na dužini od  $h_c = 60 \text{ cm}$ .

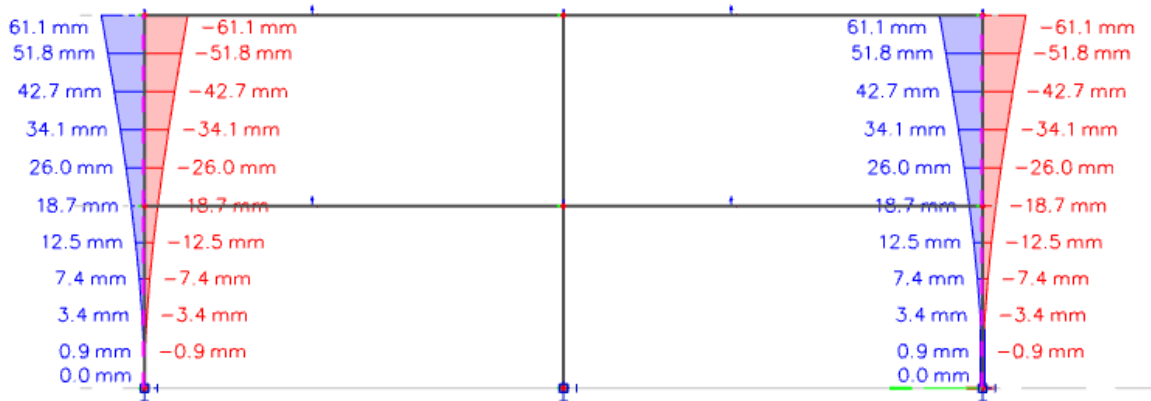
Pri vrhu i dnu stupa (iznad kote temeljne čašice) na duljini od 60 cm spona se postavljaju na razmaku od 10,5 cm. Tako progušćene spona treba voditi i na mjestu preklopa vertikalne armature promjera većeg od  $\Phi 14$ .

**ODABRANO: spona  $\Phi 10 / 17,5 / 10,5 \text{ cm}$**

### 7.2.3. Granično stanje uporabljivosti

Ograničenje međukatnog pomaka

Ukupna visina objekta je 9,4m, visina etaže je 4,7m.



**Slika 7.16.** Horizontalni pomak rubnog stupa izazvan seizmičkim djelovanjem

Horizontalni pomak izazvan seizmičkim djelovanjem

$$u_d = q_d \cdot u_e$$

$$q_d = q = 1,65$$

Iz dijagrama horizontalnog pomaka konstrukcije:

$$u_{e1} = 18,70 \text{ mm}$$

$$u_{e2} = 61,10 - 18,70 = 42,40 \text{ mm}$$

Proračunski međukatni pomak:

$$u_{d1} = 1,65 \cdot 0,0187 = 0,03 \text{ m}$$

$$u_{d2} = 1,65 \cdot 0,0424 = 0,070 \text{ m}$$

Prema EN 1998-1 zgrade koje imaju nekonstrukcijske elemente pričvršćene tako da na njih ne utječe deformiranje konstrukcije treba zadovoljiti uvjet:

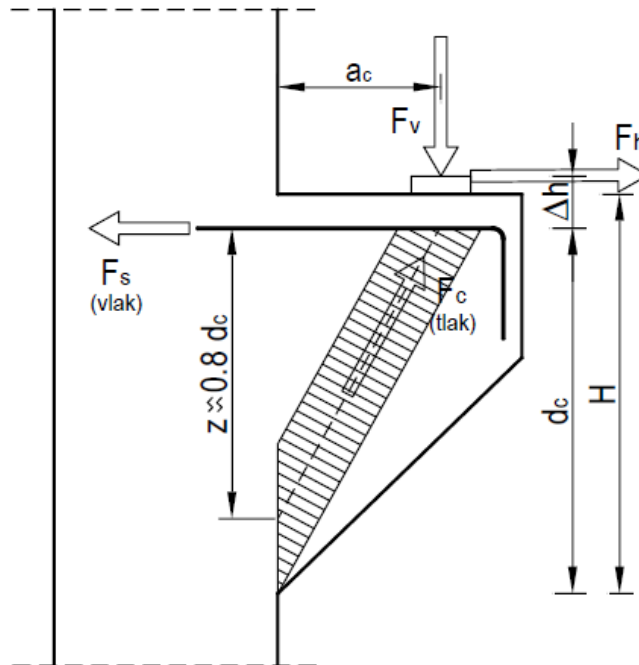
$$u \cdot v \leq 0,010h$$

$$u_{d1} = 0,03 \cdot 0,5 = 0,015 < 0,010 \cdot 4,7 = 0,047 \text{ m}$$

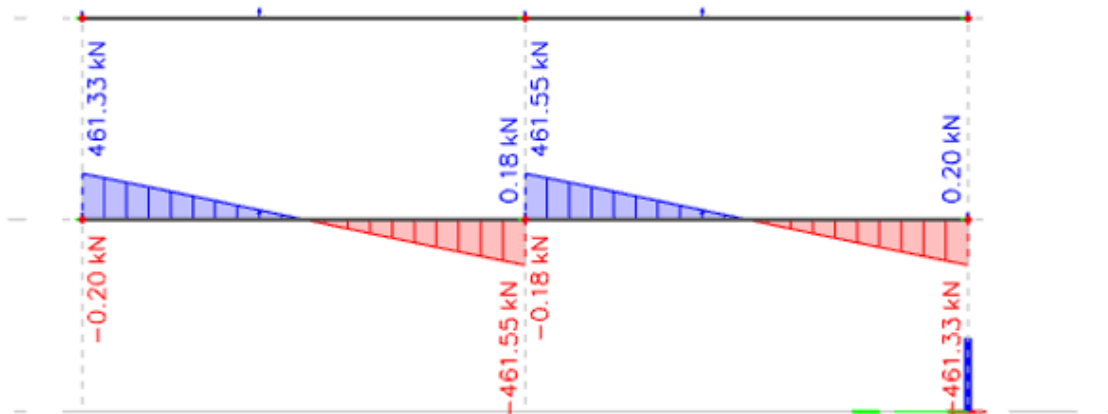
$$u_{d2} = 0,07 \cdot 0,5 = 0,035 < 0,010 \cdot 4,7 = 0,047 \text{ m}$$

Horizontalni pomak kata je u granicama dozvoljenog, tj. zadovoljen je uvjet graničnog stanja uporabivosti.

### 7.3. Proračun armature kratkih konzola

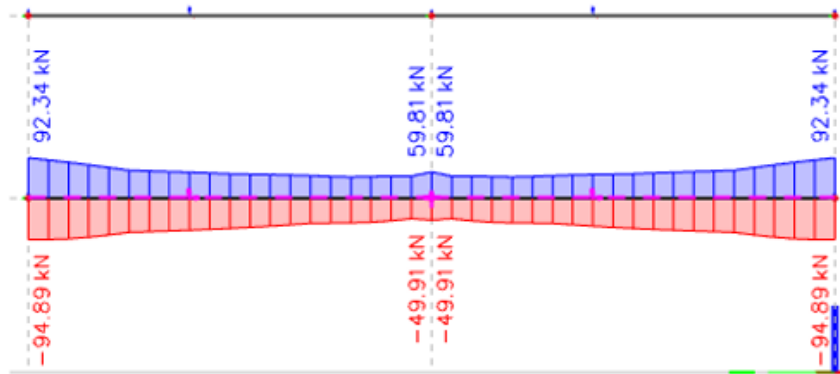


Slika 7.17. Štapni mehanizam u kratkom elementu

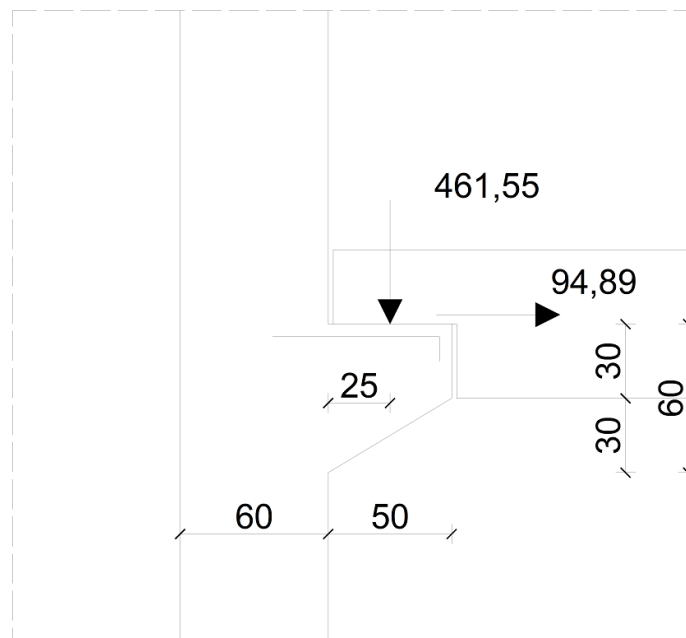


Slika 7.18. Maksimalna poprečna sila na konzoli





**Slika 7.19.** Vrijednost uzdužne sile na konzoli



**Slika 7.20.** Prikaz opterećenja na konzolu

**Postupak proračuna:**

$$V_{Sd} = N_{Sd} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b \cdot z \cdot f_{cd}$$

$$v \geq (0,7 - f_{ck}/200) \geq 0,5$$

$$v \geq (0,7 - 35/200) = 0,525 \geq 0,5$$

$$461,55 \leq 0,5 \cdot 0,5 \cdot 60 \cdot 0,8 \cdot 60 \cdot 2,333$$

$$461,55 \text{ kN} \leq 1679,76 \text{ kN}$$

*Određivanje vlačne sile:*

a)

$$z_0 = d \cdot \left( 1,0 - 0,4 \cdot \frac{V_{Sd}}{V_{Rd,max}} \right) = 55 \cdot \left( 1 - 0,4 \cdot \frac{461,55}{1679,76} \right) = 48,95 \text{ cm}$$

$$F_{Sd} = F_{v,sd} \cdot \frac{a_c}{z_0} + F_{H,sd} = 461,55 \cdot \frac{25}{48,95} + 94,89 = 330,61 \text{ kN}$$

*Potrebna površina armature:*

$$A_{s1} = A_{sw} = \frac{F_{Sd}}{f_{yd}} = \frac{330,61}{43,478} = 7,60 \text{ cm}^2$$

b)

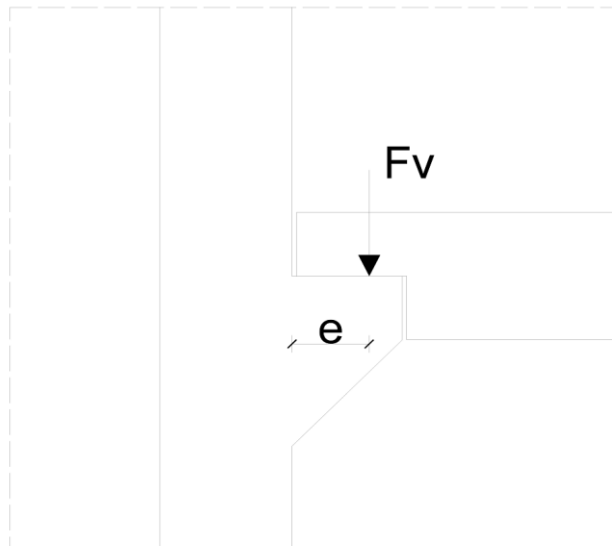
$$z = 0,8 \cdot d_c = 0,8 \cdot 55 = 44 \text{ cm}$$

$$F_{Sd} = F_{v,sd} \cdot \frac{a_c}{z} + F_{H,sd} \cdot \frac{z + \Delta h}{z} = 461,55 \cdot \frac{25}{44,00} + 94,89 \cdot \frac{44 + 5}{44,00} = 367,91 \text{ kN}$$

*Potrebna površina armature:*

$$A_{s1} = A_{sw} = \frac{F_{Sd}}{f_{yd}} = \frac{367,91}{43,478} = 8,46 \text{ cm}^2$$

c)



**Slika 7.21.** Ekscentricitet vertikalnog opterećenja kratke konzole

$$F_v = 461,55 \text{ kN}$$

$$e = 25 \text{ cm}$$



$$M_{Ed} = Fv \cdot e = 461,55 \cdot 0,25 = 115,38 \text{ kNm}$$

Proračun potrebne armature

Bezdimezionalni moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{115,38 \cdot 100}{60 \cdot 55^2 \cdot 2,333} = 0,027 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,027$  očitano:

$$\zeta = 0,980 \quad \xi = 0,057 \quad \varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_c = -1,2 \text{ ‰}$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{115,38}{(0,980 \cdot 55) \cdot 43,478} = 4,95 \text{ cm}^2$$

Minimalna potrebna armatura:

$$A_{min} = 0,0015 \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 60 \cdot 55 = 4,95 \text{ cm}^2$$

**Mjerodavno :**

$$A_{s1} = 8,46 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura:**

*Uzdužna armatura*

4 $\phi$ 18 ( $A = 10,18 \text{ cm}^2$ )

*Poprečna armatura*

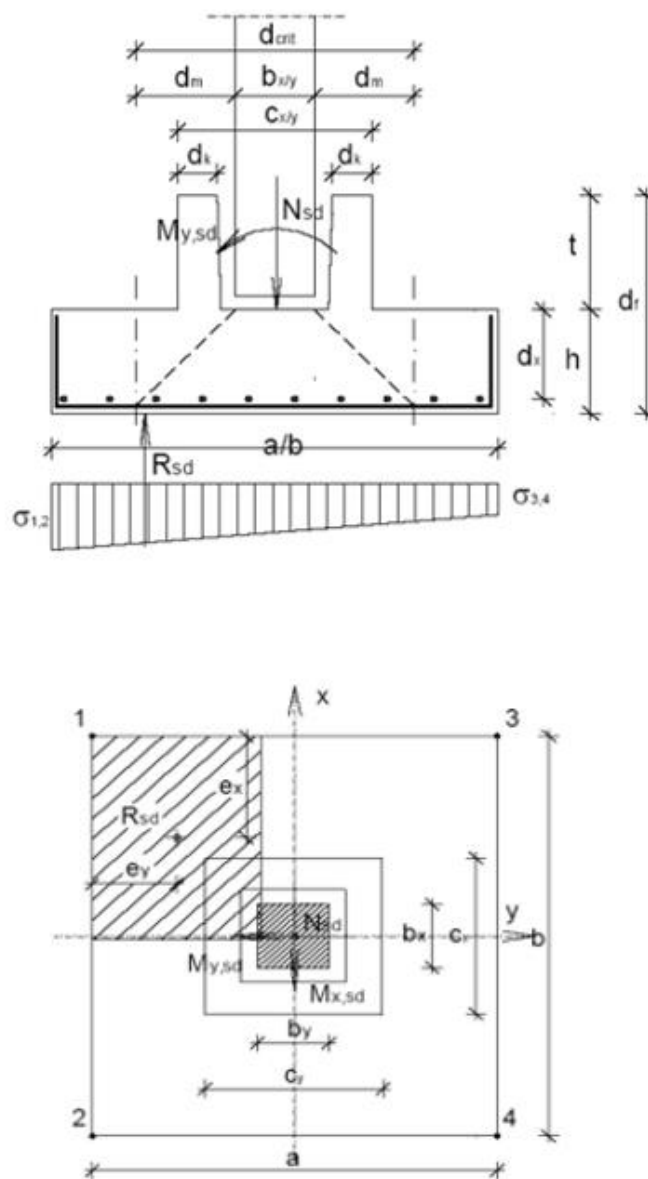
*Vilice, dvorezne  $\phi$ 10/13,50 cm*

## 8. PRORAČUN TEMELJNE STOPE

### 8.1. Statički sustav i geometrijske karakteristike

Temelj je uglavnom centrično opterećen, te je s toga izabran kvadratni poprečni presjek. Vrsta tla na kojem se izvode temelji konstrukcije je meka stijena.

Za meku stijenu dopušteno naprezanje u tlu iznosi:  $\sigma_{dop} = 440 \text{ kPa}$



**Slika 8.1.** Presjek temeljne stope i čašice uz objašnjena oznaka



**Dimenzije temelja:**

$$a = 400 \text{ cm}$$

$$b = 400 \text{ cm}$$

$$h = 80 \text{ cm}$$

**Zaštitni sloj temelja:**

$$c = 4,00 \text{ cm (XC2)}$$

**Dimenzije čašice:**

$$dk = 0,5dx/y = 40,0 \text{ cm}$$

$$cx = 2 \cdot dk + bx + 15 = 2 \cdot 40 + 60 + 15 = 155 \text{ cm}$$

$$cy = 2 \cdot dk + by + 15 = 2 \cdot 40 + 60 + 15 = 155 \text{ cm}$$

$$t = 1,5 \cdot bx/y = 90 \text{ cm}$$

$$df = t + h + 5 = 90 + 80 + 5 = 175 \text{ cm}$$

**Dimenzije stupa:**

$$bx = 60 \text{ cm}$$

$$by = 60 \text{ cm}$$

Zaštitni sloj stupa:  $c = 3,00 \text{ cm}$

Uzdužna armatura stupa:  $\Phi = 32 \text{ mm}$

Vilice:  $\Phi_v = 8 \text{ mm}$

**Statička visina stupa:**

$$d_x = b_x - c - \Phi_v - \Phi/2$$

$$= 60 - 3 - 0,8 - 3,2/2$$

$$= 54,60 \text{ cm}$$

$$d_y = b_y - c - \Phi_v - \Phi/2$$

$$= 60 - 3 - 0,8 - 3,2/2$$

$$= 54,60 \text{ cm}$$

**Statička visina temelja:**

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$d_x = h - c - d_s/2$$

$$= 80 - 4 - 1,6/2 = 75,20 \text{ cm}$$

$$d_y = d_x - d_s$$

$$= 75,2 - 1,6 = 73,60 \text{ cm}$$

$$d_{\text{eff}} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{75,20 + 73,60}{2} = 74,40 \text{ cm}$$



Kut rasprostiranja opterećenja:	$\theta = \arctan (1/2) = 26,6^\circ$
Dubina zemlje:	$d_z = 100 \text{ cm}$
Dubina temeljne stope:	$d_t = d_z + h = 100 + 80 = 180 \text{ cm}$
Duljina stupa:	$L_{st} = 8,60 \text{ m}$
Ukupna visina objekta:	$h_{tot} = 9,40 \text{ m}$
Moment inercije stupa (x):	$I_x = \frac{0,6 \cdot 0,6^3}{12} = 0,0108 \text{ m}^4$
Moment inercije stupa (y):	$I_y = \frac{0,6 \cdot 0,6^3}{12} = 0,0108 \text{ m}^4$
Moment inercije stope (x):	$I_{Fx} = \frac{4,0 \cdot 4,0^3}{12} = 21,33 \text{ m}^4$
Moment inercije stope (y):	$I_{Fy} = \frac{4,2 \cdot 4,2^3}{12} = 21,33 \text{ m}^4$

## 8.2. Materijali

Beton: C 30/37

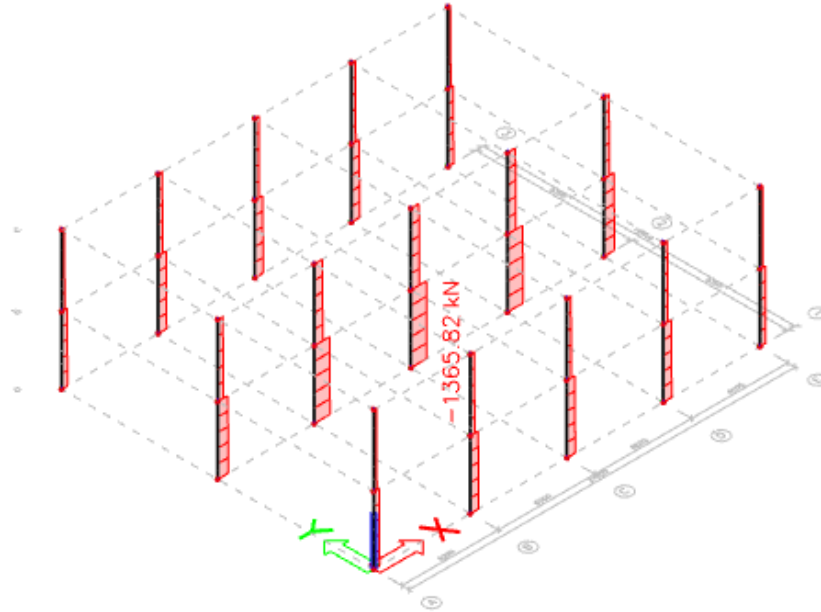
$$\text{Računska čvrstoća betona: } f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30,0}{1,5} = 20,0 \text{ N/mm}^2 = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$
$$E_{cm} = 33\ 000 \text{ N/mm}^2 = 3300 \text{ kN/cm}^2$$
$$\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$$

Čelik: B 500 B

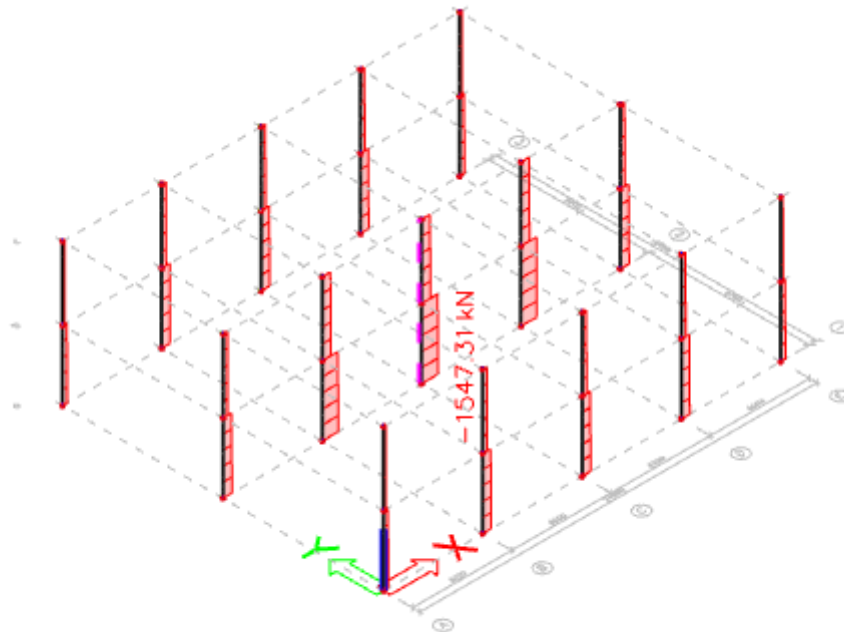
Računska granica popuštanja čelika:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500,0}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,478 \text{ kN/cm}^2$$
$$E_s = 20\ 000 \text{ kN/cm}^2$$

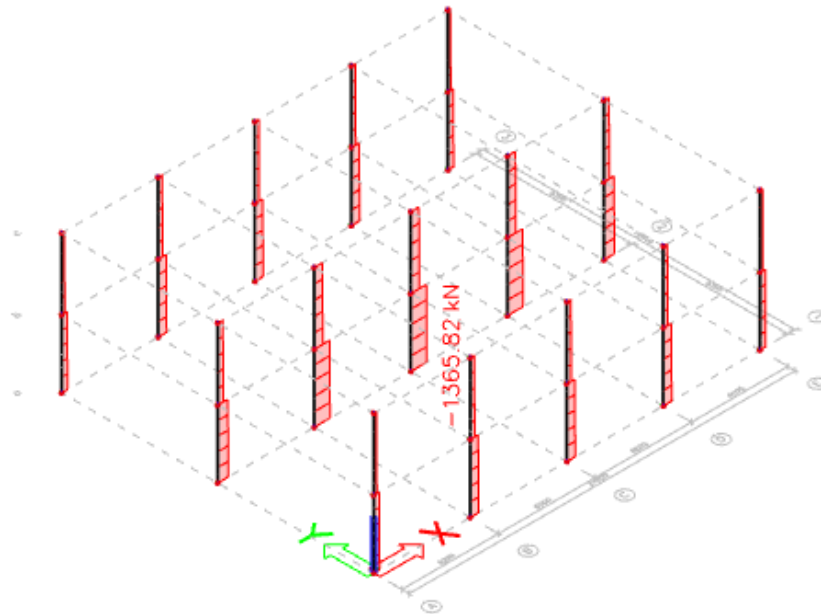
### 8.3. Unutarnje sile



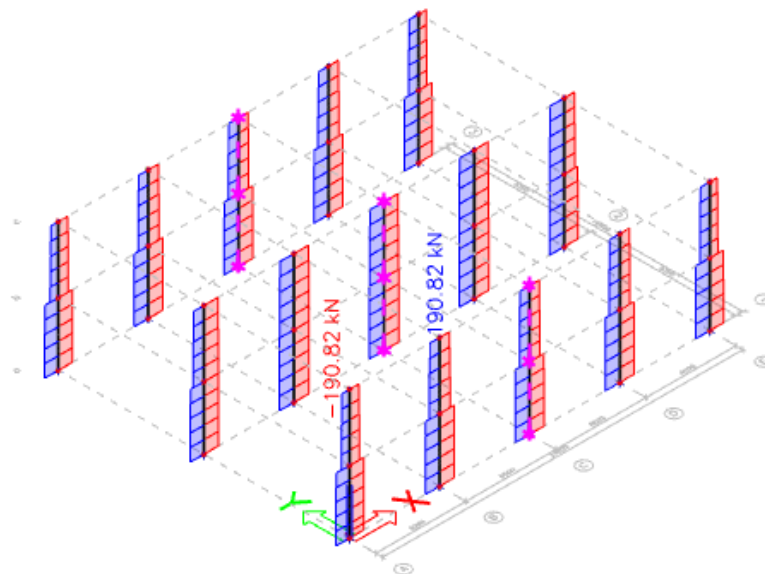
*Slika 8.2. Maksimalna uzdužna sila u peti stupa za sve seizmičke kombinacije*



*Slika 8.3. Maksimalna uzdužna sila u peti stupa za sve karakteristične kombinacije*

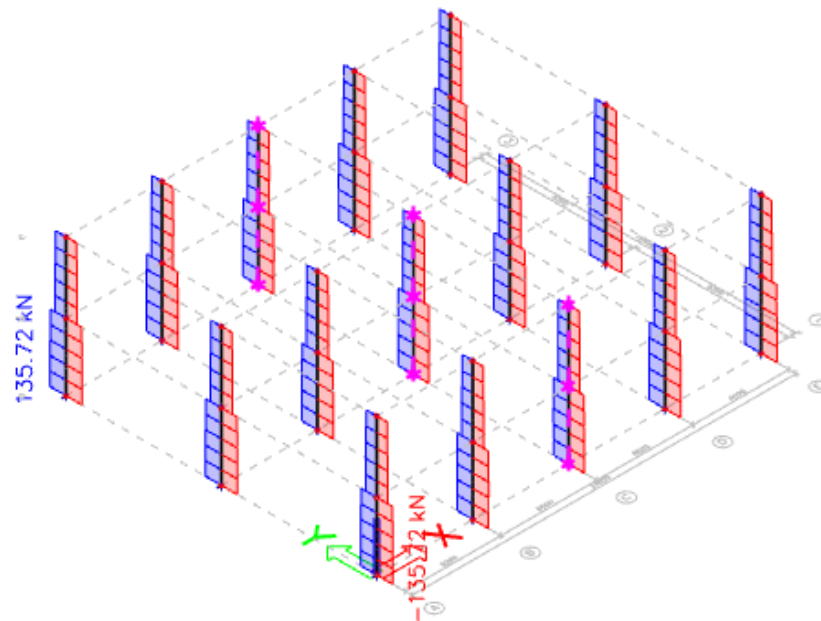


**Slika 8.4.** Maksimalna uzdužna sila u peti stupa za sve nazovistalne kombinacije

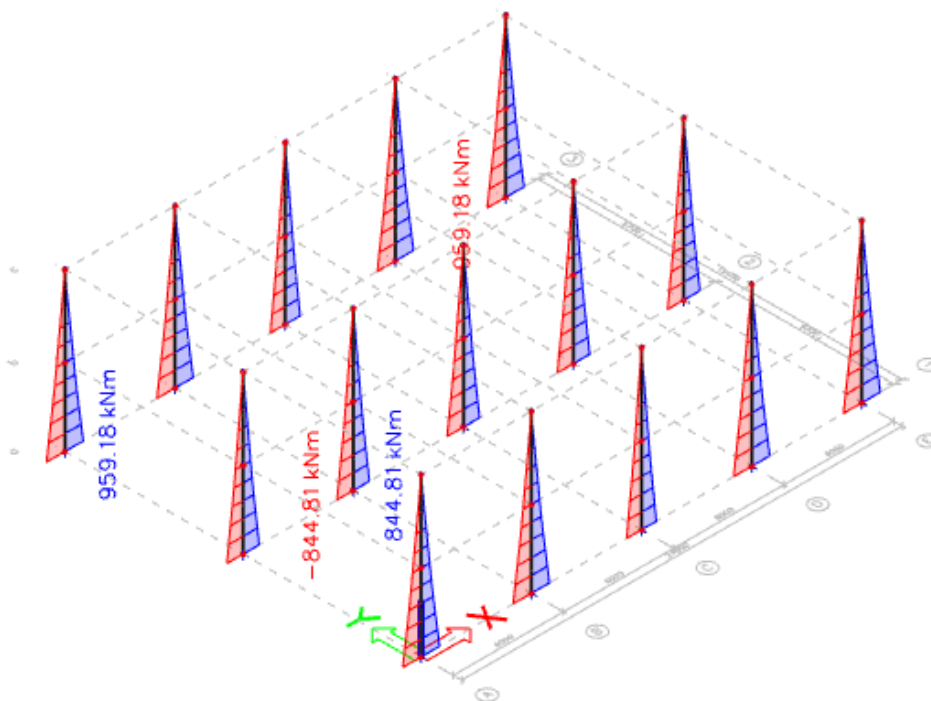


**Slika 8.5.** Maksimalna poprečna sila u peti stupa za sve seizmičke kombinacije – Vz

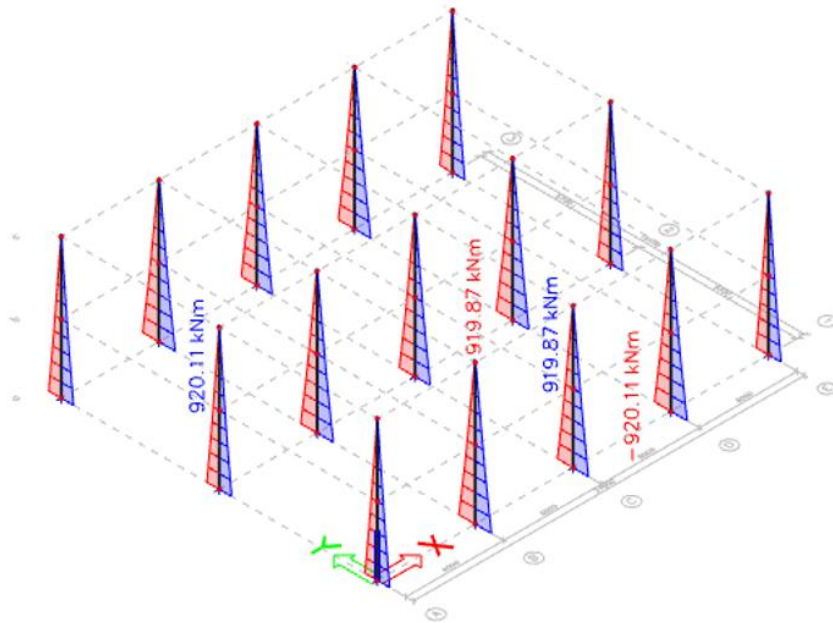




**Slika 8.6.** Maksimalna poprečna sila u peti stupa za sve seizmičke kombinacije –  $V_y$

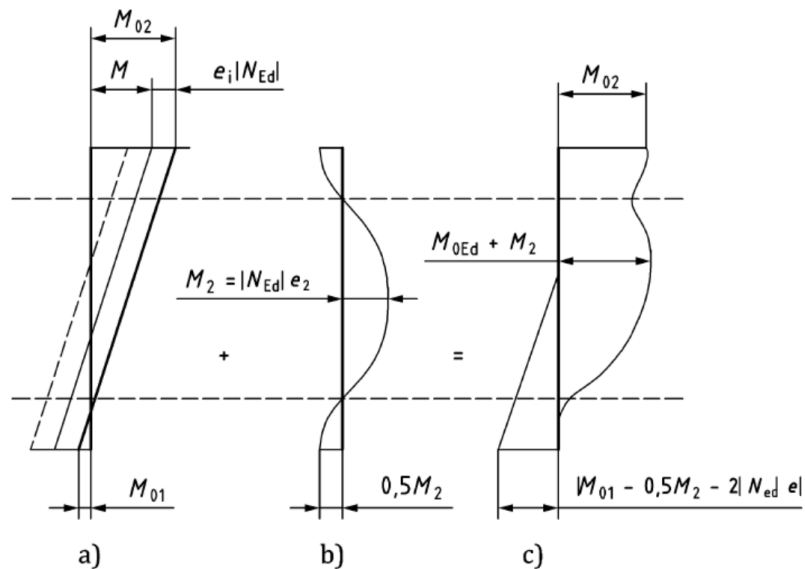


**Slika 8.7.** Maksimalni momenti savijanja  $M_y$  u peti stupa za sve seizmičke kombinacije



**Slika 8.8.** Maksimalni momenti savijanja  $M_x$  u peti stupa za sve seizmičke kombinacije

Stupovi su vitki, pa su iz tog razloga proračunski momenti savijanja uvećani po teoriji II reda. Ukupni proračunski moment se povećava zbog ekscentriciteta stupa uslijed geometrijskih nelinearnosti i izvijanja stupa uslijed djelovanja tlačne sile.



a) First order moments

b) Additional second order moments

c) Envelope of design moments

**Slika 8.9.** Proračunski moment savijanja – teorija II reda

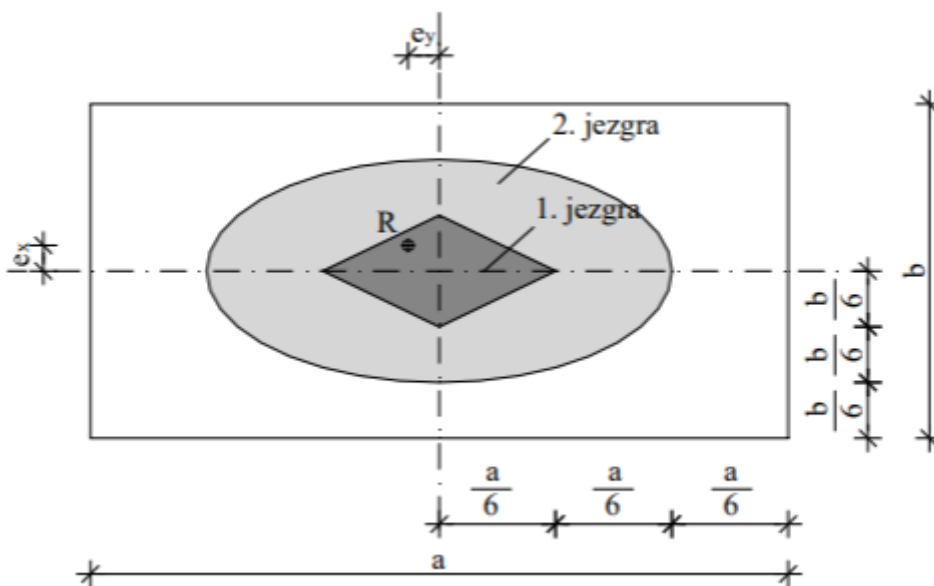
**Tablica 8.1.** Vrijednosti opterećenja za stup

Kombinacija opterećenja	Peta stupa					Vrh stupa		
	$V_{Ed,x}$	$V_{Ed,y}$	$N_{Ed}$	$M_{Ed,x}$	$M_{Ed,y}$	$N_{Ed}$	$M_{Ed,x}$	$M_{Ed,y}$
Karakteristična	51,06	51,06	1547,31	445,99	445,99	798,76	200,11	200,11
Nazovistalna	45,77	45,77	1365,82	393,68	393,68	701,94	180,01	180,01
Seizmička	190,82	135,72	1365,82	1313,55	1238,49	701,94	180,01	180,01

#### 8.4. Naprezanja ispod temeljne stope

##### Stabilnost temelja i naprezanja ispod temeljne stope:

Stabilnost temelja je zadovoljena ako se za osnovna opterećenja rezultanta svih sila koje djeluju na temelj (gravitacijska opterećenja, vjetar..) nalazi unutar prve jezgre poprečnog presjeka te ako se za ostala opterećenja (seizmičko opterećenje) rezultanta nalazi unutar druge jezgre presjeka.



**Slika 8.10.** Prikaz jezgra presjeka uz objašnjenje oznaka

$$\frac{e_x}{b} + \frac{e_y}{a} \leq \frac{1}{6} \text{ za osnovna opterećenja}$$

→ sila u prvoj jezgri poprečnog presjeka

$$\left(\frac{e_x}{b}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{a}\right)^2 \leq \frac{1}{9} \text{ za seizmičko opterećenje}$$

→ sila u drugoj jezgri poprečnog presjeka



$$e_x = \frac{M_{x,Ed,uk}}{N_{Ed,uk}} ; e_y = \frac{M_{y,Ed,uk}}{N_{Ed,uk}}$$

#### 8.4.1. Vertikalno opterećenje

Uzdužna vertikalna sila za proračun temeljne stope:

$$N_{Ed,uk} = N_{Ed} + N_{Ed,ts} = 1547,31 + 320 + 282,63 = 2149,94 \text{ kN}$$

Vlastita težina temeljne stope:

$$N_{Ed,ts} = a \cdot b \cdot h \cdot \gamma_b = 4,0 \cdot 4,0 \cdot 0,80 \cdot 25 = 320,00 \text{ kN}$$

Težina zemlje iznad temeljne stope:

$$N_{Ed,z} = (a \cdot b - d_x \cdot d_y) \cdot d_z \cdot \gamma_z = (4,0 \cdot 4,0 - 0,5495 \cdot 0,5495) \cdot 1,0 \cdot 18 = 282,63 \text{ kN}$$

Horizontalne sile za proračun temeljne stope:

$$V_{x,Ed} = 51,06 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 51,06 \text{ kN}$$

Momenti za proračun temeljne stope:

$$M_{x,Ed,uk} = M_{x,Ed} + V_{y,Ed} \cdot d_t = 537,89 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed,uk} = M_{y,Ed} + V_{x,Ed} \cdot d_t = 537,89 \text{ kNm}$$

Ekscentricitet vertikalne sile:

$$e_x = \frac{M_{x,Sd,uk}}{N_{Sd,uk}} = 25,02 \text{ cm}$$

$$e_y = \frac{M_{y,Sd,uk}}{N_{Sd,uk}} = 25,02 \text{ cm}$$

$$\frac{e_x}{b} + \frac{e_y}{a} = 0,12 < 1/6 = 0,17 \text{ m} - \text{sila je u jezgri poprečnog presjeka}$$

Naprezanja ispod temeljne stope:

$$A_{\text{temelja}} = a \cdot b = 4,0 \cdot 4,0 = 16,00 \text{ m}^2$$

$$W_x = \frac{a^2 \cdot b}{6} = \frac{4,0^2 \cdot 4,0}{6} = 10,667 \text{ m}^3$$

$$W_y = \frac{b^2 \cdot a}{6} = \frac{4,0^2 \cdot 4,0}{6} = 10,667 \text{ m}^3$$

$$\sigma_1 = \frac{N_{Ed,uk}}{A} + \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} + \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{2149,94}{16,00} + \frac{537,89}{10,667} + \frac{537,89}{10,667} = 235,23 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N_{Ed,uk}}{A} + \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} - \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{2149,94}{16,00} + \frac{537,89}{10,667} - \frac{537,89}{10,667} = 134,37 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{N_{Ed,uk}}{A} - \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} + \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{2149,94}{16,00} - \frac{537,89}{10,667} + \frac{537,89}{10,667} = 134,37 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_4 = \frac{N_{Ed,uk}}{A} - \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} - \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{2149,94}{16,00} - \frac{537,89}{10,667} - \frac{537,89}{10,667} = 33,52 \text{ kN/m}^2$$

Efektivna širina temelja:

$$a' = a \cdot \left(1 - \frac{2e_y}{a}\right) = 349,96 \text{ cm}$$

$$b' = b \cdot \left(1 - \frac{2e_x}{b}\right) = 349,96 \text{ cm}$$



Efektivna površina:

$$A'_{\text{temelja}} = a' \cdot b' = 3,499 \cdot 3,499 = 12,247 \text{ m}^2$$

Naprezanje:

$$\sigma_0 = \frac{N_{\text{Ed,uk}}}{A'} = \frac{2149,94}{12,247} = 175,54 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{\text{Rd}} = 440 \text{ kN/m}^2$$

Proračunska otpornost tla (dopušteno naprezanje za osnovno opterećenje)

$$\sigma_{\text{Rd}} = 440 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Mjerodavno : } \sigma_i = 235,23 < 300 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{Zadovoljava.}$$

#### 8.4.2. Seizmika

Uzdužna vertikalna sila za proračun temeljne stope:

$$N_{\text{Ed,uk}} = N_{\text{Ed}} + N_{\text{Ed,ts}} = 1365,82 + 320,00 + 282,63 = 1968,45 \text{ kN}$$

Vlastita težina temeljne stope:

$$N_{\text{Ed,ts}} = a \cdot b \cdot h \cdot \gamma_b = 4,0 \cdot 4,0 \cdot 0,80 \cdot 25 = 320,00 \text{ kN}$$

Težina zemlje iznad temeljne stope:

$$N_{\text{Ed,z}} = (a \cdot b - d_x \cdot d_y) \cdot d_z \cdot \gamma_z = (4,0 \cdot 4,0 - 0,5495 \cdot 0,5495) \cdot 1,0 \cdot 18 = 282,63 \text{ kN}$$

Horizontalne sile za proračun temeljne stope:

$$V_{x,\text{Ed}} = 190,82 \text{ kN}$$

$$V_{y,\text{Ed}} = 135,72 \text{ kN}$$

Momenti za proračun temeljne stope:

$$M_{x,\text{Ed,uk}} = M_{x,\text{Ed}} + V_{y,\text{Ed}} \cdot d_t = 1313,55 + 135,72 \cdot 1,80 = 1557,85 \text{ kNm}$$

$$M_{y,\text{Ed,uk}} = M_{y,\text{Ed}} + V_{x,\text{Ed}} \cdot d_t = 1238,49 + 190,82 \cdot 1,80 = 1581,97 \text{ kNm}$$

Ekscentricitet vertikalne sile:

$$e_x = \frac{M_{y,\text{Ed,uk}}}{N_{\text{Ed,uk}}} = \frac{1581,97}{1968,45} = 80 \text{ cm}$$

$$e_y = \frac{M_{x,\text{Ed,uk}}}{N_{\text{Ed,uk}}} = \frac{1557,85}{1968,45} = 79 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{e_x}{b}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{a}\right)^2 = \left(\frac{80}{400}\right)^2 + \left(\frac{79}{400}\right)^2 = 0,08 < 1/9 = 0,111 \text{ m}$$

- sila je unutar jezgre poprečnog presjeka

Naprezanja ispod temeljne stope:

$$A_{\text{temelja}} = a \cdot b = 4,0 \cdot 4,0 = 16,00 \text{ m}^2$$

$$W_x = \frac{a^2 \cdot b}{6} = \frac{4,0^2 \cdot 4,0}{6} = 10,667 \text{ m}^3$$

$$W_y = \frac{b^2 \cdot a}{6} = \frac{4,0^2 \cdot 4,0}{6} = 10,667 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{N_{Ed,uk}}{A} + \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} + \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{1968,45}{16,00} + \frac{1557,85}{10,667} + \frac{1581,97}{10,667} = 417,39 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_2 &= \frac{N_{Ed,uk}}{A} + \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} - \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{1968,45}{16,00} + \frac{1557,85}{10,667} - \frac{1581,97}{10,667} = 120,77 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_3 &= \frac{N_{Ed,uk}}{A} - \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} + \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{1968,45}{16,00} - \frac{1557,85}{10,667} + \frac{1581,97}{10,667} = 125,29 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_4 &= \frac{N_{Ed,uk}}{A} - \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} - \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{1968,45}{16,00} - \frac{1557,85}{10,667} - \frac{1581,97}{10,667} = -171,33 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Efektivna širina temelja:

$$\begin{aligned}a' &= a \cdot \left(1 - \frac{2e_y}{a}\right) = 400 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 79}{400}\right) = 242 \text{ cm} \\ b' &= b \cdot \left(1 - \frac{2e_x}{a}\right) = 400 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 80}{400}\right) = 239 \text{ cm}\end{aligned}$$

Efektivna površina:

$$A'_{\text{temelja}} = a' \cdot b' = 2,42 \cdot 2,39 = 5,78 \text{ m}^2$$

Naprezanje:

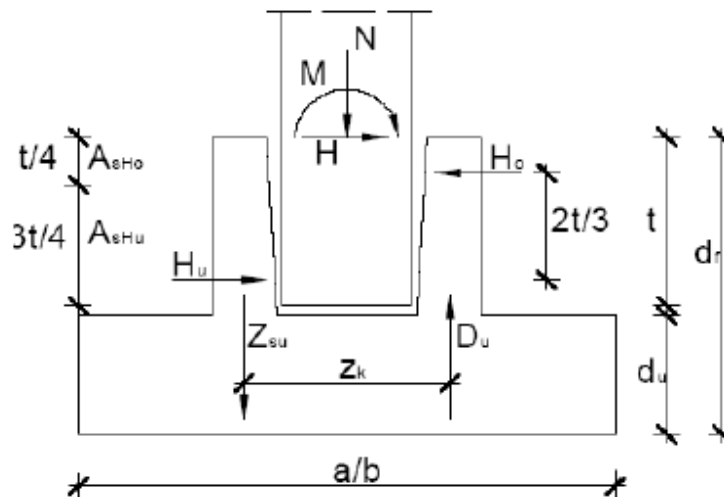
$$\sigma_0 = \frac{N_{Ed,uk}}{A'} = \frac{1968,45}{5,78} = 340,35 \text{ kN/m}^2$$

Proračunska otpornost tla (dopušteno naprezanje za osnovno + dopunsko opterećenje)

$$\sigma_{Rd} = 440 + 0,2 \cdot 440 = 528 \text{ kN/m}^2$$

**Mjerodavno :**  $\sigma_i = 417,39 < 528 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$  Zadovoljava.

## 8.5. Dimenzioniranje temeljne čašice i stope



**Slika 8.11.** Presjek temeljne čašice i stope uz objašnjenje oznaka

Za dimenzioniranje temeljne čašice i temeljne stope mjerodavna je potresna kombinacija.

$$z_k = c - d_k = 155 - 40 = 115 \text{ cm}$$

### 8.5.1. Temeljna čašica

Rezne sile iz pete stupa:

**Tablica 8.2.** Maksimalne rezne sile iz pete stupa

Opterećenje	Peta stupa				
	$V_{x,Ed}$	$V_{y,Ed}$	$N_{Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$
seizmika	190,82	135,72	1365,82	1313,55	1238,49

Armatura čašice u smjeru x:

$$H_0 = \frac{3 \cdot M_{x,Ed}}{2 \cdot t} + \frac{5 \cdot V_{y,Ed}}{4} = \frac{3 \cdot 1313,55}{2 \cdot 0,9} + \frac{5 \cdot 135,72}{4} = 2358,90 \text{ kN}$$

$$H_u = \frac{3 \cdot M_{x,Ed}}{2 \cdot t} + \frac{V_{y,Ed}}{4} = \frac{3 \cdot 1313,55}{2 \cdot 0,9} + \frac{135,72}{4} = 2223,18 \text{ kN}$$

$$Z_{su} = \frac{H_0 \cdot t}{z_k} = \frac{2358,90 \cdot 0,9}{1,15} = 1846,10 \text{ kN}$$

$$A_S^g = \frac{H_0}{f_{yd}} = \frac{2358,90}{43,478} = 54,25 \text{ cm}^2 \quad (2 \times 2 \times 4\Phi 22 = 60,80 \text{ cm}^2)$$

$$A_S^d = \frac{H_u}{f_{yd}} = \frac{2223,18}{43,478} = 51,13 \text{ cm}^2 \quad (2 \times 2 \times 4\Phi 22 = 60,80 \text{ cm}^2)$$

$$A_S^v = \frac{Z_{su}}{f_{yd}} = \frac{1846,10}{43,478} = 42,46 \text{ cm}^2 \quad (2 \times 2 \times 3\Phi 22 = 45,60 \text{ cm}^2)$$

Armatura čašice u smjeru y:

$$H_0 = \frac{3 \cdot M_{y,Ed}}{2 \cdot t} + \frac{5 \cdot V_{x,Ed}}{4} = \frac{3 \cdot 1238,49}{2 \cdot 0,9} + \frac{5 \cdot 190,82}{4} = 2302,68 \text{ kN}$$

$$H_u = \frac{3 \cdot M_{y,Ed}}{2 \cdot t} + \frac{V_{x,Ed}}{4} = \frac{3 \cdot 1238,49}{2 \cdot 0,9} + \frac{190,82}{4} = 2111,86 \text{ kN}$$

$$Z_{su} = \frac{H_0 \cdot t}{z_k} = \frac{2302,68 \cdot 0,9}{1,15} = 1802,09 \text{ kN}$$

$$A_S^g = \frac{H_0}{f_{yd}} = \frac{2302,68}{43,478} = 52,96 \text{ cm}^2 \quad (2 \times 2 \times 4\Phi 22 = 60,80 \text{ cm}^2)$$

$$A_S^d = \frac{H_u}{f_{yd}} = \frac{2111,86}{43,478} = 48,57 \text{ cm}^2 \quad (2 \times 2 \times 4\Phi 22 = 60,80 \text{ cm}^2)$$

$$A_S^v = \frac{Z_{su}}{f_{yd}} = \frac{1802,09}{43,478} = 41,45 \text{ cm}^2 \quad (2 \times 2 \times 3\Phi 22 = 45,60 \text{ cm}^2)$$



## 8.5.2. Dimenzioniranje temeljne stope

### 8.5.2.1. Seizmika

$$\sigma_1 = \frac{N_{Ed,uk}}{A} + \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} + \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{1968,45}{16,00} + \frac{1557,85}{10,667} + \frac{1581,97}{10,667} = 417,39 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N_{Ed,uk}}{A} + \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} - \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{1968,45}{16,00} + \frac{1557,85}{10,667} - \frac{1581,97}{10,667} = 120,77 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{N_{Ed,uk}}{A} - \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} + \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{1968,45}{16,00} - \frac{1557,85}{10,667} + \frac{1581,97}{10,667} = 125,29 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_4 = \frac{N_{Ed,uk}}{A} - \frac{M_{x,Ed,uk}}{W_x} - \frac{M_{y,Ed,uk}}{W_y} = \frac{1968,45}{16,00} - \frac{1557,85}{10,667} - \frac{1581,97}{10,667} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{Ed,max} = \frac{1}{48} \cdot (5 \cdot \sigma' + \sigma'') \cdot b^3$$

Za  $M_{x,max}$  :

$$\sigma' = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = 269,08 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'' = \frac{\sigma_3 + \sigma_4}{2} = 62,64 \text{ kN/m}^2$$

Za  $M_{y,max}$  :

$$\sigma' = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = 271,34 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'' = \frac{\sigma_2 + \sigma_4}{2} = 60,38 \text{ kN/m}^2$$

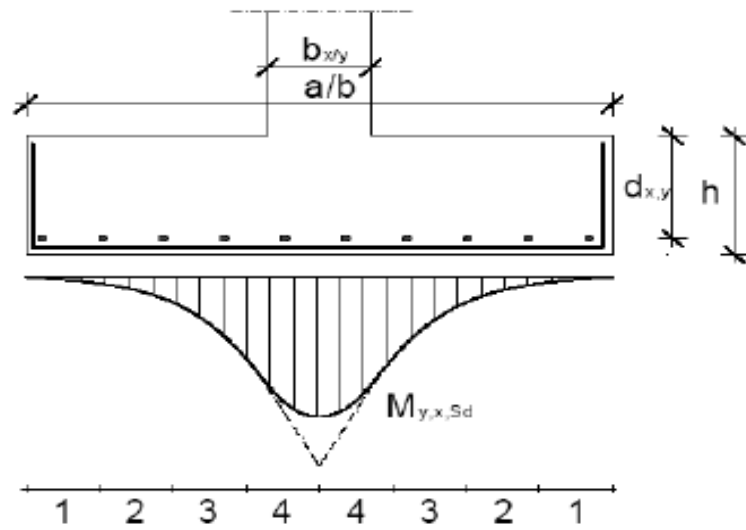
Mjerodavni momenti:

$$M_{x,max} = 1877,37 \text{ kNm}$$

$$M_{y,max} = 1889,43 \text{ kNm}$$

- koeficijenti raspodjele momenata savijanja odnosno armature  $\alpha_j$  ( $j=1,2,3,4$ ) prema:  
(Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DafStb): Heft 240)





Slika 8.12. Prikaz naprezanja tla ispod temeljne stope

Tablica 8.3. Koeficijenti raspodjele momenata savijanja (armature)

	$b_x/b, b_y/a$		
Traka	<b>0,10</b>	<b>0,20</b>	<b>0,30</b>
1	0,07	0,08	0,09
2	0,10	0,10	0,11
3	0,14	0,14	0,14
4	0,19	0,18	0,16
Suma	0,50	0,50	0,50

$$\Delta M_{Ed,j} = \alpha_j \cdot M_{Ed} \quad \text{ili} \quad A_{s1,j} = \alpha_j \cdot A_{s1}$$

### 8.5.2.2. Proračun armature

Smjer x i y

$$\frac{b_x}{b} = \frac{b_y}{a} = \frac{0,6}{4} = 0,15$$

Dimenzioniranje presjeka:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x,y}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1889,43 \cdot 100}{400 \cdot 74,4^2 \cdot 2,0} = 0,043$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,046$  očitano:

$$\zeta = 0,971 \quad \xi = 0,078 \quad \varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_c = -1,7 \text{ ‰}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed,x,y}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1889,43}{0,971 \cdot 74,4 \cdot 43,478} = 60,15 \text{ cm}^2$$

Raspodjela armature:

Traka 1:

$$A_{s1,1} = \alpha_1 \cdot A_{s1} = 0,077 \cdot 60,15 = 4,63 \text{ cm}^2 \quad \text{Odabrano: } 4\Phi 14 = 6,16 \text{ cm}^2$$

Traka 2:

$$A_{s1,2} = \alpha_2 \cdot A_{s1} = 0,10 \cdot 60,15 = 6,02 \text{ cm}^2 \quad \text{Odabrano: } 4\Phi 14 = 6,16 \text{ cm}^2$$

Traka 3:

$$A_{s1,3} = \alpha_3 \cdot A_{s1} = 0,14 \cdot 60,15 = 8,42 \text{ cm}^2 \quad \text{Odabrano: } 4\Phi 20 = 12,57 \text{ cm}^2$$

Traka 4:

$$A_{s1,4} = \alpha_4 \cdot A_{s1} = 0,183 \cdot 60,15 = 11,01 \text{ cm}^2 \quad \text{Odabrano: } 4\Phi 20 = 12,57 \text{ cm}^2$$

$$\sum A_{s1} = 2 \cdot 37,46 = 74,92 \text{ cm}^2$$

### 8.5.2.3. Proboj temeljne stope

Proračun proboja se ne provodi ako je ispunjen uvjet:

- smjer x,y

$$r_{cont} \geq (a-b_y)/2 ; \quad r_{cont} \geq (b-b_x)/2$$

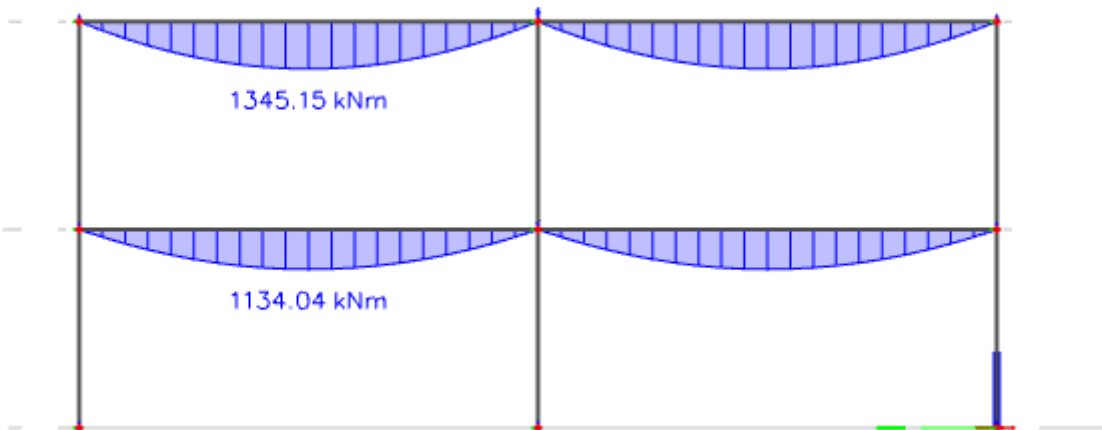
Osnovni kontrolni polumjer:

$$r_{cont} = 2 \cdot d_{eff} + 0,5 \cdot b_{x/y} = 2 \cdot 74,4 + 0,5 \cdot 60 = 178,80 \text{ cm} > (400-60)/2 = 170 \text{ cm}$$

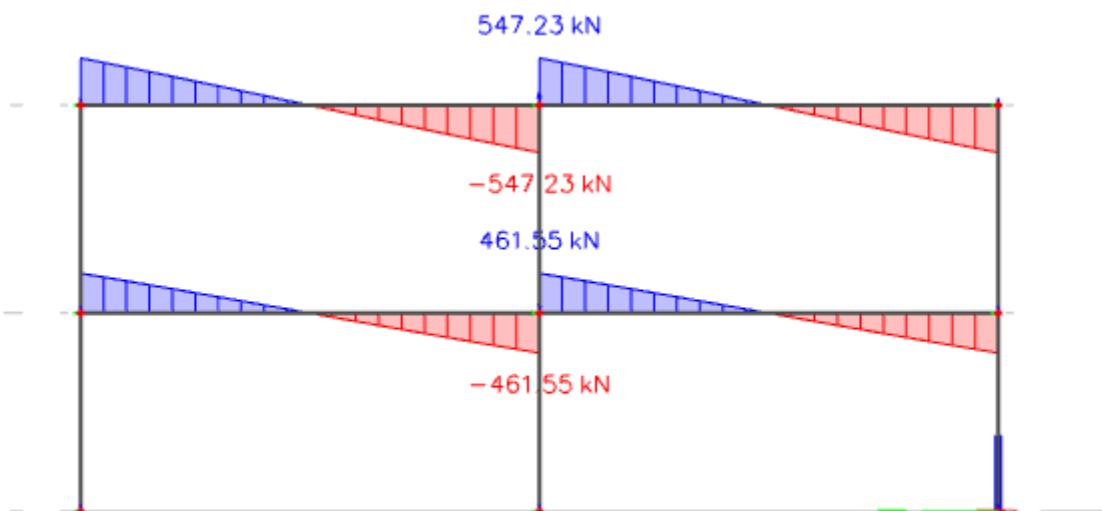
Ne treba provoditi proračun proboja temeljne stope.

## 9. PRORAČUN GREDE PREMA GSN

### 9.1. Proračunske vrijednosti momenta savijanja i poprečne sile (reakcije)



*Slika 9.1. Maksimalni momenti savijanja  $M_y$  u gredi za sve GSN kombinacije djelovanja*



*Slika 9.2. Maksimalne poprečne sile u gredi za sve GSN kombinacije djelovanja*

## 9.2. Greda – etaža 2

### 9.2.1. Dimenzioniranje

*Materijal:*

Beton: C 30/37

( $f_{ck}/f_{ck,cube}$  valjak/kocka)

$f_{cd}$ - proračunska čvrstoća betona

$\alpha_{cc}$ - koeficijent dugotrajnih učinaka na tlačnu čvrstoću (preporučeno 1,0)

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

Čelik: B 500 B

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

$f_{yd}$ - proračunska granica popuštanja čelika

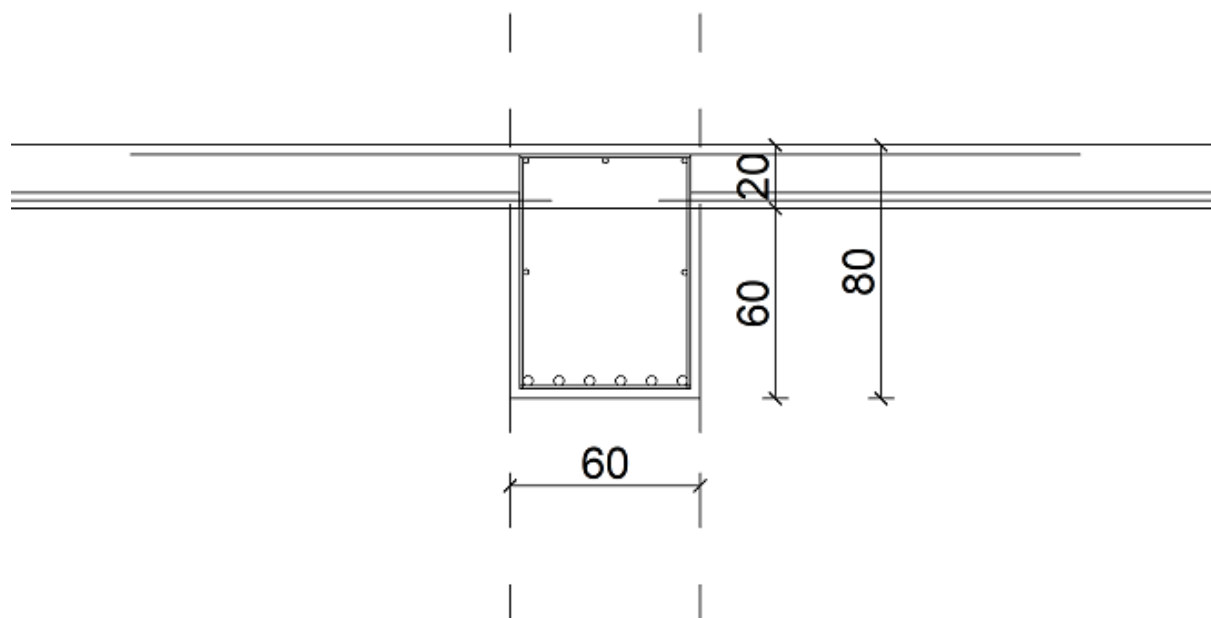
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,478 \text{ kN/cm}^2$$

Visina grede:  $h = 80 \text{ cm}$

Zaštitni sloj betona (razred izloženosti XC1) :  $c = 2,5 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature :  $d_1 = c + \phi_v + \phi_s/2 = 2,5 + 0,8 + 3,2/2 = 5 \text{ cm}$

Statička visina presjeka :  $d = h - d_1 = 80 - 5 = 75 \text{ cm}$



**Slika 9.3.** Poprečni presjek grede i stropne ploče – etaža 2



## 9.2.2. Dimenzioniranje uzdužne armature

### Polje

- sudjelujuća širina

$$L_0 = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 970 = 970 \text{ cm}$$

$$b_1 = b_2 = \frac{600 - 60}{2} = 270 \text{ cm}$$

$$b = b_1 + b_w + b_2 = 270 + 60 + 270 = 600 \text{ cm}$$

$$0,2 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 970 = 194 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},1} = b_{\text{eff},2} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 270 + 0,1 \cdot 970 = 151 \text{ cm} < 194 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff}} = b_{\text{eff},1} + b_w + b_{\text{eff},2} = 151 + 60 + 151 = 362 \text{ cm}$$

Odabrana sudjelujuća širina  $b_{\text{eff}} = 362 \text{ cm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{\text{Ed}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{1345,15 \cdot 100}{362 \cdot 75^2 \cdot 2,0} = 0,033 < \mu_{\text{lim}} = 0,296$$

Za  $\mu_{\text{Rd}} = 0,033$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,5 \text{ ‰} \quad \xi = 0,070$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,\text{req}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{1345,15 \cdot 100}{0,975 \cdot 75 \cdot 43,478} = 42,31 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura za polje:

$$A_{s1,\text{min}} = 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 60 \cdot 75 = 5,85 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,\text{min}} = 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} = 0,26 \cdot 60 \cdot 75 \cdot \frac{2,9}{500} = 6,79 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Maksimalna armatura za polje:

$$A_{s1,\text{max}} = 0,040 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h = 0,040 \cdot 362 \cdot 80 = 1158,40 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,\text{max}} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 2,5 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_f = 0,022 \cdot 2,5 \cdot 362 \cdot 20 = 398,20 \text{ cm}^2 \\ \rightarrow \text{mjerodavno}$$

**ODABRANO:**  $6\phi 32$  ( $A_{s1,\text{prov}} = 48,25 \text{ cm}^2$ )  $> A_{s1,\text{req}} = 42,31 \text{ cm}^2$

Odabrana armatura se nalazi u području između minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,\text{min}} = 6,79 \text{ cm}^2 < A_{s1,\text{prov}} = 48,25 \text{ cm}^2 < A_{s1,\text{max}} = 398,20 \text{ cm}^2$$



## Ležaj

Pretpostavlja se  $1/3 M_{Ed}$  u polju.

