

Projekt drvene konstrukcije otvorenog paviljona

Šiško, Kristijan

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:389523>

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

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

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Kristijan Šiško

PROJEKT DRVENE KONSTRUKCIJE
OTVORENOG PAVILJONA

diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI STUDIJ

Kristijan Šiško

PROJEKT DRVENE KONSTRUKCIJE
OTVORENOG PAVILJONA

diplomski rad

Mentor:

prof.dr.sc. Vlatka Rajčić, dipl.ing.grad.

Komentor:

Jure Barbalić, mag.ing.aedif.

Zagreb, 2024.



TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta: **Kristijan Šiško**

JMBAG: **0082061376**

Diplomski rad iz predmeta: **Drvene konstrukcije 2**

Naslov teme
diplomskog rada:

| | |
|-----|--|
| HR | Projekt drvene konstrukcije otvorenog paviljona |
| ENG | Design project of the open pavilion |

Opis teme diplomskog rada:

Kandidat ima zadatak projektirati drvenu konstrukciju otvorenog paviljona tlocrtnog oblika jednakostraničnog trokuta duljine stranica od 125m. Konceptcija konstrukcije je prostorna. Nosači glavnog rasponskog sustava, statičkog sustava trozglobnog luka, oslonjeni su na tlo u osima koje su za 10m kraće od pretpostavljene duljine stranice trokuta i okomite na iste. Time se definira najveći osni raspon od 105m, pri čemu je osna strelica luka jednaka duljini od 20m. Tjemena lukova potrebno je povezati horizontalnim grednim nosačima. Prostornu stabilizaciju potrebno je postići čeličnim tlačno-vlačnim elementima postavljenima u petinama glavnog rasponskog sustava. Svi drveni elementi moraju biti izrađeni od lijepljenog lameliranog drva kvalitete do najviše GL32h, a čelični od pocinčanog čelika kvalitete do najviše S355J2.

Projekt treba sadržavati: - analizu opterećenja; - proračun nosivih elemenata; - izvedbene nacрте karakterističnih detalja

- iskaz materijala

- plan montaže konstrukcije

Kandidat će se pri proračunu koristiti nizom normi HRN EN 1990-1998.

Datum: **17. travanj 2023.**

Komentor: **Jure Barbalić**

(Ime i prezime komentora)

Mentor: **prof.dr.sc. Vlatka Rajčić**

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)



SAŽETAK:

U okviru diplomskog rada izrađen je projekt drvene konstrukcije otvorenog paviljona tlocrtnog oblika jednakostraničnog trokuta duljine stranica od 125 m. Konceptija konstrukcije je prostorna. Nosači glavnog rasponskog sklopa, statičkog sustava trozglobnog luka, oslonjeni su na tlo u osima koje su za 10 m kraće od pretpostavljene duljine stranice trokuta i okomite na iste. Time se definira najveći osni raspon od 105 m, pri čemu je osna strelica luka jednaka duljini od 20 m. Tjemena lukova povezana su horizontalnim grednim nosačima. Prostorna stabilizacija je postignuta čeličnim vlačno-tlačnim elementima postavljenima u petinama glavnog rasponskog sustava. Za pokrov je odabran trapezni čelični lim. Rad sadrži dispozicijsko rješenje, analizu opterećenja, statički proračun i dimenzioniranje elemenata konstrukcije, zatim, razradu i dimenzioniranje detalja spajanja te izvedbene nacрте. Također, specificiran je način transporta i montaže konstrukcijskih elemenata. Zaključno, dana je i vizualizacija paviljona.

Ključne riječi: drvena konstrukcija, lamelirani nosači, trozglobni luk, veliki rasponi, kupola

SUMMARY:

As part of the master thesis, a project of a timber structure of an open pavilion with a ground plan shape of an equilateral triangle with sides of 125 m was done. The construction concept is spatial. The supports of the main span assembly, the static system of the three-hinges arch, are supported on the ground in the sides that are 10 m shorter than the assumed length of the sides of the triangle and perpendicular to them. This defines the largest axial span of 105 m, where the axial arrow of the bow is equal to the length of 20 m. The crowns of the arches are connected by horizontal beams. Spatial bracing system was made of steel tension-compression elements placed in fifths of the main span assembly. A trapezoidal steel sheets were chosen for the cover. The work contains a blueprint, load analysis, static calculation and dimensioning of structural elements, then, elaboration and dimensioning of connection details as well as executive drawings. Also, the method of transportation and assembly of structural elements is specified. Finally, a visualization of pavilion is given.

Key words: timber structure, laminated girders, three-hinged arch, large spans, dome



SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 5 |
| 2. TEHNIČKI OPIS..... | 6 |
| 3. ANALIZA OPTEREĆENJA..... | 8 |
| 4. STATIČKI PRORAČUN | 27 |
| 5. DIMENZIONIRANJE NOSIVIH ELEMENATA | 45 |
| 6. RAZRADA I PRORAČUN DETALJA..... | 62 |
| 7. TRANSPORT I MONTAŽA | 76 |
| 8. ISKAZ MATERIJALA..... | 79 |
| 9. VIZUALIZACIJA | 81 |
| 10. ZAKLJUČAK..... | 84 |
| 11. LITERATURA | 85 |
| 12. GRAFIČKI PRILOZI: | 86 |



1. UVOD

U posljednjih nekoliko desetljeća upotreba lijepljenog lameliranog drveta u svijetu, ali i u Hrvatskoj, kao glavnog nosivog elemenata u raznim konstrukcijama je sve veća. Ovaj nam materijal pruža nove graditeljske izazove i tako zahtjeva svoje mjesto u sadašnjosti i budućnosti građevinarstva. Ljepota i elegancija u kombinaciji sa izrazitom nosivošću i efikasnošću čini ovaj materijal vrlo posebnim. Jedan od razloga povećanja upotrebe lijepljenog lameliranog drveta je velika dostupnost komponenti od koje se izrađuje sam materijal. Sve češćom upotrebom lijepljenog lameliranog drveta dolazi se do novih saznanja i razvitka tehnologije izgradnje te time iz godine u godinu pomičemo granicu mogućnosti samog materijala.

Prednosti lijepljenog lameliranog drveta kao što su mogućnosti velikih poprečnih presjeka, oblikovanje zakrivljenih ili ravnih elemenata izrazito velikih duljina sa povećanom čvrstoćom i krutosti u usporedbi sa punim drvetom, te manja vlastita težina čini ovaj materijal solidnim izborom u projektiranju konstrukcija. Isto tako, dostatne je otpornosti na požar, koroziju i na kemijske utjecaje. Također, uzimajući u obzir utjecaj ljudi na okoliš pri proizvodnji određenih materijala, ne može se zaobići činjenica manjeg ugljičnog otiska u proizvodnji lijepljenog lameliranog drveta u uspoređi s klasičnim materijalima u izgradnji, primjerice s betonom. Primjenom ovako svestranog materijala imamo mogućnost raznolikog oblikovanja objekata, od stambenih ili sportskih objekata, do mostova ili velikih otvorenih koncertnih paviljona.

Projektiranjem drvene konstrukcije otvorenog paviljona od lijepljenog lameliranog drva koja je tema ovog diplomskog rada, provesti će se analiza utjecaja geometrije nosača na njegovu vlastitu stabilnost, globalnu stabilnost cijele konstrukcije te će se ispuniti projektni zahtjevi za granična stanja nosivosti i granična stanja uporabivosti nosive konstrukcije. Postupkom projektiranja konstrukcija od lijepljenog lameliranog drva primjenjuju se europske norme i standardi *HRN EN 1990 – HRN EN 1998*.



2. TEHNIČKI OPIS

2.1. Općenito o projektu

Projektom je dano rješenje otvorenog koncertnog paviljona u Zagrebu. Paviljon je prvenstveno namijenjen glazbenim sadržajima i događanjima, ali zbog svoje funkcionalnosti i prostornih gabarita je moguća različita primjena. Tlocrt konstrukcije je u obliku jednakostraničnog trokuta duljina stranica od 125 m. Predviđeno je pokrivanje konstrukcije trapeznim limom debljine 80 mm. Vanjski raspon otvorenog paviljona jednak je duljini stranice od 105 m, a raspon u smjeru težišnica je 97 m. Maksimalna visina građevine je 21,15 m.

2.2. Nosiva konstrukcija

Može se reći da se rasponski sklop, statičkog sustava trozglobnog luka koji je izrađen od lijepljenih lameliranih nosača pruža u tri glavna smjera. Svaki se od 3 glavna smjera sastoji od lučnih nosača koji se oslanjaju na ležaj s jedne i na horizontalni gredni nosač s druge strane. Glavni lukovi oslonjeni su na tlo u osima koje su za 10 m kraće od pretpostavljene duljine stranice trokuta od 125 m i okomite na iste. Time je definiran raspon vanjskog luka konstrukcije od 105 m, pri čemu je strelica luka duljine 20 m. Lukovi u smjeru stranice trokuta su ravni, a svi unutarnji su tlocrtno zaokrenuti što rezultira promjenom razmaka lukova e . Promjena razmaka vodi do povećanja raspona svakog idućeg luka te se dobiva najveći polovični raspon luka u smjeru težišnice trokuta u iznosu od 60 m. Razmaci nosača su na mjestu ležaja najmanji i iznose 58 cm, a u tjemenu luka najveći iznosa 3,6 m. Svi lukovi imaju istu zajedničku visinu, no različitu zakrivljenost sa najvećom zakrivljenosti luka u smjeru težišnice. Lukovi su materijala GL28h te su konstantnog poprečnog presjeka dimenzija 32/220 cm. Oslonac lukovima u tjemenu konstrukcije pružaju 3 gredna nosača koji se pružaju u smjeru težišnice trokuta. Lukovi se oslanjaju na grede s obje strane pod različitim kutovima. Nalaze se na visini od 20 m te su duljine od 36 m. Grede su materijala GL28h te su konstantnog poprečnog presjeka dimenzija 32/220 cm. Međudjelovanje stabilnosti lukova postignuto je izvedbom stabilizacije u donjoj zoni nosača. Vlačno-tlačne stabilizacije nalaze se na petinama duljina luka. Zbog promjene razmaka nosača, mijenjaju se I dimenzije stabilizacije te imaju najveću osnu duljinu u 4/5 duljine luka. Poprečnog su presjeka SHS200x10, klase 1 i materijala S355JR. Za priključke elemenata preko čeličnih ploča korišteni su trnovi M20 i vijci M20 prema DIN 975.



2.3. Proračun konstrukcije

Proračun unutarnjih sila, momenata savijanja i dimenzioniranje elemenata drvene konstrukcije provedeno je u skladu s Eurocodom za djelovanje sljedećih opterećenja:

- stalno opterećenje od vlastite težine konstrukcije (težina glavnih i sekundarnih elemenata), stalno opterećenje od opreme građevine (težina pokrova i obloga) i dodatno stalno opterećenje
- opterećenje snijegom prema normi *EN 1991-1-3*
- opterećenje vjetrom prema normi *EN 1991-1-4*

Ovakva podjela opterećenja utvrđena je kako bi se u obzir uzelo najnepovoljniju kombinaciju nabrojanih opterećenja za realnu pojavu za koju u stvarnosti postoji relativna vjerojatnost. To znači da se konstrukcija građevine dimenzionira tako da izdrži djelovanja realno mogućim očekivanim kombinacijama.

Proračun i analiza konstrukcije provedena je u kompjutorskom programu *RFEM 6 – FEM Structural Analysis Software*.

2.4. Zaštita materijala

Zaštita drvenih elemenata provedena je uobičajenom impregnacijom antiseptičkih i antifungicidnih sredstava, dvama slojevima lazurnog premaza s UV zaštitom te zaštitom protiv upijanja vlage.

Čelični elementi izrađeni su od čelika kvalitete S355JR. Zaštitu čeličnih elemenata treba provesti vrućim cinčanjem u debljini od 120 μm . Elemente vezova treba dodatno antikorozivno zaštititi zaštitnim premazom kompatibilnim sa cinčanim slojem. Sv spojni pribor je vruće pocinčan.

2.5. Transport i montaža

Svi elementi paviljona će se izraditi u tvornici, te će se transportirati na mjesto ugradnje. Na mjestu ugradnje će se izvršiti spajanje glavnih nosača pomoću dizalica koje će ih montirati na njihov konačni položaj u konstrukciji. Nakon postavljenih glavnih nosača i stabilizacijskih vezova, omogućeno je postavljanje krovišta.

3. ANALIZA OPTEREĆENJA

3.1. Opterećenje vlastitom težinom

Za svaki element građevine potrebno je pretpostaviti vlastitu težinu koja ovisi o gustoći materijala od kojeg je element izrađen te geometriji samog elementa. U predmetnom slučaju vlastitu težinu svih elemenata nosivog sustava proračunava i u obzir uzima automatski računalni program. Poradi zasebnog statičkog proračuna potrebno je pretpostaviti i težinu pokrova, opreme građevine te dodatno stalno opterećenje

3.2. Stalna djelovanja

- Vlastita težina konstrukcije (uzeta u obzir računalnim programom)
- Vlastita težina pokrova (trapezni lim 80/277): 0,30 kN/m²
- Dodatno stalno opterećenje (instalacije): 0,50 kN/m²

Trapezblech aus Stahl
Profil 80/277 Negativlage
 Belastungstabelle für eine gleichmäßig verteilte Last

Zwischenauflegerbreite = 100 mm
 Endauflegerbreite = 40 mm

Einfeldträger:

| Spannweite / Portée Span / Luce | m | max f | kN/m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | | | L/150 | L/300 | L/150 | L/300 | L/150 | L/300 | L/150 | L/300 | L/150 | L/300 | L/150 | L/300 | L/150 | L/300 | | | | | | |
| 0.70 | 8.43 | | 3.16 | 2.79 | 2.77 | 2.09 | 2.32 | 1.61 | 1.27 | 1.98 | 1.71 | 1.02 | 0.83 | 0.68 | 0.57 | 0.48 | 0.41 | 0.35 | 0.30 | 0.26 | 0.23 | 0.20 |
| 0.75 | 9.04 | | 3.62 | 3.03 | 3.03 | 2.29 | 2.55 | 2.17 | 1.87 | 1.87 | 1.63 | 1.43 | 1.24 | 1.04 | 0.89 | 0.76 | 0.66 | 0.57 | 0.50 | 0.50 | 0.44 | 0.44 |
| 0.80 | 9.64 | | 3.99 | 3.30 | 3.30 | 2.77 | 2.36 | 2.04 | 1.77 | 1.77 | 1.56 | 1.35 | 1.13 | 0.97 | 0.83 | 0.71 | 0.62 | 0.54 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| 0.88 | 10.60 | | 4.52 | 3.74 | 3.74 | 3.14 | 2.68 | 2.31 | 2.01 | 2.01 | 1.77 | 1.50 | 1.26 | 1.07 | 0.92 | 0.79 | 0.69 | 0.60 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 |
| 1.00 | 12.05 | | 5.34 | 4.41 | 4.41 | 3.71 | 3.16 | 2.72 | 2.37 | 2.37 | 2.05 | 1.71 | 1.44 | 1.22 | 1.05 | 0.91 | 0.79 | 0.69 | 0.61 | 0.61 | 0.61 | 0.61 |
| 1.25 | 15.06 | | 6.95 | 5.75 | 5.75 | 4.83 | 4.11 | 3.55 | 3.09 | 3.09 | 2.58 | 2.15 | 1.81 | 1.54 | 1.32 | 1.14 | 0.99 | 0.87 | 0.77 | 0.77 | 0.77 | 0.77 |
| 1.50 | 17.93 | | 8.38 | 6.93 | 6.93 | 5.82 | 4.96 | 4.28 | 3.73 | 3.73 | 3.11 | 2.60 | 2.19 | 1.86 | 1.59 | 1.38 | 1.20 | 1.05 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.92 |
| | | | 6.38 | 4.79 | 4.79 | 3.69 | 2.90 | 2.32 | 1.89 | 1.89 | 1.56 | 1.30 | 1.09 | 0.93 | 0.80 | 0.69 | 0.60 | 0.52 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 |

Slika 1. Odabrani trapezni lim za pokrov

Unošenje trapeznog linijskog opterećenja od stalnog djelovanja u model zbog linearne promjene razmaka nosača:

$$LC1 \text{ (STALNO)} = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$e(L = 0) = 0,575 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 0,575 = 0,46 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 0,575 \cdot 0,5 = 0,23 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{1}{5} L_{arch}\right) = 1,1 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 1,1 = 0,88 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 1,1 \cdot 0,5 = 0,44 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{2}{5} L_{arch}\right) = 1,68 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 1,68 = 1,34 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 1,68 \cdot 0,5 = 0,67 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{3}{5} L_{arch}\right) = 2,295 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 2,295 = 1,84 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 2,295 \cdot 0,5 = 0,92 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{4}{5} L_{arch}\right) = 2,94 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 2,94 = 2,35 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 2,94 \cdot 0,5 = 1,18 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e(L = L_{arch}) = 3,6 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 3,6 = 2,88 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_g = 0,8 \cdot 3,6 \cdot 0,5 = 1,44 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

3.3. Opterećenje snijegom

Djelovanje snijega u obzir treba uzeti kod građevine čija je krovna površina izložena većem nakupljanju snježne mase bez uvjeta čišćenja. Norma definira pravila za određivanje djelovanja snijega, a koja se temelje na meteorološkim podacima.

Lokacija predmetne građevine nalazi se na 158 m.n.v. i u zoni III *prema karti opterećenja snijegom na tlu* za RH što rezultira karakterističnom vrijednošću opterećenja snijegom $s_k = 1,25 \text{ kN/m}^2$.

