# Idejni projekt stadiona Arena Nikola Gazdić Split

**Baričević, Ivan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:388333

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-09**

*Repository / Repozitorij:*

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

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

# DIPLOMSKI RAD

**Ivan Baričević**

**Split, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Ivan Baričević**

# Idejni projekt stadiona Arena Nikola Gazdić Split

**Diplomski rad**

**Split, 2019.**

***Zahvala***

*Zahvaljujem mentoru prof.dr.sc. Alenu Harapinu te komentorici izv.prof.dr.sc.Vesna Perković Jović na strpljenju, stručnoj pomoći i suradnji tokom izrade diplomskog rada. Zahvaljujem svim prijateljima i kolegama na iskaznoj podršci, prilikom izrade diplomskog rada Alenu, Matku, Dafne Dei, Nikoli, Marijanu,Marini i Ani, prijateljicama i prijateljima Ivani, Luki, Neveni,Marku, Aniti te cijeloj obitelji.*

# Idejni projekt stadiona Arena Nikola Gazdić Split

***Sažetak:***

U radu je prikazan idejni projekt stadiona „ANG“- Arena Nikola Gazdić, rekreativno sportske namjene te poslovne namjene. Stadion je smješten između Ulice Put Brodarice i Hrvatske moranarice u Splitu na lokaciji trenutnog stadiona „Park Mladeži“. Građevina se sastoji od dva betonska prstena stadiona s tribinama, vanjskim i unutarnjim betonskim stupovima te pristupnim stubištem. Krovna konstrukcija je nadstrešnica u vidu četveropojasne prostorne rešetke dok je sekundarna krovna konstrukcija tropojasna prostorna rešetka. Stadion je predviđen kao polumontažna armiranobetonska konstrukcija s pojedinim elementima koji se izvode monolitno. Stadion također ima armiranobetonske temelje, nosače, stupove. Projekt sadrži: tehnički opis konstrukcije, proračun nosivih konstrukcijskih elemenata te karakteristične građevinske nacrte.

***Ključne riječi:***

stadion, idejni projekt, monolitna i polumontažna izvedba

# Conceptual design stadium Arena Nikola Gazdić Split

***Abstract:***

Conceptual design of stadium named „ANG“- Arena Nikola Gazdić, recreational-sports purposes and also bussnies space. Stadium is located between street Put Brodarice and Hrvatske ratne mornarice in Split on current location of stadium „Park Mladeži“.

The stadium has two parts upper and lower concrete ring where is located stands, internal and external collumns and stairs. Roof construction is eaves made of four band truss and secundary construction is made of three band truss. Stadium is preddicted as halfmontage reinforced concrete construction with various parts wich are made monolitich.Stadium also has reinforced concrete foundations, beams and collumns.

Design contains : tehnical description, calculation of bearing members and engineers plans.

***Keywords:***

stadium, conceptual design, prefabricated and monolithic construction

| | |
|---|---|
| STUDIJ: | **SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ** |
| SMJER: | **KONSTRUKCIJE** |
| KANDIDAT: | **Ivan Baričević** |
| BROJ INDEKSA: | **690** |
| KATEDRA: | **Katedra za Betonske konstrukcije i mostove** |
| PREDMET: | **Betonske konstrukcije** |

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: **Idejni projekt stadiona Arena Nikola Gazdić Split**

Opis Zadatka: Na temelju danih arhitektonskih podloga, potrebno je izraditi idejni projekt stadiona. Izrađeni projekt mora sadržavati:

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

U Splitu, ožujak 2019.

Voditelji diplomskog rada:

Predsjednik povjerenstva za diplomske ispite

Mentor
Prof. dr. sc. Alen Harapin

Doc. dr. sc. Ivo Andrić

Komentorica:
Izv.prof.dr.sc. Vesna Perković-Jović

# Sadržaj


1. TEHNIČKI OPIS ..... 10
   1.1. Općenito (projektni zadatak) ..... 10
   1.2. Oblik i veličina građevinske čestice ..... 11
   1.3. Namjena građevine ..... 11
   1.4. Konstruktivne pojedinosti – općenito ..... 14
   1.5. Konstruktivne pojedinosti – betonski prstenovi (gornji i donji) ..... 15
   1.6. Konstruktivne pojedinosti – krovna konstrukcija ..... 15
   1.7. Lokacija i opterećenja ..... 16
   1.8. Izvedba ..... 16
   1.9. Materijali ..... 17
2. GEOTEHNIČKI IZVJEŠTAJ ..... 19
   2.1. Podaci o istražnim radovima ..... 19
   2.2. Geološka i inženjersko - geološka istraživanja ..... 19
   2.3. Dubina podzemne vode ..... 19
   2.4. Temeljenje ..... 19
3. PLAN KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE ..... 21
   3.1. Opće napomene ..... 21
   3.2. Postizanje zahtijevane geometrije ..... 21
   3.3. Zemljani radovi ..... 22
   3.4. Betonski, armirano betonski i tesarski radovi ..... 23
      3.4.1. Beton ..... 23
      3.4.2. Betonski čelik ..... 24
      3.4.3. Prekidi betoniranja ..... 25
      3.4.4. Oplata ..... 25
      3.4.5. Primijenjeni standardi ..... 25
   3.5. Ostali radovi i materijali ..... 29
   3.6. Kontrolna ispitivanja ..... 30
   3.7. Dužnosti izvođača ..... 30
4. OPĆI I POSEBNI TEHNIČKI UVJETI ..... 32
   4.1. Oplate i skele ..... 32
   4.2. Transport i ugradnja betona ..... 33

4.3. Betoniranje pri visokim vanjskim temperaturama ..... 34
4.4. Betoniranje pri niskim vanjskim temperaturama ..... 36
4.5. Obaveze izvođača ..... 36
5. NAČIN ZBRINJAVANJA GRAĐEVNOG OTPADA ..... 37
6. UVJETI ODRŽAVANJA I PROJEKTIRANI VIJEK TRAJANJA ..... 39
7. PLANOVI POZICIJA ..... 42
8.0. ARHITEKTURA NOVOG STADIONA ..... 44
8.1. Položaj i lokacija stadiona ..... 44
8.2 POVIJESNI RAZVOJ STADIONA ..... 47
8.3 IDEJNO RJEŠENJE I KONCEPTI ..... 49
8.4. O imenu stadiona ..... 59
8.5. GRAFIČKI PRIKAZ IDEJNOG RJEŠENJA NOVOG STADIONA ..... 60
9. ODREĐIVANJE DIMENZIJA ELEMENATA KONSTRUKCIJE ..... 64
9.a.1 Analiza konstrukcije u pogledu prostorne stabilnosti te odabir varijantnog rješenja pridržanja krovne konstrukcije ..... 67
9.a.2 Varijanta konstrukcije bez vanjske zatege ..... 68
9.a.3 Varijanta konstrukcije sa vanjskom zategom ..... 71
9.a.4 Varijanta konstrukcije bez vanjske zatege-2.iteracija ..... 75
9.a.4. Analiza ponašanja rubnog nosača ..... 86
10. OPĆENITO O PRORAČUNSKOM MODELU ..... 105
10.1. Konstruktivni elementi u modelu ..... 107
10.2. Kombinacije opterećenja korištene u modelu ..... 107
11. ANALIZA OPTEREĆENJA ..... 110
11.1. Stalno opterećenje ..... 110
11.1.1. Vlastita težina ..... 110
11.1.2. Dodatno stalno opterećenje- betonska konstrukcija ..... 110
11.2. Promjenjivo opterećenje ..... 112
11.2.1. Korisno opterećenje ..... 112
11.2.2. Opterećenje snijegom ..... 113
11.2.3. Opterećenje vjetrom ..... 114
11.3. Izvanredno opterećenje ..... 122
11.3.1. Potresno opterećenje ..... 122
10.3. Rezultati dinamičke analize ..... 126
11.4. Prikaz prva tri vlastita vektora ..... 135

12. PRORAČUN VERTIKALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE ..... 137
12.1. Proračun stupova ..... 137
12.1.1. Proračun stupova pozicije S1( unutarnji stupovi na koje se oslanja donji prsten tribina) ..... 139
12.1.2. Proračun stupova pozicije S2 ..... 149
12.1.3. Proračun stupova pozicije S3 ..... 158
12.1.4. Proračun stupova pozicije S4 ..... 167
12.2 Poprečni nosači stadiona ..... 176
12.2.1 POPREČNI NOSAČI POZICIJE 1 – PN1 ..... 177
12.2.1.1. Prikaz reznih sila prema vrsti opterećenja ..... 177
12.2.1.2. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu ..... 181
12.2.1.3. Kontrola progiba ..... 185
12.2.2. POPREČNI NOSAČI POZICIJE 2 – PN2 ..... 187
12.2.2.2. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu ..... 191
12.2.2.3. Kontrola progiba ..... 195
12.3. UZDUŽNI NOSAČI DONJEG PRSTENA STADIONA (TRIBINE)- POZICIJA UN1 ..... 197
12.3.2. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu ..... 201
12.3.3. Kontrola progiba ..... 205
12.4. UZDUŽNI NOSAČI GORNJEG PRSTENA STADIONA (TRIBINE)- POZICIJA UN2 ..... 207
12.4.2. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu ..... 211
12.4.3. Kontrola progiba ..... 215
12.5. MONTAŽNA STUBIŠTA ZA PRISTUP STADIONU (VANJSKI DIO – ULAZ NA STADIONU)- POZICIJA MS1 ..... 217
12.5.2. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu ..... 221
12.6. MONTAŽNA STUBIŠTA ZA PRISTUP STADIONU (UNUTARNJI DIO – ULAZ NA STADIONU)- POZICIJA MS2 ..... 224
12.6.1. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu ..... 228
13.0. DIMENZIONIRANJE ČELIČNE KROVNE KONSTRUKCIJE STADIONA ..... 231
13.1. Glavni nosači krova ..... 231
13.2. Sekundarna konstrukcija krova ..... 232
14. ANALIZA OPTEREĆENJA ČELIČNE KONSTRUKCIJE ..... 234
14.1. Stalno opterećenje ..... 234
14.1.1. Vlastita težina ..... 234

14.1.2. Dodatno stalno opterećenje- čelična konstrukcija ..... 234
14.2. Promjenjivo opterećenje ..... 235
14.2.1. Korisno opterećenje ..... 235
14.3. Opterećenje snijegom ..... 236
14.4. Opterećenje vjetrom ..... 238
14.5. Opterećenje vjetrom trenjem po krovu ..... 244
14.6. Proračun konstrukcije na djelovanje temperature ..... 245
15.0. GLAVNI NOSAČ ..... 246
16.0. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA ..... 267
17.0. PRORAČUN KARAKTERISTIČNIH SPOJEVA ..... 286
18. PRORAČUN TEMELJA ..... 319
18.1. Proračun trakastog temelja ..... 320
18.1.1. Rezne sile ..... 320
18.1.2. Dimenzioniranje temelja ..... 322
18.2. Dimenzioniranje temelja samca ispod stupova pozicije S1 ..... 324
18.2. Rezne sile ..... 324
18.2.2. Dimenzioniranje temelja ..... 326
18.3. Dimenzioniranje temelja samca ispod stupova pozicije S2 ..... 327
18.3.1. Rezne sile ..... 327
18.2.3. Dimenzioniranje temelja ..... 329
18.4. Dimenzioniranje temelja samca ispod stupova pozicije S3 ..... 331
18.4.1. Rezne sile ..... 331
18.4.2. Dimenzioniranje temelja ..... 333
18.5. Dimenzioniranje temelja samca ispod stupova pozicije S4 ..... 334
18.5.1. Rezne sile ..... 334
18.5.2. Dimenzioniranje temelja ..... 336
19. LITERATURA ..... 337

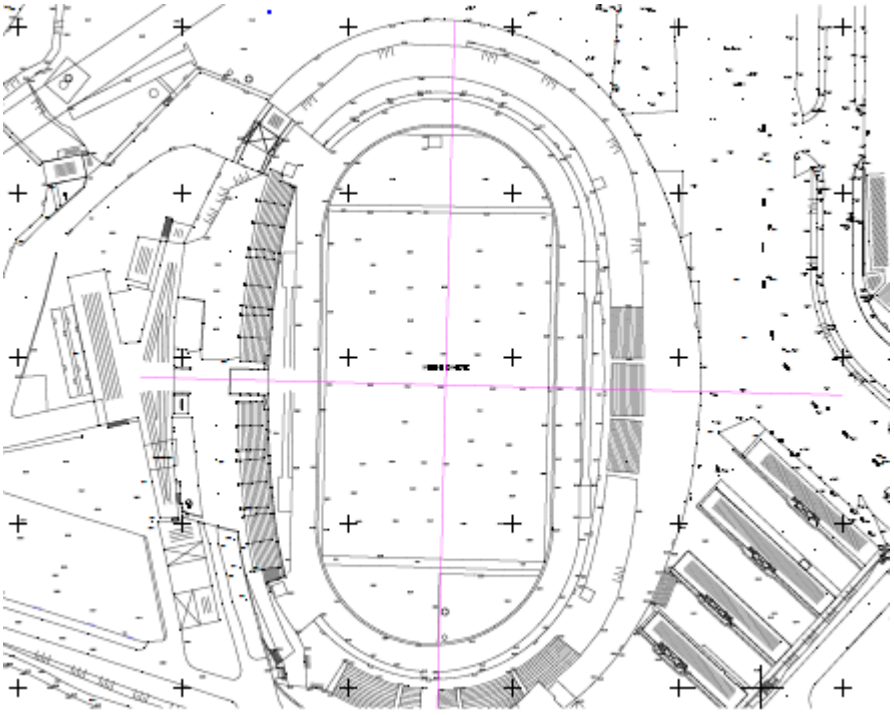
# 1. TEHNIČKI OPIS

## 1.1. Općenito (projektni zadatak)

U ulici Hrvatske mornarice u Splitu nalazi se građevinska čestica na kojoj investitor ima namjeru izgraditi stadion, na trenutnoj lokaciji gradskog stadiona „Park Mladeži“. Parcela se nalazi između ulice Hrvatske mornarice na jugu, Puta Brodarice na sjeveru, te dvije prilazne sporedne ulice kojima se prilazi prema parku Turska kula i ostalim zgradama.

Građevinska parcela površine je cca 40705 $m^2$. Analizirajući lokaciju, oblik i veličinu građevinske parcele, visinske razlike terena, a vodeći računa o važećoj prostorno-planskoj dokumentaciji, izrađeno je idejno rješenje novog stadiona.

Ovaj idejni projekt usklađen je s prostorno–planskim parametrima, veličinom čestice, namjena građevine, veličina i površina građevine, izgrađenost, visina, etažnost, smještaj građevine na građevnoj čestici, uređenje čestice, priključenje na javno–prometnu površinu i komunalnu infrastrukturu, parkirališnih mjesta.



*Slika 1. Situcija-položaj trenutnog stadiona „Park mladeži“ s obzirom na okolni teren*

## 1.2. Oblik i veličina građevinske čestice

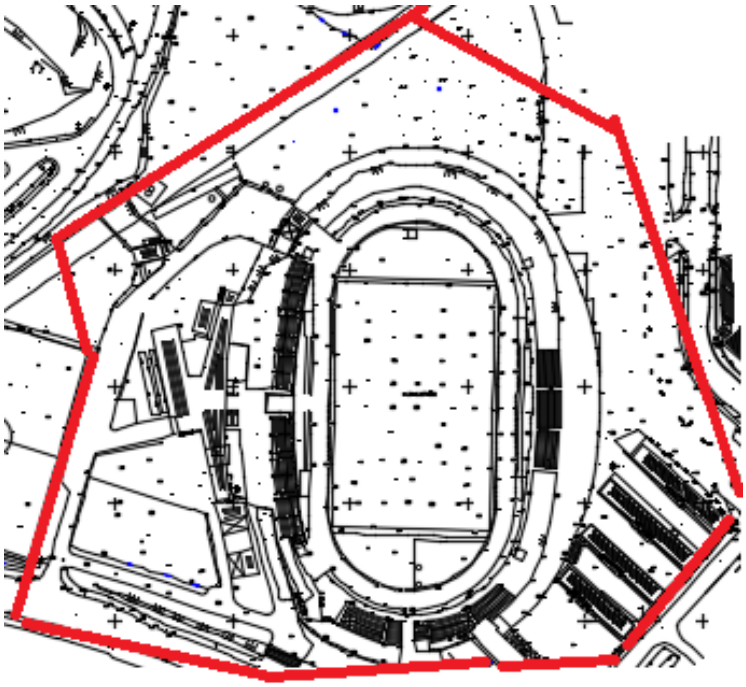
Novoformirana parcela je nepravilnog oblika površine oko 40705 $m^2$. Stadion se sastoji od dva osnovna prstena tribina koji se međusobno povezuju te oslanjanju na trakaste temelje i stupove. Tlocrtna površina stadiona iznad zemlje je 25080 $m^2$. Stoga je koeficijent izgrađenosti parcele 61.6%. Smještaj građevine na parceli proizlazi iz lokacijskih uvjeta mogućnosti kolnog pristupa s prometnica koje se nalaze na sjevernoj, zapadnoj i istočnoj strani stadiona, te pješačkog pristupa sa sve četiri strane stadiona.

## 1.3. Namjena građevine

Namjena građevine je sportski stadion sa gledalištem (tribine) i borilištem (terenom), svim pratećim sadržajima koji su potrebni za ovaj tip stadiona (teretane, dvorane za vježbanje, svlačionice, prostorije uprave) te poslovnim prostorima smještenim ispod tribina stadiona (trgovine, navijački kutak, „fan“ zona, restoran, prodajna mjesta-štandovi). Građevina se sastoji od 2 nadzemne etaže. Prvi prsten stadiona (na prvoj etaži) s vanjske strane primarno je poslovne namjene, dok je drugi prsten isključivo gledalište. Uzevši u obzir problem parkirnih mjesta preporuča se izvedba otvorenog parkirališta sa 500 mjesta za korisnike stadiona sa sjeverne strane stadiona. Ostatak parcele može se urediti kao zelena površina sa sadržajima za odmor i rekreaciju te dječju igru te je uređen kao zelena površina.

Vertikalna komunikacija na stadionu ostvarena je preko glavnih stubišta za svaki prsten stadiona. Predviđeno je 17 stubišta za pristup donjem prstenu većeg kapaciteta posjetitelja te 16 stubišta za pristup gornjem prstenu manjeg kapaciteta posjetitelja.

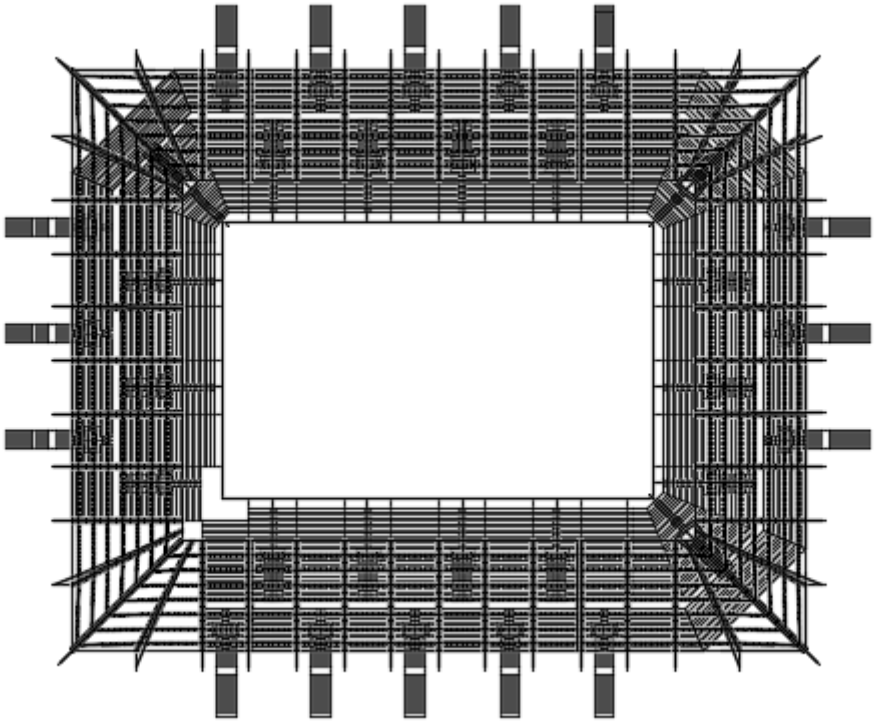
Kolni ulaz na parkiralište je s sjeverne strane stadiona, iz ulice Put Supavla, dok je pješački ulaz na stadion moguć preko tri glavna ulaza (sjever, jug, zapad) s razine prizemlja. Na parking se ulazi putem rampe.



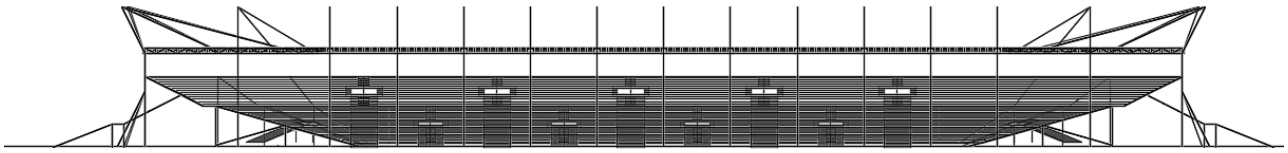
*Slika 2. Prikaz granica parcele*

*Slika 3. Prikaz preporučenog mjesta izrade otvorenog parkinga sa sjeverne strane stadiona*

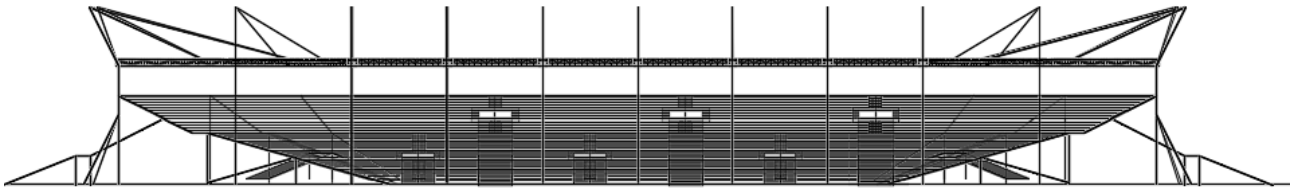
Ukupna visina stadiona od kote uređenog terena objekta je 24.0 m. Prvi prsten stadiona ima visinu od 7 m dok je drugi prsten od kute nula na visini od 12 m. Glavni nosivi stup ima visinu od 24 m (oslanjanje krovne konstrukcije i potrebno nadvišenje za postavljanje sajli koje pridržavaju glavne nosače krovne konstrukcije koja je izrađena u čeliku). Svi infrastrukturni priključci izvest će se prema posebnim zahtjevima komunalnih i javnih poduzeća ili stručnih službi grada i županije.



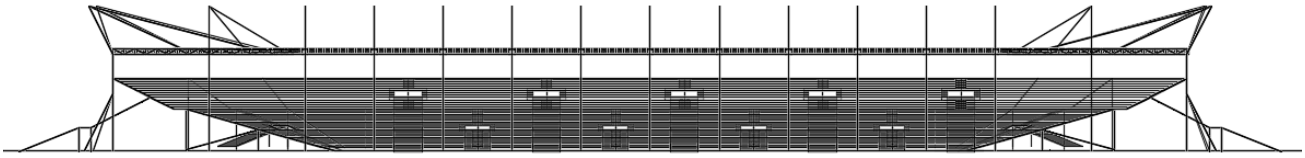
*Slika .0.3 Tlocrt novog stadiona*



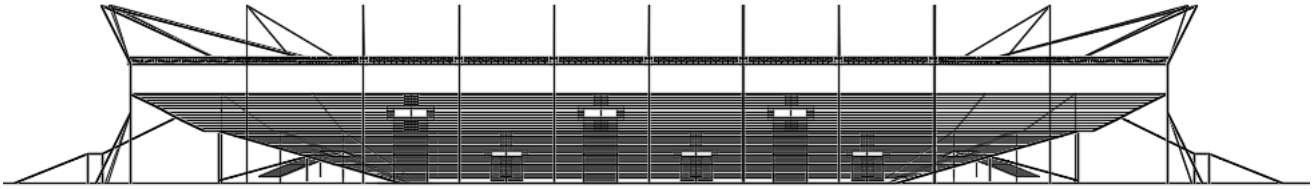
*Slika .0.4. Pogled na novi stadion sa zapadne strane*



*Slika .0.5. Pogled na novi stadion sa sjeverne strane*



*Slika 0.6. Pogled na novi stadion sa istočne strane*



*Slika 0.7. Pogled na novi stadion sa južne strane*

## 1.4. Konstruktivne pojedinosti – općenito

U konstrukcijskom smislu građevina je zamišljena kao standardna armiranobetonska konstrukcija i to oba prstena stadiona zajedno sa stupovima i popratnim prostorijama, te čelična konstrukcija krova stadiona. Konstrukcija se sastoji od dva osnovna armiranobetonska prstena tribina stadiona koji se oslanjanju na stupove koji su također armiranobetonski. Na objektu će se izvesti ravni krov čelične rešetkaste konstrukcije i to u smislu glavnih nosača – četveropojasne rešetke i sekundarne konstrukcije – tropojasne rešetke. Temelji objekta izvesti će se kao trakasti temelji i kao temelji samci na određenim mjestima konstrukcije. Dubina temelja je definirana arhitektonskim projektom i ovim projektom.

Konstrukcija stadiona zamišljena je kao prsten koji se oslanja na stupove i poprečne nosače. Za donji prsten stadiona predviđeni su poprečni nosači koji se izvode na predviđenim mjestima gdje naliježu uzdužni nosači te se poprečno nosači oslanjanju na stupove pozicije S1. Za gornji prsten stadiona predviđeni su poprečni nosači koji se izvode na predviđenim mjestima gdje naliježu uzdužni nosači te se poprečni nosači oslanjanju na stupove pozicije S2.

## 1.5. Konstruktivne pojedinosti – betonski prstenovi (gornji i donji)

Konstrukcija donjeg prstena su poprečni nosači koji se izvode na licu mjesta u oplati s predviđenim istakama na koje naliježu uzdužni nosači. Uzdužni nosači su prefabricirani elementi koji se dopremaju na gradilište i montiraju. Poprečni nosači oslanjanjaju se na stupove pozicije S1 koji su također armiranobetonski te se izvode kao prefabricirani elementi visine 7 m dopremljeni na gradilište te se potom postavljaju u unaprijed pripremljene betonske čašice. Poprečni nosači temelje se na trakaste temelje dok se stupovi pozicije S1 temelje na temeljima samcima.
Konstrukcija gornjeg prstena su poprečni nosači koji se izvode na licu mjesta u oplati sa predviđenim istakama na koje naliježu uzdužni nosači. Uzdužni nosači su prefabricirani elementi koji se dopremaju na gradilište i montiraju. Poprečni nosači oslanjanjaju se na stupove pozicije S2 koji su također armiranobetonski te se izvode monolitno u oplati (segmentna oplata) visine elementa gdje se hvata za poprečni nosač 12 m. Poprečni nosači pozicije 2 oslanjaju se na donji prsten stadiona dok se stupovi pozicije S2 temelje na trakastim temeljima.

Materijal izrade je beton klase C 35/45.

## 1.6. Konstruktivne pojedinosti – krovna konstrukcija

Za izvedbu krovne konstrukcije predviđen je čelik kao osnovni materijal. Glavni nosači četveropojasne čelične rešetke oslanjanju se na stupove pozicije S2 na visini od 16 m te je spoj zamišljen kao upeti. Dok se zbog velikog raspona četveropojasna čelična konstrukcija pridržava s dvije sajle od visokovrijednog čelika koje se upinju u vrh stupova. Četverpojasna rešetka na gradilište se doprema u elementima koji se na licu mjesta vare i spajaju pomoću konstruktivnih spojnih elementa za unaprijed predviđene pozicije svakog elementa. Predviđaju se vijčani montažni spojevi.
Najveći raspon glavnih nosača je 37.80 m.
Sekundarna krovna konstrukcija predviđena je kao tropojasna čelična rešetka koja se oslanja svojim gornjim pojasom na gornji pojas glavnih nosača (čeveropojana rešetka). Spoj je previđen kao montažni izveden konstruktivnim spojnim elementima.

Tropojasna rešetka na gradilište se doprema u elementima koji se na licu mjesta vare i spajaju pomoću konstruktivnih spojnih elementa za unaprijed predviđene pozicije svakog elementa.
Na sekundatnu konstrukciju kao dijelom i na glavne nosače oslanja se pokrov stadiona u vidu lexan ploča koji su uzeti u obzir prilikom proračuna kao dodatno stalno opterećenje na stadion.
Najveći raspon sekundarnih nosača je 14.50 m.

Materijal izrade je čelik S 335.

## 1.7. Lokacija i opterećenja

Stadion se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u zonu za koju je zadano projektno ubrzanje tla ag= 0.22g. Konstrukcija preuzima seizmičke sile sustavom armiranobetonskih stupova i poprečnih nosača, što je u skladu s Eurokodom 2 i Eurokodom 8. Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u II. zonu opterećenja vjetrom.

## 1.8. Izvedba

Prije početka iskopa građevinske jame za budući stadion potrebno je odraditi pripremne radove na gradilištu u smislu uklanjanja kompletne konstrukcije trenutnog stadiona „Park mladeži“ s obzirom kako se ovim idejnim rješenjem ne uzima niti jedan dio trenutnog stadiona kao primjenjiv za budući stadion što zbog kvalitete i zapuštenosti trenutnog stadiona tako i zbog estetike te neuklapanja u ukupne prostorne koncepte predviđene ovim idejnim projektom.
Iskop građevinske jame do razine 1.50 m ispod kote prizemlja buduće građevine izvršit će se u širokom iskopu s vertikalnim zasjekom (10:1). Pristup jami predviđen je na mjestu buduće rampe.
U trenutku izrade projektne dokumentacije nije poznat izvođač konstrukcije. Prilikom izrade statičkog proračuna usklađena je geometrija presjeka elemenata konstrukcije

s izvođačkim mogućnostima većine građevinskih tvrtki. Prilikom odabira izvođača u skladu s njegovim mogućnostima i tehnologijom izvedbe može doći do odstupanja u obliku poprečnog presjeka pojedinih elemenata u odnosu na elemente iz statičkog proračuna. Ta odstupanja neće imati utjecaj na ukupnu stabilnost građevine te je dovoljno ove razlike obraditi u glavnom te posebno u izvedbenom projektu konstrukcije.

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).

## 1.9. Materijali

a) Beton
Za sve betonske radove predviđen je beton C 35/45, izuzev izrade temelja za koje je predviđen beton C30/37, a sve prema "Tehničkim propisima za betonske konstrukcije" ("TPBK" N.N. 139/09, 14/10, 125/10, 136/12).

b) Armatura
Predviđena armatura je B 500B (prema "TPBK") za sve elemente, u obliku šipki ili mreža.

Zaštitni slojevi betona do armature iznose min 4 cm.

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 upotrebljena armatura treba imati odgovarajuće ateste o kakvoći.

Skidanje oplate za grede i stupove može se izvršiti nakon što beton postigne min. 70% čvrstoće (cca 7 dana uz normalnu njegu betona). Za temelje se može upotrijebiti beton niže klase.

c) Čelična konstrukcija

Predviđena je konstruktivni čelik S 335, izuzev čeličnih sajli koji su visokovrijedni čelici.

# 2. GEOTEHNIČKI IZVJEŠTAJ

## 2.1. Podaci o istražnim radovima

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

## 2.2. Geološka i inženjersko - geološka istraživanja

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

## 2.3. Dubina podzemne vode

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

## 2.4. Temeljenje

Površinski sloj sačinjavaju elementi nastali trošenjem matične stijene ili nasipni materijal, koji se sastoji uglavnom od žućkasto smeđe gline, same ili pomiješane s crvenkasto smeđom zemljom.

Kako je predviđena dubina dna temelja pretpostavlja se da će se svi temelji nalaziti na kvalitetnoj laporovitoj stijeni.

Iskop građevinske jame do nivoa 1.5 m ispod nivoa prizemlja budućeg stadiona izvršit će se u širokom iskopu s vertikalnim zasjekom (10:1). Pri zasijecanju potrebno je ukloniti sve nestabilne stijene. Zasijek treba zaštititi prskanim betonom debljine d = 5-10 cm uz armiranje armaturnom mrežom Q-196 i geotehničkim sidrima duljine l=2.5 m po potrebi prema posebnom projektu. Pristup jami predviđen je na mjestu buduće rampe.
Nakon iskopa potrebno je temeljnu plohu ručno očistiti od ostataka razlomljenog materijala, kao i eventualnu glinovitu ispunu iz pukotina. Po obavljenom čišćenju temeljne plohe potrebno je neravnine i udubine (škrape) popuniti i izravnati podložnim betonom C 16/20 do projektirane kote temeljenja.
Ukoliko se naiđe na kavernu (pukotinu), veće udubine i relativno manje širine, a nije moguće potpuno uklanjanje gline crvenice, sanaciju izvesti tako da se glina očisti do dubine cca 50 cm ispod kote temeljenja, a nastali prostor do projektiranje kote temeljenja "plombira", tj. zapuni podbetonom.

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

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

# 3. PLAN KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE

## 3.1. Opće napomene

Izvoditelj je odgovoran za kvalitetu izvođenja radova i za uredno poslovanje. Izvoditelj ne smije odstupati od projekta bez pismenog odobrenja nadzornog inženjera investitora, a uz prethodnu suglasnost projektanta. Sve izmjene se moraju unijeti u građevinsku knjigu i građevinski dnevnik.

Kvaliteta korištenog građevinskog materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda, kao i kvaliteta izvedenih radova mora odgovarati prethodno navedenim uvjetima propisanim važećim propisima, standardima, uvjetima iz tehničke dokumentacije, te uvjetima iz ugovora.

Ukoliko izvoditelj ugrađuje materijal koji nije standardiziran, za isti je dužan pribaviti odgovarajuće dokaze o kakvoći i priložiti ih u pismenoj formi.

Pri izvođenju građevine, izvoditelj se dužan pridržavati navedenih propisa kao i svih ostalih Pravilnika, Tehničkih normativa, posebnih uvjeta za izradu, ugradnju i obradu pojedinih elemenata građevine, kao i standarda propisanih za izvođenje radova na građevini (temeljenje, betonski radovi, skele i oplate, armatura, čelik za armiranje, kontrola kvalitete betona i čelika, zidanje zidova, završni radovi), kako bi osigurao da izvedena građevina odgovara projektu, te svim propisima i standardima Republike Hrvatske.

## 3.2. Postizanje zahtijevane geometrije

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

- Stalnu kontrolu geometrije svih elemenata i objekata kao cjeline
- Kontrolu osiguranja svih točaka
- Kontrolu postavljenih profila
- Kontrolu repera i poligonalnih točaka

## 3.3. Zemljani radovi

1) Iskopi

Tijekom radova na iskopima kontrolirati sljedeće:

- Iskop se obavlja prema profilima i visinskim kotama iz projekta te s propisanim nagibima pokosa iskopa (uzimajući u obzir geomehanička svojstva tla)
- Tijekom rada ne smije doći do potkopavanja ili oštećenja okolnih građevina ili okolnog tla
- Ne smiju se iskapati nepotrebno povećani ili štetni iskopi
- Ne smije se degradirati ili oštetiti temeljno tlo zbog nekontroliranih miniranja i neadekvatnih iskopa
- Za vrijeme rada na iskopu pa do završetka svi radova na objektu izvođač je dužan osigurati pravilnu odvodnju ( ne smije dozvoliti zadržavanje vode u iskopima)

2) Nasipi

Kotrolu kvalitete materijala za izradu nasipa vršiti prema važećim normama kontrolom i tekućim ispitivanjima obuhvatiti:

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

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

## 3.4. Betonski, armirano betonski i tesarski radovi

### *3.4.1. Beton*

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

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

Betonski radovi moraju se izvoditi prema projektu konstrukcije i projektu betona (kojeg je dužan izraditi Izvođač), a u svemu sukladno s Tehničkim propisom za betonske konstrukcije (N.N.139/09,14/10,125/10,136/12) te sa svim pratećim normativima.

Kod projektiranog betona u projektu mora biti specificiran razred tlačne čvrstoće (marka betona) i to kao karakteristična vrijednost 95%-tne vjerojatnosti s kriterijima sukladnosti prema normi HRN EN 206-1. Sastavni materijali od kojih se beton proizvodi, ili koji mu se pri proizvodnji dodaju, moraju ispunjavati zahtjeve normi na koje upućuje norma HRN EN 206-1 i zahtjeve prema Tehničkom propisu za betonske konstrukcije. Zahtjevi za isporuku betona i informacije proizvođača betona korisniku moraju sadržavati podatke prema normi HRN EN 206-1. Uzimanje uzoraka, priprema ispitnih uzoraka i ispitivanje svojstava svježeg betona provodi se prema normama niza HRN EN 12350, a ispitivanje svojstava očvrsnulog betona prema normama niza HRN EN 12390.

Eventualna vremenski ubrzana proizvodnja betonskih elemenata, u cilju ubrzanja građenja, dopuštena je samo uz poseban projekt tehnologije izvođenja i dokaz zahtijevanih svojstava prethodnim ispitivanjima. Za svako odstupanje od projekta, nadzorni inženjer je dužan izvijestiti projektanta i investitora. Nužna je njega ugrađenog betona da se ne pojave štetne pukotine, a u svemu prema projektu betona, važećim propisima i pravilima struke.

### *3.4.2. Betonski čelik*

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

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

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

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

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

Sva armatura je iz čelika B500 u obliku šipki ili mreža. Osobito poštivati projektom predviđene razmake i zaštitne slojeve armature. Ni jedno betoniranje elementa ne može započeti bez prethodnog detaljnog pregleda armature od strane nadzornog inženjera i njegove dozvole

### *3.4.3. Prekidi betoniranja*

Prekid i nastavci betoniranja konstrukcija moraju biti obrađeni projektom betona.

### *3.4.4. Oplata*

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

### *3.4.5. Primijenjeni standardi*

→ Standardi za beton – osnovni:

| | |
|---|---|
| HRN EN 206- EN1:2002 | Beton-1.dio: Specifikacije, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 206-1:2000) |
| HRN EN 206-EN1/A1:2004 | Beton – 1. dio: Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 206-1:2000/A1:2004) |

| | |
|---|---|
| nHRN EN 206- EN1/A2 | Beton – 1. dio: Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN206-1:2000/prA2:2004) |

→ Standardi za beton – ostali:

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

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

→ Standardi za čelik za armiranje – osnovni

| | |
|---|---|
| nHRN EN 10080-1 | Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 1.dio: Opći zahtjevi (prEN 10080-1:1999) |
| nHRN EN 10080-2 | Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 2. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda A (prEN 10080-2:1999) |
| nHRN EN 10080-3 | Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 3. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda B (prEN 10080-3:1999) |
| nHRN EN 10080-4 | Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 4. dio: Tehnički uvjeti isporuke čelika razreda C (prEN 10080-4:1999) |

| | |
|---|---|
| nHRN EN 10080-5 | Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 5. dio: Tehnički uvjeti isporuke zavarenih armaturnih mreža (prEN 10080-5:1999) |
| nHRN EN 10080-6 | Čelik za armiranje betona – Zavarljivi armaturni čelik – 6. dio: Tehnički uvjeti isporuke zavarenih rešetki za gredice (prEN 10080-6:1999) |

→ Standardi za čelik za armiranje – ostali

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

| | |
|---|---|
| HRN EN ISO 15630-1 | Čelik za armiranje i prednapinjanje betona – Ispitne metode – 1. dio: Armaturne šipke i žice |
| HRN EN ISO 15630-2 | Čelik za armiranje i prednapinjanje betona – Ispitne metode – 2. dio: Zavarene mreže |

→ Ostali standardi:

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

Ovlaštene organizacije i institucije za atestiranje su na listi u Glasniku Zavoda kojeg izdaje Državni zavod za normizaciju i graditeljstvo.
Izvoditelj je dužan osiguravati dokaze o kvaliteti radova i ugrađenih proizvoda i opreme prema Zakonu i prema zahtjevima iz projekta, te u tom smislu mora čuvati dokumentaciju o ispitivanju ugrađenog materijala, proizvoda i opreme prema programu ispitivanja iz projekta.
Nadzorni inženjer dužan je voditi računa da je kvaliteta radova, ugrađenih proizvoda i opreme u skladu sa zahtjevima projekta te da je kvaliteta dokazana propisanim ispitivanjima i dokumentima. Nadzorni inženjer dužan je da za tehnički pregled priredi završno izvješće o izvedbi građevine.

## 3.5. Ostali radovi i materijali

Svi ostali materijali i proizvodi koji se ugrađuju u objekt trebaju biti kvalitetni i trajni, uz zadovoljenje svih važećih normi, propisa i pravila struke. Za sve se upotrijebljene materijale provode tekuća i kontrolna ispitivanja, odnosno prilažu atesti isporučitelja. Izvedba svih radova treba biti ispravna, kvalitetna i pod stalnim stručnim nadzorom. Za svako odstupanje primijenjenog gradiva ili gotovog proizvoda od projekta, potrebna je suglasnost projektanta i investitora. Za vrijeme izvođenja projekta potreban je stalni tehnički nadzor.
Preporuča se stalni kvalificirani nadzor građevinske struke koji će moći realizirati sve postavke ovog proračuna.

## 3.6. Kontrolna ispitivanja

Kontorlona ispitivanja provodi nadzorni organ, a za konačnu ocjenu kvalitete materijala i radova mjerodavni su rezultati kontrolnog ispitivanja. Kontrolna ispitivanja obavljaju se u tijeku izvedbe radova po vrsti, obujmu i vremenu, kako to nalažu zakonski propisi i tehnička regulativa. Ukoliko rezultati kontrolnih ispitivanja pokažu da kvaliteta upoterijebljenih materijala i izvedenih radova ne odgovara zahtijevanim uvjetima, nadzorni organ je dužan izdati nalog izvođaču da nekvalitetan materijal zamijeni kvalitetnim i radove dovede u ispravno stanje. Izvođač je dužan napraviti Projekt betona koji će zadovoljiti uvjete dane ovom projektnom dokumentacijom, a istovremeno uvažiti tehnologiju proizvodnje i ugradbe betona koju primjenjuje izvođač te zadovoljiti propisane uvjete. Kontrolu kvalitete betonskih radova treba provjeriti u za to registriranoj organizaciji, a kontrolna ispitivanja je potrebno primijeniti u skaldu s „TPBK“ N.N. 139/09, 14/10, 125/10, 136/12.

## 3.7. Dužnosti izvođača

Radove izvoditi na način određen ugovorom, propisima i pravilima struke, tehničkim normativima i standardima propisanim i prihvaćenim u RH, te prema odobrenoj projektnoj dokumentaciji. Poduzeti ve potrebne mjere za sigurnost zaposelnih radnika, javnog prometa, kao i susjednih objekata pored kojih se izvode radovi. Organizirati kontrolu radova u terenskim i pogonskim laboratorijima ili povjeriti tu kontrolu stručnim organizacijama koju su za to upisane u sudski registar. Ugrađivani materijal, predgotovljene elemente, elemente, uređaje i tehničku opremu koji odgovaraju propisanim standardima i tehničkim normativima. Kvalitetu radova, materijala i uređaja koji mogu utjecati na stablnost i sigurnost objekta i kvalitetu cijelog objekta, odnosno radove, dokumentirati obrađenim razultatima ispitivanja ili ispravmama izdanim u skladu sa zakonom ili propisima o tehnilkim normativima i standardima. Radove izvodtit po redoslijedu kojim se osigurava kvalitetno izvođenje i o izvođenju pojedinih faza n avrijeme obavijestiti nadzorni organ zbog pregleda i utvrđivanja kvalitete. Rezultate ispitivanja izvođač je dužan dostaviti nadzornom inženjeru. Dužan je pribaviti sve ateste kada je to propisano tehničkim normativima ili propisima. Ne smije upotrebljavati građevinske materijale bez odobrenja

nadzornog organa, a u slučaju da ih upotrijebi snosi rizik i troškove koji iz toga nastanu. Izvođaj je dužan tijekom građenja i po završetku istog pribaviti dokaze o kvaliteti upotrijebljenog građevinskog materijala, poluporizvoda i gotovih porizvoda od ovlaštenih organizacija kao što je:

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

# 4. OPĆI I POSEBNI TEHNIČKI UVJETI

## 4.1. Oplate i skele

Skele i oplate moraju imati takvu sigurnost i krutost da bez slijeganja i štetnih deformacija mogu primiti opterećenja i utjecaje koji nastaju tijekom izvedbe radova. Skela i oplata moraju biti izvedeni tako da se osigurava puna sigurnost radnika i sredstava rada kao i sigurnost prolaznika, prometa, susjednih objekata i okoline uopće. Materijali za izradu skela i oplata moraju biti propisane kvalitete. Nadzorni inženjer treba odobriti oplatu prije početka betoniranja. Kod izrade projekta oplate mora se uzeti u obzir kompaktiranje pomoću vibratora na oplati tamo gdje je to potrebno. Oplata mora sadržavati sve otvore i detalje prikazane u nacrtima, odnosno tražene od nadzornog inženjera.

Oplata odnosno skela treba osigurati da se beton ne onečisti. Obje moraju biti dovoljno čvrste i krute da odole pritiscima kod ugradnje i vibriranja i da spriječe ispupčenja. Nadzorni inženjer će, tamo gdje mu se čini potrebno, tražiti proračunski dokaz stabilnosti i progibanja.

Nadvišenja oplate dokazuju se računski i geodetski se provjeravaju prije betoniranja. Oplata mora biti toliko vodotijesna da spriječi istjecanje cementnog mlijeka. Ukoliko se za učvršćenje oplate rabe metalne šipke od kojih dio ostaje ugrađen u betonu, kraj stalno ugrađenog dijela ne smije biti bliži površini od 5 cm. Šupljina koja ostaje nakon uklanjanja šipke mora se dobro ispuniti, naročito ako se radi o plohama koje će biti izložene protjecanju vode. Ovakav način učvršćenja ne smije se upotrijebiti za vidljive plohe betona. Žičane spojnice za pridržavanje oplate ne smiju prolaziti kroz vanjske plohe gdje bi bile vidljive.

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

Površina oplate mora biti očišćena od inkrustacija i sveg materijala koji bi mogao štetno djelovati na izložene vanjske plohe.

Kad se oplata premazuje uljem, mora se spriječiti prljanje betona i armature.

Oplata, ukoliko je drvena, mora prije betoniranja biti natopljena vodom na svim površinama koje će doći u dodir s betonom i zaštićena od prianjanja za beton premazom vapnom.

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

Oplata se mora skidati prema određenom redoslijedu, pažljivo i stručno, da se izbjegnu oštećenja. Moraju se poduzeti mjere predostrožnosti za slučaj neplaniranog kolapsa. Nadzorni inženjer će odrediti kad se mora, odnosno može, skidati oplata.

Sve skele (za oplatu, pomoćne i fasadne) moraju se izvesti od zdravoga drva ili čeličnih cijevi potrebnih dimenzija. Sve skele moraju biti stabilne, ukrućene dijagonalno u poprečnom i uzdužnom smislu, te solidno vezane sponama i kliještima. Mosnice i ograde trebaju biti također dovoljno ukrućene. Skelama treba dati nadvišenje koje se određuje iskustveno u ovisnosti o građevini ili proračunski. Ako to traži nadzorni inženjer, vanjska skela, s vanjske strane, treba biti prekrivena tršćanim ili lanenim pletivom kako bi se uz općenitu zaštitu osigurala i kvalitetnija izvedba i zaštita fasadnog lica.

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

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

## 4.2. Transport i ugradnja betona

S betoniranjem se može početi samo na osnovi pismene potvrde o preuzimanju podloge, skele, oplate i armature te po odobrenju programa betoniranja od nadzornog inženjera. Beton se mora ugrađivati prema unaprijed izrađenom programu i izabranom sistemu.

Vrijeme transporta i drugih manipulacija sa svježim betonom ne smije biti duže od onog koje je utvrđeno u toku prethodnih ispitivanja (promjena konzistencije s vremenom pri raznim temperaturama). Transportna sredstva ne smiju izazivati segregaciju smjese betona.U slučaju transporta betona auto-miješalicama, poslije pražnjenja auto-miješalice treba oprati bubanj, a prije punjenja treba provjeriti je li ispražnjena sva voda iz bubnja.

Zabranjeno je korigiranje sadržaja vode u gotovom svježem betonu bez prisustva tehnologa za beton. Dozvoljena visina slobodnog pada betona je 1,0 m. Nije dozvoljeno transportiranje betona po kosinama. Transportna sredstva se ne smiju oslanjati na oplatu ili armaturu kako ne bi dovela u pitanje njihov projektirani položaj.

Svaki započeti betonski odsjek, konstruktivni dio ili element objekta mora biti neprekidno izbetoniran u opsegu, koji je predviđen programom betoniranja, bez obzira na radno vrijeme, brze vremenske promjene ili isključenja pojedinih uređaja mehanizacije pogona. Ako dođe do neizbježnog, nepredvidljivog prekida rada, betoniranje mora biti završeno tako da se na mjestu prekida može izraditi konstruktivno i tehnološki odgovarajući radni spoj. Izrada takvog radnog spoja moguća je samo uz odobrenje nadzornog inženjera.

Svježi beton mora se ugrađivati vibriranjem u slojevima čija debljina ne smije biti veća od 70 cm. Sloj betona koji se ugrađuje mora vibriranjem biti dobro spojen s prethodnim donjim slojem betona. Ako dođe do prekida betoniranja, prije nastavka betoniranja površina donjeg sloja betona mora biti dobro očišćena ispuhivanjem i ispiranjem, a po potrebi i pjeskarenjem.

Beton treba ubaciti što bliže njegovom konačnom položaju u konstrukciji da bi se izbjegla segregacija. Smije se vibrirati samo oplatom ukliješten beton. Nije dozvoljeno transportiranje betona pomoću pervibratora.

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

## 4.3. Betoniranje pri visokim vanjskim temperaturama

Niska početna temperatura svježeg betona ima višestruko povoljan utjecaj na poboljšanje uvjeta za betoniranje masivnih konstrukcija. Stoga je sniženje temperature svježeg betona i održavanje iste u propisanim granicama od posebnog značaja.

Za održavanje temperature svježeg betona unutar dopuštenih 25 °C, neophodno je poduzeti sljedeće mjere:

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

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

Za vrijeme visokih dnevnih temperatura (oko 30 °C), kada postoje poteškoće s održavanjem dozvoljene temperature svježeg betona, početak radova na betoniranju treba pomaknuti prema hladnijem dijelu dana (noć, jutro).

Vrijeme od spravljanja betona do ugradnje treba biti što kraće, kako bi se izbjegli problemi pri pražnjenju transportnih sredstava i ugradnji zbog smanjenja obradivosti.

Ugrađivanje se mora odvijati brzo i bez zastoja. Redoslijed betoniranja mora omogućiti povezivanje novog betona s prethodnim. U uvjetima vrućeg vremena najpogodnije je njegovanje vodom. Njegovanje treba početi čim beton počne očvršćivati. Ako je intenzitet isparavanja blizu kritične granice, površina se može finim raspršivanjem vode održavati vlažnom, bez opasnosti od ispiranja.

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

Ukoliko se u svježem betonu pojave pukotine, treba ih zatvoriti revibriranjem.

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

## 4.4. Betoniranje pri niskim vanjskim temperaturama

Betoniranje pri temperaturama nižim od +5 °C moguće je uz pridržavanje mjera za zimsko betoniranje. Upotreba smrznutog agregata u mješavini nije dozvoljena, a zagrijavanje pijeska parom nije preporučljivo zbog poteškoća s održavanjem konzistencije betona.

Pri ugradnji svježi beton mora imati minimalnu temperaturu od +6 °C, koja se na nižim temperaturama zraka (0 < t < +5 °C) može postići samo zagrijavanjem vode, pri čemu temperatura mješavine agregata i vode prije dodavanja cementa ne smije prijeći +25 °C. Temperatura svježeg betona u zimskom periodu na mjestu ugradnje mora biti od +6 °C do +15 °C. Da bi se omogućio normalni tok procesa stvrdnjavanja i spriječilo smrzavanje, odmah poslije ugradnje, beton se toplinski zaštićuje prekrivanjem otvorenih površina izolacijskim materijalima i izolacijom čeličnih oplata.

Toplinska izolacija betona mora biti takva da osigura postizanje najmanje 50 % projektirane čvrstoće na pritisak prije nego što beton bude izložen djelovanju mraza.

Pri temperaturama zraka nižim od +5 °C, temperatura svježeg betona mjeri se najmanje jedanput u toku 2h.

## 4.5. Obaveze izvođača

Izvođač je dužan na svoj trošak otkloniti sve nedostatke koji se ukažu u dogovorenom roku.

Investitor može priznati samo količine materijala koje su ugrađene. Sav neispravan ili nepropisan materijal ne smije se ugrađivati i mora se otkloniti sa gradilišta.

Po završetku svih radova izvođenja, treba izvršiti tehnički pregled i sastaviti zapisnik o nedostatcima. Garantni rok za ispravnost ugrađenih materijla i izvršenih radova regulira se ugovorom o izvođenju radova. Za vrijeme garantnog roka izvođač je dužan da na poziv investitora otkloni sve nedostatke koji se u toku garantnog roka pojave.

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

Izvođač je dužan nabaviti sve ateste za sav ugrađeni materijal. Izvođač radova je obavezan da korisniku preda upute za rukovanje ugrađenom opremom.

# 5. NAČIN ZBRINJAVANJA GRAĐEVNOG OTPADA

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

- Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13), koji u sebi sadrži sve ostale relevantne pravilnike:
  - Pravilnik o vrstama otpada
  - Pravilnik o postupanju s otpadom, itd.

Prema navedenom zakonu građevni otpad spada u inertni otpad jer uopće ne sadrži ili sadrži malo tvari koje podliježu fizikalnoj, kemijskoj i biološkoj razgradnji pa ne ugrožavaju okoliš.

Nakon završetka radova gradilište treba očistiti od otpadaka i suvišnog materijala i okolni dio terena dovesti u prvobitno stanje.

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

Taj pravilnik predviđa slijedeće moguće postupke s otpadom:

- kemijsko-fizikalna obrada
- biološka obrada
- termička obrada
- kondicioniranje otpada
- odlaganje otpada

Kemijsko-fizikalna obrada otpada je obrada kemijsko-fizikalnim metodama s ciljem mijenjanja njegovih kemijsko-fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a može biti: neutralizacija, taloženje, ekstrakcija, redukcija, oksidacija, dezinfekcija, centrifugiranje, filtracija, sedimentacija, rezervna osmoza.

Biološka obrada je obrada biološkim metodama s ciljem mijenjanja kemijskih, fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a može biti: aerobna i anaerobna razgradnja.
Termička obrada je obrada termičkim postupkom. Provodi se s ciljem mijenjanja kemijskih, fizikalnih, odnosno bioloških svojstava, a može biti: spaljivanje, piroliza, isparavanje, destilacija, sinteriranje, žarenje, taljenje, zataljivanje u staklo.
Kondicioniranje otpada je priprema za određeni način obrade ili odlaganja, a može biti: usitnjavanje, ovlaživanje, pakiranje, odvodnjavanje, oprašivanje, očvršćivanje te postupci kojima se smanjuje utjecaj štetnih tvari koje sadrži otpad.
S građevnim otpadom treba postupiti u skladu s Pravilnikom o uvjetima za postupanje s otpadom.
Taj pravilnik predviđa moguću termičku obradu za slijedeći otpad:

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

Kondicioniranjem se može obraditi slijedeći otpad:

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

Najveći dio građevnog otpada (prethodno obrađen ili neobrađen) može se odvesti u najbliže javno odlagalište otpada: beton, cigle, pločice i keramika, građevinski materijali na bazi gipsa, drvo, staklo, plastika, bakar, bronca, mjed, aluminij, olovo, cink, željezo i čelik, kositar, miješani materijali, kablovi, zemlja i kamenje i ostali izolacijski materijali.
Nakon završetka radova gradilište treba očistiti od otpada i suvišnog materijala, postupiti prema iznesenom, a okolni dio terena dovesti u prvobitno stanje.

# 6. UVJETI ODRŽAVANJA I PROJEKTIRANI VIJEK TRAJANJA

Razmatrana građevina zahtijeva poseban tretman održavanja. Ukopanost u tlo zahtijeva povećanu mjeru opreza i pojačani nadzor nad svim elementima (konstruktivnim i nekonstruktivnim) građevina. Tehnološkim mjerama, koje su navedene u ovom projektu pokušalo se dobiti što kvalitetniju i trajniju konstrukciju. U tom smislu neophodno je poštovati mjere za postizanje kvalitete materijala i konstrukcija, kao i posebne tehničke uvjete.
Radnje u okviru održavanja betonskih konstrukcija treba provoditi prema odredbama Priloga J.3. Održavanje betonskih konstrukcija, Tehničkog propisa za betonske konstrukcije (N.N. 139/09, 14/10, 125/10,136/12) i normama na koje upućuje Prilog J.3., te odgovarajućom primjenom odredaba ostalih priloga Tehničkog propisa za betonske konstrukcije (N.N. 139/09, 14/10, 125/10,136/12).

Redoviti pregled predmetne građevine, od strane kvalificiranih osoba, a u svrhu održavanja konstrukcije za predmetnu građevinu treba provoditi najmanje svakih 5 godina (zgrade javne namjene). Izvanredne preglede građevine provoditi nakon nekog izvanrednog događaja (ekstremne vremenske neprilike, potres, požar, eksplozija i slično) ili prema zahtjevu inspekcije.

Osim ovih pregleda preporučuje se da korisnici građevine vrše godišnje preglede i ukoliko primijete neku nepravilnost na konstrukciji zatraže redoviti ili izvanredni pregled i prije roka predviđenog ovim projektom. Način obavljanja pregleda uključuje:

- → vizualni pregled, u kojeg je uključeno utvrđivanje položaja i veličine napuklina i pukotina te drugih oštećenja bitnih za očuvanje mehaničke otpornosti i stabilnosti građevine,
- → utvrđivanja stanja zaštitnog sloja armature, za betonske konstrukcije u umjereno ili jako agresivnom okolišu,
- → utvrđivanje veličine progiba glavnih nosivih elemenata betonske konstrukcije za slučaj osnovnog djelovanja, ako se na temelju vizualnog pregleda sumnja u ispunjavanje bitnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti.

Nakon obavljenih pregleda konstrukcije potrebno je izraditi dokumentaciju o stanju konstrukcije nakon pregleda sa potrebnim mjerama i radovima na saniranju i

održavanju konstrukcije. Ovu i drugu dokumentaciju o održavanju betonske konstrukcije dužan je trajno čuvati vlasnik građevine.

Manje nedostatke može ispraviti stručna osoba (zanatlija) na licu mjesta, a kod većih zahvata vlasnik (ili korisnici) građevine dužni su postupiti prema potrebnim zahtjevima i mjerama iz dokumentacije o stanju konstrukcije te izvesti neophodne radove održavanja, obnove i izmjene uređaja i dijelova te radove popravka, ojačanja i rekonstrukcije.

Sve radove pregleda i izvedbe radova na konstrukciji potrebno je povjeriti za to ovlaštenim osobama.

| | |
|---|---|
| HRN ENV 13269 | Održavanje – Smjernice za izradu ugovora o održavanju |
| HRN EN 13306 | Nazivlje u održavanju |
| HRN ENV 13670-1:2002 | Izvedba betonskih konstrukcija – 1. dio: Općenito (ENV 13670-1:2000) |
| HRN U.M1.047:1987 | Ispitivanje konstrukcija visokogradnje pokusnim opterećenjem i ispitivanje do sloma |
| HRN EN 4866:1999 | Mehaničke vibracije i udari – Vibracije građevina – Smjernice za mjerenje vibracija i ocjenjivanje njihova utjecaja na građevine (ISO 4866:1990+Dopuna 1:1994+Dopuna 2:1996) |
| prEN 13791:2003 | Ocjena tlačne čvrstoće betona u konstrukcijama ili u konstrukcijskim elementima |
| HRN ISO 15686-1:2002 | Zgrade i druge građevine – Planiranje vijeka uporabe – 1. dio: Opća načela (ISO 15686-1:2000) |
| HRN ISO 15686-2:2002 | Zgrade i druge građevine – Planiranje vijeka uporabe – 2. dio: Postupci predviđanja vijeka uporabe (ISO 15686-2:2001) |
| HRN ISO 15686-3:2004 | Zgrade i druge građevine – Planiranje vijeka uporabe – 3. dio: Neovisne ocjene (auditi) i pregledi svojstava (ISO 15686-3:2002) |
| HRN 12504-1:2000 | Ispitivanje betona u konstrukcijama – 1. dio: Izvađeni uzorci – Uzimanje, pregled i ispitivanje tlačne čvrstoće (EN 12504-1:2000) |
| HRN 12504-2:2001 | Svojstva betona u konstrukcijama – 2.dio: Nerozorno ispitivanje – Određivanje indeksa sklerometra (EN 12504-2:2001) |

| | |
|---|---|
| nHRN EN 12504-3 | Ispitivanje betona u konstrukcijama – 3. dio: Određivanje sile čupanja (pull-out) (prEN 12504-3:2003) |
| HRN EN 12504-4:2004 | Ispitivanje betona – 4. dio: Određivanje brzine ultrazvučnog impulsa (EN 12504-4:2004) |
| HRN EN 12390-1:2001 | Ispitivanje očvrsloga betona – 1. dio: Oblik, dimenzije i drugi zahtjevi za uzorke i kalupe (EN 12390-1:2000) |
| HRN EN 12390-3:2002 | Ispitivanje očvrsloga betona – 3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka (EN 12390-3:2001) |

Očekivani vijek trajanja građevine je 50 godina.

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

# 7. PLANOVI POZICIJA

Planovi pozicija i relevantni tlocrti i presjeci prikazani su u grafičkim prilozima.
Poprečni nosači označeni su PN (PN1, PN2, ...)i pripadajućim brojem, uzdužni nosači su označavani velikim slovom UN (UN1, UN2, ...) i pripadajućim brojem, stupovi velikim slovom S (S1, S2, ...) i pripadajućim brojem, grede stubišta vanjskog i unutarjeg prstena stadiona označene su sa GS (GS1, GS2,..) i pripadajućim brojem, glavni nosači krovne konstrukcije označavani su sa GN (GN1, GN2,..) i pripadajućim brojem, sekundarna konstrukcija krova označavana je sa SK (SK1, SK2, ...) i pripadajućim brojem, sajle duže označavane su sa SD (SD1, SD2, ...) i pripadajućim brojem, sajle kraće označavane su sa SK (SK1, SK2,...) i pripadajućim brojem.
Svi računalni proračuni su izvršeni računalnim programom “Scia Engineer 19.01”.
Zbog opširnosti projekta prikazani su samo oni rezultati koji su smatrani relevantnim.
Svi ulazni i izlazni podaci se mogu, na zahtjev, dobiti kod autora ovog projekta.
Svi ostali podaci i detalji relevantni za predmetni objekt dani su kroz projektna rješenja.
Za sve izmjene i dopune konzultirati projektanta.

Sva opterećenja uzeta prema:

| | |
|---|---|
| HRN ENV 1991-1 | Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 1. dio: Osnove projektiranja (ENV 1991-1:1994) |
| HRN ENV 1991-2-1 | 1 Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2- 1. dio: Djelovanja na konstrukcije – Prostorne težine, vlastite težine, uporabna opterećenja (ENV 1991-2-1:1995) |
| HRN ENV 1991-2-2 | Eurokod 1: Osnove proračuna i djelovanja na konstrukcije – 2-2. dio: Djelovanja na konstrukcije – Djelovanja na konstrukcije izložene požaru (ENV 1991-2-2:1995) |

| | |
|---|---|
| HRN ENV 1991-2-3 | Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2-<br>3. dio: Djelovanja na konstrukcije – Opterećenje snijegom (ENV<br>1991-2-3:1995) |
| HRN ENV 1991-2-4 | Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2-<br>4. dio: Djelovanja na konstrukcije – Opterećenje vjetrom (ENV<br>1991-2-4:1995) |
| HRN ENV 1991-2-6 | Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2-<br>6. dio: Djelovanja na konstrukcije – Djelovanja tijekom izvedbe<br>(ENV 1991-2-6:1997) |
| HRN ENV 1991-2-7 | 7 Eurokod 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 2-<br>7. dio: Djelovanja na konstrukcije – Izvanredna djelovanja prouzročena udarom i eksplozijom (ENV 1991-2- 7:1998) |
| HRN ENV 1998-1-1:2005 | Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 1-1.<br>dio: Opća pravila – Potresna djelovanja i opći zahtjevi za konstrukcije (ENV 1998-1-1:1994) |

# 8.0. ARHITEKTURA NOVOG STADIONA

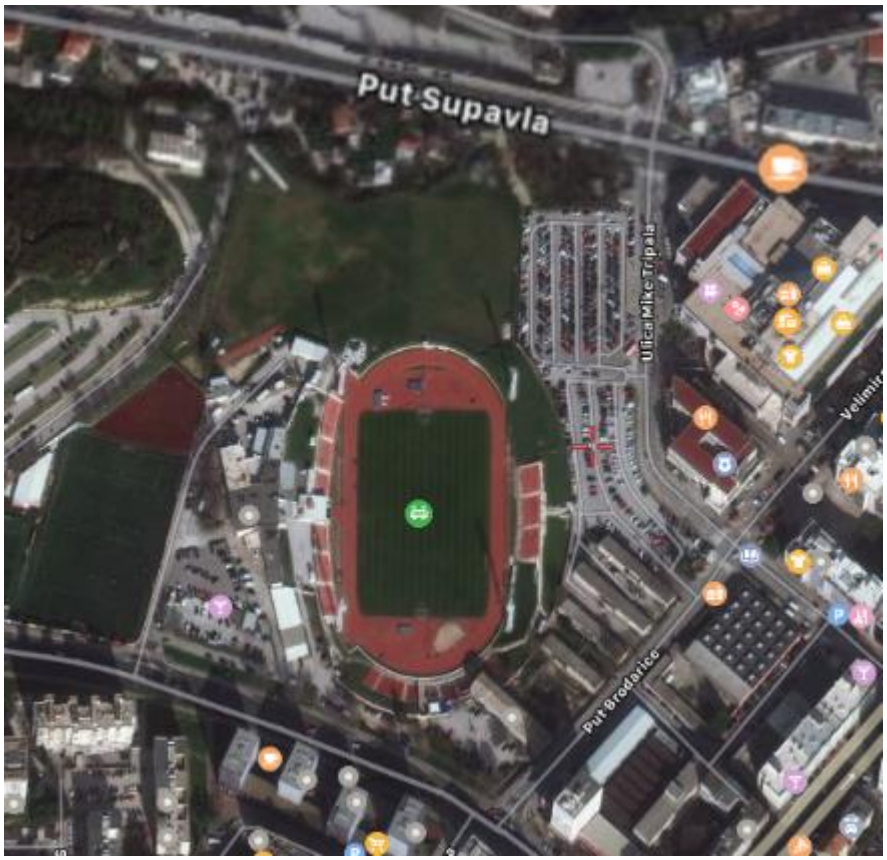
## 8.1. Položaj i lokacija stadiona

Trenutni gradski stadion „Park mladeži“ smješten je u sjevernom djelu grada Splita između ulice Hrvatske mornarice s južne strane, Puta Brodarice s istočne te Puta Supavla s sjeverne strane stadiona. Sa istočne nalazi se pristupna ulica koja vodi prema istoimenom gradskom parku.

Stadion je orijentiran u smjeru sjever-jug i ima namjenu sportsko-rekreacijskog karaktera. S istočne strane stadiona smješteni su pomoćni tereni, prostorije uprava sportskih društava te poslovni prostori primjerice autopraonice i slično.

Stadion primarno koriste sportski klubovi kao što su Radnički nogometni klub „Split“ (RNK Split) te Atletski sportski klub „Split“ (ASK Split) osim toga stadion je zbog atraktivne lokacije čest domaćin brojnim festivalima, koncertima i sličnim zabavnim programima.

U trenutnom stanju kapacitet stadiona je otprilike 4075 gledatelja, a igralište je travnata površina okružena tartan stazom. Sa sjeverne strane nalazi se prostor kojim se prvenstveno služi ASK Split i to za sportove kao bacanje koplja, kugle i skok s motkom. Po obodu stadiona postavljeni su reflektori koji služe za noćno osvjetljenje te su isti dopremljeni s igrališta „Stari plac“ prilikom preseljenja HNK Hajduk Split sa „Starog placa“ na novi stadion „Poljud“ 1979. godine.




*Slika 8.1 Položaj stadiona*
*Izvor: Google earth*

*Slika 8.2. Pogled na „Park Mladeži“ sa južne strane*
*Izvor : Internet*

*Slika 8.3. „Park Mladeži“ noću*
*Izvor: Internet*

## 8.2 POVIJESNI RAZVOJ STADIONA

GRADSKI STADION SPLIT

PROJEKTANT: Vuko Bombardelli, dipl. ing. arh.

SURADNICI: Zupan Mira, dipl. tehn., Novak Jaroslav, dipl. ing. arh., Prikelmajer Mira, dipl. ing. arh.

STATIČAR: Ivo Kuspilić, dipl. ing. građ.

Novi gradski stadion, orijentiran u pravcu sjever-jug, nalazi se na istočnom dijelu gradskog rekreacionog parka »Glavičine«.

Teren stadiona sa južne strane omeđen je kružnom saobraćajnicom, koja premošćava glavni pješački ulaz u stadion preko trga iz grada. Sa istočne strane nalazi se pomoćna saobraćajnica koja rasterećuje glavnu gradsku prilaznu saobraćajnicu Split — Solin. Sa sjeverne strane stadion graniči s novom saobraćajnicom, a s zapadne strane se uklapa u rekreaciono područje »Glavičine«.

Na svim automobilskim pristupima predviđena su parkirališta koja osiguravaju smještaj za 600 vozila.

Uz stadion predviđaju se dva pomoćna igrališta. Sa sjeveroistočne strane predviđen je jedan jači zeleni pojas radi zaštite od bure.

Uz pomoćna igrališta predviđa se izgradnja doma »Hajduka« i »Splita« s društvenim prostorijama.

Stadion ima nogometno igralište, lakoatletsku stazu sa 6 pruga, steeplechase i prostore za ostale lakoatletske discipline.

Pored atletskih i nogometnih takmičenja, stadion može služiti masovnim fiskulturnim nastupima omladine.

Teren se može koristiti i za takmičenja u velikom rukometu i ragbyu.

Postavljanjem ringova omogućava se i takmičenje u boksu, rvanju i judo-sportu.

Prostorije u prizemlju zapadne tribine u nivou terena potpuno su rezervisane za sportiste i odijeljene od publike koja ima zasebne površine. U dijelu za sportiste predviđeni su prostori za svlačione s tuševima za 8 ekipa, za suce, masere, gimnastička dvorana, sala za sastanke, mali restoran s kuhinjom i sanitarni čvor, kao i posebna sportska ambulanta.

Na spratu predviđen je ispod betonske tribine prostor za gledaoce, sanitarni čvorovi, kino-projekciona kabina i kiosk za prodaju pića.

Postoji mogućnost postavljanja ljetnog kina s gledalištem na zapadnoj tribini sa cca 3.500 sjedišta (kino platno montažno). Centralni dio zapadne tribine predviđa se za radio, televizijsku i press-službu.

Gledalište ima 35.000 sjedišta.

Na ulazima u stadion predviđaju se automatski brojači.

Punjenje i pražnjenje gledališta odvijat će se vrlo povoljno i bez opasnog zagušivanja.

Prvi pojas gledališta je na nasipu, a tribine na armirano-betonskim okvirima.

Odabrani okvirni sistem je u pogledu uslova na terenu, tj. slegavanja, prikladan, jer eventualno slegavanje temelja (ležaja) ne dovodi u pitanje sigurnost građevine.

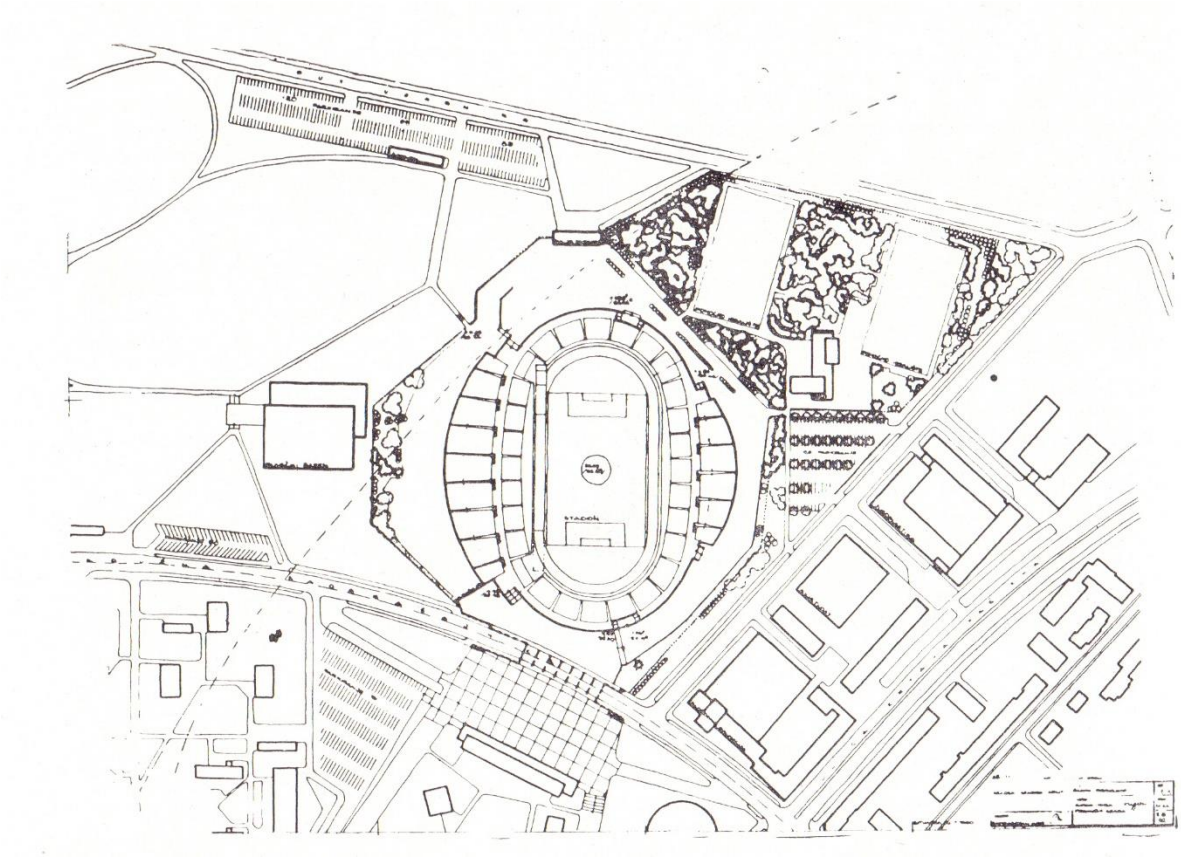
Stadion će svojom ovalnom i talasastom silhuetom, s naglašenom konstrukcijom izvana, djelovati ugodno u širokom parteru zelenila ispod Turske kule. Naglašene tribine imaju svoje opravdanje iz razloga dobijanja optimalnog položaja sjedišta.

Najveći broj gledalaca je na zapadnoj tribini, manji na istočnoj, a najmanji na bočnim stranama igrališta. Široke rampe i stepeništa pojačat će utisak razvedenosti i ukomponovanosti objekta u teren, (visinske razlike u terenu kao terase, te prostor ispod kružne saobraćajnice).

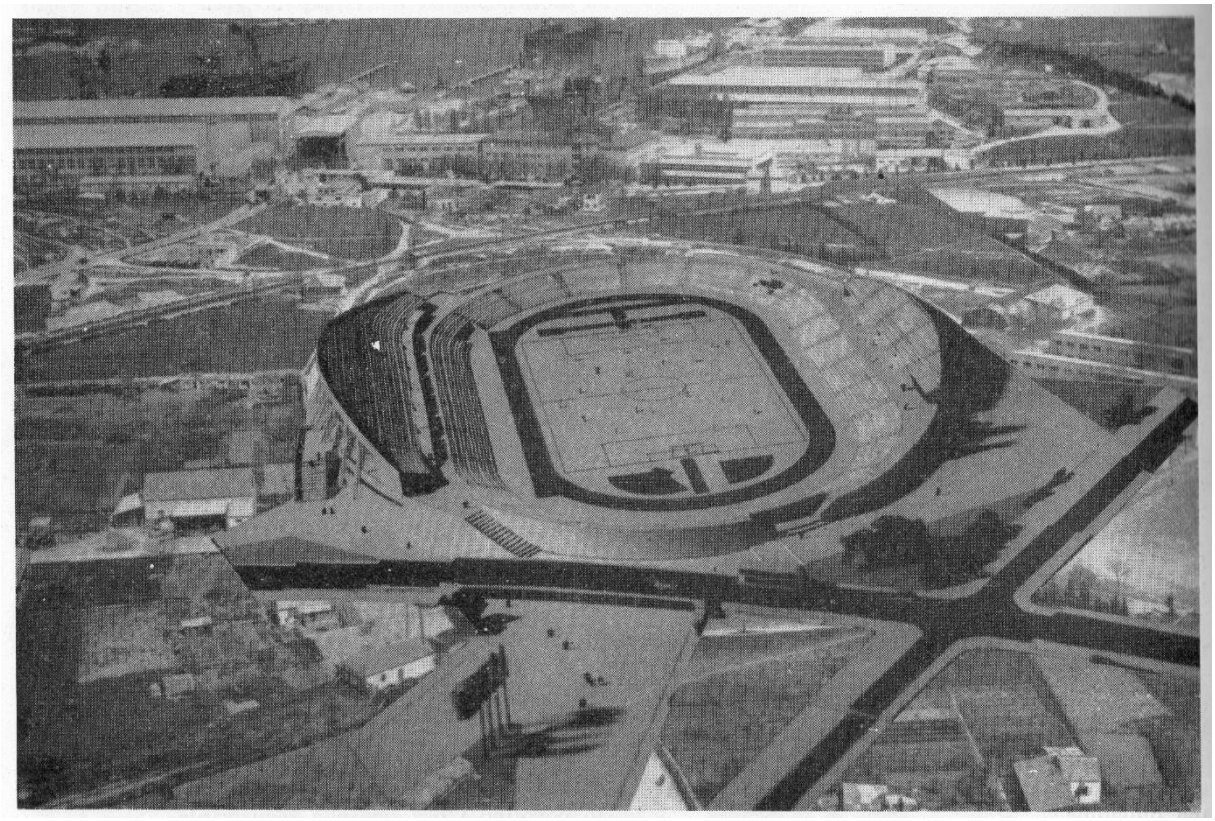
Sjedišta se predviđaju iz hrastovine. Predviđaju se 4 tornja sa reflektorima, koji će osvjetljavati igralište za vrijeme noćnih utakmica.

Omogućena je etapna izgradnja.

*Slika 8.4. Povijesni razvoj stadiona*
*Izvor: Bombardelli, Vuko (1965.-1966.), Gradski stadion Split, "Urbs", 6: 133-135, Split*



*Slika 8.5. Povijesni razvoj stadiona, tlocrt stadiona*
*Izvor : Bombardelli, Vuko (1965.-1966.), Gradski stadion Split, "Urbs", 6: 134, Split*



*Slika 8.6. Povijesni razvoj stadiona, maketa stadiona*
*Izvor : Bombardelli, Vuko (1965.-1966.), Gradski stadion Split, "Urbs", 6: 134, Split*

Gradski stadion Split počeo se graditi 1949. godine te je trebao predstavljati impozantnu građevinu namijenjenu sportsko-rekreacijskom sadržaju uz dodatne sadržaje koji bi doprinijeli multifunkcionalnosti samog stadiona i njegove namjene. Predviđen je za kapacitet od 35.000 sjedećih mjesta te se predvidjela izgradnja u etapama.

Godine 1955. završeni su prvi radovi na dnonjem betonskom prstenu te je iste godine RNK Split počeo koristiti prostorije stadiona. Gradski stadion Split nije dovršen prema idejnom projektu Vuke Bombardellija već je samo izvršena estetska renovacija 1979. kada je grad Split bio domaćin Mediteranskih igara Split (MIS 79).

Stadion je prvo nosio naziv „Park Skojevaca“ ili „Park SKOJ-a“, nakon 1990. godine mijenja naziv u trenutni „Park Mladeži“ dok je široj javnosti poznatiji i prema obližnjem parku Turska kula.

## 8.3 IDEJNO RJEŠENJE I KONCEPTI

Ovim idejnim rješenjem novog stadiona radnog naziva ANG „Arena Nikola Gazdić“ predviđa se kompletno uklanjanje postojeće konstrukcije na građevinskoj čestitci trenutnog stadiona „Park Mladeži“. U relanoj situaciji bi trebalo detaljnije sagledaati urbanističko-arhitektonske aspekte projekta, a ovaj idejni projekt prvenstveno sagledava konstrukciju budućeg stadiona i njegovu statiku, funkcionalnost, trajnost, ekonomičnost i održivost.

Novi stadion inspiran je:

- Povezanost lokalne zajednice sa stadionom
- Uklapanje u postojeće urbanističke uvjete Grada
- Povezanost s prirodom
- Povezanost s pejsažom koji ga okružuje
- Na određeni način odavanje priznanja bogatoj povijesti grada Splita s naglaskom na odavanje priznanja Brodogradilištu (popularno zvanog Škver) koji se nalazi u neposrednoj blizini.

Razigranost konstrukcije osnovni je motiv ovog projekta kojim se nastojalo povezati građevinski aspekt stabilnosti i funkcionalnosti konstrukcije s estetskim uklapanjem u prostor.

Na vanjskom izgledu stadiona dominiraju stupovi i krovna konstrukcija.

Uz sav popratni dio koji čini cjeloviti stadion ovo dva su zasigurno oni koji svojom geometrijom naglašavaju interakciju okoline sa stadionom te privlače gledatelje, posjetitelje, a svojom impozantnom konstrukcijom i veličinom zasigurno pronalazi mjesto na bogatoj splitskoj turističkoj mapi. Cilj je dakle poprilično vidljiv, osim što grad Split, stanovnici i zaljubljenici u sport svakako zaslužuju bolje izdanje od onog postojećeg, koji zasigurno nosi kvalitetu ideje i povijesni trag, ponuditi i konstrukciju koja bi donosila dodatni ekonomski i financijski benefit sportskim društvima, lokalnoj zajednici pa svakako i samom gradu.

Stupovi konstrukcije koji su razrađeni građevinskim projektom predstavljaju geometrijski izlomljeni oblik koji svojom visinom i dominacijom u prostoru nastoje imitirati brodogradilišne dizalice koje stadion okružuju sa sjeverne strane. To je ujedno i poveznica prostorna ali i simbolična samog stadiona i lokalne zajednice koja ga okružuje uzimajući u obzir da je povijesno gledano gradski stadion „Park Mladeži“ bio okružen stambenim blokovima većinom naseljenim s radnicima brodogradilišta koji su naposljetku bili najčešći posjetioci ovoga stadiona.

Visina stupova seže do 24 m od uređene ravne površine terena i lomi se u dva segmenta. Prvi je kosi krak stupa u donjem dijelu koji osim značajnog doprinosa nosivosti i prostorne stabilnosti stupa donosi zanimljiv izgled te razbija monotoniju kojoj je beton kao materijal dosta sklon.

Samu ideju i podlogu već izvedenih sličnih stupova može se pronaći na različitim primjerima, a neki od njih su :

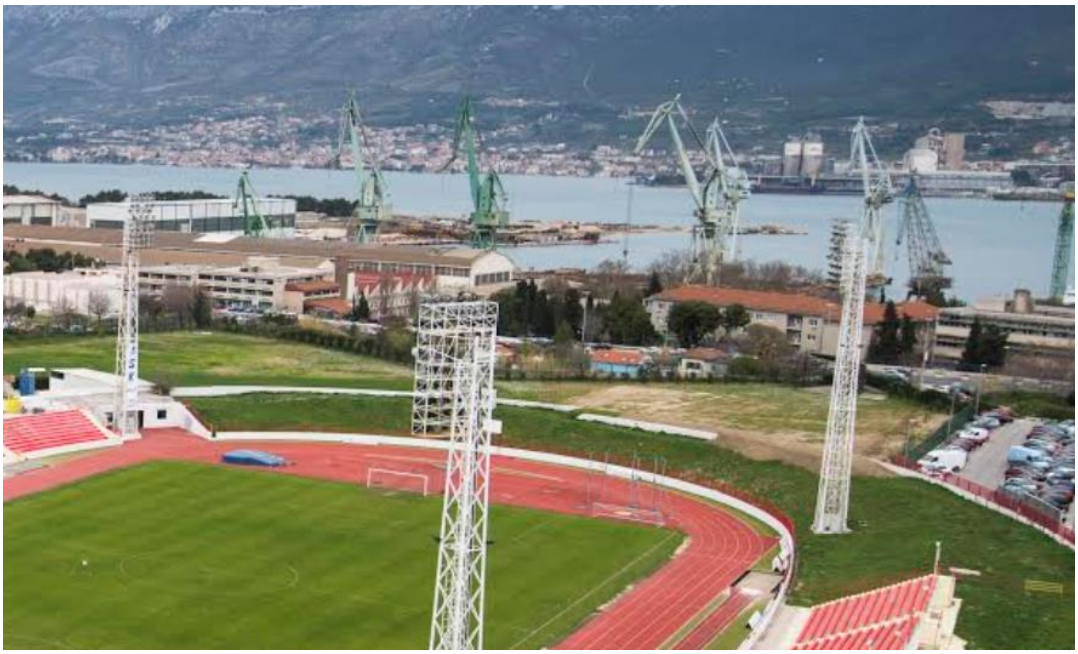
*Slika 8.7. i 8.8 : Turina, stadion „Dinamo“, Zagreb*

Dok je svakako kao primjer izvedene konstrukcije poslužilo ovakvo rješenje razbijene forme stupova:

*Slika 8.9: Vitić, Velesajam, Zagreb*

Pri vrhu stupa koji se previđa kao rješenje stupova pozicije S2 u građevinskom projektu, stup se lomi na još jedan kosi dio čija je funkcija prvenstveno davanje većeg nagiba koji je potreban za izvedbu, učvršćenje, nosivost i stabilnost čelične krovne konstrukcije krova. Osim toga drugi lomljeni dio forme stupa uvelike doprinosi estetskom izgledu stupa koji na ovaj način zaokružuje ideju brodogradilišta koje bila osnovna inspiracija.

*Slika 8.10 : Dizalice na zalsku sunca*
*Izvor: Internet*



*Slika 8.11: Položaj dizalice sa sjeverne strane stadiona*
*Izvor: Internet*

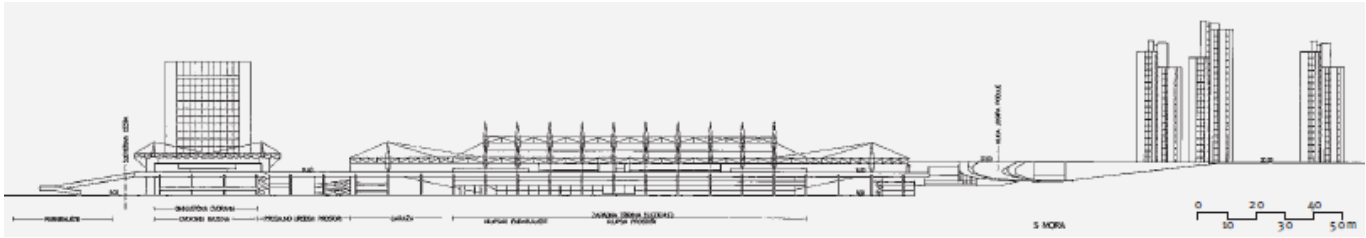
*Slika 8.12 Prikaz osvjetljene dizalice*
*Izvor: Vlastita fotografija*

Krovna konstrukcija stadiona je čelična rešetkasta konstrukcija koja se povezuje sa sekundarnim nosačima- tropojasnom prostornom rešetkom. Sama krovna konstrukcija seže u najvećem rasponu do 35 m te svojim velikim rasponom predstavlja veliki izazov kako prilikom projektiranja tako i prilikom izvedbe same konstrukcije.

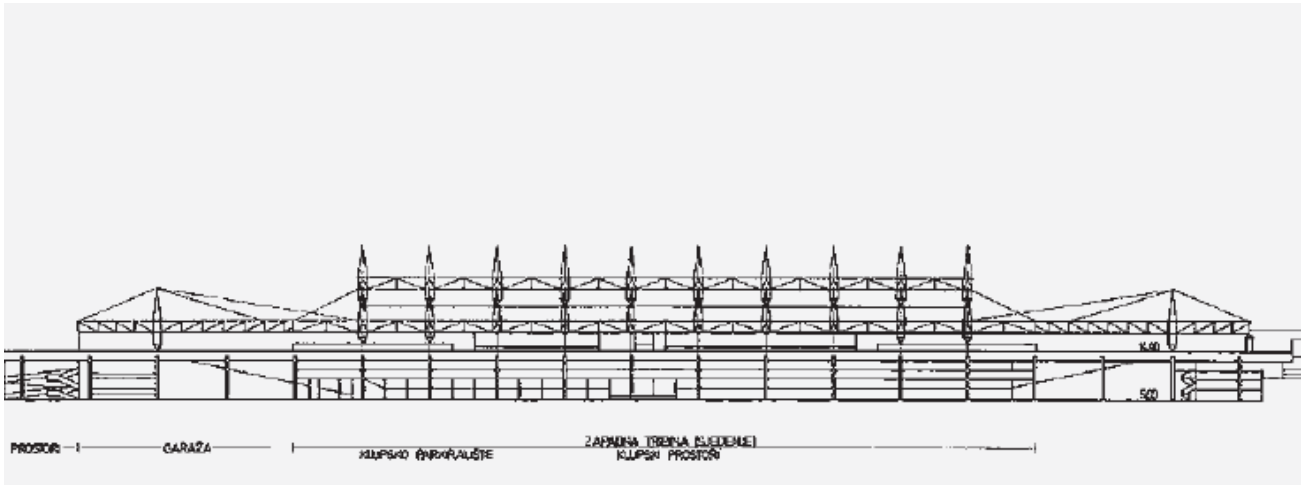
Krov je natkriven prozirnim panelima (lexan ploče) s čime se želi povezati priroda i okruženje stadiona s njegovom unutrašnjošću. To se najviše odnosi na integraciju gradskog parka Turska kula koje svojim zelenilom razbija formu betona i čelika. Osim toga „otvorena“ konstrukcija poput ove posjetiocima pruža potpun osjećaj slobode i povezanosti s prirodom.

Krovna konstrukcija ovješena je o sajle koje se upinju u stupove čime se stvara dodatna atrakcija same krovne konstrukcije.

Neka od rješenja krovnih konstrukcija koja su poslužila kao primjer su:



*Slika 8.13 : F. Gotovac i R. Ružić: Područje Spinut-Poljud i nogometni stadion Hajduka, natječajni projekt,1975. pročelje s mora*
*Izvor : Vesna Perković Jović; Projekti Frane Gotovca za Hajdukov stadion u Splitu, „Prostor-Znanstveni časopis za arhitekturu i urbanizam“, 422*

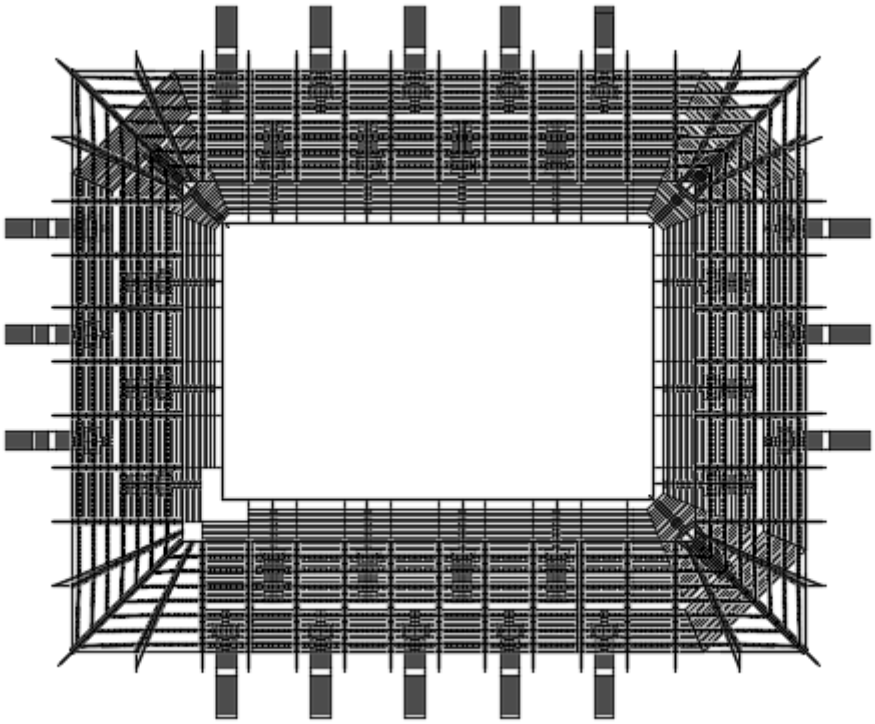



*Slika 8.14 : F. Gotovac i R. Ružić: Područje Spinut-Poljud i nogometni stadion Hajduka, natječajni projekt,1975. pročelje s mora*
*Izvor : Vesna Perković Jović; Projekti Frane Gotovca za Hajdukov stadion u Splitu, „Prostor-Znanstveni časopis za arhitekturu i urbanizam“, 422*

Prilikom razrade ideje stadiona osim gore navedenih parametra vodila se briga o cjelokupnoj funkcionalnosti stadiona i popratnih sadržaja.

Stadion je prema ovome prijedlogu pravokutnog oblika, orijentiran igralištem u smjeru sjever-jug. Krovna konstrukcija koja natkriva tribine stadiona tlocrtno je postavljena kao oštri segment s kojim se želi izazvati osjećaj pažnje i privući pozornost prolaznika. Stupovi su postavljeni simetrično u odnosu na centar stadiona u oba smjera. Tribine su predviđene u dva prstena. Donji, većeg kapaciteta oko 14.000 sjedećih mjesta, te gornji prsten manjeg kapaciteta 6.000 sjedećih mjesta. Kapacitet od približno 20.000 sjedećih mjesta svrstava stadion ANG kao drugog po veličini u Splitu te trećim u Republici Hrvatskoj odmah iza Stadiona Maksimir u Zagrebu, te stadiona Poljud u Splitu.

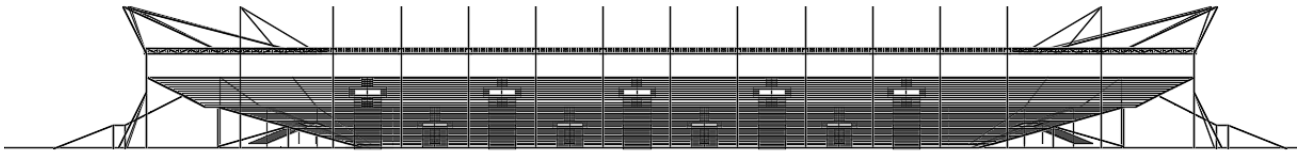
Sa svih strana stadiona omogućen je pristup stubištem samom stadionu pri čemu se vodila i briga o osobama s invaliditetom te se predviđa na svakom stubištu i pomoćno dizalo za osobe s invaliditetom.



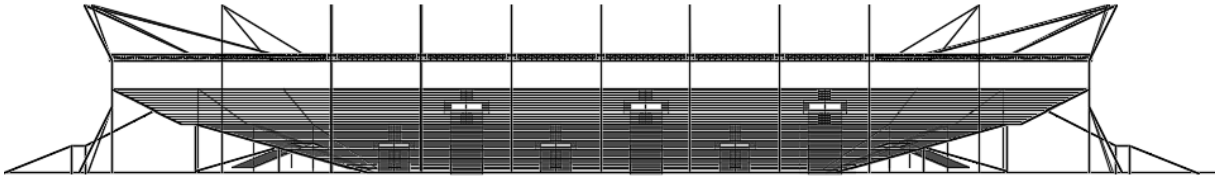
*Slika 8.15 : Tlocrtni prikaz projektnog rješenja ANG*

Ovaj stadion razlikuje se od stadiona u RH oblikovanjem jugoistočnog ugla stadiona gdje su prekinute tribina stadiona s juga i istoka.

Taj prostor predviđen je kao interaktivni prostor ANG-a te kao povijesni ostatak „Parka Mladeži“ , odnosno u tom prostoru predviđa se prostor za match day aktivnosti, druženje s navijačima, fan zona s pogledom na unutrašnjost stadiona čime su svi uključeni u proces utakmice i ostavlja se dojam kako dan utakmice (match day) nije isključivo 90 minuta igre već je to cjelodnevna aktivnost s kulminacijom igre. U tom prostoru predviđa se i VIP prostorije s restoranom i pogledom na travnjak, a na kaskadi niže (u razini prvog prstena stadiona) predviđa se mali park za najmlađe posjetitelje (prostor niskih stabala i grmova s travnatom površinom i s ljuljačkama.



*Slika 8.16: Zapadni prikaz projektnog rješenja ANG*



*Slika 8.17: Sjeverni prikaz projektnog rješenja ANG*

Stadion predviđa i poslovne prostore koje bi se nalazili ispod tribina na istočnoj strani, dok bi sa zapadne strane bile smiještne prostorije uprave, administracije i struke klubova korisnika stadiona. S južne strane nalazio bi se food corner dok bi sa sjeverne strane (s koje se očekuje najvećeg broja posjetitelja) bio smješten fan shop i ostali promotivni materijali.

Kolni pristup stadionu moguć je sa sjeverne strane gdje bi se predvidio veliki parking sa oko 1500 parking mjesta a u skladu sa brigom za osobe sa invaliditetom, stadionu najbliža parking mjesta bila bi rezervira za njih. Osim toga pristupnim stubištem omogućila bi se prilazna rampa za osobe sa invaliditetom čime je omogućena i horizontalna i vertikalna neometana komunikacija.

*Slika 8.18: Prikaz lokacije budućeg parkinga*

Stadion bi prema planu trebao biti opremljen s najsuvremenijom sportskom tehnikom kao što su: teretana, prostor za zagrijavanje, dvije male dvorane za unutarnje pripreme i kondicijske treninge, sala za večeru i prehranu igračkog i tehničkog osoblja, konferencijska sala koji bi bili smješteni uz zapadnu stranu stadiona odmah pokraj uprave klubova korisnika stadiona.

Na južnom donjem djelu krova predviđene su(umjesto predviđenih lexan prozirnih ploča) i solarni paneli čime bi se osigurala energetska učinkovitost i postigao ekološki učinak i neovisnost stadiona. Paneli ne bi mogli opskrbiti čitav stadion energijom pa je prikupljena energija prvenstveno predviđena za tehničke prostorije i prostorije uprave kluba.

Ispod unutarnjeg reda stupova ispod svakog ulaza na stadion smješten je i sanitarni čvor za posjetitelje.

Na zapadnoj tribini, a kroz ulaz prostorija uprave kluba, predviđa se VIP sektor izdvojen od regularnih gledatelja posebnim ogradom, opremom i tehnikom uređenja kao što su: prvoklasna sjedala, LCD televizori obješeni na gornjem djelu, prostorija za zakuske prije, tokom i nakon utakmice, privatni sanitarni čvorovi. Prostorije VIP-a primarno su namijenjene upravi klubova korisnika, uzvanicima, visokim političarima, gradskim čelnicima, gostima.

Na drugom prstenu stadiona u nižem njegovom djelu, predviđen je izdvojeni prostor koji bi koristili snimatelji, TV postaje, sportski novinari, novinari općenito i ostalo tehničko i akreditirano osoblje.

## 8.4. O imenu stadiona

Stadion nosi ime : Arena Nikola Gazdić skraćeno ANG.

Nikola Gazdić poznati je i proslavljeni nogometaš i sportaš koji je obilježio i zadužio grad Split, njegove građane te sve zaljubljenike u sport.

Rođen je i umro u Splitu a svoju igračku karijeru nogometaša u potpunosti je posvetio nogometnom klubu Hajduk.

U više nego li bogatoj povijesti HNK Hajduk Split, ime Nikole Gazdića upisano je zlatnim slovima. Upisao se kao prvi igrač sa postignutih 100 golova. Do svoje tragične smrti upisao je ukupno 106 golova u 91 odigranoj utakmici.

Nikola Gazdić ostat će zapamćen po utakmici Hajduk Split – Građanski Zagreb koja je završila ukupnim rezultatom 2-1. Izjednačujući gol za 1-1 zabio je upravo Nikola Gazdić. Unatoč bolesti koja ga je shrvala u danima prije utakmice Nikola je inzistirao da ga trener stavi u igri kao zamjenskog igrača. Nekoliko dana nakon utakmice,22.5.1921., umire od posljedica tuberkuloze u rodnoj kući.

Zbog svoje ricaste kose nosio je i nadimak Janjčić ili Rico.

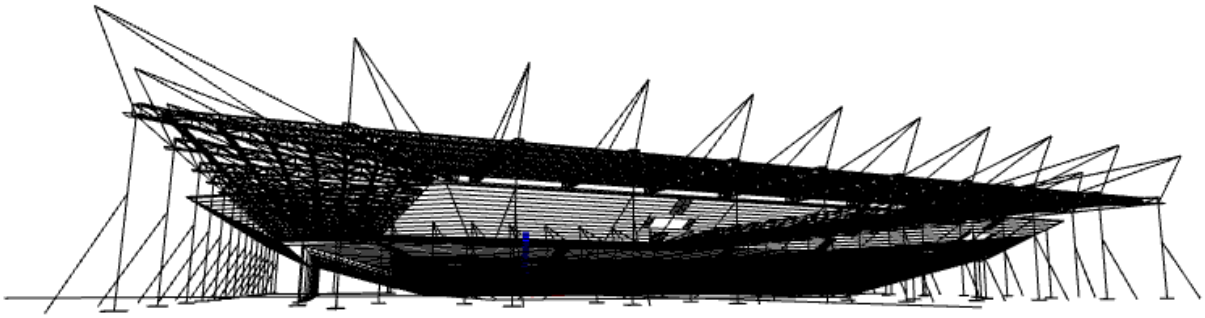
Ime Nikole Gazdića prenijeto je i na televizijske ekrane zahvaljujući svevremenskom serijalu „Velo Misto“ iz 1971. godine te u istoimenim knjigama autora Miljenka Smoje ( „Velo Misto- prvi dil“).

Kao primjer požrtvovnosti za svoj Grad i Klub, ovaj sportaš zadužio je nadolazeće generacije sportaša, navijača i pratitelja ne smo nogometa nego i sporta u cijelosti.

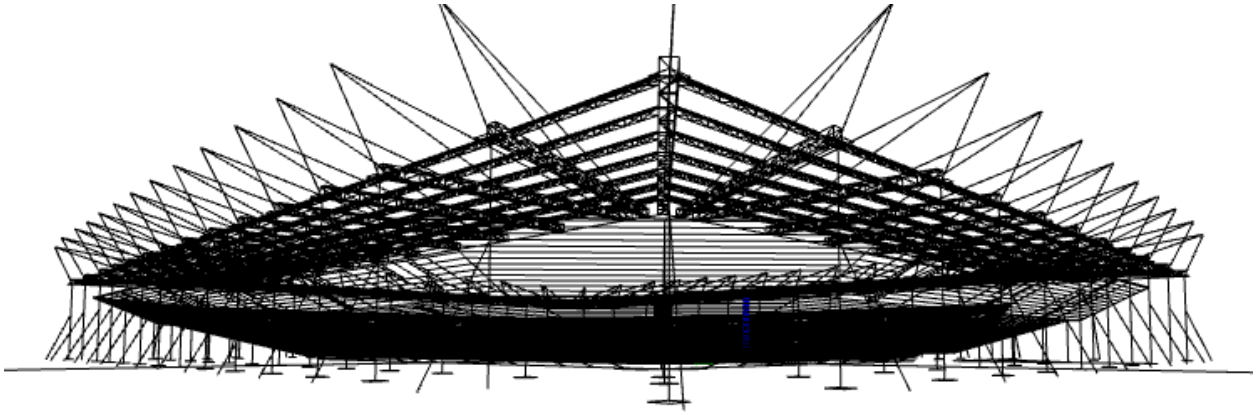
*Slika 8.18. Portret Nikole Gazdića*

*Izvor: Internet*

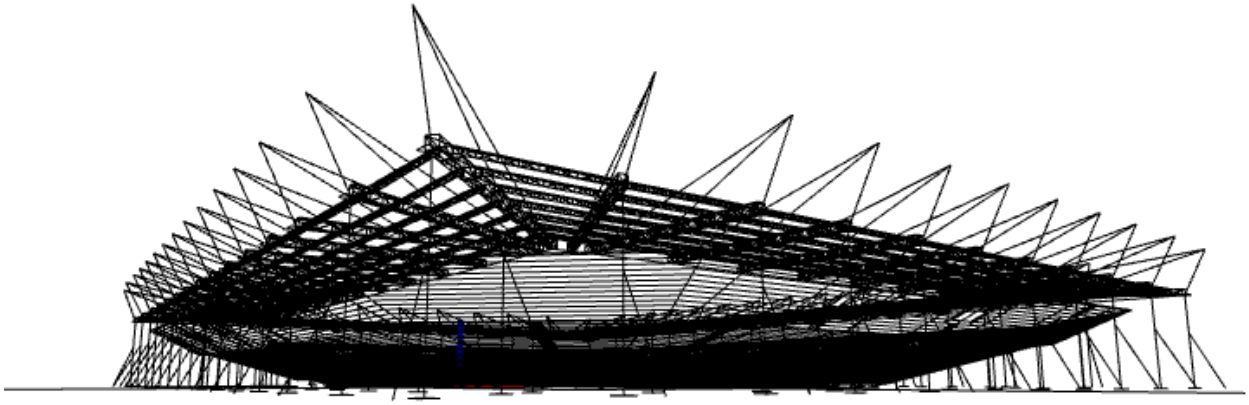
## 8.5. GRAFIČKI PRIKAZ IDEJNOG RJEŠENJA NOVOG STADIONA



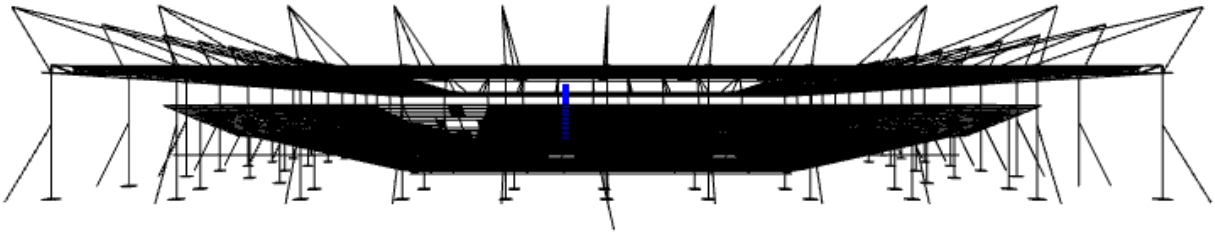
*Slika 8.19: Perspektiva pogled na stadion sa južne strane*



*Slika 8.20: Perspektiva pogled na stadion sa sjeveroistočne strane*

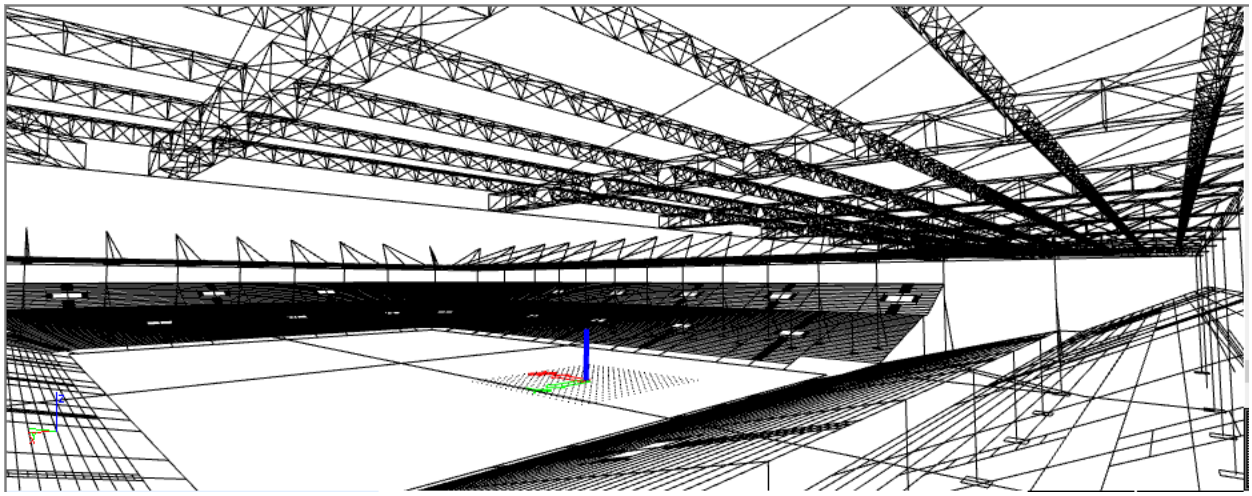


*Slika 8.21: Perspektiva pogled na stadion sa sjeverozapadne strane*

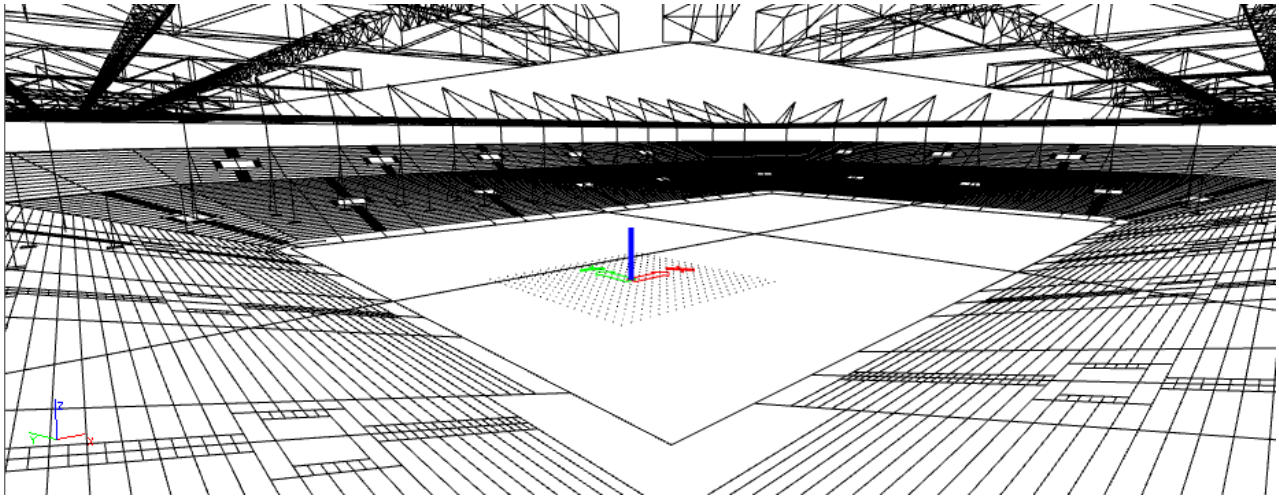


*Slika 8.22: Perspektiva pogled na stadion sa južne strane*

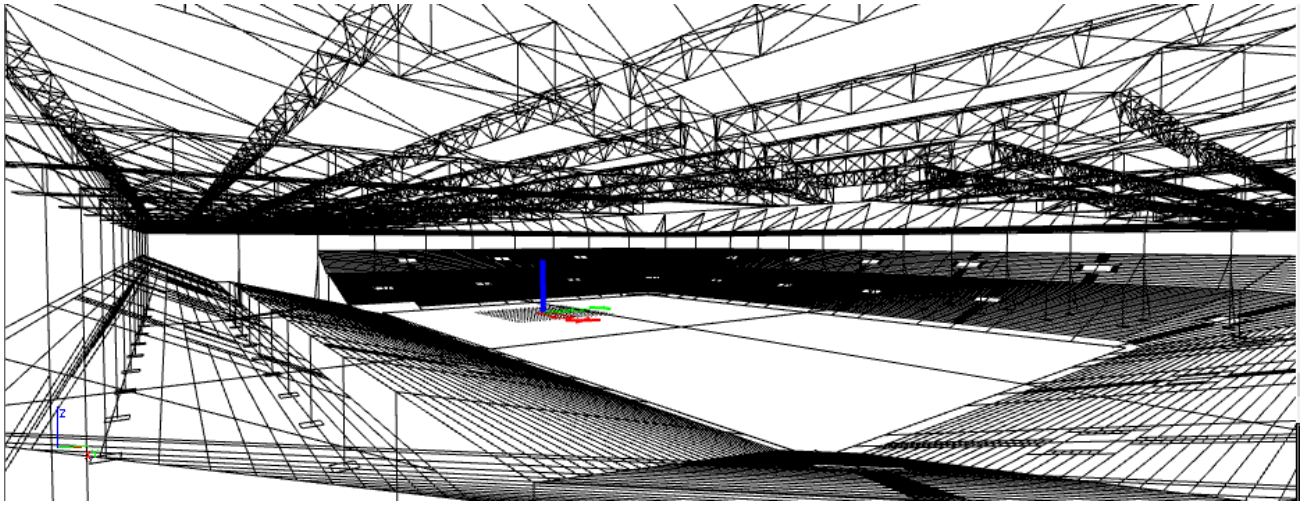
*Slika 8.23: Perspektiva pogled na stadion sa sjeverne strane*



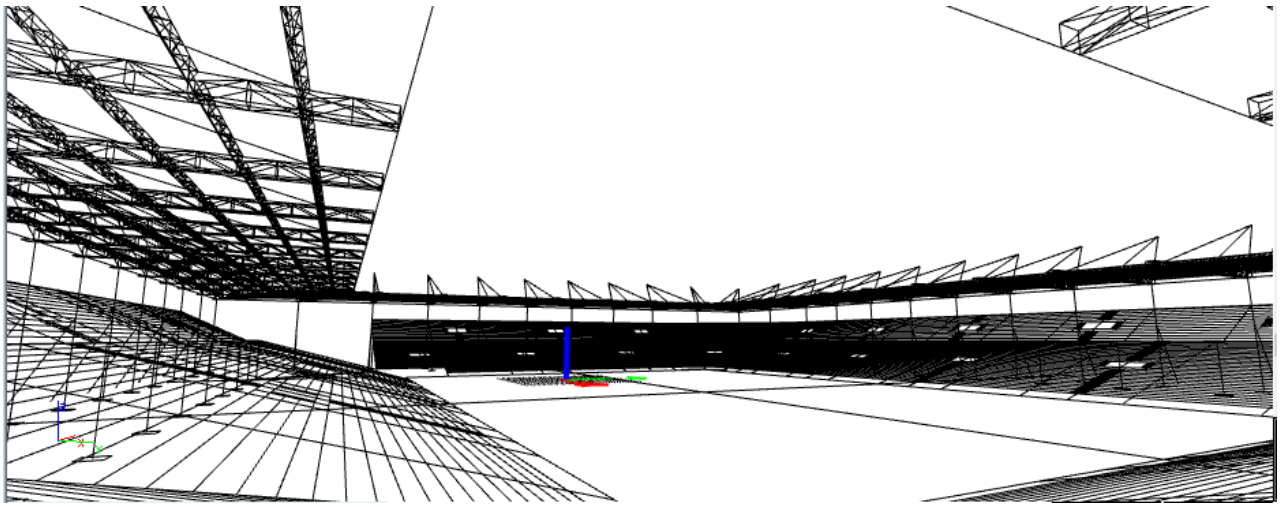
*Slika 8.24: Perspektiva pogled s unutarnje strane jugozapad*



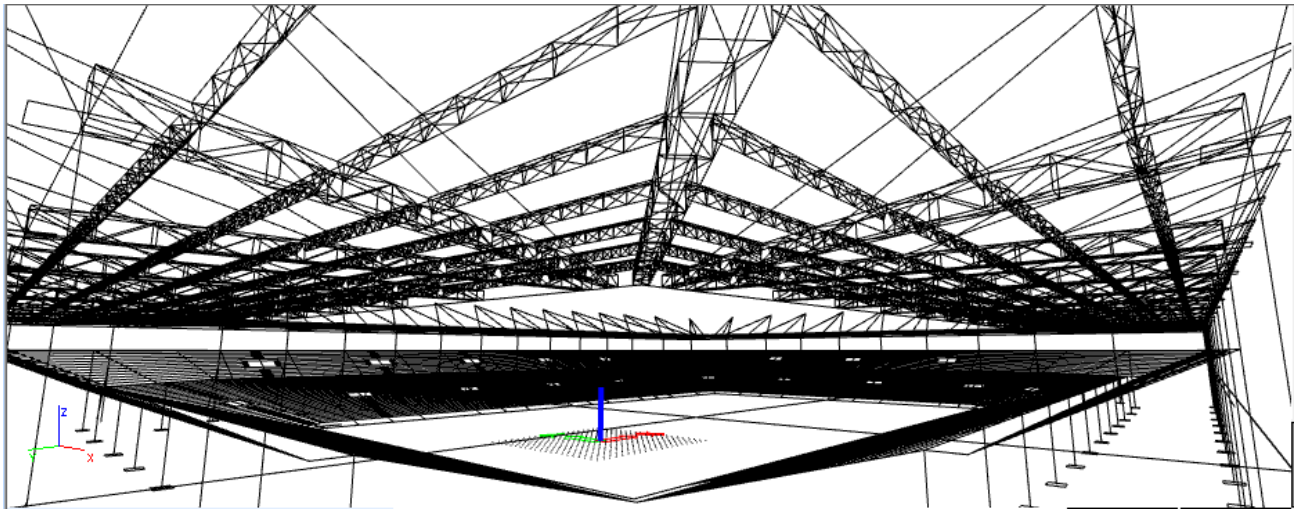
*Slika 8.25: Perspektiva pogled s unutarnje strane sjeverozapad*



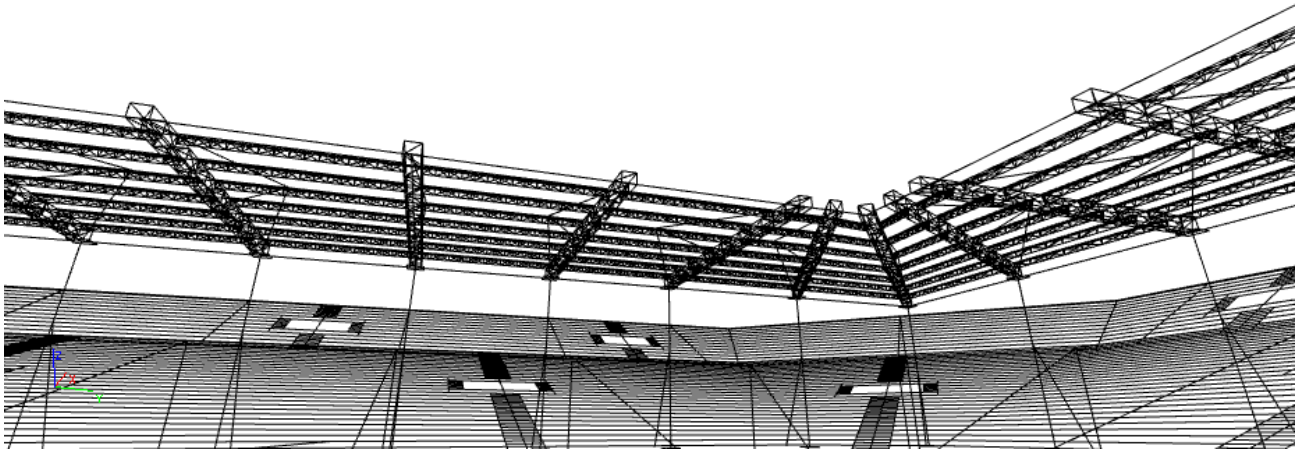
*Slika 8.26: Perspektiva pogled s unutarnje strane sjeverozistok*



*Slika 8.27: Perspektiva pogled s unutarnje strane sjeverozistok*



*Slika 8.28: Perspektiva pogled s unutarnje strane jugoistok*



*Slika 8.29: Perspektiva pogled s unutarnje strane istok*

# 9. ODREĐIVANJE DIMENZIJA ELEMENATA KONSTRUKCIJE

Kako bi se odredile dimenzije poprečnih presjeka elemenata konstrukcije te kako bi se napravila ravninska analiza stabilnosti elemenata konstrukcije napravljen je proračun konstrukcije kao ravninski štapni elementi opterećeni na iduća opterećenja : stalno opterećenje, dodatno stalno opterećenje, opterećenje sekundarne krovne konstrukcije, vjetar koji odiže konstrukciju, vjetar koji spušta konstrukciju, vjetar koji djeluje na vanjske stupove, pokretno opterećenje, opterećenje snijegom dok je opterećenje konstrukcije na potres razrađeno kroz prostorni model konstrukcije. Sva navedena opterećenja formirana su tri osnovne kombinacije za nosivost kako slijedi :

- GSN 1 : 1,35G + 1,35 dG+ 1,35 Sk+1,50 W1+ 1,50 S + 1,50 Q
- GSN 2 : 1,35G + 1,35 dG+ 1,35 Sk+1,50 W2+ 1,50 S+ 1,50 Q
- GSN 3 : 1,35G + 1,35 dG+ 1,35 Sk+1,50 W3+ 1,50 S+ 1,50 Q

Te u tri kombinacije opterećenja za proračun konstrukcije na granično stanje uporabljivosti :

- GSU 1: 1,0G + 1,0 dG+ 1,0 Sk+1,0 W1+ 1,0 S+ 1,0 Q
- GSU 2: 1,0G + 1,0 dG+ 1,0 Sk+1,0 W2+ 1,0 S+ 1,0 Q
- GSU 3: 1,0G + 1,0 dG+ 1,0 Sk+1,0 W3+ 1,0 S+ 1,0 Q

Proračun konstrukcije proveden je u programskom paketu SCIA Engineer 19.01.