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{448 \cdot 100}{60 \cdot 75^2 \cdot 2,0} = 0,066 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,066$  očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -2,5 \text{ ‰} & \xi &= 0,111 \\ \varepsilon_{s1} &= 20 \text{ ‰} & \zeta &= 0,957 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature na ležaju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{448 \cdot 100}{0,957 \cdot 75 \cdot 43,478} = 14,37 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura za ležaj:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 60 \cdot 75 = 5,85 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 60 \cdot 75 \cdot \frac{2,9}{500} = 6,79 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Maksimalna armatura za polje:

$$A_{s1,max} = 0,040 \cdot b_w \cdot h = 0,040 \cdot 60 \cdot 80 = 192,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot b_w \cdot h_f = 0,022 \cdot 60 \cdot 20 = 26,40 \text{ cm}^2$$

→ mjerodavno

**ODABRANO:**  $4\phi 22$  ( $A_{s1,prov} = 15,21 \text{ cm}^2$ )  $> A_{s1,req} = 14,37 \text{ cm}^2$

Odabrana armatura se nalazi u području između minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} = 6,79 \text{ cm}^2 < A_{s1,prov} = 15,21 \text{ cm}^2 < A_{s1,max} = 26,40 \text{ cm}^2$$

### 9.2.3. Dimenzioniranje poprečne armature



*Slika 9.4. Reakcija  $R_z$  na osloncu greda – etaža 2*

- smanjenje poprečne sile na osloncu:

$$\Delta V_{Ed} = (1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q) \cdot (b_{sup}/2 + d) = (92,75) \cdot (0,60/2 + 0,75)$$

$$\Delta V_{Ed} = 97,39 \text{ kN}$$

$$V'_{Ed} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} = 547,23 - 97,39 = 449,84 \text{ kN}$$

- nosivost grede na poprečnu silu bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{75}} = 1,52 < 2,0$$

$$A_s = (6\phi 32 + 2\phi 22 + 4\phi 22) = 71,06 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{71,06}{60 \cdot 75} = 0,0158 < 0,02$$

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

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

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,52 \cdot (100 \cdot 0,0158 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] \cdot 600 \cdot 750$$

$$V_{Rd,c} = 296291 \text{ N} = 296,29 \text{ kN}$$

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

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,52^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,358$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,358 + 0) \cdot 600 \cdot 750 = 161087 \text{ N} = 161,09 \text{ kN}$$



Maksimalna vrijednost poprečne sile:

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

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

$$\nu_1 = 0,6 \cdot [1 - f_{ck}/250] = 0,6 [1 - 30/250] = 0,53$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 750 = 675 \text{ mm}$$

$$\theta = 39,8^\circ$$

$$V_{Rd,max} = 1,0 \cdot 600 \cdot 675 \cdot 0,53 \cdot 20,0 \cdot \frac{1}{\text{ctg}39,8^\circ + \text{tg}39,8^\circ} = 2103269 \text{ N} = 2103,269 \text{ kN}$$

- provjera:

$$V_{Rd,c} = 296,29 \text{ kN} < V'_{Ed} = 449,84 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 2103,269 \text{ kN}$$

→ potrebno je proračunati spone za preuzimanje naprezanja od poprečnih sila

Proračun poprečne armature:

$$A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2 \quad - \text{ pretpostavljaju se dvorezne } (m = 2) \text{ spone } \phi 10$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\theta = 39,8^\circ$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 75 = 67,5 \text{ cm}$$

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

$$V_{rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot \cot \theta$$

$$V_{rd,s} = \frac{0,79}{12} \cdot 67,50 \cdot 43,478 \cdot 2 \cdot 1,2 = 463,78 \text{ kN}$$

$$V'_{Ed} = 449,84 < 463,78 \text{ kN}$$

**Odabrano:**  $\phi 10/12 \text{ cm}$

- maksimalni razmak spona (minimalna poprečna armatura)

a) prema EN-1992-1-1:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,0009$$

b) prema hrvatskom nacionalnom dodatku:

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \right) = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,78} = 0,001$$

- mjerodavna je veća vrijednost

$$s_{1,max} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{1,57}{0,001 \cdot 60 \cdot 0 \cdot 1,0} = 26,17 \text{ cm}$$



c) najveći uzdužni razmak spona:

- za:

$$V'_{Ed} = 449,84 < 0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 2103,269 = 630,98$$

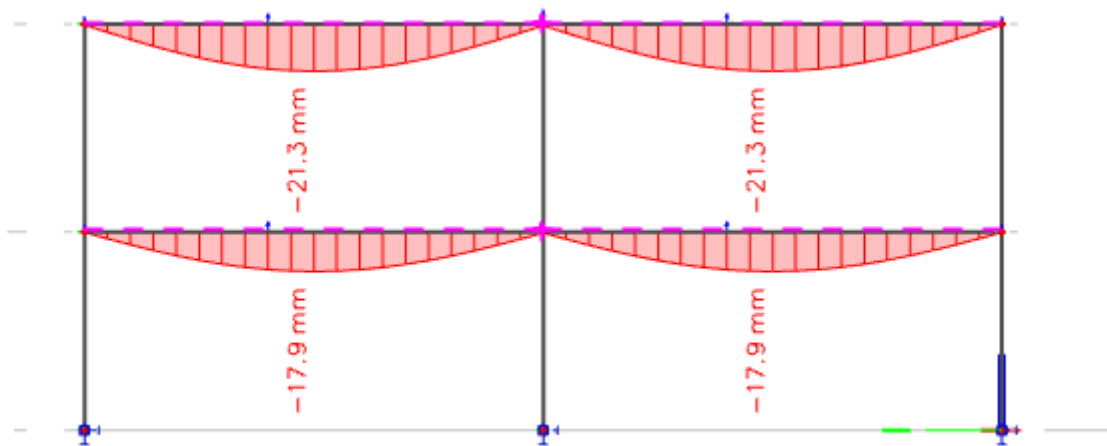
Slijedi:  $s_{1,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 75 = 56,25 \text{ cm} > 30 \text{ cm}$

Mjerodavni maksimalni razmak spona prema uvjetu b) iznosi **26,17 cm**

### 9.2.4. Granično stanje uporabljivosti

Kontrola pukotina proračunata je programskim paketom Idea statica, te se proračun prikazan u prilogu.

Kontrola progiba



*Slika 9.5. Maksimalni progib grede za sve GSU kombinacije djelovanja*

$$u = 21,3 \text{ mm}$$

Izgled i opća upotreba konstrukcije mogli bi biti narušeni kada proračunski progib grede, ploče ili konzole za nazovistalno opterećenje premaši raspon/250.

$$u \leq \frac{L}{250}$$

$$u = 21,30 < \frac{9700}{250} = 38,80 \text{ mm}$$

Progib grede je u granicama dozvoljenog, tj. zadovoljen je uvjet graničnog stanja uporabivosti.

### 9.3. Greda – etaža 1

#### 9.3.1. Dimenzioniranje

*Materijal:*

Beton: C 30/37  
 ( $f_{ck}/f_{ck,cube}$  valjak/kocka)  
 $f_{cd}$ - proračunska čvrstoća betona  
 $\alpha_{cc}$ - koeficijent dugotrajnih učinaka na tlačnu čvrstoću (preporučeno 1,0)  
 $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ N/mm}^2 = 2,0 \text{ kN/cm}^2$

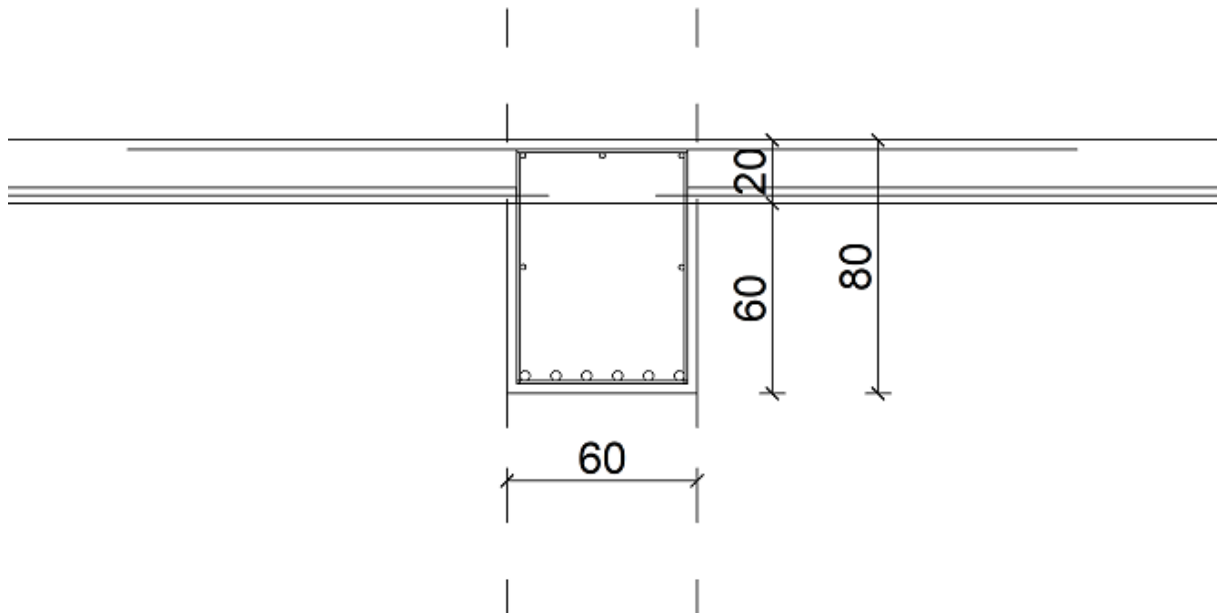
Čelik: B 500 B  
 ( $f_{yk}/f_{tk} = 500/540$ )  
 $f_{yd}$ - proračunska granica popuštanja čelika  
 $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,478 \text{ kN/cm}^2$

Visina grede:  $h = 80 \text{ cm}$

Zaštitni sloj betona (razred izloženosti XC1) :  $c = 2,5 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature :  $d_1 = c + \phi_v + \phi_s/2 = 2,5 + 0,8 + 2,8/2 = 5 \text{ cm}$

Statička visina presjeka :  $d = h - d_1 = 80 - 5 = 75 \text{ cm}$



**Slika 9.6.** Poprečni presjek grede i stropne ploče – etaža 1



### 9.3.2. Dimenzioniranje uzdužne armature

#### Polje

- sudjelujuća širina

$$L_0 = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 906 = 970 \text{ cm}$$

$$b_1 = b_2 = \frac{600 - 60}{2} = 270 \text{ cm}$$

$$b = b_1 + b_w + b_2 = 270 + 60 + 270 = 600 \text{ cm}$$

$$0,2 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 906 = 181,20 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff},1} = b_{\text{eff},2} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot L_0 = 0,2 \cdot 270 + 0,1 \cdot 906 = 144,60 \text{ cm} < 181,20 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff}} = b_{\text{eff},1} + b_w + b_{\text{eff},2} = 144,6 + 60 + 144,6 = 349,20 \text{ cm}$$

Odabrana sudjelujuća širina  $b_{\text{eff}} = 349,20 \text{ cm}$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{\text{Ed}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}} \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{1134,04 \cdot 100}{349,20 \cdot 75^2 \cdot 2,0} = 0,029 < \mu_{\text{lim}} = 0,296$$

Za  $\mu_{\text{Rd}} = 0,029$  očitano:

$$\varepsilon_c = -1,4 \text{ ‰} \quad \xi = 0,065$$

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

Potrebna površina armature u polju:

$$A_{s1,\text{req}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{\zeta \cdot d \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{1134,04 \cdot 100}{0,977 \cdot 75 \cdot 43,478} = 35,60 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura za polje:

$$A_{s1,\text{min}} = 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 60 \cdot 75 = 5,85 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,\text{min}} = 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} = 0,26 \cdot 60 \cdot 75 \cdot \frac{2,9}{500} = 6,79 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Maksimalna armatura za polje:

$$A_{s1,\text{max}} = 0,040 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h = 0,040 \cdot 349,20 \cdot 80 = 1117,44 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,\text{max}} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 2,5 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_f = 0,022 \cdot 2,5 \cdot 349,20 \cdot 20 = 384,12 \text{ cm}^2 \\ \rightarrow \text{mjerodavno}$$

**ODABRANO:**  $6\phi 28$  ( $A_{s1,\text{prov}} = 36,95 \text{ cm}^2$ )  $> A_{s1,\text{req}} = 35,60 \text{ cm}^2$

Odabrana armatura se nalazi u području između minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,\text{min}} = 6,79 \text{ cm}^2 < A_{s1,\text{prov}} = 36,95 \text{ cm}^2 < A_{s1,\text{max}} = 398,20 \text{ cm}^2$$



## Ležaj

Pretpostavlja se  $1/3 M_{Ed}$  u polju.

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{378 \cdot 100}{60 \cdot 75^2 \cdot 2,0} = 0,056 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,056$  očitano:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -2,2 \text{ ‰} & \xi &= 0,099 \\ \varepsilon_{s1} &= 20 \text{ ‰} & \zeta &= 0,962 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature na ležaju:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{378 \cdot 100}{0,962 \cdot 75 \cdot 43,478} = 12,05 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura za ležaj:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 60 \cdot 75 = 5,85 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,26 \cdot 60 \cdot 75 \cdot \frac{2,9}{500} = 6,79 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Maksimalna armatura za polje:

$$A_{s1,max} = 0,040 \cdot b_w \cdot h = 0,040 \cdot 60 \cdot 80 = 192,00 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s1,max} &= 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot b_w \cdot h_f = 0,022 \cdot 60 \cdot 20 = 26,40 \text{ cm}^2 \\ &\rightarrow \text{mjerodavno} \end{aligned}$$

**ODABRANO:**  $4\phi 20$  ( $A_{s1,prov} = 12,57 \text{ cm}^2$ )  $> A_{s1,req} = 12,05 \text{ cm}^2$

Odabrana armatura se nalazi u području između minimalne i maksimalne armature:

$$A_{s1,min} = 6,79 \text{ cm}^2 < A_{s1,prov} = 12,57 \text{ cm}^2 < A_{s1,max} = 26,40 \text{ cm}^2$$

### 9.3.3. Dimenzioniranje poprečne armature



*Slika 9.7. Reakcija  $R_z$  na osloncu greda – etaža 1*

- smanjenje poprečne sile na osloncu:

$$\Delta V_{Ed} = (1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q) \cdot (b_{sup}/2 + d) = (91,93) \cdot (0,60/2 + 0,75)$$

$$\Delta V_{Ed} = 96,53 \text{ kN}$$

$$V'_{Ed} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} = 461,55 - 96,53 = 365,02 \text{ kN}$$

- nosivost grede na poprečnu silu bez poprečne armature:

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{75}} = 1,52 < 2,0$$

$$A_s = (6\phi 28 + 2\phi 20 + 4\phi 20) = 55,80 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{55,80}{60 \cdot 75} = 0,0124 < 0,02$$

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

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

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,52 \cdot (100 \cdot 0,0124 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] \cdot 600 \cdot 750$$

$$V_{Rd,c} = 273351 \text{ N} = 273,35 \text{ kN}$$

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

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,52^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,358$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,358 + 0) \cdot 600 \cdot 750 = 161087 \text{ N} = 161,09 \text{ kN}$$



Maksimalna vrijednost poprečne sile:

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

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

$$\nu_1 = 0,6 \cdot [1 - f_{ck}/250] = 0,6 [1 - 30/250] = 0,53$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 750 = 675 \text{ mm}$$

$$\theta = 39,8^\circ$$

$$V_{Rd,max} = 1,0 \cdot 600 \cdot 675 \cdot 0,53 \cdot 20,0 \cdot \frac{1}{\text{ctg}39,8^\circ + \text{tg}39,8^\circ} = 2103269 \text{ N} = 2103,269 \text{ kN}$$

- provjera:

$$V_{Rd,c} = 273,35 \text{ kN} < V'_{Ed} = 365,02 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 2103,269 \text{ kN}$$

→ potrebno je proračunati spone za preuzimanje naprezanja od poprečnih sila

Proračun poprečne armature:

$$A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2 \quad - \text{ pretpostavljaju se dvorezne } (m = 2) \text{ spone } \phi 10$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\theta = 39,8^\circ$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 75 = 67,5 \text{ cm}$$

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

$$V_{rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot \cot \theta$$

$$V_{rd,s} = \frac{0,79}{15} \cdot 67,50 \cdot 43,478 \cdot 2 \cdot 1,2 = 371,02 \text{ kN}$$

$$V'_{Ed} = 365,02 < 371,02 \text{ kN}$$

**ODABRANO:**  $\phi 10/15 \text{ cm}$

- maksimalni razmak spona (minimalna poprečna armatura)

a) prema EN-1992-1-1:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,0009$$

b) prema hrvatskom nacionalnom dodatku:

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \right) = 0,15 \cdot \frac{2,9}{434,78} = 0,001$$

- mjerodavna je veća vrijednost

$$s_{1,max} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{1,57}{0,001 \cdot 60 \cdot 0,1} = 26,17 \text{ cm}$$

c) najveći uzdužni razmak spona:

- za:

$$V'_{Ed} = 365,20 < 0,3 \cdot V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 2103,269 = 630,98$$

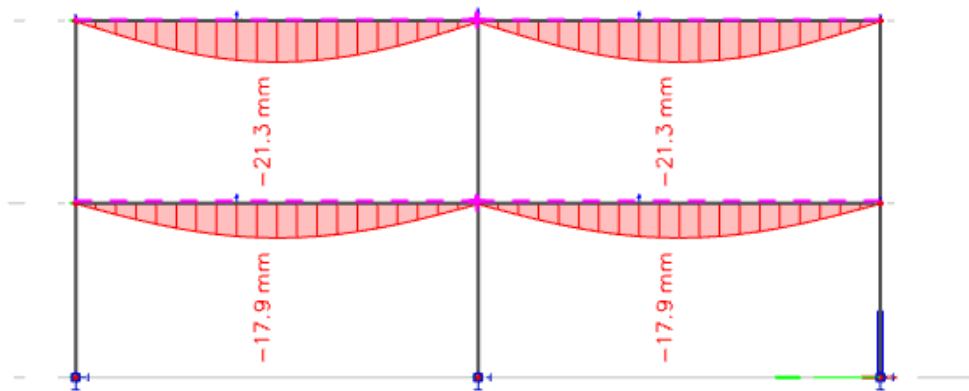
Slijedi:  $s_{1,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 75 = 56,25 \text{ cm} > 30 \text{ cm}$

Mjerodavni maksimalni razmak spona prema uvjetu b) iznosi **26,17 cm**

### 9.3.4. Granično stanje uporabljivosti

Kontrola pukotina proračunata je programskim paketom Idea statica, te se proračun prikazan u prilogu.

Kontrola progiba



**Slika 9.8.** Maksimalni progib grede za sve GSU kombinacije djelovanja

$$u = 17,90 \text{ mm}$$

Izgled i opća upotreba konstrukcije mogli bi biti narušeni kada proračunski progib grede, ploče ili konzole za nazovistalno opterećenje premaši raspon/250.

$$u \leq \frac{L}{250}$$

$$u = 17,90 < \frac{9060}{250} = 36,24 \text{ mm}$$

Progib grede je u granicama dozvoljenog, tj. zadovoljen je uvjet graničnog stanja uporabivosti.

## 10. PRORAČUN POLUMONTAŽNE AB PLOČE

Za izvedbu međukatne konstrukcije predviđen je polumontažni strop koji se sastoji od omnia ploče (napravljene na vibro stolu u proizvodnom pogonu) i dodatnog betona.

U „Omnia” ploči je obično ugrađena sva potrebna armatura za cijelu ploču. Ploča je armirana mrežastom armaturom i RAN-ovima (rešetkasti armaturni nosači).

Po potrebi je moguće postaviti armaturu i u okomitom smjeru ploče te dobiti ploču koja nosi u dva smjera. Nakon polaganja ploča se zalijeva betonom.

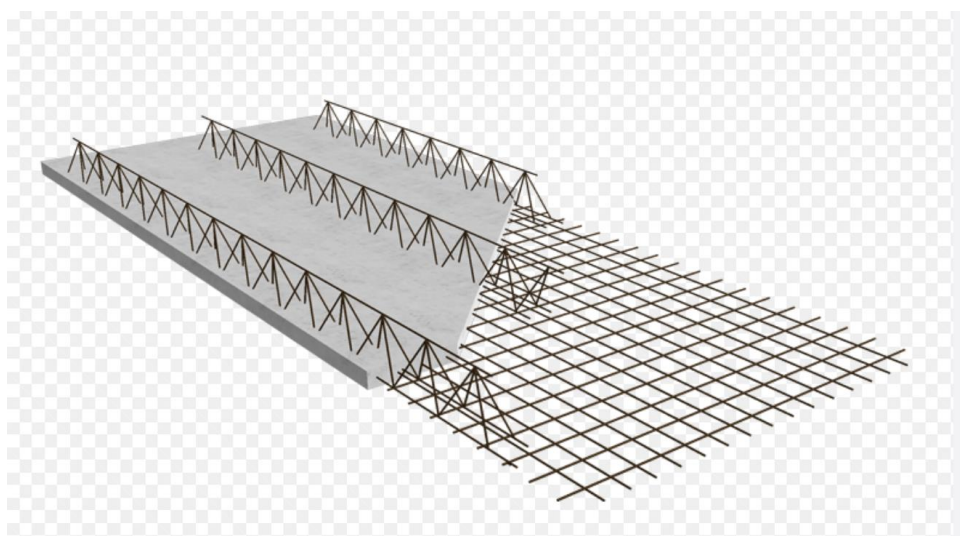
Standardne dimenzije „Omnia” ploča: dužina do 10 m, širina 0,30 do 2,20 m, debljina 4,5 do 5 cm.

U projektu imamo „Omnia” ploče dimenzija 570 cm x 200 cm.

Ukupna debljina ploče između etaža iznosi  $d = 20$  cm. Izrađena je od betona razreda C 30/37. Raster R nosača je max 50-60 cm.



**Slika 10.1.** Primjer R nosača



**Slika 10.2.** Prikaz armiranja „Omnia ploče”

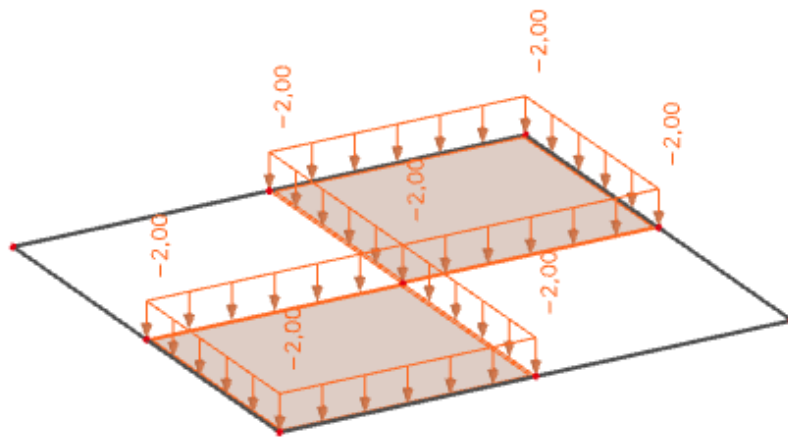


## 10.1. PRORAČUN KROVNE AB PLOČE

### 10.1.1. Sheme opterećenja

Za dobivanje maksimalnih momenata u polju te nad ležajem napravljene su sheme uporabnog opterećenja. Šahovsko uporabno opterećenje primijenjeno je za dobivanje maksimalnih momenata u polju, dok su opterećivanjem susjednih polja dobiveni maksimalni momenti nad ležajem.

Uporabno opterećenje se kombinira s vlastitom težinom i dodatnim stalnim opterećenjem.



*Slika 10.3. Shema opterećenja krovne ploče*

### 10.1.2. Karakteristike materijala i dimenzije presjeka

- Karakteristike materijala

Beton: C30/37

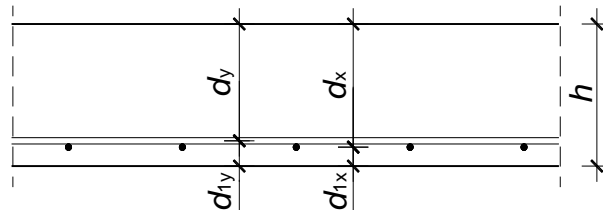
$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = 1,00 \cdot \frac{30}{1,50} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$\alpha_{cc} = 1,00$  koeficijent dugotrajnih učinaka na tlačnu čvrstoću

Čelik: B500B

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} = \frac{500}{1,15} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

- poprečni presjek ploče



**Slika 10.4.** Statičke visine presjeka krovne ploče

- nazivni zaštitni sloj betona  $c_{nom} = 2,0 \text{ cm}$
- visina poprečnog presjeka  $h = 20 \text{ cm}$
- udaljenost od težišta armature  $d_{1x} = c + \frac{\phi_1}{2} = 2,0 + \frac{1,0}{2} = 2,5 \text{ cm}$   
 $d_{1y} = c + \phi_1 + \frac{\phi_2}{2} = 2,0 + 1,0 + \frac{1,0}{2} = 3,5 \text{ cm}$
- statička visina presjeka  $d_x = h - d_{1x} = 20 - 2,5 = 17,5 \text{ cm}$   
 $d_y = h - d_{1y} = 20 - 3,5 = 16,5 \text{ cm}$

### 10.1.3. Minimalna i maksimalna armatura ploča

#### smjer x:

- minimalna armatura

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

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{0,29}{50} \cdot 100 \cdot 17,5 = 2,64 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

- maksimalna armatura

$$A_{s1,max} = 0,040 \cdot A_c = 0,040 \cdot b \cdot h = 0,040 \cdot 100 \cdot 20 = 80,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100 \cdot 20 = 44,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

#### smjer y:

- minimalna armatura

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

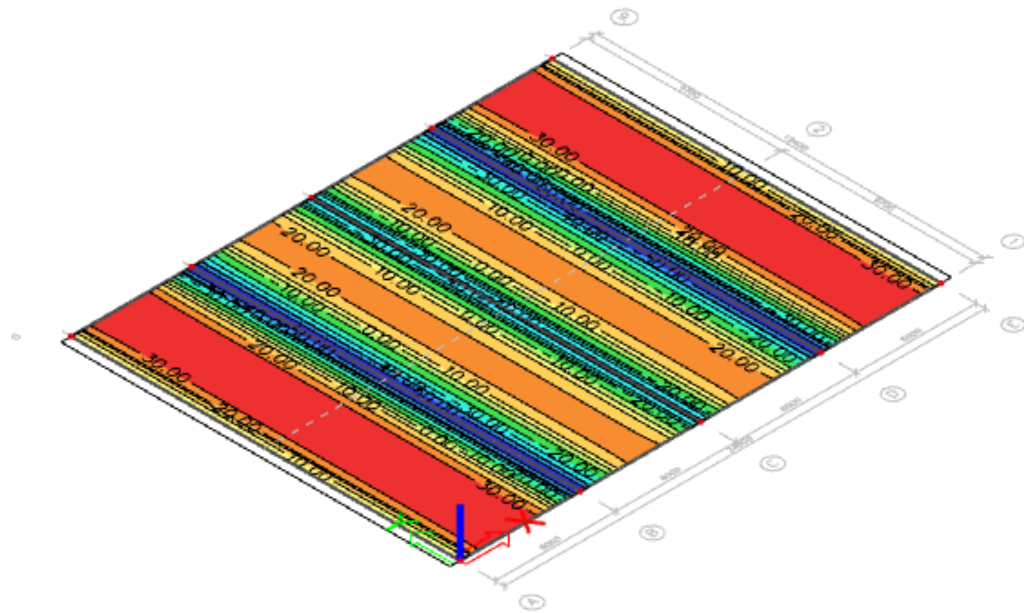
$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{0,29}{50} \cdot 100 \cdot 17,5 = 2,64 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

- maksimalna armatura

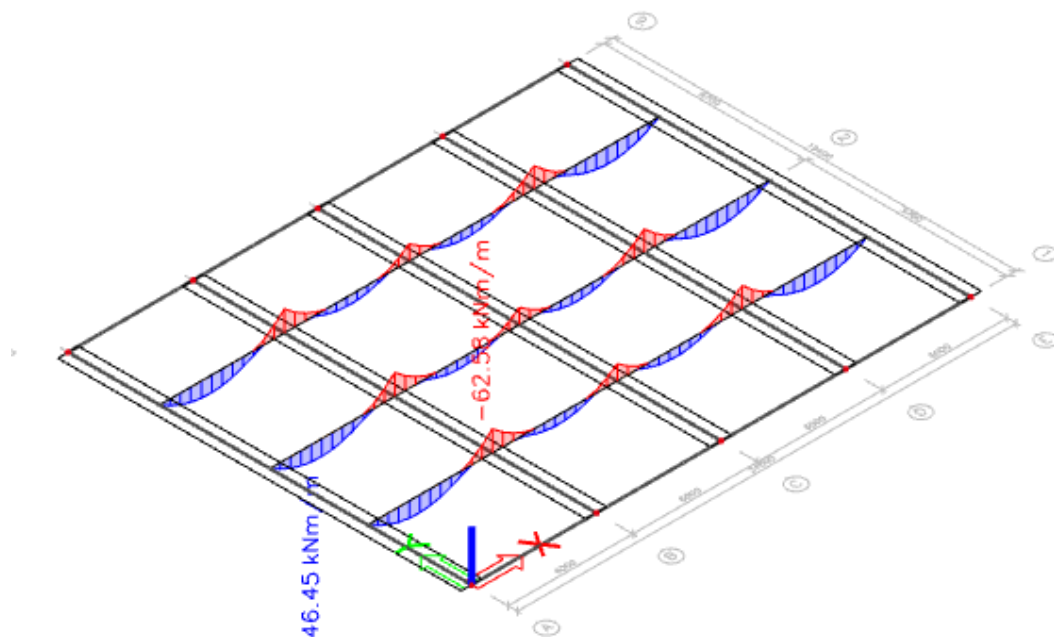
$$A_{s1,max} = 0,040 \cdot A_c = 0,040 \cdot b \cdot h = 0,040 \cdot 100 \cdot 20 = 80,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100 \cdot 20 = 44,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

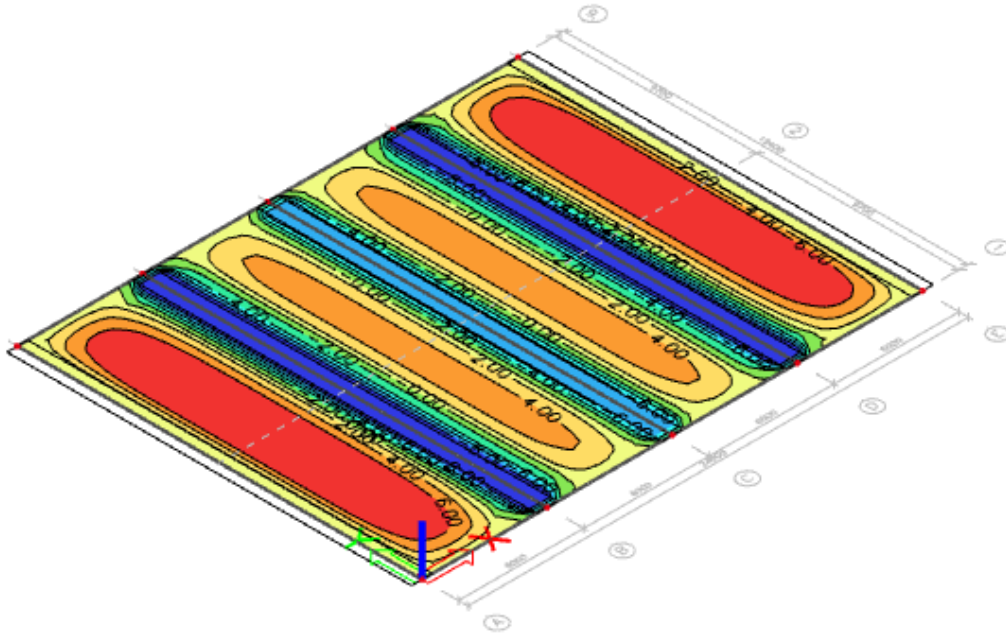
#### 10.1.4. Proračunske vrijednosti momenata savijanja



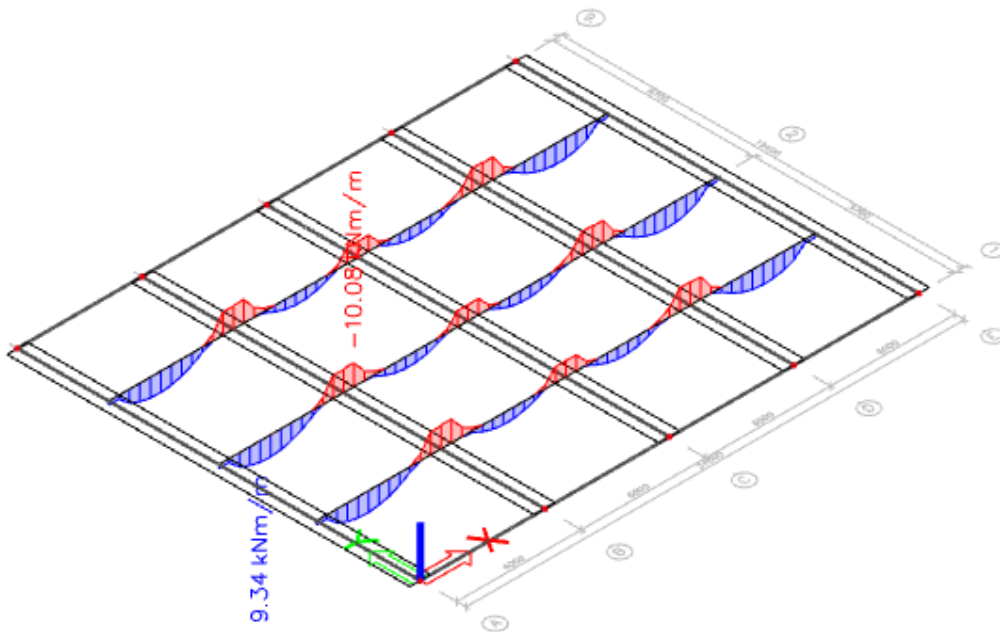
**Slika 10.5.** Maksimalni moment savijanja  $m_x$  za sve GSN kombinacije djelovanja – krovna ploča



**Slika 10.6.** Moment savijanja  $m_x$  u presjecima – krovna ploča



**Slika 10.7.** Maksimalni moment savijanja  $m_y$  za sve GSN kombinacije djelovanja – krovna ploča



**Slika 10.8.** Moment savijanja  $m_y$  u presjecima – krovna ploča

### 10.1.5. Dimenzioniranje ploče u polju

#### ▪ smjer x

Bezdimenzionalni moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{46,45 \cdot 100}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,076 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,076$  očitano:

$$\zeta = 0,951 \quad \xi = 0,123 \quad \varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_c = -2,8 \text{ ‰}$$

Potrebna površina armature u polju - smjer x:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{46,45 \cdot 100}{(0,951 \cdot 17,5) \cdot 43,478} = 6,42 \text{ cm}^2/m$$

#### ▪ smjer y

Bezdimenzionalni moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9,34 \cdot 100}{100 \cdot 16,5^2 \cdot 2,0} = 0,017 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,017$  očitano:

$$\zeta = 0,983 \quad \xi = 0,048 \quad \varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_c = -1,0 \text{ ‰}$$

Potrebna površina armature u polju - smjer x:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{9,34 \cdot 100}{(0,983 \cdot 16,5) \cdot 43,478} = 1,32 \text{ cm}^2/m$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{0,29}{50} \cdot 100 \cdot 17,5 = 2,64 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

#### Odabrana mreža Q 636

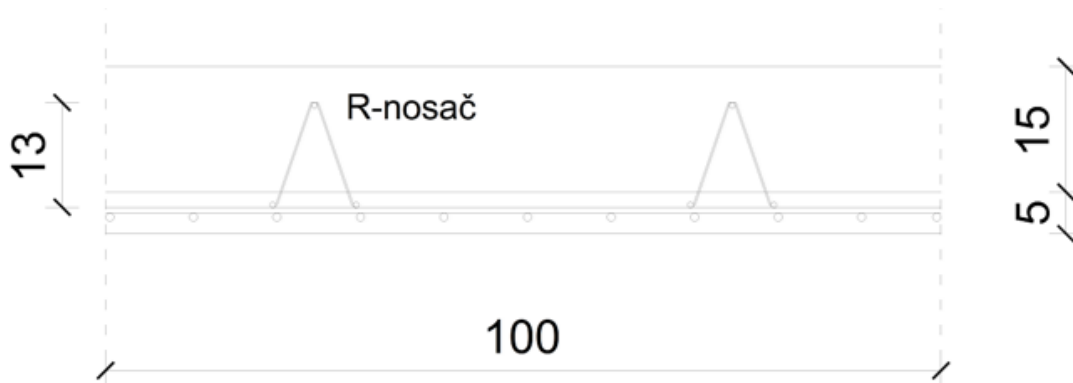
R nosači -  $4\phi 7/100 \text{ cm} \rightarrow A_s = 1,52 \text{ cm}^2/m$

Visina R nosača :  $h=13 \text{ cm}$

$$A_{s1,prov} = 6,36 + 1,52 = 7,88 \text{ cm}^2/m$$

$$A_{s1,prov} = 7,88 \text{ cm}^2/m > A_{s1,req} = 6,42 \text{ cm}^2/m$$

Zadovoljeni su uvjeti:  $A_{s1,min} < A_{s1,prov} < A_{s1,max}$



Slika 10.9. Presjek krovne ploče;  $b=100$  cm

Odabrana armatura nalazi se u području između minimalne i maksimalne armature:

$$2,64 < 7,88 < 44,00$$

### 10.1.6. Dimenzioniranje ploče nad ležajem

Statička visina presjeka  $d_{rub}$  na osloncu:

- Na rubu oslonca:

$$d_{1x} = c + \frac{\phi_1}{2} = 2,0 + \frac{1,0}{2} = 2,5 \text{ cm}$$

$$d_{rub,x} = h - d_{1x} = 20 - 2,5 = 17,5 \text{ cm}$$

#### a) Proračun potrebne armature na rubu oslonca

Bezdimenzionalni moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{62,58 \cdot 100}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,102 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,102$  očitano:

$$\zeta = 0,934 \quad \xi = 0,159 \quad \varepsilon_{s1} = 18,5 \text{ ‰} \quad \varepsilon_c = -3,5 \text{ ‰}$$

Potrebna površina armature:

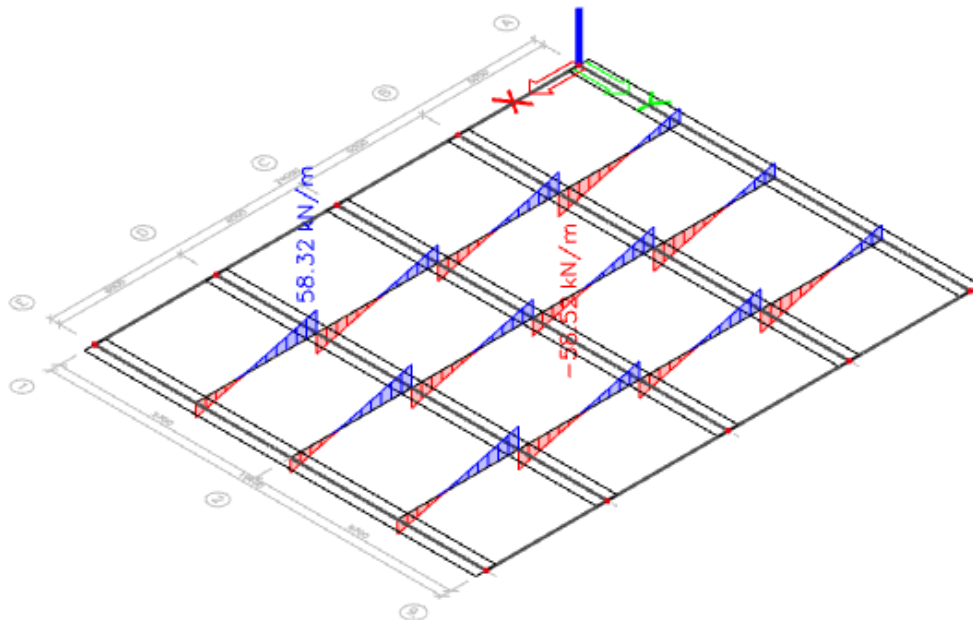
$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{62,58}{(0,934 \cdot 17,5) \cdot 43,478} = 8,81 \text{ cm}^2/m$$

Odabrana mreža Q785 + ojačanja šipkama  $\Phi = 10 / 33$  cm

$$A_{s1,prov} = 7,85 + 1,57 = 9,42 \text{ cm}^2/m$$

Zadovoljeni su uvjeti:  $A_{s1,min} < A_{s1,prov} < A_{s1,max}$

### 10.1.7. Proračun posmične otpornosti $V_{Rd,c}$



**Slika 10.10.** Maksimalna poprečna sila za sve GSN kombinacije – krovna ploča

U područjima gdje je  $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$  nije potrebno proračunati posmičnu armaturu.  $V_{Ed}$  je proračunska poprečna sila presjeka.

$$V_{Ed} = 58,32 \text{ kN}$$

Nosivost elementa na poprečnu silu bez poprečne armature

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{175}} = 2,07 \leq 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} = \frac{9,42}{100 \cdot 17,5} = 0,0053 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

Nema prednapinjanja, pa je  $\sigma_{cp} = 0$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,0053 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 175 = 106160 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 106,16 \text{ kN}$$

a ta vrijednost mora biti veća ili jednaka od:  $(v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d$

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

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

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 175 = 94888 \text{ N} = 94,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 58,32 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 106,16 \text{ kN}$$

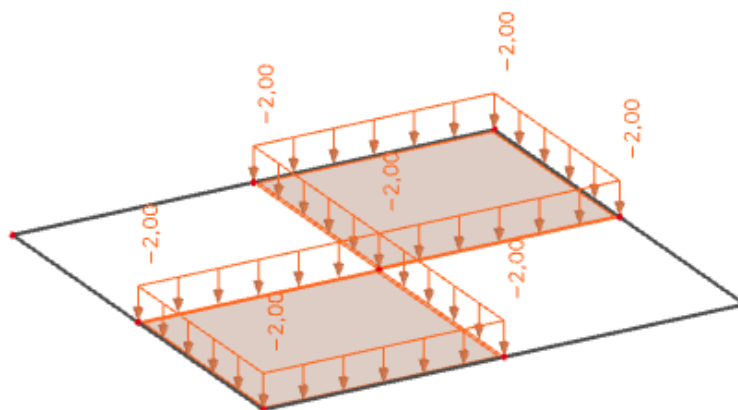
**Nije potrebna poprečna armatura ploče**

## 10.2. PRORAČUN MEĐUKATNE AB PLOČE

### 10.2.1. Sheme opterećenja

Za dobivanje maksimalnih momenata u polju te nad ležajem napravljene su sheme uporabnog opterećenja. Šahovsko uporabno opterećenje primijenjeno je za dobivanje maksimalnih momenata u polju, dok su opterećivanjem susjednih polja dobiveni maksimalni momenti nad ležajem.

Uporabno opterećenje se kombinira s vlastitom težinom i dodatnim stalnim opterećenjem.



*Slika 10.11. Shema opterećenja međukatne ploče*

### 10.2.2. Karakteristike materijala i dimenzije presjeka

- Karakteristike materijala

Beton: C30/37

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

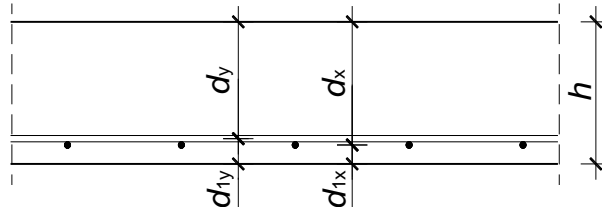
$\alpha_{cc} = 1,00$  koeficijent dugotrajnih učinaka na tlačnu čvrstoću



Čelik: B500B

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

- poprečni presjek ploče



Slika 10.12. Statičke visine presjeka međukatne ploče

- nazivni zaštitni sloj betona  $c_{nom} = 2,0 \text{ cm}$
- visina poprečnog presjeka  $h = 20 \text{ cm}$
- udaljenost od težišta armature  $d_{1x} = c + \frac{\phi_1}{2} = 2,0 + \frac{1,0}{2} = 2,5 \text{ cm}$   
 $d_{1y} = c + \phi_1 + \frac{\phi_2}{2} = 2,0 + 1,0 + \frac{1,0}{2} = 3,5 \text{ cm}$
- statička visina presjeka  $d_x = h - d_{1x} = 20 - 2,5 = 17,5 \text{ cm}$   
 $d_y = h - d_{1y} = 20 - 3,5 = 16,5 \text{ cm}$

### 10.2.3. Minimalna i maksimalna armatura ploča

#### smjer x:

- minimalna armatura

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

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{0,29}{50} \cdot 100 \cdot 17,5 = 2,64 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

- maksimalna armatura

$$A_{s1,max} = 0,040 \cdot A_c = 0,040 \cdot b \cdot h = 0,040 \cdot 100 \cdot 20 = 80,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100 \cdot 20 = 44,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

#### smjer y:

- minimalna armatura

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

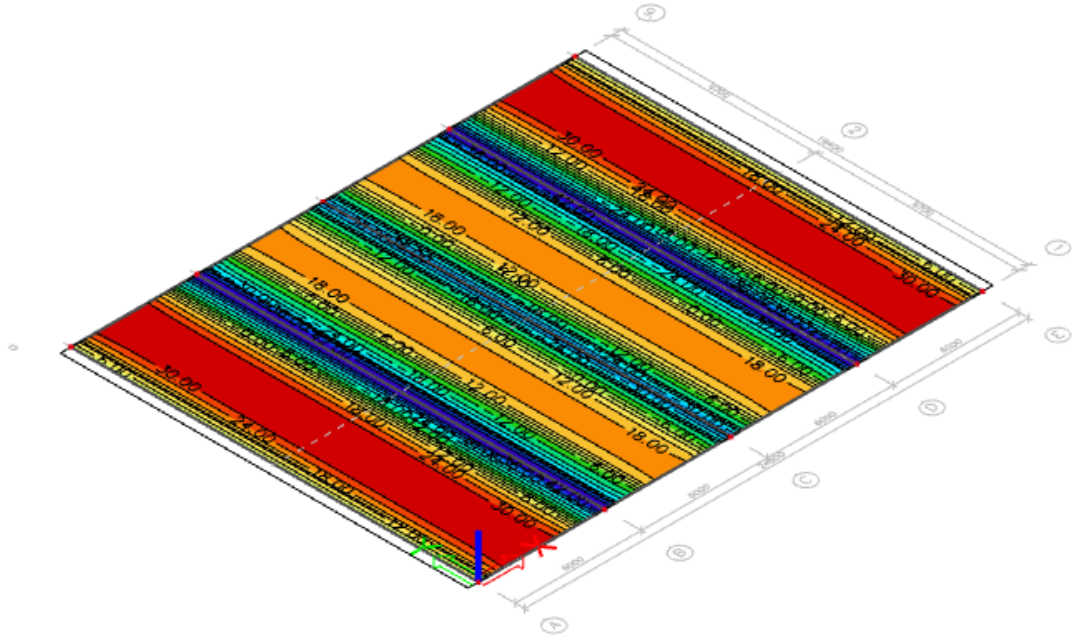
$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{0,29}{50} \cdot 100 \cdot 17,5 = 2,64 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

- maksimalna armatura

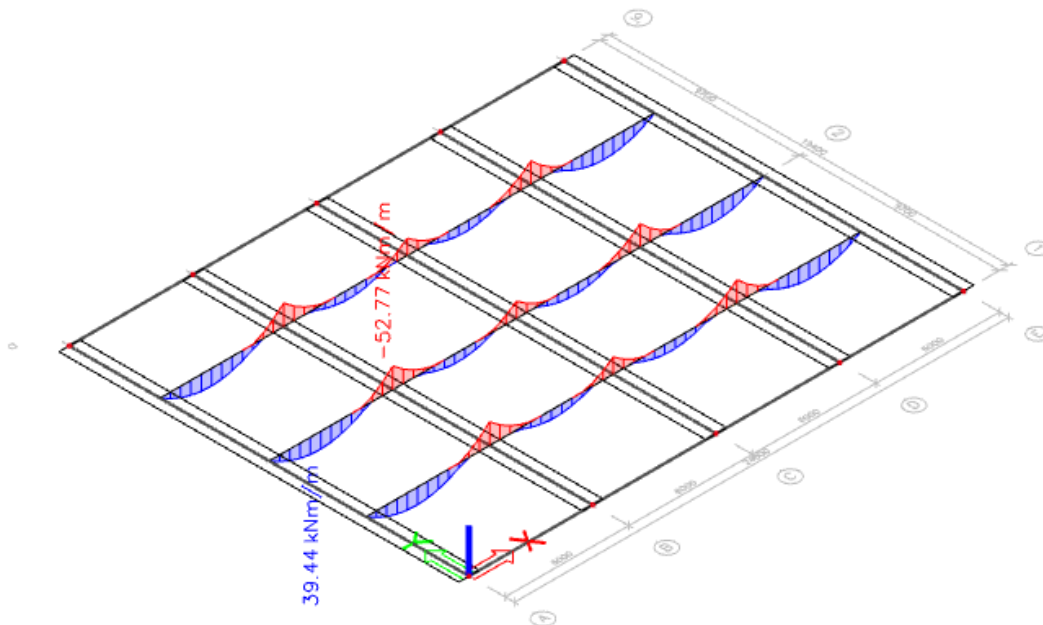
$$A_{s1,max} = 0,040 \cdot A_c = 0,040 \cdot b \cdot h = 0,040 \cdot 100 \cdot 20 = 80,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100 \cdot 20 = 44,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

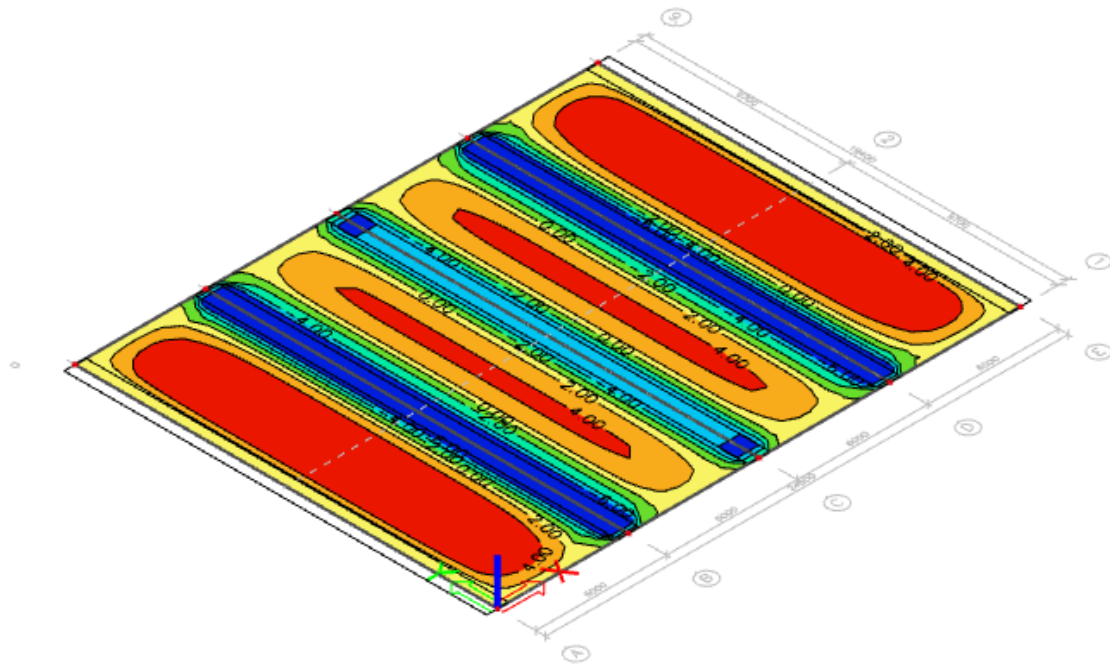
#### 10.2.4. Proračunske vrijednosti momenata savijanja



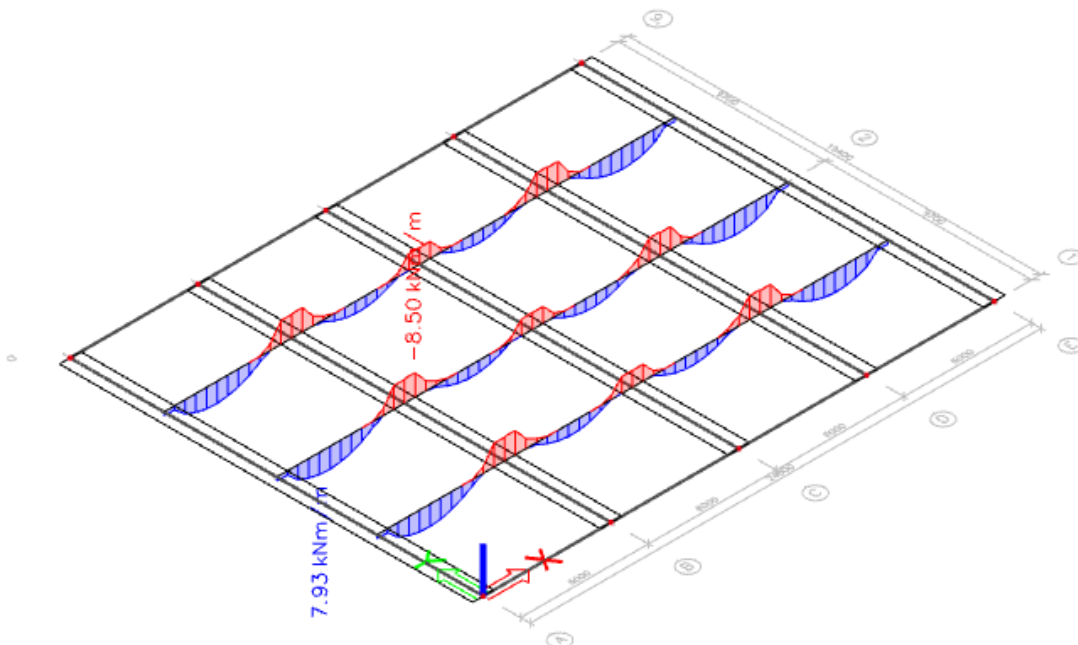
**Slika 10.13.** Maksimalni moment savijanja  $m_x$  za sve GSN kombinacije djelovanja – međukatna ploča



**Slika 10.14.** Moment savijanja  $m_x$  u presjecima – međukatna ploča



**Slika 10.15.** Maksimalni moment savijanja  $m_x$  za sve GSN kombinacije djelovanja – međukatna ploča



**Slika 10.16.** Moment savijanja  $m_y$  u presjecima – međukatna ploča

### 10.2.5. Dimenzioniranje ploče u polju

#### ▪ smjer x

Bezdimenzionalni moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{39,44 \cdot 100}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,064 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,066$  očitano:

$$\zeta = 0,957 \quad \xi = 0,111 \quad \varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_c = -2,5 \text{ ‰}$$

Potrebna površina armature u polju - smjer x:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{39,44 \cdot 100}{(0,957 \cdot 17,5) \cdot 43,478} = 5,47 \text{ cm}^2/m$$

#### ▪ smjer y

Bezdimenzionalni moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7,93 \cdot 100}{100 \cdot 16,5^2 \cdot 2,0} = 0,015 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,017$  očitano:

$$\zeta = 0,983 \quad \xi = 0,048 \quad \varepsilon_{s1} = 20,0 \text{ ‰} \quad \varepsilon_c = -1,0 \text{ ‰}$$

Potrebna površina armature u polju - smjer x:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{7,93 \cdot 100}{(0,983 \cdot 16,5) \cdot 43,478} = 1,11 \text{ cm}^2/m$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{0,29}{50} \cdot 100 \cdot 17,5 = 2,64 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

**Odabrana mreža Q 424**

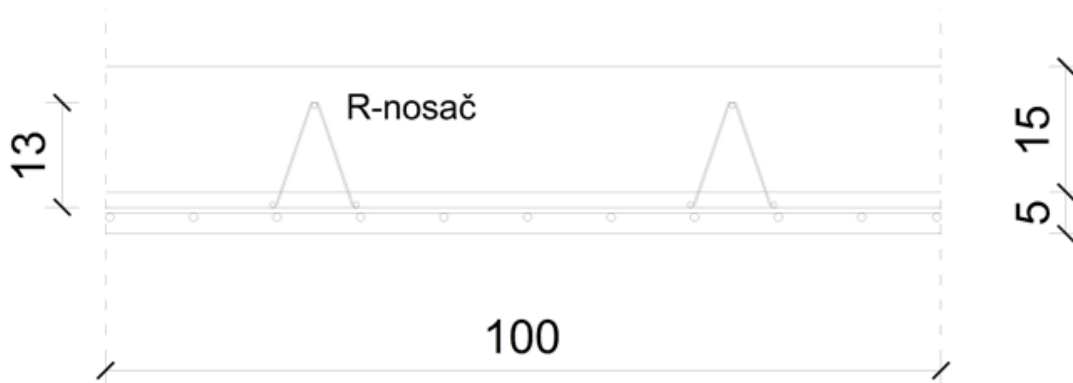
**R nosači** -  $4\phi 7/100 \text{ cm} \rightarrow A_s = 1,52 \text{ cm}^2/m$

Visina R nosača :  $h=13 \text{ cm}$

$$A_{s1,prov} = 4,24 + 1,52 = 5,76 \text{ cm}^2/m$$

$$A_{s1,prov} = 5,76 \text{ cm}^2/m > A_{s1,req} = 5,47 \text{ cm}^2/m$$

Zadovoljeni su uvjeti:  $A_{s1,min} < A_{s1,prov} < A_{s1,max}$



Slika 10.17. Presjek međukatne ploče;  $b=100$  cm

Odabrana armatura nalazi se u području između minimalne i maksimalne armature:

$$2,64 < 5,47 < 44,00$$

### 10.2.6. Dimenzioniranje ploče nad ležajem

Statička visina presjeka  $d_{rub}$  na osloncu:

- Na rubu oslonca:

$$d_{1x} = c + \frac{\phi_1}{2} = 2,0 + \frac{1,0}{2} = 2,5 \text{ cm}$$

$$d_{rub,x} = h - d_{1x} = 20 - 2,5 = 17,5 \text{ cm}$$

#### a) Proračun potrebne armature na rubu oslonca

Bezdimenzionalni moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{52,77 \cdot 100}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,096 < \mu_{lim} = 0,296$$

Za  $\mu_{Rd} = 0,096$  očitano:

$$\zeta = 0,938 \quad \xi = 0,149 \quad \varepsilon_{s1} = 20 \text{ ‰} \quad \varepsilon_c = -3,5 \text{ ‰}$$

Potrebna površina armature:

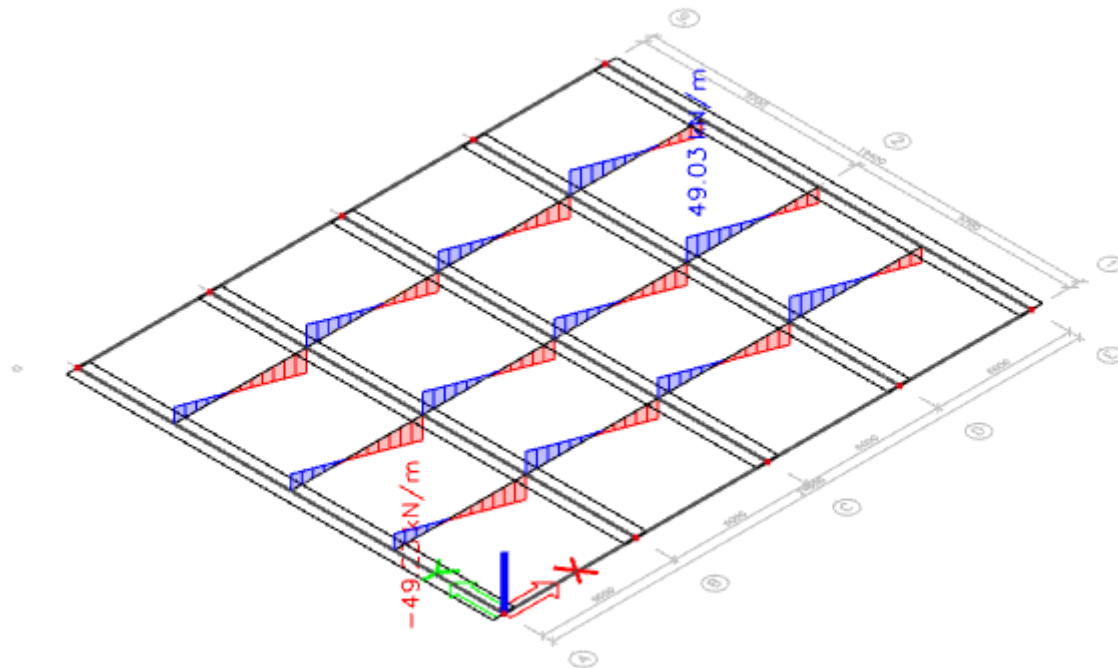
$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{52,77 \cdot 100}{(0,938 \cdot 17,5) \cdot 43,478} = 7,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

#### Odabrana mreža Q785

$$A_{s1,prov} = 7,85 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Zadovoljeni su uvjeti:  $A_{s1,min} < A_{s1,prov} < A_{s1,max}$

### 10.2.7. Proračun posmične otpornosti $V_{Rd,c}$



**Slika 10.18.** Maksimalna poprečna sila za sve GSN kombinacije – međukatna ploča

U područjima gdje je  $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$  nije potrebno proračunati posmičnu armaturu.  $V_{Ed}$  je proračunska poprečna sila presjeka.

$$V_{Ed} = 49,89 \text{ kN}$$

Nosivost elementa na poprečnu silu bez poprečne armature

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{175}} = 2,07 \leq 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_I = \frac{A_{sI}}{b \cdot d} = \frac{5,76}{100 \cdot 17,5} = 0,00329 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

Nema prednapinjanja, pa je  $\sigma_{cp} = 0$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00329 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 175 = 90105,5 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 90,11 \text{ kN}$$

a ta vrijednost mora biti veća ili jednaka od:  $(v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d$

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



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

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d = (0,542 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 175 = 94888 \text{ N} = 94,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 49,89 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 94,88 \text{ kN}$$

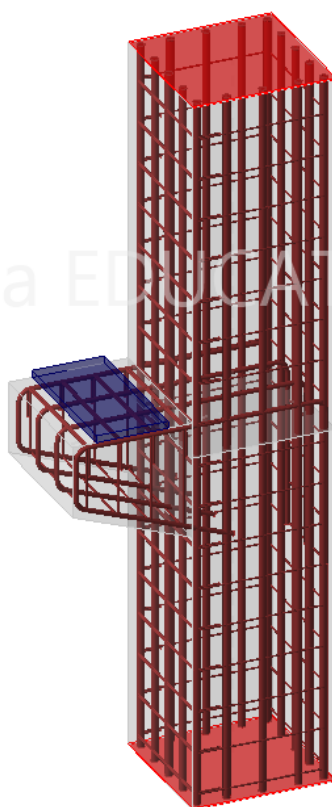
**Nije potrebna poprečna armatura ploče**

## 11. MODELIRANJE DETALJA KONSTRUKCIJE

Modeliranje detalja konstrukcije napravljeno je u programskom paketu IDEA StatiCa.