Opterećenje snijegom na krovu dobiva se prema izrazu:

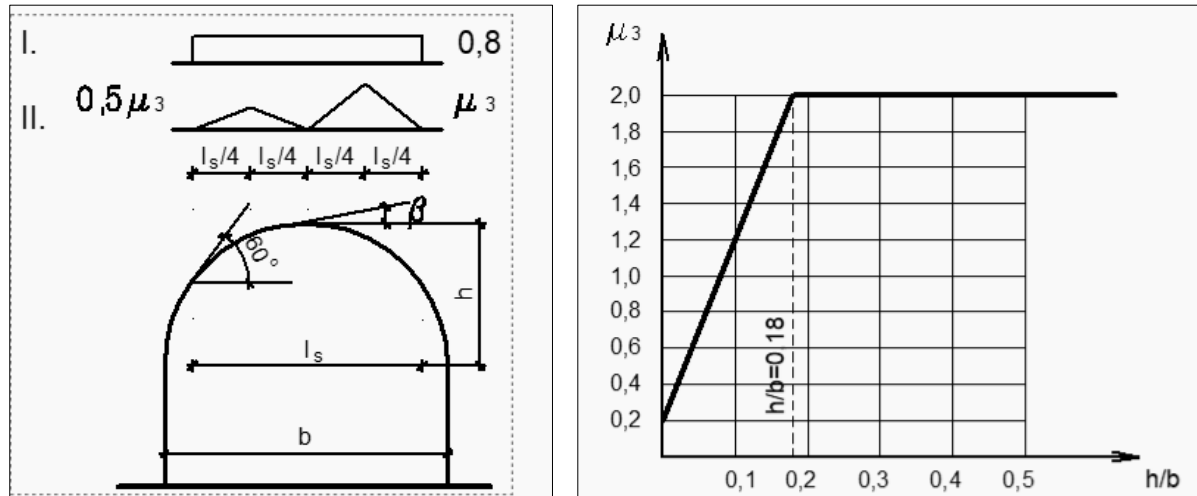
$$s = s_k \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t, \text{ gdje je:}$$

$$C_e = 1,00$$

$$C_t = 1,00$$

Opterećenje snijega na svod:

$$h/b = 0,181$$



Slika 2. Dijagram za određivanje vrijednosti koeficijenta oblika μ_i

I. Simetrično opterećenje:

$$\mu = 0,8$$

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

$$s = 1,25 \cdot 0,8 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

Unošenje trapeznog linijskog opterećenja od snijega u model zbog linearne promjene razmaka nosača:

$$e(L = 0) = 0,575 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 0,575 = 0,575 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 0,575 \cdot 0,5 = 0,289 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{1}{5} L_{arch}\right) = 1,1 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 1,1 = 1,1 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,5 = 0,55 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{2}{5} L_{arch}\right) = 1,68 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 1,68 = 1,68 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 1,68 \cdot 0,5 = 0,84 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{3}{5} L_{arch}\right) = 2,3 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 2,3 = 2,295 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = 1,15 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{4}{5} L_{arch}\right) = 2,94 \text{ m}$$

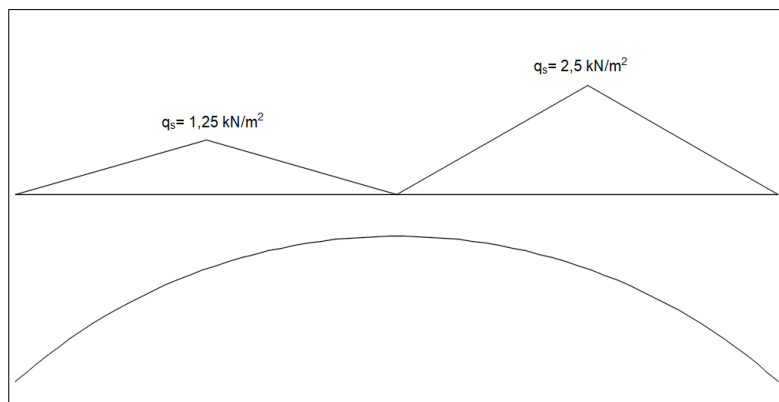
$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 2,94 = 2,94 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 2,94 \cdot 0,5 = 1,47 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e(L = L_{arch}) = 3,6 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 3,6 = 3,6 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 3,6 \cdot 0,5 = 1,8 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$



Slika 3. Skica nesimetričnog djelovanja snijega

II. Nesimetrično opterećenje (desni dio luka):

$$\mu_3 = 2,0$$

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

$$s = 1,25 \cdot 2,0 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Unošenje trapeznog linijskog opterećenja od snijega u model zbog linearne promjene razmaka nosača:

$$e(L = 0) = 0,575 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 0 \cdot 0,575 = 0,0 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 0 \cdot 0,575 \cdot 0,5 = 0,0 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{1}{5} L_{arch}\right) = 1,1 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 1,1 = 1,1 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,5 = 0,55 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{2}{5} L_{arch}\right) = 1,68 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 2,0 \cdot 1,68 = 3,36 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 2,0 \cdot 1,68 \cdot 0,5 = 1,68 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{1}{2} L_{arch}\right) = 1,982 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 2,5 \cdot 1,982 = 4,96 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 2,5 \cdot 1,982 \cdot 0,5 = 2,48 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{3}{5} L_{arch}\right) = 2,3 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 2,0 \cdot 2,3 = 4,6 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 2,0 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = 2,3 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$



$$e\left(L = \frac{4}{5}L_{arch}\right) = 2,94 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 2,94 = 2,94 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 2,94 \cdot 0,5 = 1,47 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e(L = L_{arch}) = 3,6 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 0 \cdot 3,6 = 0 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 0 \cdot 3,6 \cdot 0,5 = 0 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

III. Nesimetrično opterećenje (lijevi dio luka):

$$\mu_3 = 1,0$$

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

$$s = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

Unošenje trapeznog linijskog opterećenja od snijega u model zbog linearne promjene razmaka nosača:

$$e(L = 0) = 0,575 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 0 \cdot 0,575 = 0,0 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 0 \cdot 0,575 \cdot 0,5 = 0,0 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{1}{5}L_{arch}\right) = 1,1 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 0,5 \cdot 1,1 = 0,55 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 0,5 \cdot 1,1 \cdot 0,5 = 0,28 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{2}{5}L_{arch}\right) = 1,68 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 1,68 = 1,68 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 1,68 \cdot 0,5 = 0,84 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{1}{2}L_{arch}\right) = 1,982 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 1,25 \cdot 1,982 = 2,48 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,25 \cdot 1,982 \cdot 0,5 = 1,24 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{3}{5}L_{arch}\right) = 2,3 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 2,3 = 2,3 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 1,0 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = 1,15 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{4}{5}L_{arch}\right) = 2,94 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 0,5 \cdot 2,94 = 1,47 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = 0,5 \cdot 2,94 \cdot 0,5 = 0,74 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e(L = L_{arch}) = 3,6 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = 0 \cdot 3,6 = 0 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

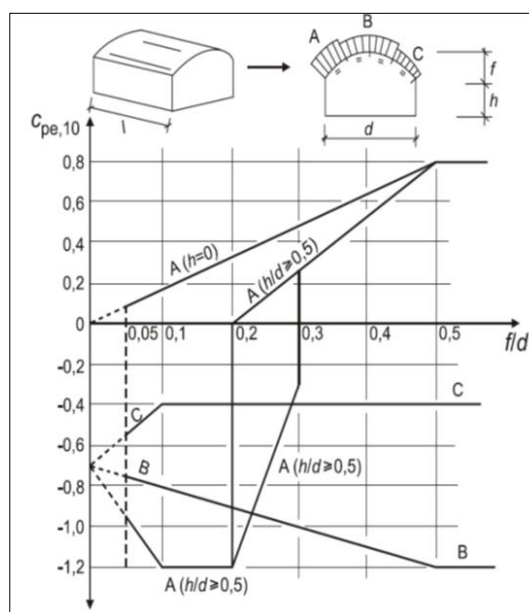
$$\rightarrow q_s = 0 \cdot 3,6 \cdot 0,5 = 0 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

3.4. Opterećenje vjetrom

Djelovanje vjetra u obzir treba uzeti kod građevine čije su horizontalne i vertikalne površine izložene pritisku vjetra. Norma definira pravila za određivanje djelovanja vjetra, a koja se temelje na meteorološkim podacima.

Ovisno o osjetljivosti na dinamičku pobudu, odnosno ovisno o ispunjenju uvjeta vitkosti, primjenjuju se dva postupka za proračun opterećenja vjetrom. Geometrijske karakteristike predmetne građevine rezultiraju mogućnošću korištenja pojednostavljenog proračuna kojim se djelovanje vjetra uzima kao zamjensko statičko opterećenje u vertikalnom i svim horizontalnim smjerovima, dok je dinamička pobuda u obzir uzeta primjenom dinamičkog koeficijenta. Zbog specifične geometrije građevine (otvoreni paviljon) razmatraju se slučajevi svoda s minimalnim i maksimalnim unutarnjim tlakovima te dva slučaja za nadstrešnicu (minimalni i maksimalni vjetar). Nakon provedene provjere, u proračun se kreće sa mjerodavnim opterećenjem.

Lokacija predmetne građevine nalazi se u zoni I prema *karti brzina vjetra za RH* što rezultira karakterističnom vrijednošću gustoće zraka $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ te referentnom vrijednošću brzine vjetra $v_{\text{ref},0} = 20,00 \text{ m/s}$. Najviša točka građevine je na visini 21,5 m iznad tla terena i u IV. kategoriji hrapavosti terena prema *dijagramu koeficijenta izloženosti* što rezultira vrijednošću koeficijenta izloženosti $c_e(z_e) = 1,72$. Ostale karakteristike građevine rezultiraju vrijednostima koeficijenta smjera vjetra $c_{\text{dir}} = 1,00$ i koeficijenta doba $c_{\text{season}} = 1,00$.



Slika 4. Dijagram određivanja koeficijenta $c_{pe,10}$

Utjecaj vjetra na svod (slučaj 1):

Vanjski pritisak:

$$f = 19,6 \text{ m} \quad (\text{visina luka})$$

$$d = 105,0 \text{ m} \quad (\text{raspon luka})$$

$$h = 0 \quad (\text{visina zida})$$

Iz čega slijedi:

$$h/d = 0 \quad f/d = 19,8/105 = 0,19$$

Očitane vrijednosti $c_{pe,10}$:

$$\text{Površina A: } c_{pe,10} = 0,33$$

$$\text{Površina B: } c_{pe,10} = -0,9$$

$$\text{Površina C: } c_{pe,10} = -0,4$$

$$w_e(A) = q_{ref} \cdot C_e(z_e) \cdot C_{pe}(A) = 0,25 \cdot 1,72 \cdot 0,33 = 0,142 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(B) = q_{ref} \cdot C_e(z_e) \cdot C_{pe}(B) = 0,25 \cdot 1,72 \cdot (-0,9) = -0,387 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e(C) = q_{ref} \cdot C_e(z_e) \cdot C_{pe}(C) = 0,25 \cdot 1,72 \cdot (-0,4) = -0,172 \text{ kN/m}^2$$

Unutarnji tlak (1):

$$c_{pi} = +0,2$$

$$w_{i,1} = q_{ref} \cdot C_e(z_e) \cdot C_{pi} = 0,25 \cdot 1,72 \cdot 0,2 = 0,086 \text{ kN/m}^2$$

Ukupni tlak (1):

$$w_{k,1}^A = w_e^A - w_{i,1} = 0,142 - 0,086 = 0,056 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{k,1}^B = w_e^B - w_{i,1} = -0,387 - 0,086 = -0,473 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{k,1}^C = w_e^C - w_{i,1} = -0,172 - 0,086 = -0,258 \text{ kN/m}^2$$

Unutarnji tlak (2):

$$c_{pi} = -0,3$$

$$w_{i,1} = q_{ref} \cdot C_e(z_e) \cdot C_{pi} = 0,25 \cdot 1,72 \cdot (-0,3) = -0,129 \text{ kN/m}^2$$

Ukupni tlak (2):

$$w_{k,1}^A = w_e^A - w_{i,1} = 0,142 - (-0,129) = 0,271 \text{ kN/m}^2$$

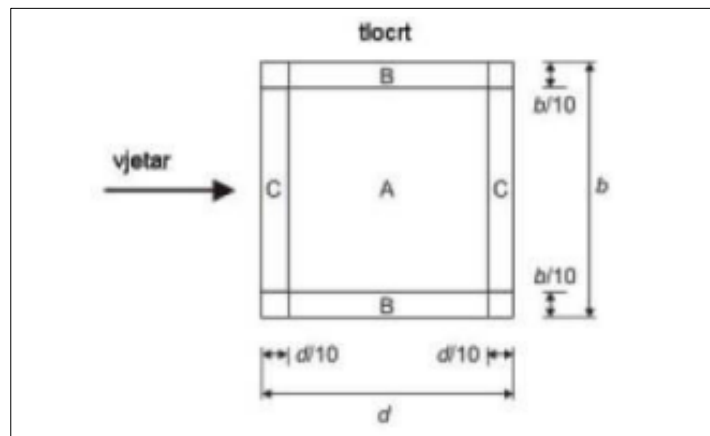
$$w_{k,1}^B = w_e^B - w_{i,1} = -0,387 - (-0,129) = -0,258 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{k,1}^C = w_e^C - w_{i,1} = -0,172 - (-0,129) = -0,043 \text{ kN/m}^2$$

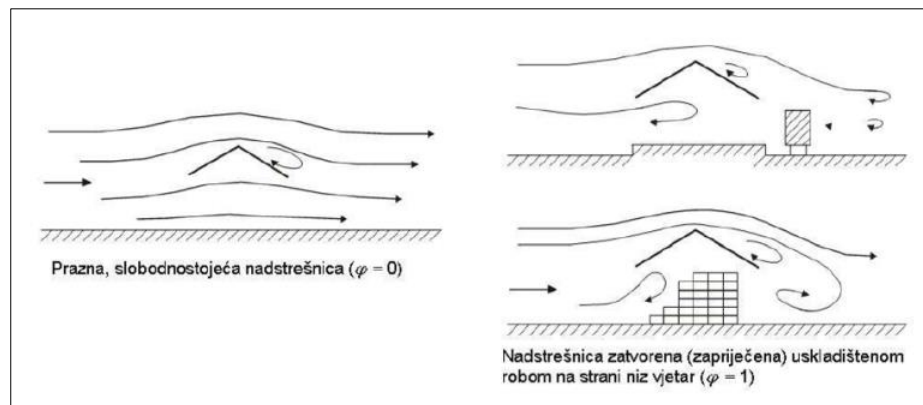
Proračun koeficijenta pritiska za jednostrešnu nadstrešnicu (mjerodavno):

Aproksimacija konstrukcije u pojednostavljenu jednostrešnu nadstrešnicu nagiba 15°

$$q_p = q_b \cdot C_e(z_e) = 0,25 \cdot 1,72 = 0,43 \text{ kN/m}^2$$



Slika 5. Zone djelovanja vjetra

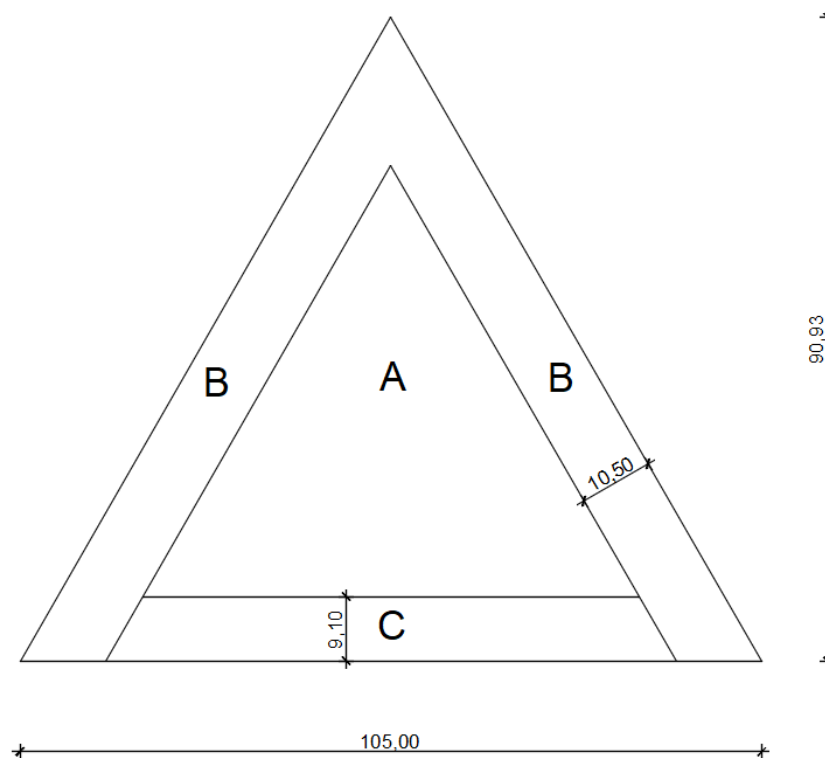


Slika 6. Slikovni prikaz odabira koeficijenta zapriječenosti

Napomena: zbog nepoznavanja količine robe, uzeta je zapriječenost $\varphi = 0,5$

| Nagib krova α | Zapriječenost φ | Koeficijenti sveukupne sile c_f | Područje A | Područje B | Područje C |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------|------------|------------|
| 0° | Najveća vrijednost, svi φ | + 0,2 | + 0,5 | + 1,8 | + 1,1 |
| | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 0,5 | - 0,6 | - 1,3 | - 1,4 |
| | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,5 | - 1,8 | - 2,2 |
| 5° | Najveća vrijednost, svi φ | + 0,4 | + 0,8 | + 2,1 | + 1,3 |
| | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 0,7 | - 1,1 | - 1,7 | - 1,8 |
| | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,6 | - 2,2 | - 2,5 |
| 10° | Najveća vrijednost, svi φ | + 0,5 | + 1,2 | + 2,4 | + 1,6 |
| | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 0,9 | - 1,5 | - 2,0 | - 2,1 |
| | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,4 | AC - 1,6 AC | - 2,6 | - 2,7 |
| 15° | Najveća vrijednost, svi φ | + 0,7 | + 1,4 | + 2,7 | + 1,8 |
| | Najmanja vrijednost, $\varphi = 0$ | - 1,1 | - 1,8 | - 2,4 | - 2,5 |
| | Najmanja vrijednost, $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,6 | - 2,9 | - 3,0 |

Slika 7. Određivanje koeficijenta zapriječenosti



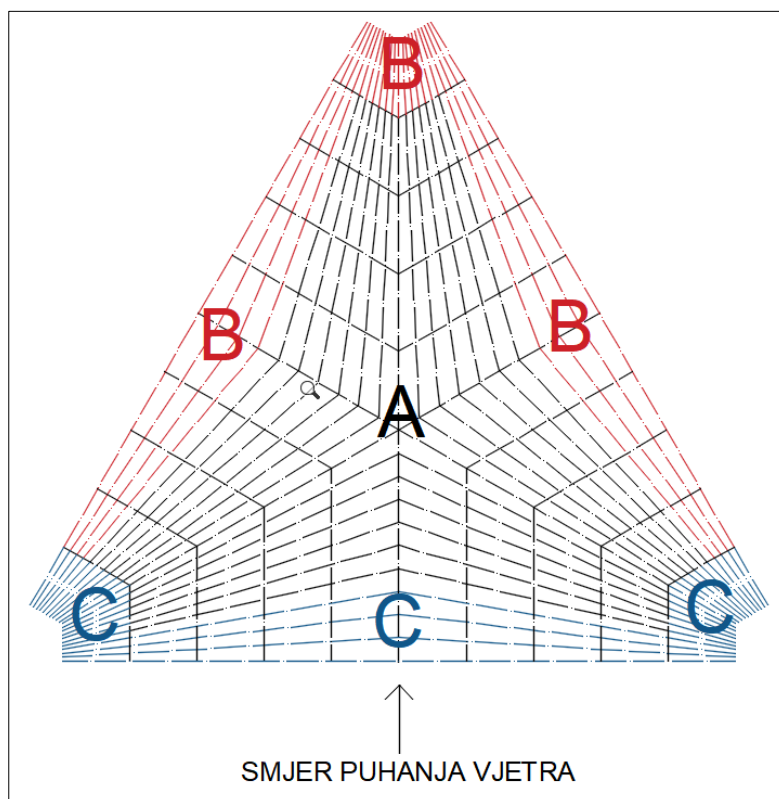
Slika 8. Raspodjela zona vjetra na nadstrešnici

Tablica 1. Rezultirajuće djelovanje odižućeg djelovanja po zonama dobivene linearnom interpolacijom:

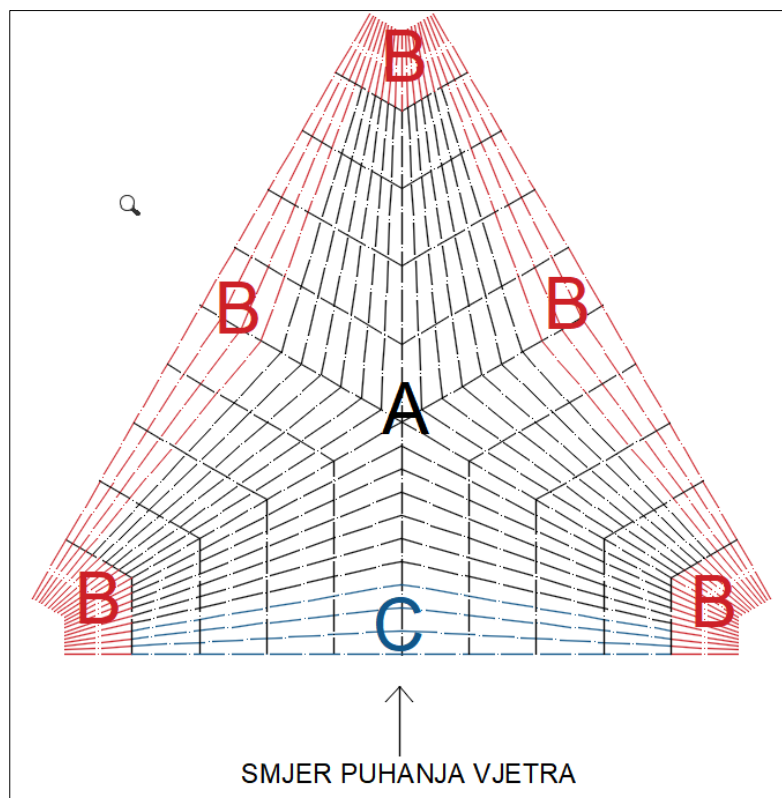
| Područje | $q_p(kN/m^2)$ | $c_{p,net}$ | $w_i(kN/m^2)$ |
|----------|---------------|-------------|---------------|
| A | 0,43 | -1,7 | -0,73 |
| B | 0,43 | -2,65 | -1,14 |
| C | 0,43 | -2,75 | -1,18 |

Tablica 2. Rezultirajuće djelovanje pritiskajućeg djelovanja po zonama dobivene linearnom interpolacijom:

| Područje | $q_p(kN/m^2)$ | $c_{p,net}$ | $w_i(kN/m^2)$ |
|----------|---------------|-------------|---------------|
| A | 0,43 | 1,4 | 0,60 |
| B | 0,43 | 2,7 | 1,16 |
| C | 0,43 | 1,8 | 0,77 |



Slika 9. Zone djelovanja vjetra za odižuće djelovanje



Slika 10. Zone djelovanja vjetra za pritiskajuće djelovanje

Unošenje trapeznog linijskog opterećenja od djelovanja odižućeg vjetra u model zbog linearne promjene razmaka nosača:

Površina A:

$$e\left(L = \frac{1}{5}L_{arch}\right) = 1,1 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -0,73 \cdot 1,1 = -0,80 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -0,73 \cdot 1,1 \cdot 0,5 = -0,40 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače površine A (5. po redu)}$$

$$e\left(L = \frac{2}{5}L_{arch}\right) = 1,68 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -0,73 \cdot 1,68 = -1,22 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -0,73 \cdot 1,68 \cdot 0,5 = -0,61 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače površine A (5. po redu)}$$

$$e\left(L = \frac{3}{5}L_{arch}\right) = 2,3 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -0,73 \cdot 2,3 = -1,68 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -0,73 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = -0,84 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače površine A (5. po redu)}$$

$$e\left(L = \frac{4}{5}L_{arch}\right) = 2,94 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -0,73 \cdot 2,94 = -2,15 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -0,73 \cdot 2,94 \cdot 0,5 = -1,07 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače površine A (5. po redu)}$$

$$e(L = L_{arch}) = 3,6 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -0,73 \cdot 3,6 = -2,63 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -0,73 \cdot 3,6 \cdot 0,5 = -1,31 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače površine A (5. po redu)}$$

Površina B:

$$e(L = 0) = 0,575 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = -1,14 \cdot 0,575 = 0,66 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = -1,14 \cdot 0,575 \cdot 0,5 = 0,33 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{1}{5}L_{arch}\right) = 1,1 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -1,14 \cdot 1,1 = -1,25 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -1,14 \cdot 1,1 \cdot 0,5 = -0,63 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{2}{5}L_{arch}\right) = 1,68 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -1,14 \cdot 1,68 = -1,92 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -1,14 \cdot 1,68 \cdot 0,5 = -0,96 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{3}{5}L_{arch}\right) = 2,3 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -1,14 \cdot 2,3 = -2,62 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -1,14 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = -1,31 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{4}{5}L_{arch}\right) = 2,94 \text{ m}$$



$$\rightarrow q_w = -1,14 \cdot 2,94 = -3,35 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -1,14 \cdot 2,94 \cdot 0,5 = -1,68 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e(L = L_{arch}) = 3,6 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -1,14 \cdot 3,6 = -4,1 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -1,14 \cdot 3,6 \cdot 0,5 = -2,05 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

Površina C:

$$e(L = 0) = 0,575 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_s = -1,18 \cdot 0,575 = 0,68 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_s = -1,18 \cdot 0,575 \cdot 0,5 = 0,34 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{1}{5} L_{arch}\right) = 1,1 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -1,18 \cdot 1,1 = -1,3 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -1,18 \cdot 1,1 \cdot 0,5 = -0,65 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{2}{5} L_{arch}\right) = 1,68 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -1,18 \cdot 1,68 = -1,98 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -1,18 \cdot 1,68 \cdot 0,5 = -0,99 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{3}{5} L_{arch}\right) = 2,3 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -1,18 \cdot 2,3 = -2,71 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -1,18 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = -1,36 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e\left(L = \frac{4}{5} L_{arch}\right) = 2,94 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -1,18 \cdot 2,94 = -3,47 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -1,18 \cdot 2,94 \cdot 0,5 = -1,73 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e(L = L_{arch}) = 3,6 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = -1,18 \cdot 3,6 = -4,25 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = -1,18 \cdot 3,6 \cdot 0,5 = -2,13 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

Unošenje trapeznog linijskog opterećenja od djelovanja pritiskajućeg vjetra u model zbog linearne promjene razmaka nosača:

Površina A:

$$e\left(L = \frac{1}{5} L_{arch}\right) = 1,1 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = 0,60 \cdot 1,1 = -0,66 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = 0,60 \cdot 1,1 \cdot 0,5 = -0,33 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače površine A (5. po redu)}$$

$$e\left(L = \frac{2}{5} L_{arch}\right) = 1,68 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = 0,60 \cdot 1,68 = -1,01 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$



→ $q_w = 0,60 \cdot 1,68 \cdot 0,5 = -0,51 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače površine A (5. po redu)

$$e\left(L = \frac{3}{5} L_{arch}\right) = 2,3 \text{ m}$$

→ $q_w = 0,60 \cdot 2,3 = -1,38 \text{ kN/m}'$ → za unutarnje nosače

→ $q_w = 0,60 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = -0,69 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače površine A (5. po redu)

$$e\left(L = \frac{4}{5} L_{arch}\right) = 2,94 \text{ m}$$

→ $q_w = 0,60 \cdot 2,94 = -1,76 \text{ kN/m}'$ → za unutarnje nosače

→ $q_w = 0,60 \cdot 2,94 \cdot 0,5 = -0,88 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače površine A (5. po redu)

$$e(L = L_{arch}) = 3,6 \text{ m}$$

→ $q_w = -0,60 \cdot 3,6 = -2,16 \text{ kN/m}'$ → za unutarnje nosače

→ $q_w = 0,60 \cdot 3,6 \cdot 0,5 = -1,13 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače površine A (5. po redu)

Površina B:

$$e(L = 0) = 0,575 \text{ m}$$

→ $q_s = 1,16 \cdot 0,575 = 0,67 \text{ kN/m}'$ → za unutarnje nosače

→ $q_s = 1,16 \cdot 0,575 \cdot 0,5 = 0,34 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače

$$e\left(L = \frac{1}{5} L_{arch}\right) = 1,1 \text{ m}$$

→ $q_w = 1,16 \cdot 1,1 = 1,28 \text{ kN/m}'$ → za unutarnje nosače

→ $q_w = 1,16 \cdot 1,1 \cdot 0,5 = 0,64 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače

$$e\left(L = \frac{2}{5} L_{arch}\right) = 1,68 \text{ m}$$

→ $q_w = 1,16 \cdot 1,68 = 1,95 \text{ kN/m}'$ → za unutarnje nosače

→ $q_w = 1,16 \cdot 1,68 \cdot 0,5 = 0,98 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače

$$e\left(L = \frac{3}{5} L_{arch}\right) = 2,3 \text{ m}$$

→ $q_w = 1,16 \cdot 2,3 = 2,67 \text{ kN/m}'$ → za unutarnje nosače

→ $q_w = 1,16 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = 1,33 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače

$$e\left(L = \frac{4}{5} L_{arch}\right) = 2,94 \text{ m}$$

→ $q_w = 1,16 \cdot 2,94 = 3,41 \text{ kN/m}'$ → za unutarnje nosače

→ $q_w = 1,16 \cdot 2,94 \cdot 0,5 = 1,71 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače

$$e(L = L_{arch}) = 3,6 \text{ m}$$

→ $q_w = 1,16 \cdot 3,6 = 4,18 \text{ kN/m}'$ → za unutarnje nosače

→ $q_w = 1,16 \cdot 3,6 \cdot 0,5 = 2,09 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače

Površina C:

$$e(L = 0) = 0,575 \text{ m}$$

→ $q_s = 0,77 \cdot 0,575 = 0,44 \text{ kN/m}'$ → za unutarnje nosače

→ $q_s = 0,77 \cdot 0,575 \cdot 0,5 = 0,22 \text{ kN/m}'$ → za rubne nosače

$$e \left(L = \frac{1}{5} L_{arch} \right) = 1,1 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = 0,77 \cdot 1,1 = 0,85 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = 0,77 \cdot 1,1 \cdot 0,5 = 0,42 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e \left(L = \frac{2}{5} L_{arch} \right) = 1,68 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = 0,77 \cdot 1,68 = 1,29 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = 0,77 \cdot 1,68 \cdot 0,5 = 0,65 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e \left(L = \frac{3}{5} L_{arch} \right) = 2,3 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = 0,77 \cdot 2,3 = 1,77 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = 0,77 \cdot 2,3 \cdot 0,5 = 0,89 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

$$e \left(L = \frac{4}{5} L_{arch} \right) = 2,94 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = 0,77 \cdot 2,94 = 2,26 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = 0,77 \cdot 2,94 \cdot 0,5 = 1,13 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

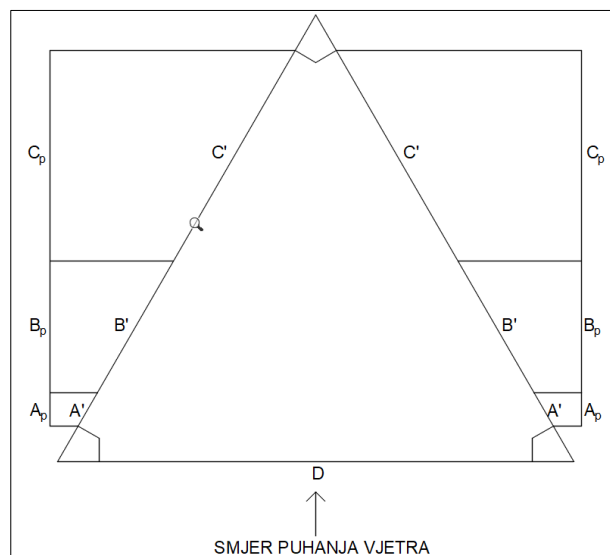
$$e(L = L_{arch}) = 3,6 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_w = 0,77 \cdot 3,6 = 2,77 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za unutarnje nosače}$$

$$\rightarrow q_w = 0,77 \cdot 3,6 \cdot 0,5 = 1,39 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{za rubne nosače}$$

Utjecaj zabatnog vjetra:

$$F_n = h \cdot q_b \cdot C_e(z_e) \cdot C_{pe}$$



Slika 11. Zone djelovanja vjetra za pritiskajuće djelovanje

$$A' = 9,25 \text{ m}$$

$$\rightarrow l_A = 11,65 \text{ m}$$

$$B' = 37,0 \text{ m}$$

$$\rightarrow l_B = 39,5 \text{ m}$$

$$C' = 58,8 \text{ m}$$

$$\rightarrow l_C = 63,6 \text{ m}$$

$$D = 105 \text{ m}$$

$$\rightarrow l_D = 115 \text{ m}$$

$$F_A = 2,2 \cdot 0,25 \cdot 1,72 \cdot (-1,2) = -1,187 \text{ kN/m'}$$

$$F_B = 2,2 \cdot 0,25 \cdot 1,72 \cdot (-0,8) = -0,79 \text{ kN/m'}$$

$$F_C = 2,2 \cdot 0,25 \cdot 1,72 \cdot (-0,5) = -0,49 \text{ kN/m'}$$

$$F_D = 2,2 \cdot 0,25 \cdot 1,72 \cdot 0,7 = 0,69 \text{ kN/m'}$$

Karakteristična vrijednost opterećenja od djelovanja vjetra na krovnu površinu konstrukcije:

$$A_{w,R} = 6210 \text{ m}^2 \rightarrow \text{ukupna površina krova konstrukcije}$$

$$Q_{R,w,k} = q_b \cdot c_e(z_e) \cdot c_{fr} \cdot A_{w,R} = 0,25 \cdot 1,72 \cdot 0,04 \cdot 6210 = 106,81 \text{ kN}$$

Sila u jednom čvoru:

$$n_b = 27 \text{ (broj čvorova)}$$

$$Q_{R,w,k} = \frac{106,81 \text{ kN}}{27} = 3,96 \text{ kN}$$

3.5. Proračunske vrijednosti opterećenja sprega od djelovanja uslijed izvijanja i bočno torzijskog izvijanja

Koeficijent utjecaja ukupnog raspona:

$$k_1 = \min \left(1; \sqrt{\frac{15}{L_{tot}}} \right) = \min \left(1; \sqrt{\frac{15}{64,93}} \right) = \min(1; 0,48) = 0,48$$

Koeficijent izmjene za uzdužnu silu:

$$k_{f,F} = k_{f,3} = 80,00$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi z:

Predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,z} = 64930 \text{ mm}$

$$\lambda_z = \frac{l_{i,z}}{i_z} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{b^3 \cdot h}{12 \cdot b \cdot h}}} = \frac{l_{i,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{64930}{0,289 \cdot 320} = 702,1$$

$$\lambda_{rel,z} = \lambda_z \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 702,1 \cdot \sqrt{\frac{26,50}{\pi^2 \cdot 10200}} = 11,39$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_z = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,50) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (11,39 - 0,50) + 11,39^2) = 65,91$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{65,91 + \sqrt{65,91^2 - 11,39^2}} = 0,0076$$

Proračunska vrijednost opterećenja od djelovanja uslijed izvijanja:

$$Q_{F,d} = k_1 \cdot \frac{N_{d,F}}{k_{f,F} \cdot n_b} = k_1 \cdot \frac{(1 - k_{c,z}) \cdot F_{c,0,d}}{k_{f,F} \cdot n_b}$$
$$Q_{F,d} = 0,48 \cdot \frac{(1 - 0,0076) \cdot 1313,49}{80,00 \cdot 4} = 1,96 \text{ kN}$$

Koeficijent izmjene za moment savijanja:

$$k_{f,M} = k_{f,3} = 30,00$$

Koeficijent utjecaja bočno torzijskog izvijanja oko osi y:

predmetni element ima efektivnu duljinu izvijanja jednaku $l_{\text{eff},y} = 64930 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,\text{crit},y} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot l_{\text{eff},y}} \cdot \sqrt{\frac{G_{0,\text{mean}}}{E_{0,\text{mean}}}} = \frac{\pi \cdot 320^2 \cdot 10200}{2200 \cdot 64930} \cdot \sqrt{\frac{780}{12600}} = 5,71 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel},m,y} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit},y}}} = \sqrt{\frac{28,00}{5,71}} = 2,21 > 1,40$$

$$k_{\text{crit},y} = 1/\lambda_{\text{rel},m,y}^2 = 1/2,21^2 = 0,20$$

Proračunska vrijednost opterećenja od djelovanja uslijed bočno torzijskog izvijanja:

$$q_{M,d} = k_1 \cdot \frac{N_{d,M}}{k_{f,M} \cdot n_b} = k_1 \cdot \frac{(1 - k_{\text{crit},y}) \cdot \frac{M_{y,d}}{h}}{k_{f,M} \cdot n_b}$$
$$q_{M,d} = 0,48 \cdot \frac{(1 - 0,20) \cdot \frac{1515,57 \cdot 10^6}{2200}}{30,00 \cdot 4} = 2,2 \text{ kN}$$

Proračunska vrijednost opterećenja po jednom stabilizacijskom elementu od djelovanja uslijed izvijanja i bočno torzijskog izvijanja:

$$Q_{b,d} = Q_{F,d} + Q_{M,d} = 1,96 + 2,2 = 4,16 \text{ kN}$$

3.6. Učinci jednolike promjene temperature

Djelovanje promjene temperature u obzir treba uzeti kod građevine čiji su elementi konstrukcije podložni promjenama dimenzija (širenje i skupljanje) uslijed promjene temperature i pri tome u obzir treba uzeti opterećenje čija je posljedica dodatno naprezanje u elementu uslijed promjene geometrije. Specifičan odabir materijala (armirani beton u temeljnom dijelu i drvo u nadzemnom dijelu konstrukcije), odnosno, karakteristično mali koeficijent toplinskog izduženja, rezultira time da su



promjene dimenzija elemenata predmetne građevine relativno male, pa su i dodatna naprezanja uslijed promjene temperature mala. Iz navedenog se može zaključiti da opterećenje uslijed jednolike promjene temperature u predmetnom slučaju nije potrebno dodatno razmatrati.

3.7. Opterećenje uslijed izvedbe, gradnje i održavanja

Svaki element konstrukcije građevine treba izdržati dodatna opterećenja koja na njih djeluju uslijed izvedbe, gradnje i održavanja (uz osiguranje dovoljne razine pouzdanosti), a posljedica su načina transporta, redosljeda gradnje, postavljanja privremenih potpornja ili zatega itd. Djelovanja uslijed izvedbe, gradnje i održavanja definiraju se vlastitom težinom pojedinog elementa konstrukcije te eventualnim prisustvom radnika na istom. Kako su takova opterećenja već uzeta u obzir kroz druga djelovanja, predmetno opterećenje neće se zasebno razmatrati. Ipak, specificiranjem dopuštenih načina izvedbe i gradnje u Izvedbenom projektu potrebno je težiti zadržavanju jednakog statičkog sustava za pojedini element tijekom izvedbe, gradnje i eksploatacije.

3.8. Potresno opterećenje

Potresno djelovanje u obzir treba uzeti kod građevine koja je položena u seizmički aktivnom području i pri tome u obzir treba uzeti opterećenje čiji je uzrok seizmičko podrhtavanje tla. Norma definira pravila za određivanje potresnog djelovanja, a koja se temelje na geotehničkim i seizmološkim podacima.

Lokacija predmetne građevine nalazi se u seizmički aktivnom području prema *seizmičkoj karti za RH* što rezultira karakterističnom vrijednošću ubrzanja tla $a_{g,475} = 0.202 \cdot g$ te $a_{g,95} = 0.102 \cdot g$, a predmetna građevina nalazi se na tlu koje karakterizira stijena ili stjenovita masa te koje uključuje manje od 5 m trošnog materijala na površini, što rezultira karakteristikama tla A kategorije $S = 1.20$ (za spektar tipa 1). Geometrijske karakteristike predmetne građevine rezultiraju vrijednostima razreda važnosti građevine II s faktorom važnosti $\gamma_1 = 1.00$, koeficijentom prigušenja $c = 0.10$ te koeficijentom faktora ponašanja $q = 3.00$. U predmetnom slučaju potresno opterećenje može se razmatrati kao kvazistatičko. Geometrijske karakteristike predmetne građevine rezultiraju mogućnošću korištenja pojednostavljenog proračuna kojim se djelovanje potresa uzima kao zamjensko statičko opterećenje u svim horizontalnim smjerovima, dok je dinamička pobuda u obzir uzeta primjenom dinamičkog koeficijenta.



Specifičan odabir materijala (armirani beton u temeljnom dijelu i drvo u nadzemnom dijelu konstrukcije) za izgradnju konstrukcije predmetne građevine rezultira relativno malom masom konstrukcije, stoga se potresno opterećenje može smatrati relativno zanemarivim horizontalnim opterećenjem s obzirom na opterećenje vjetrom kao dominantno horizontalno djelovanje. Iz navedenog se može zaključiti da potresno opterećenje u predmetnom slučaju nije potrebno detaljnije razmatrati te da ga je moguće zanemariti.

3.9. Ostala opterećenja

Vibracije uzrokovane djelovanjem vjetra, ljudi, vozila ili strojeva u blizini građevine u obzir treba uzeti kod građevine čija geometrija rezultira osjetljivošću na dinamičku pobudu. Predmetna građevina definirana je takvom geometrijom za koju je dokazana neosjetljivost na spomenutu dinamičku pobudu pa se takvo opterećenje primjenom dinamičkog koeficijenta za umjereno osjetljive konstrukcije pojednostavljeno u obzir uzima kroz proračun opterećenja vjetrom. Iz navedenog se može zaključiti da opterećenje vibracijama uzrokovanih djelovanjem vjetra, ljudi, vozila ili strojeva u blizini građevine u predmetnom slučaju nije potrebno detaljnije razmatrati te da ga je moguće zanemariti.

U slučaju izmjene geometrije i/ili proširenja namjene predmetne građevine, a time i pojave dodatnih djelovanja, elemente konstrukcije potrebno je preprojektirati u skladu s važećim propisima i normama. Svako planirano proširenje namjene zahtijeva novu analizu opterećenja za postojeću građevinu. U tu svrhu, u predmetnom slučaju potrebno je razmotriti samo kombinacije opterećenja kojima su obuhvaćena dodatna djelovanja.

3.10. Kombinacije opterećenja

Ovisno o proračunskom pristupu i konceptu sigurnosti, konstrukciju se ispituje na odgovarajuće grupe djelovanja uz pridružene koeficijente sigurnosti za različita djelovanja (za predmetnu građevinu razina pouzdanosti s povratnim periodom od 50 godina smatra se prihvatljivom), a prema formulacijama danih normom *EN 1990*:

- stalna/prolazna (P/T) kom. za KGS - $E_d = \sum_j^0 (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1}^0 (\gamma_Q \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) + \gamma_P \cdot P_k$
- izvanredna (A) kom. za KGS - $E_d = \sum_j^0 (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1}^0 (\Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + \gamma_P \cdot P_k + A_d$
- karakteristična/rijetka (C/R) kom. za GSU - $E_d = \sum_j^0 (G_{k,j}) + Q_{k,1} + \sum_{i>1}^0 (\Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) + P_k$



Kako norma (niz) *EN 1990* detaljno ne definira pojedine kombinacije opterećenja, već isključivo daje preporuku za standardne kombinacije opterećenja, prema uvriježenim pravilima struke i propisima norme proračunske kombinacije određene su automatski računalnim programom.