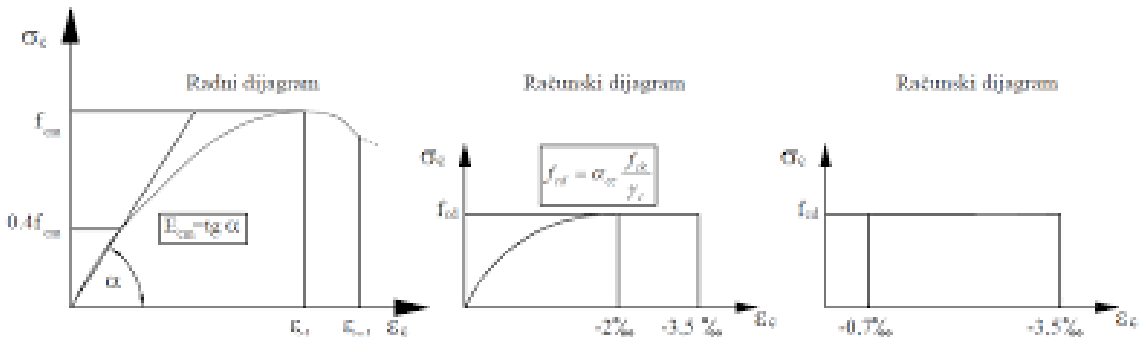
Kako bi se izabrala najkritičnija kombinacija opterećenja sve kombinacije razvrstane su preko opcije classes u programskom paketu SCIA. Classes u obzir uzima sva opterećenja za nosivost i uporabljivost te prikazuje rezultate za onu koja je najkritičnija.

Kako bi se pristupilo oblikovanju konstrukcije potrebno je zadovoljiti osnovne pretpostavke nosivosti elemenata u vidu dozvoljenih naprezanja svakog elementa.

Betonska konstrukcija stadiona predviđena je izgradnjom betona klase C 35/45, prema čemu $f_{ck}$ (karakteristična tlačna čvrstoća betona) iznosi 35 Mpa.

Dozvoljena naprezanja u betonu iznose 45% vrijednosti $f_{ck}$.

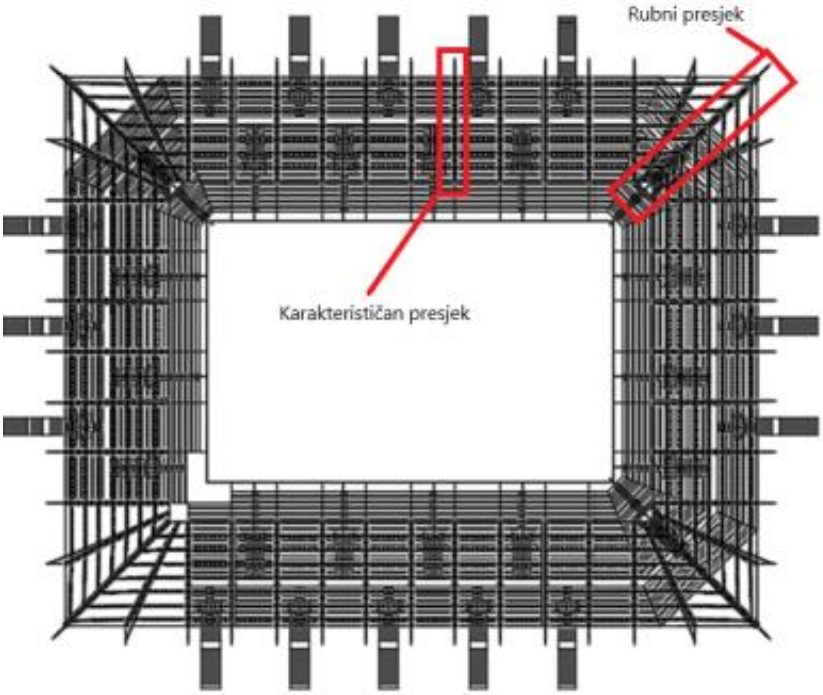
Prema čemu vrijedi izraz $\sigma = 0.45 \cdot f_{ck}$




*Slika 9.a1. Prikaz radnog i računskog dijagrama betona*

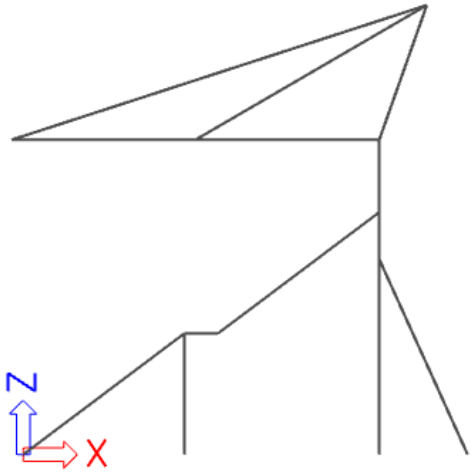
Za potrebe navedene analize konstrukcije odabran je karakterističan presjek stadiona koji obuhvaća osnovne konstruktivne elemente kao što su : stup pozicije S1 (unutarnji stup), stup pozicije S2 (vanjski stup), poprečni nosač, uzdužni nosač, krovna rešetka, čelične sajle koje pridržavaju rešetku.

Za potrebu usporedne analize uz karakterističan presjek analiziran je i krajnji nosač stadiona kojeg karakterizira najveći raspon ali nešto manje opterećenje te je napravljena usporedba ponašanja konstrukcije predstavljene preko zaključka o odabiru poprečnog presjeka elemenata konstrukcije stadiona.

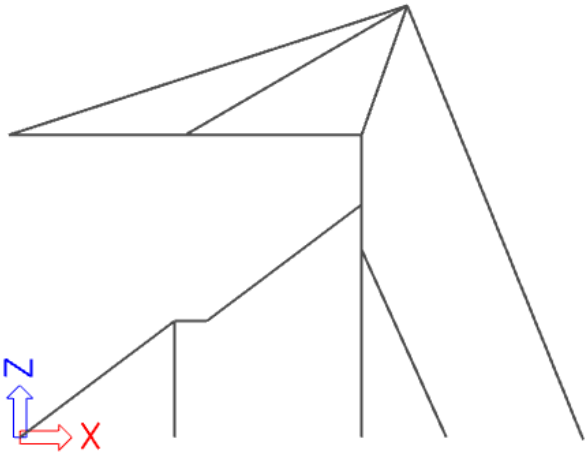



*Slika 9.a2. Prikaz karakterističnog i rubnog nosača*

Kako bi se zadovoljili svi parametri nosivosti i prostorne stabilnosti, vanjski stupovi POZ S2 kontrolirani su na varijantu pridržanja sa vanjskom zategom te bez vanjske zatege koja pridržava konstrukciju. Rezultati usporedne analize predstavljaju zaključak je li potrebno postavljanje vanjske zatege ili ne te odabir varijantnog rješenja ovisno o rezultatima.




*Slika 9.1.2. Prikaz modela bez vanjske zatege*




*Slika 9.1.2. Prikaz modela s vanjskom zategom*

### 9.a.1 Analiza konstrukcije u pogledu prostorne stabilnosti te odabir varijantnog rješenja pridržanja krovne konstrukcije

Prilikom izrade modela, kako je prije navedeno, napravljene su usporedne analize modela bez vanjske zatege te varijante sa vanjskom zategom. Prilikom analiziranja promatrana su četiri ključna parametra koja moraju biti zadovoljena kako bi varijantno rješenje konstrukcije bilo prihvaćeno :

1. Stabilnost betonskog stupa (pomak, progib u x smjeru) ograničenje na L/250- promatrana konzolna istaka

   Duljina konzolne istake L= 8,49 m; 8,49/250= 0,0339 m (33,96 mm)

2. Naprezanja u betonu, ograničena na 45% vrijednosti tlačne čvrstoće betona $\sigma = 0.45 \cdot f_{ck}$ , $f_{ck}$=35 MPa, $\sigma = 15.75$ MPa

3. Rezna sila dobivena proračunom konstrukcije mora biti manja od dozvoljene sile po zategi. Za odabrani čelik S 355 te uzimajući faktor sigurnosti prema EC3 za čelične konstrukcije $\gamma = 1.15$ ; 355/1.15 dozvoljena naprezanja iznose 308 MPa a pomnoženo sa površinom dobivamo vrijednost makismlane dozvoljene uzdužne sile.

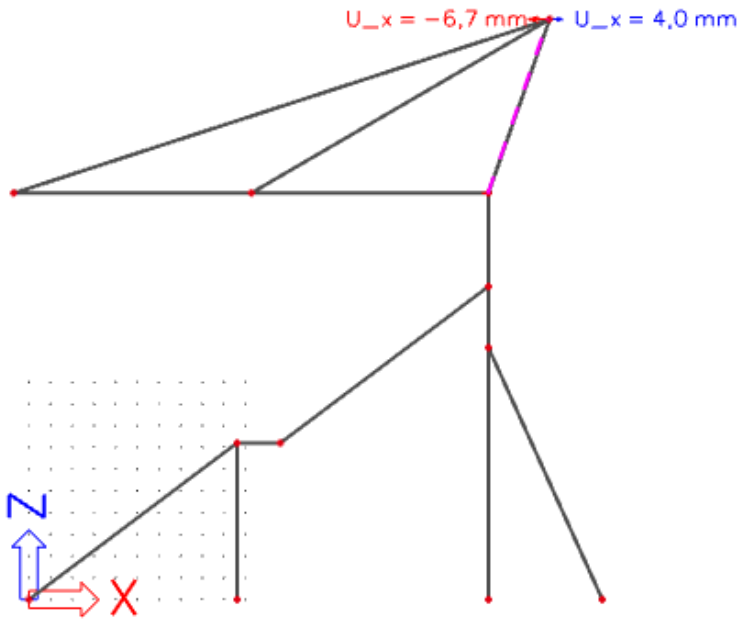
4. Progib krovne konstrukcije u z smjeru (kritičan smjer prema kojem konstrukcija inercijski teži), ograničen na L/200.
   Raspon konstrukcije krovnog nosača L=21.89 m; 21.89/200=0.1094 m (109.45 mm).

Kao krajnji rezultat analiziranja varijantnih rješenja dobit će se konačan statički sustav konstrukcije te potrebni poprečni presjeci.

Prikazani rezultati reznih sila predstavljaju kombinaciju najkritičijeg opterećenja od svih kombinacija za granično stanje uporabljivosti, te se dobiveni poprečni presjeci kasnije u prostornom modelu ispitivaju na granično stanje nosivosti.

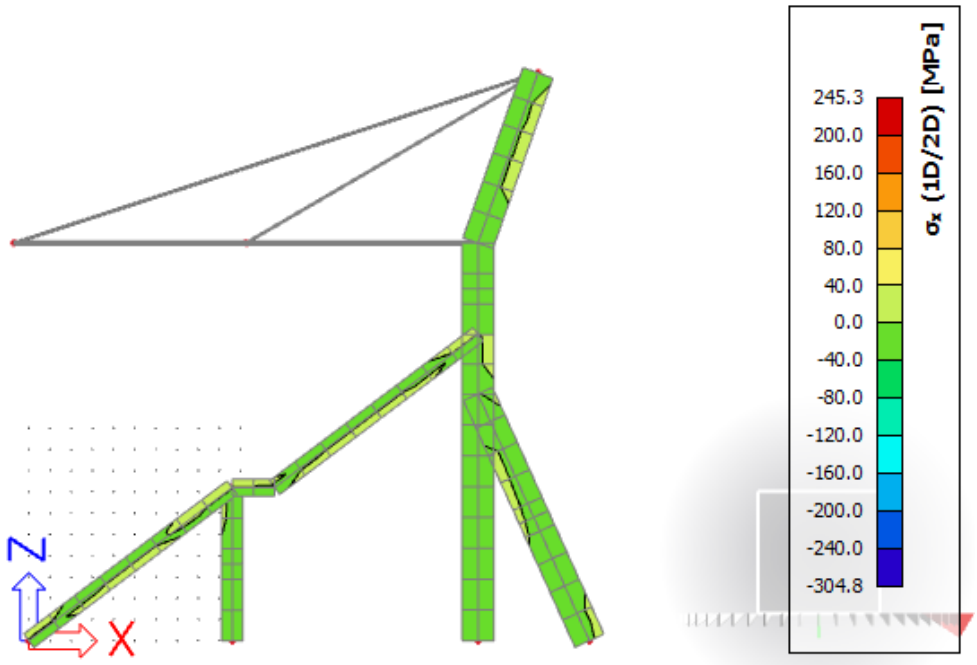
## 9.a.2 Varijanta konstrukcije bez vanjske zatege

### 9.a.2.1. Pomak betonske konzole u X smjeru




Kako je vidljivo na prikazu pomaka dolazi do pomaka u kritičnom smjeru X u iznosu od 6.7 mm što je manje od dozvoljene vrijednosti 33.96 mm te se smatra kako je uvjet prostorne stabilnosti konstrukcije zadovoljen.

### 9.a.2.2. Prikaz naprezanja u betonu

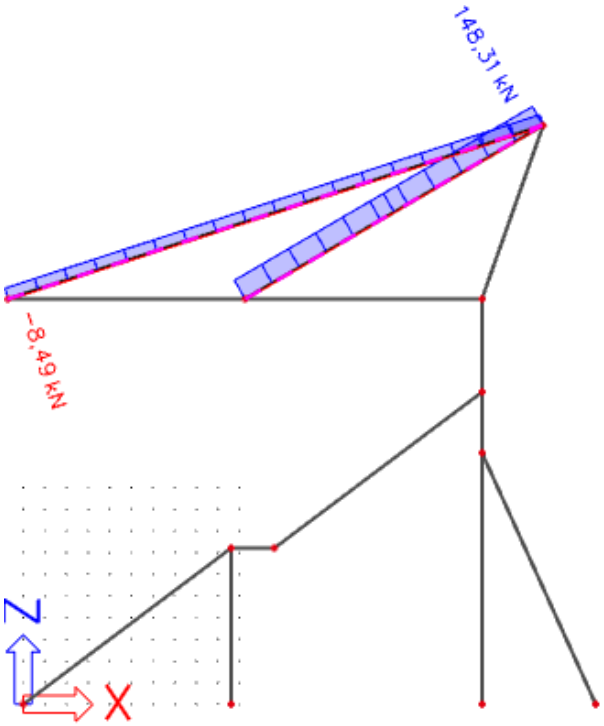



Kako je vidljivo na prikazu naprezanja dolazi dok koncetracije naprezanja na rubnim djelovima konstrukcije. U predjelu konzolne istake dolazi do naprezanja

u iznosu od 18 MPa s obzirom kako je 15.75 MPa dozvoljena vrijednost naprezanja u betonu smatra se kako navedeni zahtjev nije zadovoljen.

### 9.a.2.3. Prikaz naprezanja u čeliku

Uzdužna sila u zategama




Iz uvjeta kako je površina poprečnog presjeka pomnožena sa vlačnom čvrstoćom čelika sila koju element može preuzeti, ovime zaključujemo kako je sila u zategi manja od granične odnosno uvjet je zadovoljen.

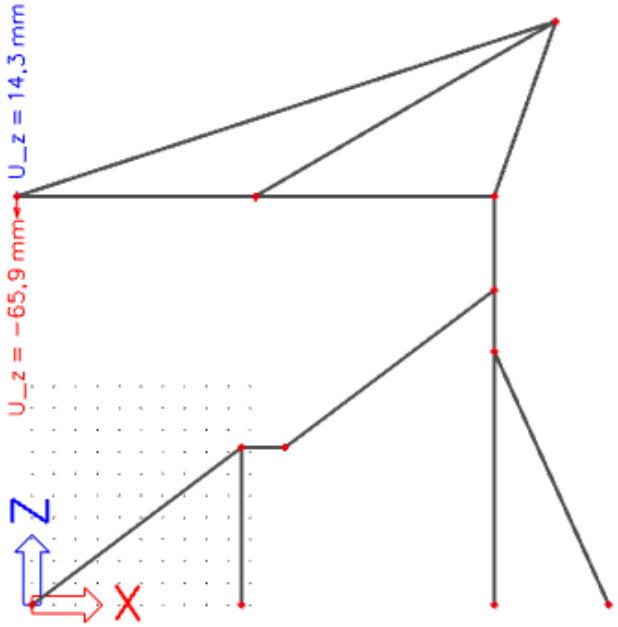
$$S355 - f_{yk} = 308\ MPa \text{-> } 308000\ \text{kN/m}^2$$

$$RD\ 40\ pop.presjek\ A = 1.25 * 10^{-3} m^2$$

$$N = A * f_{yk} = 308000 * 1.25 * 10^{-3} = 385\ \text{kN}$$

Maksimalna dozvoljena sila u zategi iznosi 385 kN > 148.31 kN te je zahtev zadovoljen.

### 9.a.2.4. Progib krovnog nosača Z smjer



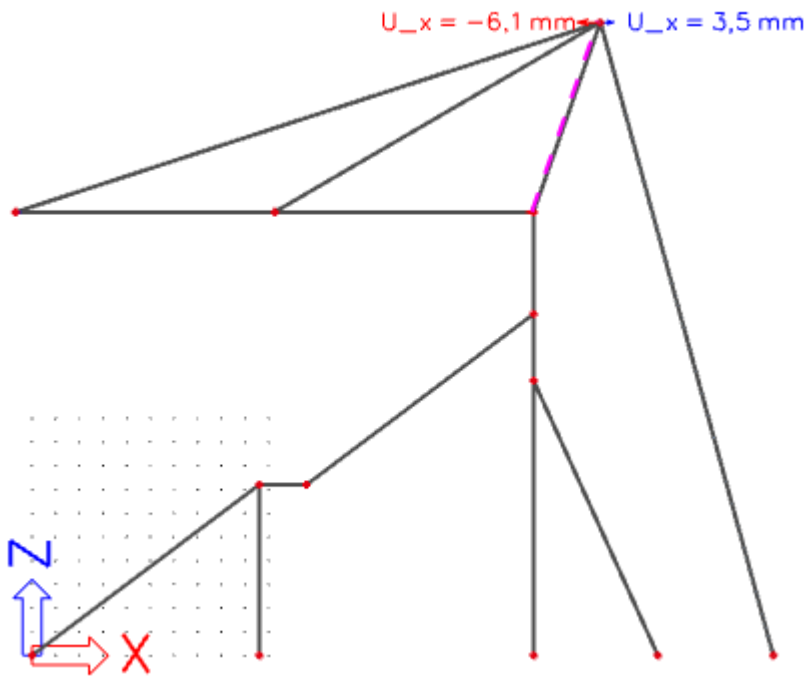

Iz uvjeta progiba krovnog nosača koji je ograničen na vrijednost raspona nosača podjeljenog sa 200 dobivena je ograničavajuća vrijednost od 109.45 mm. Kako je prikazano na slici progib krovnog nosača iznosi 65.9 mm što je manje od 109.45 mm te se smatra kako je uvjet zadovoljen.

Zaključak:

Promatrajući ponašanje konstrukcije pri zadanom opterećenju primjetno je kako su svi zahtjevi zadovoljeni osim naprezanja u betonu stoga se ovakva varijanta ne uzima u obzir kao finalana te je potrebno intervenirati na konstrukciju kako bi navedeni zahtjev bio udovoljen.

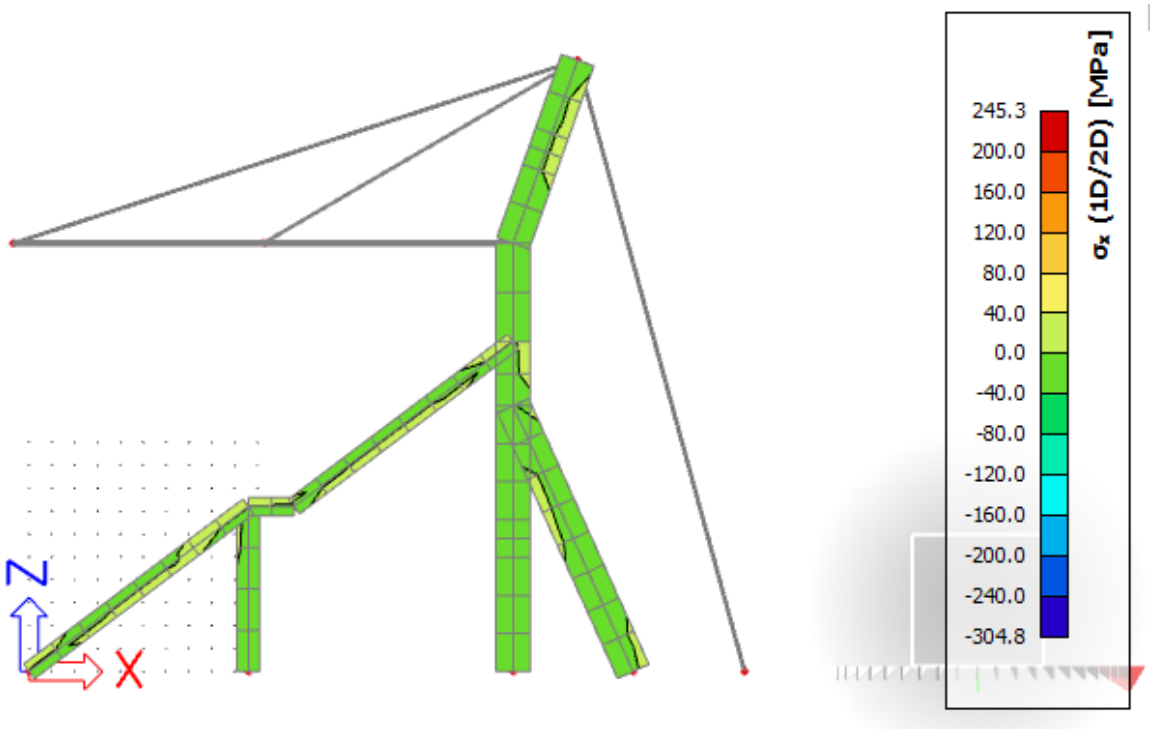
## 9.a.3 Varijanta konstrukcije sa vanjskom zategom

### 9.a.4.1. Pomak betonske konzole u X smjeru




Kako je vidljivo na prikazu pomaka dolazi do pomaka u kritičnom smjeru X u iznosu od 6.1 mm što je manje od dozvoljene vrijednosti 33.96 mm te se smatra kako je uvjet prostorne stabilnosti konstrukcije zadovoljen. Primjetno je kako je dodatna sajla kao pridržanje stupa neznatno smanjila progib u X smjeru u iznosu od 0,6 mm. Analaizirajući samo ovaj zahtjev zasebno, ne uviđa se potreba za dodavanjem dodatne zatege.

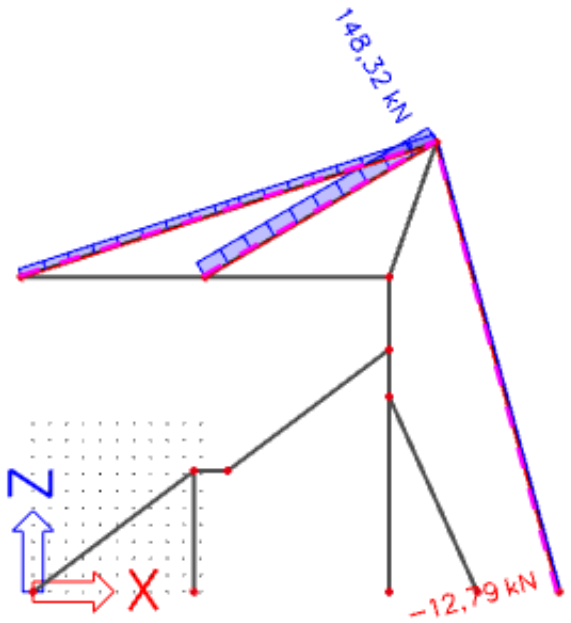
### 9.a.4.2. Prikaz naprezanja u betonu




Kako je vidljivo na prikazu naprezanja dolazi dok koncetracije naprezanja na rubnim djelovima konstrukcije. U predjelu konzolne istake dolazi do naprezanja u iznosu od 18 MPa s obzirom kako je 15.75 MPa dozvoljena vrijednost naprezanja u betonu smatra se kako navedeni zahtjev nije zadovoljen. Primjetno je kako je dodatna sajla kao pridržanje stupa neznatno utjecala na naprezanja u betonu. Analaizirajući samo ovaj zahtjev zasebno, ne uviđa se potreba za dodavanjem dodatne zatege.

### 9.a.4.3. Prikaz naprezanja u čeliku

Uzdužna sila u zategama




Iz uvjeta kako je površina poprečnog presjeka pomnožena sa vlačnom čvrstoćom čelika sila koju element može preuzeti, ovime zaključujemo kako je sila u zategi manja od granične odnosno uvjet je zadovoljen.

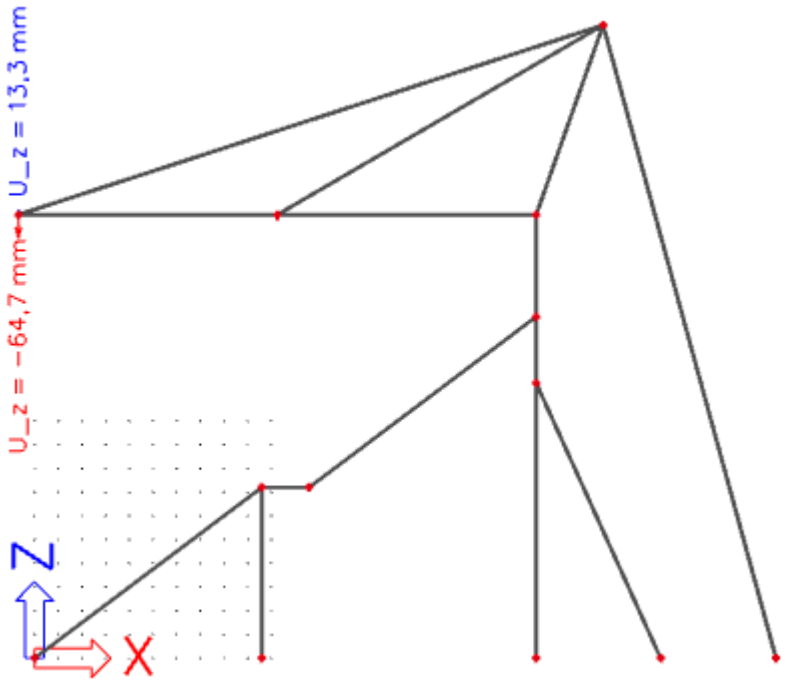
$$S355 - f_{yk} = 308\ MPa \text{-> } 308000\ \text{kN/m}^2$$

$$RD\ 40\ pop.presjek\ A = 1.25 * 10^{-3} m^2$$

$$N = A * f_{yk} = 308000 * 1.25 * 10^{-3} = 385\ \text{kN}$$

Maksimalna dozvoljena sila u zategi iznosi 385 kN > 148.32 kN te je zahtev zadovoljen. Analaizirajući samo ovaj zahtjev zasebno, ne uviđa se potreba za dodavanjem dodatne zatege.

### 9.a.4.4. Progib krovnog nosača Z smjer



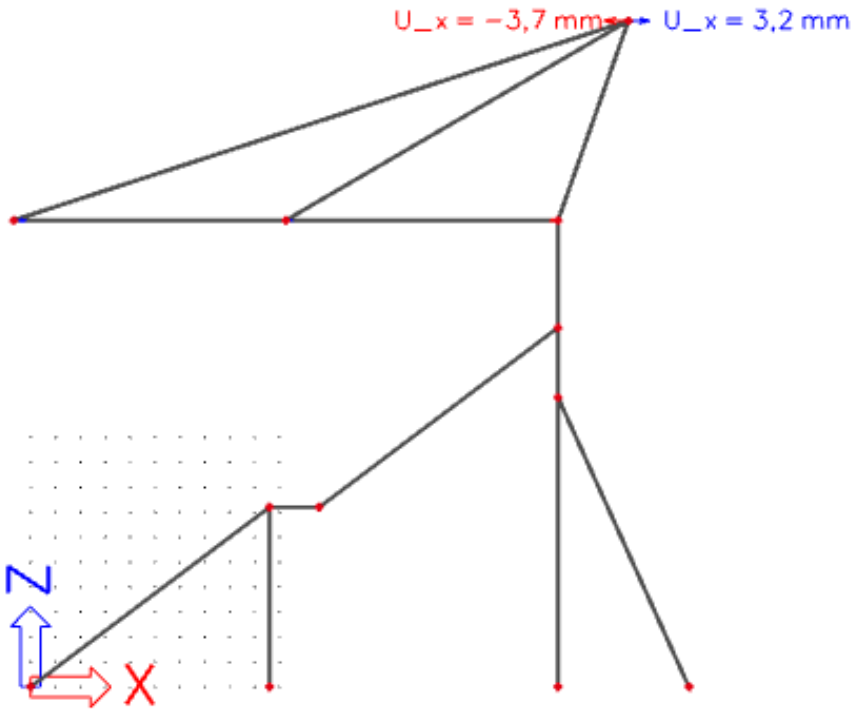

Iz uvjeta progiba krovnog nosača koji je ograničen na vrijednost raspona nosača podjeljenog sa 200 dobivena je ograničavajuća vrijednost od 109.45 mm. Kako je prikazano na slici progib krovnog nosača iznosi 64.7 mm što je manje od 109.45 mm te se smatra kako je uvjet zadovoljen. Primjetno je kako je dodatna sajla, kao pridržanje krovne konstrukcije, neznatno utjecala na progib glavnog nosača. Analaizirajući samo ovaj zahtjev zasebno, ne uviđa se potreba za dodavanjem dodatne zatege.

Zaključak:

Promatrajući ponašanje konstrukcije pri zadanom opterećenju primjetno je kako su svi zahtjevi zadovoljeni osim naprezanja u betonu stoga se ovakva varijanta ne uzima u obzir kao finalana te je potrebno intervenirati na konstrukciju kako bi navedeni zahtjev bio udovoljen. Idući korak modeliranja konstrukcije upućuje na povećanje klase betona koja bi zadovoljila zahtjev – C 40/50. U drugoj iteraciji pretpostavlja se povećanje nagiba zatege (smanjuje se vertikalna kompomnenta) kako bi se smanjili momenti u stupu a time i naprezanja.

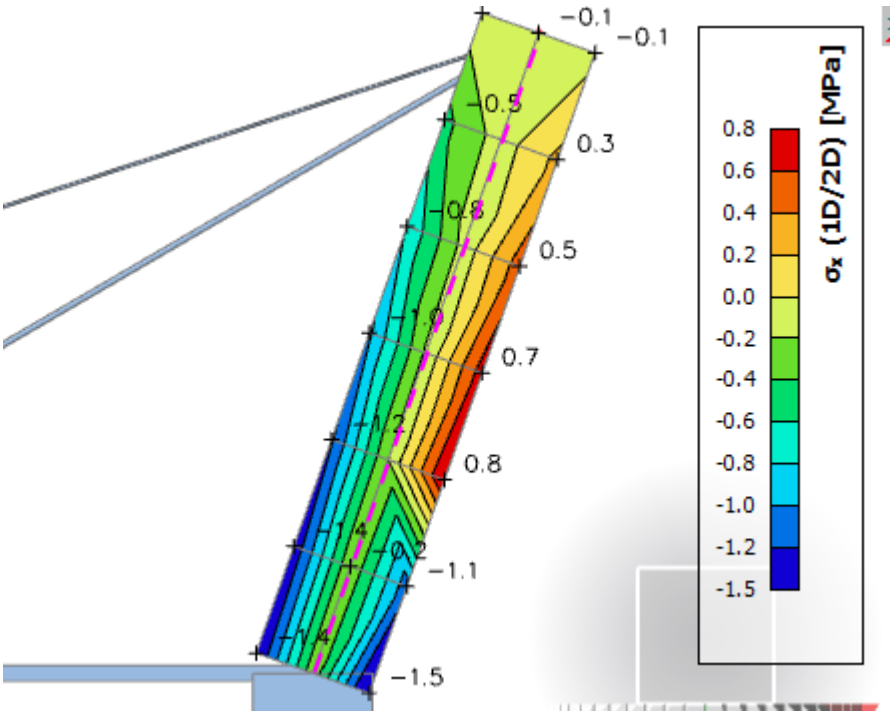
## 9.a.4 Varijanta konstrukcije bez vanjske zatege-2.iteracija

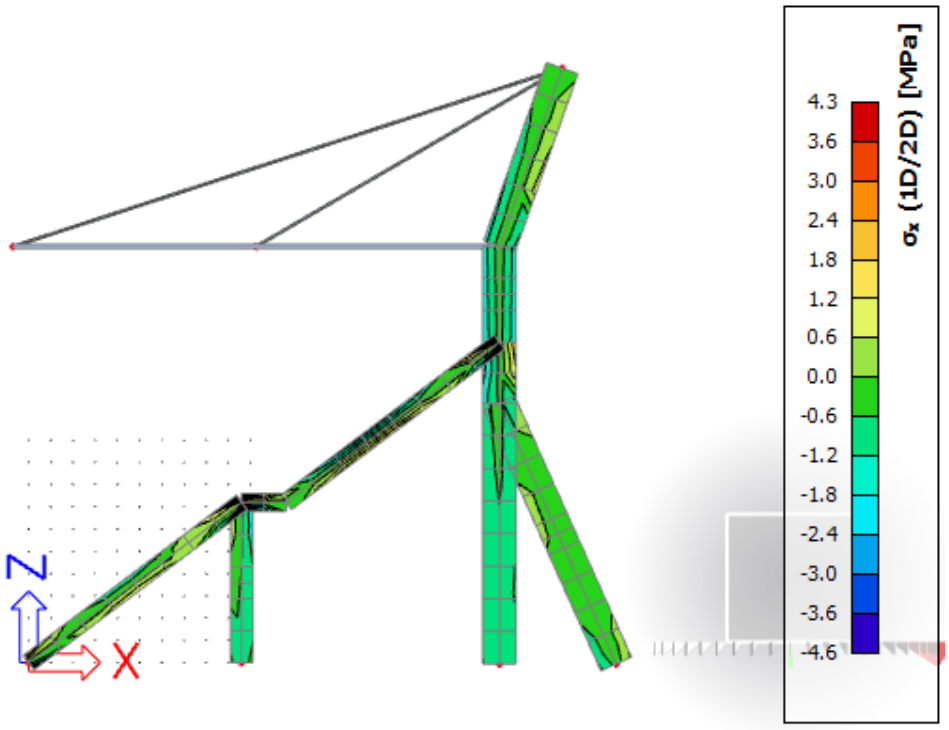
### 9.a.4.1. Pomak betonske konzole u X smjeru




Kako je vidljivo na prikazu pomaka dolazi do pomaka u kritičnom smjeru X u iznosu od 3.7 mm što je manje od dozvoljene vrijednosti 33.96 mm te se smatra kako je uvjet prostorne stabilnosti konstrukcije zadovoljen.

### 9.a.3.2. Prikaz naprezanja u betonu

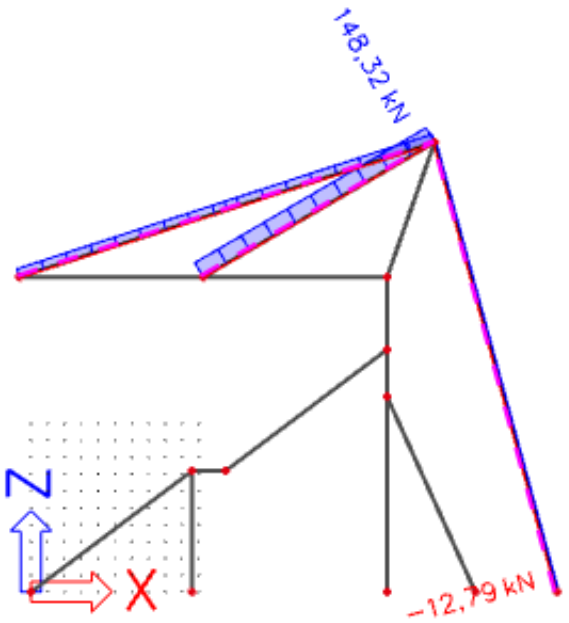



Kako je vidljivo na prikazu naprezanja dolazi dok koncetracije naprezanja na rubnim djelovima konstrukcije. U predjelu konzolne istake dolazi do naprezanja u iznosu od 1.5 MPa s obzirom kako je 15.75 MPa dozvoljena vrijednost naprezanja u betonu smatra se kako navedeni zahtjev zadovoljen.

### 9.a.4.3. Prikaz naprezanja u čeliku

Uzdužna sila u zategama




Iz uvjeta kako je površina poprečnog presjeka pomnožena sa vlačnom čvrstoćom čelika sila koju element može preuzeti, ovime zaključujemo kako je sila u zategi manja od granične odnosno uvjet je zadovoljen.

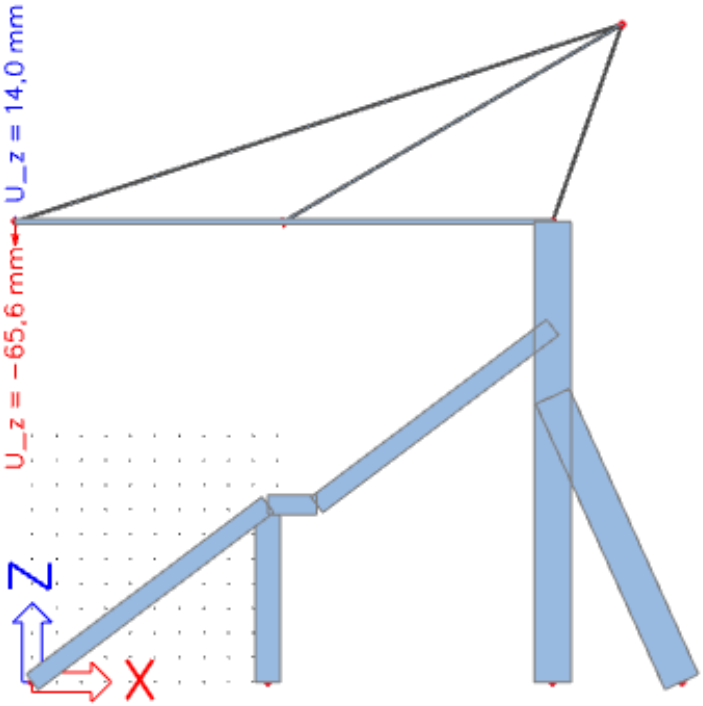
$$S355 - f_{yk} = 308\ MPa \text{-> } 308000\ \text{kN/m}^2$$

$$RD\ 40\ pop.presjek\ A = 1.25 * 10^{-3} m^2$$

$$N = A * f_{yk} = 308000 * 1.25 * 10^{-3} = 385\ \text{kN}$$

Maksimalna dozvoljena sila u zategi iznosi 385 kN > 148.32 kN te je zahtev zadovoljen. Analaizirajući samo ovaj zahtjev zasebno, ne uviđa se potreba za dodavanjem dodatne zatege.

### 9.a.4.4. Progib krovnog nosača Z smjer




Iz uvjeta progiba krovnog nosača koji je ograničen na vrijednost raspona nosača podjeljenog sa 200 dobivena je ograničavajuća vrijednost od 109.45 mm. Kako je prikazano na slici progib krovnog nosača iznosi 65.6 mm što je manje od 109.45 mm te se smatra kako je uvjet zadovoljen. Primjetno je kako je dodatna sajla, kao pridržanje krovne konstrukcije, neznatno utjecala na progib glavnog nosača.

Zaključak:

Promatrajući ponašanje konstrukcije pri zadanom opterećenju primjetno je kako su svi zahtjevi zadovoljeni.

Ovime se usvaja osnovna statička dispozicija konstrukcije te osvnoni poprečni presjeci koji će se provjeriti dalje u tekstu na dozvoljena naprezanja (svaki element zasebno).

## 9.a.5. Kontrola naprezanja u betonskim elementima

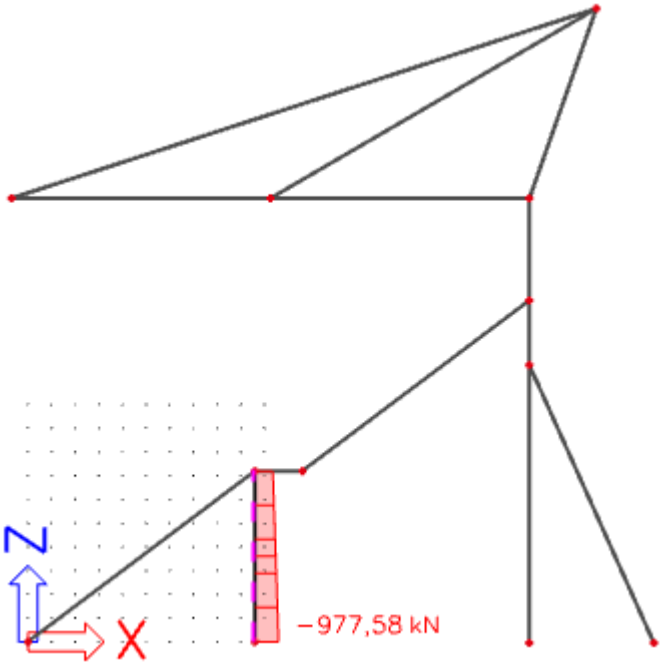
Za pretpostavljene poprečne presjeke potrebno je izvršiti kontrolu naprezanja u betonu. Betonska konstrukcija stadiona predviđena je izgradnjom betona klase C 35/45, prema čemu $f_{ck}$ (karakteristična tlačna čvrstoća betona) iznosi 35 Mpa.

Dozvoljena naprezanja u betonu iznose 45% vrijednosti $f_{ck}$.

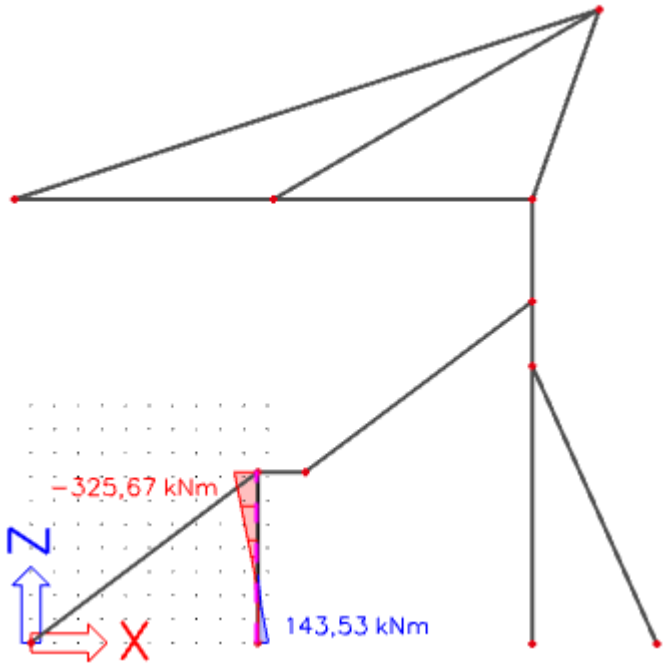
Prema čemu vrijedi izraz $\sigma = 0.45 \cdot f_{ck}$

### 9.a.5.1. Stup pozicija S1

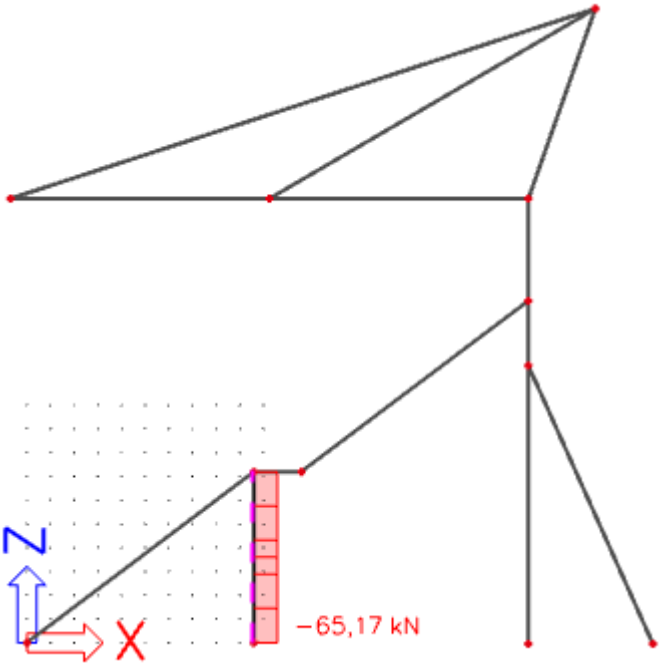
#### 9.a.5.1.1. Rezne sile stupa pozcije S1




*Uzdužna sila N (kN)*




*Moment My (kNm)*




*Poprečna sila Vz (kN)*

### 9.a.5.1.1. Kontrola naprezanja stupa pozcije S1

Dozvoljena naprezanja u betonu : $\sigma = 0{,}45 \cdot 35 = 15.75\ MPa$

Naprezanja u betonskom elementu $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \sigma = \frac{977{,}58}{1{,}0} + \frac{325{,}67}{0{,}0833}$

Pretpostavljeni poprečni presjek : 1.0X1.0 m

A= $a \cdot a = 1{,}0 \cdot 1{,}0 = 1{,}0m^2$

W=$\frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1 \cdot 1{,}^3}{12}$= 0,0833 $m^3$

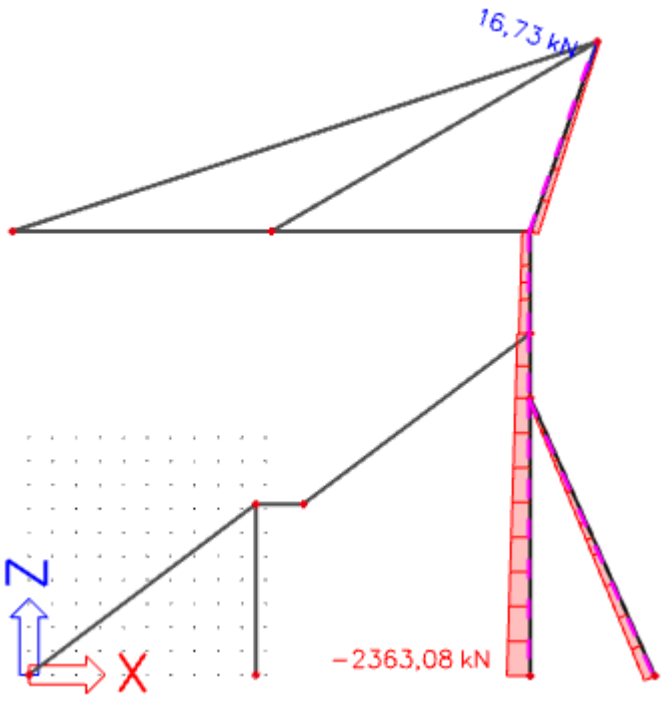
Naprezanja u betonskom elementu $\sigma$ =4887,18 $kN/m^2$

Dozvoljena naprezanja u betonu : $\sigma = 15.75$ MPa $\rightarrow 15750\ kN/m^2$

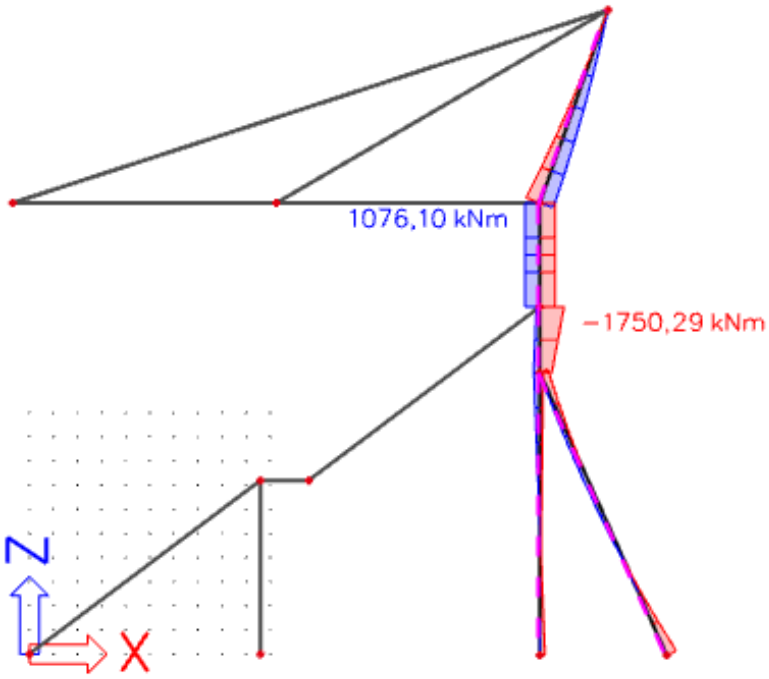
Navedena naprezanja u stupu zadovoljavaju !

## 9.a.5.1. Stup pozicija S2

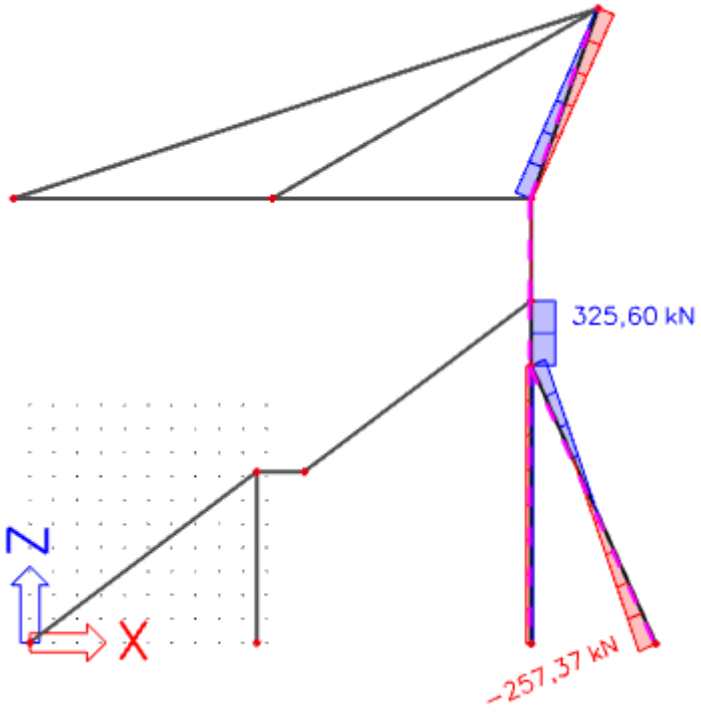
### 9.a.5.1.2. Rezne sile stupa pozcije S2




*Uzdužna sila N (kN)*




*Moment My (kNm)*




*Poprečna sila Vz (kN)*

### 9.a.5.2.1. Kontrola naprezanja stupa pozcije S2

Dozvoljena naprezanja u betonu : $\sigma = 0{,}45 \cdot 40 = 18\ MPa$

Naprezanja u betonskom elementu $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \sigma = \frac{2363{,}08}{2{,}25} + \frac{1750{,}90}{0{,}421}$

Pretpostavljeni poprečni presjek : 1.5X1.5 m

A= $a \cdot a = 1{,}5 \cdot 1{,}5 = 2{,}25\ m^2$

W=$\frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1{,}5 \cdot 1{,}5^3}{12}$= 0,421 $m^3$

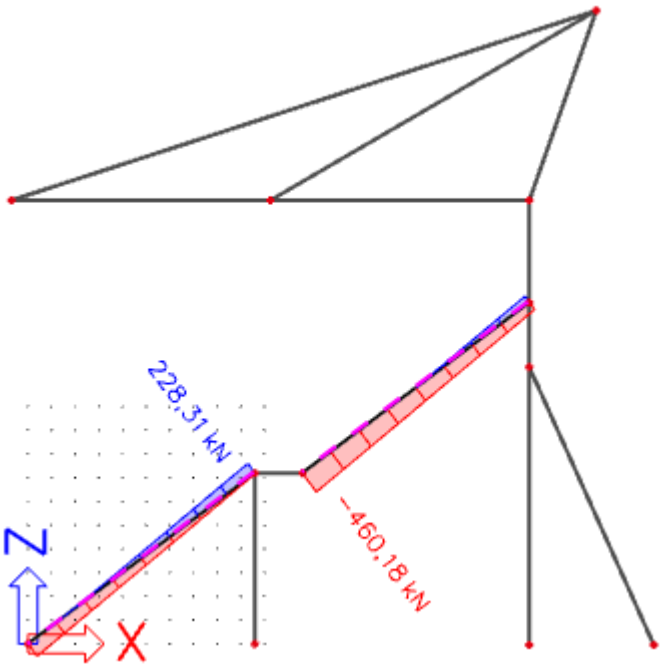
Naprezanja u betonskom elementu $\sigma$ =1468,07 $kN/m^2$

Dozvoljena naprezanja u betonu : $\sigma = 18{,}0$ MPa $\rightarrow 18000\ kN/m^2$

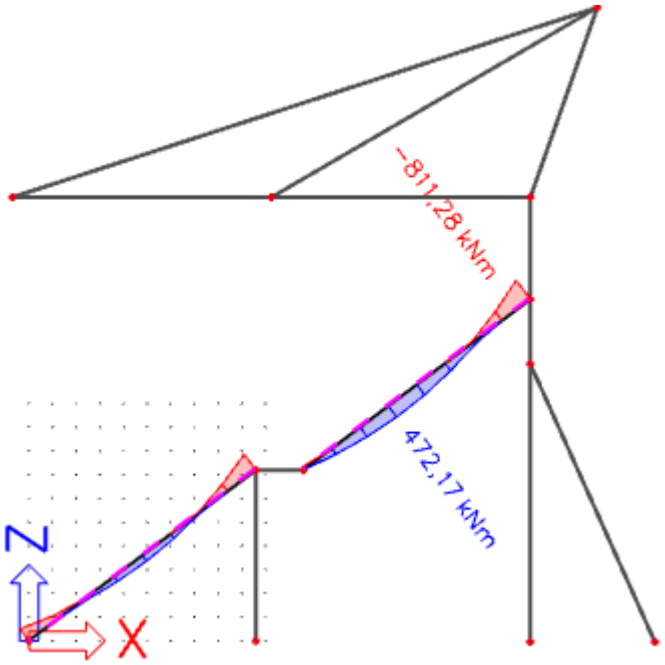
Navedena naprezanja u stupu zadovoljavaju !

### 9.a.5.3. Poprečni nosač

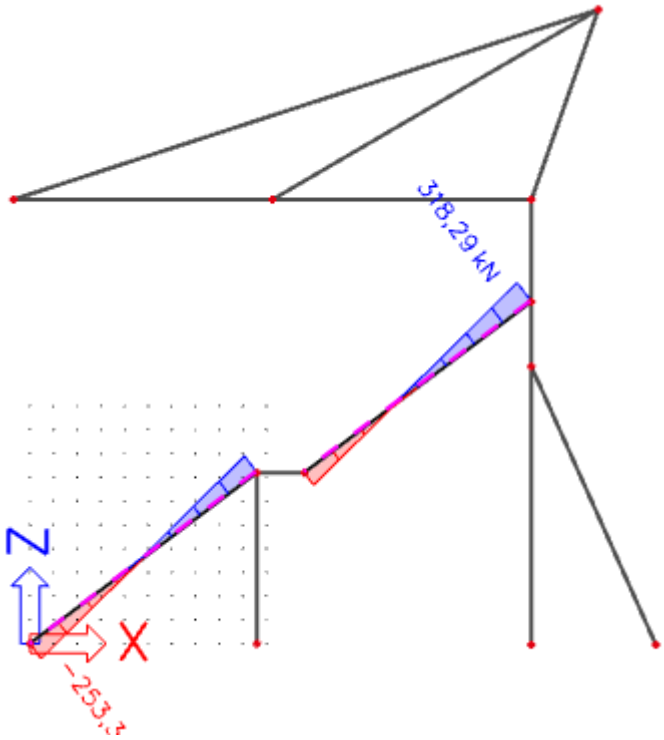
### 9.a.5.3.1. Rezne sile na poprečnom nosaču




*Uzdužna sila N (kN)*




*Moment My (kNm)*




*Poprečna sila Vz (kN)*

### 9.a.5.3.1. Kontrola naprezanja poprečnih nosača

Dozvoljena naprezanja u betonu : $\sigma = 0{,}45 \cdot 35 = 15{,}75\ MPa$

Naprezanja u betonskom elementu $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}$ =$\sigma = \frac{460{,}18}{1{,}20} + \frac{811{,}28}{0{,}225}$

Pretpostavljeni poprečni presjek : 0,8X1.5 m

A= $a \cdot a = 0{,}8 \cdot 1{,}5 = 1{,}20\ m^2$

W=$\frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0{,}8 \cdot 1{,}5^3}{12}$= 0,225 $m^3$

Naprezanja u betonskom elementu $\sigma$ =33989,22 $kN/m^2$

Dozvoljena naprezanja u betonu : $\sigma = 15{,}75\ \text{MPa} \rightarrow 15750\ \text{kN/m}^2$

Navedena naprezanja u stupu zadovoljavaju !

## 9.a.4. Analiza ponašanja rubnog nosača

Kako je prethodno navedenu potrebno je analizirati ponašanje glavnog nosača krovne konstrukcije na rubu. Pod time se podrazumijva nosač koji ima najveći raspon, te nešto manje opterećenje koje se prenosi na njega.

Analiza uključuje prikaz elemanata konstrukcije izrađenih kao 2D štapnih elemenata opterećnim opterećenjima kako je navedeno u ranijim analizama. Anliza podrazumijeva provjeru naprezanaj u betonu, provjeru iznosa sile (vlačna sila) u zategi koja je opterećenija (preuzima više opterećenja), progib konstrukcije krova (glavnog nosača) te progib vanjskog stupa pozicije S2.Po završetku analize izrađuje se zaključak usporedno sa karakterističnim presjekom.

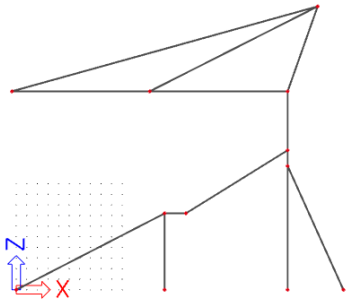
1. Stabilnost betonskog stupa (pomak, progib u x smjeru) ograničenje na L/250- promatrana konzolna istaka

   Duljina konzolne istake L= 8,49 m; 8,49/250= 0,0339 m (33,96 mm)

   2. Naprezanja u betonu, ograničena na 45% vrijednosti tlačne čvrstoće betona $\sigma = 0.45 \cdot f_{ck}$ , $f_{ck}$=35 MPa, $\sigma = 15.75$ MPa

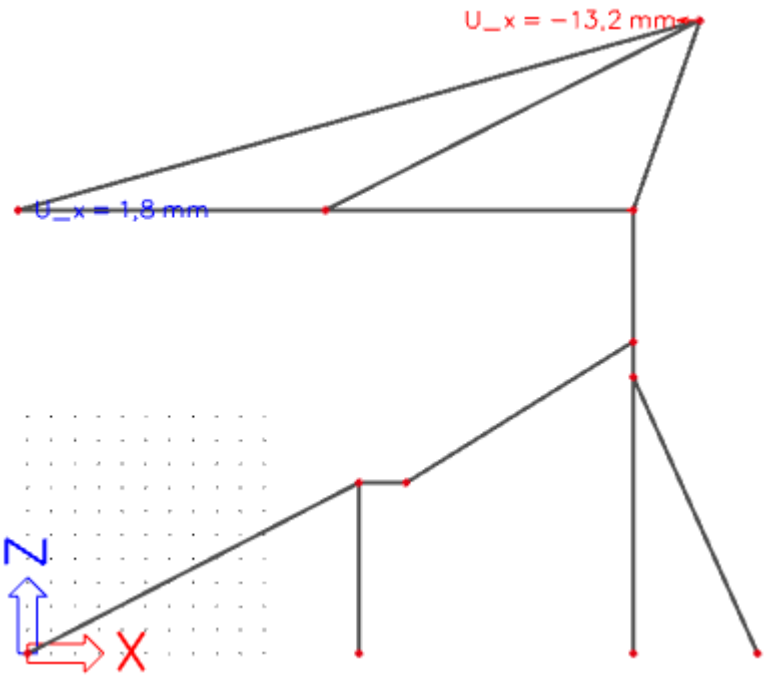
   3. Rezna sila dobivena proračunom konstrukcije mora biti manja od dozvoljene sile po zategi. Za odabrani čelik S 355 te uzimajući faktor sigurnosti prema EC3 za čelične konstrukcije $\gamma = 1.15$ ; 355/1.15 dozvoljena naprezanja iznose 308 MPa a pomnoženo sa površinom dobivamo vrijednost makismlane dozvoljene uzdužne sile.

   4. Progib krovne konstrukcije u z smjeru (kritičan smjer prema kojem konstrukcija inercijski teži), ograničen na L/200.
   Raspon konstrukcije krovnog nosača L=26 m; 26/200=0.13 m (130 mm).



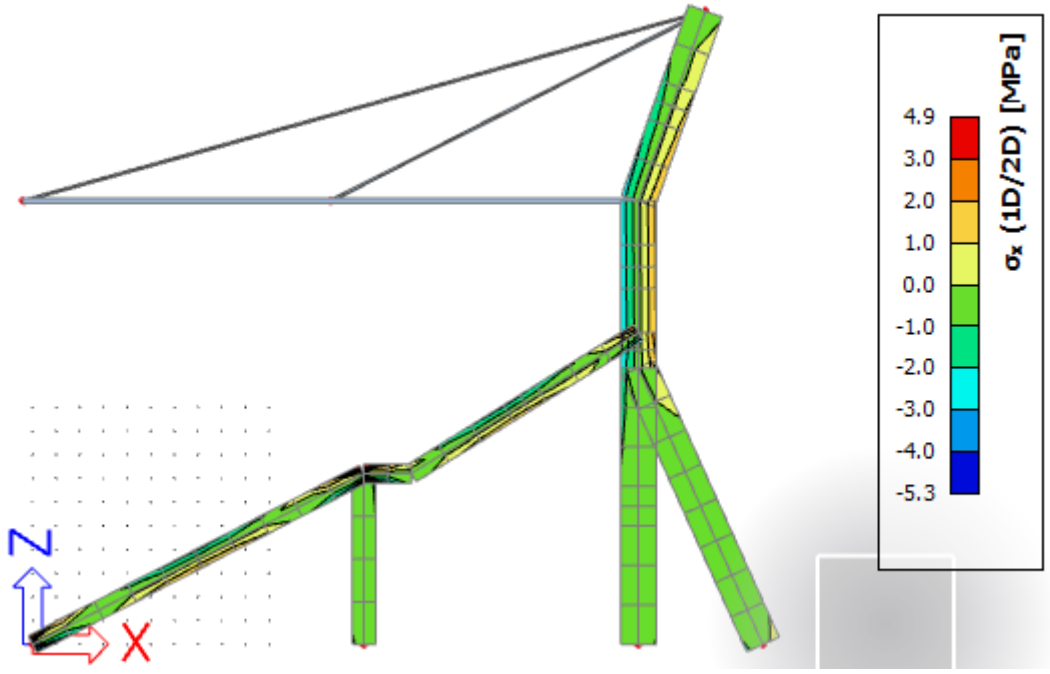

*Prilaz modela rubnog nosača*

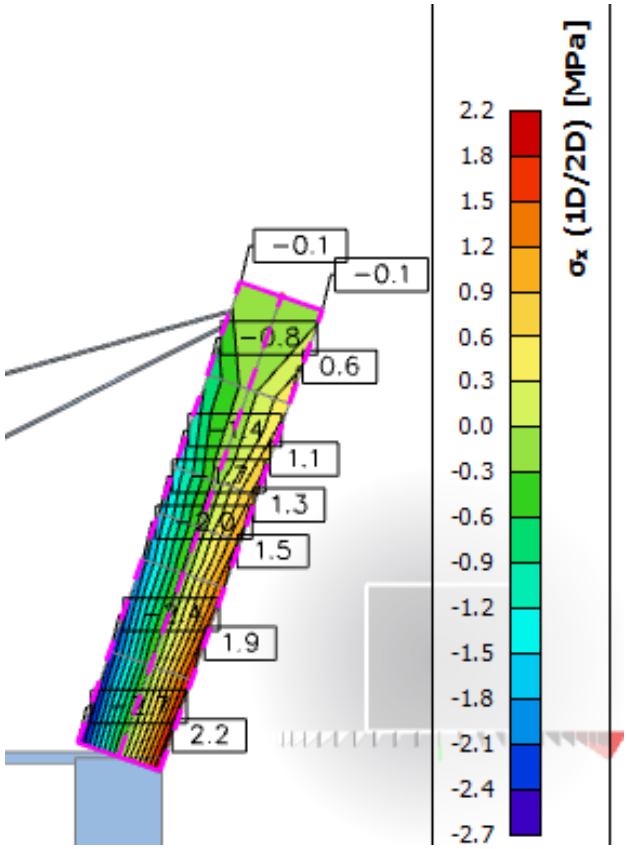
### 9.a.4.1. Pomak betonske konzole u X smjeru




Kako je vidljivo na prikazu pomaka dolazi do pomaka u kritičnom smjeru X u iznosu od 13.20 mm što je manje od dozvoljene vrijednosti 33.96 mm te se smatra kako je uvjet prostorne stabilnosti konstrukcije zadovoljen.

### 9.a.2.2. Prikaz naprezanja u betonu

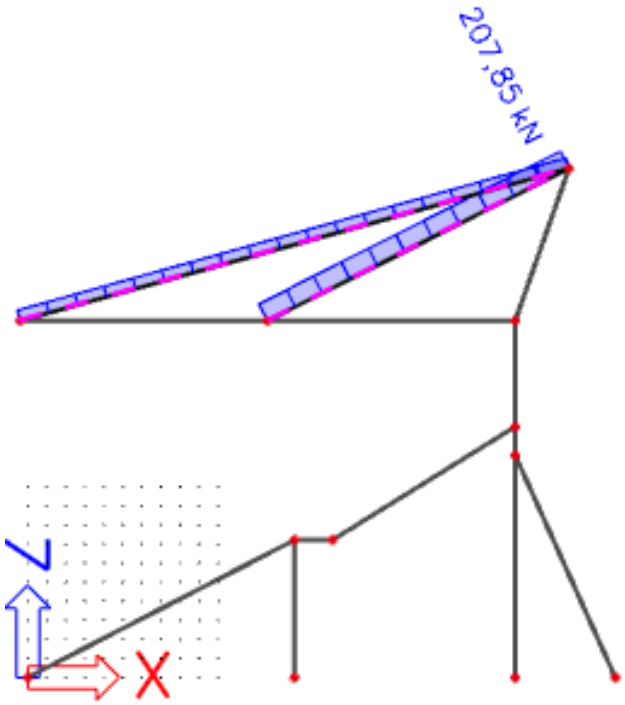



Kako je vidljivo na prikazu naprezanja dolazi dok koncetracije naprezanja na rubnim djelovima konstrukcije. U predjelu konzolne istake dolazi do naprezanja u iznosu od 2.2 MPa s obzirom kako je 15.75 MPa dozvoljena vrijednost naprezanja u betonu smatra se kako je navedeni zahtjev zadovoljen.

### 9.a.4.3. Prikaz naprezanja u čeliku

Uzdužna sila u zategama




Iz uvjeta kako je površina poprečnog presjeka pomnožena sa vlačnom čvrstoćom čelika sila koju element može preuzeti, ovime zaključujemo kako je sila u zategi manja od granične odnosno uvjet je zadovoljen.

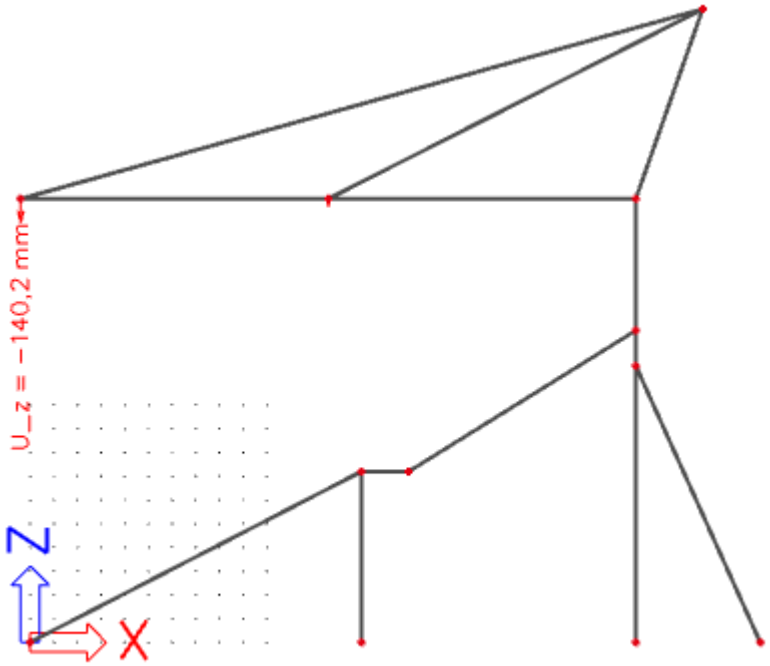
$$S355 - f_{yk} = 308\ MPa \text{-> } 308000\ \text{kN/m}^2$$

$$RD\ 40\ pop.presjek\ A = 1.25 * 10^{-3} m^2$$

$$N = A * f_{yk} = 308000 * 1.25 * 10^{-3} = 385\ \text{kN}$$

Maksimalna dozvoljena sila u zategi iznosi 385 kN > 207.85 kN te je zahtev zadovoljen.

### 9.a.4.4. Progib krovnog nosača Z smjer




Iz uvjeta progiba krovnog nosača koji je ograničen na vrijednost raspona nosača podjeljenog sa 200 dobivena je ograničavajuća vrijednost od 130 mm. Kako je prikazano na slici progib krovnog nosača iznosi 140.20 mm što je više od 130 mm te se smatra kako uvjet nije zadovoljen.

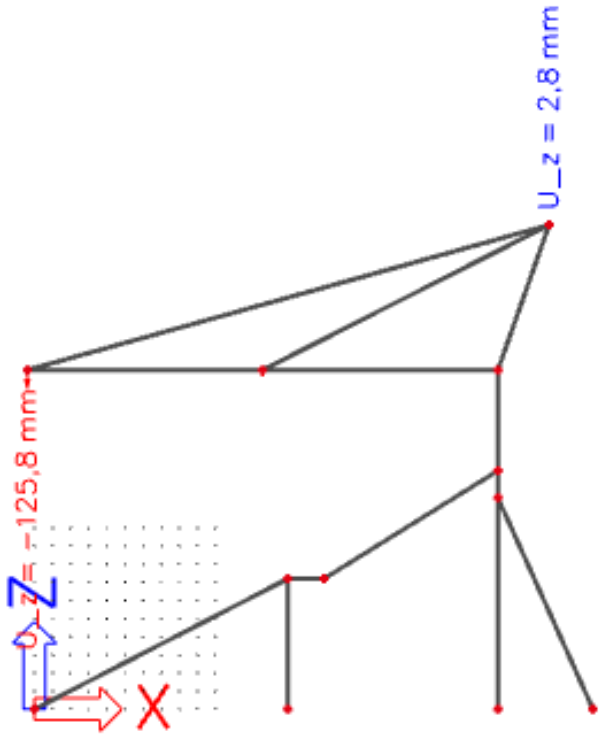
Zaključak:

Promatrajući ponašanje konstrukcije pri zadanom opterećenju primjetno je kako su svi zahtjevi zadovoljeni osim progiba krovnog nosača. Uputno je u idućem koraku modeliranja rubnog nosača povećati dimenzije pretpostvljenog profila CFHRS 200x200x6 mm na CFHRS 200x200x10 mm kako bi navedeni zahtjev zadovoljio.

### 9.a.5. Analiza ponašanja rubnog nosača- 2.iteracija

U ovom koraku provodi se ponovljeni proračun s istim modelom te povećanom debljinom stijenke donjeg pojasa rubnog glavnog nosača. S obzirom kako su prva tri zahtjeva bila zadovoljena u prvoj iteraciji u drugoj iteraciji promatrat ćemo samo progib rubnog krovnog nosača u Z smjeru.

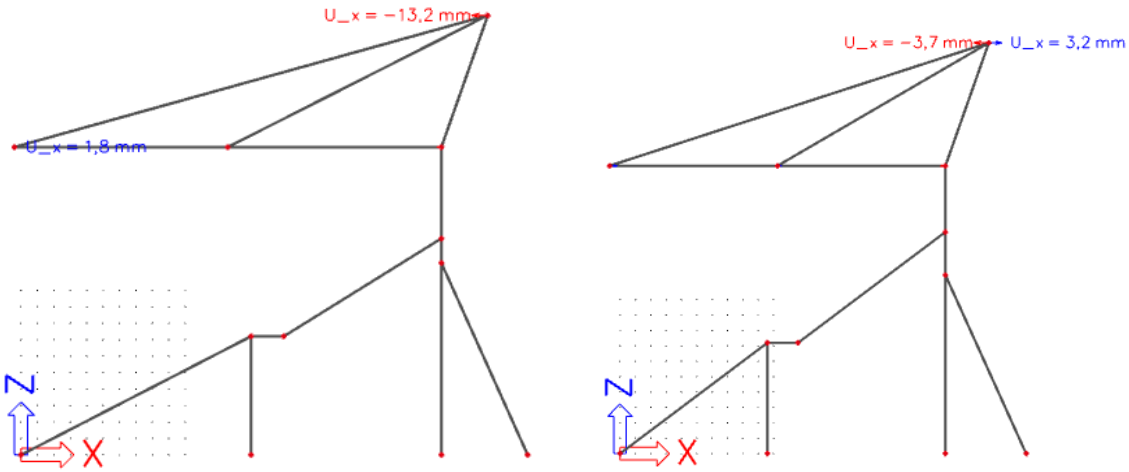
#### 9.a.5.1. Progib krovnog nosača Z smjer




Iz uvjeta progiba krovnog nosača koji je ograničen na vrijednost raspona nosača podjeljenog sa 200 dobivena je ograničavajuća vrijednost od 130 mm. Kako je prikazano na slici progib krovnog nosača iznosi 125.80 mm što je manje od 130 mm te se smatra kako je uvjet zadovoljen.

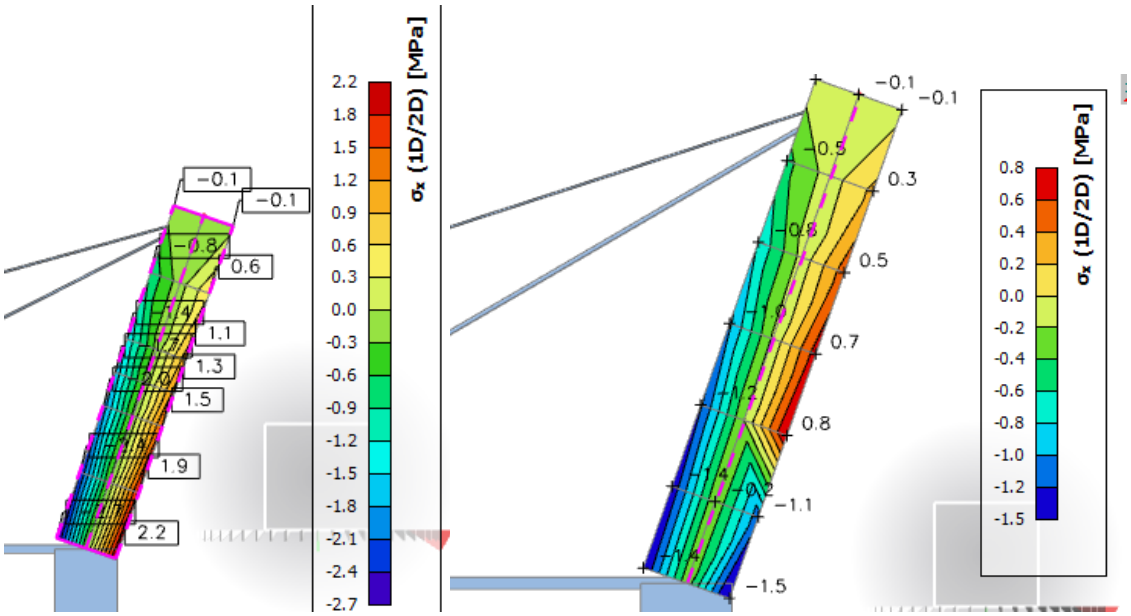
## 9.a.5.3. Usporedna analiza karakterističnog i rubnog krovnog nosača

### Usporedba pomaka vanjskog stupa pozicije S2 u X smjeru



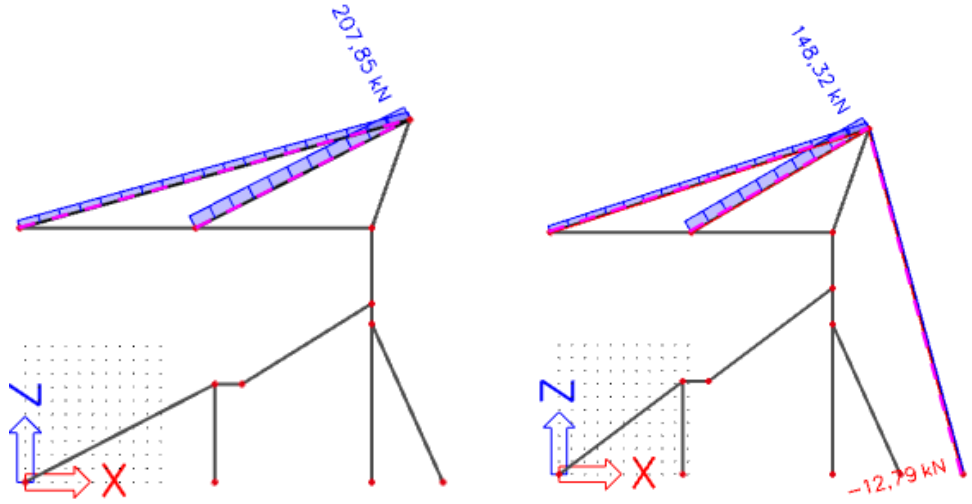

Prva slika predstavlja pomak vanjskog stup u X smjeru rubnog nosača, dok je druga pomak u X smjeru karakterističnog nosača. Primjetno je kako je pomak rubnog nosača veći za 28 % ali i dalje manji od dozvoljenog pomaka.

Usporedba naprezanja u betonskom vanjskom stupu POZ S2



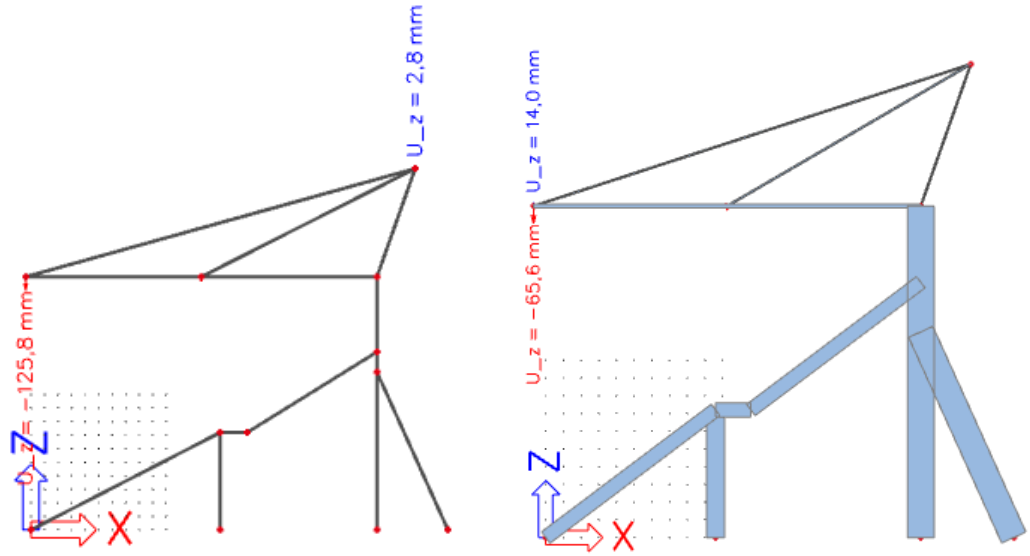

Prva slika predstavljaju naprezanja u betonu kod rubnog nosača, dok je druga slika prikaz naprezanja u karakterističnom presjeku nosača. Primjetno je kako su naprezanja u stupu kod krajnjeg nosača u betonu 44.4 %veća nego kod karakterističnog stupa, ali i dalje manja od dozvoljene vrijednosti.

Usporedba vlačne sile u zategama




Prva slika predstavljaju silu u zategi kod rubnog nosača, dok je druga slika prikaz sila u karakterističnom presjeku nosača. Primjetno je kako je sila u zategi kod krajnjeg nosača u zategi 71.36 %veća nego kod karakterističnog stupa, ali i dalje manja od dozvoljene vrijednosti.

Usporedba progiba glavnog nosača krovne konstrukcije




Prva slika predstavljaju progib nosača kod rubnog nosača, dok je druga slika prikaz progiba karakterističnog nosača. Primjetno je kako je progib nosača kod krajnjeg nosača 52.14 % veći nego kod karakterističnog stupa, ali i dalje manji od dozvoljene vrijednosti.

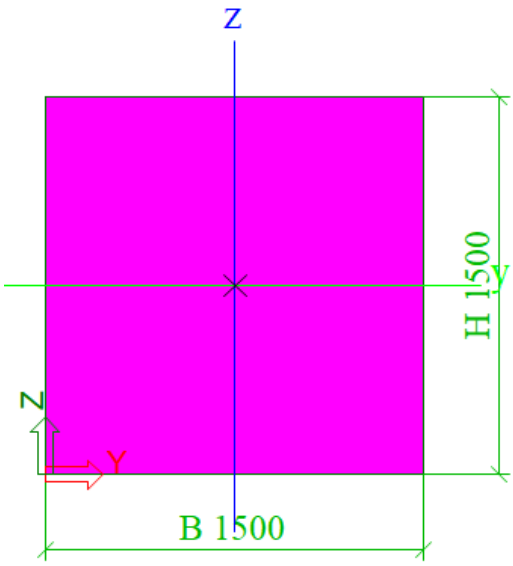
## 9.a.6. Usvojeni poprečni presjeci konstruktivnih elemenata

Za potrebe daljnjeg proračuna usvajaju se iduće dimenzije poprečnog presjeka dani skupa sa osnovnim karakteristikama.

Vrijedi napomenuti kako zbog uvjeta progiba rubnih nosača, poprečni presjek dojeg i gornjeg pojasa četveropojasne rešetke se uzima kao povećana vrijednost u odnosu na ostale karakteristične krovne nosače.
Vrijedi napomenuti kako iz prema prethodno obavljene analize proizlazi kako je beton vanjskih stupova pozicije S2 veće vrijednosti te iznosi C 40/50 dok su svi ostali betonski elementi predviđeni prema klasi betona C 35/45.

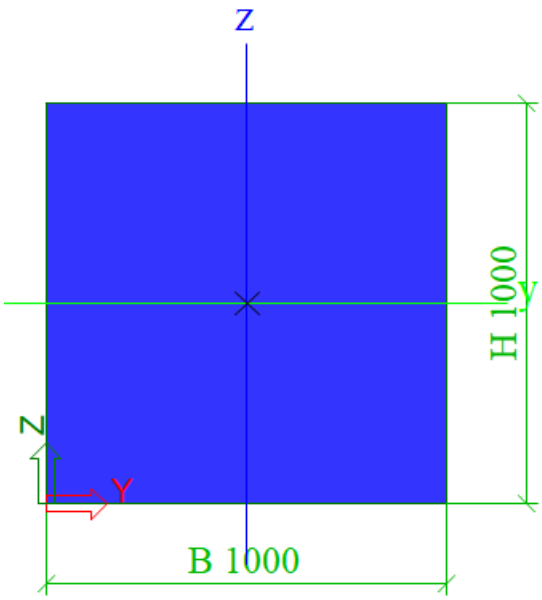
*napoeman, dimenzije poprečnog presjeka dane su u mm.

Vanjski stup S2



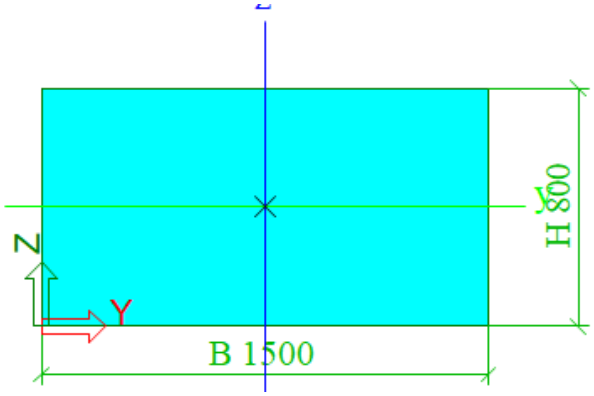

| Property | |
|---|---|
| A [m^2] | 2,2500e+00 |
| Ay [m^2] | 1,8771e+00 |
| Az [m^2] | 1,8771e+00 |
| AL [m^2/m] | 6,0000e+00 |
| AD [m^2/m] | 6,0000e+00 |
| cYUCS [mm] | 750 |
| cZUCS [mm] | 750 |
| α [deg] | 0,00 |
| Iy [m^4] | 4,2188e-01 |
| Iz [m^4] | 4,2188e-01 |
| iy [mm] | 433 |
| iz [mm] | 433 |
| Wely [m^3] | 5,6250e-01 |
| Welz [m^3] | 5,6250e-01 |
| Wply [m^3] | 0,0000e+00 |
| Wplz [m^3] | 0,0000e+00 |
| Mply+ [Nm] | 0,00e+00 |
| Mply- [Nm] | 0,00e+00 |

## Unutarnji stup S1



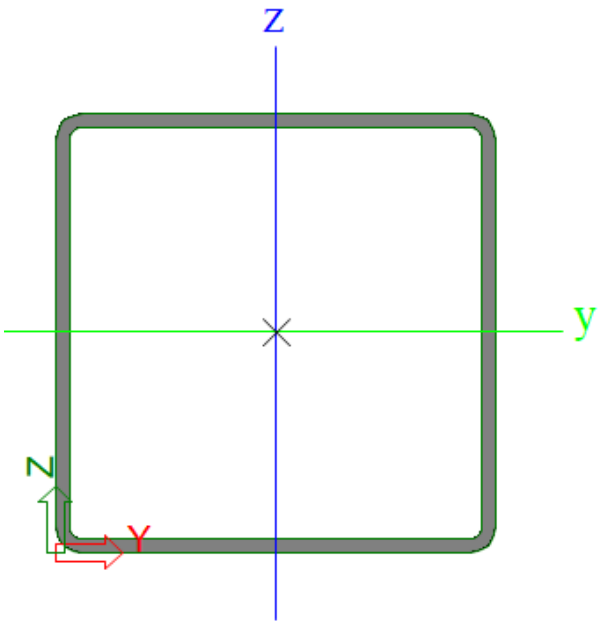

| Property | |
|---|---|
| A [m^2] | 1,0000e+00 |
| Ay [m^2] | 8,3432e-01 |
| Az [m^2] | 8,3432e-01 |
| AL [m^2/m] | 4,0000e+00 |
| AD [m^2/m] | 4,0000e+00 |
| cYUCS [mm] | 500 |
| cZUCS [mm] | 500 |
| α [deg] | 0,00 |
| Iy [m^4] | 8,3333e-02 |
| Iz [m^4] | 8,3333e-02 |
| iy [mm] | 289 |
| iz [mm] | 289 |
| Wely [m^3] | 1,6667e-01 |
| Welz [m^3] | 1,6667e-01 |
| Wply [m^3] | 0,0000e+00 |
| Wplz [m^3] | 0,0000e+00 |
| Mply+ [Nm] | 0,00e+00 |
| Mply- [Nm] | 0,00e+00 |

## Poprečni nosači




| Property | |
|---|---|
| A [m^2] | 1,2000e+00 |
| Ay [m^2] | 1,0006e+00 |
| Az [m^2] | 1,0022e+00 |
| AL [m^2/m] | 4,6000e+00 |
| AD [m^2/m] | 4,6000e+00 |
| cYUCS [mm] | 750 |
| cZUCS [mm] | 400 |
| α [deg] | 0,00 |
| Iy [m^4] | 6,4000e-02 |
| Iz [m^4] | 2,2500e-01 |
| iy [mm] | 231 |
| iz [mm] | 433 |
| Wely [m^3] | 1,6000e-01 |
| Welz [m^3] | 3,0000e-01 |
| Wply [m^3] | 0,0000e+00 |
| Wplz [m^3] | 0,0000e+00 |
| Mply+ [Nm] | 0,00e+00 |
| Mply- [Nm] | 0,00e+00 |

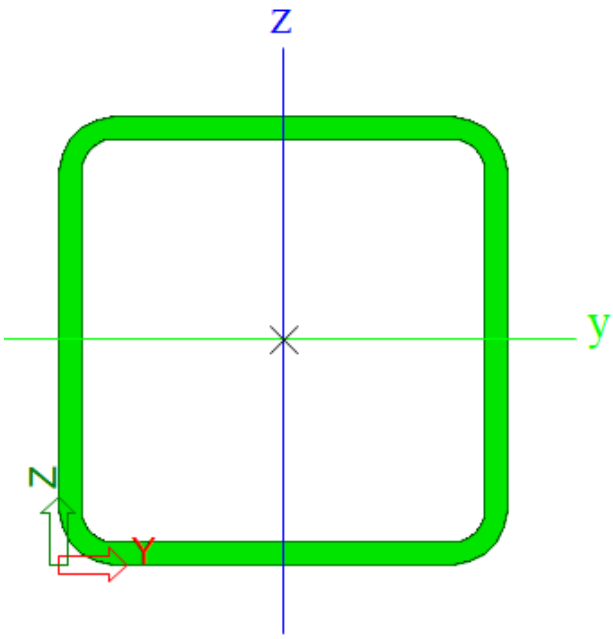
## Glavni krovni nosač- karakteristični presjek




| Geometry | |
|---|---|
| Formcode | 2 - Rectangular hollow s... |
| h [mm] | 200 |
| b [mm] | 200 |
| s [mm] | 6 |
| r [mm] | 12 |
| r1 [mm] | 6 |

| Property | |
|---|---|
| A [m^2] | 4,5630e-03 |
| Ay [m^2] | 2,2808e-03 |
| Az [m^2] | 2,2808e-03 |
| AL [m^2/m] | 7,7900e-01 |
| AD [m^2/m] | 1,5210e+00 |
| cYUCS [mm] | 100 |
| cZUCS [mm] | 100 |
| α [deg] | 0,00 |
| Iy [m^4] | 2,8327e-05 |
| Iz [m^4] | 2,8327e-05 |
| iy [mm] | 79 |
| iz [mm] | 79 |
| Wely [m^3] | 2,8327e-04 |
| Welz [m^3] | 2,8327e-04 |
| Wply [m^3] | 3,2967e-04 |
| Wplz [m^3] | 3,2967e-04 |
| Mply+ [Nm] | 1,17e+05 |
| Mply- [Nm] | 1,17e+05 |

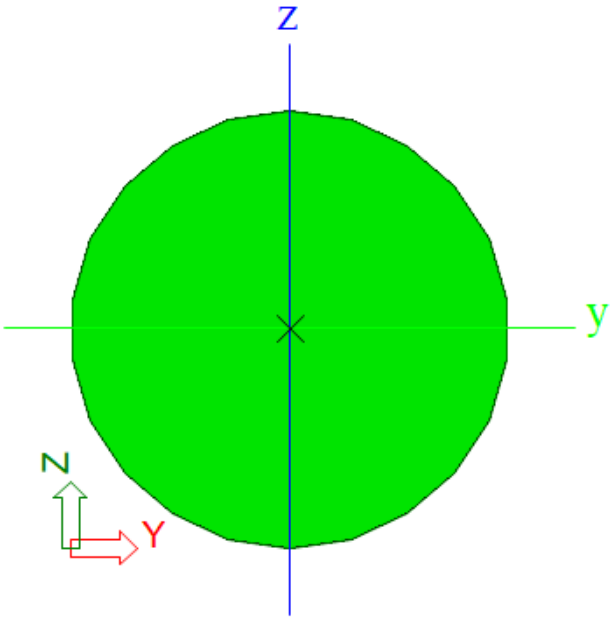
Glavni krovni nosač- rubni presjek




| Geometry | |
|---|---|
| Formcode | 2 - Rectangular hollow s... |
| h [mm] | 200 |
| b [mm] | 200 |
| s [mm] | 10 |
| r [mm] | 25 |
| r1 [mm] | 15 |

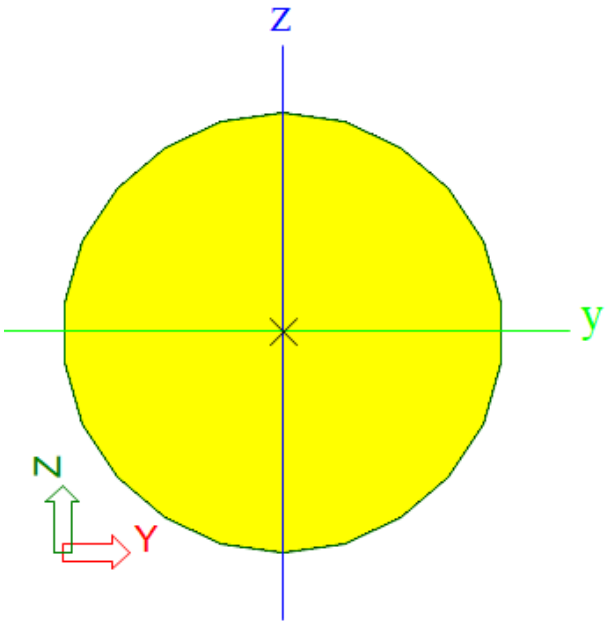
| Property | |
|---|---|
| A [m^2] | 7,2570e-03 |
| Ay [m^2] | 3,6251e-03 |
| Az [m^2] | 3,6251e-03 |
| AL [m^2/m] | 7,5700e-01 |
| AD [m^2/m] | 1,4510e+00 |
| cYUCS [mm] | 100 |
| cZUCS [mm] | 100 |
| α [deg] | 0,00 |
| Iy [m^4] | 4,2511e-05 |
| Iz [m^4] | 4,2511e-05 |
| iy [mm] | 77 |
| iz [mm] | 77 |
| Wely [m^3] | 4,2511e-04 |
| Welz [m^3] | 4,2511e-04 |
| Wply [m^3] | 5,0808e-04 |
| Wplz [m^3] | 5,0808e-04 |
| Mply+ [Nm] | 1,80e+05 |
| Mply- [Nm] | 1,80e+05 |

## Zatega duža




| Property | |
|---|---|
| A [m^2] | 7,0650e-04 |
| Ay [m^2] | 6,3722e-04 |
| Az [m^2] | 6,3722e-04 |
| AL [m^2/m] | 9,3999e-02 |
| AD [m^2/m] | 9,4243e-02 |
| cYUCS [mm] | 15 |
| cZUCS [mm] | 15 |
| α [deg] | 0,00 |
| Iy [m^4] | 3,8928e-08 |
| Iz [m^4] | 3,8928e-08 |
| iy [mm] | 7 |
| iz [mm] | 7 |
| Wely [m^3] | 2,5952e-06 |
| Welz [m^3] | 2,5952e-06 |
| Wply [m^3] | 4,4290e-06 |
| Wplz [m^3] | 4,4290e-06 |
| Mply+ [Nm] | 1,60e+03 |
| Mply- [Nm] | 1,60e+03 |

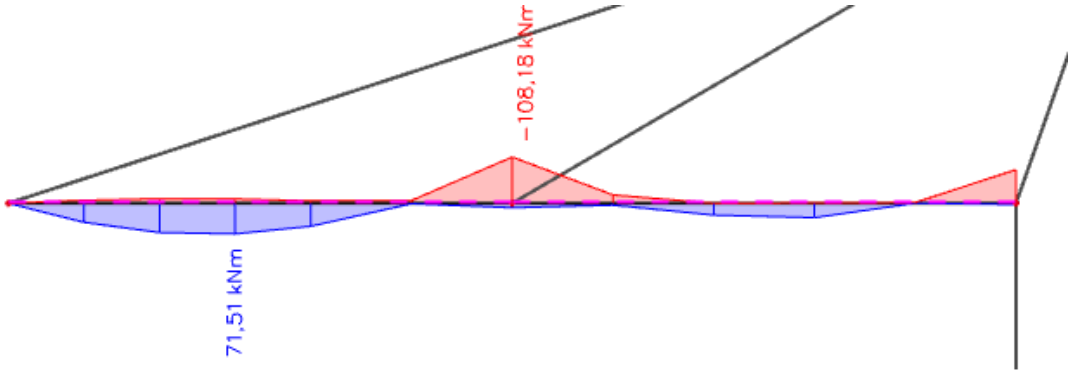
## Zatega kraća



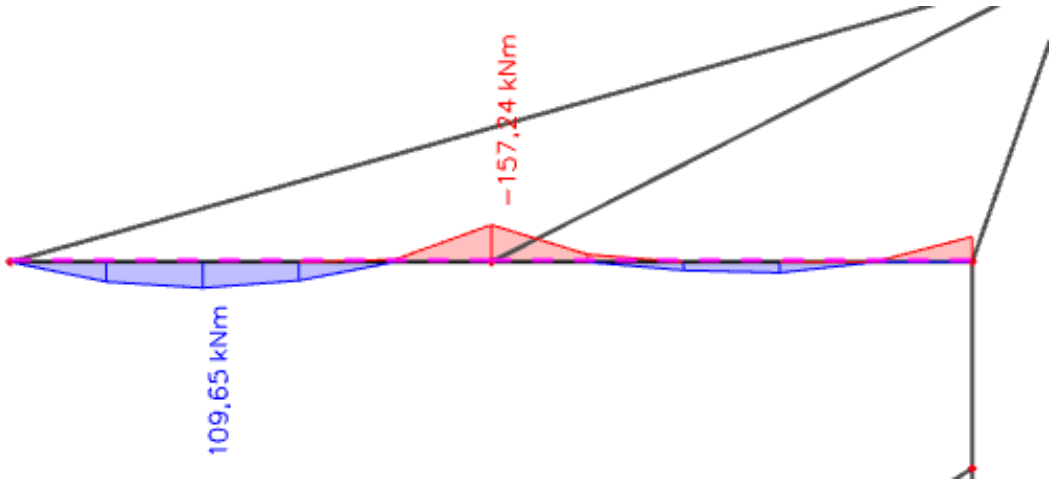

| Property | |
|---|---|
| A [m^2] | 1,7341e-03 |
| Ay [m^2] | 1,5596e-03 |
| Az [m^2] | 1,5596e-03 |
| AL [m^2/m] | 1,4727e-01 |
| AD [m^2/m] | 1,4765e-01 |
| cYUCS [mm] | 24 |
| cZUCS [mm] | 24 |
| α [deg] | 0,00 |
| Iy [m^4] | 2,3451e-07 |
| Iz [m^4] | 2,3451e-07 |
| iy [mm] | 12 |
| iz [mm] | 12 |
| Wely [m^3] | 9,9792e-06 |
| Welz [m^3] | 9,9792e-06 |
| Wply [m^3] | 1,7031e-05 |
| Wplz [m^3] | 1,7031e-05 |
| Mply+ [Nm] | 6,14e+03 |
| Mply- [Nm] | 6,14e+03 |

## 9.a.6. Analiza položaja hvatišta zatega za glavni nosač krovne konstrukcije

Osnovna pretpostavka je izvedba spoja krovne konstrukcije (četveropojasnog nosača) i konzolne istake betonskog stupa pozicije S2 kao upeti spoj. Na taj način postiglo se smanjenje vrijednosti momenta u polju dok je vrijednost momenta nad ležajem u iznosu koji odgovara odabranom položaju hvatanja zatege.




*Prikaz vrijednosti momenta i položaja zatega kod karakterističnog nosača*




*Prikaz vrijednosti momenta i položaja zatega kod rubnog nosača*

## 9.a.7. Provjera naprezanja u betonu prilikom otvaranja rupa

Iz estetskog uvjeta izgleda vanjskog stupa pozicije S2 nadodane su tri rupe na konzonoj istaci stupa (ispod mjesta gdje se hvataju sajle do vertikalnog djela stupa).

Z potrebe analize izrađen je 3D model u programskom paketu SCIA Engineer 19.01. Stup je formiran kao ravninski element kako bi se mogle postaviti rupe (za 1D elemente-štapove ne postoji mogućnost dodavanja otvora). Dok su ostali elementi 1D štapni elementi s unparijed definiranim poprečnim presjecima.

Model je opterećen danim opterećenjima te razvrstan u kombinacije opetećenja za nosivost :

- GSN 1 : 1,35G + 1,35 dG+ 1,35 Sk+1,50 W1+ 1,50 S + 1,50 Q
- GSN 2 : 1,35G + 1,35 dG+ 1,35 Sk+1,50 W2+ 1,50 S+ 1,50 Q
- GSN 3 : 1,35G + 1,35 dG+ 1,35 Sk+1,50 W3+ 1,50 S+ 1,50 Q

Te u tri kombinacije opterećenja za proračun konstrukcije na granično stanje uporabljivosti :

- GSU 1: 1,0G + 1,0 dG+ 1,0 Sk+1,0 W1+ 1,0 S+ 1,0 Q
- GSU 2: 1,0G + 1,0 dG+ 1,0 Sk+1,0 W2+ 1,0 S+ 1,0 Q
- GSU 3: 1,0G + 1,0 dG+ 1,0 Sk+1,0 W3+ 1,0 S+ 1,0 Q

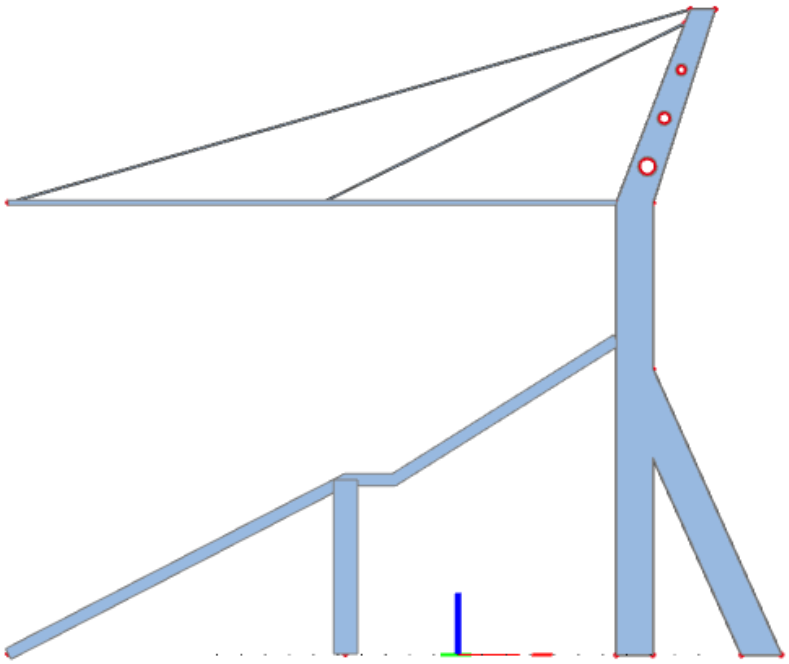
Kako bi se izabrala najkritičnija kombinacija opterećenja sve kombinacije razvrstane su preko opcije classes u programskom paketu SCIA. Classes u obzir uzima sva opterećenja za nosivost i uporabljivost te prikazuje rezultate za onu koja je najkritičnija.

Kako bi se pristupilo oblikovanju konstrukcije potrebno je zadovoljiti osnovne pretpostavke nosivosti elemenata u vidu dozvoljenih naprezanja svakog elementa.

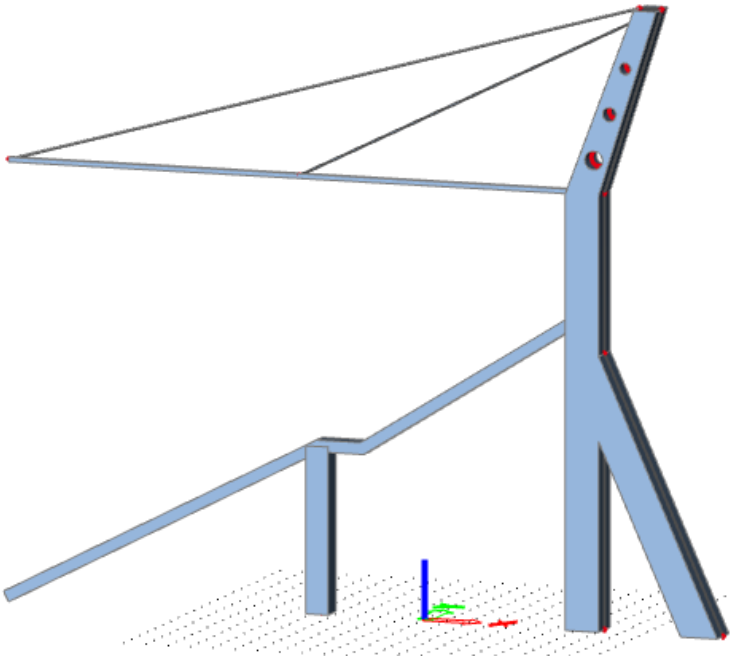
Betonska konstrukcija stadiona predviđena je izgradnjom betona klase C 35/45, prema čemu $f_{ck}$ (karakteristična tlačna čvrstoća betona) iznosi 35 Mpa.

Dozvoljena naprezanja u betonu iznose 45% vrijednosti $f_{ck}$.

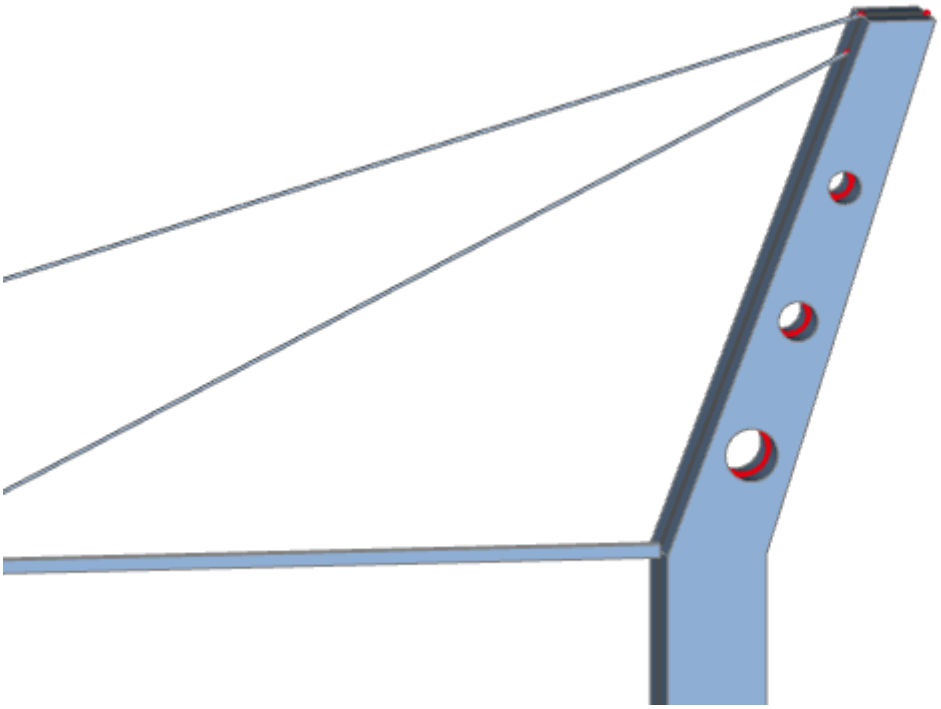
Prema čemu vrijedi izraz $\sigma = 0.45 \cdot f_{ck}$



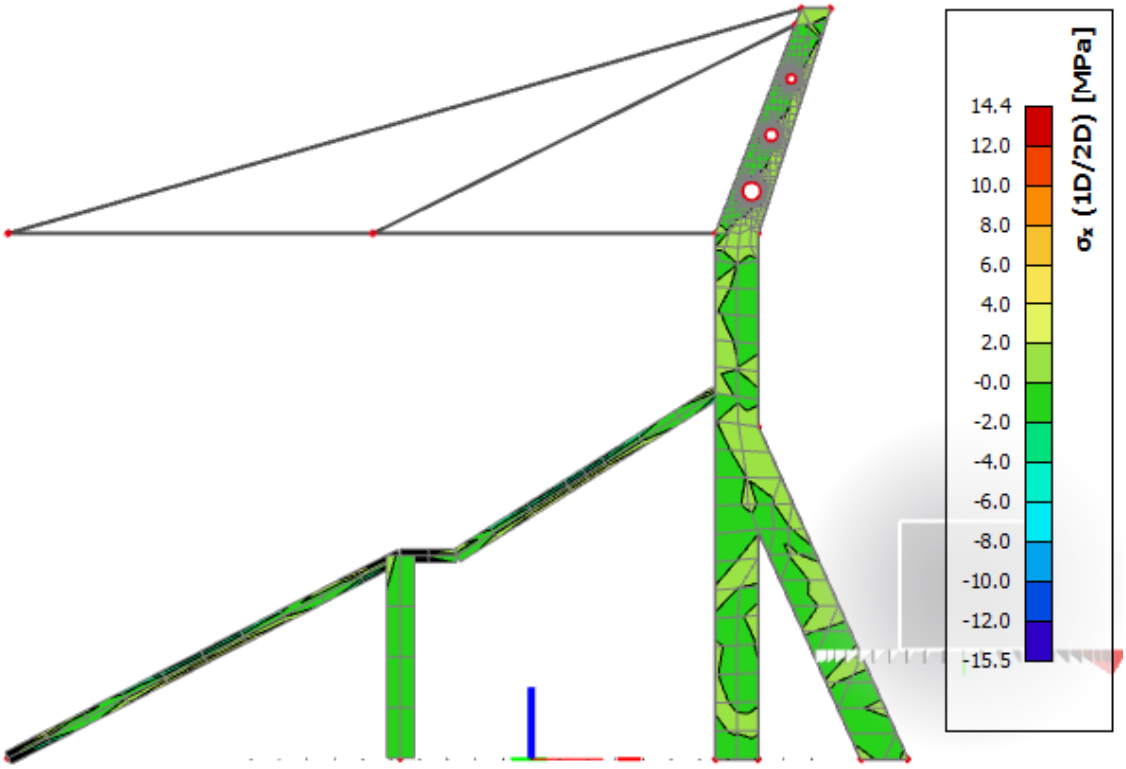
*Prikaz prostornog modela*



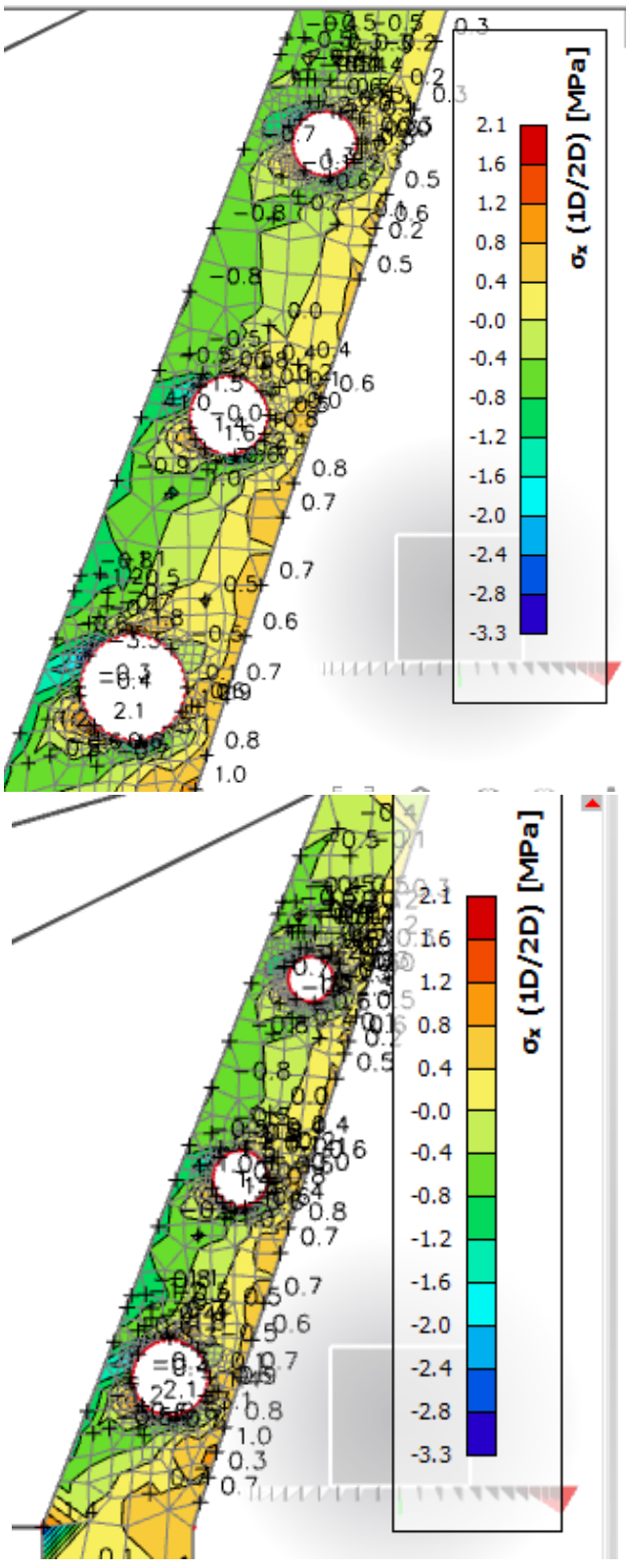
*Prikaz prostornog modela*



*Prikaz prostornog modela*




*Prikaz naprezanja u betonu*




*Prikaz naprezanja u betonu (detalj gornjeg dijela stupa)*

# 10. OPĆENITO O PRORAČUNSKOM MODELU

Kako bi se ispitala mogućnost izvedbe zamišljene predmetne konstrukcije i izrađen je 3D model konstrukcije koji se štapnih 1D elemenata stupova i greda. Numerički model izrađen je u računalnom programu Scia Engineer 17.1 i SCIA Engineer 19.0.

Programskim paketom proračunati su osnovni konstruktivni elementi opterećeni opterećenjima kako je prikazano dalje u projektu a obuhvaćani u dva razdvojena modela zbog pojednostavljivanja proračuna. Jedan proračunski model je za betonsku konstrukciju dok je drugi za čeličnu krovnu konstrukciju.

Betonska konstrukcija- opterećenja uzeta u obzir prilikom izrade modela :

- Stalno opterećenje konstrukcije (vlastita težina)
- Dodatno stalno opterećenje
- Pokretno opterećenje
- Snijeg
- Vjetar (analizirane su obje varijante vjetra koji spušta i odiže)
- Potresno izvanredno opterećenje
- Reakcije krovne konstrukcije na temperaturu
- Reakcije stalnog opterećenja krovne konstrukcije
- Reakcije dodatnog stalnog opterećenja krovne konstrukcije
- Reakcije opterećenja vjetrom krovne konstrukcije
- Reakcije opterećenja snijegom na krovnu konstrukciju

Sva opterećenja razvrstana su kombinacije opterećenja podijeljeni u dvije osnovne grupe : - kombinacije opterećenja za granično stanje nosivosti (GSN) i kombinacije graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Takve kombinacije opterećenja razvrstane su u Result classes u četiri osnovne grupe a prilikom proračuna konstruktivnog elementa odabirala se ona najkritičnija po element.

Čelična konstrukcija- opterećenja uzeta u obzir prilikom izrade modela :

- Stalno opterećenje konstrukcije (vlastita težina)
- Temperaturno opterećenje
- Opterećenje vjetrom na nadstrešnicu
- Opterećenje snijegom
- Reakcije oslonca sekundarne konstrukcije krova

Sva opterećenja razvrstana su kombinacije opterećenja podijeljeni u dvije osnovne grupe : - kombinacije opterećenja za granično stanje nosivosti (GSN) i kombinacije graničnog stanja uporabljivosti (GSU). Takve kombinacije opterećenja razvrstane su u Result classes u četiri osnovne grupe a prilikom proračuna konstruktivnog elementa odabirala se ona najkritičnija po element.

Spojevi čelične konstrukcije razmatrani su programskim paketom IDEA Statica 10.

U obzir su uzeti neki od karakterističnih spojeva, vijačni i vareni.