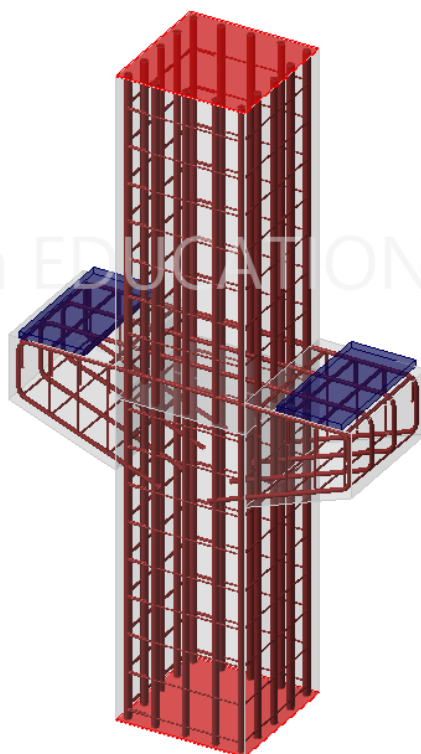
Detaljan proračun i dimenzioniranje detalja konstrukcije priloženi su kao zaseban dokument.

Prikaz 3D elemenata i detalja spoja konstrukcije

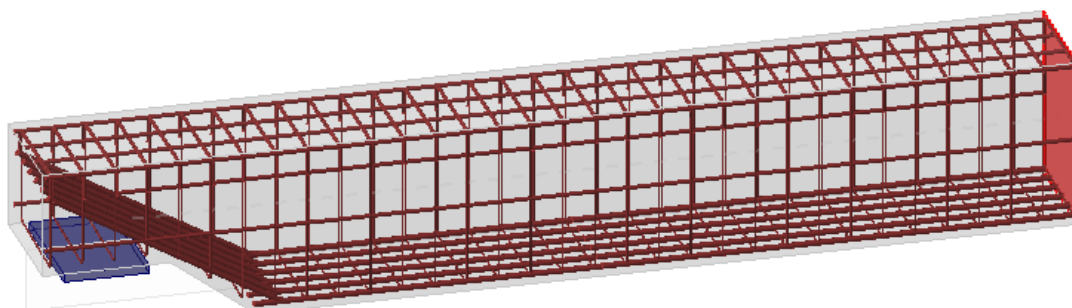


**Slika 11.1.** Prikaz 3D elementa kratke konzole rubnog stupa





**Slika 11.2.** Prikaz 3D elementa kratke konzole srednjeg stupa



**Slika 11.3.** Detalj oslanjanja grede – etaža 1 na kratku konzolu stupa



## 12. ZAKLJUČAK

Glavni zadatak diplomskog rada je bilo dimenzioniranje armiranobetonskog montažnog stambenog objekta. Diplomski rad je bio baziran na praktičnom dijelu te je napravljen model u programskom paketu SketchUp, dok je numerički model napravljen u programskom paketu Scia engineer.

Elementi su dimenzionirani prema Eurokodu 2 i Eurokodu 8, odnosno provjerena su granična stanja nosivosti i uporabivosti.

Armirano betonski stambeni objekt sastoji se od nosivih greda čiji je statički sustav prosta greda. Grede su oslonjene na kratkim konzolama stupova. Stupovi su upeti u temelje te je njihov statički sustav konzola. Također rađen je još proračun armiranobetonskih polumontažnih ploča.

Što se tiče opterećenja na halu, sva opterećenja od dodatnog stalnog, uporabnog, snijega te izvanrednog opterećenja od potresa uzeta su u obzir te su rezultati unutarnjih sila dobiveni programskim paketom Scia engineer.

Također, u diplomskom radu je napravljeno modeliranje elemenata (stup i greda) u paketu IDEA StatiCa, te su pojedini detalji razrađeni u 3D-u sučelju.

Nakon detaljnog proračuna i dimenzioniranja prema graničnom stanju nosivosti i uporabivosti dobivene su vrijednosti poprečnih presjeka i armature po elementima.

### **Rekapitulacija dobivenih vrijednosti:**

#### Temeljna stopa T0:

- Dimenzija čašica: 1,55 x 1,55 x 0,90 m
- Dimenzija temeljne stope: 4,0 x 4,0 x 0,8 m
- Odabrana armatura: 4 $\phi$ 14 (traka 1); 4 $\phi$ 14 (traka 2); 4 $\phi$ 20 (traka 3); 4 $\phi$ 20 (traka 4)

#### Srednji stupovi

- Dimenzija poprečnog presjeka (b/h): 0,60 x 0,60 m
- Odabrana uzdužna armatura: 16 $\phi$ 32
- Odabrana poprečna armatura:  $\phi$ 10/17,5 cm/10,5 cm

#### Rubni stupovi

- Dimenzija poprečnog presjeka (b/h): 0,60 x 0,60 m
- Odabrana uzdužna armatura: 16 $\phi$ 32
- Odabrana poprečna armatura:  $\phi$ 10/17,5 cm/10,5 cm

#### Grede – Etaža 1

- Dimenzije poprečnog presjeka (b/h): 0,60 x 0,80 m
- Odabrana uzdužna armatura: 6 $\phi$ 28 (donja zona); 4 $\phi$ 20 (gornja zona)
- Odabrana poprečna armatura:  $\phi$ 10/15 cm

Grede – Etaža 2

Dimenzije poprečnog presjeka (b/h): 0,60 x 0,80 m

Odabrana uzdužna armatura: 6 $\phi$ 32 (donja zona); 4 $\phi$ 22 (gornja zona)

Odabrana poprečna armatura:  $\phi$ 10/12 cm

„Omnia“ ploča – Etaža 1

Dimenzije poprečnog presjeka (b/h): 2,00 x 0,05 m

Odabrana uzdužno nosiva mreža: Q424 i R – nosači (glavna armatura 2  $\phi$ 7 + dopunska armatura 1 $\phi$ 7)

„Omnia“ ploča – Etaža 2

Dimenzije poprečnog presjeka (b/h): 2,00 x 0,05 m

Odabrana uzdužno nosiva mreža: Q636 i R – nosači (glavna armatura 2  $\phi$ 7 + dopunska armatura 1 $\phi$ 7)



### 13. POPIS LITERATURE

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DafStb): Heft 240
- [2] HRN EN 1991-1-1 Eurokod 1: -Djelovanja na konstrukciju- Dio 1-1: Opća djelovanja- Obujamske težine, vlastite težine i uporabno opterećenje zgrada
- [3] HRN EN 1991-1-3 Eurokod 1: -Djelovanja na konstrukciju- Dio 1-3: Opća djelovanja- Opterećenja snijegom
- [4] HRN EN 1991-1-6 Eurokod 1: -Djelovanja na konstrukciju- Dio 1-6: Opća djelovanja- Djelovanja tijekom izvedbe
- [5] HRN EN 1991-1-7 Eurokod 1: -Djelovanja na konstrukciju- Dio 1-7: Opća djelovanja- Izvanredna djelovanja
- [6] HRN EN 1992 Eurokod 2: -Betonske konstrukcije
- [7] HRN EN 1998-1-1 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade
- [8] HRN EN 1990 Eurokod 0: -Osnove proračuna konstrukcija
- [9] Sorić, Z., Kišiček T. (2014.) Betonske konstrukcije 1. Tiskara Zelina d.d.
- [10] Sorić, Z., Kišiček T. (2014.) Betonske konstrukcije 2. Tiskara Zelina d.d.
- [11] Sorić, Z., Kišiček T. (2013.) Betonske konstrukcije 3, Projektiranje betonskih konstrukcija prema europskim normama EN. Zagreb
- [12] <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php>. [Mrežno].
- [13] Predavanja i program iz kolegija Montažne armiranobetonske konstrukcije
- [14] Predavanja i program iz kolegija Betonske i zidane konstrukcije 2
- [15] Predavanja i program iz kolegija Betonske konstrukcije 3



## 14. POPIS SLIKA

<b>Slika 2.1.</b> Prikaz modernog stambenog objekta .....	3
<b>Slika 2.2.</b> Kompozitna stropna konstrukcija – sustav „Omnia“ .....	4
<b>Slika 2.3.</b> Prikaz podupiranja stropne ploče sustav „Omnia“ .....	5
<b>Slika 2.4.</b> Transport „Omnia“ ploče.....	5
<b>Slika 2.5.</b> Prikaz pozicioniranja stupa u temelj i međusobnog sprezanja .....	6
<b>Slika 2.6.</b> 3D model - okvir konstrukcije.....	7
<b>Slika 2.7.</b> 3D model konstrukcije.....	7
<b>Slika 2.8.</b> Lokacija konstrukcije .....	11
<b>Slika 3.1.</b> Prikaz 3D modela .....	15
<b>Slika 3.2.</b> Pozicija stupova .....	16
<b>Slika 3.3.</b> Pozicija greda .....	16
<b>Slika 4.1.</b> Presjek gipskartonskog pregradnog zida .....	18
<b>Slika 4.2.</b> Slojevi temeljne ploče.....	19
<b>Slika 4.3.</b> Presjek ploče 1. kata .....	20
<b>Slika 4.4.</b> Presjek krovne ploče.....	21
<b>Slika 4.5.</b> Stubište .....	22
<b>Slika 4.6.</b> Karta snježnih područja .....	25
<b>Slika 4.7.</b> Seizmološka karta Republike Hrvatske .....	26
<b>Slika 4.8.</b> Prikaz ubrzanja tla za promatranu lokaciju .....	27
<b>Slika 5.1.</b> Standardni numerički model .....	31
<b>Slika 5.2.</b> Numerički model stropne ploče.....	32
<b>Slika 5.3.</b> Numerički model stropne ploče – prikaz oslonaca .....	32
<b>Slika 5.4.</b> Treći numerički model .....	33
<b>Slika 5.5.</b> Prikaz dodatnog stalnog opterećenja.....	35
<b>Slika 5.6.</b> Opterećenje snijegom .....	35
<b>Slika 5.7.</b> Uporabno opterećenje Q.....	36
<b>Slika 5.8.</b> Uporabno opterećenje Q1.....	36
<b>Slika 5.9.</b> Uporabno opterećenje Q2.....	37
<b>Slika 5.10.</b> Uporabno opterećenje Q3.....	37
<b>Slika 5.11.</b> Uporabno opterećenje Q4.....	38
<b>Slika 5.12.</b> Uporabno opterećenje Q5.....	38
<b>Slika 5.13.</b> Uporabno opterećenje Q6.....	39
<b>Slika 6.1.</b> Oblik elastičnog spektra odziva .....	43
<b>Slika 6.2.</b> Računski spektar odziva.....	49
<b>Slika 6.3.</b> Ukupna masa konstrukcije po etažama.....	50
<b>Slika 6.4.</b> Prvi mod ( $T=1,00$ s).....	51
<b>Slika 6.5.</b> Drugi mod ( $T=0,72$ s) .....	51
<b>Slika 6.6.</b> Treći mod ( $T=0,66$ s) .....	52
<b>Slika 7.1.</b> Dijagram uzdužnih sila – srednji stup – najveća uzdužna sila za sve kombinacije djelovanja .....	53
<b>Slika 7.2.</b> Proračunski moment savijanja vitkih stupova – teorija II reda.....	54

<b>Slika 7.3.</b> Maksimalna uzdužna sila - srednji stup – GSN kombinacija .....	55
<b>Slika 7.4.</b> Dijagram za dimenzioniranje simetrično armiranih pravokutnih presjeka, $\alpha = 0,10$ . .....	58
<b>Slika 7.5.</b> Maksimalna uzdužna sila – srednji stup - seizmička kombinacija .....	59
<b>Slika 7.6.</b> Maksimalni moment savijanja $M_y$ – srednji stup – seizmička kombinacija .....	62
<b>Slika 7.7.</b> Maksimalni moment savijanja $M_z$ – srednji stup – seizmička kombinacija .....	62
<b>Slika 7.8.</b> Dijagram za dimenzioniranje pravokutnih presjeka na koso savijanje – armatura simetrično raspoređena po stranicama .....	65
<b>Slika 7.9.</b> Horizontalni pomak srednjeg stupa izazvan seizmičkim djelovanjem .....	68
<b>Slika 7.10.</b> Dijagram uzdužnih sila – rubni stup – najveća uzdužna sila za sve kombinacije djelovanja .....	69
<b>Slika 7.11.</b> Maksimalna uzdužna sila – rubni stup - GSN kombinacija .....	70
<b>Slika 7.12.</b> Maksimalna uzdužna sila – rubni stup - seizmička kombinacija .....	73
<b>Slika 7.13.</b> Maksimalni moment savijanja $M_y$ – rubni stup – seizmička kombinacija .....	75
<b>Slika 7.14.</b> Maksimalni moment savijanja $M_z$ – rubni stup – seizmička kombinacija.....	76
<b>Slika 7.15.</b> Dijagram interakcije za dvoosno savijanje .....	78
<b>Slika 7.16.</b> Horizontalni pomak rubnog stupa izazvan seizmičkim djelovanjem .....	81
<b>Slika 7.17.</b> Štapni mehanizam u kratkom elementu .....	82
<b>Slika 7.18.</b> Maksimalna poprečna sila na konzoli.....	82
<b>Slika 7.19.</b> Vrijednost uzdužne sile na konzoli .....	83
<b>Slika 7.20.</b> Prikaz opterećenja na konzolu .....	83
<b>Slika 7.21.</b> Ekscentricitet vertikalnog opterećenja kratke konzole .....	84
<b>Slika 8.1.</b> Presjek temeljne stope i čašice uz objašnjena oznaka .....	86
<b>Slika 8.2.</b> Maksimalna uzdužna sila u peti stupa za sve seizmičke kombinacije .....	89
<b>Slika 8.3.</b> Maksimalna uzdužna sila u peti stupa za sve karakteristične kombinacije .....	89
<b>Slika 8.4.</b> Maksimalna uzdužna sila u peti stupa za sve nazovistalne kombinacije .....	90
<b>Slika 8.5.</b> Maksimalna poprečna sila u peti stupa za sve seizmičke kombinacije – $V_z$ .....	90
<b>Slika 8.6.</b> Maksimalna poprečna sila u peti stupa za sve seizmičke kombinacije – $V_y$ .....	91
<b>Slika 8.7.</b> Maksimalni momenti savijanja $M_y$ u peti stupa za sve seizmičke kombinacije.....	91
<b>Slika 8.8.</b> Maksimalni momenti savijanja $M_x$ u peti stupa za sve seizmičke kombinacije.....	92
<b>Slika 8.9.</b> Proračunski moment savijanja – teorija II reda.....	92
<b>Slika 8.10.</b> Prikaz jezga presjeka uz objašnjenje oznaka .....	93
<b>Slika 8.11.</b> Presjek temeljne čašice i stope uz objašnjenje oznaka .....	96
<b>Slika 8.12.</b> Prikaz naprezanja tla ispod temeljne stope .....	99
<b>Slika 9.1.</b> Maksimalni momenti savijanja $M_y$ u gredi za sve GSN kombinacije djelovanja....	101
<b>Slika 9.2.</b> Maksimalne poprečne sile u gredi za sve GSN kombinacije djelovanja.....	101
<b>Slika 9.3.</b> Poprečni presjek grede i stropne ploče – etaža 2 .....	102
<b>Slika 9.4.</b> Reakcija $R_z$ na osloncu greda – etaža 2 .....	105
<b>Slika 9.5.</b> Maksimalni progib grede za sve GSU kombinacije djelovanja .....	107
<b>Slika 9.6.</b> Poprečni presjek grede i stropne ploče – etaža 1 .....	108
<b>Slika 9.7.</b> Reakcija $R_z$ na osloncu greda – etaža 1 .....	111
<b>Slika 9.8.</b> Maksimalni progib grede za sve GSU kombinacije djelovanja .....	113
<b>Slika 10.1.</b> Primjer R nosača .....	114
<b>Slika 10.2.</b> Prikaz armiranja „Omnia ploče“ .....	114



<b>Slika 10.3.</b> Shema opterećenja krovne ploče.....	115
<b>Slika 10.4.</b> Statičke visine presjeka krovne ploče.....	116
<b>Slika 10.5.</b> Maksimalni moment savijanja $m_x$ za sve GSN kombinacije djelovanja – krovna ploča .....	117
<b>Slika 10.6.</b> Moment savijanja $m_x$ u presjecima – krovna ploča .....	117
<b>Slika 10.7.</b> Maksimalni moment savijanja $m_y$ za sve GSN kombinacije djelovanja – krovna ploča .....	118
<b>Slika 10.8.</b> Moment savijanja $m_y$ u presjecima – krovna ploča .....	118
<b>Slika 10.9.</b> Presjek krovne ploče; $b=100$ cm.....	120
<b>Slika 10.10.</b> Maksimalna poprečna sila za sve GSN kombinacije – krovna ploča .....	121
<b>Slika 10.11.</b> Shema opterećenja međukatne ploče .....	122
<b>Slika 10.12.</b> Statičke visine presjeka međukatne ploče .....	123
<b>Slika 10.13.</b> Maksimalni moment savijanja $m_x$ za sve GSN kombinacije djelovanja – međukatna ploča.....	124
<b>Slika 10.14.</b> Moment savijanja $m_x$ u presjecima – međukatna ploča .....	124
<b>Slika 10.15.</b> Maksimalni moment savijanja $m_x$ za sve GSN kombinacije djelovanja – međukatna ploča.....	125
<b>Slika 10.16.</b> Moment savijanja $m_y$ u presjecima – međukatna ploča .....	125
<b>Slika 10.17.</b> Presjek međukatne ploče; $b=100$ cm .....	127
<b>Slika 10.18.</b> Maksimalna poprečna sila za sve GSN kombinacije – međukatna ploča.....	128
<b>Slika 11.1.</b> Prikaz 3D elementa kratke konzole rubnog stupa.....	130
<b>Slika 11.2.</b> Prikaz 3D elementa kratke konzole srednjeg stupa .....	131
<b>Slika 11.3.</b> Detalj oslanjanja grede – etaža 1 na kratku konzolu stupa.....	131



## 15. POPIS TABLICA

<b>Tablica 4.1.</b> Prikaz slojeva temeljne ploče .....	19
<b>Tablica 4.2.</b> Prikaz slojeva ploče 1. kata .....	20
<b>Tablica 4.3.</b> Prikaz slojeva krovne ploče .....	21
<b>Tablica 4.4.</b> Uporabne kategorije.....	23
<b>Tablica 4.5.</b> Uporabna opterećenaj stropova, balkona i stubišta u zgradama .....	23
<b>Tablica 4.6.</b> Osnovna vrijednost opterećenja snijegom.....	24
<b>Tablica 4.7.</b> Tip temeljnog tla.....	28
<b>Tablica 4.8.</b> Prikaz parametara spekta za oabranu kategoriju tla.....	28
<b>Tablica 4.9.</b> Ulazni podaci za proračun potresnog opterećenja .....	29
<b>Tablica 5.1.</b> Prikaz svih opterećenja.....	34
<b>Tablica 5.2.</b> Grupe opterećenja.....	34
<b>Tablica 6.1.</b> Tipovi temeljnog tla .....	42
<b>Tablica 6.2.</b> Vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni elastični spektar odziva.....	44
<b>Tablica 6.3.</b> Preporučene vrijednosti parametara koje opisuje vertikalni elastični spektar odziva .....	45
<b>Tablica 6.4.</b> Potresni parametri.....	49
<b>Tablica 6.5.</b> Prikaz aktivacije masa.....	50
<b>Tablica 8.1.</b> Vrijednosti opterećenja za stup.....	93
<b>Tablica 8.2.</b> Maksimalne rezne sile iz pete stupa.....	97
<b>Tablica 8.3.</b> Koeficijenti raspodjele momenata savijanja (armature).....	99





## 16. POPIS PRILOGA

### Modeliranje detalja konstrukcije

1. Detaljan proračun i dimenzioniranje detalja konstrukcije (IDEA StatiCa)
2. Dispozicija montažnog objekta, presjek A-A, presjek B-B (M 1:100)
3. Presjek B-B (zabatni dio) montažnog objekta (M 1:100)
4. Plan oplata grede – etaža 1 (M 1:50)
5. Plan armature grede – etaža 1 (M 1:100; 1:10)
6. Plan oplata grede – etaža 2 (M 1:50)
7. Plan armature grede – etaža 2 (M 1:100; 1:10)
8. Plan oplata rubnog stupa (M 1:50)
9. Plan armature rubnog stupa (M 1:50)
10. Plan oplata srednjeg stupa (M 1:50)
11. Plan armature srednjeg stupa (M 1:50)
12. Plan oplata temelja stupa (M 1:50)
13. Plan armature temelja stupa (M 1:50)
14. Plan oplata „Omnia“ ploča
15. Plan armature AB ploča – etaža 1 – donja zona
16. Plan armature AB ploča – etaža 1 – gornja zona
17. Plan armature AB ploča – etaža 2 – donja zona
18. Plan armature AB ploča – etaža 2 – gornja zona

**STATIČKI PRORAČUN I  
DIMENZIONIRANJE KRATKE  
KONZOLE RUBNOG STUPA**

Project:  
Project no:  
Author:

## Materials

### Concrete

Name	$f_{ck}$ [MPa]	$f_{ctk,0.05}$ [MPa]	$f_{ctm}$ [MPa]	$E_{cm}$ [MPa]
C35/45	35,0	2,2	3,2	34077,1
	$\epsilon_{c2} = 20,0 \cdot 10^{-4}$ , $\epsilon_{cu2} = 500,0 \cdot 10^{-4}$ , Diagram type: Parabolic Creep coefficient: 2,50			

### Reinforcement

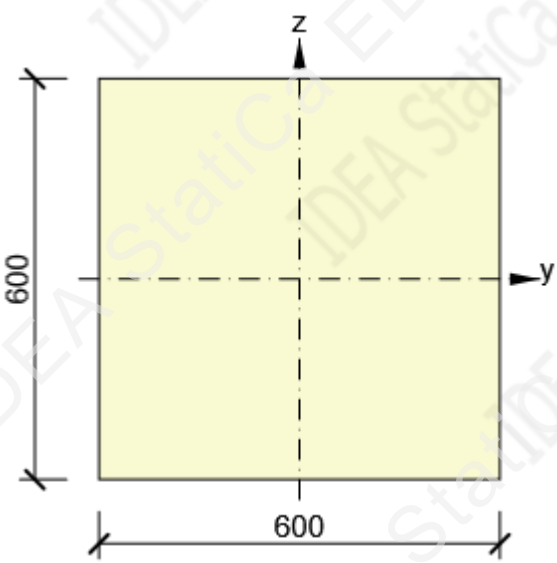
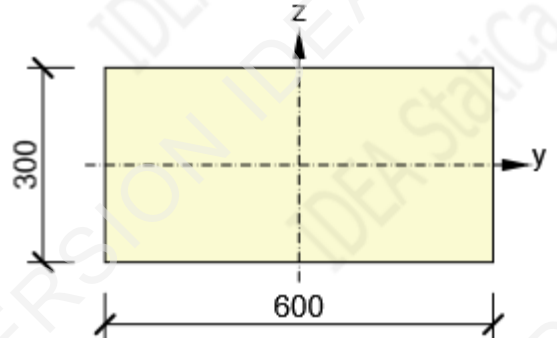
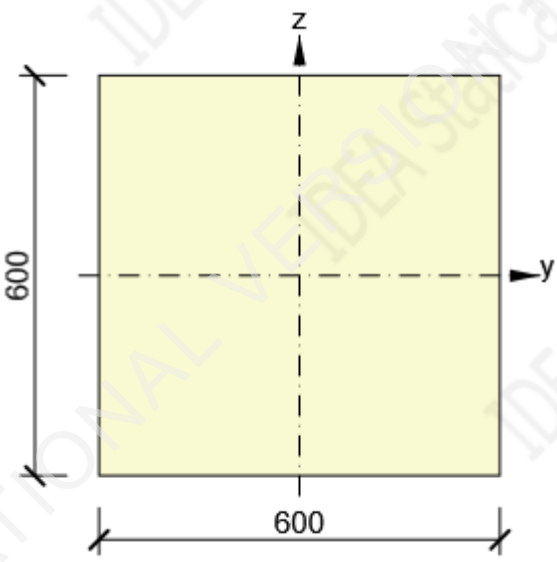
Name	$f_{yk}$ [MPa]	k [-]	$E_s$ [MPa]	Unit mass [kg/m <sup>3</sup> ]	$\epsilon_{uk}$ [1e-4]	Surface
B 500B	500,0	1,08	200000,0	7850	500,0	Ribbed
	$\epsilon_{st} = 500,0 \cdot 10^{-4}$ , $\epsilon_{sc} = 500,0 \cdot 10^{-4}$ ,					

### Steel

Name	E [MPa]
S 355	210000,0

## Cross-sections

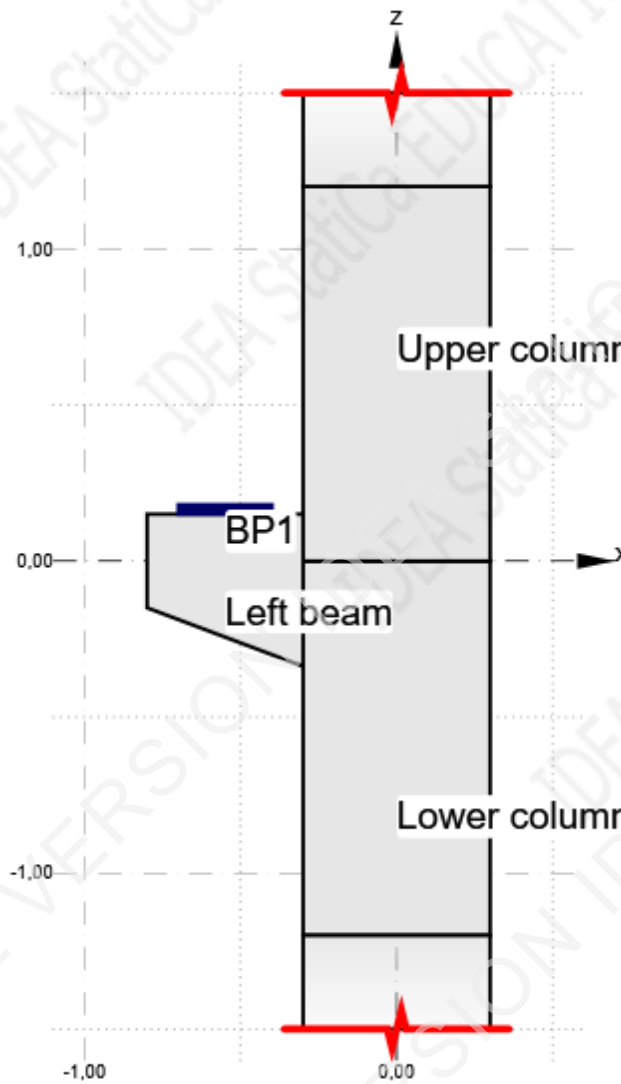
Project:  
Project no:  
Author:

Name	Material	Master	Picture
1 - Rectangle 600, 600	C35/45	DRM1: FJ1	
3 - Rectangle 300, 600	C35/45	DRM1: FJ1	
2 - Rectangle 600, 600	C35/45	DRM1: FJ1	

**DRM1**

Project:  
 Project no:  
 Author:

## Geometry



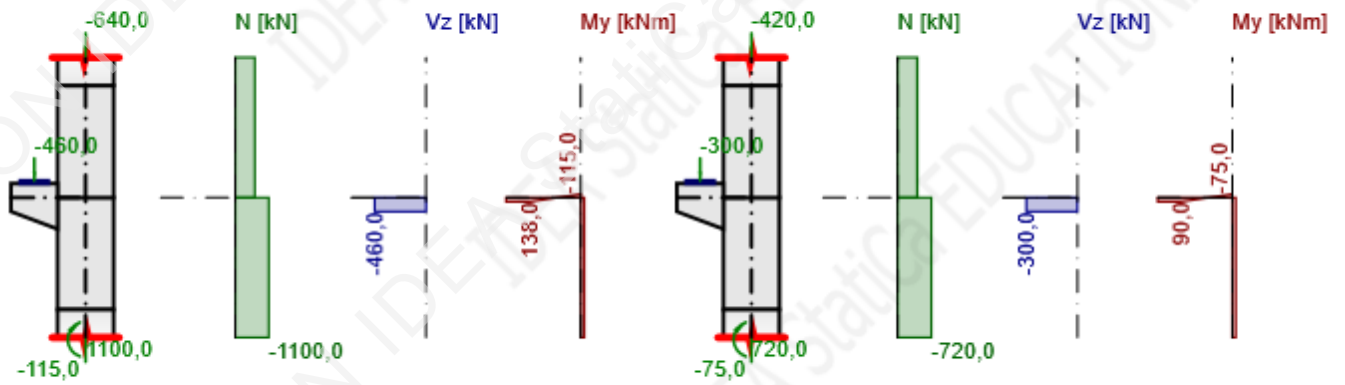
### Overview table

Name	Type	Properties	Position
FJ1	Frame joint	Cross joint; Left beam; L: 0,80 m; Cross-section: 3,2; ; Lower column; L: 1,50 m; Cross-section: 1; $\alpha$ : 90,0°; Trimmed at: Begin; Upper column; L: 1,50 m; Cross-section: 1; $\alpha$ : 90,0°; Trimmed at: End	
BP1	Bearing plate	W: 0,30 m; T: 0,03 m; Material: S 355	M: Left beam, Edge 3; From end; X: 0,25 m

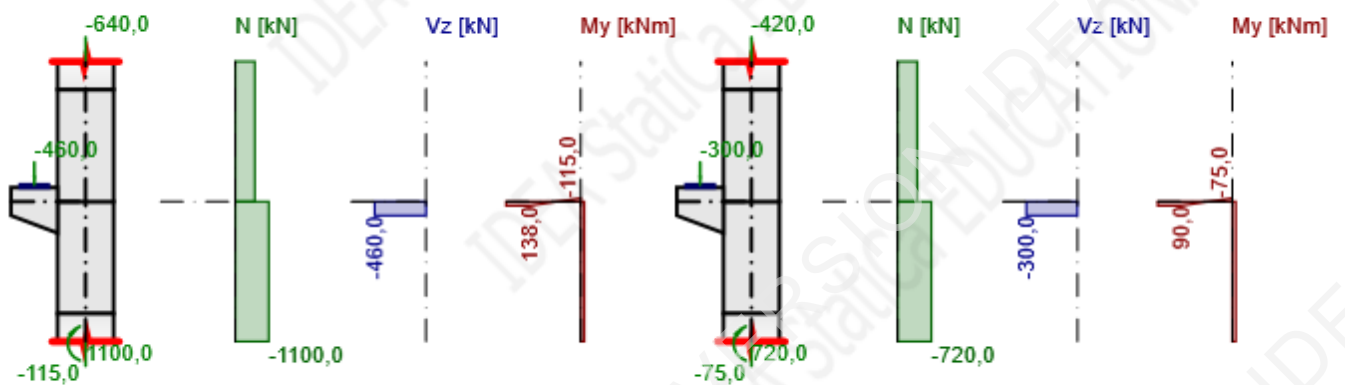
Project:  
Project no:  
Author:

## Loads

GSN, GSU

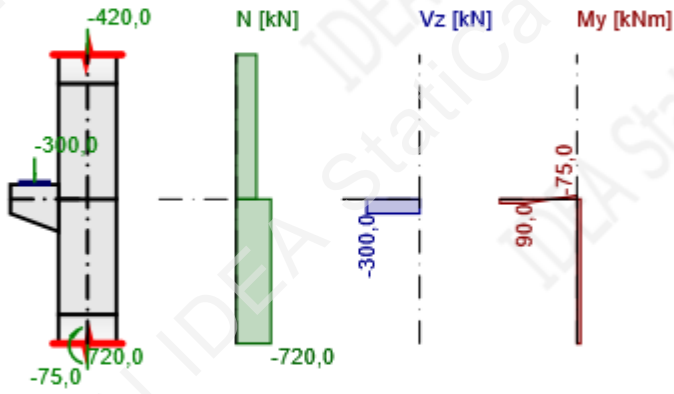


GSN, GSU



Project:  
Project no:  
Author:

GSU 2



Load case GSN - Variable

Internal forces in supports or sections

Member	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
Lower column	1,50 m (Left)	-1100,0	0,0	115,0
Upper column	0,00 m (Right)	-640,0	0,0	0,0
Left beam	0,80 m (Left)	0,0	-460,0	-115,0

Point loads

Name	F [kN]	Direction	Master	Position [X;Z]
PI1	-460,0	Global Z	BP1	-

Load case GSU - Permanent

Internal forces in supports or sections

Member	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
Lower column	1,50 m (Left)	-720,0	0,0	75,0
Upper column	0,00 m (Right)	-420,0	0,0	0,0
Left beam	0,80 m (Left)	0,0	-300,0	-75,0

Point loads

Name	F [kN]	Direction	Master	Position [X;Z]
PI2	-300,0	Global Z	BP1	-

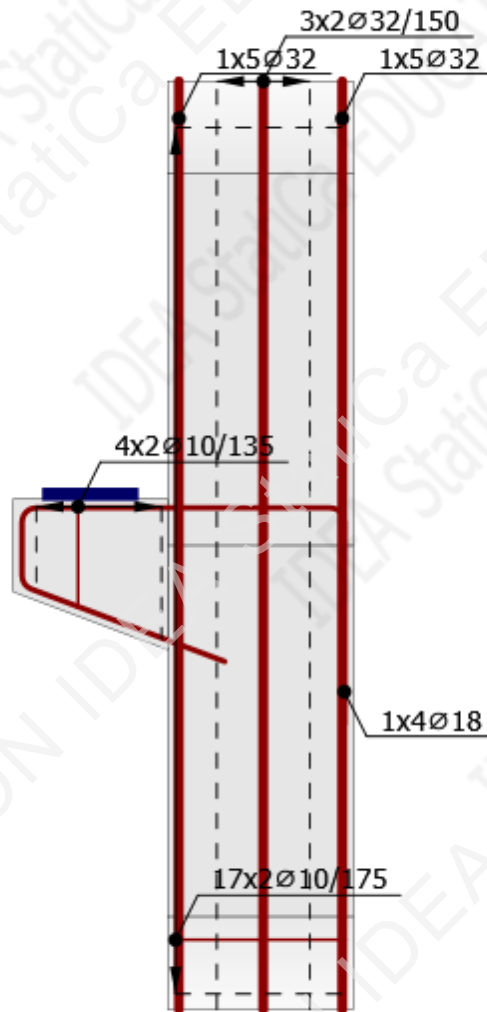
Project:  
 Project no:  
 Author:

**Combination**

Name	Type	Content
GSN	ULS	GSN
GSU	SLS - Quasi-permanent	GSU
GSU 2	SLS - Characteristic	GSU

**Reinforcement**

**Scheme of reinforcement**



Concrete: C35/45; Steel: B 500B



Project:  
Project no:  
Author:

## Results

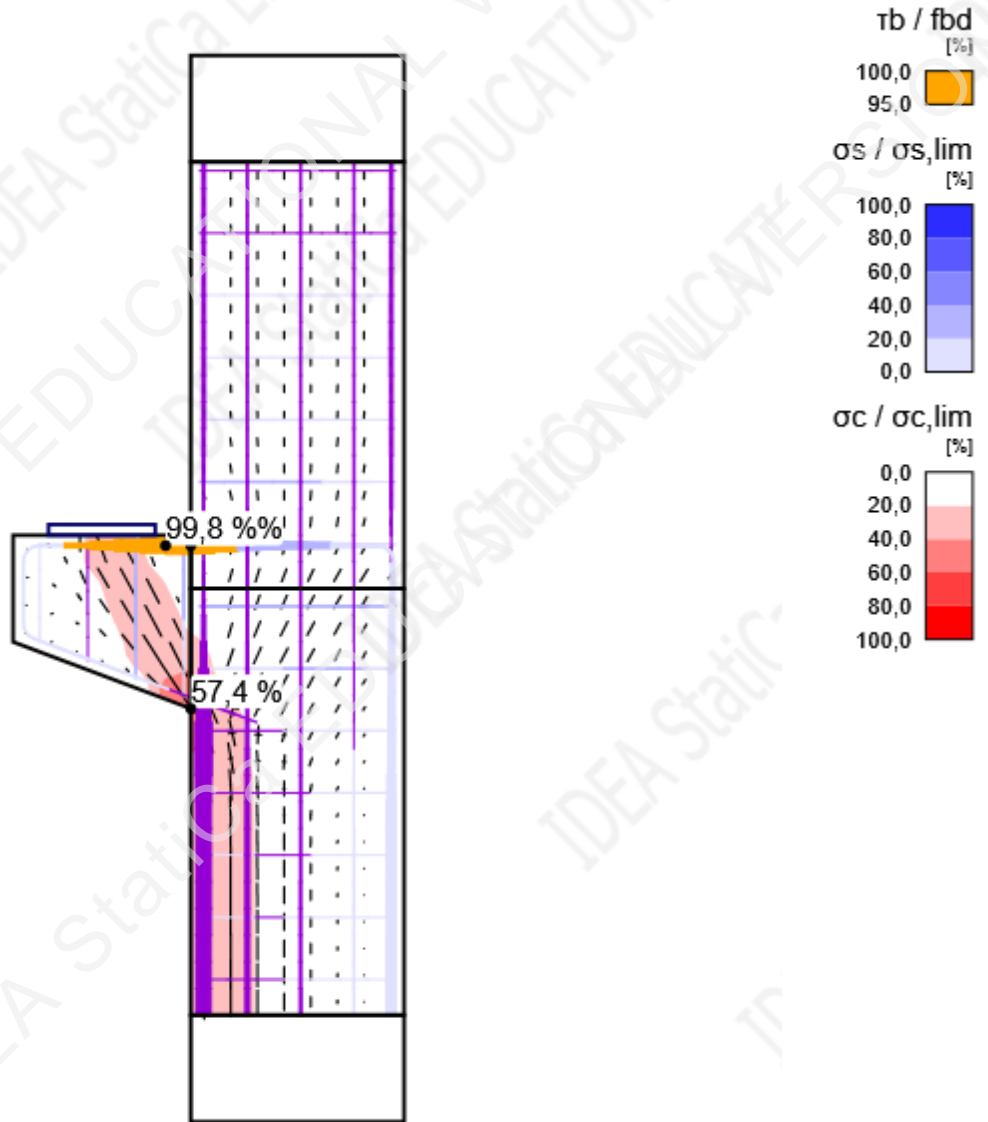
### Summary

#### Overview table

Check item	Combination	Increment	Item			
ULS	GSN	G100,0%, V100,0%	Strength of reinforcement	✓		
Check item		Item	Utilization			
Strength of concrete		Left beam	$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$ : 57,4%	✓		
Strength of reinforcement		Uzd. arm. konzola	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$ : 7,4%, $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$ : 52,1%	✓		
Anchorage length		Uzd. arm. konzola	tb/fbd: 99,8%	✓		
SLS	GSU (ST)	G100,0%	Stress limitation	✓		
Check item	Combination	Increment	Critical check	Item	Utilization	
Stress limitation	GSU (ST)	G100,0%	7.2(3)	Left beam	56,3%	✓
Crack width	GSU (LT)	G100,0%	w/wlim	Uzd. arm. konzola	46,2%	✓

Project:  
 Project no:  
 Author:

**ULS - Summary**  
**Stress flow**



Above yield	Compression	Explanation
		Thickness proportional to force

Summary of reactions and applied loads: GSN, Load increment: G100,0%, V100,0%

Type	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>z</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]
Summary of reactions	0,0	0,0	-90,0
Summary of applied load	0,0	0,0	90,0
Check of equilibrium	0,0	0,0	0,0

Project:  
Project no:  
Author:

## ULS - Strength

Detailed concrete strength results: GSN, Load increment: G100,0%, V100,0%

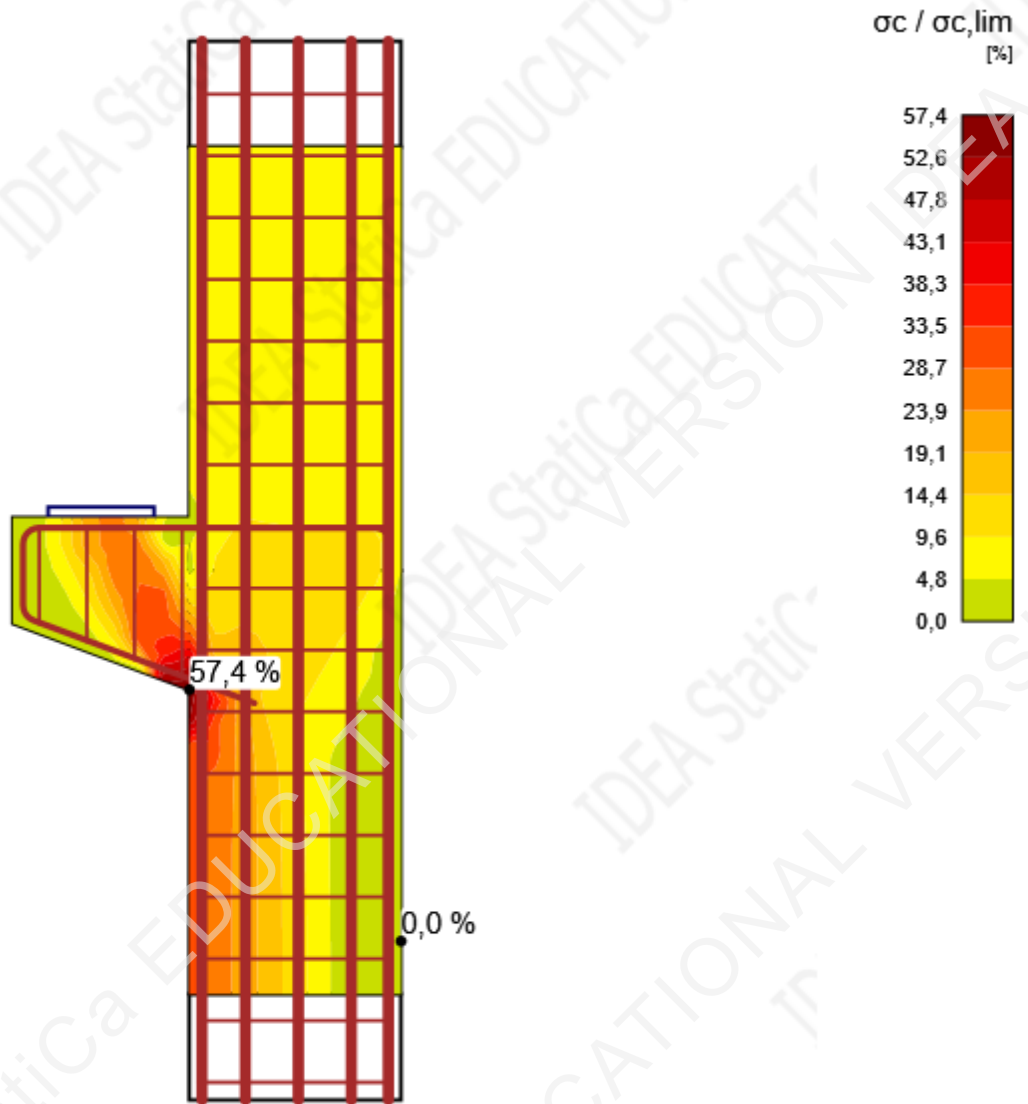
Member	X [m]	Z [m]	$\sigma_c$ [MPa]	$\epsilon_c$ [1e-4]	$k_{c2}$ [-]	$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$ [%]	
Left beam	-0,30	-0,34	-12,7	-6,6	1,00	57,4	OK
Lower column	-0,30	-0,34	-12,2	-6,3	1,00	55,1	OK
Upper column	0,08	0,00	-2,5	-1,1	1,00	11,4	OK
Upper column	0,30	0,07	-1,3	-0,6	1,00	5,8	OK
Lower column	0,30	-1,12	0,0	0,0	1,00	0,1	OK
Left beam	-0,37	0,15	0,0	0,0	0,76	0,0	OK

Detailed reinforcement strength results: GSN, Load increment: G100,0%, V100,0%

Member	X [m]	Z [m]	$\sigma_s$ [MPa]	$\epsilon_s$ [1e-4]	$\sigma_s/\sigma_{s,lim}$ [%]	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$ [%]	
Uzd. arm. konzola	-0,30	0,12	244,7	7,9	52,1	7,4	OK
Vilice stup	-0,21	0,13	223,0	2,6	47,5	6,1	OK
Uzd. arm. konzola	-0,37	0,12	272,1	12,0	57,9	4,7	OK
Vilice konzola	-0,46	-0,03	169,1	1,4	36,0	3,4	OK
Uzd. arm stupa uz konzolu	-0,26	-0,45	-65,1	-3,3	13,9	0,7	OK
Uzd. arm stupa sredina	-0,14	-1,20	-40,9	-2,0	8,7	0,5	OK
Uzd. arm stupa suprotan kraj	0,26	-1,20	37,7	0,7	8,0	0,2	OK
Uzd. arm stupa suprotan kraj	0,26	-0,60	32,9	0,8	7,0	0,2	OK
Uzd. arm stupa uz konzolu	-0,26	0,15	-3,7	-0,2	0,8	0,0	OK
Uzd. arm stupa sredina	0,16	-1,20	11,0	0,1	2,3	0,0	OK

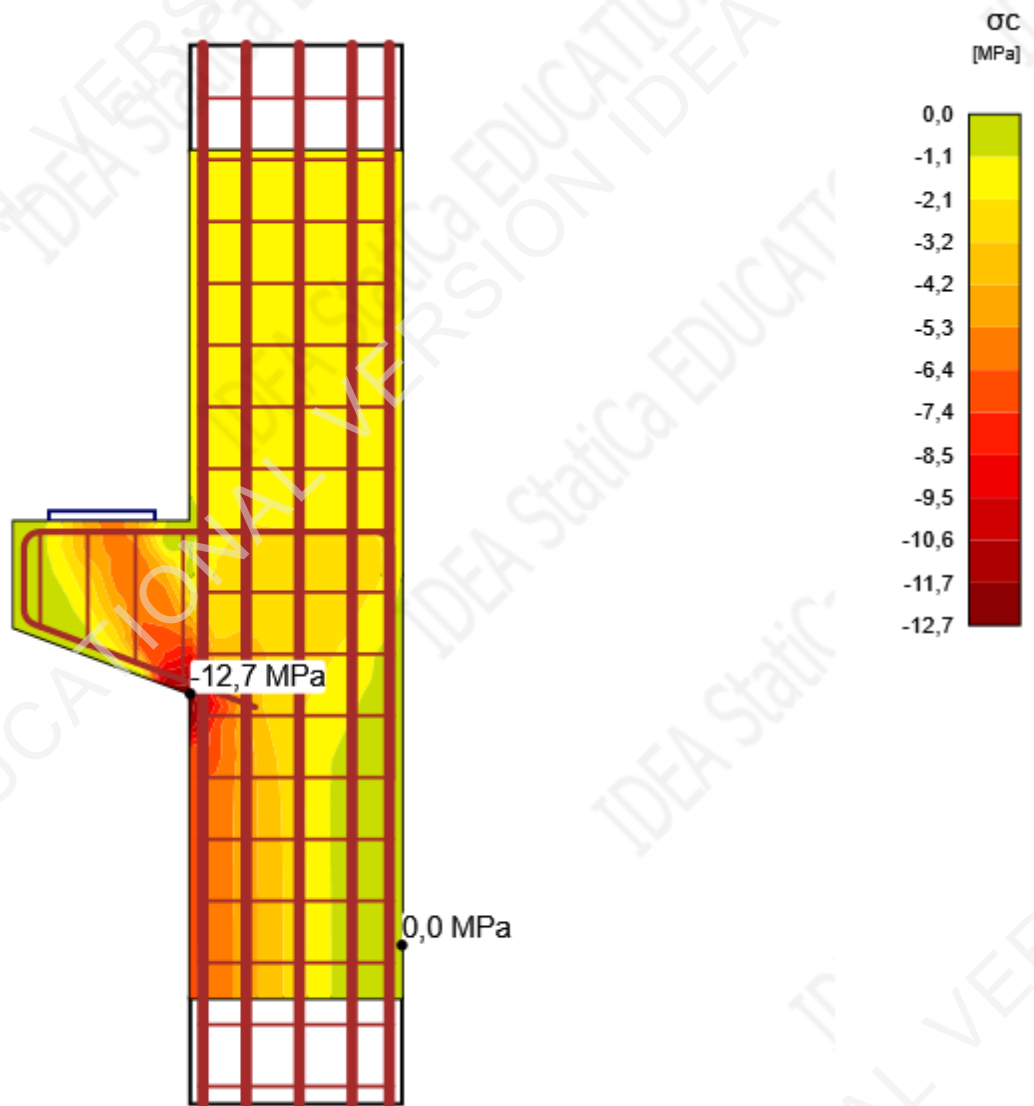
Project:  
Project no:  
Author:

Concrete stress/strength ratio



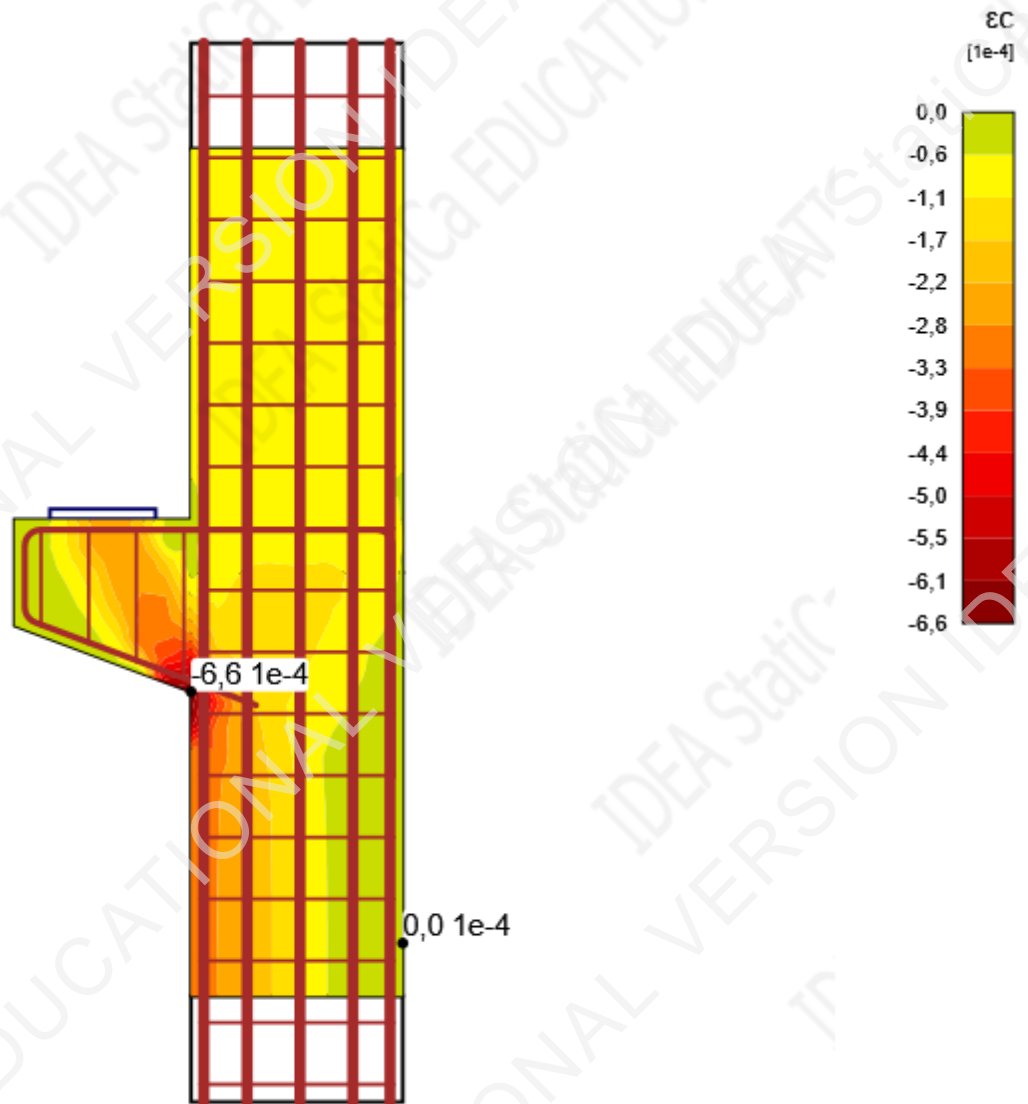
Project:  
Project no:  
Author:

Concrete principal stress  $\sigma_c$



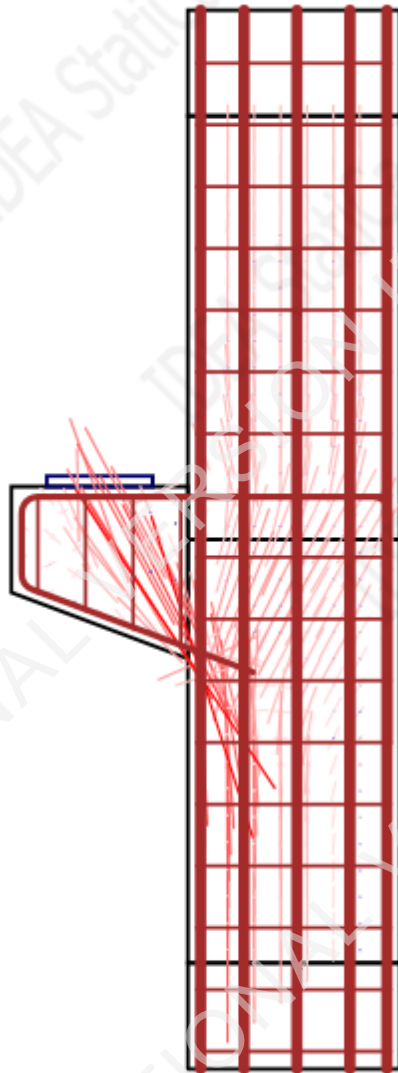
Project:  
Project no:  
Author:

Concrete principal strain  $\epsilon_c$



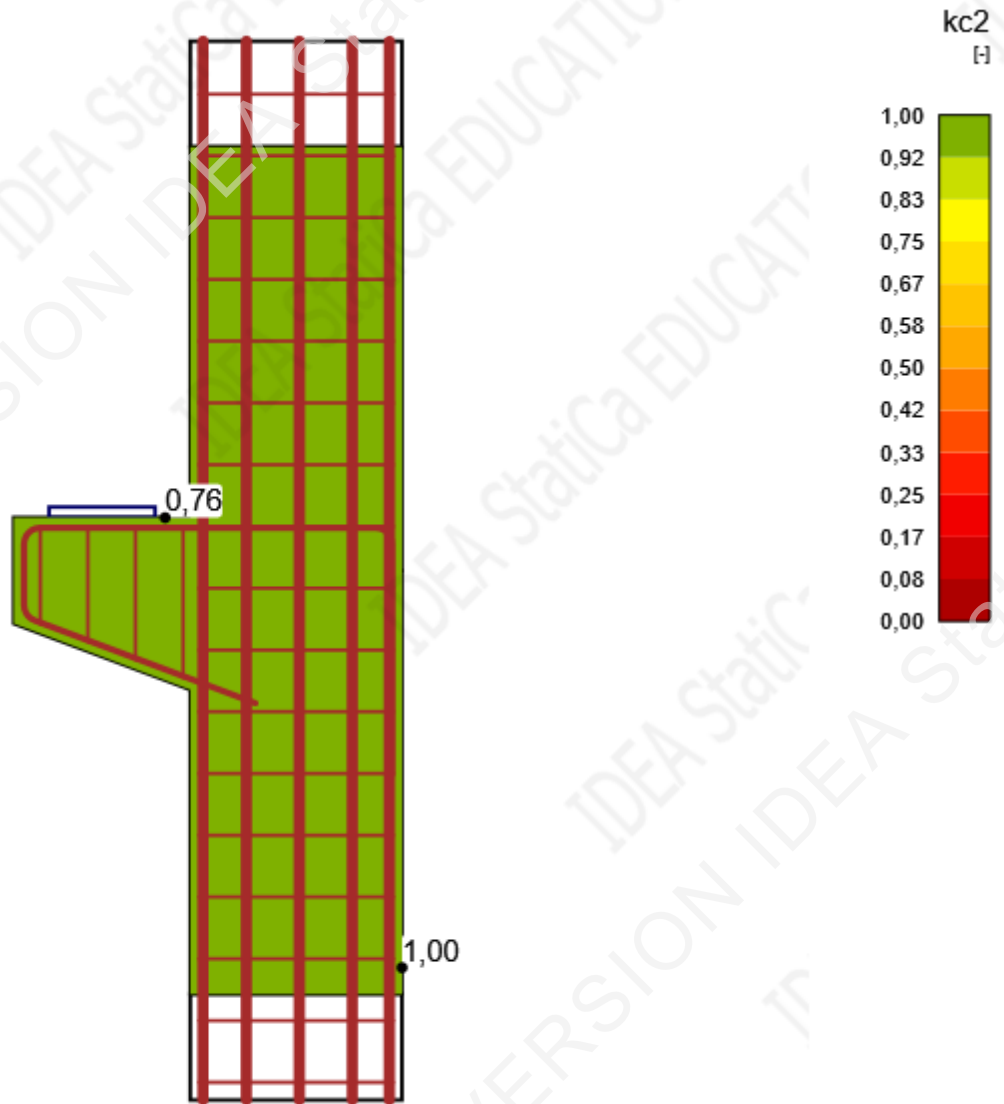
Project:  
Project no:  
Author:

**Directions of principal stresses**



Project:  
Project no:  
Author:

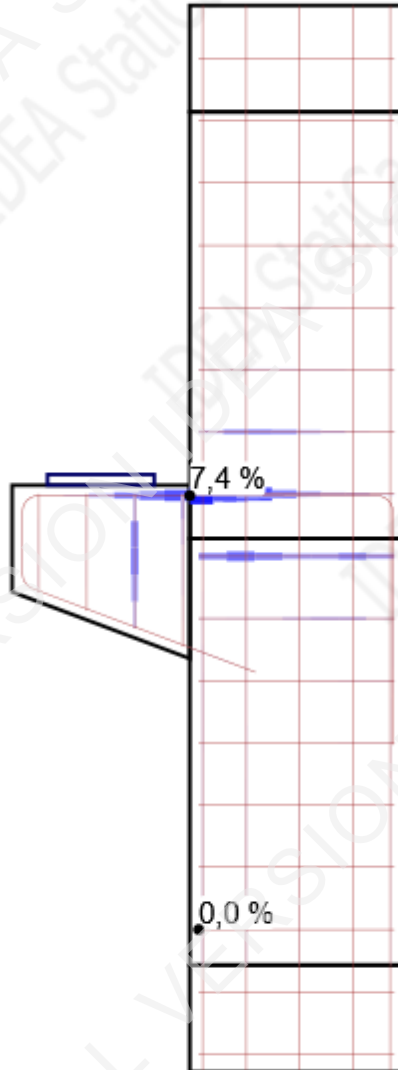
Compressive strength reduction factor  $k_{c2}$





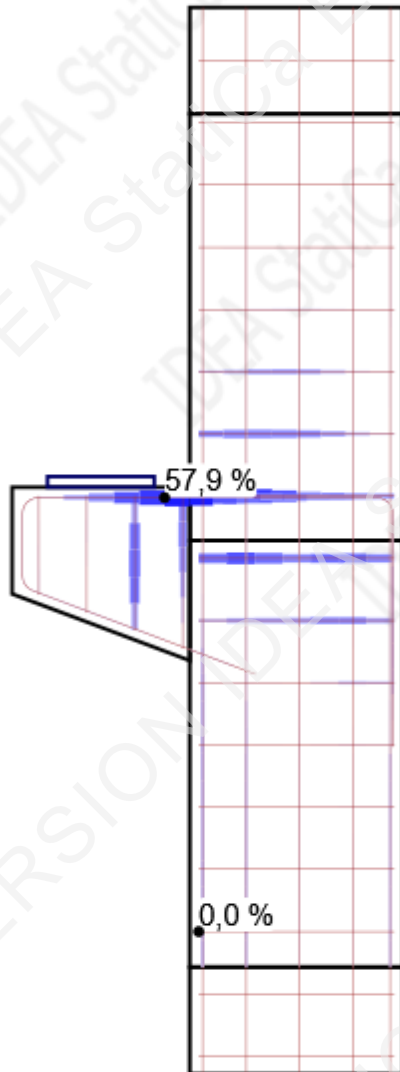
Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement strain/limit strain ratio -  $\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$  [%]