4. STATIČKI PRORAČUN

4.1. Općenito

Statički proračun konstrukcije predmetne građevine izvršen je računalnim programom *DLUBAL RFEM*. Proračun je proveden prema općim principima projektiranja definiranim normama (prema nizovima *EN 1990* i *EN 1991*), metodom konačnih elemenata. Karakteristike statičkog proračuna računalnog modela određene su performansama računalnog programa.

Karakteristike materijala u računalnom modelu predmetne konstrukcije određene su Projektnim zadatkom. Karakteristike se podudaraju s karakteristikama lijepljenog lameliranog drva kvalitete GL28h te pocinčanog čelika kvalitete S355J2.

Geometrijske karakteristike profila (poprečnih presjeka) elemenata strukture računalnog modela predmetne konstrukcije određene su dispozicijskim rješenjem iste. Izbor profila određen je dostatnom otpornošću elemenata. Karakteristike svih profila elemenata strukture računalnog modela podudaraju se s karakteristikama projektnih profila (s realnim krutostima proveden je svaki proračunski korak).

Karakteristike opterećenja na strukturu računalnog modela predmetne konstrukcije određene su analizom opterećenja. Opterećenja su modelom definirana kao statička i ovise o pojedinoj kombinaciji opterećenja. Vlastita težina elemenata strukture računalnog modela određena je automatski pri čemu opterećenje djeluje u smjeru gravitacije, tj. u obrnutom smjeru osi *Z* globalnog koordinatnog sustava strukture modela. Stalno opterećenje, uporabno opterećenje, opterećenje snijegom te opterećenje vjetrom nanoseno je linijski na elemente strukture modela predmetne konstrukcije poštujući raspodjelu opterećenja. Vrijednosti svih opterećenja na strukturu računalnog modela podudaraju se s vrijednostima projektnih opterećenja. Karakteristike kombinacija opterećenja na strukturu računalnog modela predmetne konstrukcije određene su analizom opterećenja. Sve kombinacije opterećenja na strukturu računalnog modela, kao i kombinacijski faktori, podudaraju se s projektnim kombinacijama opterećenja.

Unutarnje sile i momente te naprezanja u elementima strukture računalnog modela predmetne konstrukcije, kao statički neodređene i određene, računalni program određuje upotrebom elastične globalne analize tako da odnos opterećenja i naprezanja materijala bude linearan, neovisno o razini naprezanja. Unutarnje sile i momenti te naprezanja određeni su upotrebom teorije prvog reda uz



pretpostavku ekscentriciteta elemenata od zadane osi. Statičkim proračunom dobivene su mjerodavne kombinacije opterećenja (anvelopa), vrijednosti i dijagrami mjerodavnih unutarnjih sila, momenata i naprezanja, kao i vrijednosti mjerodavnih najvećih deformacija.

Dimenzioniranje elemenata predmetne konstrukcije provedeno je prema općim principima projektiranja, tj. određivanja otpornosti elemenata konstrukcije. Proračun je definiran normama (nizovi) *EN 1993*, *EN 1995* i *EN 1997*. Pri proračunu otpornosti elementa, poradi dovoljne razine sigurnosti, nastojalo se da postotak iskorištenosti pojedinog elementa ne pređe vrijednost od 90 %.

Norma definira proračun graničnog stanja nosivosti za elemente načinjene od drva i čelika. Parcijalni koeficijenti za krajnje granično stanje definirani su normom.

Norma definira proračun graničnog stanja uporabivosti. Parcijalni koeficijenti za granično stanje uporabivosti definirani su normom.

Tehničke karakteristike elemenata predmetne konstrukcije načinjenih od drva i čelika određene su na temelju graničnog stanja nosivostit i graničnog stanja uporabivosti koje isti trebaju zadovoljiti.

Izvedbeni nacrti drvenih elemenata kao i razrada te nacrti detalja spajanja (radionički nacrti) također su priloženi.

4.2. Statički proračun konstrukcije

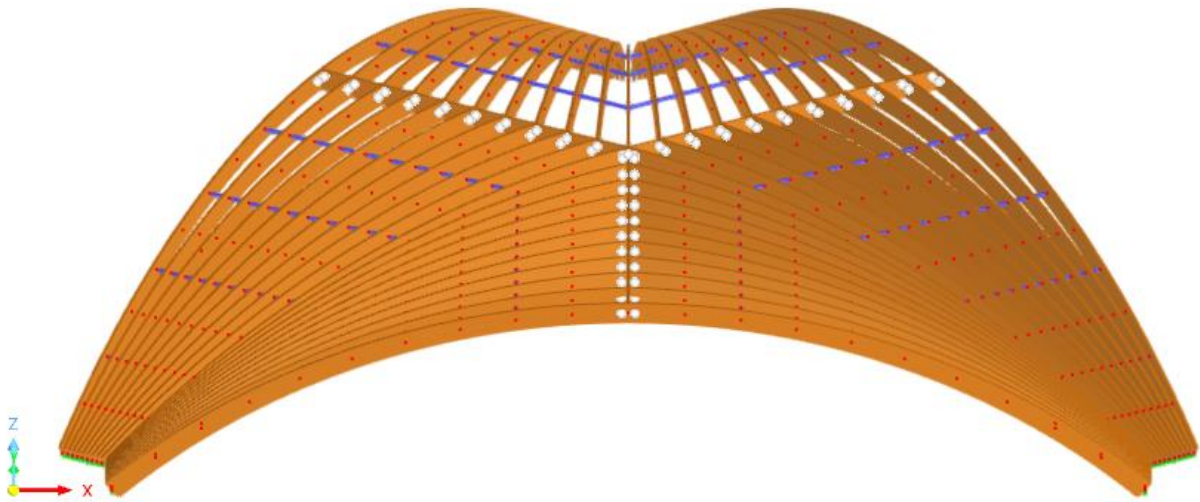
Tablica 3. Karakteristike materijala strukture u računalnom modelu:

| | Material Name | Material Type | Material Model | Modulus of Elast. E [N/mm ²] | Shear Modulus G [N/mm ²] | Poisson's Ratio ν [--] | Specific Weight γ [kN/m ³] | Mass Density ρ [kg/m ³] | Coeff. of Th. Exp. α [1/°C] |
|---|-----------------------------|---------------|----------------------------|--|--------------------------------------|----------------------------|---|--|------------------------------------|
| 1 | GL28h EN 14080:2013-08 | Timber | Isotropic Linear Elastic | 12600,0 | 780,0 | | 4,00 | 400,00 | 0,000005 |
| 2 | S355J2 EN 10025-2:2019-08 | Steel | Isotropic Linear Elastic | 210000,0 | 80769,2 | 0,300 | 78,50 | 7850,00 | 0,000012 |

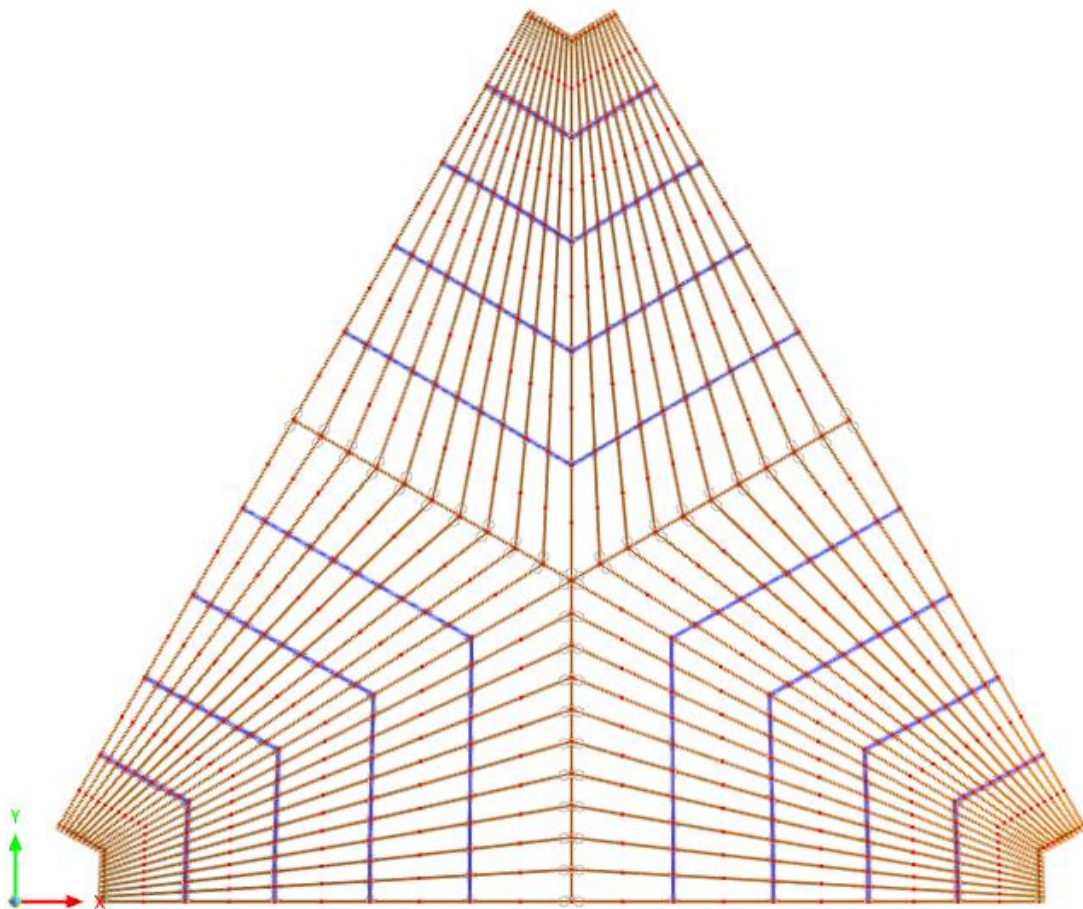
Tablica 4. Karakteristike presjeka strukture u računalnom modelu

| Section No. | Section Name | Material | Sectional Areas [cm ²] | | | Area Moments of Inertia [cm ⁴] | | | Overall Dimensions [mm] | |
|-------------|---------------|---|------------------------------------|----------|----------|--|-------------|------------|-------------------------|---------|
| | | | Axial A | Shear Ay | Shear Az | Torsion J | Bending Iy | Bending Iz | Width b | Depth h |
| 1 | R_M1 320/2200 | 1 - GL28h Isotropic Linear Elastic | 7040,00 | 5866,67 | 5866,67 | 2182793,92 | 28394666,67 | 600746,67 | 320,0 | 2200,0 |
| 2 | SHS 200x10 | 2 - S355J2 Isotropic Linear Elastic | 72,60 | 32,65 | 32,65 | 7072,00 | 4251,00 | 4251,00 | 200,0 | 200,0 |

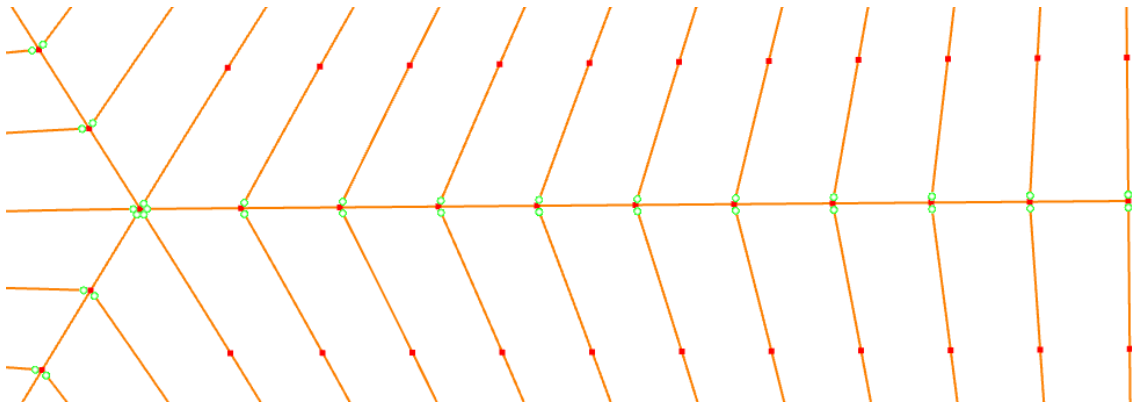
Kreiranje modela u „*RFEM 6 / FEM Structural Analysis Software*“



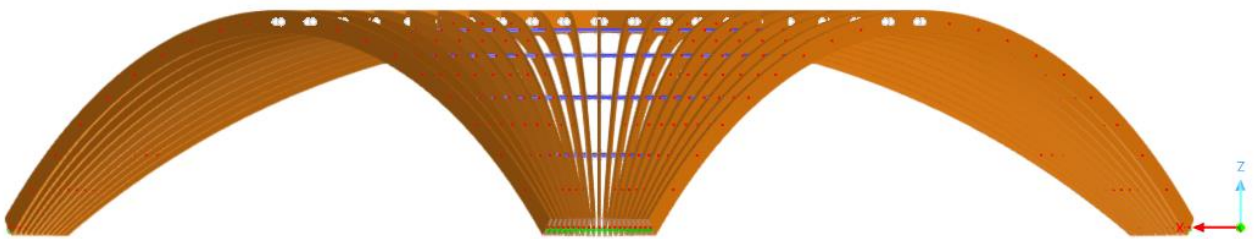
Slika 12. Aksonometrijski prikaz 3D modela



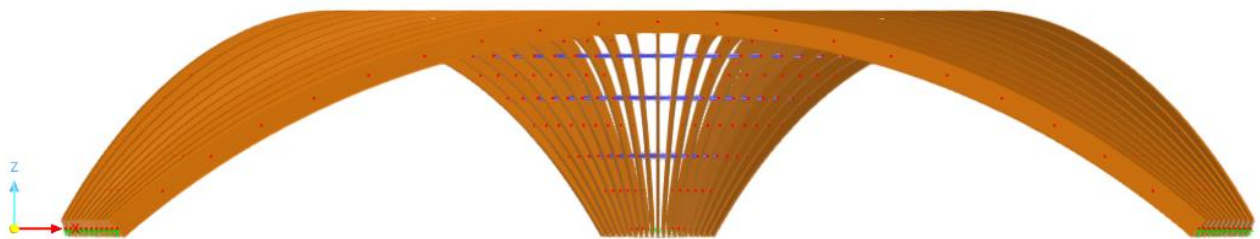
Slika 13. Tlocrt 3D modela



Slika 14. Prikaz zglobova (zeleno)

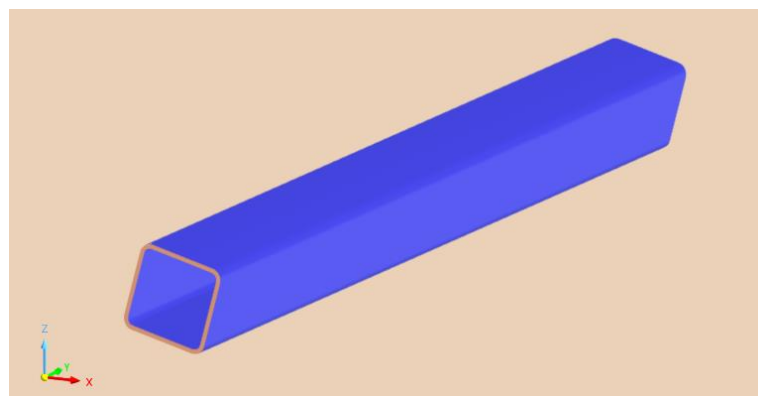


Slika 15. Uzdužni prikaz 3D modela

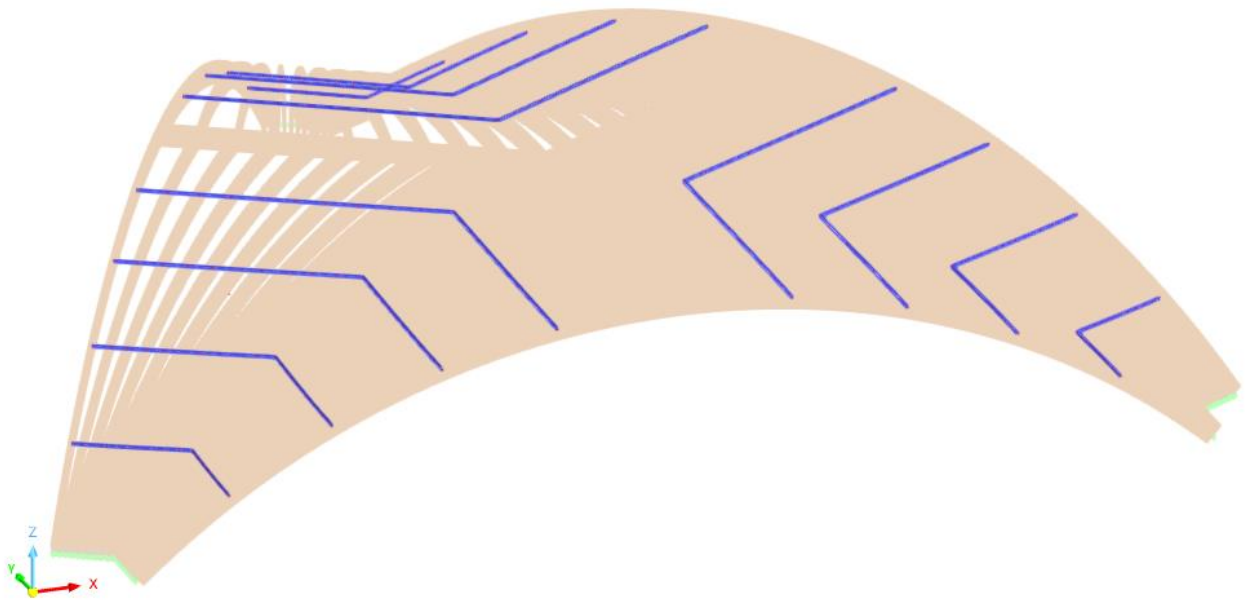


Slika 16. Bočni prikaz 3D modela

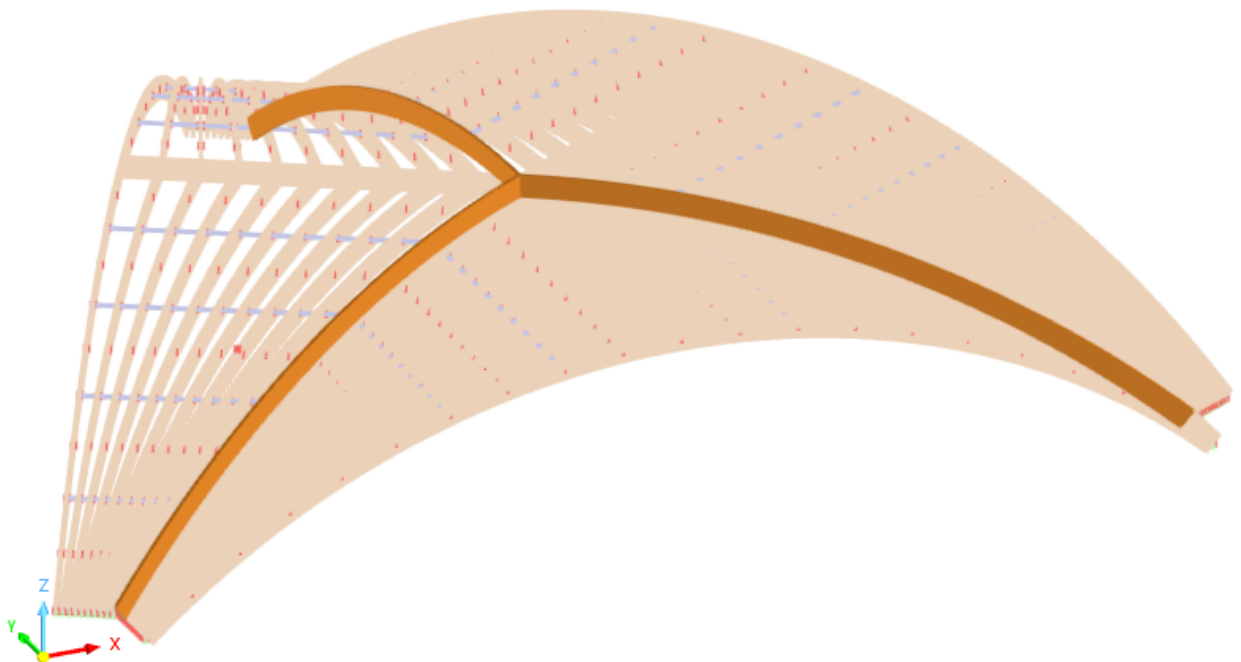
Prikaz pojedinih elemenata:



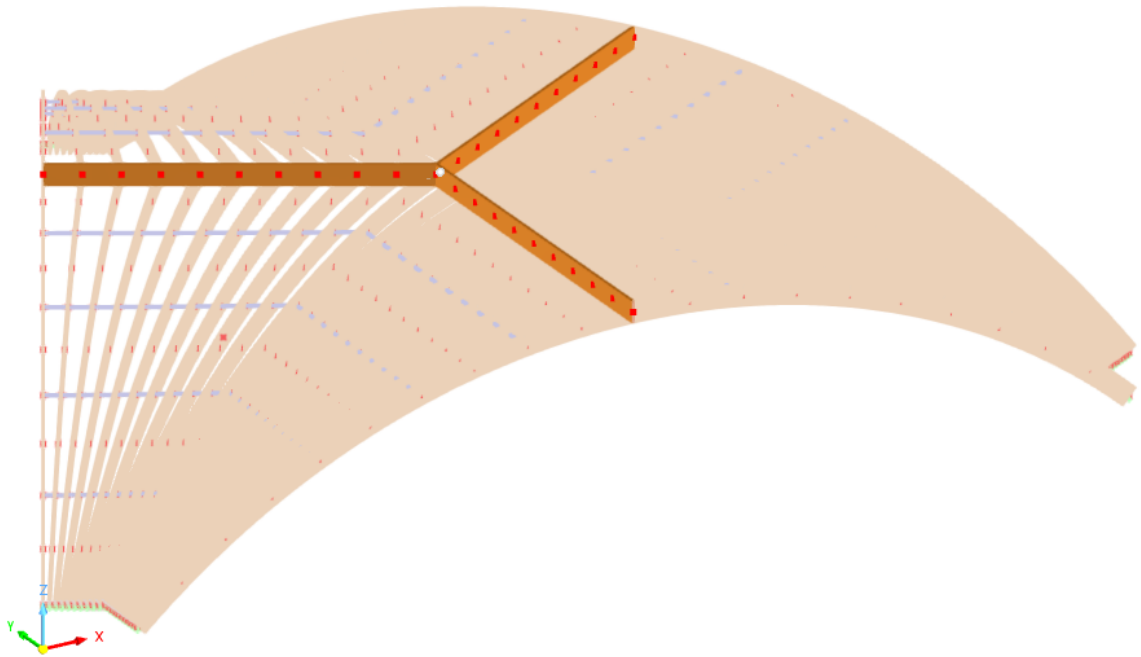
Slika 17. Stabilizacijski element



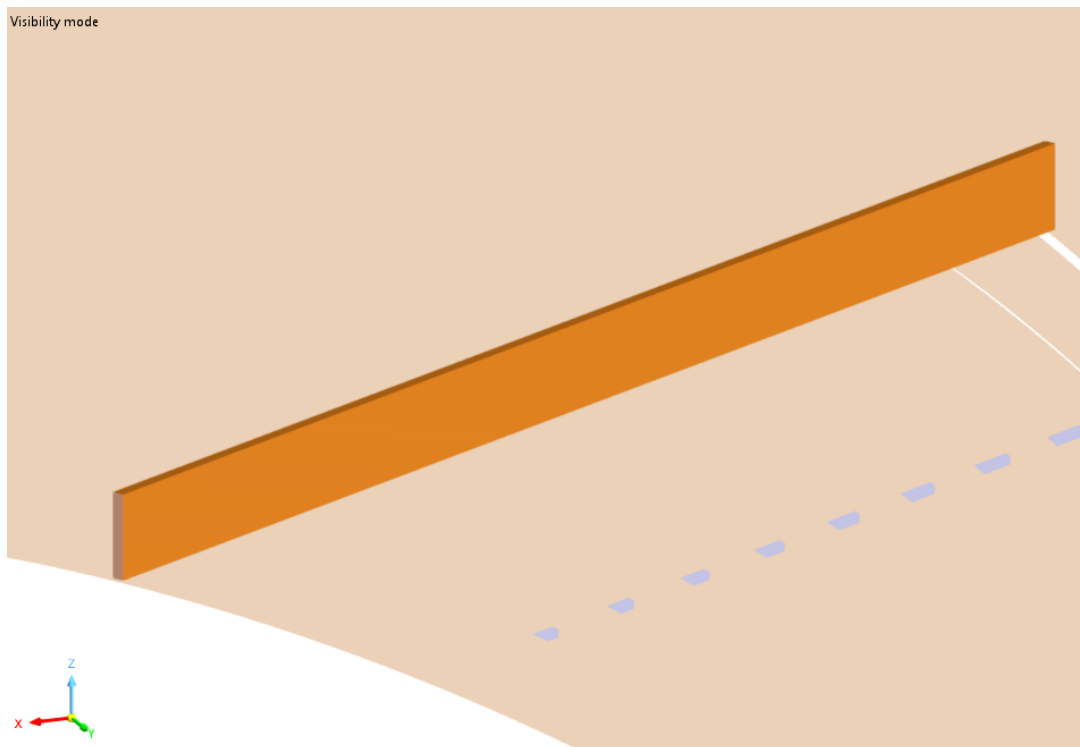
Slika 18. Stabilizacijski elementi



Slika 19. Lukovi s najvećim rasponom



Slika 20. Razuporni nosači



Slika 21. Razuporni nosač



Karakteristike opterećenja u računalnom modelu:

| Load Case | Name | Analysis Type | Static Analysis Settings | EN 1990 Timber CEN 2010-04 | | Self-Weight Factor in | | | Load Duration |
|-----------|-------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|---|-------------------------|-------|--------|---------------|
| | | | | Action Category | | X | Y | Z | |
| LC1 | STALNO | Static Analysis | SA1 - Geometrically linear | Permanent | + | 0,000 | 0,000 | -1,000 | Permanent |
| LC2 | SNIJEG_sim | Static Analysis | SA1 - Geometrically linear | Snow/Ice loads - H <= 1000 m | - | | | | Short-term |
| LC3 | SNIJEG_asim | Static Analysis | SA1 - Geometrically linear | Snow/Ice loads - H <= 1000 m | - | | | | Medium-term |
| LC4 | VJETAR_neg | Static Analysis | SA1 - Geometrically linear | Wind | - | | | | Short-term |
| LC5 | VJETAR_poz | Static Analysis | SA1 - Geometrically linear | Wind | - | | | | Short-term |

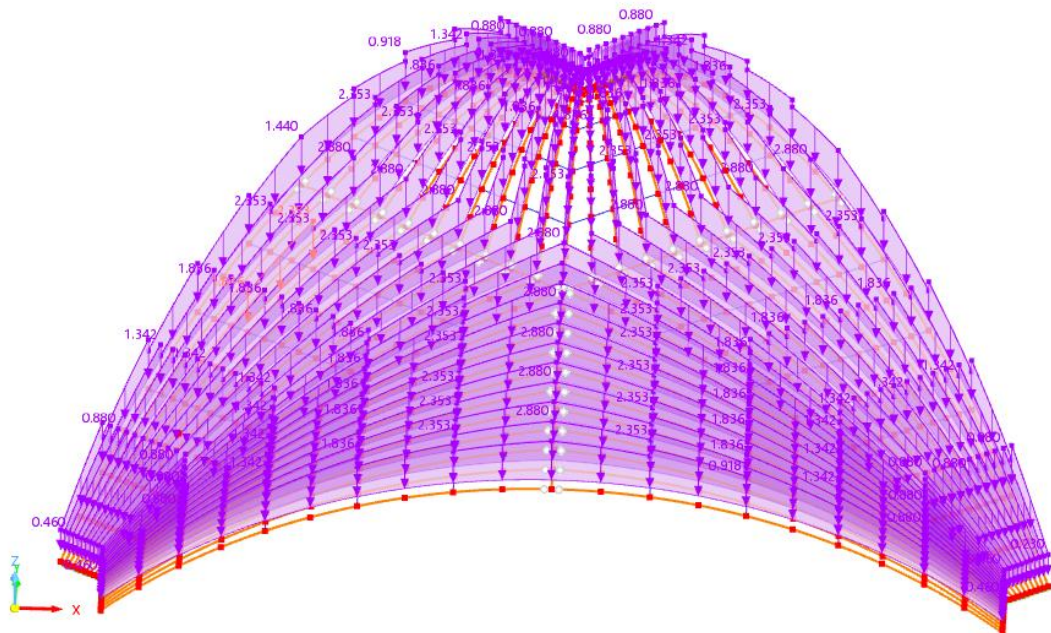
Karakteristike kombinacija opterećenja u računalnom modelu:

| Load Combin. | Name | Analysis Type | Design Situation | Load Duration | LC.1 | | LC.2 | | LC.3 | |
|--------------|--------------------------------------|-----------------|--|---------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|
| | | | | | Factor | No. | Factor | No. | Factor | No. |
| CO1 | 1.35 * LC1 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Permanent | 1,35 | LC1 | 1,00 | | | |
| CO2 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC2 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC2 | 1,00 | |
| CO3 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC3 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Medium-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC3 | 1,00 | |
| CO4 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC2 + 0.90 * LC4 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC2 | 0,90 | LC4 |
| CO5 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC2 + 0.90 * LC5 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC2 | 0,90 | LC5 |
| CO6 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC3 + 0.90 * LC4 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC3 | 0,90 | LC4 |
| CO7 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC3 + 0.90 * LC5 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC3 | 0,90 | LC5 |
| CO8 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC4 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC4 | 1,00 | |
| CO9 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC5 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC5 | 1,00 | |
| CO10 | 1.35 * LC1 + 0.75 * LC2 + 1.50 * LC4 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 0,75 | LC2 | 1,50 | LC4 |
| CO11 | 1.35 * LC1 + 0.75 * LC2 + 1.50 * LC5 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 0,75 | LC2 | 1,50 | LC5 |
| CO12 | 1.35 * LC1 + 0.75 * LC3 + 1.50 * LC4 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 0,75 | LC3 | 1,50 | LC4 |
| CO13 | 1.35 * LC1 + 0.75 * LC3 + 1.50 * LC5 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 0,75 | LC3 | 1,50 | LC5 |
| CO14 | LC1 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | | | |
| CO15 | LC1 + LC2 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC2 | 1,00 | |
| CO16 | LC1 + LC3 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC3 | 1,00 | |
| CO17 | LC1 + LC2 + 0.60 * LC4 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC2 | 0,60 | LC4 |
| CO18 | LC1 + LC2 + 0.60 * LC5 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC2 | 0,60 | LC5 |
| CO19 | LC1 + LC3 + 0.60 * LC4 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC3 | 0,60 | LC4 |
| CO20 | LC1 + LC3 + 0.60 * LC5 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC3 | 0,60 | LC5 |
| CO21 | LC1 + LC4 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC4 | 1,00 | |
| CO22 | LC1 + LC5 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC5 | 1,00 | |
| CO23 | LC1 + 0.50 * LC2 + LC4 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 0,50 | LC2 | 1,00 | LC4 |
| CO24 | LC1 + 0.50 * LC2 + LC5 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 0,50 | LC2 | 1,00 | LC5 |
| CO25 | LC1 + 0.50 * LC3 + LC4 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 0,50 | LC3 | 1,00 | LC4 |
| CO26 | LC1 + 0.50 * LC3 + LC5 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 0,50 | LC3 | 1,00 | LC5 |
| CO27 | LC1 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,00 | LC1 | 1,00 | | | |
| CO28 | LC1 + 0.20 * LC2 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,00 | LC1 | 0,20 | LC2 | 1,00 | |
| CO29 | LC1 + 0.20 * LC3 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,00 | LC1 | 0,20 | LC3 | 1,00 | |
| CO30 | LC1 + 0.20 * LC4 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,00 | LC1 | 0,20 | LC4 | 1,00 | |
| CO31 | LC1 + 0.20 * LC5 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,00 | LC1 | 0,20 | LC5 | 1,00 | |
| CO32 | LC1 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Permanent | 1,00 | LC1 | 1,00 | | | |
| CO33 | 1.35 * LC1 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Permanent | 1,35 | LC1 | | | | |
| CO34 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC2 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC2 | | |
| CO35 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC3 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Medium-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC3 | | |
| CO36 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC2 + 0.90 * LC4 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC2 | 0,90 | LC4 |
| CO37 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC2 + 0.90 * LC5 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC2 | 0,90 | LC5 |
| CO38 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC3 + 0.90 * LC4 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC3 | 0,90 | LC4 |
| CO39 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC3 + 0.90 * LC5 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC3 | 0,90 | LC5 |
| CO40 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC4 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC4 | | |
| CO41 | 1.35 * LC1 + 1.50 * LC5 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 1,50 | LC5 | | |
| CO42 | 1.35 * LC1 + 0.75 * LC2 + 1.50 * LC4 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 0,75 | LC2 | 1,50 | LC4 |
| CO43 | 1.35 * LC1 + 0.75 * LC2 + 1.50 * LC5 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 0,75 | LC2 | 1,50 | LC5 |
| CO44 | 1.35 * LC1 + 0.75 * LC3 + 1.50 * LC4 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 0,75 | LC3 | 1,50 | LC4 |
| CO45 | 1.35 * LC1 + 0.75 * LC3 + 1.50 * LC5 | Static Analysis | DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient - Eq. 6.10 | Short-term | 1,35 | LC1 | 0,75 | LC3 | 1,50 | LC5 |
| CO46 | LC1 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | | | | |
| CO47 | LC1 + LC2 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC2 | | |
| CO48 | LC1 + LC3 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC3 | | |
| CO49 | LC1 + LC2 + 0.60 * LC4 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC2 | 0,60 | LC4 |
| CO50 | LC1 + LC2 + 0.60 * LC5 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC2 | 0,60 | LC5 |
| CO51 | LC1 + LC3 + 0.60 * LC4 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC3 | 0,60 | LC4 |
| CO52 | LC1 + LC3 + 0.60 * LC5 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC3 | 0,60 | LC5 |
| CO53 | LC1 + LC4 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC4 | | |
| CO54 | LC1 + LC5 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 1,00 | LC5 | | |
| CO55 | LC1 + 0.50 * LC2 + LC4 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 0,50 | LC2 | 1,00 | LC4 |
| CO56 | LC1 + 0.50 * LC2 + LC5 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 0,50 | LC2 | 1,00 | LC5 |
| CO57 | LC1 + 0.50 * LC3 + LC4 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 0,50 | LC3 | 1,00 | LC4 |
| CO58 | LC1 + 0.50 * LC3 + LC5 | Static Analysis | DS2 - SLS - Characteristic | | 1,00 | LC1 | 0,50 | LC3 | 1,00 | LC5 |
| CO59 | 1.80 * LC1 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | | | | |
| CO60 | 1.80 * LC1 + LC2 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 1,00 | LC2 | | |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------|--|------|-----|------|-----|------|-----|
| CO61 | 1.80 * LC1 + LC3 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 1,00 | LC3 | | |
| CO62 | 1.80 * LC1 + LC2 + 0.60 * LC4 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 1,00 | LC2 | 0,60 | LC4 |
| CO63 | 1.80 * LC1 + LC2 + 0.60 * LC5 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 1,00 | LC2 | 0,60 | LC5 |
| CO64 | 1.80 * LC1 + LC3 + 0.60 * LC4 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 1,00 | LC3 | 0,60 | LC4 |
| CO65 | 1.80 * LC1 + LC3 + 0.60 * LC5 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 1,00 | LC3 | 0,60 | LC5 |
| CO66 | 1.80 * LC1 + LC4 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 1,00 | LC4 | | |
| CO67 | 1.80 * LC1 + LC5 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 1,00 | LC5 | | |
| CO68 | 1.80 * LC1 + 0.50 * LC2 + LC4 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 0,50 | LC2 | 1,00 | LC4 |
| CO69 | 1.80 * LC1 + 0.50 * LC2 + LC5 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 0,50 | LC2 | 1,00 | LC5 |
| CO70 | 1.80 * LC1 + 0.50 * LC3 + LC4 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 0,50 | LC3 | 1,00 | LC4 |
| CO71 | 1.80 * LC1 + 0.50 * LC3 + LC5 | Static Analysis | DS3 - SLS - Quasi-permanent | | 1,80 | LC1 | 0,50 | LC3 | 1,00 | LC5 |

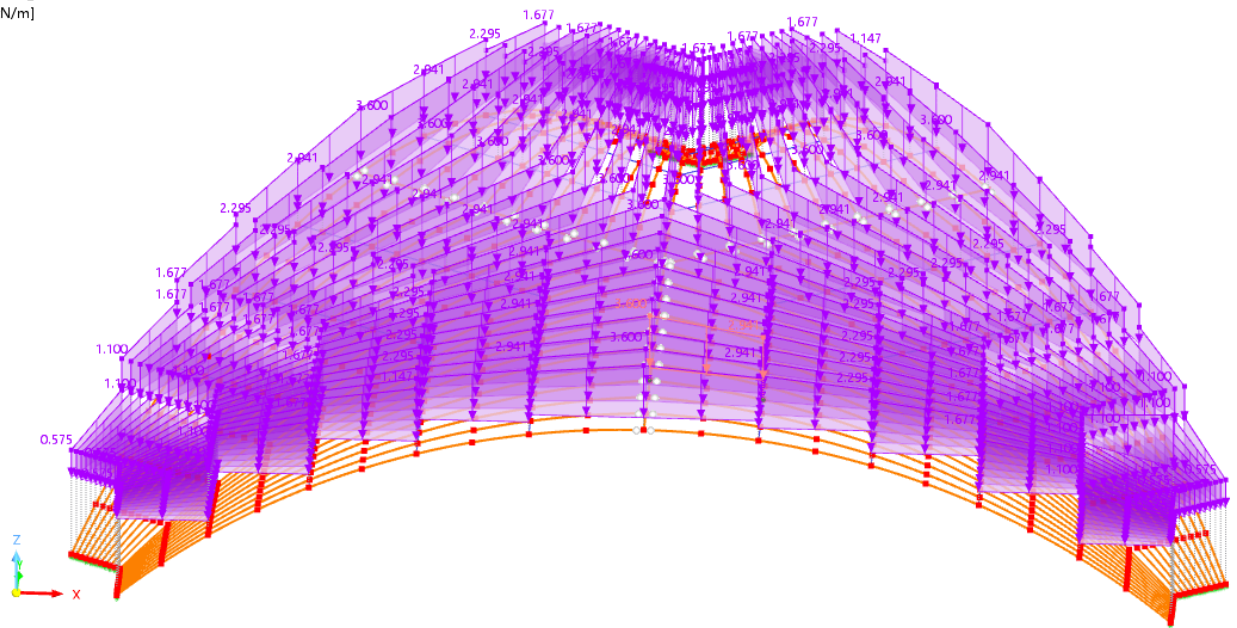
Raspodjela opterećenja na strukturu u računalnom modelu:

LC1 - STALNO
 Loads [kN/m]



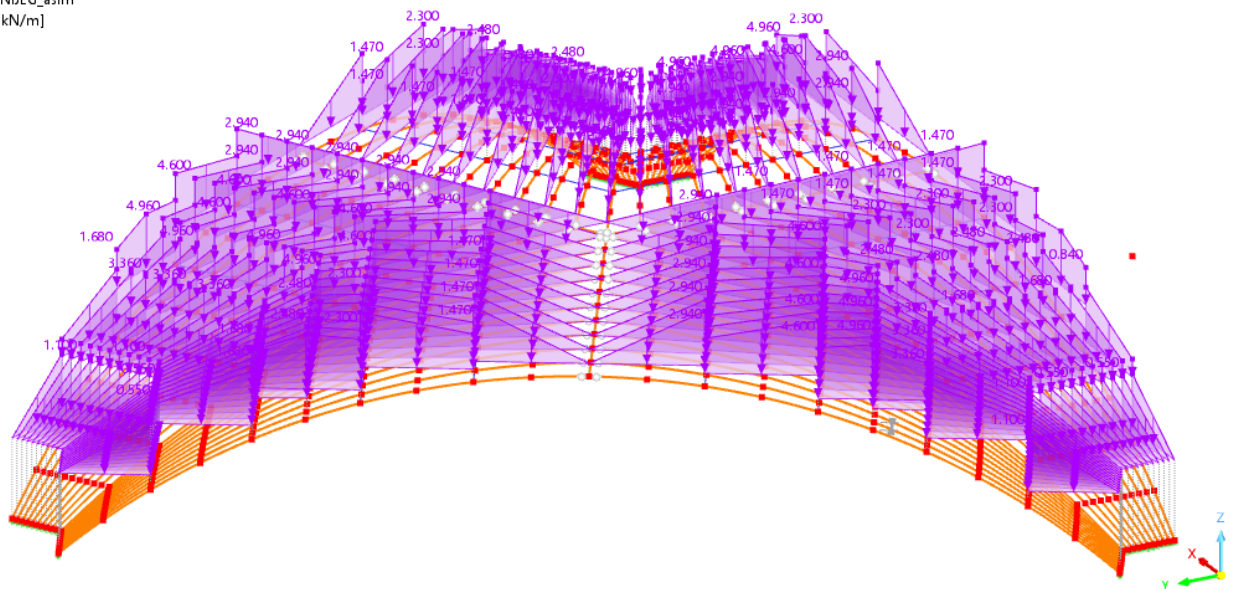
Slika 22. LC1-STALNO

LC2 - SNIJEG_sim
Loads [kN/m]