Kod izrade glavnog projekta potrebno je napraviti detaljniji model i detaljnije analizirati sve konstruktivne elemente uključujući i sekundarne efekte i opterećenja nastala tijekom gradnje konstrukcije.

*Slika 10.1: Prikaz slične konstrukcije betona i čelika u fazi izvedbe*

*Izvor : Internet*

## 10.1. Konstruktivni elementi u modelu

- Svi stupovi su armirano betonski elementi. Stupovi su podijeljeni prema dimenzijama i različitim položajima na konstrukciji. Vanjski stupovi na koje se oslanja krovna konstrukcija i gornji prsten tribina stadiona ima dimenzije poprečnog presjeka 100x200 cm dok krak samog stupa, koji je pridodan zbog veće stablilnosti uslijed velike visine stupova, ima dimenzije 80x100 cm. Unutarnji stupovi na koje se oslanja donji prsten tribina stadiona ima poprečni presjek 100x100 cm. Stupovi na koje se oslanja stubište (stubište kojim se ulazi na stadion) ima dimenzije 50x50 cm i to u varijantama stubišta za gornji prsten (većeg raspona) i donjeg prstena (manjeg raspona).
- Sve grede tribina su armirano betonske. Grede tribina su podjeljenje prema položaju u konstrukciji i dimenzijama. Grede su raspoređene prema idućim pozicijama i dimenzijama : Grede donjeg prstena stadiona dimenzija 75x50 cm, grede gornjeg prstena stadiona dimenzija 75x50 cm. Gredni nosač stubišta donjeg prstena stadiona dimenzija 50x50 cm, gredni nosač stubišta gornjeg prstena stadiona dimenzija 50x50 cm.
- Svi poprečni nosači su armirano betonski. Poprečni nosači podijeljeni su prema položaju u konstrukciji i dimenzijama. Poprečni nosači raspoređeni su prema idućim pozicijama i dimenzijama : Poprečni nosač donjeg prstena tribina dimenzija 80x150 cm, poprečni nosač gornjeg prstena tribina dimenzija 80x150 cm.
- Proračun stubišta proveden u sklopu prostornog modela

Svi betonski dijelovi izgrađeni su od betona C35/45, izuzev temelja C25/30, armirani armaturom B500B.

## 10.2. Kombinacije opterećenja korištene u modelu

Za gore navedene dijelove konstrukcije i nanesena opterećenja provedena je dinamička i statička analiza. Dinamička analiza podrazumijeva višemodalnu spektralnu analizu sa rezultatima vlastitih oblika koji su međusobno kombinirani

SRSS metodom. Temeljem statičke analize provedeno je dimenzioniranje konstruktivnih elemenata (GSN kombinacije) te kontrola graničnog stanja uporabljivosti (GSU kombinacije).

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI:

*Uobičajena kombinacija:*

| | |
|---|---|
| *GSN1* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot Q_k$ |
| *GSN2* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}5 \cdot Q_k$ |
| *GSN3* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}35(1{,}2 \cdot Q_k + W_x + S)$ |
| *GSN4* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}35(Q_k + W_x + S)$ |
| *GSN5* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}35(1{,}2 \cdot Q_k + W_y + S)$ |
| *GSN6* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}35(Q_k + W_y + S)$ |
| *GSN7* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot Q_k + 0{,}6(1{,}5W_x + 1{,}5S)$ |
| *GSN8* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}5 \cdot Q_k + 0{,}6(1{,}5W_x + 1{,}5S)$ |
| *GSN9* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot Q_k + 0{,}6(1{,}5W_y + 1{,}5S)$ |
| *GSN10* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}5 \cdot Q_k + 0{,}6(1{,}5W_y + 1{,}5S)$ |
| *GSN11* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot W_x + 0{,}7 \cdot 1{,}5Q_k + 0{,}6 \cdot 1{,}5S$ |
| *GSN12* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}5 \cdot W_x + 0{,}7 \cdot 1{,}5Q_k + 0{,}6 \cdot 1{,}5S$ |
| *GSN13* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}5 \cdot W_y + 0{,}7 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}5Q_k + 0{,}6 \cdot 1{,}5S$ |
| *GSN14* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 1{,}5 \cdot y + 0{,}7 \cdot 1{,}5Q_k + 0{,}6 \cdot 1{,}5S$ |
| *GSN13* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 0{,}6 \cdot W_y + 0{,}7 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}5Q_k + 1{,}5S$ |
| *GSN14* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 0{,}6 \cdot W_y + 0{,}7 \cdot 1{,}5Q_k + 1{,}5S$ |
| *GSN13* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 0{,}6 \cdot W_x + 0{,}7 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}5Q_k + 1{,}5S$ |
| *GSN14* | $1{,}35 \cdot (G_k + \Delta G) + 0{,}6 \cdot W_x + 0{,}7 \cdot 1{,}5Q_k + 1{,}5S$ |

| *Seizmička kombinacija:* | |
|---|---|
| *GSN15* | $1,0 \cdot (G_k + \Delta G) + 0,5 \cdot Q_k + 1,0 \cdot S_x$ |
| *GSN16* | $1,0 \cdot (G_k + \Delta G) + 0,5 \cdot Q_k + 1,0 \cdot S_y$ |

GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI:

| | |
|---|---|
| *GSU1* | $1,0 \cdot (G_k + \Delta G) + 1,0 \cdot Q_k$ |
| *GSU2* | $1,0 \cdot (G_k + \Delta G) + 1,0 Q_k + 1,0 W_x + 1,0 S$ |
| *GSU3* | $1,0 \cdot (G_k + \Delta G) + 1,0 Q_k + 1,0 W_Y + 1,0 S$ |

# 11. ANALIZA OPTEREĆENJA

## 11.1. Stalno opterećenje

### *11.1.1. Vlastita težina*

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

### *11.1.2. Dodatno stalno opterećenje- betonska konstrukcija*

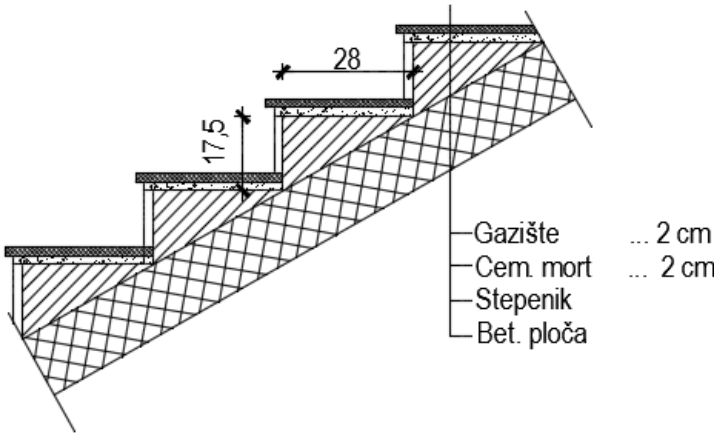
a) Tribnine stadiona – donji prsten, UN1-UN930

| *SLOJ:* | *d(m)* | *g(kN/m³)* | *(kN/m²)* |
|---|---|---|---|
| *ZAŠTITNA METALNA OGRADA* | - | - | 0.8 |
| *PLASTIČNA SJEDALA* | | | 0.2 |
| ***UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE : 1.0 kN/m²*** | | | |

b) Tribnine stadiona – gornji prsten prsten, UN931-UN1699

| *SLOJ:* | *d(m)* | *g(kN/m³)* | *(kN/m²)* |
|---|---|---|---|
| *ZAŠTITNA METALNA OGRADA* | - | - | 0.8 |
| *PLASTIČNA SJEDALA* | | | 0.2 |
| ***UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE : 1.0 kN/m²*** | | | |

c) STUBIŠTE 1




*Slika 8.5. Slojevi poda stubišta*

| *SLOJ:* | *d(m)* | *g(kN/m³)* | *d·g(kN/m²)* |
|---|---|---|---|
| *KAMENE PLOČE(gazište)* | 0,02 | 28 | 0,56 |
| *CEMENTNI MORT* | 0,02 | 20 | 0,40 |
| *STUBE* | 0,0875 | 24 | 2,10 |
| | ***UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE : 3,06 kN/m²*** | | |

*d)* STUBIŠTE 2:

PODEST – vanjsko stubište

| *SLOJ:* | *d(m)* | *g(kN/m³)* | *d·g(kN/m²)* |
|---|---|---|---|
| *KAMENE PLOČE(gazište)* | 0,02 | 28 | 0,56 |
| *CEMENTNI MORT* | 0,02 | 20 | 0,40 |
| | ***UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE : 0,96 kN/m²*** | | |

## 11.2. Promjenjivo opterećenje

### *11.2.1. Korisno opterećenje*

Minimalno korisno opterećenje za stadione i važne javne objekte definirano je u EC1991-1-1. Ovo korisno (pokretno) opterećenje je najmanje koje se smije primijeniti na ovakvim objektima. Na zahtjev investitora ili pri procjeni projektanta smije se koristiti i veće opterećenje. Za potrebe proračuna, a prema EC1991-1-1 korištena su sljedeća opterećenja:

- Donje tribine: q= 5,0 kN/m$^2$
- Gornje tribine: q= 5,0 kN/m$^2$
- Stubišta: q = 5,0 kN/m2

*Tablica 1*

| | $q_k$ [kN/m$^2$] |
|---|---|
| **A Stambene prostorije, odjeli u bolnicama, hotelske sobe** | |
| uobičajene prostorije | 2,0 |
| stubišta | 3,0 |
| balkoni | 4,0 |
| **B Uredi** | |
| uredi | 3,0 |
| **C Prostorije na kojima je moguće okupljanje ljudi** | |
| C1 (prostorije sa stolovima, škole, kavane, restorani, čitaonice, recepcije) | 3,0 |
| C2 (prostorije s nepomičnim sjedalima, crkve, kina, predavaonice, čekaonice, konferencijske dvorane) | 4,0 |
| C3 (prostorije bez prepreka za kretanje ljudi, izložbeni prostori, pristupi u javnim i državnim zgradama, hotelima i sl.) | 5,0 |
| C4 (športske prostorije i prostori za igru, plesne dvorane, gimnastičke dvorane) | 5,0 |
| C5 (prostorije za velika okupljanja ljudi, zgrade za javne priredbe, koncertne dvorane, športske dvorane) | 5,0 |
| **D Prodajne prostorije** | |
| D1 (prostorije u trgovinama) | 5,0 |
| D2 (prostorije u robnim kućama i trgovinama na veliko) | 5,0 |
| **E Prostorije s mogućnošću gomilanja robe i stvari** | |
| (skladišta uključujući i knjižnice) | 6,0 |

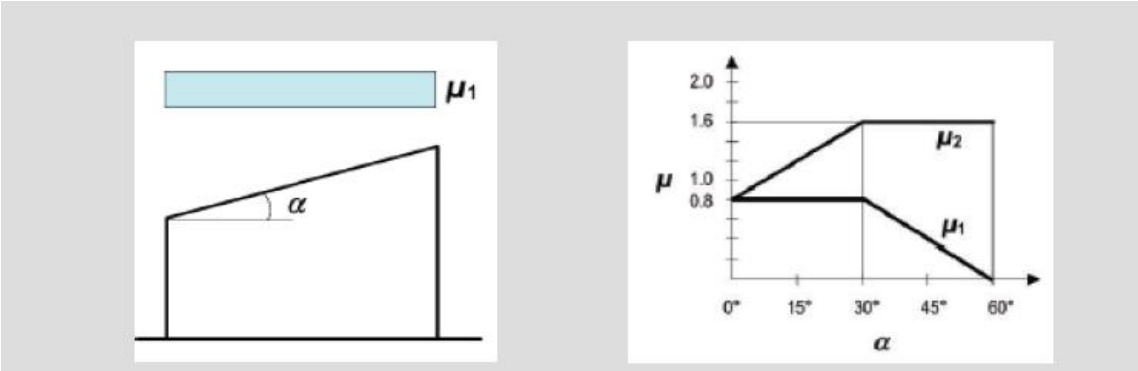
*Slika 10.1 : Vrijednosti korisnog opterećenja*

### 11.2.2. Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom definira se izrazom:

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

- $\mu_1$ - koef. oblika za opterećenje snijegom-RAVNI I JEDNOSTREŠNI KROV-nagib krova → $\alpha = 5°$




| Kut nagiba krova α | 0° ≤ α ≤ 30° | 30° < α < 60° | α ≥ 60° |
|---|---|---|---|
| $\mu_1$ | 0,8 | 0,8 (60 – α) / 30 | 0,0 |
| $\mu_2$ | 0,8 + 0,8 α / 30 | 1,6 | – |

*Slika 10.2: Očitavanje koeficijenta oblika*

$$\alpha = 5° \rightarrow \mu_1 = 0{,}8$$

- $s_k$ - karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u $\left[kN/m^2\right]$

⇒ zona Split, područje 1. (priobalje i otoci), nadmorska visina do 100 m

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

*Slika 10.3: Karta karakterističnih vrijednosti opterećenja snijegom obzirom na područje*

- $C_e$- koef. izloženosti → $C_e = 1{,}0$
- $C_t$- toplinski koef. → $C_t = 1{,}0$

$$\Rightarrow s = 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}50 = 0{,}40 \left[ kN / m^2 \right]$$

### *11.2.3. Opterećenje vjetrom*

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

- $v_{b0}$ (ili $v_{ref\ 0}$ - u prednormi) je poredbena vrijednost brzine vjetra ovisna o geografskom položaju objekta (dana na karti). Poredbena vrijednost brzine vjetra je karakteristična srednja 10-minutna vrijednost brzine vjetra, neovisna o smjeru vjetra, vremenu i godišnjem dobu, na 10 m iznad površine otvorenog terena, koji može biti obrastao travom i grmljem i manjim preprekama.

Vrijednost poredbene brzine vjetra $v_{b0}$ dodatno se korigira s obzirom na smjer vjetra, godišnje doba i nadmorsku visinu, te se tako dobiva osnovna brzina vjetra:

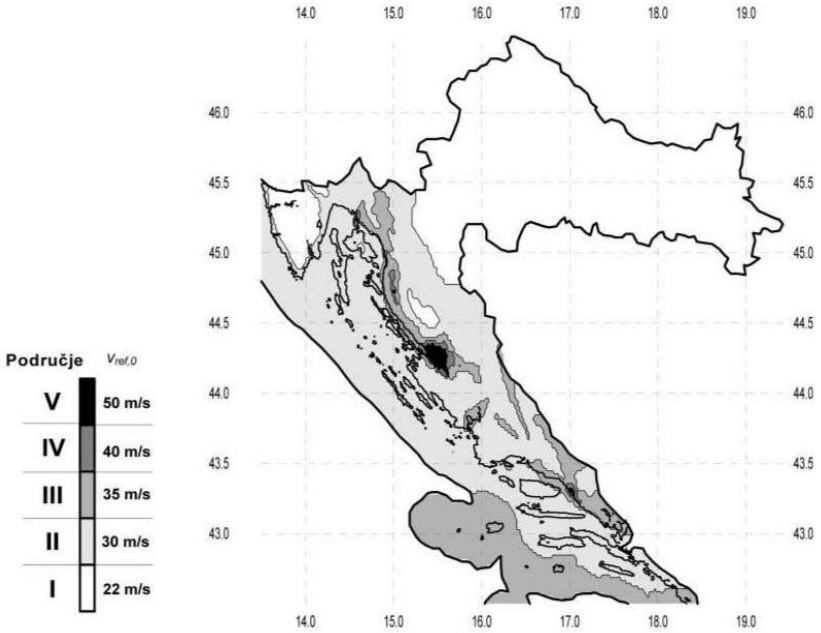
- $v_b = c_{dir} \cdot c_{tem} \cdot c_{alt} \cdot v_{b,0}$

- Koeficijent smjera vjetra ( $c_{DIR}$ ) proizlazi iz odnosa brzine vjetra za različiti smjer vjetra i uzima se za cijelo područje Hrvatske: $c_{dir} = 1{,}0$.
- Koeficijent godišnjeg doba ( $c_{TEM}$ ) uzima se za cijelo područje Hrvatske: $c_{tem} = 1{,}0$..
- Koeficijent nadmorske visine ( $c_{ALT}$ ) koji obuhvaća povećanje brzine vjetra s nadmorskom visinom, zbog ograničenog broja mjernih mjesta na planinskom području Republike Hrvatske nije moguće egzaktno odrediti, te se koristi izraz:

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

gdje je $a_s$ nadmorska visina mjesta u (m).

| PODRUČJE | $v_{B,0}$(m/s) |
|---|---|
| I | 22 |
| II | 30 |
| III | 35 |
| IV | 40 |
| V | 50 |




*Slika 11.4: Karta osnovnih brzina vjetra obzirom na područje*

→ Objekt se nalazi na području grada Splita te prema prikazanoj karti pripada III. vjetrovnoj zoni. Iz toga slijedi:

$$v_{b,0} = 35\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \rightarrow \text{očitano za Split}$$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{tem} \cdot c_{alt} \cdot v_{b,0} = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}001 \cdot 35{,}0 = 38{,}50\ m/s$$

Srednja brzina vjetra iznad terena na nekoj visini z:

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{0(z)} \cdot v_b$$

$$c_{0(z)} - koeficijent\ topografije\ (uglavnom\ se\ uzima\ 1{,}0)$$

$$\mathrm{C_{r(z)}} - koeficijent\ hrapavosti$$

$$\mathrm{C_{r(z)}} = \mathrm{k_r} \cdot \ln\left(\frac{\mathrm{z}}{\mathrm{z_0}}\right) \qquad za\ z_{min} \le z \le z_{max}$$

$$\mathrm{C_{r(z)}} = \mathrm{C_{r(z,min)}} \qquad za\ \ z \le z_{min}$$

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

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

*Slika 11.5: Parametri vjetrovnog opterećenja ovisno o kategoriji terena*

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

$$\mathrm{z_0} = 1{,}0 \quad \mathrm{z_{min}} = 10{,}0 \quad \mathrm{z_{max}} = obično\ se\ uzima\ 200m$$

➢ Turbulencija vjetra na visini z iznad terena dana je izrazom:

$$\mathrm{I_{v(z)}} = \frac{1}{\mathrm{C_{0(z)}} \cdot \ln\left(\frac{\mathrm{z}}{\mathrm{z_0}}\right)} \qquad za\ z_{min} \le z \le z_{max}$$

$$\mathrm{I_{v(z)}} = \mathrm{I_{v(z,min)}} \qquad za\ \ z \le z_{min}$$

- Maksimalni tlak brzine vjetra iznosi:

$$q_{p(z)} = \left[1 + 7 \cdot I_{v(z)}\right] \cdot 0{,}5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

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

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

- Rezultirajuća sila vjetra:

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

$$c_{pe} - koeficijent\ vanjskog\ tlaka$$

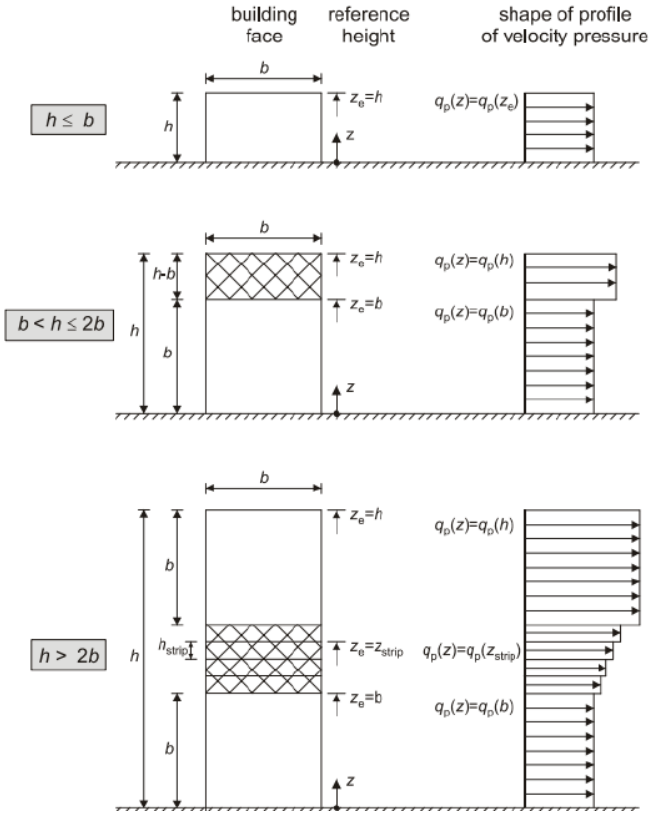
$$w_e = q_p(z_i) \cdot c_{pi}[kN/m^2] - sila\ vjetra\ na\ unutarnje\ plohe$$

$$c_{pi} - koeficijent\ unutarnjeg\ tlaka$$

$$z_i - referentna\ visina\ objekta$$

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

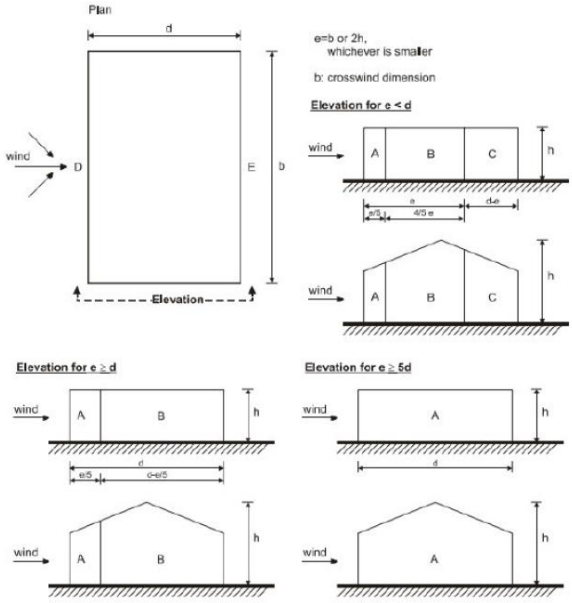
I. Referentna visina objekta $z_e$- određuje se prema odnosu h/b




*Slika 11.6:. Određivanje koeficijenta vanjskog tlaka vjetra*

**Napomena**: U radu nije uzeta u obzir promjena iznosa opterećenja vjetrom po visini prema gore prikazanim slikama. Uzet je najkritičniji slučaj h<b čime je pojednostavljen proračun a istovremeno smo na strani sigurnosti.

II. Podjela zgrade na zone (za vertikalne zidove)




*Slika 11.7: Podjela zgrade na vjetrovne zone*

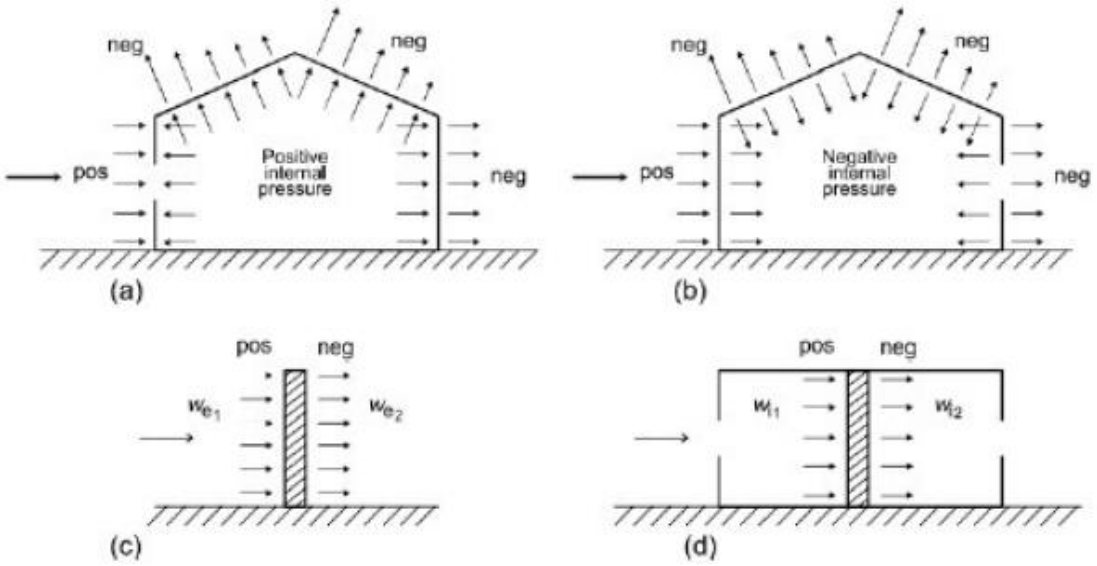
| Zone | A | | B | | C | | D | | E | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| h/d | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,7 | |
| 1 | -1,2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

*Slika 11.8:. Koeficijenti vanjskog tlaka za vanjske zidove zgrada*

**Određivanje koeficijenta unutarnjeg tlaka $c_{pi}$**

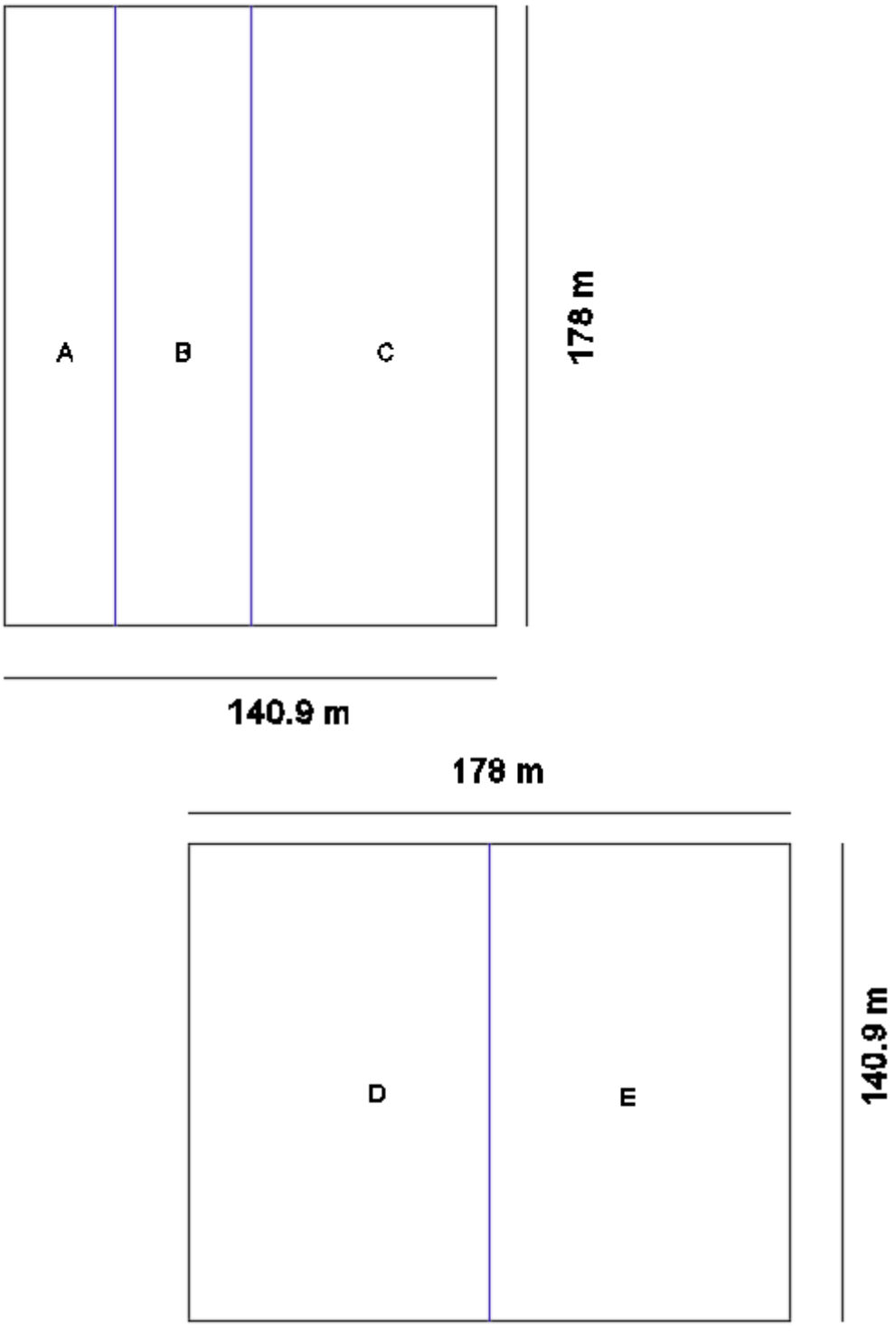
Maksimalni koeficijent unutarnjeg tlaka je 0,8, a minimalni koeficijent unutarnjeg tlaka (podtlak) je -0,5.

Rezultirajuća sila vjetra na vanjske i unutarnje plohe (we i wi) se rasporedi prema shemi prikazanoj na slici 8.4 te se zbrajanjem odnosno oduzimanjem rezultirajuće sile vjetra dobije ekvivalentna sila vjetra na plohu.




*Slika 11.9: Smjer djelovanja unutarnjeg i vanjskog tlaka na zidove i krovove zgrade*

**Rezultati proračuna vjetra za objekt iz ovog rada**




*Slika 11.10: Prikaz djelovanja vjetra na stadion*

| *Ulazni parametri* | | |
|---|---|---|
| *Ze* | 24,00 | m |
| *Vb,0* | 35,000 | m/s |
| *Calt* | 1,001 | |
| *Cdir* | 1,000 | |
| *Ctem* | 1,000 | |
| *Vb* | 38,50 | m/s |
| *Cr(z)* | 0,740 | |
| *kr* | 0,234 | |
| *Z* | 24,00 | m |
| *Z0* | 1,000 | m |
| *C0(z)* | 1,000 | |
| *Vm* | 28,49 | m/s |
| *Iv* | 0,314 | |
| *ρ(zraka)* | 1,250 | $kg/m^3$ |
| *qp(z)* | 0,93 | $kN/m^3$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *H* | *24,00* | | | |
| *b* | 178,00 | | | |
| *d* | 140,90 | | | |
| *e* | 178,00 | > | 48 | Zone A,B,C,D,E |
| *h/d* | 0,17 | | | |

| | qp(z) | Cpe,10 | Cpi,max | Cpi,min | We | Wi,max | Wi,min | Wuk,max | Wuk,min | Wekv |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **zona vjetra** | $kN/m^2$ | | | | $kN/m^2$ | $kN/m^2$ | $kN/m^2$ | $kN/m^2$ | $kN/m^2$ | $kN/m^2$ |
| **A** | 0,930 | -1,20 | 0,80 | -0,5 | -3,24 | 0,744 | -0,465 | -3,98 | -0,465 | -3,98 |
| **B** | 0,930 | -0,80 | 0,80 | -0,5 | -2,16 | 0,744 | -0,465 | -2,90 | -0,465 | -2,90 |
| **C** | 0,930 | -0,50 | 0,80 | -0,5 | -1,35 | 0,744 | -0,465 | -2,09 | -0,465 | -2,09 |
| **D** | 0,930 | 0,70 | 0,80 | -0,5 | 1,89 | 0,744 | -0,465 | -2,63 | -0,465 | -2,63 |
| **E** | 0,930 | -0,30 | 0,80 | -0,5 | -0,81 | 0,744 | -0,465 | -1,55 | -0,465 | -1,55 |

-Zona A na duljini e/5=9,60 m

-Zona B na duljini d-e/5=38,40 m

-Zona C na duljini d-e=92,90m

## 11.3. Izvanredno opterećenje

### *11.3.1. Potresno opterećenje*

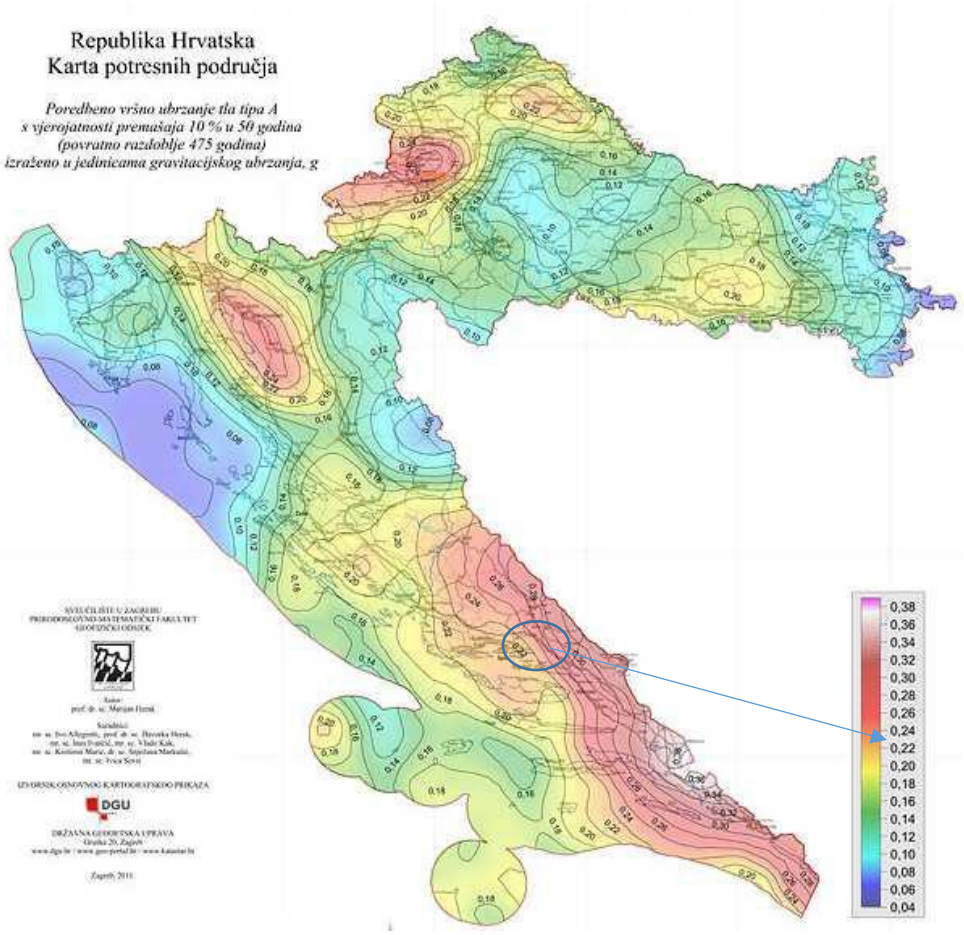
Proračun potresnog opterećenja napravljen je koristeći prostorni model konstrukcije u računalnom programu Scia Engineer 19. Potresne sile određene su koristeći višemodalnu (spektralnu) analizu prema EC-8 sa SRSS metodom izračuna. Potresne sile uvelike ovise o unesenim parametrima kao što su klasa tla na kojoj će se nalaziti građevina, proračunsko ubrzanje tla na tom području, duktilnost konstrukcije itd. Neki od tih parametara direktno se unose na temelju normama definiranih vrijednosti dok se ostale vrijednosti parametara uzimaju u obzir kroz vrijednost faktora ponašanja o kojem će kasnije u tekstu biti riječ.

Potresno djelovanje u nekoj točki na površini općenito se prikazuje elastičnim spektrom odziva. Razlikujemo dva tipa elastičnog spektra odziva ovisno o očekivanoj magnitudi površinskih poprečnih valova. Za magnitude veće od 5,5 odabiremo tip 1, a za magnitude manje od 5,5 tip 2 elastičnog spektra odziva.

Budući se dio potresne energije u konstrukciji troši njenim deformiranjem ovisno o sklonosti deformiranju općenito se dopušta proračun na djelovanje sila koje su manje od onih u elastičnom spektru odziva. Da bi se izbjegao nelinearni proračun uzima se u obzir kapacitet konstrukcije trošenju energije. Taj kapacitet ovisi o duktilnosti kontrukcije tj njenih elemenata. Duktilnije konstrukcije imaju veći kapacitet trošenja energije i smanjenja potresnog utjecaja. To smanjenje potresnih sila radi se na način da se elastični spektar odziva umanji odgovarajućim koeficijentom koji se naziva faktor ponašanja. Faktor ponašanja predstavlja omjer potresnih sila kojima bi građevina bila izložena kad bi njen odziv u cijelosti bio elastičan u odnosu na potresne sile koje se bi se pojavile na promatranoj konstrukciji.

U nastavku su razrađene vrijednosti svih parametara mjerodavnih za potresni proračun koji su korišteni u analizi pomoću računalnog programa.

- Vrijednosti poredbenog vršnog ubrzanja tla očitavaju se koristeći seizmološke karte Republike Hrvatske. Za traženo područje očita se ubrzanje tla za povrtani period od 475 godina za GSN
  - Za područje grada Splita $\mathbf{a_{gR} = 0{,}22g} \approx 2{,}2\ m/s^2$




*Slika 11.11: Karta područja za odreivanje ubrzanja tla od potresnog opterećenja*

*Slika 11.12: Očitano ubrzanje za područje grada Splita*

- Građevina je temeljena na čvrstom tlu- tlu **klase A**. Parametar kojim u proračun uzimamo u obzir vrstu i kvalitetu tla naziva se faktor tla (S)
  - Klasa tla A→ S=1,0

| Ground type | $S$ | $T_B$ (s) | $T_C$ (s) | $T_D$ (s) |
|---|---|---|---|---|
| A | 1,0 | 0,15 | 0,4 | 2,0 |
| B | 1,2 | 0,15 | 0,5 | 2,0 |
| C | 1,15 | 0,20 | 0,6 | 2,0 |
| D | 1,35 | 0,20 | 0,8 | 2,0 |
| E | 1,4 | 0,15 | 0,5 | 2,0 |

*Slika 11.13: Određivanje faktora tla ovisno o klasi tla*

- Proračun faktora ponašanja ovisi o vrsti i tipu konstrukcije. Pretpostavlja se srednja klasa (DCM) duktilnog ponašanja konstrukcije te sustav povezanih zidova
  - $q = q_0 \cdot k_w \geq 1{,}5 \; za \; klasu \; DCM$

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

$$\frac{\alpha_0}{\alpha_1} = 1{,}0 \; \rightarrow za \; tlocrtno \; nepravilne \; sustave$$

$$k_w \rightarrow faktor \; prevladavajućeg \; sloma \; \rightarrow k_w = \frac{1+\alpha_0}{3}, \qquad k_w = 1$$

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

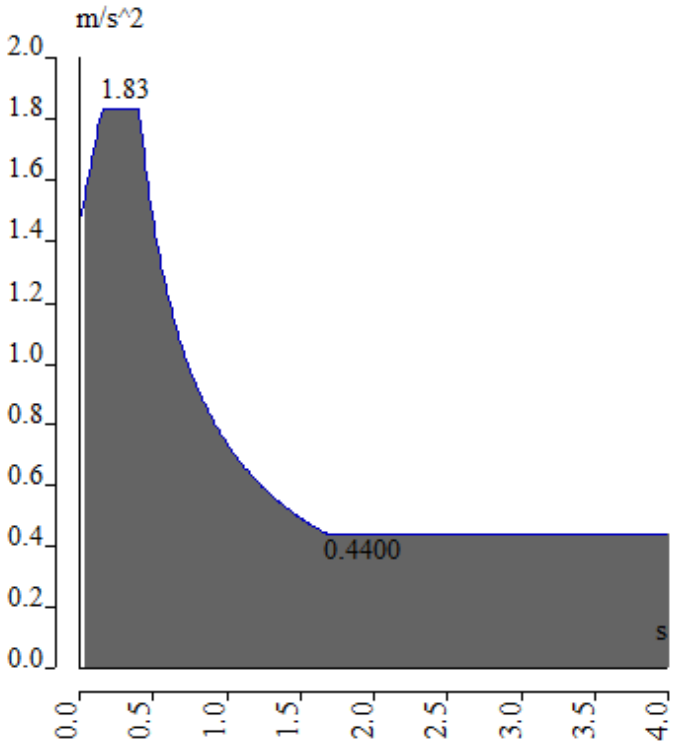
*Slika 11.14: Određivanje osnovnog faktora ponašanja*

$$q = q_0 \cdot k_w = 3{,}0 \cdot 1{,}0 = 3{,}0$$

⇒ Ulazni podaci za proračun:

| | |
|---|---|
| coeff accel. ag | 0,224 |
| ag - design ac... | 2,200 |
| q - behaviour f... | 3,000 |
| beta | 0,200 |
| S, Tb, Tc, Td m... | No |
| Subsoil type | A |
| Spectrum type | type 1 |
| Direction | Horizontal |
| Direction factor | 1 |
| S - soil factor | 1,000 |
| Tb | 0,150 |
| Tc | 0,400 |
| Td | 2,000 |

*Slika 11.15: Ulazni podaci za proračun na potres*




*Slika 11.16: Proračunski spektar ubrzanja za unesene podatke*

Na temelju ulaznih podataka i prostornog modela konstrukcije provedena je višemodalna analiza na način da je automatski generirana ukupna masa na temelju sudjelujućih masa od stalnog (vlastita težina plus dodatno stalno opterećenje) i pokretnog opterećenja (50% pokretnog opterećenja). Po provedenom proračunu dobiveni su rezultati modalne analize u vidu 100 vlastitih oblika konstrukcije, njima prirpadajući periodi te ukupna sudjelujuća masa po svakom smjeru. Kao što je prikazano u rezultatima dinamičke analize naknadno u tekstu nije aktivirano svih 90 % mase po pojedinom smjeru djelovanja potresnih sila. Stoga su sve potresne sile uvećane recipročno aktiviranoj masi (uključen je taj postupak kroz program i opciju „Missing mass in modes“).

Po dovršenoj modalnoj analizi napravljen je i linearni proračun za potresne kombinacije djelovanja na temelju čijih su rezultata dobivene mjerodavne sile za dimenzioniranje vertikalnih elemenata konstrukcije (zidova i stupova).

## 10.3. Rezultati dinamičke analize

**Prikaz aktivacije mase pri potresnom djelovanju**

### Calculation protocol

**Solution of Free Vibration**

| | |
|---|---|
| Number of 2D elements | 0 |
| Number of 3D elements | 11173 |
| Number of mesh nodes | 6953 |
| Number of equations | 41718 |
| Combination of mass groups | MC 1 CM1 |
| Number of frequencies | 500 |
| Method | Polynomial |
| Type of analysis model | Standard |
| Start of calculation | 09.07.2019 20:55 |
| End of calculation | 09.07.2019 22:51 |

**Sum of masses**

| [kg] | X | Y | Z |
|---|---|---|---|
| Combination of mass groups 1 | 39770565.03 | 39770565.03 | 39770565.03 |

**Modal participation factors**

| Mode | Omega [rad/s] | Period [s] | Freq. [Hz] | Wxi / Wxtot | Wyi / Wytot | Wzi / Wztot | Wxi_R / Wxtot_R | Wyi_R / Wytot_R | Wzi_R / Wztot_R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.3217 | 1.4539 | 0.6878 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0011 | 0.0000 | 0.0000 |
| 2 | 5.0308 | 1.2489 | 0.8007 | 0.0000 | 0.0020 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0027 |
| 3 | 5.0308 | 1.2489 | 0.8007 | 0.0000 | 0.0020 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0027 |
| 4 | 5.0308 | 1.2489 | 0.8007 | 0.0000 | 0.0020 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0030 |
| 5 | 5.0308 | 1.2489 | 0.8007 | 0.0000 | 0.0020 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0030 |
| 6 | 5.1534 | 1.2192 | 0.8202 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0012 | 0.0000 |
| 7 | 5.1534 | 1.2192 | 0.8202 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0014 | 0.0000 |
| 8 | 5.1534 | 1.2192 | 0.8202 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0006 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 | 5.9866 | 1.0495 | 0.9528 | 0.0004 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0041 |
| 10 | 6.2355 | 1.0076 | 0.9924 | 0.0005 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0038 |
| 11 | 6.2355 | 1.0076 | 0.9924 | 0.0005 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0039 |
| 12 | 6.2355 | 1.0076 | 0.9924 | 0.0005 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0042 |
| 13 | 7.6400 | 0.8224 | 1.2159 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0016 |
| 14 | 7.6400 | 0.8224 | 1.2159 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0016 |
| 15 | 7.6400 | 0.8224 | 1.2159 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0014 |
| 16 | 7.6400 | 0.8224 | 1.2159 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0014 |
| 17 | 7.8307 | 0.8024 | 1.2463 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 18 | 8.6051 | 0.7302 | 1.3695 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 19 | 8.6051 | 0.7302 | 1.3695 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 20 | 8.6051 | 0.7302 | 1.3695 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 21 | 9.3526 | 0.6718 | 1.4885 | 0.0000 | 0.0124 | 0.0000 | 0.0013 | 0.0000 | 0.0211 |
| 22 | 9.3895 | 0.6692 | 1.4944 | 0.0001 | 0.0145 | 0.0000 | 0.0023 | 0.0001 | 0.0218 |
| 23 | 9.6219 | 0.6530 | 1.5314 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0013 |
| 24 | 9.6219 | 0.6530 | 1.5314 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0015 |
| 25 | 9.6219 | 0.6530 | 1.5314 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0013 |
| 26 | 9.6219 | 0.6530 | 1.5314 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0015 |
| 27 | 10.2163 | 0.6150 | 1.6260 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 |
| 28 | 10.2478 | 0.6131 | 1.6310 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0013 |
| 29 | 10.4722 | 0.6000 | 1.6667 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 30 | 10.4840 | 0.5993 | 1.6686 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 31 | 10.5667 | 0.5945 | 1.6822 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 32 | 10.5730 | 0.5943 | 1.6828 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 |
| 33 | 10.6081 | 0.5923 | 1.6883 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 34 | 10.6151 | 0.5919 | 1.6894 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 35 | 10.6299 | 0.5911 | 1.6918 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 36 | 10.6320 | 0.5910 | 1.6921 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 37 | 10.6326 | 0.5909 | 1.6922 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 38 | 10.6328 | 0.5909 | 1.6923 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 39 | 11.2942 | 0.5563 | 1.7975 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 40 | 11.3429 | 0.5539 | 1.8053 | 0.0219 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0027 | 0.0195 |
| 41 | 12.1060 | 0.5190 | 1.9267 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 42 | 12.1881 | 0.5155 | 1.9398 | 0.0013 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0004 | 0.0002 |
| 43 | 12.4237 | 0.5057 | 1.9773 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 44 | 12.4681 | 0.5039 | 1.9844 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 45 | 12.4879 | 0.5031 | 1.9875 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 46 | 12.4879 | 0.5031 | 1.9875 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 47 | 12.4879 | 0.5031 | 1.9875 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 48 | 12.5622 | 0.5002 | 1.9993 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 49 | 12.5895 | 0.4991 | 2.0037 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 50 | 12.6382 | 0.4972 | 2.0114 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 51 | 12.6531 | 0.4966 | 2.0138 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 52 | 12.6808 | 0.4955 | 2.0182 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 53 | 12.6864 | 0.4953 | 2.0191 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 54 | 12.6993 | 0.4948 | 2.0212 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 55 | 12.7144 | 0.4942 | 2.0236 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 56 | 12.7177 | 0.4941 | 2.0241 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 57 | 12.7181 | 0.4940 | 2.0241 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |

| Mode | Omega [rad/s] | Period [s] | Freq. [Hz] | Wxi / Wxtot | Wyi / Wytot | Wzi / Wztot | Wxi_R / Wxtot_R | Wyi_R / Wytot_R | Wzi_R / Wztot_R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 58 | 12.7183 | 0.4940 | 2.0242 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 59 | 12.7195 | 0.4940 | 2.0244 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 60 | 12.7212 | 0.4939 | 2.0246 | 0.0012 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 |
| 61 | 12.7220 | 0.4939 | 2.0248 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 62 | 12.7222 | 0.4939 | 2.0248 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 63 | 12.7225 | 0.4939 | 2.0248 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 64 | 13.1321 | 0.4785 | 2.0900 | 0.0001 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0004 |
| 65 | 13.1645 | 0.4773 | 2.0952 | 0.0013 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0004 | 0.0002 |
| 66 | 14.0946 | 0.4458 | 2.2432 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0016 |
| 67 | 14.1023 | 0.4455 | 2.2444 | 0.0000 | 0.0050 | 0.0002 | 0.0021 | 0.0000 | 0.0001 |
| 68 | 14.1023 | 0.4455 | 2.2444 | 0.0000 | 0.0050 | 0.0002 | 0.0023 | 0.0000 | 0.0000 |
| 69 | 14.1113 | 0.4453 | 2.2459 | 0.0000 | 0.0031 | 0.0002 | 0.0014 | 0.0001 | 0.0012 |
| 70 | 14.1164 | 0.4451 | 2.2467 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0009 |
| 71 | 14.1169 | 0.4451 | 2.2468 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0004 |
| 72 | 14.1200 | 0.4450 | 2.2473 | 0.0000 | 0.0041 | 0.0002 | 0.0018 | 0.0000 | 0.0001 |
| 73 | 14.1210 | 0.4450 | 2.2474 | 0.0000 | 0.0024 | 0.0001 | 0.0011 | 0.0000 | 0.0002 |
| 74 | 14.1241 | 0.4449 | 2.2479 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 |
| 75 | 14.1247 | 0.4448 | 2.2480 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 76 | 14.1552 | 0.4439 | 2.2529 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0002 |
| 77 | 14.1662 | 0.4435 | 2.2546 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 78 | 14.1674 | 0.4435 | 2.2548 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 79 | 14.1775 | 0.4432 | 2.2564 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 80 | 14.1823 | 0.4430 | 2.2572 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 |
| 81 | 14.1889 | 0.4428 | 2.2582 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0016 |
| 82 | 14.1945 | 0.4426 | 2.2591 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 |
| 83 | 14.2009 | 0.4425 | 2.2601 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 84 | 14.2042 | 0.4423 | 2.2607 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 85 | 14.2067 | 0.4423 | 2.2611 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 86 | 14.2149 | 0.4420 | 2.2624 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 |
| 87 | 14.2844 | 0.4399 | 2.2734 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0016 | 0.0001 |
| 88 | 14.5462 | 0.4319 | 2.3151 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0016 |
| 89 | 15.1467 | 0.4148 | 2.4110 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0004 | 0.0006 | 0.0000 |
| 90 | 16.0653 | 0.3911 | 2.5569 | 0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0008 |
| 91 | 16.0653 | 0.3911 | 2.5569 | 0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0009 |
| 92 | 16.0653 | 0.3911 | 2.5569 | 0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0009 |
| 93 | 16.0653 | 0.3911 | 2.5569 | 0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0007 |
| 94 | 16.3721 | 0.3837 | 2.6059 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0002 | 0.0000 |
| 95 | 16.4179 | 0.3827 | 2.6130 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0010 |
| 96 | 17.7497 | 0.3540 | 2.8250 | 0.0001 | 0.0013 | 0.0008 | 0.0040 | 0.0012 | 0.0007 |
| 97 | 18.0829 | 0.3473 | 2.8852 | 0.0011 | 0.0061 | 0.0009 | 0.0129 | 0.0128 | 0.0042 |
| 98 | 18.1418 | 0.3463 | 2.8874 | 0.0007 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0008 |
| 99 | 18.4592 | 0.3404 | 2.9379 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0012 |
| 100 | 18.4592 | 0.3404 | 2.9379 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0012 |
| 101 | 18.4592 | 0.3404 | 2.9379 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0013 |
| 102 | 18.4592 | 0.3404 | 2.9379 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0013 |
| 103 | 18.6420 | 0.3370 | 2.9670 | 0.0009 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0004 |
| 104 | 18.7648 | 0.3348 | 2.9865 | 0.0001 | 0.0020 | 0.0052 | 0.0087 | 0.0022 | 0.0000 |
| 105 | 19.0566 | 0.3297 | 3.0329 | 0.0010 | 0.0019 | 0.0148 | 0.0159 | 0.0078 | 0.0019 |
| 106 | 19.4266 | 0.3234 | 3.0918 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0001 |
| 107 | 19.4907 | 0.3224 | 3.1020 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0039 |
| 108 | 19.6377 | 0.3200 | 3.1254 | 0.0059 | 0.0045 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2906 |
| 109 | 19.6474 | 0.3198 | 3.1270 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0013 |
| 110 | 19.6474 | 0.3198 | 3.1270 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0018 |
| 111 | 19.6474 | 0.3198 | 3.1270 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0020 |
| 112 | 20.8023 | 0.3020 | 3.3108 | 0.0001 | 0.0019 | 0.0040 | 0.0031 | 0.0055 | 0.0021 |
| 113 | 20.9064 | 0.3005 | 3.3274 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0052 | 0.0009 | 0.0100 | 0.0002 |
| 114 | 21.2755 | 0.2953 | 3.3861 | 0.0003 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0004 |
| 115 | 21.5060 | 0.2922 | 3.4228 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0015 | 0.0008 | 0.0027 | 0.0006 |
| 116 | 21.7765 | 0.2885 | 3.4658 | 0.0236 | 0.0094 | 0.0220 | 0.0084 | 0.0221 | 0.0000 |
| 117 | 22.0356 | 0.2851 | 3.5071 | 0.0005 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0004 |
| 118 | 22.0356 | 0.2851 | 3.5071 | 0.0005 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 |
| 119 | 22.0356 | 0.2851 | 3.5071 | 0.0005 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0007 |
| 120 | 22.2801 | 0.2820 | 3.5460 | 0.0062 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0018 | 0.0000 |
| 121 | 22.2809 | 0.2820 | 3.5461 | 0.0056 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0016 | 0.0001 |
| 122 | 22.2887 | 0.2819 | 3.5474 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0005 |
| 123 | 22.2921 | 0.2819 | 3.5479 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0004 |
| 124 | 22.3046 | 0.2817 | 3.5499 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0001 |
| 125 | 22.3162 | 0.2816 | 3.5517 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 |
| 126 | 22.3311 | 0.2814 | 3.5541 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 127 | 22.3353 | 0.2813 | 3.5548 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 |
| 128 | 22.3631 | 0.2810 | 3.5592 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 |
| 129 | 22.3940 | 0.2810 | 3.5593 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0007 |
| 130 | 22.3720 | 0.2809 | 3.5606 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0003 |
| 131 | 22.3949 | 0.2806 | 3.5643 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0013 |
| 132 | 22.4097 | 0.2804 | 3.5666 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0002 |
| 133 | 22.4430 | 0.2800 | 3.5719 | 0.0013 | 0.0000 | 0.0052 | 0.0001 | 0.0102 | 0.0000 |

| Mode | Omega [rad/s] | Period [s] | Freq. [Hz] | Wxi / Wxtot | Wyi / Wytot | Wzi / Wztot | Wxi_R / Wxtot_R | Wyi_R / Wytot_R | Wzi_R / Wztot_R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 134 | 22.4581 | 0.2798 | 3.5743 | 0.0019 | 0.0000 | 0.0254 | 0.0001 | 0.0347 | 0.0000 |
| 135 | 23.1222 | 0.2717 | 3.6800 | 0.1525 | 0.0649 | 0.0013 | 0.0019 | 0.0045 | 0.0000 |
| 136 | 23.7077 | 0.2650 | 3.7732 | 0.0002 | 0.0158 | 0.0058 | 0.0002 | 0.0091 | 0.0060 |
| 137 | 24.2504 | 0.2591 | 3.8596 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0015 |
| 138 | 24.4432 | 0.2571 | 3.8903 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0066 | 0.0019 | 0.0092 | 0.0002 |
| 139 | 24.5642 | 0.2558 | 3.9095 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0048 | 0.0026 | 0.0000 |
| 140 | 24.6250 | 0.2551 | 3.9669 | 0.0145 | 0.0052 | 0.0337 | 0.0150 | 0.0239 | 0.0021 |
| 141 | 25.2127 | 0.2492 | 4.0127 | 0.0013 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0012 |
| 142 | 25.2127 | 0.2492 | 4.0127 | 0.0013 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0012 |
| 143 | 25.2127 | 0.2492 | 4.0127 | 0.0013 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0010 |
| 144 | 25.2127 | 0.2492 | 4.0127 | 0.0013 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0010 |
| 145 | 25.4472 | 0.2469 | 4.0500 | 0.0000 | 0.0034 | 0.0495 | 0.0584 | 0.0012 | 0.0000 |
| 146 | 25.4491 | 0.2469 | 4.0504 | 0.0001 | 0.0025 | 0.0493 | 0.0384 | 0.0003 | 0.0000 |
| 147 | 25.6028 | 0.2454 | 4.0748 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0078 | 0.0003 |
| 148 | 25.6285 | 0.2452 | 4.0789 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0051 | 0.0001 |
| 149 | 25.7321 | 0.2442 | 4.0954 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0000 |
| 150 | 25.7810 | 0.2437 | 4.1032 | 0.0021 | 0.0007 | 0.0023 | 0.0019 | 0.0010 | 0.0000 |
| 151 | 25.8826 | 0.2428 | 4.1193 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0040 | 0.0046 | 0.0001 | 0.0000 |
| 152 | 25.9343 | 0.2423 | 4.1276 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0019 | 0.0013 | 0.0002 | 0.0000 |
| 153 | 25.9698 | 0.2419 | 4.1332 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0078 | 0.0005 | 0.0077 | 0.0000 |
| 154 | 26.0189 | 0.2415 | 4.1410 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0060 | 0.0004 | 0.0072 | 0.0000 |
| 155 | 26.4127 | 0.2379 | 4.2037 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0002 |
| 156 | 26.5172 | 0.2369 | 4.2203 | 0.0014 | 0.0019 | 0.0059 | 0.0003 | 0.0053 | 0.0001 |
| 157 | 26.6349 | 0.2359 | 4.2391 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0007 | 0.0002 | 0.0012 | 0.0000 |
| 158 | 26.6405 | 0.2359 | 4.2400 | 0.0013 | 0.0014 | 0.0013 | 0.0000 | 0.0031 | 0.0001 |
| 159 | 26.7234 | 0.2351 | 4.2532 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0004 | 0.0000 |
| 160 | 26.7816 | 0.2346 | 4.2624 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0000 |
| 161 | 26.9213 | 0.2334 | 4.2847 | 0.0019 | 0.0009 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0002 |
| 162 | 26.9407 | 0.2332 | 4.2880 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0019 | 0.0011 | 0.0025 | 0.0000 |
| 163 | 26.9984 | 0.2327 | 4.2969 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0000 |
| 164 | 27.1237 | 0.2316 | 4.3169 | 0.0018 | 0.0022 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 165 | 27.1490 | 0.2314 | 4.3209 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 |
| 166 | 27.2407 | 0.2307 | 4.3355 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 167 | 27.3303 | 0.2298 | 4.3513 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 |
| 168 | 27.3636 | 0.2296 | 4.3551 | 0.0005 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0003 |
| 169 | 27.5081 | 0.2284 | 4.3780 | 0.0001 | 0.0025 | 0.0032 | 0.0023 | 0.0001 | 0.0001 |
| 170 | 27.5109 | 0.2284 | 4.3785 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0035 | 0.0019 | 0.0000 | 0.0000 |
| 171 | 27.7306 | 0.2266 | 4.4087 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 172 | 27.7377 | 0.2265 | 4.4098 | 0.0020 | 0.0024 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0002 |
| 173 | 27.9605 | 0.2252 | 4.4405 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 |
| 174 | 27.9630 | 0.2248 | 4.4489 | 0.0006 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0001 |
| 175 | 28.0678 | 0.2239 | 4.4671 | 0.0053 | 0.0061 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 |
| 176 | 28.0733 | 0.2238 | 4.4680 | 0.0373 | 0.0401 | 0.0018 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0006 |
| 177 | 28.1617 | 0.2231 | 4.4821 | 0.0007 | 0.0009 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 178 | 28.1699 | 0.2231 | 4.4833 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 179 | 28.1911 | 0.2229 | 4.4868 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 |
| 180 | 28.2009 | 0.2228 | 4.4883 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0009 | 0.0000 |
| 181 | 28.2154 | 0.2227 | 4.4906 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0024 | 0.0015 | 0.0006 | 0.0000 |
| 182 | 28.2251 | 0.2226 | 4.4922 | 0.0002 | 0.0012 | 0.0082 | 0.0066 | 0.0000 | 0.0000 |
| 183 | 28.2390 | 0.2225 | 4.4944 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0095 | 0.0049 | 0.0012 | 0.0000 |
| 184 | 28.3708 | 0.2215 | 4.5153 | 0.0303 | 0.0109 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0002 | 0.1417 |
| 185 | 28.4467 | 0.2209 | 4.5274 | 0.0240 | 0.0335 | 0.0001 | 0.0013 | 0.0081 | 0.0206 |
| 186 | 28.4936 | 0.2205 | 4.5349 | 0.0062 | 0.0028 | 0.0059 | 0.0091 | 0.0018 | 0.0005 |
| 187 | 28.8895 | 0.2175 | 4.5979 | 0.0124 | 0.0140 | 0.0010 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 |
| 188 | 28.9655 | 0.2169 | 4.6100 | 0.0015 | 0.0017 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 |
| 189 | 28.9994 | 0.2167 | 4.6154 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0021 | 0.0003 | 0.0045 | 0.0002 |
| 190 | 29.0602 | 0.2162 | 4.6299 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0025 | 0.0002 | 0.0061 | 0.0000 |
| 191 | 29.1530 | 0.2155 | 4.6399 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0000 | 0.0024 | 0.0000 |
| 192 | 29.1628 | 0.2155 | 4.6414 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0001 | 0.0015 | 0.0000 |
| 193 | 29.4366 | 0.2134 | 4.6850 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 194 | 29.4609 | 0.2133 | 4.6889 | 0.0016 | 0.0002 | 0.0011 | 0.0026 | 0.0020 | 0.0035 |
| 195 | 29.4706 | 0.2132 | 4.6904 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0014 | 0.0026 | 0.0001 | 0.0000 |
| 196 | 29.4722 | 0.2132 | 4.6907 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0014 | 0.0032 | 0.0005 | 0.0001 |
| 197 | 29.4799 | 0.2131 | 4.6919 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 |
| 198 | 29.4884 | 0.2131 | 4.6932 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0029 | 0.0012 | 0.0000 |
| 199 | 29.4981 | 0.2130 | 4.6948 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 200 | 29.5011 | 0.2130 | 4.6952 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 201 | 29.5076 | 0.2129 | 4.6963 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 202 | 29.5157 | 0.2129 | 4.6976 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 203 | 29.5544 | 0.2126 | 4.7037 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 204 | 29.5632 | 0.2125 | 4.7051 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 205 | 29.5771 | 0.2125 | 4.7066 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0011 | 0.0006 | 0.0001 |
| 206 | 29.5771 | 0.2125 | 4.7066 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0009 | 0.0013 | 0.0001 | 0.0000 |
| 207 | 29.5774 | 0.2125 | 4.7066 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0014 | 0.0010 | 0.0000 | 0.0000 |
| 208 | 29.5779 | 0.2125 | 4.7067 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0009 | 0.0023 | 0.0002 | 0.0000 |
| 209 | 29.5934 | 0.2123 | 4.7099 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

| Mode | Omega [rad/s] | Period [s] | Freq. [Hz] | Wxl / Wxtot | Wyl / Wytot | Wzl / Wztot | Wxl_R / Wxtot_R | Wyl_R / Wytot_R | Wzl_R / Wztot_R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 210 | 29.5971 | 0.2123 | 4.7105 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 211 | 29.6219 | 0.2121 | 4.7145 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 212 | 29.6647 | 0.2118 | 4.7213 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0211 |
| 213 | 29.6727 | 0.2117 | 4.7226 | 0.0005 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0010 |
| 214 | 29.8007 | 0.2108 | 4.7429 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 215 | 29.8866 | 0.2102 | 4.7566 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 216 | 29.9163 | 0.2100 | 4.7613 | 0.0053 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0047 |
| 217 | 29.9442 | 0.2098 | 4.7658 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 218 | 29.9524 | 0.2098 | 4.7671 | 0.0363 | 0.0002 | 0.0013 | 0.0015 | 0.0013 | 0.0525 |
| 219 | 30.0962 | 0.2088 | 4.7900 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0018 | 0.0007 | 0.0028 | 0.0000 |
| 220 | 30.2427 | 0.2078 | 4.8133 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 221 | 30.3102 | 0.2073 | 4.8240 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 |
| 222 | 30.3595 | 0.2070 | 4.8319 | 0.0002 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 223 | 30.5476 | 0.2057 | 4.8618 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 224 | 30.7103 | 0.2046 | 4.8877 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 225 | 30.9836 | 0.2028 | 4.9312 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 |
| 226 | 31.1004 | 0.2020 | 4.9498 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0027 | 0.0015 | 0.0011 | 0.0002 |
| 227 | 31.1300 | 0.2018 | 4.9545 | 0.0018 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0001 |
| 228 | 31.4714 | 0.1996 | 5.0088 | 0.0226 | 0.0863 | 0.0056 | 0.0041 | 0.0000 | 0.0057 |
| 229 | 31.7884 | 0.1977 | 5.0593 | 0.0016 | 0.0010 | 0.0027 | 0.0018 | 0.0051 | 0.0012 |
| 230 | 32.0868 | 0.1958 | 5.1068 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 231 | 32.0876 | 0.1958 | 5.1069 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 232 | 32.0925 | 0.1958 | 5.1077 | 0.0002 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 233 | 32.0950 | 0.1958 | 5.1081 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0000 |
| 234 | 32.0950 | 0.1958 | 5.1081 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0008 | 0.0000 |
| 235 | 32.0950 | 0.1958 | 5.1081 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0000 |
| 236 | 32.1320 | 0.1955 | 5.1140 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 237 | 32.1407 | 0.1955 | 5.1153 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 238 | 32.1752 | 0.1953 | 5.1208 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 239 | 32.1771 | 0.1953 | 5.1212 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 240 | 32.1777 | 0.1953 | 5.1212 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 241 | 32.1968 | 0.1951 | 5.1243 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 242 | 32.1971 | 0.1951 | 5.1243 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 243 | 32.1980 | 0.1951 | 5.1245 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 244 | 32.1981 | 0.1951 | 5.1245 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 245 | 32.2598 | 0.1948 | 5.1343 | 0.0067 | 0.0118 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0053 |
| 246 | 33.0526 | 0.1901 | 5.2605 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0008 | 0.0022 | 0.0000 | 0.0000 |
| 247 | 33.2263 | 0.1891 | 5.2881 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0018 | 0.0005 | 0.0001 |
| 248 | 33.2264 | 0.1891 | 5.2881 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0020 | 0.0000 | 0.0000 |
| 249 | 33.3409 | 0.1885 | 5.3064 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0001 | 0.0025 | 0.0000 |
| 250 | 33.3415 | 0.1884 | 5.3065 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0041 | 0.0000 |
| 251 | 33.3416 | 0.1884 | 5.3065 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0000 |
| 252 | 33.3418 | 0.1884 | 5.3065 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 253 | 33.3431 | 0.1884 | 5.3067 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0008 | 0.0025 | 0.0005 | 0.0001 |
| 254 | 33.3435 | 0.1884 | 5.3068 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0010 | 0.0028 | 0.0001 | 0.0000 |
| 255 | 33.3436 | 0.1884 | 5.3068 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0019 | 0.0003 | 0.0000 |
| 256 | 33.3438 | 0.1884 | 5.3068 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0016 | 0.0002 | 0.0000 |
| 257 | 33.3438 | 0.1884 | 5.3068 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0015 | 0.0001 | 0.0000 |
| 258 | 33.3438 | 0.1884 | 5.3068 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0009 | 0.0002 | 0.0000 |
| 259 | 33.3649 | 0.1883 | 5.3102 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0012 | 0.0018 | 0.0000 |
| 260 | 33.3649 | 0.1883 | 5.3102 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0012 | 0.0020 | 0.0000 |
| 261 | 33.3649 | 0.1883 | 5.3102 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0019 | 0.0000 | 0.0000 |
| 262 | 33.3699 | 0.1883 | 5.3110 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0005 | 0.0005 |
| 263 | 33.5813 | 0.1871 | 5.3446 | 0.0002 | 0.0013 | 0.0047 | 0.0031 | 0.0063 | 0.0001 |
| 264 | 34.7240 | 0.1809 | 5.5265 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0007 | 0.0001 | 0.0000 |
| 265 | 34.7399 | 0.1809 | 5.5290 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0003 | 0.0000 |
| 266 | 34.9071 | 0.1800 | 5.5556 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0014 | 0.0011 | 0.0011 | 0.0002 |
| 267 | 35.0029 | 0.1795 | 5.5709 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0023 | 0.0000 |
| 268 | 35.0849 | 0.1791 | 5.5839 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 |
| 269 | 35.1087 | 0.1790 | 5.5877 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 270 | 35.3139 | 0.1779 | 5.6204 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 271 | 35.3142 | 0.1779 | 5.6204 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 272 | 35.3693 | 0.1776 | 5.6292 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 273 | 35.4087 | 0.1774 | 5.6355 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 274 | 35.4087 | 0.1774 | 5.6355 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 275 | 35.4087 | 0.1774 | 5.6355 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 276 | 35.4383 | 0.1773 | 5.6402 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 277 | 35.4383 | 0.1773 | 5.6402 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 278 | 35.4384 | 0.1773 | 5.6402 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 279 | 35.4384 | 0.1773 | 5.6402 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 280 | 35.4385 | 0.1773 | 5.6402 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 281 | 35.4385 | 0.1773 | 5.6402 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 282 | 35.4387 | 0.1773 | 5.6403 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 283 | 35.4388 | 0.1773 | 5.6403 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 284 | 35.4388 | 0.1773 | 5.6403 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 285 | 35.4389 | 0.1773 | 5.6403 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

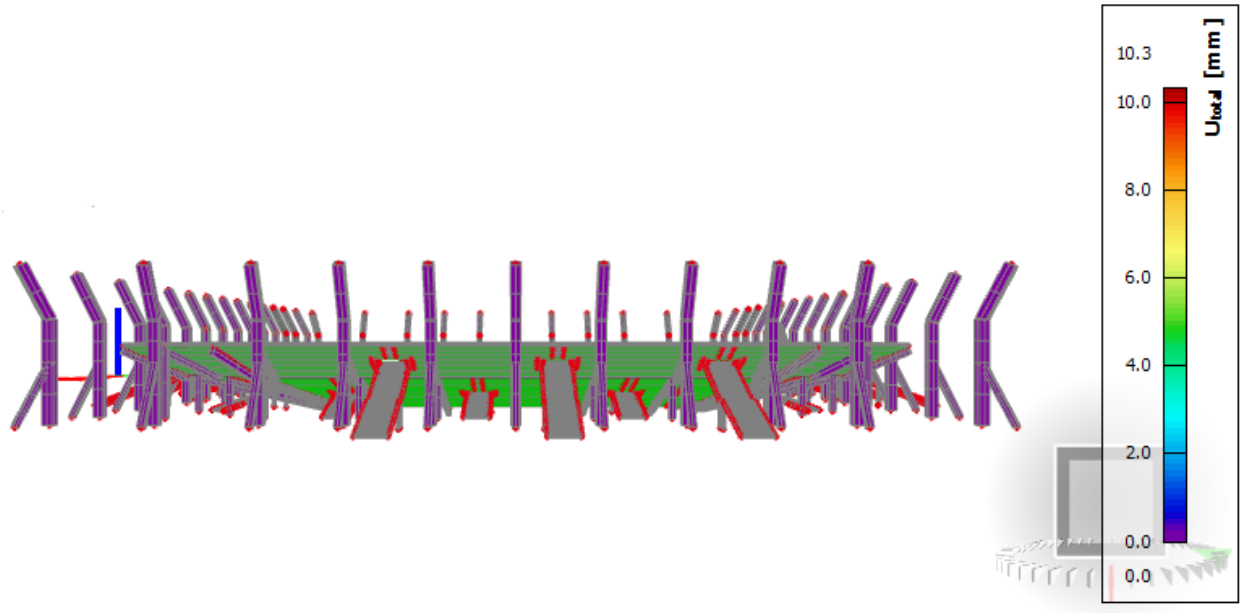
| Mode | Omega [rad/s] | Period [s] | Freq. [Hz] | Wxi / Wxtot | Wyi / Wytot | Wzi / Wztot | Wxi_R / Wxtot_R | Wyi_R / Wytot_R | Wzi_R / Wztot_R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 286 | 35.6316 | 0.1763 | 5.6709 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0040 | 0.0000 | 0.0000 |
| 287 | 35.7355 | 0.1758 | 5.6875 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0027 | 0.0003 | 0.0025 | 0.0000 |
| 288 | 36.3851 | 0.1727 | 5.7909 | 0.0105 | 0.0006 | 0.0011 | 0.0035 | 0.0160 | 0.0006 |
| 289 | 36.4116 | 0.1726 | 5.7951 | 0.0124 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0174 | 0.0008 |
| 290 | 36.4486 | 0.1724 | 5.8010 | 0.0246 | 0.0036 | 0.0003 | 0.0050 | 0.0000 | 0.0002 |
| 291 | 36.6363 | 0.1715 | 5.8309 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0066 | 0.0017 | 0.0014 | 0.0000 |
| 292 | 37.2434 | 0.1687 | 5.9275 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 293 | 37.2434 | 0.1687 | 5.9275 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 294 | 37.2438 | 0.1687 | 5.9275 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 295 | 37.2635 | 0.1686 | 5.9307 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0009 | 0.0010 | 0.0005 | 0.0000 |
| 296 | 37.3228 | 0.1683 | 5.9401 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0003 | 0.0000 |
| 297 | 37.8230 | 0.1661 | 6.0197 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0107 | 0.0039 | 0.0000 | 0.0000 |
| 298 | 37.8713 | 0.1659 | 6.0274 | 0.0009 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0012 |
| 299 | 37.8956 | 0.1658 | 6.0313 | 0.0002 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0120 | 0.0002 |
| 300 | 38.1753 | 0.1646 | 6.0755 | 0.0139 | 0.0013 | 0.0067 | 0.0013 | 0.0032 | 0.0003 |
| 301 | 38.3489 | 0.1638 | 6.1034 | 0.0005 | 0.0026 | 0.0009 | 0.0040 | 0.0079 | 0.0047 |
| 302 | 38.7101 | 0.1623 | 6.1609 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0025 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0003 |
| 303 | 39.1445 | 0.1605 | 6.2300 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0025 | 0.0000 | 0.0224 | 0.0002 |
| 304 | 39.6366 | 0.1585 | 6.3084 | 0.0115 | 0.0038 | 0.0038 | 0.0036 | 0.0000 | 0.0010 |
| 305 | 40.0819 | 0.1568 | 6.3792 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0004 | 0.0017 | 0.0000 |
| 306 | 40.8885 | 0.1537 | 6.5076 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 307 | 41.2869 | 0.1521 | 6.5726 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 |
| 308 | 41.5728 | 0.1511 | 6.6185 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 |
| 309 | 41.7310 | 0.1506 | 6.6417 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 |
| 310 | 41.8816 | 0.1500 | 6.6657 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0048 |
| 311 | 41.9697 | 0.1497 | 6.6797 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0026 | 0.0004 | 0.0056 | 0.0002 |
| 312 | 42.1955 | 0.1489 | 6.7156 | 0.0001 | 0.0015 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0054 |
| 313 | 42.2066 | 0.1489 | 6.7174 | 0.0002 | 0.0024 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0041 |
| 314 | 42.2758 | 0.1486 | 6.7284 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 |
| 315 | 42.3096 | 0.1485 | 6.7338 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 316 | 42.3147 | 0.1485 | 6.7346 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0009 |
| 317 | 42.3496 | 0.1484 | 6.7401 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0004 |
| 318 | 42.4086 | 0.1482 | 6.7495 | 0.0010 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0009 |
| 319 | 42.4161 | 0.1481 | 6.7539 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 |
| 320 | 42.4973 | 0.1478 | 6.7636 | 0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0014 |
| 321 | 42.4992 | 0.1478 | 6.7640 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0004 |
| 322 | 42.5507 | 0.1478 | 6.7642 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0005 |
| 323 | 42.5897 | 0.1477 | 6.7784 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0024 |
| 324 | 42.9156 | 0.1463 | 6.8334 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0040 | 0.0032 | 0.0093 | 0.0000 |
| 325 | 42.9960 | 0.1461 | 6.8434 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0000 | 0.0123 | 0.0000 |
| 326 | 43.2840 | 0.1452 | 6.8889 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 |
| 327 | 43.8182 | 0.1434 | 6.9739 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0002 |
| 328 | 43.9109 | 0.1431 | 6.9886 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0000 |
| 329 | 44.0197 | 0.1427 | 7.0060 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 330 | 44.0321 | 0.1427 | 7.0063 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 331 | 44.0276 | 0.1427 | 7.0072 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0002 | 0.0010 | 0.0004 |
| 332 | 44.7896 | 0.1403 | 7.1285 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 333 | 44.8371 | 0.1401 | 7.1360 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 334 | 44.8464 | 0.1401 | 7.1375 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 335 | 45.0441 | 0.1395 | 7.1690 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0007 | 0.0000 |
| 336 | 45.1709 | 0.1391 | 7.1892 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 337 | 45.9474 | 0.1367 | 7.3128 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0014 | 0.0003 | 0.0016 | 0.0003 |
| 338 | 46.1376 | 0.1362 | 7.3430 | 0.0005 | 0.0011 | 0.0010 | 0.0018 | 0.0003 | 0.0000 |
| 339 | 46.2016 | 0.1360 | 7.3532 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0002 | 0.0016 | 0.0000 |
| 340 | 46.4098 | 0.1354 | 7.3864 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0025 | 0.0000 | 0.0028 | 0.0000 |
| 341 | 46.4200 | 0.1354 | 7.3880 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0018 | 0.0001 | 0.0000 |
| 342 | 46.5073 | 0.1351 | 7.4019 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0053 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0000 |
| 343 | 46.5877 | 0.1349 | 7.4147 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0052 | 0.0104 | 0.0001 | 0.0000 |
| 344 | 46.6540 | 0.1347 | 7.4252 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0009 |
| 345 | 46.8213 | 0.1342 | 7.4518 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0003 |
| 346 | 47.0173 | 0.1336 | 7.4830 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 347 | 47.2522 | 0.1330 | 7.5204 | 0.0024 | 0.0002 | 0.0006 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0007 |
| 348 | 47.2868 | 0.1329 | 7.5259 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0013 | 0.0000 |
| 349 | 47.3760 | 0.1326 | 7.5401 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 350 | 47.3910 | 0.1326 | 7.5425 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 351 | 47.4075 | 0.1325 | 7.5451 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 352 | 47.4147 | 0.1325 | 7.5479 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0021 | 0.0000 |
| 353 | 47.4149 | 0.1325 | 7.5479 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0010 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 |
| 354 | 47.5625 | 0.1321 | 7.5668 | 0.0007 | 0.0004 | 0.0006 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 355 | 47.5807 | 0.1321 | 7.5710 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0003 | 0.0012 | 0.0000 |
| 356 | 47.6060 | 0.1320 | 7.5767 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 |
| 357 | 47.6565 | 0.1317 | 7.5911 | 0.0003 | 0.0007 | 0.0045 | 0.0019 | 0.0004 | 0.0001 |
| 358 | 47.7218 | 0.1317 | 7.5952 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0001 |
| 359 | 47.9140 | 0.1311 | 7.6289 | 0.0012 | 0.0007 | 0.0005 | 0.0050 | 0.0033 | 0.0000 |
| 360 | 48.0037 | 0.1309 | 7.6400 | 0.0013 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0013 | 0.0009 | 0.0000 |
| 361 | 48.0420 | 0.1308 | 7.6461 | 0.0006 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0000 |

| Mode | Omega [rad/s] | Period [s] | Freq. [Hz] | Wxi / Wxtot | Wyi / Wytot | Wzi / Wztot | Wxi_R / Wxtot_R | Wyi_R / Wytot_R | Wzi_R / Wztot_R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 362 | 48.3686 | 0.1299 | 7.6981 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 363 | 48.5223 | 0.1295 | 7.7226 | 0.0003 | 0.0005 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 364 | 48.5448 | 0.1294 | 7.7262 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0011 |
| 365 | 48.5448 | 0.1294 | 7.7262 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0015 |
| 366 | 48.5448 | 0.1294 | 7.7262 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0017 |
| 367 | 48.5682 | 0.1294 | 7.7299 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0000 |
| 368 | 48.6044 | 0.1293 | 7.7356 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 |
| 369 | 48.8647 | 0.1286 | 7.7771 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0004 |
| 370 | 48.9804 | 0.1283 | 7.7955 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0019 | 0.0005 |
| 371 | 49.1294 | 0.1279 | 7.8192 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 |
| 372 | 49.3568 | 0.1273 | 7.8555 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 |
| 373 | 49.3448 | 0.1273 | 7.8535 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 |
| 374 | 49.8590 | 0.1260 | 7.9353 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0012 |
| 375 | 49.9680 | 0.1257 | 7.9527 | 0.0007 | 0.0004 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0025 |
| 376 | 50.3477 | 0.1248 | 8.0131 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 |
| 377 | 50.4012 | 0.1247 | 8.0216 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0003 |
| 378 | 50.6174 | 0.1241 | 8.0560 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 |
| 379 | 50.6503 | 0.1241 | 8.0613 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 |
| 380 | 50.9570 | 0.1233 | 8.1101 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0000 |
| 381 | 51.0554 | 0.1231 | 8.1257 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 382 | 51.4174 | 0.1222 | 8.1833 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 383 | 51.5445 | 0.1219 | 8.2036 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 384 | 51.5578 | 0.1219 | 8.2057 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 385 | 51.6887 | 0.1217 | 8.2138 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 386 | 51.6788 | 0.1216 | 8.2249 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0000 |
| 387 | 51.8086 | 0.1213 | 8.2456 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0059 | 0.0041 | 0.0032 | 0.0002 |
| 388 | 51.8690 | 0.1211 | 8.2552 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 389 | 51.8790 | 0.1211 | 8.2568 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0061 | 0.0128 | 0.0016 | 0.0002 |
| 390 | 51.9255 | 0.1210 | 8.2642 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0011 |
| 391 | 52.0120 | 0.1208 | 8.2780 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0036 | 0.0070 | 0.0007 | 0.0001 |
| 392 | 52.0910 | 0.1206 | 8.2905 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 |
| 393 | 52.1524 | 0.1205 | 8.3003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 |
| 394 | 52.2196 | 0.1203 | 8.3110 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 |
| 395 | 52.4851 | 0.1198 | 8.3501 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0032 | 0.0049 | 0.0020 | 0.0003 |
| 396 | 52.4837 | 0.1197 | 8.3530 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 397 | 52.7808 | 0.1190 | 8.4003 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 398 | 52.9193 | 0.1187 | 8.4224 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 399 | 52.9322 | 0.1187 | 8.4244 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 400 | 53.1541 | 0.1182 | 8.4597 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0009 | 0.0000 |
| 401 | 53.3418 | 0.1178 | 8.5214 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 402 | 53.7480 | 0.1169 | 8.5543 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 |
| 403 | 54.1531 | 0.1160 | 8.6187 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 404 | 54.3680 | 0.1156 | 8.6529 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0000 |
| 405 | 54.4620 | 0.1154 | 8.6679 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 406 | 54.4724 | 0.1153 | 8.6696 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 407 | 54.6288 | 0.1150 | 8.6944 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0000 |
| 408 | 54.7283 | 0.1148 | 8.7103 | 0.0003 | 0.0007 | 0.0003 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0000 |
| 409 | 54.8085 | 0.1146 | 8.7230 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0005 | 0.0011 |
| 410 | 54.8085 | 0.1146 | 8.7230 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0005 | 0.0012 |
| 411 | 54.8085 | 0.1146 | 8.7230 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0003 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0011 |
| 412 | 54.8085 | 0.1146 | 8.7230 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0003 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0012 |
| 413 | 54.8666 | 0.1145 | 8.7323 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 |
| 414 | 54.9723 | 0.1143 | 8.7491 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 |
| 415 | 55.0325 | 0.1142 | 8.7587 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0010 | 0.0000 | 0.0000 |
| 416 | 55.1260 | 0.1140 | 8.7736 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0001 |
| 417 | 55.2948 | 0.1136 | 8.8004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 418 | 55.3230 | 0.1136 | 8.8049 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 419 | 55.3317 | 0.1136 | 8.8063 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 420 | 55.3436 | 0.1135 | 8.8082 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 421 | 55.5805 | 0.1130 | 8.8475 | 0.0002 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 422 | 55.6265 | 0.1130 | 8.8532 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 423 | 55.6729 | 0.1129 | 8.8606 | 0.0002 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 424 | 55.8175 | 0.1126 | 8.8836 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 425 | 55.8242 | 0.1126 | 8.8847 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 426 | 56.5896 | 0.1110 | 9.0065 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 |
| 427 | 56.6367 | 0.1109 | 9.0140 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 428 | 56.7461 | 0.1107 | 9.0314 | 0.0008 | 0.0004 | 0.0002 | 0.0008 | 0.0005 | 0.0000 |
| 429 | 56.8252 | 0.1106 | 9.0440 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0008 |
| 430 | 56.9346 | 0.1104 | 9.0614 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 |
| 431 | 56.9925 | 0.1103 | 9.0706 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 |
| 432 | 57.0362 | 0.1102 | 9.0776 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 433 | 57.0410 | 0.1102 | 9.0784 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| 434 | 57.0457 | 0.1101 | 9.0791 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 435 | 57.0558 | 0.1101 | 9.0807 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 436 | 57.1592 | 0.1099 | 9.0972 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 437 | 57.1707 | 0.1099 | 9.0990 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

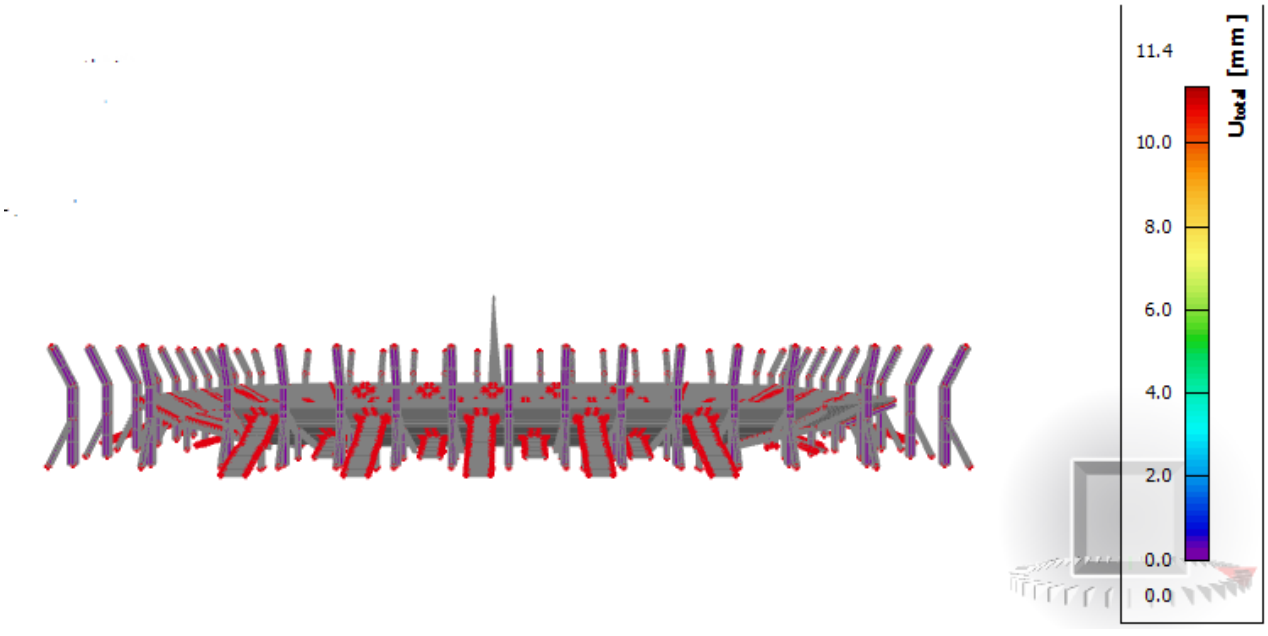
| Mode | Omega [rad/s] | Period [s] | Freq. [Hz] | Wxi / Wxtot | Wyi / Wytot | Wzi / Wztot | Wxi_R / Wxtot_R | Wyi_R / Wytot_R | Wzi_R / Wztot_R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 438 | 57.1846 | 0.1099 | 9.1012 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 439 | 57.2073 | 0.1098 | 9.1048 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 440 | 57.2444 | 0.1098 | 9.1107 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0000 |
| 441 | 57.4821 | 0.1093 | 9.1486 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0009 | 0.0012 | 0.0003 | 0.0000 |
| 442 | 57.4842 | 0.1093 | 9.1585 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0013 | 0.0003 | 0.0000 |
| 443 | 57.5015 | 0.1093 | 9.1517 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0011 | 0.0002 | 0.0000 |
| 444 | 57.5176 | 0.1092 | 9.1542 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0008 | 0.0013 | 0.0001 | 0.0000 |
| 445 | 57.5343 | 0.1092 | 9.1553 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 446 | 57.5418 | 0.1092 | 9.1581 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 447 | 57.5762 | 0.1091 | 9.1635 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0003 | 0.0000 |
| 448 | 57.5812 | 0.1091 | 9.1643 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 |
| 449 | 57.7387 | 0.1088 | 9.1894 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 |
| 450 | 57.8249 | 0.1087 | 9.2031 | 0.0022 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0019 | 0.0025 | 0.0000 |
| 451 | 58.0965 | 0.1082 | 9.2463 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0007 |
| 452 | 58.2365 | 0.1079 | 9.2686 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 453 | 58.3491 | 0.1077 | 9.2865 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0003 |
| 454 | 58.3754 | 0.1076 | 9.2907 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0002 |
| 455 | 58.7203 | 0.1070 | 9.3456 | 0.0001 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0001 |
| 456 | 58.7393 | 0.1070 | 9.3487 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 457 | 58.7785 | 0.1069 | 9.3549 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 |
| 458 | 58.8538 | 0.1068 | 9.3667 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0002 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0001 |
| 459 | 59.0565 | 0.1064 | 9.3991 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0036 | 0.0013 | 0.0075 | 0.0004 |
| 460 | 59.4735 | 0.1056 | 9.4655 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0024 | 0.0001 |
| 461 | 60.2891 | 0.1042 | 9.5953 | 0.0007 | 0.0006 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0000 |
| 462 | 60.2891 | 0.1042 | 9.5953 | 0.0007 | 0.0006 | 0.0003 | 0.0009 | 0.0006 | 0.0000 |
| 463 | 60.2891 | 0.1042 | 9.5953 | 0.0007 | 0.0006 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0000 |
| 464 | 60.3776 | 0.1041 | 9.6094 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 465 | 61.2112 | 0.1026 | 9.7421 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 466 | 61.4150 | 0.1023 | 9.7745 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 467 | 61.7425 | 0.1018 | 9.8256 | 0.0008 | 0.0005 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0000 |
| 468 | 62.0722 | 0.1012 | 9.8781 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0000 |
| 469 | 62.1742 | 0.1011 | 9.8953 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0009 | 0.0002 | 0.0007 | 0.0000 |
| 470 | 62.2400 | 0.1010 | 9.9058 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 |
| 471 | 62.4847 | 0.1007 | 9.9330 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 472 | 62.4382 | 0.1006 | 9.9373 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 473 | 62.6386 | 0.1003 | 9.9692 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 474 | 62.8469 | 0.1000 | 10.0029 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 475 | 62.8569 | 0.1000 | 10.0040 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 476 | 62.8841 | 0.0999 | 10.0083 | 0.0013 | 0.0013 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0028 |
| 477 | 62.9800 | 0.0998 | 10.0236 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 478 | 63.1166 | 0.0995 | 10.0453 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 479 | 63.1794 | 0.0994 | 10.0553 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 480 | 63.2246 | 0.0994 | 10.0625 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 481 | 63.2674 | 0.0993 | 10.0693 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 |
| 482 | 63.3709 | 0.0991 | 10.0858 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 483 | 63.4478 | 0.0990 | 10.0980 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 484 | 63.5273 | 0.0989 | 10.1107 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 485 | 63.6321 | 0.0987 | 10.1274 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 486 | 63.6648 | 0.0987 | 10.1326 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 487 | 63.7353 | 0.0986 | 10.1438 | 0.0014 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0022 |
| 488 | 63.7470 | 0.0986 | 10.1456 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 489 | 63.8559 | 0.0984 | 10.1630 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0016 | 0.0001 |
| 490 | 64.3803 | 0.0976 | 10.2464 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0000 |
| 491 | 64.4135 | 0.0975 | 10.2517 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 |
| 492 | 64.4243 | 0.0975 | 10.2534 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0005 | 0.0002 | 0.0001 |
| 493 | 64.4552 | 0.0975 | 10.2584 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0000 |
| 494 | 64.4558 | 0.0975 | 10.2585 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 495 | 64.4950 | 0.0974 | 10.2648 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 496 | 64.6444 | 0.0972 | 10.2885 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0001 |
| 497 | 64.6873 | 0.0971 | 10.2960 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 |
| 498 | 64.7862 | 0.0970 | 10.3079 | 0.0017 | 0.0004 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0010 |
| 499 | 64.7966 | 0.0970 | 10.3127 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0006 |
| 500 | 64.8590 | 0.0969 | 10.3226 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |
| | | | | 0.6287 | 0.4907 | 0.5086 | 0.4361 | 0.4632 | 0.7969 |

Uočavamo kako nije aktivirano 90 % mase u niti jednom smjeru. U x smjeru je aktivirano 62.87 % mase, a u y smjeru 49.03 % mase. Stoga je potrebno sve rezne sile od potresnih kombinacija uvaćati u odnosu postotka aktivirane mase tj. za x smjer za vrijednost 1/0.6287=1,591, a za y smjer za vrijednost 1/0.4903=2.44 Ovdje je to napravljeno na način da je u programu uključena opcija Missing mass in modes koja automatski uvećava sve sile na gore opisani način.

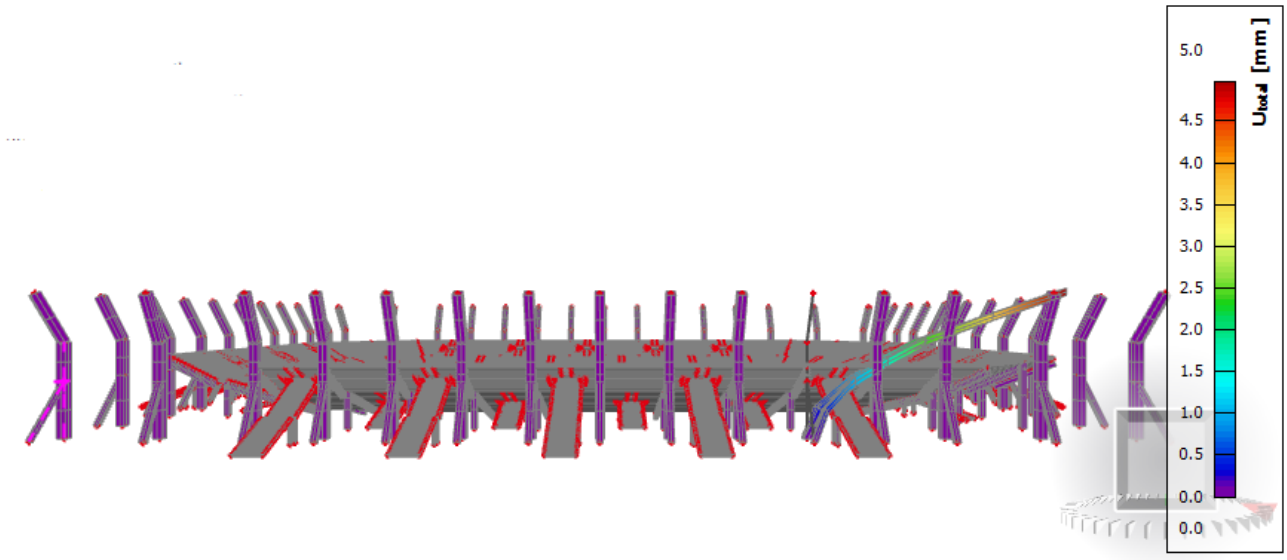
## 11.4. Prikaz prva tri vlastita vektora




*Slika 11.1: 1. mod translacija u smjeru globalne osi x*




*Slika 11.2: .2. mod translacija u smjeru globalne osi y*




*Slika 11.3:. 3. mod torzija oko globalne osi z*

# 12. PRORAČUN VERTIKALNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE

## 12.1. Proračun stupova

Stupovi su u modelu modelirani kao 1D štapni elementi. Prostorni model je proračunat na uobičajene i izvanredne kombinacije iz kojih su izvučene maksimalne rezne sile. Razlikujemo četiri pozicije stupova u modelu. Stupovi se izvode po segmentima kao prefabricirani polumontažni elementi koji se povezuju prilikom montaže na licu mjesta (slučaj kod stupova pozicije S2) dok se stupovi pozicija S1,S3 i S4 montiraju kao montažni elementi.

Unutarnji stupovi pozicije S1 na koje se oslanja donji prsten tribina stadiona imaju visinu 7.0 m te kvadratni poprečni presjek dimenzija 100x100 cm. Dimenzionirani su na uobičajenu i izvanrednu kombinaciju. Iznimno kao pozicija S1a su tri stupa visine 12 m koji se nalaze na krajnjim dijelovima stadiona.

Vanjski stupovi pozicije S2 na koje se oslanja gornji prsten tribina stadiona i krovna konstrukcija nadstrešnice stadiona imaju složenu geometriju. Sastoje se od uspravnog dijela stupa (okomit na podlogu) dimenzija pravokutnog poprečnog presjeka 100x200 cm, od izlomljenog djela pri vrhu stupa ukupne duljine 8.94 m koji je zadan zbog zahtjeva većeg nagiba sajle koje pridržavaju nadstrešnicu a sve kako bi se izbjeglo dodatno povećavanje visine stupa. Dimenzija pravokutnog poprečnog presjeka je 100x200 cm. Krak stupa koji se na visini od 12 m oslanja na uspravni dio stupa ima dimenzije pravokutnog poprečnog presjeka 80x100 cm ukupne visine 10.57 m. Svi dijelovi stupa pozicije S2 dimenzionirani su na uobičajenu i izvanrednu kombinaciju opterećenja.

Stupovi pozicije S3 su elementi konstrukcije koji su postavljeni na mjestima oslanjanja podesta vanjskih stubišta donjeg prstena stadiona te imaju kvadratni poprečni presjek dimenzija 50x50 cm a visine su 3.39 m , dimenzionirani su na uobičajenu i izvanrednu kombinaciju.

Stupovi pozicije S4 su elementi konstrukcije koji su postavljeni na mjestima oslanjanja podesta vanjskih stubišta gornjeg prstena stadiona te imaju kvadratni poprečni presjek dimenzija 50x50 cm a visine su 4 m , dimenzionirani su na uobičajenu i izvanrednu kombinaciju.

AB stupovi su svi napravljeni od betona C 35/45 te armirani armaturom B500B. Zaštitni sloj betona do armature iznosi 3,5 cm.

Proračun stupova proveden je pomoću programskog paketa AspalathosSectionDesign. Pretpostavljena je armatura u stupu te je za nekoliko različitih profila armaturnih šipki izračunata granična nosivost stupa za zadani poprečni presjek i odabranu armaturu. Potom je u programu Microsoft Excel napravljen dijagram nosivosti stupa sa podacima dobivenim iz SectionDesigna. Nanošenjem maksimalnih reznih sila (kombinacija M i N) na graf nosivosti utvrđeno je koji profil armature zadovoljava.

Pri proračunu je u obzir uzet i utjecaj vitkosti stupa približnim postupkom prema EC-2 na način da su dobiveni momenti iz modela uvećani za određenu vrijednost $\psi$.

$$C35/45 \rightarrow E = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 32\ GPa$$

$$E_\varphi = \frac{E}{1 + \varphi}$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\varphi \cdot I}{l_i^2}$$

$$\psi = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_e}}$$

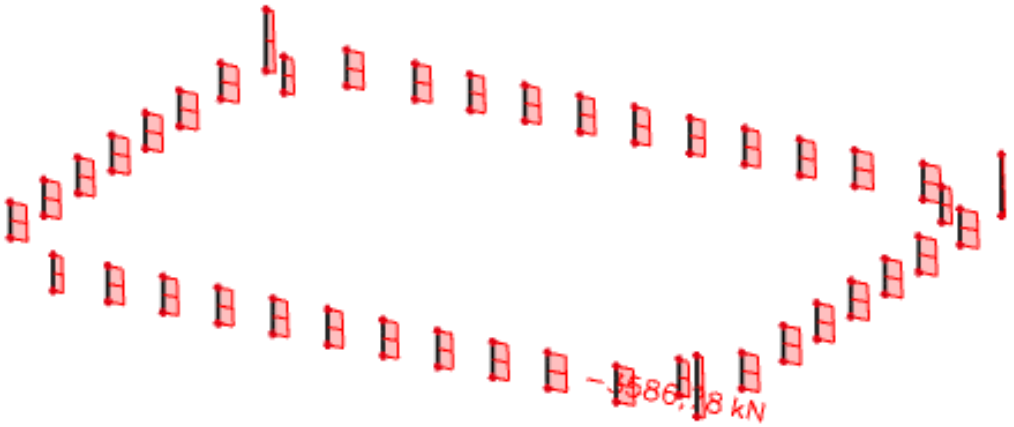
$$M_{računski} = \psi \cdot M_{očitani}$$

### *12.1.1. Proračun stupova pozicije S1( unutarnji stupovi na koje se oslanja donji prsten tribina)*

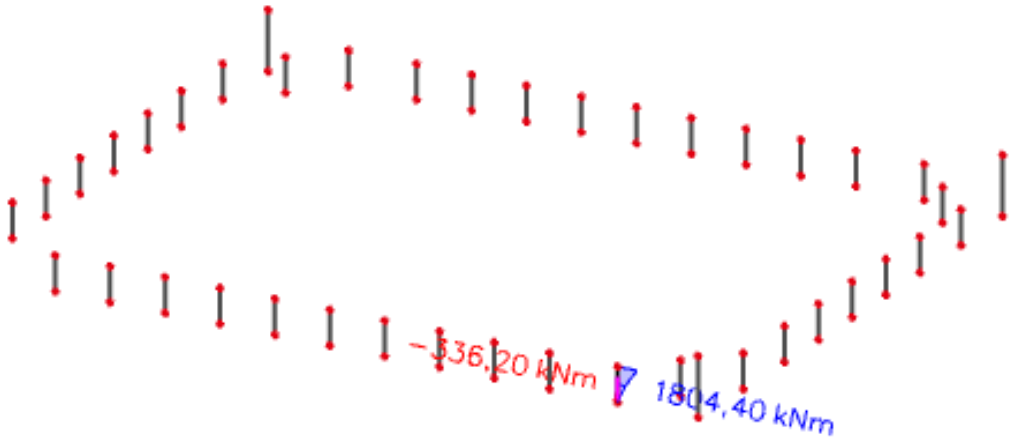
#### *12.1.1.1. Rezne sile*

- **Uobičajena kombinacija opterećenja**

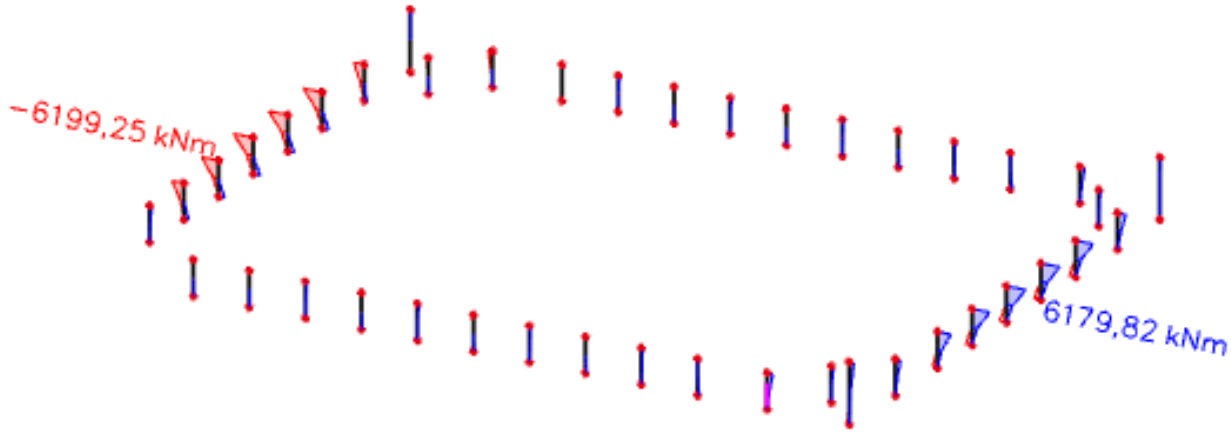
*Slika 12.1. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz N*




*Slika 12.2. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz M*



*Slika 12.3. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*




*Slika 12.4. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*

### *11.1.1.2. Dimenzioniranje stupova na savijanje i uzdužnu silu*

$$C35/45 \rightarrow E = 9500 \cdot \sqrt[3]{35+8} = 32\ GPa$$

$$E_\varphi = \frac{E}{1+\varphi} = \frac{3200}{1+2{,}4} = 9411{,}76\ MPa$$

$$I = \frac{bxh^3}{12} = \frac{1x1^3}{12} = 0{,}0833 m^4$$

$$l_i = 1{,}4 \cdot h_0 = 1{,}4 * 7\ m = 9{,}80\ m$$

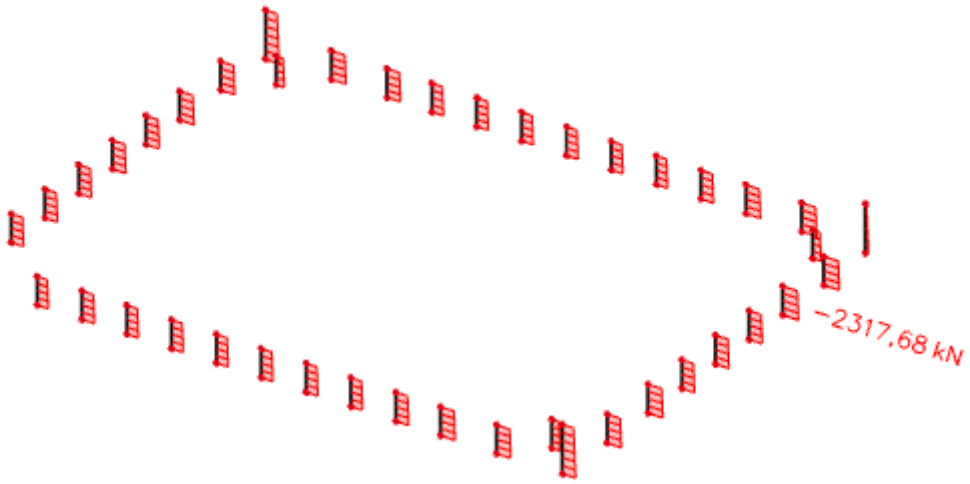
$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\varphi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{9411{,}76 \cdot 0{,}0833 \cdot 1000}{9{,}80^2} = 80568.16\ kN$$

$$\psi = \frac{1}{1-\gamma \cdot \frac{N}{N_e}}$$

$$M_{računski} = \psi \cdot M_{očitani}$$

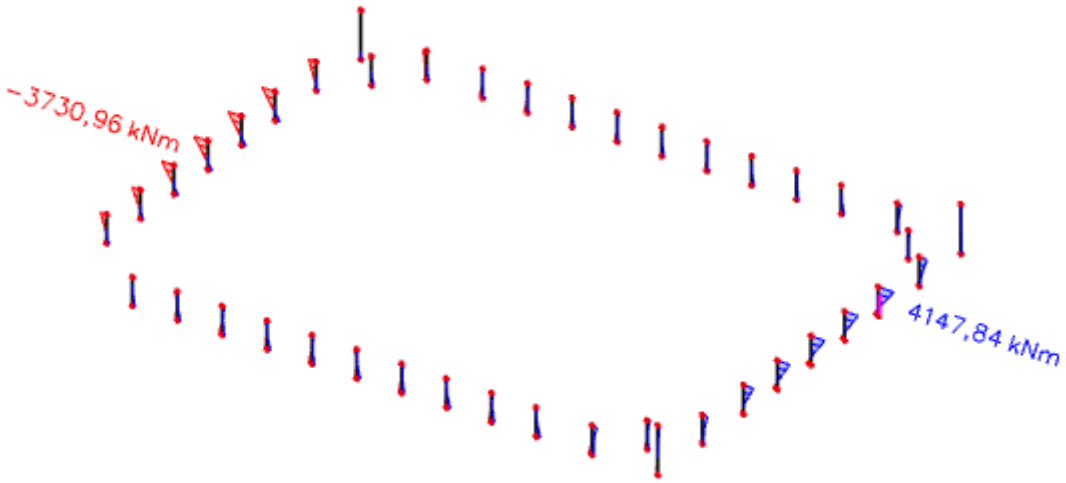
**Izvanredna kombinacija opterećenja**

*Slika 12.5. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz N*

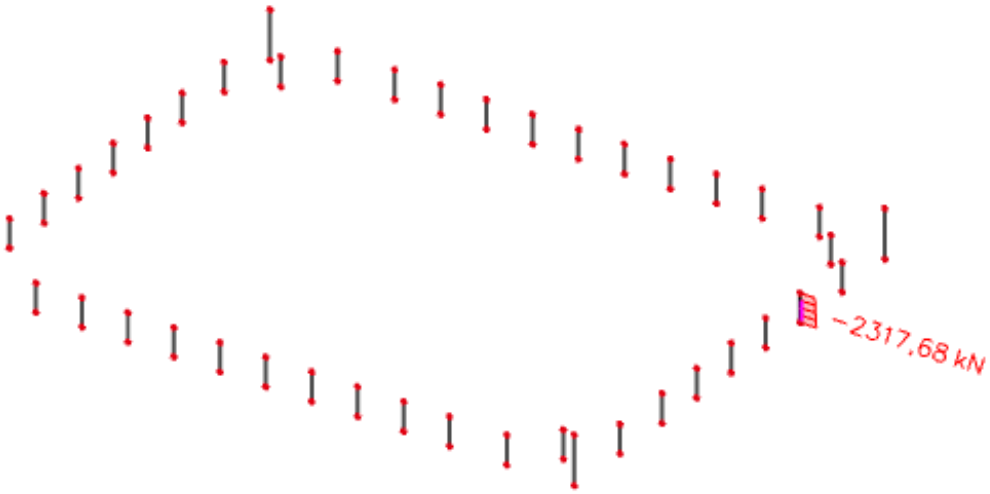



*Slika 12.6. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz M*

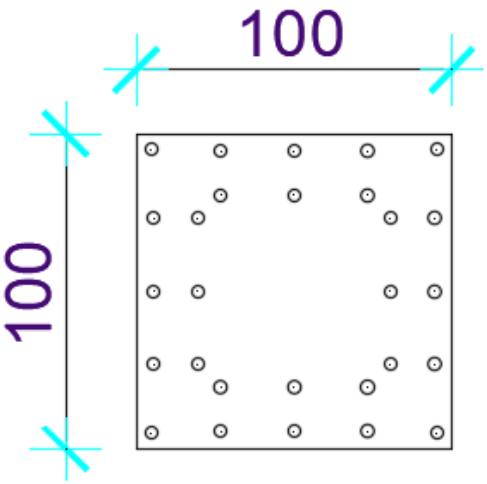
*Slika 12.7. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*



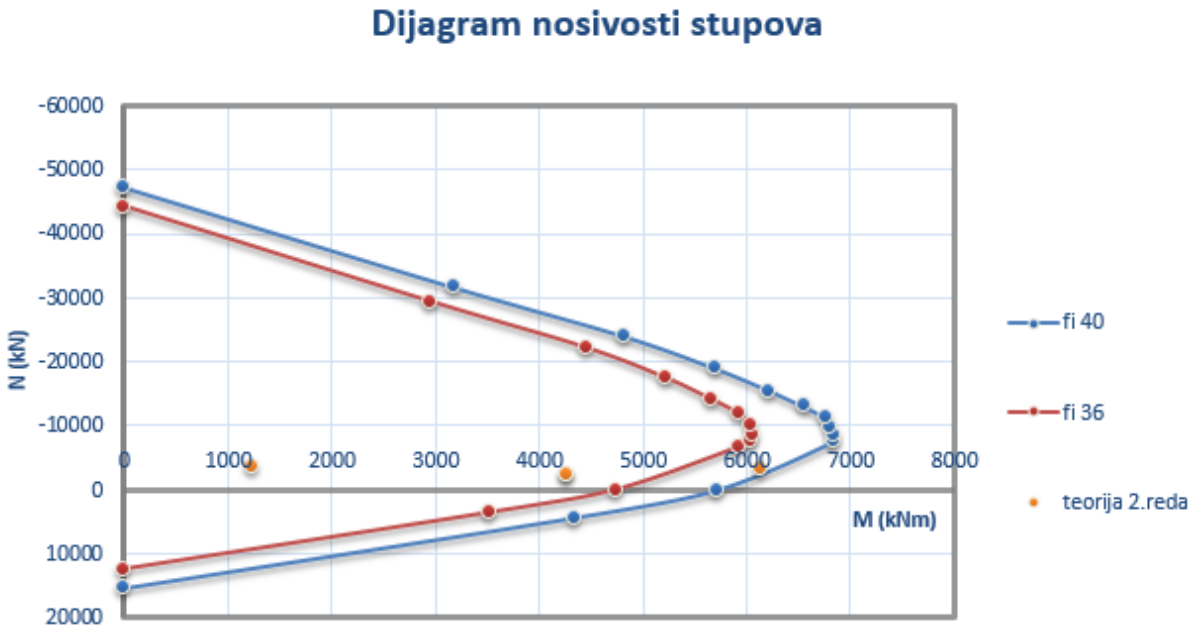

*Slika 12.8.. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*



| | | N(kN) | M I.reda(kNm) | ψ | M II.reda (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Uobičajena kombinacija** | **Nmax,Mprip.** | -3627,6 | 1184,73 | 1,05 | 1240,41 |
| | **Mmax,Nprip.** | -3342,11 | 6200,16 | 1,04 | 6448,17 |
| **Izvanredna kombinacija** | **Nmax,Mprip.** | -2317,68 | 4147,84 | 1,03 | 4272,28 |
| | **Mmax,Nprip.** | -2317,68 | 4147,84 | 1,03 | 4272,28 |



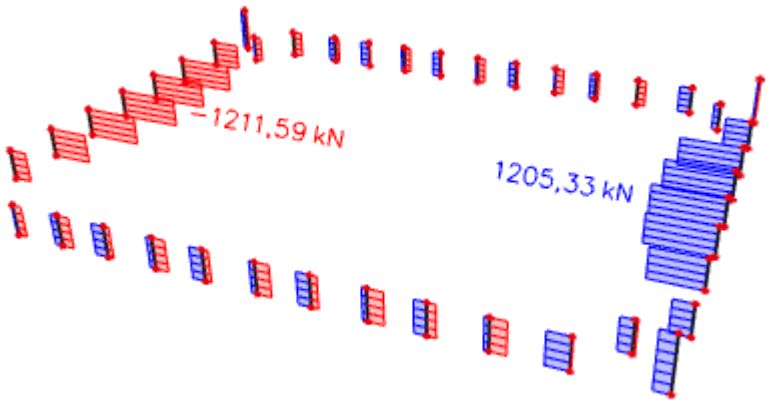

*Slika 12.9. Poprečni presjek stupa*




***Odabrana armatura u stupu: 28ϕ40 (175.93 cm²)***

$$A_{s,min} = 0{,}1\% \cdot A_c = 0{,}1 \cdot \frac{10000}{100} = 10{,}0\ cm^2$$
$$A_{s,max} = 2{,}0\% \cdot A_c = 2{,}0 \cdot 10000/100 = 200\ cm^2$$
$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

### *12.1.1.3. Dimenzioniranje stupova na poprečnu silu*




*Slika 11.10. V*

$$V_{Ed} = 1211.59\ kN$$

C 35/45

$V_{Ed}$ =1211.59 kN

$N_{Ed}$=3627.12 kN

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{970}} = 1.45 \le 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.45$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 3627.12 / 10000 = 0.36 kN / cm^2$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 28\varphi 40 = 175,93\ cm^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{175,93}{10000} = 0.0175$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.45 \cdot \left(100 \cdot 0.0175 \cdot 35.0\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.36 \right] 1000 \cdot 970$$

$$V_{Rd,c} = 717688,41N = 717,69\ kN$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \ge \left[ \nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.45^{3/2} \cdot 35.0^{1/2} = 0.27$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0,36 kN / cm^2$$

$$V_{Rd,c} \ge (0.27 + 0,15 \cdot 0,36) \cdot 970 \cdot 1000$$

$$V_{Rd,c} \ge 314280\ N = 314,28\ kN$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 1211,59\ kN$

$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$

$$\nu = 0.6\left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0.6\left[1.0 - \frac{35}{250}\right] = 0.516$$

$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 970 \cdot 1000 \cdot 23.3 = 5831058N = 5831,06kN > V_{Ed,\max} = V_{Ed}$

$V_{Ed,\max} / V_{Rd,\max} = 1211,59/5831,06 \approx 0.04 \Rightarrow V_{Ed} = 0.21 V_{Rd,\max}$

$s_{\max} = \min\{0.75 \cdot d; 30.0\,cm\} =$

$\min\{0.75 \cdot 97 = 72.75; 30.0\} \quad \Rightarrow \quad s_{\max} = 30cm$

$\rho_{\min} = 0.001$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 100}{2} = 1.5\ cm^2$$

Odabrane minimalne spone: Ø14/30 ($A_{sw}$=1.54 cm$^2$)

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B\,500B \quad \Rightarrow \quad f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8\ MPa = 43.48\ kN/cm^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{1.54}{30} \cdot (0.9 \cdot 100) \cdot 43.48 \cdot 2 = 401,76\ kN$$

$V_{Ed} > V_{Rd}$

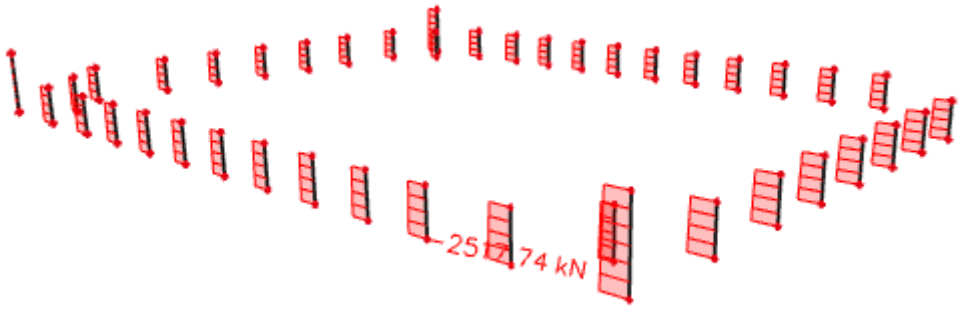
Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \le \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1.54 \cdot 43.5 \cdot (0.9 \cdot 100)}{1211,59} = 9,95\ cm$$

Postaviti spone **Ø14/9**($A_{sw}$=1.54 cm$^2$)

### *12.1.1.5. Kontrola naprezanja u stupu za GSU*

Naprezanja u betonu za kombinaciju opterećenja za granično stanje uporabljivosti ograničavamo na vrijednost $\sigma_c \leq 0{,}45 \cdot f_{ck}$