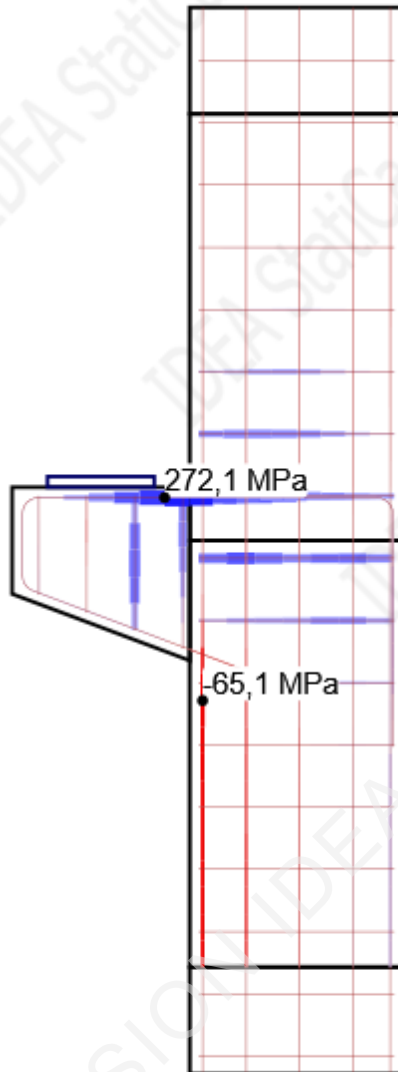
Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement stress/strength ratio -  $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$  [%]



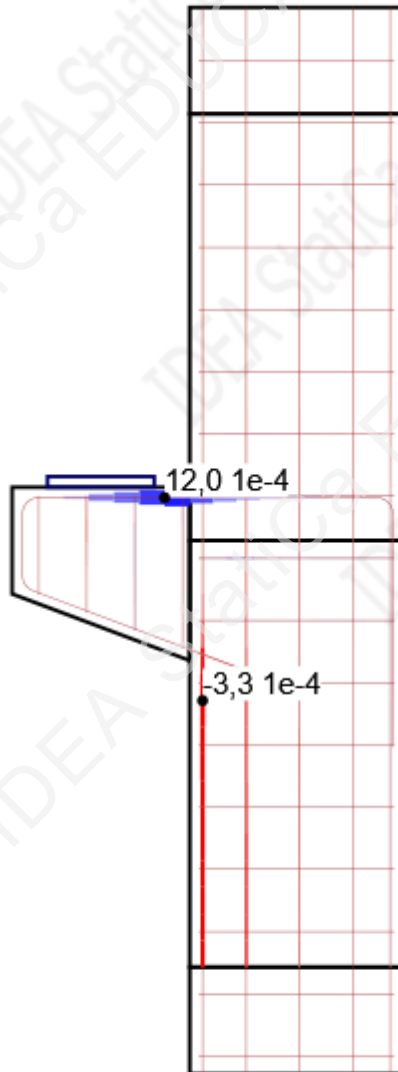
Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement stress -  $\sigma_s$  [MPa]



Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement strain -  $\epsilon_s$  [1e-4]



Project:  
Project no:  
Author:

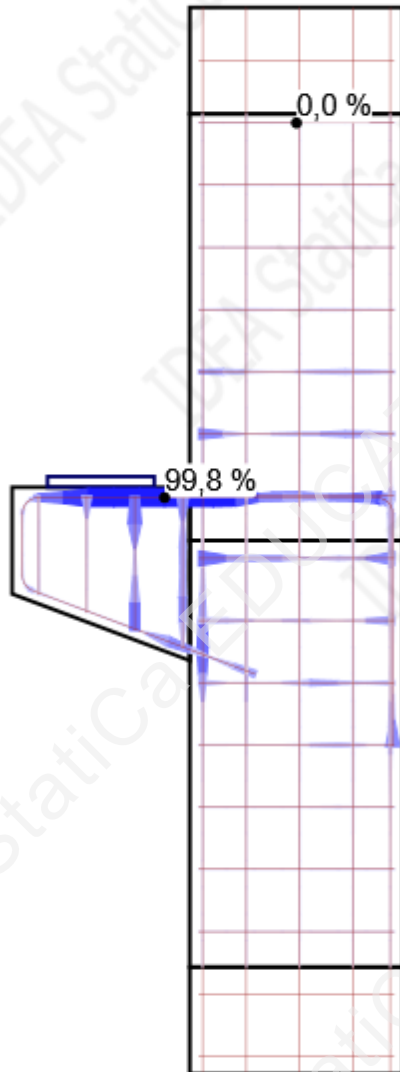
## ULS - Anchorage

Detailed anchorage results: GSN, Load increment: G100,0%, V100,0%

Member	X [m]	Z [m]	$T_b$ [MPa]	$F_a$ [kN]	$F_{tot}$ [kN]	$F_{tot}/F_{lim}$ [%]	$T_b/f_{bd}$ [%]	
Uzd. arm. konzola	-0,37	0,12	3,4	0,1	234,7	49,1	99,8	OK
Uzd. arm. konzola	-0,30	0,12	-3,4	0,1	276,9	57,9	99,8	OK
Uzd. arm. konzola	-0,37	0,12	3,4	0,1	276,9	57,9	99,8	OK
Uzd. arm. konzola	-0,24	-0,33	-0,1	0,1	-23,2	4,9	3,3	OK
Vilice stup	-0,28	0,13	3,4	24,6	30,3	41,1	99,8	OK
Vilice stup	0,28	-0,05	-2,5	24,6	20,6	28,0	74,1	OK
Vilice stup	-0,21	0,13	0,8	24,6	35,0	47,5	22,9	OK
Vilice stup	-0,20	-0,40	-0,1	24,6	-2,0	2,7	2,1	OK
Vilice konzola	-0,46	0,05	2,5	14,6	15,4	20,9	72,9	OK
Vilice konzola	-0,59	0,13	-1,8	14,6	-2,4	3,2	54,4	OK
Vilice konzola	-0,46	-0,03	0,2	14,6	26,6	36,0	5,1	OK
Vilice konzola	-0,59	0,06	0,2	14,6	-2,8	3,8	6,1	OK
Uzd. arm stupa uz konzolu	-0,26	-0,30	2,0	0,0	-215,0	11,4	60,1	OK
Uzd. arm stupa uz konzolu	-0,26	-0,45	-0,4	0,0	-258,6	13,7	12,5	OK
Uzd. arm stupa uz konzolu	-0,26	0,15	0,1	0,0	-14,9	0,8	3,1	OK
Uzd. arm stupa uz konzolu	-0,26	-0,45	-0,4	0,0	-261,8	13,9	12,5	OK
Uzd. arm stupa suprotan kraj	0,26	0,07	-0,9	0,0	23,4	1,2	25,7	OK
Uzd. arm stupa suprotan kraj	0,26	-0,67	0,2	0,0	147,4	7,8	5,7	OK
Uzd. arm stupa suprotan kraj	0,26	-1,20	0,0	0,0	151,8	8,0	0,2	OK
Uzd. arm stupa suprotan kraj	0,26	0,67	0,0	0,0	-49,9	2,6	0,2	OK
Uzd. arm stupa sredina	-0,14	-0,37	0,4	0,0	-50,7	6,7	12,9	OK
Uzd. arm stupa sredina	0,16	0,07	-0,3	0,0	-11,3	1,5	8,3	OK
Uzd. arm stupa sredina	0,16	-1,20	0,0	0,0	17,7	2,3	0,1	OK
Uzd. arm stupa sredina	-0,14	-1,20	0,0	0,0	-65,8	8,7	0,2	OK

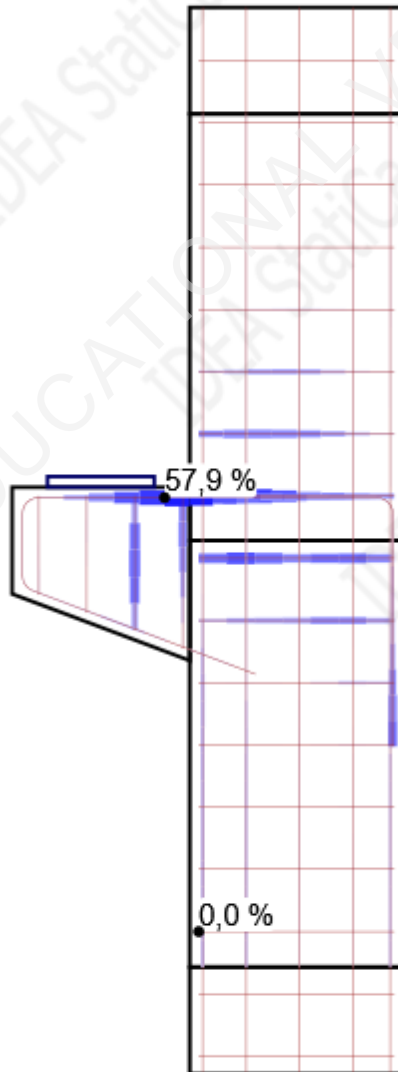
Project:  
Project no:  
Author:

Bond stress check value -  $\tau_b/f_{bd}$  [%]



Project:  
Project no:  
Author:

Force check value -  $F_{tot}/F_{lim}$  [%]



Project:  
Project no:  
Author:

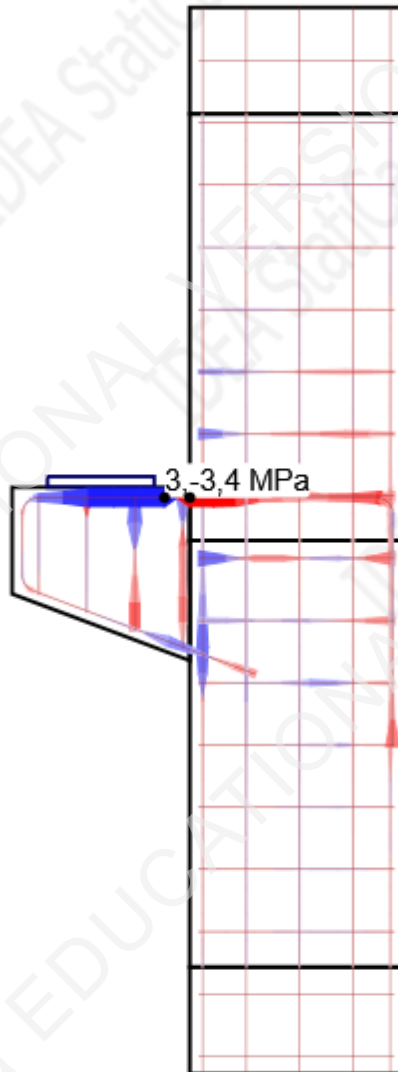
Total force in the bar -  $F_{tot}$  [kN]





Project:  
 Project no:  
 Author:

Bond stress -  $\tau_b$  [MPa]



## Settings

### Creep coefficient

Type of input	Creep coefficient
Input by user	2,5
Input by user	2,5

## SLS - Stress

Detailed concrete stress results: GSU, Load increment: G100,0%

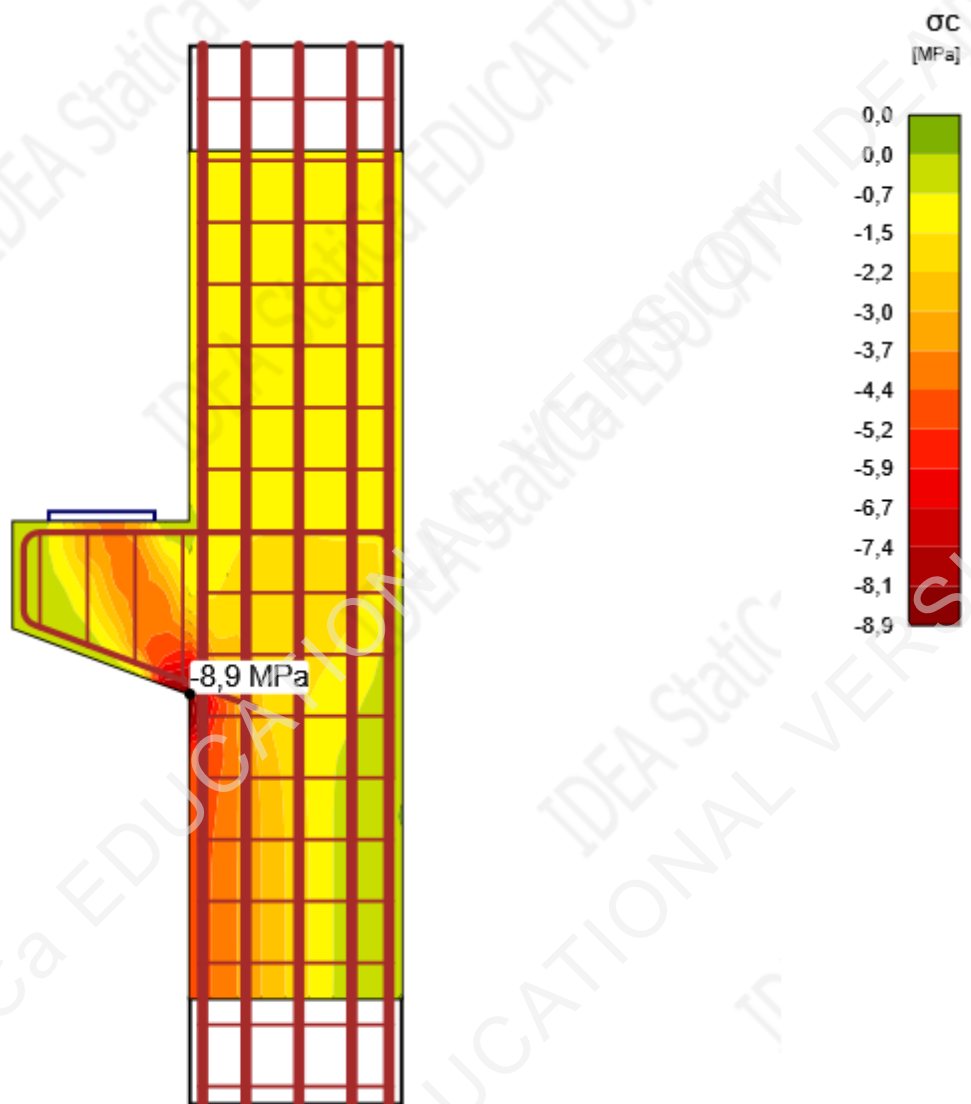
Member	X [m]	Z [m]	Critical check	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_{lim}$ [MPa]	$\sigma_c/\sigma_{lim}$ [%]	
Lower column	-0,30	-0,34	7.2(3)	-8,7	15,8	55,0	OK
Upper column	-0,08	0,00	7.2(3)	-1,7	15,8	10,6	OK
Left beam	-0,30	-0,34	7.2(3)	-8,9	15,8	56,3	OK

Project:  
Project no:  
Author:

Detailed reinforcement stress results: GSU 2, Load increment: G100,0%

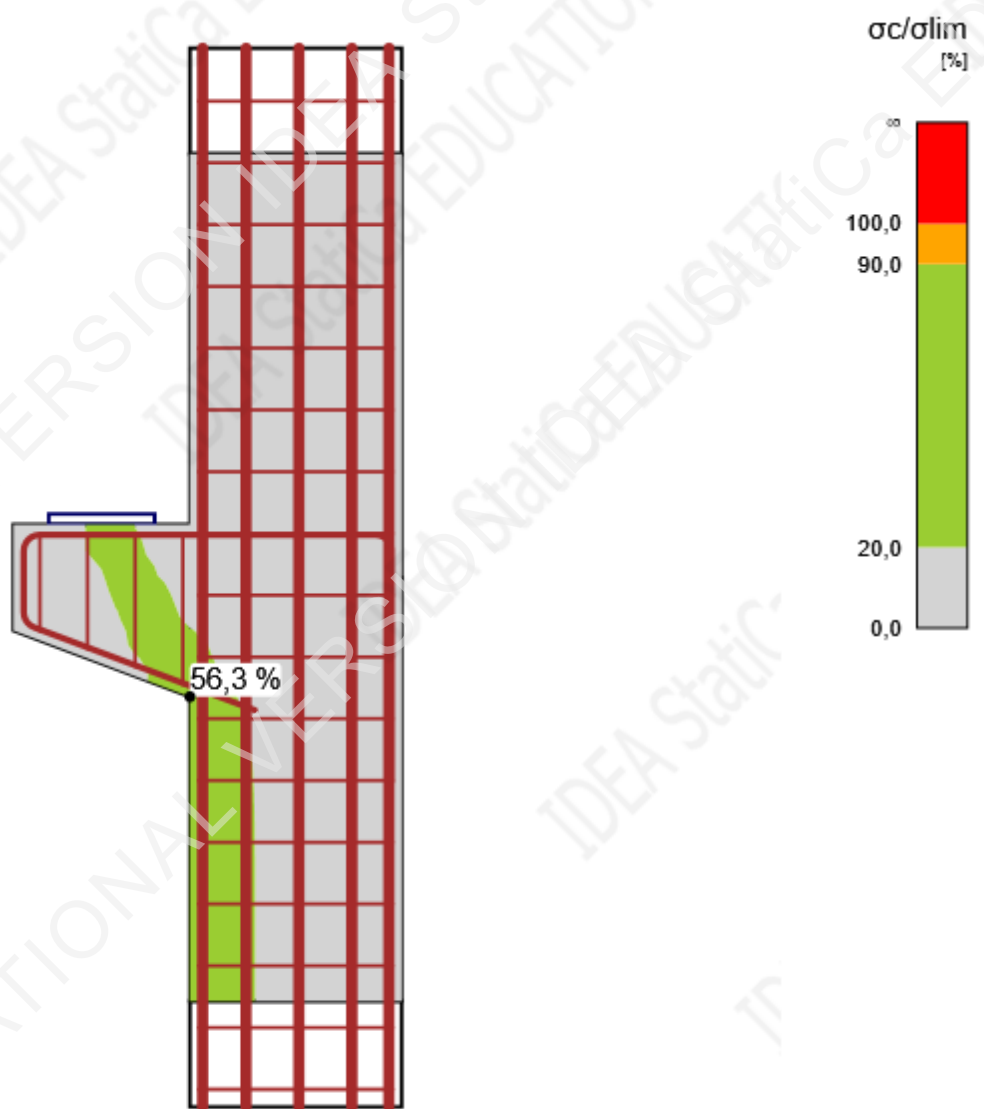
Reinforcement	X [m]	Z [m]	Critical check	$\sigma_s$ [MPa]	$\sigma_{lim}$ [MPa]	$\sigma_s/\sigma_{lim}$ [%]	
Vilice stup	-0,28	0,13	7.2(5)	219,6	400,0	54,9	OK
Vilice konzola	-0,46	-0,03	7.2(5)	134,5	400,0	33,6	OK
Uzd. arm stupa suprotan kraj	0,26	-1,20	7.2(5)	29,6	400,0	7,4	OK
Uzd. arm stupa uz konzolu	-0,26	-1,20	7.2(5)	-59,5	400,0	0,0	OK
Uzd. arm stupa sredina	0,16	-1,20	7.2(5)	-6,4	400,0	0,0	OK
Uzd. arm. konzola	-0,37	0,12	7.2(5)	209,0	400,0	52,2	OK

Concrete stress



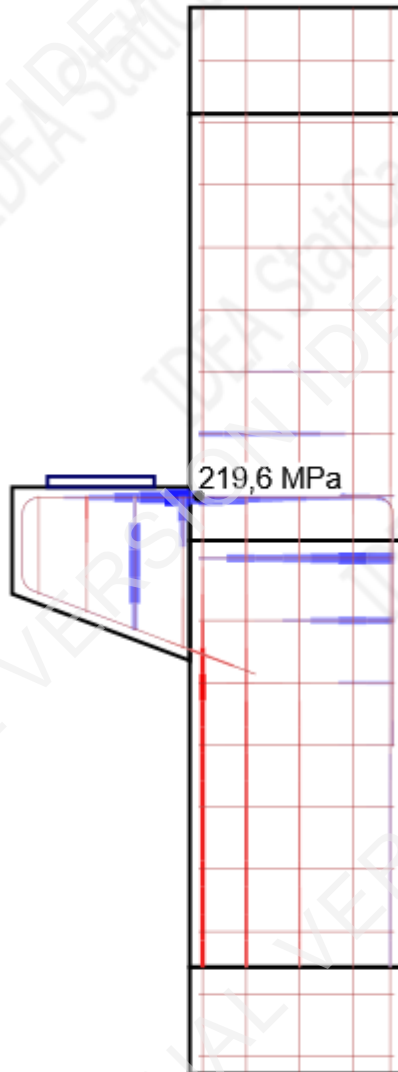
Project:  
Project no:  
Author:

Concrete stress check



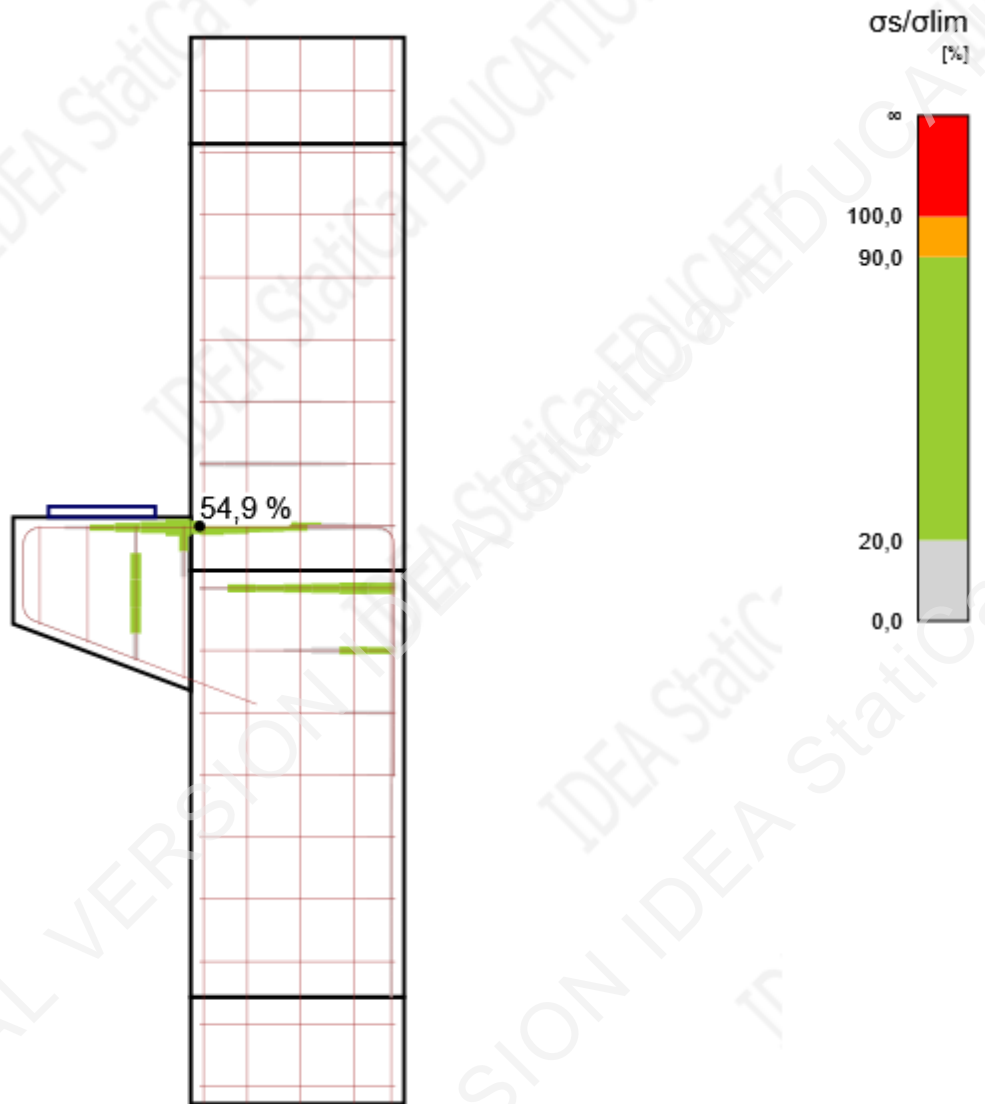
Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement stress -  $\sigma_s$  [MPa]



Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement stress check



SLS - Crack

Detailed crack results: GSU, Load increment: G100,0%,  $w_{lim}=0,300$  mm

Member	X [m]	Z [m]	w [mm]	w/w <sub>lim</sub> [%]	
Uzd. arm. konzola	-0,30	0,12	0,139	46,2	OK
Vilice konzola	-0,32	0,13	0,132	44,1	OK
Vilice stup	-0,28	0,13	0,098	32,6	OK
Uzd. arm stupa suprotan kraj	0,26	-0,67	0,006	1,9	OK
Uzd. arm stupa uz konzolu	-0,26	-1,50	0,000	0,0	OK
Uzd. arm stupa sredina	0,16	-1,50	0,000	0,0	OK

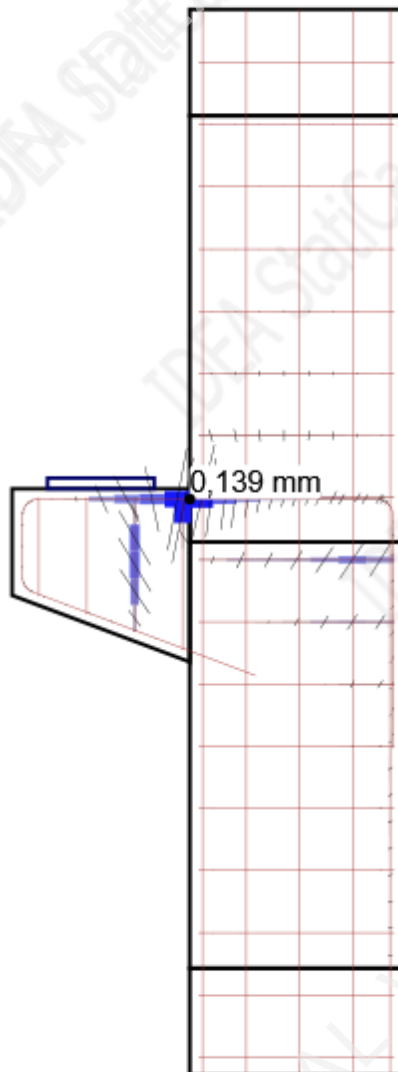
Project:  
Project no:  
Author:

**Intermediate crack results**

Member	$\epsilon_{cm}$ [1e-4]	$\epsilon_m$ [1e-4]	$s_r$ [mm]	$\Phi$ [mm]	$\rho_{eff}$ [%]	$w_b$ [mm]	$\theta_r$ [-]	$\theta_b$ [-]
Uzd. arm. konzola	0,0	3,3	409	18	1,09	0,135	1,34	0,00
Vilice konzola		0,6		10	1,09	0,026	1,37	1,57
Vilice stup		2,1		10	1,38	0,097	1,45	0,00
Uzd. arm stupa suprotan kraj	0,0	0,3	176	32	4,36	0,005	0,58	1,57
Uzd. arm stupa uz konzolu	0,0	0,0	0	0	0,00	0,000	0,00	0,00
Uzd. arm stupa sredina	0,0	0,0	0	0	0,00	0,000	0,00	0,00

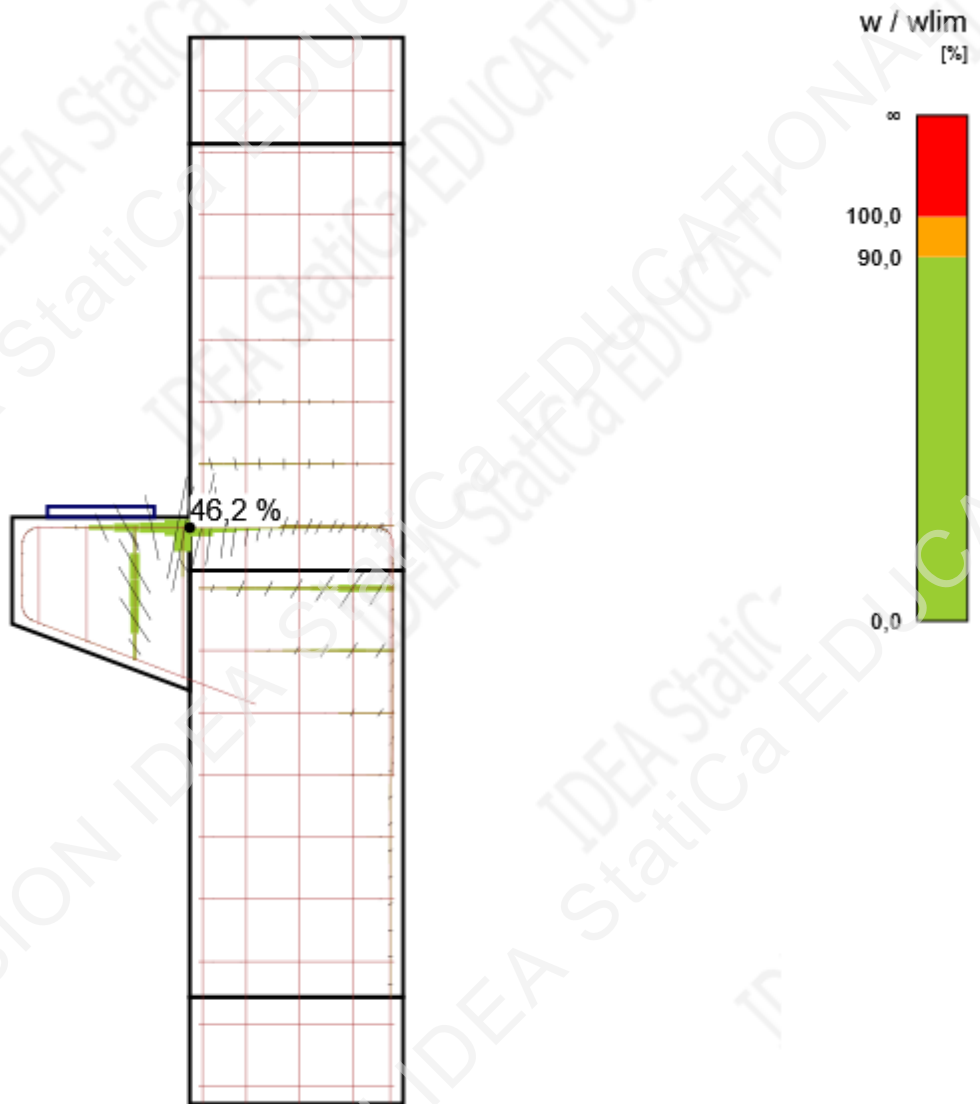
Note: There are TCM intermediate values displayed in the table above. Adequate POM values are not available in current version of the program.

**Crack width - w [mm]**



Project:  
 Project no:  
 Author:

**Crack width check**



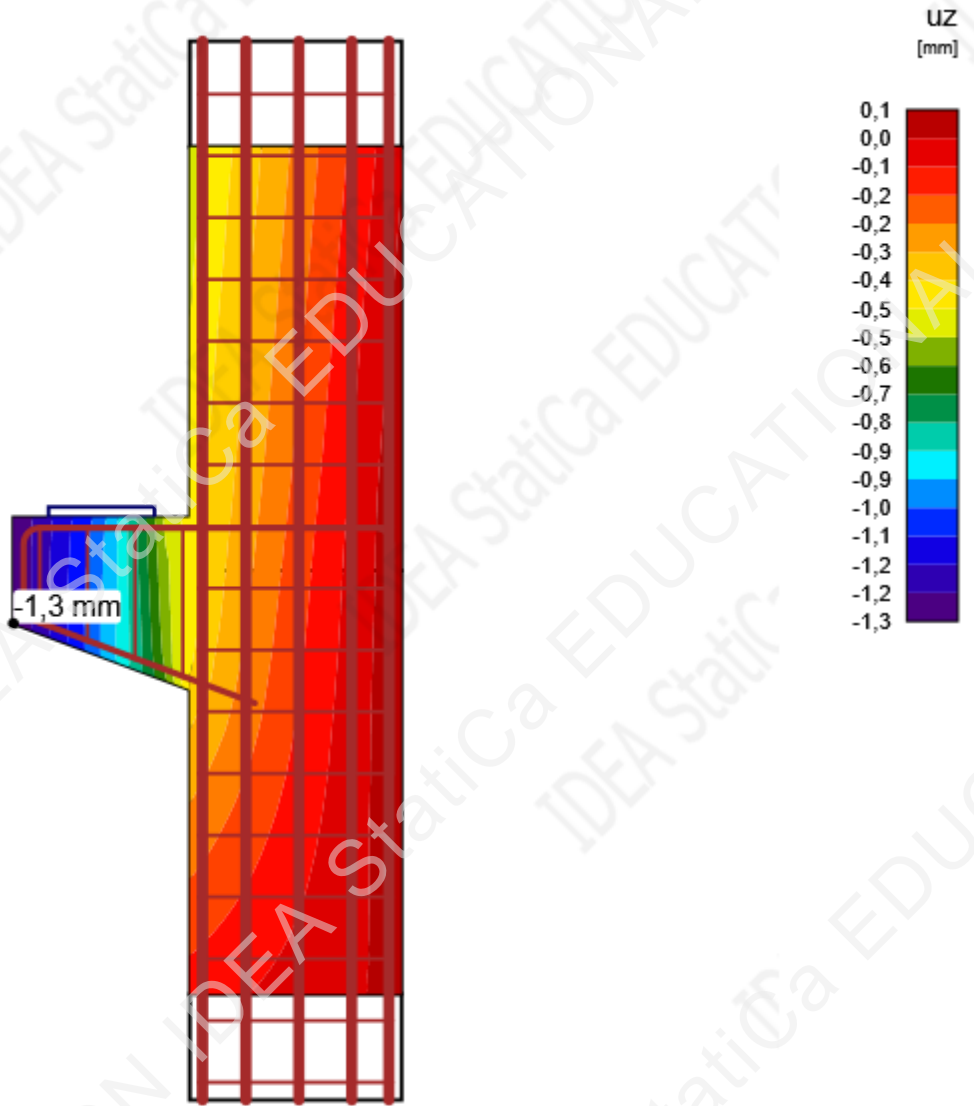
**SLS - Deflection**

Detailed deflection results: GSU 2, Load increment: G100,0%

Member	X [m]	Z [m]	$u_{z,st}$ [mm]	$u_{z,lt}$ [mm]	$\Delta u_z$ [mm]	$u_z$ [mm]	
Left beam	-0,80	-0,15	-0,7	-1,3	0,0	-1,3	OK
Upper column	-0,30	1,20	-0,2	-0,5	0,0	-0,5	OK
Lower column	-0,30	0,00	-0,2	-0,5	0,0	-0,5	OK
Upper column	0,30	0,07		0,1	0,0	0,1	OK
Lower column	0,30	-1,20		0,0	0,0	0,0	OK

Project:  
Project no:  
Author:

**Deflection**

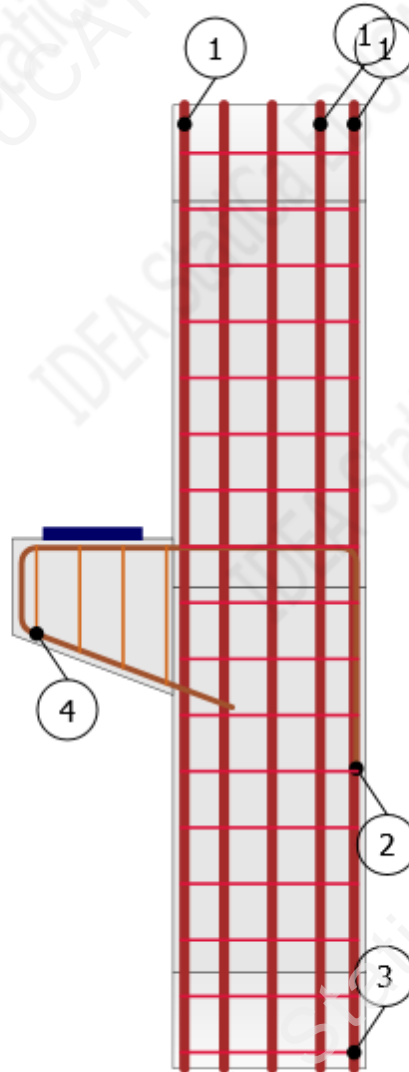




Project:  
Project no:  
Author:

## Bill of material

Items numbering




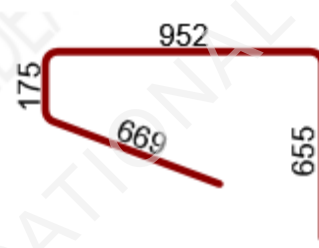
Brief reinforcement bar table


Index	Φ [mm]	Material	Items	Length [mm]	Weight [kg]	Total length [m]
1	32	B 500B	16	3000	19	48,00
2	18	B 500B	4	2646	5	10,58
3	10	B 500B	17	2936	2	49,91
4	10	B 500B	4	2388-2692	1-2	10,16


Project:  
Project no:  
Author:

**Detailed reinforcement bar tables**

Parameter	Value	Shape
Index	1	
Φ [mm]	32	
Material	B 500B	
Number of items	16	
Length [mm]	3000	
Weight [kg]	19	
Total length [m]	48,00	

Parameter	Value	Shape
Index	2	
Φ [mm]	18	
Material	B 500B	
Number of items	4	
Length [mm]	2646	
Weight [kg]	5	
Total length [m]	10,58	

Parameter	Value	Shape
Index	3	
Φ [mm]	10	
Material	B 500B	
Number of items	17	
Length [mm]	2936	
Weight [kg]	2	
Total length [m]	49,91	

Parameter	Value	Shape (Min-Max)
Index	4	
Φ [mm]	10	
Material	B 500B	
Number of items	4	
Length [mm]	2388-2692	
Weight [kg]	1-2	
Total length [m]	10,16	

**Overview table**

	Φ [mm]	10	18	32
Total length of Φ [m]		60,07	10,58	48,00
Weight per meter of Φ [kg/m]		1	2	6
Total weight of Φ [kg]		37	21	303
Total weight of bars [kg]		361		
Volume of concrete [m3]		1,20		
Reinforcement weight per volume unit of concrete [kg/m3]		301		

Symbol	Explanation
$f_{ck}$	Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days
$f_{ctk,0.05}$	Characteristic axial tensile strength of concrete 5% quantile
$f_{ctm}$	Mean value of axial tensile strength of concrete
$E_{cm}$	Secant modulus of elasticity of concrete
$\epsilon_c$	Compressive strain in the concrete at the peak stress $f_c$
$\epsilon_{cu}$	Ultimate compressive strain in the concrete
$f_{yk}$	Characteristic yield strength of reinforcement
$E_s$	Modulus of elasticity of reinforcement steel
$\epsilon_{uk}$	Characteristic strain of reinforcement or prestressing steel at maximum load
Properties	W - Width; H - Height; T - Thickness; L - Length; r - Radius; $\alpha$ - Inclination
Position	M - Master; MP - Master point; IP - Insert point
$\sigma_c$	The extreme value of compressive stress $\sigma_c$ of concrete of selected subregion.
$k_{c2}$	Compressive strength reduction factor $k_{c2}$
$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$	The ratio of concrete stress and concrete strength. It presents the level of material utilization with respect to concrete strength.
$\sigma_s$	Maximum stress along the length of reinforcement bar.
$\epsilon_s$	Maximum strain along the length of reinforcement bar.
$\sigma_s/\sigma_{s,lim}$	The ratio of stress and strength of the reinforcement. It presents the level of material utilization with respect to reinforcement strength.
$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$	The ratio of strain and limit strain of the reinforcement. It presents the level of material utilization with respect to limit strain
$T_b$	Bond stress on the surface of reinforcement bar.
$F_a$	The anchorage force. It is developed at the ends of the bars due to hooked anchorage.
$F_{tot}$	Total force developed along the length of the bar. It consists of the anchorage force due to hooked anchorage and bond force, which integrates bond stresses acting on the surface of the bar.
$F_{tot}/F_{lim}$	The ratio of total force in the bar and limit value of the force. It presents the level of utilization of the rebar. The limit value of the force is calculated as the minimum of two values: (a) the force calculated as the sum of ultimate anchorage force and the force developed from the end of the bar to the point of interest assuming ultimate bond strength, (b) the ultimate strength of the bar.
$T_b/f_{bd}$	The ratio of bond stress and ultimate bond strength for selected (group of) bars and applied portion of the load. It shows the level of utilization with respect to ultimate bond strength between the rebar and adjacent concrete.
Creep coefficient	Final value of creep coefficient at time interval ( $t_0 = 28$ days, $t_{inf} =$ design working life)
w	Total crack width including effect of creep.
$\epsilon_{cm}$	the mean strain in the concrete between cracks
$\epsilon_m$	the mean strain in the reinforcement under relevant combination of loads, including the effect of imposed deformations and taking into account the effects of tension stiffening. Only the additional tensile strain beyond the state of zero strain of the concrete at the same level is considered
$s_r$	mean value of axial tensile strength of concrete
$\Phi$	diameter of reinforcing bar
$\rho_{eff}$	effective reinforcement ratio
$w_b$	calculated crack width
$\theta_r$	inclination of the cracks (the angle between the global coordinate system and the crack direction)
$\theta_b$	bar inclination (the angle between the global coordinate system and the axis of reinforcement bar)
$u_{z,st}$	Immediate deflection caused by total load, calculated with short-term stiffnesses.

Project:  
Project no:  
Author:

Symbol	Explanation
$u_{z,lt}$	Long-term effects of long-term load.
$\Delta u_z$	Deflection increment caused by variable load.
$u_z$	Total deflection including effect of creep.

## Code settings

Clause	Name	Value	Description
2.4.2.4 (1)	$\gamma_c$	1,50	Partial factor for concrete.
2.4.2.4 (1)	$\gamma_s$	1,15	Partial factor for reinforcement
3.1.6 (1)	$\alpha_{cc}$	1,00	Coefficient taking into account the long term effect on the compressive strength and the unfavourable from the way the load is applied
3.2.7 (2)	$\epsilon_{ud}/\epsilon_{uk}$	0,90	Ratio of design and characteristic strain limit.
8.3(2)	$\Phi_{m,min} - \Phi_s \leq 16\text{mm}$ (4,00 $\Phi_s$ )	4,00	Minimum mandrel diameter of stirrups as multiple of stirrups diameter.
8.3(2)	$\Phi_{m,min} - \Phi_s > 16\text{mm}$ (7,00 $\Phi_s$ )	7,00	Minimum mandrel diameter of stirrups as multiple of stirrups diameter.
7.2(2)	$k_1$	0,60	Coefficient for calculation of the maximum compressive stress in concrete under SLS characteristic combination
7.2(3)	$k_2$	0,45	Coefficient for calculation of the stress in the concrete under the SLS quasi-permanent combination
7.2(5)	$k_3$	0,80	Coefficient for calculation of maximal tensile stress in the reinforcement under SLS characteristic combination

## Calculation presumptions

- Minimum amount of reinforcement resisting at least the tensile stresses prior cracking has to be provided in cracked zones.
- It is assumed that a transverse rebar or adequate overlap is provided to enable full anchorage of the stirrups.
- The analysis and code checks are performed for support conditions as specified in the project. No change of supports in construction/service stages is considered.
- Calculated deflection are displayed with respect to substitute boundary conditions, which were generated automatically as a part of computational model.
- The crack width is checked in the vicinity of the reinforcement only. No control of cracking is performed in non-reinforced zones.
- The presentation of crack spacing is schematic only. It does not represent the crack spacing computed for the calculations.

**STATIČKI PRORAČUN I  
DIMENZIONIRANJE KRATKE  
KONZOLE SREDNJEG STUPA**

Project:  
Project no:  
Author:

## Materials

### Concrete

Name	$f_{ck}$ [MPa]	$f_{ctk,0.05}$ [MPa]	$f_{ctm}$ [MPa]	$E_{cm}$ [MPa]
C35/45	35,0	2,2	3,2	34077,1
$\epsilon_{c2} = 20,0 \cdot 1e-4$ , $\epsilon_{cu2} = 500,0 \cdot 1e-4$ , Diagram type: Parabolic Creep coefficient: 2,50				

### Reinforcement

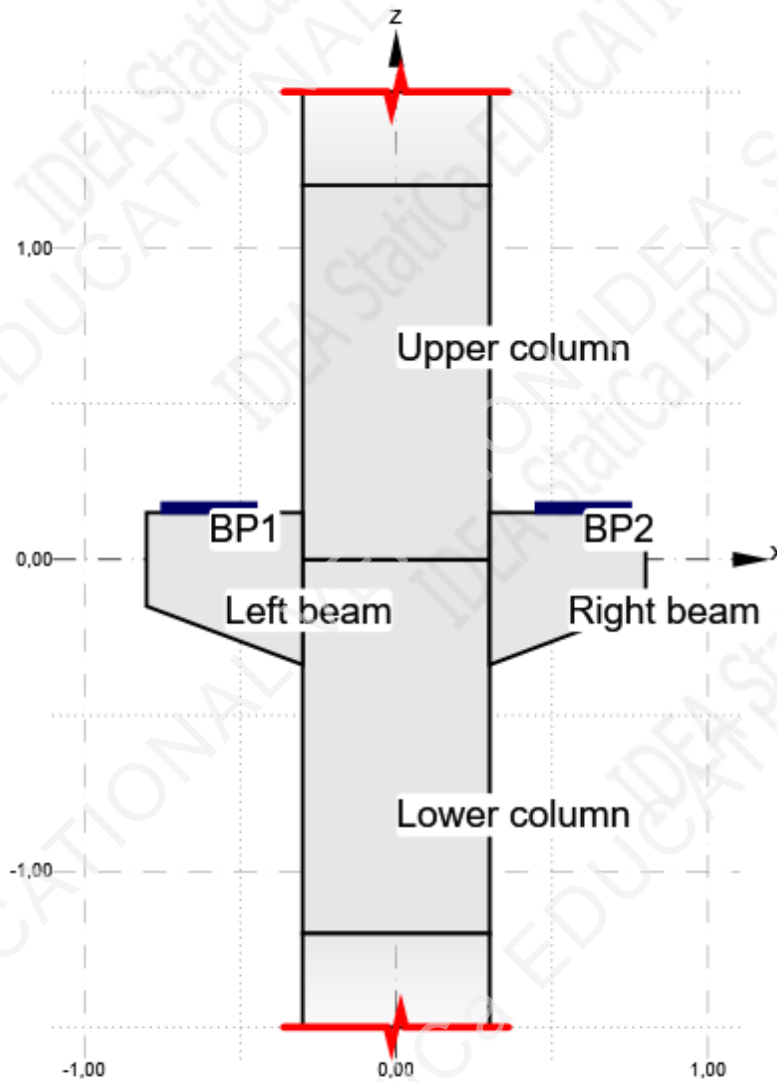
Name	$f_{yk}$ [MPa]	k [-]	$E_s$ [MPa]	Unit mass [kg/m <sup>3</sup> ]	$\epsilon_{uk}$ [1e-4]	Surface
B 500B	500,0	1,08	200000,0	7850	500,0	Ribbed
$\epsilon_{st} = 500,0 \cdot 1e-4$ , $\epsilon_{sc} = 500,0 \cdot 1e-4$ ,						

### Steel

Name	E [MPa]
S 355	210000,0

## Cross-sections

Name	Material	Master	Picture
1 - Rectangle 600, 600	C35/45	DRM1: FJ1	
2 - Rectangle 300, 600	C35/45	DRM1: FJ1	



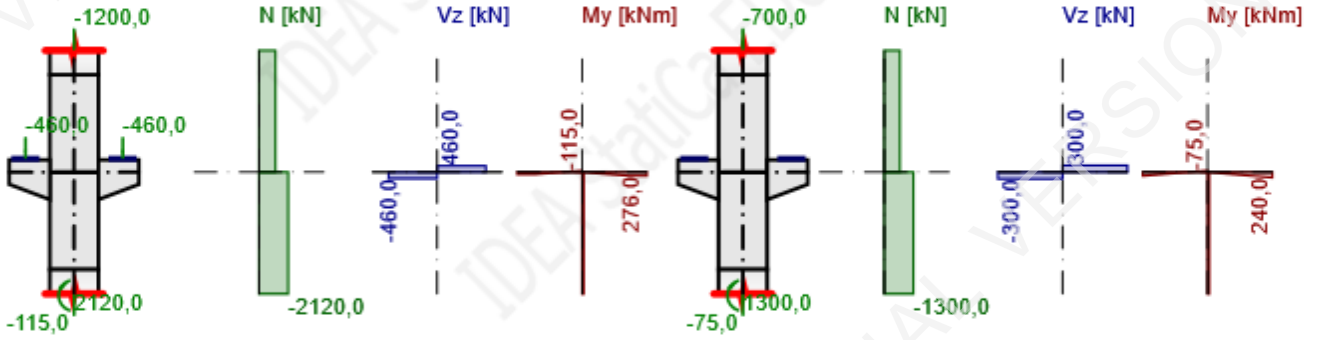
Overview table

Name	Type	Properties	Position
FJ1	Frame joint	Cross joint; Left beam; L: 0,80 m; Cross-section: 2,1; ; Right beam; L: 0,80 m; Cross-section: 1,2; ; Lower column; L: 1,50 m; Cross-section: 1; $\alpha$ : 90,0°; Trimmed at: Begin; Upper column; L: 1,50 m; Cross-section: 1; $\alpha$ : 90,0°; Trimmed at: End	
BP1	Bearing plate	W: 0,30 m; T: 0,03 m; Material: S 355	M: Left beam, Edge 3; From beginning; X: 0,20 m
BP2	Bearing plate	W: 0,30 m; T: 0,03 m; Material: S 355	M: Right beam, Edge 3; From end; X: 0,20 m

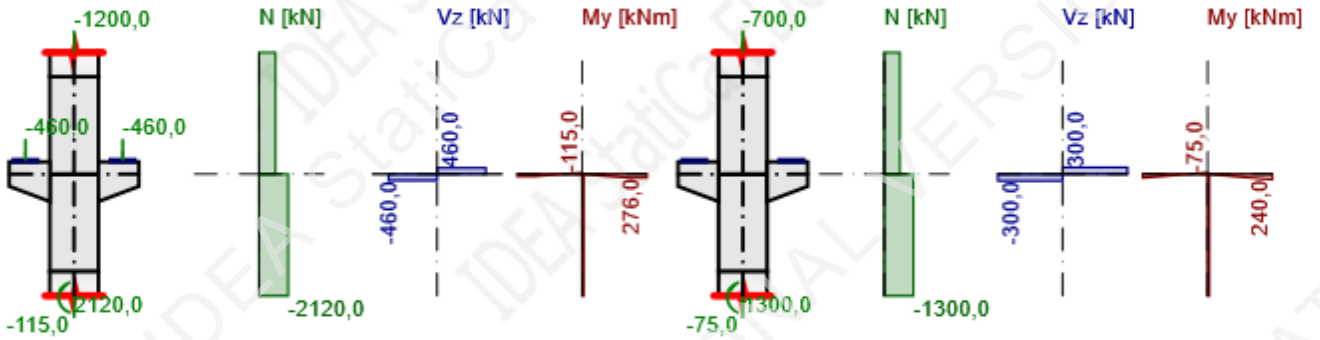
Project:  
Project no:  
Author:

### Loads

GSN, GSU



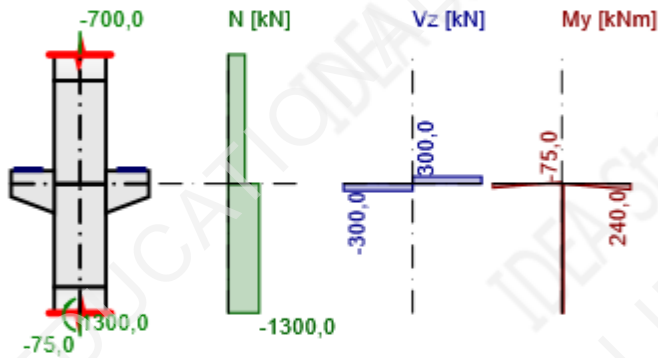
C1, C2





Project:  
Project no:  
Author:

C3



### Load case GSN - Variable

Internal forces in supports or sections

Member	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
Lower column	1,50 m (Left)	-2120,0	0,0	115,0
Upper column	0,00 m (Right)	-1200,0	0,0	0,0
Left beam	0,80 m (Left)	0,0	-460,0	-115,0
Right beam	0,00 m (Right)	0,0	460,0	0,0

Point loads

Name	F [kN]	Direction	Master	Position [X;Z]
PI1	-460,0	Global Z	BP1	-
PI2	-460,0	Global Z	BP2	-

### Load case GSU - Permanent

Internal forces in supports or sections

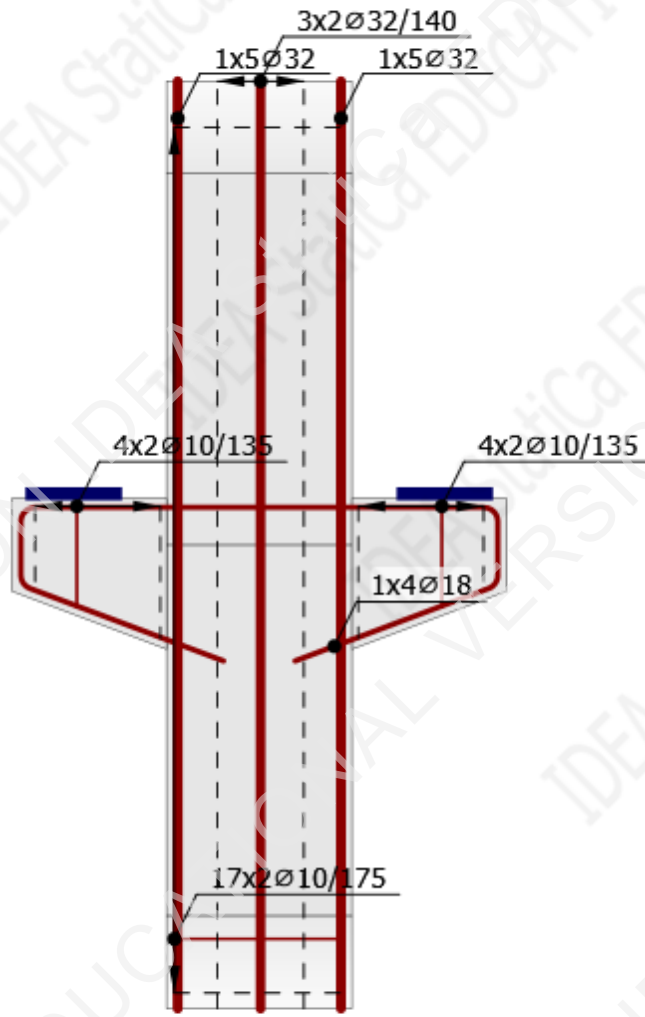
Member	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
Lower column	1,50 m (Left)	-1300,0	0,0	75,0
Upper column	0,00 m (Right)	-700,0	0,0	0,0
Left beam	0,80 m (Left)	0,0	-300,0	-75,0
Right beam	0,00 m (Right)	0,0	300,0	0,0

Combination

Name	Type	Content
C1	ULS	GSN
C2	SLS - Quasi-permanent	GSU
C3	SLS - Characteristic	GSU

# Reinforcement

Project:  
 Project no:  
 Scheme of reinforcement  
 Author:



Concrete: C35/45; Steel: B 500B

## Results

### Summary

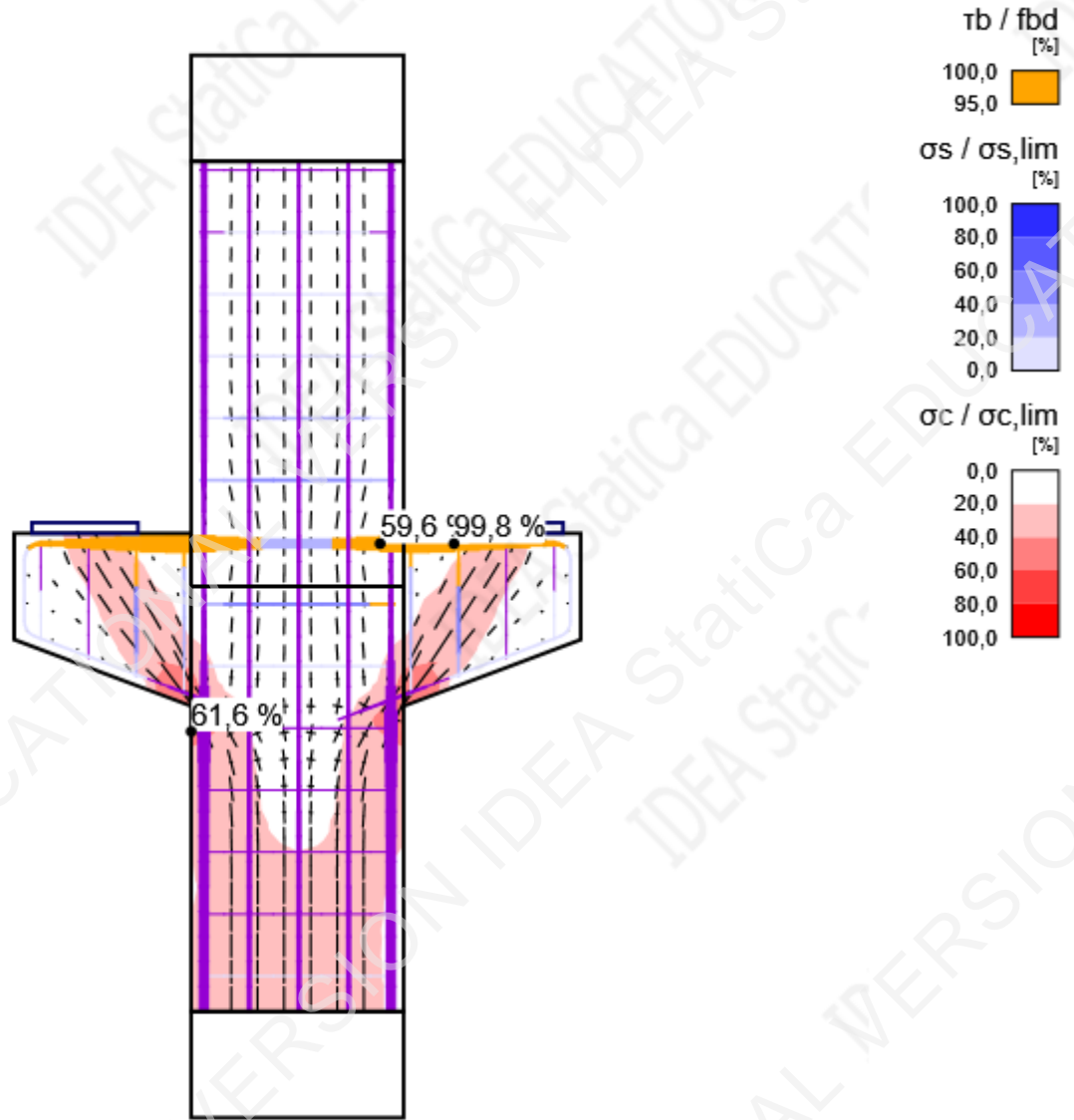
#### Overview table

Check item	Combination	Increment	Item			
ULS	C1	G100,0%, V100,0%	Strength of reinforcement	✓		
Check item		Item	Utilization			
Strength of concrete		Lower column	$\sigma/\sigma_{c,lim}$ : 61,6%	✓		
Strength of reinforcement		GB4	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$ : 9,1%, $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$ : 59,6%	✓		
Anchorage length		GB4	$r_b/f_{bd}$ : 99,8%	✓		
SLS	C3 (LT)	G100,0%	Stress limitation	✓		
Check item	Combination	Increment	Critical check	Item	Utilization	
Stress limitation	C3 (LT)	G100,0%	7.2(5)	Vilice - stup	17,2%	✓
Crack width	C2 (LT)	G100,0%	w/wlim	Vilice - stup	4,5%	✓

Project:  
 Project no:  
 Author:

**ULS - Summary**

**Stress flow**



Above yield	Compression	Explanation
		Thickness proportional to force

Summary of reactions and applied loads: C1, Load increment: G100,0%, V100,0%

Type	$F_x$ [kN]	$F_z$ [kNm]	$M_y$ [kNm]
Summary of reactions	0,0	-600,0	75,0
Summary of applied load	0,0	600,0	-75,0
Check of equilibrium	0,0	0,0	0,0

Project:  
Project no:  
Author:

## ULS - Strength

Detailed concrete strength results: C1, Load increment: G100,0%, V100,0%

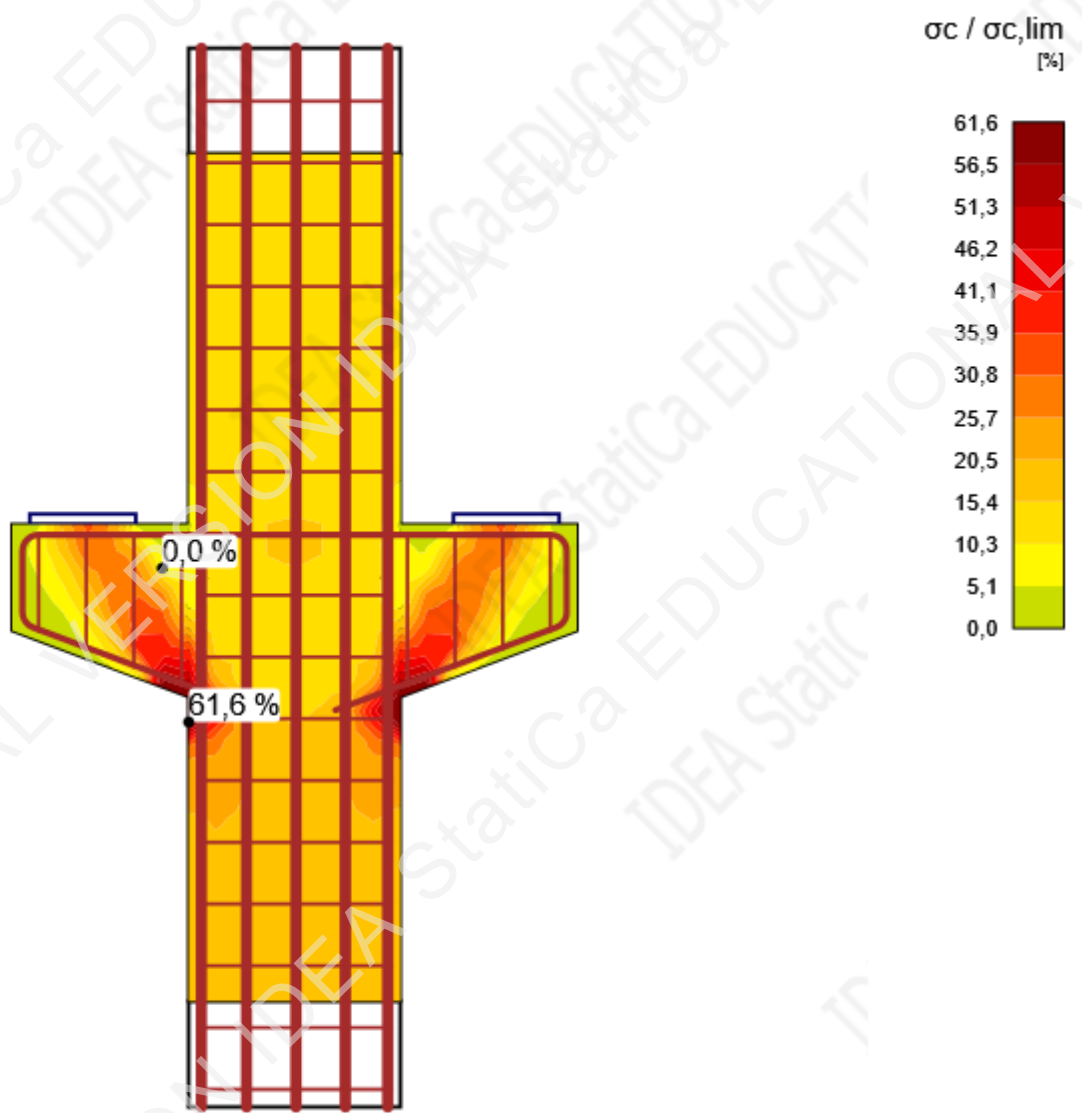
Member	X [m]	Z [m]	$\sigma_c$ [MPa]	$\epsilon_c$ [1e-4]	$k_{c2}$ [-]	$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$ [%]	
Lower column	-0,30	-0,41	-13,7	-7,2	1,00	61,6	OK
Left beam	-0,30	-0,34	-13,6	-7,2	1,00	61,5	OK
Right beam	0,30	-0,34	-13,6	-7,2	1,00	61,5	OK
Lower column	0,30	-1,13	-4,4	-2,0	1,00	19,9	OK
Upper column	0,00	0,15	-3,5	-1,5	1,00	15,6	OK
Upper column	0,30	0,08	-0,9	-0,4	1,00	4,3	OK
Left beam	-0,37	0,15	0,0	0,0	0,68	0,0	OK
Right beam	0,37	0,15	0,0	0,0	0,68	0,0	OK