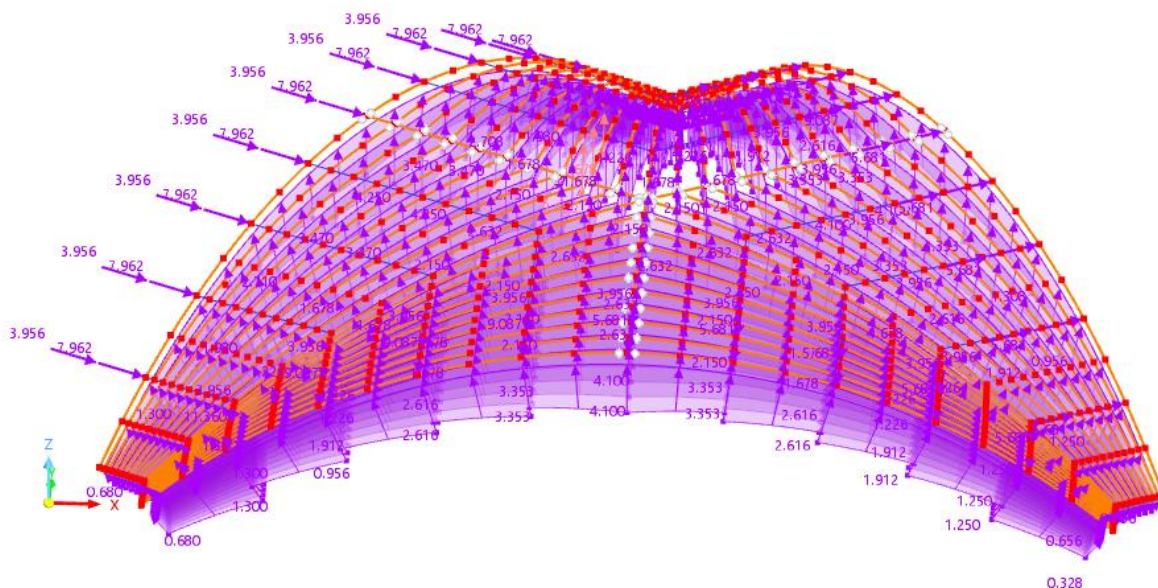
Slika 23. LC2-SNIJEG_SIMETRIČNO

LC3 - SNIJEG_asim
Loads [kN/m]



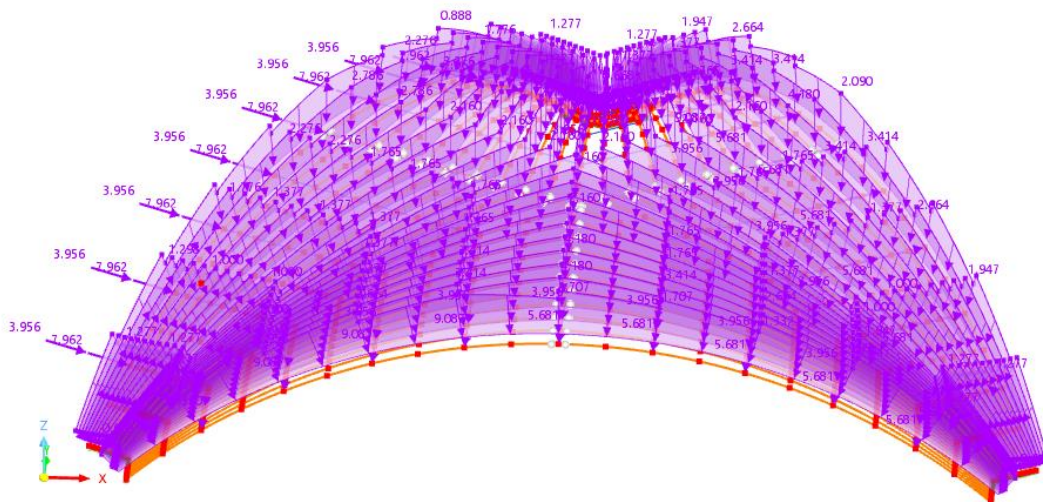
Slika 24. LC3-SNIJEG_ASIMETRIČNO

LC4 - VJETAR_neg
Loads [kN], [kN/m]



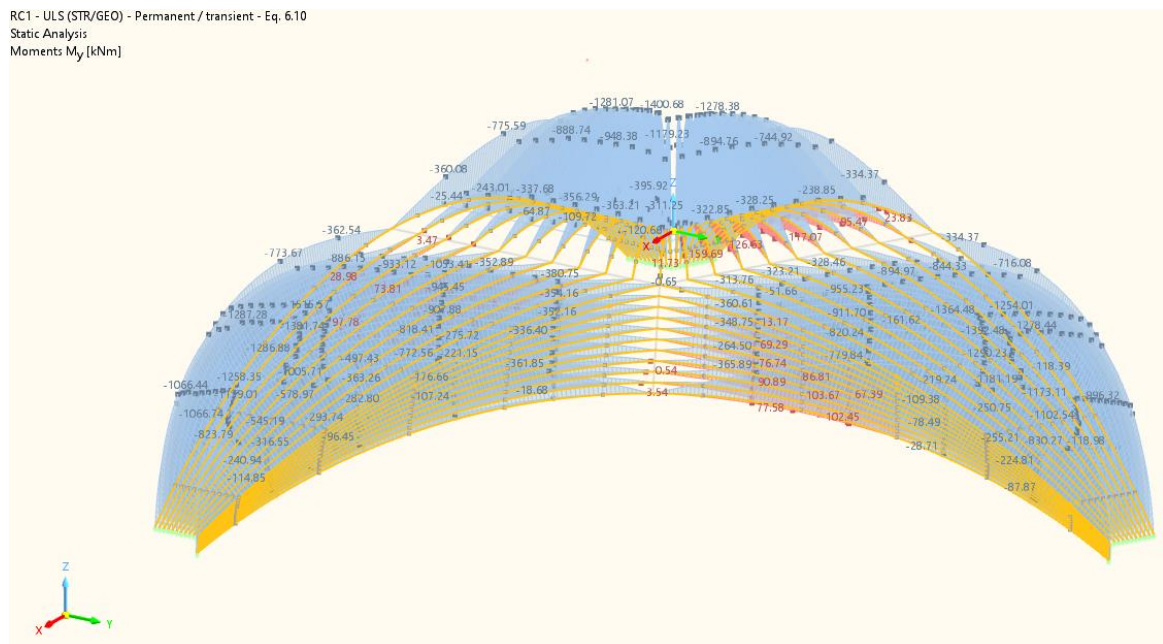
Slika 25. LC4-VJETAR_NEGATIVNO

LC5 - VJETAR_poz
Loads [kN], [kN/m]

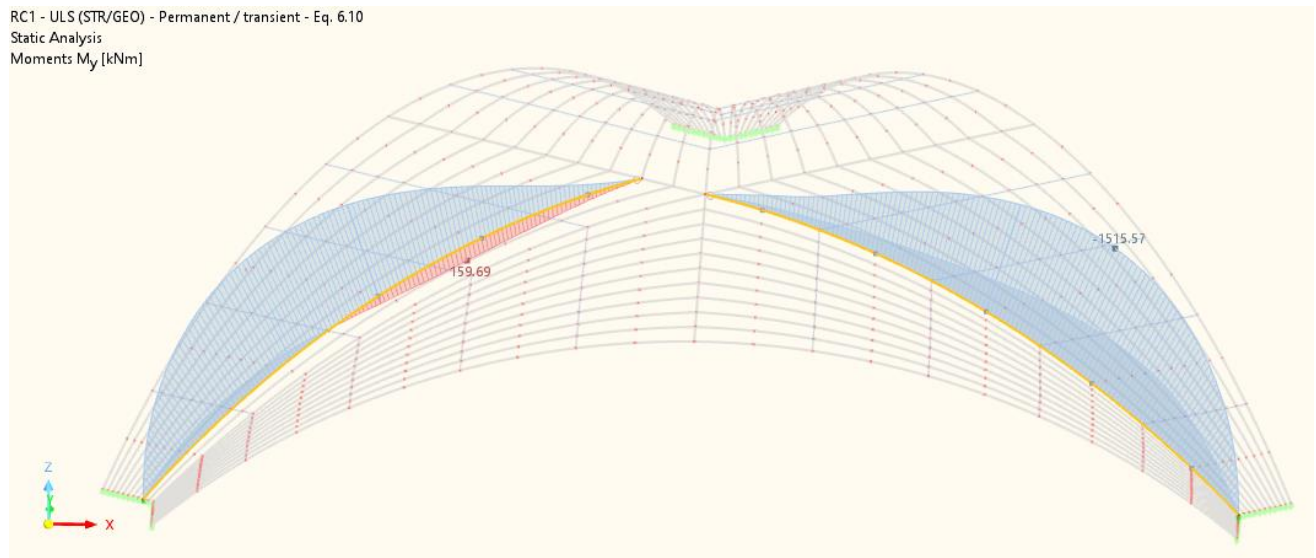


Slika 26. LC5-VJETAR_POZITIVNO

Rezultati statičkog proračuna lukova:

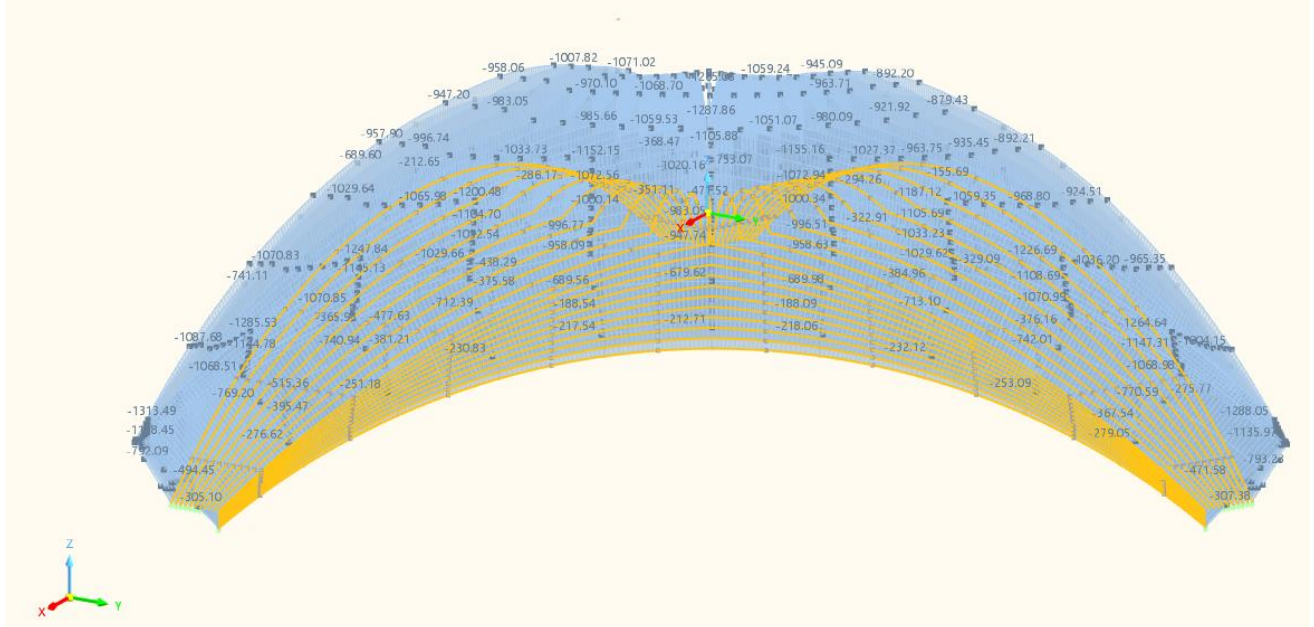


Slika 27. RC1 – Moment savijanja M_y



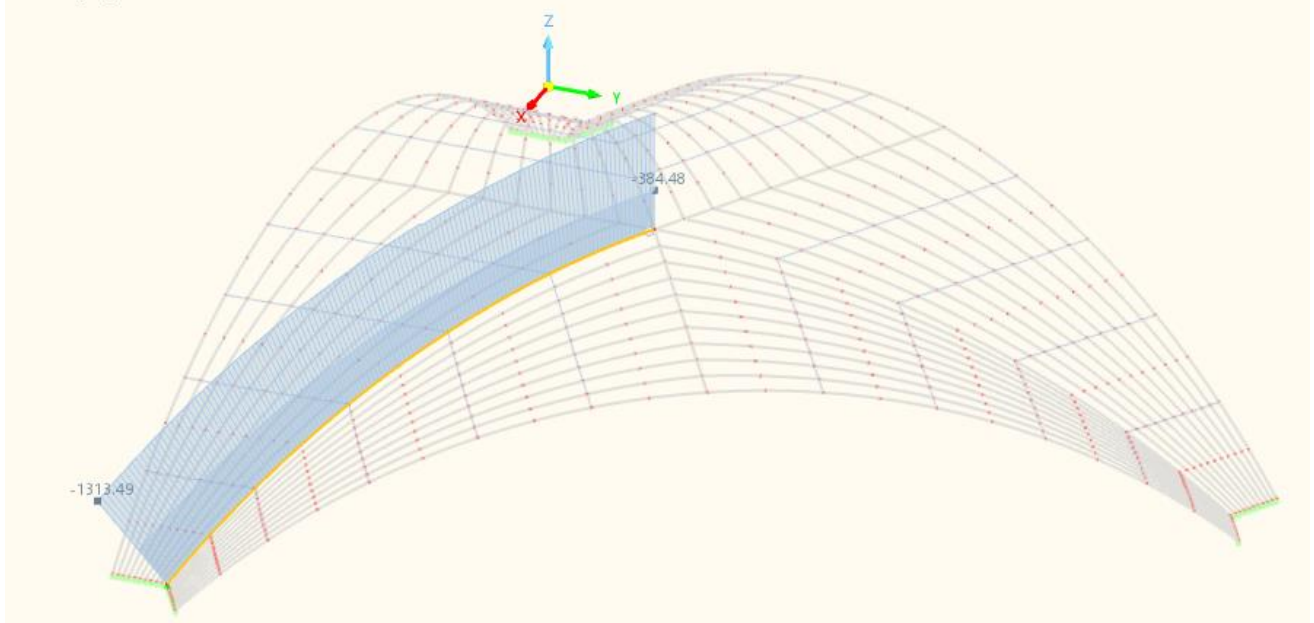
Slika 28. RC1 – Min/max vrijednosti momenta savijanja M_y

RC1 - ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10
Static Analysis
Forces N [kN]



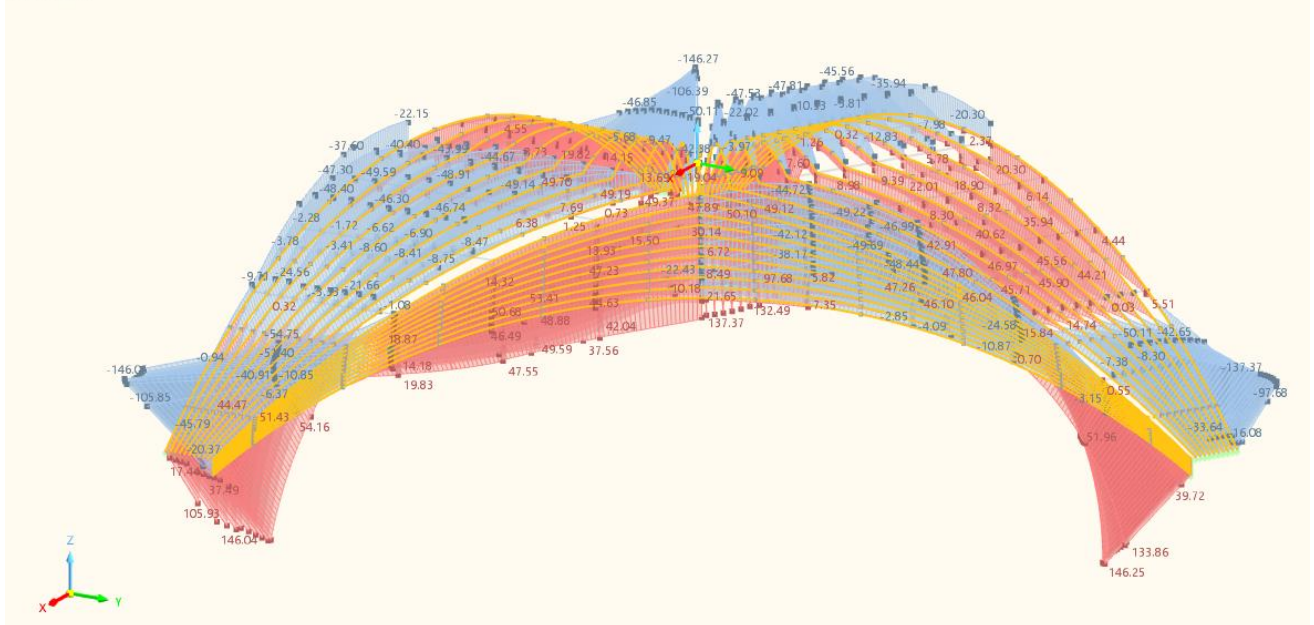
Slika 29. RC1 – Uzdužna sila N

RC1 - ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10
Static Analysis
Forces N [kN]



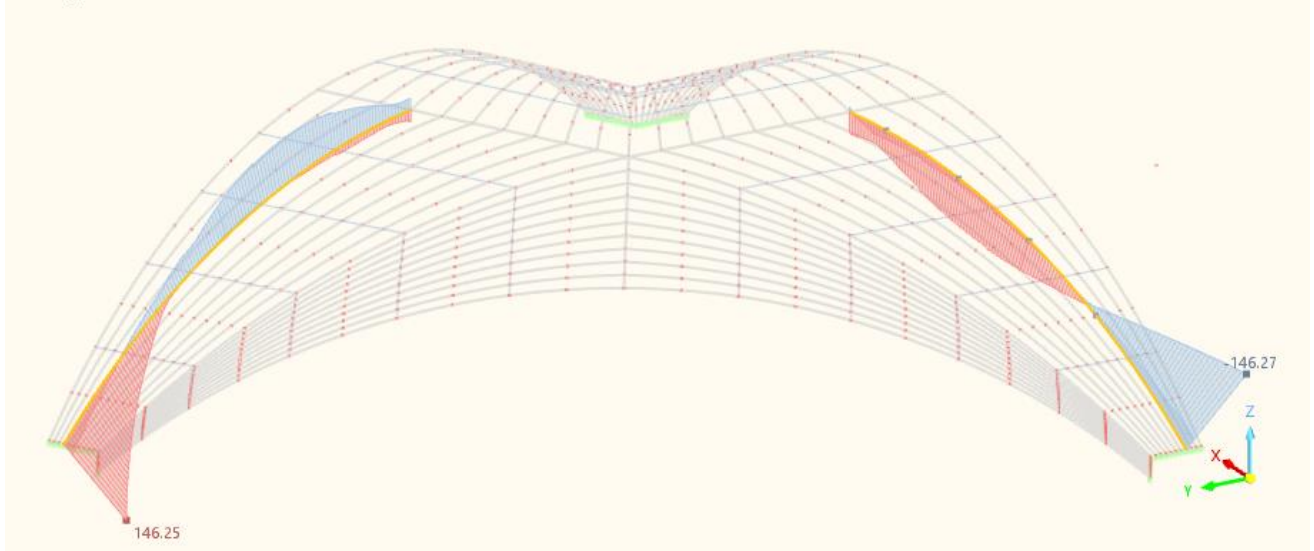
Slika 30. RC1 – Max vrijednost uzdužne sile N

RC1 - ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10
Static Analysis
Forces V_z [kN]