*Slika 12.11. M-GSU*

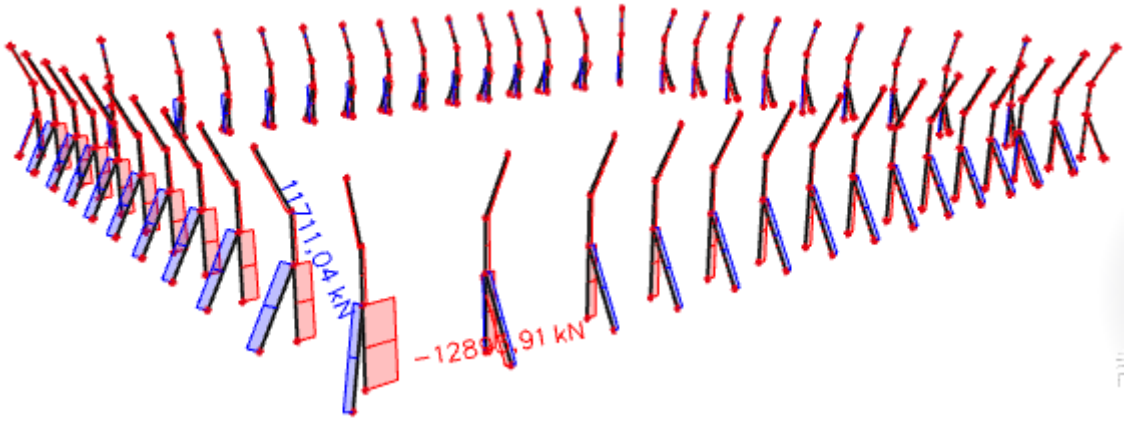
$$\sigma_c = \frac{N_{Ed,max}}{A_c} = \frac{2517{,}74}{10000} = 0{,}25\ kN/cm^2 < 0{,}45 \cdot f_{ck} = 0{,}45 \cdot 3.5 = 1{,}575 kN/cm^2$$
$$\rightarrow Naprezanja\ zadovoljavaju!$$

### *12.1.2. Proračun stupova pozicije S2*

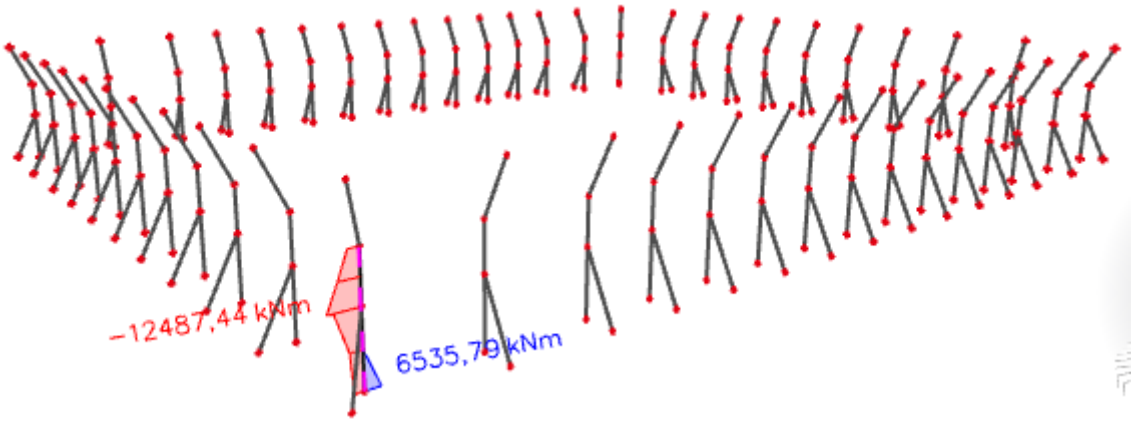
#### *12.1.2.1.Rezne sile*

- **Uobičajena kombinacija**

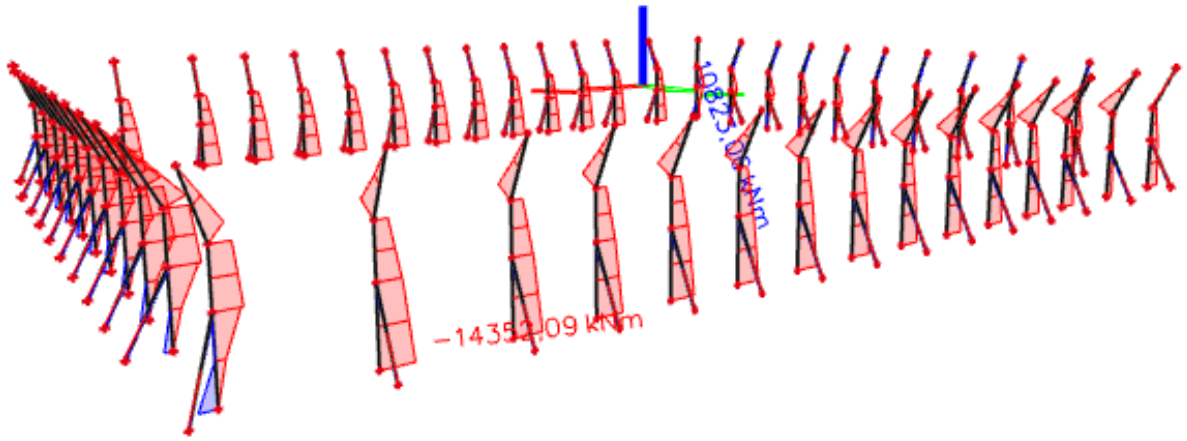
*Slika 12.12. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz N*



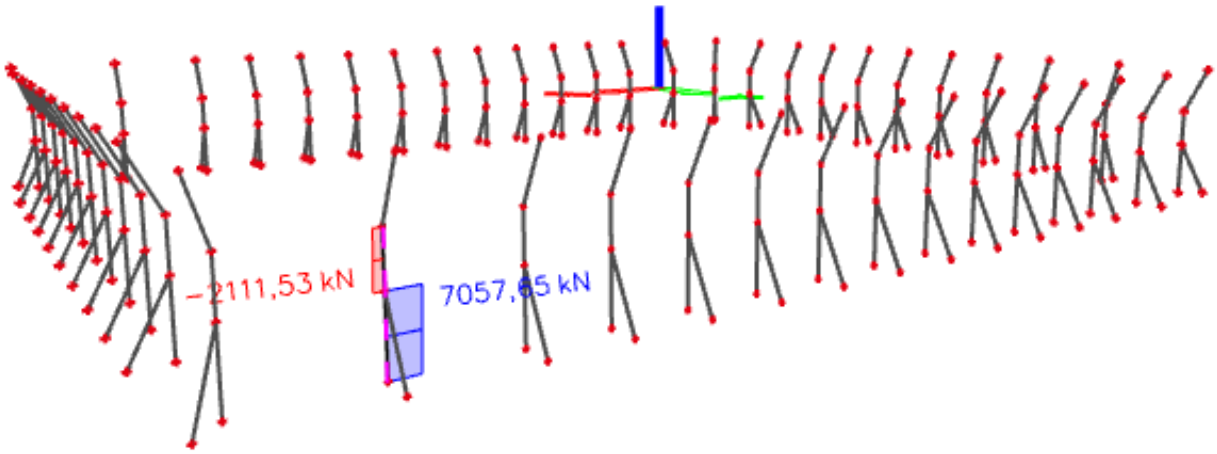

*Slika 12.13. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz M*



*Slika 12.14. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*

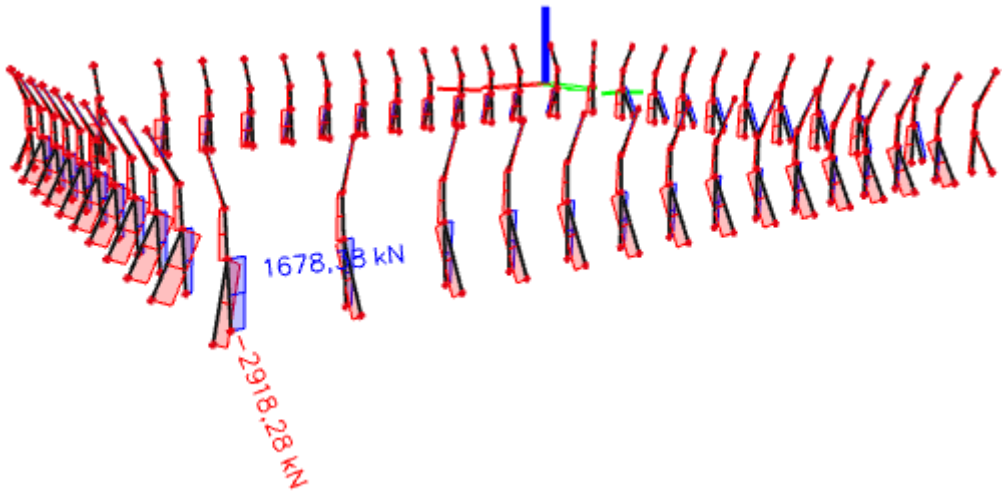



*Slika 12.15. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*

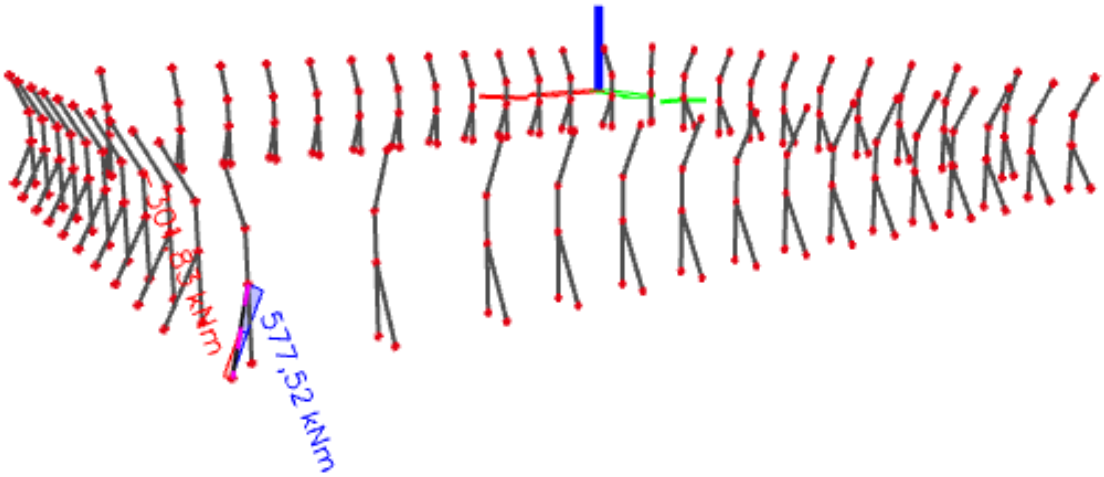


- **Izvanredna kombinacija**

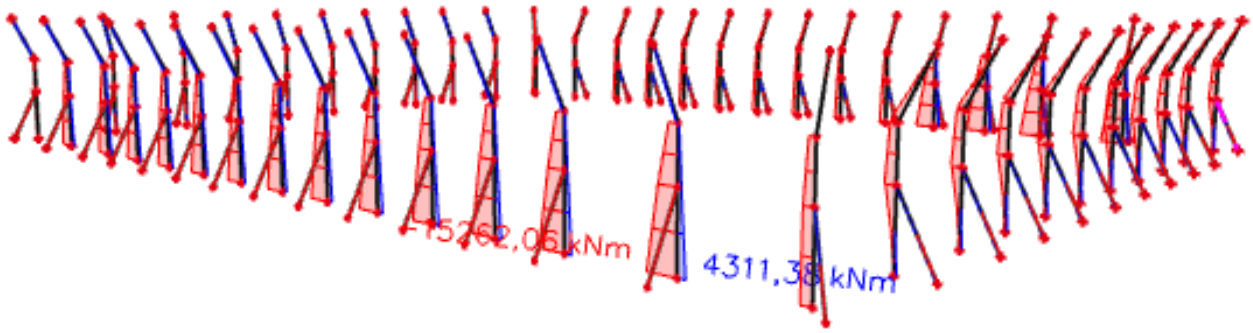
*Slika 12.16. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz N*



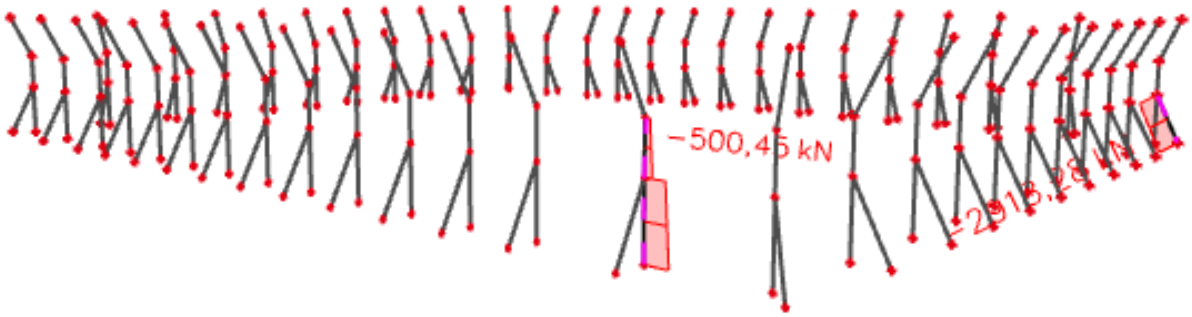

*Slika 12.17. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz M*



*Slika 12.18. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*




*Slika 12.19. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*



### 12.1.2.2. Dimenzioniranje stupova na savijanje i uzdužnu silu

$$C35/45 \rightarrow E = 9500 \cdot \sqrt[3]{35+8} = 32\ GPa$$

$$E_\varphi = \frac{E}{1+\varphi} = \frac{3200}{1+2{,}4} = 9411{,}76\ MPa$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{1 * 2^3}{12} = 0{,}667 m^4$$

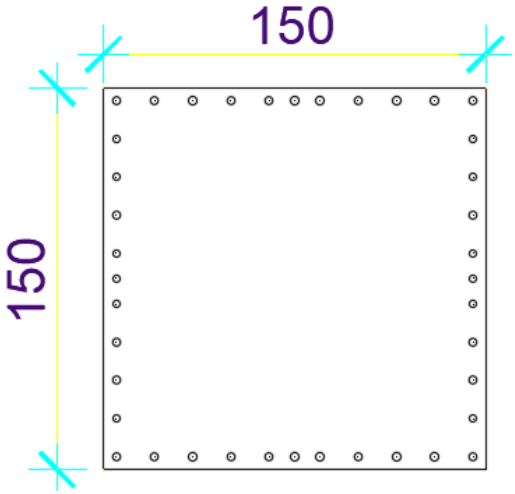
$$l_i = 1{,}4 \cdot h_0 = 1{,}4 * 23\ m = 32{,}2\ m$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\varphi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{9411{,}76 \cdot 0{,}667 \cdot 1000}{32{,}2^2} = 59756{,}44 kN$$

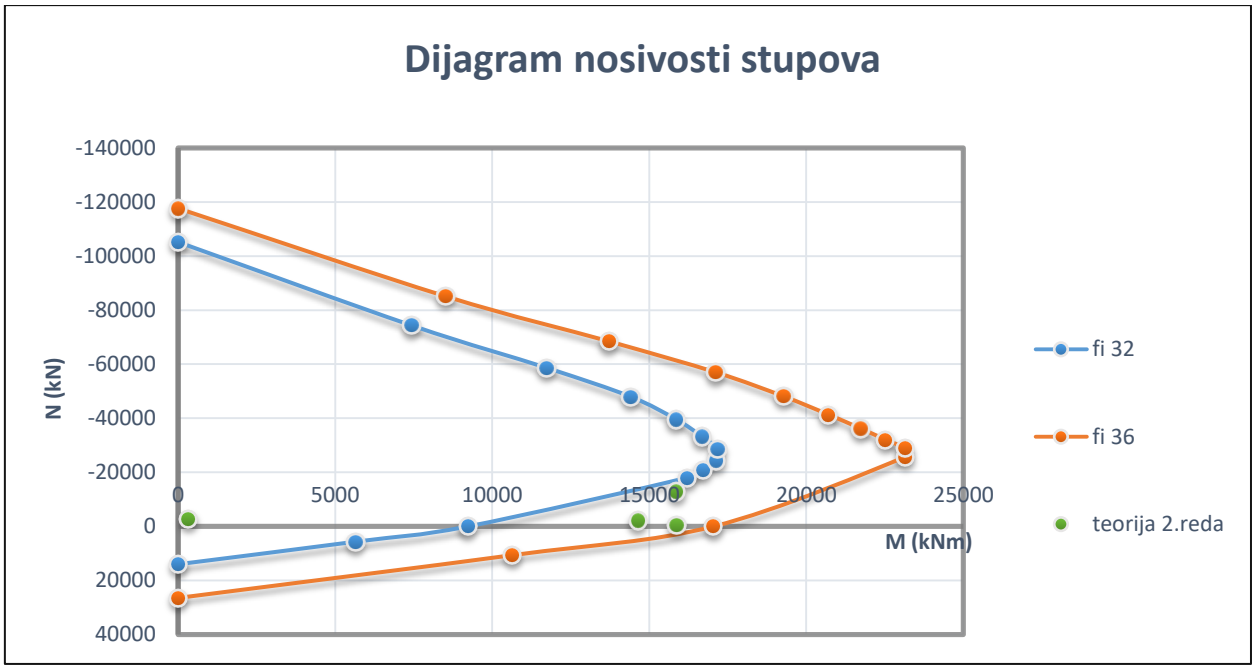
$$\psi = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_e}}$$

$$M_{računski} = \psi \cdot M_{očitani}$$

| | | N(kN) | M I.reda(kNm) | ψ | M II.reda (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Uobičajena kombinacija** | **Nmax,Mprip.** | -12895,91 | 12487,44 | 1,27 | 15859,05 |
| | **Mmax,Nprip.** | -2111,53 | 14352,09 | 1,02 | 14639,13 |
| **Izvanredna kombinacija** | **Nmax,Mprip.** | -2918,28 | 301,83 | 1,07 | 322,96 |
| | **Mmax,Nprip.** | -500,45 | 15262,06 | 1,04 | 15872,54 |




*Slika 12.20. Poprečni presjek stupa*



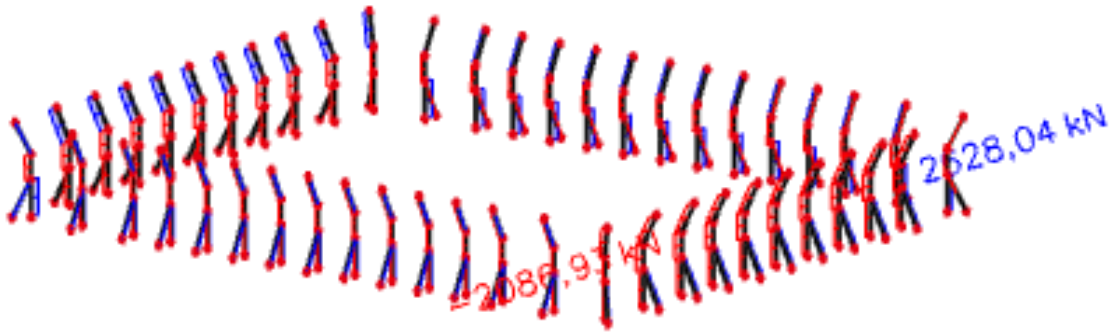

***Odabrana armatura u stupu: 40ϕ36 (407,20 cm²)***

$$A_{s,min} = 0{,}1\% \cdot A_c = 0{,}1 \cdot 150 \cdot \frac{150}{100} = 22{,}50\ cm^2$$

$$A_{s,max} = 2{,}0\% \cdot A_c = 2{,}0 \cdot 150 \cdot \frac{150}{100} = 450\ cm^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

### 12.1.2.3. Dimenzioniranje stupova na poprečnu silu




*Slika 12.21.. V*

C 35/45

$V_{Ed}$ =2086,93 kN

$N_{Ed}$=2918,28 kN

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{1470}} = 1.36 \le 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.36$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 2918,28 / 17600 = 0,16 kN / cm^2$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 40\varphi 36 = 407,20\ cm^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{407,20}{17600} = 0.023$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.36 \cdot (100 \cdot 0.023 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.16 \right] \cdot 1500 \cdot 1470$$

$$V_{Rd,c} = 1606716,152 N = 1606,72 kN$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \ge \left[ \nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.36^{3/2} \cdot 35.0^{1/2} = 0.32$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.16 kN / cm^2$$

$$V_{Rd,c} \ge (0.32 + 0,15 \cdot 0,16) \cdot 1500 \cdot 1470$$

$$V_{Rd,c} \ge 758520\ N = 758,52\ kN$$

$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 2086,93\ kN$

$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$

$$\nu = 0.6\left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0.6\left[1.0 - \frac{35}{250}\right] = 0.516$$

$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 1500 \cdot 1470 \cdot 23.3 = 13255137\,N = 13255,14 kN V_{Ed,\max} > V_{Ed}$

$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 2089,93\ kN < V_{Rd,c}$

Potreban je proračun za poprečnu armaturu.

$V_{Ed,\max} / V_{Rd,\max} = 2086,93/13255 \approx 0.157 \Rightarrow V_{Ed} = 0.157 V_{Rd,\max}$

$s_{\max} = \min\{0.75 \cdot d; 30.0\,cm\} =$

$$\min\{0.75 \cdot 147 = 110.25; 30.0\} \quad \Rightarrow \quad s_{\max} = 30cm$$

$\rho_{\min} = 0.001$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 150}{2} = 2.25\ cm^2$$

Odabrane minimalne spone: Ø18/30 ($A_{sw}$=2.54 cm$^2$)

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B\,500B \quad \Rightarrow \quad f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8\ MPa = 43.48\ kN/cm^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{2.54}{30} \cdot (0.9 \cdot 150) \cdot 43.48 \cdot 2 = 993,95\ kN$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

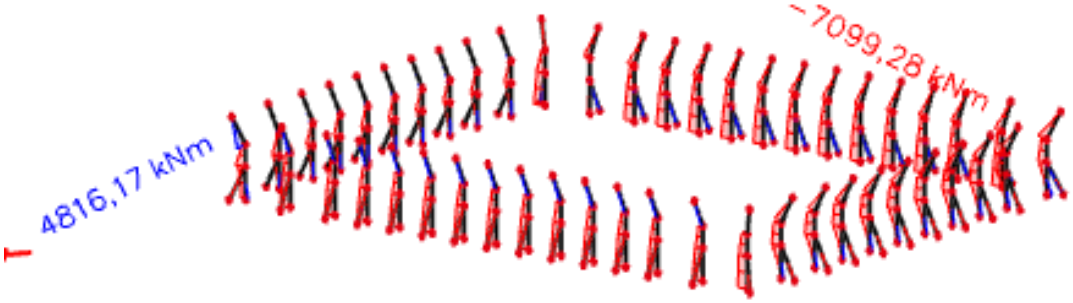
Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \le \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 2.54 \cdot 43.5 \cdot (0.9 \cdot 150)}{2086,93} = 14,29\ cm$$

Postaviti spone **Ø18/14**($A_{sw}$=2.54 cm$^2$)

### *12.1.2.5. Kontrola naprezanja u stupu za GSU*

Naprezanja u betonu za kombinaciju opterećenja za granično stanje uporabljivosti ograničavamo na vrijednost $\sigma_c \leq 0{,}45 \cdot f_{ck}$




*Slika 12.22. M-GSU*

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed,max}}{A_c} = \frac{7099{,}28}{17600} = 0{,}40 kN/cm^2 < 0{,}45 \cdot f_{ck} = 0{,}45 \cdot 3.5 = 1{,}57 kN/cm^2$$

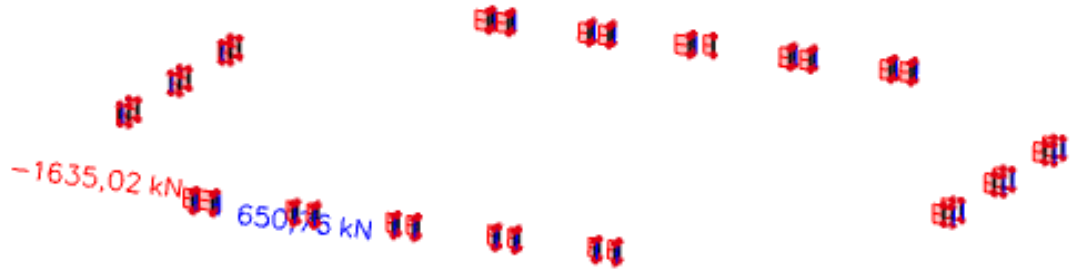
$$\rightarrow Naprezanja\ zadovoljavaju!$$

### *12.1.3. Proračun stupova pozicije S3*

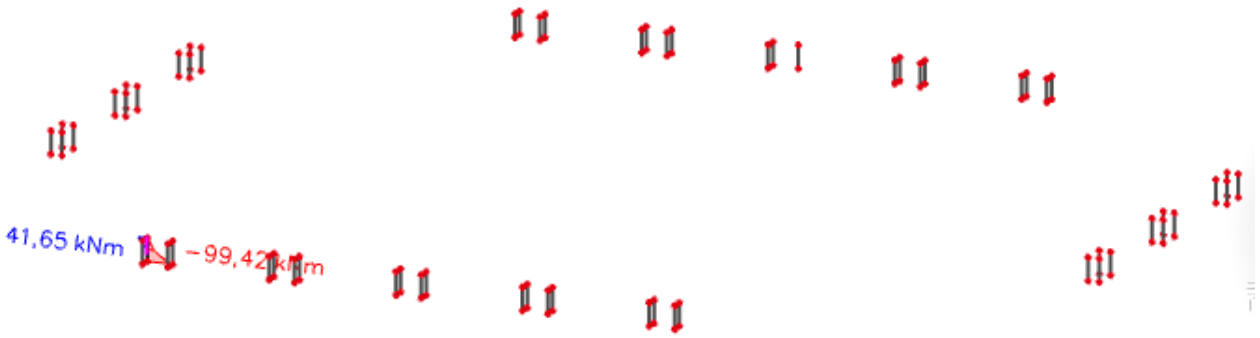
#### *12.1.3.1. Rezne sile*

- **Uobičajena kombinacija**

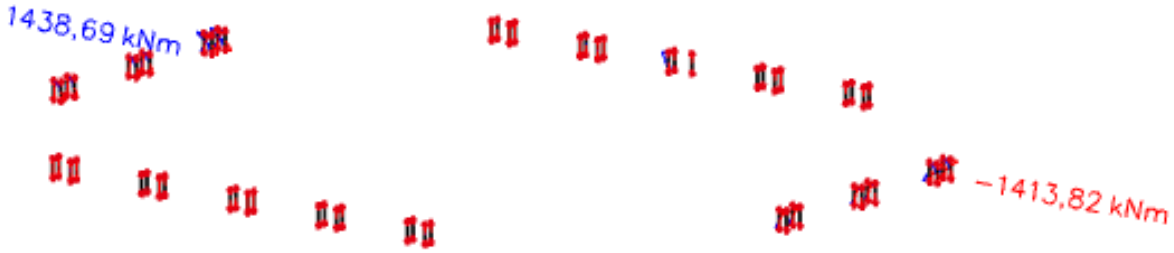
*Slika 12.23. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz N*




*Slika 12.24. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz M*



*Slika 12.25. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*



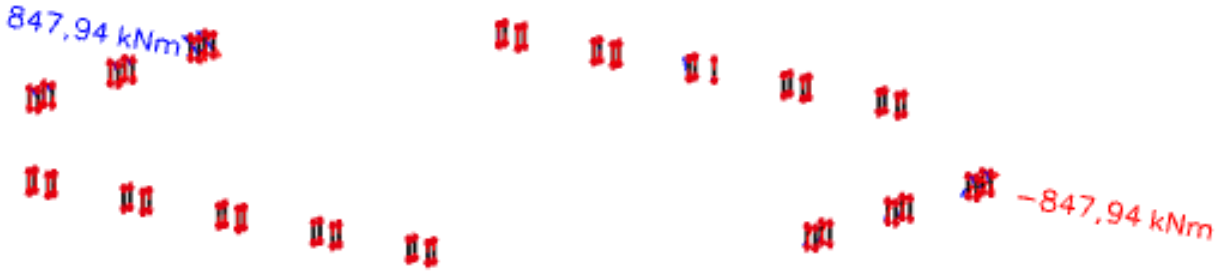

*Slika 12.26. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*

- **Izvanredna kombinacija**

*Slika 12.27. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz N*

*Slika 12.28. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz M*

*Slika 12.29. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*




*Slika 12.30. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*

### *12.1.3.2. Dimenzioniranje stupova na savijanje i uzdužnu silu*

$$C35/45 \rightarrow E = 9500 \cdot \sqrt[3]{35+8} = 32\ GPa$$

$$E_\varphi = \frac{E}{1+\varphi} = \frac{3200}{1+2{,}4} = 9411{,}76\ MPa$$

$$I = \frac{a^4}{12} = \frac{0{,}5^4}{12} = 0{,}00520 m^4$$

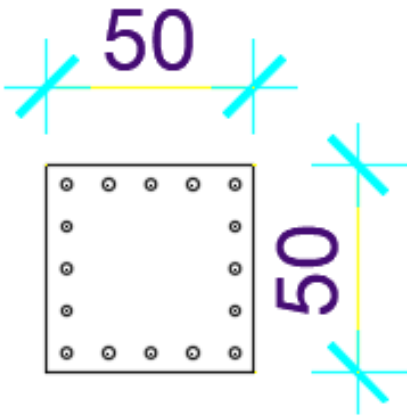
$$l_i = 1{,}4 \cdot h_0 = 1{,}4 * 3{,}39\ m = 4{,}75\ m$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\varphi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{9411{,}76 \cdot 0{,}00520 \cdot 1000}{4{,}75^2} = 2169{,}14 kN$$

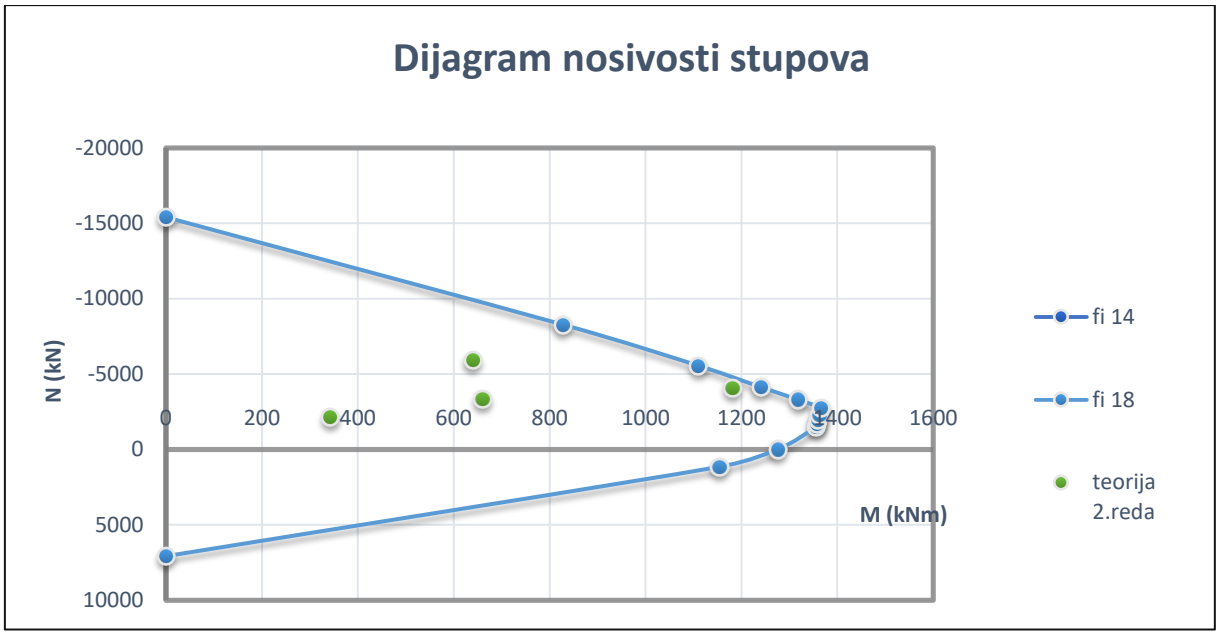
$$\psi = \frac{1}{1 - \gamma \cdot \frac{N}{N_e}}$$

$$M_{računski} = \psi \cdot M_{očitani}$$

| | | N(kN) | M I.reda(kNm) | ψ | M II.reda (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Uobičajena kombinacija** | **Nmax,Mprip.** | -1635,02 | 99,42 | 4,06 | 403,65 |
| | **Mmax,Nprip.** | -1056,37 | 1413,82 | 1,94 | 2742,81 |
| **Izvanredna kombinacija** | **Nmax,Mprip.** | -881,02 | 37,86 | 1,68 | 63,60 |
| | **Mmax,Nprip.** | -630,49 | 847,94 | 1,40 | 1187,12 |




*Slika 12.31. Poprečni presjek stupa*



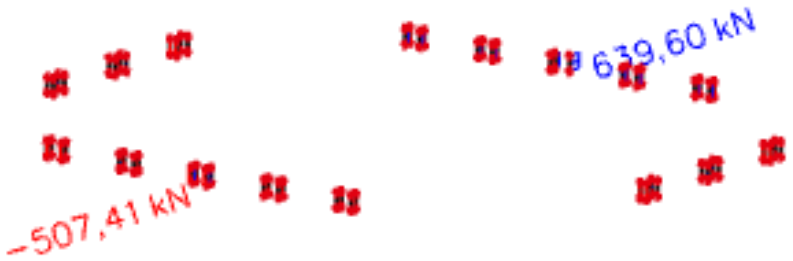

***<u>Odabrana armatura u stupu:</u> 16ϕ18 ( 40.64 cm²)***

$$A_{s,min} = 0{,}1\% \cdot A_c = 0{,}1 \cdot 50 \cdot \frac{50}{100} = 2{,}50\ cm^2$$

$$A_{s,max} = 2{,}0\% \cdot A_c = 2{,}0 \cdot 50 \cdot \frac{50}{100} = 50\ cm^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

### *12.1.3.3. Dimenzioniranje stupa na poprečnu silu*




*Slika 11.33. V*

C 35/45

$V_{Ed}$ =639,60 kN

$N_{Ed}$=1635,02 kN

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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{470}} = 1.65 \le 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.65$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 1635,02 / (50 \cdot 50) = 0,65 kN / cm^2$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 16\varphi 18 = 40,64\ cm^2$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = 0.0163$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.65 \cdot (100 \cdot 0.0163 \cdot 35.0)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.65 \right] \cdot 500 \cdot 470$$

$$V_{Rd,c} = 202035,60 = 202,04\ kN$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \ge \left[ \nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.65^{3/2} \cdot 35.0^{1/2} = 0.44$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.65 kN / cm^2$$

$$V_{Rd,c} \ge (0.44 + 0,15 \cdot 0,65) \cdot 500 \cdot 470$$

$$V_{Rd,c} \ge 126312,50\ N = 126,31\ kN$$

$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 639,60\ kN$

$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$

$$\nu = 0.6\left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0.6\left[1.0 - \frac{35}{250}\right] = 0.516$$

$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 500 \cdot 470 \cdot 23.3 = 1412679,00N = 1412,67kN > V_{Ed,\max} = V_{Ed}$

$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 639,60\ kN < V_{Rd,c}$

Potreban je proračun za poprečnu armaturu.

$V_{Ed,\max} / V_{Rd,\max} = 639,60/1412,67 \approx 0.453 \Rightarrow V_{Ed} = 0.453 V_{Rd,\max}$

$s_{\max} = \min\{0.75 \cdot d; 30.0\,cm\} =$

$$\min\{0.75 \cdot 470 = 352.50; 30.0\} \quad \Rightarrow \quad s_{\max} = 30cm$$

$\rho_{\min} = 0.001$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 50}{2} = 0.75\ cm^2$$

Odabrane minimalne spone: Ø10/30 ($A_{sw}$=0.79 cm$^2$)

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B\,500B \quad \Rightarrow \quad f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8\ MPa = 43.48\ kN/cm^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 50) \cdot 43.48 \cdot 2 = 103.05\ kN$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \le \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.5 \cdot (0.9 \cdot 50)}{639,60} = 4.84\ cm$$

Postaviti spone **Ø10/4**($A_{sw}$=0.79 cm$^2$)

### *12.1.3.5. Kontrola naprezanja u stupu za GSU*

Naprezanja u betonu za kombinaciju opterećenja za granično stanje uporabljivosti ograničavamo na vrijednost $\sigma_c \leq 0{,}45 \cdot f_{ck}$

*Slika 12.34. M-GSU*

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed,max}}{A_c} = \frac{959{,}06}{50 * 50} = 0{,}38kN/cm2 < 0{,}45 \cdot f_{ck} = 0{,}45 \cdot 3.5 = 1{,}575kN/cm2$$
$$\rightarrow Naprezanja\ zadovoljavaju!$$

### *12.1.4. Proračun stupova pozicije S4*

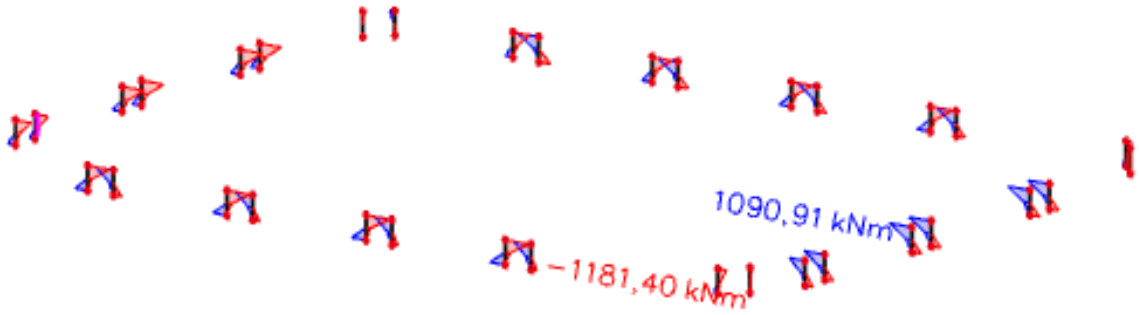
#### *12.1.4.1. Rezne sile*

- **Uobičajena kombinacija**

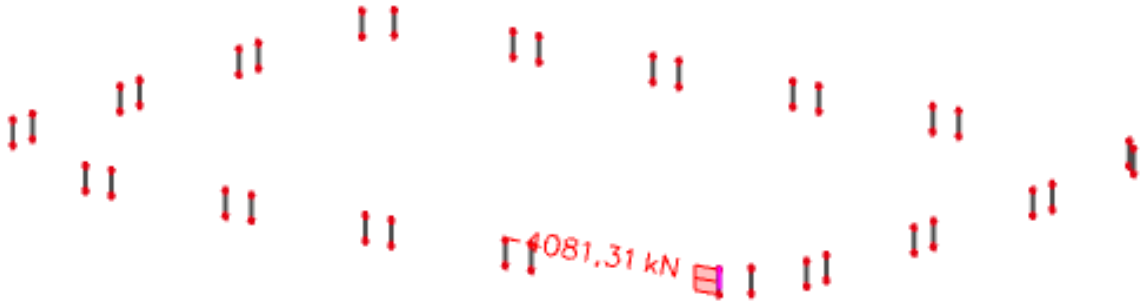
*Slika 12.35. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz N*

*Slika 12.36. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz M*

*Slika 12.37.. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*




*Slika 12.38. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*

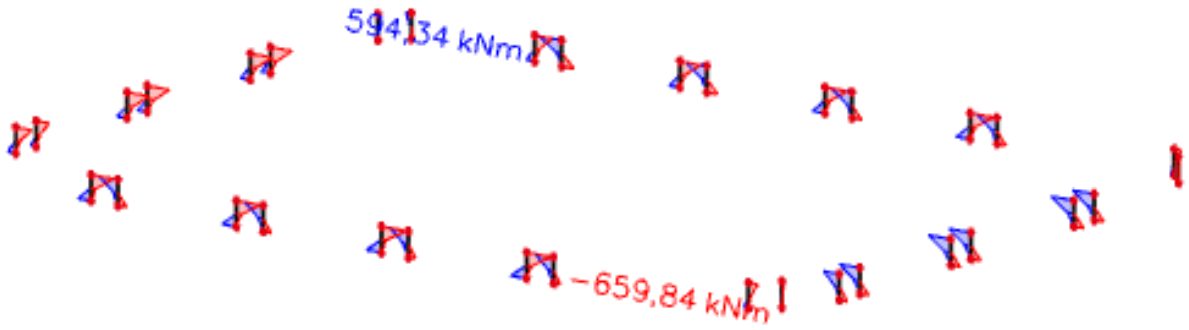


- **Izvanredna kombinacija**

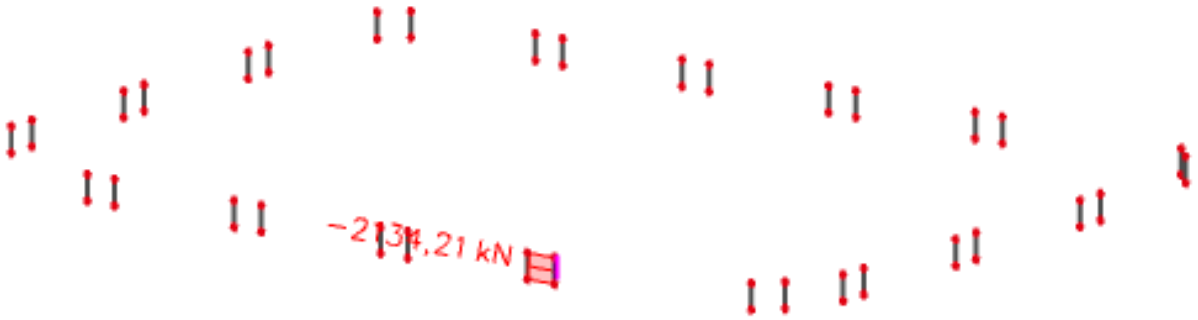
*Slika 12.39. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz N*

*Slika 12.40. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz M*

*Slika 12.41. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*




*Slika 12.42. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*



### *12.1.4.2. Dimenzioniranje stupova na savijanje i uzdužnu silu*

$$C30/37 \rightarrow E = 9500 \cdot \sqrt[3]{30+8} = 32\ GPa$$

$$E_\varphi = \frac{E}{1+\varphi} = \frac{3200}{1+2{,}4} = 9411{,}76\ MPa$$

$$I = \frac{a^4}{12} = \frac{0{,}50^4}{12} = 0{,}00520 m^4$$

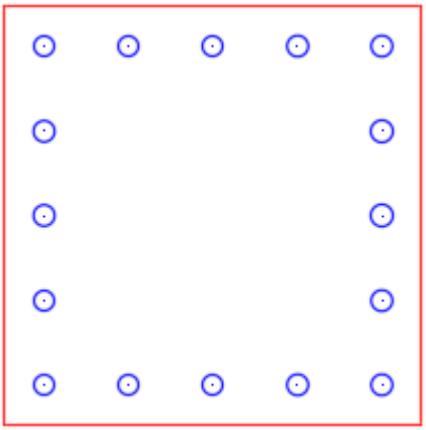
$$l_i = 1{,}4 \cdot h_0 = 1{,}4 * 3{,}39\ m = 4{,}75\ m$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_\varphi \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{9411{,}76 \cdot 0{,}00520 \cdot 1000}{4{,}75^2} = 21408{,}52 kN$$

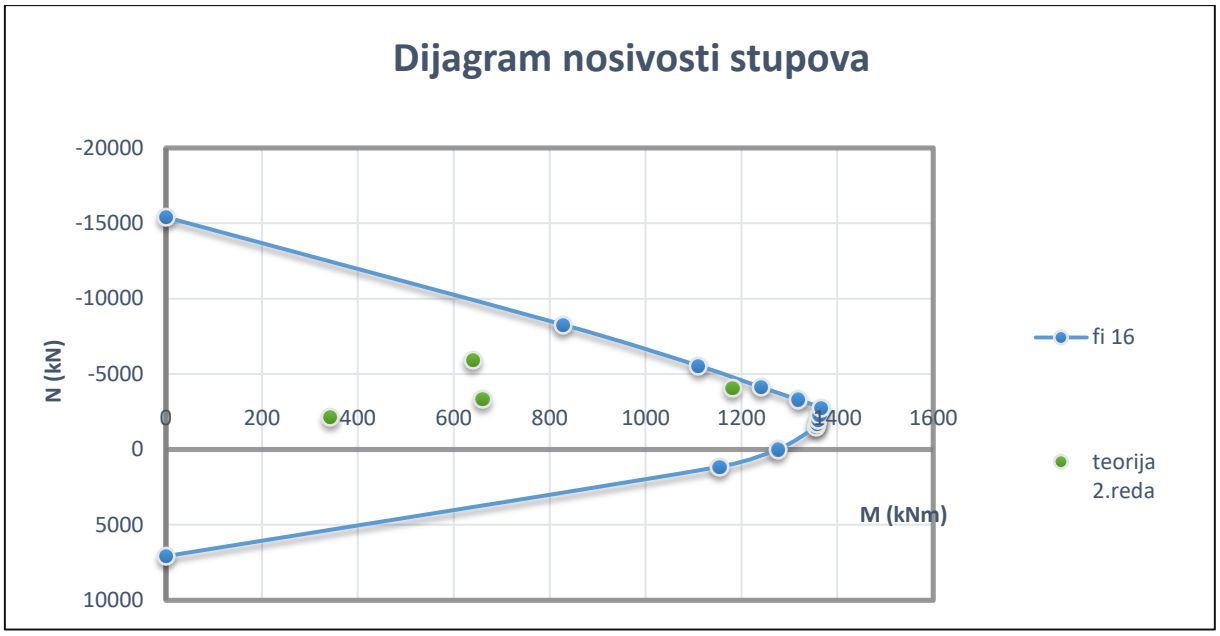
$$\psi = \frac{1}{1-\gamma \cdot \frac{N}{N_e}}$$

$$M_{računski} = \psi \cdot M_{očitani}$$

| | | N(kN) | M I.reda(kNm) | ψ | M II.reda (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Uobičajena kombinacija** | **Nmax,Mprip.** | -5913,71 | 639,6 | 4,06 | 2596,78 |
| | **Mmax,Nprip.** | -408,31 | 1181,4 | 1,94 | 2291,92 |
| **Izvanredna kombinacija** | **Nmax,Mprip.** | -3329,19 | 342,31 | 1,68 | 575,08 |
| | **Mmax,Nprip.** | -2134,21 | 659,84 | 1,40 | 923,78 |



*Slika 12.46. Poprečni presjek stupa*



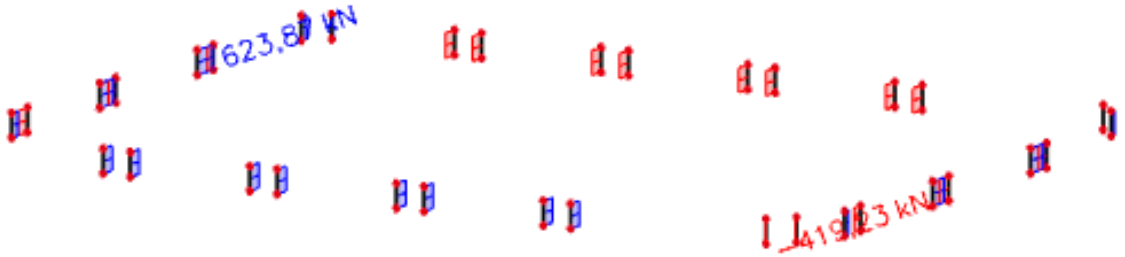

***<u>Odabrana armatura u stupu:</u> 16ϕ16 (32,80 cm²)***

$$A_{s,min} = 0{,}1\% \cdot A_c = 0{,}1 \cdot 50 \cdot \frac{50}{100} = 2{,}50\ cm^2$$

$$A_{s,max} = 2{,}0\% \cdot A_c = 2{,}0 \cdot 50 \cdot \frac{50}{100} = 50\ cm^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

### *12.1.4.3. Dimenzioniranje stupa na poprečnu silu*




*Slika 11.48.. V*

C 35/45

$V_{Ed}$ =623,80 kN

$N_{Ed}$=2134,21 kN

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

$$k=1.0+\sqrt{\frac{200}{d}}=1.0+\sqrt{\frac{200}{470}}=1.65\le 2.0\quad\Rightarrow\quad k=1.65$$

$$k_1=0.15$$

$$\sigma_{cp}=N_{Ed}/A_c=2134,21/(50\cdot 50)=0,85kN/cm^2$$

$$C_{Rdc}=0.18/\gamma_c=0.18/1.5=0.12$$

$$\sum A_s=16\varphi 16=32,80\ cm^2$$

$$\rho_l=\frac{\sum A_s}{A_c}=0.01312$$

$$V_{Rd,c}=\left[0.12\cdot 1.65\cdot\left(100\cdot 0.01312\cdot 35.0\right)^{1/3}+0.15\cdot 0.85\right]\cdot 500\cdot 470$$

$$V_{Rd,c}=196585,01=196,58\ kN$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c}\ge\left[\nu_{\min}+k_1\cdot\sigma_{cp}\right]\cdot b_w\cdot d$$

$$k_1=0.15$$

$$\nu_{\min}=0.035\cdot k^{3/2}\cdot f_{ck}^{1/2}=0.035\cdot 1.65^{3/2}\cdot 35.0^{1/2}=0.44$$

$$\sigma_{cp}=N_{sd}/A_c=0.85kN/cm^2$$

$$V_{Rd,c}\ge(0.44+0,15\cdot 0,85)\cdot 500\cdot 470$$

$$V_{Rd,c}\ge 133362,50\ N=133,36\ kN$$

$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 623,80\ kN$

$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$

$$\nu = 0.6\left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0.6\left[1.0 - \frac{35}{250}\right] = 0.516$$

$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 500 \cdot 470 \cdot 23.3 = 1412679,00N = 1412,67kN > V_{Ed,\max} = V_{Ed}$

$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 623,80kN < V_{Rd,c}$

Potreban je proračun za poprečnu armaturu.

$V_{Ed,\max} / V_{Rd,\max} = 632,80/1412,67 \approx 0.453 \Rightarrow V_{Ed} = 0.453 V_{Rd,\max}$

$s_{\max} = \min\{0.75 \cdot d; 30.0\,cm\} =$

$\min\{0.75 \cdot 470 = 352.50; 30.0\} \quad \Rightarrow \quad s_{\max} = 30cm$

$\rho_{\min} = 0.001$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 50}{2} = 0.75\ cm^2$$

Odabrane minimalne spone: Ø10/30 ($A_{sw}$=0.79 cm$^2$)

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B\,500B \quad \Rightarrow \quad f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8\ MPa = 43.48\ kN/cm^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 50) \cdot 43.48 \cdot 2 = 103.05\ kN$$

$V_{Ed} > V_{Rd}$

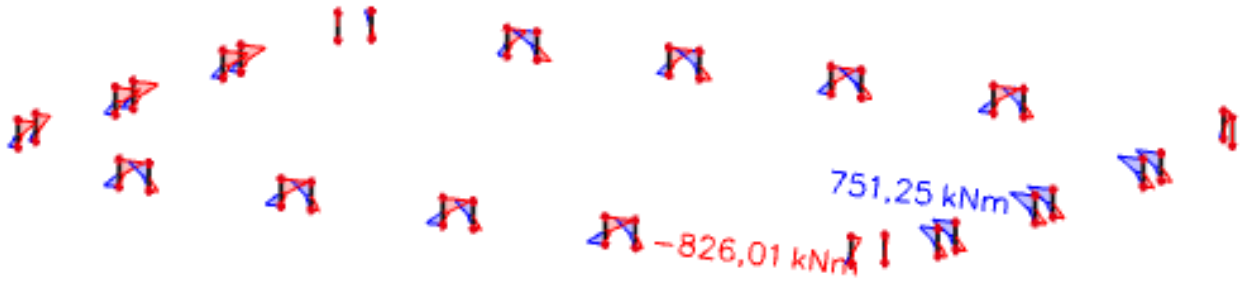
Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \le \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.5 \cdot (0.9 \cdot 50)}{632,80} = 4.88\ cm$$

Postaviti spone **Ø10/4**($A_{sw}$=0.79 cm$^2$)

### *12.1.4.5. Kontrola naprezanja u stupu za GSU*

Naprezanja u betonu za kombinaciju opterećenja za granično stanje uporabljivosti ograničavamo na vrijednost $\sigma_c \leq 0{,}45 \cdot f_{ck}$




*Slika 12.35. M-GSU*

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed,max}}{A_c} = \frac{826{,}01}{50 * 50} = 0{,}33kN/cm2 < 0{,}45 \cdot f_{ck} = 0{,}45 \cdot 3.5 = 1{,}575kN/cm2$$

$$\rightarrow Naprezanja\ zadovoljavaju!$$

## 12.2 Poprečni nosači stadiona

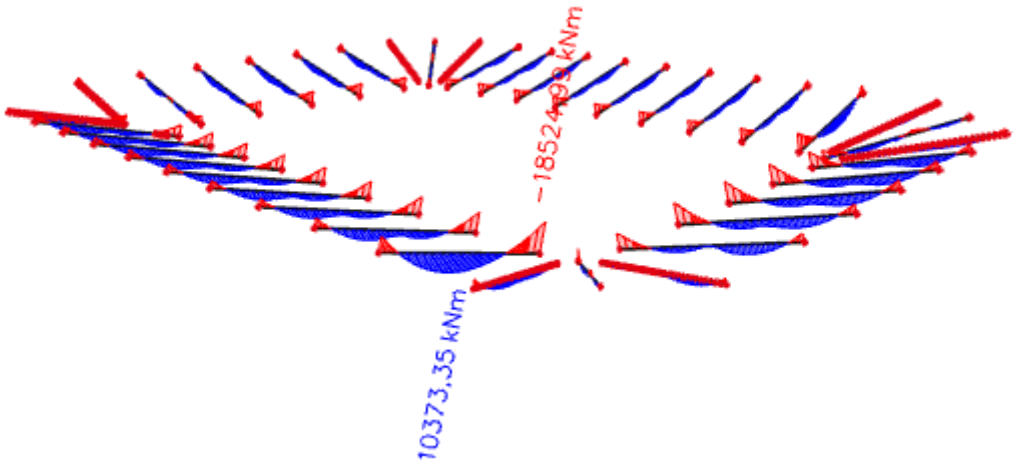
Poprečni nosači su u modelu modelirani kao 1D štapni elementi. Prostorni model je proračunat na uobičajene i izvanredne kombinacije iz kojih su izvučene maksimalne rezne sile. Razlikujemo dvije pozicije poprečnih nosača u modelu. Poprečni nosači izvode se monolitno u oplati na gradilištu.
Poprečni nosači pozicije PN1 na koje se oslanja donji prsten tribina stadiona imaju ukupnu dužinu od 25.72 m te pravokutni poprečni presjek 80x150 cm. Dimenzionirani su na uobičajenu i izvanrednu kombinaciju.
Poprečni nosači pozicije PN2 na koje se oslanja gornji prsten tribina stadiona imaju ukupnu dužinu od 11.18 m te pravokutni poprečni presjek 80x150 cm. Dimenzionirani su na uobičajenu i izvanrednu kombinaciju.

AB poprečni nosači su svi napravljeni od betona C 35/45 te armirani armaturom B500B. Zaštitni sloj betona do armature iznosi 3,5 cm.
Proračun poprečnih nosača proveden je pomoću programskog paketa SCIA Engineer 19.

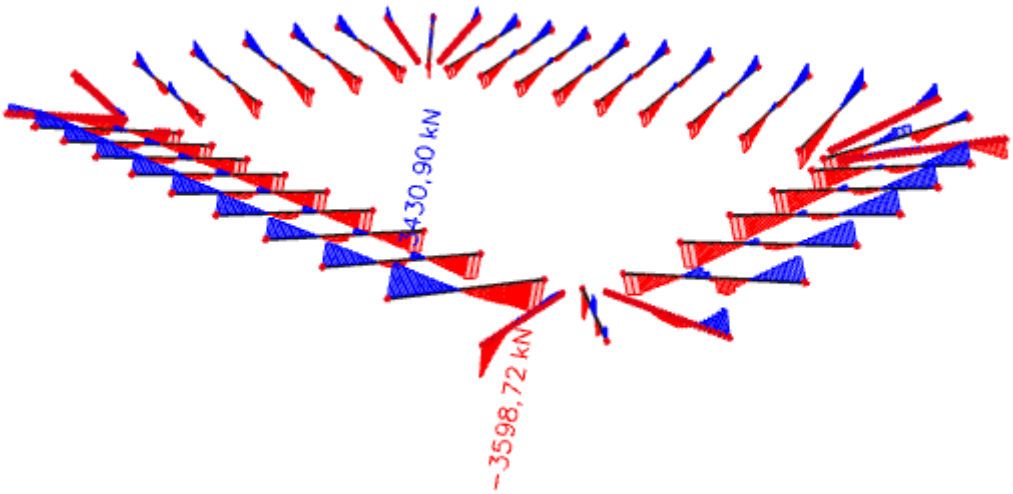
## 12.2.1 POPREČNI NOSAČI POZICIJE 1 – PN1

### 12.2.1.1. Prikaz reznih sila prema vrsti opterećenja

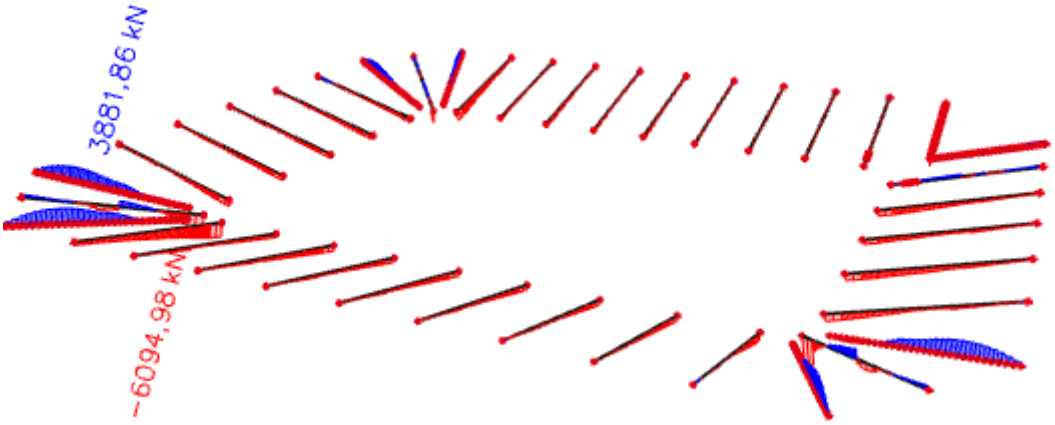
- UOBIČAJNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA




My (kNm)

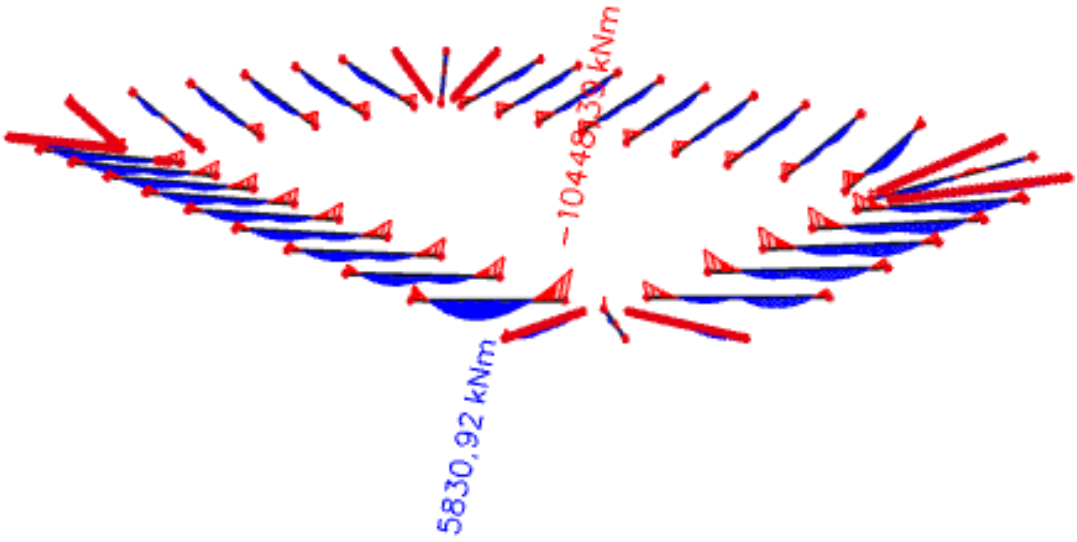



Vz (kN)

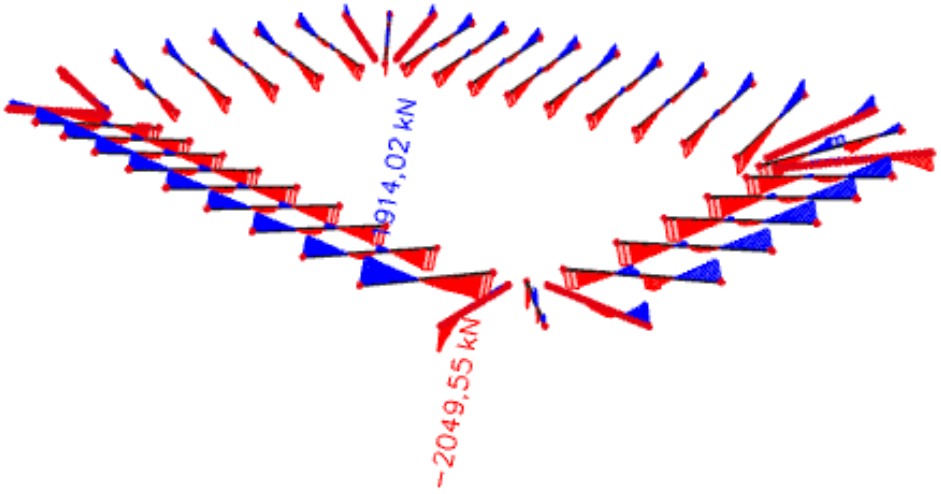



N (kN)

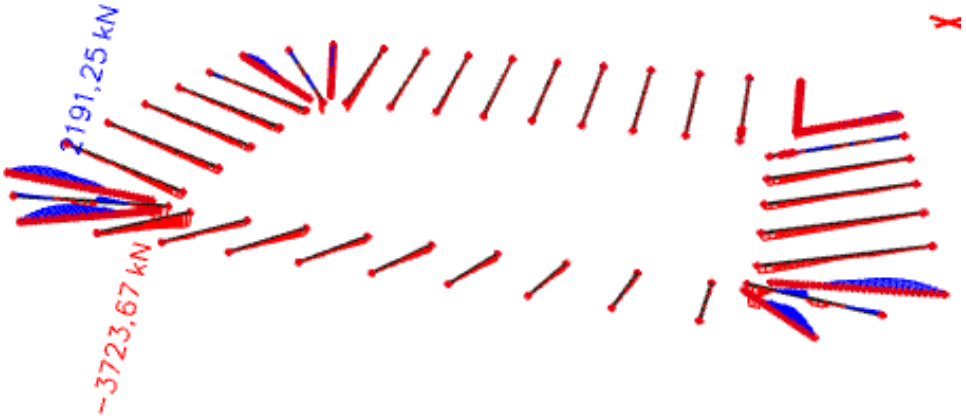
- IZVANREDNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA




My (kNm)

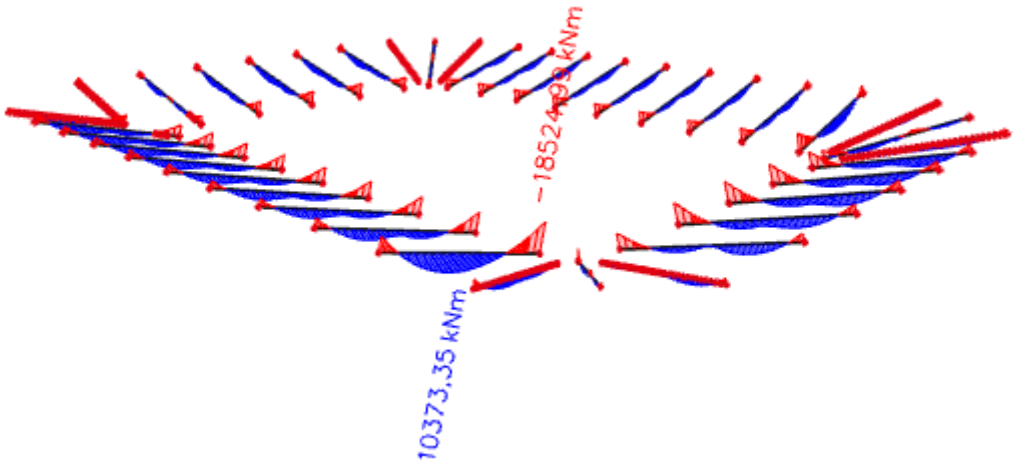



Vz (kN)




N (kN)

NOSAČ PN 1 – maksimalno opterećen momentom savijanja – LEŽAJ i POLJE
U obzir uzeta kritičnija od uobičajne i izvanredne kombinacija opterećenja.




M max, ležaj

***Ležaj 0:***

$$M_{Ed} = 18524,99\ kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{18524,99}{80 \cdot 145^2 \cdot 2.33} = 0.00473$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0\ ‰ \quad \varepsilon_{c2} = 0.4\ ‰ \quad \zeta = 0.987$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1852499}{0.987 \cdot 145 \cdot 43.5} = 297.57\ cm^2$$

**Odabrano 24Ø40 (As=301.68 cm²)**

***Polje P1:***

$$M_{Ed} = 10373,35\ kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{10373,35}{80 \cdot 145^2 \cdot 2.33} = 0.00268$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0\ ‰ \quad \varepsilon_{c2} = 0.4\ ‰ \quad \zeta = 0.990$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1037335}{0.990 \cdot 145 \cdot 43.5} = 166.12\ cm^2$$

**Odabrano 14Ø40 (As=175.98 cm²)**

### *12.2.1.2. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu*

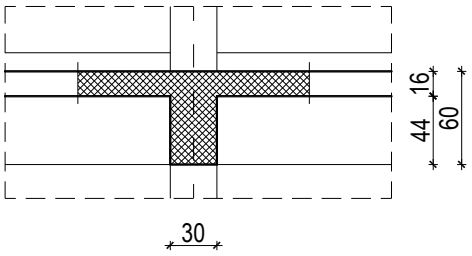
*Ležaj 0* **:Mjerodavna kombinacija za ležaj0: Uobičajna kombinacija**

$$\boldsymbol{V_{Ed} = 3598.72\ kN}$$

C 35/45

$V_{Ed}$ =3598.72 kN

$N_{Ed}$=0.0 kN




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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{1450}} = 1.37 \le 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.37$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.0$$

$$C_{Rdc} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 24\varphi 40 = 301.68cm$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{301.68}{80 \cdot 150} = 0.0251$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.37 \cdot \left(100 \cdot 0.0251 \cdot 35.0\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 800 \cdot 14500$$

$$V_{Rd,c} = 8477615.68\ N = 8477.62\ kN$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \ge \left[ \nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.37^{3/2} \cdot 35.0^{1/2} = 0.33$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.0$$

$$V_{Rd,c} \ge 0.33 \cdot 800 \cdot 14500$$

$$V_{Rd,c} \ge 3480000\ N = 3480\ kN$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 3598.72\ kN$$

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0.6\left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0.6\left[1.0 - \frac{35}{250}\right] = 0.516$$

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 800 \cdot 14500 \cdot 23.33 = 69822024\ N = 69822,024\ kN > V_{Ed,\max} = V$$

$V_{Ed,\max} / V_{Rd,\max} = 3598.72/69822.02 \approx 0.12 \Rightarrow V_{Ed} = 0.12\, V_{Rd,\max}$

$s_{\max} = \min\{0.75 \cdot d; 30.0\, cm\} =$

$\min\{0.75 \cdot 145 = 108.75; 30.0\} \quad \Rightarrow \quad s_{\max} = 30.0\, cm$

$\rho_{\min} = 0.001$

Potrebna računska poprečna armatura!

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 80}{2} = 1.20\ cm^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø14/30** ($A_{sw}$=1.54 cm$^2$)

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B\,500B \quad \Rightarrow \quad f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8\ MPa = 43.48\ kN/cm^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 145) \cdot 43.48 \cdot 2 = 298.84\ kN$$

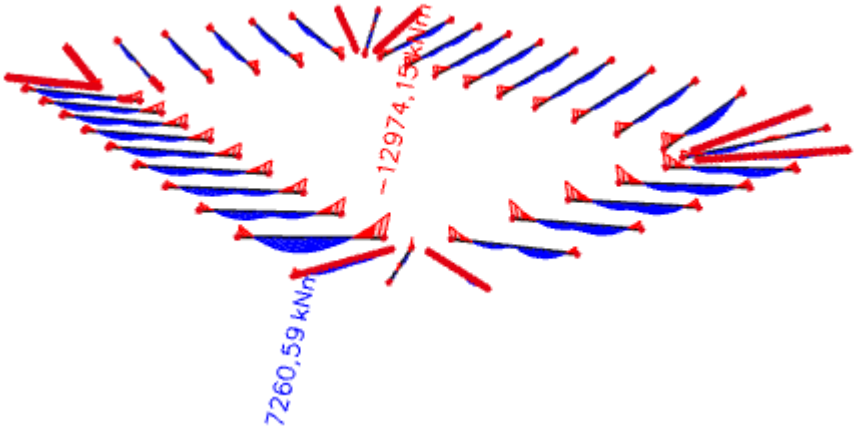
$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \le \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1.70 \cdot 43.5 \cdot (0.9 \cdot 145)}{3598.72} = 6.53\ cm$$

Postaviti spone **Ø14/6** ($A_{sw}$=1.70 cm$^2$)

**Mjerodavna kombinacija GSU : 1.0·(stalno+dodatno stalno opterećenje)+1.0·korisno opterećenje**




**$M_y$(greda)**

Prognozna širina pukotine:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}\right)}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}}\right) = \frac{6.06 \cdot 301.68}{80} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 80 \cdot 145}{6.06 \cdot 301.68}}\right) = 61.91\, cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{12974.15}{\left(145 - \frac{61.91}{3}\right) \cdot 301.68} = 3.45 \frac{kN}{cm^2} = 345.8\, MPa$$

Za C 35/45 ⇨ $f_{ct,eff} = 2.9\,MPa$

$A_{s1}$ = 24Ø40 = 301.68 $cm^2$

$E_{cm} = 33.0\, GPa = 33000.0\, MPa$ - modul elastičnosti betona

$E_s = 200.0\,GPa = 200000.0\,MPa$ - modul elastičnosti armature

$k_t = 0.4$ - Dugotrajno opterećenje

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6.06$$ - Odnos modula elatičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{301,68}{80*145} = 0.026$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{345.8 - 0.4\frac{2.9}{0.026}\left(1 + 6.06 \cdot 0.026\right)}{200000.00} \geq 0.6 \cdot \frac{345.8}{200000.00}$$

$$\frac{294.15}{200000.00} \geq \frac{207.48}{200000.00}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00147$

Srednji razmak pukotina:

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

$\varphi = 40\ mm$

$c = 40\ mm$ - Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$ - Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ - Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,\max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{40}{0.026} = 397.53\ mm$$

Karakteristična širina pukotine:

$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 397.53 \cdot 0.00141 = 0.287\ mm < w_g = 0.3\ mm$ - Pukotine zadovoljavaju!

### *12.2.1.3. Kontrola progiba*

Progib kontroliramo za nefaktorizirano opterećenje i bez utjecaja puzanja.

Granični progib:

$$v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{2572}{250} = 10.29\ cm$$

Beton: C 35/45; $f_{ck}$=35.0 MPa

$$E_{cm} = 33000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0.3 \cdot (35)^{2/3} = 3.21\ MPa$$

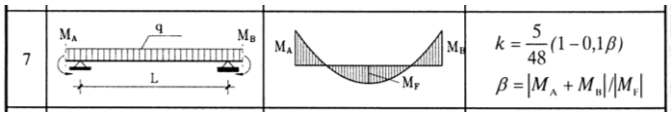
Čelik: B500B; $E_s$=200.0 GPa

$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32.1} = 6.23$$

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

$$\beta = |M_A + M_B| / |M_F| = |12974.15 + 4722.02| / 7260,59 = 2.43$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0.1 \cdot \beta) = 0.104 \cdot (1 - 0.1 \cdot 2.43) = 0.078$$




*Progib homogenog presjeka:*

$A_{s1}$ = 24∅40 = 301.68 cm$^2$

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

$$= \frac{80 \cdot 150^3}{12} + 6.23 \cdot \left[ 301.68 \cdot \left( \frac{150}{2} - 5 \right)^2 \right] =$$

$$= 22500000 + 9209385,36 = 31709385.36\ cm^4$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 33.0\ GN/m^2 = 3300.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{1297415}{3300 \cdot 31709385.36} = 0.0000012\ \frac{1}{cm}$$

*Progib potpuno raspucanog presjeka:*

$x = 61.91\ cm$

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

$$= \frac{80 * 61.91^3}{12} + (80 * 61.91) \cdot \left( \frac{61.91}{2} \right)^2 + 6.23 \cdot \left[ 301.68 \cdot (145 - 61.91)^2 \right] ..$$

$$= 6327776.69 + 1975738.48 = 19303515.17\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1297415}{3300 \cdot 19303515.17} = 0.0000201 \frac{1}{cm}$$

Ukupni progib

$$\sigma_s = 270.4\ MPa$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{(d - \frac{x}{3}) \cdot A_{s1}}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 2.9 \cdot \frac{80 \cdot 150^2}{6} = 870000 kNcm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{870000}{(145 - \frac{61.91}{3}) \cdot 301.6} = 23.19 MPa$$

$$\sigma_{sr} = 23.19\ MPa$$

$\beta_1 = 1.0$ - Rebrasta armatura

$\beta_2 = 0.5$ - Dugotrajno opterećenje

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left( \frac{23.19}{270.4} \right)^2 = 0.99$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000012 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.0000201 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.99) \cdot 0.0000012 + 0.99 \cdot 0.0000201 = 0.0000199 \frac{1}{cm}$$

$k = 0.078$

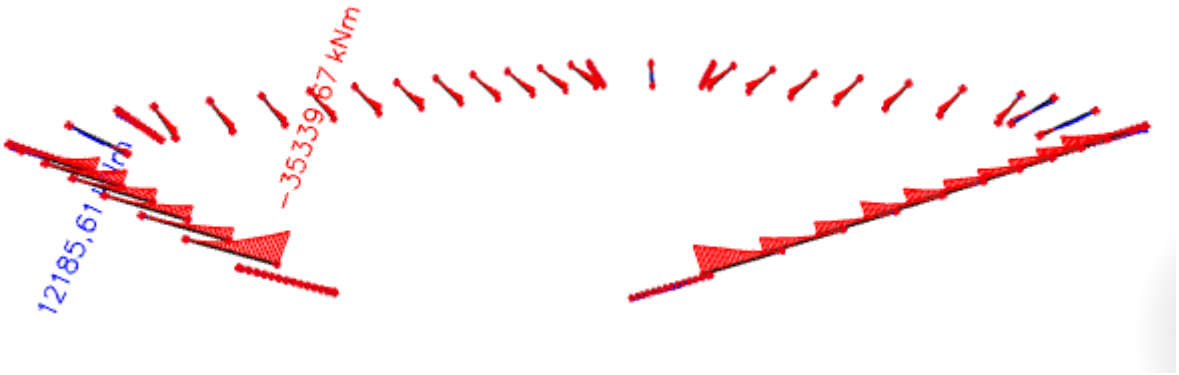
$L = 2572\ cm$

$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.078 \cdot 2572^2 \cdot 0.00000199 = 1.27\ cm < v_{\lim} = 10.29\ cm$$

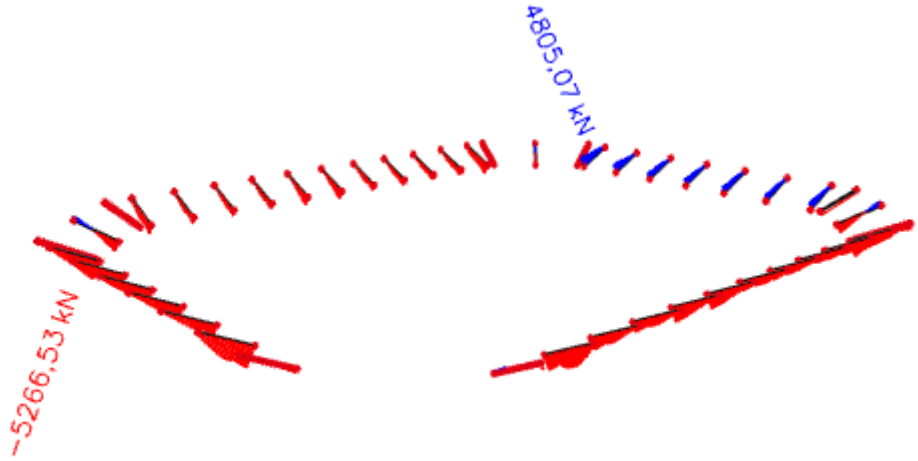
## 12.2.2. POPREČNI NOSAČI POZICIJE 2 – PN2

Prikaz reznih sila prema vrsti opterećenja

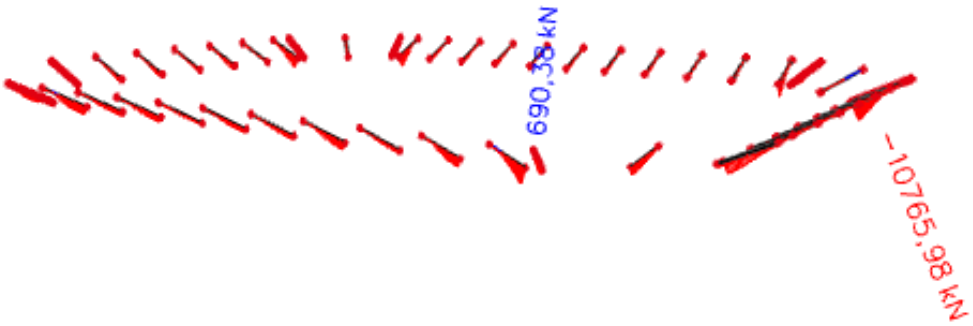
- UOBIČAJNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA




My (kNm)

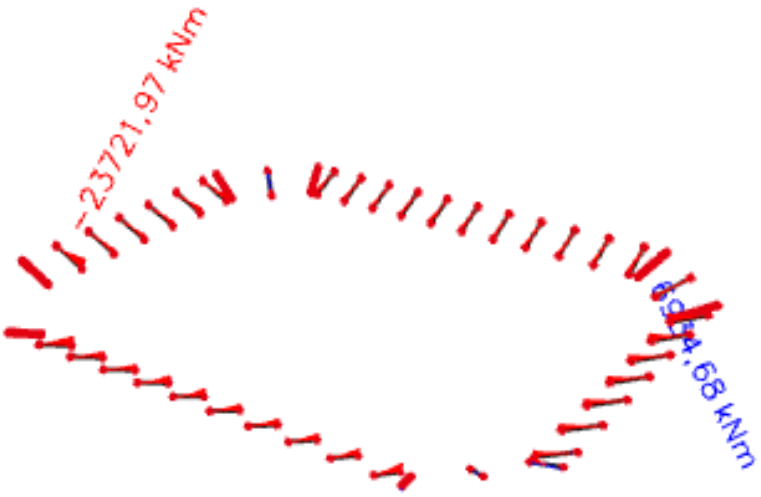



Vz (kN)




N (kN)

- IZVANREDNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA

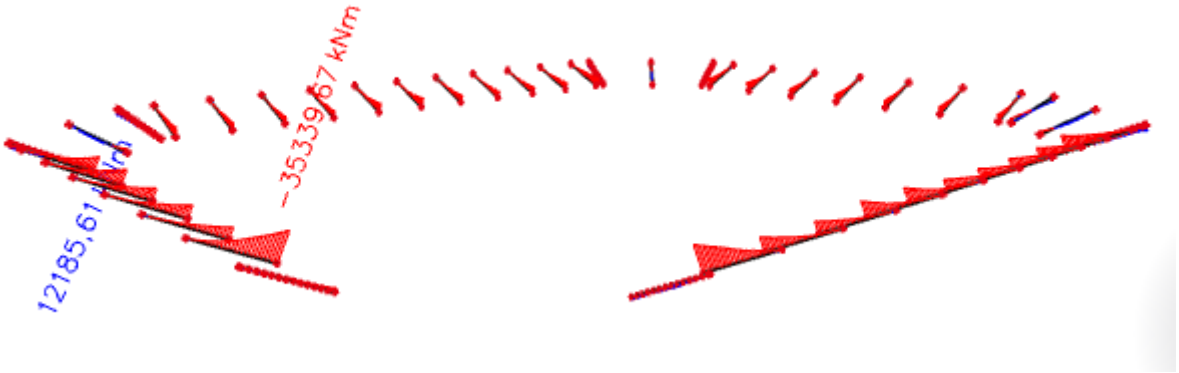



My (kNm)

Vz (kN)

N (kN)

NOSAČ PN 1 – maksimalno opterećen momentom savijanja – LEŽAJ.
U obzir uzeta kritičnija od uobičajne i izvanredne kombinacija opterećenja.




M max, ležaj

***Ležaj 0:***

$$M_{Ed} = 35339.67\ kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{35339.67}{80 \cdot 145^2 \cdot 2.33} = 0.00901$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0\ ‰ \quad \varepsilon_{c2} = 0.6\ ‰ \quad \zeta = 0.981$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{35339.67}{0.981 \cdot 145 \cdot 43.5} = 349.84\ cm^2$$

**Odabrano 28Ø40 (As=351.96 cm²)**

*12.2.2.2. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu*

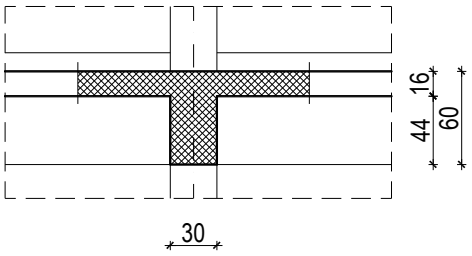
*Ležaj 0* **:Mjerodavna kombinacija za ležaj0: Uobičajna kombinacija**

$$\boldsymbol{V_{Ed} = 5266.53\ kN}$$

C 35/45

$V_{Ed}$ =5266.53 kN

$N_{Ed}$=0.0 kN




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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{1450}} = 1.37 \le 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.37$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.0$$

$$C_{Rdc} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 28\varphi 40 = 351.96cm$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{351.96}{80 \cdot 150} = 0.0293$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.37 \cdot \left(100 \cdot 0.0293 \cdot 35.0\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 800 \cdot 14500$$

$$V_{Rd,c} = 8926304.35\ N = 8926.30\ kN$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \ge \left[ \nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.37^{3/2} \cdot 35.0^{1/2} = 0.33$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.0$$

$$V_{Rd,c} \ge 0.33 \cdot 800 \cdot 14500$$

$$V_{Rd,c} \ge 3480000\ N = 3480\ kN$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 5266.53\ kN$$

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0.6\left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0.6\left[1.0 - \frac{35}{250}\right] = 0.516$$

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 800 \cdot 14500 \cdot 23.33 = 69822024\ N = 69822,024\ kN > V_{Ed,\max} = V$$

$V_{Ed,\max} / V_{Rd,\max} = 5266.53/69822.02 \approx 0.12 \Rightarrow V_{Ed} = 0.12\, V_{Rd,\max}$

$s_{\max} = \min\{0.75 \cdot d;\ 30.0\, cm\} =$

$\min\{0.75 \cdot 145 = 108.75;\ 30.0\} \quad \Rightarrow \quad s_{\max} = 30.0\, cm$

$\rho_{\min} = 0.001$

Potrebna računska poprečna armatura!

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 80}{2} = 1.20\ cm^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø14/30** ($A_{sw}$=1.54 cm$^2$)

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B\,500B \quad \Rightarrow \quad f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8\ MPa = 43.48\ kN/cm^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 145) \cdot 43.48 \cdot 2 = 298.84\ kN$$

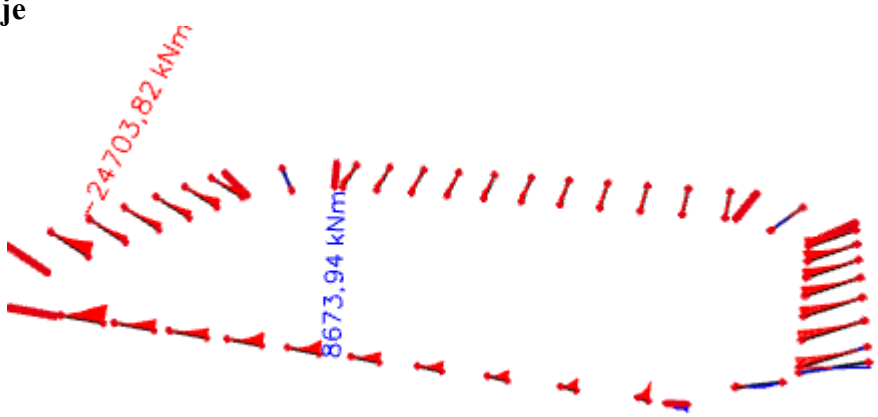
$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \le \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1.70 \cdot 43.5 \cdot (0.9 \cdot 145)}{5266.53} = 4.66\ cm$$

Postaviti spone **Ø14/4** ($A_{sw}$=1.70 cm$^2$)

**Mjerodavna kombinacija GSU : 1.0·(stalno+dodatno stalno opterećenje)+1.0·korisno opterećenje**




**$M_y$(greda)**

Prognozna širina pukotine:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}\right)}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}}\right) = \frac{6.06 \cdot 351.96}{80} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 80 \cdot 145}{6.06 \cdot 351.96}}\right) = 65.22\ cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{2470382}{\left(145 - \frac{65.22}{3}\right) \cdot 351.96} = 56.94 \frac{kN}{cm^2} = 569.41\ MPa$$

Za C 35/45 ⇨ $f_{ct,eff} = 2.9\,\text{MPa}$

$A_{s1}$ = 28Ø40 = 351.96 $cm^2$

$E_{cm} = 33.0\ GPa = 33000.0\ MPa$ - modul elastičnosti betona

$E_s = 200.0\ \text{GPa} = 200000.0\ \text{MPa}$ - modul elastičnosti armature

$k_t = 0.4$ - Dugotrajno opterećenje

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6.06$$ - Odnos modula elatičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{351.96}{80*145} = 0.030$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{569.41 - 0.4\frac{2.9}{0.03}\left(1 + 6.06 \cdot 0.03\right)}{200000.00} \geq 0.6 \cdot \frac{569.41}{200000.00}$$

$$\frac{537.77}{200000.00} \geq \frac{341.64}{200000.00}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.00269$

Srednji razmak pukotina:

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

$\varphi = 40\ mm$

$c = 40\ mm$ - Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$ - Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ - Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,\max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{40}{0.026} = 397.53\ mm$$

Karakteristična širina pukotine:

$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 397.53 \cdot 0.00269 = 0.294\ mm < w_g = 0.3\ mm$ - Pukotine zadovoljavaju!

### 12.2.2.3. Kontrola progiba

Progib kontroliramo za nefaktorizirano opterećenje i bez utjecaja puzanja.

Granični progib:

$$v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{1181}{250} = 4.72\ cm$$

Beton: C 35/45; $f_{ck}$=35.0 MPa

$$E_{cm} = 33000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0.3 \cdot (35)^{2/3} = 3.21\ MPa$$

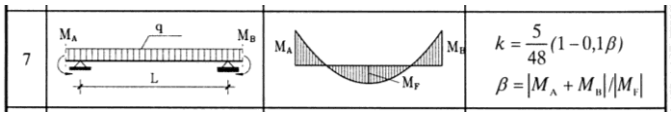
Čelik: B500B; $E_s$=200.0 GPa

$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32.1} = 6.23$$

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

$$\beta = |M_A + M_B| / |M_F| = |24703.82 + 0.0| / 11245.07 = 2.19$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0.1 \cdot \beta) = 0.104 \cdot (1 - 0.1 \cdot 2.19) = 0.081$$




*Progib homogenog presjeka:*

$A_{s1}$ = 28∅40 = 351.96 cm$^2$

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

$$= \frac{80 \cdot 150^3}{12} + 6.23 \cdot \left[ 351.96 \cdot \left( \frac{150}{2} - 5 \right)^2 \right] =$$

$$= 22500000 + 10744282.92 = 33244282.92\ cm^4$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 33.0\ GN/m^2 = 3300.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{2470382}{3300 \cdot 33244282.92} = 0.0000022\ \frac{1}{cm}$$

*Progib potpuno raspucanog presjeka:*

$x = 65.22\ cm$

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

$$= \frac{80 * 65.22^3}{12} + (80 * 65.22) \cdot \left( \frac{65.22}{2} \right)^2 + 6.23 \cdot \left[ 351.96 \cdot (145 - 65.22)^2 \right] ..$$

$$= 7397945.29 + 13956271.83 = 21354217.12\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{2470382}{3300 \cdot 21354217.12} = 0.0000035 \frac{1}{cm}$$

Ukupni progib

$$\sigma_s = 569.41\, MPa$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{(d - \frac{x}{3}) \cdot A_{s1}}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 2.9 \cdot \frac{80 \cdot 150^2}{6} = 870000 kNcm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{870000}{(145 - \frac{65.22}{3}) \cdot 351.96} = 20.05 MPa$$

$$\sigma_{sr} = 20.05\, MPa$$

$\beta_1 = 1.0$ - Rebrasta armatura

$\beta_2 = 0.5$ - Dugotrajno opterećenje

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left( \frac{20.05}{569.41} \right)^2 = 0.99$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000022 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.0000035 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.99) \cdot 0.0000022 + 0.99 \cdot 0.0000035 = 0.0000031 \frac{1}{cm}$$

$k = 0.078$

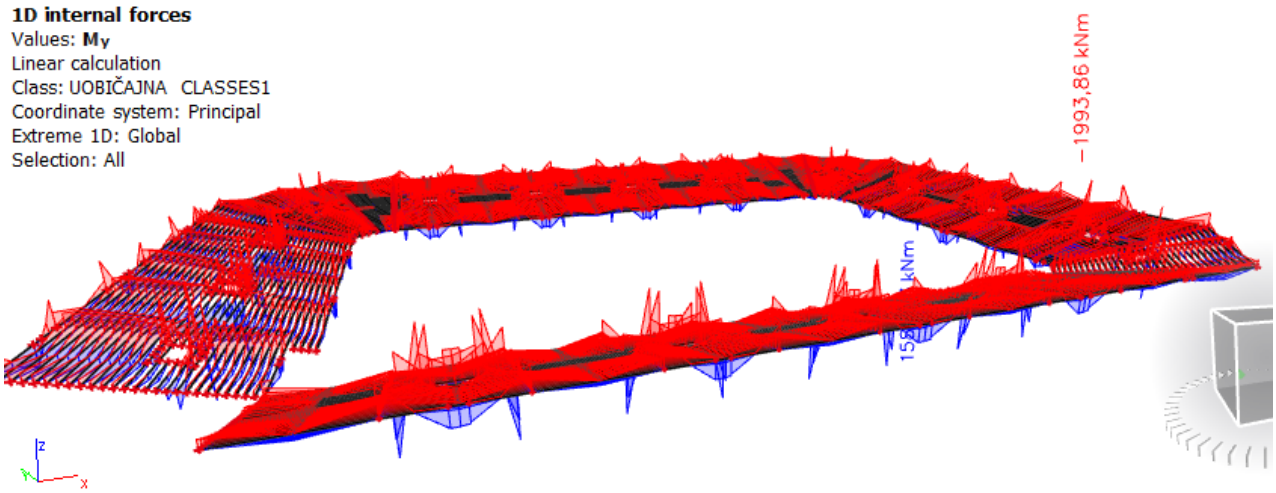
$L = 1181\, cm$

$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.078 \cdot 1181^2 \cdot 0.00000031 = 0.03\, cm < v_{\lim} = 4.72\ cm$$

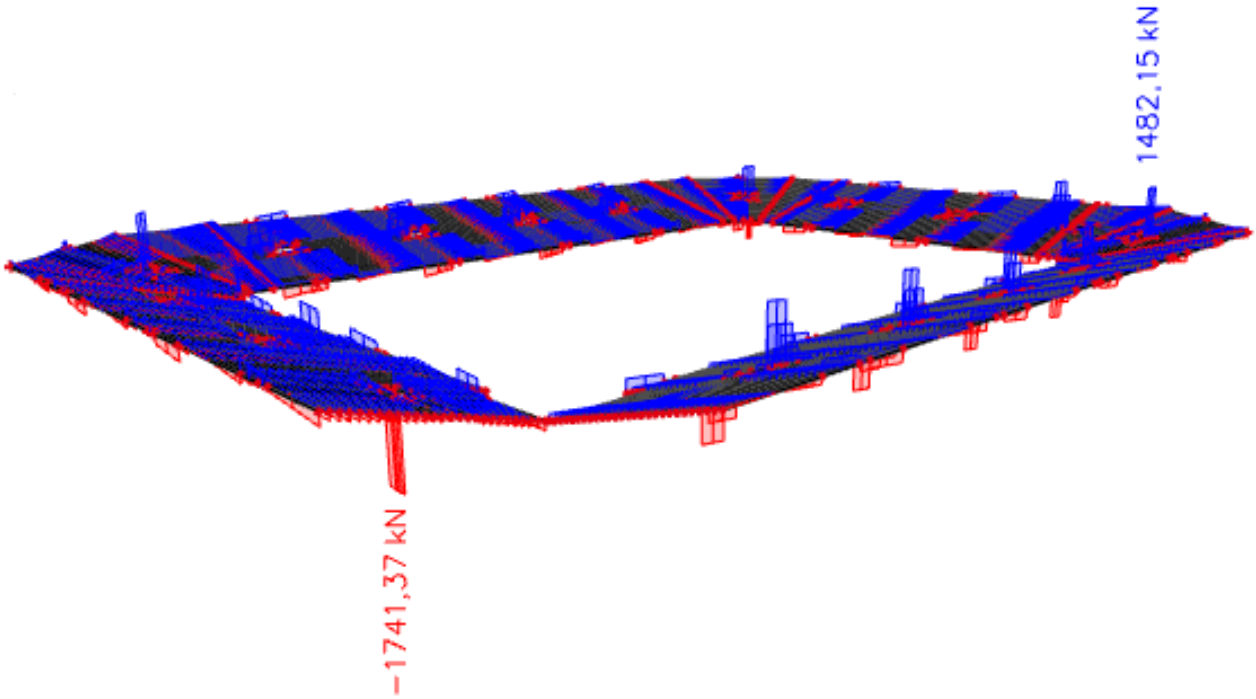
## 12.3. UZDUŽNI NOSAČI DONJEG PRSTENA STADIONA (TRIBINE)- POZICIJA UN1

Prikaz reznih sila prema vrsti opterećenja

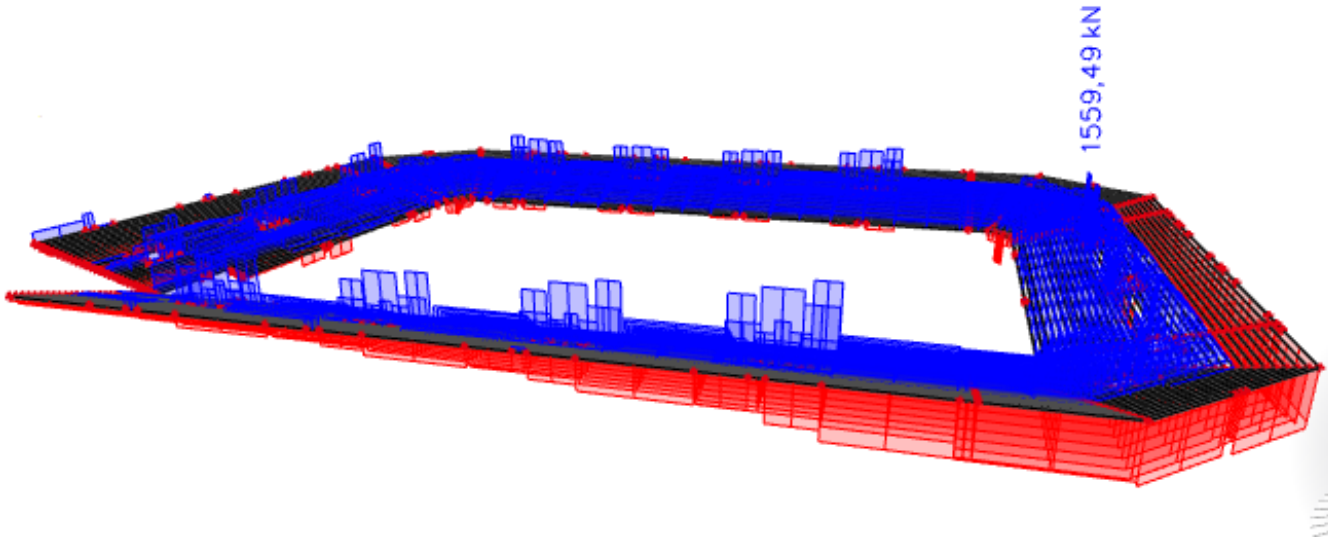
- UOBIČAJNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA




My (kNm)

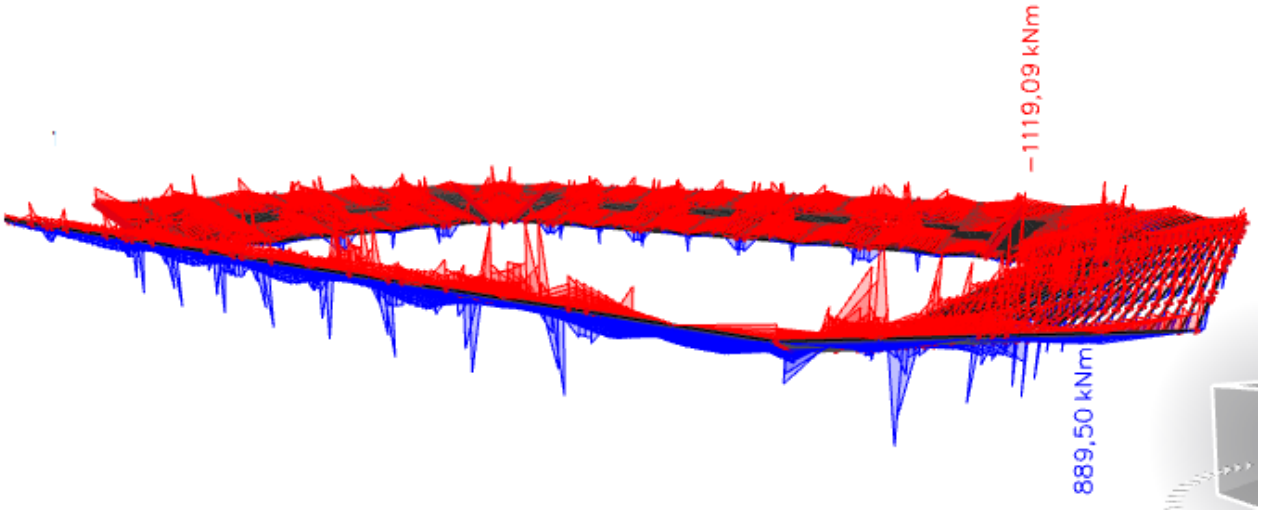



Vz (kN)

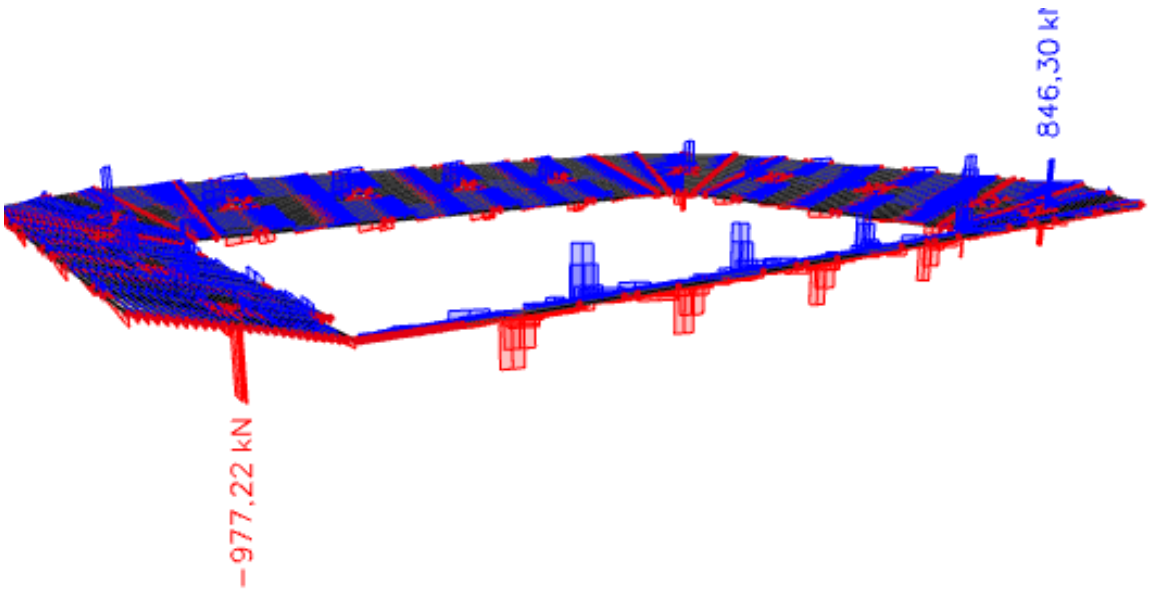



N (kN)

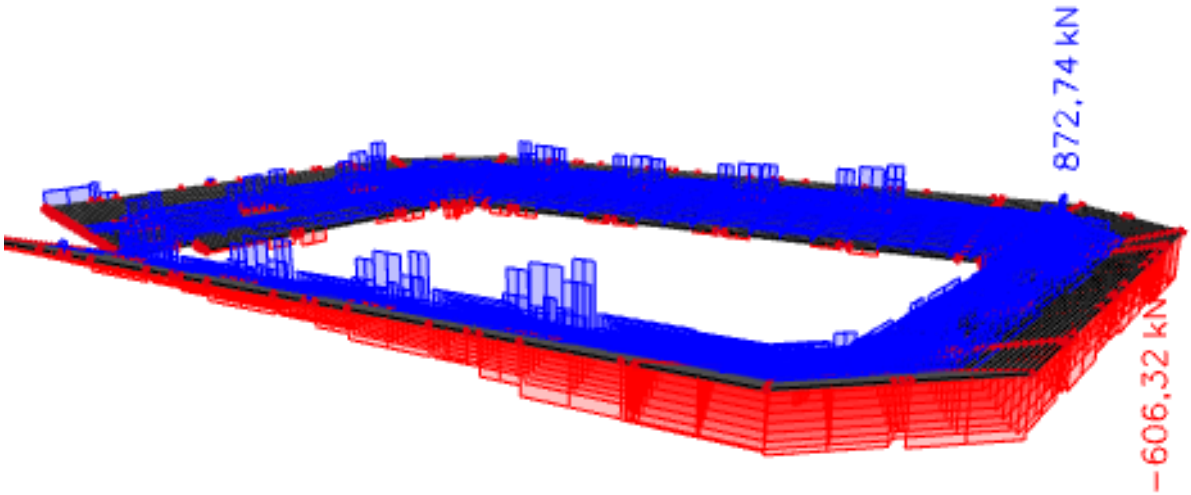
- IZVANREDNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA




My (kNm)

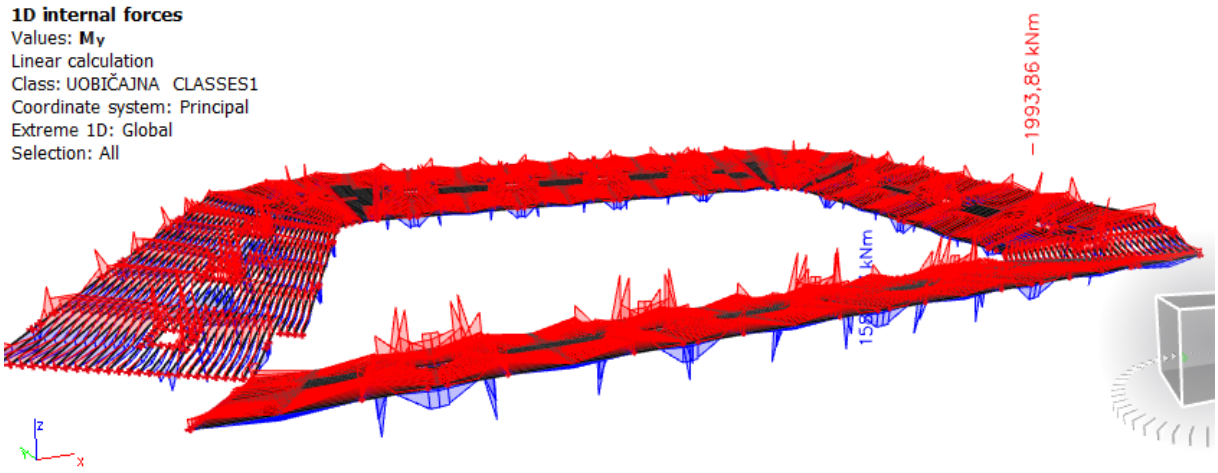



Vz (kN)




N (kN)

UZDUŽNI NOSAČ UN 1 – maksimalno opterećen momentom savijanja – LEŽAJ i POLJE.
U obzir uzeta kritičnija od uobičajne i izvanredne kombinacija opterećenja.




M max, ležaj

***Ležaj 0:***

$$M_{Ed} = 1993.80\ kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1993.80}{80 \cdot 45^2 \cdot 2.33} = 0.084$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0\ ‰ \quad \varepsilon_{c2} = 2.0\ ‰ \quad \zeta = 0.938$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{19938,0}{0.938 \cdot 45 \cdot 43.5} = 10,86\ cm^2$$

**Odabrano 6Ø16 (As=12.06 cm²)**

***Polje P1:***

$$M_{Ed} = 1583.26\ kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1583.26}{80 \cdot 45^2 \cdot 2.33} = 0.004$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0\ ‰ \quad \varepsilon_{c2} = 0.4\ ‰ \quad \zeta = 0.987$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{15832.6}{0.987 \cdot 45 \cdot 43.5} = 8.19\ cm^2$$

**Odabrano 5Ø16 (As=10.05 cm²)**

### *12.3.2. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu*

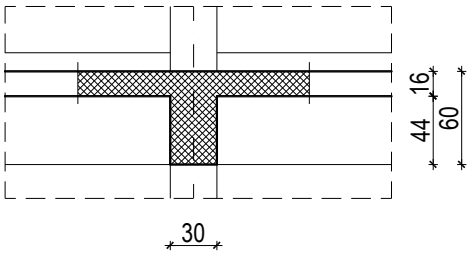
*Ležaj 0* **:Mjerodavna kombinacija za ležaj0: Uobičajna kombinacija**

$$\boldsymbol{V_{Ed} = 1741,37\ kN}$$

C 35/45

$V_{Ed}$ =1741,37 kN

$N_{Ed}$=0.0 kN




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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1.67 \le 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.67$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.0$$

$$C_{Rdc} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 6\varphi 16 = 12.06 cm$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{12.06}{75 \cdot 50} = 0.0032$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.37 \cdot \left(100 \cdot 0.0293 \cdot 35.0\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 800 \cdot 14500$$

$$V_{Rd,c} = 8926304.35\ N = 8926.30\ kN$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \ge \left[ \nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.67^{3/2} \cdot 35.0^{1/2} = 0.45$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.0$$

$$V_{Rd,c} \ge 0.45 \cdot 750 \cdot 450$$

$$V_{Rd,c} \ge 151875\ N = 151.88\ kN$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 1741,37\ kN$$

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0.6\left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0.6\left[1.0 - \frac{35}{250}\right] = 0.516$$

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 750 \cdot 450 \cdot 23.33 = 2031459,75\ N = 2031.45\ kN > V_{Ed,\max} = V_{Ed}$$

$V_{Ed,\max} / V_{Rd,\max} = 1741,37 / 2031.45 \approx 0.85 \Rightarrow V_{Ed} = 0.12\, V_{Rd,\max}$

$s_{\max} = \min\{0.75 \cdot d;\ 30.0\,cm\} =$

$\min\{0.75 \cdot 45 = 33.75;\ 30.0\} \quad \Rightarrow \quad s_{\max} = 30.0\,cm$

$\rho_{\min} = 0.001$

Potrebna računska poprečna armatura!

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 75}{2} = 1.12\ cm^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø14/30** ($A_{sw}$=1.54 cm$^2$)

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B\,500B \quad \Rightarrow \quad f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8\ MPa = 43.48\ kN/cm^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{1.54}{30} \cdot (0.9 \cdot 45) \cdot 43.48 \cdot 2 = 180.79\ kN$$

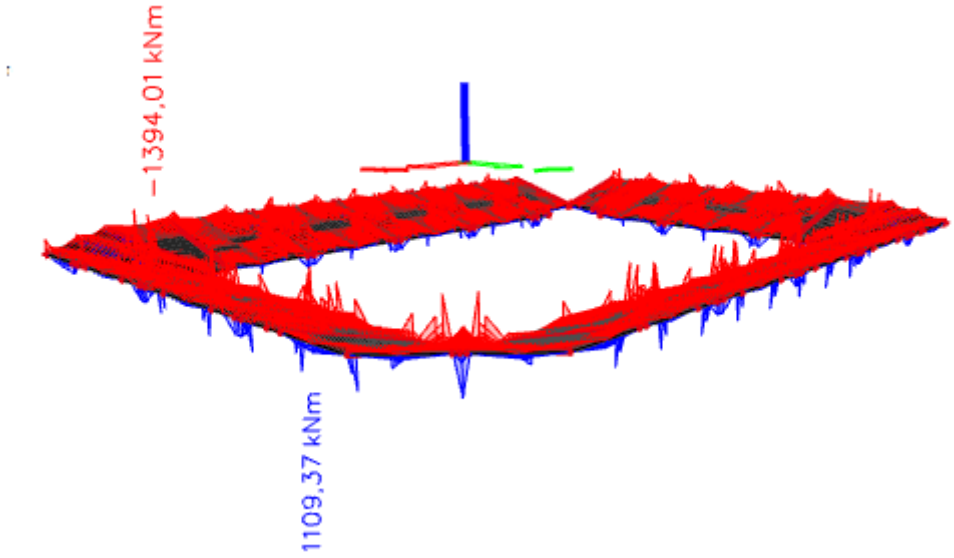
$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \le \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1.54 \cdot 43.5 \cdot (0.9 \cdot 45)}{1741,37} = 3.11\,cm$$

Postaviti spone **Ø14/3** ($A_{sw}$=1.54 cm$^2$)

**Mjerodavna kombinacija GSU : 1.0·(stalno+dodatno stalno opterećenje)+1.0·korisno opterećenje**




**$M_y$(greda)**

Prognozna širina pukotine:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}\right)}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}}\right) = \frac{6.06 * 12,06}{75} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 75 \cdot 45}{6.06 \cdot 12,06}}\right) = 8.44\ cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{139401}{\left(45 - \frac{8,44}{3}\right) \cdot 12.06} = 273.99 \frac{kN}{cm^2} = 27399,54\ MPa$$

Za C 35/45 ⇨ $f_{ct,eff} = 2.9\,MPa$

$A_{s1}$ = 6Ø16 = 12.06 $cm^2$

$E_{cm} = 33.0\ GPa = 33000.0\ MPa$ - modul elastičnosti betona

$E_s = 200.0\ GPa = 200000.0\ MPa$ - modul elastičnosti armature

$k_t = 0.4$ - Dugotrajno opterećenje

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6.06$$ - Odnos modula elatičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{12.06}{75 * 45} = 0.0036$$

$$\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}=\frac{27399,54-0.4\frac{2.9}{0.0036}(1+6.06\cdot 0.0036)}{200000.00}\geq 0.6\cdot\frac{27399,54}{200000.00}$$

$$\frac{27070,29}{200000.00}\geq\frac{16439.72}{200000.00}$$

$\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}=0.00135$

Srednji razmak pukotina:

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

$\varphi=16\ mm$

$c=40\ mm$ - Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1=0.8$ - Rebrasta armatura

$k_2=0.5$ - Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,\max}=3.4\cdot 40+0.8\cdot 0.5\cdot 0.425\cdot\frac{16}{0.036}=211.56\ mm$$

Karakteristična širina pukotine:

$w_k=s_{r,\max}\cdot(\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm})=211.56\cdot 0.00135=0.285\ mm<w_g=0.3\ mm$ - Pukotine zadovoljavaju!

### *12.3.3. Kontrola progiba*

Progib kontroliramo za nefaktorizirano opterećenje i bez utjecaja puzanja.