Detailed reinforcement strength results: C1, Load increment: G100,0%, V100,0%

Member	X [m]	Z [m]	$\sigma_s$ [MPa]	$\epsilon_s$ [1e-4]	$\sigma_s/\sigma_{s,lim}$ [%]	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$ [%]	
GB4	0,23	0,12	279,9	9,7	59,6	9,1	OK
Vilice - stup	0,07	0,13	269,0	3,6	57,3	8,6	OK
Vilice desna konzola	0,46	-0,06	254,7	3,2	54,2	7,7	OK
Vilice lijeva konzola	-0,46	-0,06	254,5	3,2	54,2	7,7	OK
GB4	0,30	0,12	324,1	14,6	69,0	5,7	OK
Uzd. arm. lijevo	-0,26	-0,42	-53,4	-2,7	11,4	0,6	OK
Uzd. arm. desno	0,26	-0,42	-53,2	-2,7	11,3	0,6	OK
Uzd. arm. sredina	-0,14	-1,20	-40,4	-2,0	8,6	0,4	OK
Uzd. arm. sredina	0,00	0,85	-21,0	-1,0	4,5	0,2	OK
Uzd. arm. lijevo	-0,26	0,14	-11,2	-0,6	2,4	0,1	OK
Uzd. arm. desno	0,26	0,14	-11,0	-0,6	2,3	0,1	OK

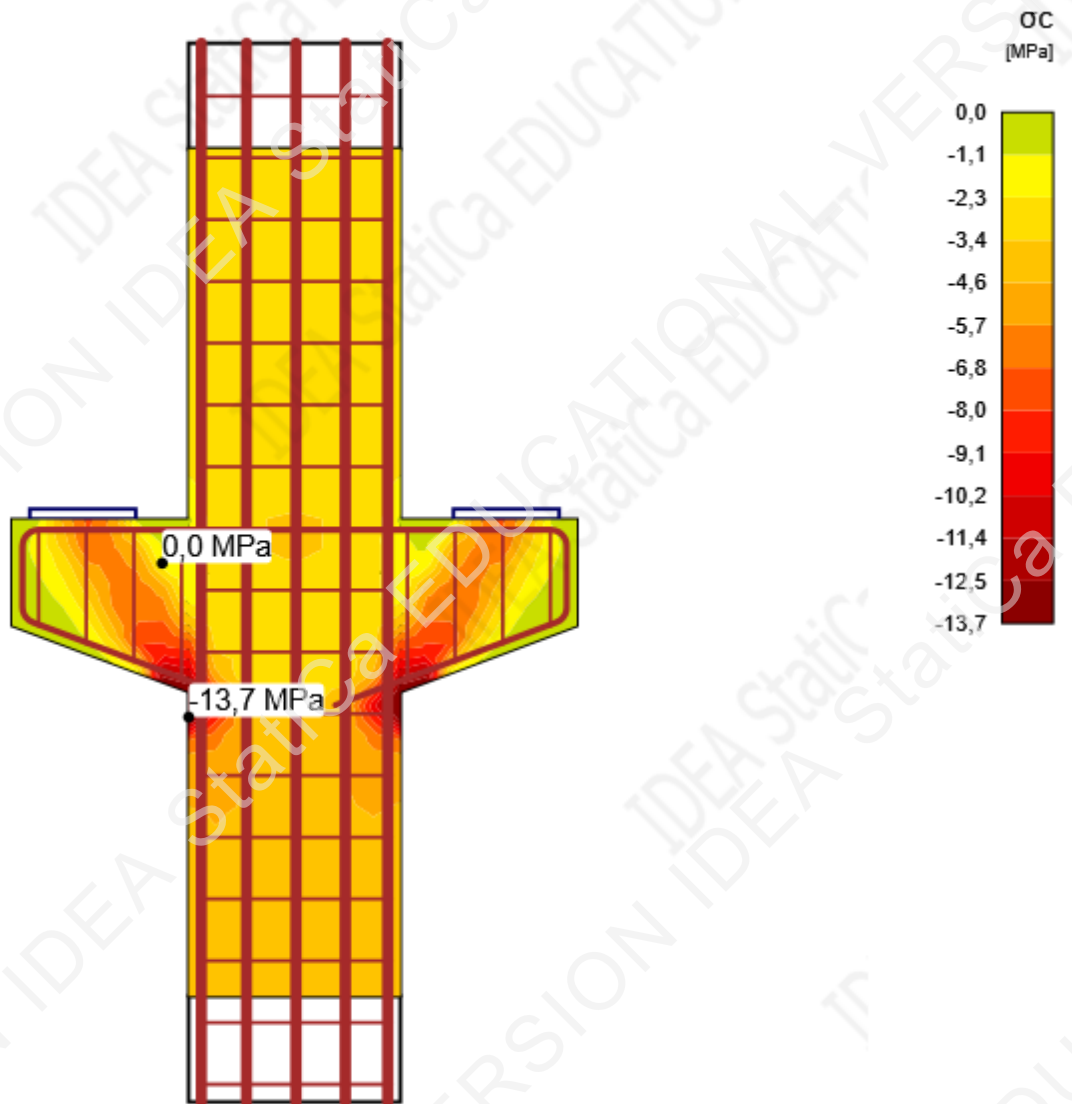
Project:  
Project no:  
Author:

Concrete stress/strength ratio



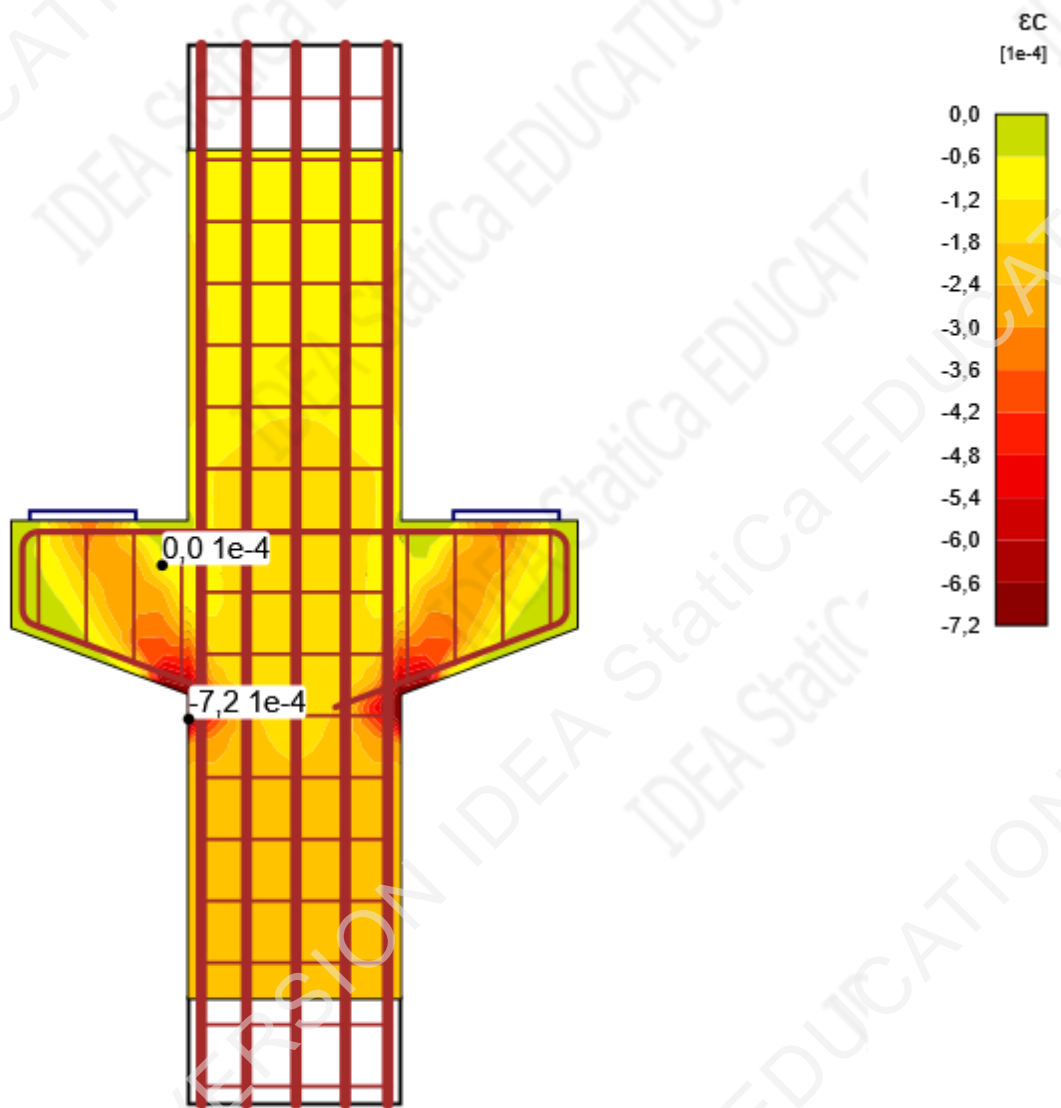
Project:  
Project no:  
Author:

Concrete principal stress  $\sigma_c$



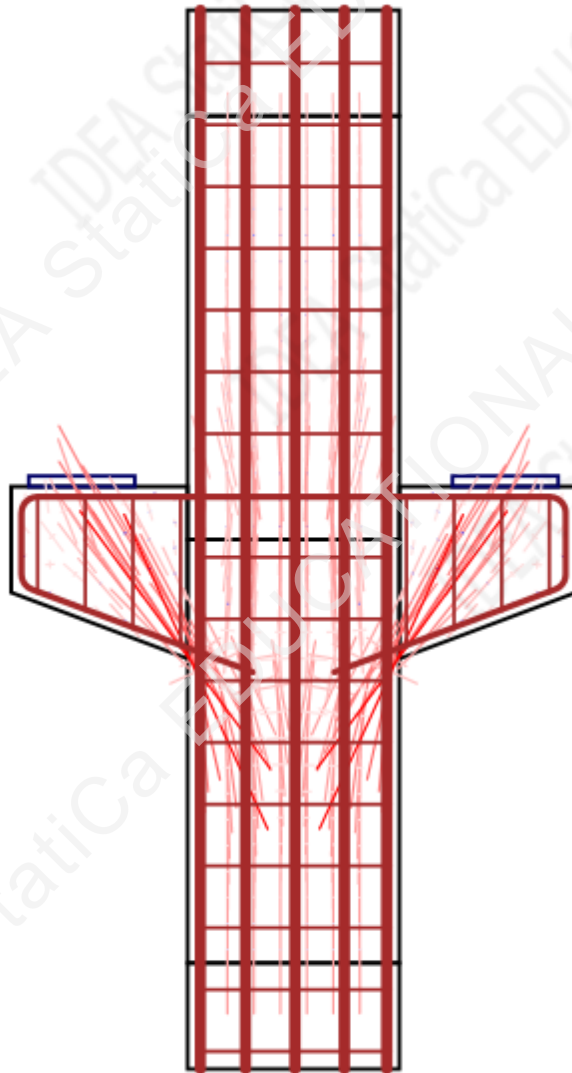
Project:  
Project no:  
Author:

Concrete principal strain  $\epsilon_c$



Project:  
Project no:  
Author:

Directions of principal stresses





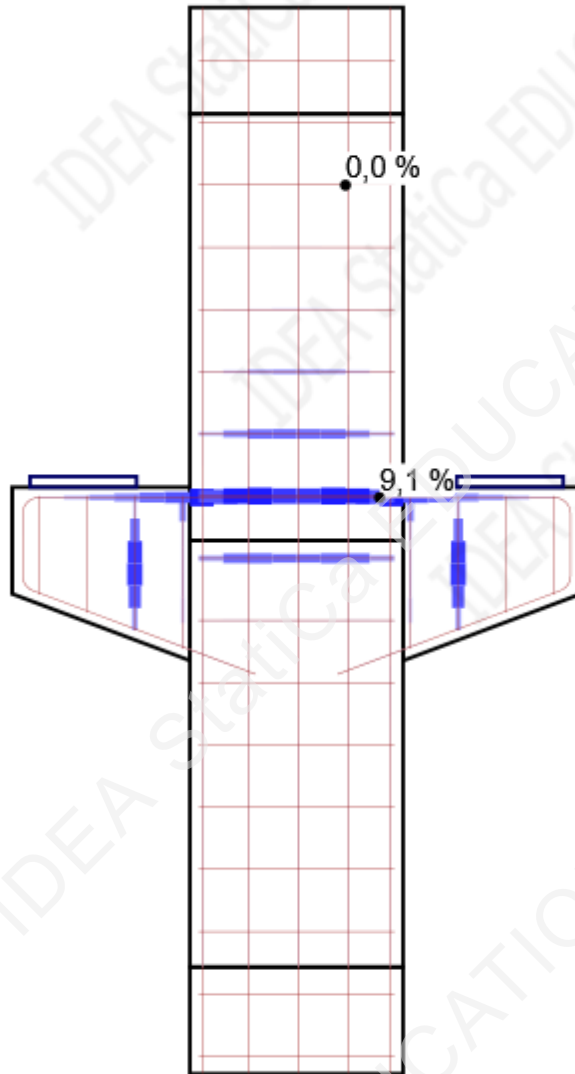
Project:  
Project no:  
Author:

Compressive strength reduction factor  $k_{c2}$



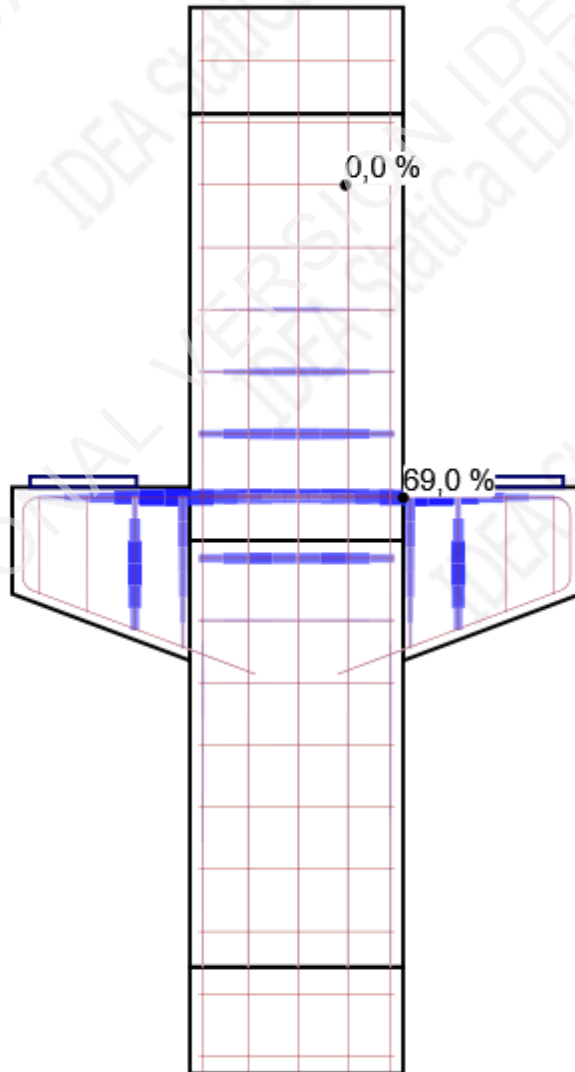
Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement strain/limit strain ratio -  $\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$  [%]



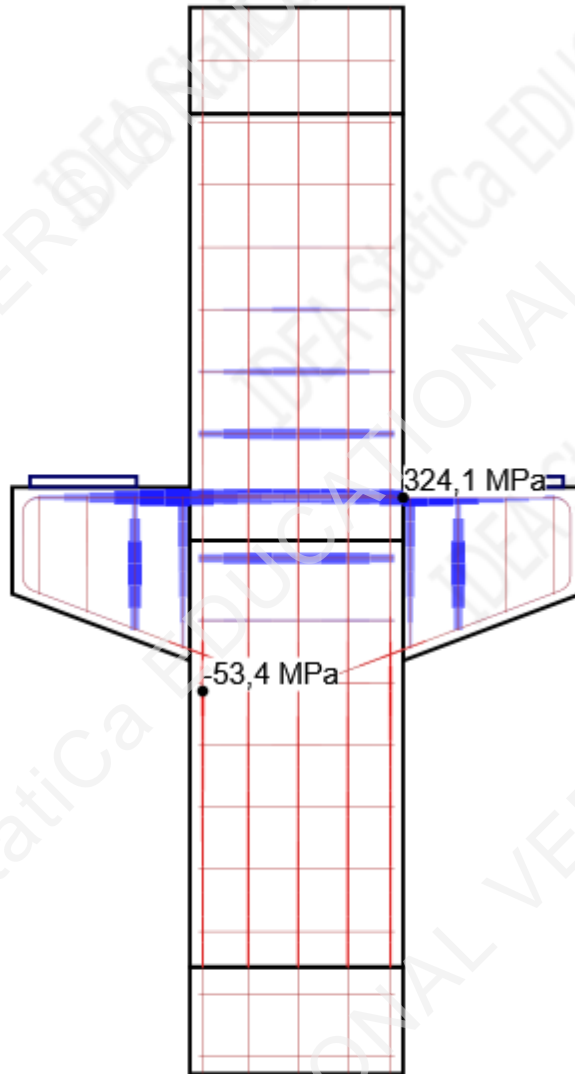
Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement stress/strength ratio -  $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$  [%]



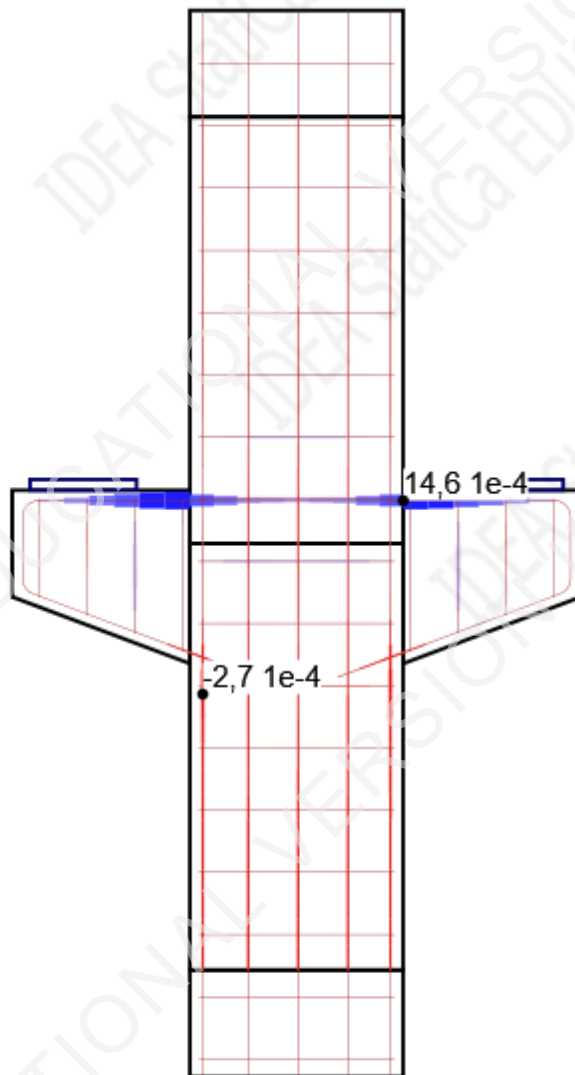
Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement stress -  $\sigma_s$  [MPa]



Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement strain -  $\epsilon_s$  [1e-4]



Project:  
Project no:  
Author:

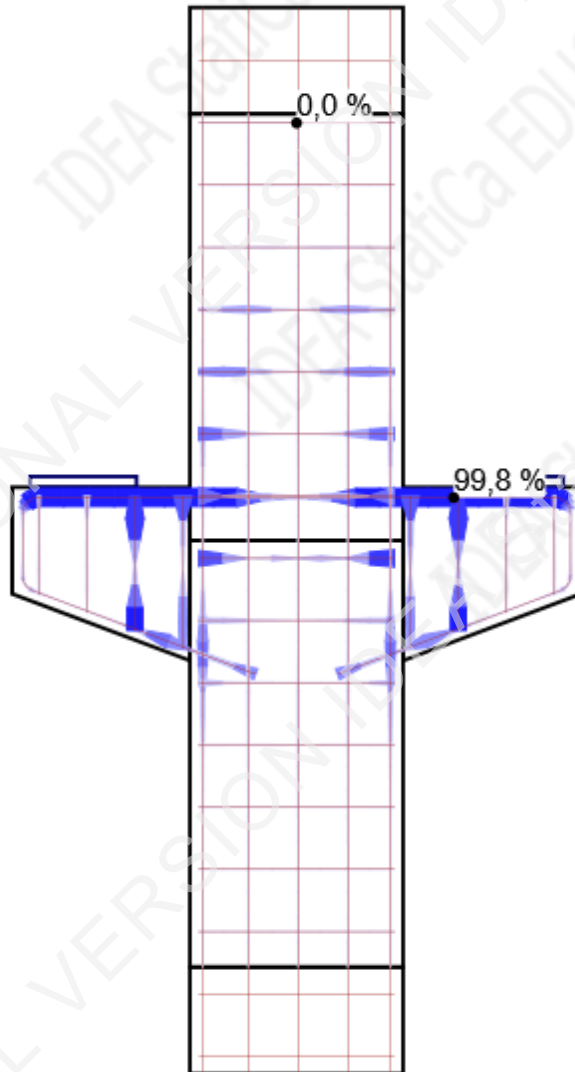
## ULS - Anchorage

Detailed anchorage results: C1, Load increment: G100,0%, V100,0%

Member	X [m]	Z [m]	$\tau_b$ [MPa]	$F_a$ [kN]	$F_{tot}$ [kN]	$F_{tot}/F_{lim}$ [%]	$\tau_b/f_{bd}$ [%]	
GB4	0,44	0,12	-3,4	0,0	304,5	63,7	99,8	OK
GB4	-0,44	0,12	3,4	0,0	250,4	52,4	99,8	OK
GB4	0,30	0,12	3,4	0,0	329,9	69,0	99,8	OK
GB4	-0,24	-0,33	-0,7	0,0	-37,5	7,8	21,3	OK
Vilice - stup	-0,28	0,13	3,4	31,3	37,1	50,3	99,8	OK
Vilice - stup	0,28	0,13	-3,4	31,3	37,0	50,2	99,8	OK
Vilice - stup	0,07	0,13	0,8	31,3	42,2	57,3	23,2	OK
Vilice - stup	0,14	-0,40	-0,1	31,3	-2,8	3,9	3,0	OK
Vilice desna konzola	0,46	0,06	3,4	22,9	17,9	24,3	99,8	OK
Vilice desna konzola	0,46	-0,19	-3,0	22,9	35,3	47,9	88,2	OK
Vilice desna konzola	0,46	-0,06	0,1	22,9	40,0	54,2	4,0	OK
Vilice desna konzola	0,59	0,06	0,0	22,9	-2,3	3,1	1,4	OK
Vilice lijeva konzola	-0,46	0,06	3,4	22,8	17,9	24,2	99,8	OK
Vilice lijeva konzola	-0,46	-0,25	-3,0	22,8	25,0	33,9	88,0	OK
Vilice lijeva konzola	-0,46	-0,06	0,1	22,8	40,0	54,2	4,3	OK
Vilice lijeva konzola	-0,59	0,06	-0,1	22,8	-2,4	3,2	2,7	OK
Uzd. arm. lijevo	-0,26	-0,28	1,8	0,0	-170,6	9,0	53,8	OK
Uzd. arm. lijevo	-0,26	-0,42	-0,6	0,0	-205,5	10,9	19,0	OK
Uzd. arm. lijevo	-0,26	0,14	0,2	0,0	-45,1	2,4	6,4	OK
Uzd. arm. lijevo	-0,26	-0,42	-0,6	0,0	-214,5	11,4	19,0	OK
Uzd. arm. desno	0,26	-0,28	1,8	0,0	-169,9	9,0	53,7	OK
Uzd. arm. desno	0,26	-0,42	-0,6	0,0	-204,7	10,8	19,1	OK
Uzd. arm. desno	0,26	0,14	0,2	0,0	-44,4	2,3	6,5	OK
Uzd. arm. desno	0,26	-0,42	-0,6	0,0	-213,7	11,3	19,1	OK
Uzd. arm. sredina	0,14	-0,42	0,4	0,0	-55,4	7,3	11,7	OK
Uzd. arm. sredina	0,00	-0,07	-0,1	0,0	-44,6	5,9	2,9	OK
Uzd. arm. sredina	0,00	0,85	0,0	0,0	-33,7	4,5	0,1	OK
Uzd. arm. sredina	-0,14	-1,20	0,0	0,0	-65,0	8,6	0,1	OK

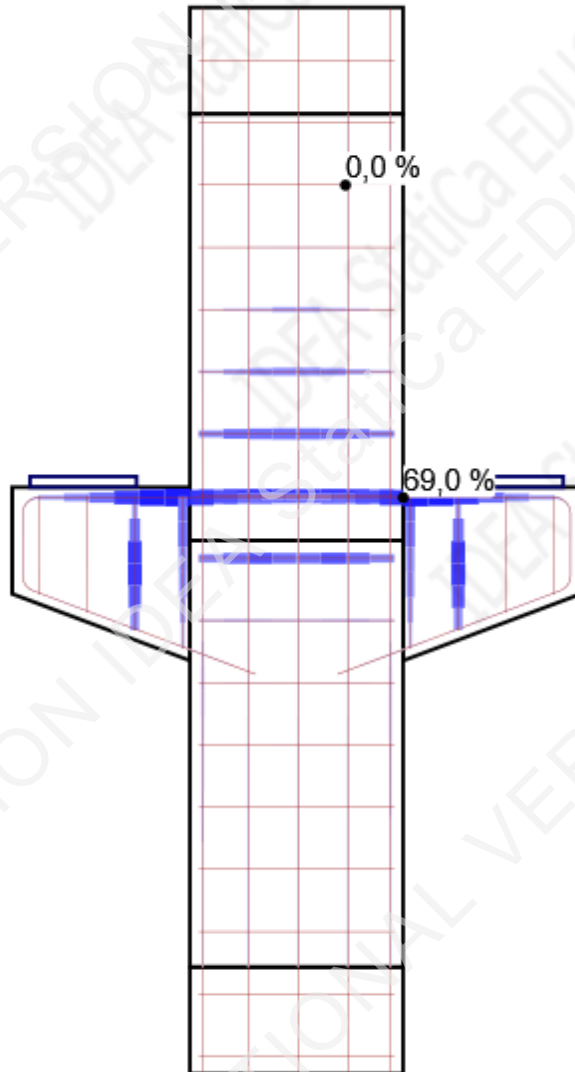
Project:  
Project no:  
Author:

Bond stress check value -  $\tau_b/f_{bd}$  [%]



Project:  
Project no:  
Author:

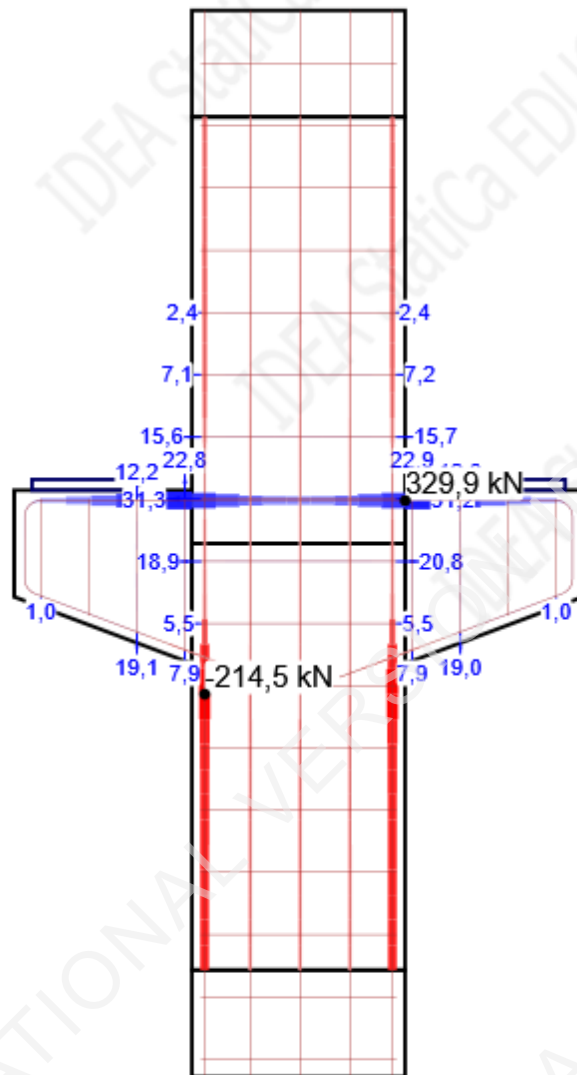
Force check value -  $F_{tot}/F_{lim}$  [%]





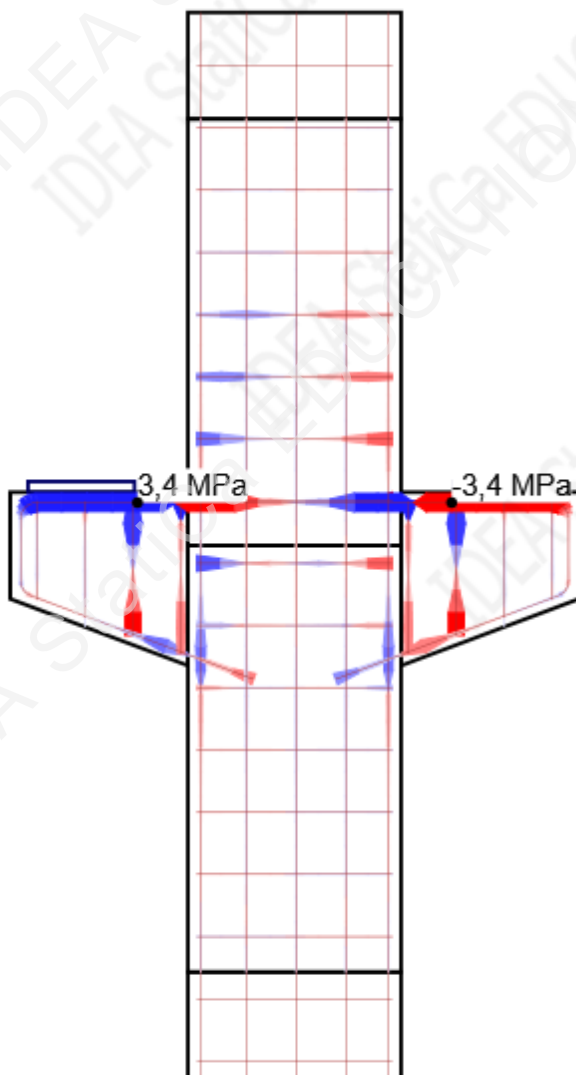
Project:  
Project no:  
Author:

Total force in the bar -  $F_{tot}$  [kN]



Project:  
 Project no:  
 Author:

Bond stress -  $\tau_b$  [MPa]



## Settings

### Creep coefficient

Type of input	Creep coefficient
Input by user	2,5
Input by user	2,5

## SLS - Stress

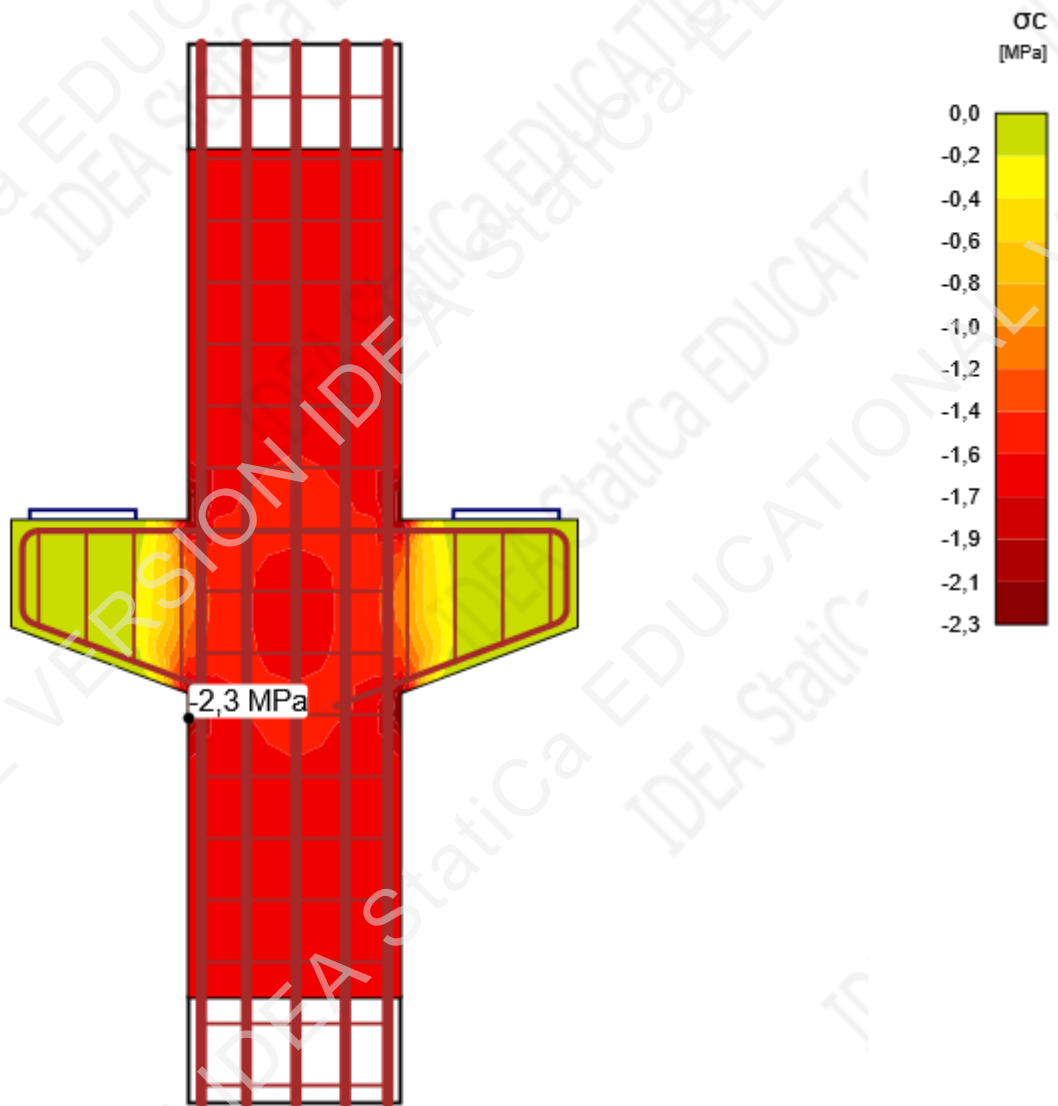
Detailed concrete stress results: C2, Load increment: G100,0%

Member	X [m]	Z [m]	Critical check	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_{lim}$ [MPa]	$\sigma_c/\sigma_{lim}$ [%]	
Lower column	-0,30	-0,41	7.2(3)	-2,3	15,8	14,8	OK
Upper column	-0,30	0,15	7.2(3)	-2,2	15,8	14,2	OK
Left beam	-0,30	-0,34	7.2(3)	-1,2	15,8	7,9	OK
Right beam	0,30	-0,34	7.2(3)	-1,2	15,8	7,9	OK

Detailed reinforcement stress results: C3, Load increment: G100,0%

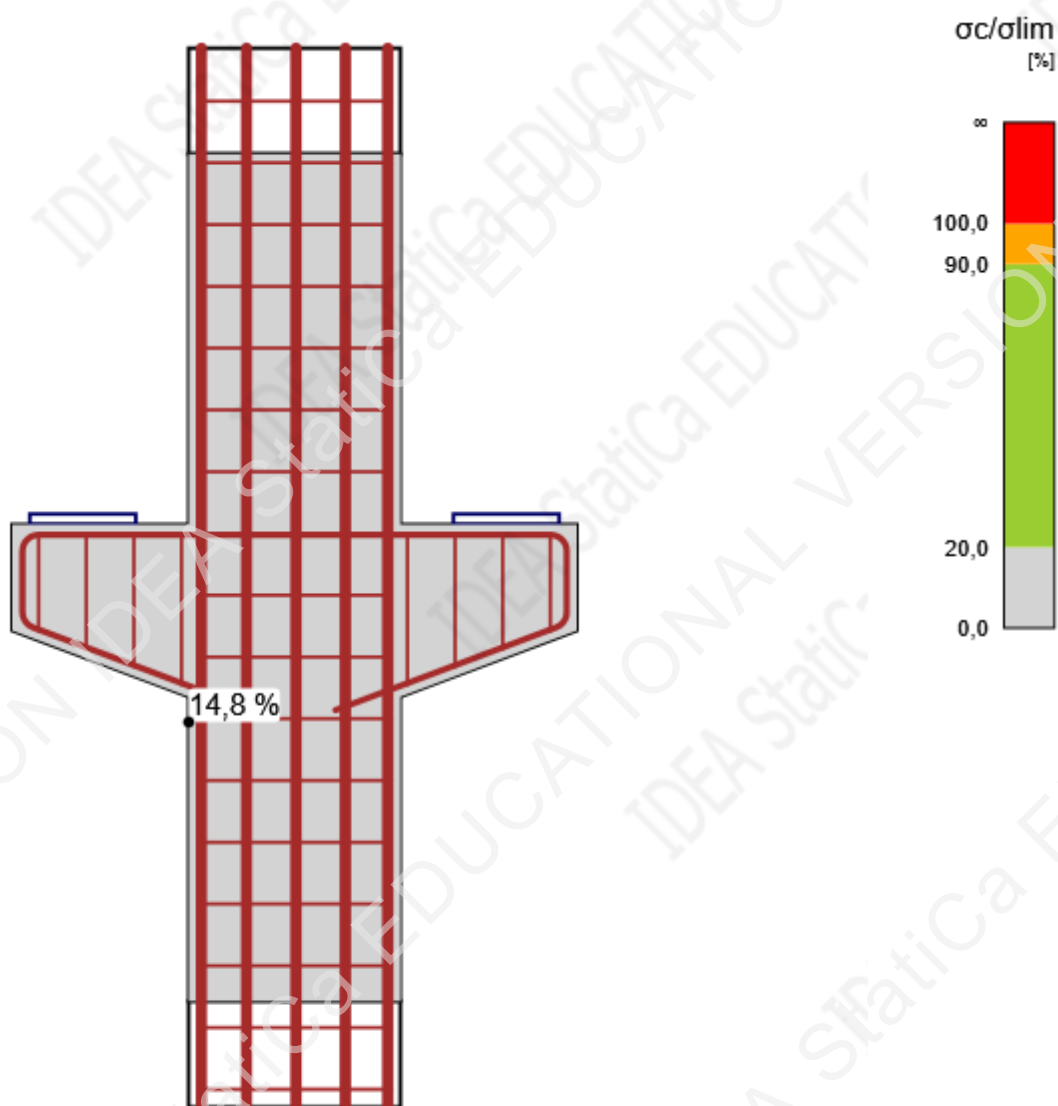
Reinforcement	X [m]	Z [m]	Critical check	$\sigma_s$ [MPa]	$\sigma_{lim}$ [MPa]	$\sigma_s/\sigma_{lim}$ [%]	
Vilice - stup	-0,28	-0,05	7.2(5)	68,9	400,0	17,2	OK
Vilice lijeva konzola	-0,59	-0,14	7.2(5)	5,2	400,0	1,3	OK
Vilice desna konzola	0,59	-0,14	7.2(5)	5,1	400,0	1,3	OK
Uzd. arm. desno	0,26	-1,20	7.2(5)	-22,8	400,0	0,0	OK
Uzd. arm. lijevo	-0,26	-1,20	7.2(5)	-23,0	400,0	0,0	OK
Uzd. arm. sredina	0,14	-1,20	7.2(5)	-23,0	400,0	0,0	OK
GB4	-0,37	0,12	7.2(5)	9,3	400,0	2,3	OK

Concrete stress



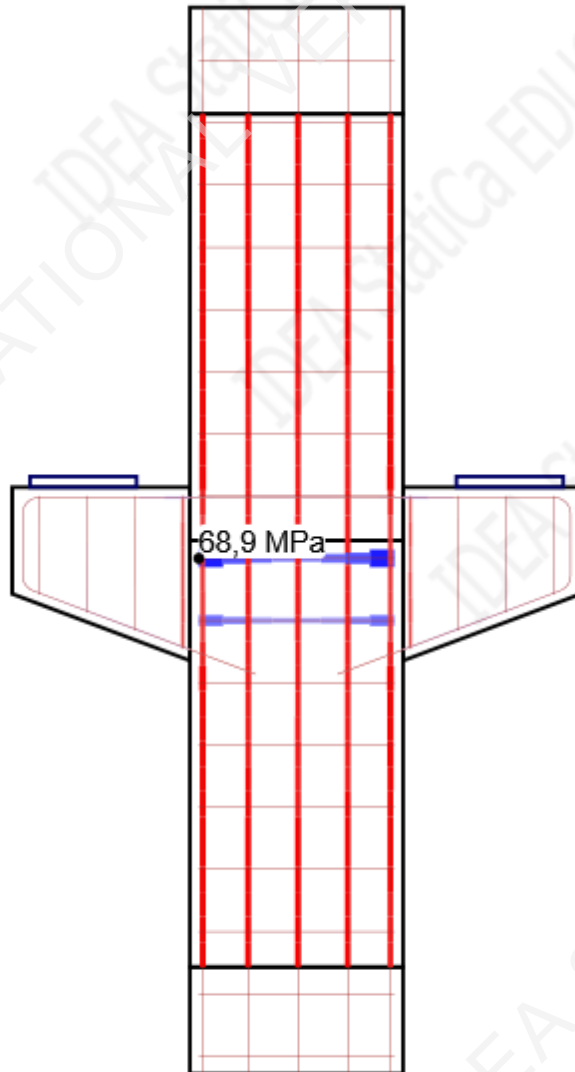
Project:  
Project no:  
Author:

Concrete stress check



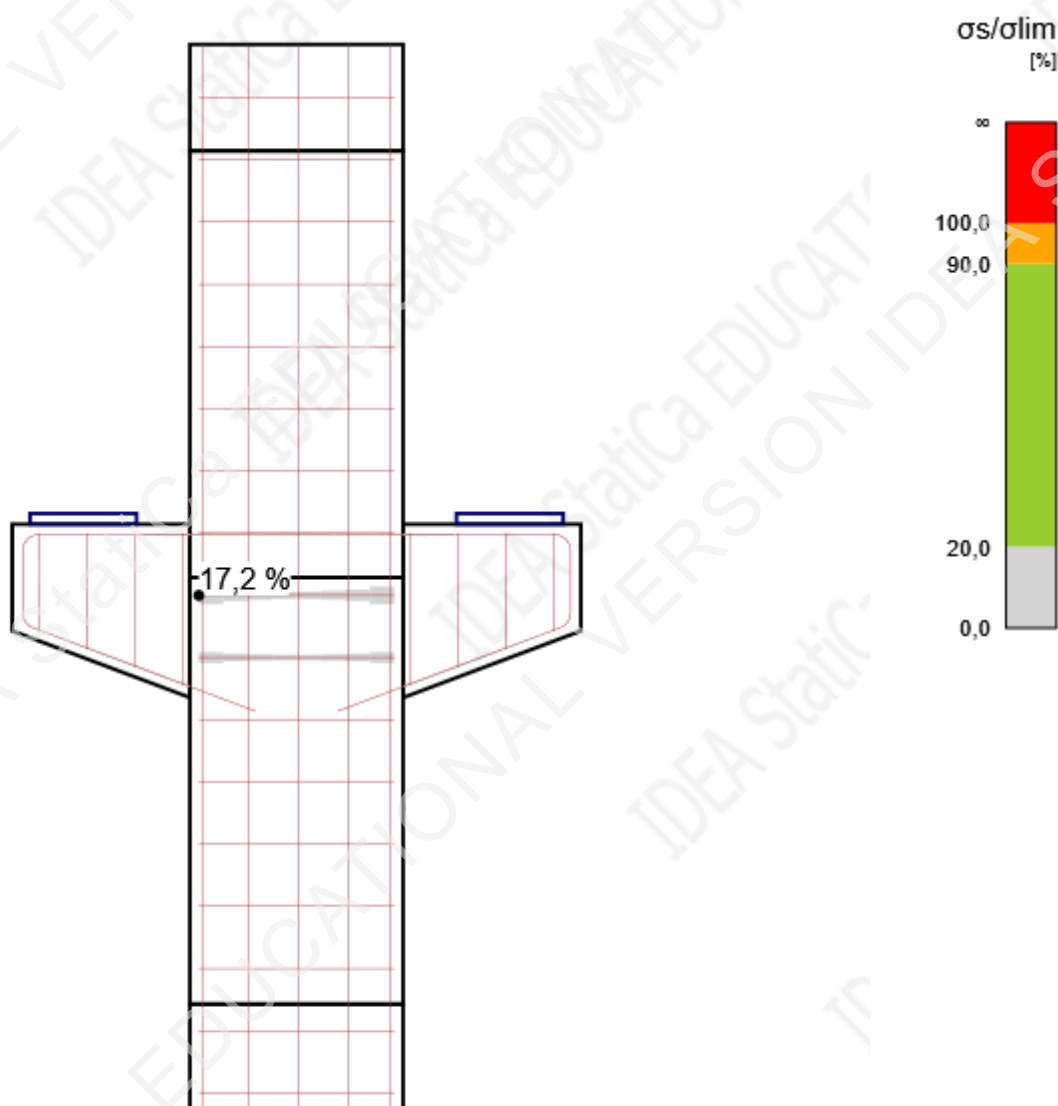
Project:  
Project no:  
Author:

Reinforcement stress -  $\sigma_s$  [MPa]



Project:  
Project no:  
Author:

**Reinforcement stress check**



**SLS - Crack**

Detailed crack results: C2, Load increment: G100,0%,  $w_{lim}=0,300$  mm

Member	X [m]	Z [m]	w [mm]	w/w <sub>lim</sub> [%]	
Vilice - stup	-0,28	-0,05	0,013	4,5	OK
Vilice lijeva konzola	-0,59	-0,14	0,001	0,4	OK
Vilice desna konzola	0,59	-0,14	0,001	0,4	OK
GB4	-0,30	0,12	0,001	0,3	OK
Uzd. arm. desno	0,26	-1,50	0,000	0,0	OK
Uzd. arm. lijevo	-0,26	-1,50	0,000	0,0	OK
Uzd. arm. sredina	0,14	-1,50	0,000	0,0	OK

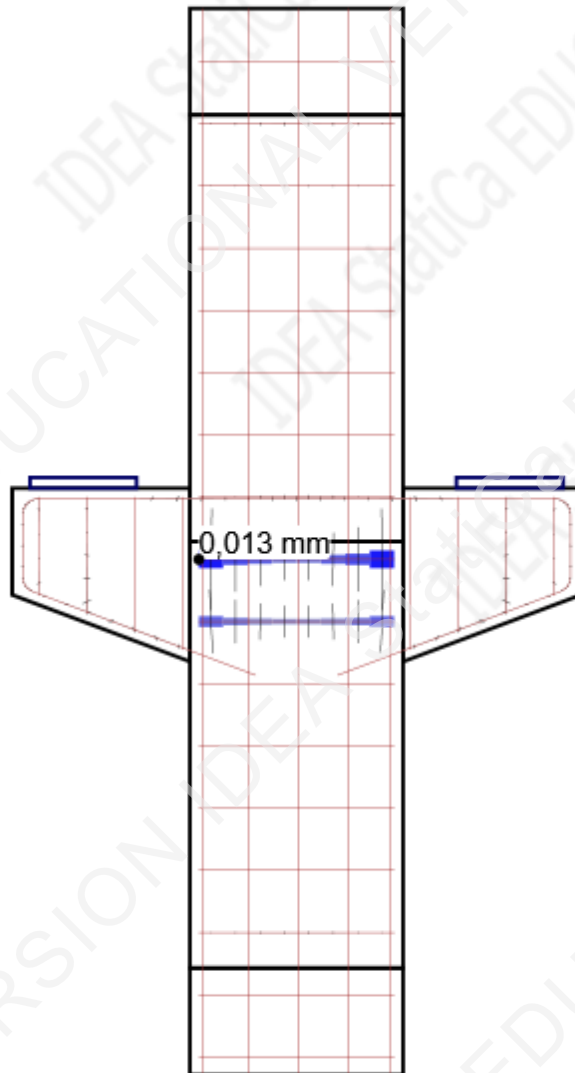
Project:  
 Project no:  
 Author:

**Intermediate crack results**

Member	$\epsilon_{cm}$ [1e-4]	$\epsilon_m$ [1e-4]	$s_r$ [mm]	$\Phi$ [mm]	$\rho_{eff}$ [%]	$w_b$ [mm]	$\theta_r$ [-]	$\theta_b$ [-]
Vilice - stup		0,3		10	1,20	0,013	1,56	0,00
Vilice lijeva konzola		0,0		10	1,35	0,001	0,43	1,57
Vilice desna konzola		0,0		10	1,35	0,001	2,71	1,57
GB4	0,0	0,0	409	18	1,09	0,001	1,45	0,00
Uzd. arm. desno	0,0	0,0	0	0	0,00	0,000	0,00	0,00
Uzd. arm. lijevo	0,0	0,0	0	0	0,00	0,000	0,00	0,00
Uzd. arm. sredina	0,0	0,0	0	0	0,00	0,000	0,00	0,00

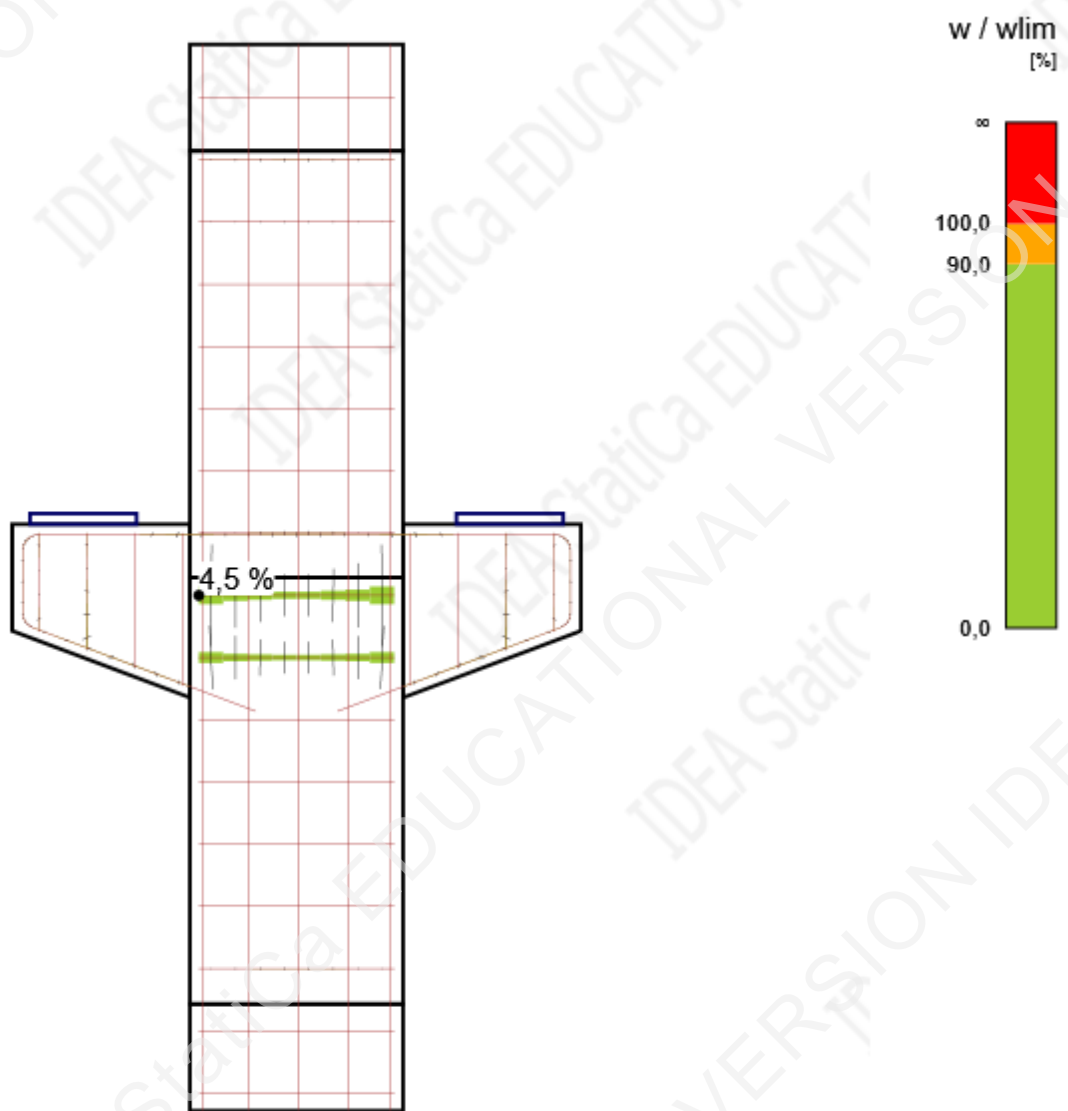
Note: There are TCM intermediate values displayed in the table above. Adequate POM values are not available in current version of the program.

**Crack width - w [mm]**



Project:  
 Project no:  
 Author:

**Crack width check**



**SLS - Deflection**

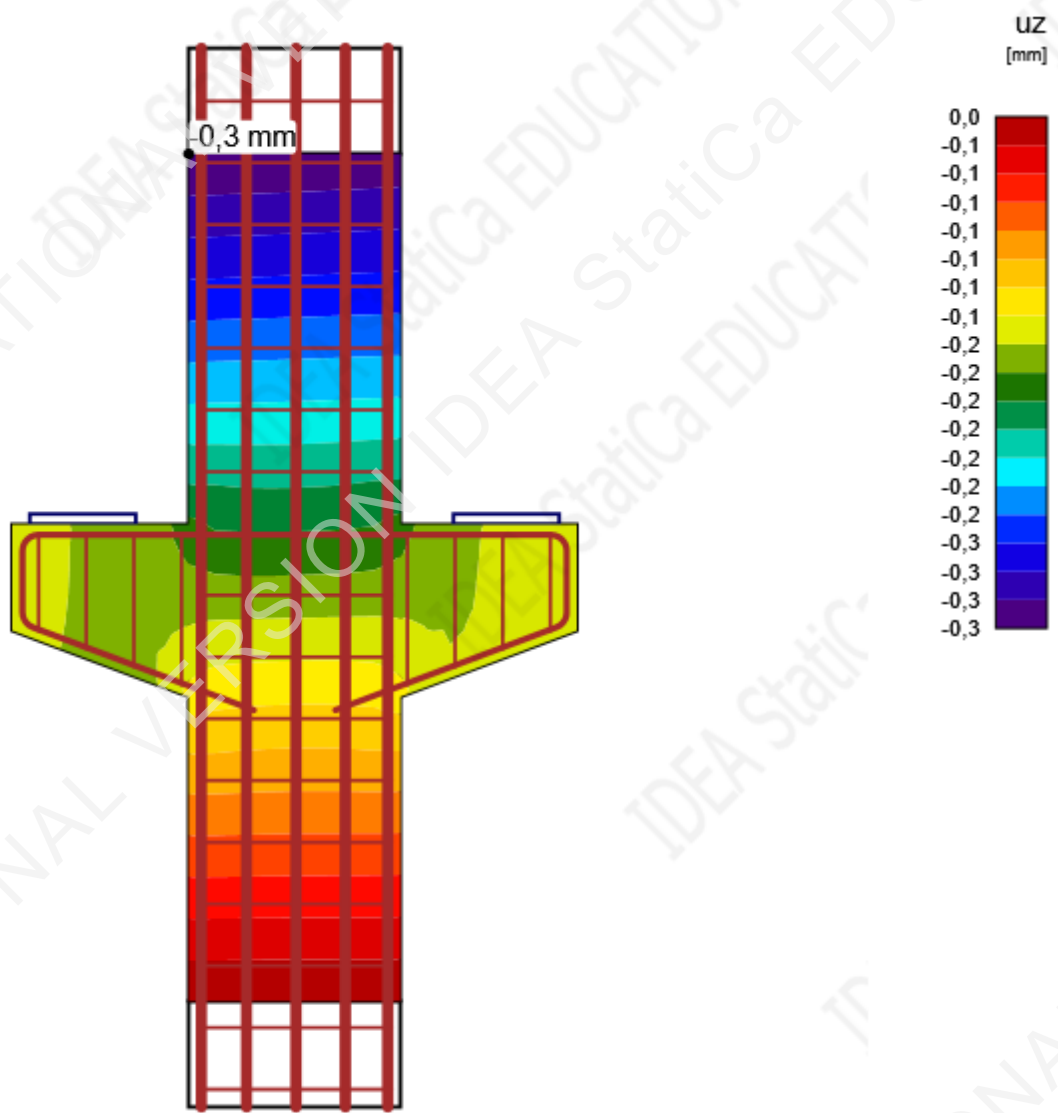
Detailed deflection results: C3, Load increment: G100,0%

Member	X [m]	Z [m]	$u_{z,st}$ [mm]	$u_{z,lt}$ [mm]	$\Delta u_z$ [mm]	$u_z$ [mm]	
Upper column	-0,30	1,20	-0,1	-0,3	0,0	-0,3	OK
Upper column	0,30	0,08		-0,2	0,0	-0,2	OK
Lower column	-0,15	0,00		-0,2	0,0	-0,2	OK
Left beam	-0,37	0,09	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	OK
Right beam	0,37	0,09	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	OK
Right beam	0,37	-0,31		-0,2	0,0	-0,2	OK
Left beam	-0,80	-0,15		-0,2	0,0	-0,2	OK
Lower column	0,30	-1,20		0,0	0,0	0,0	OK
Lower column	-0,08	0,00	-0,1				



Project:  
Project no:  
Author:

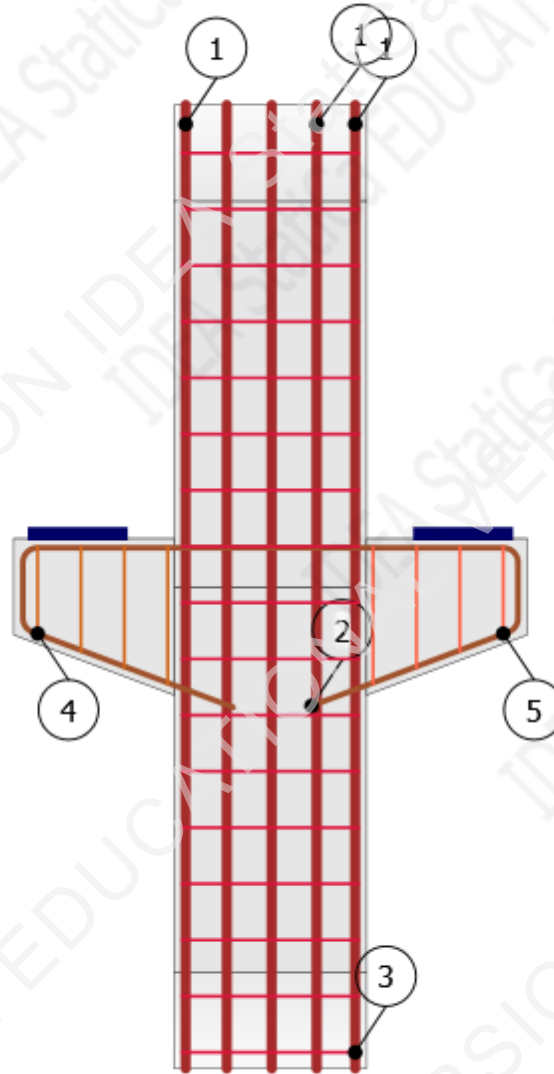
Deflection



Project:  
 Project no:  
 Author:

**Bill of material**

Items numbering



**Brief reinforcement bar table**

Index	Φ [mm]	Material	Items	Length [mm]	Weight [kg]	Total length [m]
1	32	B 500B	16	3000	19	48,00
2	18	B 500B	4	3389	7	13,56
3	10	B 500B	17	2936	2	49,91
4	10	B 500B	4	2388-2692	1-2	10,16
5	10	B 500B	4	2388-2692	1-2	10,16

Project:  
 Project no:  
 Author:

Detailed reinforcement bar tables

Parameter	Value	Shape
Index	1	
Φ [mm]	32	
Material	B 500B	
Number of items	16	
Length [mm]	3000	
Weight [kg]	19	
Total length [m]	48,00	

Parameter	Value	Shape
Index	2	
Φ [mm]	18	
Material	B 500B	
Number of items	4	
Length [mm]	3389	
Weight [kg]	7	
Total length [m]	13,56	

Parameter	Value	Shape
Index	3	
Φ [mm]	10	
Material	B 500B	
Number of items	17	
Length [mm]	2936	
Weight [kg]	2	
Total length [m]	49,91	

Parameter	Value	Shape (Min-Max)
Index	4	
Φ [mm]	10	
Material	B 500B	
Number of items	4	
Length [mm]	2388-2692	
Weight [kg]	1-2	
Total length [m]	10,16	

Parameter	Value	Shape (Min-Max)
Index	5	
Φ [mm]	10	
Material	B 500B	
Number of items	4	
Length [mm]	2388-2692	
Weight [kg]	1-2	
Total length [m]	10,16	

## Overview table

Project:	$\Phi$ [mm]	10	18	32
Length of $\Phi$ [m]		70,23	13,56	48,00
Weight per meter of $\Phi$ [kg/m]		1	2	6
Total weight of $\Phi$ [kg]		43	27	303
Total weight of bars [kg]		373		
Volume of concrete [m <sup>3</sup> ]		1,32		
Reinforcement weight per volume unit of concrete [kg/m <sup>3</sup> ]		284		

## Explanation

Symbol	Explanation
$f_{ck}$	Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days
$f_{ctk,0.05}$	Characteristic axial tensile strength of concrete 5% quantile
$f_{ctm}$	Mean value of axial tensile strength of concrete
$E_{cm}$	Secant modulus of elasticity of concrete
$\epsilon_c$	Compressive strain in the concrete at the peak stress $f_c$
$\epsilon_{cu}$	Ultimate compressive strain in the concrete
$f_{yk}$	Characteristic yield strength of reinforcement
$E_s$	Modulus of elasticity of reinforcement steel
$\epsilon_{uk}$	Characteristic strain of reinforcement or prestressing steel at maximum load
Properties	W - Width; H - Height; T - Thickness; L - Length; r - Radius; $\alpha$ - Inclination
Position	M - Master; MP - Master point; IP - Insert point
$\sigma_c$	The extreme value of compressive stress $\sigma_c$ of concrete of selected subregion.
$k_{c2}$	Compressive strength reduction factor $k_{c2}$
$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$	The ratio of concrete stress and concrete strength. It presents the level of material utilization with respect to concrete strength.
$\sigma_s$	Maximum stress along the length of reinforcement bar.
$\epsilon_s$	Maximum strain along the length of reinforcement bar.
$\sigma_s/\sigma_{s,lim}$	The ratio of stress and strength of the reinforcement. It presents the level of material utilization with respect to reinforcement strength.
$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$	The ratio of strain and limit strain of the reinforcement. It presents the level of material utilization with respect to limit strain
$T_b$	Bond stress on the surface of reinforcement bar.
$F_a$	The anchorage force. It is developed at the ends of the bars due to hooked anchorage.
$F_{tot}$	Total force developed along the length of the bar. It consists of the anchorage force due to hooked anchorage and bond force, which integrates bond stresses acting on the surface of the bar.
$F_{tot}/F_{lim}$	The ratio of total force in the bar and limit value of the force. It presents the level of utilization of the rebar. The limit value of the force is calculated as the minimum of two values: (a) the force calculated as the sum of ultimate anchorage force and the force developed from the end of the bar to the point of interest assuming ultimate bond strength, (b) the ultimate strength of the bar.
$T_b/f_{bd}$	The ratio of bond stress and ultimate bond strength for selected (group of) bars and applied portion of the load. It shows the level of utilization with respect to ultimate bond strength between the rebar and adjacent concrete.
Creep coefficient	Final value of creep coefficient at time interval ( $t_0 = 28$ days, $t_{inf} =$ design working life)
w	Total crack width including effect of creep.
$\epsilon_{cm}$	the mean strain in the concrete between cracks
$\epsilon_m$	the mean strain in the reinforcement under relevant combination of loads, including the effect of imposed deformations and taking into account the effects of tension stiffening. Only the additional tensile strain beyond the state of zero strain of the concrete at the same level is considered
$s_r$	mean value of axial tensile strength of concrete

Project:  
Project no:  
Author:

Symbol	Explanation
$\Phi$	diameter of reinforcing bar
$\rho_{\text{eff}}$	effective reinforcement ratio
$w_b$	calculated crack width
$\theta_r$	inclination of the cracks (the angle between the global coordinate system and the crack direction)
$\theta_b$	bar inclination (the angle between the global coordinate system and the axis of reinforcement bar)
$u_{z,\text{st}}$	Immediate deflection caused by total load, calculated with short-term stiffnesses.
$u_{z,\text{lt}}$	Long-term effects of long-term load.
$\Delta u_z$	Deflection increment caused by variable load.
$u_z$	Total deflection including effect of creep.