Slika 31. RC1 – Poprečna sila V_z

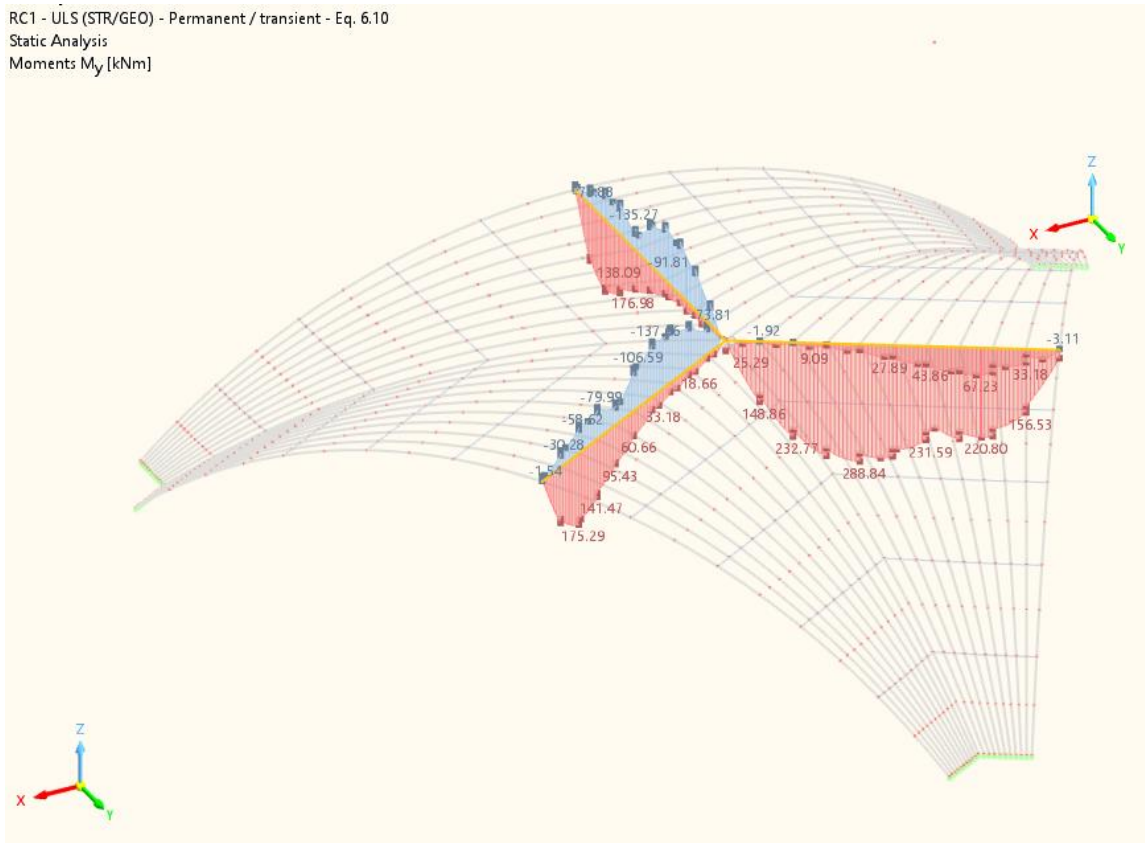
RC1 - ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10
Static Analysis
Forces V_z [kN]



Slika 32. RC1 – Min/max vrijednosti poprečne sile V_z

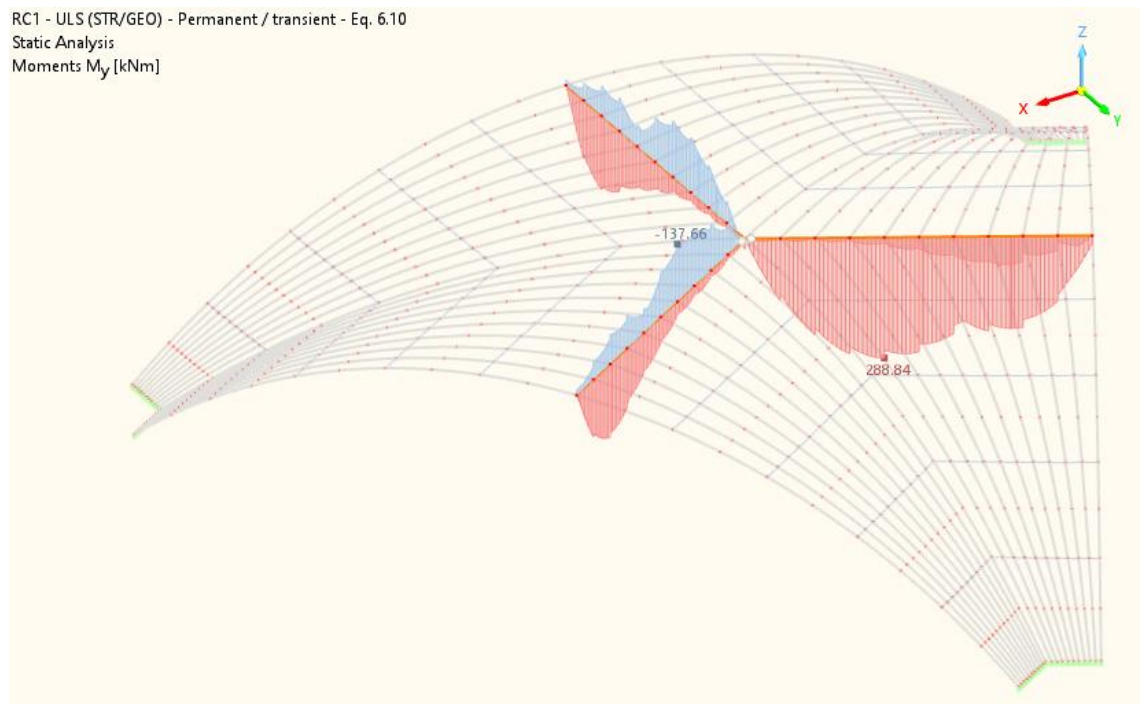
Rezultati statičkog proračuna razupornih nosača:

RC1 - ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10
Static Analysis
Moments M_y [kNm]



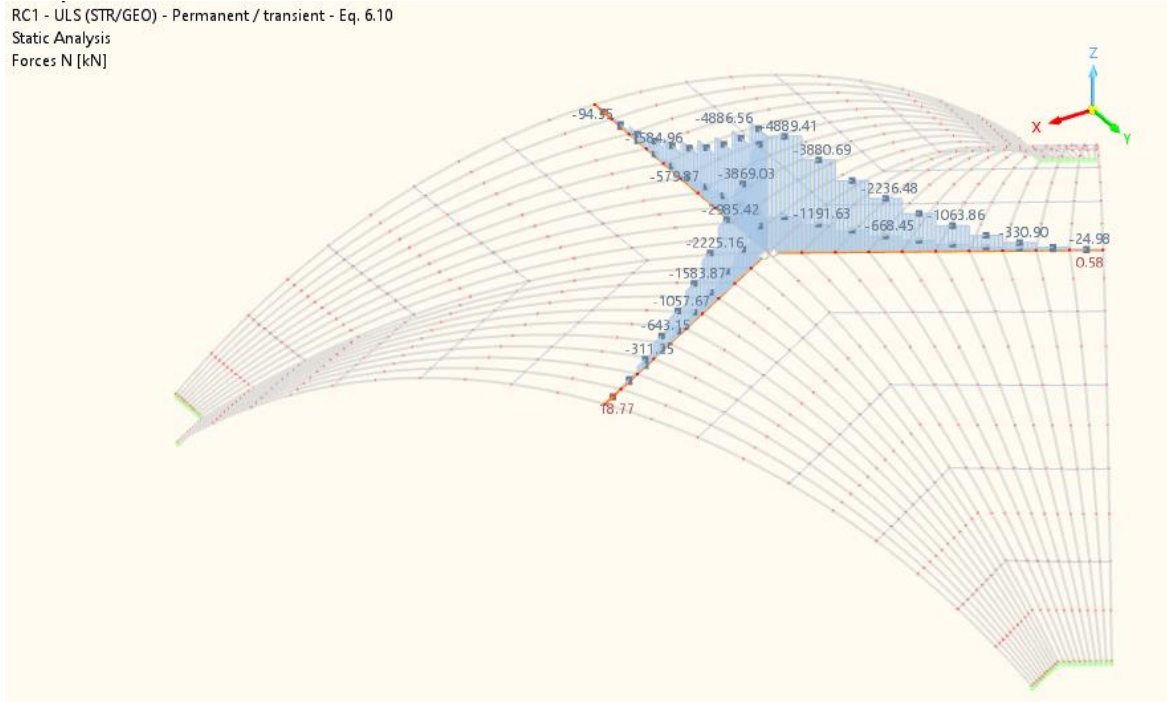
Slika 33. RC1 – Moment savijanja M_y

RC1 - ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10
Static Analysis
Moments M_y [kNm]



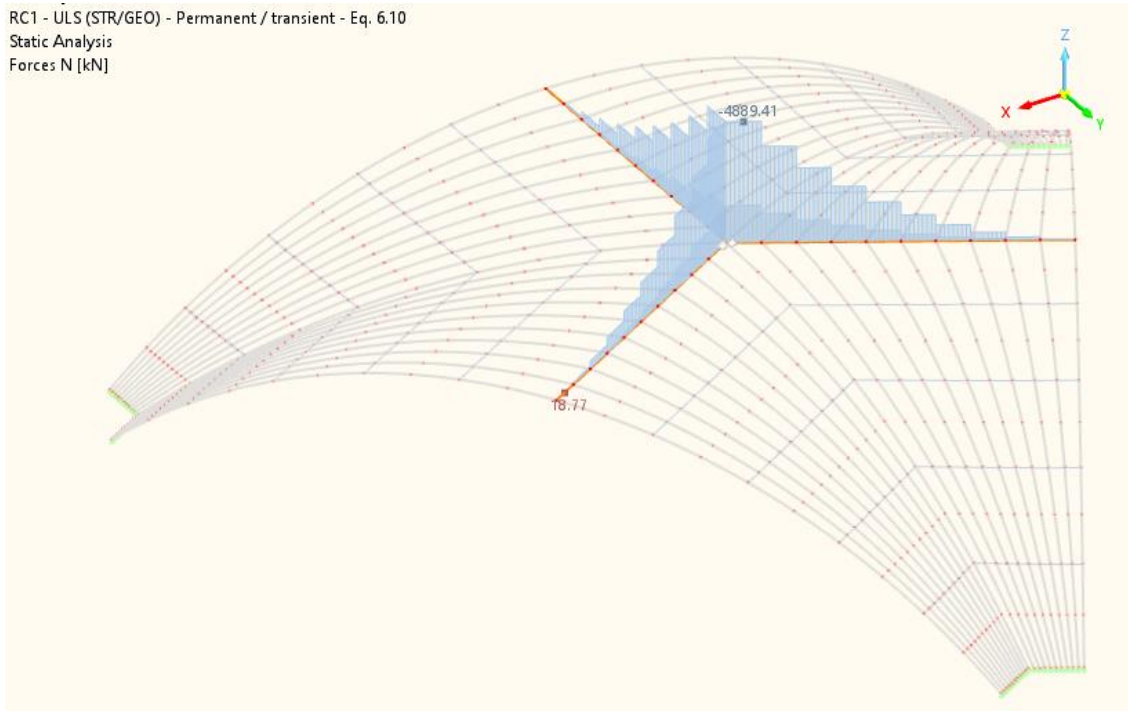
Slika 34. RC1 – Min/max vrijednosti momenta savijanja M_y

RC1 - ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10
Static Analysis
Forces N [kN]

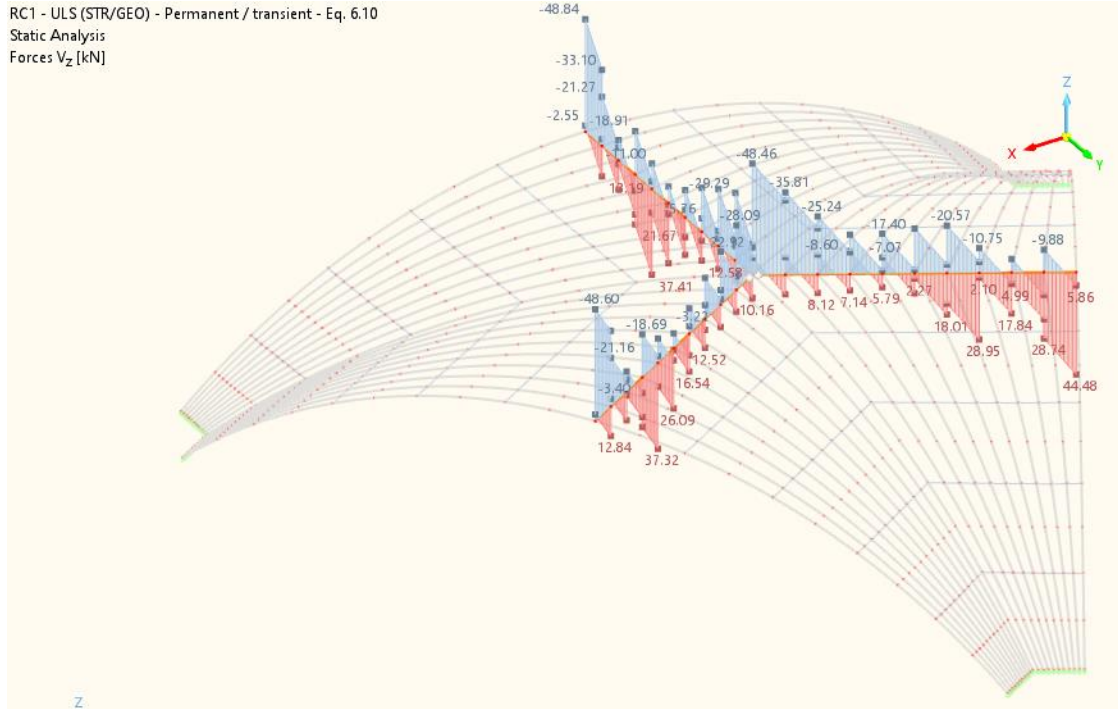


Slika 35. RC1 – Uzdužna sila N

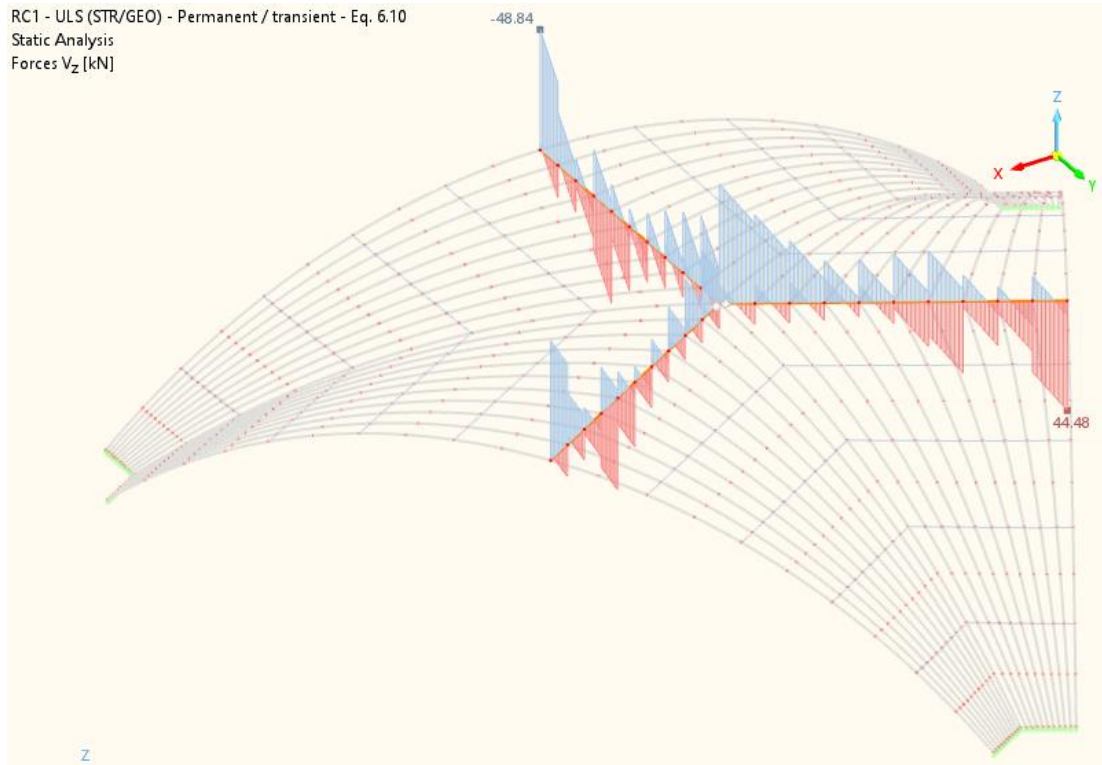
RC1 - ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10
Static Analysis
Forces N [kN]



Slika 36. RC1 – Min/Max vrijednosti uzdužne sile N

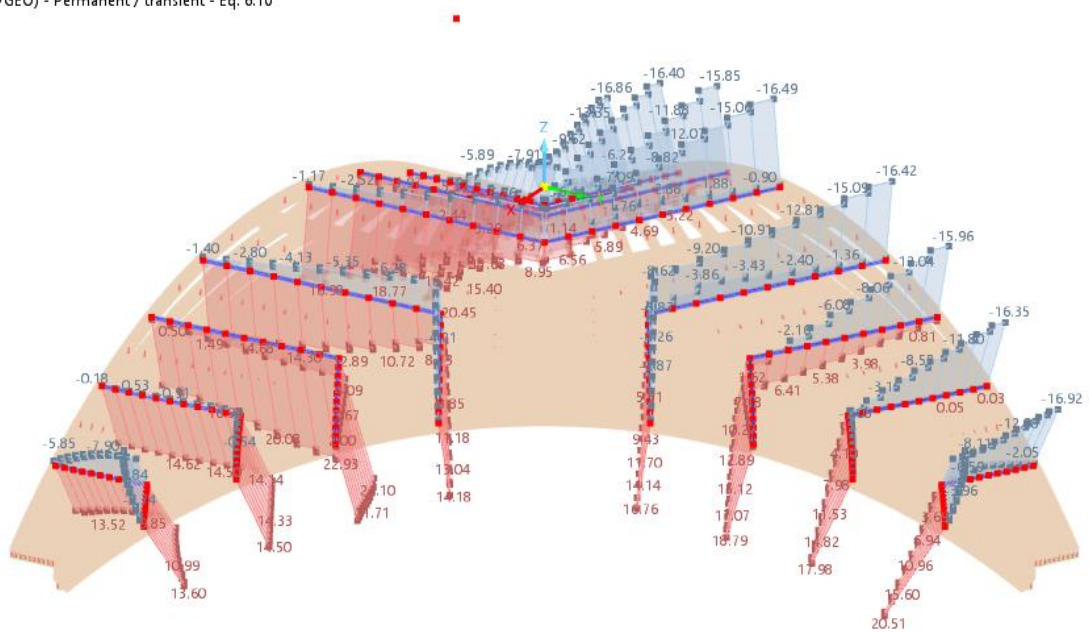


Slika 37. RC1 – Poprečna sila V_z



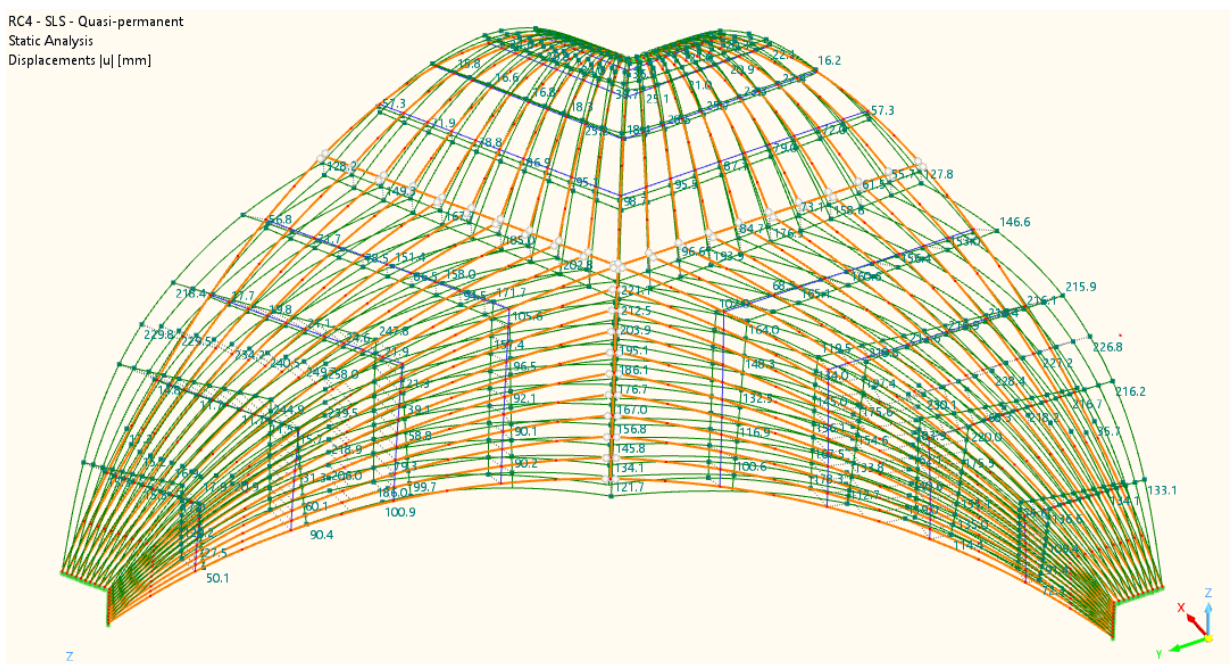
Slika 38. RC1 – Min/Max vrijednosti poprečne sile V_z