Granični progib:

$$v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{1140}{250} = 4.56\ cm$$

Beton: C 35/45; $f_{ck}$=35.0 MPa

$$E_{cm} = 33000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0.3 \cdot (35)^{2/3} = 3.21\ MPa$$

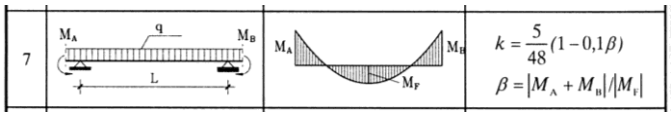
Čelik: B500B; $E_s$=200.0 GPa

$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32.1} = 6.23$$

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

$$\beta = |M_A + M_B| / |M_F| = |1394,01 + 1257.65| / 1109.37 = 2.39$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0.1 \cdot \beta) = 0.104 \cdot (1 - 0.1 \cdot 2.39) = 0.079$$




*Progib homogenog presjeka:*

$A_{s1} = 6\varnothing 16 = 12.06\ cm^2$

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

$$= \frac{75 \cdot 50^3}{12} + 6.23 \cdot \left[ 12.06 \cdot \left( \frac{50}{2} - 5 \right)^2 \right] =$$

$$= 781250 + 30053,52 = 811303.52\ cm^4$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 33.0\ GN/m^2 = 3300.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{1394.01}{3300 \cdot 811303,52} = 0.0000052\ \frac{1}{cm}$$

*Progib potpuno raspucanog presjeka:*

$x = 8.44\ cm$

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

$$= \frac{75 * 8.44^3}{12} + (75 * 8.44) \cdot \left( \frac{8.44}{2} \right)^2 + 6.23 \cdot \left[ 12.06 \cdot (45 - 8.44)^2 \right] ..$$

$$= 15030.29 + 100426.36 = 115456.65\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1394.01}{3300 \cdot 115456,65} = 0.0000036 \frac{1}{cm}$$

Ukupni progib

$$\sigma_s = 27399.54\ MPa$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{(d - \frac{x}{3}) \cdot A_{s1}}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 2.9 \cdot \frac{75 \cdot 50^2}{6} = 90625 kNcm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{90625}{(45 - \frac{8,44}{3}) \cdot 12.06} = 178.12 MPa$$

$$\sigma_{sr} = 178.12\ MPa$$

$\beta_1 = 1.0$ - Rebrasta armatura

$\beta_2 = 0.5$ - Dugotrajno opterećenje

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left( \frac{178.12}{27399.54} \right)^2 = 0.99$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000052 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.0000036 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.99) \cdot 0.0000052 + 0.99 \cdot 0.0000036 = 0.0000031 \frac{1}{cm}$$

$k = 0.078$

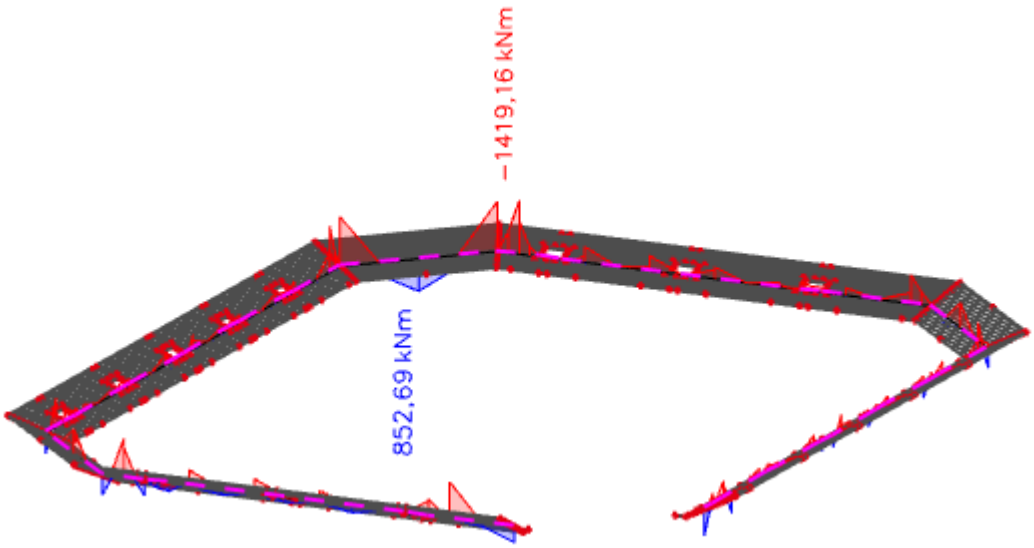
$L = 1140\ cm$

$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.078 \cdot 1140^2 \cdot 0.00000031 = 0.8\ cm < v_{\lim} = 4.56\ cm$$

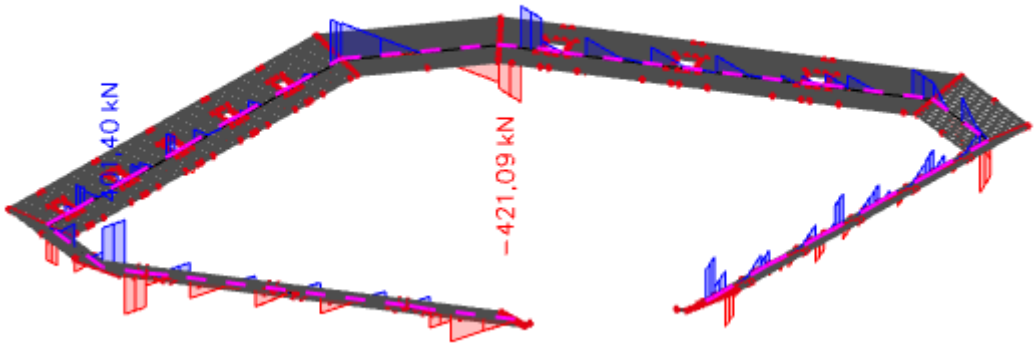
## 12.4. UZDUŽNI NOSAČI GORNJEG PRSTENA STADIONA (TRIBINE)- POZICIJA UN2

Prikaz reznih sila prema vrsti opterećenja

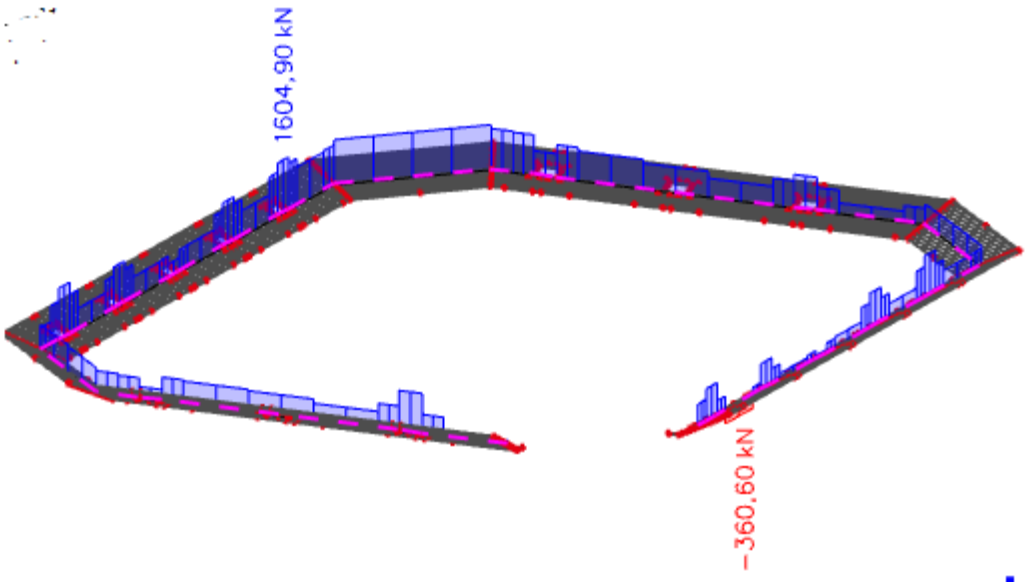
- UOBIČAJNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA




My (kNm)

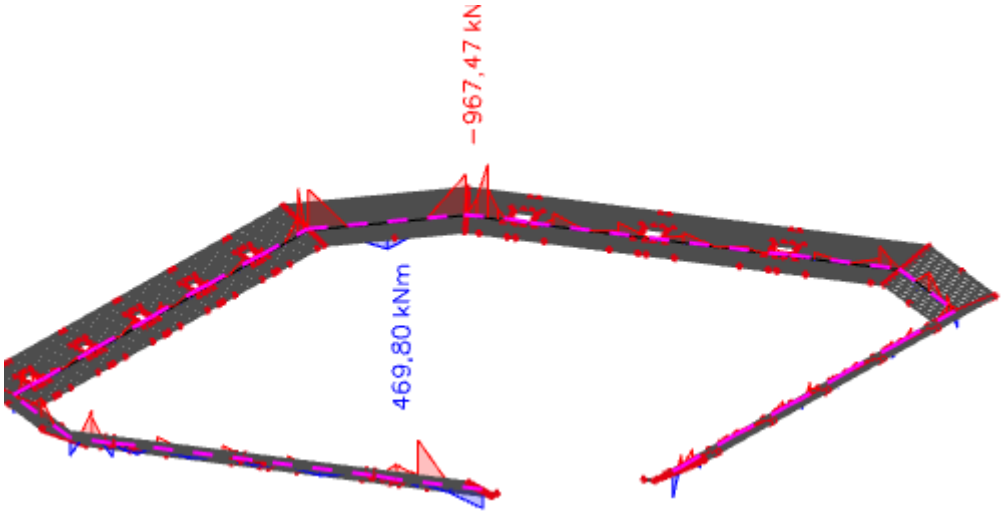



Vz (kN)

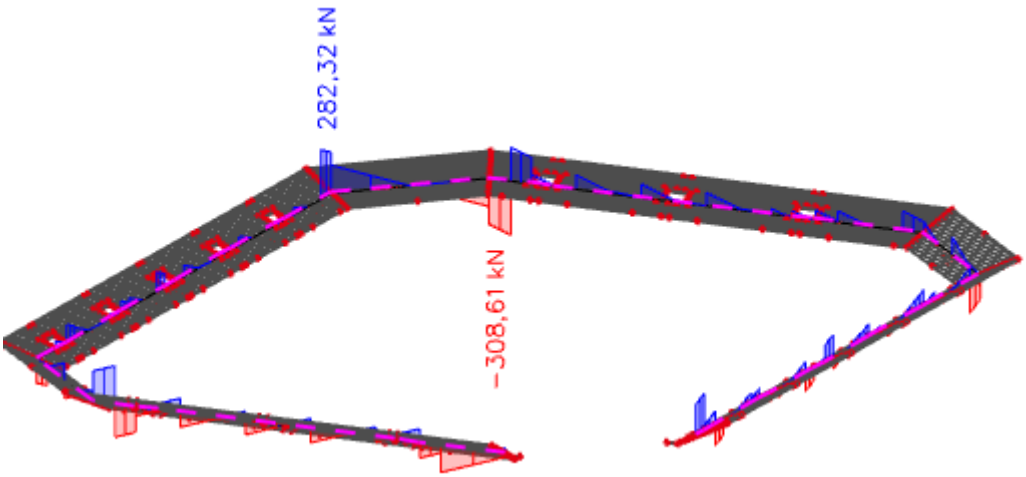



N (kN)

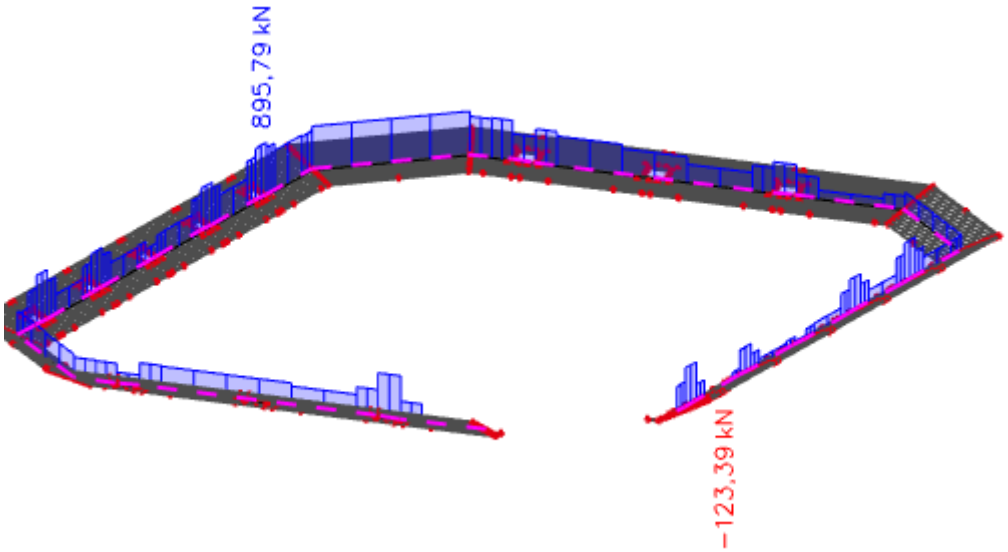
- IZVANREDNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA




My (kNm)

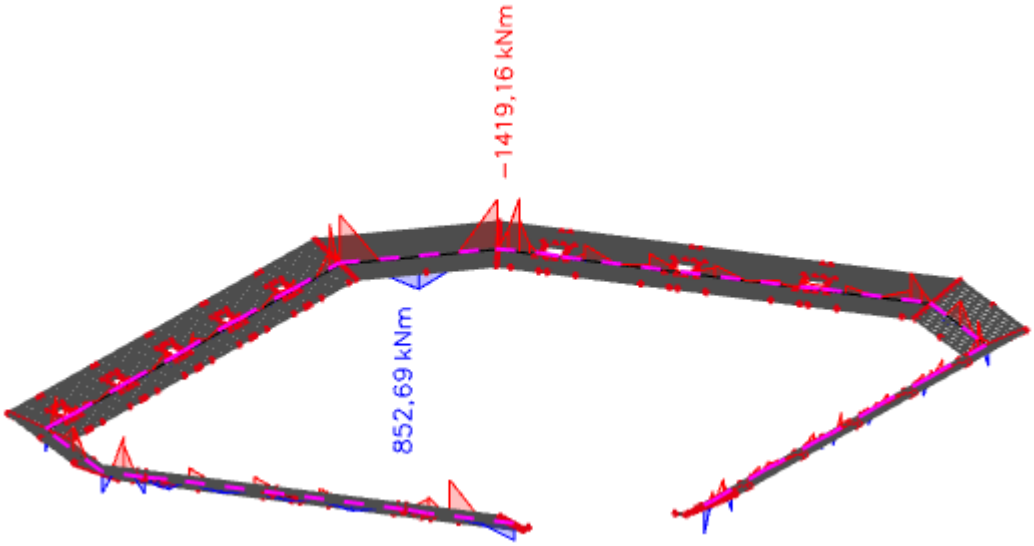



Vz (kN)




N (kN)

UZDUŽNI NOSAČ UN 2 – maksimalno opterećen momentom savijanja – LEŽAJ i POLJE.
U obzir uzeta kritičnija od uobičajne i izvanredne kombinacija opterećenja.




M max, ležaj

***Ležaj 0:***

$$M_{Ed} = 1419.16\ kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1419.16}{80 \cdot 45^2 \cdot 2.33} = 0.037$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0\ ‰ \quad \varepsilon_{c2} = 0.4\ ‰ \quad \zeta = 0.987$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1419.16}{0.987 \cdot 45 \cdot 43.5} = 7.34\ cm^2$$

**Odabrano 4Ø16 (As=8.04 cm²)**

***Polje P1:***

$$M_{Ed} = 852.69\ kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{852.69}{80 \cdot 45^2 \cdot 2.33} = 0.0022$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0\ ‰ \quad \varepsilon_{c2} = 0.9\ ‰ \quad \zeta = 0.971$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{85269}{0.971 \cdot 45 \cdot 43.5} = 4.48\ cm^2$$

**Odabrano 4Ø16 (As=8.04 cm²)**

### *12.4.2. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu*

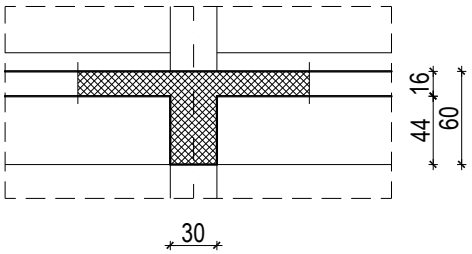
*Ležaj 0* **:Mjerodavna kombinacija za ležaj0: Uobičajna kombinacija**

$$\boldsymbol{V_{Ed} = 1741,37\ kN}$$

C 35/45

$V_{Ed}$ =412.09 kN

$N_{Ed}$=0.0 kN




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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1.67 \le 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.67$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.0$$

$$C_{Rdc} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 4\varphi 16 = 8.04cm$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{8.04}{75 \cdot 50} = 0.0021$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.67 \cdot \left(100 \cdot 0.0021 \cdot 35.0\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 750 \cdot 450$$

$$V_{Rd,c} = 131502.48\ N = 131.50\ kN$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \ge \left[ \nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.67^{3/2} \cdot 35.0^{1/2} = 0.45$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.0$$

$$V_{Rd,c} \ge 0.45 \cdot 750 \cdot 450$$

$$V_{Rd,c} \ge 151875\ N = 151.88\ kN$$

Pa je i taj uvjet zadovoljen

$$V_{Ed,\max} = V_{Ed} = 1741,37\ kN$$

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$\nu = 0.6\left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0.6\left[1.0 - \frac{35}{250}\right] = 0.516$$

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot 0.516 \cdot 750 \cdot 450 \cdot 23.33 = 2031459,75\ N = 2031.45\ kN > V_{Ed,\max} = V_{Ed}$$

$V_{Ed,\max} / V_{Rd,\max} = 412.09/2031.45 \approx 0.20 \Rightarrow V_{Ed} = 0.20\, V_{Rd,\max}$

$s_{\max} = \min\{0.75 \cdot d; 30.0\, cm\} =$

$\min\{0.75 \cdot 45 = 33.75; 30.0\} \quad \Rightarrow \quad s_{\max} = 30.0\, cm$

$\rho_{\min} = 0.001$

Potrebna računska poprečna armatura!

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0.001 \cdot 30 \cdot 75}{2} = 1.12\ cm^2$$

Odabrane minimalne spone: **Ø14/30** ($A_{sw}$=1.54 cm$^2$)

$$f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad B\,500B \quad \Rightarrow \quad f_{ywd} = \frac{500}{1.15} = 434.8\ MPa = 43.48\ kN/cm^2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{1.54}{30} \cdot (0.9 \cdot 45) \cdot 43.48 \cdot 2 = 180.79\ kN$$

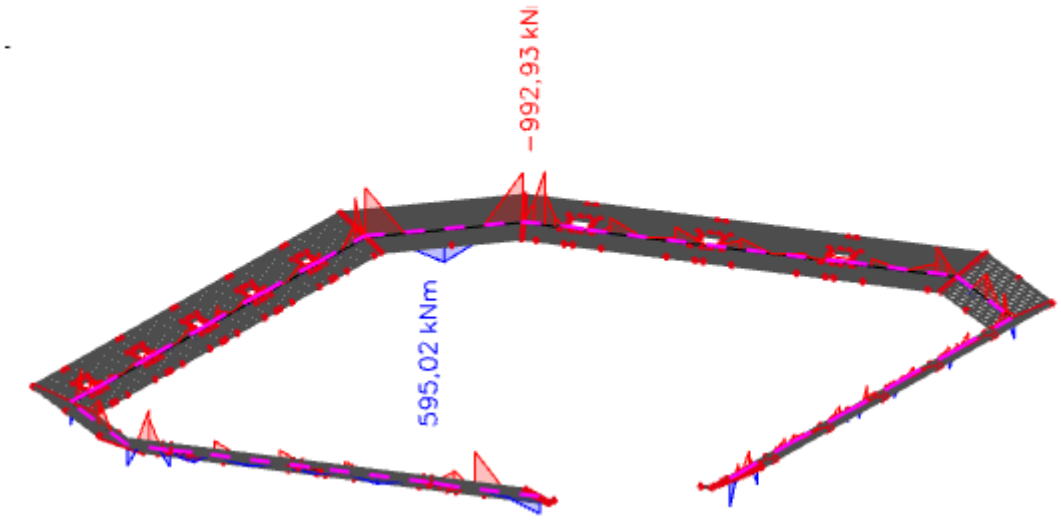
$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w \le \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{Ed}} = \frac{2 \cdot 1.54 \cdot 43.5 \cdot (0.9 \cdot 45)}{412.09} = 13.17\ cm$$

Postaviti spone **Ø14/13** ($A_{sw}$=1.54 cm$^2$)

**Mjerodavna kombinacija GSU : 1.0·(stalno+dodatno stalno opterećenje)+1.0·korisno opterećenje**




**$M_y$(greda)**

Prognozna širina pukotine:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}} \right) = \frac{6.06 * 8.04}{75} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 75 \cdot 45}{6.06 \cdot 8.04}} \right) = 7.67\ cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left( d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s} = \frac{992.39}{\left( 45 - \frac{7.67}{3} \right) \cdot 8.04} = 290.82 \frac{kN}{cm^2} = 29082\ MPa$$

Za C 35/45 ⇨ $f_{ct,eff} = 2.9\,MPa$

$A_{s1}$ = 4Ø16 = 8.04 cm$^2$

$E_{cm} = 33.0\ GPa = 33000.0\ MPa$ - modul elastičnosti betona

$E_s = 200.0\ GPa = 200000.0\ MPa$ - modul elastičnosti armature

$k_t = 0.4$ - Dugotrajno opterećenje

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6.06$$ - Odnos modula elatičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{8.04}{75 * 45} = 0.0024$$

$$\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}=\frac{29082-0.4\frac{2.9}{0.0024}\left(1+6.06\cdot 0.0024\right)}{200000.00}\geq 0.6\cdot\frac{29082}{200000.00}$$

$$\frac{2859.16}{200000.00}\geq\frac{1744.9}{200000.00}$$

$\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}=0.00143$

Srednji razmak pukotina:

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

$\varphi=16\ mm$

$c=40\ mm$ - Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1=0.8$ - Rebrasta armatura

$k_2=0.5$ - Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,\max}=3.4\cdot 40+0.8\cdot 0.5\cdot 0.425\cdot\frac{16}{0.024}=249.33\ mm$$

Karakteristična širina pukotine:

$w_k=s_{r,\max}\cdot(\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm})=249.33\cdot 0.00143=0.103\ mm<w_g=0.3\ mm$ - Pukotine zadovoljavaju!

### *12.4.3. Kontrola progiba*

Progib kontroliramo za nefaktorizirano opterećenje i bez utjecaja puzanja.

Granični progib:

$$v_{\lim} = \frac{L}{250} = \frac{1140}{250} = 4.56\ cm$$

Beton: C 35/45; $f_{ck}$=35.0 MPa

$$E_{cm} = 33000\ MPa$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0.3 \cdot (35)^{2/3} = 3.21\ MPa$$

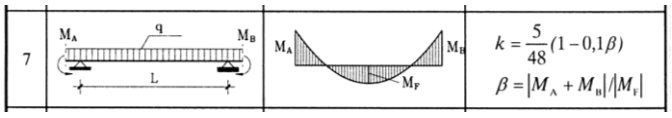
Čelik: B500B; $E_s$=200.0 GPa

$$\alpha_{eI} = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.0}{32.1} = 6.23$$

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

$$\beta = |M_A + M_B| / |M_F| = |1394,01 + 1257.65| / 1109.37 = 2.39$$

$$k = \frac{5}{48} \cdot (1 - 0.1 \cdot \beta) = 0.104 \cdot (1 - 0.1 \cdot 2.39) = 0.079$$




*Progib homogenog presjeka:*

$A_{s1} = 6\varnothing 16 = 12.06\ cm^2$

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

$$= \frac{75 \cdot 50^3}{12} + 6.23 \cdot \left[ 12.06 \cdot \left( \frac{50}{2} - 5 \right)^2 \right] =$$

$$= 781250 + 30053,52 = 811303.52\ cm^4$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 33.0\ GN/m^2 = 3300.0\ kN/cm^2$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{1394.01}{3300 \cdot 811303,52} = 0.0000052\ \frac{1}{cm}$$

*Progib potpuno raspucanog presjeka:*

$x = 8.44\ cm$

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

$$= \frac{75 * 8.44^3}{12} + (75 * 8.44) \cdot \left( \frac{8.44}{2} \right)^2 + 6.23 \cdot \left[ 12.06 \cdot (45 - 8.44)^2 \right] ..$$

$$= 15030.29 + 100426.36 = 115456.65\ cm^4$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} = \frac{1394.01}{3300 \cdot 115456,65} = 0.0000036 \frac{1}{cm}$$

Ukupni progib

$$\sigma_s = 27399.54\ MPa$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{(d - \frac{x}{3}) \cdot A_{s1}}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 2.9 \cdot \frac{75 \cdot 50^2}{6} = 90625 kNcm$$

$$\sigma_{sr} = \frac{90625}{(45 - \frac{8,44}{3}) \cdot 12.06} = 178.12 MPa$$

$$\sigma_{sr} = 178.12\ MPa$$

$\beta_1 = 1.0$ - Rebrasta armatura

$\beta_2 = 0.5$ - Dugotrajno opterećenje

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 = 1 - 1.0 \cdot 0.5 \cdot \left( \frac{178.12}{27399.54} \right)^2 = 0.99$$

$$\frac{1}{r_I} = 0.0000052 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = 0.0000036 \frac{1}{cm}$$

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0.99) \cdot 0.0000052 + 0.99 \cdot 0.0000036 = 0.0000031 \frac{1}{cm}$$

$k = 0.078$

$L = 1140\ cm$

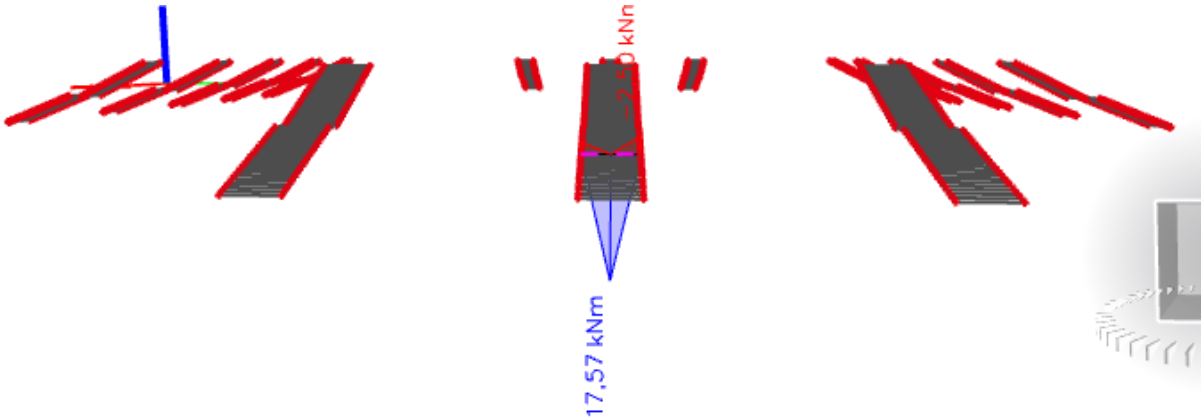
$$v_{tot,t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0.078 \cdot 1140^2 \cdot 0.00000031 = 0.8\ cm < v_{\lim} = 4.56\ cm$$

## *12.5. MONTAŽNA STUBIŠTA ZA PRISTUP STADIONU (VANJSKI DIO – ULAZ NA STADIONU)- POZICIJA MS1*

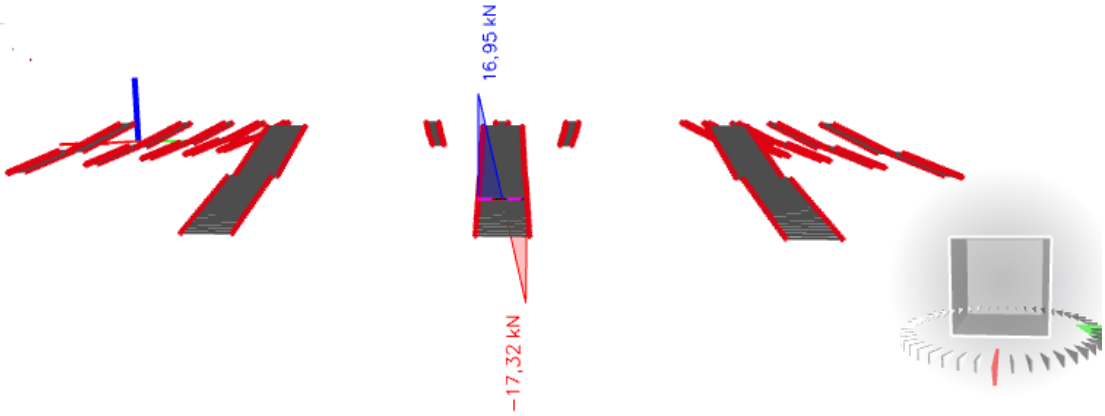
Prikaz stubišta (bez stupova)

Prikaz reznih sila prema vrsti opterećenja

- UOBIČAJNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA

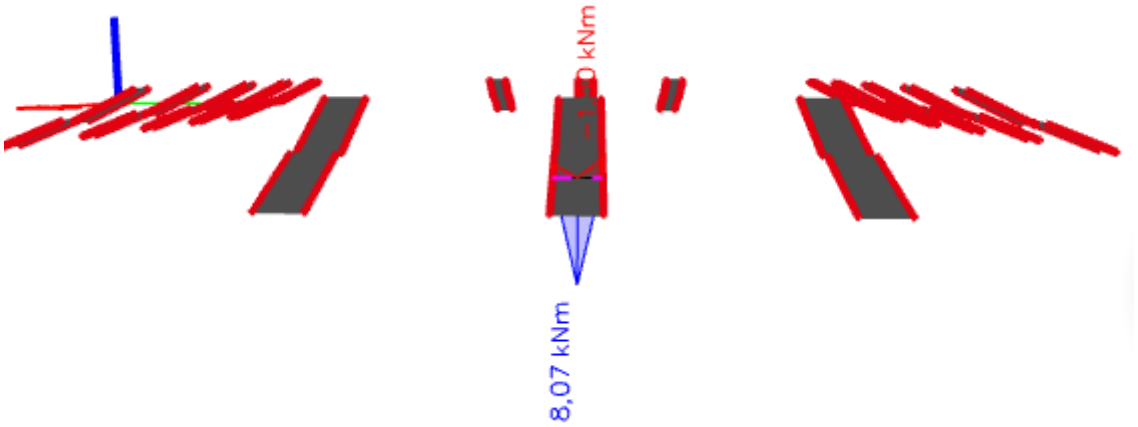



My (kNm)

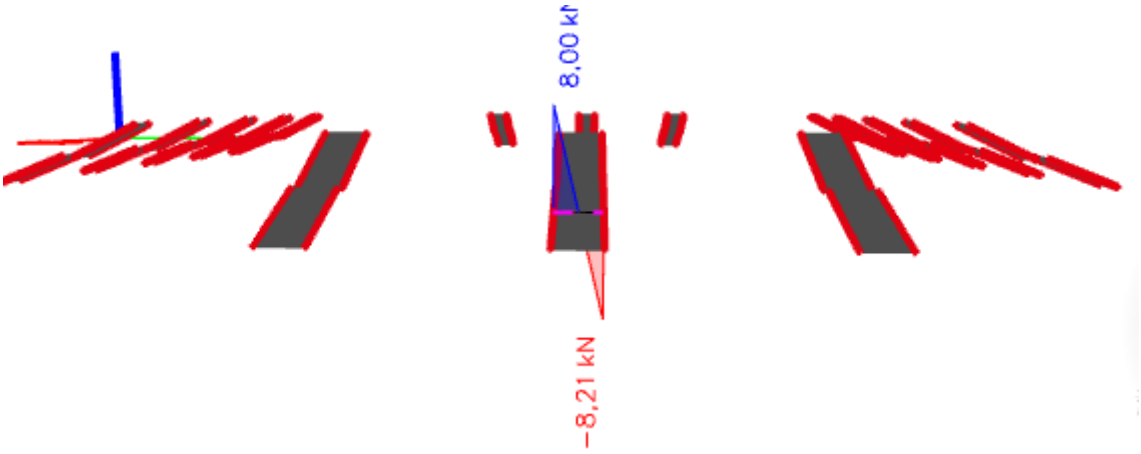



Vz (kN)

- IZVANREDNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA

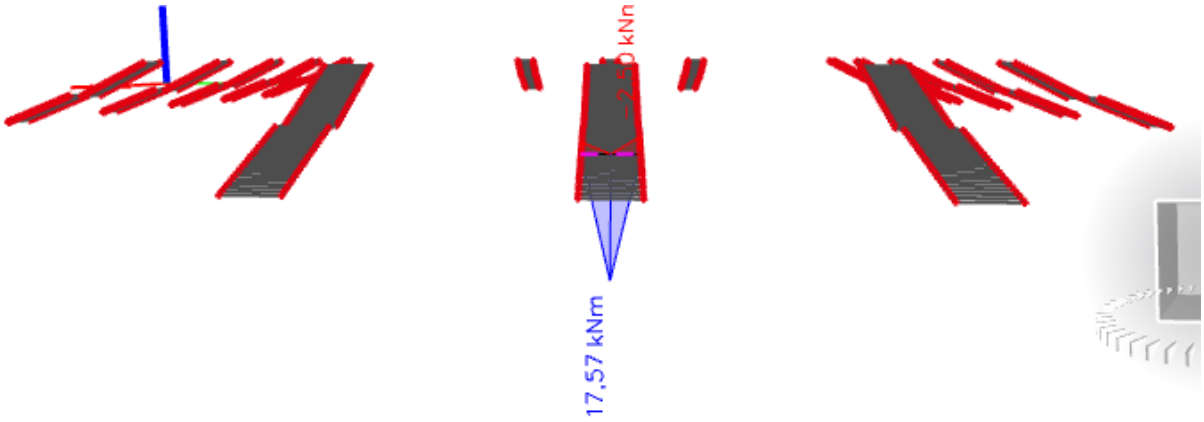



My (kNm)




Vz (kN)

Montažno stubište – POZ MS1 maksimalno opterećen momentom savijanja –POLJE.
U obzir uzeta kritičnija od uobičajne i izvanredne kombinacija opterećenja.




M max, ležaj

***Polje P1:***

$M_{Ed} = 17.57\ kNm$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{17.57}{40 \cdot 25^2 \cdot 2.33} = 0.030$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0\ ‰ \quad \varepsilon_{c2} = 1.0\ ‰ \quad \zeta = 0.968$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1757}{0.968 \cdot 45 \cdot 43.5} = 0.927\ cm^2$$

**Odabrano 2Ø12 (As=2.26 cm$^2$)**

### *12.5.2. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu*

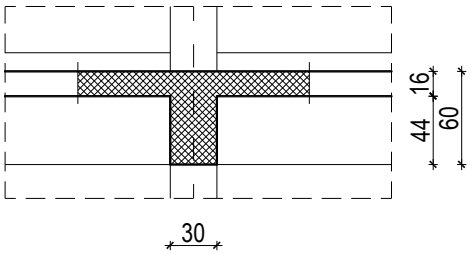
*Ležaj 0* **:Mjerodavna kombinacija za ležaj0: Uobičajna kombinacija**

$$\boldsymbol{V_{Ed} = 17.32kN}$$

C 35/45

$V_{Ed}$ =17.32 kN

$N_{Ed}$=0.0 kN




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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{250}} = 1.89 \le 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.89$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.0$$

$$C_{Rdc} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 2\varphi 12 = 2.26cm$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{2.26}{40 \cdot 30} = 0.0018$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.89 \cdot \left(100 \cdot 0.0018 \cdot 35.0\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 250 \cdot 400$$

$$V_{Rd,c} = 41888.03\ N = 41.88\ kN$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \ge \left[ \nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.98^{3/2} \cdot 35.0^{1/2} = 0.57$$

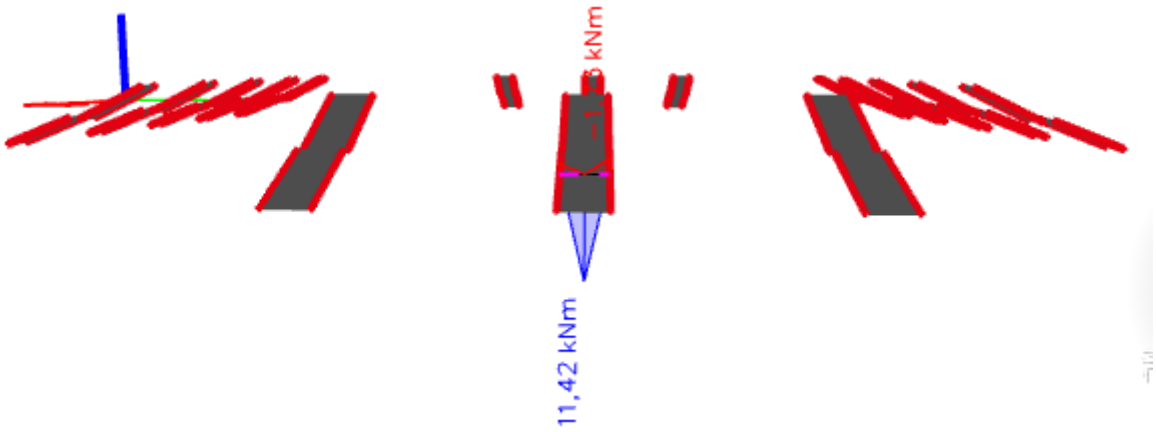
$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.0$$

$$V_{Rd,c} \ge 0.57 * 250 * 400$$

$$V_{Rd,c} \ge 57000\ N = 57\ kN$$

Postaviti spone **Ø8/30** ($A_{sw}$=0.5 $cm^2$)

**Mjerodavna kombinacija GSU : 1.0·(stalno+dodatno stalno opterećenje)+1.0·korisno opterećenje**




**$M_y$(greda)**

Prognozna širina pukotine:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}} \right) = \frac{6.06 * 2.26}{40} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 40 \cdot 25}{6.06 \cdot 2.26}} \right) = 3.81\,cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1142}{\left(45 - \frac{3.81}{3}\right) \cdot 2.26} = 11.56 \frac{kN}{cm^2} = 1156\,MPa$$

Za C 35/45 ⇨ $f_{ct,eff} = 2.9\,\text{MPa}$

$A_{s1}$ = 2Ø12 = 2.26 cm$^2$

$E_{cm} = 33.0\,GPa = 33000.0\,MPa$ - modul elastičnosti betona

$E_s = 200.0\,\text{GPa} = 200000.0\,\text{MPa}$ - modul elastičnosti armature

$k_t = 0.4$ - Dugotrajno opterećenje

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6.06$$ - Odnos modula elatičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2.26}{25 * 40} = 0.0022$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{1156 - 0.4 \frac{2.9}{0.0022} (1 + 6.06 \cdot 0.0022)}{200000.00} \geq 0.6 \cdot \frac{1156}{200000.00}$$

$$\frac{721.70}{200000.00} \geq \frac{693.60}{200000.00}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.0036$

Srednji razmak pukotina:

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

$\varphi = 12\ mm$

$c = 40\ mm$ - Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$ - Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ - Savijanje

$k_3 = 3.4$

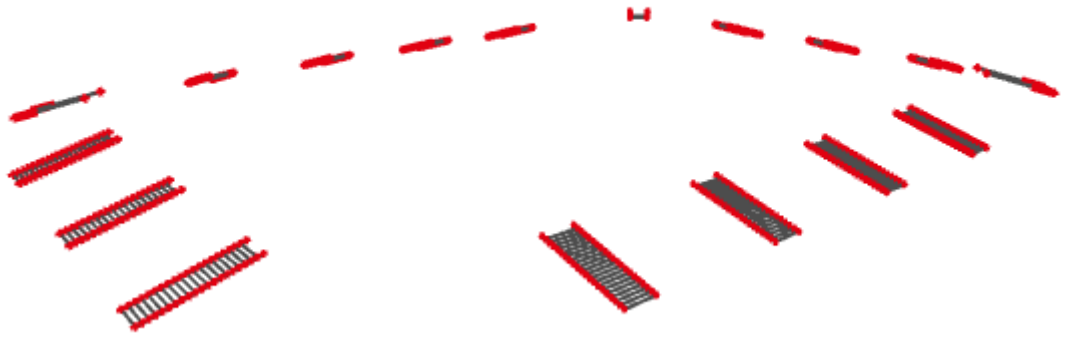
$k_4 = 0.425$

$$s_{r,\max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{12}{0.024} = 143.12\ mm$$

Karakteristična širina pukotine:

$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 143.12 \cdot 0.0036 = 0.21\ mm < w_g = 0.3\ mm$ - Pukotine zadovoljavaju!

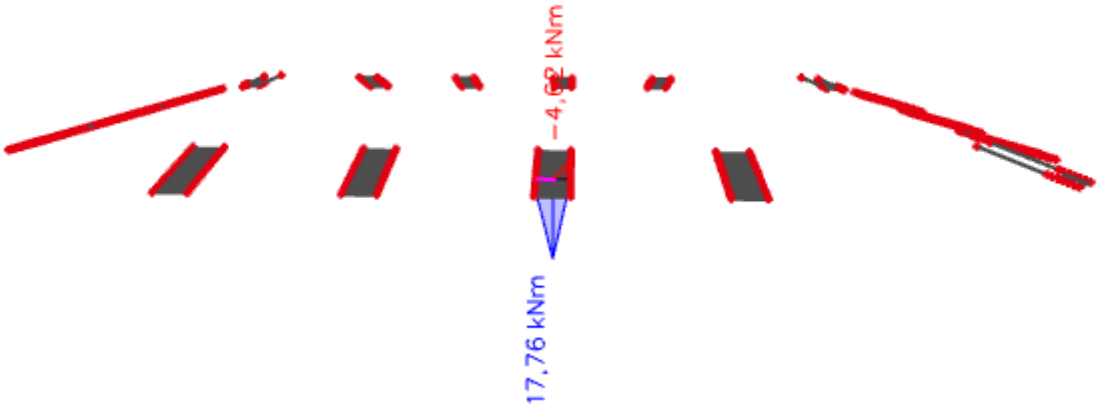
## *12.6. MONTAŽNA STUBIŠTA ZA PRISTUP STADIONU (UNUTARNJI DIO – ULAZ NA STADIONU)- POZICIJA MS2*



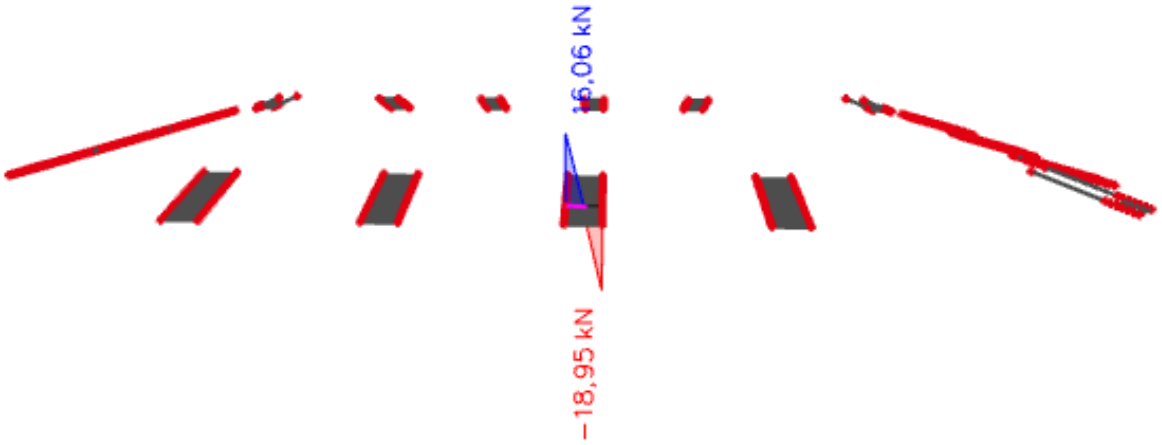
Prikaz stubišta (bez stupova)

Prikaz reznih sila prema vrsti opterećenja

- UOBIČAJNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA

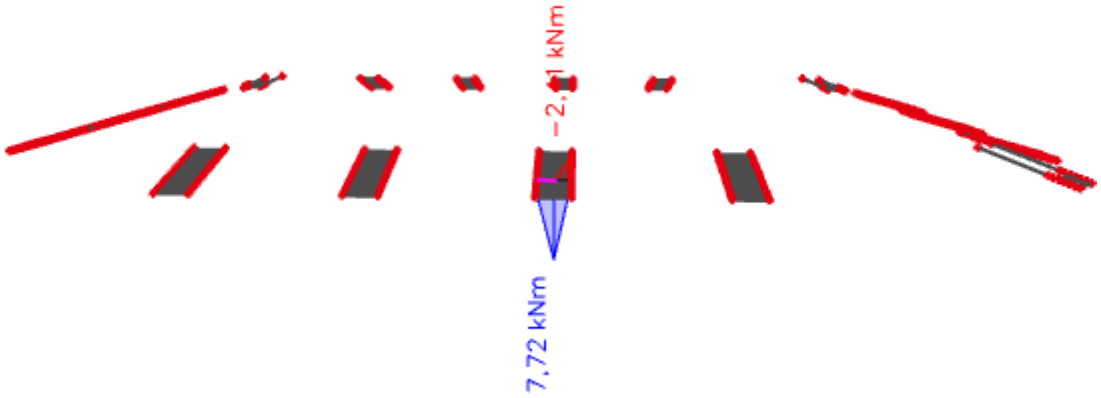



My (kNm)

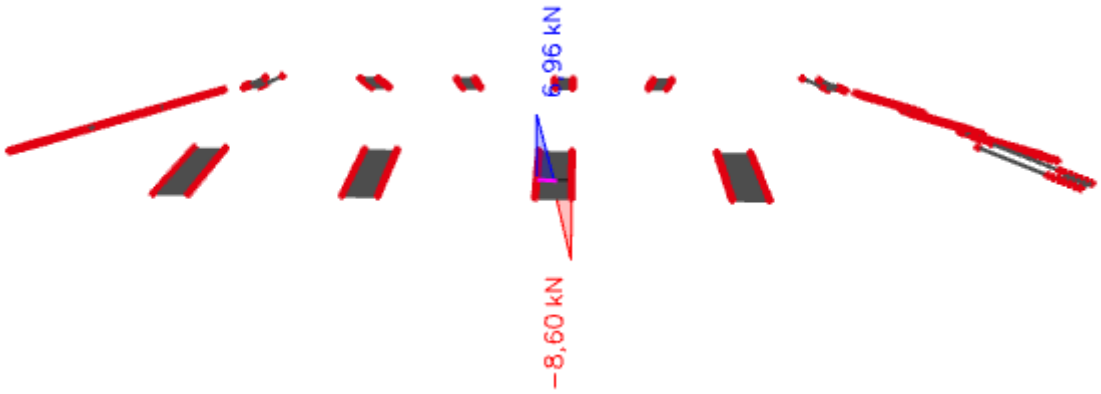



Vz (kN)

- IZVANREDNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA

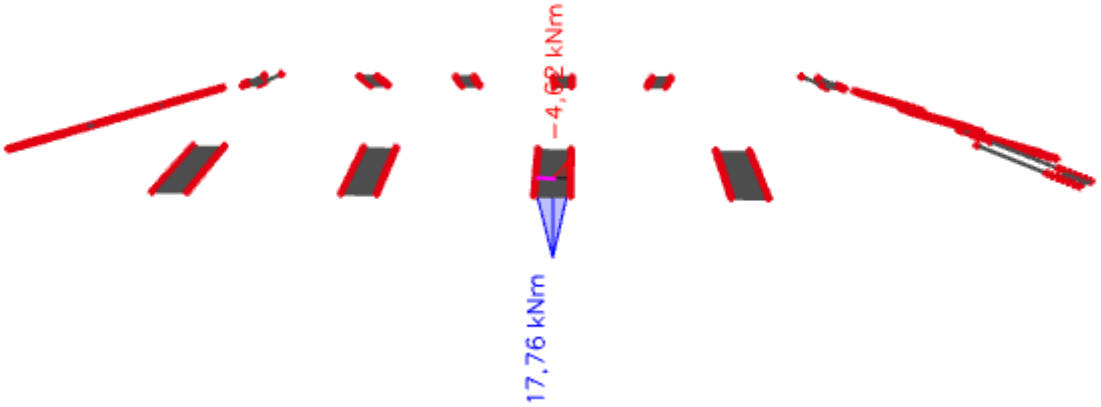



My (kNm)




Vz (kN)

Montažno stubište – POZ MS2 maksimalno opterećen momentom savijanja –POLJE.
U obzir uzeta kritičnija od uobičajne i izvanredne kombinacija opterećenja.




M max, ležaj

***Polje P1:***

$M_{Ed} = 17.76\ kNm$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{17.76}{40 \cdot 25^2 \cdot 2.33} = 0.030$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10.0\ ‰ \quad \varepsilon_{c2} = 1.0\ ‰ \quad \zeta = 0.968$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1776}{0.968 \cdot 45 \cdot 43.5} = 0.927\ cm^2$$

**Odabrano 2Ø12 (As=2.26 cm²)**

### *12.6.1. Dimenzioniranje nosača na poprečnu silu*

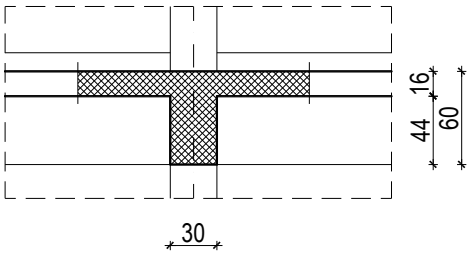
*Ležaj 0* **:Mjerodavna kombinacija za ležaj0: Uobičajna kombinacija**

$$\boldsymbol{V_{Ed} = 17.32kN}$$

C 35/45

$V_{Ed}$ =8.60 kN

$N_{Ed}$=0.0 kN




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

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{250}} = 1.89 \le 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.89$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.0$$

$$C_{Rdc} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.5 = 0.12$$

$$\sum A_s = 2\varphi 12 = 2.26cm$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{2.26}{40 \cdot 30} = 0.0018$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0.12 \cdot 1.89 \cdot \left(100 \cdot 0.0018 \cdot 35.0\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.0 \right] \cdot 250 \cdot 400$$

$$V_{Rd,c} = 41888.03\ N = 41.88\ kN$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \ge \left[ \nu_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\nu_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.98^{3/2} \cdot 35.0^{1/2} = 0.57$$

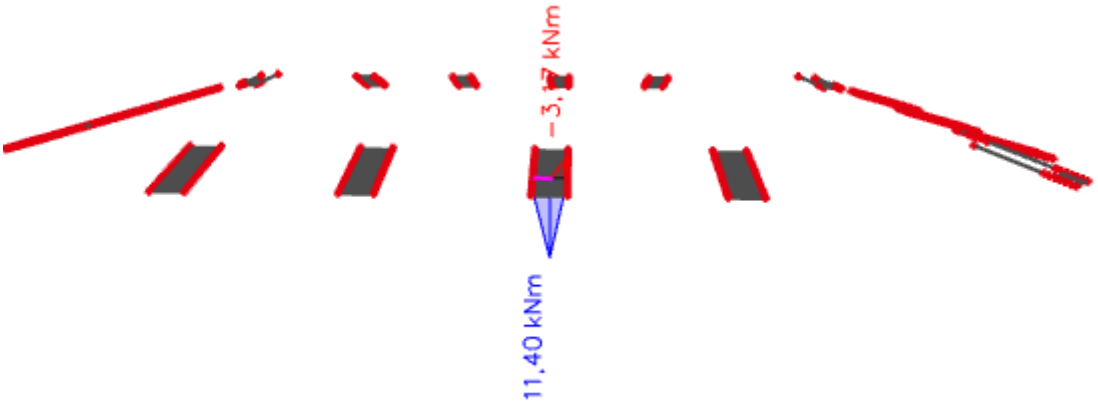
$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c = 0.0$$

$$V_{Rd,c} \ge 0.57 * 250 * 400$$

$$V_{Rd,c} \ge 57000\ N = 57\ kN$$

Postaviti spone **Ø8/30** ($A_{sw}$=0.5 $cm^2$)

**Mjerodavna kombinacija GSU : 1.0·(stalno+dodatno stalno opterećenje)+1.0·korisno opterećenje**




**$M_y$(greda)**

Prognozna širina pukotine:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$x = \frac{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}{b} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{eI} \cdot A_{S1}}} \right) = \frac{6.06 * 2.26}{40} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 40 \cdot 25}{6.06 \cdot 2.26}} \right) = 3.81\,cm$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} \approx \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s} = \frac{1142}{\left(45 - \frac{3.81}{3}\right) \cdot 2.26} = 11.56 \frac{kN}{cm^2} = 1156\,MPa$$

Za C 35/45 ⇨ $f_{ct,eff} = 2.9\,MPa$

$A_{s1}$ = 2Ø12 = 2.26 cm$^2$

$E_{cm} = 33.0\,GPa = 33000.0\,MPa$ - modul elastičnosti betona

$E_s = 200.0\,GPa = 200000.0\,MPa$ - modul elastičnosti armature

$k_t = 0.4$ - Dugotrajno opterećenje

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6.06$$ - Odnos modula elatičnosti

Djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2.26}{25 * 40} = 0.0022$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{1156 - 0.4 \frac{2.9}{0.0022} (1 + 6.06 \cdot 0.0022)}{200000.00} \geq 0.6 \cdot \frac{1156}{200000.00}$$

$$\frac{721.70}{200000.00} \geq \frac{693.60}{200000.00}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.0036$

Srednji razmak pukotina:

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

$\varphi = 12\ mm$

$c = 40\ mm$ - Zaštitni sloj uzdužne armature

$k_1 = 0.8$ - Rebrasta armatura

$k_2 = 0.5$ - Savijanje

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

$$s_{r,\max} = 3.4 \cdot 40 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{12}{0.024} = 143.12\ mm$$

Karakteristična širina pukotine:

$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 143.12 \cdot 0.0036 = 0.21\ mm < w_g = 0.3\ mm$ - Pukotine zadovoljavaju!

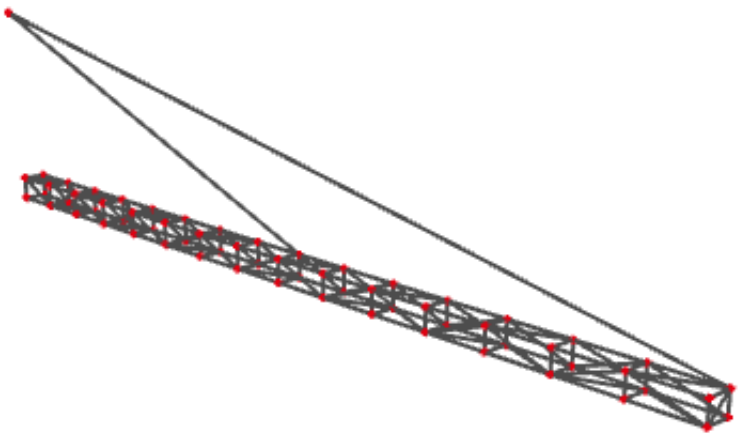
# 13.0. DIMENZIONIRANJE ČELIČNE KROVNE KONSTRUKCIJE STADIONA

## 13.1. Glavni nosači krova

Krov stadiona je zamišljen kao nosači koji se oslanjaju na stupove (pozicija S2) te se sajlama hvataju za vrh stupova. Razlog za to je veliki raspon glavnih nosača. U najvećem rasponu nosač doseže 38.50 m Glavni nosač je četverpojasna rešetka sa osnovnim elementima : gornji pojas rešetke, donji pojas rešetke, ispuna koja se sastoji od vertikala i dijagonala. Glavni nosači se oslanjanju na stupovi pozicije S2 te se sajlama hvataju sa vrha stupa na glavni nosač. Svaki glavni nosač ima dvije sajle (dužu i kraću) zbog uvjeta progiba ali i sila te zbog ekonomičnosti.

Prilikom proračuna glavni nosač je uzet jedan (najkritičniji sa najvećim rasponom) te je proračun primijenjen na njemu dok se za ostale nosače (manjeg raspona) podrazumijeva da će zadovoljiti pretpostavljeni poprečni presjeci sa kritičnog rešetkastog nosača.

Proračun je napravljen uz pomoć programskog paketa SCIA Engineer 19.01.06. Sva opterećenja na konstrukciju krova primijenjena su kroz kombinacije opterećenja za nosivost i uporabljivost. Prilikom dimenzioniranja odabrana je najkritičnija kombinacija za nosivost.
Sva opterećenja, izuzev temperature, zadana su preko load panela.



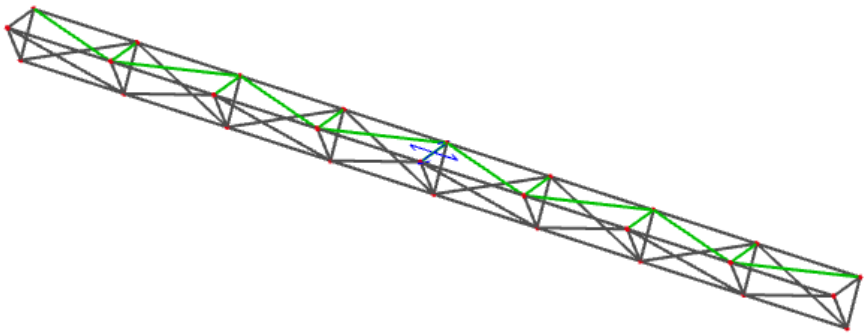
*Slika 13.1. Prikaz modela glavnog nosača krovne konstrukcije*

## 13.2. Sekundarna konstrukcija krova

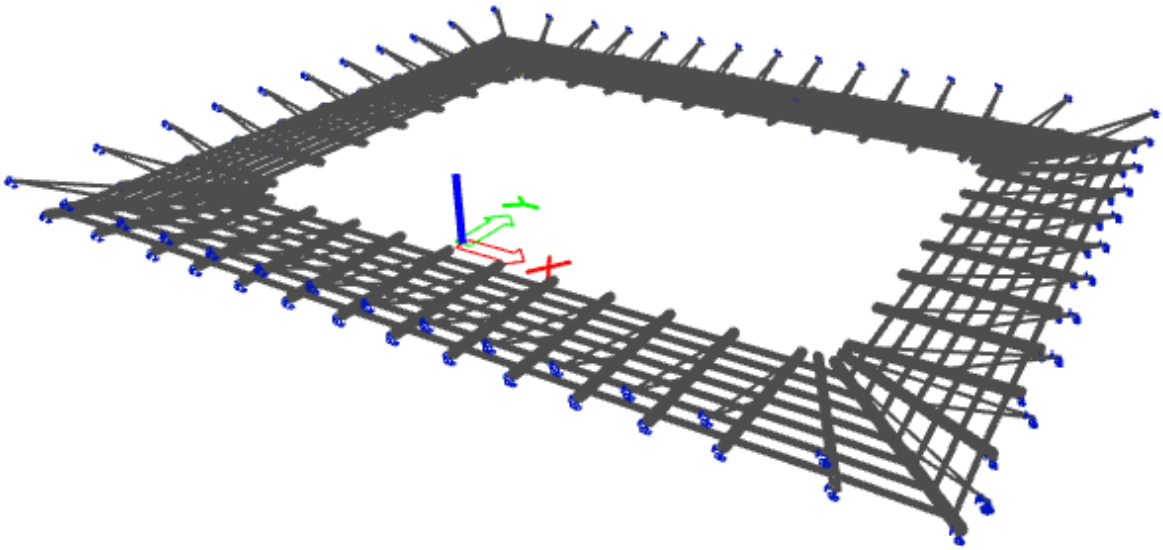
Sekundarna konstrukcija krova zamišljena je kao tropojasna rešeta koja se svojim gornjim pojasom oslanja na gornji pojas glavnog nosača. U najvećem rasponu doseže do 15 m. Sekundarna konstrukcija je tropojasna rešetka sa osnovnim elementima : gornji pojas rešetke, donji pojas rešetke te ispuna tropojasne rešetke.

Prilikom proračuna sekundarne krovne konstrukcije uzet je jedan nosač (najkritičniji sa najvećim rasponom) te je proračun primijenjen na njemu dok se za ostale nosače (manjeg raspona) podrazumijeva da će zadovoljiti pretpostavljeni poprečni presjeci sa kritičnog rešetkastog nosača.

Proračun je napravljen uz pomoć programskog paketa SCIA Engineer 19.01.06. Sva opterećenja na konstrukciju krova primijenjena su kroz kombinacije opterećenja za nosivost i uporabljivost. Prilikom dimenzioniranja odabrana je najkritičnija kombinacija za nosivost.
Sva opterećenja, izuzev temperature, zadana su preko load panela.



*Slika 13.2. Prikaz modela sekundarnog nosača krovne konstrukcije*




*Slika 13.3. Prikaz prostornog modela krovne konstrukcije*

# 14. ANALIZA OPTEREĆENJA ČELIČNE KONSTRUKCIJE

## 14.1. Stalno opterećenje

### *14.1.1. Vlastita težina*

Vlastita težina svih konstruktivnih elementa automatski je uključena u programskom paketu SCIA Engineer.

### *14.1.2. Dodatno stalno opterećenje- čelična konstrukcija*

| *SLOJ:* | *d(m)* | *g(kN/m$^3$)* | *(kN/m$^2$)* |
|---|---|---|---|
| *LEXAN PANELI POKROVA* | - | - | 0.25 |
| *KROVNE INSTALACIJE* | | | 0.1 |
| | | ***UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE : 0.35 kN/m$^2$*** | |

## 14.2. Promjenjivo opterećenje

### *14.2.1. Korisno opterećenje*

Krvov stadiona nije prohodan te nije namijenjen za okupljanja ljudi ili posjetitelja te nije proračunat na zasebno pokretno opterećenje. U fazi montaže krovne konstrukcije predvidit će se glavnim projketom posebna podkonstrukcija kojom će se osigurati sigurnost radnika prilikom montaže. Svi izlazi na krov su zatvoreni a pristup vanjskim hitnim stubištem imaju samo ovlaštene osobe te osobe zadužene za obavljanje redovnih inspekcija i održavanja stanja krovne konstrukcije.

*Tablica 2*

| | $q_k$ [kN/m$^2$] |
|---|---|
| **A Stambene prostorije, odjeli u bolnicama, hotelske sobe** | |
| uobičajene prostorije | 2,0 |
| stubišta | 3,0 |
| balkoni | 4,0 |
| **B Uredi** | |
| uredi | 3,0 |
| **C Prostorije na kojima je moguće okupljanje ljudi** | |
| C1 (prostorije sa stolovima, škole, kavane, restorani, čitaonice, recepcije) | 3,0 |
| C2 (prostorije s nepomičnim sjedalima, crkve, kina, predavaonice, čekaonice, konferencijske dvorane) | 4,0 |
| C3 (prostorije bez prepreka za kretanje ljudi, izložbeni prostori, pristupi u javnim i državnim zgradama, hotelima i sl.) | 5,0 |
| C4 (športske prostorije i prostori za igru, plesne dvorane, gimnastičke dvorane) | 5,0 |
| C5 (prostorije za velika okupljanja ljudi, zgrade za javne priredbe, koncertne dvorane, športske dvorane) | 5,0 |
| **D Prodajne prostorije** | |
| D1 (prostorije u trgovinama) | 5,0 |
| D2 (prostorije u robnim kućama i trgovinama na veliko) | 5,0 |
| **E Prostorije s mogućnošću gomilanja robe i stvari** | |
| (skladišta uključujući i knjižnice) | 6,0 |

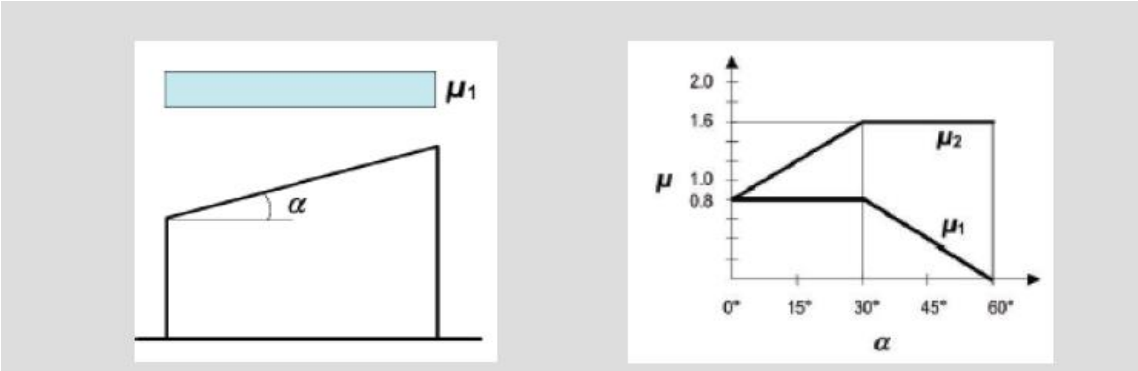
*Slika 14.1. Vrijednosti korisnog opterećenja*

## 14.3. Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom definira se izrazom:

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

- $\mu_1$ - koef. oblika za opterećenje snijegom-RAVNI I JEDNOSTREŠNI KROV-nagib krova → $\alpha = 5°$




| Kut nagiba krova α | 0° ≤ α ≤ 30° | 30° < α < 60° | α ≥ 60° |
|---|---|---|---|
| $\mu_1$ | 0,8 | 0,8 (60 – α) / 30 | 0,0 |
| $\mu_2$ | 0,8 + 0,8 α / 30 | 1,6 | – |

*Slika 14.2. Očitavanje koeficijenta oblika*

$$\alpha = 5° \rightarrow \mu_1 = 0{,}8$$

- $s_k$ - karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u $\left[kN/m^2\right]$

⇒ zona Split, područje 1. (priobalje i otoci), nadmorska visina do 100 m

| Nadmorska visina [m] | $s_k$ [kN/m²] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV |
| 0 | 0,88 | 0,75 | 0,14 | 0,18 |
| 100 | 1,09 | 1,05 | 0,45 | 0,33 |
| 200 | 1,31 | 1,38 | 0,80 | 0,50 |
| 300 | 1,55 | 1,76 | 1,20 | 0,70 |
| 400 | 1,80 | 2,18 | 1,65 | 0,92 |
| 500 | 2,06 | 2,63 | 2,15 | 1,16 |
| 600 | 2,34 | 3,13 | 2,70 | |
| 700 | 2,63 | 3,68 | 3,30 | |
| 800 | 2,94 | 4,26 | 3,95 | |
| 900 | 3,26 | 4,88 | 4,65 | |
| 1000 | 3,60 | 5,55 | 5,40 | |
| 1100 | 3,94 | 6,26 | 6,20 | |
| 1200 | 4,31 | 7,01 | 7,05 | |
| 1300 | | 7,80 | 7,95 | |
| 1400 | | 8,63 | 8,90 | |
| 1500 | | 9,50 | 9,90 | |
| 1600 | | 10,42 | 10,94 | |
| 1700 | | 11,38 | 12,04 | |

*Slika 13.3. Karta karakterističnih vrijednosti opterećenja snijegom obzirom na područje*

- $C_e$- koef. izloženosti → $C_e = 1{,}0$
- $C_t$- toplinski koef. → $C_t = 1{,}0$

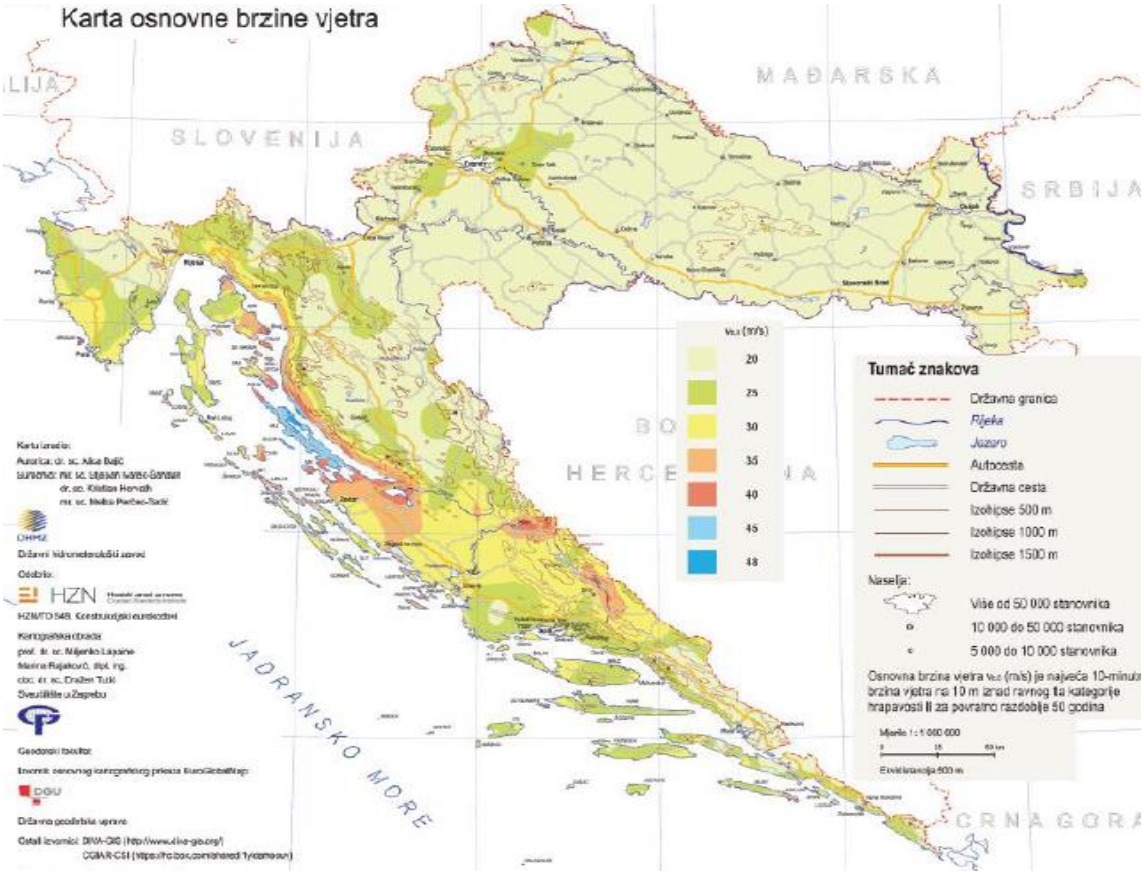
$$\Rightarrow s = 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}50 = 0{,}40 \left[ kN / m^2 \right]$$

### *14.4. Opterećenje vjetrom*

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

- pritisak vjetra na vanjske površine: $w_e = q_p * c_e(z_e) * c_{pe}$ [kN/m$^2$]
- pritisak vjetra na unutarnje površine: $w_i = q_p * c_e(z_i) * c_{pi}$ [kN/m$^2$]

gdje je:
$q_{ref}$ – poredbeni tlak vjetra pri srednjoj brzini vjetra
$C_e(z_e)$;$C_e(z_i)$ – koeficijenti izloženosti koji uzimaju u obzir neravnine terena
$z_e$;$z_i$ – poredbene visine za lokalni ili unutarnji tlak
$c_{pe}$;$c_{pi}$ – vanjski i unutarnji koeficijent pritiska




*Slika 14.4. Zemljovid područja opterećenja vjetrom*

$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$[kN/m$^2$]
gdje je:
$v_b$ – osnovna brzina vjetra
ρ – gustoća zraka (ρ=1,25 kg/m$^3$)
Osnovna brzina vjetrav$_b$ ,dana je izrazom:
$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b0}$

gdje je:
$v_b$ – osnovna brzina vjetra
$c_{dir}$ – koeficijent smjera vjetra (obično uzima vrijednost 1,0)
$c_{season}$ – koeficijent ovisan o godišnjem dobu (obično uzima vrijednost 1,0)

Osnovni pritisak vjetra:

$v_b = 35\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \rightarrow$ očitano za Split

$C_{dir} = C_{season} = 1{,}0$

$v_b = v_{b,0} \cdot C_{dir} \cdot C_{season} = 30 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}001 = 35{,}8(\frac{m}{s})$

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

$q_b = \frac{\rho}{2} \cdot v_b^2 = \frac{1{,}25}{2} \cdot 35{,}80^2 = 926{,}41(\frac{N}{m^2}) = 0{,}93(\frac{kN}{m^2})$

Faktor terena $k_r$ -za kategoriju terena II :

$$\mathrm{k_r} = 0{,}19 \cdot \left(\frac{\mathrm{z_0}}{\mathrm{z_{0,II}}}\right)^{0{,}07} = 0{,}19 \cdot \left(\frac{24}{1}\right)^{0{,}07} = 0{,}24$$

$$\mathrm{C_{r(z)}} = \mathrm{k_r} \cdot \ln\left(\frac{\mathrm{z}}{\mathrm{z_0}}\right) = 0{,}24 \cdot \ln\left(\frac{24}{1}\right) = 0{,}74$$

$$\mathrm{C_{0(z)}} = 1{,}0$$

Srednja brzina vjetra iznad terena:

$v_{m(24)} = v_b \cdot C_{r(z)} \cdot C_{0(z)} = 35{,}8 \cdot 0{,}74 \cdot 1{,}0 = 28{,}49(\frac{m}{s})$

Intezitet turbulencije:

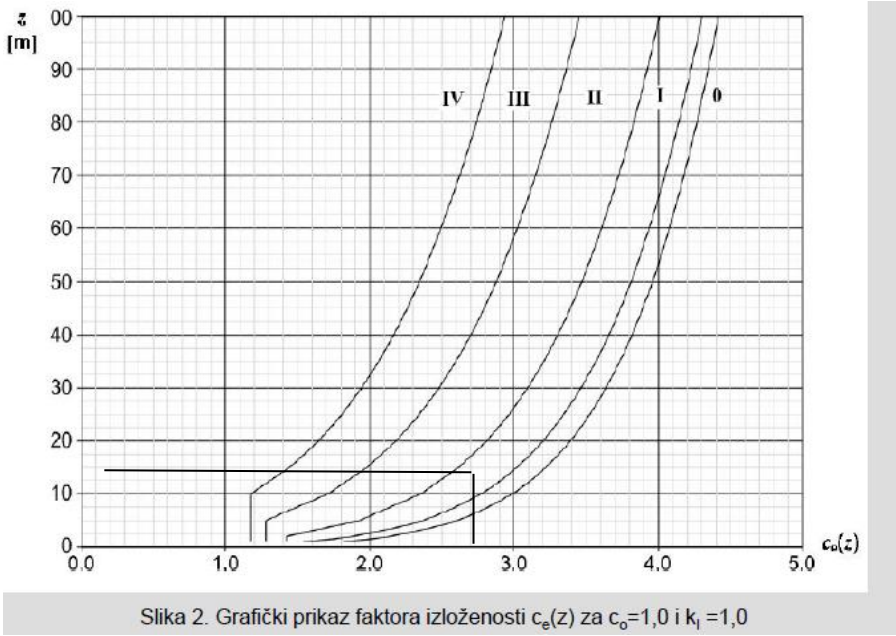
$$\mathrm{I_{v(z)}} = \frac{\mathrm{k_I}}{\mathrm{C_{0(z)}} \cdot \ln\left(\frac{\mathrm{z}}{\mathrm{z_0}}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{24}{1}\right)} = 0{,}314$$

Pritisak brzine vjetra pri udaru:

$\mathrm{q_{p(z)}} = \left[1 + 7 \cdot \mathrm{I_{v(z)}}\right] \cdot 0{,}5 \cdot \rho \cdot \mathrm{v_m^2} = [1 + 7 \cdot 0{,}314] \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}25 \cdot 28{,}49^2 \cdot 10^{-3} = 1{,}62$ kN/m$^2$

$$q_{p(z)} = C_e(z) \cdot q_b = 2{,}90 \cdot 0{,}92 = 2{,}67\ kN/m^2$$

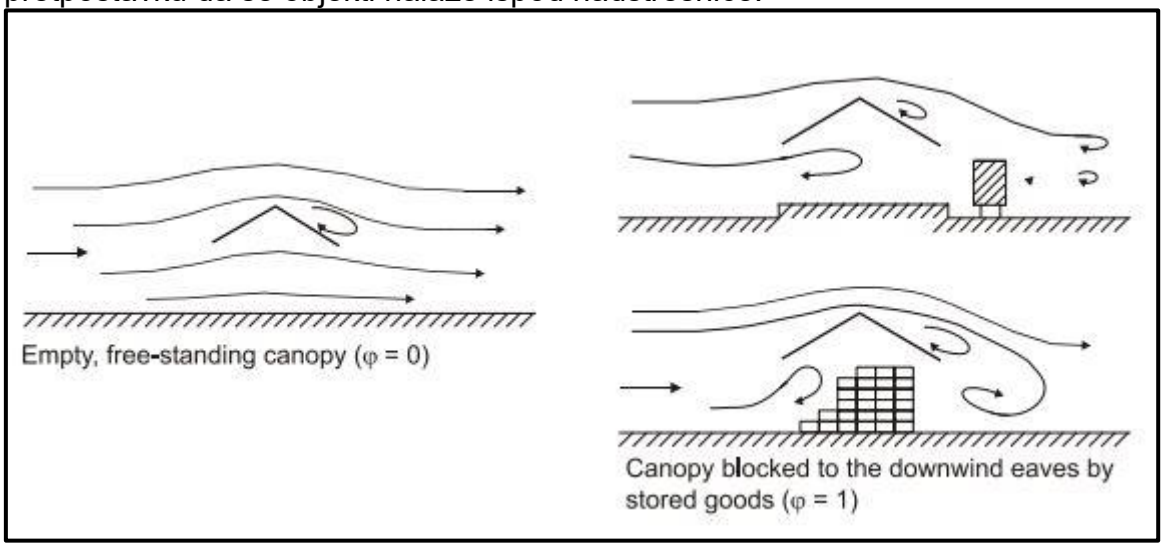
*$C_{e(z)}$=2,90-očitani faktor izloženosti sa slike*




***Slika 14.4**. Grafički prikaz faktora izloženosti*

**Proračun rezultantnog koeficijenta pritiska $c_{p,net}$**

Stupanj zapriječenosti $\varphi$ predstavlja omjer površina objekata okomito na smjer djelovanja vjetra koji se nalaze ispod nadstrešnice i ukupne površine ispod nadstrešnice. $\varphi = 0$ predstavlja prazan prostor, dok $\varphi = 1$ predstavlja potpunu zapriječenost. Riječ je o nezatvorenom tipu objekta. Ovisno o stupnju zapriječenosti razlikuju se rezultantni koeficijenti pritiska $c_{p,net}$ i cjeloukupni koeficijent sile $c_f$.
U promatranoj nadstrešnici pretpostavlja se stupanj zapriječenosti $\varphi = 0{,}5$ uz pretpostavku da se objekti nalaze ispod nadstrešnice.

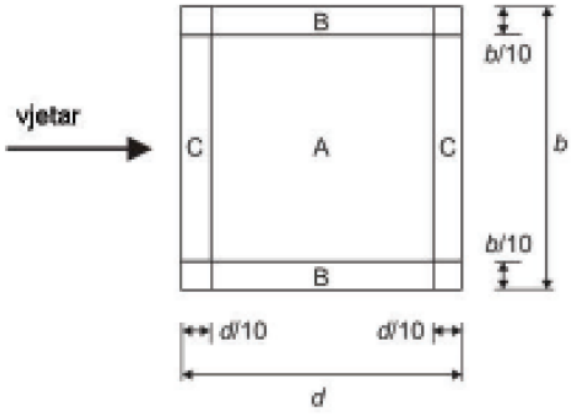



***Slika 14.5.** Strujanje zraka ispod nadstrešnica*

Promatranu krovnu plohu aproksimiramo jednostrešnim krovom.

**Koeficijenti neto tlaka $c_{p,net}$**

tlocrt

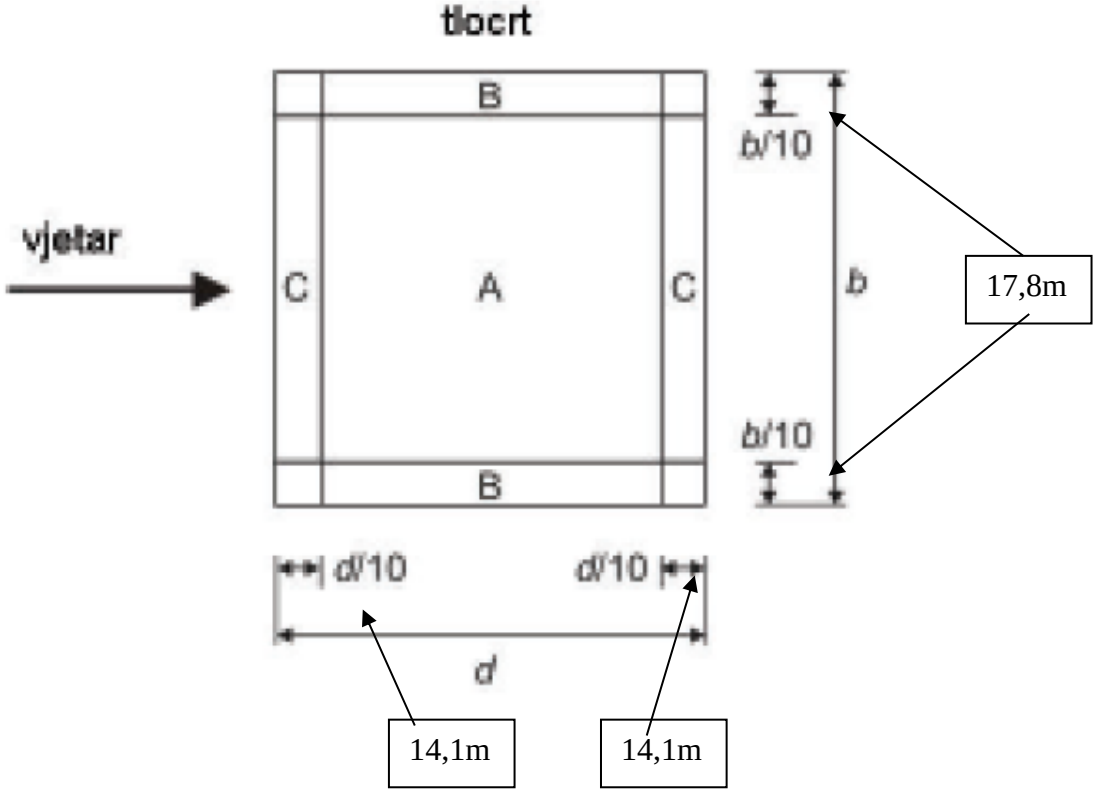



| Nagib krova $\alpha$ | Zaprijećenost $\varphi$ | Koeficijenti sveukupne sile $c_f$ | Područje A | Područje B | Područje C |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° | Najveća vrijednost, svi $\varphi$<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$=0<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 1 | + 0,2<br>– 0,5<br>– 1,3 | + 0,5<br>– 0,6<br>– 1,5 | + 1,8<br>– 1,3<br>– 1,8 | + 1,1<br>– 1,4<br>– 2,2 |
| 5° | Najveća vrijednost, svi $\varphi$<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 0<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 1 | + 0,4<br>– 0,7<br>– 1,4 | + 0,8<br>– 1,1<br>– 1,6 | + 2,1<br>– 1,7<br>– 2,2 | + 1,3<br>– 1,8<br>– 2,5 |
| 10° | Najveća vrijednost, svi $\varphi$<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 0<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 1 | + 0,5<br>– 0,9<br>– 1,4 | + 1,2<br>– 1,5<br>AC – 1,6 AC | + 2,4<br>– 2,0<br>– 2,6 | + 1,6<br>– 2,1<br>– 2,7 |
| 15° | Najveća vrijednost, svi $\varphi$<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 0<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 1 | + 0,7<br>– 1,1<br>– 1,4 | + 1,4<br>– 1,8<br>– 1,6 | + 2,7<br>– 2,4<br>– 2,9 | + 1,8<br>– 2,5<br>– 3,0 |
| 20° | Najveća vrijednost, svi $\varphi$<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 0<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 1 | + 0,8<br>– 1,3<br>– 1,4 | + 1,7<br>– 2,2<br>– 1,6 | + 2,9<br>– 2,8<br>– 2,9 | + 2,1<br>– 2,9<br>– 3,0 |
| 25° | Najveća vrijednost, svi $\varphi$<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 0<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 1 | + 1,0<br>– 1,6<br>– 1,4 | + 2,0<br>– 2,6<br>– 1,5 | + 3,1<br>– 3,2<br>– 2,5 | + 2,3<br>– 3,2<br>– 2,8 |
| 30° | Najveća vrijednost, svi $\varphi$<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 0<br>Najmanja vrijednost, $\varphi$ = 1 | + 1,2<br>– 1,8<br>– 1,4 | + 2,2<br>– 3,0<br>– 1,5 | + 3,2<br>– 3,8<br>– 2,2 | + 2,4<br>– 3,6<br>– 2,7 |

NAPOMENA: + vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetra prema do je
– vrijednosti označavaju neto djelovanje vjetra prema gore

***Slika 14.6**. Vrijednosti koeficijenta tlaka*
*Vrijednosti koeficijenata određeni su linearnom interpolacijom.*

## Koeficijenti neto tlaka $c_{p,net}$




Tlocrtna površina konstrukcije:
$\mathrm{dx\ b} = 140.9 * 178\ \mathrm{m}$

| Nagib krova α [°] | Stupanj zaprijećenosti φ | Cjelokupni koeficijent sile $c_f$ | Područje A | Područje B | Područje C |
|---|---|---|---|---|---|
| 5° | Maksimum svi φ | +0,4 | +0,8 | +2,1 | +1,3 |
| | $\varphi = 0{,}5$ | -1,05 | -1,35 | -1,95 | -2,15 |

Pozitivne vrijednosti ukazuju vanjsko tlačno djelovanje vjetra, dok negativne vrijednosti predstavljaju vlačno (odizajuće) djelovanje vjetra.
$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{p,net}$
$q_p(z_e) = 2{,}67\ [\mathrm{kN/m^2}]$

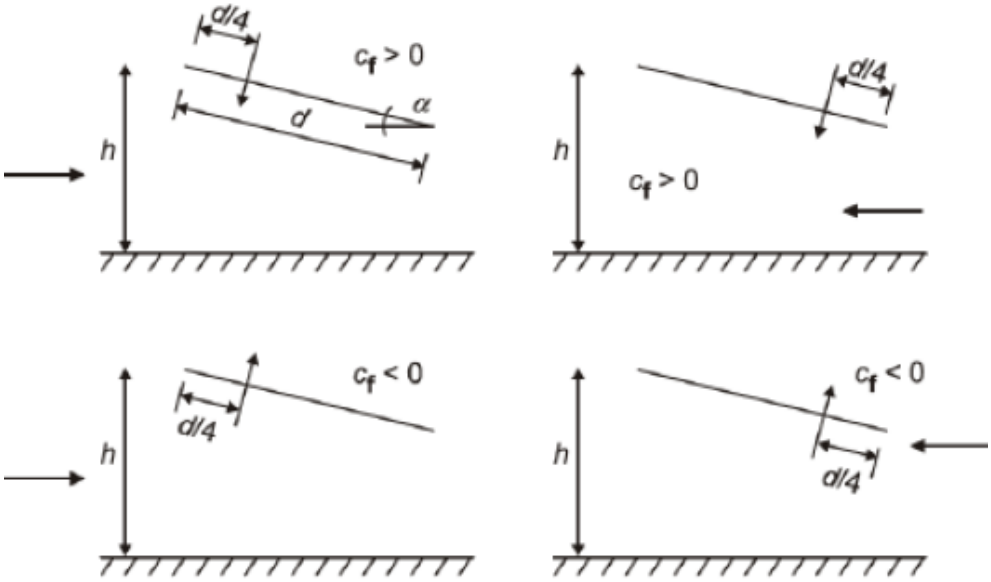
Vjetar W1

| Područje | Područje A | Područje B | Područje C |
|---|---|---|---|
| $c_{p,net}$ | -1,35 | -1,95 | -2,15 |
| $w_e\ [\mathrm{kN/m^2}]$ | -3,60 | -5,20 | -5,74 |

Vjetar W2

| Područje | Područje A | Područje B | Područje C |
|---|---|---|---|
| $c_{p,net}$ | +0,8 | +2,1 | +1,3 |
| $w_e\ [\mathrm{kN/m^2}]$ | +2,14 | +5,61 | +3,47 |

Raspodijeljeno opterećenje na površini zamjenjuje se koncetriranom silom koja ima hvatište kako je prikazano na slici. Slučaj kada vjetar djeluje ekscentrično na nadstrešnicu.




**Slika 14.7**. Slučajevi opterećenja jednostrešne nadstrešnice

Koncetrirano djelovanje vjetra:

$F_w = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_f \cdot A$, A je površina krova

Tlak:

$F_w = 1,46 \cdot 0,4 \cdot (140.9 \cdot 178) = 1464 kN$

Podtlak:

$F_w = 1,46 \cdot (-1,05) \cdot (140.9 \cdot 178) = -3845 kN$

### *14.5. Opterećenje vjetrom trenjem po krovu*

Referentna površina:

$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot A_{fr}$ - sila trenja

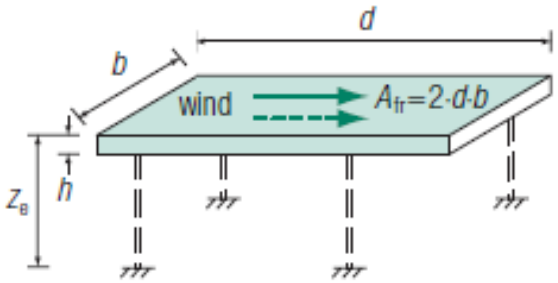
$c_{fr} = 0{,}04$ - koef. trenja za lexan oblogu (vjerojatni pokrov)

$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_{ref}$ - tlak "vršne" (referentne) brzine

$C_{e(z)}$=2,90- koef. izloženosti

$q_{ref}$ - poredbeni tlak pri srednjoj brzini vjetra

$A_{fr}$ - površina usporedno sa smjerom vjetra

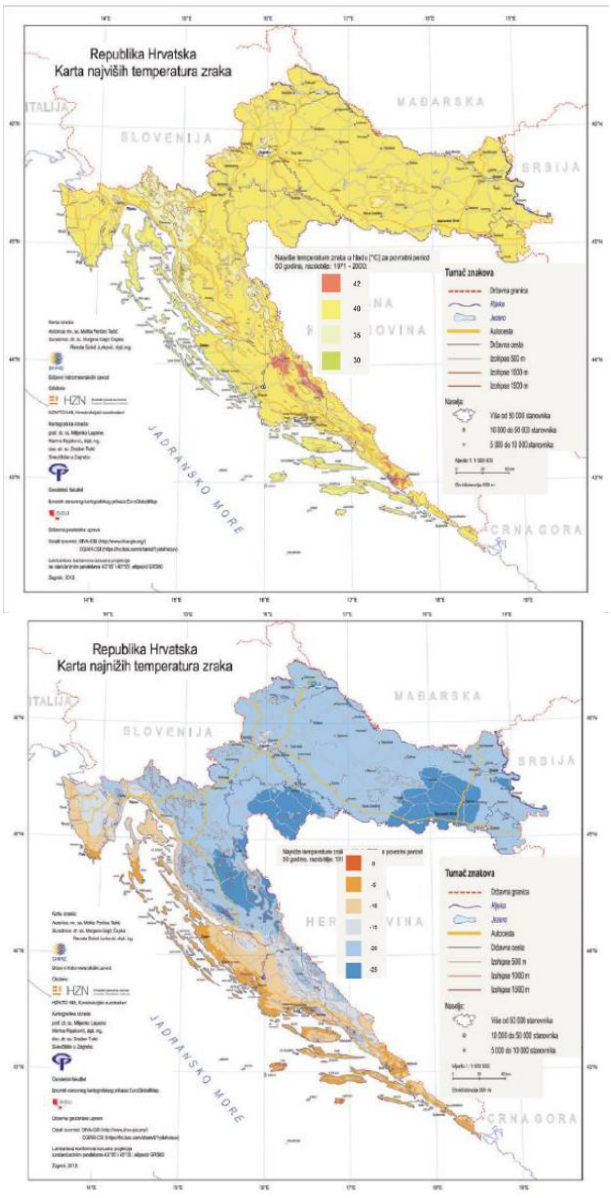



Referentna površina:

$A_{fr} = 2 \cdot b \cdot d = 2 \cdot 178 \cdot 140{,}9\,m = 50160.4\ \ m^2$

$F_{fr} = 0{,}04 \cdot 2{,}60 \cdot 50160.4 = 5216.68kN$

## 14.6. Proračun konstrukcije na djelovanje temperature




***Slika 14.8.*** *Zemljovid područja opterećenja temperaturom*

Promatrani objekt nalazi se na području Splita do 100 m nadmorske visine:

Najviša temperatura u hladu: $T_{max} = 40\ ^0C$

Najniža temperatura u hladu: $T_{min} = -10\ ^0C$

Pretpostavlja se djelovanje jednolike temperature promjene u svim presjecima.

Pretpostavljena temperatura pri montaži konstrukcije $T = 15^0C$

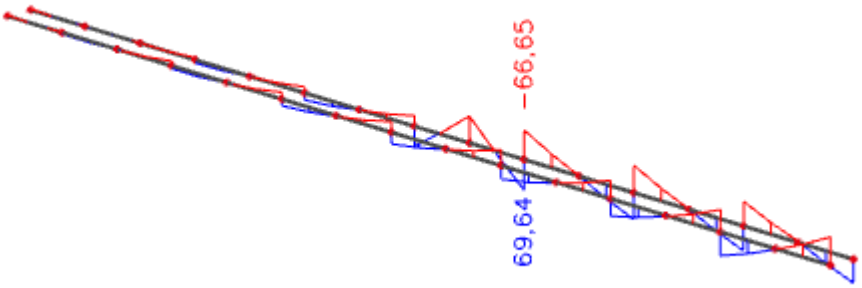
1) Maksimalna pozitivna temperaturna promjena: $T_{max} = 40\ ^0C - 15^0C = 25^0C$

Maksimalna negativna temperaturna promjena: $T_{min} = -10\ ^0C - 15^0C = -25^0C$

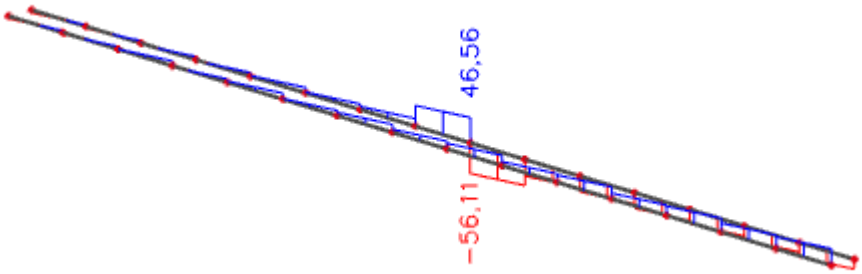
## 15.0. GLAVNI NOSAČ

Svi elementi prikazanu su kroz : rezne sile (My, Vz, N) te iskoristivost poprečnog presjeka. Priložen je i proračun dimenzioniranja koji je odrađen preko opcije Autodesign u SCIA 19.01.06

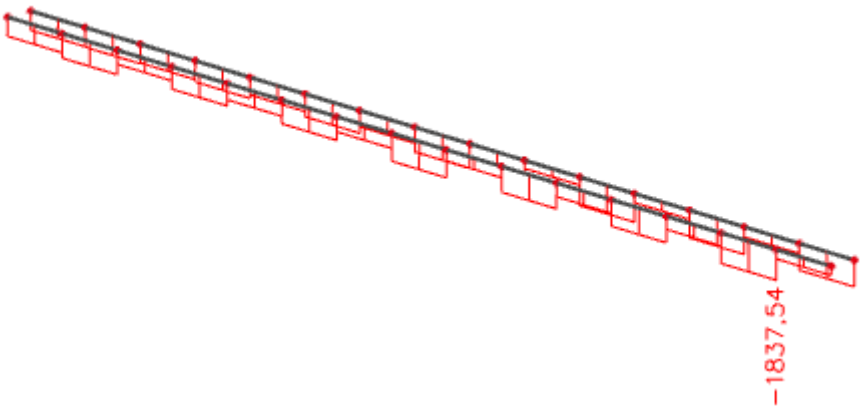
*15.1. GORNJI POJAS GN – CFHRS 200*200*12.5*



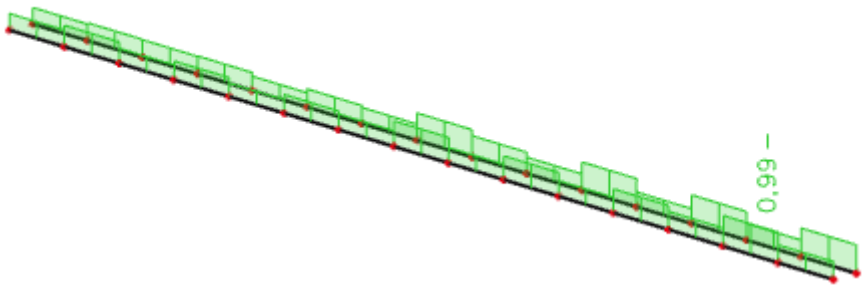

My (kNm)




Vz (kN)




N (kN)




Iskoristivost poprečnog presjeka

## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation
Combination: GSN1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All
Filter: Cross-section = GP GN 4 - CFRHS200X200X12.5

**EN 1993-1-1 Code Check**
National annex: Standard EN

| Member B44 | 2,521 / 37,810 m | CFRHS200X200X12.5 | S 355 | GSN1 | 0,99 - |
|---|---|---|---|---|---|

Note: EN 1993-1-3 article 1.1(3) specifies that this part does not apply to cold formed CHS and RHS sections.
The default EN 1993-1-1 code check is executed instead of the EN 1993-1-3 code check.

| Combination key |
|---|
| GSN1 / 1.35*Stalno SCIA G + 1.50*Snig + 1.50*W1 + 1.50*Temperatura + 1.35*Dodatno stalno dG |

| Partial safety factors | |
|---|---|
| $\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections | 1,00 |
| $\gamma_{M1}$ for resistance to instability | 1,00 |
| $\gamma_{M2}$ for resistance of net sections | 1,25 |

| Material | | |
|---|---|---|
| Yield strength $f_y$ | 355,0 | MPa |
| Ultimate strength $f_u$ | 490,0 | MPa |
| Fabrication | Cold formed | |

**...::SECTION CHECK::...**

**The critical check is on position 2,521 m**

| Internal forces | Calculated | Unit |
|---|---|---|
| $N_{Ed}$ | -1837,54 | kN |
| $V_{y,Ed}$ | -29,20 | kN |
| $V_{z,Ed}$ | 24,80 | kN |
| $T_{Ed}$ | -0,05 | kNm |
| $M_{y,Ed}$ | 1,84 | kNm |
| $M_{z,Ed}$ | 44,22 | kNm |

**Classification for cross-section design**
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Internal and Outstand parts according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 1 & 2

| Id | Type | c [mm] | t [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | Ψ [-] | $k_\sigma$ [-] | α [-] | c/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 162 | 13 | 1,337e+05 | 2,816e+05 | 0,47 | | 1,00 | 13,00 | 22,78 | 27,66 | 37,81 | 1 |
| 3 | I | 162 | 13 | 2,935e+05 | 2,996e+05 | 0,98 | | 1,00 | 13,00 | 22,78 | 27,66 | 31,14 | 1 |
| 5 | I | 162 | 13 | 2,887e+05 | 1,408e+05 | 0,49 | | 1,00 | 13,00 | 22,78 | 27,66 | 37,60 | 1 |
| 7 | I | 162 | 13 | 1,289e+05 | 1,228e+05 | 0,95 | | 1,00 | 13,00 | 22,78 | 27,66 | 31,44 | 1 |

**Note:** The Classification limits have been set according to Semi-Comp+.
The cross-section is classified as Class 1

Student version

**Compression check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.4 and formula (6.9)

| | | |
|---|---|---|
| A | 8,7040e-03 | $m^2$ |
| $N_{c,Rd}$ | 3089,92 | kN |
| Unity check | 0,59 | - |

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,7040 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 3089,92[kN]$$ (EC3-1-1: 6.10)

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-1837,54[kN]|}{3089,92[kN]} = \mathbf{0,59 \leq 1,00}$$ (EC3-1-1: 6.9)

**Bending moment check for $M_y$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.5 and formula (6.12),(6.13)

| | | |
|---|---|---|
| $W_{pl,y}$ | 5,9350e-04 | $m^3$ |
| $M_{pl,y,Rd}$ | 210,69 | kNm |
| Unity check | 0,01 | - |

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 210,69[kNm]$$ (EC3-1-1: 6.13)

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{|1,84[kNm]|}{210,69[kNm]} = \mathbf{0,01 \leq 1,00}$$ (EC3-1-1: 6.12)

**Bending moment check for $M_z$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.5 and formula (6.12),(6.13)

| | | |
|---|---|---|
| $W_{pl,z}$ | 5,9350e-04 | $m^3$ |
| $M_{pl,z,Rd}$ | 210,69 | kNm |
| Unity check | 0,21 | - |

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 210,69[kNm]$$ (EC3-1-1: 6.13)

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{|44,22[kNm]|}{210,69[kNm]} = \mathbf{0,21 \leq 1,00}$$ (EC3-1-1: 6.12)

**Shear check for $V_y$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.6 and formula (6.17)

| | | |
|---|---|---|
| η | 1,20 | |
| $A_v$ | 4,3520e-03 | $m^2$ |
| $V_{pl,y,Rd}$ | 891,98 | kN |
| Unity check | 0,03 | - |

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,3520 \cdot 10^{-3}[m^2] \times \frac{355,0[MPa]}{\sqrt{3}}}{1,00} = 891,98[kN]$$ (EC3-1-1: 6.18)

$$\text{Unity check} = \frac{|V_{y,Ed}|}{V_{c,y,Rd}} = \frac{|-29,20[kN]|}{891,98[kN]} = \mathbf{0,03 \leq 1,00}$$ (EC3-1-1: 6.17)

**Shear check for $V_z$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.6 and formula (6.17)

| | | |
|---|---|---|
| η | 1,20 | |
| $A_v$ | 4,3520e-03 | $m^2$ |
| $V_{pl,z,Rd}$ | 891,98 | kN |
| Unity check | 0,03 | - |

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,3520 \cdot 10^{-3}[m^2] \times \frac{355,0[MPa]}{\sqrt{3}}}{1,00} = 891,98[kN]$$ (EC3-1-1: 6.18)

$$\text{Unity check} = \frac{|V_{z,Ed}|}{V_{c,z,Rd}} = \frac{|24,80[kN]|}{891,98[kN]} = \mathbf{0,03 \leq 1,00}$$ (EC3-1-1: 6.17)

**Torsion check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.7 and formula (6.23)

| | | |
|---|---|---|
| Fibre | 1 | |
| $\tau_{Ed}$ | 0,1 | MPa |
| $\tau_{Rd}$ | 205,0 | MPa |
| Unity check | 0,00 | - |

$$\tau_{Ed} = |T_{Ed}| \times \tau_{Ed,unit} = |-52,55| \times 1,138[kN/m^2] = 0,1[MPa]$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{355,0[MPa]}{\sqrt{3} \times 1,00} = 205,0[MPa]$$

$$\text{Unity check} = \frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd}} = \frac{0,1[MPa]}{205,0[MPa]} = \mathbf{0,00 \leq 1,00}$$ (EC3-1-1: 6.23)

Student version

**Shear check for $V_z$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.6 and formula (6.17)

| | | |
|---|---|---|
| $\eta$ | 1,20 | |
| $A_v$ | 4,3520e-03 | $m^2$ |
| $V_{pl,z,Rd}$ | 891,98 | kN |
| Unity check | 0,03 | - |

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,3520 \cdot 10^{-3}[m^2] \times \frac{355,0[MPa]}{\sqrt{3}}}{1,00} = 891,98[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.18)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|V_{z,Ed}|}{V_{c,z,Rd}} = \frac{|24,80[kN]|}{891,98[kN]} = \mathbf{0,03 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.17)}$$

**Torsion check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.7 and formula (6.23)

| | | |
|---|---|---|
| Fibre | 1 | |
| $\tau_{Ed}$ | 0,1 | MPa |
| $\tau_{Rd}$ | 205,0 | MPa |
| Unity check | 0,00 | - |

$$\tau_{Ed} = |T_{Ed}| \times \tau_{Ed,unit} = |-52,55| \times 1,138[kN/m^2] = 0,1[MPa]$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{355,0[MPa]}{\sqrt{3} \times 1,00} = 205,0[MPa]$$

$$\text{Unity check} = \frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd}} = \frac{0,1[MPa]}{205,0[MPa]} = \mathbf{0,00 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.23)}$$

**Note:** The unity check for torsion is lower than the limit value of 0,05. Therefore torsion is considered as insignificant and is ignored in the combined checks.

**Combined bending, axial force and shear force check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.9.1 and formula (6.41)

| | | |
|---|---|---|
| $M_{N,y,Rd}$ | 108,48 | kNm |
| $\alpha$ | 2,76 | |
| $M_{N,z,Rd}$ | 108,48 | kNm |
| $\beta$ | 2,76 | |

Unity check (6.41) = 0,00 + 0,08 = 0,08 -

$$M_{N,y,Rd} = \min\left[\frac{M_{pl,y,Rd} \times (1-n)}{1-0,5 \times ratio_{A,w}}, M_{pl,y,Rd}\right] = \min\left[\frac{210,69[kNm] \times (1-0,59)}{1-0,5 \times 0,43}, 210,69[kNm]\right] = \min[108,48[kNm], 210,69[kNm]] \quad \text{(EC3-1-1: 6.39)}$$

$$= 108,48[kNm]$$

$$\alpha = \min\left(\frac{1,66}{1-1,13 \times n^2}, 6\right) = \min\left(\frac{1,66}{1-1,13 \times 0,59^2}, 6\right) = \min(2,76, 6) = 2,76$$

$$M_{N,z,Rd} = \min\left[\frac{M_{pl,z,Rd} \times (1-n)}{1-0,5 \times ratio_{A,f}}, M_{pl,z,Rd}\right] = \min\left[\frac{210,69[kNm] \times (1-0,59)}{1-0,5 \times 0,43}, 210,69[kNm]\right] = \min[108,48[kNm], 210,69[kNm]] \quad \text{(EC3-1-1: 6.40)}$$

$$= 108,48[kNm]$$

$$\beta = \min\left(\frac{1,66}{1-1,13 \times n^2}, 6\right) = \min\left(\frac{1,66}{1-1,13 \times 0,59^2}, 6\right) = \min(2,76, 6) = 2,76$$

$$\text{Unity check} = \left(\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{N,y,Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{|M_{z,Ed}|}{M_{N,z,Rd}}\right)^{\beta} = \left(\frac{|7,84[kNm]|}{108,48[kNm]}\right)^{2,76} + \left(\frac{|44,22[kNm]|}{108,48[kNm]}\right)^{2,76} = \mathbf{0,08 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.41)}$$

Student version

**Note:** Since the shear forces are less than half the plastic shear resistances their effect on the moment resistances is neglected.

The member satisfies the section check.

**..::STABILITY CHECK::..**

**Classification for member buckling design**
Decisive position for stability classification: 5,041 m
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Internal and Outstand parts according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 1 & 2

| Id | Type | c [mm] | t [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | Ψ [-] | $k_\sigma$ [-] | α [-] | c/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 162 | 13 | 1,567e+05 | 5,837e+04 | 0,37 | | 1,00 | 13,00 | 22,78 | 27,66 | 39,52 | 1 |
| 3 | I | 162 | 13 | 6,462e+04 | 2,443e+04 | 0,26 | | 1,00 | 13,00 | 22,78 | 27,66 | 41,51 | 1 |
| 5 | I | 162 | 13 | 2,657e+05 | 3,640e+05 | 0,73 | | 1,00 | 13,00 | 22,78 | 27,66 | 34,12 | 1 |
| 7 | I | 162 | 13 | 3,577e+05 | 1,781e+05 | 0,50 | | 1,00 | 13,00 | 22,78 | 27,66 | 37,44 | 1 |

**Note:** The Classification limits have been set according to Semi-Comp+.
The cross-section is classified as Class 1

**Flexural Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

| Buckling parameters | yy | zz | |
|---|---|---|---|
| Sway type | sway | non-sway | |
| System length L | 2,521 | 2,521 | m |
| Buckling factor k | 1,00 | 1,00 | |
| Buckling length $L_{cr}$ | 2,521 | 2,521 | m |
| Critical Euler load $N_{cr}$ | 15851,97 | 15851,97 | kN |
| Slenderness λ | 33,73 | 33,73 | |
| Relative slenderness $\lambda_{rel}$ | 0,44 | 0,44 | |
| Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$ | 0,20 | 0,20 | |
| Buckling curve | c | c | |
| Imperfection α | 0,49 | 0,49 | |
| Reduction factor χ | 0,88 | 0,88 | |
| Buckling resistance $N_{b,Rd}$ | 2704,11 | 2704,11 | kN |

| Flexural Buckling verification | | |
|---|---|---|
| Cross-section area A | 8,7040e-03 | m² |
| Buckling resistance $N_{b,Rd}$ | 2704,11 | kN |
| Unity check | 0,58 | - |

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 4,8594 \cdot 10^{-5}[m^4]}{2,521[m]^2} = 15851,97[kN]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 4,8594 \cdot 10^{-5}[m^4]}{2,521[m]^2} = 15851,97[kN]$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,521[m]}{75[mm]} = 33,73$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,521[m]}{75[mm]} = 33,73$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,521[m]}{75[mm]} = 33,73$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{33,73}{\pi \times \sqrt{\frac{210000,0[MPa]}{355,0[MPa]}}} = 0,44 \quad \text{(EC3-1-1: 6.50)}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{33,73}{\pi \times \sqrt{\frac{210000,0[MPa]}{355,0[MPa]}}} = 0,44 \quad \text{(EC3-1-1: 6.50)}$$

$$\varphi_y = 0,5 \times \left[1 + \alpha_y \times (\lambda_{rel,y} - \lambda_{rel,y,0}) + \lambda_{rel,y}^2\right] = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (0,44 - 0,20) + 0,44^2\right] = 0,66$$

$$\varphi_z = 0,5 \times \left[1 + \alpha_z \times (\lambda_{rel,z} - \lambda_{rel,z,0}) + \lambda_{rel,z}^2\right] = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (0,44 - 0,20) + 0,44^2\right] = 0,66$$

$$\chi_y = \min\left(\frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,y}^2}, 1\right) = \min\left(\frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,44^2}}, \frac{1}{0,44^2}, 1\right) = \min(0,88, 5,13, 1) = 0,88 \quad \text{(EC3-1-1: 6.49)}$$

$$\chi_z = \min\left(\frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,z}^2}, 1\right) = \min\left(\frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,44^2}}, \frac{1}{0,44^2}, 1\right) = \min(0,88, 5,13, 1) = 0,88 \quad \text{(EC3-1-1: 6.49)}$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,88 \times 8,7040 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 2704,11[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.47)}$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,88 \times 8,7040 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 2704,11[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.47)}$$

$$N_{b,Rd} = \min(N_{b,y,Rd}, N_{b,z,Rd}) = \min(2704,11[kN], 2704,11[kN]) = 2704,11[kN]$$

Student version

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{c,Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|-1837,54[kN]|}{2704,11[kN]} = 0,68 \leq 1,00$$ (EC3-1-1: 6.46)

Student version

**Torsional(-Flexural) Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)
**Note:** The cross-section concerns a RHS section which is not susceptible to Torsional(-Flexural) Buckling.

**Lateral Torsional Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.2.1
**Note:** The cross-section concerns an RHS section with 'h / b < 10 / $\lambda_{rel,z}$'.
This section is thus not susceptible to Lateral Torsional Buckling.

**Bending and axial compression check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.3 and formula (6.61),(6.62)

| Bending and axial compression check parameters | | |
|---|---|---|
| Interaction method | alternative method 1 | |
| Cross-section area A | 8,7040e-03 | $m^2$ |
| Plastic section modulus $W_{pl,y}$ | 5,9350e-04 | $m^3$ |
| Plastic section modulus $W_{pl,z}$ | 5,9350e-04 | $m^3$ |
| Design compression force $N_{Ed}$ | 1837,54 | kN |
| Design bending moment (maximum) $M_{y,Ed}$ | 53,70 | kNm |
| Design bending moment (maximum) $M_{z,Ed}$ | 44,22 | kNm |
| Characteristic compression resistance $N_{Rk}$ | 3089,92 | kN |
| Characteristic moment resistance $M_{y,Rk}$ | 210,69 | kNm |
| Characteristic moment resistance $M_{z,Rk}$ | 210,69 | kNm |
| Reduction factor $\chi_y$ | 0,88 | |
| Reduction factor $\chi_z$ | 0,88 | |
| Reduction factor $\chi_{LT}$ | 1,00 | |
| Interaction factor $k_{yy}$ | 0,92 | |
| Interaction factor $k_{yz}$ | 0,33 | |
| Interaction factor $k_{zy}$ | 0,56 | |
| Interaction factor $k_{zz}$ | 0,55 | |

Maximum moment $M_{y,Ed}$ is derived from beam B44 position 5,041 m.
Maximum moment $M_{z,Ed}$ is derived from beam B44 position 2,521 m.

| Interaction method 1 parameters | | |
|---|---|---|
| Critical Euler load $N_{cr,y}$ | 15851,97 | kN |
| Critical Euler load $N_{cr,z}$ | 15851,97 | kN |
| Elastic critical load $N_{cr,T}$ | 624714,35 | kN |
| Plastic section modulus $W_{pl,y}$ | 5,9350e-04 | $m^3$ |
| Elastic section modulus $W_{el,y}$ | 4,8594e-04 | $m^3$ |
| Plastic section modulus $W_{pl,z}$ | 5,9350e-04 | $m^3$ |
| Elastic section modulus $W_{el,z}$ | 4,8594e-04 | $m^3$ |
| Second moment of area $I_y$ | 4,8594e-05 | $m^4$ |
| Second moment of area $I_z$ | 4,8594e-05 | $m^4$ |
| Torsional constant $I_t$ | 8,5017e-05 | $m^4$ |
| Method for equivalent moment factor $C_{my,0}$ | Table A.2 Line 2 (General) | |
| Design bending moment (maximum) $M_{y,Ed}$ | 53,70 | kNm |
| Maximum relative deflection $\delta_z$ | -2,3 | mm |
| Equivalent moment factor $C_{my,0}$ | 0,96 | |
| Method for equivalent moment factor $C_{mz,0}$ | Table A.2 Line 1 (Linear) | |
| Ratio of end moments $\psi_z$ | -0,66 | |
| Equivalent moment factor $C_{mz,0}$ | 0,61 | |
| Factor $\mu_y$ | 0,98 | |
| Factor $\mu_z$ | 0,98 | |
| Factor $\varepsilon_y$ | 0,52 | |
| Factor $a_{LT}$ | 0,00 | |
| Critical moment for uniform bending $M_{cr,0}$ | 10515,51 | kNm |
| Relative slenderness $\lambda_{rel,0}$ | 0,14 | |
| Limit relative slenderness $\lambda_{rel,0lim}$ | 0,25 | |
| Equivalent moment factor $C_{my}$ | 0,96 | |
| Equivalent moment factor $C_{mz}$ | 0,61 | |
| Equivalent moment factor $C_{mLT}$ | 1,00 | |
| Factor $b_{LT}$ | 0,00 | |
| Factor $c_{LT}$ | 0,00 | |
| Factor $d_{LT}$ | 0,00 | |
| Factor $e_{LT}$ | 0,00 | |
| Factor $w_y$ | 1,22 | |
| Factor $w_z$ | 1,22 | |
| Factor $n_{pl}$ | 0,59 | |
| Maximum relative slenderness $\lambda_{rel,max}$ | 0,44 | |
| Factor $C_{yy}$ | 1,16 | |
| Factor $C_{yz}$ | 1,21 | |
| Factor $C_{zy}$ | 1,14 | |
| Factor $C_{zz}$ | 1,22 | |

Unity check (5.61) = 0,68 + 0,24 + 0,07 = 0,99 -
Unity check (5.62) = 0,68 + 0,14 + 0,12 = 0,94 -

Student version

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 4,8594 \cdot 10^{-5}[m^4]}{2,521[m]^2} = 15851,97[kN]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 4,8594 \cdot 10^{-5}[m^4]}{2,521[m]^2} = 15851,97[kN]$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \times \left(G \times I_t + \frac{\pi^2 \times E \times I_w}{l_0^2}\right) = \frac{1}{106[mm]^2} \times \left(80769,2[MPa] \times 8,5017 \cdot 10^{-5}[m^4] + \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 3,3333 \cdot 10^{-7}[m^6]}{2,521[m]^2}\right)$$

$$= 624714,35[kN]$$

$$C_{my,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \times E \times I_y \times |\delta_z|}{L^2 \times |M_{y,Ed}|} - 1\right) \times \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 4,8594 \cdot 10^{-5}[m^4] \times |-2,3[mm]|}{2,521[m]^2 \times |53,70[kNm]|} - 1\right) \times \frac{|1837,54[kN]|}{15851,97[kN]} = 0,96$$

$$C_{mz,0} = 0,79 + 0,21 \times \psi_z + \frac{0,36 \times (\psi_z - 0,33) \times |N_{Ed}|}{N_{cr,z}} = 0,79 + 0,21 \times -0,66 + \frac{0,36 \times (-0,66 - 0,33) \times |1837,54[kN]|}{15851,97[kN]} = 0,61$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}}{1 - \frac{\chi_y \times |N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{|1837,54[kN]|}{15851,97[kN]}}{1 - \frac{0,88 \times |1837,54[kN]|}{15851,97[kN]}} = 0,98$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}}{1 - \frac{\chi_z \times |N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{|1837,54[kN]|}{15851,97[kN]}}{1 - \frac{0,88 \times |1837,54[kN]|}{15851,97[kN]}} = 0,98$$

$$\varepsilon_y = \left|\frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}}\right| \times \frac{A}{W_{el,y}} = \left|\frac{53,70[kNm]}{1837,54[kN]}\right| \times \frac{8,7040 \cdot 10^{-3}[m^2]}{4,8594 \cdot 10^{-4}[m^3]} = 0,52$$

$$a_{LT} = \max\left(1 - \frac{I_z}{I_y}, 0\right) = \max\left(1 - \frac{8,5017 \cdot 10^{-5}[m^4]}{4,8594 \cdot 10^{-5}[m^4]}, 0\right) = \max(-0,75, 0) = 0,00$$

$$M_{cr,0} = \frac{C_1 \times \pi^2 \times E \times I_z}{(k \times l_{cr})^2} \times \left[\sqrt{\frac{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \times I_w}{I_z} + \frac{(k \times l_{cr})^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times z_g - C_3 \times z_j)^2} - (C_2 \times z_g - C_3 \times z_j)\right]$$

$$= \frac{1,00 \times \pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 4,8594 \cdot 10^{-5}[m^4]}{(1,00 \times 2,521[m])^2}$$

$$\times \left[\sqrt{\frac{\left(\frac{1,00}{1,00}\right)^2 \times 3,3333 \cdot 10^{-7}[m^6]}{4,8594 \cdot 10^{-5}[m^4]} + \frac{(1,00 \times 2,521[m])^2 \times 80769,2[MPa] \times 8,5017 \cdot 10^{-5}[m^4]}{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 4,8594 \cdot 10^{-5}[m^4]} + (0,03 \times 0[mm] - 1,00 \times 0[mm])^2} - (0,03 \times 0[mm] - 1,00 \times 0[mm])\right]$$

$$= 10515,51[kNm]$$

$$\lambda_{rel,0} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3] \times 355,0[MPa]}{10515,51[kNm]}} = 0,14$$

$$\lambda_{rel,0,lim} = 0,2 \times \sqrt{C_1} \times \sqrt[4]{\left(1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}\right) \times \left(1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,T}}\right)} = 0,2 \times \sqrt{1,63} \times \sqrt[4]{\left(1 - \frac{|1837,54[kN]|}{15851,97[kN]}\right) \times \left(1 - \frac{|1837,54[kN]|}{624714,35[kN]}\right)} = 0,25$$

$$C_{my} = C_{my,0} = 0,96$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 0,61$$

$$C_{mLT} = 1,00$$

$$b_{LT} = 0,5 \times a_{LT} \times \lambda_{rel,0}^2 \times \frac{|M_{z,Ed}|}{\chi_{LT} \times M_{pl,y,Rd}} \times \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{pl,z,Rd}} = 0,5 \times 0,00 \times 0,14^2 \times \frac{|53,70[kNm]|}{1,00 \times 210,69[kNm]} \times \frac{|44,22[kNm]|}{210,69[kNm]} = 0,00$$

$$c_{LT} = 10 \times a_{LT} \times \frac{\lambda_{rel,0}^2}{5 + \lambda_{rel,z}^4} \times \frac{|M_{y,Ed}|}{C_{my} \times \chi_{LT} \times M_{pl,y,Rd}} = 10 \times 0,00 \times \frac{0,14^2}{5 + 0,44^4} \times \frac{|53,70[kNm]|}{0,96 \times 1,00 \times 210,69[kNm]} = 0,00$$

$$d_{LT} = 2 \times a_{LT} \times \frac{\lambda_{rel,0}}{0,1 + \lambda_{rel,z}^4} \times \frac{|M_{y,Ed}|}{C_{my} \times \chi_{LT} \times M_{pl,y,Rd}} \times \frac{|M_{z,Ed}|}{C_{mz} \times M_{pl,z,Rd}}$$

$$= 2 \times 0,00 \times \frac{0,14}{0,1 + 0,44^4} \times \frac{|53,70[kNm]|}{0,96 \times 1,00 \times 210,69[kNm]} \times \frac{|44,22[kNm]|}{0,61 \times 210,69[kNm]} = 0,00$$

$$e_{LT} = 1,7 \times a_{LT} \times \frac{\lambda_{rel,0}}{0,1 + \lambda_{rel,z}^4} \times \frac{|M_{y,Ed}|}{C_{my} \times \chi_{LT} \times M_{pl,y,Rd}} = 1,7 \times 0,00 \times \frac{0,14}{0,1 + 0,44^4} \times \frac{|53,70[kNm]|}{0,96 \times 1,00 \times 210,69[kNm]} = 0,00$$

$$w_y = \min\left(\frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}, 1,5\right) = \min\left(\frac{5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3]}{4,8594 \cdot 10^{-4}[m^3]}, 1,5\right) = \min(1,22, 1,5) = 1,22$$

$$w_z = \min\left(\frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}}, 1,5\right) = \min\left(\frac{5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3]}{4,8594 \cdot 10^{-4}[m^3]}, 1,5\right) = \min(1,22, 1,5) = 1,22$$

$$n_{pl} = \frac{|N_{Ed}|}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{|1837,54[kN]|}{\frac{3089,92[kN]}{1,00}} = 0,59$$

$$\lambda_{rel,max} = \max(\lambda_{rel,y}, \lambda_{rel,z}) = \max(0,44, 0,44) = 0,44$$

Student version

$$C_{yy} = \max\left\{1 + (w_y - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} \times C_{my}^2 \times \lambda_{rel,max} - \frac{1,6}{w_y} \times C_{my}^2 \times \lambda_{rel,max}^2\right) \times n_{pl} - b_{LT}\right], \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}\right\}$$

$$= \max\left\{1 + (1,22 - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1,6}{1,22} \times 0,96^2 \times 0,44 - \frac{1,6}{1,22} \times 0,96^2 \times 0,44^2\right) \times 0,59 - 0,00\right], \frac{4,8594 \cdot 10^{-4}[m^3]}{5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3]}\right\} = \max\{1,16; 0,82\}$$

$$= 1,16$$

$$C_{yz} = \max\left\{1 + (w_z - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{C_{mz}^2 \times \lambda_{rel,max}^2}{w_z^5}\right) \times n_{pl} - c_{LT}\right], 0,6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \times \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}\right\}$$

$$= \max\left\{1 + (1,22 - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{0,61^2 \times 0,44^2}{1,22^5}\right) \times 0,59 - 0,00\right], 0,6 \times \sqrt{\frac{1,22}{1,22}} \times \frac{4,8594 \cdot 10^{-4}[m^3]}{5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3]}\right\} = \max\{1,21; 0,49\} = 1,21$$

$$C_{zy} = \max\left\{1 + (w_y - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{C_{my}^2 \times \lambda_{rel,max}^2}{w_y^5}\right) \times n_{pl} - d_{LT}\right], 0,6 \times \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \times \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}\right\}$$

$$= \max\left\{1 + (1,22 - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{0,96^2 \times 0,44^2}{1,22^5}\right) \times 0,59 - 0,00\right], 0,6 \times \sqrt{\frac{1,22}{1,22}} \times \frac{4,8594 \cdot 10^{-4}[m^3]}{5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3]}\right\} = \max\{1,14; 0,49\} = 1,14$$

$$C_{zz} = \max\left[1 + (w_z - 1) \times \left(2 - \frac{1,6}{w_z} \times C_{mz}^2 \times \lambda_{rel,max} - \frac{1,6}{w_z} \times C_{mz}^2 \times \lambda_{rel,max}^2 - e_{LT}\right) \times n_{pl}, \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}\right]$$

$$= \max\left[1 + (1,22 - 1) \times \left(2 - \frac{1,6}{1,22} \times 0,61^2 \times 0,44 - \frac{1,6}{1,22} \times 0,61^2 \times 0,44^2 - 0,00\right) \times 0,59, \frac{4,8594 \cdot 10^{-4}[m^3]}{5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3]}\right] = \max[1,22; 0,82] = 1,22$$

$$N_{Rk} = A \times f_y = 8,7040 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa] = 3089,92[kN]$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3] \times 355,0[MPa] = 210,69[kNm]$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 5,9350 \cdot 10^{-4}[m^3] \times 355,0[MPa] = 210,69[kNm]$$

$$k_{yy} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_y}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} \times \frac{1}{C_{yy}} = 0,96 \times 1,00 \times \frac{0,98}{1 - \frac{|1837,54[kN]|}{15851,97[kN]}} \times \frac{1}{1,16} = 0,92$$

$$k_{yz} = C_{mz} \times \frac{\mu_y}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} \times \frac{1}{C_{yz}} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 0,61 \times \frac{0,98}{1 - \frac{|1837,54[kN]|}{15851,97[kN]}} \times \frac{1}{1,21} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{1,22}{1,22}} = 0,33$$

$$k_{zy} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} \times \frac{1}{C_{zy}} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_z}} = 0,96 \times 1,00 \times \frac{0,98}{1 - \frac{|1837,54[kN]|}{15851,97[kN]}} \times \frac{1}{1,14} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{1,22}{1,22}} = 0,56$$

$$k_{zz} = C_{mz} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} \times \frac{1}{C_{zz}} = 0,61 \times \frac{0,98}{1 - \frac{|1837,54[kN]|}{15851,97[kN]}} \times \frac{1}{1,22} = 0,55$$

$$\text{Unity check (6.61)} = \frac{|N_{Ed}|}{\chi_y \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$= \frac{|1837,54[kN]|}{0,88 \times \frac{3089,92[kN]}{1,00}} + 0,92 \times \frac{|53,70[kNm]| + |0,00[kNm]|}{1,00 \times \frac{210,69[kNm]}{1,00}} + 0,33 \times \frac{|44,22[kNm]| + |0,00[kNm]|}{\frac{210,69[kNm]}{1,00}} = \mathbf{0,99 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.61)}$$

$$\text{Unity check (6.62)} = \frac{|N_{Ed}|}{\chi_z \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

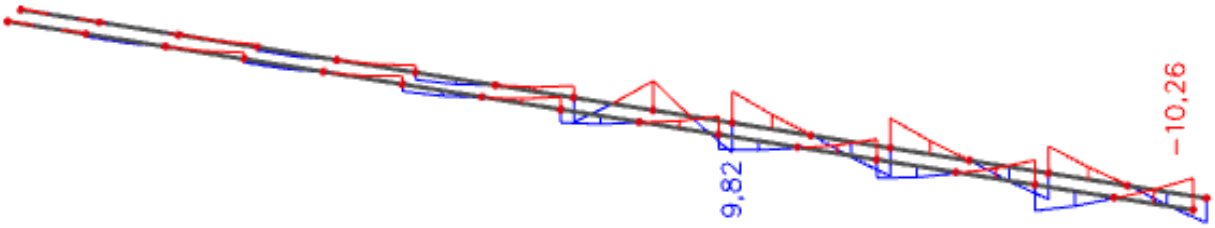
$$= \frac{|1837,54[kN]|}{0,88 \times \frac{3089,92[kN]}{1,00}} + 0,56 \times \frac{|53,70[kNm]| + |0,00[kNm]|}{1,00 \times \frac{210,69[kNm]}{1,00}} + 0,55 \times \frac{|44,22[kNm]| + |0,00[kNm]|}{\frac{210,69[kNm]}{1,00}} = \mathbf{0,94 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.62)}$$

$$\text{Unity check} = \max(\text{Unity check (6.61)}, \text{Unity check (6.62)}) = \max(0,99; 0,94) = \mathbf{0,99 \leq 1,00}$$

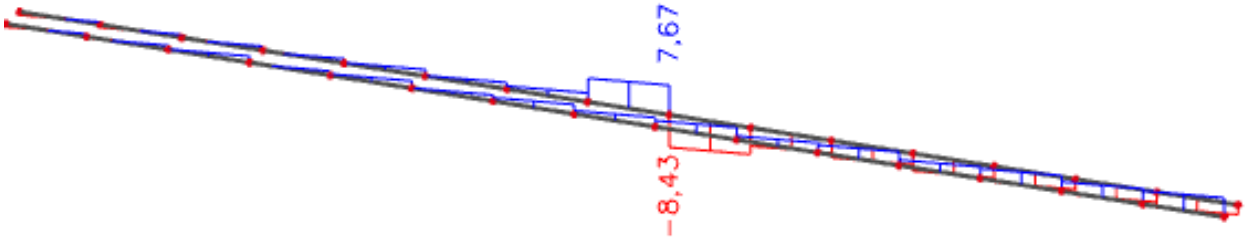
The member satisfies the stability check.