## Calculation presumptions

- Minimum amount of reinforcement resisting at least the tensile stresses prior cracking has to be provided in cracked zones.
- It is assumed that a transverse rebar or adequate overlap is provided to enable full anchorage of the stirrups.
- The analysis and code checks are performed for support conditions as specified in the project. No change of supports in construction/service stages is considered.
- Calculated deflection are displayed with respect to substitute boundary conditions, which were generated automatically as a part of computational model.
- The crack width is checked in the vicinity of the reinforcement only. No control of cracking is performed in non-reinforced zones.
- The presentation of crack spacing is schematic only. It does not represent the crack spacing computed for the calculations.

**STATIČKI PRORAČUN I  
DIMENZIONIRANJE DETALJA  
OSLANJANJA GREDE NA  
KRATKU KONZOLU – ETAŽA 1**

Project:  
Project no:  
Author:

## Materials

### Concrete

Name	$f_{ck}$ [MPa]	$f_{ctk,0.05}$ [MPa]	$f_{ctm}$ [MPa]	$E_{cm}$ [MPa]
C30/37	30,0	2,0	2,9	32836,6
$\epsilon_{c2} = 20,0 \cdot 1e-4$ , $\epsilon_{cu2} = 500,0 \cdot 1e-4$ , Diagram type: Parabolic Creep coefficient: 2,50				

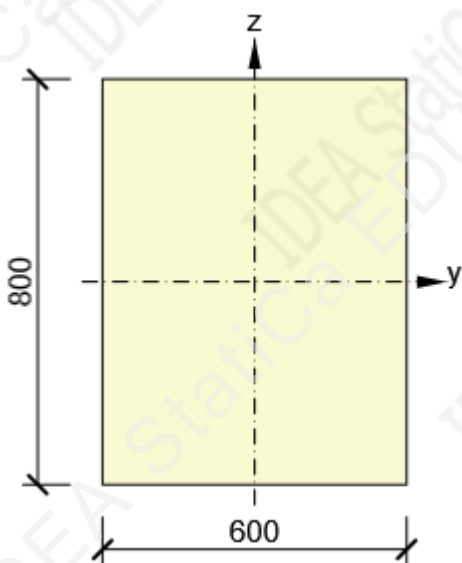
### Reinforcement

Name	$f_{yk}$ [MPa]	k [-]	$E_s$ [MPa]	Unit mass [kg/m <sup>3</sup> ]	$\epsilon_{uk}$ [1e-4]	Surface
B 500B	500,0	1,08	200000,0	7850	500,0	Ribbed
$\epsilon_{st} = 500,0 \cdot 1e-4$ , $\epsilon_{sc} = 500,0 \cdot 1e-4$ ,						

### Steel

Name	E [MPa]
S 355	210000,0

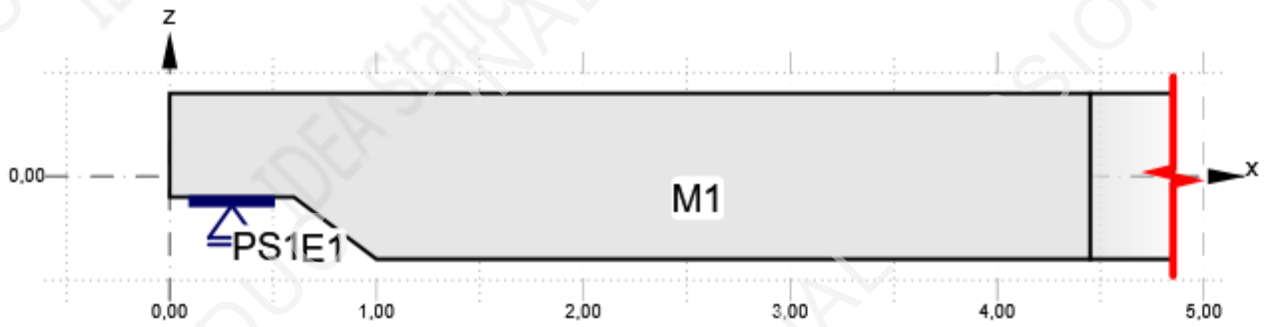
## Cross-sections

Name	Material	Master	Picture
2 - Rectangle 800, 600	C30/37	DRM1: M1	

### DRM1

Project:  
 Project no:  
 Author:

**Geometry**

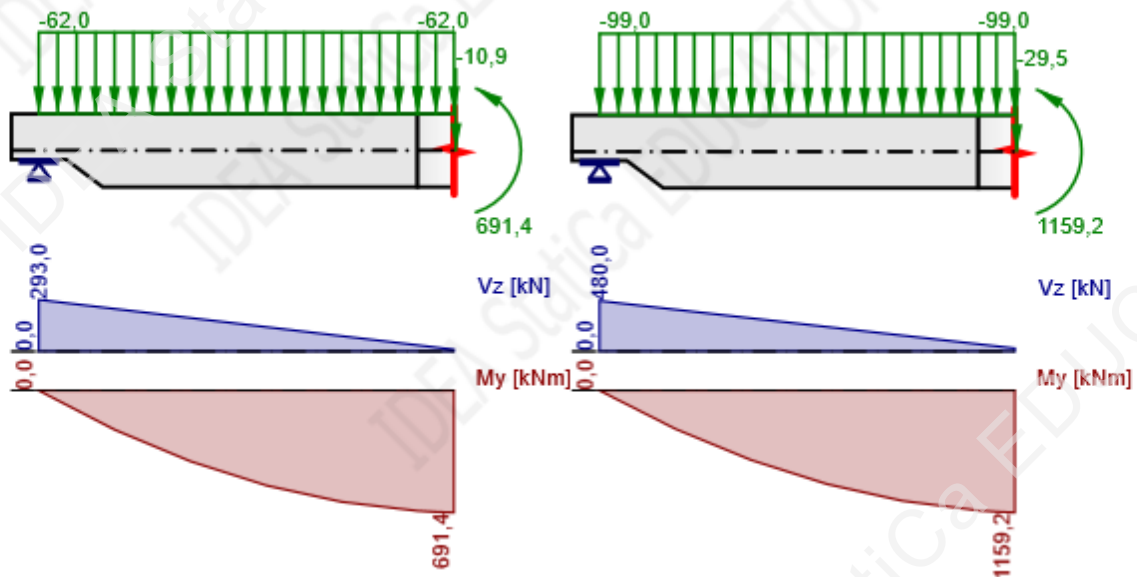


**Overview table**

Name	Type	Properties	Position
M1	Beam	L: 4,85 m; Cross-section: 2; Trimmed at: End	
DE1	Dapped end	W: 0,60 m; H: 0,30 m; HA: Right - 0,40 m	M: M1; MP: 1
PS1	Point support	Z	
PS1	Bearing plate	W: 0,40 m; T: 0,04 m; Material: S 355	M: M1, Edge 5; From beginning; X: 0,30 m

**Loads**

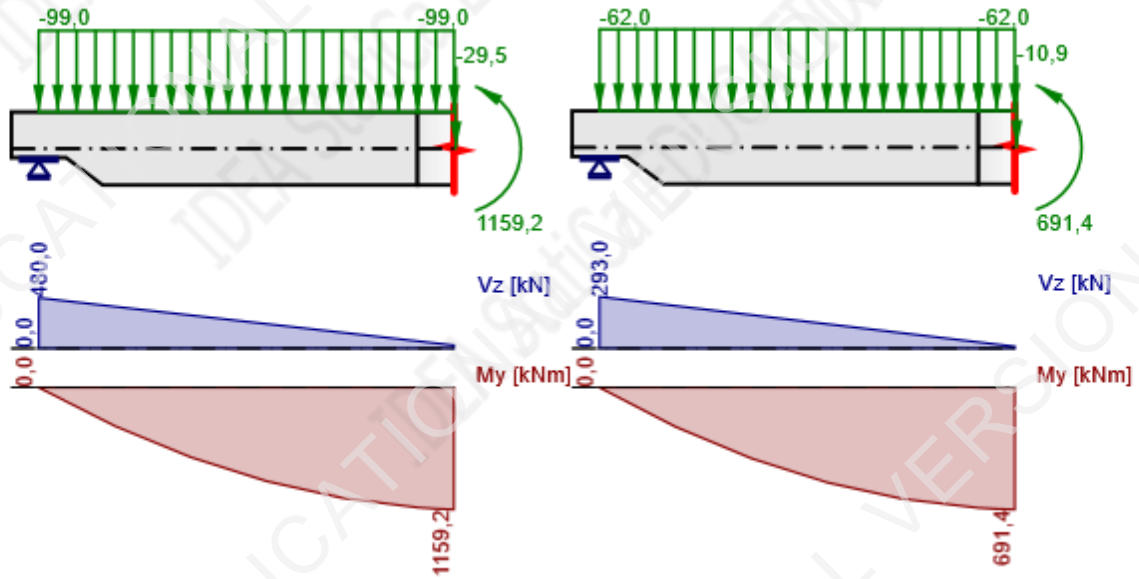
GSU, GSN



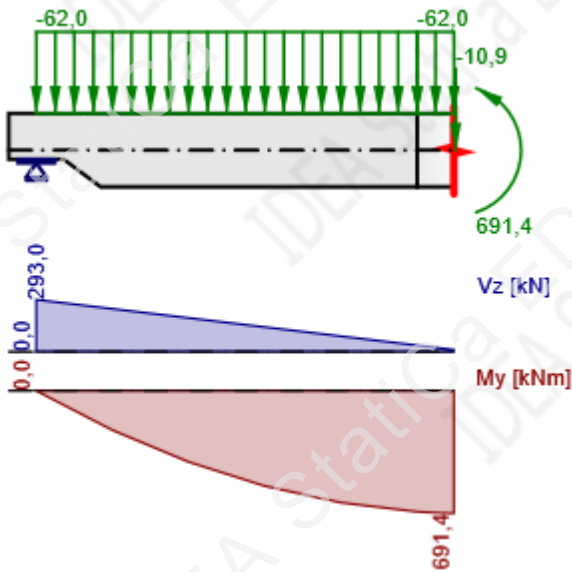


Project:  
 Project no:  
 Author:

C1, C2



C3



**Load case GSU - Permanent**

**Internal forces in supports or sections**

Member	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M1	0,30 m (Left)	0,0	0,0	0,0
M1	0,30 m (Right)	0,0	293,0	0,0

**Line loads**

Name	Begin [kN]	End [kN]	Direction	Position	Length [m]
LL1	-62,0	-62,0	Global Z	M1: Edge 3 Position on edge: 0,30 m	4,55

Project:  
 Project no:  
 Author:

## Load case GSN - Variable

### Internal forces in supports or sections

Member	Position	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
M1	0,30 m (Left)	0,0	0,0	0,0
M1	0,30 m (Right)	0,0	480,0	0,0

### Line loads

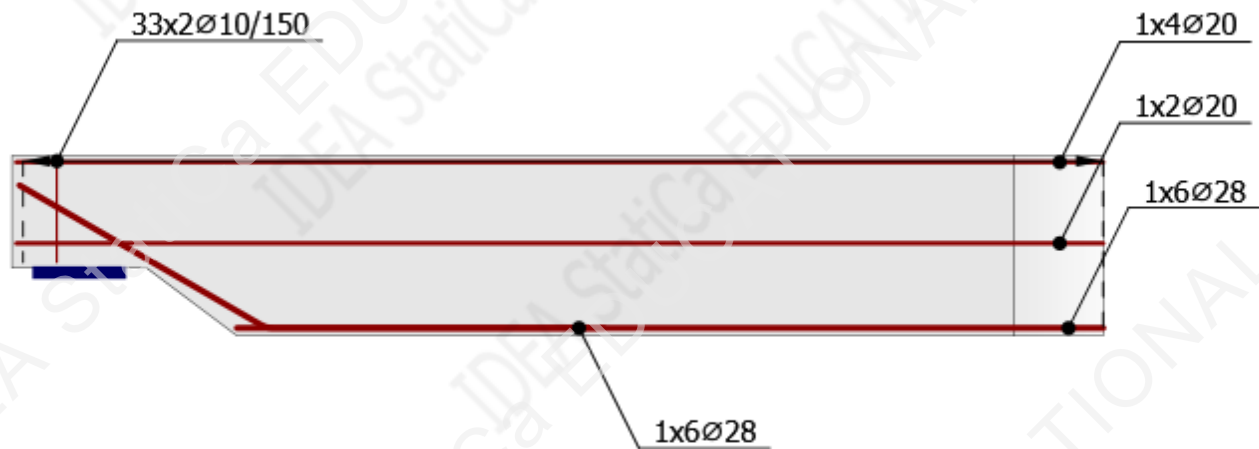
Name	Begin [kN]	End [kN]	Direction	Position	Length [m]
LL2	-99,0	-99,0	Global Z	M1: Edge 3 Position on edge: 0,30 m	4,55

### Combination

Name	Type	Content
C1	ULS	GSN
C2	SLS - Quasi-permanent	GSU
C3	SLS - Characteristic	GSU

## Reinforcement

### Scheme of reinforcement



Concrete: C30/37; Steel: B 500B

Project:  
Project no:  
Author:

## Results

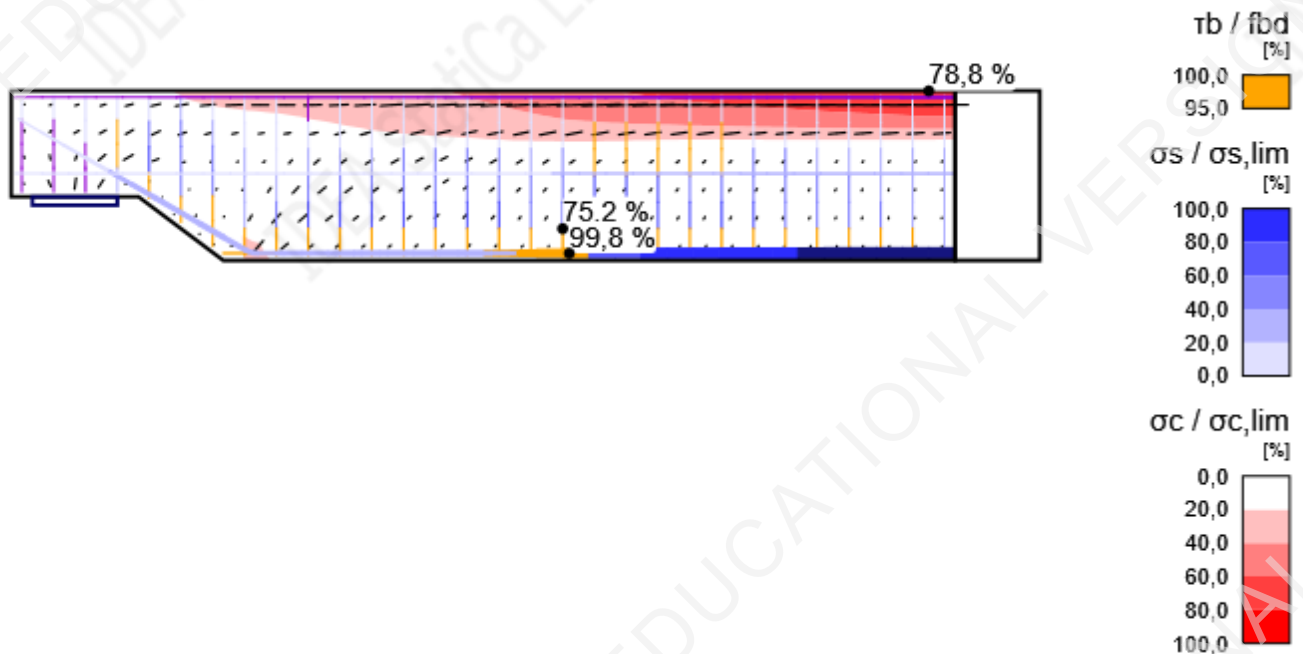
### Summary

#### Overview table

Check item	Combination	Increment	Item			
ULS	C1	G100,0%, V100,0%	Strength of reinforcement			✓
Check item		Item	Utilization			
Strength of concrete		M1	$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$ : 78,8%			✓
Strength of reinforcement		ST1	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$ : 14,8%, $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$ : 75,2%			✓
Anchorage length		IB1	$t_b/f_{bd}$ : 99,8%			✓
SLS	C2 (ST)	G100,0%	Stress limitation			✓
Check item	Combination	Increment	Critical check	Item	Utilization	
Stress limitation	C2 (ST)	G100,0%	7.2(3)	M1	98,9%	✓
Crack width	C2 (LT)	G100,0%	w/wlim	GB1	92,5%	✓

### ULS - Summary

#### Stress flow



Above yield	Compression	Explanation
		Thickness proportional to force

#### Summary of reactions and applied loads: C1, Load increment: G100,0%, V100,0%

Type	$F_x$ [kN]	$F_z$ [kNm]	$M_y$ [kNm]
Summary of reactions	0,0	293,0	87,9
Summary of applied load	0,0	-293,0	-87,9
Check of equilibrium	0,0	0,0	0,0

# U.L.S. Strength

Project:

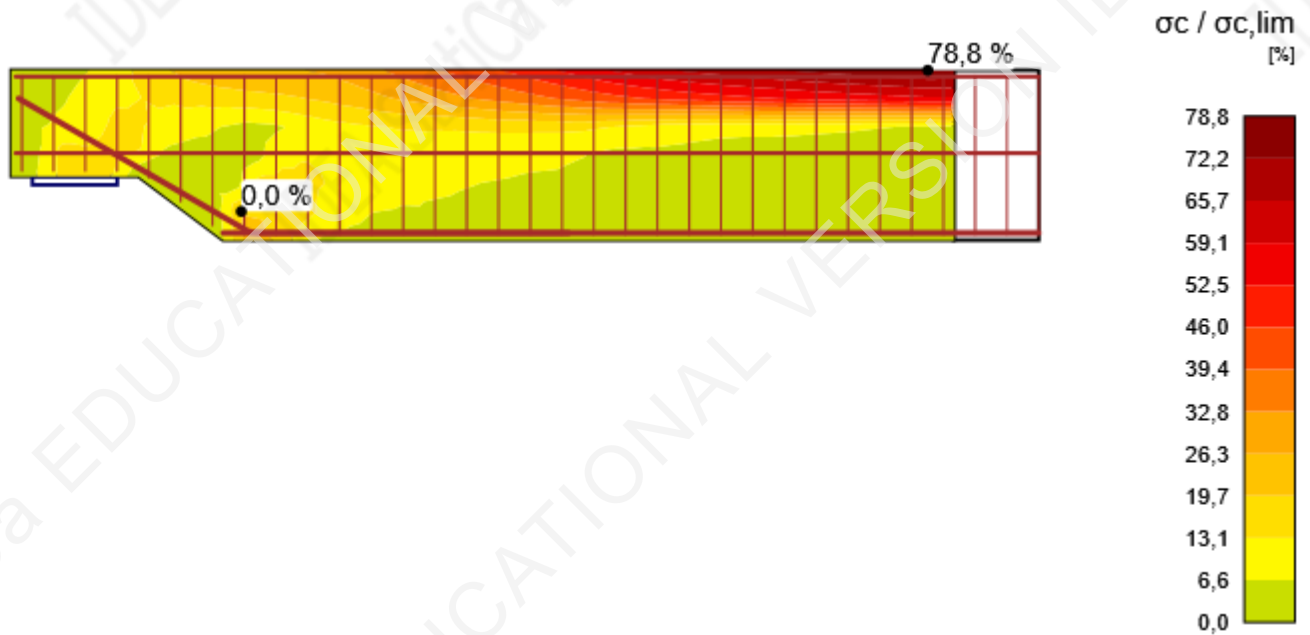
Detailed concrete strength results: C1, Load increment: G100,0%, V100,0%

Member	X [m]	Z [m]	$\sigma_c$ [MPa]	$\epsilon_c$ [1e-4]	$k_{c2}$ [-]	$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$ [%]	
M1	4,33	0,40	-15,8	-10,8	1,00	78,8	OK
M1	2,60	-0,40	0,0	0,0	0,81	0,0	OK

Detailed reinforcement strength results: C1, Load increment: G100,0%, V100,0%

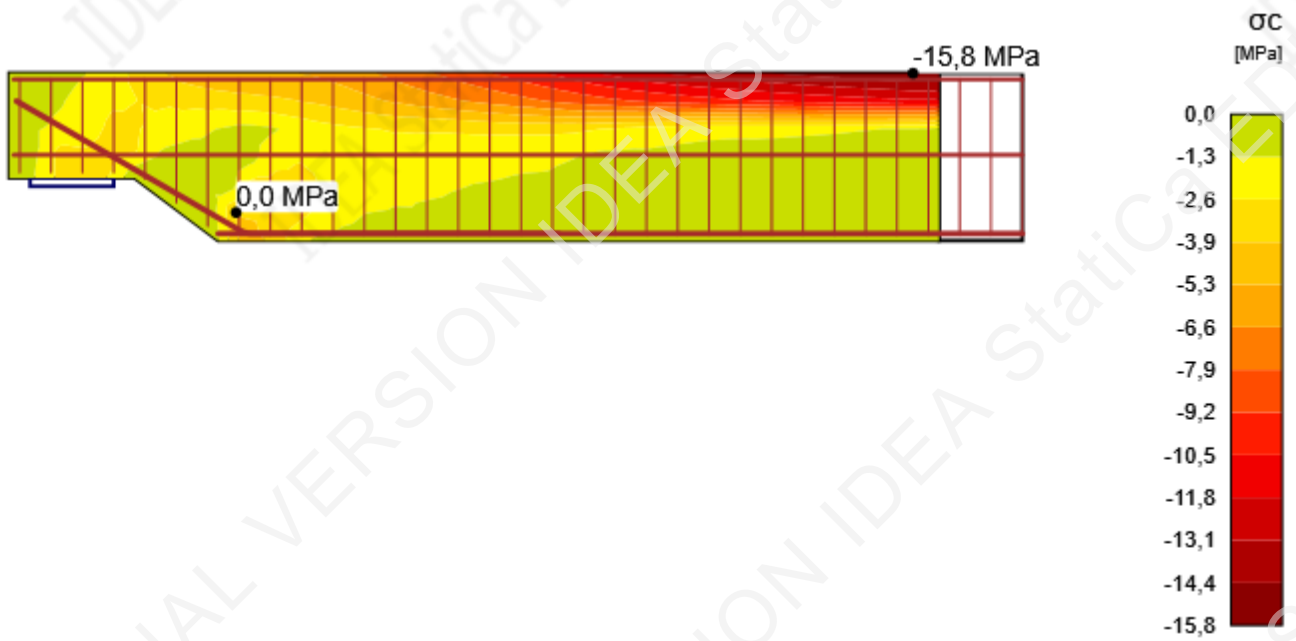
Member	X [m]	Z [m]	$\sigma_s$ [MPa]	$\epsilon_s$ [1e-4]	$\sigma_s/\sigma_{s,lim}$ [%]	$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$ [%]	
ST1	2,60	-0,25	353,3	6,2	75,2	14,8	OK
GB1	4,33	-0,37	432,9	20,2	92,2	7,5	OK
GB3	4,32	0,01	182,1	6,7	38,8	3,8	OK
IB1	0,89	-0,23	171,4	6,7	36,5	3,0	OK
GB2	4,32	0,37	-215,8	-10,8	46,0	2,4	OK
IB1	2,02	-0,37	156,8	7,1	33,4	2,0	OK
GB2	0,02	0,37	-0,1	0,0	0,0	0,0	OK

## Concrete stress/strength ratio

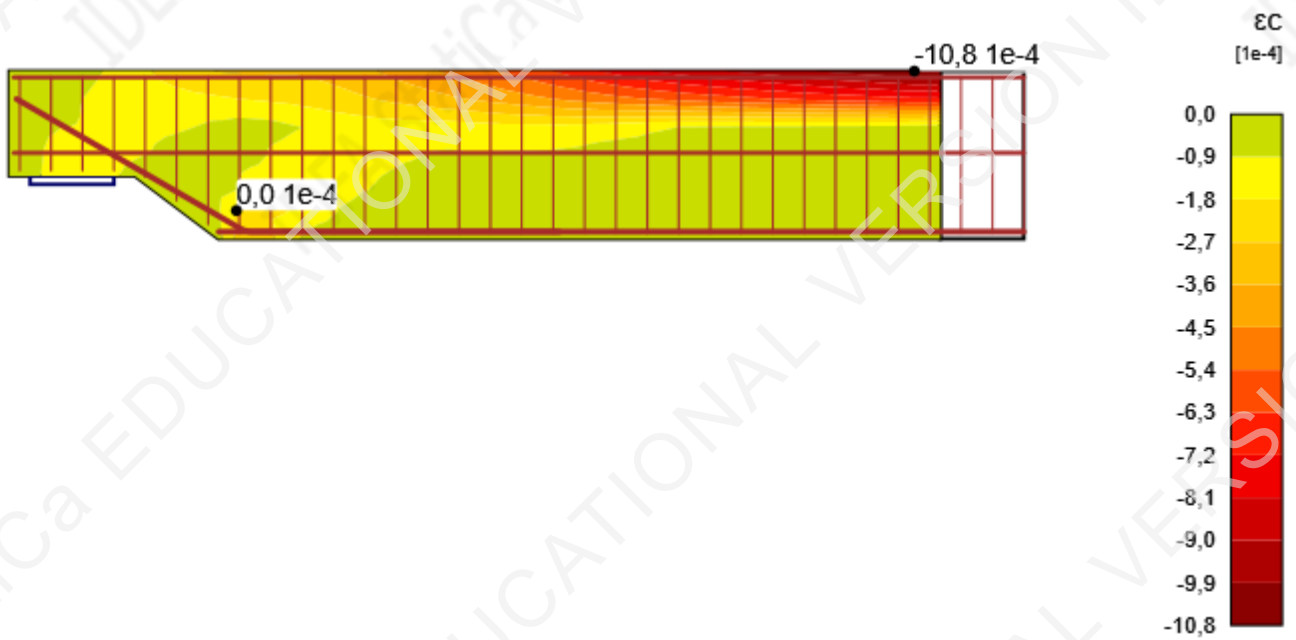


Project:  
Project no:  
Author:

Concrete principal stress  $\sigma_c$

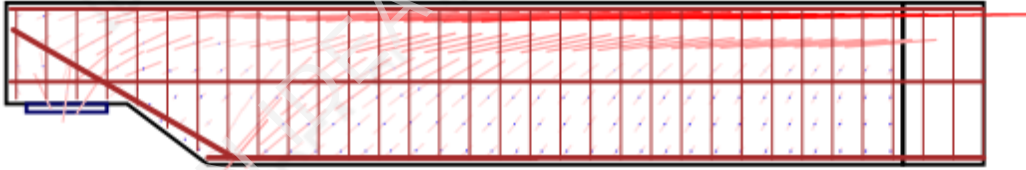


Concrete principal strain  $\epsilon_c$

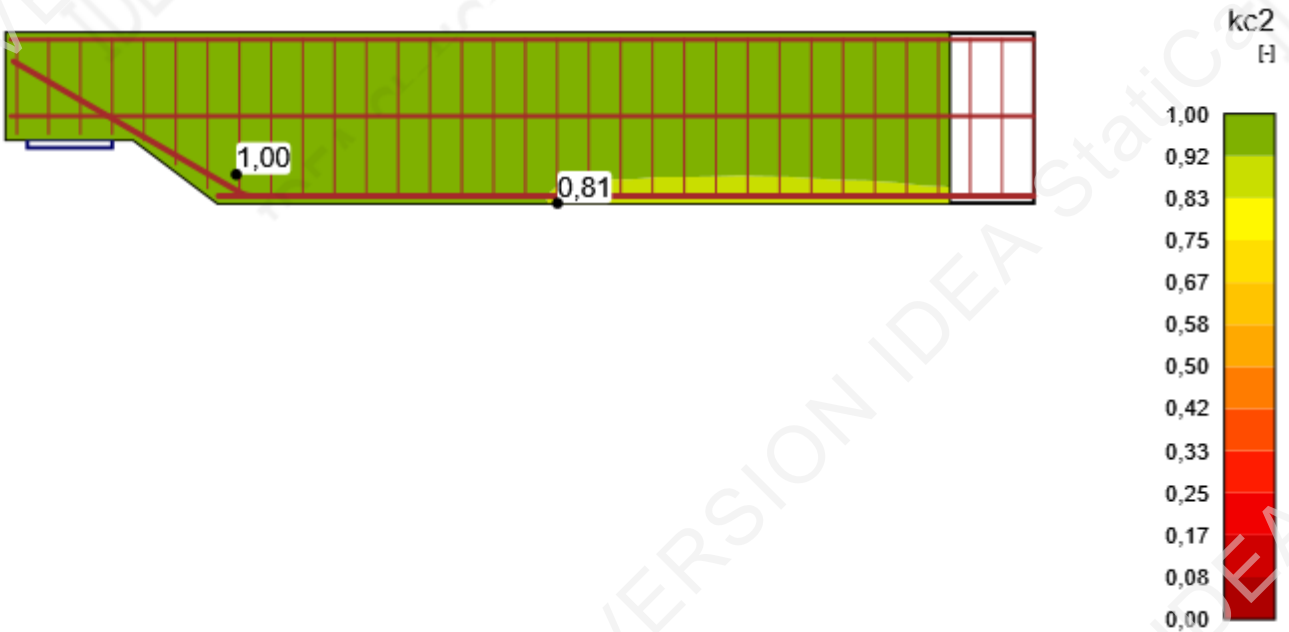


Project:  
Project no:  
Author:

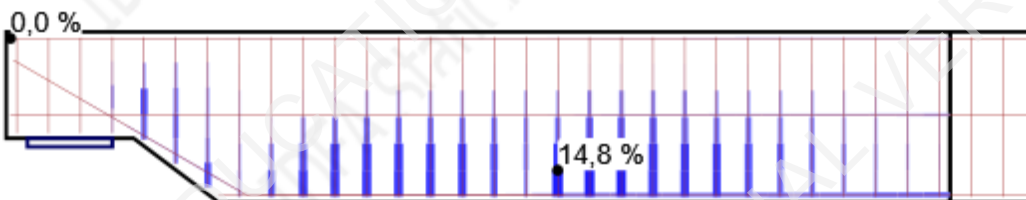
Directions of principal stresses



Compressive strength reduction factor  $k_{c2}$

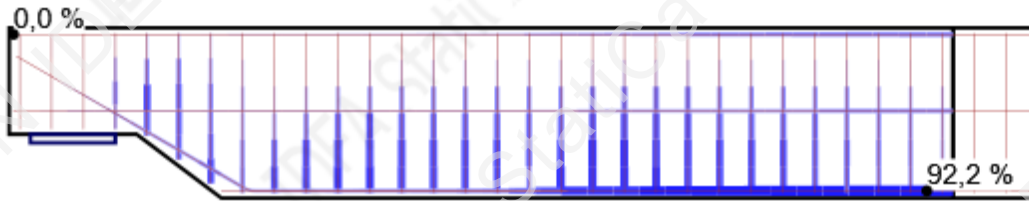


Reinforcement strain/limit strain ratio -  $\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$  [%]

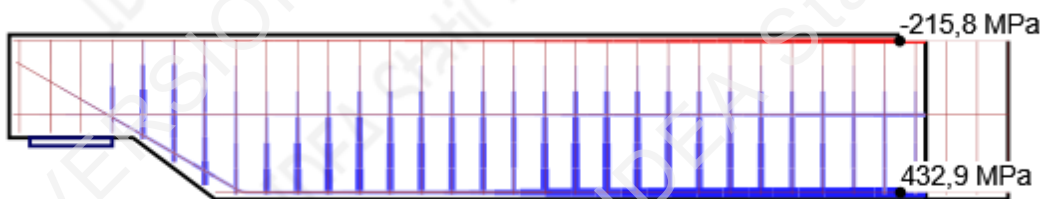


Project:  
Project no:  
Author:

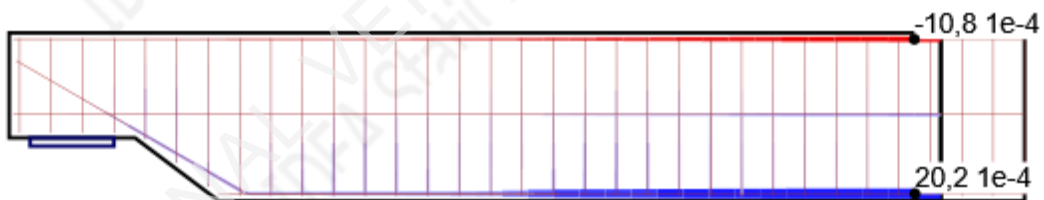
Reinforcement stress/strength ratio -  $\sigma_s/\sigma_{s,lim}$  [%]



Reinforcement stress -  $\sigma_s$  [MPa]



Reinforcement strain -  $\epsilon_s$  [1e-4]



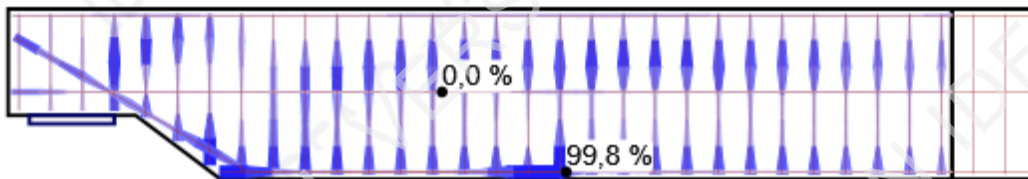
Project:  
 Project no:  
 Author:

**ULS - Anchorage**

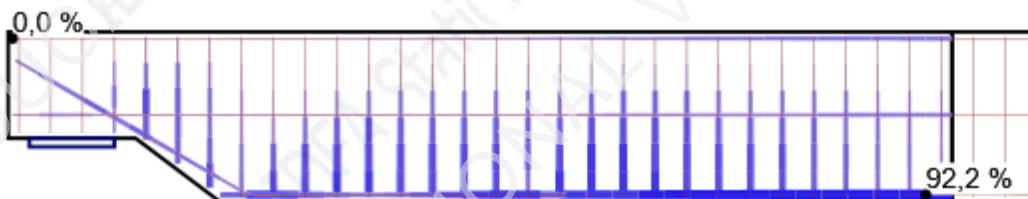
Detailed anchorage results: C1, Load increment: G100,0%, V100,0%

Member	X [m]	Z [m]	$\tau_b$ [MPa]	$F_a$ [kN]	$F_{tot}$ [kN]	$F_{tot}/F_{lim}$ [%]	$\tau_b/f_{bd}$ [%]	
IB1	2,63	-0,37	-3,0	1,6	99,7	50,8	99,8	OK
IB1	0,89	-0,23	2,6	1,6	554,6	36,4	83,9	OK
IB1	0,89	-0,23	2,6	1,6	633,2	36,8	83,9	OK
IB1	0,03	0,27	1,3	1,6	44,2	32,0	60,2	OK
IB1	2,26	-0,37	-1,7	1,6	463,8	78,8	54,5	OK
GB1	2,48	-0,37	3,0	0,9	929,7	53,6	99,8	OK
GB1	2,73	-0,37	-0,3	0,9	1304,0	75,2	8,9	OK
GB1	4,33	-0,37	0,1	0,9	1599,4	92,2	3,1	OK
GB1	1,00	-0,37	3,0	0,9	99,6	50,5	99,8	OK
ST1	2,60	-0,38	-3,0	46,5	55,5	75,2	99,8	OK
ST1	0,95	-0,21	3,0	46,5	34,4	46,7	99,8	OK
ST1	2,60	-0,25	2,6	46,5	55,5	75,2	86,8	OK
ST1	0,20	0,15	-0,2	46,5	-2,1	2,9	7,5	OK
GB3	0,15	0,01	1,4	0,0	10,2	21,2	45,3	OK
GB3	0,78	0,01	-0,3	0,0	39,9	13,8	10,1	OK
GB3	4,32	0,01	0,2	0,0	114,4	38,8	7,8	OK
GB3	0,02	0,01	1,2	0,0	10,2	21,2	40,5	OK
GB2	2,80	0,37	-0,4	0,0	-165,8	28,1	18,8	OK
GB2	0,02	0,37	0,1	0,0	-0,1	0,0	2,5	OK
GB2	4,32	0,37	-0,2	0,0	-271,2	46,0	10,2	OK

Bond stress check value -  $\tau_b/f_{bd}$  [%]



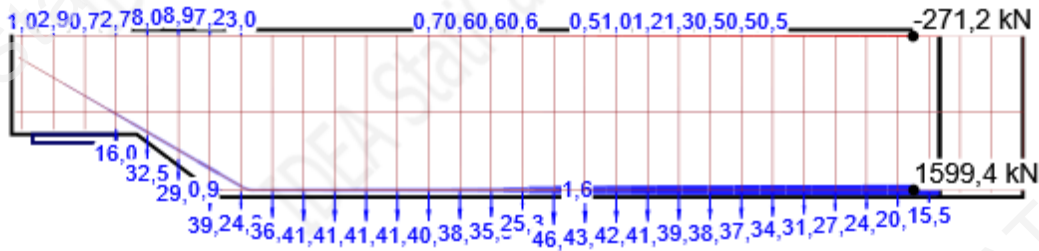
Force check value -  $F_{tot}/F_{lim}$  [%]



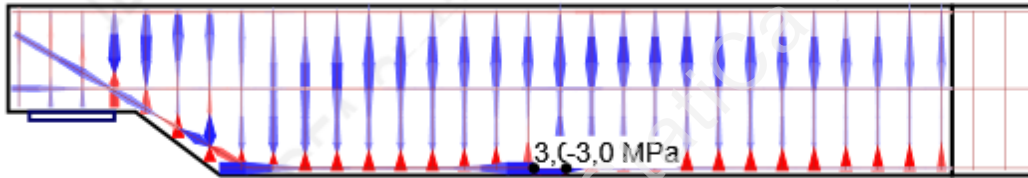


Project:  
Project no:  
Author:

Total force in the bar -  $F_{tot}$  [kN]



Bond stress -  $\tau_b$  [MPa]



### Settings

Creep coefficient

Type of input	Creep coefficient
Input by user	2,5

### SLS - Stress

Detailed concrete stress results: C2, Load increment: G100,0%

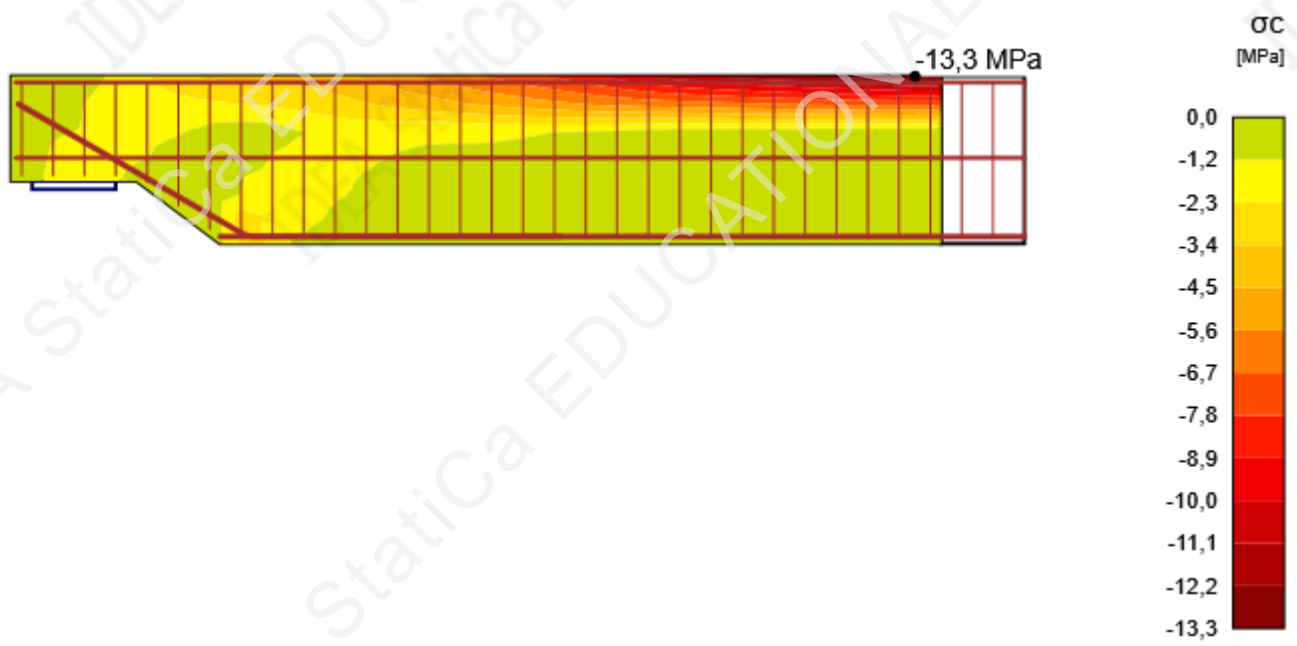
Member	X [m]	Z [m]	Critical check	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_{lim}$ [MPa]	$\sigma_c/\sigma_{lim}$ [%]	
M1	4,33	0,40	7.2(3)	-13,3	13,5	98,9	OK

Detailed reinforcement stress results: C3, Load increment: G100,0%

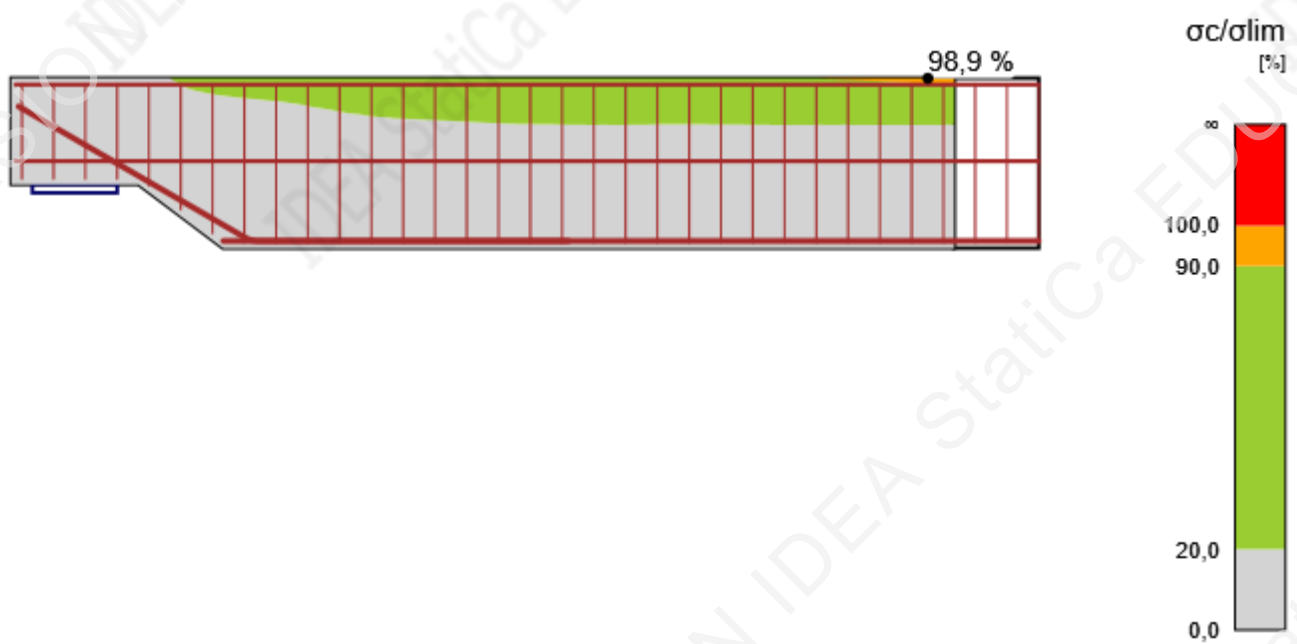
Reinforcement	X [m]	Z [m]	Critical check	$\sigma_s$ [MPa]	$\sigma_{lim}$ [MPa]	$\sigma_s/\sigma_{lim}$ [%]	
ST1	1,55	-0,25	7.2(5)	241,8	400,0	60,5	OK
GB1	4,20	-0,37	7.2(5)	261,9	400,0	65,5	OK
GB2	0,02	0,37	7.2(5)	0,7	400,0	0,2	OK
GB3	4,32	0,01	7.2(5)	105,1	400,0	26,3	OK
IB1	0,89	-0,23	7.2(5)	116,4	400,0	29,1	OK

Project:  
Project no:  
Author:

**Concrete stress**

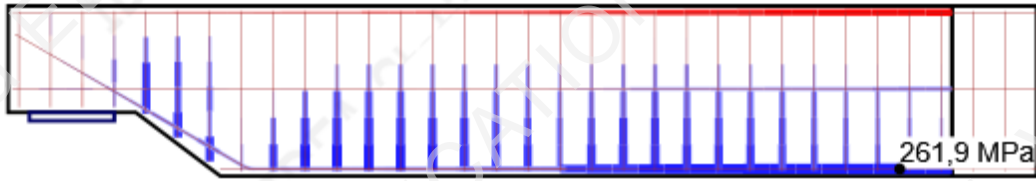


**Concrete stress check**

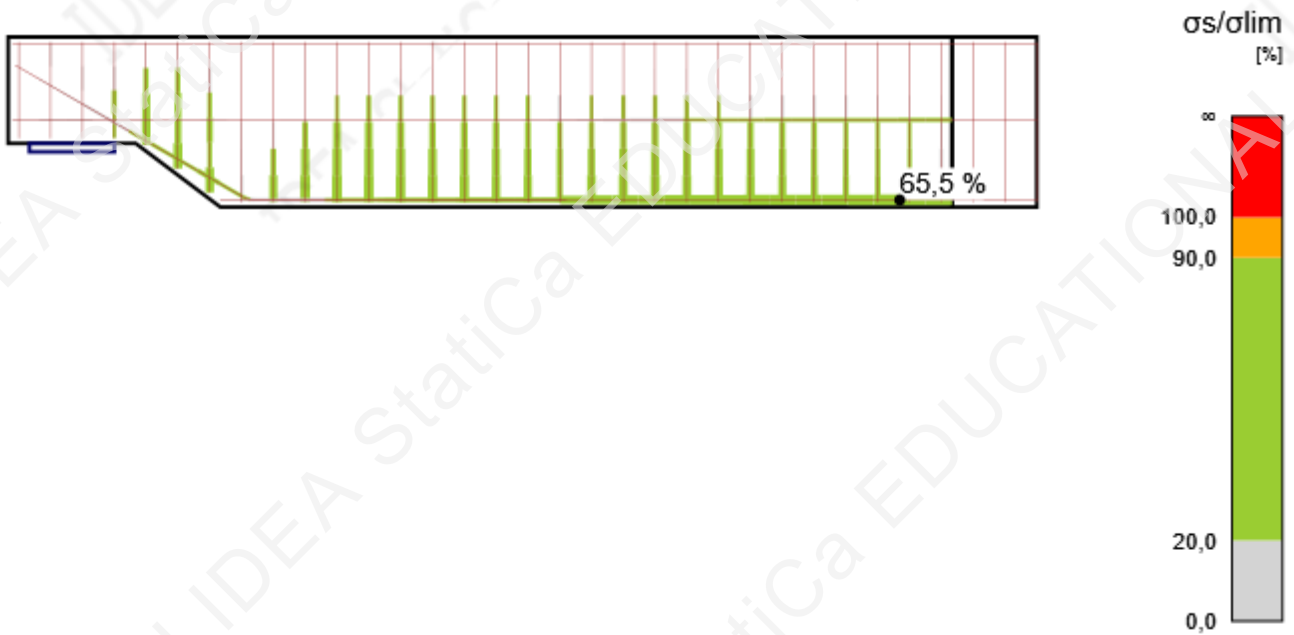


Project:  
 Project no:  
 Author:

**Reinforcement stress -  $\sigma_s$  [MPa]**



**Reinforcement stress check**



**SLS - Crack**

Detailed crack results: C2, Load increment: G100,0%,  $w_{lim}=0,300$  mm

Member	X [m]	Z [m]	w [mm]	w/w <sub>lim</sub> [%]	
GB1	3,71	-0,37	0,278	92,5	OK
ST1	2,90	-0,25	0,225	74,9	OK
IB1	0,89	-0,23	0,113	37,7	OK
GB3	4,32	0,01	0,075	24,9	OK
GB2	0,02	0,37	0,000	0,1	OK

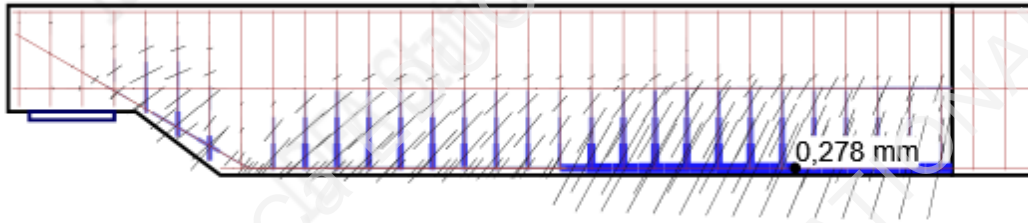
Project:  
 Project no:  
 Author:

**Intermediate crack results**

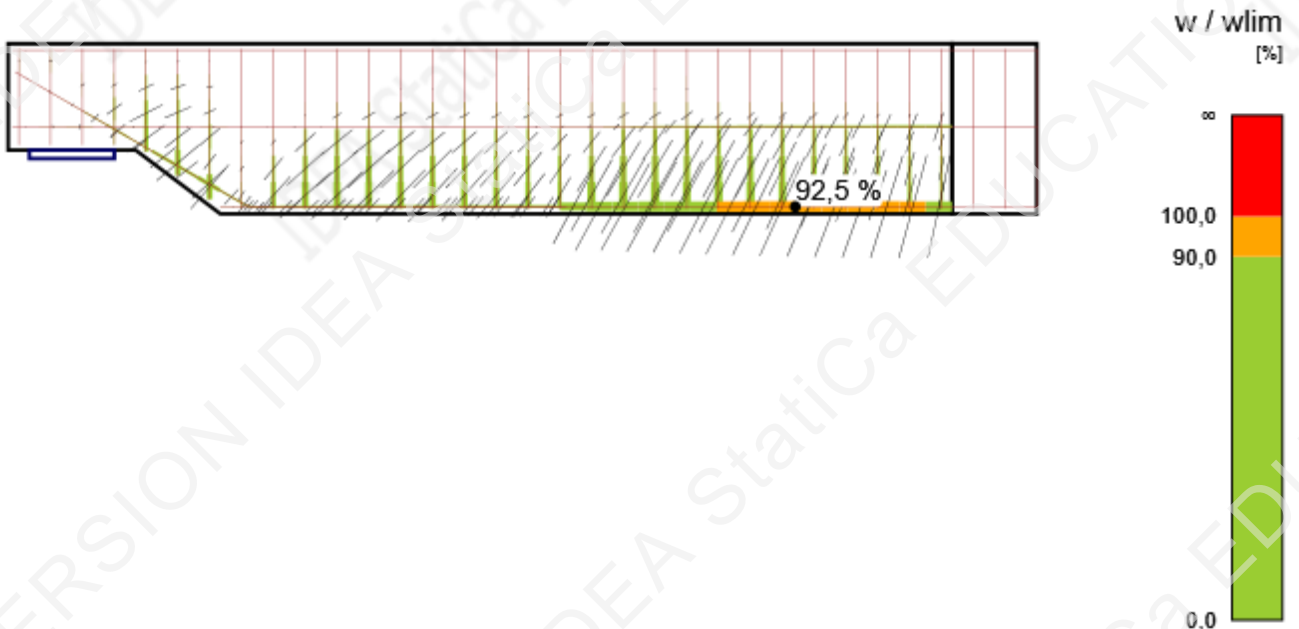
Member	$\epsilon_{cm}$ [1e-4]	$\epsilon_m$ [1e-4]	$s_r$ [mm]	$\Phi$ [mm]	$\rho_{eff}$ [%]	$w_b$ [mm]	$\theta_r$ [-]	$\theta_b$ [-]
GB1	0,0	11,1	230	28	2,96	0,255	1,17	0,00
ST1		2,3		10	1,23	0,113	1,04	1,57
IB1	0,0	3,9	273	28	2,50	0,107	0,73	-0,52
GB3	0,0	2,5	286	20	1,72	0,071	1,25	0,00
GB2	0,0	0,0	229	20	2,14	0,000	0,45	0,00

Note: There are TCM intermediate values displayed in the table above. Adequate POM values are not available in current version of the program.

**Crack width - w [mm]**



**Crack width check**



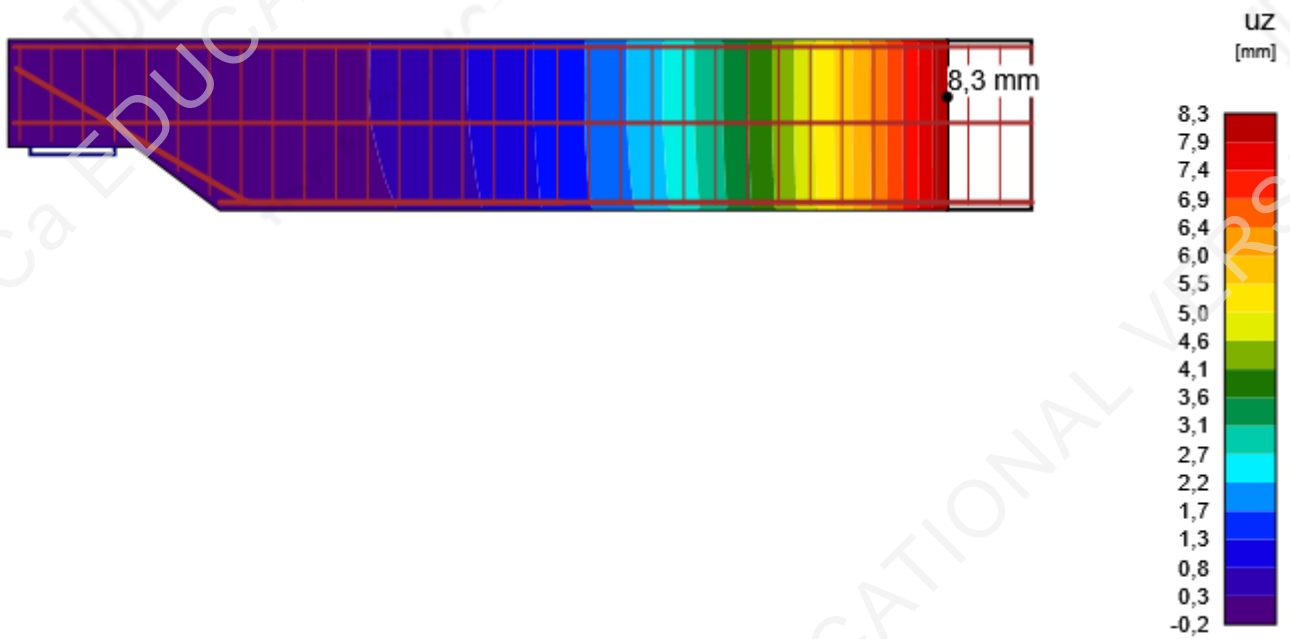
Project:  
 Project no:  
 Author:

**SLS - Deflection**

Detailed deflection results: C3, Load increment: G100,0%

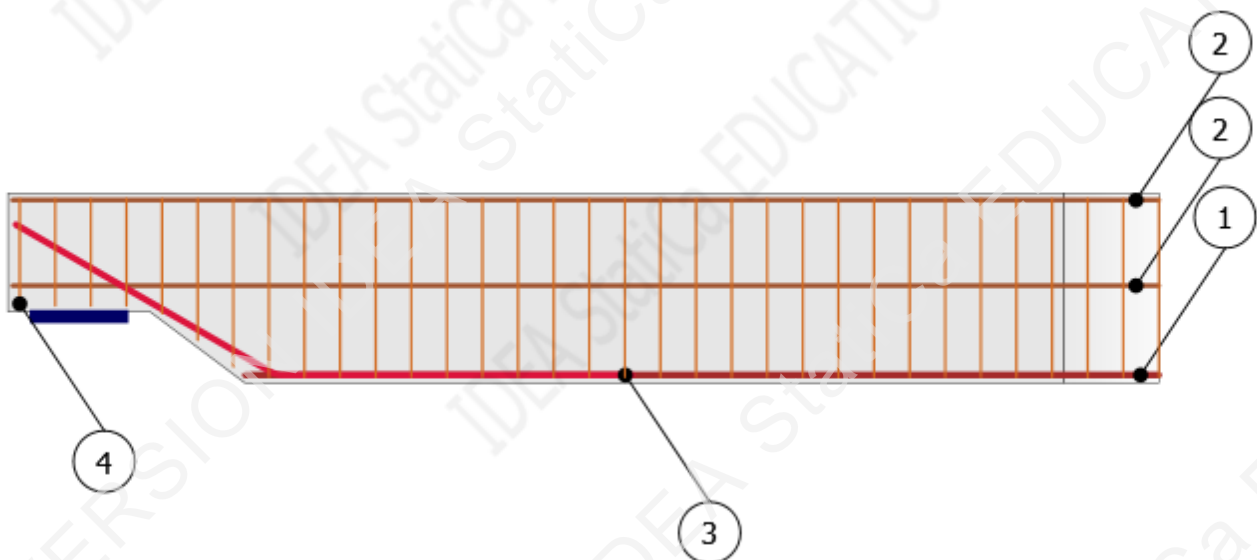
Member	X [m]	Z [m]	$u_{z,st}$ [mm]	$u_{z,lt}$ [mm]	$\Delta u_z$ [mm]	$u_z$ [mm]	
M1	4,45	0,13		8,3	0,0	8,3	OK
M1	1,00	-0,40		-0,2	0,0	-0,2	OK
M1	4,45	0,27	5,6				

**Deflection**



**Bill of material**

**Items numbering**



Project:  
 Project no:  
 Author:

**Brief reinforcement bar table**

Index	Φ [mm]	Material	Items	Length [mm]	Weight [kg]	Total length [m]
1	28	B 500B	6	3850	19	23,10
2	20	B 500B	6	4830	12	28,98
3	28	B 500B	6	2765	13	16,59
4	10	B 500B	33	2736-3336	2-2	106,74

**Detailed reinforcement bar tables**

Parameter	Value	Shape
Index	1	
Φ [mm]	28	
Material	B 500B	
Number of items	6	
Length [mm]	3850	
Weight [kg]	19	
Total length [m]	23,10	

Parameter	Value	Shape
Index	2	
Φ [mm]	20	
Material	B 500B	
Number of items	6	
Length [mm]	4830	
Weight [kg]	12	
Total length [m]	28,98	

Parameter	Value	Shape
Index	3	
Φ [mm]	28	
Material	B 500B	
Number of items	6	
Length [mm]	2765	
Weight [kg]	13	
Total length [m]	16,59	

Parameter	Value	Shape (Min-Max)
Index	4	
Φ [mm]	10	
Material	B 500B	
Number of items	33	
Length [mm]	2736-3336	
Weight [kg]	2-2	
Total length [m]	106,74	

Project:  
Project no:  
Author:

### Overview table

$\Phi$ [mm]	10	20	28
Total length of $\Phi$ [m]	106,74	28,98	39,69
Weight per meter of $\Phi$ [kg/m]	1	2	5
Total weight of $\Phi$ [kg]	66	71	192
Total weight of bars [kg]	329		
Volume of concrete [m <sup>3</sup> ]	2,18		
Reinforcement weight per volume unit of concrete [kg/m <sup>3</sup> ]	151		

### Explanation

Symbol	Explanation
$f_{ck}$	Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days
$f_{ctk,0.05}$	Characteristic axial tensile strength of concrete 5% quantile
$f_{ctm}$	Mean value of axial tensile strength of concrete
$E_{cm}$	Secant modulus of elasticity of concrete
$\epsilon_c$	Compressive strain in the concrete at the peak stress $f_c$
$\epsilon_{cu}$	Ultimate compressive strain in the concrete
$f_{yk}$	Characteristic yield strength of reinforcement
$E_s$	Modulus of elasticity of reinforcement steel
$\epsilon_{uk}$	Characteristic strain of reinforcement or prestressing steel at maximum load
Properties	W - Width; H - Height; T - Thickness; L - Length; r - Radius; $\alpha$ - Inclination
Position	M - Master; MP - Master point; IP - Insert point
$\sigma_c$	The extreme value of compressive stress $\sigma_c$ of concrete of selected subregion.
$k_{c2}$	Compressive strength reduction factor $k_{c2}$
$\sigma_c/\sigma_{c,lim}$	The ratio of concrete stress and concrete strength. It presents the level of material utilization with respect to concrete strength.
$\sigma_s$	Maximum stress along the length of reinforcement bar.
$\epsilon_s$	Maximum strain along the length of reinforcement bar.
$\sigma_s/\sigma_{s,lim}$	The ratio of stress and strength of the reinforcement. It presents the level of material utilization with respect to reinforcement strength.
$\epsilon_s/\epsilon_{s,lim}$	The ratio of strain and limit strain of the reinforcement. It presents the level of material utilization with respect to limit strain
$\tau_b$	Bond stress on the surface of reinforcement bar.
$F_a$	The anchorage force. It is developed at the ends of the bars due to hooked anchorage.
$F_{tot}$	Total force developed along the length of the bar. It consists of the anchorage force due to hooked anchorage and bond force, which integrates bond stresses acting on the surface of the bar.
$F_{tot}/F_{lim}$	The ratio of total force in the bar and limit value of the force. It presents the level of utilization of the rebar. The limit value of the force is calculated as the minimum of two values: (a) the force calculated as the sum of ultimate anchorage force and the force developed from the end of the bar to the point of interest assuming ultimate bond strength, (b) the ultimate strength of the bar.
$\tau_b/f_{bd}$	The ratio of bond stress and ultimate bond strength for selected (group of) bars and applied portion of the load. It shows the level of utilization with respect to ultimate bond strength between the rebar and adjacent concrete.
Creep coefficient	Final value of creep coefficient at time interval ( $t_0 = 28$ days, $t_{inf} =$ design working life)
w	Total crack width including effect of creep.
$\epsilon_{cm}$	the mean strain in the concrete between cracks

Project:  
Project no:  
Author:

Symbol	Explanation
$\epsilon_m$	the mean strain in the reinforcement under relevant combination of loads, including the effect of imposed deformations and taking into account the effects of tension stiffening. Only the additional tensile strain beyond the state of zero strain of the concrete at the same level is considered
$s_r$	mean value of axial tensile strength of concrete
$\Phi$	diameter of reinforcing bar
$\rho_{eff}$	effective reinforcement ratio
$w_b$	calculated crack width
$\theta_r$	inclination of the cracks (the angle between the global coordinate system and the crack direction)
$\theta_b$	bar inclination (the angle between the global coordinate system and the axis of reinforcement bar)
$u_{z,st}$	Immediate deflection caused by total load, calculated with short-term stiffnesses.
$u_{z,lt}$	Long-term effects of long-term load.
$\Delta u_z$	Deflection increment caused by variable load.
$u_z$	Total deflection including effect of creep.

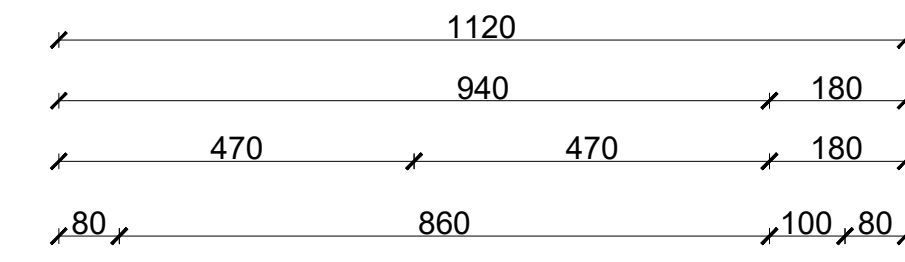
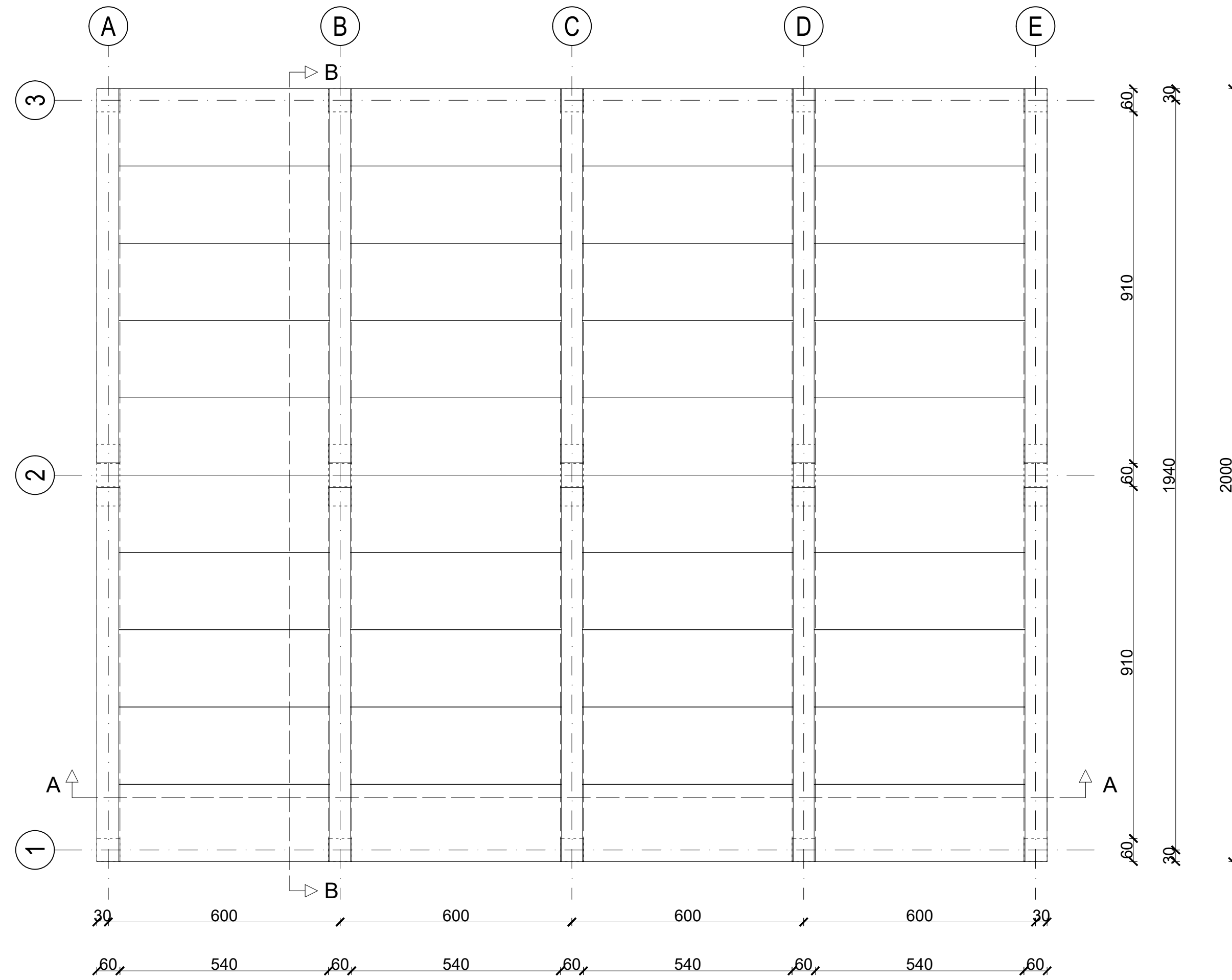
## Calculation presumptions

- Minimum amount of reinforcement resisting at least the tensile stresses prior cracking has to be provided in cracked zones.
- It is assumed that a transverse rebar or adequate overlap is provided to enable full anchorage of the stirrups.
- The analysis and code checks are performed for support conditions as specified in the project. No change of supports in construction/service stages is considered.
- The crack width is checked in the vicinity of the reinforcement only. No control of cracking is performed in non-reinforced zones.
- The presentation of crack spacing is schematic only. It does not represent the crack spacing computed for the calculations.

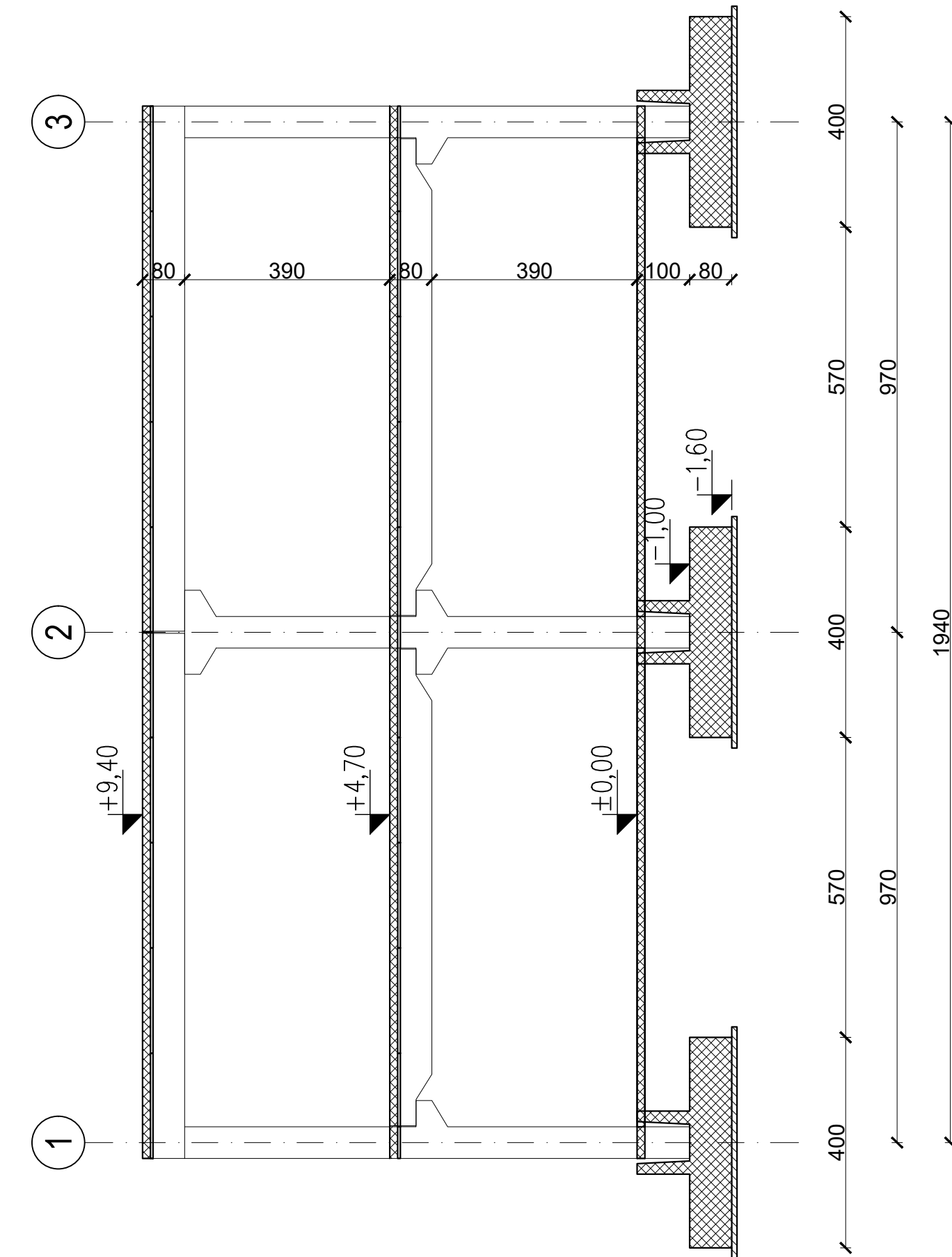


# DISPOZICIJA ARMIRANOBETONSKOG MONTAŽNOG OBJEKTA M 1:100

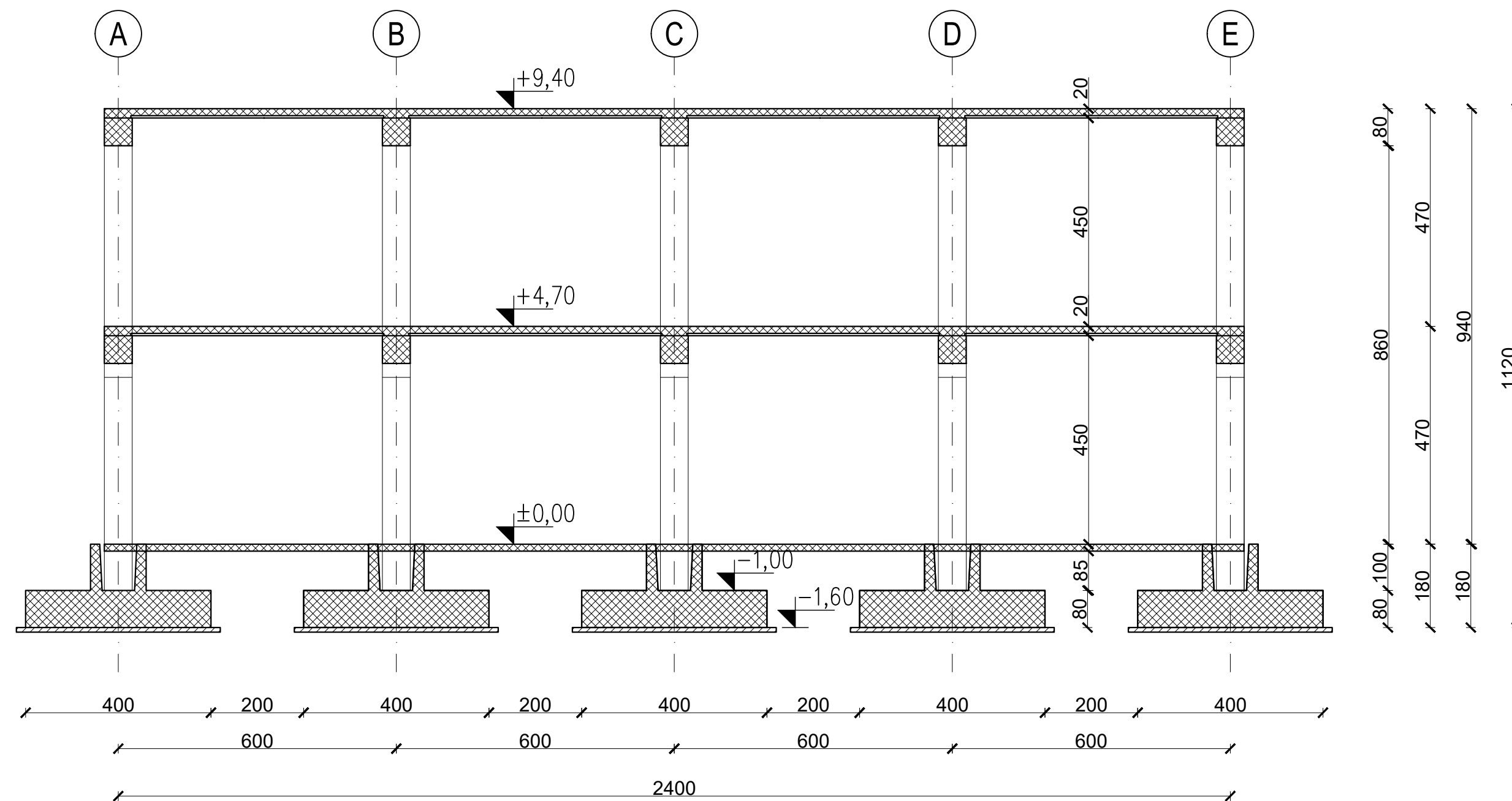
TLOCRT

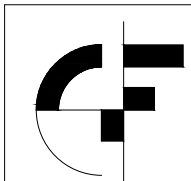


PRESJEK B-B

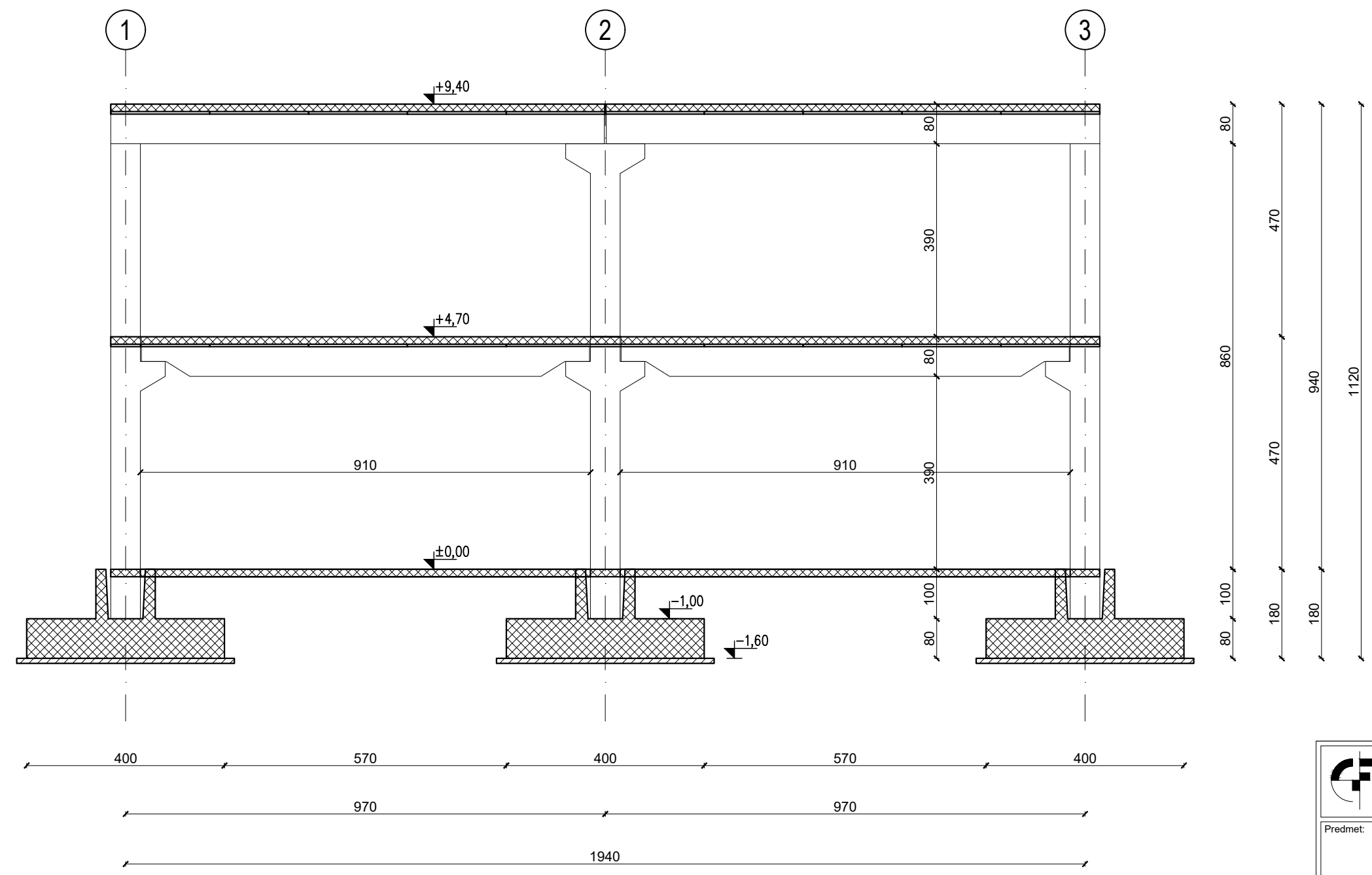



PRESJEK A-A



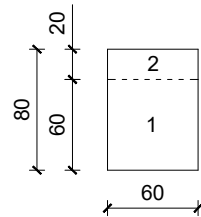
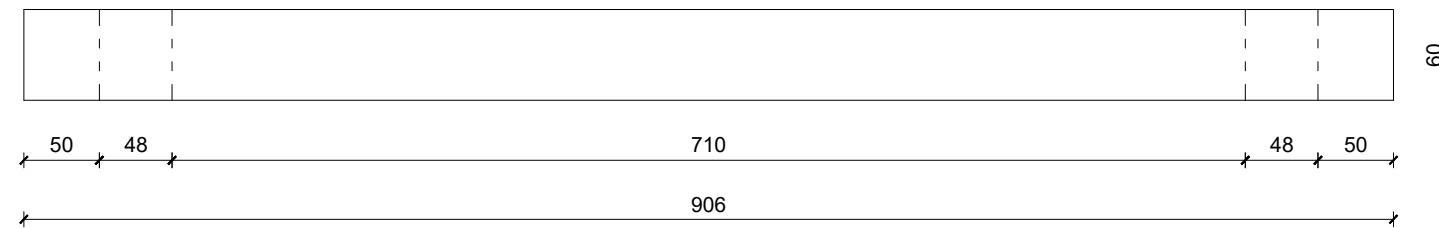
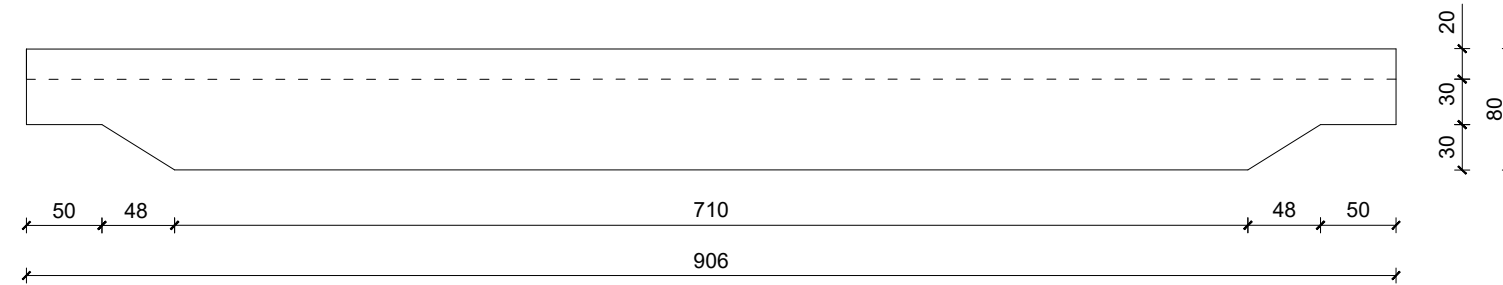
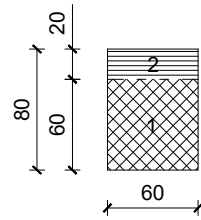
 SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE		DISPOZICIJSKO RJEŠENJE ARMIRANOBETONSKOG MONTAŽNE OBJEKTA	
Sadržaj nacрта:		MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE	
Razina obrade:		DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта:		TLOCRT, UZDUŽNI PRESJEK, POPREČNI PRESJEK	
Mentor:		MISLAV STEPINAC	Pregledao:
Datum:		2023.	Mjerilo:
Školska godina:		2023./2024.	1:100
Izradio:		TONI CVJETKOVIĆ	

PRESJEK B-B  
 ZABATNI DIO  
 M 1:100



 SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE	DISPOZICIJSKO RJEŠENJE ARMIRANOBETONSKOG MONTAŽNOG OBJEKTA	
	Predmet: <b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade:	DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt:	POPREČNI PRESJEK - ZABATNI DIO	
Mentor:	MISLAV STEPINAC	Pregledao:
Datum:	2024.	Mjerilo:
Školska godina:	2023./2024.	<b>1:100</b>
Izradio:	<b>TONI CVJETKOVIĆ</b>	

# PLAN OPLATE GREDE - ETAŽA 1



## POSTUPAK IZRADE GREDE - ETAŽA 1

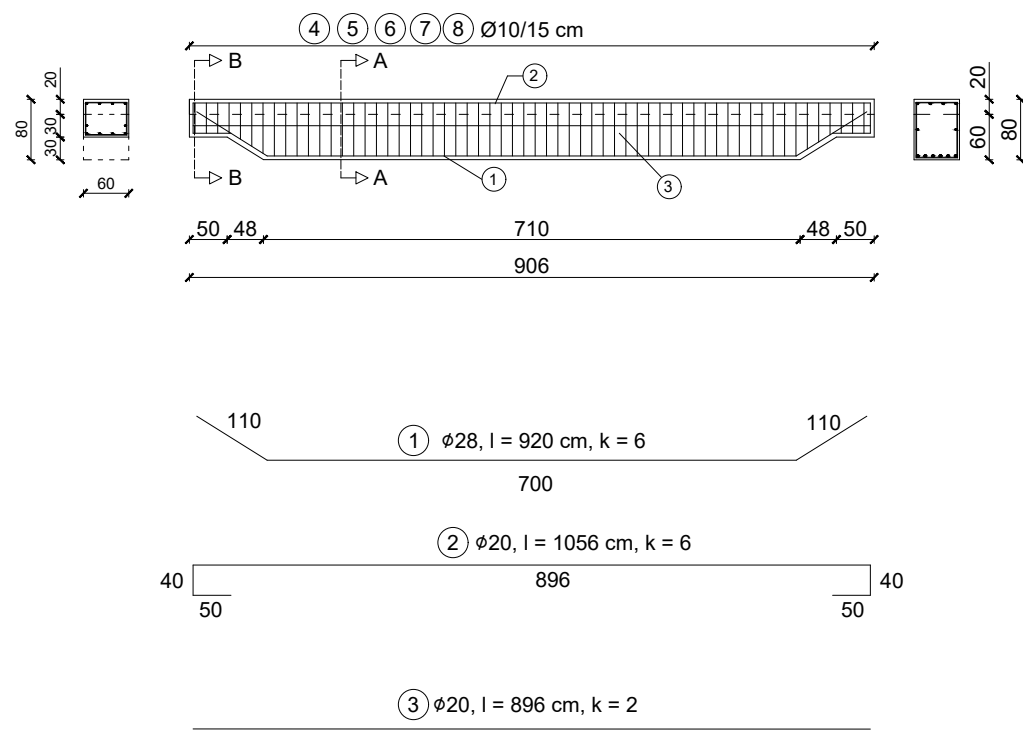
### AB GREDA SE BETONIRA IZ 2 KOMADA:

1 Dio grede se izrađuje u proizvodnom pogonu do visine 60 cm. Gornji dio vilica kojeg nije obuhvatio prvi beton služe za naknadno sprezanje grede s monolitnom pločom.

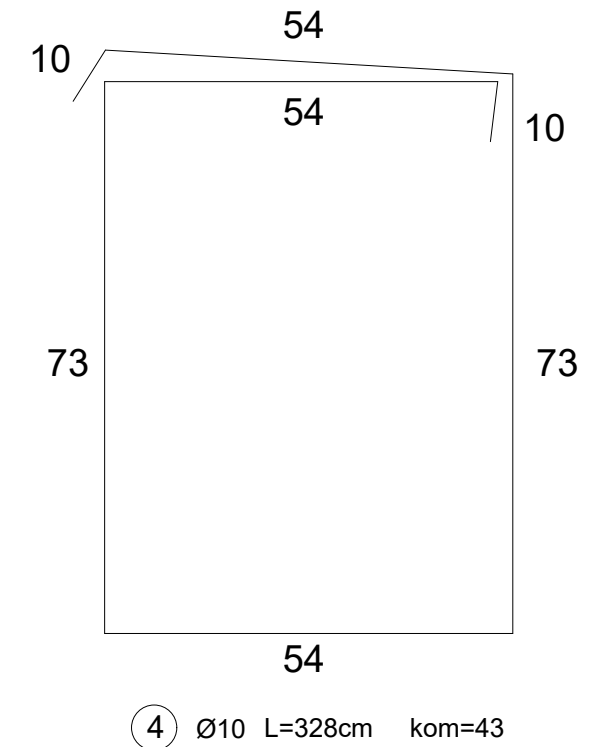
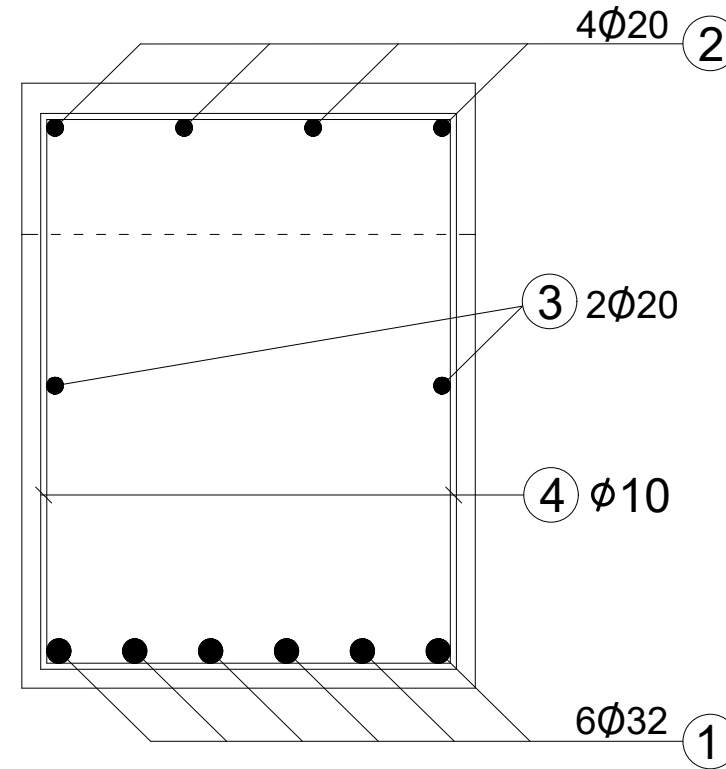
2 Dio grede se monolitizira nakon montiranja i podupiranja "Omnia" ploča koje se oslanjaju 3 cm na prvi dio grede. Prije monolitizacije potrebno je ugraditi ostatak armature predviđenog po projektu.

	PLAN OPLATE GREDE - ETAŽA 1
Predmet:	<b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>
Razina obrade:	DIPLOMSKI RAD
Sadržaj nacrt:	PLAN OPLATE GREDE - ETAŽA 1
Mentor:	MISLAV STEPINAC
Pregledao:	
Datum:	2024.
Mjerilo:	1:50
Akademski godina:	2023./2024.
Izradio:	<b>TONI CVJETKOVIĆ</b>

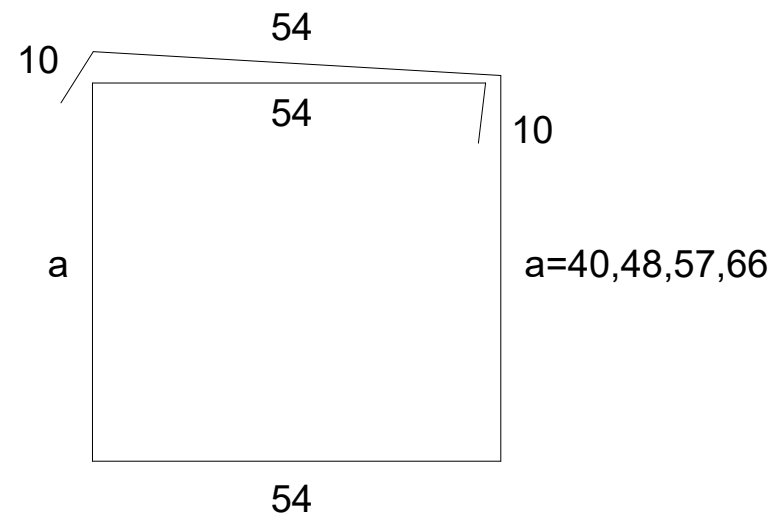
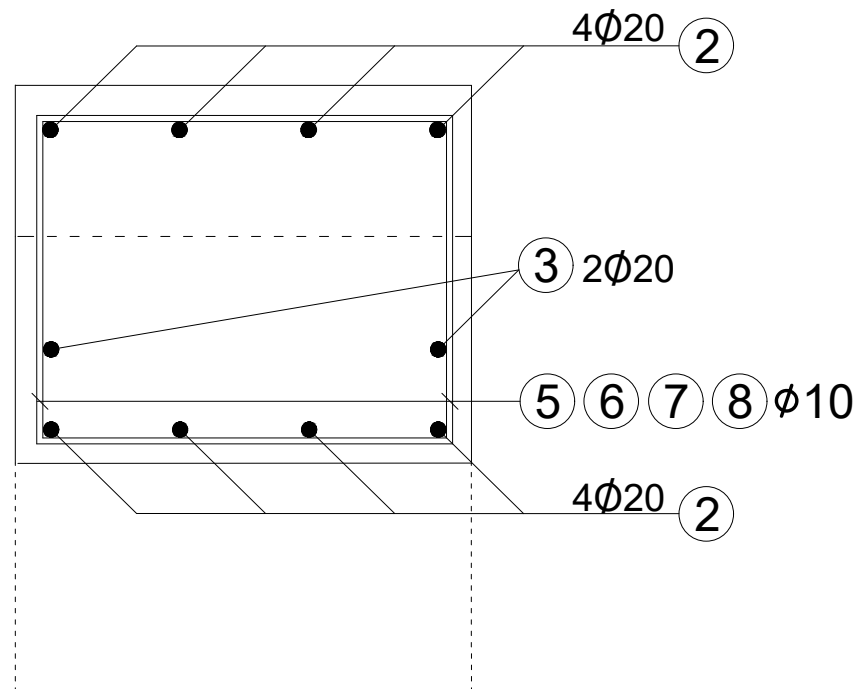
PLAN ARMATURE GREDE - ETAŽA 1  
M 1:100



PRESJEK A-A M1:10



PRESJEK B-B M1:10



- ⑤ Ø10 L=262 cm kom=8
- ⑥ Ø10 L=278 cm kom=2
- ⑦ Ø10 L=296 cm kom=2
- ⑧ Ø10 L=314 cm kom=2

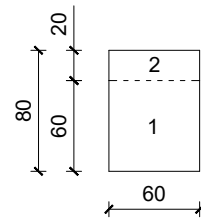
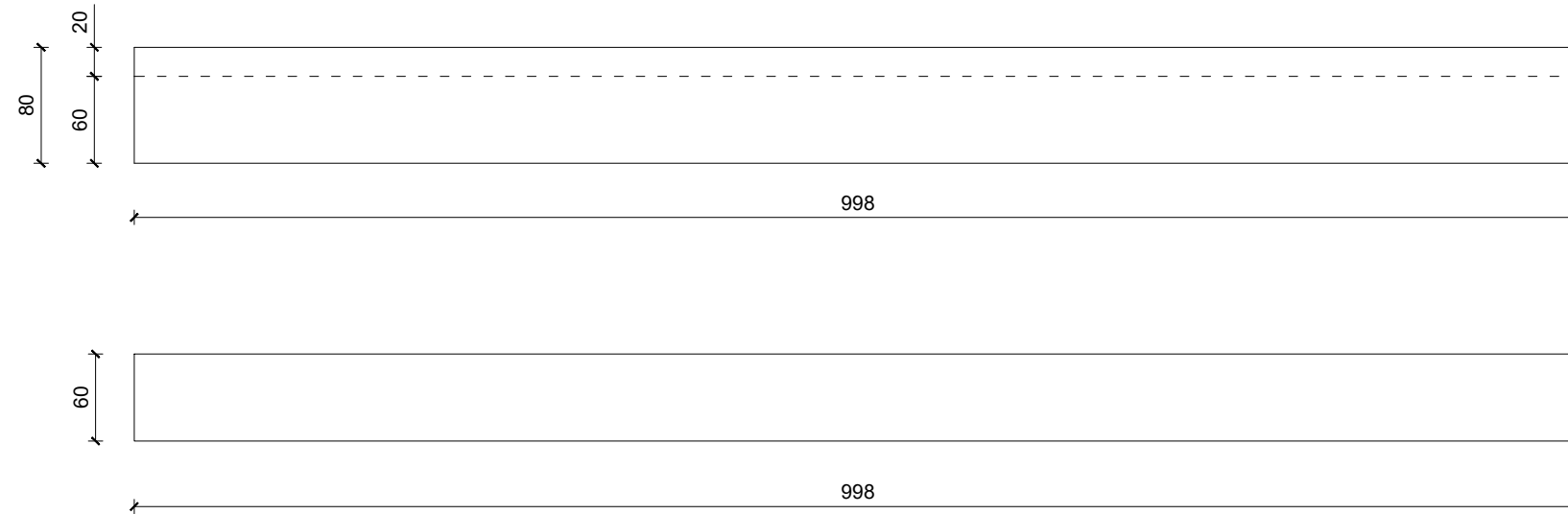
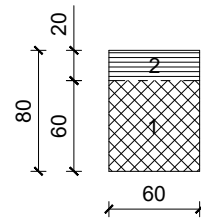
Pozicija	Ø	Dužina šipke [m]	Broj komada
1	28	9,20	6
2	20	10,56	6
3	20	8,96	2
4	10	3,28	43
5	10	2,62	6
6	10	2,78	2
7	10	2,96	2
8	10	3,14	2

Ø	L [m]	kg/m	kg
10	174,52	0,634	110,65
20	81,28	2,536	206,13
28	55,20	4,956	273,57

Ukupno [kg] za jedan nosač			
590,34			
Ukupno [kg] za cijelu konstrukciju			
5903,40			

	PLAN ARMATURE GREDE - ETAŽA 1	
	Predmet: <b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade:	DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt:	PLAN ARMATURE GREDE - ETAŽA 1	
Mentor:	MISLAV STEPINAC	Pregledao:
Datum:	2024.	Mjerilo:
Školska godina:	2023./2024.	1:100, 1:10
Izradio:	TONI CVJETKOVIĆ	

# PLAN OPLATE GREDE - ETAŽA 2



## POSTUPAK IZRADE GREDE - ETAŽA 2

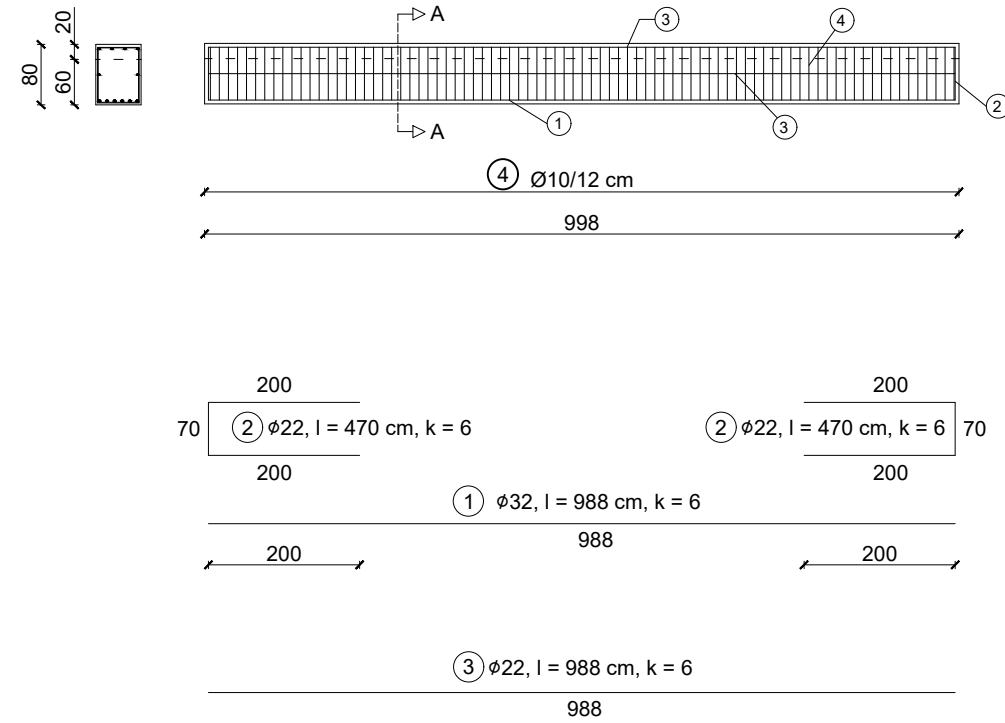
### AB GREDA SE BETONIRA IZ 2 KOMADA:

1 Dio grede se izrađuje u proizvodnom pogonu do visine 60 cm. Gornji dio vilica kojeg nije obuhvatio prvi beton služe za naknadno sprezanje grede s monolitnom pločom.

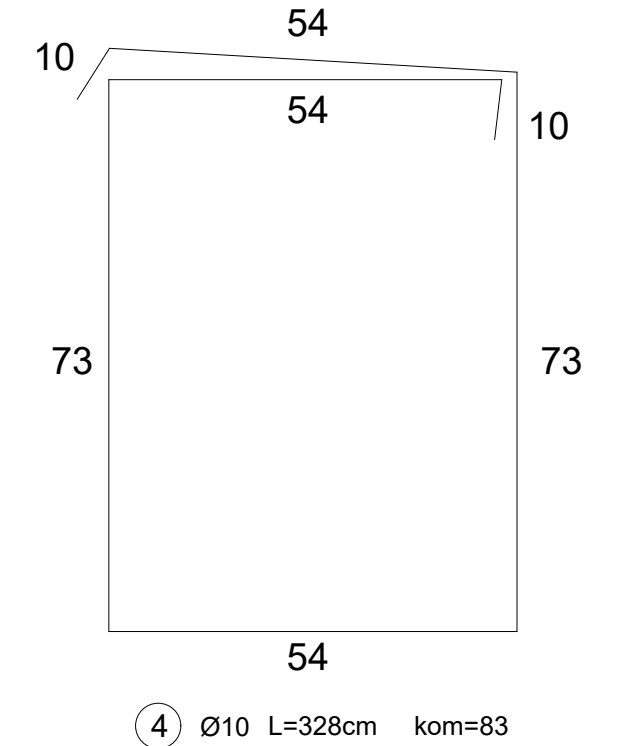
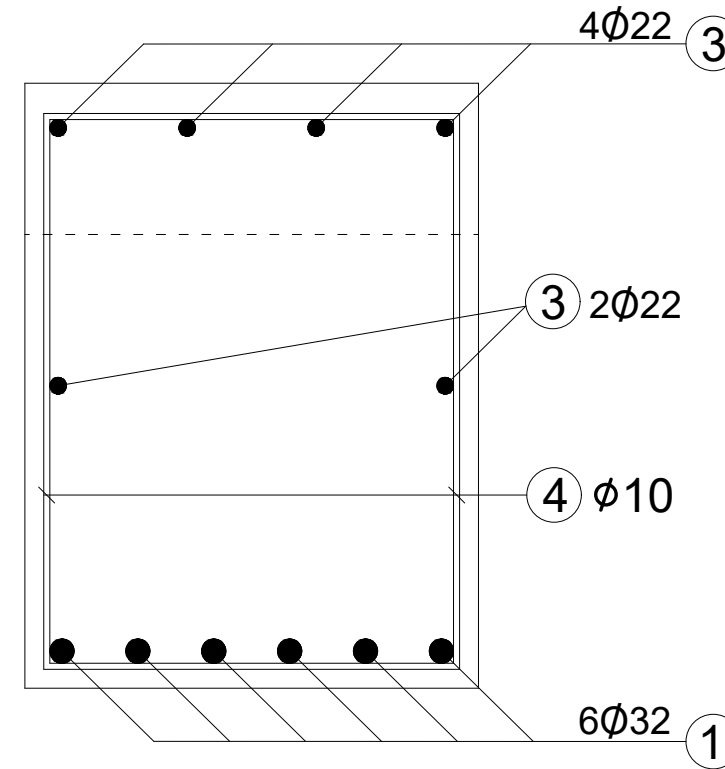
2 Dio grede se monolitizira nakon montiranja i podupiranja "Omnia" ploča koje se oslanjaju 3 cm na prvi dio grede. Prije monolitizacije potrebno je ugraditi ostatak armature predviđenog po projektu.

	SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE	PLAN OPLATE GREDE - ETAŽA 2
Predmet:	<b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade:	DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt:	PLAN OPLATE GREDE - ETAŽA 2	
Mentor:	MISLAV STEPINAC	Pregledao:
Datum:	2024.	Mjerilo:
Akademski godina:	2023./2024.	1:50
Izradio:	TONI CVJETKOVIĆ	

PLAN ARMATURE GREDE - ETAŽA 2  
M 1:100



PRESJEK A-A M1:10



Pozicija	$\phi$	Dužina šipke [m]	Broj komada
1	36	9,88	6
2	22	4,70	12
3	22	9,88	6
4	10	3,28	83

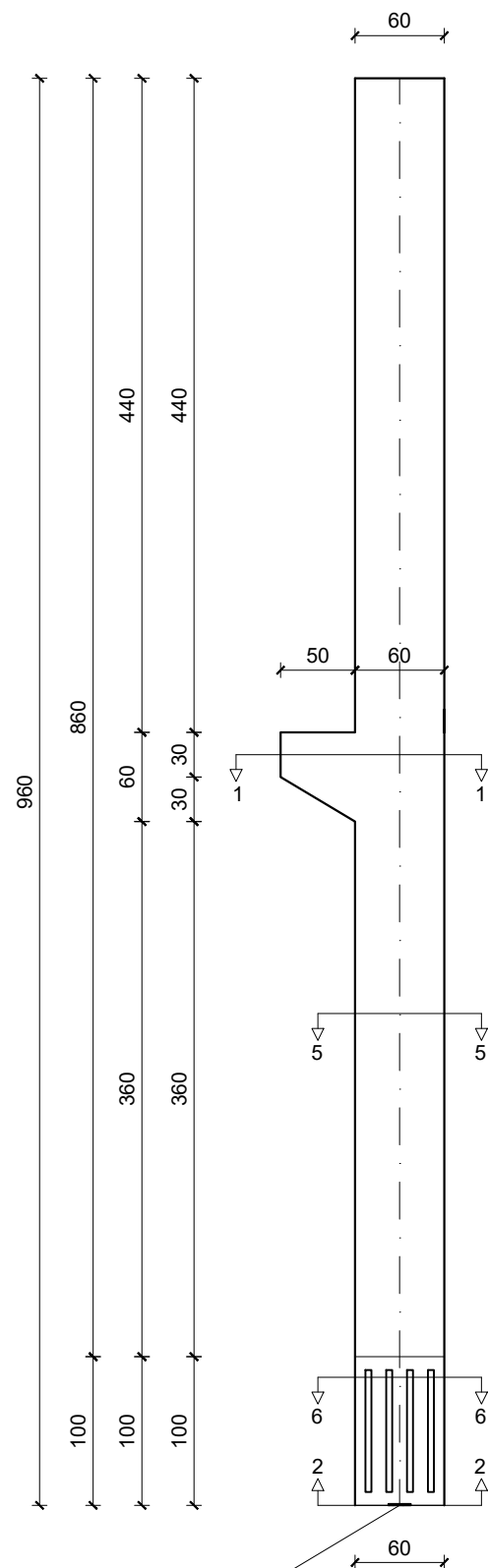
$\phi$	L [m]	kg/m	kg
10	272,24	0,634	172,60
22	96,48	3,058	295,04
32	70,68	6,474	457,58

Ukupno [kg] za jedan nosač			
925,22			
Ukupno [kg] za cijelu konstrukciju			
9252,20			

	SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE		PLAN ARMATURE GREDE - ETAŽA 2
	Predmet: <b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>		
Razina obrade: <b>DIPLOMSKI RAD</b>			
Sadržaj nacrt: <b>PLAN ARMATURE GREDE - ETAŽA 2</b>			
Mentor: <b>MISLAV STEPINAC</b>	Pregledao:		
Datum: <b>2024.</b>	Mjerilo:		<b>1:100, 1:10</b>
Školska godina: <b>2023./2024.</b>			
Izradio: <b>TONI CVJETKOVIĆ</b>			

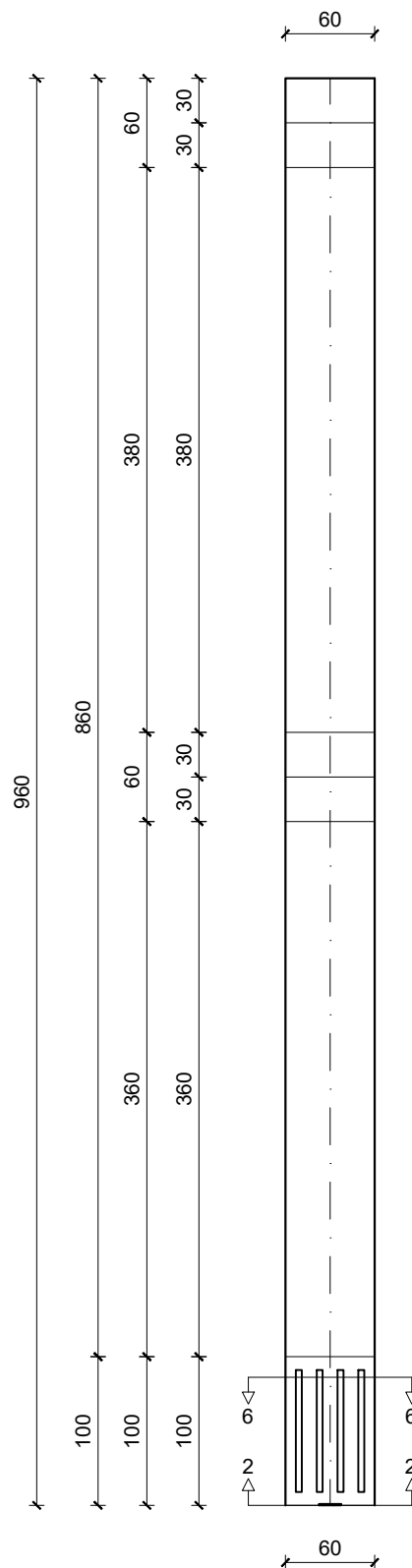
# PLAN OPLATE RUBNOG STUPA 60x60

PRESJEK 4-4

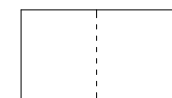


Profilacije na stupu  
za bolje sprezanje

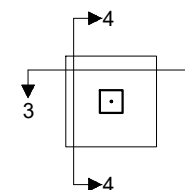
PRESJEK 3-3



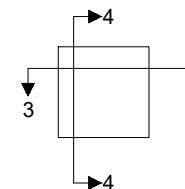
PRESJEK 1-1



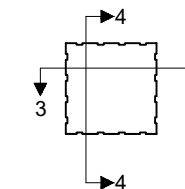
PRESJEK 2-2



PRESJEK 5-5



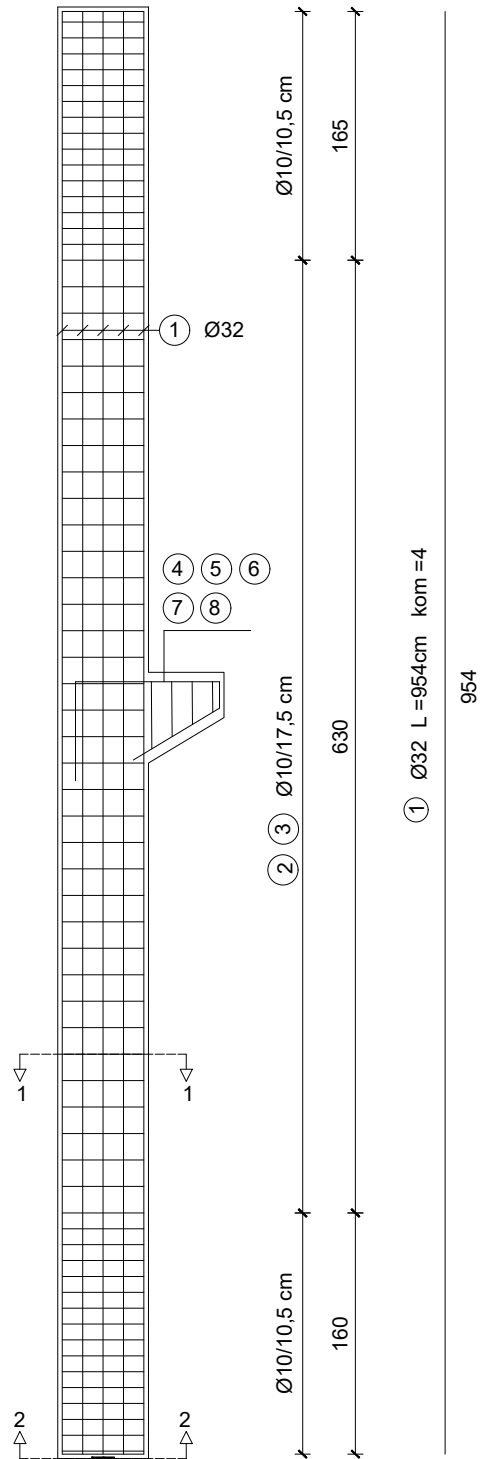
PRESJEK 6-6



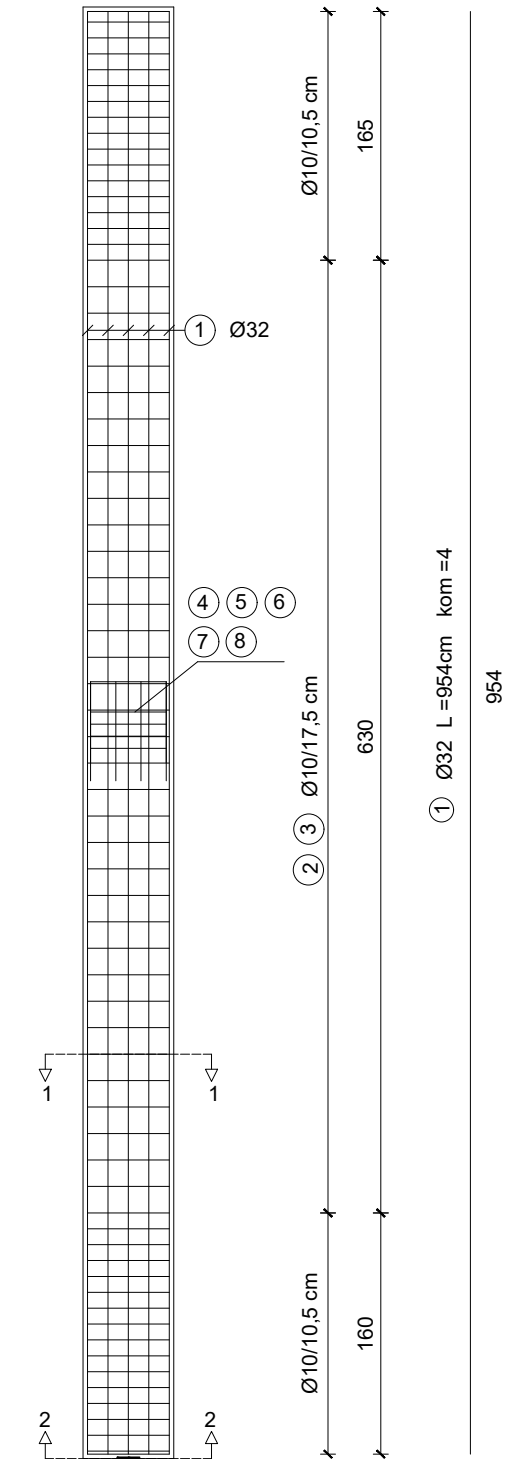
	PLAN OPLATE RUBNOG STUPA KONSTRUKCIJE	
	Predmet: <b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade:	DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt:	PLAN OPLATE RUBNOG STUPA	
Mentor:	MISLAV STEPINAC	Pregledao:
Datum:	2024.	Mjerilo:
Akademska godina:	2023./2024.	1:50
Izradio:	TONI CVJETKOVIĆ	

# PLAN ARMATURE RUBNOG STUPA

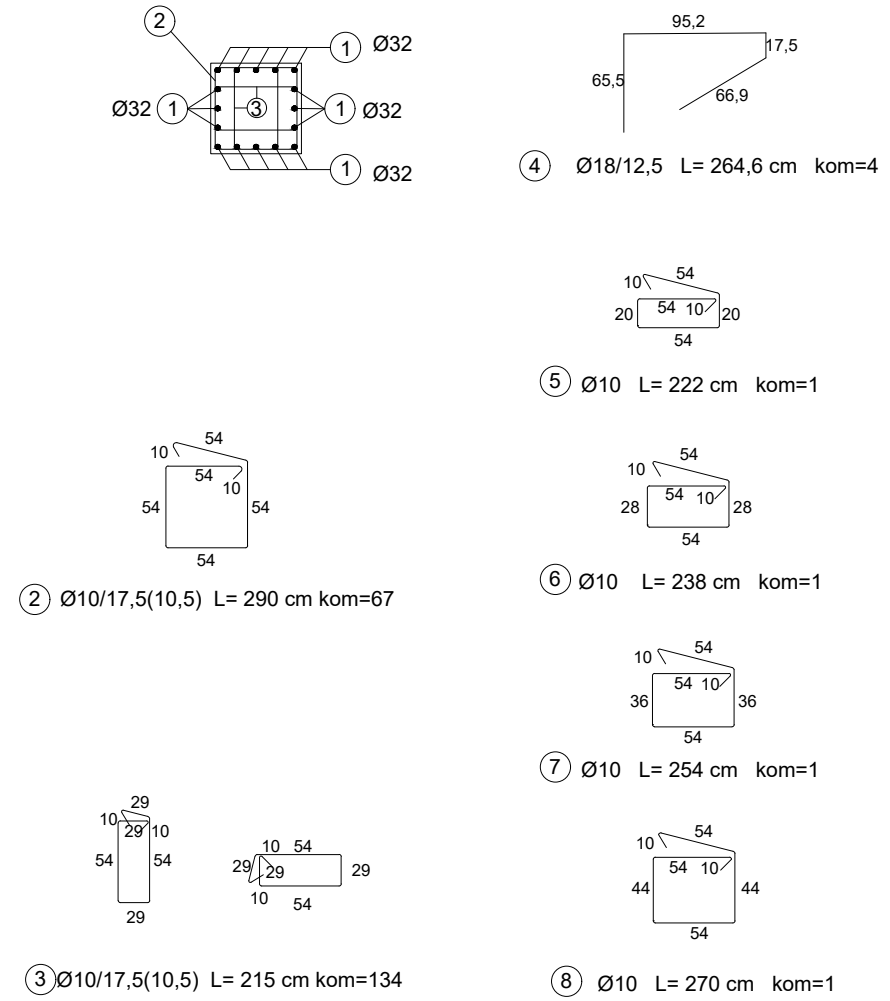
PRESJEK 3-3



PRESJEK 4-4



PRESJEK 1-1



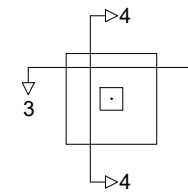
Šipke - rekapitulacija

Pozicija	Ø	Dužina šipke [m]	Broj komada
1	32	9,54	16
2	10	2,90	67
3	10	2,15	134
4	18	2,646	4
5	10	2,22	1
6	10	2,38	1
7	10	2,54	1
8	10	2,70	1

Ø	L [m]	kg/m	kg
10	492,24	0,634	312,08
18	10,584	2,170	22,97
32	152,64	6,474	988,19

Ukupno [kg] za jedan stup			
1323,24			
Ukupno [kg] za cijelu konstrukciju			
13232,40			

PRESJEK 2-2

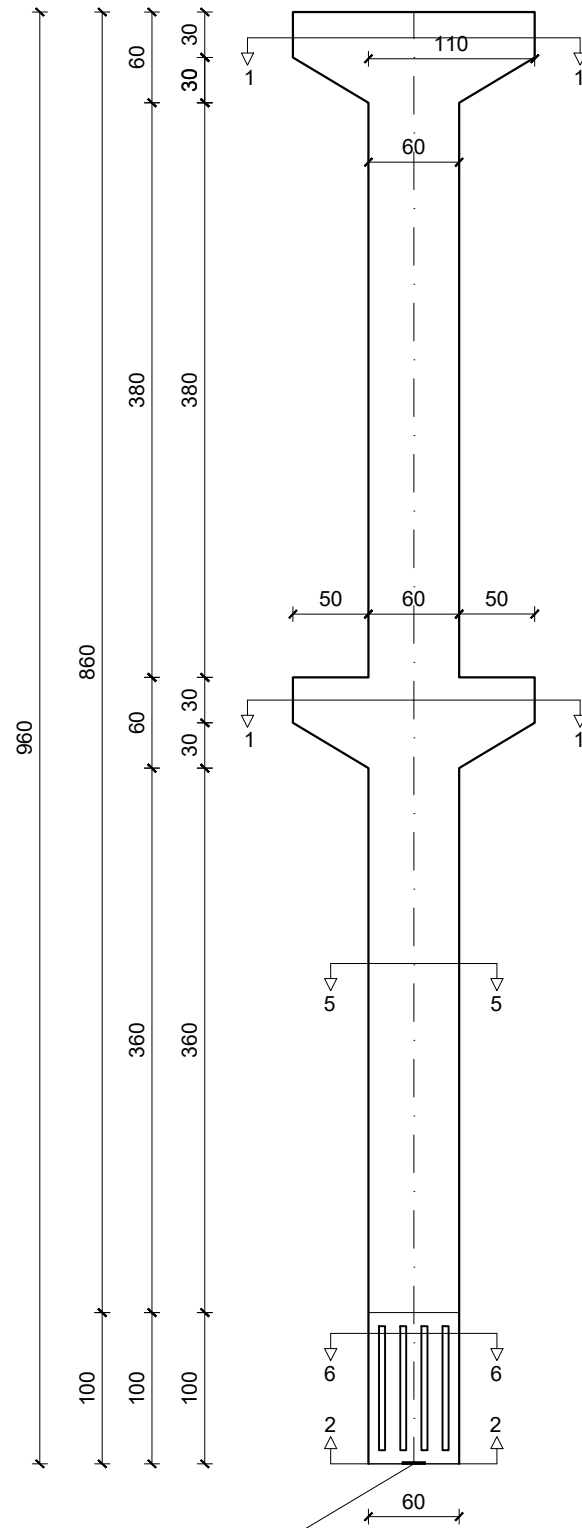


 SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE	PLAN ARMATURE RUBNOG STUPA KONSTRUKCIJE	
	Predmet: <b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade:	DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt:	PLAN ARMATURE STUPA	
Mentor:	MISLAV STEPINAC	Pregledao:
Datum:	2024.	Mjerilo:
Akademski godina:	2023./2024.	1:50
Izradio:	TONI CVJETKOVIĆ	