Student version

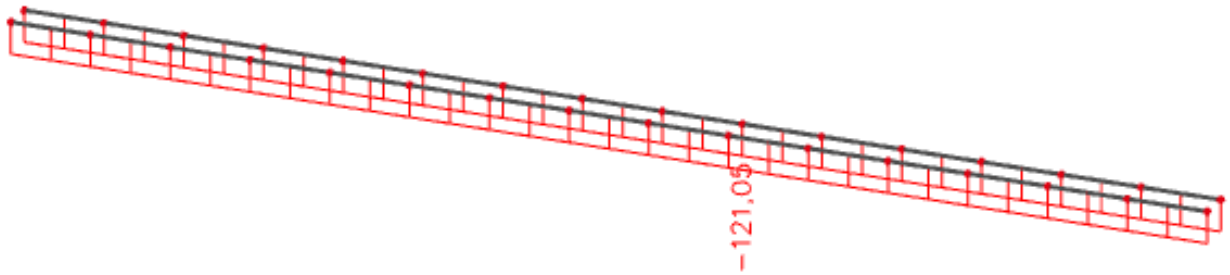
## *15.2. DONJI POJAS GN – CFHRS 140*140*4*



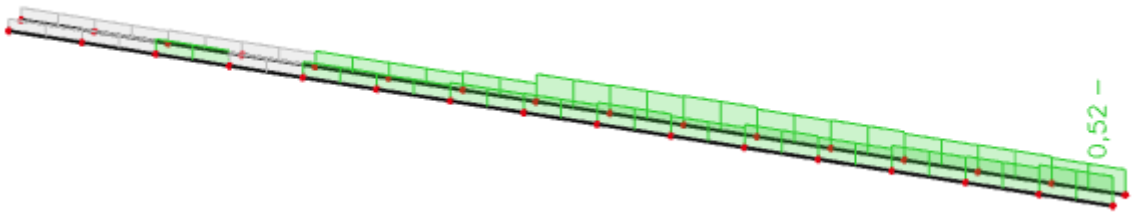

My (kNm)




Vz (kN)




N (kN)




Iskoristivost poprečnog presjeka

## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation
Combination: GSN1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All
Filter: Cross-section = DP GN 4 - CFRHS140X140X4

**EN 1993-1-1 Code Check**
National annex: Standard EN

| Member B45 | 0,000 / 37,809 m | CFRHS140X140X4 | S 355 | GSN1 | 0,52 - |
|---|---|---|---|---|---|

Note: EN 1993-1-3 article 1.1(3) specifies that this part does not apply to cold formed CHS and RHS sections.
The default EN 1993-1-1 code check is executed instead of the EN 1993-1-3 code check.

| Combination key |
|---|
| GSN1 / 1.35*Stalno SCIA G + 1.50*Snig + 1.50*W1 + 1.50*Temperatura + 1.35*Dodatno stalno dG |

| Partial safety factors | |
|---|---|
| $\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections | 1,00 |
| $\gamma_{M1}$ for resistance to instability | 1,00 |
| $\gamma_{M2}$ for resistance of net sections | 1,25 |

| Material | | |
|---|---|---|
| Yield strength $f_y$ | 355,0 | MPa |
| Ultimate strength $f_u$ | 490,0 | MPa |
| Fabrication | Cold formed | |

**...::SECTION CHECK::...**

**The critical check is on position 0,000 m**

| Internal forces | Calculated | Unit |
|---|---|---|
| $N_{Ed}$ | -121,05 | kN |
| $V_{y,Ed}$ | 0,00 | kN |
| $V_{z,Ed}$ | 4,96 | kN |
| $T_{Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{y,Ed}$ | -10,26 | kNm |
| $M_{z,Ed}$ | 0,00 | kNm |

**Classification for cross-section design**
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Internal and Outstand parts according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 1 & 2

| Id | Type | c [mm] | t [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | $\psi$ [-] | $k_\sigma$ [-] | a [-] | c/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 128 | 4 | 1,638e+05 | 1,638e+05 | 1,00 | | 1,00 | 32,00 | 22,78 | 27,66 | 30,92 | 4 |
| 3 | I | 128 | 4 | 1,575e+05 | -4,411e+04 | -0,28 | | 0,78 | 32,00 | 31,09 | 37,29 | 55,62 | 2 |
| 5 | I | 128 | 4 | -5,041e+04 | -5,041e+04 | | | | | | | | |
| 7 | I | 128 | 4 | -4,411e+04 | 1,575e+05 | -0,28 | | 0,78 | 32,00 | 31,09 | 37,29 | 55,62 | 2 |

**Note:** The Classification limits have been set according to Semi-Comp+.
The cross-section is classified as Class 4

**Effective section N-**
**Effective width calculation**
According to EN 1993-1-5 article 4.4

| Id | Type | $b_p$ [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | $\psi$ [-] | $k_\sigma$ [-] | $\lambda_p$ [-] | $\rho$ [-] | $b_e$ [mm] | $b_{e1}$ [mm] | $b_{e2}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 128 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,69 | 0,99 | 126 | 63 | 63 |
| 3 | I | 128 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,69 | 0,99 | 126 | 63 | 63 |
| 5 | I | 128 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,69 | 0,99 | 126 | 63 | 63 |
| 7 | I | 128 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,69 | 0,99 | 126 | 63 | 63 |

**Effective section My-**
**Effective width calculation**
According to EN 1993-1-5 article 4.4

| Id | Type | $b_p$ [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | $\psi$ [-] | $k_\sigma$ [-] | $\lambda_p$ [-] | $\rho$ [-] | $b_e$ [mm] | $b_{e1}$ [mm] | $b_{e2}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 128 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,69 | 0,99 | 126 | 63 | 63 |
| 3 | I | 128 | 3,341e+05 | -3,341e+05 | -1,00 | 23,90 | 0,28 | 1,00 | 64 | 26 | 38 |
| 5 | I | 128 | -3,550e+05 | -3,550e+05 | | | | | | | |
| 7 | I | 128 | 3,341e+05 | -3,341e+05 | -1,00 | 23,90 | 0,28 | 1,00 | 64 | 26 | 38 |

Student version

| Effective properties | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Effective area | $A_{eff}$ | 2,1046e-03 | $m^2$ | | | |
| Effective second moment of area | $I_{eff,y}$ | 6,4804e-06 | $m^4$ | $I_{eff,z}$ | 6,4804e-06 | $m^4$ |
| Effective section modulus | $W_{eff,y}$ | 9,2261e-05 | $m^3$ | $W_{eff,z}$ | 9,2261e-05 | $m^3$ |
| Shift of the centroid | $e_{N,y}$ | 0 | mm | $e_{N,z}$ | 0 | mm |

**Compression check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.4 and formula (6.9)

| | | |
|---|---|---|
| $A_{eff}$ | 2,1046e-03 | $m^2$ |
| $N_{c,Rd}$ | 747,12 | kN |
| Unity check | 0,16 | - |

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,1046 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 747,12[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.11)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-121,05[kN]|}{747,12[kN]} = \mathbf{0,16 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.9)}$$

**Bending moment check for $M_y$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.5 and formula (6.12),(6.15)

| | | |
|---|---|---|
| $W_{eff,y,min}$ | 9,2261e-05 | $m^3$ |
| $M_{c,y,Rd}$ | 32,75 | kNm |
| Unity check | 0,31 | - |

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{eff,y,min} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,2261 \cdot 10^{-5}[m^3] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 32,75[kNm] \quad \text{(EC3-1-1: 6.15)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} = \frac{|-10,26[kNm]|}{32,75[kNm]} = \mathbf{0,31 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.12)}$$

**Shear check for $V_z$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.6 and formula (6.17)

| | | |
|---|---|---|
| $\eta$ | 1,20 | |
| $A_w$ | 1,0675e-03 | $m^2$ |
| $V_{pl,z,Rd}$ | 218,79 | kN |
| Unity check | 0,02 | - |

$$V_{pl,z,Rd} = A_w \times \frac{\frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = 1,0675 \cdot 10^{-3}[m^2] \times \frac{\frac{355,0[MPa]}{\sqrt{3}}}{1,00} = 218,79[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.18)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|V_{z,Ed}|}{V_{c,z,Rd}} = \frac{|4,96[kN]|}{218,79[kN]} = \mathbf{0,02 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.17)}$$

**Combined bending, axial force and shear force check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.9.3 and formula (6.43)

| Effective properties | | |
|---|---|---|
| $A_{eff}$ | 2,1046e-03 | $m^2$ |
| $e_{N,y}$ | 0 | mm |
| $e_{N,z}$ | 0 | mm |
| $W_{eff,y}$ | 9,2261e-05 | $m^3$ |
| $W_{eff,z}$ | 9,2261e-05 | $m^3$ |

| Normal stresses | | |
|---|---|---|
| $\sigma_{N,Ed}$ | 57,5 | MPa |
| $\sigma_{My,Ed}$ | 111,2 | MPa |
| $\sigma_{Mz,Ed}$ | 0,0 | MPa |
| $\sigma_{tot,Ed}$ | 168,8 | MPa |
| Unity check | 0,48 | - |

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{|N_{Ed}|}{A_{eff}} = \frac{|-121,05[kN]|}{2,1046 \cdot 10^{-3}[m^2]} = 57,5[MPa]$$

$$\sigma_{My,Ed} = \frac{|M_{y,Ed}|}{W_{eff,y}} = \frac{|-10,26[kNm]|}{9,2261 \cdot 10^{-5}[m^3]} = 111,2[MPa]$$

$$\sigma_{Mz,Ed} = \frac{|M_{z,Ed}|}{W_{eff,z}} = \frac{|0,00[kNm]|}{9,2261 \cdot 10^{-5}[m^3]} = 0,0[MPa]$$

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed} = 57,5[MPa] + 111,2[MPa] + 0,0[MPa] = 168,8[MPa]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|\sigma_{tot,Ed}|}{\frac{f_y \times (1 - \rho_{max})}{\gamma_{M0}}} = \frac{|168,8[MPa]|}{\frac{355,0[MPa] \times (1 - 0,00)}{1,00}} = \mathbf{0,48 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.43)}$$

The member satisfies the section check.

**...::STABILITY CHECK::...**

**Classification for member buckling design**
Decisive position for stability classification: 0,000 m

Student version

Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Internal and Outstand parts according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 1 & 2

| Id | Type | c [mm] | t [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | Ψ [-] | $k_\sigma$ [-] | α [-] | c/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 128 | 4 | 1,638e+05 | 1,638e+05 | 1,00 | | 1,00 | 32,00 | 22,78 | 27,66 | 30,92 | 4 |
| 3 | I | 128 | 4 | 1,575e+05 | -4,411e+04 | -0,28 | | 0,78 | 32,00 | 31,09 | 37,29 | 55,62 | 2 |
| 5 | I | 128 | 4 | -5,041e+04 | -5,041e+04 | | | | | | | | |
| 7 | I | 128 | 4 | -4,411e+04 | 1,575e+05 | -0,28 | | 0,78 | 32,00 | 31,09 | 37,29 | 55,62 | 2 |

**Note:** The Classification limits have been set according to Semi-Comp+.
The cross-section is classified as Class 4

**Flexural Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

| Buckling parameters | yy | zz | |
|---|---|---|---|
| Sway type | sway | non-sway | |
| System length L | 2,521 | 2,521 | m |
| Buckling factor k | 1,00 | 1,00 | |
| Buckling length $l_{cr}$ | 2,521 | 2,521 | m |
| Critical Euler load $N_{cr}$ | 2125,72 | 2125,72 | kN |
| Slenderness λ | 45,63 | 45,63 | |
| Relative slenderness $\lambda_{rel}$ | 0,59 | 0,59 | |
| Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$ | 0,20 | 0,20 | |
| Buckling curve | c | c | |
| Imperfection α | 0,49 | 0,49 | |
| Reduction factor χ | 0,79 | 0,79 | |
| Buckling resistance $N_{b,Rd}$ | 589,94 | 589,94 | kN |

| Flexural Buckling verification | | |
|---|---|---|
| Cross-section effective area $A_{eff}$ | 2,1046e-03 | m² |
| Buckling resistance $N_{b,Rd}$ | 589,94 | kN |
| Unity check | 0,21 | - |

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000.0[\text{MPa}] \times 6.5162 \cdot 10^{-6}[\text{m}^4]}{2.521[\text{m}]^2} = 2125.72[\text{kN}]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000.0[\text{MPa}] \times 6.5162 \cdot 10^{-6}[\text{m}^4]}{2.521[\text{m}]^2} = 2125.72[\text{kN}]$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{2.521[\text{m}]}{55[\text{mm}]} = 45.63$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{2.521[\text{m}]}{55[\text{mm}]} = 45.63$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y \times \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{45.63 \times \sqrt{\frac{2.1046 \cdot 10^{-3}[\text{m}^2]}{2.1350 \cdot 10^{-3}[\text{m}^2]}}}{\pi \times \sqrt{\frac{210000.0[\text{MPa}]}{355.0[\text{MPa}]}}} = 0.59 \quad \text{(EC3-1-1: 6.51)}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z \times \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{45.63 \times \sqrt{\frac{2.1046 \cdot 10^{-3}[\text{m}^2]}{2.1350 \cdot 10^{-3}[\text{m}^2]}}}{\pi \times \sqrt{\frac{210000.0[\text{MPa}]}{355.0[\text{MPa}]}}} = 0.59 \quad \text{(EC3-1-1: 6.51)}$$

$$\varphi_y = 0.5 \times \left[1 + \alpha_y \times (\lambda_{rel,y} - \lambda_{rel,y,0}) + \lambda_{rel,y}^2\right] = 0.5 \times \left[1 + 0.49 \times (0.59 - 0.20) + 0.59^2\right] = 0.77$$

$$\varphi_z = 0.5 \times \left[1 + \alpha_z \times (\lambda_{rel,z} - \lambda_{rel,z,0}) + \lambda_{rel,z}^2\right] = 0.5 \times \left[1 + 0.49 \times (0.59 - 0.20) + 0.59^2\right] = 0.77$$

$$\chi_y = \min\left(\frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,y}^2}, 1\right) = \min\left(\frac{1}{0.77 + \sqrt{0.77^2 - 0.59^2}}, \frac{1}{0.59^2}, 1\right) = \min(0.79, 2.85, 1) = 0.79 \quad \text{(EC3-1-1: 6.49)}$$

$$\chi_z = \min\left(\frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,z}^2}, 1\right) = \min\left(\frac{1}{0.77 + \sqrt{0.77^2 - 0.59^2}}, \frac{1}{0.59^2}, 1\right) = \min(0.79, 2.85, 1) = 0.79 \quad \text{(EC3-1-1: 6.49)}$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \times A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.79 \times 2.1046 \cdot 10^{-3}[\text{m}^2] \times 355.0[\text{MPa}]}{1.00} = 589.94[\text{kN}] \quad \text{(EC3-1-1: 6.48)}$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \times A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.79 \times 2.1046 \cdot 10^{-3}[\text{m}^2] \times 355.0[\text{MPa}]}{1.00} = 589.94[\text{kN}] \quad \text{(EC3-1-1: 6.48)}$$

$$N_{b,Rd} = \min(N_{b,y,Rd}, N_{b,z,Rd}) = \min(589.94[\text{kN}], 589.94[\text{kN}]) = 589.94[\text{kN}]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|-121.05[\text{kN}]|}{589.94[\text{kN}]} = 0.21 \leq 1.00 \quad \text{(EC3-1-1: 6.46)}$$

**Torsional(-Flexural) Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

Student version

**Lateral Torsional Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.2.1
**Note:** The cross-section concerns an RHS section with 'h / b < 10 / $\lambda_{rel,z}$'.
This section is thus not susceptible to Lateral Torsional Buckling.

**Bending and axial compression check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.3 and formula (6.61),(6.62)

| Bending and axial compression check parameters | | |
|---|---|---|
| Interaction method | alternative method 1 | |
| Cross-section effective area $A_{eff}$ | 2,1046e-03 | $m^2$ |
| Effective section modulus $W_{eff,y}$ | 9,2261e-05 | $m^3$ |
| Effective section modulus $W_{eff,z}$ | 9,2261e-05 | $m^3$ |
| Design compression force $N_{Ed}$ | 121,05 | kN |
| Design bending moment (maximum) $M_{y,Ed}$ | -10,26 | kNm |
| Design bending moment (maximum) $M_{z,Ed}$ | 0,00 | kNm |
| Additional moment $\Delta M_{y,Ed}$ | 0,00 | kNm |
| Additional moment $\Delta M_{z,Ed}$ | 0,00 | kNm |
| Characteristic compression resistance $N_{Rk}$ | 747,12 | kN |
| Characteristic moment resistance $M_{y,Rk}$ | 32,75 | kNm |
| Characteristic moment resistance $M_{z,Rk}$ | 32,75 | kNm |
| Reduction factor $\chi_y$ | 0,79 | |
| Reduction factor $\chi_z$ | 0,79 | |
| Reduction factor $\chi_{LT}$ | 1,00 | |
| Interaction factor $k_{yy}$ | 1,02 | |
| Interaction factor $k_{yz}$ | 1,04 | |
| Interaction factor $k_{zy}$ | 1,02 | |
| Interaction factor $k_{zz}$ | 1,04 | |

Maximum moment $M_{y,Ed}$ is derived from beam B45 position 0,000 m.
Maximum moment $M_{z,Ed}$ is derived from beam B45 position 2,521 m.

| Interaction method 1 parameters | | |
|---|---|---|
| Critical Euler load $N_{cr,y}$ | 2125,72 | kN |
| Critical Euler load $N_{cr,z}$ | 2125,72 | kN |
| Elastic critical load $N_{cr,T}$ | 136361,89 | kN |
| Effective section modulus $W_{eff,y}$ | 9,2261e-05 | $m^3$ |
| Second moment of area $I_y$ | 6,5162e-06 | $m^4$ |
| Second moment of area $I_z$ | 6,5162e-06 | $m^4$ |
| Torsional constant $I_t$ | 1,0233e-05 | $m^4$ |
| Method for equivalent moment factor $C_{my,0}$ | Table A.2 Line 2 (General) | |
| Design bending moment (maximum) $M_{y,Ed}$ | -10,26 | kNm |
| Maximum relative deflection $\delta_z$ | 2,7 | mm |
| Equivalent moment factor $C_{my,0}$ | 0,97 | |
| Method for equivalent moment factor $C_{mz,0}$ | Table A.2 Line 3 (Point load) | |
| Equivalent moment factor $C_{mz,0}$ | 0,99 | |
| Factor $\mu_y$ | 0,99 | |
| Factor $\mu_z$ | 0,99 | |
| Factor $\varepsilon_y$ | 1,93 | |
| Factor $a_{LT}$ | 0,00 | |
| Critical moment for uniform bending $M_{cr,0}$ | 1330,19 | kNm |
| Relative slenderness $\lambda_{rel,0}$ | 0,16 | |
| Limit relative slenderness $\lambda_{rel,0,lim}$ | 0,27 | |
| Equivalent moment factor $C_{my}$ | 0,97 | |
| Equivalent moment factor $C_{mz}$ | 0,99 | |
| Equivalent moment factor $C_{mLT}$ | 1,00 | |

Unity check (6.61) = 0,21 + 0,32 + 0,00 = 0,52 -
Unity check (6.62) = 0,21 + 0,32 + 0,00 = 0,52 -

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 6,5162 \cdot 10^{-6}[m^4]}{2,521[m]^2} = 2125,72[kN]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 6,5162 \cdot 10^{-6}[m^4]}{2,521[m]^2} = 2125,72[kN]$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \times \left( G \times I_t + \frac{\pi^2 \times E \times I_w}{l_T^2} \right) = \frac{1}{78[mm]^2} \times \left( 80769,2[MPa] \times 1,0233 \cdot 10^{-5}[m^4] + \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 1,7927 \cdot 10^{-8}[m^6]}{2,521[m]^2} \right)$$
$$= 136361,89[kN]$$

$$C_{my,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \times E \times I_y \times |\delta_z|}{L^2 \times |M_{y,Ed}|} - 1 \right) \times \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 6,5162 \cdot 10^{-6}[m^4] \times |2,7[mm]|}{2,521[m]^2 \times |-10,26[kNm]|} - 1 \right) \times \frac{|121,05[kN]|}{2125,72[kN]} = 0,97$$

$$C_{mz,0} = 1 - \frac{0,18 \times |N_{Ed}|}{N_{cr,z}} = 1 - \frac{0,18 \times |121,05[kN]|}{2125,72[kN]} = 0,99$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}}{1 - \frac{\chi_y \times |N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{|121,05[kN]|}{2125,72[kN]}}{1 - \frac{0,79 \times |121,05[kN]|}{2125,72[kN]}} = 0,99$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}}{1 - \frac{\chi_z \times |N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{|121,05[kN]|}{2125,72[kN]}}{1 - \frac{0,79 \times |121,05[kN]|}{2125,72[kN]}} = 0,99$$

$$C_y = \left|\frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}}\right| \times \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}} = \left|\frac{-10,26[kNm]}{121,05[kN]}\right| \times \frac{2,1046 \cdot 10^{-3}[m^2]}{9,2261 \cdot 10^{-5}[m^3]} = 1,93$$

$$a_{LT} = \max\left(1 - \frac{I_t}{I_y}, 0\right) = \max\left(1 - \frac{1,0233 \cdot 10^{-5}[m^4]}{6,5162 \cdot 10^{-6}[m^4]}, 0\right) = \max(-0,57, 0) = 0,00$$

$$M_{cr,0} = \frac{C_1 \times \pi^2 \times E \times I_z}{(k \times l_{LT})^2} \times \left[\sqrt{\frac{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \times I_w}{I_z} + \frac{(k \times l_{LT})^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times z_g - C_3 \times z_j)^2} - (C_2 \times z_g - C_3 \times z_j)\right]$$

$$= \frac{1,00 \times \pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 6,5162 \cdot 10^{-6}[m^4]}{(1,00 \times 2,521[m])^2}$$

$$\times \left[\sqrt{\frac{\left(\frac{1,00}{1,00}\right)^2 \times 1,7927 \cdot 10^{-6}[m^6]}{6,5162 \cdot 10^{-6}[m^4]} + \frac{(1,00 \times 2,521[m])^2 \times 80769,2[MPa] \times 1,0233 \cdot 10^{-5}[m^4]}{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 6,5162 \cdot 10^{-6}[m^4]} + (0,03 \times 0[mm] - 1,00 \times 0[mm])^2} - (0,03 \times 0[mm] - 1,00 \times 0[mm])\right]$$

$$= 1330,19[kNm]$$

$$\lambda_{rel,0} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} \times f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{9,2261 \cdot 10^{-5}[m^3] \times 355,0[MPa]}{1330,19[kNm]}} = 0,16$$

$$\lambda_{rel,0,lim} = 0,2 \times \sqrt{C_1} \times \sqrt[4]{\left(1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}\right) \times \left(1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,T}}\right)} = 0,2 \times \sqrt{1,93} \times \sqrt[4]{\left(1 - \frac{|121,05[kN]|}{2125,72[kN]}\right) \times \left(1 - \frac{|121,05[kN]|}{136361,89[kN]}\right)} = 0,27$$

$C_{my} = C_{my,0} = 0,97$

$C_{mz} = C_{mz,0} = 0,99$

$C_{mLT} = 1,00$

$N_{Rk} = A_{eff} \times f_y = 2,1046 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa] = 747,12[kN]$

$M_{y,Rk} = W_{eff,y} \times f_y = 9,2261 \cdot 10^{-5}[m^3] \times 355,0[MPa] = 32,75[kNm]$

$M_{z,Rk} = W_{eff,z} \times f_y = 9,2261 \cdot 10^{-5}[m^3] \times 355,0[MPa] = 32,75[kNm]$

$$k_{yy} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_y}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = 0,97 \times 1,00 \times \frac{0,99}{1 - \frac{|121,05[kN]|}{2125,72[kN]}} = 1,02$$

$$k_{yz} = C_{mz} \times \frac{\mu_y}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = 0,99 \times \frac{0,99}{1 - \frac{|121,05[kN]|}{2125,72[kN]}} = 1,04$$

$$k_{zy} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = 0,97 \times 1,00 \times \frac{0,99}{1 - \frac{|121,05[kN]|}{2125,72[kN]}} = 1,02$$

$$k_{zz} = C_{mz} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = 0,99 \times \frac{0,99}{1 - \frac{|121,05[kN]|}{2125,72[kN]}} = 1,04$$

$$k_{zy} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = 0,97 \times 1,00 \times \frac{0,99}{1 - \frac{|121,05[kN]|}{2125,72[kN]}} = 1,02$$

$$k_{zz} = C_{mz} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = 0,99 \times \frac{0,99}{1 - \frac{|121,05[kN]|}{2125,72[kN]}} = 1,04$$

$$\text{Unity check (6.61)} = \frac{|N_{Ed}|}{\chi_y \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$= \frac{|121,05[kN]|}{0,79 \times \frac{747,12[kN]}{1,00}} + 1,02 \times \frac{|-10,26[kNm]| + |0,00[kNm]|}{1,00 \times \frac{32,75[kNm]}{1,00}} + 1,04 \times \frac{|0,00[kNm]| + |0,00[kNm]|}{\frac{32,75[kNm]}{1,00}} = \mathbf{0,52 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.61)}$$

$$\text{Unity check (6.62)} = \frac{|N_{Ed}|}{\chi_z \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

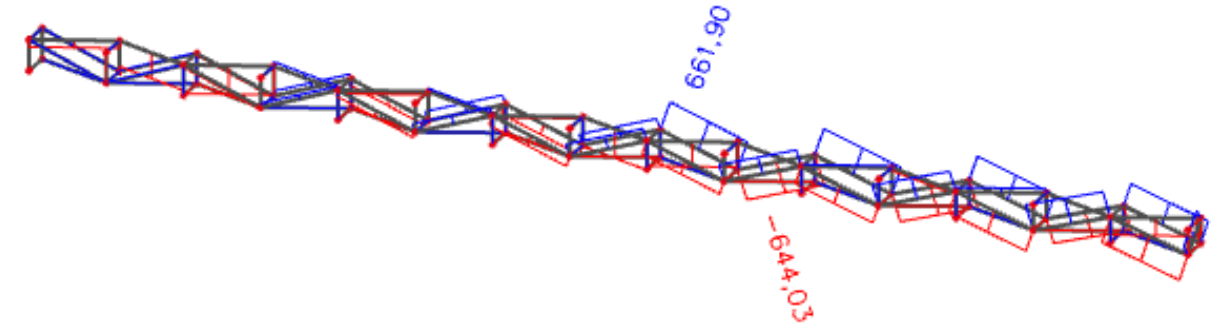
$$= \frac{|121,05[kN]|}{0,79 \times \frac{747,12[kN]}{1,00}} + 1,02 \times \frac{|-10,26[kNm]| + |0,00[kNm]|}{1,00 \times \frac{32,75[kNm]}{1,00}} + 1,04 \times \frac{|0,00[kNm]| + |0,00[kNm]|}{\frac{32,75[kNm]}{1,00}} = \mathbf{0,52 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.62)}$$

$$\text{Unity check} = \max(\text{Unity check (6.61)}, \text{Unity check (6.62)}) = \max(0,52, 0,52) = \mathbf{0,52 \leq 1,00}$$

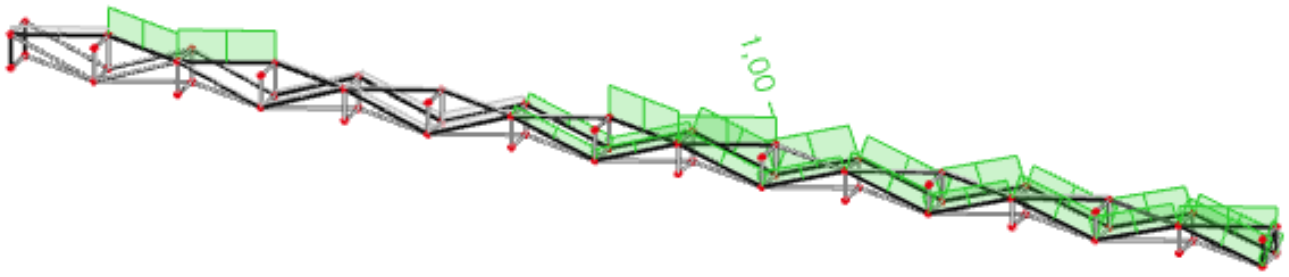
The member satisfies the stability check.

Student version

## *15.3. ISPUNA GN – CFCHS 168.3*4.5*




N (kN)




Iskoristivost poprečnog presjeka

## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation
Combination: GSN1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: B3, B5..B7, B9..B11, B13, B16..B43, B46..B112, B114..B134
Filter: Cross-section = Ispuna GN - CFCHS168.3X4.5

**EN 1993-1-1 Code Check**
National annex: Standard EN

| Member B34 | 2,665 / 2,665 m | CFCHS168.3X4.5 | S 355 | GSN1 | 1,00 - |
|---|---|---|---|---|---|

Note: EN 1993-1-3 article 1.1(3) specifies that this part does not apply to cold formed CHS and RHS sections.
The default EN 1993-1-1 code check is executed instead of the EN 1993-1-3 code check.

| Combination key |
|---|
| GSN1 / 1.35*Stalno SCIA G + 1.50*Snig + 1.50*W1 + 1.50*Temperatura + 1.35*Dodatno stalno dG |

| Partial safety factors | |
|---|---|
| $\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections | 1,00 |
| $\gamma_{M1}$ for resistance to instability | 1,00 |
| $\gamma_{M2}$ for resistance of net sections | 1,25 |

| Material | | |
|---|---|---|
| Yield strength $f_y$ | 355,0 | MPa |
| Ultimate strength $f_u$ | 490,0 | MPa |
| Fabrication | Cold formed | |

**...::SECTION CHECK::...**

**The critical check is on position 2,665 m**

| Internal forces | Calculated | Unit |
|---|---|---|
| $N_{Ed}$ | -644,03 | kN |
| $V_{y,Ed}$ | 0,00 | kN |
| $V_{z,Ed}$ | 0,00 | kN |
| $T_{Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{y,Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{z,Ed}$ | 0,00 | kNm |

**Classification for cross-section design**
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Tubular sections according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 3

| d [mm] | t [mm] | d/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 168 | 5 | 37,40 | 33,10 | 46,34 | 59,58 | 2 |

The cross-section is classified as Class 2

**Compression check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.4 and formula (6.9)

| | | |
|---|---|---|
| A | 2,3160e-03 | $m^2$ |
| $N_{c,Rd}$ | 822,18 | kN |
| Unity check | 0,78 | - |

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,3160 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 822,18[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.10)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-644,03[kN]|}{822,18[kN]} = \mathbf{0,78 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.9)}$$

The member satisfies the section check.

**...::STABILITY CHECK::...**

**Classification for member buckling design**
Decisive position for stability classification: 0,000 m
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Tubular sections according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 3

| d [mm] | t [mm] | d/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 168 | 5 | 37,40 | 33,10 | 46,34 | 59,58 | 2 |

The cross-section is classified as Class 2

**Flexural Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

Student version

| Buckling parameters | yy | zz | |
|---|---|---|---|
| Sway type | sway | non-sway | |
| System length L | 2,665 | 2,665 | m |
| Buckling factor k | 1,00 | 1,00 | |
| Buckling length $l_{cr}$ | 2,565 | 2,665 | m |
| Critical Euler load $N_{cr}$ | 2267,40 | 2267,40 | kN |
| Slenderness $\lambda$ | 46,01 | 46,01 | |
| Relative slenderness $\lambda_{rel}$ | 0,60 | 0,60 | |
| Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$ | 0,20 | 0,20 | |
| Buckling curve | c | c | |
| Imperfection $\alpha$ | 0,49 | 0,49 | |
| Reduction factor $\chi$ | 0,78 | 0,78 | |
| Buckling resistance $N_{b,Rd}$ | 644,67 | 644,67 | kN |

| Flexural Buckling verification | | |
|---|---|---|
| Cross-section area A | 2,3160e-03 | $m^2$ |
| Buckling resistance $N_{b,Rd}$ | 644,67 | kN |
| Unity check | 1,00 | - |

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 7,7722 \cdot 10^{-6}[m^4]}{2,665[m]^2} = 2267,40[kN]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 7,7722 \cdot 10^{-6}[m^4]}{2,665[m]^2} = 2267,40[kN]$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,665[m]}{58[mm]} = 46,01$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{2,665[m]}{58[mm]} = 46,01$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{46,01}{\pi \times \sqrt{\frac{210000,0[MPa]}{355,0[MPa]}}} = 0,60 \qquad \text{(EC3-1-1: 6.50)}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{46,01}{\pi \times \sqrt{\frac{210000,0[MPa]}{355,0[MPa]}}} = 0,60 \qquad \text{(EC3-1-1: 6.50)}$$

$$\varphi_y = 0,5 \times \left[1 + \alpha_y \times (\lambda_{rel,y} - \lambda_{rel,y,0}) + \lambda_{rel,y}^2\right] = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (0,60 - 0,20) + 0,60^2\right] = 0,78$$

$$\varphi_z = 0,5 \times \left[1 + \alpha_z \times (\lambda_{rel,z} - \lambda_{rel,z,0}) + \lambda_{rel,z}^2\right] = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (0,60 - 0,20) + 0,60^2\right] = 0,78$$

$$\chi_y = \min\left(\frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,y}^2}, 1\right) = \min\left(\frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,60^2}}, \frac{1}{0,60^2}, 1\right) = \min(0,78, 2,76, 1) = 0,78 \qquad \text{(EC3-1-1: 6.49)}$$

$$\chi_z = \min\left(\frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,z}^2}, 1\right) = \min\left(\frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,60^2}}, \frac{1}{0,60^2}, 1\right) = \min(0,78, 2,76, 1) = 0,78 \qquad \text{(EC3-1-1: 6.49)}$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,78 \times 2,3160 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 644,67[kN] \qquad \text{(EC3-1-1: 6.47)}$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,78 \times 2,3160 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 644,67[kN] \qquad \text{(EC3-1-1: 6.47)}$$

$$N_{b,Rd} = \min\left(N_{b,y,Rd}, N_{b,z,Rd}\right) = \min\left(644,67[kN], 644,67[kN]\right) = 644,67[kN]$$

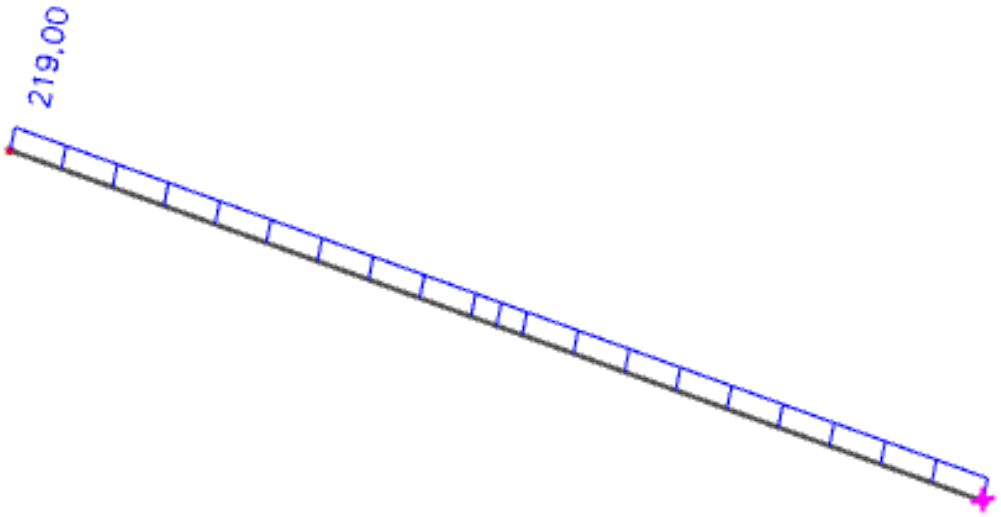
$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|-644,03[kN]|}{644,67[kN]} = 1,00 \leq 1,00 \qquad \text{(EC3-1-1: 6.46)}$$

**Torsional(-Flexural) Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)
**Note:** The cross-section concerns a CHS section which is not susceptible to Torsional(-Flexural) Buckling.

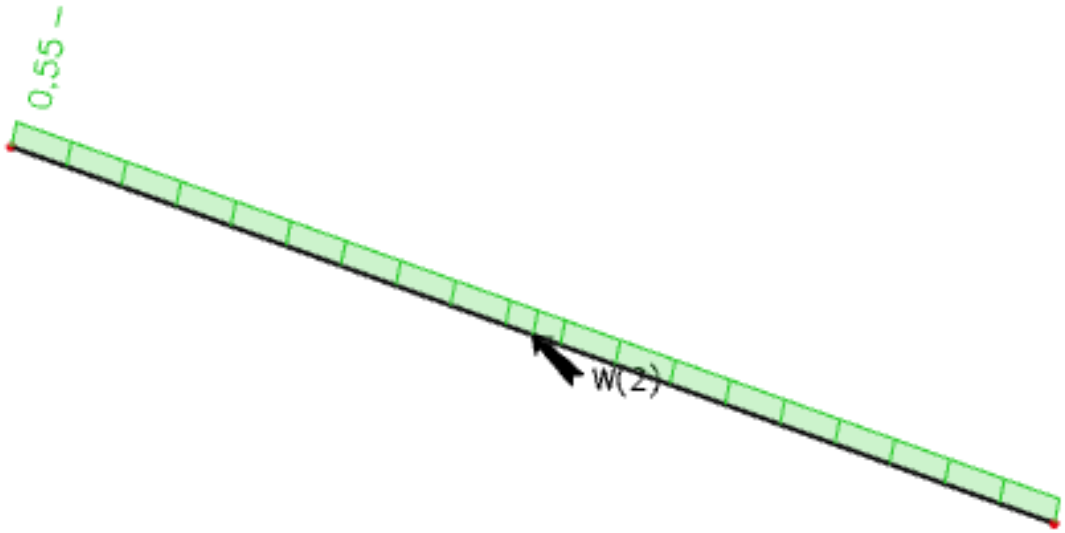
The member satisfies the stability check.

Student version

## 15.4.SAJLA DUŽA- GN, RD 38




N (kN)




Iskoristivost poprečnog presjeka

## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation
Combination: GSN1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All
Filter: Cross-section = Sajle duže - RD38

Student version

**EN 1993-1-1 Code Check**
National annex: Standard EN

| Member B1 | 0,000 / 41,345 m | RD38 | S 355 | GSN1 | 0,55 - |
|---|---|---|---|---|---|

| Combination key |
|---|
| GSN1 / 1.35*Stalno SCIA G + 1.50*Snig + 1.50*W1 + 1.50*Temperatura + 1.35*Dodatno stalno dG |

| Partial safety factors | |
|---|---|
| $\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections | 1,00 |
| $\gamma_{M1}$ for resistance to instability | 1,00 |
| $\gamma_{M2}$ for resistance of net sections | 1,25 |

| Material | | |
|---|---|---|
| Yield strength $f_y$ | 355,0 | MPa |
| Ultimate strength $f_u$ | 490,0 | MPa |
| Fabrication | Rolled | |

**Warning:** Strength reduction in function of the thickness is not supported for this type of cross-section.

**...::SECTION CHECK::...**

**The critical check is on position 0,000 m**

| Internal forces | Calculated | Unit |
|---|---|---|
| $N_{Ed}$ | 219,00 | kN |
| $V_{y,Ed}$ | 0,00 | kN |
| $V_{z,Ed}$ | 0,00 | kN |
| $T_{Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{y,Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{z,Ed}$ | 0,00 | kNm |

**Classification for cross-section design**
**Warning:** Classification is not supported for this type of cross-section.
The section is checked as elastic, class 3.

Student version

**Tension check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.3 and formula (6.5)

| | | |
|---|---|---|
| A | 1,1335e-03 | $m^2$ |
| $N_{pl,Rd}$ | 402,41 | kN |
| $N_{u,Rd}$ | 399,91 | kN |
| $N_{t,Rd}$ | 399,91 | kN |
| Unity check | 0,55 | - |

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1335 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 402,41[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.6)}$$

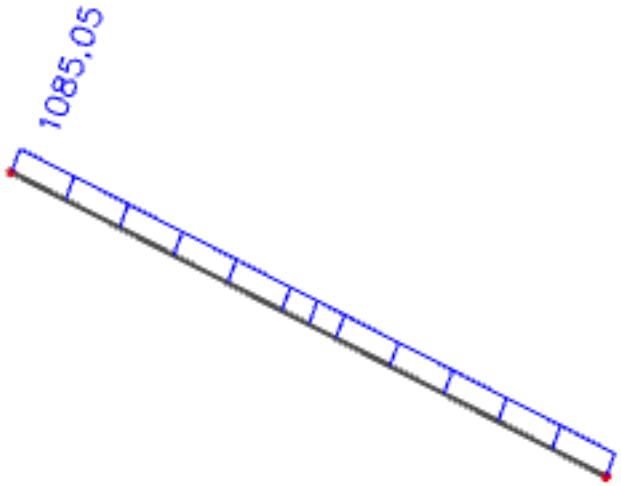
$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 1,1335 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 490,0[MPa]}{1,25} = 399,91[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.7)}$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}) = \min(402,41[kN], 399,91[kN]) = 399,91[kN]$$

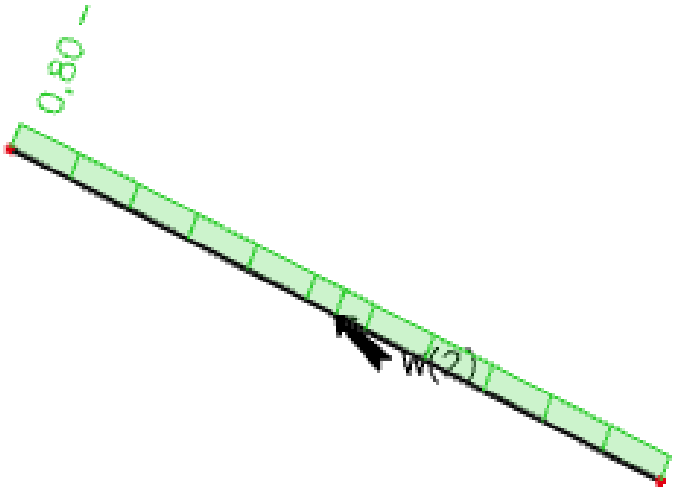
$$\text{Unity check} = \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{219,00[kN]}{399,91[kN]} = \mathbf{0,55} \leq \mathbf{1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.5)}$$

The member satisfies the section check.

## 15.5. SAJLA KRAĆA- GN , RD 70




N (kN)




Iskoristivost poprečnog presjeka

Linear calculation
Combination: GSN1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All
Filter: Cross-section = Sajle krače - RD70

Student version

**EN 1993-1-1 Code Check**
National annex: Standard EN

| Member B2 | 0,000 / 24,258 m | RD70 | S 355 | GSN1 | 0,80 - |
|---|---|---|---|---|---|

| Combination key |
|---|
| GSN1 / 1.35*Stalno SCIA G + 1.50*Snig + 1.50*W1 + 1.50*Temperatura + 1.35*Dodatno stalno dG |

| Partial safety factors | |
|---|---|
| $\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections | 1,00 |
| $\gamma_{M1}$ for resistance to instability | 1,00 |
| $\gamma_{M2}$ for resistance of net sections | 1,25 |

| Material | | |
|---|---|---|
| Yield strength $f_y$ | 355,0 | MPa |
| Ultimate strength $f_u$ | 490,0 | MPa |
| Fabrication | Rolled | |

**Warning:** Strength reduction in function of the thickness is not supported for this type of cross-section.

**...::SECTION CHECK::...**

**The critical check is on position 0,000 m**

| Internal forces | Calculated | Unit |
|---|---|---|
| $N_{Ed}$ | 1085,05 | kN |
| $V_{y,Ed}$ | 0,00 | kN |
| $V_{z,Ed}$ | 0,00 | kN |
| $T_{Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{y,Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{z,Ed}$ | 0,00 | kNm |

**Classification for cross-section design**
**Warning:** Classification is not supported for this type of cross-section.
The section is checked as elastic, class 3.

Student version

**Tension check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.3 and formula (6.5)

| | | |
|---|---|---|
| A | 3,8465e-03 | $m^2$ |
| $N_{pl,Rd}$ | 1365,51 | kN |
| $N_{u,Rd}$ | 1357,05 | kN |
| $N_{t,Rd}$ | 1357,05 | kN |
| Unity check | 0,80 | - |

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3.8465 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355.0[MPa]}{1.00} = 1365.51[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.6)}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \times A \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 3.8465 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 490.0[MPa]}{1.25} = 1357.05[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.7)}$$

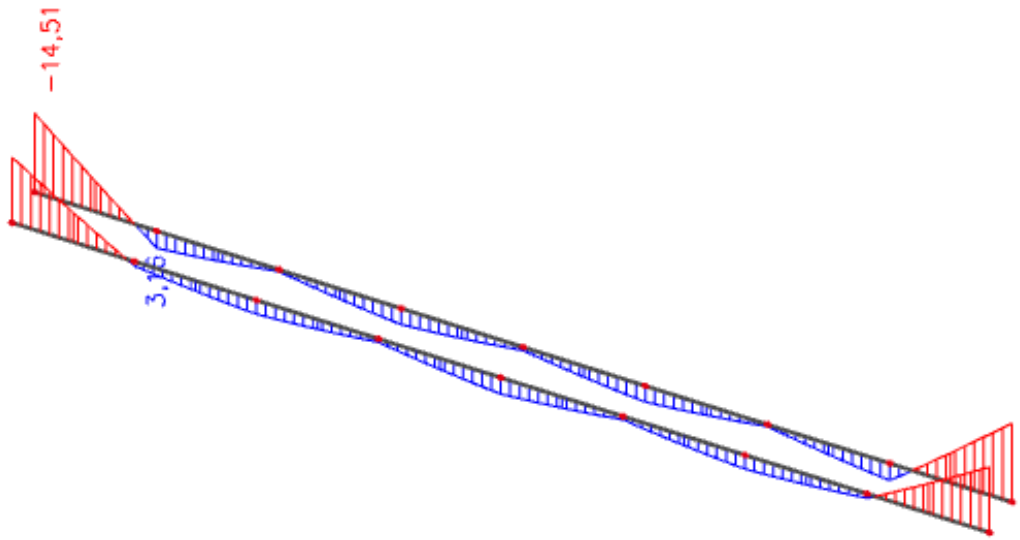
$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}) = \min(1365.51[kN], 1357.05[kN]) = 1357.05[kN]$$

$$\text{Unity check} = \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{1085.05[kN]}{1357.05[kN]} = 0.80 \leq 1.00 \quad \text{(EC3-1-1: 6.5)}$$

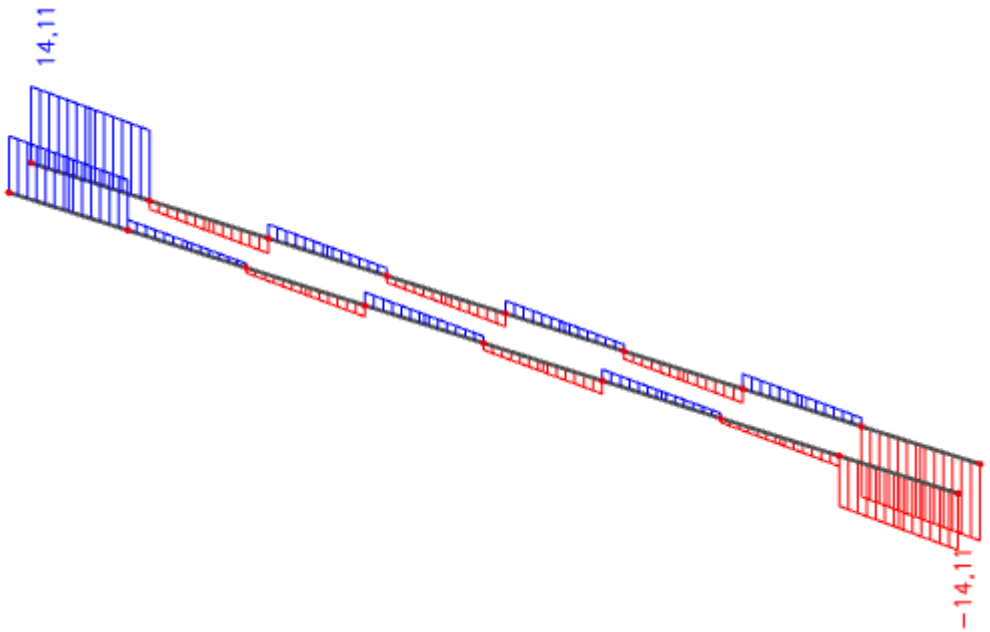
The member satisfies the section check.

# 16.0. SEKUNDARNA KONSTRUKCIJA

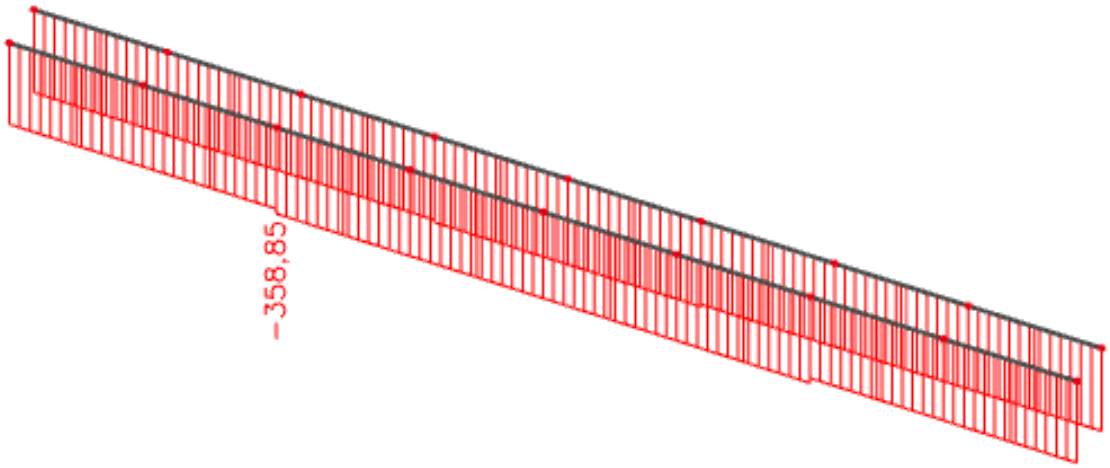
## *16.1.GORNJI POJAS SK, CFHRS- 140*140*5*



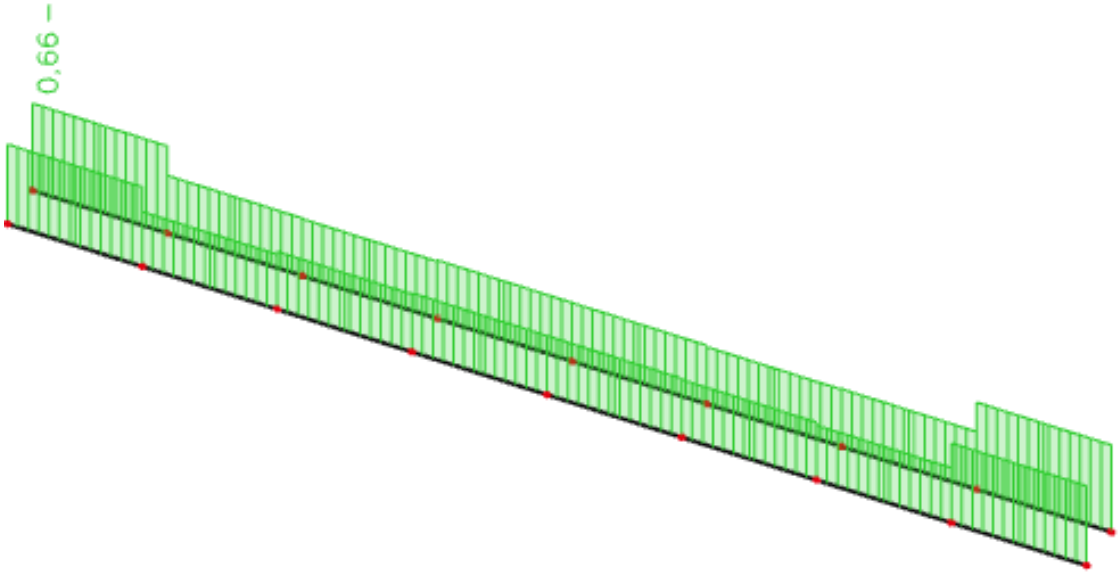

My (kNm)




Vz (kN)




N (kN)




Iskoristivost poprečnog presjeka

## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation
Combination: GSN1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All
Filter: Cross-section = GP SK 3 - CFRHS140X140X5

**EN 1993-1-1 Code Check**
National annex: Standard EN

| Member B6 | 0,000 / 10,450 m | CFRHS140X140X5 | S 355 | GSN1 | 0,66 - |
|---|---|---|---|---|---|

Note: EN 1993-1-3 article 1.1(3) specifies that this part does not apply to cold formed CHS and RHS sections.
The default EN 1993-1-1 code check is executed instead of the EN 1993-1-3 code check.

| Combination key |
|---|
| GSN1 / 1.35*Stalno SCIA + 1.35*Dodatno stalno dG + 1.50*W1 + 1.50*Snig + 1.50*Temperatura |

| Partial safety factors | |
|---|---|
| $\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections | 1,00 |
| $\gamma_{M1}$ for resistance to instability | 1,00 |
| $\gamma_{M2}$ for resistance of net sections | 1,25 |

| Material | | |
|---|---|---|
| Yield strength $f_y$ | 355,0 | MPa |
| Ultimate strength $f_u$ | 490,0 | MPa |
| Fabrication | Cold formed | |

**...::SECTION CHECK::...**

**The critical check is on position 0,000 m**

| Internal forces | Calculated | Unit |
|---|---|---|
| $N_{Ed}$ | -345,36 | kN |
| $V_{y,Ed}$ | 0,86 | kN |
| $V_{z,Ed}$ | 14,11 | kN |
| $T_{Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{y,Ed}$ | -14,51 | kNm |
| $M_{z,Ed}$ | -0,57 | kNm |

**Classification for cross-section design**
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Internal and Outstand parts according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 1 & 2

| Id | Type | c [mm] | t [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | $\psi$ [-] | $k_\sigma$ [-] | $\alpha$ [-] | c/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 125 | 5 | 2,595e+05 | 2,505e+05 | 0,97 | | 1,00 | 25,00 | 22,78 | 27,66 | 31,29 | 2 |
| 3 | I | 125 | 5 | 2,410e+05 | 1,145e+04 | 0,05 | | 1,00 | 25,00 | 22,78 | 27,66 | 46,18 | 2 |
| 5 | I | 125 | 5 | 2,625e+03 | 1,159e+04 | 0,23 | | 1,00 | 25,00 | 22,78 | 27,66 | 42,26 | 2 |
| 7 | I | 125 | 5 | 2,113e+04 | 2,507e+05 | 0,08 | | 1,00 | 25,00 | 22,78 | 27,66 | 45,32 | 2 |

**Note:** The Classification limits have been set according to Semi-Comp+.
The cross-section is classified as Class 2

**Compression check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.4 and formula (6.9)

| | | |
|---|---|---|
| A | 2,6360e-03 | $m^2$ |
| $N_{c,Rd}$ | 935,78 | kN |
| Unity check | 0,37 | - |

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,6360 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 935,78[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.10)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-345,36[kN]|}{935,78[kN]} = \mathbf{0,37 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.9)}$$

**Bending moment check for $M_y$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.5 and formula (6.12),(6.13)

| | | |
|---|---|---|
| $W_{pl,y}$ | 1,3230e-04 | $m^3$ |
| $M_{pl,y,Rd}$ | 46,97 | kNm |
| Unity check | 0,31 | - |

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 46,97[kNm] \quad \text{(EC3-1-1: 6.13)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{|-14,51[kNm]|}{46,97[kNm]} = \mathbf{0,31 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.12)}$$

**Bending moment check for $M_z$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.5 and formula (6.12),(6.13)

Student version

| | | |
|---|---|---|
| $W_{pl,z}$ | 1,3230e-04 | $m^3$ |
| $M_{pl,z,Rd}$ | 46,97 | kNm |
| Unity check | 0,01 | - |

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 46,97[kNm] \quad \text{(EC3-1-1: 6.13)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{|-0,57[kNm]|}{46,97[kNm]} = \mathbf{0,01 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.12)}$$

**Shear check for $V_y$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.6 and formula (6.17)

| | | |
|---|---|---|
| η | 1,20 | |
| $A_w$ | 1,3180e-03 | $m^2$ |
| $V_{pl,y,Rd}$ | 270,14 | kN |
| Unity check | 0,00 | - |

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,3180 \cdot 10^{-3}[m^2] \times \frac{355,0[MPa]}{\sqrt{3}}}{1,00} = 270,14[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.18)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|V_{y,Ed}|}{V_{c,y,Rd}} = \frac{|0,86[kN]|}{270,14[kN]} = \mathbf{0,00 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.17)}$$

**Shear check for $V_z$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.6 and formula (6.17)

| | | |
|---|---|---|
| η | 1,20 | |
| $A_w$ | 1,3180e-03 | $m^2$ |
| $V_{pl,z,Rd}$ | 270,14 | kN |
| Unity check | 0,05 | - |

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,3180 \cdot 10^{-3}[m^2] \times \frac{355,0[MPa]}{\sqrt{3}}}{1,00} = 270,14[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.18)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|V_{z,Ed}|}{V_{c,z,Rd}} = \frac{|14,11[kN]|}{270,14[kN]} = \mathbf{0,05 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.17)}$$

**Combined bending, axial force and shear force check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.9.1 and formula (6.41)

| | | |
|---|---|---|
| $M_{N,y,Rd}$ | 38,71 | kNm |
| α | 1,96 | |
| $M_{N,z,Rd}$ | 38,71 | kNm |
| β | 1,96 | |

Unity check (6.41) = 0,15 + 0,00 = 0,15 -

$$M_{N,y,Rd} = \min\left[\frac{M_{pl,y,Rd} \times (1-n)}{1-0,5 \times \text{ratio}_{A,w}}, M_{pl,y,Rd}\right] = \min\left[\frac{46,97[kNm] \times (1-0,37)}{1-0,5 \times 0,47}, 46,97[kNm]\right] = \min[38,71[kNm], 46,97[kNm]] = 38,71[kNm] \quad \text{(EC3-1-1: 6.39)}$$

$$\alpha = \min\left(\frac{1,66}{1-1,13 \times n^2}, 6\right) = \min\left(\frac{1,66}{1-1,13 \times 0,37^2}, 6\right) = \min(1,96, 6) = 1,96$$

$$M_{N,z,Rd} = \min\left[\frac{M_{pl,z,Rd} \times (1-n)}{1-0,5 \times \text{ratio}_{A,f}}, M_{pl,z,Rd}\right] = \min\left[\frac{46,97[kNm] \times (1-0,37)}{1-0,5 \times 0,47}, 46,97[kNm]\right] = \min[38,71[kNm], 46,97[kNm]] = 38,71[kNm] \quad \text{(EC3-1-1: 6.40)}$$

$$\beta = \min\left(\frac{1,66}{1-1,13 \times n^2}, 6\right) = \min\left(\frac{1,66}{1-1,13 \times 0,37^2}, 6\right) = \min(1,96, 6) = 1,96$$

$$\text{Unity check} = \left(\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{N,y,Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{|M_{z,Ed}|}{M_{N,z,Rd}}\right)^{\beta} = \left(\frac{|-14,51[kNm]|}{38,71[kNm]}\right)^{1,96} + \left(\frac{|-0,57[kNm]|}{38,71[kNm]}\right)^{1,96} = \mathbf{0,15 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.41)}$$

**Note:** Since the shear forces are less than half the plastic shear resistances their effect on the moment resistances is neglected.

The member satisfies the section check.

**...::STABILITY CHECK::...**

**Classification for member buckling design**
Decisive position for stability classification: 0,000 m
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Internal and Outstand parts according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 1 & 2

| Id | Type | c [mm] | t [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | Ψ [-] | $k_\sigma$ [-] | α [-] | c/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 125 | 5 | 2,595e+05 | 2,505e+05 | 0,97 | | 1,00 | 25,00 | 22,78 | 27,66 | 31,29 | 2 |
| 3 | 1 | 125 | 5 | 2,410e+05 | 1,145e+04 | 0,05 | | 1,00 | 25,00 | 22,78 | 27,66 | 46,18 | 2 |
| 5 | 1 | 125 | 5 | 2,625e+03 | 1,159e+04 | 0,23 | | 1,00 | 25,00 | 22,78 | 27,66 | 42,26 | 2 |
| 7 | 1 | 125 | 5 | 2,113e+04 | 2,507e+05 | 0,08 | | 1,00 | 25,00 | 22,78 | 27,66 | 45,32 | 2 |

**Note:** The Classification limits have been set according to Semi-Comp+.
The cross-section is classified as Class 2

Student version

**Flexural Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

| Buckling parameters | yy | zz | |
|---|---|---|---|
| Sway type | sway | non-sway | |
| System length L | 1,306 | 1,306 | m |
| Buckling factor k | 1,00 | 1,00 | |
| Buckling length $l_{cr}$ | 1,306 | 1,306 | m |
| Critical Euler load $N_{cr}$ | 9602,87 | 9602,87 | kN |
| Slenderness $\lambda$ | 23,85 | 23,85 | |
| Relative slenderness $\lambda_{rel}$ | 0,31 | 0,31 | |
| Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$ | 0,20 | 0,20 | |

**Note:** The slenderness or compression force is such that Flexural Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.1.2(4).

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000.0[MPa] \times 7.9056 \cdot 10^{-6}[m^4]}{1.306[m]^2} = 9602.87[kN]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000.0[MPa] \times 7.9056 \cdot 10^{-6}[m^4]}{1.306[m]^2} = 9602.87[kN]$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{1.306[m]}{55[mm]} = 23.85$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{1.306[m]}{55[mm]} = 23.85$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{23.85}{\pi \times \sqrt{\frac{210000.0[MPa]}{355.0[MPa]}}} = 0.31 \quad \text{(EC3-1-1: 6.50)}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{23.85}{\pi \times \sqrt{\frac{210000.0[MPa]}{355.0[MPa]}}} = 0.31 \quad \text{(EC3-1-1: 6.50)}$$

**Torsional(-Flexural) Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)
**Note:** The cross-section concerns a RHS section which is not susceptible to Torsional(-Flexural) Buckling.

**Lateral Torsional Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.2.1
**Note:** The cross-section concerns an RHS section with 'h / b < 10 / $\lambda_{rel,z}$'.
This section is thus not susceptible to Lateral Torsional Buckling.

**Bending and axial compression check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.3 and formula (6.61),(6.62)

| Bending and axial compression check parameters | | |
|---|---|---|
| Interaction method | alternative method 1 | |
| Cross-section area A | 2,6360e-03 | $m^2$ |
| Plastic section modulus $W_{pl,y}$ | 1,3230e-04 | $m^3$ |
| Plastic section modulus $W_{pl,z}$ | 1,3230e-04 | $m^3$ |
| Design compression force $N_{Ed}$ | 345,36 | kN |
| Design bending moment (maximum) $M_{y,Ed}$ | -14,51 | kNm |
| Design bending moment (maximum) $M_{z,Ed}$ | -0,57 | kNm |
| Characteristic compression resistance $N_{Rk}$ | 935,78 | kN |
| Characteristic moment resistance $M_{y,Rk}$ | 46,97 | kNm |
| Characteristic moment resistance $M_{z,Rk}$ | 46,97 | kNm |
| Reduction factor $\chi_y$ | 1,00 | |
| Reduction factor $\chi_z$ | 1,00 | |
| Reduction factor $\chi_{LT}$ | 1,00 | |
| Interaction factor $k_{yy}$ | 0,93 | |
| Interaction factor $k_{yz}$ | 0,32 | |
| Interaction factor $k_{zy}$ | 0,56 | |
| Interaction factor $k_{zz}$ | 0,53 | |

Maximum moment $M_{y,Ed}$ is derived from beam B6 position 0,000 m.
Maximum moment $M_{z,Ed}$ is derived from beam B6 position 0,000 m.

| Interaction method 1 parameters | | |
|---|---|---|
| Critical Euler load $N_{cr,y}$ | 9602,87 | kN |
| Critical Euler load $N_{cr,z}$ | 9602,87 | kN |
| Elastic critical load $N_{cr,T}$ | 173634,05 | kN |
| Plastic section modulus $W_{pl,y}$ | 1,3230e-04 | $m^3$ |
| Elastic section modulus $W_{el,y}$ | 1,1294e-04 | $m^3$ |
| Plastic section modulus $W_{pl,z}$ | 1,3230e-04 | $m^3$ |
| Elastic section modulus $W_{el,z}$ | 1,1294e-04 | $m^3$ |
| Second moment of area $I_y$ | 7,9056e-06 | $m^4$ |
| Second moment of area $I_z$ | 7,9056e-06 | $m^4$ |
| Torsional constant $I_t$ | 1,2558e-05 | $m^4$ |
| Method for equivalent moment factor $C_{my,0}$ | Table A.2 Line 2 (General) | |
| Design bending moment (maximum) $M_{y,Ed}$ | -14,51 | kNm |

Student version

| Interaction method 1 parameters | | |
|---|---|---|
| Maximum relative deflection $\delta_z$ | 0,8 | mm |
| Equivalent moment factor $C_{my,0}$ | 0,98 | |
| Method for equivalent moment factor $C_{mz,0}$ | Table A.2 Line 1 (Linear) | |
| Ratio of end moments $\psi_z$ | -0,97 | |
| Equivalent moment factor $C_{mz,0}$ | 0,57 | |
| Factor $\mu_y$ | 1,00 | |
| Factor $\mu_z$ | 1,00 | |
| Factor $\epsilon_y$ | 0,98 | |
| Factor $a_{LT}$ | 0,00 | |
| Critical moment for uniform bending $M_{cr,0}$ | 3162,48 | kNm |
| Relative slenderness $\lambda_{rel,0}$ | 0,12 | |
| Limit relative slenderness $\lambda_{rel,0,lim}$ | 0,28 | |
| Equivalent moment factor $C_{my}$ | 0,98 | |
| Equivalent moment factor $C_{mz}$ | 0,57 | |
| Equivalent moment factor $C_{mLT}$ | 1,00 | |
| Factor $b_{LT}$ | 0,00 | |
| Factor $c_{LT}$ | 0,00 | |
| Factor $d_{LT}$ | 0,00 | |
| Factor $e_{LT}$ | 0,00 | |
| Factor $w_y$ | 1,17 | |
| Factor $w_z$ | 1,17 | |
| Factor $n_{pl}$ | 0,37 | |
| Maximum relative slenderness $\lambda_{rel,max}$ | 0,31 | |
| Factor $C_{yy}$ | 1,09 | |
| Factor $C_{yz}$ | 1,11 | |
| Factor $C_{zy}$ | 1,09 | |
| Factor $C_{zz}$ | 1,12 | |

Unity check (6.61) = 0,37 + 0,29 + 0,00 = 0,66 -
Unity check (6.62) = 0,37 + 0,17 + 0,01 = 0,55 -

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 7,9056 \cdot 10^{-6}[m^4]}{1,306[m]^2} = 9602,87[kN]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 7,9056 \cdot 10^{-6}[m^4]}{1,306[m]^2} = 9602,87[kN]$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \times \left( G \times I_t + \frac{\pi^2 \times E \times I_w}{l_{cr}^2} \right) = \frac{1}{77[mm]^2} \times \left( 80769,2[MPa] \times 1,2558 \cdot 10^{-5}[m^4] + \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 2,2409 \cdot 10^{-8}[m^6]}{1,306[m]^2} \right)$$
$$= 173634,05[kN]$$

$$C_{my,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \times E \times I_y \times |\delta_z|}{L^2 \times |M_{y,Ed}|} - 1 \right) \times \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 7,9056 \cdot 10^{-6}[m^4] \times |0,8[mm]|}{1,306[m]^2 \times |-14,51[kNm]|} - 1 \right) \times \frac{|345,36[kN]|}{9602,87[kN]} = 0,98$$

$$C_{mz,0} = 0,79 + 0,21 \times \psi_z + \frac{0,36 \times (\psi_z - 0,33) \times |N_{Ed}|}{N_{cr,z}} = 0,79 + 0,21 \times -0,97 + \frac{0,36 \times (-0,97 - 0,33) \times |345,36[kN]|}{9602,87[kN]} = 0,57$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}}{1 - \frac{\chi_y \times |N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{|345,36[kN]|}{9602,87[kN]}}{1 - \frac{1,00 \times |345,36[kN]|}{9602,87[kN]}} = 1,00$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}}{1 - \frac{\chi_z \times |N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{|345,36[kN]|}{9602,87[kN]}}{1 - \frac{1,00 \times |345,36[kN]|}{9602,87[kN]}} = 1,00$$

$$\epsilon_y = \left| \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \right| \times \frac{A}{W_{el,y}} = \left| \frac{-14,51[kNm]}{345,36[kN]} \right| \times \frac{2,6360 \cdot 10^{-3}[m^2]}{1,1294 \cdot 10^{-4}[m^3]} = 0,98$$

$$a_{LT} = \max\left(1 - \frac{I_z}{I_y}, 0\right) = \max\left(1 - \frac{1,2558 \cdot 10^{-5}[m^4]}{7,9056 \cdot 10^{-6}[m^4]}, 0\right) = \max(-0,59, 0) = 0,00$$

$$M_{cr,0} = \frac{C_1 \times \pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L_T)^2} \times \left[ \sqrt{\frac{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \times I_w}{I_z} + \frac{(k \times L_T)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times z_g - C_1 \times z_j)^2} - (C_2 \times z_g - C_1 \times z_j) \right]$$

$$= \frac{1,00 \times \pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 7,9056 \cdot 10^{-6}[m^4]}{(1,00 \times 1,306[m])^2}$$

$$\times \left[ \sqrt{\frac{\left(\frac{1,00}{1,00}\right)^2 \times 2,2409 \cdot 10^{-8}[m^6]}{7,9056 \cdot 10^{-6}[m^4]} + \frac{(1,00 \times 1,306[m])^2 \times 80769,2[MPa] \times 1,2558 \cdot 10^{-5}[m^4]}{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 7,9056 \cdot 10^{-6}[m^4]} + (0,01 \times 0[mm] - 1,00 \times 0[mm])^2} - (0,01 \times 0[mm] - 1,00 \times 0[mm]) \right]$$

$$= 3162,48[kNm]$$

$$\lambda_{rel,0} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \times f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3] \times 355,0[MPa]}{3162,48[kNm]}} = 0,12$$

Student version

$$\lambda_{rel,0,lim} = 0,2 \times \sqrt{C_1} \times \sqrt{\left(1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}\right) \times \left(1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,T}}\right)} = 0,2 \times \sqrt{2,05} \times \sqrt{\left(1 - \frac{|345,36[kN]|}{9602,87[kN]}\right) \times \left(1 - \frac{|345,36[kN]|}{173634,05[kN]}\right)} = 0,28$$

$$C_{my} = C_{my,0} = 0,98$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 0,57$$

$$C_{mLT} = 1,00$$

$$b_{LT} = 0,5 \times a_{LT} \times \lambda_{rel,0}^2 \times \frac{|M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times M_{pl,y,Rd}} \times \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{pl,z,Rd}} = 0,5 \times 0,00 \times 0,12^2 \times \frac{|-14,51[kNm]|}{1,00 \times 46,97[kNm]} \times \frac{|-0,57[kNm]|}{46,97[kNm]} = 0,00$$

$$c_{LT} = 10 \times a_{LT} \times \frac{\lambda_{rel,0}^2}{5 + \lambda_{rel,z}^4} \times \frac{|M_{y,Ed}|}{C_{my} \times \chi_{LT} \times M_{pl,y,Rd}} = 10 \times 0,00 \times \frac{0,12^2}{5 + 0,31^4} \times \frac{|-14,51[kNm]|}{0,98 \times 1,00 \times 46,97[kNm]} = 0,00$$

$$d_{LT} = 2 \times a_{LT} \times \frac{\lambda_{rel,0}}{0,1 + \lambda_{rel,z}^4} \times \frac{|M_{y,Ed}|}{C_{my} \times \chi_{LT} \times M_{pl,y,Rd}} \times \frac{|M_{z,Ed}|}{C_{mz} \times M_{pl,z,Rd}}$$

$$= 2 \times 0,00 \times \frac{0,12}{0,1 + 0,31^4} \times \frac{|-14,51[kNm]|}{0,98 \times 1,00 \times 46,97[kNm]} \times \frac{|-0,57[kNm]|}{0,57 \times 46,97[kNm]} = 0,00$$

$$e_{LT} = 1,7 \times a_{LT} \times \frac{\lambda_{rel,0}}{0,1 + \lambda_{rel,z}^4} \times \frac{|M_{y,Ed}|}{C_{my} \times \chi_{LT} \times M_{pl,y,Rd}} = 1,7 \times 0,00 \times \frac{0,12}{0,1 + 0,31^4} \times \frac{|-14,51[kNm]|}{0,98 \times 1,00 \times 46,97[kNm]} = 0,00$$

$$w_y = \min\left(\frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}, 1,5\right) = \min\left(\frac{1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3]}{1,1294 \cdot 10^{-4}[m^3]}, 1,5\right) = \min(1,17, 1,5) = 1,17$$

$$w_z = \min\left(\frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}}, 1,5\right) = \min\left(\frac{1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3]}{1,1294 \cdot 10^{-4}[m^3]}, 1,5\right) = \min(1,17, 1,5) = 1,17$$

$$n_{pl} = \frac{|N_{Ed}|}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{|345,36[kN]|}{\frac{935,78[kN]}{1,00}} = 0,37$$

$$\lambda_{rel,max} = \max(\lambda_{rel,y}, \lambda_{rel,z}) = \max(0,31, 0,31) = 0,31$$

$$C_{yy} = \max\left\{1 + (w_y - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} \times C_{my}^2 \times \lambda_{rel,max} - \frac{1,6}{w_y} \times C_{my}^2 \times \lambda_{rel,max}^2\right) \times n_{pl} - b_{LT}\right], \frac{W_{el,z}}{W_{pl,y}}\right\}$$

$$= \max\left\{1 + (1,17 - 1) \times \left[\left(2 - \frac{1,6}{1,17} \times 0,98^2 \times 0,31 - \frac{1,6}{1,17} \times 0,98^2 \times 0,31^2\right) \times 0,37 - 0,00\right], \frac{1,1294 \cdot 10^{-4}[m^3]}{1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3]}\right\} = \max(1,09, 0,85)$$

$$= 1,09$$

$$C_{yz} = \max\left\{1 + (w_z - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{C_{mz}^2 \times \lambda_{rel,max}^2}{w_z^5}\right) \times n_{pl} - c_{LT}\right], 0,6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \times \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}\right\}$$

$$= \max\left\{1 + (1,17 - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{0,57^2 \times 0,31^2}{1,17^5}\right) \times 0,37 - 0,00\right], 0,6 \times \sqrt{\frac{1,17}{1,17}} \times \frac{1,1294 \cdot 10^{-4}[m^3]}{1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3]}\right\} = \max(1,11, 0,51) = 1,11$$

$$C_{zy} = \max\left\{1 + (w_y - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{C_{my}^2 \times \lambda_{rel,max}^2}{w_y^5}\right) \times n_{pl} - d_{LT}\right], 0,6 \times \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \times \frac{W_{el,z}}{W_{pl,y}}\right\}$$

$$= \max\left\{1 + (1,17 - 1) \times \left[\left(2 - 14 \times \frac{0,98^2 \times 0,31^2}{1,17^5}\right) \times 0,37 - 0,00\right], 0,6 \times \sqrt{\frac{1,17}{1,17}} \times \frac{1,1294 \cdot 10^{-4}[m^3]}{1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3]}\right\} = \max(1,09, 0,51) = 1,09$$

$$C_{zz} = \max\left[1 + (w_z - 1) \times \left(2 - \frac{1,6}{w_z} \times C_{mz}^2 \times \lambda_{rel,max} - \frac{1,6}{w_z} \times C_{mz}^2 \times \lambda_{rel,max}^2 - e_{LT}\right) \times n_{pl}, \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}\right]$$

$$= \max\left[1 + (1,17 - 1) \times \left(2 - \frac{1,6}{1,17} \times 0,57^2 \times 0,31 - \frac{1,6}{1,17} \times 0,57^2 \times 0,31^2 - 0,00\right) \times 0,37, \frac{1,1294 \cdot 10^{-4}[m^3]}{1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3]}\right] = \max[1,12, 0,85] = 1,12$$

$$N_{Rk} = A \times f_y = 2,6360 \cdot 10^{-3}[m^2] \times 355,0[MPa] = 935,78[kN]$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3] \times 355,0[MPa] = 46,97[kNm]$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 1,3230 \cdot 10^{-4}[m^3] \times 355,0[MPa] = 46,97[kNm]$$

$$k_{yy} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_y}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} \times \frac{1}{C_{yy}} = 0,98 \times 1,00 \times \frac{1,00}{1 - \frac{|345,36[kN]|}{9602,87[kN]}} \times \frac{1}{1,09} = 0,93$$

$$k_{yz} = C_{mz} \times \frac{\mu_y}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} \times \frac{1}{C_{yz}} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 0,57 \times \frac{1,00}{1 - \frac{|345,36[kN]|}{9602,87[kN]}} \times \frac{1}{1,11} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{1,17}{1,17}} = 0,32$$

$$k_{zy} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} \times \frac{1}{C_{zy}} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{w_z}{w_z}} = 0,98 \times 1,00 \times \frac{1,00}{1 - \frac{|345,36[kN]|}{9602,87[kN]}} \times \frac{1}{1,09} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{1,17}{1,17}} = 0,56$$

$$k_{zz} = C_{mz} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} \times \frac{1}{C_{zz}} = 0,57 \times \frac{1,00}{1 - \frac{|345,36[kN]|}{9602,87[kN]}} \times \frac{1}{1,12} = 0,53$$

Student version

$$\text{Unity check (6.61)} = \frac{|N_{Ed}|}{\chi_y \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$= \frac{|345,36[\text{kN}]|}{1,00 \times \frac{935,78[\text{kN}]}{1,00}} + 0,93 \times \frac{|-14,51[\text{kNm}]| + |0,00[\text{kNm}]|}{1,00 \times \frac{46,97[\text{kNm}]}{1,00}} + 0,32 \times \frac{|-0,57[\text{kNm}]| + |0,00[\text{kNm}]|}{\frac{46,97[\text{kNm}]}{1,00}} = \mathbf{0,66 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.61)}$$

$$\text{Unity check (6.62)} = \frac{|N_{Ed}|}{\chi_z \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

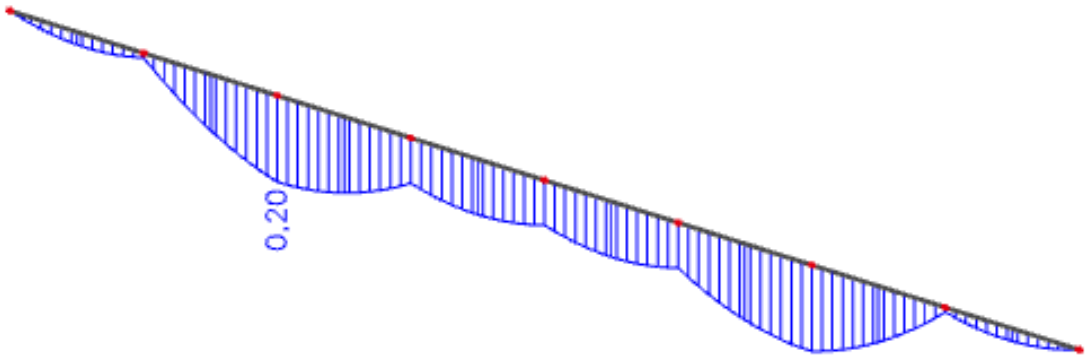
$$= \frac{|345,36[\text{kN}]|}{1,00 \times \frac{935,78[\text{kN}]}{1,00}} + 0,56 \times \frac{|-14,51[\text{kNm}]| + |0,00[\text{kNm}]|}{1,00 \times \frac{46,97[\text{kNm}]}{1,00}} + 0,53 \times \frac{|-0,57[\text{kNm}]| + |0,00[\text{kNm}]|}{\frac{46,97[\text{kNm}]}{1,00}} = \mathbf{0,55 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.62)}$$

$$\text{Unity check} = \max(\text{Unity check (6.61)}, \text{Unity check (6.62)}) = \max(0,66, 0,55) = \mathbf{0,66 \leq 1,00}$$

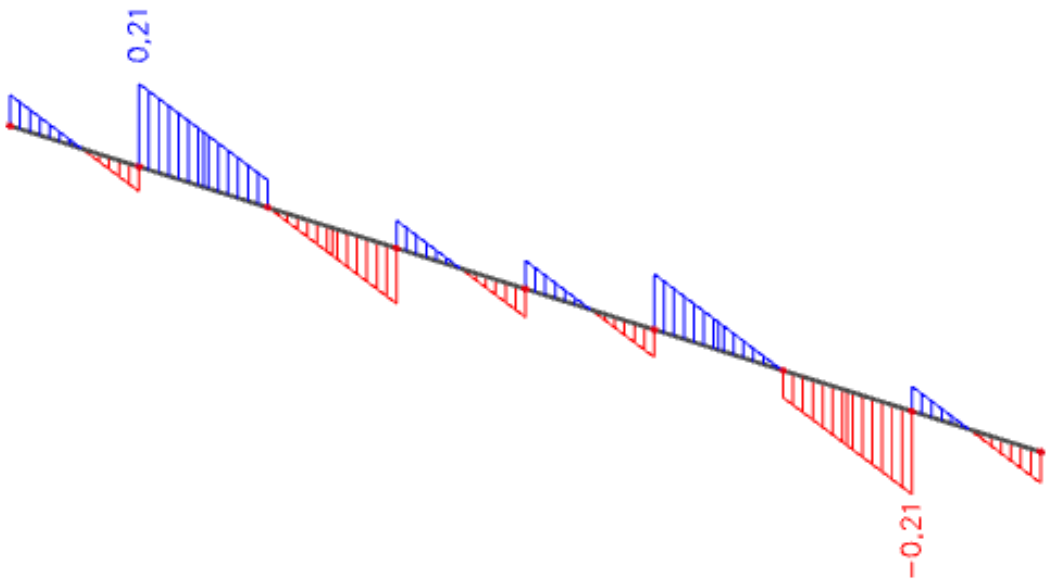
The member satisfies the stability check.

Student version

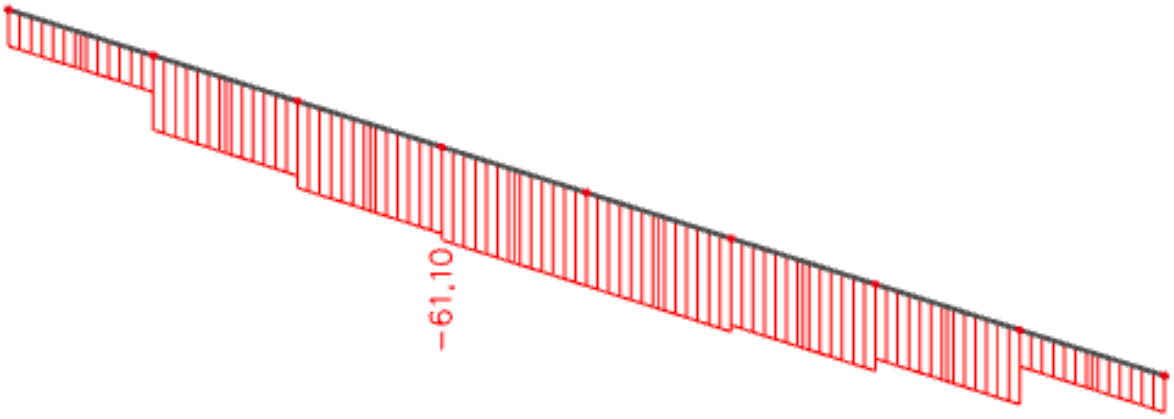
## *16.2.DONJI POJAS SK – CFHRS 120*100*2.5*



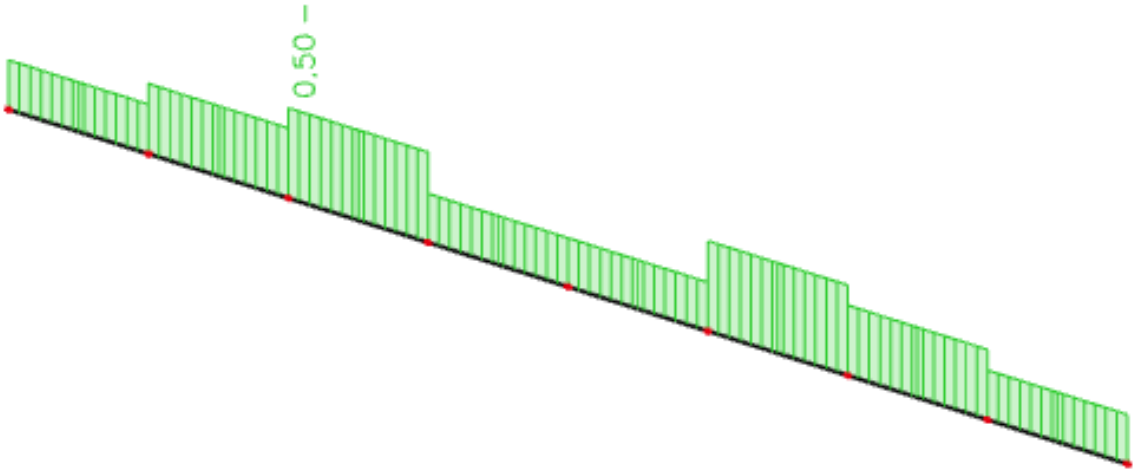

My (kNm)




Vz (kN)




N (kN)




Iskoristivost poprečnog presjeka

## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation
Combination: GSN2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All
Filter: Cross-section = DP SK 3 - CFRHS120X100X2.5

**EN 1993-1-1 Code Check**
National annex: Standard EN

| Member B4 | 2,613 / 10,450 m | CFRHS120X100X2.5 | S 355 | GSN2 | 0,50 - |
|---|---|---|---|---|---|

Note: EN 1993-1-3 article 1.1(3) specifies that this part does not apply to cold formed CHS and RHS sections.
The default EN 1993-1-1 code check is executed instead of the EN 1993-1-3 code check.

| Combination key |
|---|
| GSN2 / 1.35*Stalno SCIA + 1.35*Dodatno stalno dG + 1.50*W2 + 1.50*Snig + 1.50*Temperatura |

| Partial safety factors | |
|---|---|
| $\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections | 1,00 |
| $\gamma_{M1}$ for resistance to instability | 1,00 |
| $\gamma_{M2}$ for resistance of net sections | 1,25 |

| Material | | |
|---|---|---|
| Yield strength $f_y$ | 355,0 | MPa |
| Ultimate strength $f_u$ | 490,0 | MPa |
| Fabrication | Cold formed | |

**...::SECTION CHECK::...**

**The critical check is on position 2,613 m**

| Internal forces | Calculated | Unit |
|---|---|---|
| $N_{Ed}$ | -56,86 | kN |
| $V_{y,Ed}$ | 0,51 | kN |
| $V_{z,Ed}$ | 0,00 | kN |
| $T_{Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{y,Ed}$ | 0,20 | kNm |
| $M_{z,Ed}$ | -0,35 | kNm |

**Classification for cross-section design**
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Internal and Outstand parts according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 1 & 2

| Id | Type | c [mm] | t [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | $\psi$ [-] | $k_\sigma$ [-] | $\alpha$ [-] | c/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 93 | 3 | 5,800e+04 | 3,940e+04 | 0,68 | | 1,00 | 37,00 | 22,78 | 27,66 | 34,79 | 4 |
| 3 | I | 112 | 3 | 3,911e+04 | 4,868e+04 | 0,80 | | 1,00 | 45,00 | 22,78 | 27,66 | 33,18 | 4 |
| 5 | I | 93 | 3 | 4,940e+04 | 6,800e+04 | 0,73 | | 1,00 | 37,00 | 22,78 | 27,66 | 34,16 | 4 |
| 7 | I | 112 | 3 | 6,829e+04 | 5,872e+04 | 0,86 | | 1,00 | 45,00 | 22,78 | 27,66 | 32,50 | 4 |

**Note:** The Classification limits have been set according to Semi-Comp+.
The cross-section is classified as Class 4

**Effective section N-**
**Effective width calculation**
According to EN 1993-1-5 article 4.4

| Id | Type | $b_p$ [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | $\psi$ [-] | $k_\sigma$ [-] | $\lambda_p$ [-] | $\rho$ [-] | $b_e$ [mm] | $b_{e1}$ [mm] | $b_{e2}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 93 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,80 | 0,91 | 84 | 42 | 42 |
| 3 | I | 112 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,97 | 0,79 | 89 | 45 | 45 |
| 5 | I | 93 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,80 | 0,91 | 84 | 42 | 42 |
| 7 | I | 112 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,97 | 0,79 | 89 | 45 | 45 |

**Effective section My+**
**Effective width calculation**
According to EN 1993-1-5 article 4.4

| Id | Type | $b_p$ [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | $\psi$ [-] | $k_\sigma$ [-] | $\lambda_p$ [-] | $\rho$ [-] | $b_e$ [mm] | $b_{e1}$ [mm] | $b_{e2}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 93 | -3,404e+05 | -3,404e+05 | | | | | | | |
| 3 | I | 112 | 3,402e+05 | -3,256e+05 | -0,96 | 22,79 | 0,41 | 1,00 | 57 | 23 | 34 |
| 5 | I | 93 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,80 | 0,91 | 84 | 42 | 42 |
| 7 | I | 112 | 3,402e+05 | -3,256e+05 | -0,96 | 22,79 | 0,41 | 1,00 | 57 | 23 | 34 |

**Effective section Mz-**
**Effective width calculation**
According to EN 1993-1-5 article 4.4

Student version

| Id | Type | $b_p$ [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | $\psi$ [-] | $k_\sigma$ [-] | $\lambda_p$ [-] | $\rho$ [-] | $b_e$ [mm] | $b_{e1}$ [mm] | $b_{e2}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 93 | 3,378e+05 | -2,991e+05 | -0,89 | 21,05 | 0,35 | 1,00 | 49 | 20 | 29 |
| 3 | I | 112 | -3,163e+05 | -3,163e+05 | | | | | | | |
| 5 | I | 93 | 3,378e+05 | -2,991e+05 | -0,89 | 21,05 | 0,35 | 1,00 | 49 | 20 | 29 |
| 7 | I | 112 | 3,550e+05 | 3,550e+05 | 1,00 | 4,00 | 0,97 | 0,79 | 89 | 45 | 45 |

| Effective properties | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Effective area | $A_{eff}$ | 8,9992e-04 | m² | | | |
| Effective second moment of area | $I_{eff,y}$ | 2,2257e-06 | m⁴ | $I_{eff,z}$ | 1,5988e-06 | m⁴ |
| Effective section modulus | $W_{eff,y}$ | 3,6347e-05 | m³ | $W_{eff,z}$ | 3,0276e-05 | m³ |
| Shift of the centroid | $e_{N,y}$ | 0 | mm | $e_{N,z}$ | 0 | mm |

**Compression check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.4 and formula (6.9)

| | | |
|---|---|---|
| $A_{eff}$ | 8,9992e-04 | m² |
| $N_{c,Rd}$ | 319,47 | kN |
| Unity check | 0,18 | - |

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,9992 \cdot 10^{-4}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 319,47[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.11)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-56,86[kN]|}{319,47[kN]} = \mathbf{0,18 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.9)}$$

**Bending moment check for $M_y$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.5 and formula (6.12),(6.15)

| | | |
|---|---|---|
| $W_{eff,y,min}$ | 3,6347e-05 | m³ |
| $M_{c,y,Rd}$ | 12,90 | kNm |
| Unity check | 0,02 | - |

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{eff,y,min} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,6347 \cdot 10^{-5}[m^3] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 12,90[kNm] \quad \text{(EC3-1-1: 6.15)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} = \frac{|0,20[kNm]|}{12,90[kNm]} = \mathbf{0,02 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.12)}$$

**Bending moment check for $M_z$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.5 and formula (6.12),(6.15)

| | | |
|---|---|---|
| $W_{eff,z,min}$ | 3,0276e-05 | m³ |
| $M_{c,z,Rd}$ | 10,75 | kNm |
| Unity check | 0,03 | - |

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{eff,z,min} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,0276 \cdot 10^{-5}[m^3] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 10,75[kNm] \quad \text{(EC3-1-1: 6.15)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|-0,35[kNm]|}{10,75[kNm]} = \mathbf{0,03 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.12)}$$

**Shear check for $V_y$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.6 and formula (6.17)

| | | |
|---|---|---|
| $\eta$ | 1,20 | |
| $A_v$ | 4,8136e-04 | m² |
| $V_{pl,y,Rd}$ | 98,66 | kN |
| Unity check | 0,01 | - |

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,8136 \cdot 10^{-4}[m^2] \times \frac{355,0[MPa]}{\sqrt{3}}}{1,00} = 98,66[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.18)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|V_{y,Ed}|}{V_{c,y,Rd}} = \frac{|0,51[kN]|}{98,66[kN]} = \mathbf{0,01 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.17)}$$

**Shear check for $V_z$**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.6 and formula (6.17)

| | | |
|---|---|---|
| $\eta$ | 1,20 | |
| $A_v$ | 5,7764e-04 | m² |
| $V_{pl,z,Rd}$ | 118,39 | kN |
| Unity check | 0,00 | - |

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{5,7764 \cdot 10^{-4}[m^2] \times \frac{355,0[MPa]}{\sqrt{3}}}{1,00} = 118,39[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.18)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|V_{z,Ed}|}{V_{c,z,Rd}} = \frac{|0,00[kN]|}{118,39[kN]} = \mathbf{0,00 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.17)}$$

**Combined bending, axial force and shear force check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.9.3 and formula (6.43)

Student version

| Effective properties | | |
|---|---|---|
| $A_{eff}$ | 8,9992e-04 | $m^2$ |
| $e_{N,y}$ | 0 | mm |
| $e_{N,z}$ | 0 | mm |
| $W_{eff,y}$ | 3,6347e-05 | $m^3$ |
| $W_{eff,z}$ | 3,0276e-05 | $m^3$ |

| Normal stresses | | |
|---|---|---|
| $\sigma_{N,Ed}$ | 63,2 | MPa |
| $\sigma_{My,Ed}$ | 5,4 | MPa |
| $\sigma_{Mz,Ed}$ | 11,6 | MPa |
| $\sigma_{tot,Ed}$ | 80,2 | MPa |
| Unity check | 0,23 | - |

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{|N_{Ed}|}{A_{eff}} = \frac{|-56,86[kN]|}{8,9992 \cdot 10^{-4}[m^2]} = 63,2[MPa]$$

$$\sigma_{My,Ed} = \frac{|M_{y,Ed}|}{W_{eff,y}} = \frac{|0,20[kNm]|}{3,6347 \cdot 10^{-5}[m^3]} = 5,4[MPa]$$

$$\sigma_{Mz,Ed} = \frac{|M_{z,Ed}|}{W_{eff,z}} = \frac{|-0,35[kNm]|}{3,0276 \cdot 10^{-5}[m^3]} = 11,6[MPa]$$

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed} = 63,2[MPa] + 5,4[MPa] + 11,6[MPa] = 80,2[MPa]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|\sigma_{tot,Ed}|}{\frac{f_y \times (1 - \rho_{max})}{\gamma_{M0}}} = \frac{|80,2[MPa]|}{\frac{355,0[MPa] \times (1 - 0,00)}{1,00}} = \mathbf{0,23 \leq 1,00} \qquad \text{(EC3-1-1: 6.43)}$$

The member satisfies the section check.

**...::STABILITY CHECK::...**

**Classification for member buckling design**
Decisive position for stability classification: 3,919 m
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Internal and Outstand parts according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 1 & 2

| Id | Type | c [mm] | t [mm] | $\sigma_1$ [kN/m²] | $\sigma_2$ [kN/m²] | $\Psi$ [-] | $k_\sigma$ [-] | $\alpha$ [-] | c/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I | 93 | 3 | 4,657e+04 | 6,358e+04 | 0,73 | | 1,00 | 37,00 | 22,78 | 27,66 | 34,08 | 4 |
| 3 | I | 112 | 3 | 6,415e+04 | 6,918e+04 | 0,93 | | 1,00 | 45,00 | 22,78 | 27,66 | 31,72 | 4 |
| 5 | I | 93 | 3 | 6,884e+04 | 5,183e+04 | 0,75 | | 1,00 | 37,00 | 22,78 | 27,66 | 33,82 | 4 |
| 7 | I | 112 | 3 | 5,126e+04 | 4,622e+04 | 0,90 | | 1,00 | 45,00 | 22,78 | 27,66 | 32,01 | 4 |

**Note:** The Classification limits have been set according to Semi-Comp+.
The cross-section is classified as Class 4

**Flexural Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

| Buckling parameters | yy | zz | |
|---|---|---|---|
| Sway type | sway | non-sway | |
| System length L | 1,306 | 1,306 | m |
| Buckling factor k | 3,89 | 0,58 | |
| Buckling length $l_{cr}$ | 5,080 | 0,759 | m |
| Critical Euler load $N_{cr}$ | 184,97 | 6280,89 | kN |
| Slenderness $\lambda$ | 108,93 | 18,69 | |
| Relative slenderness $\lambda_{rel}$ | 1,31 | 0,23 | |
| Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$ | 0,20 | 0,20 | |
| Buckling curve | c | c | |
| Imperfection $\alpha$ | 0,49 | 0,49 | |
| Reduction factor $\chi$ | 0,38 | 0,99 | |
| Buckling resistance $N_{b,Rd}$ | 122,32 | 315,32 | kN |

| Flexural Buckling verification | | |
|---|---|---|
| Cross-section effective area $A_{eff}$ | 8,9992e-04 | $m^2$ |
| Buckling resistance $N_{b,Rd}$ | 122,32 | kN |
| Unity check | 0,46 | - |

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l^2_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 2,3027 \cdot 10^{-6}[m^4]}{5,080[m]^2} = 184,97[kN]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l^2_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 1,7440 \cdot 10^{-6}[m^4]}{0,759[m]^2} = 6280,89[kN]$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{5,080[m]}{47[mm]} = 108,93$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{0,759[m]}{41[mm]} = 18,69$$

Student version

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \times \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{108,93}{\pi} \times \sqrt{\frac{8,9992 \cdot 10^{-4}[m^2]}{1,0590 \cdot 10^{-3}[m^2]}} \times \sqrt{\frac{210000,0[MPa]}{355,0[MPa]}} = 1,31 \quad \text{(EC3-1-1: 6.51)}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \times \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{16,69}{\pi} \times \sqrt{\frac{8,9992 \cdot 10^{-4}[m^2]}{1,0590 \cdot 10^{-3}[m^2]}} \times \sqrt{\frac{210000,0[MPa]}{355,0[MPa]}} = 0,23 \quad \text{(EC3-1-1: 6.51)}$$

$$\varphi_y = 0,5 \times \left[1 + \alpha_y \times (\lambda_{rel,y} - \lambda_{rel,y,0}) + \lambda_{rel,y}^2\right] = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (1,31 - 0,20) + 1,31^2\right] = 1,64$$

$$\varphi_z = 0,5 \times \left[1 + \alpha_z \times (\lambda_{rel,z} - \lambda_{rel,z,0}) + \lambda_{rel,z}^2\right] = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (0,23 - 0,20) + 0,23^2\right] = 0,53$$

$$\chi_y = \min\left(\frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,y}^2}, 1\right) = \min\left(\frac{1}{1,64 + \sqrt{1,64^2 - 1,31^2}}, \frac{1}{1,31^2}, 1\right) = \min(0,38; 0,58; 1) = 0,38 \quad \text{(EC3-1-1: 6.49)}$$

$$\chi_z = \min\left(\frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,z}^2}, 1\right) = \min\left(\frac{1}{0,53 + \sqrt{0,53^2 - 0,23^2}}, \frac{1}{0,23^2}, 1\right) = \min(0,99; 19,66; 1) = 0,99 \quad \text{(EC3-1-1: 6.49)}$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \times A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,38 \times 8,9992 \cdot 10^{-4}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 122,32[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.48)}$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \times A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,99 \times 8,9992 \cdot 10^{-4}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 315,32[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.48)}$$

$$N_{b,Rd} = \min(N_{b,y,Rd}; N_{b,z,Rd}) = \min(122,32[kN]; 315,32[kN]) = 122,32[kN]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|-56,86[kN]|}{122,32[kN]} = \mathbf{0,46 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.46)}$$

**Torsional(-Flexural) Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)
**Note:** The cross-section concerns a RHS section which is not susceptible to Torsional(-Flexural) Buckling.

**Lateral Torsional Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.2.1
**Note:** The cross-section concerns an RHS section with '$h / b < 10$ / $\lambda_{rel,z}$'.
This section is thus not susceptible to Lateral Torsional Buckling.

**Bending and axial compression check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.3 and formula (6.61),(6.62)

| Bending and axial compression check parameters | | |
|---|---|---|
| Interaction method | alternative method 1 | |
| Cross-section effective area $A_{eff}$ | 8,9992e-04 | $m^2$ |
| Effective section modulus $W_{eff,y}$ | 3,6347e-05 | $m^3$ |
| Effective section modulus $W_{eff,z}$ | 3,0276e-05 | $m^3$ |
| Design compression force $N_{Ed}$ | 56,86 | kN |
| Design bending moment (maximum) $M_{y,Ed}$ | 0,20 | kNm |
| Design bending moment (maximum) $M_{z,Ed}$ | -0,35 | kNm |
| Additional moment $\Delta M_{y,Ed}$ | 0,00 | kNm |
| Additional moment $\Delta M_{z,Ed}$ | 0,00 | kNm |
| Characteristic compression resistance $N_{Rk}$ | 319,47 | kN |
| Characteristic moment resistance $M_{y,Rk}$ | 12,90 | kNm |
| Characteristic moment resistance $M_{z,Rk}$ | 10,75 | kNm |
| Reduction factor $\chi_y$ | 0,38 | |
| Reduction factor $\chi_z$ | 0,99 | |
| Reduction factor $\chi_{LT}$ | 1,00 | |
| Interaction factor $k_{yy}$ | 1,16 | |
| Interaction factor $k_{yz}$ | 0,47 | |
| Interaction factor $k_{zy}$ | 1,48 | |
| Interaction factor $k_{zz}$ | 0,60 | |

Maximum moment $M_{y,Ed}$ is derived from beam B4 position 2,613 m.
Maximum moment $M_{z,Ed}$ is derived from beam B4 position 2,613 m.

| Interaction method 1 parameters | | |
|---|---|---|
| Critical Euler load $N_{cr,y}$ | 184,97 | kN |
| Critical Euler load $N_{cr,z}$ | 6280,89 | kN |
| Elastic critical load $N_{cr,T}$ | 66452,85 | kN |
| Effective section modulus $W_{eff,y}$ | 3,6347e-05 | $m^3$ |
| Second moment of area $I_y$ | 2,3027e-06 | $m^4$ |
| Second moment of area $I_z$ | 1,7440e-06 | $m^4$ |
| Torsional constant I | 3,0943e-06 | $m^4$ |
| Method for equivalent moment factor $C_{my,0}$ | Table A.2 Line 2 (General) | |
| Design bending moment (maximum) $M_{y,Ed}$ | 0,20 | kNm |
| Maximum relative deflection $\delta_y$ | -0,1 | mm |
| Equivalent moment factor $C_{my,0}$ | 1,02 | |

Student version

| Interaction method 1 parameters | | |
|---|---|---|
| Method for equivalent moment factor $C_{my,0}$ | Table A.2 Line 1 (Linear) | |
| Ratio of end moments $\psi_z$ | -0,91 | |
| Equivalent moment factor $C_{mz,0}$ | 0,59 | |
| Factor $\mu_y$ | 0,79 | |
| Factor $\mu_z$ | 1,00 | |
| Factor $\varepsilon_y$ | 0,09 | |
| Factor $a_{LT}$ | 0,00 | |
| Critical moment for uniform bending $M_{cr,0}$ | 733,44 | kNm |
| Relative slenderness $\lambda_{rel,0}$ | 0,13 | |
| Limit relative slenderness $\lambda_{rel,0,lim}$ | 0,21 | |
| Equivalent moment factor $C_{my}$ | 1,02 | |
| Equivalent moment factor $C_{mz}$ | 0,59 | |
| Equivalent moment factor $C_{mLT}$ | 1,00 | |

Unity check (6.61) = 0,46 + 0,02 + 0,02 = 0,50 -
Unity check (6.62) = 0,18 + 0,02 + 0,02 = 0,22 -

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 2,3027 \cdot 10^{-6}[m^4]}{5,080[m]^2} = 184,97[kN]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 1,7440 \cdot 10^{-6}[m^4]}{0,759[m]^2} = 6280,89[kN]$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \times \left( G \times I_t + \frac{\pi^2 \times E \times I_w}{l_{cr}^2} \right) = \frac{1}{62[mm]^2} \times \left( 80769,2[MPa] \times 3,0943 \cdot 10^{-6}[m^4] + \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 3,3000 \cdot 10^{-9}[m^6]}{1,306[m]^2} \right)$$
$$= 66452,85[kN]$$

$$C_{my,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \times E \times I_y \times |\delta_z|}{L^2 \times |M_{y,Ed}|} - 1 \right) \times \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 2,3027 \cdot 10^{-6}[m^4] \times |-0,1[mm]|}{1,306[m]^2 \times |0,20[kNm]|} - 1 \right) \times \frac{|56,86[kN]|}{184,97[kN]} = 1,02$$

$$C_{mz,0} = 0,79 + 0,21 \times \psi_z + \frac{0,36 \times (\psi_z - 0,33) \times |N_{Ed}|}{N_{cr,z}} = 0,79 + 0,21 \times -0,91 + \frac{0,36 \times (-0,91 - 0,33) \times |56,86[kN]|}{6280,89[kN]} = 0,59$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}}{1 - \frac{\chi_y \times |N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{|56,86[kN]|}{184,97[kN]}}{1 - \frac{0,38 \times |56,86[kN]|}{184,97[kN]}} = 0,79$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}}{1 - \frac{\chi_z \times |N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{|56,86[kN]|}{6280,89[kN]}}{1 - \frac{0,99 \times |56,86[kN]|}{6280,89[kN]}} = 1,00$$

$$\varepsilon_y = \left| \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \right| \times \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}} = \left| \frac{0,20[kNm]}{56,86[kN]} \right| \times \frac{8,9992 \cdot 10^{-4}[m^2]}{3,6347 \cdot 10^{-5}[m^3]} = 0,09$$

$$a_{LT} = \max\left(1 - \frac{I_t}{I_y}, 0\right) = \max\left(1 - \frac{3,0943 \cdot 10^{-6}[m^4]}{2,3027 \cdot 10^{-6}[m^4]}, 0\right) = \max(-0,34, 0) = 0,00$$

$$M_{cr,0} = \frac{C_1 \times \pi^2 \times E \times I_z}{(k \times l_{cr})^2} \times \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \times \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \times l_{cr})^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times z_g - C_3 \times z_j)^2} - (C_2 \times z_g - C_3 \times z_j) \right]$$

$$= \frac{1,00 \times \pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 1,7440 \cdot 10^{-6}[m^4]}{(1,00 \times 1,306[m])^2}$$

$$\times \left[ \sqrt{\left(\frac{1,00}{1,00}\right)^2 \times \frac{3,3000 \cdot 10^{-9}[m^6]}{1,7440 \cdot 10^{-6}[m^4]}} + \frac{(1,00 \times 1,306[m])^2 \times 80769,2[MPa] \times 3,0943 \cdot 10^{-6}[m^4]}{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 1,7440 \cdot 10^{-6}[m^4]} + (0,05 \times 0[mm] - 1,00 \times 0[mm])^2 - (0,05 \times 0[mm] - 1,00 \times 0[mm]) \right]$$

$$= 733,44[kNm]$$

$$\lambda_{rel,0} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} \times f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{3,6347 \cdot 10^{-5}[m^3] \times 355,0[MPa]}{733,44[kNm]}} = 0,13$$

$$\lambda_{rel,0,lim} = 0,2 \times \sqrt{C_1} \times \sqrt[4]{\left(1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}\right) \times \left(1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,T}}\right)} = 0,2 \times \sqrt{1,15} \times \sqrt[4]{\left(1 - \frac{|56,86[kN]|}{6280,89[kN]}\right) \times \left(1 - \frac{|56,86[kN]|}{66452,85[kN]}\right)} = 0,21$$

$$C_{my} = C_{my,0} = 1,02$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 0,59$$

$$C_{mLT} = 1,00$$

$$N_{Rk} = A_{eff} \times f_y = 8,9992 \cdot 10^{-4}[m^2] \times 355,0[MPa] = 319,47[kN]$$

$$M_{y,Rk} = W_{eff,y} \times f_y = 3,6347 \cdot 10^{-5}[m^3] \times 355,0[MPa] = 12,90[kNm]$$

$$M_{z,Rk} = W_{eff,z} \times f_y = 3,0276 \cdot 10^{-5}[m^3] \times 355,0[MPa] = 10,75[kNm]$$

$$k_{yy} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_y}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = 1,02 \times 1,00 \times \frac{0,79}{1 - \frac{|56,86[kN]|}{184,97[kN]}} = 1,16$$

Student version

Student version

$$k_{yz} = C_{mz} \times \frac{\mu_y}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = 0,59 \times \frac{0,79}{1 - \frac{|56,86[kN]|}{6280,89[kN]}} = 0,47$$

$$k_{zz} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = 1,02 \times 1,00 \times \frac{1,00}{1 - \frac{|56,86[kN]|}{184,57[kN]}} = 1,48$$

$$k_{zz} = C_{mz} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = 0,59 \times \frac{1,00}{1 - \frac{|56,86[kN]|}{6280,89[kN]}} = 0,60$$

$$\text{Unity check (6.61)} = \frac{|N_{Ed}|}{\chi_y \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$= \frac{|56,86[kN]|}{0,38 \times \frac{319,47[kN]}{1,00}} + 1,16 \times \frac{|0,20[kNm]| + |0,00[kNm]|}{1,00 \times \frac{12,90[kNm]}{1,00}} + 0,47 \times \frac{|-0,35[kNm]| + |0,00[kNm]|}{\frac{10,75[kNm]}{1,00}} = \mathbf{0,50 \leq 1,00}$$

(EC3-1-1: 6.61)

$$\text{Unity check (6.62)} = \frac{|N_{Ed}|}{\chi_z \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

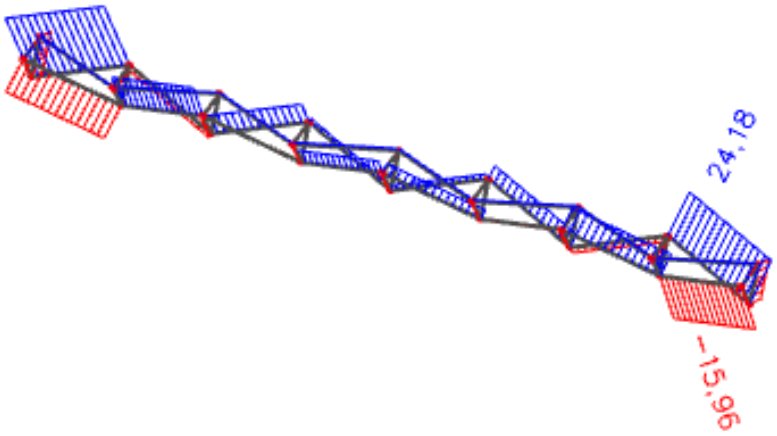
$$= \frac{|56,86[kN]|}{0,99 \times \frac{319,47[kN]}{1,00}} + 1,48 \times \frac{|0,20[kNm]| + |0,00[kNm]|}{1,00 \times \frac{12,90[kNm]}{1,00}} + 0,60 \times \frac{|-0,35[kNm]| + |0,00[kNm]|}{\frac{10,75[kNm]}{1,00}} = \mathbf{0,22 \leq 1,00}$$

(EC3-1-1: 6.62)

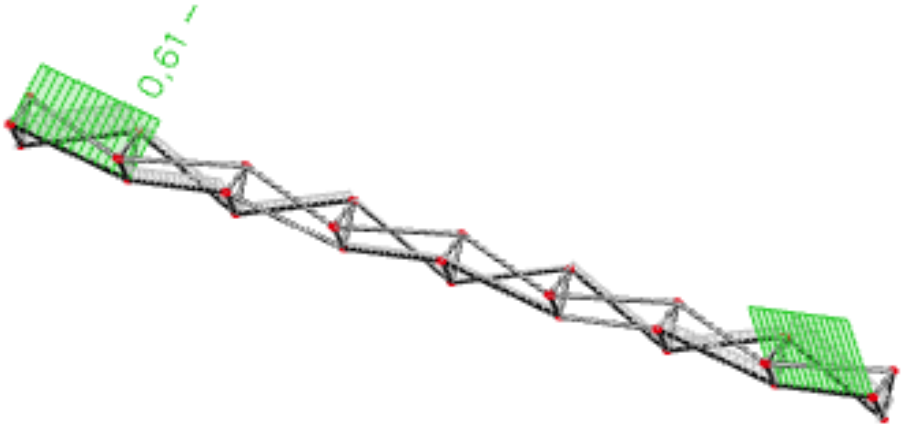
$$\text{Unity check} = \max(\text{Unity check (6.61)}, \text{Unity check (6.62)}) = \max(0,50, 0,22) = \mathbf{0,50 \leq 1,00}$$

**The member satisfies the stability check.**

## *16.3.ISPUNA SK – CFCHS 33.7*3*




N (kN)




Iskoristivost poprečnog presjeka

## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation
Combination: GSN2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All
Filter: Cross-section = Ispuna SK 3 - CFCHS33.7X3

**EN 1993-1-1 Code Check**
National annex: Standard EN

| Member B23 | 1,421 / 1,421 m | CFCHS33.7X3 | S 355 | GSN2 | 0,61 - |
|---|---|---|---|---|---|

Note: EN 1993-1-3 article 1.1(3) specifies that this part does not apply to cold formed CHS and RHS sections.
The default EN 1993-1-1 code check is executed instead of the EN 1993-1-3 code check.

| Combination key |
|---|
| GSN2 / 1.35*Stalno SCIA + 1.35*Dodatno stalno dG + 1.50*W2 + 1.50*Snig + 1.50*Temperatura |

| Partial safety factors | |
|---|---|
| $\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections | 1,00 |
| $\gamma_{M1}$ for resistance to instability | 1,00 |
| $\gamma_{M2}$ for resistance of net sections | 1,25 |

| Material | | |
|---|---|---|
| Yield strength $f_y$ | 355,0 | MPa |
| Ultimate strength $f_u$ | 490,0 | MPa |
| Fabrication | Cold formed | |

**...::SECTION CHECK::...**

**The critical check is on position 1,421 m**

| Internal forces | Calculated | Unit |
|---|---|---|
| $N_{Ed}$ | -15,96 | kN |
| $V_{y,Ed}$ | 0,00 | kN |
| $V_{z,Ed}$ | 0,00 | kN |
| $T_{Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{y,Ed}$ | 0,00 | kNm |
| $M_{z,Ed}$ | 0,00 | kNm |

**Classification for cross-section design**
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Tubular sections according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 3

| d [mm] | t [mm] | d/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 34 | 3 | 11,23 | 33,10 | 46,34 | 59,58 | 1 |

The cross-section is classified as Class 1

**Compression check**
According to EN 1993-1-1 article 6.2.4 and formula (6.9)

| | | |
|---|---|---|
| A | 2,8900e-04 | $m^2$ |
| $N_{c,Rd}$ | 102,59 | kN |
| Unity check | 0,16 | - |

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2.8900 \cdot 10^{-4}[m^2] \times 355.0[MPa]}{1.00} = 102.59[kN] \qquad \text{(EC3-1-1: 6.10)}$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-15.96[kN]|}{102.59[kN]} = \mathbf{0.16 \leq 1.00} \qquad \text{(EC3-1-1: 6.9)}$$

The member satisfies the section check.