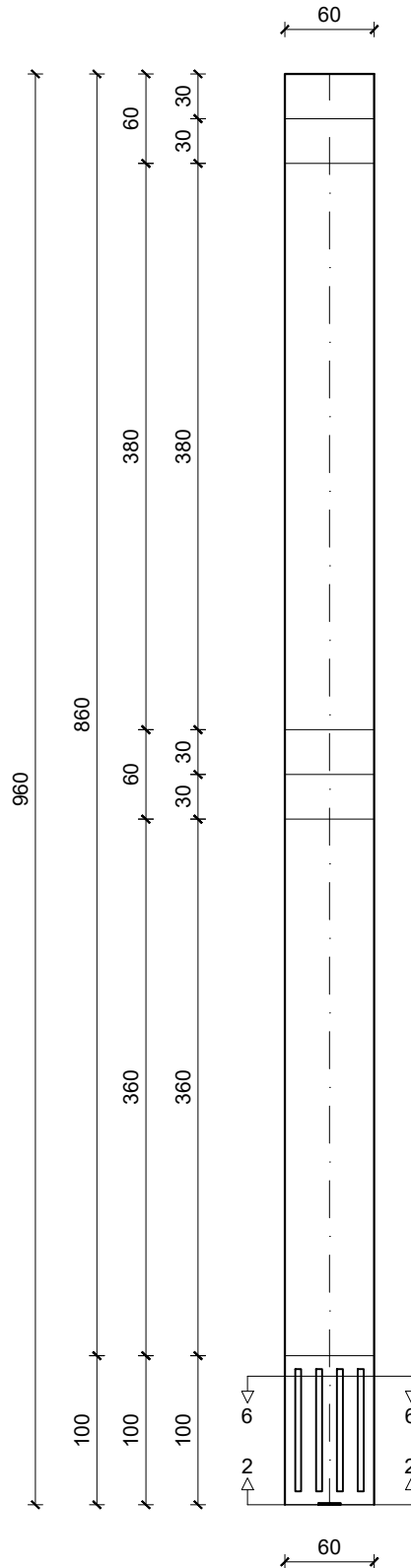
# PLAN OPLATE SREDNJEG STUPA 60x60

PRESJEK 4-4



Profilacije na stupu  
za bolje sprezanje

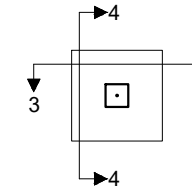
PRESJEK 3-3



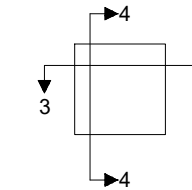
PRESJEK 1-1



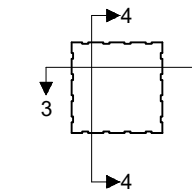
PRESJEK 2-2

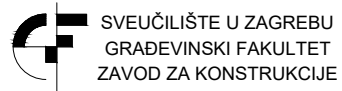


PRESJEK 5-5



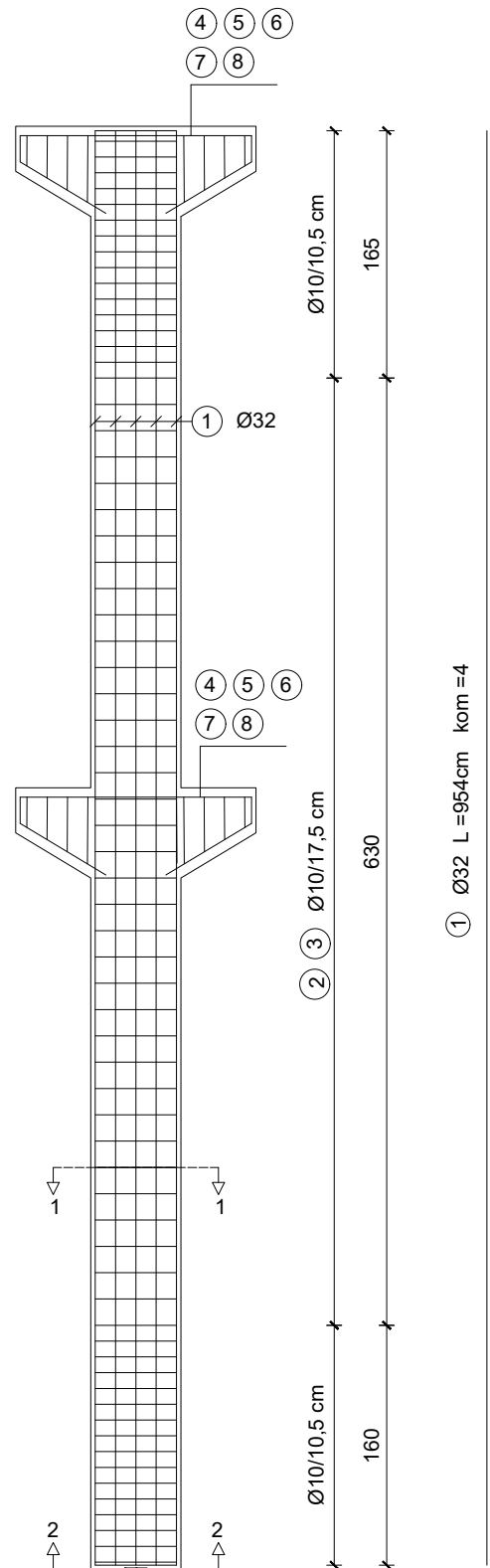
PRESJEK 6-6



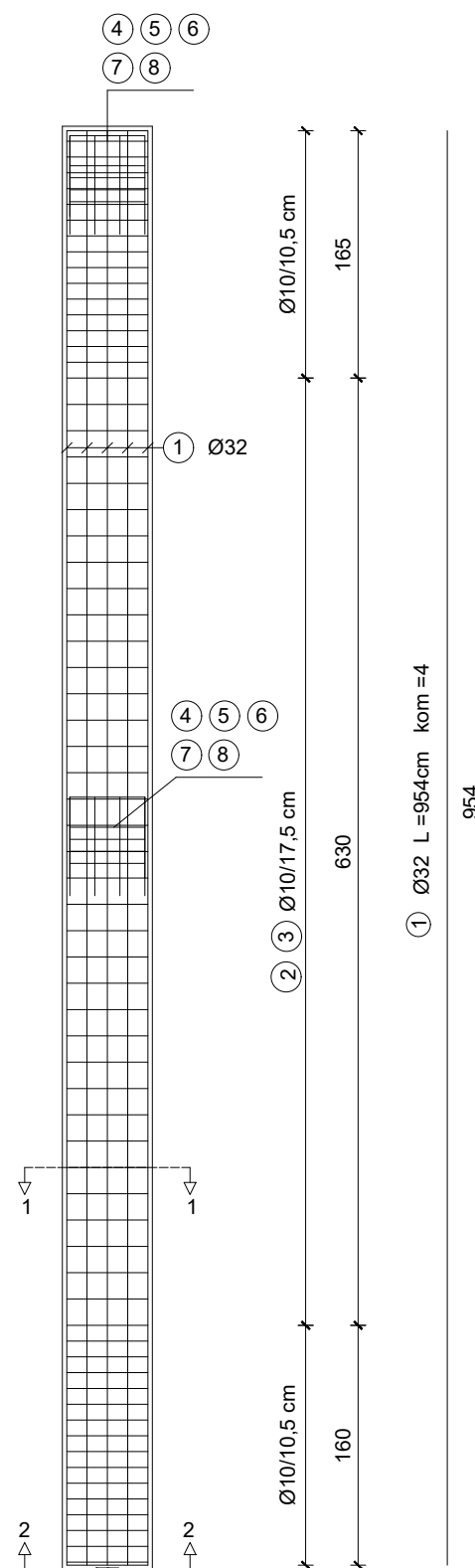
	PLAN OPLATE SREDNJEG STUPA KONSTRUKCIJE	
	Predmet: <b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade: <b>DIPLOMSKI RAD</b>		
Sadržaj nacрта: <b>PLAN OPLATE SREDNJEG STUPA</b>		
Mentor: <b>MISLAV STEPINAC</b>		Pregledao:
Datum: <b>2024.</b>		Mjerilo: <b>1:50</b>
Akademska godina: <b>2023./2024.</b>		
Izradio: <b>TONI CVJETKOVIĆ</b>		

# PLAN ARMATURE SREDNJEG STUPA

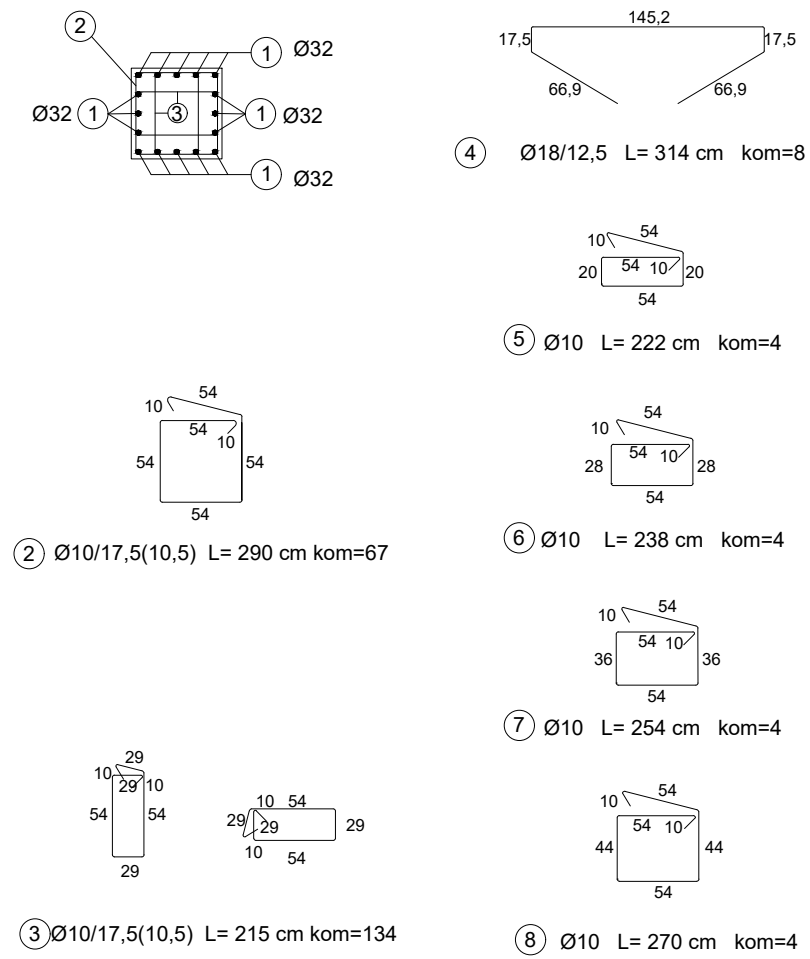
PRESJEK 3-3



PRESJEK 4-4



PRESJEK 1-1

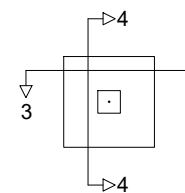


Šipke - rekapitulacija			
Pozicija	Ø	Dužina šipke [m]	Broj komada
1	32	9,54	16
2	10	2,90	67
3	10	2,15	134
4	18	3,14	8
5	10	2,22	4
6	10	2,38	4
7	10	2,54	4
8	10	2,70	4

Ø	L [m]	kg/m	kg
10	521,76	0,634	330,80
18	25,12	2,170	54,51
32	152,64	6,474	988,19

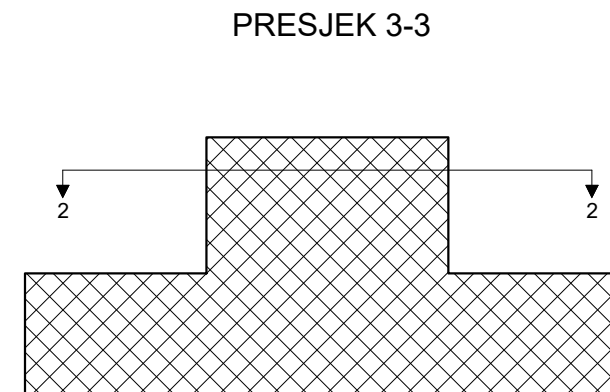
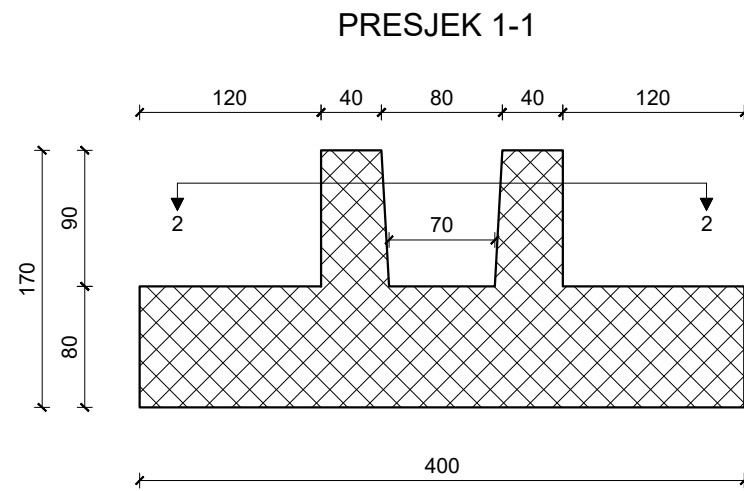
Ukupno [kg] za jedan stup			
1373,50			
Ukupno [kg] za cijelu konstrukciju			
6867,50			

PRESJEK 2-2



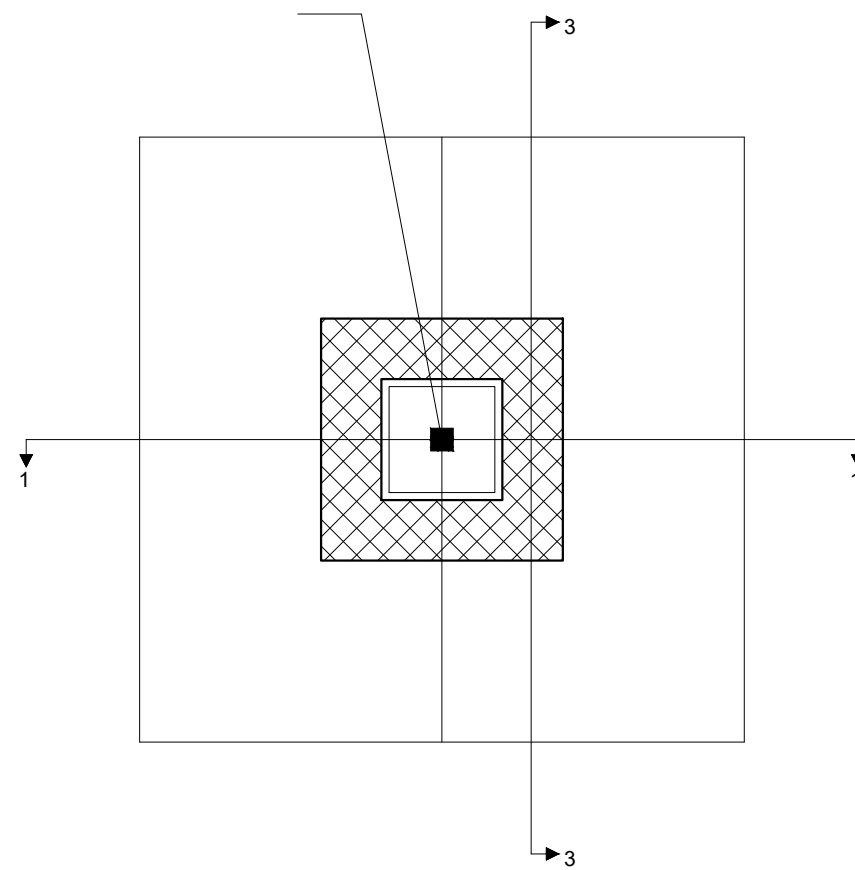
		<b>PLAN ARMATURE SREDNJEG STUPA KONSTRUKCIJE</b>	
Predmet:		<b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade:		DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt:		PLAN ARMATURE SREDNJEG STUPA	
Mentor:	MISLAV STEPINAC	Pregledao:	
Datum:	2024.	Mjerilo:	<b>1:50</b>
Akademski godina:	2023./2024.		
Izradio:	<b>TONI CVJETKOVIĆ</b>		

# PLAN OPLATE TEMELJA STUPA



PRESJEK 2-2

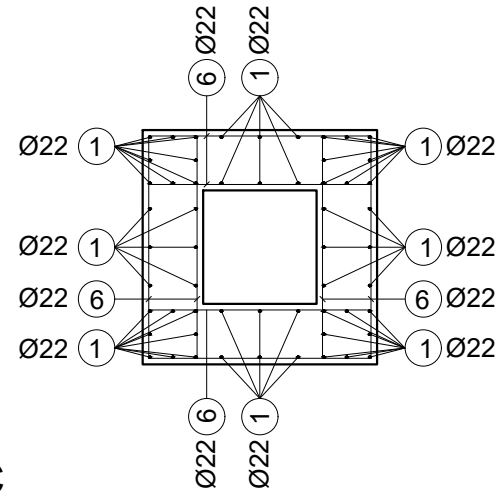
Metalna ploča sa utorom za zglob iz stupa  
150x150x10 mm, S275



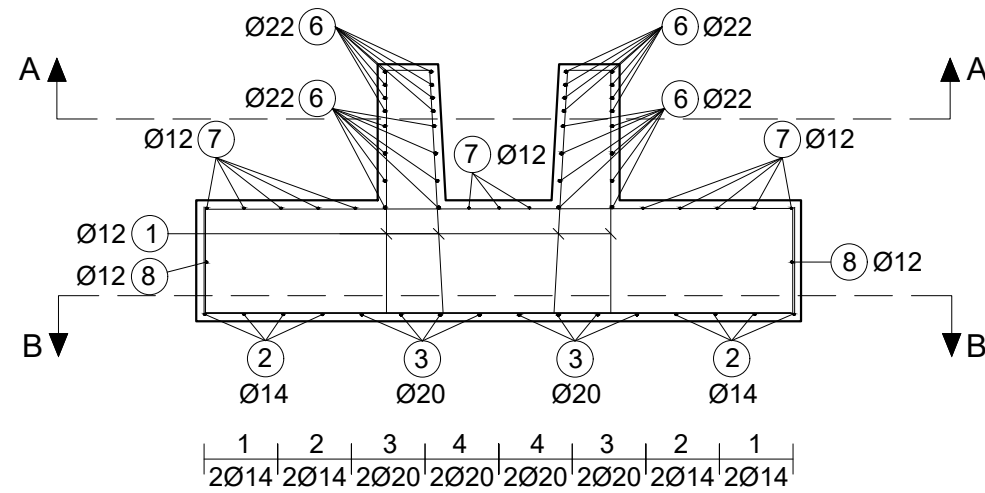
	SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE	PLAN OPLATE TEMELJA STUPA
Predmet:	MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE	
Razina obrade:	DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt:	PLAN OPLATE TEMELJA STUPA	
Mentor:	MISLAV STEPINAC	Pregledao:
Datum:	2024.	Mjerilo:
Akademski godina:	2023./2024.	1:50
Izradio:	TONI CVJETKOVIĆ	

# PLAN ARMATURE TEMELJA STUPA 60X60

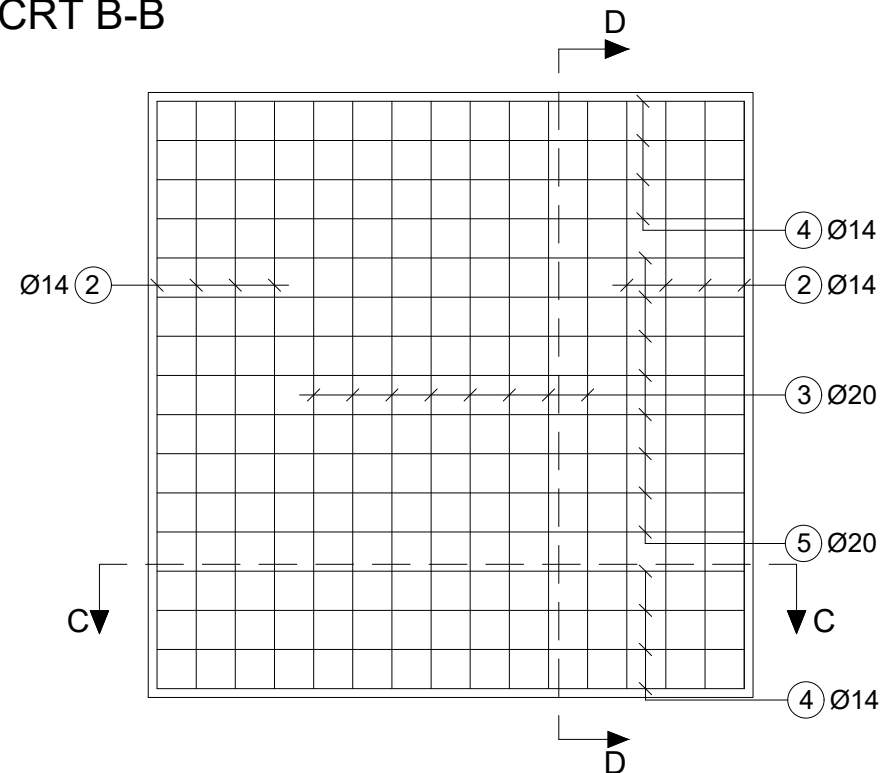
## TLOCRT A-A



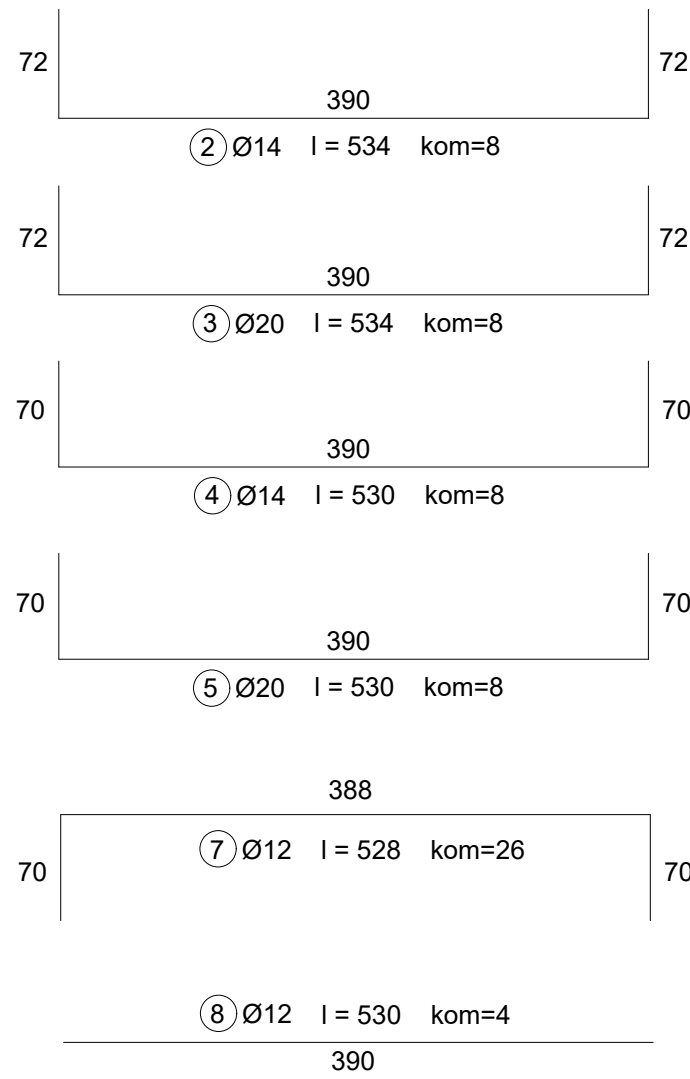
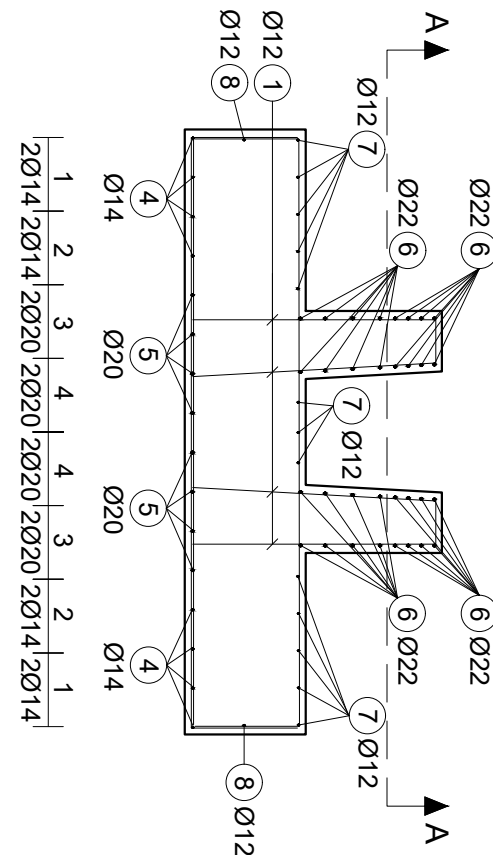
## PRESJEK C-C



## TLOCRT B-B



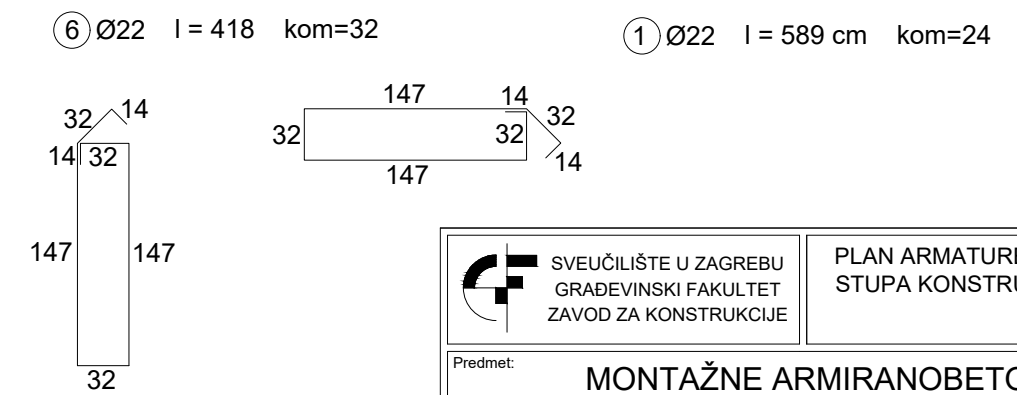
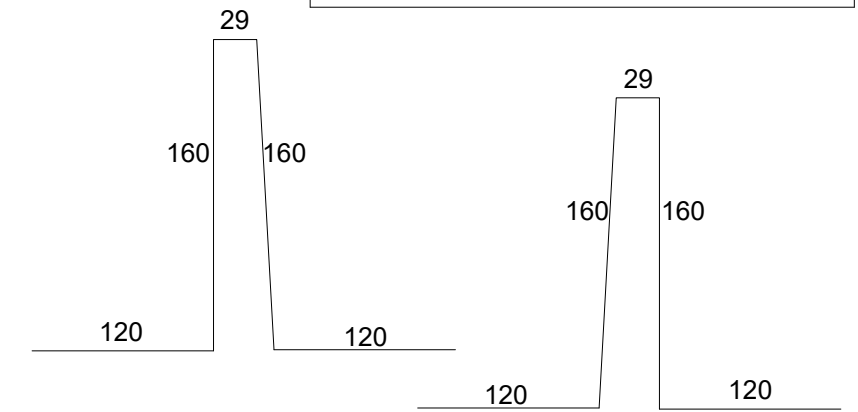
## PRESJEK D-D



Pozicija	Ø	Dužina šipke [m]	Broj komada
1	22	5,89	24
2	14	5,34	8
3	20	5,34	8
4	14	5,30	8
5	20	5,30	8
6	22	4,18	32
7	12	5,28	26
8	12	5,30	4

Ø	L [m]	kg/m	kg
12	158,48	0,911	144,38
14	85,12	1,242	105,72
20	85,12	2,536	215,86
22	275,12	3,058	841,32

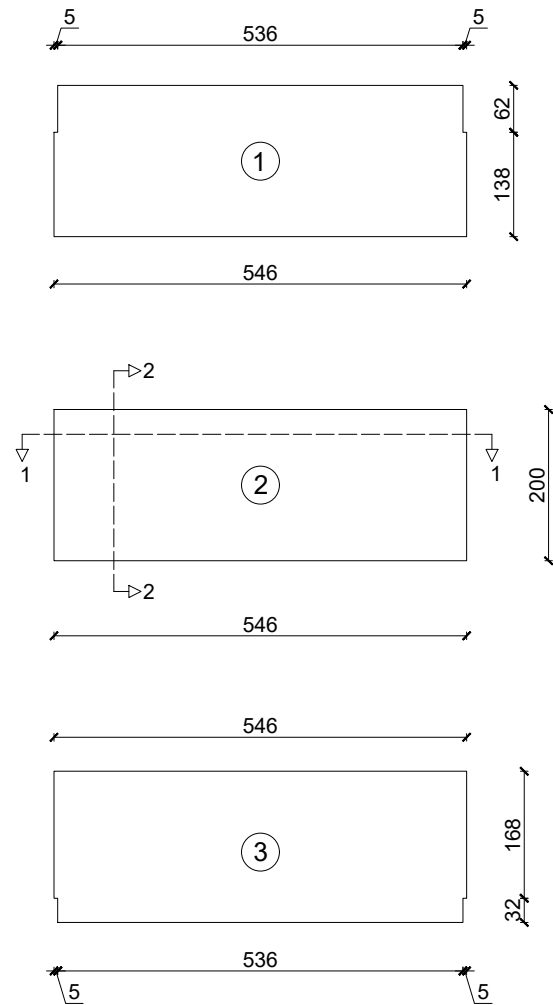
Ukupno [kg] za jedan temelj			
1307,28			
Ukupno [kg] za cijelu konstrukciju			
19609,13			



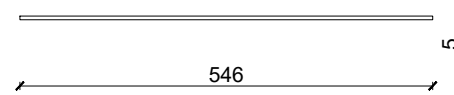
	PLAN ARMATURE TEMELJA STUPA KONSTRUKCIJE	
	Predmet: <b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade:	DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacрта:	PLAN ARMATURE TEMELJA STUPA	
Mentor:	MISLAV STEPINAC	Pregledao:
Datum:	2024.	Mjerilo:
Akademska godina:	2023./2024.	1:50
Izradio:	TONI CVJETKOVIĆ	

# PLAN OPLATE "OMNIA" PLOČA M 1:100

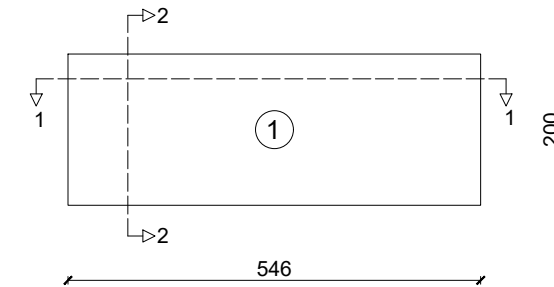
ETAŽA 1 - TLOCRT "OMNIA" PLOČA



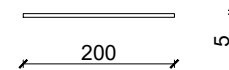
PRESJEK 1-1




ETAŽA 2 - TLOCRT "OMNIA" PLOČA

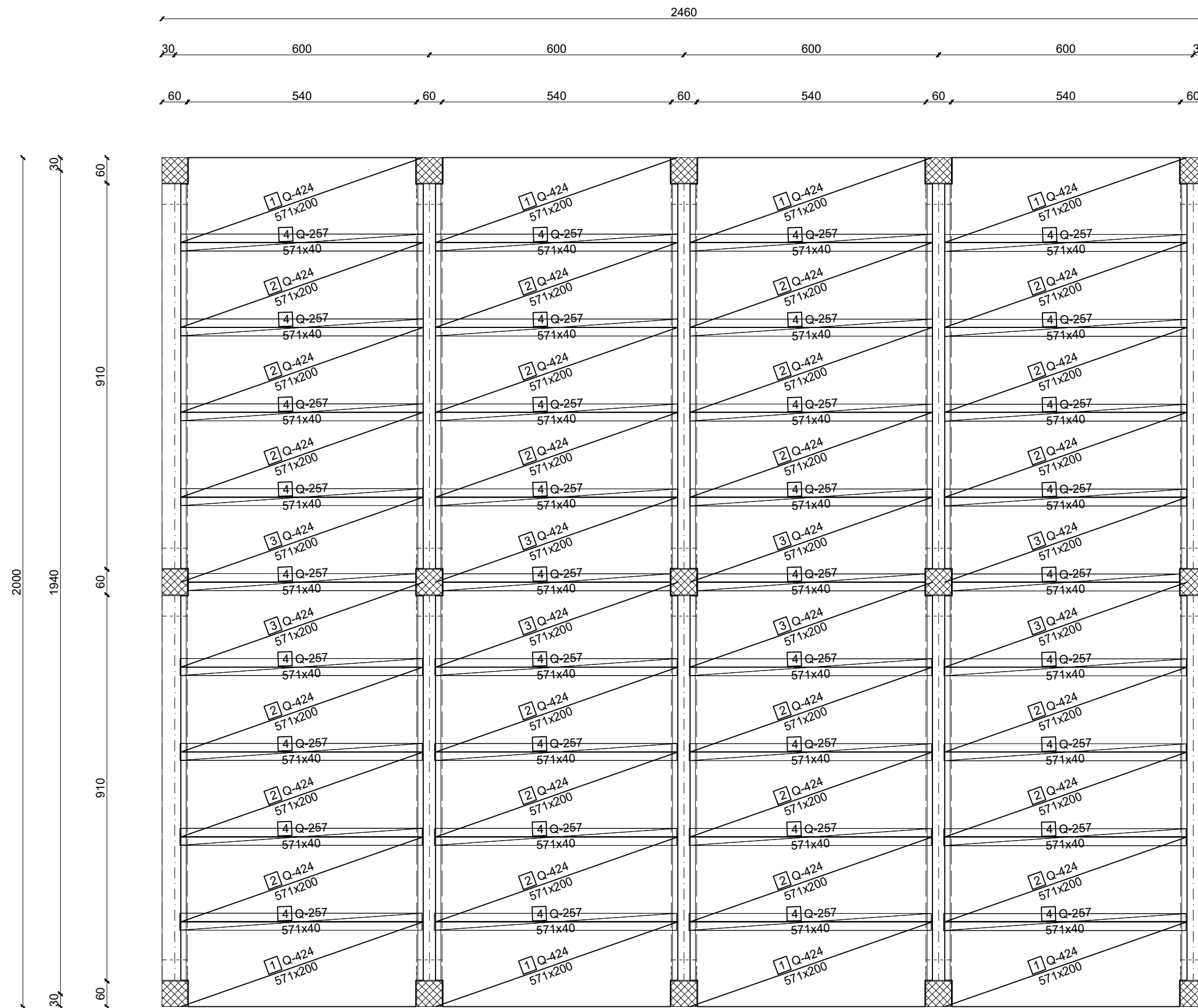


PRESJEK 2-2

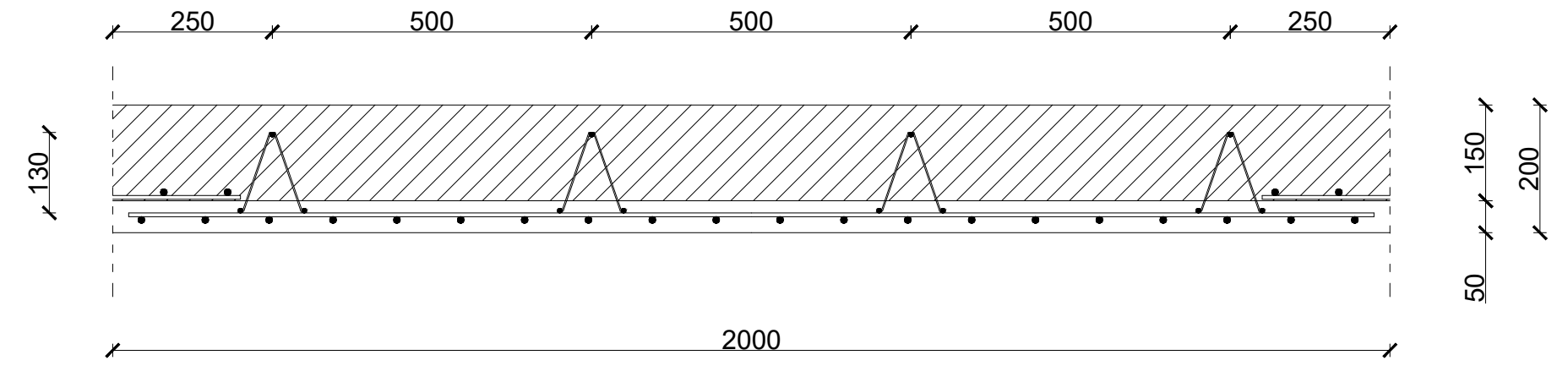


	SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE	PLAN OPLATE "OMNIA" PLOČA
Predmet:	MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE	
Razina obrade:	DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacrt:	PLAN OPLATE "OMNIA" PLOČA	
Mentor:	MISLAV STEPINAC	Pregledao:
Datum:	2024.	Mjerilo:
Školska godina:	2023./2024.	1:100
Izradio:	TONI CVJETKOVIĆ	

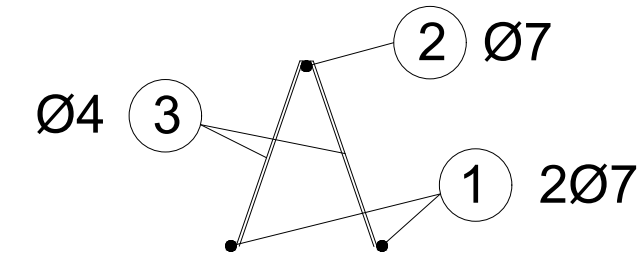
# PLAN ARMATURE AB PLOČE 1 ETAŽE DONJA ZONA M 1:100



## PRESJEK "OMNIA" PLOČE U POLJU M 1:10



### RAN - nosač



"Omnia" ploča izrađuje se u proizvodnom pogonu.

"Omnia" ploča armirana je mrežastom armaturom i RAN - nosačima

Glavna uzdužna armatura proteže se 12,5 cm van ruba predgotovljene ploče

Jedna "Omnia" ploča sadrži 4 RAN - nosača pri čemu ima 4 x 2 Ø 7 (nosive) + 4 x 1 Ø 7 (dodatne) armature šipke.

Jedna šipka duga je l=5,71 m.

Po etaži ukupno imamo 40 predgotovljenih "Omnia" ploča

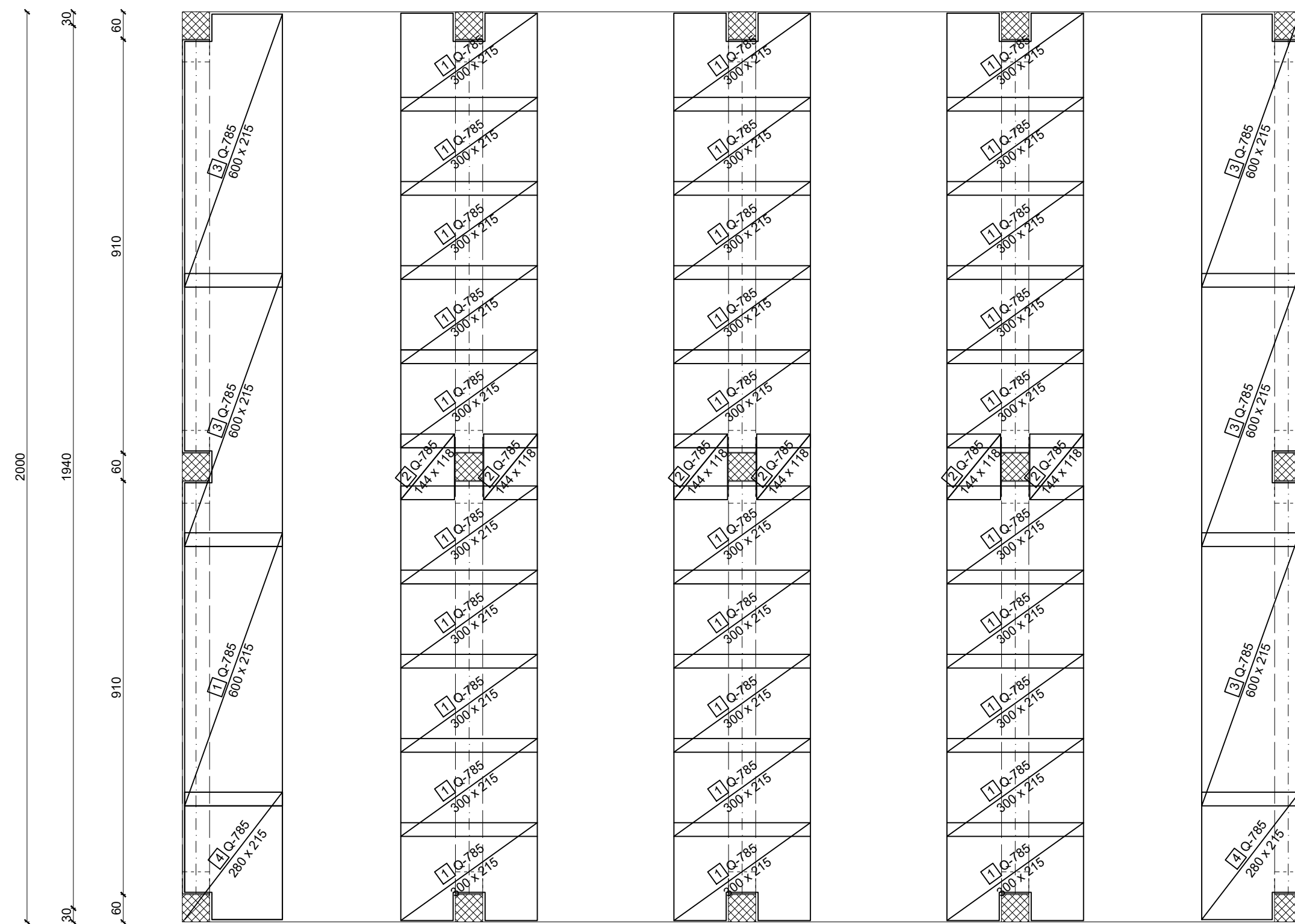
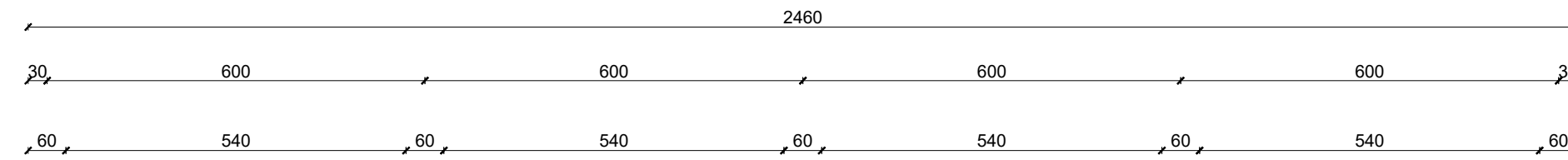
Na spoju dviju "Omnia" ploča ugraditi dodatnu armaturnu mrežu duž dulje stranice.

Šipke (RAN - nosači) - rekapitulacija					
Pozicija	Ø [mm]	n [kom]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m]	Težina [kg]
B500B					
1	10	320	5.71	0.298	544,51
2	10	160	5.71	0.298	272,25
Ukupno					816,76

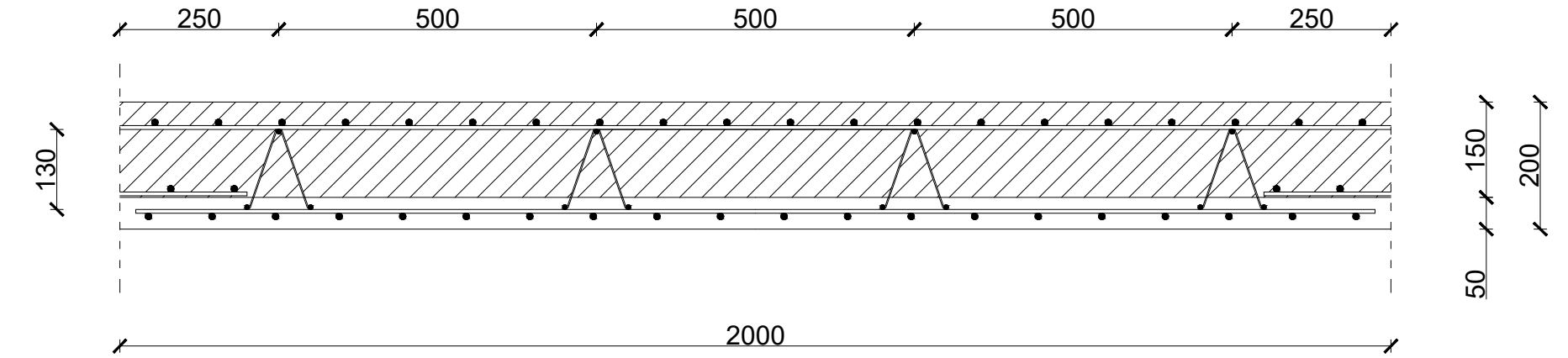
Mreže - specifikacija						
Pozicija	n	Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	Jedinična težina [kg/m <sup>2</sup> ]	Ukupna težina [kg]
B500A						
1	8	Q-424	200	571	6,81	622,16
2	24	Q-424	200	571	6,81	1866,48
3	8	Q-424	200	571	6,81	622,16
4	36	Q-257	40	571	4,16	342,05
Ukupno						3452,86

	PLAN ARMATURE AB PLOČE	
	Predmet: <b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade:	DIPLOMSKI RAD	
Sadržaj nacarta:	ARMATURE AB PLOČE 1 ETAŽE - DONJA ZONA	
Mentor:	MISLAV STEPINAC	Pregledao:
Datum:	2024.	Mjerilo:
Školska godina:	2023./2024.	1:100, 1:10
Izradio:	TONI CVJETKOVIĆ	

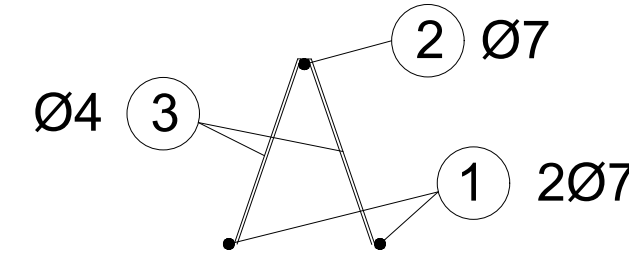
# PLAN ARMATURE AB PLOČE 1 ETAŽE GORNJA ZONA M 1:100



## PRESJEK "OMNIA" PLOČE UZ LEŽAJ M 1:10



### RAN - nosač



"Omnia" ploča izrađuje se u proizvodnom pogonu.

"Omnia" ploča armirana je mrežastom armaturom i RAN - nosačima

Armaturnu mrežu gornje zone polažemo na RAN - nosače

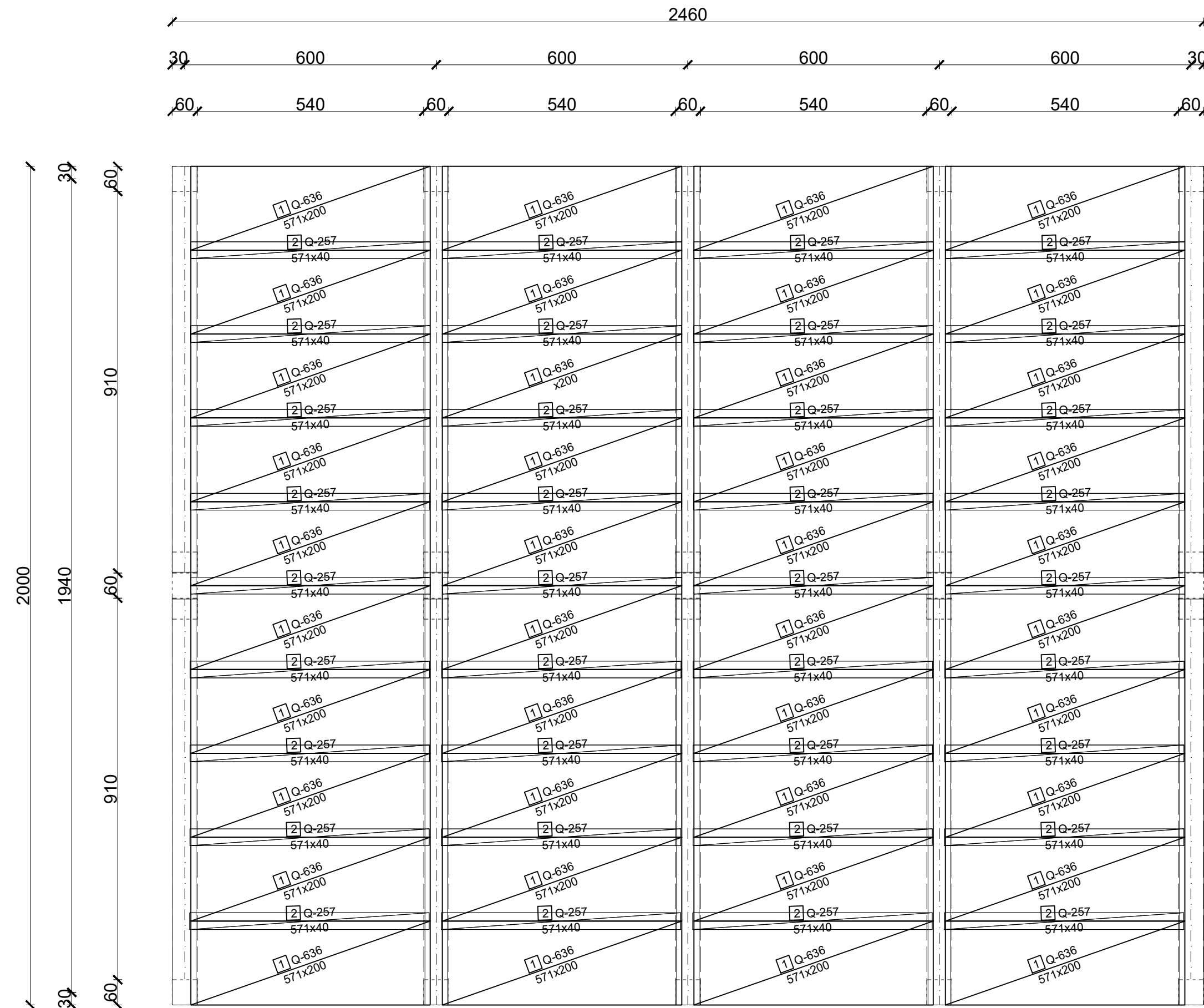
Armaturu gornje zone uklopiti oko stupova, kidati je na licu mjesta

Armaturene mreže preklapati po 30 cm

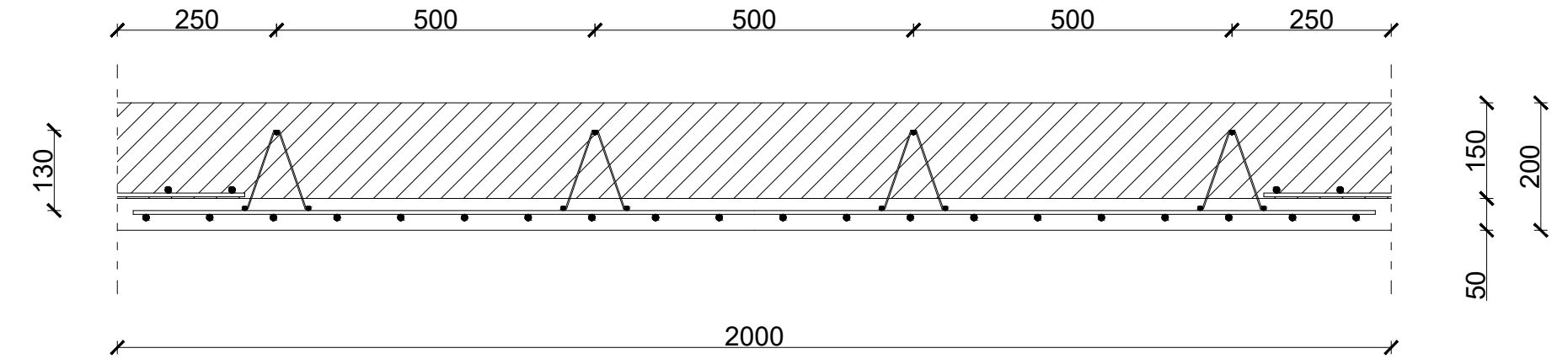
Mreže - specifikacija						
Pozicija	n	Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	Jedinična težina [kg/m <sup>2</sup> ]	Ukupna težina [kg]
B500A						
1	30	Q-785	215	300	12.46	2411,01
2	6	Q-785	118	144	12.46	127,03
3	6	Q-785	215	600	12.46	964,40
4	2	Q-785	215	280	12.46	150,02
Ukupno						3652,46

	PLAN ARMATURE AB PLOČE	
	Predmet: <b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade: <b>DIPLOMSKI RAD</b>		
Sadržaj nacrt: <b>ARMATURA AB PLOČE 1 ETAŽE - GORNJA ZONA</b>		
Mentor: <b>MISLAV STEPINAC</b>	Pregledao:	
Datum: <b>2024.</b>	Mjerilo: <b>1:100, 1:10</b>	
Školska godina: <b>2023./2024.</b>	Izradio: <b>TONI CVJETKOVIĆ</b>	

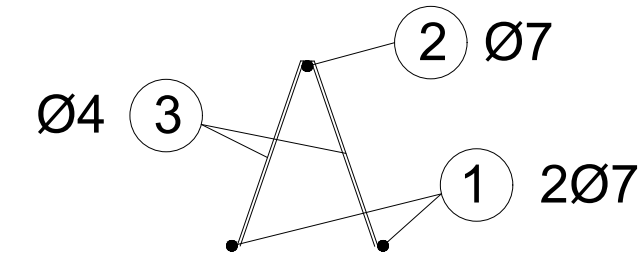
# PLAN ARMATURE AB PLOČE 2 ETAŽE DONJA ZONA M 1:100



# PRESJEK "OMNIA" PLOČE U POLJU M 1:10



## RAN - nosač



"Omnia" ploča izrađuje se u proizvodnom pogonu.

"Omnia" ploča armirana je mrežastom armaturom i RAN - nosačima

Glavna uzdužna armatura proteže se 12,5 cm van ruba predgotovljene ploče

Jedna "Omnia" ploča sadrži 4 RAN - nosača pri čemu ima 4 x 2 Ø 7 (nosive) + 4 x 1 Ø 7 (dodatne) armaturene šipke.

Jedna šipka duga je l=5,71 m.

Po etaži ukupno imamo 40 predgotovljenih "Omnia" ploča

Na spoju dviju "Omnia" ploča ugraditi dodatnu armaturnu mrežu duž dulje stranice.

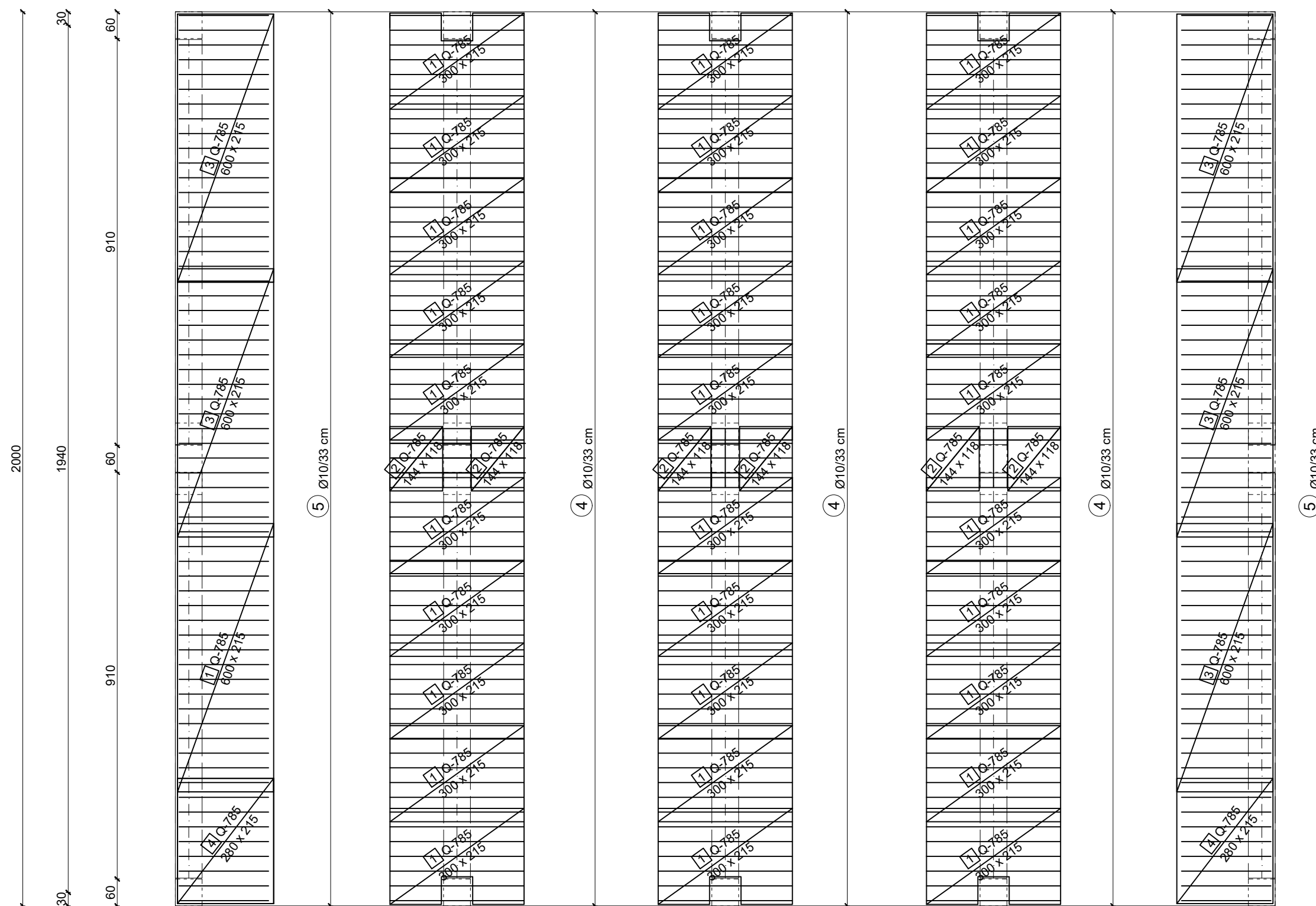
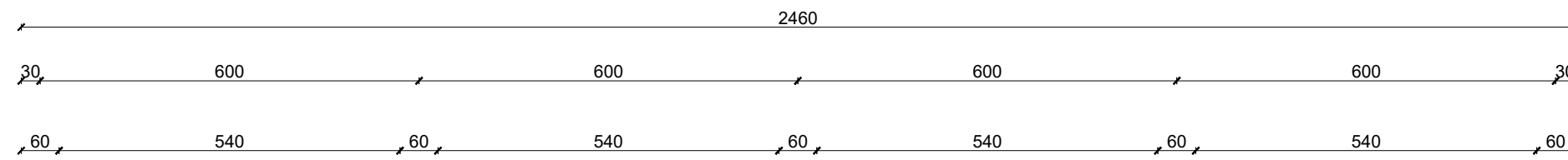
Šipke (RAN - nosači) - rekapitulacija					
Pozicija	Ø [mm]	n [kom]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m <sup>3</sup> ]	Težina [kg]
B500B					
1	10	320	5.71	0.298	544,51
2	10	160	5.71	0.298	272,25
Ukupno					816,76

Mreže - specifikacija						
Pozicija	n	Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	Jedinična težina [kg/m <sup>2</sup> ]	Ukupna težina [kg]
B500A						
1	40	Q-636	200	571	10,08	4604,54
2	36	Q-257	40	571	4,16	342,05
Ukupno						4946,60

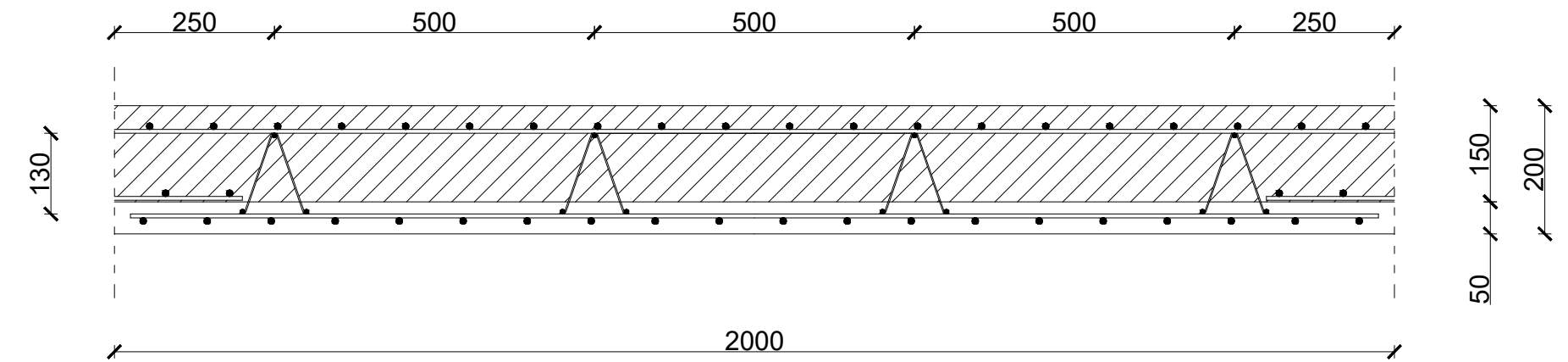
	PLAN ARMATURE AB PLOČE	
	Predmet: <b>MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE</b>	
Razina obrade: <b>DIPLOMSKI RAD</b>		
Sadržaj nacrt: <b>ARMATURA AB PLOČE 2 ETAŽE - DONJA ZONA</b>		
Mentor: <b>MISLAV STEPINAC</b>	Pregledao:	
Datum: <b>2024.</b>	Mjerilo: <b>1:100, 1:10</b>	
Školska godina: <b>2023./2024.</b>	Izradio: <b>TONI CVJETKOVIĆ</b>	



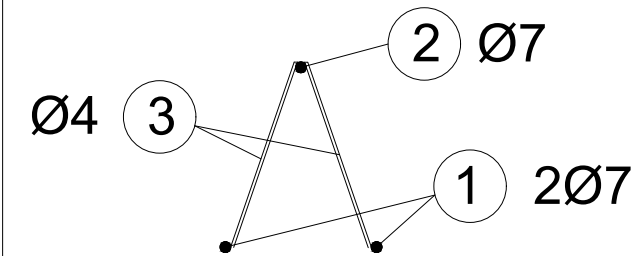
# PLAN ARMATURE AB PLOČE 2 ETAŽE GORNJA ZONA M 1:100



## PRESJEK "OMNIA" PLOČE UZ LEŽAJ M 1:10



### RAN - nosač



"Omnia" ploča izrađuje se u proizvodnom pogonu.

"Omnia" ploča armirana je mrežastom armaturom i RAN - nosačima

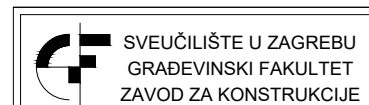
Armaturnu mrežu gornje zone polažemo na RAN - nosače

Armaturu gornje zone uklopiti oko stupova, kidati je na licu mjesta

Armature mreže preklapati po 30 cm

Šipke - rekapitulacija					
Pozicija	Ø [mm]	n [kom]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m <sup>3</sup> ]	Težina [kg]
B500B					
4	10	183	3,00	0,634	348,07
5	10	122	2,00	0,634	154,70
Ukupno					502,76

Mreže - specifikacija						
Pozicija	n	Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	Jedinična težina [kg/m <sup>2</sup> ]	Ukupna težina [kg]
B500A						
1	30	Q-785	215	300	12,46	2411,01
2	6	Q-785	118	144	12,46	127,03
3	6	Q-785	215	600	12,46	964,40
4	2	Q-785	215	280	12,46	150,02
Ukupno						3652,46



PLAN ARMATURE AB PLOČE

Predmet: MONTAŽNE ARMIRANOBETONSKE KONSTRUKCIJE

Razina obrade: DIPLOMSKI RAD

Sadržaj nacрта: ARMATURA AB PLOČE 2 ETAŽE - GORNJA ZONA

Mentor: MISLAV STEPINAC

Pregledao:

Datum: 2024.

Mjerilo:

Školista godina: 2023./2024.

1:100, 1:10

Izradio: TONI CVJETKOVIĆ