**...::STABILITY CHECK::...**

**Classification for member buckling design**
Decisive position for stability classification: 0,000 m
Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2
Classification of Tubular sections according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 3

| d [mm] | t [mm] | d/t [-] | Class 1 Limit [-] | Class 2 Limit [-] | Class 3 Limit [-] | Class |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 34 | 3 | 11,23 | 33,10 | 46,34 | 59,58 | 1 |

The cross-section is classified as Class 1

**Flexural Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

Student version

| Buckling parameters | yy | zz | |
|---|---|---|---|
| Sway type | sway | non-sway | |
| System length L | 1,421 | 1,421 | m |
| Buckling factor k | 1,00 | 1,00 | |
| Buckling length $l_{cr}$ | 1,421 | 1,421 | m |
| Critical Euler load $N_{cr}$ | 35,28 | 35,29 | kN |
| Slenderness $\lambda$ | 130,29 | 130,29 | |
| Relative slenderness $\lambda_{rel}$ | 1,71 | 1,71 | |
| Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$ | 0,20 | 0,20 | |
| Buckling curve | c | c | |
| Imperfection $\alpha$ | 0,49 | 0,49 | |
| Reduction factor $\chi$ | 0,26 | 0,26 | |
| Buckling resistance $N_{b,Rd}$ | 26,31 | 26,31 | kN |

| Flexural Buckling verification | | |
|---|---|---|
| Cross-section area A | 2,8900e-04 | $m^2$ |
| Buckling resistance $N_{b,Rd}$ | 26,31 | kN |
| Unity check | 0,61 | - |

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 3,4400 \cdot 10^{-6}[m^4]}{1,421[m]^2} = 35,28[kN]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[MPa] \times 3,4400 \cdot 10^{-6}[m^4]}{1,421[m]^2} = 35,29[kN]$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,421[m]}{11[mm]} = 130,29$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{1,421[m]}{11[mm]} = 130,29$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{130,29}{\pi \times \sqrt{\frac{210000,0[MPa]}{355,0[MPa]}}} = 1,71 \quad \text{(EC3-1-1: 6.50)}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{130,29}{\pi \times \sqrt{\frac{210000,0[MPa]}{355,0[MPa]}}} = 1,71 \quad \text{(EC3-1-1: 6.50)}$$

$$\varphi_y = 0,5 \times \left[1 + \alpha_y \times (\lambda_{rel,y} - \lambda_{rel,y,0}) + \lambda_{rel,y}^2\right] = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (1,71 - 0,20) + 1,71^2\right] = 2,32$$

$$\varphi_z = 0,5 \times \left[1 + \alpha_z \times (\lambda_{rel,z} - \lambda_{rel,z,0}) + \lambda_{rel,z}^2\right] = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (1,71 - 0,20) + 1,71^2\right] = 2,32$$

$$\chi_y = \min\left(\frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,y}^2}, 1\right) = \min\left(\frac{1}{2,32 + \sqrt{2,32^2 - 1,71^2}}, \frac{1}{1,71^2}, 1\right) = \min(0,26, 0,34, 1) = 0,26 \quad \text{(EC3-1-1: 6.49)}$$

$$\chi_z = \min\left(\frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,z}^2}, 1\right) = \min\left(\frac{1}{2,32 + \sqrt{2,32^2 - 1,71^2}}, \frac{1}{1,71^2}, 1\right) = \min(0,26, 0,34, 1) = 0,26 \quad \text{(EC3-1-1: 6.49)}$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,26 \times 2,8900 \cdot 10^{-4}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 26,31[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.47)}$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,26 \times 2,8900 \cdot 10^{-4}[m^2] \times 355,0[MPa]}{1,00} = 26,31[kN] \quad \text{(EC3-1-1: 6.47)}$$

$$N_{b,Rd} = \min(N_{b,y,Rd}, N_{b,z,Rd}) = \min(26,31[kN], 26,31[kN]) = 26,31[kN]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|-15,96[kN]|}{26,31[kN]} = \mathbf{0,61 \leq 1,00} \quad \text{(EC3-1-1: 6.46)}$$

**Torsional(-Flexural) Buckling check**
According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)
**Note:** The cross-section concerns a CHS section which is not susceptible to Torsional(-Flexural) Buckling.

The member satisfies the stability check.

Student version

# 17.0. PRORAČUN KARAKTERISTIČNIH SPOJEVA

Proračun karakterističnih spojeva metalne krovne konstrukcije – IDEA STATICA 10.0

## *17.1. Spoj donjeg pojasa GN i sajle*

**Project:**
**Project no:**
**Author:**

IDEA StatiCa

### Project data

| | |
|---|---|
| Project name | |
| Project number | |
| Author | |
| Description | |
| Date | 8/15/2019 |
| Design code | EN |

### Material

| | |
|---|---|
| Steel | S 355 |

IDEA StatiCa EDUCATION

# Project item Con N28

## Design

| | |
|---|---|
| Name | Con N28 |
| Description | |
| Analysis | Stress, strain/ loads in equilibrium |

### Beams and columns

| Name | Cross-section | β – Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - Rotation [°] | Offset ex [mm] | Offset ey [mm] | Offset ez [mm] | Forces in |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B14 | 2 - CFRHS200X200X12.5(RHS200x200) | -135.0 | -0.3 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B2 | 1 - RD70(Circle 70) | -135.0 | -19.3 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |

Educational version IDEA StatiCa

### Cross-sections

| Name | Material |
|---|---|
| 2 - CFRHS200X200X12.5(RHS200x200) | S 355 |
| 1 - RD70(Circle 70) | S 355 |

### Bolts

| Name | Bolt assembly | Diameter [mm] | fu [MPa] | Gross area [$mm^2$] |
|---|---|---|---|---|
| M42 10.9 | M42 10.9 | 42 | 1000.0 | 1385 |

### Load effects (forces in equilibrium)

| Name | Member | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GSN2(2) | B14 | -1034.4 | 20.4 | 11.3 | 0.0 | -12.3 | 35.2 |
| | B2 | -223.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

## Check

### Summary

| Name | Value | Status |
|---|---|---|
| Analysis | 100.0% | OK |
| Plates | 0.0 < 5% | OK |
| Bolts | 53.0 < 100% | OK |
| Welds | 98.1 < 100% | OK |
| Buckling | Not calculated | |

### Plates

| Name | Thickness [mm] | Loads | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|
| B14 | 12.5 | GSN2(2) | 355.1 | 0.0 | OK |
| CPL1a | 28.0 | GSN2(2) | 197.6 | 0.0 | OK |
| CPL1b | 28.0 | GSN2(2) | 291.4 | 0.0 | OK |

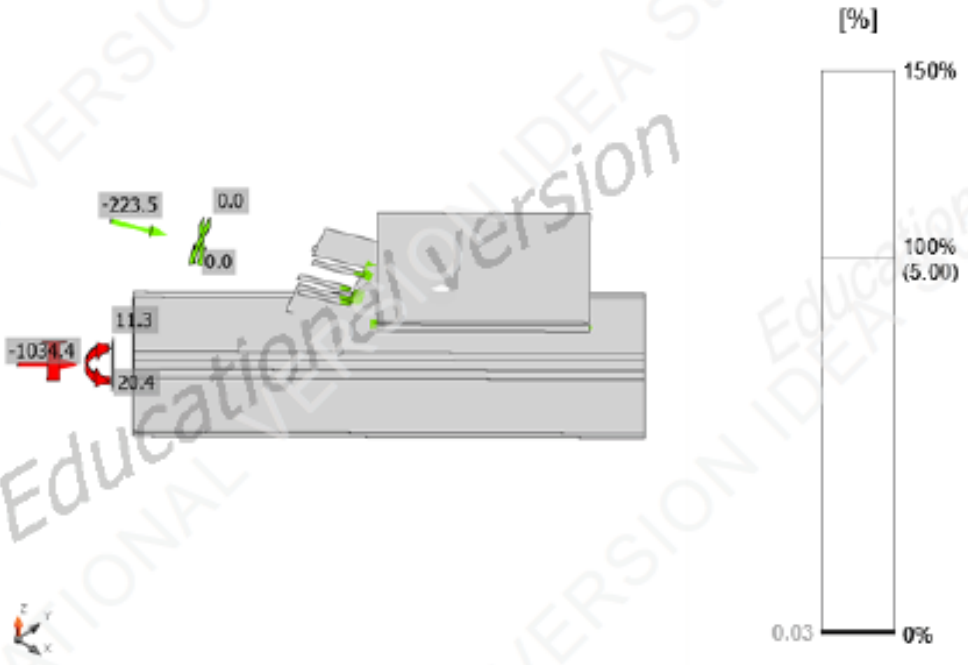
### Design data

| Material | $f_y$ [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| S 355 | 355.0 | 5.0 |

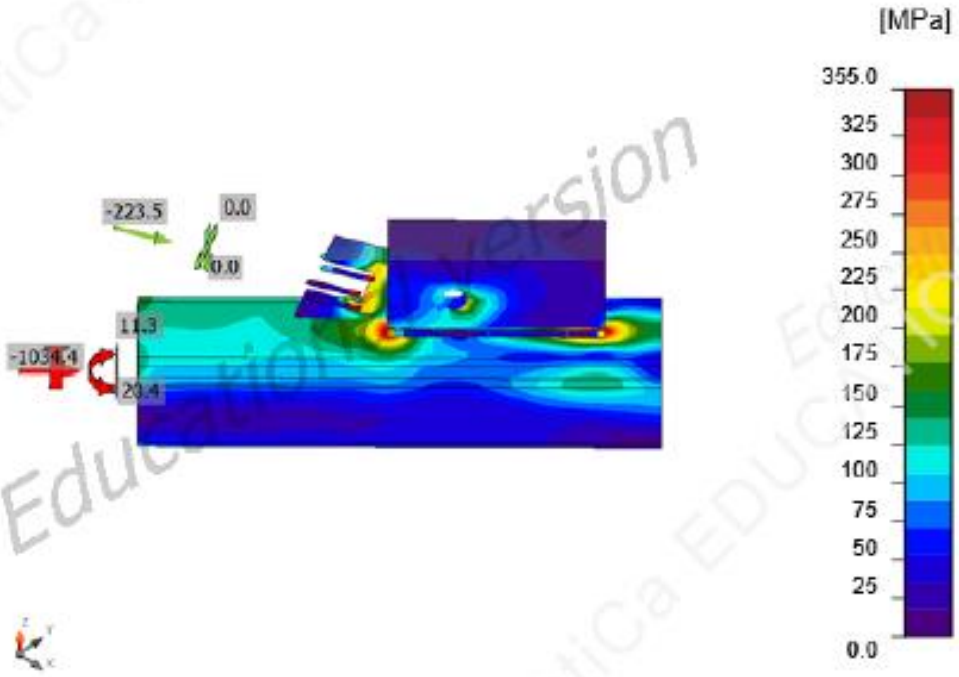
### Symbol explanation

| | |
|---|---|
| $\varepsilon_{Pl}$ | Strain |
| $\sigma_{Ed}$ | Eq. stress |
| $f_y$ | Yield strength |
| $\varepsilon_{lim}$ | Limit of plastic strain |

*Overall check, GSN2(2)*

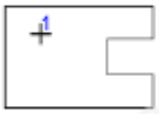



*Strain check, GSN2(2)*




*Equivalent stress, GSN2(2)*

## Bolts

| | Name | Loads | $F_{t,Ed}$ [kN] | V [kN] | $Ut_t$ [%] | $F_{b,Rd}$ [kN] | $Ut_s$ [%] | $Ut_{ts}$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | B1 | GSN2(2) | 25.0 | 227.4 | 3.1 | 1034.9 | 50.7 | 53.0 | OK |

**Design data**

| Name | $F_{t,Rd}$ [kN] | $B_{p,Rd}$ [kN] | $F_{v,Rd}$ [kN] |
|---|---|---|---|
| M42 10.9 - 1 | 806.4 | 1427.6 | 448.0 |

**Symbol explanation**

| | |
|---|---|
| $F_{t,Rd}$ | Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4 |
| $F_{t,Ed}$ | Tension force |
| $B_{p,Rd}$ | Punching shear resistance |
| V | Resultant of shear forces Vy, Vz in bolt |
| $F_{v,Rd}$ | Bolt shear resistance EN_1993-1-8 table 3.4 |
| $F_{b,Rd}$ | Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4 |
| $Ut_t$ | Utilization in tension |
| $Ut_s$ | Utilization in shear |
| $Ut_{ts}$ | Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4 |

### Welds (Plastic redistribution)

| Item | Edge | Throat th. [mm] | Length [mm] | Loads | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{pl}$ [%] | $\sigma_{\perp}$ [MPa] | $\tau_{\parallel}$ [MPa] | $\tau_{\perp}$ [MPa] | Ut [%] | $Ut_c$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B14-w 3 | CPL1a | ◢11.0◣ | 350 | GSN2(2) | 248.1 | 0.0 | 73.0 | 129.8 | 43.3 | 57.0 | 10.9 | OK |
| | | ◢11.0◣ | 350 | GSN2(2) | 247.4 | 0.0 | 15.3 | -135.3 | -45.0 | 56.8 | 15.3 | OK |
| | CPL1b | ◢11.0◣ | 90 | GSN2(2) | 427.1 | 0.2 | -21.4 | 246.2 | -8.0 | 98.1 | 24.5 | OK |
| | | ◢11.0◣ | 90 | GSN2(2) | 427.0 | 0.1 | 16.7 | -246.2 | 9.4 | 98.0 | 23.6 | OK |
| | CPL1b | ◢11.0◣ | 90 | GSN2(2) | 426.9 | 0.0 | -30.2 | 245.8 | -7.1 | 98.0 | 28.7 | OK |
| | | ◢11.0◣ | 90 | GSN2(2) | 415.9 | 0.0 | 43.8 | -238.6 | 8.4 | 95.5 | 30.3 | OK |

**Design data**

| | $\beta_w$ [-] | $\sigma_{w,Rd}$ [MPa] | 0.9 σ [MPa] |
|---|---|---|---|
| S 355 | 0.90 | 435.6 | 352.8 |

**Symbol explanation**

| | |
|---|---|
| $\varepsilon_{pl}$ | Strain |
| $\sigma_{w,Ed}$ | Equivalent stress |
| $\sigma_{w,Rd}$ | Equivalent stress resistance |
| $\sigma_{\perp}$ | Perpendicular stress |
| $\tau_{\parallel}$ | Shear stress parallel to weld axis |
| $\tau_{\perp}$ | Shear stress perpendicular to weld axis |
| 0.9 σ | Perpendicular stress resistance - 0.9*fu/γM2 |
| $\beta_w$ | Corelation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1 |
| Ut | Utilization |
| Utc | Weld capacity utilization |

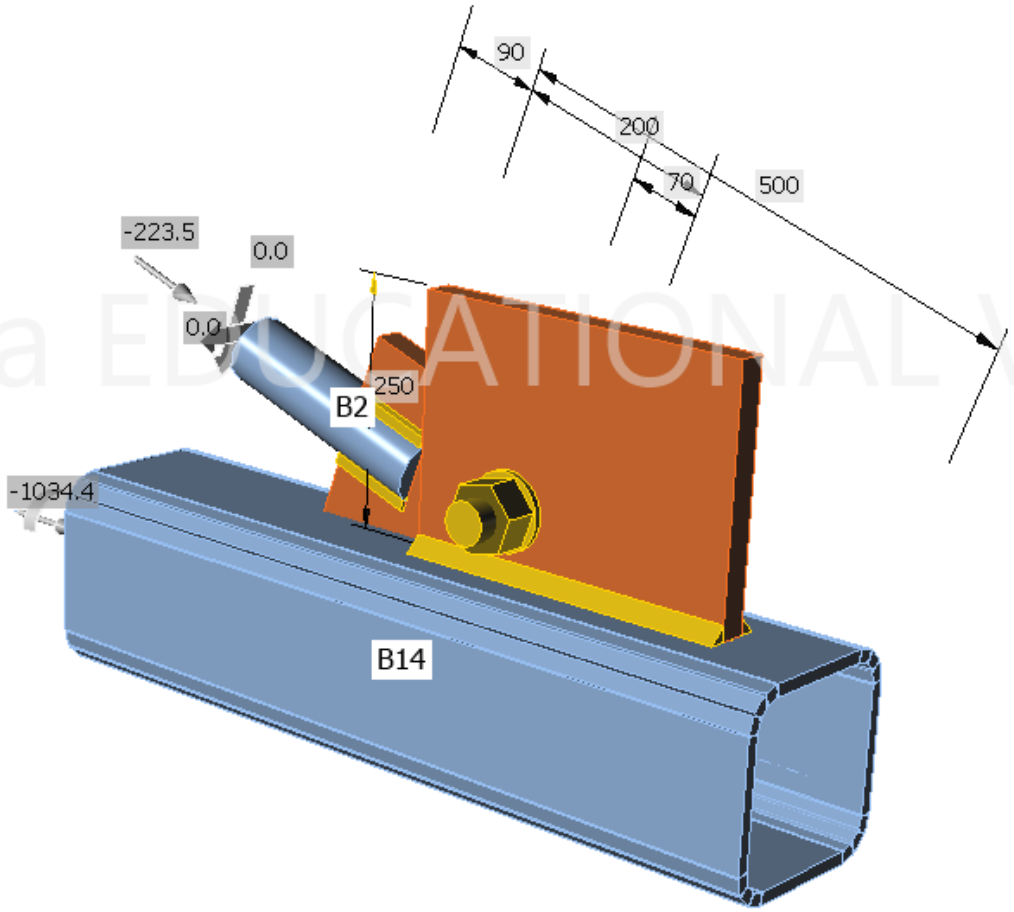
### Buckling

**Buckling analysis was not calculated.**

## Code settings

| Item | Value | Unit | Reference |
|---|---|---|---|
| $\gamma_{M0}$ | 1.00 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M1}$ | 1.00 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M2}$ | 1.25 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M3}$ | 1.25 | - | EN 1993-1-8: 2.2 |
| $\gamma_C$ | 1.50 | - | EN 1992-1-1: 2.4.2.4 |
| $\gamma_{Inst}$ | 1.20 | - | ETAG 001-C: 3.2.1 |
| Joint coefficient βj | 0.67 | - | EN 1993-1-8: 6.2.5 |
| Effective area - influence of mesh size | 0.10 | - | |
| Friction coefficient - concrete | 0.25 | - | EN 1993-1-8 |
| Friction coefficient in slip-resistance | 0.30 | - | EN 1993-1-8 tab 3.7 |
| Limit plastic strain | 0.05 | - | EN 1993-1-5 |
| Weld stress evaluation | Plastic redistribution | | |
| Detailing | No | | |

| Item | Value | Unit | Reference |
|---|---|---|---|
| Distance between bolts [d] | 2.20 | - | EN 1993-1-8: tab 3.3 |
| Distance between bolts and edge [d] | 1.20 | - | EN 1993-1-8: tab 3.3 |
| Concrete breakout resistance | Yes | | ETAG 001-C |
| Use calculated αb in bearing check. | Yes | | EN 1993-1-8: tab 3.4 |
| Cracked concrete | Yes | | |
| Local deformation check | No | | |
| Local deformation limit | 0.03 | - | CIDECT DG 1, 3 - 1.1 |



## 16.2. Spoj donjeg pojasa GN i ispune rešetke

**Project:**
**Project no:**
**Author:**

StatiCa

# Project data

| | |
|---|---|
| Project name | |
| Project number | |
| Author | |
| Description | |
| Date | 8/15/2019 |
| Design code | EN |

# Material

| | |
|---|---|
| Steel | S 355 |

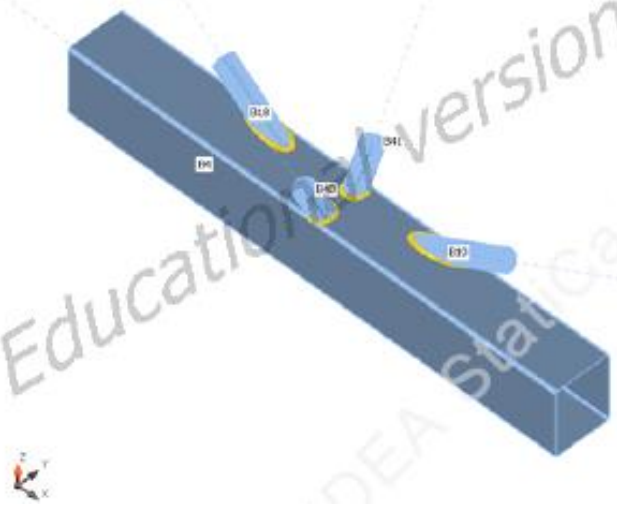
# Project item Con N17

## Design

| | |
|---|---|
| Name | Con N17 |
| Description | |
| Analysis | Stress, strain/ loads in equilibrium |

### Beams and columns

| Name | Cross-section | β – Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - Rotation [°] | Offset ex [mm] | Offset ey [mm] | Offset ez [mm] | Forces in |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B4 | 1 - CFRHS120X100X2.5(RHS120x100) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B18 | 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | 169.2 | -20.5 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B41 | 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | 90.0 | -63.3 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B19 | 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | 10.8 | -20.5 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B40 | 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | -90.0 | -63.5 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |



**Cross-sections**

| Name | Material |
|---|---|
| 1 - CFRHS120X100X2.5(RHS120x100) | S 355 |
| 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | S 355 |

### Load effects (forces in equilibrium)

| Name | Member | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GSN1(1) | B4 | -9.6 | -1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.7 |
| | B4 | 9.6 | -1.0 | 0.0 | 0.0 | -0.6 | -0.7 |
| | B18 | 10.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B41 | -5.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B19 | 10.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B40 | -2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| GSN2(2) | B4 | 59.6 | -0.4 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.3 |
| | B4 | -59.6 | -0.4 | -0.1 | 0.0 | -0.1 | -0.3 |
| | B18 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B41 | -0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B19 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B40 | -0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

## Check

### Summary

| Name | Value | Status |
|---|---|---|
| Analysis | 100.0% | OK |
| Plates | 0.1 < 5% | OK |
| Welds | 73.0 < 100% | OK |
| Buckling | Not calculated | |

### Plates

| Name | Thickness [mm] | Loads | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|
| B4 | 2.5 | GSN1(1) | 355.2 | 0.1 | OK |
| B18 | 3.0 | GSN1(1) | 142.6 | 0.0 | OK |
| B41 | 3.0 | GSN1(1) | 165.3 | 0.0 | OK |
| B19 | 3.0 | GSN1(1) | 141.9 | 0.0 | OK |
| B40 | 3.0 | GSN1(1) | 92.6 | 0.0 | OK |

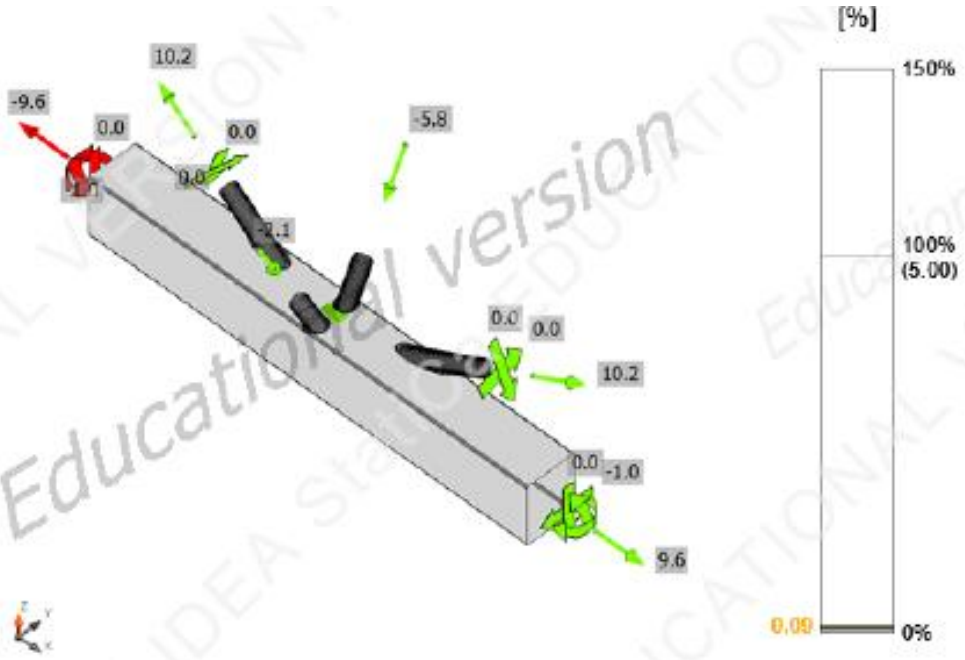
### Design data

| Material | $f_y$ [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| S 355 | 355.0 | 5.0 |

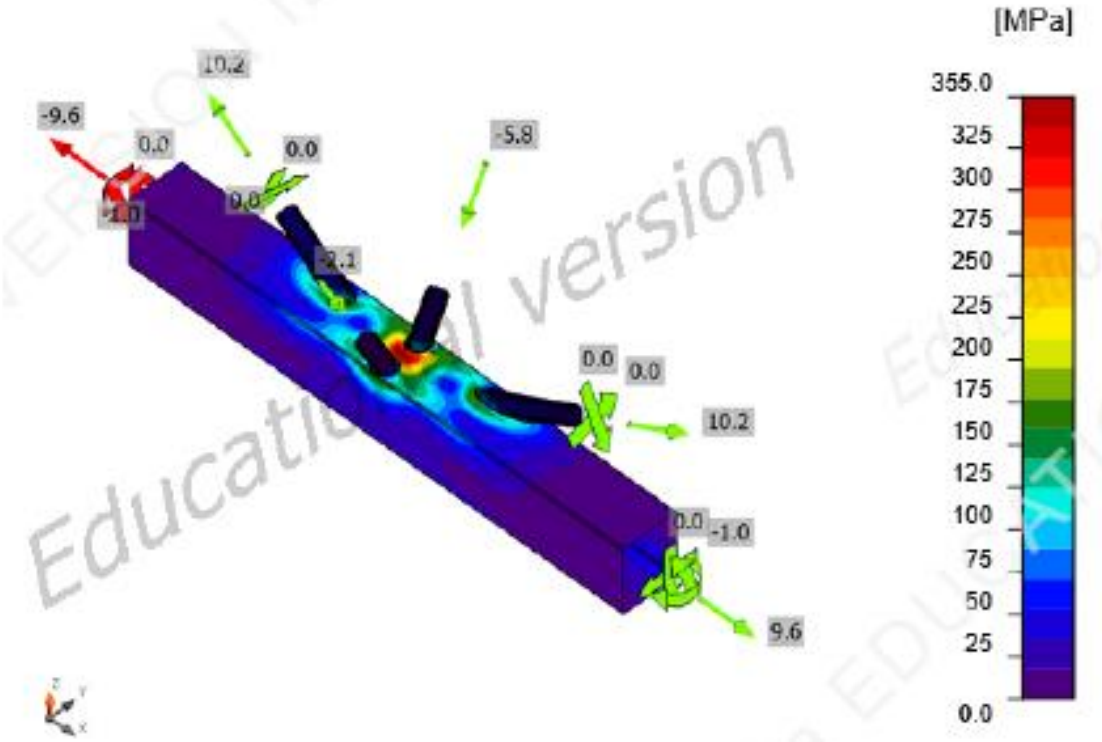
### Symbol explanation

| | |
|---|---|
| $\varepsilon_{Pl}$ | Strain |
| $\sigma_{Ed}$ | Eq. stress |
| $f_y$ | Yield strength |
| $\varepsilon_{lim}$ | Limit of plastic strain |

*Overall check, GSN1(1)*




*Strain check, GSN1(1)*




*Equivalent stress, GSN1(1)*

**Welds (Plastic redistribution)**

| Item | Edge | Throat th. [mm] | Length [mm] | Loads | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{pl}$ [%] | $\sigma_{\perp}$ [MPa] | $\tau_{\parallel}$ [MPa] | $\tau_{\perp}$ [MPa] | Ut [%] | $Ut_c$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ◢2.0◣ | 196 | GSN1(1) | 154.3 | 0.0 | -48.4 | -36.7 | -76.2 | 35.4 | 8.7 | OK |
| B4-w 3 | B18 | ◢2.0◣ | 196 | GSN1(1) | 197.5 | 0.0 | -21.4 | 22.8 | 111.0 | 45.3 | 7.8 | OK |
| | | ◢2.0◣ | 102 | GSN1(1) | 222.0 | 0.0 | -42.7 | -125.3 | 10.7 | 51.0 | 23.5 | OK |
| B4-w 3 | B41 | ◢2.0◣ | 102 | GSN1(1) | 318.1 | 0.0 | 105.7 | 173.2 | -1.9 | 73.0 | 18.9 | OK |
| | | ◢2.0◣ | 196 | GSN1(1) | 162.8 | 0.0 | -41.2 | 34.5 | -84.2 | 37.4 | 8.7 | OK |
| B4-w 3 | B19 | ◢2.0◣ | 196 | GSN1(1) | 208.9 | 0.0 | -19.7 | -25.7 | 117.3 | 48.0 | 7.7 | OK |
| | | ◢2.0◣ | 101 | GSN1(1) | 157.2 | 0.0 | -37.3 | -87.5 | 10.9 | 36.1 | 15.2 | OK |
| B4-w 3 | B40 | ◢2.0◣ | 101 | GSN1(1) | 185.8 | 0.0 | 48.5 | 103.2 | -8.7 | 42.7 | 12.9 | OK |

**Design data**

| | $\beta_w$ [-] | $\sigma_{w,Rd}$ [MPa] | 0.9 $\sigma$ [MPa] |
|---|---|---|---|
| S 355 | 0.90 | 435.6 | 352.8 |

**Symbol explanation**

| | |
|---|---|
| $\varepsilon_{Pl}$ | Strain |
| $\sigma_{w,Ed}$ | Equivalent stress |
| $\sigma_{w,Rd}$ | Equivalent stress resistance |
| $\sigma_{\perp}$ | Perpendicular stress |
| $\tau_{\parallel}$ | Shear stress parallel to weld axis |
| $\tau_{\perp}$ | Shear stress perpendicular to weld axis |
| 0.9 σ | Perpendicular stress resistance - 0.9*fu/γM2 |
| $\beta_w$ | Corelation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1 |
| Ut | Utilization |
| Utc | Weld capacity utilization |

### Buckling

**Buckling analysis was not calculated.**

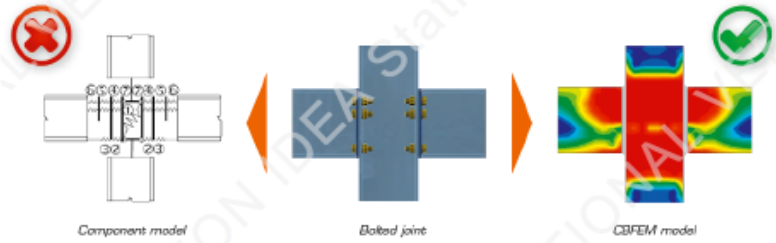
## Code settings

| Item | Value | Unit | Reference |
|---|---|---|---|
| $\gamma_{M0}$ | 1.00 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M1}$ | 1.00 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M2}$ | 1.25 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M3}$ | 1.25 | - | EN 1993-1-8: 2.2 |
| $\gamma_C$ | 1.50 | - | EN 1992-1-1: 2.4.2.4 |
| $\gamma_{Inst}$ | 1.20 | - | ETAG 001-C: 3.2.1 |
| Joint coefficient βj | 0.67 | - | EN 1993-1-8: 6.2.5 |
| Effective area - influence of mesh size | 0.10 | - | |
| Friction coefficient - concrete | 0.25 | - | EN 1993-1-8 |
| Friction coefficient in slip-resistance | 0.30 | - | EN 1993-1-8 tab 3.7 |
| Limit plastic strain | 0.05 | - | EN 1993-1-5 |
| Weld stress evaluation | Plastic redistribution | | |
| Detailing | No | | |
| Distance between bolts [d] | 2.20 | - | EN 1993-1-8: tab 3.3 |
| Distance between bolts and edge [d] | 1.20 | - | EN 1993-1-8: tab 3.3 |
| Concrete breakout resistance | Yes | | ETAG 001-C |
| Use calculated αb in bearing check. | Yes | | EN 1993-1-8: tab 3.4 |
| Cracked concrete | Yes | | |
| Local deformation check | No | | |
| Local deformation limit | 0.03 | - | CIDECT DG 1, 3 - 1.1 |

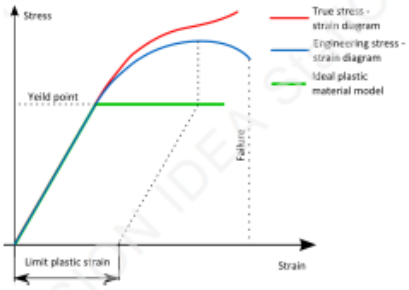
## Theoretical Background

### CBFEM versus Component method

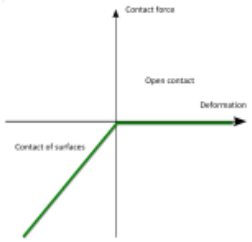
The weak point of standard Component method is in analyzing of internal forces and stress in a joint. CBFEM replaces specific analysis of internal forces in joint with general FEA.




Check methods of specific components like bolts or welds are done according to standard Component method (Eurocode).
For the fasteners – bolts and welds – special FEM components had to be developed to model the welds and bolts behaviour in joint. All parts of 1D members and all additional plates are modelled as plate/walls. These elements are made of steel (metal in general) and the behaviour of this material is significantly nonlinear.
The real stress-strain diagram of steel is replaced by the ideal plastic material for design purposes in building practice. The advantage of ideal plastic material is, that only yield strength and modulus of elasticity must be known to describe the material curve. The granted ductility of construction steel is 15 %. The real usable value of limit plastic strain is 5% for ordinary design (1993-1-5 appendix C paragraph C.8 note 1).
The stress in steel cannot exceed the yield strength when using the ideal elastic-plastic stress-strain diagram.




*Real tension curve and the ideal elastic-plastic diagram of material*

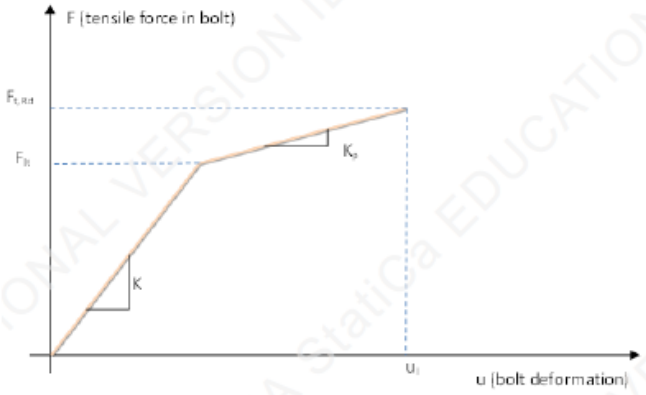


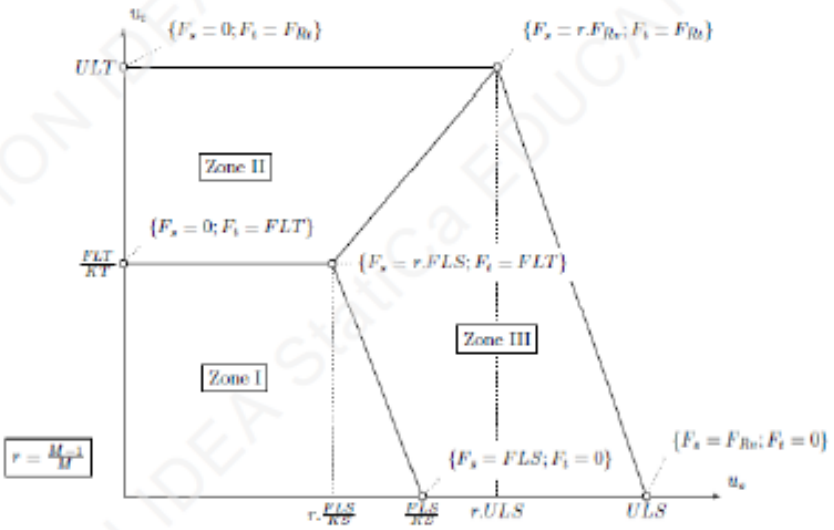

*Stress-strain diagram of contact between the concrete block and the base plate*

Welds are modelled using a special elastoplastic element, which is added to the interpolation links between the plates. The element respects the weld throat thickness, position and orientation. The plasticity state is controlled by stresses in the weld throat section. The plastic redistribution of stress in welds allows for stress peaks to be redistributed along the longer part of the weld.

Bolted connection consists of two or more clasped plates and one or more bolts. Plates are placed loosely on each other.
A contact element is inserted between plates in the analysis model, which acts only in compression. No forces are carried in tension.

Shear force is taken by bearing. Special model for its transferring in the force direction only is implemented. IDEA StatiCa Connection can check bolts for interaction of shear and tension. The bolt behavior is implemented according to the following picture.



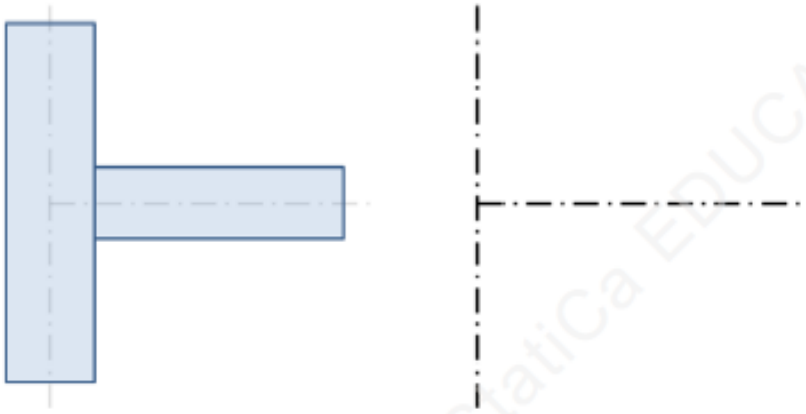



*Bolt – interaction of shear and tension*

The concrete block in CBFEM is modelled using Winkler-Pasternak subsoil model. The stiffness of subsoil is determined using modulus of elasticity of concrete and effective height of subsoil. The concrete block is not designed by CBFEM method.

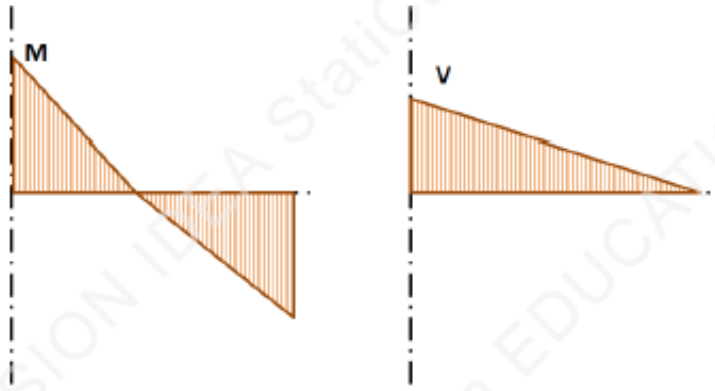
## Loads

End forces of member of the frame analysis model are transferred to the ends of member segments. Eccentricities of members caused by the joint design are respected during load transfer.
The analysis model created by CBFEM method corresponds to the real joint very precisely, whereas the analysis of internal forces is performed on very idealised 3D FEM 1D model, where individual beams are modelled using centrelines and the joints are modelled using immaterial nodes.



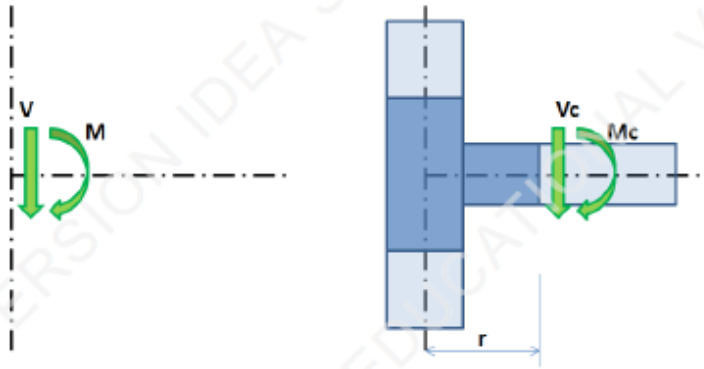
*Joint of a vertical column and a horizontal beam*

Internal forces are analysed using 1D members in 3D model. There is an example of courses of internal forces in the following picture.




*Internal forces in horizontal beam. M and V are the end forces at joint.*

The effects caused by member on the joint are important to design the joint (connection). The effects are illustrated in the following picture.




*Effects of the member on the joint. CBFEM model is drawn in dark blue color.*

Moment $M$ and shear force $V$ act in a theoretical joint. The point of theoretical joint does not exist in CBFEM model, thus the load cannot be applied here. The model must be loaded by actions $M$ and $V$, which have to be transferred to the end of segment in the distance $r$.
$M_c = M - V \cdot r$
$V_c = V$
In CBFEM model, the end section of segment is loaded by moment $M_c$ and force $V_c$.

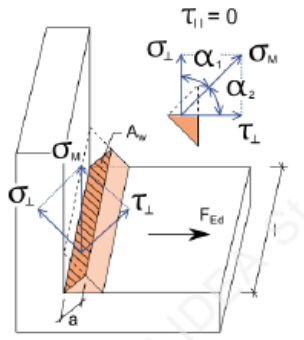
## Welds

### Design resistance

The stress in the throat section of fillet weld is determined according to EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3:
$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_\perp^2 + 3 (\tau_\perp^2 + \tau_{||}^2)]^{0.5}$
$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$
$0.9 \cdot \sigma_{w,Rd} = f_u / \gamma_{M2}$

### Weld utilisation

$U_t = \min (\sigma_{w,Ed}/\sigma_{w,Rd}; \sigma_\perp/0.9 \cdot \sigma_{w,Rd})$
$\beta_w$ – correlation factor – Tab. 4.1



## Bolts

Design tension resistance of bolt: $F_{t,Rd} = 0.9\ f_{ub}\ A_s / \gamma_{M2}$.
Design shear resistance at punching of bolt head or nut EN 1993-1-8: $B_{p,Rd} = 0.6\ \pi\ d_m\ t_p\ f_u / \gamma_{M2}$.
Design shear resistance per one shear plane: $F_{v,Rd} = \alpha_v\ f_{ub}\ A / \gamma_{M2}$.
Design bearing resistance of plate EN 1993-1-8: $F_{b,Rd} = k_1\ a_b\ f_u\ d\ t / \gamma_{M2}$.
Utilisation in tension [%]: $Utt = F_{t,Ed} / \min (F_{t,Rd}, B_{p,Rd})$.
Utilisation in shear [%]: $Uts = V / \min (F_{v,Rd}, F_{b,Rd})$.
Interaction of shear and tension [%]: $Utts = (V / F_{v,Rd}) + (F_{t,Ed} / 1.4\ F_{t,Rd})$.
where

- A – gross cross-section of the bolt or tensile stress area of the bolt if threads are intercepted by shear area,
- $A_s$ – tensile stress area of the bolt,
- $f_{ub}$ – ultimate tensile strength,
- $d_m$ – bolt head diameter,
- d – bolt diameter,
- $t_p$ – plate thickness under the bolt head/nut,
- $f_u$ – ultimate steel strength,
- $\alpha_v = 0.6$ for classes (4.6, 5.6, 8.8)
  $\alpha_v = 0.5$ for classes (4.8, 5.8, 6.8, 10.9),
- $k_1 \leq 2.5$ – factor from Table 3.4,
- $a_b \leq 1.0$ – factor from Table 3.4,
- $F_{t,Ed}$ – design tensile force in bolt,
- V – resultant of shear forces in bolt.

## Preloaded bolts

The design slip resistance of a preloaded class 8.8 or 10.9 bolt is subjected to an applied tensile force, $F_{t,Ed}$.
Preloading force to be used EN 1993-1-8 – 3.9 (3.7)
$F_{p,C} = 0.7\ f_{ub}\ As$
Design slip resistance per bolt EN 1993-1-8 3.9 – (3.8)
$F_{s,Rd} = k_s\ n\ \mu\ (F_{p,C} - 0.8\ F_{t,Ed}) / \gamma_{M3}$
Utilisation in shear [%]:
$U_{ts} = V / F_{s,Rd}$ where

- $A_s$ – tensile stress area of the bolt,
- $f_{ub}$ – ultimate tensile strength,
- $k_s$ – coefficient given in Table 3.6; $k_s = 1$,
- $\mu$ – slip factor obtained,
- n – number of the friction surfaces. Check is calculated for each friction surface separately,
- $\gamma_{M3}$ – safety factor,
- V – shear force,

## Anchors

Concrete cone failure resistance of anchor or group of anchors ETAG-001 Annex C – 5.2.2.4:
$N_{Rkc} = N^0_{Rkc} A_{cN} / A^0_{cN} \Psi_{sN} \Psi_{reN}$.
Initial value of characteristic resistance:
$N^0_{Rkc} = 7.2 f_{ck}^{0.5} h_{ef}^{1.5}$.
where

- $A^0_{cN}$ – area of concrete cone of an individual anchor; circle of diameter 1.5 * $h_{ef}$,
- $h_{ef}$ – length of anchor in concrete,
- $f_{ck}$ – characteristic concrete compressive strength,
- $A_{cN}$ – actual area of concrete cone of the anchorage at the concrete surface respecting influence of edges and adjoining anchors,
- $\Psi_{sN} = 1$,
- $\Psi_{reN} = 1$.

Anchors shear resistance in case of transfer of shear forces. Friction is not taken into account. Valid in case, that the anchor failure precedes the concrete failure ETAG-001 5.2.3.2:
$V_{Rks} = 0.5 f_y A_s$.

Concrete pry-out failure ETAG-001 5.2.3.3:
$V_{Rkcp} / \gamma_{Mc} \leq V$,
$V_{Rkcp} = k * N_{Rkc}$,
where

- V – shear force,
- k = 1 for $h_{ef} < 60$
  k = 2 for $h_{ef} \geq 60$.

Concrete edge failure ETAG-001 5.2.3.4:
$V_{Rkc} / \gamma_{Mc} \leq V$,
$V_{Rkc} = V^0_{Rkc} A_{cV} / A^0_{cV} \Psi_{sV} \Psi_{reV}$,
$V^0_{Rkc} = 1.7 d^{\alpha} l_f^{\beta} f_{ck}^{0.5} c_1^{1.5}$,
$\alpha = 0.1 (l_f / c_1)^{0.5}$,
$\beta = 0.1 (d / c_1)^{0.2}$,
where

- $l_f = h_{ef}$,
- $c_1$ – edge distance,
- d – anchor diameter,
- $\Psi_{sV} = 1$,
- $\Psi_{reV} = 1$,
- $A^0_{cV}$ – area of concrete cone of an individual anchor at the lateral concrete surface not affected by edges ($4.5 c_1^2$),
- $A_{cV}$ – actual area of concrete cone of anchorage at the lateral concrete surface.

## Concrete block

Concrete resistance at concentrated compression:
$F_{Jd} = \beta_j k_j f_{ck} / \gamma_C$.
Average stress under the base plate:
$\sigma = N / A_{eff}$.

Utilisation in compression [%]:
$U_t = \sigma / F_{Jd}$,
where

- $f_{ck}$ – characteristic compressive concrete strength,
- $\beta_j = 0.67$ – foundation joint material coefficient,
- $k_j$ – concentration factor,
- $\gamma_C$ – safety factor,
- $A_{eff}$ – effective area, on which the column force N is distributed.

## 17.3. Spoj gornjeg pojasa GN i ispune

**Project:**
**Project no:**
**Author:**

IDEA StatiCa

# Project data

| | |
|---|---|
| Project name | |
| Project number | |
| Author | |
| Description | |
| Date | 8/15/2019 |
| Design code | EN |

# Material

| | |
|---|---|
| Steel | S 355 |

# Project item Con N65

## Design

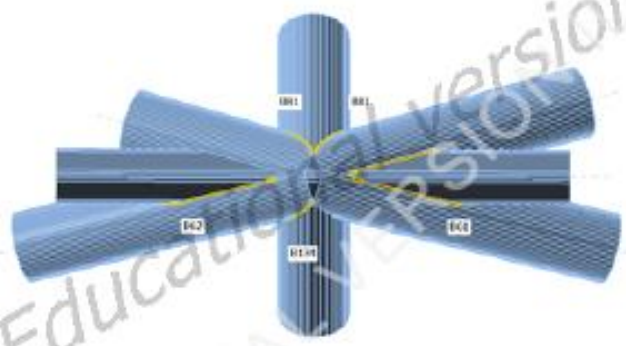
| | |
|---|---|
| Name | Con N65 |
| Description | |
| Analysis | Stress, strain/ loads in equilibrium |

### Beams and columns

| Name | Cross-section | β – Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - Rotation [°] | Offset ex [mm] | Offset ey [mm] | Offset ez [mm] | Forces in |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B44 | 1 - CFRHS200X200X12.5(RHS200x200) | -135.0 | -0.3 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B110 | 2 - Massive O Hollow(CHS336.6,4.5) | 66.7 | 0.3 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B81 | 2 - Massive O Hollow(CHS336.6,4.5) | 135.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B109 | 2 - Massive O Hollow(CHS336.6,4.5) | -156.6 | -0.3 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B61 | 2 - Massive O Hollow(CHS336.6,4.5) | 45.0 | 19.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B134 | 2 - Massive O Hollow(CHS336.6,4.5) | 0.0 | 90.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B62 | 2 - Massive O Hollow(CHS336.6,4.5) | -135.0 | 19.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |

### Cross-sections

| Name | Material |
|---|---|
| 1 - CFRHS200X200X12.5(RHS200x200) | S 355 |
| 2 - Massive O Hollow(CHS336.6,4.5) | S 355 |



### Load effects (forces in equilibrium)

| Name | Member | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GSN2(2) | B44 | -1037.5 | 4.1 | 4.3 | 0.0 | -0.3 | -6.8 |
| | B110 | 108.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B81 | -40.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B109 | 118.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B61 | 93.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B134 | -0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B62 | -94.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B44 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

## Check

### Summary

| Name | Value | Status |
|---|---|---|
| Analysis | 100.0% | OK |
| Plates | 0.3 < 5% | OK |
| Welds | 98.6 < 100% | OK |
| Buckling | Not calculated | |

### Plates

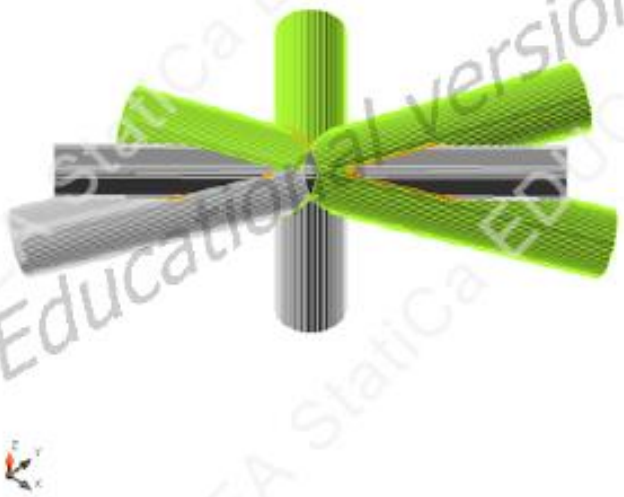
| Name | Thickness [mm] | Loads | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|
| B44 | 12.5 | GSN2(2) | 299.6 | 0.0 | OK |
| B110 | 4.5 | GSN2(2) | 355.2 | 0.1 | OK |
| B81 | 4.5 | GSN2(2) | 355.2 | 0.1 | OK |
| B109 | 4.5 | GSN2(2) | 355.7 | 0.3 | OK |
| B61 | 4.5 | GSN2(2) | 355.2 | 0.1 | OK |
| B134 | 4.5 | GSN2(2) | 271.4 | 0.0 | OK |
| B62 | 4.5 | GSN2(2) | 230.1 | 0.0 | OK |

**Design data**

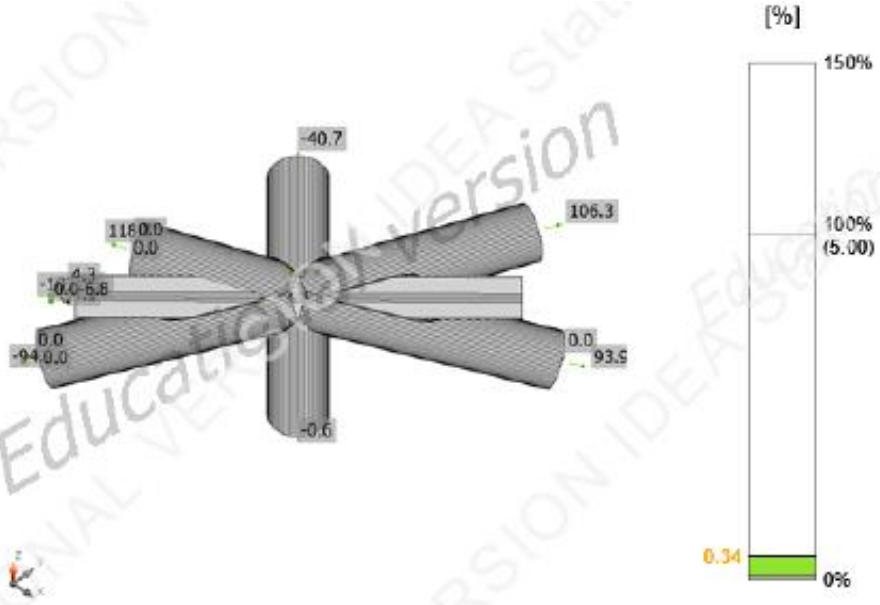
| Material | $f_y$ [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| S 355 | 355.0 | 5.0 |

**Symbol explanation**

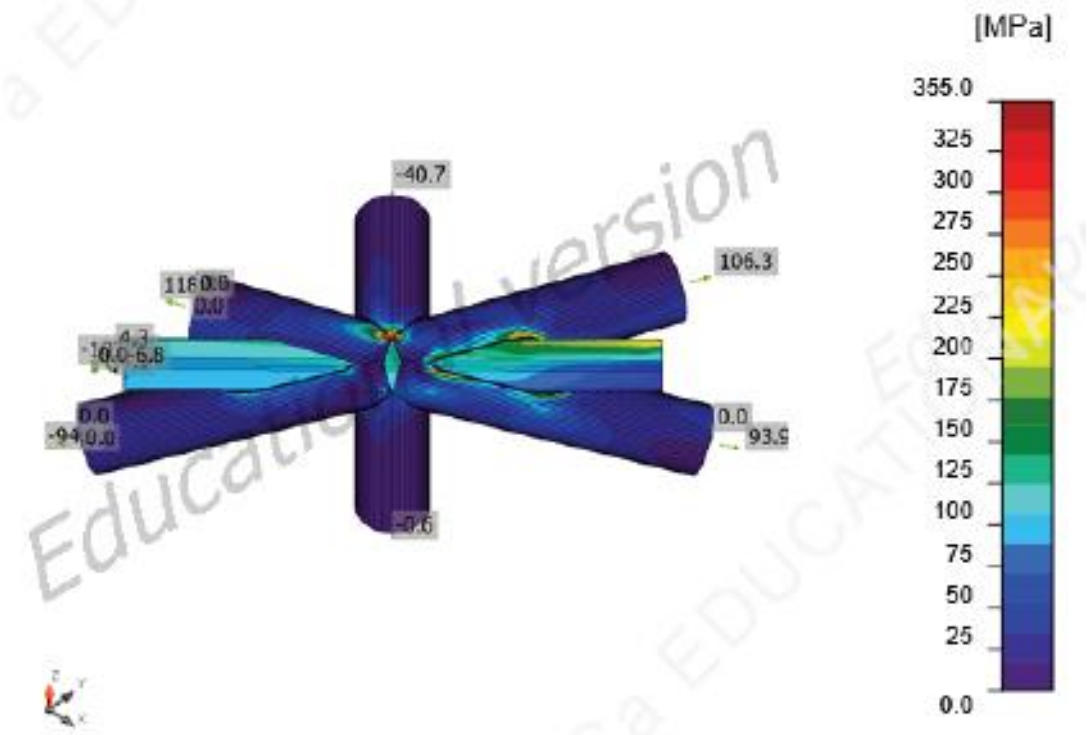
| | |
|---|---|
| $\varepsilon_{Pl}$ | Strain |
| $\sigma_{Ed}$ | Eq. stress |
| $f_y$ | Yield strength |
| $\varepsilon_{lim}$ | Limit of plastic strain |



*Overall check, GSN2(2)*




*Strain check, GSN2(2)*




*Equivalent stress, GSN2(2)*

**Welds (Plastic redistribution)**

| Item | Edge | Throat th. [mm] | Length [mm] | Loads | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | $\sigma_{\perp}$ [MPa] | $\tau_{\parallel}$ [MPa] | $\tau_{\perp}$ [MPa] | Ut [%] | $Ut_c$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B44-w 2 | B62-arc 10 | ◢4.0◣ | 379 | GSN2(2) | 67.1 | 0.0 | 9.5 | 38.2 | 3.2 | 15.4 | 5.8 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 379 | GSN2(2) | 43.7 | 0.0 | 4.0 | -23.6 | -8.7 | 10.0 | 3.0 | OK |
| B44-w 4 | B134-arc 2 | ◢4.0◣ | 63 | GSN2(2) | 54.0 | 0.0 | 30.5 | -21.7 | 13.9 | 12.4 | 7.8 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 63 | GSN2(2) | 60.0 | 0.0 | -19.8 | 0.4 | 32.7 | 13.8 | 10.9 | OK |
| B44-w 2 | B134-arc 15 | ◢4.0◣ | 63 | GSN2(2) | 42.9 | 0.0 | 21.6 | 15.2 | 15.1 | 9.9 | 5.7 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 63 | GSN2(2) | 43.5 | 0.0 | -14.9 | -1.8 | 23.6 | 10.0 | 7.9 | OK |
| B44-w 2 | B134-arc 34 | ◢4.0◣ | 62 | GSN2(2) | 43.2 | 0.0 | -23.3 | 11.1 | 17.8 | 9.9 | 6.6 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 62 | GSN2(2) | 36.6 | 0.0 | 21.2 | 3.0 | -17.0 | 8.4 | 7.3 | OK |
| B44-w 4 | B134-arc 47 | ◢4.0◣ | 62 | GSN2(2) | 47.2 | 0.0 | -28.6 | -7.8 | 20.2 | 10.8 | 7.0 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 62 | GSN2(2) | 49.8 | 0.0 | 18.3 | 1.9 | -26.7 | 11.4 | 9.5 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 984 | GSN2(2) | 260.0 | 0.0 | -13.1 | 145.9 | 34.2 | 59.7 | 5.9 | OK |
| B44-arc 8 | B62 | ◢4.0◣ | 984 | GSN2(2) | 420.2 | 0.0 | -15.5 | -229.6 | -78.0 | 96.5 | 6.1 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 714 | GSN2(2) | 149.2 | 0.0 | -16.1 | -30.9 | 79.9 | 34.3 | 6.6 | OK |
| B134-arc 55 | B62 | ◢4.0◣ | 714 | GSN2(2) | 267.6 | 0.0 | 214.2 | 79.8 | -47.1 | 61.4 | 4.9 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 500 | GSN2(2) | 134.7 | 0.0 | 61.4 | -69.3 | 0.5 | 30.9 | 8.2 | OK |
| B44-arc 11 | B134 | ◢4.0◣ | 500 | GSN2(2) | 186.1 | 0.0 | -100.8 | -54.9 | 71.7 | 42.7 | 6.1 | OK |
| | | ◢5.5◣ | 1401 | GSN2(2) | 137.9 | 0.0 | -9.7 | 49.5 | -62.1 | 31.7 | 7.2 | OK |
| B44-arc 6 | B61 | ◢5.5◣ | 1401 | GSN2(2) | 426.9 | 0.1 | -28.5 | 151.8 | -193.5 | 98.0 | 7.8 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 751 | GSN2(2) | 184.3 | 0.0 | -52.4 | -86.0 | -55.0 | 42.3 | 10.5 | OK |
| B44-arc 9 | B81 | ◢4.0◣ | 751 | GSN2(2) | 201.7 | 0.0 | 65.0 | -92.2 | -60.5 | 46.3 | 9.4 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 1235 | GSN2(2) | 427.1 | 0.2 | -166.9 | 225.2 | 28.6 | 98.1 | 8.5 | OK |
| B44-arc 5 | B110 | ◢4.0◣ | 1235 | GSN2(2) | 429.5 | 1.5 | -30.5 | 200.1 | -145.3 | 98.6 | 12.0 | OK |
| B81-arc 18 | B110 | ◢4.5 | 730 | GSN2(2) | 261.6 | 0.0 | 252.9 | 36.5 | -12.5 | 71.7 | 11.0 | OK |
| B81-arc 50 | B109 | ◢4.5 | 729 | GSN2(2) | 359.3 | 0.1 | 344.2 | 55.0 | -22.4 | 97.6 | 16.4 | OK |

**Design data**

| | $\beta_w$ [-] | $\sigma_{w,Rd}$ [MPa] | 0.9 σ [MPa] |
|---|---|---|---|
| S 355 | 0.90 | 435.6 | 352.8 |

**Symbol explanation**

| | |
|---|---|
| $\varepsilon_{Pl}$ | Strain |
| $\sigma_{w,Ed}$ | Equivalent stress |
| $\sigma_{w,Rd}$ | Equivalent stress resistance |
| $\sigma_{\perp}$ | Perpendicular stress |
| $\tau_{\parallel}$ | Shear stress parallel to weld axis |
| $\tau_{\perp}$ | Shear stress perpendicular to weld axis |
| 0.9 σ | Perpendicular stress resistance - 0.9*fu/γM2 |
| $\beta_w$ | Corelation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1 |
| Ut | Utilization |
| Utc | Weld capacity utilization |

### Buckling

**Buckling analysis was not calculated.**

## Code settings

| Item | Value | Unit | Reference |
|---|---|---|---|
| $\gamma_{M0}$ | 1.00 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M1}$ | 1.00 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M2}$ | 1.25 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M3}$ | 1.25 | - | EN 1993-1-8: 2.2 |
| $\gamma_{C}$ | 1.50 | - | EN 1992-1-1: 2.4.2.4 |
| $\gamma_{Inst}$ | 1.20 | - | ETAG 001-C: 3.2.1 |
| Joint coefficient βj | 0.67 | - | EN 1993-1-8: 6.2.5 |
| Effective area - influence of mesh size | 0.10 | - | |
| Friction coefficient - concrete | 0.25 | - | EN 1993-1-8 |
| Friction coefficient in slip-resistance | 0.30 | - | EN 1993-1-8 tab 3.7 |
| Limit plastic strain | 0.05 | - | EN 1993-1-5 |
| Weld stress evaluation | Plastic redistribution | | |
| Detailing | No | | |
| Distance between bolts [d] | 2.20 | - | EN 1993-1-8: tab 3.3 |
| Distance between bolts and edge [d] | 1.20 | - | EN 1993-1-8: tab 3.3 |
| Concrete breakout resistance | Yes | | ETAG 001-C |
| Use calculated αb in bearing check. | Yes | | EN 1993-1-8: tab 3.4 |
| Cracked concrete | Yes | | |
| Local deformation check | No | | |
| Local deformation limit | 0.03 | - | CIDECT DG 1, 3 - 1.1 |

## 17.4. Spoj gornjeg pojasa SK i ispune

### Project data

| | |
|---|---|
| Project name | |
| Project number | |
| Author | |
| Description | |
| Date | 8/15/2019 |
| Design code | EN |

### Material

| | |
|---|---|
| Steel | S 355 |

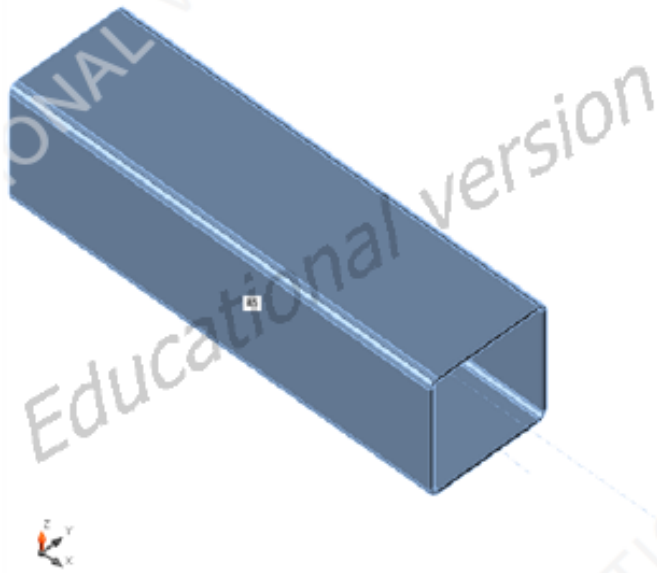
### Project item Con N5

#### Design

| | |
|---|---|
| Name | Con N5 |
| Description | |
| Analysis | Stress, strain/ loads in equilibrium |

**Beams and columns**

| Name | Cross-section | β – Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - Rotation [°] | Offset ex [mm] | Offset ey [mm] | Offset ez [mm] | Forces in |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B5 | 1 - CFRHS140X140X5(RHS140x140) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B23 | 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | 10.8 | 20.7 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |



Educational version

### Cross-sections

| Name | Material |
|---|---|
| 1 - CFRHS140X140X5(RHS140x140) | S 355 |
| 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | S 355 |

### Load effects (forces in equilibrium)

| Name | Member | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GSN1(1) | B5 | -339.7 | -0.5 | -10.1 | 0.0 | 11.9 | -0.3 |
| | B23 | -6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| GSN2(2) | B5 | -353.5 | -0.4 | -2.0 | 0.0 | 2.9 | -0.3 |
| | B23 | -15.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

## Check

### Summary

| Name | Value | Status |
|---|---|---|
| Analysis | 100.0% | OK |
| Plates | 0.0 < 5% | OK |
| Welds | 86.1 < 100% | OK |
| Buckling | Not calculated | |

### Plates

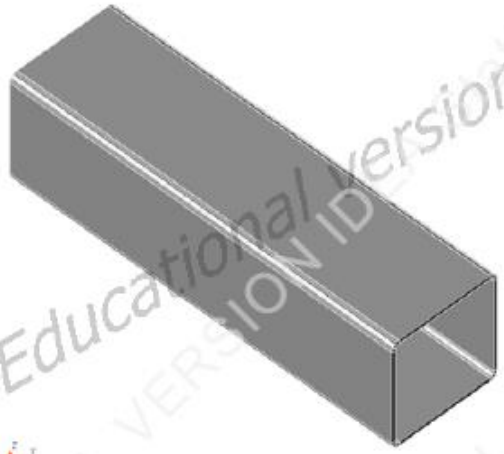
| Name | Thickness [mm] | Loads | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|
| B5 | 5.0 | GSN2(2) | 125.1 | 0.0 | OK |
| B23 | 3.0 | GSN2(2) | 104.1 | 0.0 | OK |

### Design data

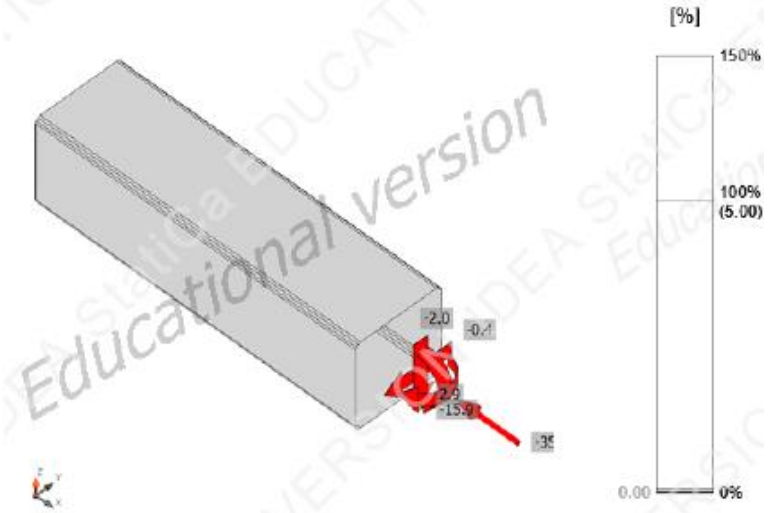
| Material | $f_y$ [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| S 355 | 355.0 | 5.0 |

### Symbol explanation

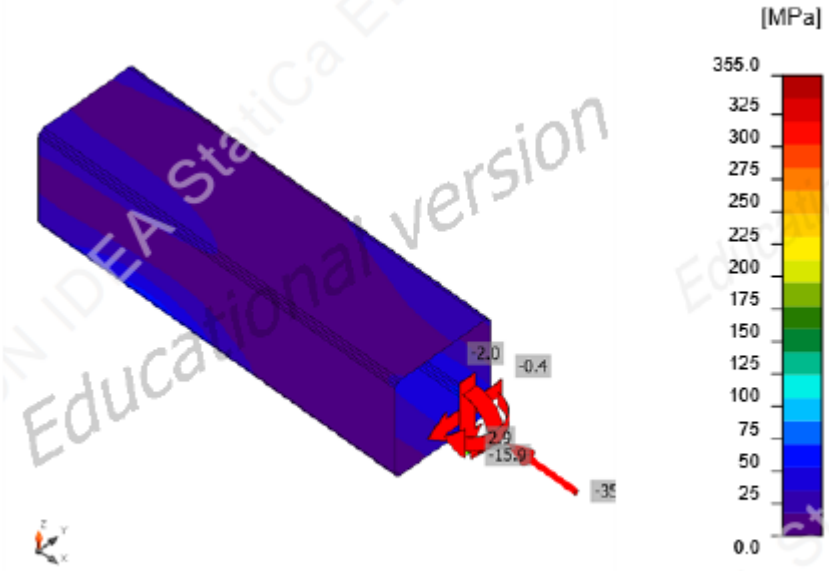
| | |
|---|---|
| $\varepsilon_{Pl}$ | Strain |
| $\sigma_{Ed}$ | Eq. stress |
| $f_y$ | Yield strength |
| $\varepsilon_{lim}$ | Limit of plastic strain |



*Overall check, GSN2(2)*




*Strain check, GSN2(2)*




*Equivalent stress, GSN2(2)*

### Welds (Plastic redistribution)

| Item | Edge | Throat th. [mm] | Length [mm] | Loads | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | $\sigma_{\perp}$ [MPa] | $\tau_{\parallel}$ [MPa] | $\tau_{\perp}$ [MPa] | Ut [%] | $Ut_c$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B5-w 1 | B23 | ◢2.0 | 195 | GSN2(2) | 375.0 | 0.0 | -137.6 | -130.6 | 153.3 | 86.1 | 14.7 | OK |

### Design data

| | $\beta_w$ [-] | $\sigma_{w,Rd}$ [MPa] | 0.9 σ [MPa] |
|---|---|---|---|
| S 355 | 0.90 | 435.6 | 352.8 |

### Symbol explanation

| | |
|---|---|
| $\varepsilon_{Pl}$ | Strain |
| $\sigma_{w,Ed}$ | Equivalent stress |
| $\sigma_{w,Rd}$ | Equivalent stress resistance |
| $\sigma_{\perp}$ | Perpendicular stress |
| $\tau_{\parallel}$ | Shear stress parallel to weld axis |
| $\tau_{\perp}$ | Shear stress perpendicular to weld axis |
| 0.9 σ | Perpendicular stress resistance - 0.9*fu/γM2 |
| $\beta_w$ | Corelation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1 |
| Ut | Utilization |
| Utc | Weld capacity utilization |

### Buckling

**Buckling analysis was not calculated.**

## Code settings

| Item | Value | Unit | Reference |
|---|---|---|---|
| $\gamma_{M0}$ | 1.00 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M1}$ | 1.00 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M2}$ | 1.25 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M3}$ | 1.25 | - | EN 1993-1-8: 2.2 |
| $\gamma_C$ | 1.50 | - | EN 1992-1-1: 2.4.2.4 |
| $\gamma_{Inst}$ | 1.20 | - | ETAG 001-C: 3.2.1 |
| Joint coefficient βj | 0.67 | - | EN 1993-1-8: 6.2.5 |
| Effective area - influence of mesh size | 0.10 | - | |
| Friction coefficient - concrete | 0.25 | - | EN 1993-1-8 |
| Friction coefficient in slip-resistance | 0.30 | - | EN 1993-1-8 tab 3.7 |
| Limit plastic strain | 0.05 | - | EN 1993-1-5 |
| Weld stress evaluation | Plastic redistribution | | |
| Detailing | No | | |
| Distance between bolts [d] | 2.20 | - | EN 1993-1-8: tab 3.3 |
| Distance between bolts and edge [d] | 1.20 | - | EN 1993-1-8: tab 3.3 |
| Concrete breakout resistance | Yes | | ETAG 001-C |
| Use calculated αb in bearing check. | Yes | | EN 1993-1-8: tab 3.4 |
| Cracked concrete | Yes | | |
| Local deformation check | No | | |
| Local deformation limit | 0.03 | - | CIDECT DG 1, 3 - 1.1 |

## Project data

| | |
|---|---|
| Project name | |
| Project number | |
| Author | |
| Description | |
| Date | 8/15/2019 |
| Design code | EN |

## Material

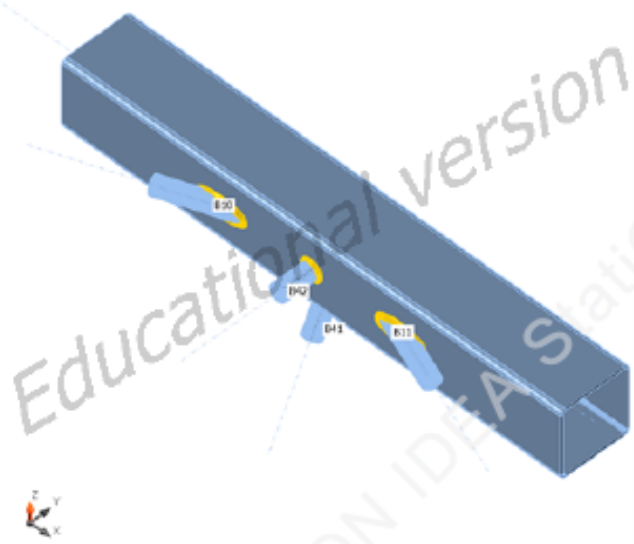
| | |
|---|---|
| Steel | S 355 |

## Design

| | |
|---|---|
| Name | Con N10 |
| Description | |
| Analysis | Stress, strain/ loads in equilibrium |

### Beams and columns

| Name | Cross-section | β – Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - Rotation [°] | Offset ex [mm] | Offset ey [mm] | Offset ez [mm] | Forces in |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B6 | 1 - CFRHS140X140X5(RHS140x140) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B10 | 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | -159.1 | -0.2 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B42 | 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | -90.0 | -0.4 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B11 | 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | -20.9 | -0.2 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |
| B41 | 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | -90.0 | 63.3 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | Position |




### Cross-sections

### Cross-sections

| Name | Material |
|---|---|
| 1 - CFRHS140X140X5(RHS140x140) | S 355 |
| 2 - CHS(cf)33.7/3.0 | S 355 |

Educational version

### Load effects (forces in equilibrium)

| Name | Member | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GSN1(1) | B6 | 356.3 | -0.7 | -2.1 | 0.0 | 0.9 | 0.5 |
| | B6 | -356.3 | -0.7 | -2.1 | 0.0 | -0.9 | -0.5 |
| | B10 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B42 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B11 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B41 | -5.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| GSN2(2) | B6 | 339.1 | -0.2 | -0.7 | 0.0 | -0.2 | 0.1 |
| | B6 | -339.1 | -0.2 | -0.7 | 0.0 | 0.2 | -0.1 |
| | B10 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B42 | -0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B11 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | B41 | -0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

## Check

### Summary

| Name | Value | Status |
|---|---|---|
| Analysis | 100.0% | OK |
| Plates | 0.0 < 5% | OK |
| Welds | 56.0 < 100% | OK |
| Buckling | Not calculated | |

### Plates

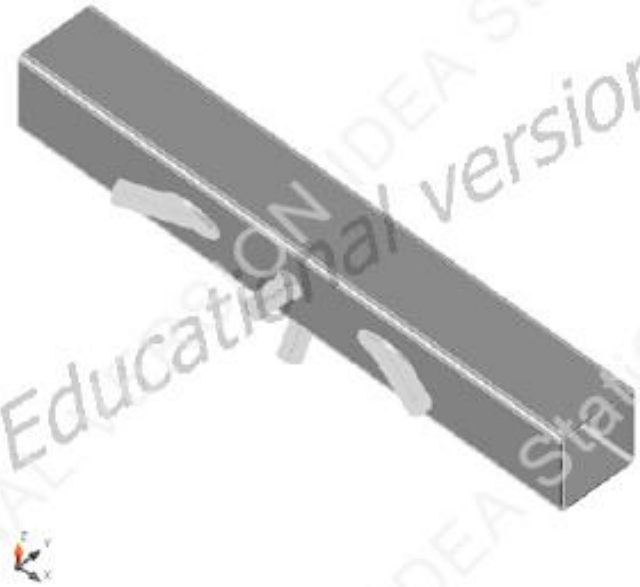
| Name | Thickness [mm] | Loads | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|
| B6 | 5.0 | GSN1(1) | 223.4 | 0.0 | OK |
| B10 | 3.0 | GSN1(1) | 97.0 | 0.0 | OK |
| B42 | 3.0 | GSN1(1) | 63.3 | 0.0 | OK |
| B11 | 3.0 | GSN1(1) | 96.5 | 0.0 | OK |
| B41 | 3.0 | GSN1(1) | 106.7 | 0.0 | OK |

#### Design data

| Material | $f_y$ [MPa] | $\varepsilon_{lim}$ [%] |
|---|---|---|
| S 355 | 355.0 | 5.0 |

#### Symbol explanation

| | |
|---|---|
| $\varepsilon_{Pl}$ | Strain |
| $\sigma_{Ed}$ | Eq. stress |
| $f_y$ | Yield strength |
| $\varepsilon_{lim}$ | Limit of plastic strain |



*Overall check, GSN1(1)*

*Strain check, GSN1(1)*

*Equivalent stress, GSN1(1)*

### Welds (Plastic redistribution)

| Item | Edge | Throat th. [mm] | Length [mm] | Loads | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | $\varepsilon_{Pl}$ [%] | $\sigma_{\perp}$ [MPa] | $\tau_{\parallel}$ [MPa] | $\tau_{\perp}$ [MPa] | Ut [%] | $Ut_c$ [%] | Status |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ◢4.0◣ | 96 | GSN1(1) | 36.5 | 0.0 | 0.4 | 20.6 | -4.4 | 8.4 | 4.0 | OK |
| B6-w 4 | B42 | ◢4.0◣ | 96 | GSN1(1) | 31.4 | 0.0 | 0.6 | -17.8 | -3.4 | 7.2 | 2.8 | OK |
| B6-w 4 | B10 | ◢4.0 | 193 | GSN1(1) | 243.9 | 0.0 | 13.9 | -32.6 | -136.7 | 56.0 | 5.4 | OK |
| B6-w 4 | B11 | ◢4.0 | 193 | GSN1(1) | 243.5 | 0.0 | 14.1 | 32.7 | -136.5 | 55.9 | 5.4 | OK |
| | | ◢4.0◣ | 102 | GSN1(1) | 56.5 | 0.0 | -23.7 | -28.7 | 7.3 | 13.0 | 7.4 | OK |
| B6-w 1 | B41 | ◢4.0◣ | 102 | GSN1(1) | 72.8 | 0.0 | 18.8 | -32.0 | -25.0 | 16.7 | 6.8 | OK |

### Design data

| | $\beta_w$ [-] | $\sigma_{w,Rd}$ [MPa] | 0.9 σ [MPa] |
|---|---|---|---|
| S 355 | 0.90 | 435.6 | 352.8 |

**Symbol explanation**

| | |
|---|---|
| $\varepsilon_{Pl}$ | Strain |
| $\sigma_{w,Ed}$ | Equivalent stress |
| $\sigma_{w,Rd}$ | Equivalent stress resistance |
| $\sigma_{\perp}$ | Perpendicular stress |
| $\tau_{\parallel}$ | Shear stress parallel to weld axis |
| $\tau_{\perp}$ | Shear stress perpendicular to weld axis |
| 0.9 σ | Perpendicular stress resistance - 0.9*fu/γM2 |
| $\beta_w$ | Corelation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1 |
| Ut | Utilization |
| Utc | Weld capacity utilization |

### Buckling

**Buckling analysis was not calculated.**

## Code settings

| Item | Value | Unit | Reference |
|---|---|---|---|
| $\gamma_{M0}$ | 1.00 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M1}$ | 1.00 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M2}$ | 1.25 | - | EN 1993-1-1: 6.1 |
| $\gamma_{M3}$ | 1.25 | - | EN 1993-1-8: 2.2 |
| $\gamma_{C}$ | 1.50 | - | EN 1992-1-1: 2.4.2.4 |
| $\gamma_{Inst}$ | 1.20 | - | ETAG 001-C: 3.2.1 |
| Joint coefficient βj | 0.67 | - | EN 1993-1-8: 6.2.5 |
| Effective area - influence of mesh size | 0.10 | - | |
| Friction coefficient - concrete | 0.25 | - | EN 1993-1-8 |
| Friction coefficient in slip-resistance | 0.30 | - | EN 1993-1-8 tab 3.7 |
| Limit plastic strain | 0.05 | - | EN 1993-1-5 |
| Weld stress evaluation | Plastic redistribution | | |
| Detailing | No | | |
| Distance between bolts [d] | 2.20 | - | EN 1993-1-8: tab 3.3 |
| Distance between bolts and edge [d] | 1.20 | - | EN 1993-1-8: tab 3.3 |
| Concrete breakout resistance | Yes | | ETAG 001-C |
| Use calculated αb in bearing check. | Yes | | EN 1993-1-8: tab 3.4 |
| Cracked concrete | Yes | | |
| Local deformation check | No | | |
| Local deformation limit | 0.03 | - | CIDECT DG 1, 3 - 1.1 |

# 18. PRORAČUN TEMELJA

Temelji se izvode kao trakasti temelji ispod poprečnih nosača donjeg prstena stadiona te kao temelji samci ispod stupova pozicija S1, S2, S3, S4. Sve temeljne trake i temelji samci izvedeni su od beton C30/37 te armirani armaturom B500B. Na slici je prikazan raspored temelja. Radi jednostavnosti izvedbe a i ujednačenosti reakcija ispod poprečnih nosača i temelja sve su temeljne trake istih dimenzija te jednako armirane. Isto vrijedi i za temelje samce stupova.

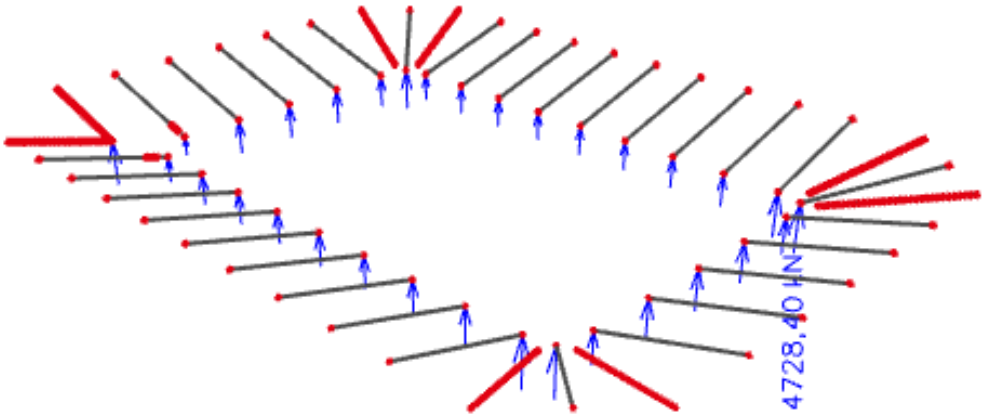
Proračun je proveden na način da su iz prostornog modela za kritične uobičajene kombinacije dobivene maksimalne rezne sile na ležajevima ispod zidova i stupova. Potom je provedena kontrola naprezanja koje mora zadovoljiti uvjet $\sigma < \sigma_{dop} = 500MPa$.

## 18.1. Proračun trakastog temelja

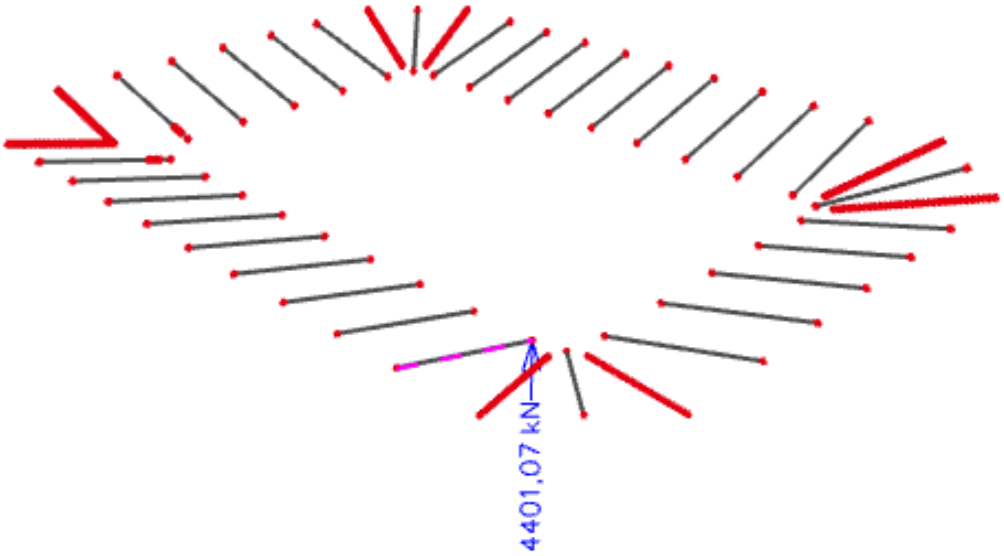
### *18.1.1. Rezne sile*

*Slika 17*

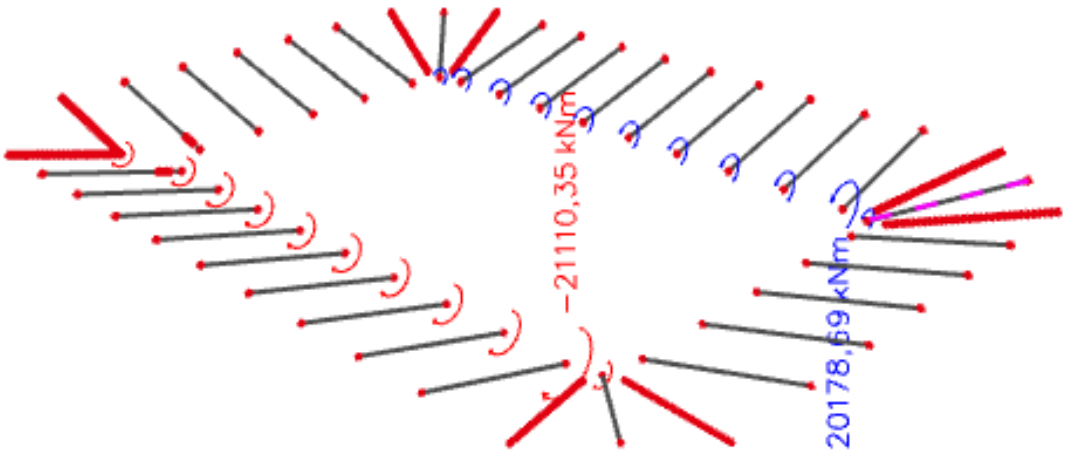
*18.1. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz N*




*Slika 18.2. $N_{max}$,$My_{pripadni}$-prikaz M*




*Slika 18.3. $N_{max}$,$Mx_{pripadni}$-prikaz M*




*Slika 18.4. $N_{max}$,$Mz_{pripadni}$-prikaz M*

### *18.1.2. Dimenzioniranje temelja*

Težina temelja: $W = B \cdot L \cdot h \cdot \gamma_{bet} = B \cdot 67{,}40 \cdot 0{,}40 \cdot 25 = B \cdot 674$

$$V_d = 47280{,}40 + B \cdot 674$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \mp \frac{M}{W}$$

$$A = B \cdot 674$$

$$W = \frac{bL^2}{6} = \frac{B \cdot 67{,}4^2}{6}$$

$$\sigma_1 = \frac{47280{,}4 + B \cdot 674}{B \cdot 674} + \frac{8400{,}48}{\frac{B \cdot 67{,}4^2}{6}} < 500\,\frac{kN}{m^2}$$

$$\frac{47280{,}4 \cdot 674 + B \cdot 674 \cdot 674}{B \cdot 674^2} + \frac{6 \cdot 8400{,}48}{B \cdot 674^2} < 500\,\frac{kN}{m^2}$$

$$B > 0{,}50m$$

$$\sigma_2 = \frac{47280{,}40 + B \cdot 674}{B \cdot 674} - \frac{8400{,}48}{\frac{B \cdot 674^2}{6}} = \frac{141.08kN}{m^2} < 500\,\frac{kN}{m^2}$$

$$B > 0{,}50m$$

***Odabrana širina temelja B=100 cm***

$$\sigma_1 = \frac{31866989{,}60 + 227138}{227138} + \frac{50402{,}88}{227138} = 141{,}51 < 500\,\frac{kN}{m^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{31866989{,}60 + 227138}{227138} - \frac{50402{,}88}{227138} = 141{,}07 < 500\,\frac{kN}{m^2}$$

$$M´_{Ed} = \sigma´ \cdot \frac{b´^2}{2} + (\sigma_1 - \sigma´) \cdot \frac{2b´^2}{6} = 145.51 \cdot \frac{0{,}85^2}{2} + (141.51 - 145{,}51) \cdot \frac{0{,}85^2}{3} = 51.75kNm$$

$$M_{Ed} = 51{,}75\ kNm$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5175}{100 \cdot 77^2 \cdot 1{,}67} = 0{,}005$$

$$Očitano: \varepsilon_{s1} = 10.0‰\ \ \varepsilon_{c2} = 0{,}3\ ‰\ \zeta = 0.989$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5175}{0{,}989 \cdot 77 \cdot 43{,}48} = 1{,}56\ cm^2$$

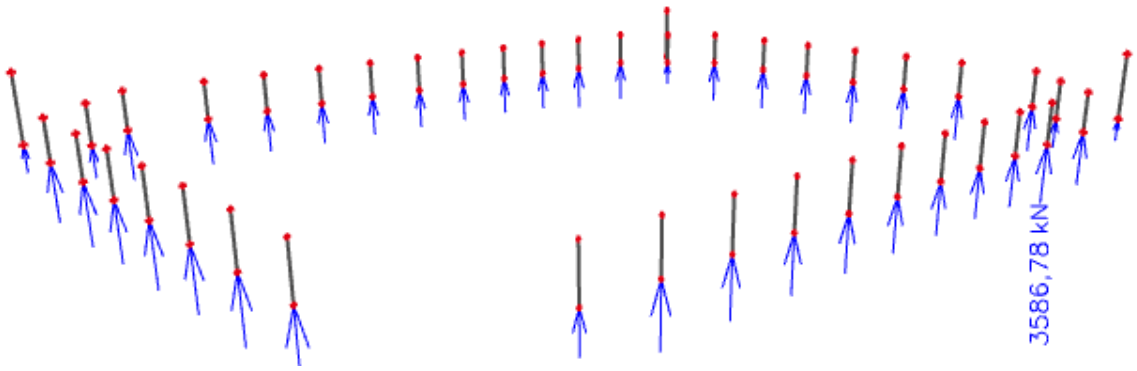
$$A_{min} = 0{,}15\% \cdot b \cdot d = 0{,}15 \cdot 100 \cdot \frac{77}{100} = 11{,}55cm^2$$

**Odabrana armatura**: $10\emptyset 14\ A_s = 15.39\ cm^2$

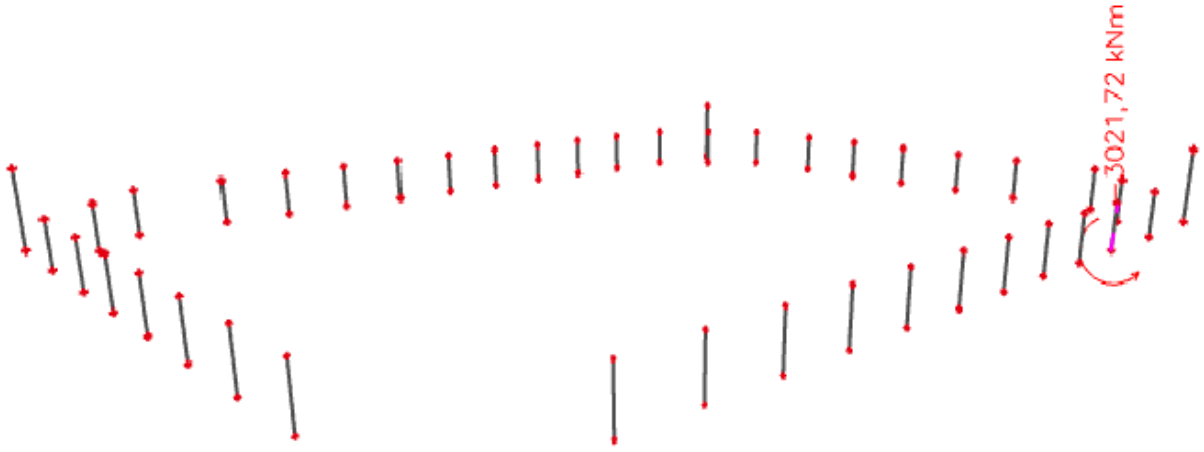
## 18.2. Dimenzioniranje temelja samca ispod stupova pozicije S1

### *18.2. Rezne sile*

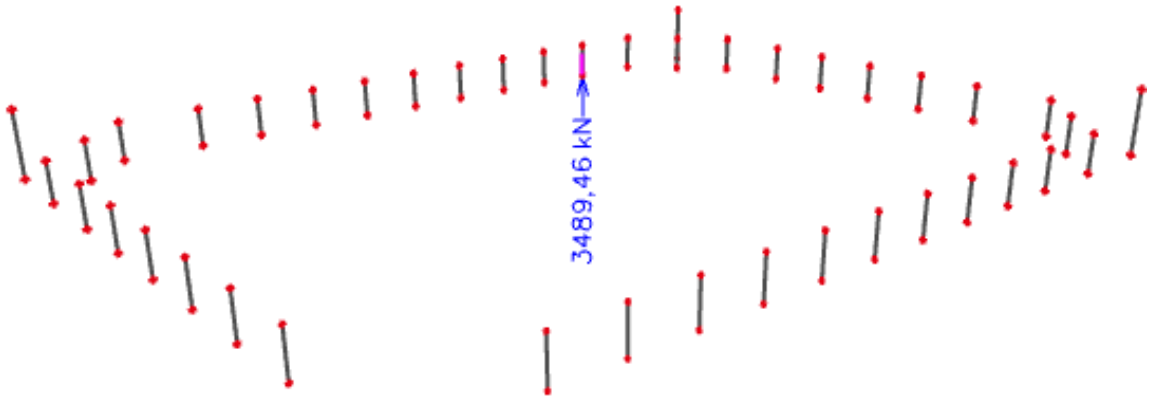
*Slika 18.4. Nmax,Mpripadni-prikaz N*



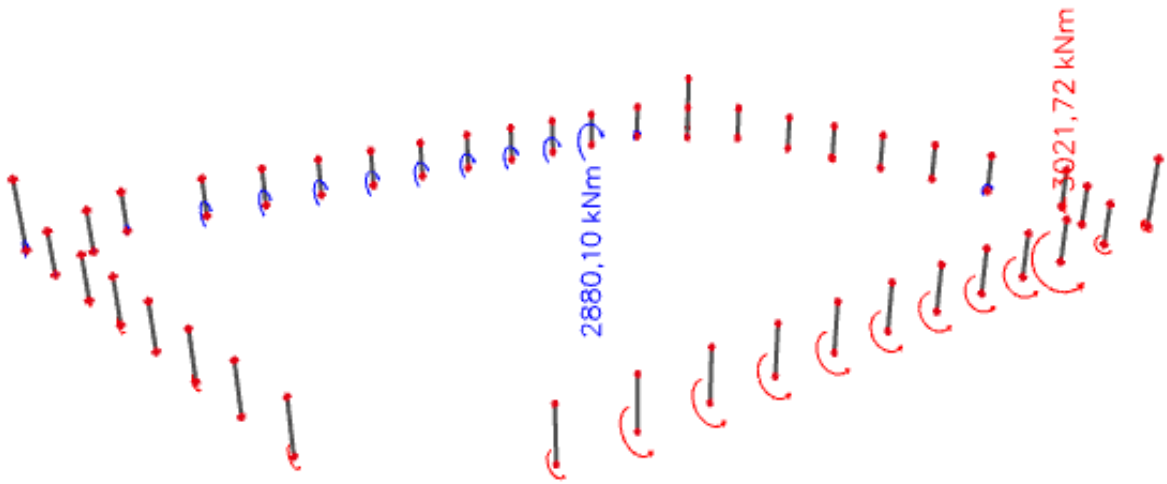

*Slika 18.5. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz Mx*



*Slika 18.6. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*




*Slika 18.7. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*



### *18.2.2. Dimenzioniranje temelja*

$$B_{usv} = 4\ m, \qquad \mathrm{L} = 4\ \mathrm{m}$$
$$h_{usv} = 0{,}50\ m = 50\ cm$$

Težina temelja: $W = B \cdot L \cdot h \cdot \gamma_{bet} = 4 \cdot 4 \cdot 0{,}50 \cdot 25 = 200kN$

$$V_d = 3568{,}78 + 200 = 3768{,}78kN$$
$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \mp \frac{M}{W}$$
$$A = 4 \cdot 4 = 16m^2$$

$$W = \frac{bL^2}{6} = \frac{B \cdot B^2}{6} = \frac{4^3}{6} = 10{,}67m^3$$

$$\sigma_1 = \frac{3568{,}78}{16} + \frac{2880{,}10}{10{,}67} = 492{,}97 < 500\frac{kN}{m^2}$$
$$\sigma_2 = \frac{2177{,}71}{4{,}84} - \frac{2880{,}10}{10{,}67} = -46{,}88 < 500\frac{kN}{m^2}$$

$$M'_{Ed} = \sigma' \cdot \frac{b'^2}{2} + (\sigma_1 - \sigma') \cdot \frac{2b'^2}{6} = 248{,}61 \cdot \frac{3{,}65^2}{2} + (492{,}97 - 248{,}61) \cdot \frac{3{,}65^2}{3}$$
$$= 182{,}84kNm$$

$$M_{Ed} = 2741{,}21\ kNm$$
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{274121}{400 \cdot 47^2 \cdot 1{,}67} = 0{,}158$$
$$Očitano: \varepsilon_{s1} = 10.0‰\ \ \varepsilon_{c2} = 3{,}5\ ‰\ \zeta = 0.892$$

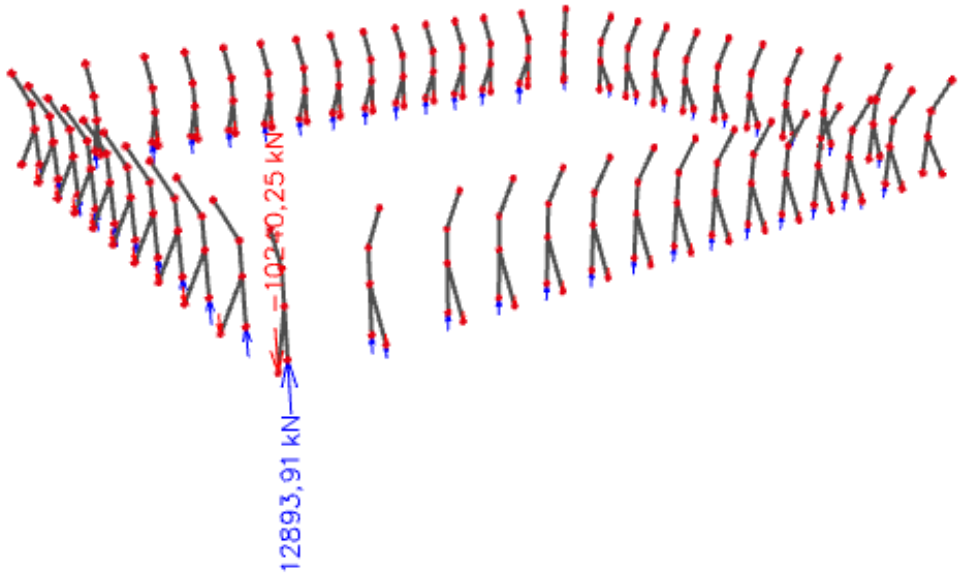
$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{274121}{0{,}892 \cdot 47 \cdot 43{,}48} = 150.38\ cm^2$$
$$A_{min} = 0{,}15\% \cdot b \cdot d = 0{,}15 \cdot 400 \cdot \frac{370}{100} = 222{,}0cm^2$$

**Odabrana armatura**: $36Ø28\ A_s = 222{,}76\ cm^2$

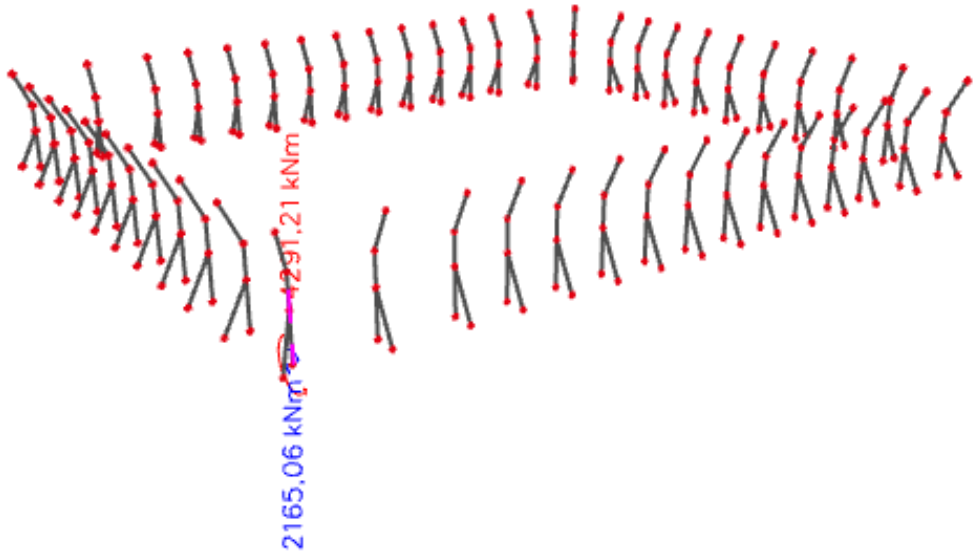
## 18.3. Dimenzioniranje temelja samca ispod stupova pozicije S2

### *18.3.1. Rezne sile*

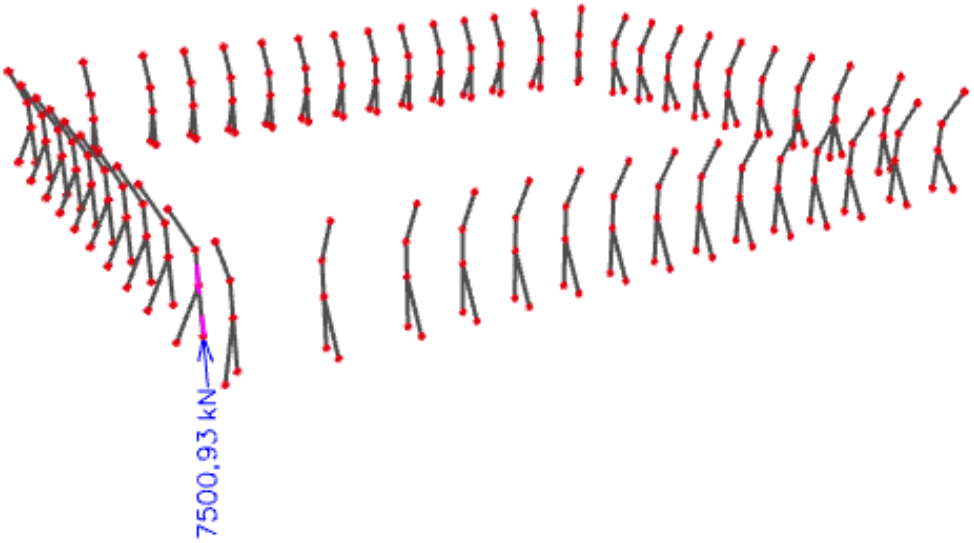
*Slika 18.4. Nmax,Mpripadni-prikaz N*



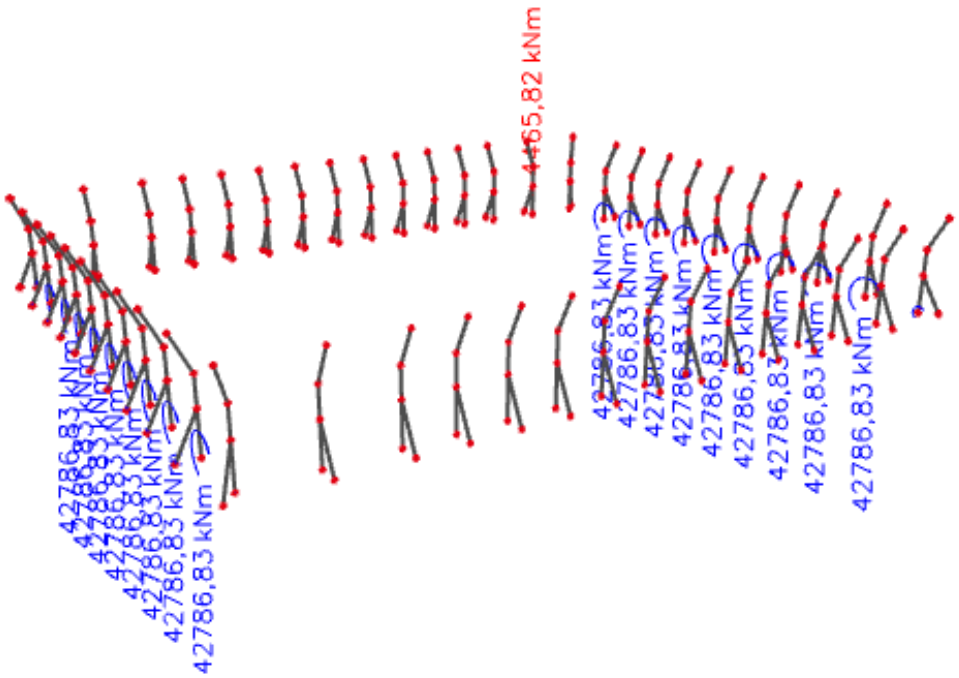

*Slika 18.5. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz Mx*



*Slika 18.6. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*




*Slika 18.7. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*



### *18.2.3. Dimenzioniranje temelja*

Težina temelja: $W = B \cdot L \cdot h \cdot \gamma_{bet} = B \cdot 67{,}40 \cdot 0{,}80 \cdot 25 = B \cdot 1348$

$$V_d = 12893{,}91 + B \cdot 1348$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \mp \frac{M}{W}$$

$$A = B \cdot 67{,}40$$

$$W = \frac{bL^2}{6} = \frac{B \cdot 67{,}4^2}{6}$$

$$\sigma_1 = \frac{12893{,}91 + B \cdot 1348}{B \cdot 67{,}40} + \frac{42786{,}83}{\frac{B \cdot 67{,}40^2}{6}} < 500\frac{kN}{m^2}$$

$$\frac{12893{,}91 \cdot 67{,}40 + B \cdot 1348 \cdot 67{,}4}{B \cdot 67{,}40^2} + \frac{6 \cdot 42786{,}83}{B \cdot 67{,}40^2} < 500\frac{kN}{m^2}$$

$$B > 0{,}80m$$

$$\sigma_2 = \frac{12893{,}91 + B \cdot 67{,}4}{B \cdot 67{,}4} - \frac{42786{,}83}{\frac{B \cdot 67{,}4^2}{6}} = \frac{188{,}49kN}{m^2} < 500\frac{kN}{m^2}$$

$$B > 0{,}80m$$

***Odabrana širina temelja B=160 cm***

$$\sigma_1 = \frac{869049{,}5 + 72684{,}16}{3634{,}21} + \frac{256720{,}98}{3634{,}21} = 329{,}77 < 500\frac{kN}{m^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{869049{,}5 + 72684{,}16}{3634{,}21} - \frac{256720{,}98}{3634{,}21} = 188{,}49 < 500\frac{kN}{m^2}$$

$$M´_{Ed} = \sigma´ \cdot \frac{b´^2}{2} + (\sigma_1 - \sigma´) \cdot \frac{2b´^2}{6} = 183{,}02 \cdot \frac{1{,}01^2}{2} + (329{,}77 - 183{,}02) \cdot \frac{1{,}01^2}{3} = 51.75kNm$$

$$M_{Ed} = 143{,}24\ kNm$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14324}{160 \cdot 77^2 \cdot 1{,}67} = 0{,}009$$

$$Očitano: \varepsilon_{s1} = 10.0‰\ \ \varepsilon_{c2} = 0{,}3\ ‰\ \zeta = 0.989$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{14324}{0{,}989 \cdot 77 \cdot 43{,}48} = 4{,}32\ cm^2$$

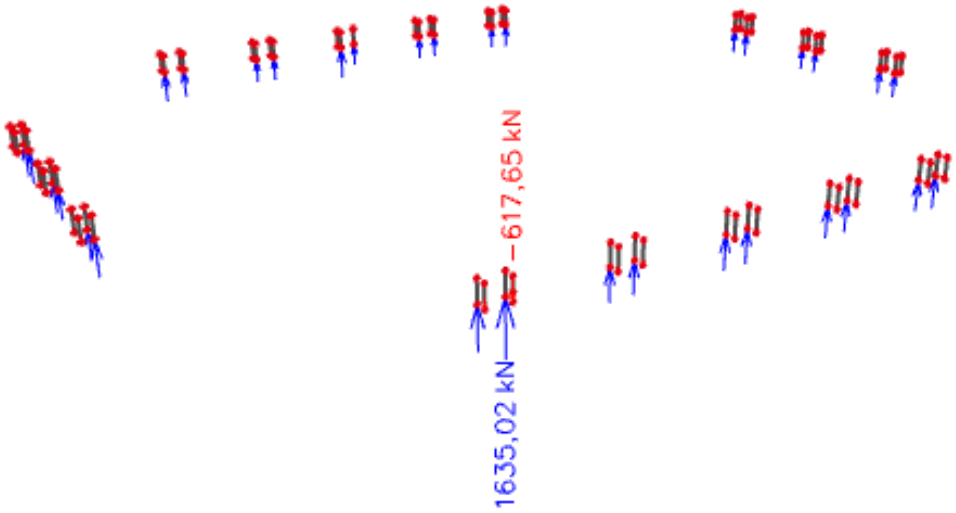
$$A_{min} = 0{,}15\% \cdot b \cdot d = 0{,}15 \cdot 160 \cdot \frac{77}{100} = 18{,}48\ cm^2$$

**Odabrana armatura**: $4Ø25\ A_s = 19.63\ cm^2$

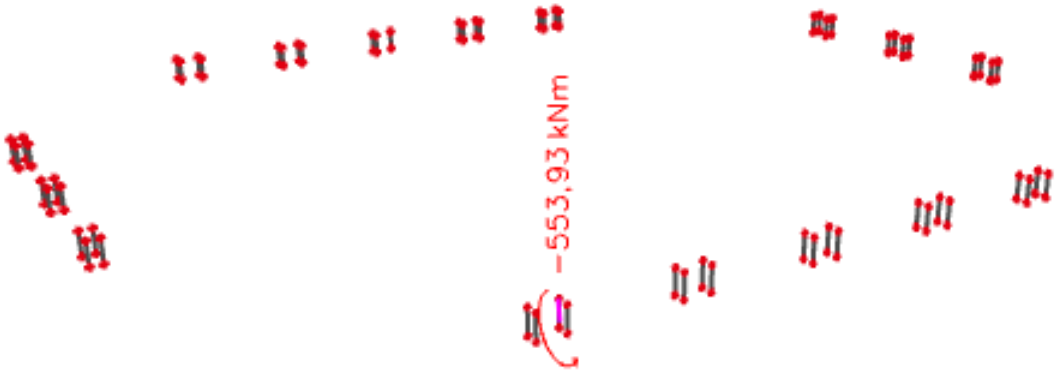
## 18.4. Dimenzioniranje temelja samca ispod stupova pozicije S3

### *18.4.1. Rezne sile*

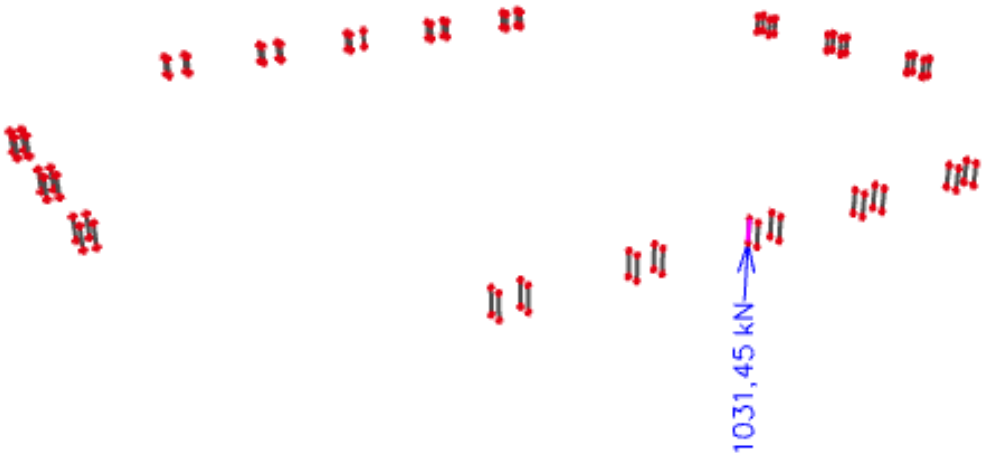
*Slika 18.4. Nmax,Mpripadni-prikaz N*




*Slika 18.5. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz Mx*



*Slika 18.6. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*




*Slika 18.7. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*

### *18.4.2. Dimenzioniranje temelja*

$$B_{usv} = 2{,}9\ m, \qquad \mathrm{L} = 2{,}9\ \mathrm{m}$$
$$h_{usv} = 0{,}40\ m = 40\ cm$$

Težina temelja: $W = B \cdot L \cdot h \cdot \gamma_{bet} = 2{,}9 \cdot 2{,}9 \cdot 0{,}40 \cdot 25 = 84{,}10kN$

$$V_d = 1635{,}02 + 84{,}10 = 1719{,}12kN$$
$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \mp \frac{M}{W}$$
$$A = 2{,}9 \cdot 2{,}9 = 8{,}41m^2$$

$$W = \frac{bL^2}{6} = \frac{B \cdot B^2}{6} = \frac{2{,}9^3}{6} = 4{,}06m^3$$

$$\sigma_1 = \frac{1719{,}12}{8{,}41} + \frac{633{,}58}{4{,}06} = 360{,}47 < 500\frac{kN}{m^2}$$
$$\sigma_2 = \frac{1719{,}12}{8{,}41} - \frac{633{,}58}{4{,}06} = 48{,}36 < 500\frac{kN}{m^2}$$

$$M'_{Ed} = \sigma' \cdot \frac{b'^2}{2} + (\sigma_1 - \sigma') \cdot \frac{2b'^2}{6} = 187{,}2 \cdot \frac{2{,}55^2}{2} + (360{,}47 - 187{,}20) \cdot \frac{2{,}55^2}{3}$$
$$= 984{,}19kNm$$

$$M_{Ed} = 984{,}19\ kNm$$
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{98419}{290 \cdot 37^2 \cdot 1{,}67} = 0{,}0148$$
$$Očitano: \varepsilon_{s1} = 10.0‰\ \ \varepsilon_{c2} = 1{,}8\ ‰\ \zeta = 0.977$$

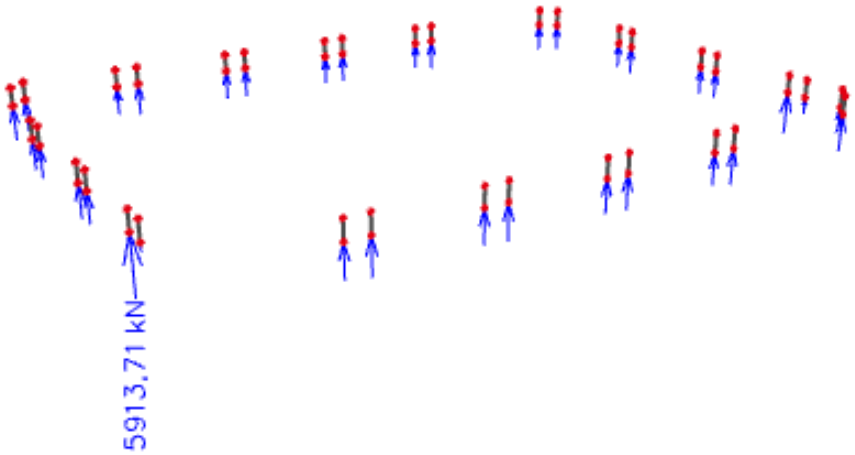
$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{98419}{0{,}977 \cdot 37 \cdot 43{,}48} = 62{,}61\ cm^2$$
$$A_{min} = 0{,}15\% \cdot b \cdot d = 0{,}15 \cdot 290 \cdot \frac{37}{100} = 16{,}09cm^2$$

**Odabrana armatura**: $8Ø32\ A_s = 64{,}34\ cm^2$

## 18.5. Dimenzioniranje temelja samca ispod stupova pozicije S4

### *18.5.1. Rezne sile*

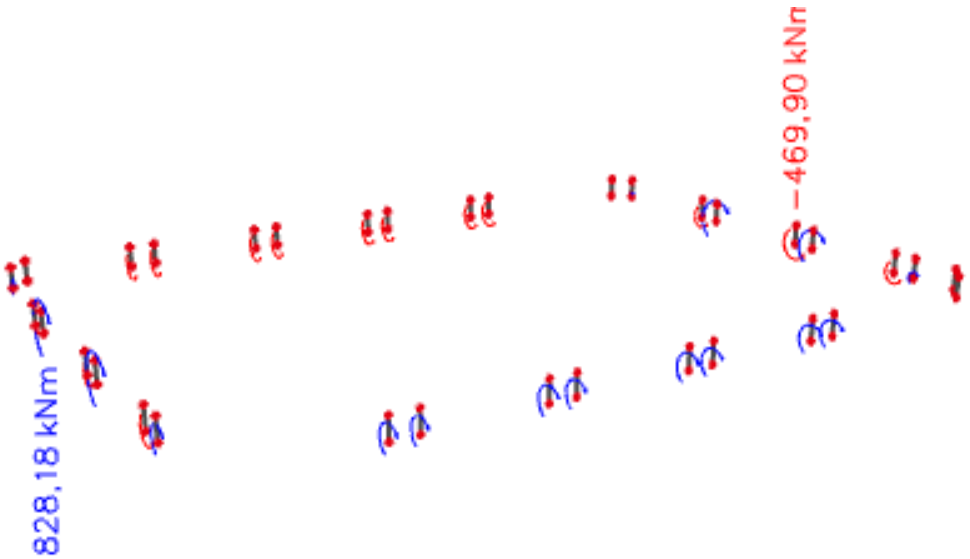
*Slika 18.4. Nmax,Mpripadni-prikaz N*




*Slika 18.5. $N_{max}$,$M_{pripadni}$-prikaz Mx*

*Slika 18.6. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz N*

*Slika 18.7. $M_{max}$,$N_{pripadni}$-prikaz M*



### *18.5.2. Dimenzioniranje temelja*

$$B_{usv} = 2{,}50\ m, \qquad \mathrm{L} = 2{,}50\ \mathrm{m}$$
$$h_{usv} = 0{,}40\ m = 40\ cm$$

Težina temelja: $W = B \cdot L \cdot h \cdot \gamma_{bet} = 2{,}5 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}40 \cdot 25 = 62{,}5kN$

$$V_d = 591{,}37 + 62{,}50 = 653{,}87kN$$
$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \mp \frac{M}{W}$$
$$A = 2{,}5 \cdot 2{,}5 = 6{,}25m^2$$

$$W = \frac{bL^2}{6} = \frac{B \cdot B^2}{6} = \frac{2{,}5^3}{6} = 2{,}60m^3$$

$$\sigma_1 = \frac{653{,}87}{6{,}25} + \frac{828{,}18}{2{,}60} = 423{,}27 < 500\frac{kN}{m^2}$$
$$\sigma_2 = \frac{653{,}87}{6{,}25} - \frac{828{,}18}{2{,}60} = 214{,}03 < 500\frac{kN}{m^2}$$

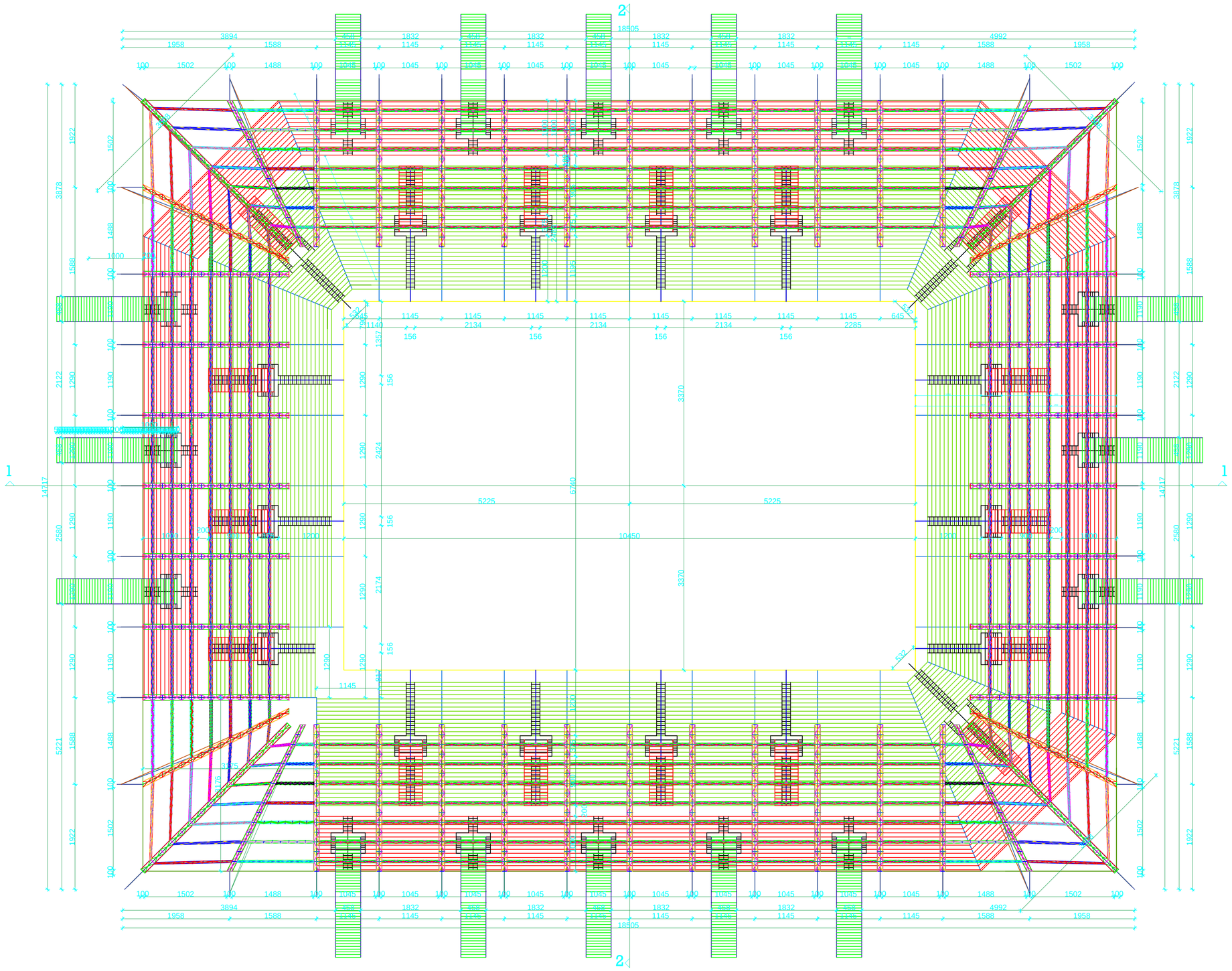
$$M'_{Ed} = \sigma' \cdot \frac{b'^2}{2} + (\sigma_1 - \sigma') \cdot \frac{2b'^2}{6} = 225{,}43 \cdot \frac{1{,}66^2}{2} + (423{,}27 - 225{,}43) \cdot \frac{1{,}66^2}{3}$$
$$= 479{,}42kNm$$

$$M_{Ed} = 479{,}42\ kNm$$
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{47942}{250 \cdot 37^2 \cdot 1{,}67} = 0{,}083$$
$$Očitano: \varepsilon_{s1} = 10.0\,‰\ \ \varepsilon_{c2} = 1{,}7\ ‰\ \zeta = 0.965$$

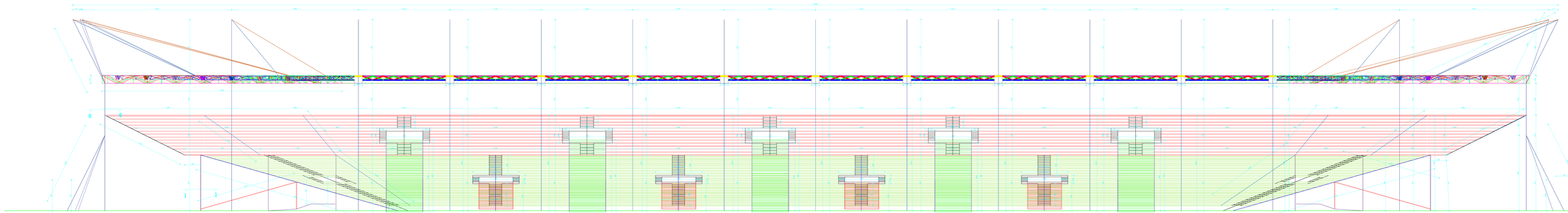
$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{47942}{0{,}965 \cdot 37 \cdot 43{,}48} = 30{,}88\ cm^2$$
$$A_{min} = 0{,}15\% \cdot b \cdot d = 0{,}15 \cdot 250 \cdot \frac{37}{100} = 1{,}38cm^2$$

**Odabrana armatura**: $8Ø25\ A_s = 39{,}27\ cm^2$

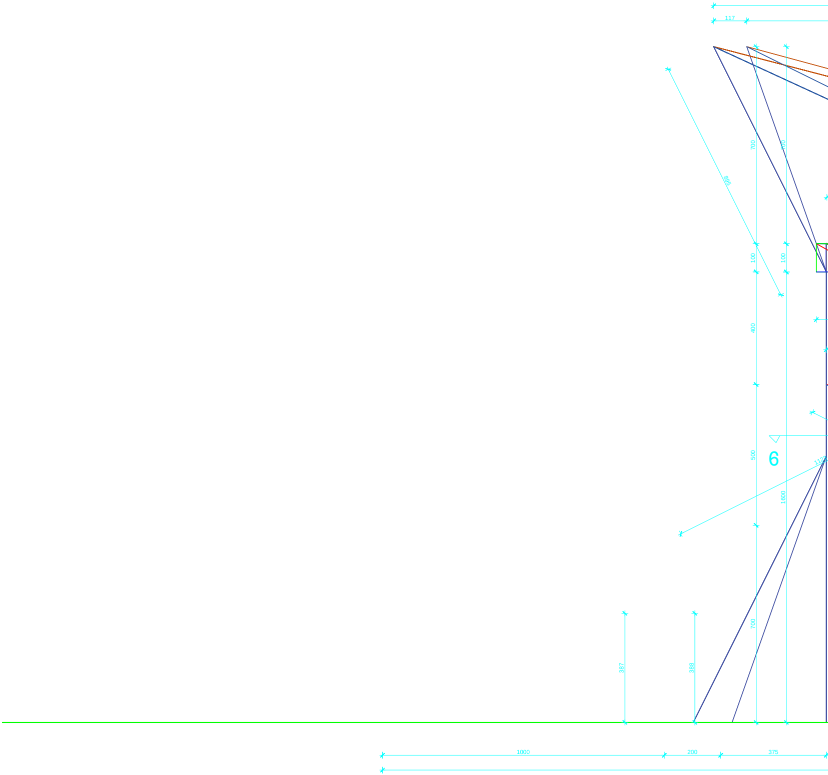
tlocrt
stadiona
MJ 1:500

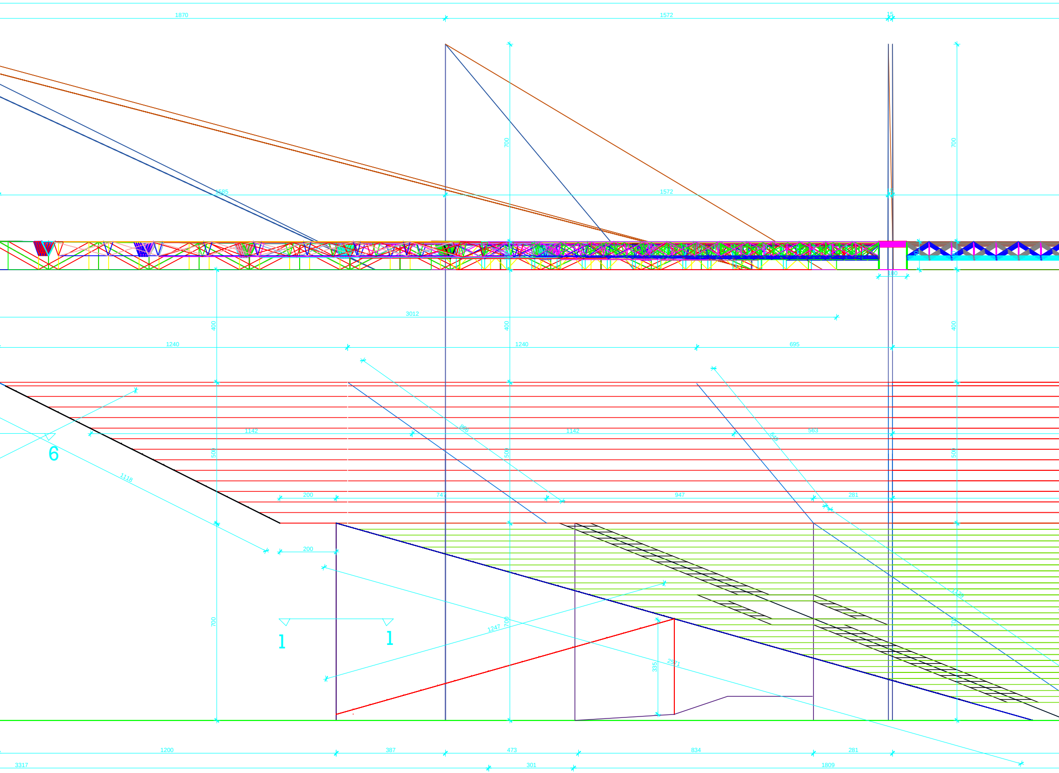


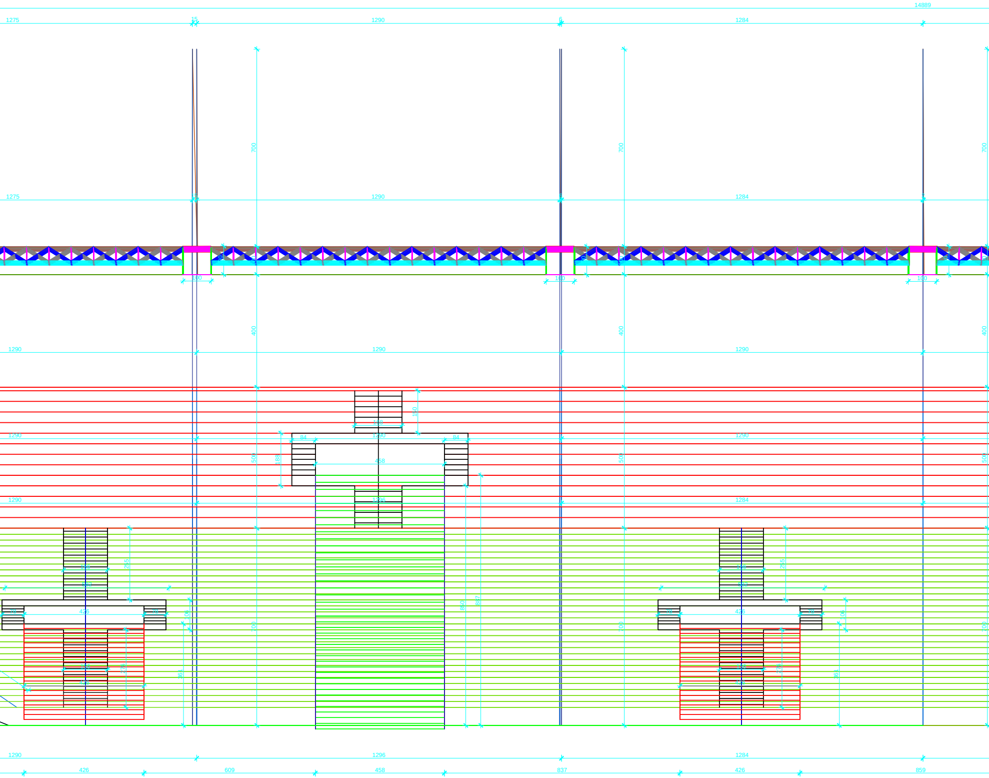

| | | | |
|---|---|---|---|
| FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | | |
| | PROGRAM: | IDEJNO RJEŠENJE STADIONA | |
| | STUDENT: Ivan Baričević, 690 | MENTOR : | Prof. dr. sc. A. Harapin<br>Izv. prof. dr.sc. V. Preković Jović |
| | SADRŽAJ: TLOCRT STADIONA | MJERILO: 1:500 | |
| | DATUM: rujan 2019. | PRILOG: 1 | |

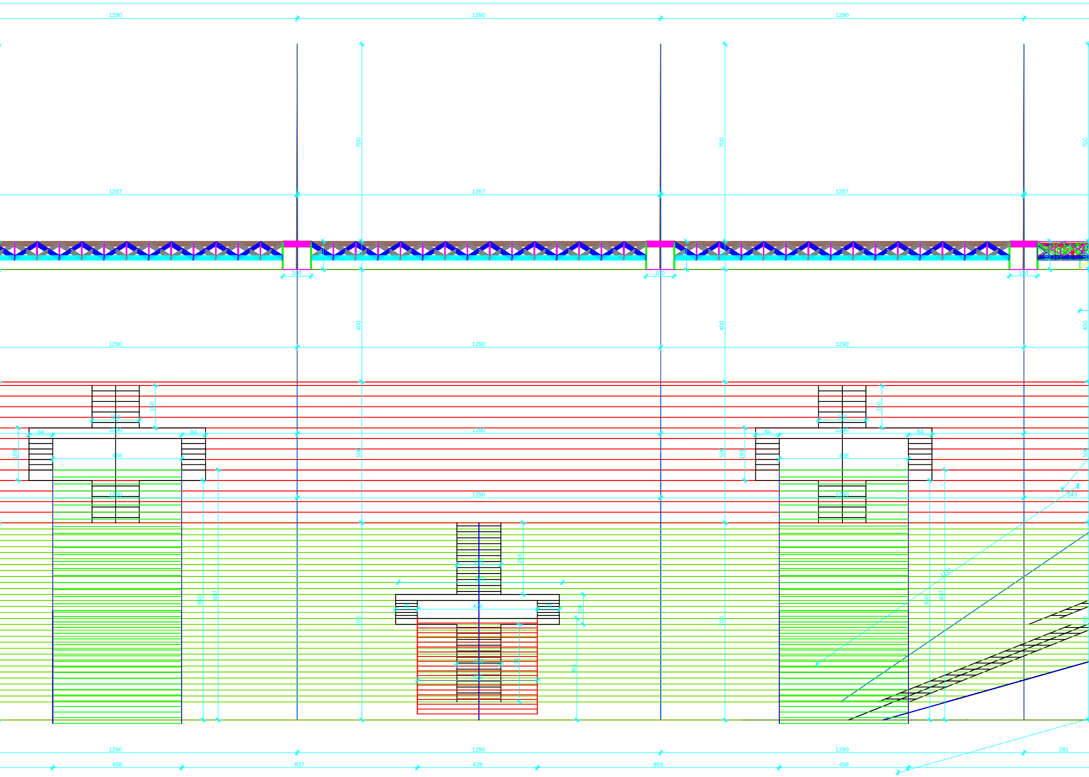


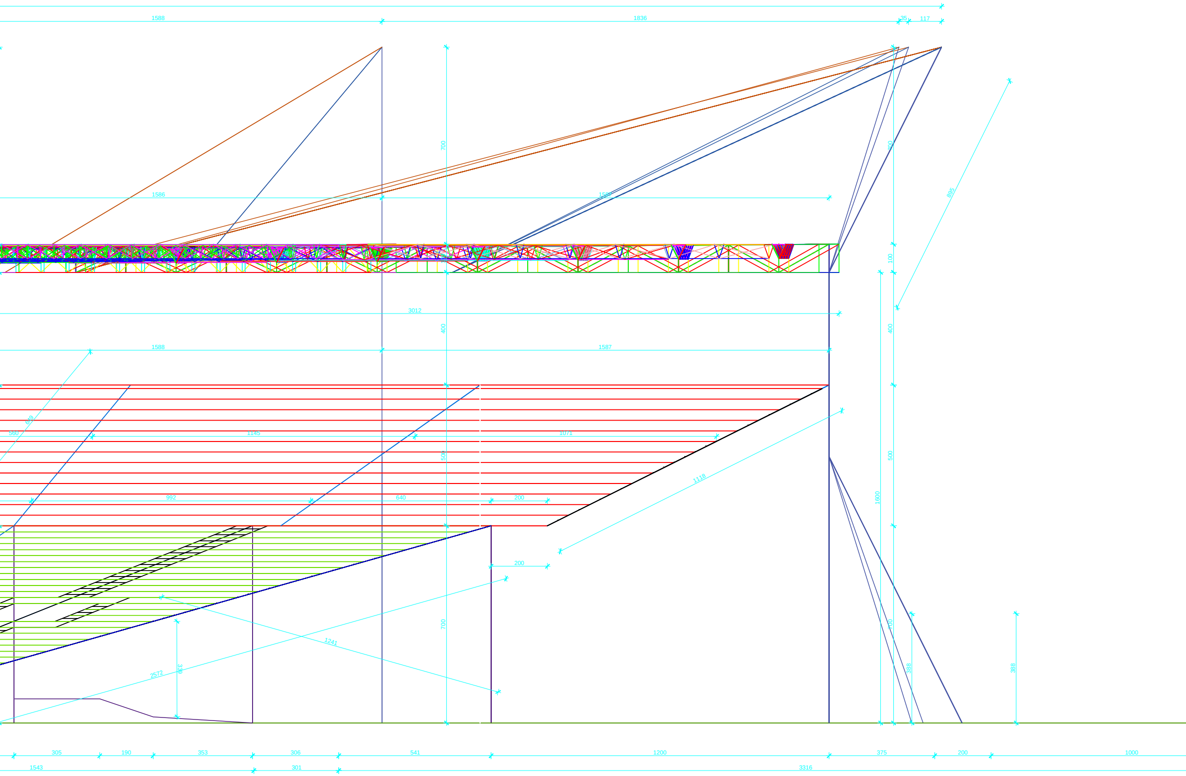

# presjek
## stadiona 1-1
## MJ 1:100


117
895
700
700
100
100
400
500
6
1123
1600
700
387
388
1000
200
375


1870
1572
15
700
700
1585
1572
15
100
3012
400
400
400
1240
1240
695
866
1142
1142
649
563
6
1118
500
500
500
200
747
947
281
200
1
1
700
700
1247
335
2571
1129
700
1200
387
473
834
281
3317
301
1809


14889
1275
15
1290
6
1284
700
1275
1290
1284
100
100
100
400
1290
1290
1290
130
1290
84
84
458
188
500
1290
1296
1284
255
426
106
860
867
361
700
1290
1296
1284
426
609
458
837
426
859


1290
1290
1290
700
700
700
1287
1287
1287
100
100
100
400
400
400
1290
1290
1290
150
150
84
84
84
84
188
188
1290
1290
458
458
500
500
500
1290
1290
1290
860
887
295
426
106
361
270
860
887
343
1231
700
700
1290
1290
1290
281
458
837
426
859
458


1588
1836
35
117
700
700
1586
1587
895
100
3012
400
400
1588
1587
649
560
1145
1071
500
500
1118
1600
992
640
200
200
700
100
1241
2572
330
388
388
305
190
353
306
541
1200
375
200
1000
1543
301
3316

presjek stadiona 2-2 MJ 1:100

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc. V.Preković

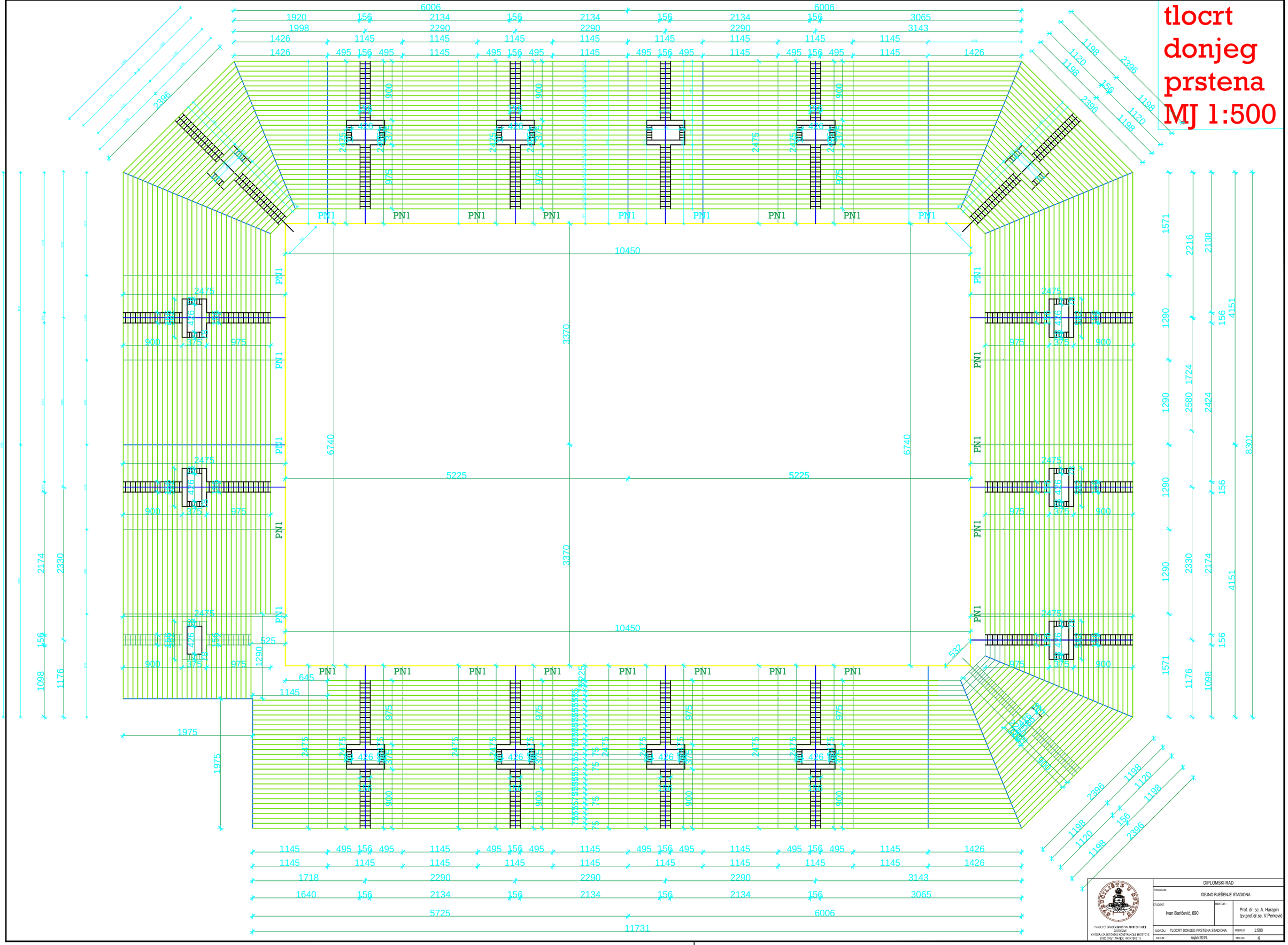
SADRŽAJ: PRESJEK KROZ STADION 2-2

MJERILO: 1:100

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 3

# tlocrt donjeg prstena MJ 1:500




| | | | |
|---|---|---|---|
| FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | | |
| | PROGRAM: | IDEJNO RJEŠENJE STADIONA | |
| | STUDENT: Ivan Baričević, 690 | MENTOR: | Prof. dr. sc. A. Harapin<br>Izv.prof.dr.sc. V.Perković |
| | SADRŽAJ: TLOCRT DONJEG PRSTENA STADIONA | | MJERILO: 1:500 |
| | DATUM: rujan 2019. | | PRILOG: 4 |

# tlocrt gornjeg prstena MJ 1:500

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR: Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc. V. Perković

SADRŽAJ: TLOCRT GORNJEG PRSTENA STADIONA

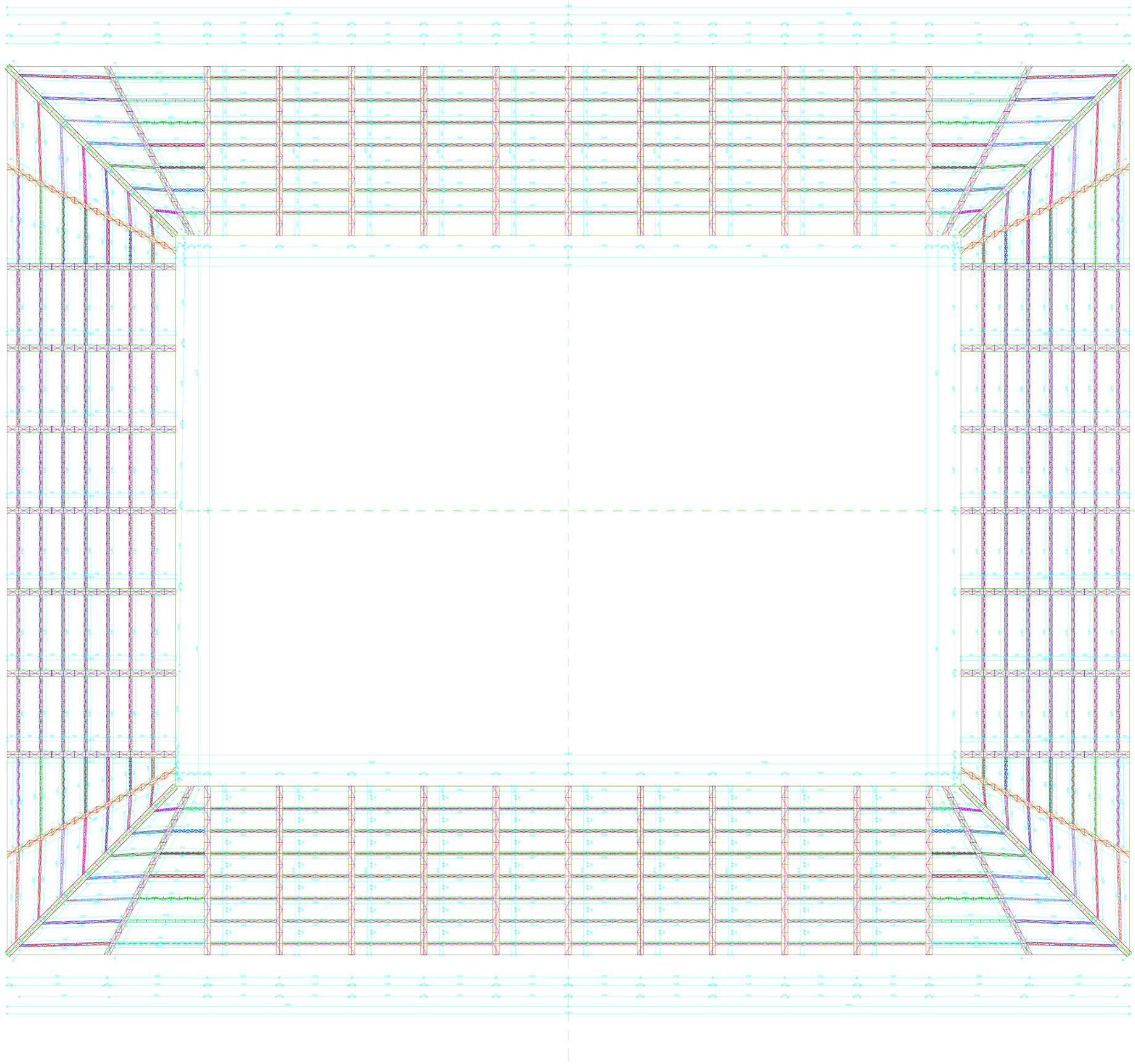
MJERILO: 1:500

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 5

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

# tlocrt krova stadiona MJ 1:200



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

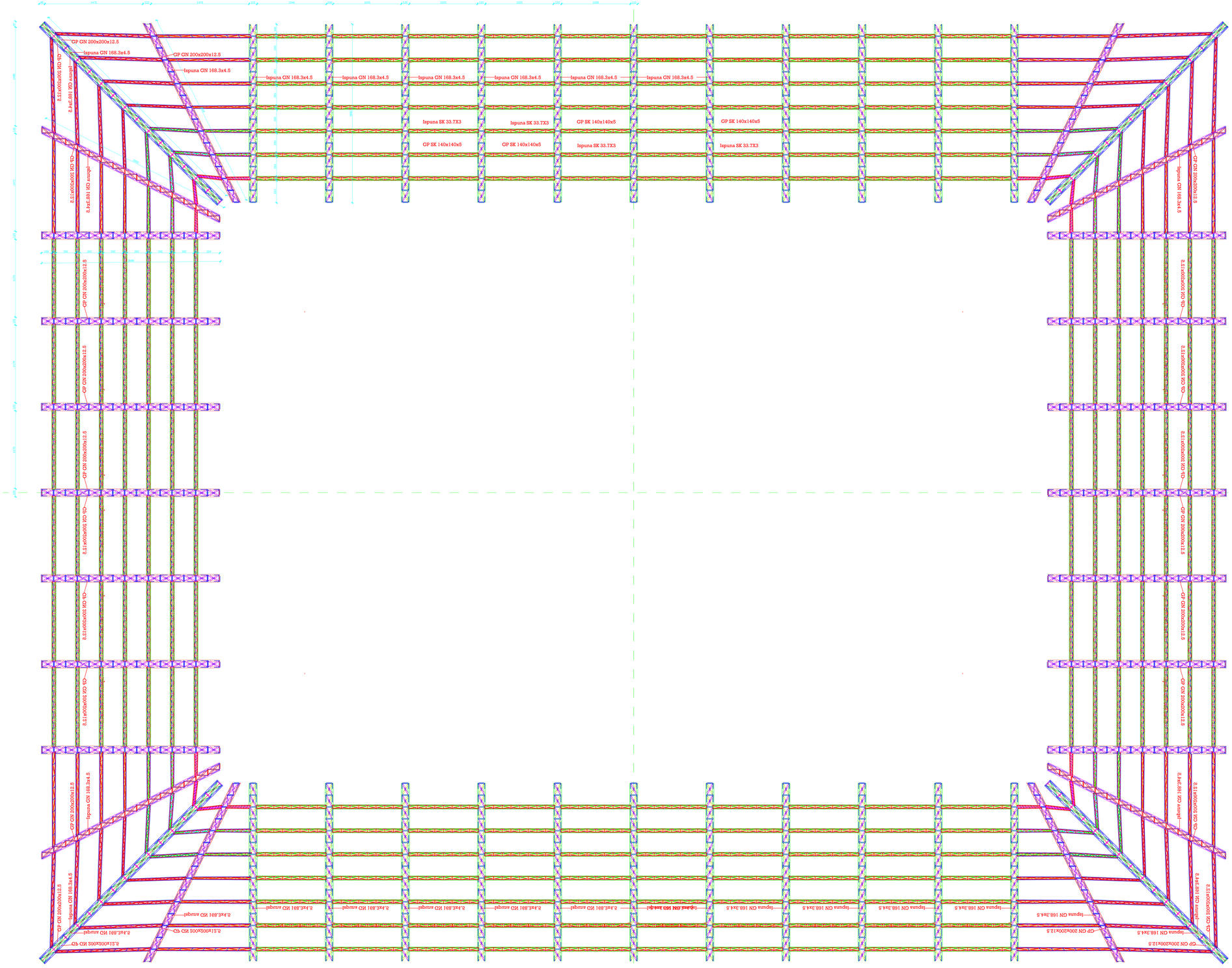
DIPLOMSKI RAD

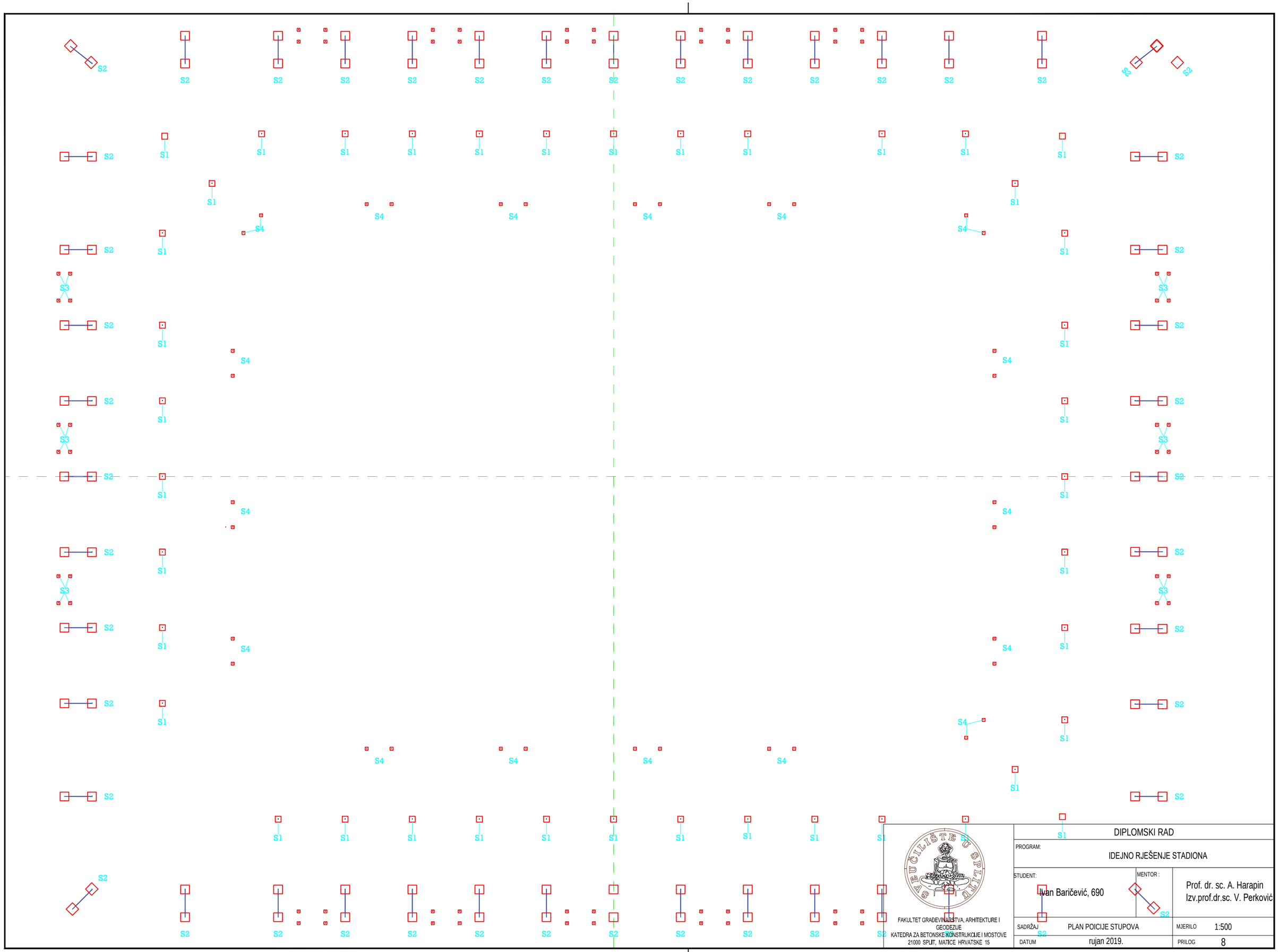
PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

| STUDENT: | MENTOR: | |
|---|---|---|
| Ivan Baričević, 690 | | Prof. dr. sc. A. Harapin<br>Izv.prof.dr.sc. V.Perković |

| | | | |
|---|---|---|---|
| SADRŽAJ: | TLOCRT KROVA STADIONA | MJERILO | 1:200 |
| DATUM: | rujan 2019. | PRILOG | 6 |

# plan pozicija nosača MJ 1:200


GP GN 200x200x12.5
Ispuna GN 168.3x4.5
GP GN 200x200x12.5
Ispuna GN 168.3x4.5
Ispuna GN 168.3x4.5
Ispuna GN 168.3x4.5
Ispuna GN 168.3x4.5
Ispuna GN 168.3x4.5
Ispuna GN 168.3x4.5
Ispuna GN 168.3x4.5
Ispuna SK 33.7X3
Ispuna SK 33.7X3
GP SK 140x140x5
GP SK 140x140x5
GP SK 140x140x5
GP SK 140x140x5
Ispuna SK 33.7X3
Ispuna SK 33.7X3
GP GN 200x200x12.5
Ispuna GN 168.3x4.5
GP GN 300x300x12.5
GP GN 300x300x12.5
GP GN 300x300x12

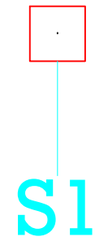



| | |
|---|---|
| | DIPLOMSKI RAD |
| PROGRAM: | IDEJNO RJEŠENJE STADIONA |
| STUDENT: Ivan Baričević, 690 | MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin<br>Izv.prof.dr.sc. V. Perković |
| SADRŽAJ: PLAN POICIJE STUPOVA | MJERILO: 1:500 |
| DATUM: rujan 2019. | PRILOG: 8 |

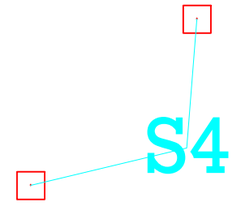
SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

S2

S1



S1



S4

S3

S2

S1

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc. V. Perković

SADRŽAJ: PLAN POZICIJE STUPOVA

MJERILO: 1:100

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 8a

S4

S4

S4

S1

S1

S1

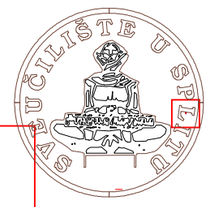
S1

S2

S2

S2

S2




FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc. V. Perković

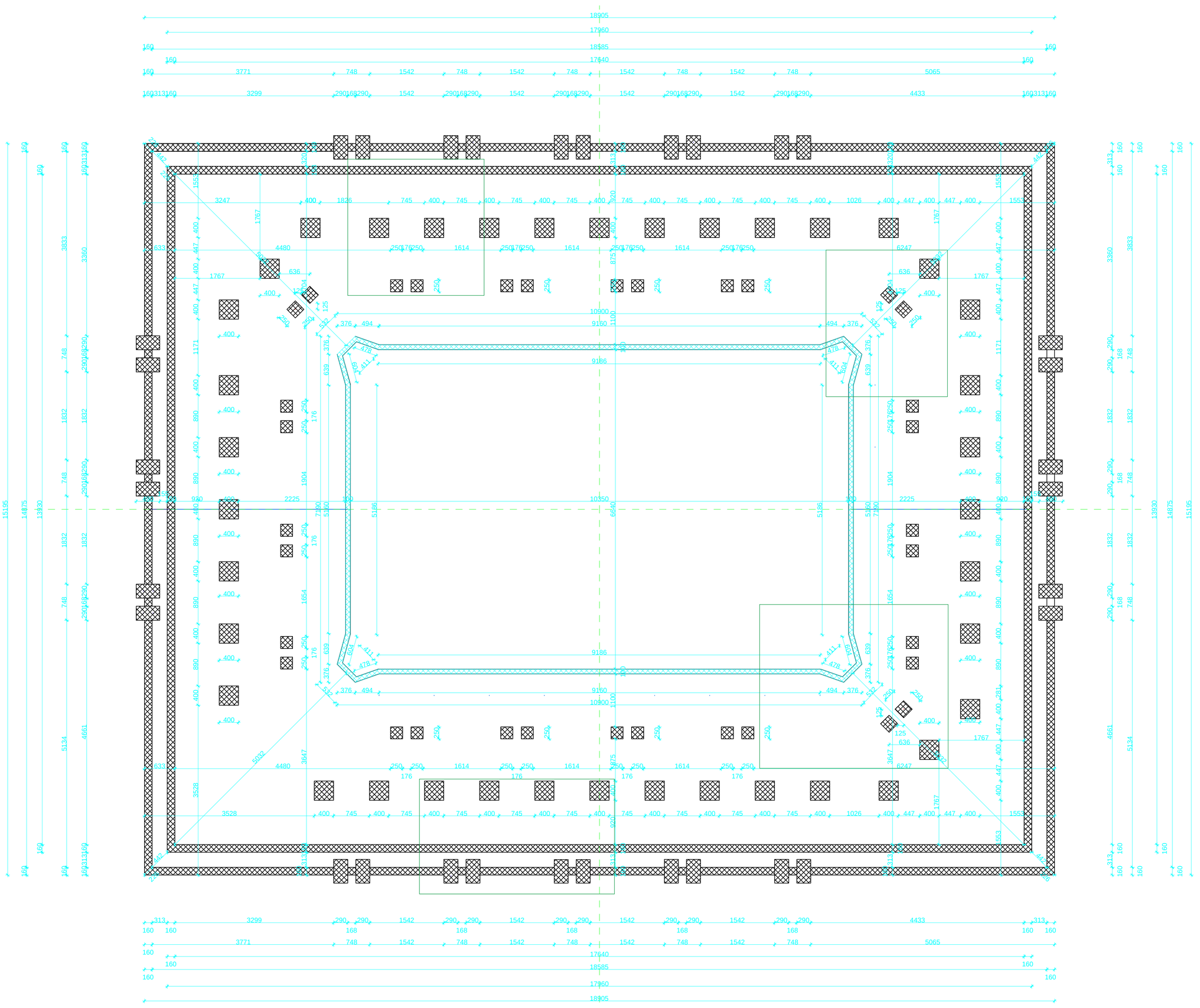
SADRŽAJ: PLAN POZICIJE STUPOVA

MJERILO: 1:100

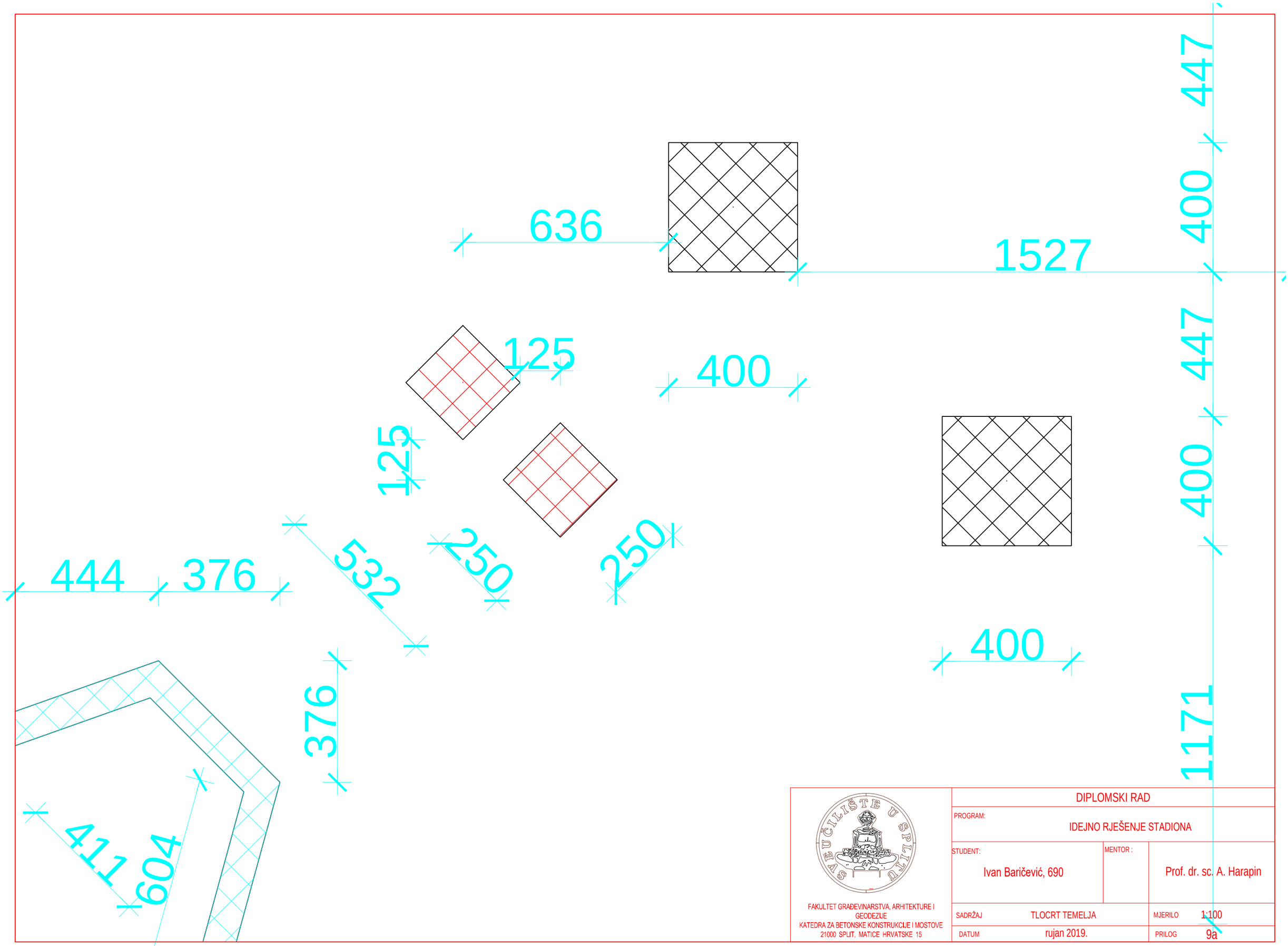
DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 8B

# tlocrt temelja stadiona MJ 1:500



| | | |
|---|---|---|
| FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | |
| | PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA | |
| | STUDENT: Ivan Baričević, 690 | MENTOR: Prof. dr. sc. A. Harapin<br>Izv.prof.dr.sc. V. Perković |
| | SADRŽAJ: TLOCRT TEMELJA | MJERILO: 1:500 |
| | DATUM: rujan 2019. | PRILOG: 9 |




FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

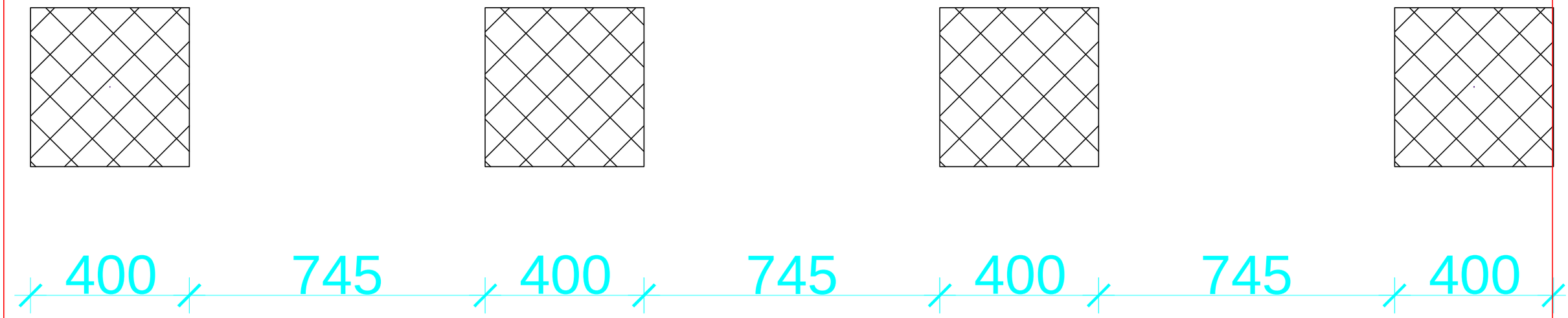
MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin

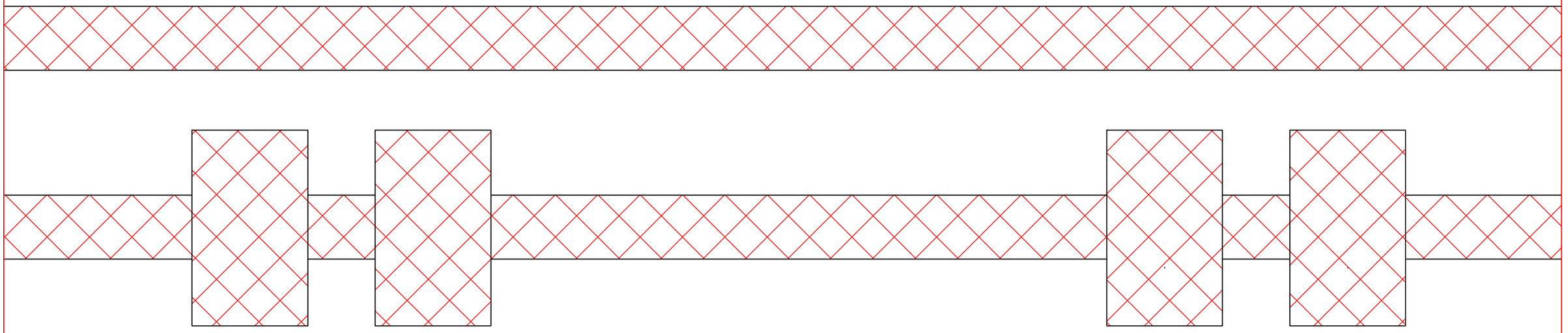
SADRŽAJ: TLOCRT TEMELJA

MJERILO: 1:100

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 9a



SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

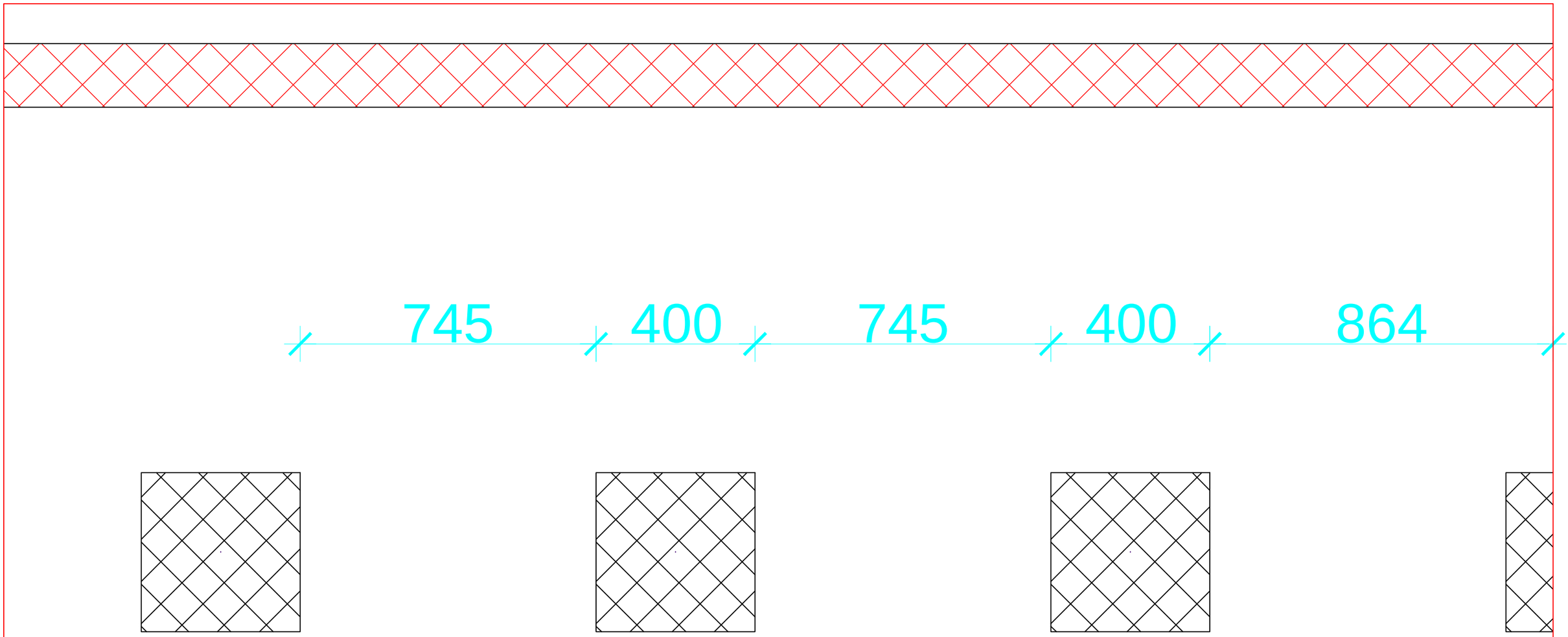
MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin

SADRŽAJ: TLOCRT TEMELJA

MJERILO: 1:100

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 9b




SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

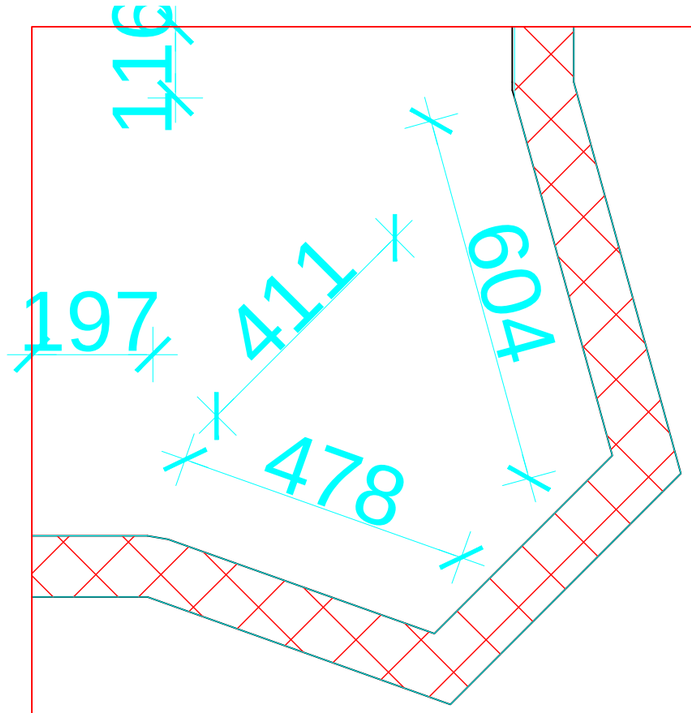
MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin

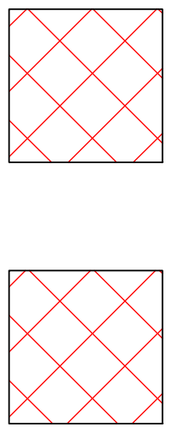
SADRŽAJ: TLOCRT TEMELJA

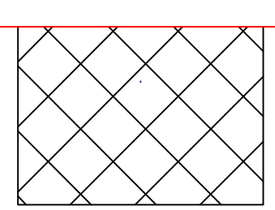
MJERILO: 1:100

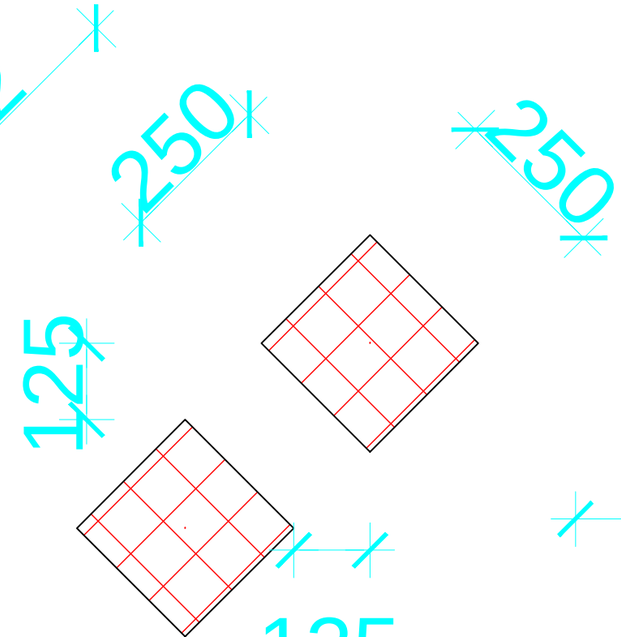
DATUM: rujan 2019.

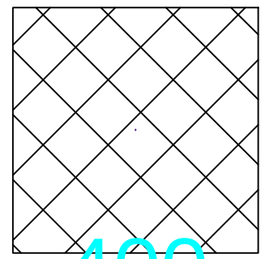
PRILOG: 9c

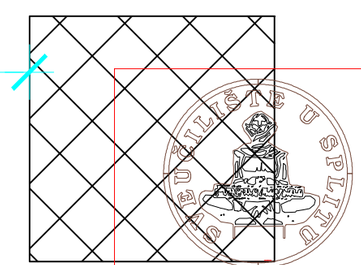


FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin

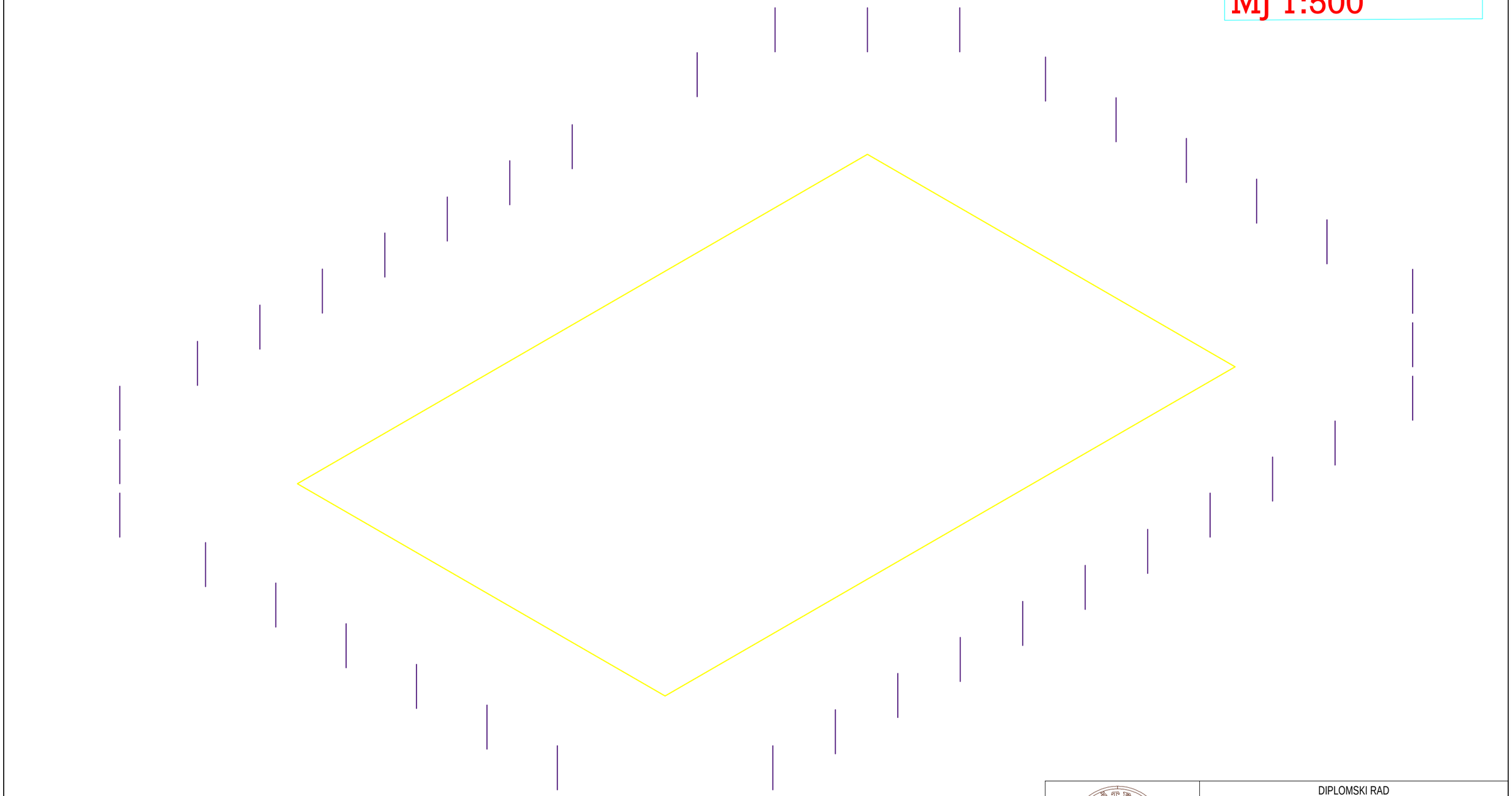
SADRŽAJ: TLOCRT TEMELJA

MJERILO: 1:100

DATUM: rujan 2019.

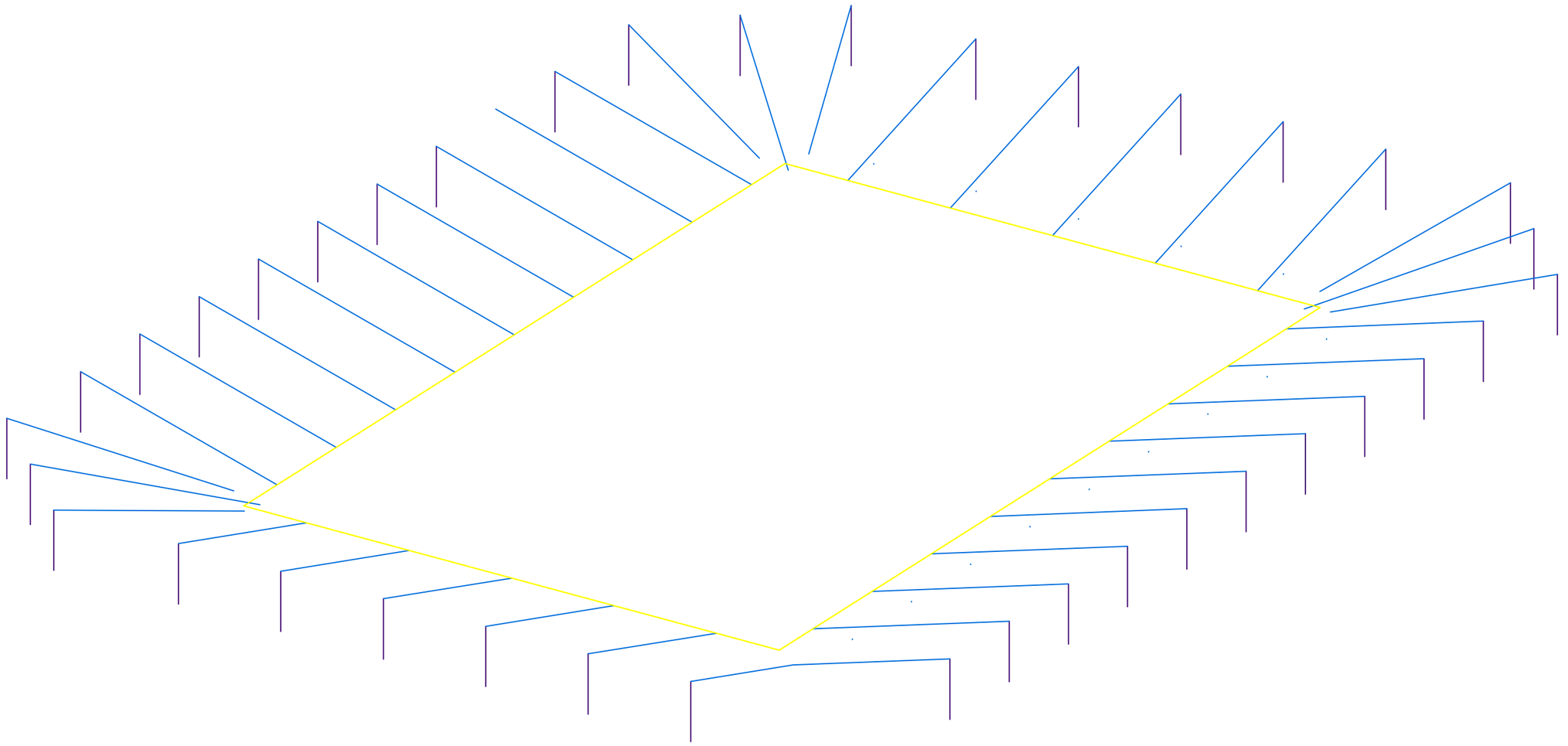
PRILOG: 9d

plan
postavljanja
stupova POZ S1
MJ 1:500



| | | | |
|---|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | | |
| | PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA | | |
| | STUDENT: Ivan Baričević, 690 | MENTOR : | Prof. dr. sc. A. Harapin<br>Izv.prof.dr.sc. V. Perković |
| | SADRŽAJ PLAN IZVOĐENJA KONSRUKCIJE | | MJERILO 1:500 |
| | DATUM rujan 2019. | | PRILOG 10 |

plan
polaganja
poprečnih nosača
MJ 1:500



SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc. V. Perković

SADRŽAJ: PLAN IZVOĐENJA KONSRUKCIJE

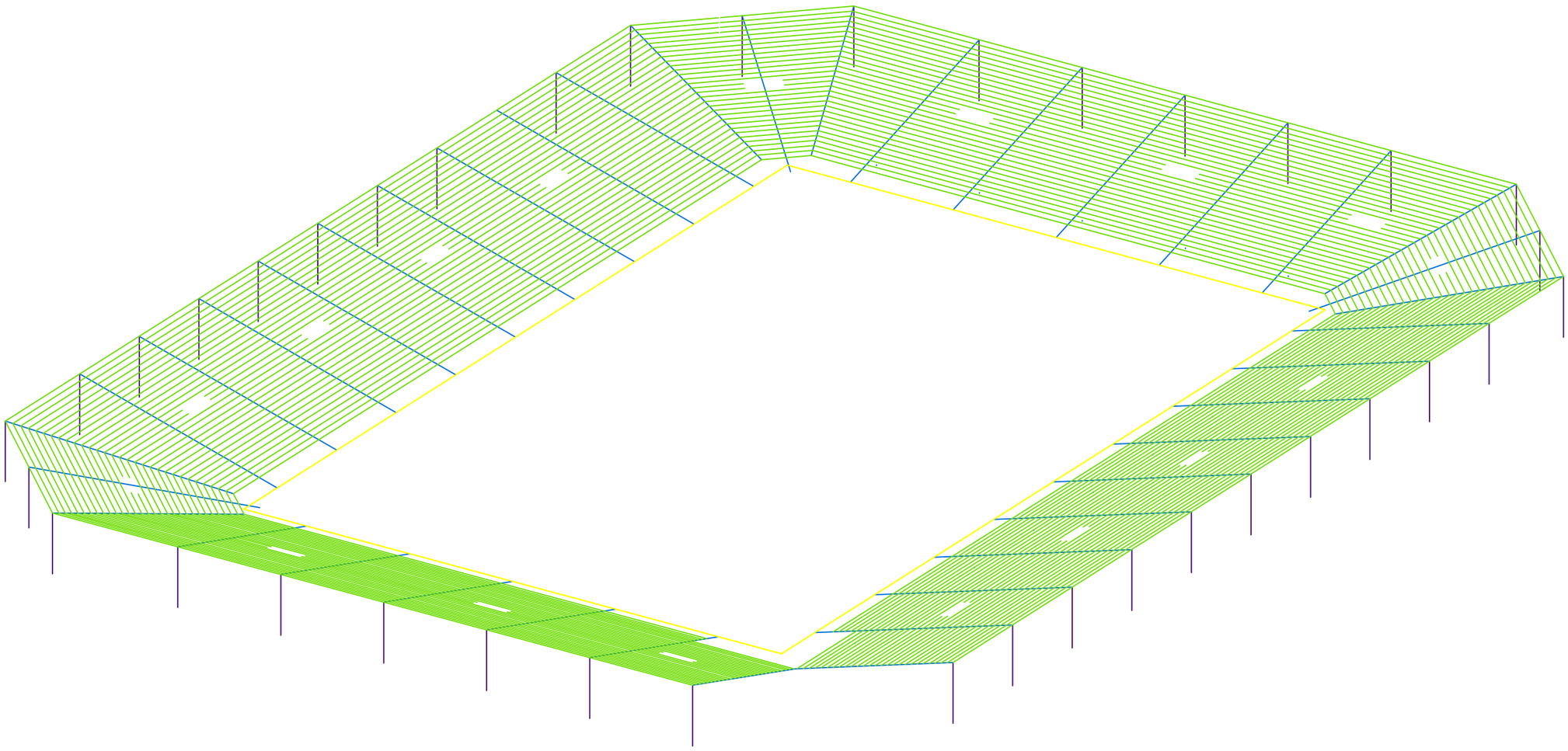
MJERILO: 1:500

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 11

# plan polaganja uzdužnih nosača donji prsten

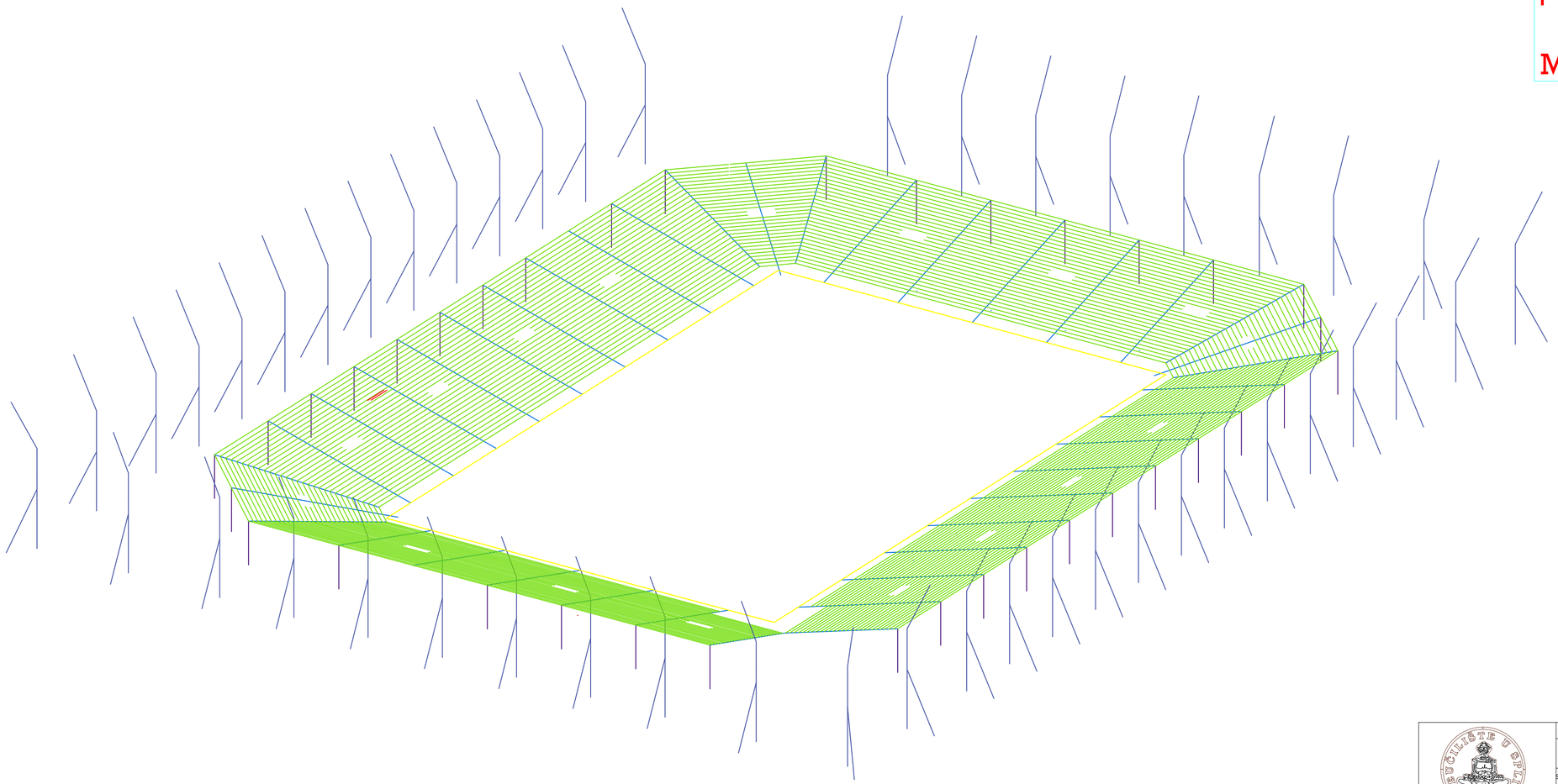
MJ 1:500



| | | | |
|---|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU | DIPLOMSKI RAD | | |
| | PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA | | |
| | STUDENT: Ivan Baričević, 690 | MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin<br>Izv.prof.dr.sc. V. Perković | |
| FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | SADRŽAJ: PLAN IZVOĐENJA KONSRUKCIJE | MJERILO: 1:500 | |
| | DATUM: rujan 2019. | PRILOG: 12 | |

# plan
# montaže stupova
# POZ S2

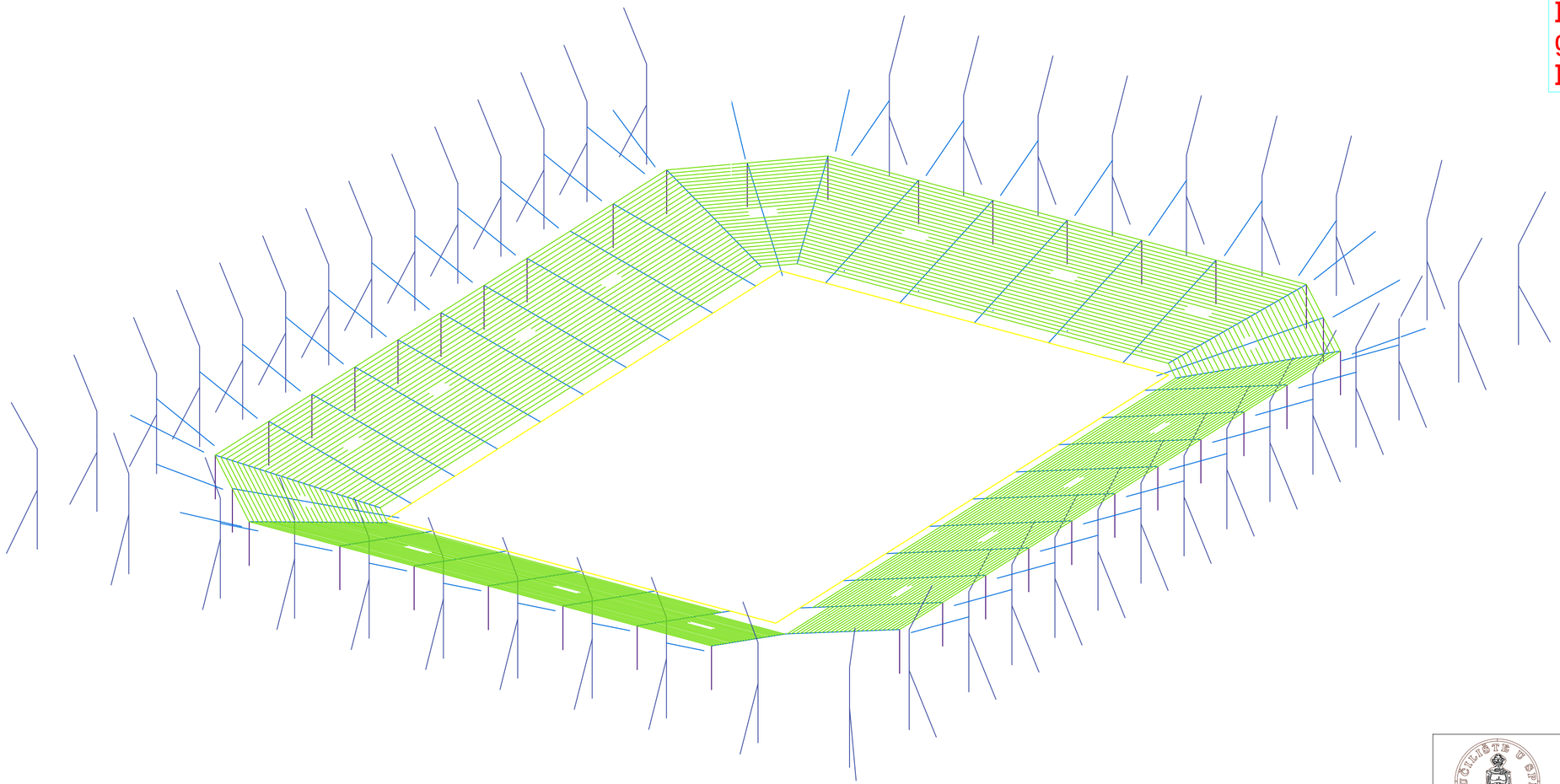
# MJ 1:500




FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15


| | | | |
|---|---|---|---|
| DIPLOMSKI RAD | | | |
| PROGRAM: | IDEJNO RJEŠENJE STADIONA | | |
| STUDENT: | Ivan Baričević, 690 | MENTOR : | Prof. dr. sc. A. Harapin<br>Izv.prof.dr.sc. V. Perković |
| SADRŽAJ | PLAN IZVOĐENJA KONSRUKCIJE | MJERILO | 1:500 |
| DATUM | rujan 2019. | PRILOG | 13 |

# plan polaganja poprečnih nosača gornjeg prstena MJ 1:500



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc. V. Perković

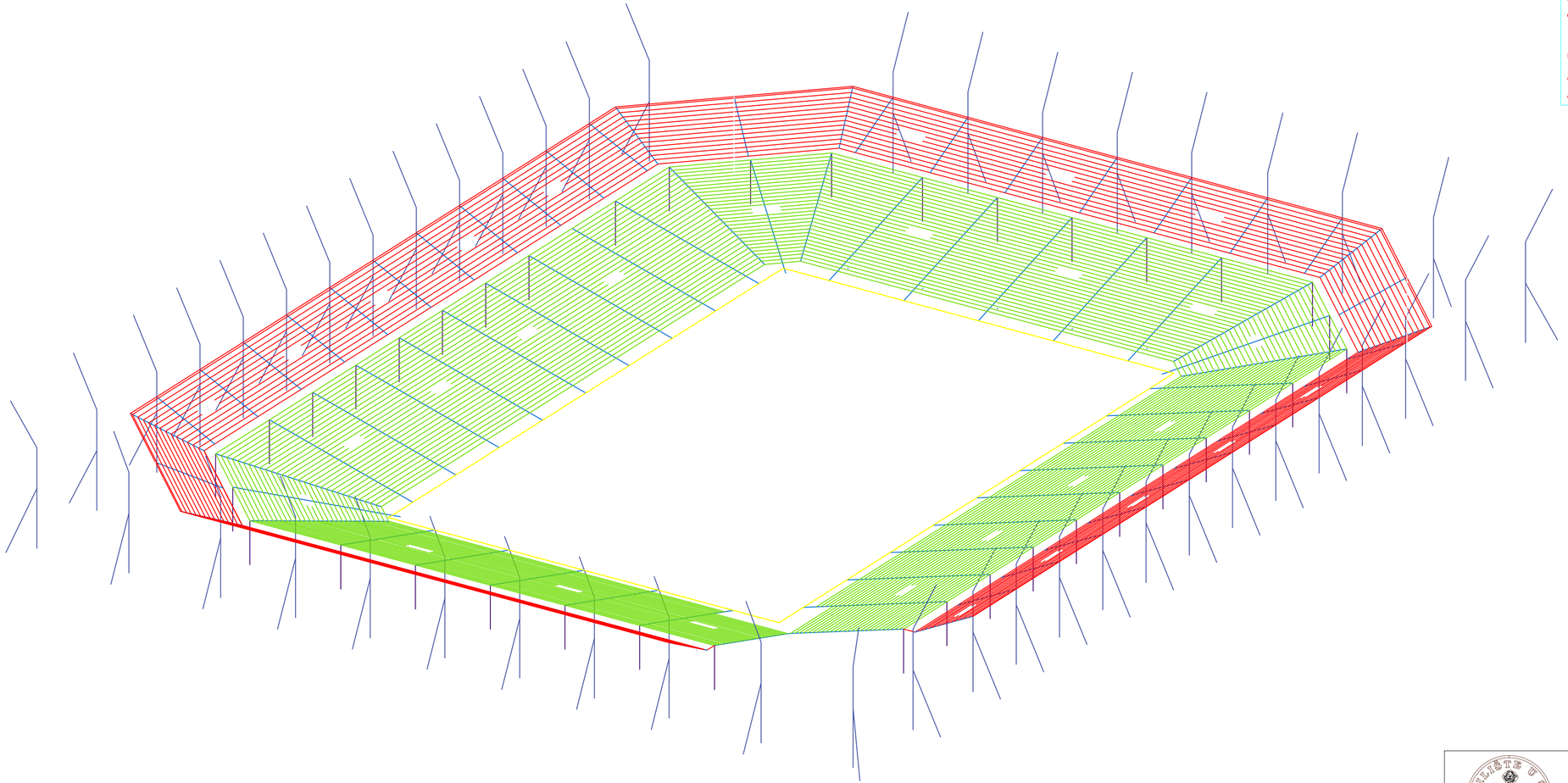
SADRŽAJ: PLAN IZVOĐENJA KONSRUKCIJE

MJERILO: 1:500

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 14

# plan polaganja uzdužnih nosača gornjeg prstena MJ 1:500




FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15


DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc. V. Perković

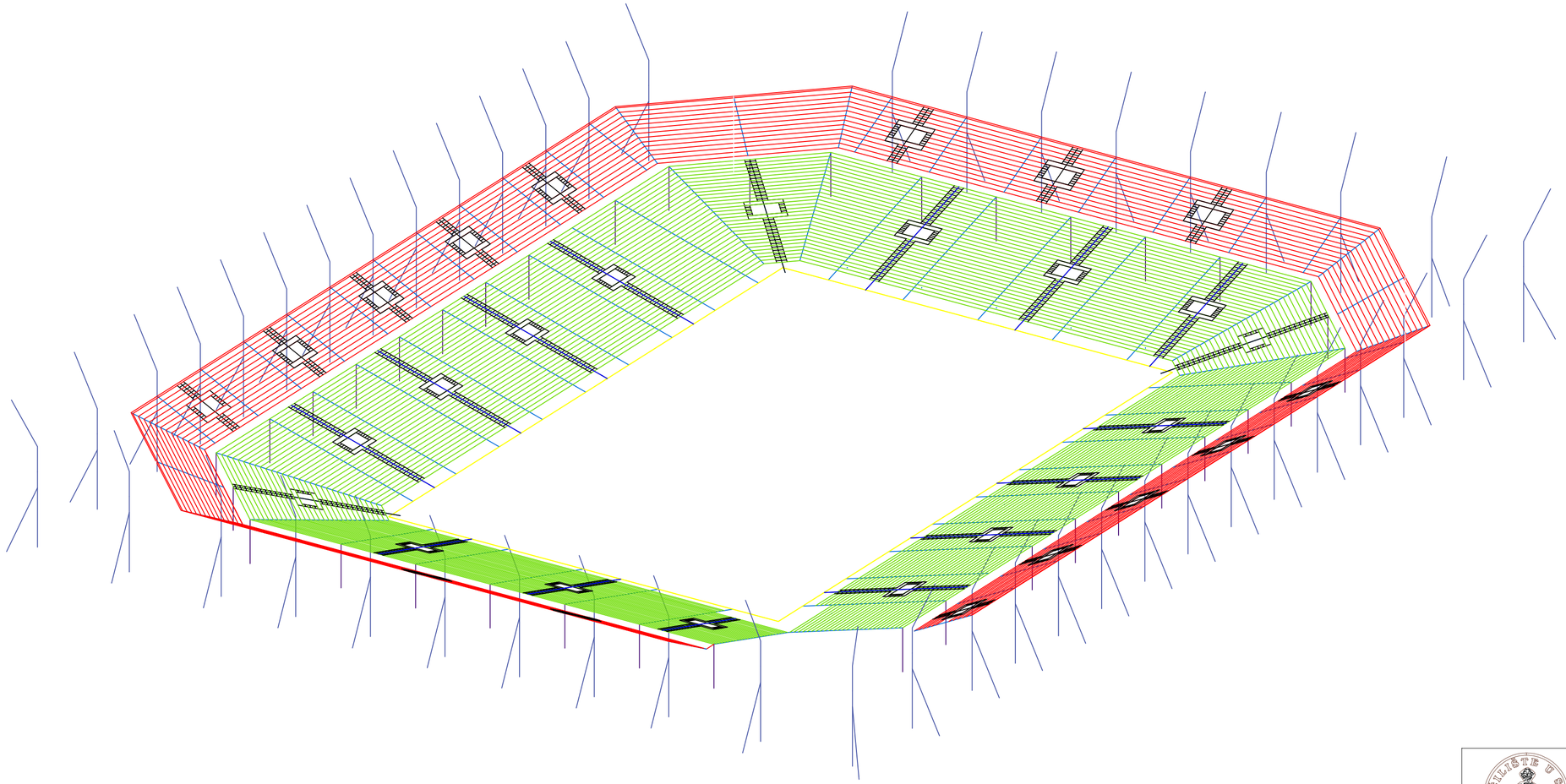
SADRŽAJ: PLAN IZVOĐENJA KONSRUKCIJE

MJERILO: 1:500

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 15

# plan polaganja unutarnjeg stubišta na tribinama MJ 1:500




FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15


DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc. V. Perković

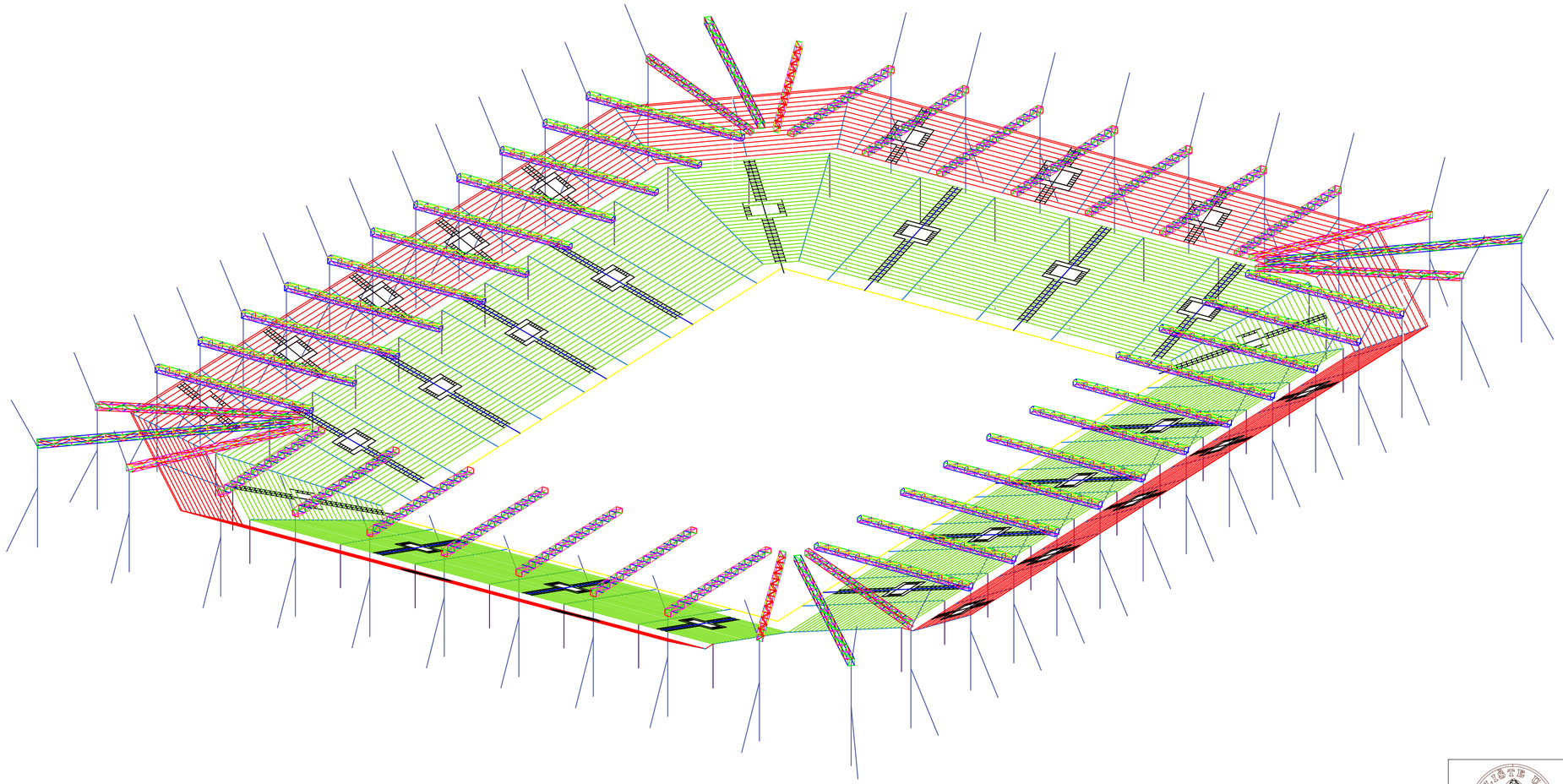
SADRŽAJ: PLAN IZVOĐENJA KONSRUKCIJE

MJERILO: 1:500

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 16

# plan polaganja glavnog nosača krovne konstrukcije MJ 1:500




FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15


DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR : Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc. V. Perković

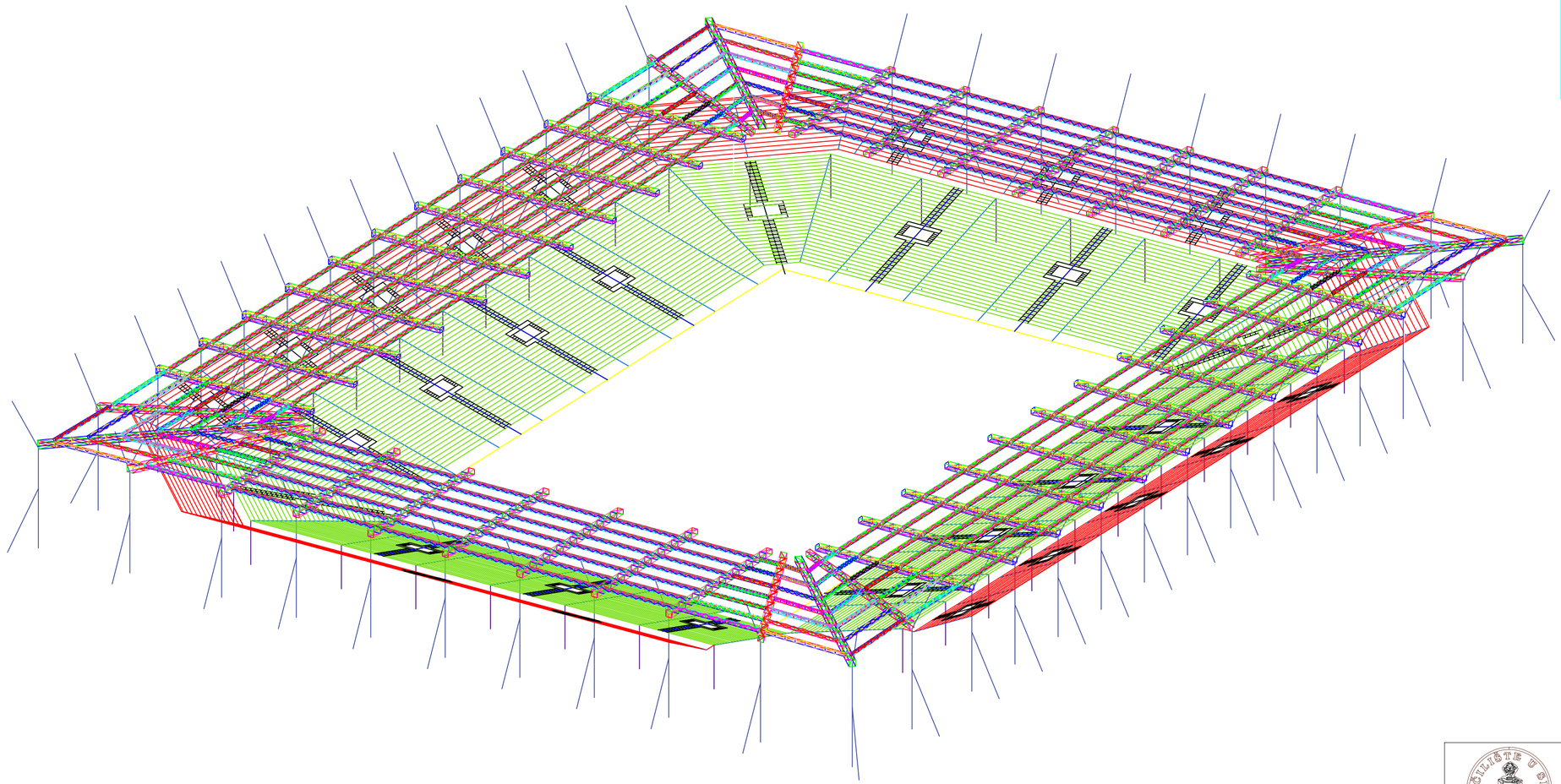
SADRŽAJ: PLAN IZVOĐENJA KONSRUKCIJE

MJERILO: 1:500

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 17

# plan polaganja sekundarne krovne konstrukcije MJ 1:500




FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15


DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: IDEJNO RJEŠENJE STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR: Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc. V. Perković

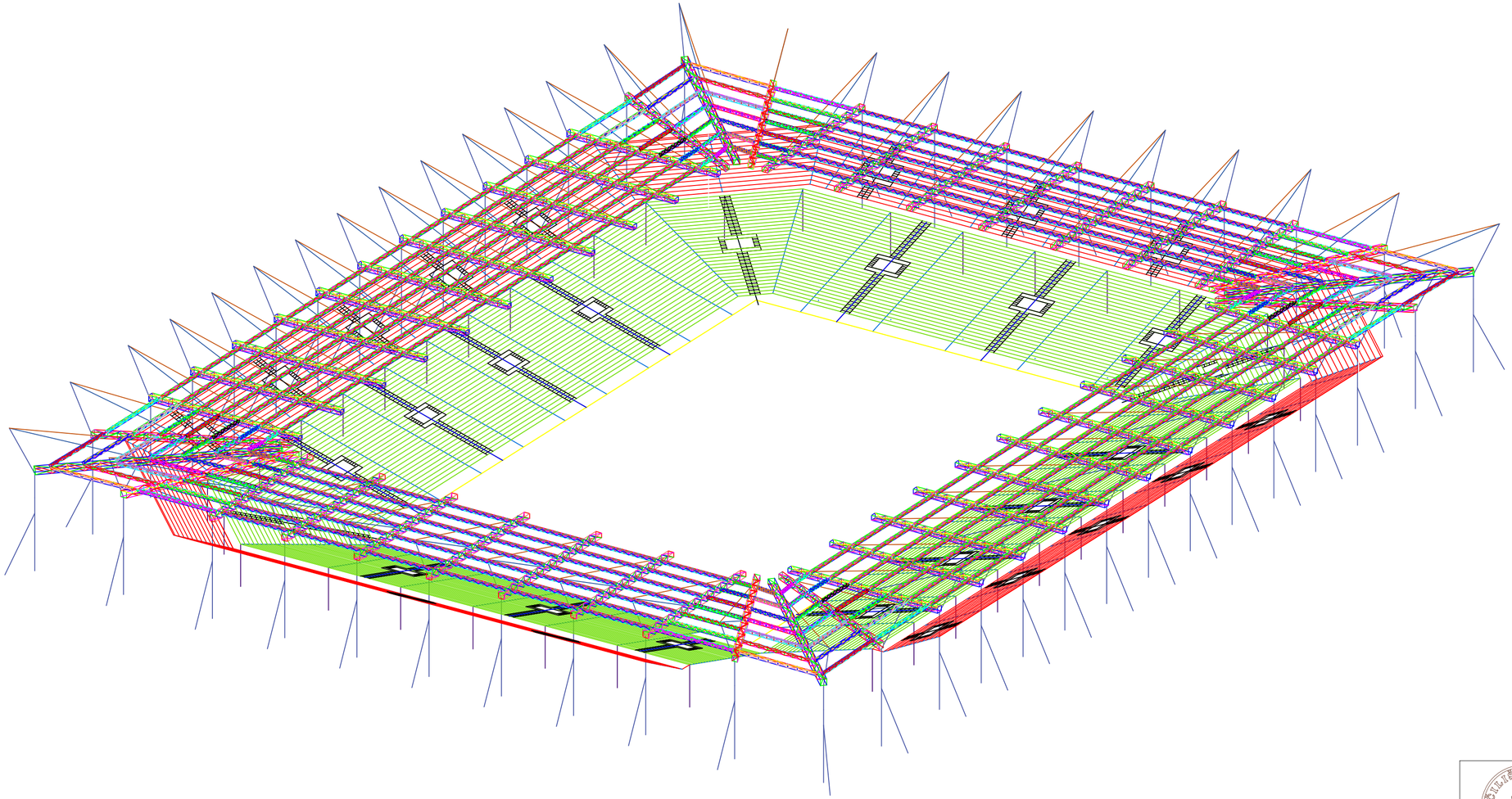
SADRŽAJ: PLAN IZVOĐENJA KONSRUKCIJE

MJERILO: 1:500

DATUM: rujan 2019.

PRILOG: 18

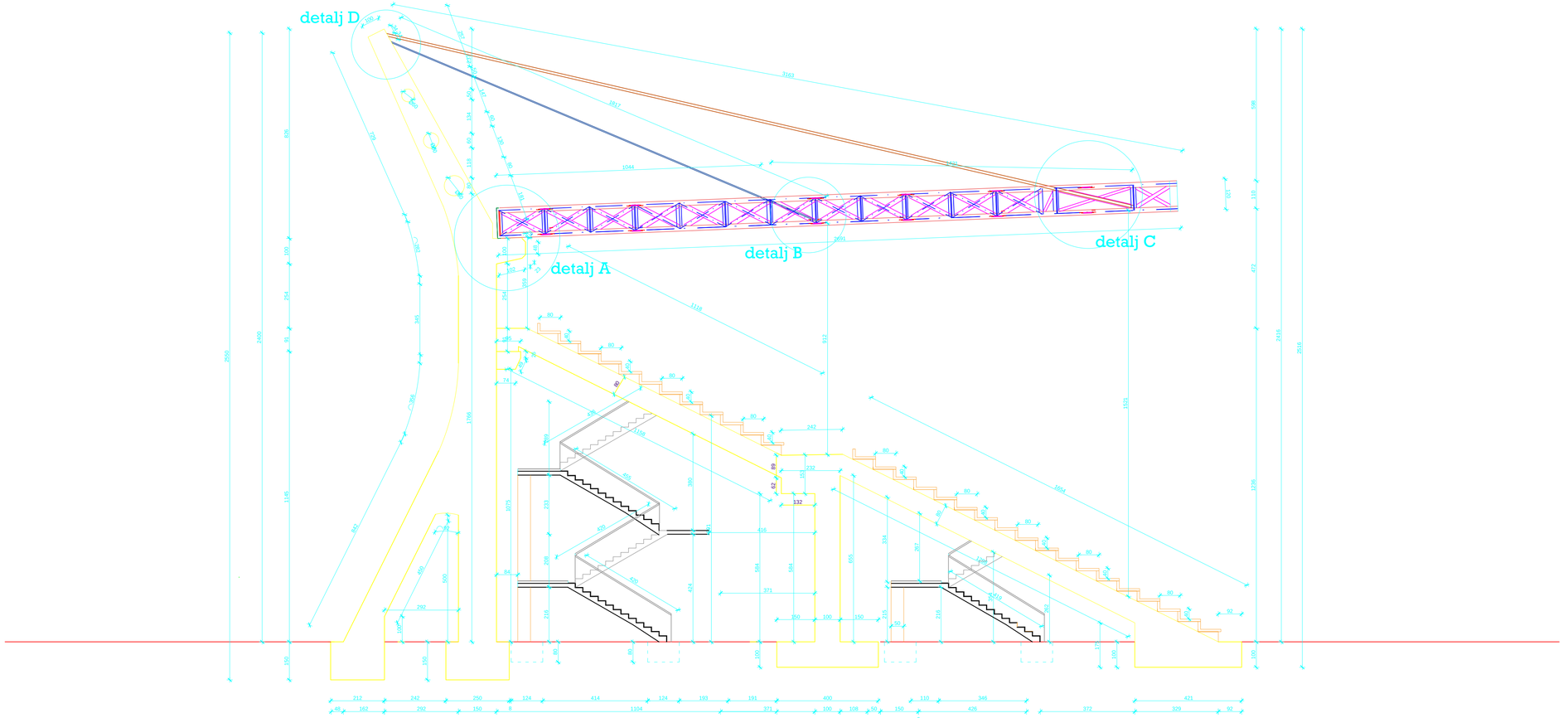
# plan polaganja čeličnih sajli krovne konstrukcije MJ 1:500




FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

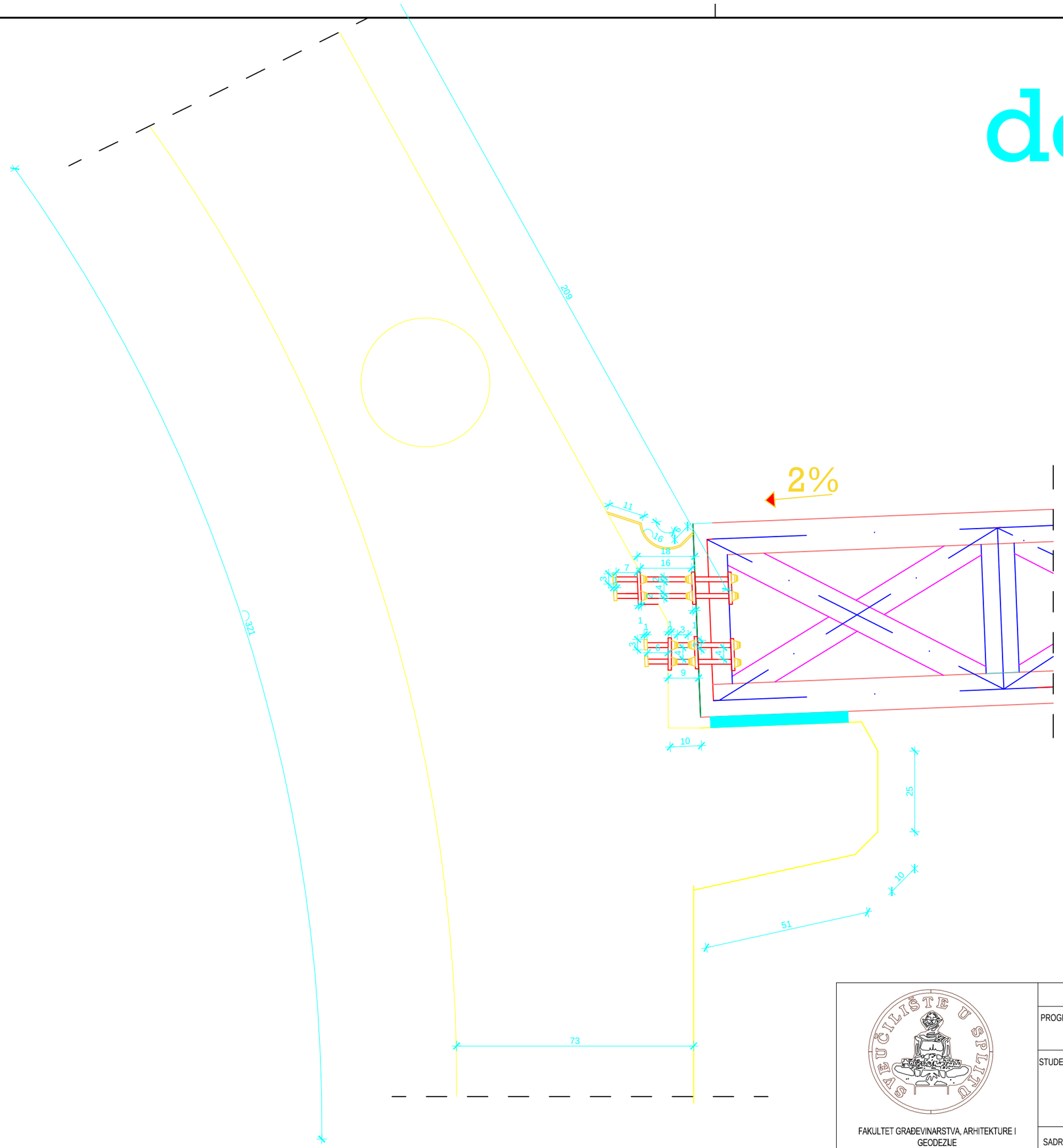

| | | | |
|---|---|---|---|
| DIPLOMSKI RAD | | | |
| PROGRAM: | IDEJNO RJEŠENJE STADIONA | | |
| STUDENT: | Ivan Baričević, 690 | MENTOR : | Prof. dr. sc. A. Harapin<br>Izv.prof.dr.sc. V. Perković |
| SADRŽAJ | PLAN IZVOĐENJA KONSRUKCIJE | MJERILO | 1:500 |
| DATUM | rujan 2019. | PRILOG | 19 |

# Karakteristični presjek kroz stadion
# MJ 1:100




| | |
|---|---|
| FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE<br>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD |
| PROGRAM: | IDEJNI PROJEKT STADIONA |
| STUDENT: Ivan Baričević, 690 | MENTOR: Prof. dr. sc. A. Harapin<br>Izv.prof.dr.sc.V.Perković |
| SADRŽAJ: KARAKTERISTIČNI PRESJEK KROZ STADION | MJERILO: 1:100 |
| DATUM: 2019. | PRILOG: 20 |

# detalj A




SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: iDEJNI PROJEKT STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR: Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc.V.Perković

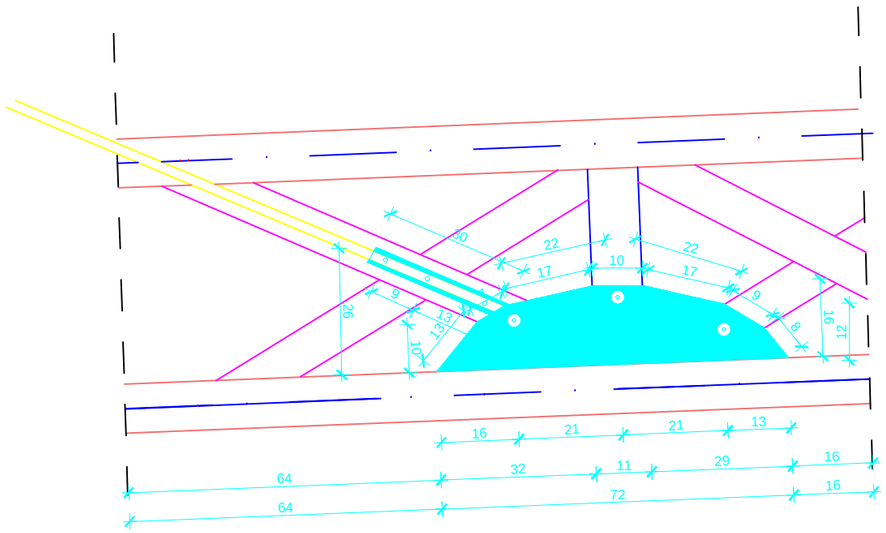
SADRŽAJ: DETALJ KONSTRUKCIJE A

MJERILO: 1:25

DATUM: 2019.

PRILOG: 21

# detalj B




FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

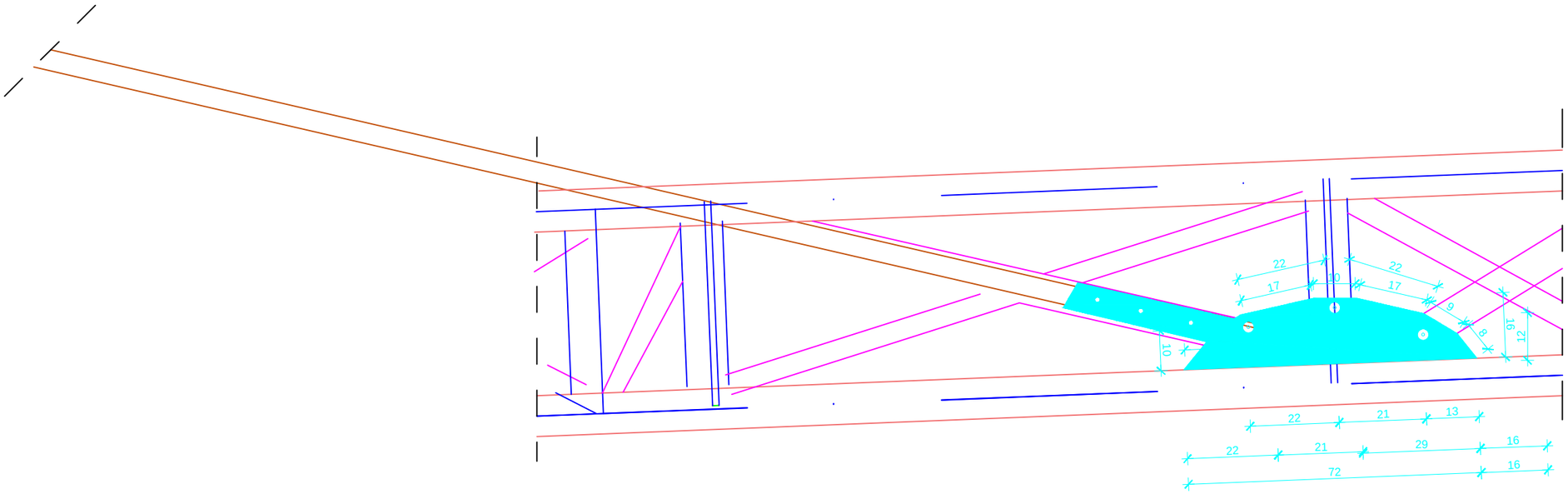
PROGRAM: iDEJNI PROJEKT STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR: Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc.V.Perković

| | | | |
|---|---|---|---|
| SADRŽAJ | DETALJ KONSTRUKCIJE B | MJERILO | 1:25 |
| DATUM | 2019. | PRILOG | 22 |

# detalj C




FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: iDEJNI PROJEKT STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR: Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc.V.Perković

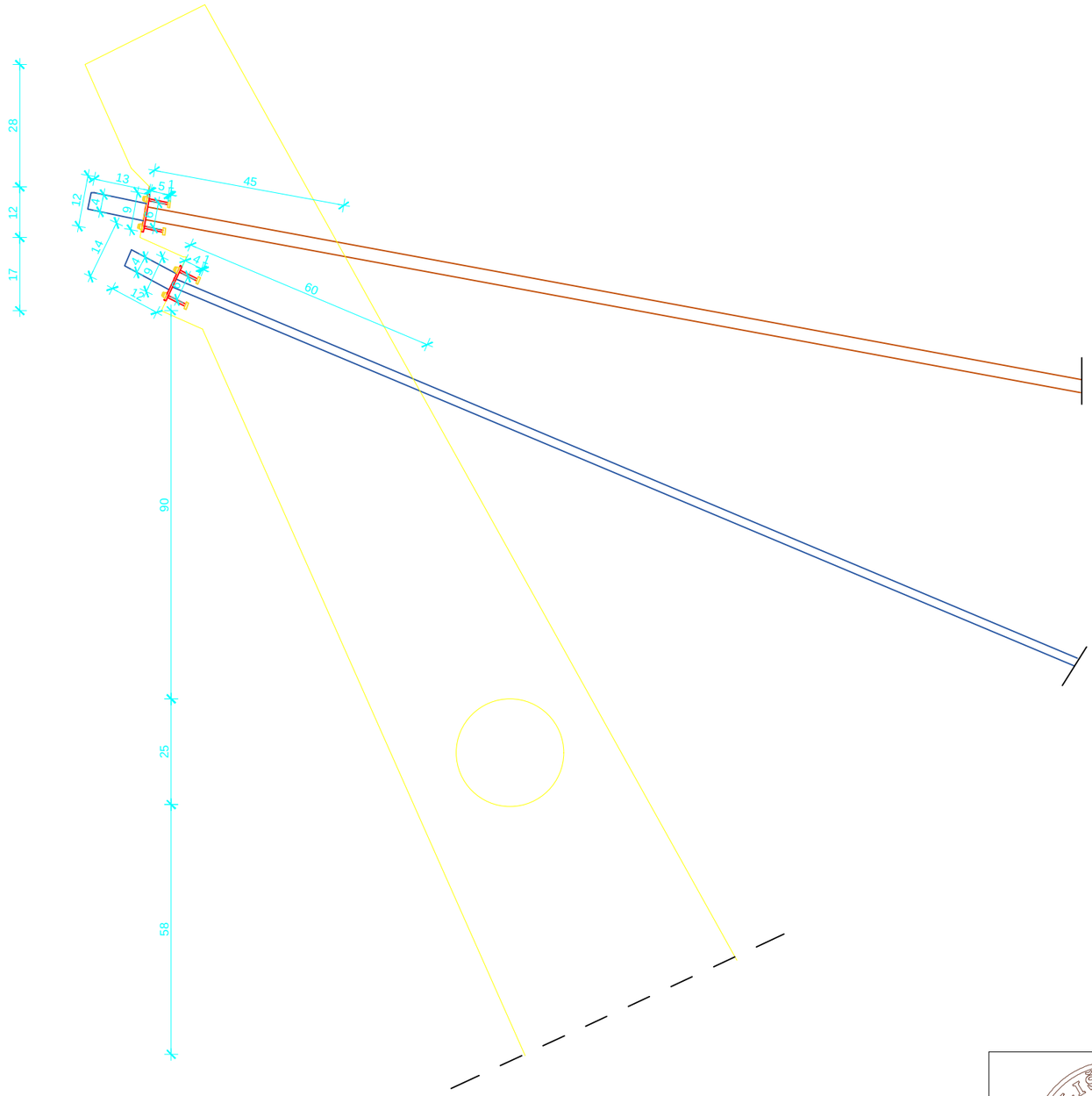
SADRŽAJ: DETALJ KONSTRUKCIJE C

MJERILO: 1:25

DATUM: 2019.

PRILOG: 23

# detalj D




SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

PROGRAM: iDEJNI PROJEKT STADIONA

STUDENT: Ivan Baričević, 690

MENTOR: Prof. dr. sc. A. Harapin
Izv.prof.dr.sc.V.Perković

| | | | |
|---|---|---|---|
| SADRŽAJ | DETALJ KONSTRUKCIJE D | MJERILO | 1:25 |
| DATUM | 2019. | PRILOG | 24 |

# 19. LITERATURA

[1] EN 1990:2008 Eurokod - Osnove projektiranja konstrukcija (EN 1990:2008 + A1: 2005 + AC:2008).

[2] EN 1991: Eurokod 1 – Djelovanja na konstrukcije (EN 1991:2002)

[3] EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004 + AC:2008)

[4] EN 1998:2008 Eurokod 8 – Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004)

[5] A. Harapin, J. Radnić: Osnove betonskih konstrukcija, interna skripta – zapisi s predavanja; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, Split, listopad 2013.

[6] J. Radić i suradnici: Betonske konstrukcije – Priručnik, Zagreb 2006.

[7] I. Tomičić: Betonske konstrukcije - 3. Izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Zagreb 1996

[8] Z. Sorić, T. Kišiček: Betonske konstrukcije 2, Sveučilište u Zagrebu, 2018

[9] „URBS“, Gradski stadion Split, Vuko Bombardelli

[10] „Prostor - Znanstveni časopis za arhitekturu i urbanizam“, Projekti Frane Gotovca za Hajdukov stadion u Splitu, Vesna Perković Jović

[11] Montaža izgradnje - tehnološki proces montaže – Alen Harapin

[12] Opterećenje u zgradarstvu, nastavni materijali – Alen Harapin

[1] Microsoft Office Word 2013, Microsoft nv, Copyright © 2013.

[2] Microsoft Office Excel 2013, Microsoft nv, Copyright © 2013.

[3] AutoCAD 2016, Autodesk nv, Copyright © 2016.

[4] IDEA Statica 10, Copyright © 2019.

[5] SCIA Engineer 2019, Nemetschek Scia nv, Copyright © 2019.

[6] Aspalathos Section Design