Visibility mode
RC1 - ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10
Static Analysis
Forces N [kN]



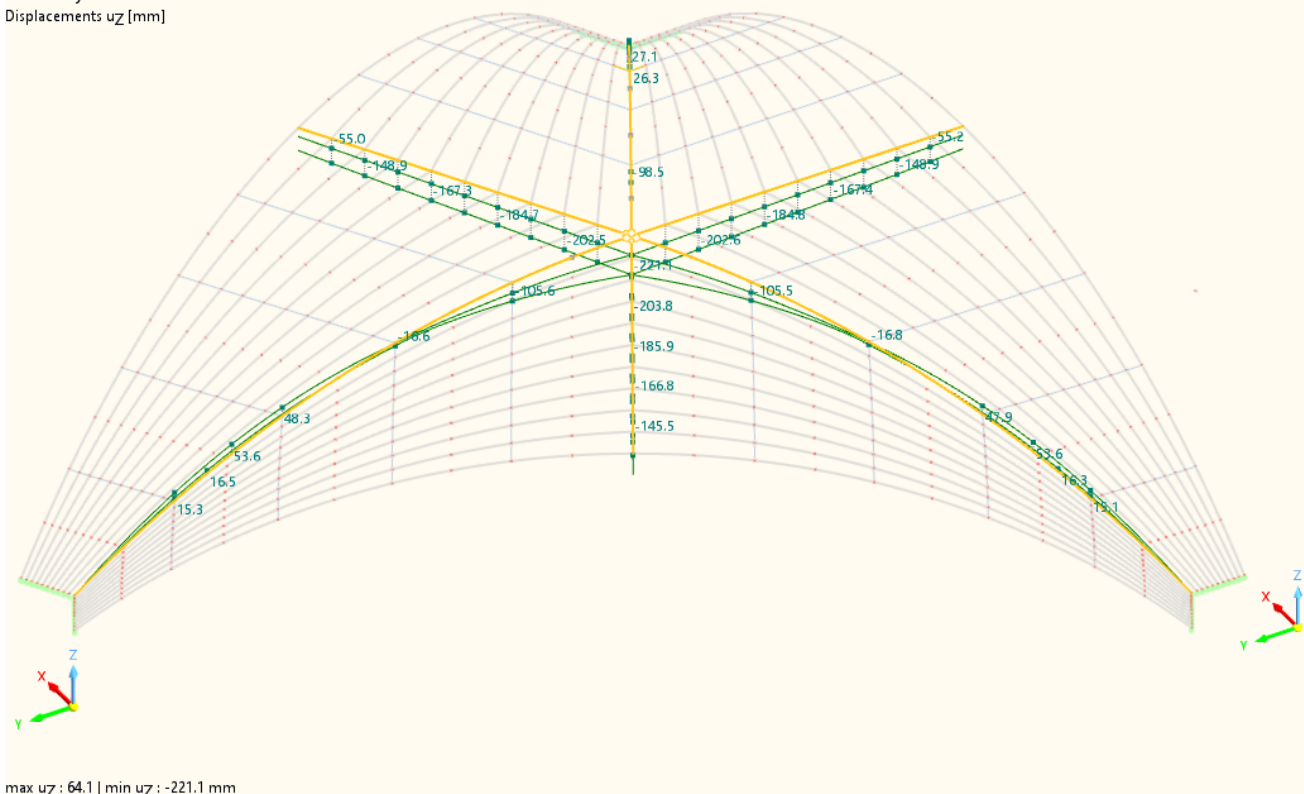
Slika 39. RC1 – Min/Max vrijednosti uzdužne sile N

RC4 - SLS - Quasi-permanent
Static Analysis
Displacements [u] [mm]



Slika 40. RC4 – Globalni pomaci

RC4 - SLS - Quasi-permanent
 Static Analysis
 Displacements u_z [mm]



Slika 41. RC4 – Pomaci u_z – max vrijednost

5. DIMENZIONIRANJE NOSIVIH ELEMENATA

Određivanje faktora izmjene za trajanje opterećenja i sadržaj vlage:

Koeficijent modifikacije:

Klasa uporabljivosti je 1

Najkraće, tj. mjerodavno opterećenje je kratkotrajno

$$k_{\text{mod}} = 0,90$$

Određivanje parcijalnog koeficijenta za svojstva materijala:

Parcijalni koeficijent za materijal drvenih elemenata:

materijal je lijepljeno lamelirano drvo kvalitete GL28h

$$\gamma_M = 1,30$$

Parcijalni koeficijent za materijal čeličnih elemenata:

materijal je čelik kvalitete S355J2

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

5.1. DIMENZIONIRANJE GLAVNIH LUKOVA ZA GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

5.1.1. Provjera nosivosti na posmik u ležaju

Proračunska vrijednost posmičnog naprezanja:

$$\tau_{v,d} = \frac{V_d}{A_{\text{eff}}} = \frac{V_d}{b_{\text{eff}} \cdot h_a} = \frac{V_d}{k_{\text{cr}} \cdot b \cdot h_a} = \frac{1,5 \cdot 146,27 \cdot 10^3}{0,67 \cdot 320 \cdot 2200} = 0,47 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja oslabljenja poprečnog presjeka elementa:

predmetni element nije oslabljen na opterećenom rubu (nije zasječen u čvoru)

$$k_v = 1,00$$

Proračunska vrijednost posmične čvrstoće:

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3,20}{1,30} = 2,22 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na posmik:

$$\frac{\tau_{v,d}}{k_v \cdot f_{v,d}} \leq 1,00$$

$$\frac{0,47}{1,00 \cdot 2,22} = 0,21 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 21 %.

5.1.2. Provjera nosivosti na tlak paralelno s vlakancima (bez dokaza stabilnosti) u ležaju

Proračunska vrijednost tlačnog naprezanja pod kutom na vlakanca:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A_{a,eff}} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{b_a \cdot l_a} = \frac{1313,49 \cdot 10^3}{320 \cdot 2200} = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,5}{1,30} = 18,35 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na tlak paralelno s vlakancima:

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1,00$$
$$\frac{1,87}{18,35} = 0,1 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 10 %.

5.1.3. Provjera nosivosti na posmik u sljemenu

Proračunska vrijednost posmičnog naprezanja:

$$\tau_{v,d} = \frac{V_d}{A_{eff}} = \frac{V_d}{b_{eff} \cdot h_a} = \frac{V_d}{k_{cr} \cdot b \cdot h_a} = \frac{1,5 \cdot 22,76 \cdot 10^3}{0,67 \cdot 320 \cdot 2200} = 0,07 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja oslabljenja poprečnog presjeka elementa:

predmetni element nije oslabljen na opterećenom rubu (nije zasječen u čvoru)

$$k_v = 1,00$$

Proračunska vrijednost posmične čvrstoće:

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3,20}{1,30} = 2,22 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na posmik:

$$\frac{\tau_{v,d}}{k_v \cdot f_{v,d}} \leq 1,00$$
$$\frac{0,07}{1,00 \cdot 2,22} = 0,03 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 3 %.

5.1.4. Provjera nosivosti na tlak paralelno s vlakancima (s dokazom stabilnosti) u sljemenu

Proračunska vrijednost tlačnog naprezanja paralelno s vlakancima:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} = \frac{F_{c,0,d}}{b_a \cdot l_a} = \frac{1115,16 \cdot 10^3}{320 \cdot 2200} = 1,58 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi y:

$$L_1 = 64930 \text{ mm}$$

Predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,y} = 1,4 \cdot L_{arch} = 90902 \text{ mm}$

$$\lambda_y = \frac{l_{i,y}}{i_y} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{b \cdot h^3}{12}}}}{\sqrt{b \cdot h}} = \frac{l_{i,y}}{0,289 \cdot h} = \frac{90902}{0,289 \cdot 2200} = 142,97$$

$$\lambda_{rel,y} = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 142,97 \cdot \sqrt{\frac{26,50}{\pi^2 \cdot 10200}} = 2,32$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_y = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,50) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (2,32 - 0,50) + 2,32^2) = 3,28$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,28 + \sqrt{3,28^2 - 2,32^2}} = 0,18$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi z:

Predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,z} = L_{bracing} = 12986 \text{ mm}$

$$\lambda_z = \frac{l_{i,z}}{i_z} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{h \cdot b^3}{12}}}}{\sqrt{b \cdot h}} = \frac{l_{i,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{12986}{0,289 \cdot 320} = 140,42$$

$$\lambda_{rel,z} = \lambda_z \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 140,42 \cdot \sqrt{\frac{26,50}{\pi^2 \cdot 10200}} = 2,28$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_z = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,50) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (2,28 - 0,50) + 2,28^2) = 3,2$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,2 + \sqrt{3,2^2 - 2,28^2}} = 0,18$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,5}{1,30} = 18,35 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na tlak paralelno s vlakancima s izvijanjem i savijanje s bočnim izvijanjem:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,00$$

$$\frac{1,58}{0,18 \cdot 18,35} = 0,49 < 1,00$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1,00$$

$$\frac{1,58}{0,18 \cdot 18,35} = 0,49 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 49 %.

5.1.5. Provjera nosivosti na tlak paralelno s vlakancima i savijanje (s dokazom stabilnosti) u kritičnom presjeku

Proračunska vrijednost tlačnog naprezanja paralelno s vlakancima:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} = \frac{F_{c,0,d}}{b \cdot h} = \frac{1247,84 \cdot 10^3}{320 \cdot 2200} = 1,77 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi y:

$$L_l = 64930 \text{ mm}$$

predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,y} = 1,4 \cdot L_{arch} = 90902 \text{ mm}$

$$\lambda_y = \frac{l_{i,y}}{i_y} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{b \cdot h^3}{12 \cdot b \cdot h}}} = \frac{l_{i,y}}{0,289 \cdot h} = \frac{90902}{0,289 \cdot 2200} = 142,97$$

$$\lambda_{rel,y} = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 142,97 \cdot \sqrt{\frac{26,50}{\pi^2 \cdot 10200}} = 2,32$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_y = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,50) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (2,32 - 0,50) + 2,32^2) = 3,28$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,28 + \sqrt{3,28^2 - 2,32^2}} = 0,18$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi z:

Predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,z} = L_{bracing} = 12986 \text{ mm}$

$$\lambda_z = \frac{l_{i,z}}{i_z} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{h \cdot b^3}{12 \cdot b \cdot h}}} = \frac{l_{i,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{12986}{0,289 \cdot 320} = 140,42$$

$$\lambda_{rel,z} = \lambda_z \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 140,42 \cdot \sqrt{\frac{26,50}{\pi^2 \cdot 10200}} = 2,28$$

Predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_z = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,50) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (2,28 - 0,50) + 2,28^2) = 3,2$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,2 + \sqrt{3,2^2 - 2,28^2}} = 0,18$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima:

$$f_{c,0d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,50}{1,30} = 18,35 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja oblika poprečnog presjeka napregnutog savijanjem:

predmetni element je pravokutnog poprečnog presjeka

$$k_m = 0,70$$

Proračunska vrijednost naprezanja od savijanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{M_{y,d}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{1515,57 \cdot 10^6}{\frac{320 \cdot 2200^2}{6}} = 5,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{M_{z,d}}{\frac{b^2 \cdot h}{6}} = \frac{0,00 \cdot 10^6}{\frac{320^2 \cdot 2200}{6}} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja bočno torzijskog izvijanja oko osi y:

predmetni element ima efektivnu duljinu izvijanja jednaku $l_{eff,y} = L_{bracing} = 12986 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,crit,y} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot l_{eff,y}} \cdot \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = \frac{\pi \cdot 320^2 \cdot 10200}{2200 \cdot 12986} \cdot \sqrt{\frac{780}{12600}} = 28,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,y} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,y}}} = \sqrt{\frac{28,00}{28,58}} = 0,75 < 0,99 \leq 1,4$$

$$k_{crit,y} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,y} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,99 = 0,82$$

Koeficijent utjecaja bočno torzijskog izvijanja oko osi z:

predmetni element ima efektivnu duljinu izvijanja jednaku $l_{eff,z} = 1,40 \cdot L_{arch} = 90902 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,crit,z} = \frac{\pi \cdot h^2 \cdot E_{0,05}}{b \cdot l_{eff,z}} \cdot \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = \frac{\pi \cdot 2200^2 \cdot 10200}{320 \cdot 90902} \cdot \sqrt{\frac{780}{12600}} = 1326,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,z} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,z}}} = \sqrt{\frac{28,00}{1326,58}} = 0,14 < 0,75$$

$$k_{crit,z} = 1,00$$

Proračunska vrijednost čvrstoće na savijanje:

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28,00}{1,30} = 19,38 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na tlak paralelno s vlakancima s izvijanjem i savijanje s bočnim izvijanjem:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{\text{crit},y} \cdot f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{\text{crit},z} \cdot f_{m,d}} \right) \leq 1,00$$
$$\frac{1,77}{0,18 \cdot 18,35} + \left(\frac{5,87}{0,82 \cdot 19,38} + 0,70 \cdot \frac{0,00}{1,00 \cdot 19,38} \right) = 0,91 < 1,00$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{\text{crit},y} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{\text{crit},z} \cdot f_{m,d}} \right) \leq 1,00$$
$$\frac{1,77}{0,18 \cdot 18,35} + \left(0,70 \cdot \frac{5,87}{0,82 \cdot 19,38} + \frac{0,00}{1,00 \cdot 19,38} \right) = 0,79 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 91 %.

5.1.6. Provjera nosivosti na tlak paralelno s vlakancima i savijanje (s dokazom stabilnosti) u kritičnom presjeku (pozitivan moment)

Proračunska vrijednost tlačnog naprezanja paralelno s vlakancima:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} = \frac{F_{c,0,d}}{b \cdot h} = \frac{1145,55 \cdot 10^3}{320 \cdot 2200} = 1,63 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi y:

$$L_{\text{arch}} = 64930 \text{ mm}$$

predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,y} = 1,4 \cdot L_{\text{arch}} = 90902 \text{ mm}$

$$\lambda_y = \frac{l_{i,y}}{i_y} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{b \cdot h^3}{12 \cdot b \cdot h}}} = \frac{l_{i,y}}{0,289 \cdot h} = \frac{90902}{0,289 \cdot 2200} = 142,97$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 142,97 \cdot \sqrt{\frac{26,50}{\pi^2 \cdot 10200}} = 2,32$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava

vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_y = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},y} - 0,50) + \lambda_{\text{rel},y}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (2,32 - 0,50) + 2,32^2) = 3,28$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}} = \frac{1}{3,28 + \sqrt{3,28^2 - 2,32^2}} = 0,18$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi z:

pozitivni moment djeluje na duljini od 40 m, postavljene stabilizacije na na 3/5 i 4/5 duljine luka

Predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,z} = 15500$ mm

$$\lambda_z = \frac{l_{i,z}}{i_z} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{h \cdot b^3}{12 \cdot b \cdot h}}} = \frac{l_{i,y}}{0,289 \cdot b} = \frac{15500}{0,289 \cdot 320} = 167,60$$

$$\lambda_{rel,z} = \lambda_z \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 167,6 \cdot \sqrt{\frac{26,50}{\pi^2 \cdot 10200}} = 2,72$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_z = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,50) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (2,72 - 0,50) + 2,72^2) = 4,31$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{4,31 + \sqrt{4,31^2 - 2,72^2}} = 0,131$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima:

$$f_{c,0d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,50}{1,30} = 18,35 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja oblika poprečnog presjeka napregnutog savijanjem:

predmetni element je pravokutnog poprečnog presjeka;

$$k_m = 0,70$$

Proračunska vrijednost naprezanja od savijanja (pozitivan moment):

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{M_{y,d}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{502,83 \cdot 10^6}{\frac{320 \cdot 2200^2}{6}} = 1,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{M_{z,d}}{\frac{b^2 \cdot h}{6}} = \frac{0,00 \cdot 10^6}{\frac{320^2 \cdot 2200}{6}} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja bočno torzijskog izvijanja oko osi y:

Predmetni element ima efektivnu duljinu izvijanja jednaku $l_{eff,y} = L_{arch} = 15500$ mm

postavljen jedan element stabilizacije na 3/5 duljine luka u gornjoj zoni

$$\sigma_{m,crit,y} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot l_{eff,y}} \cdot \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = \frac{\pi \cdot 320^2 \cdot 10200}{2200 \cdot 15500} \cdot \sqrt{\frac{780}{12600}} = 23,94 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,y} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,y}}} = \sqrt{\frac{28,00}{23,94}} = 1,08 < 1,4$$

$$k_{crit,y} = 1,00$$

Koeficijent utjecaja bočno torzijskog izvijanja oko osi z:

predmetni element ima efektivnu duljinu izvijanja jednaku $l_{eff,z} = 1,4 \cdot L_{arch} = 90902$ mm

$$\sigma_{m,crit,z} = \frac{\pi \cdot h^2 \cdot E_{0,05}}{b \cdot l_{eff,z}} \cdot \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = \frac{\pi \cdot 2200^2 \cdot 10200}{320 \cdot 90902} \cdot \sqrt{\frac{780}{12600}} = 1326,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,z} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,z}}} = \sqrt{\frac{28,00}{1326,6}} = 0,15 < 0,75$$

$$k_{crit,z} = 1,00$$

Proračunska vrijednost čvrstoće na savijanje:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28,00}{1,30} = 19,38 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na tlak paralelno s vlakancima s izvijanjem i savijanje s bočnim izvijanjem:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,d}} \right) \leq 1,00$$
$$\frac{1,77}{0,18 \cdot 18,35} + \left(\frac{1,95}{1,00 \cdot 19,38} + 0,70 \cdot \frac{0,00}{1,00 \cdot 19,38} \right) = 0,64 < 1,00$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,d}} \right) \leq 1,00$$
$$\frac{1,77}{0,131 \cdot 18,35} + \left(0,70 \cdot \frac{1,95}{1,00 \cdot 19,38} + \frac{0,00}{1,00 \cdot 19,38} \right) = 0,81 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 81 %.

5.1.7. Provjera nosivosti na tlak paralelno s vlakancima i savijanje (s dokazom stabilnosti) u području najveće zakrivljenosti

Proračunska vrijednost tlačnog naprezanja paralelno s vlakancima:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} = \frac{F_{c,0,d}}{b \cdot h} = \frac{1220,03 \cdot 10^3}{320 \cdot 2200} = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi y:

$$L_{arch} = 64930 \text{ mm}$$

predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,y} = 1,4 \cdot L_{arch} = 90902 \text{ mm}$

$$\lambda_y = \frac{l_{i,y}}{i_y} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{b \cdot h^3}{12}}}} = \frac{l_{i,y}}{0,289 \cdot h} = \frac{90902}{0,289 \cdot 2200} = 142,97$$

$$\lambda_{rel,y} = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 142,97 \cdot \sqrt{\frac{26,50}{\pi^2 \cdot 10200}} = 2,32$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_y = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,50) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (2,32 - 0,50) + 2,32^2) = 3,28$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,28 + \sqrt{3,28^2 - 2,32^2}} = 0,18$$

predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,z} = L_{bracing} = 12986 \text{ mm}$

$$\lambda_z = \frac{l_{i,z}}{i_z} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{h \cdot b^3}{12}}}} = \frac{l_{i,y}}{0,289 \cdot b} = \frac{12986}{0,289 \cdot 320} = 140,42$$

$$\lambda_{rel,z} = \lambda_z \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 140,42 \cdot \sqrt{\frac{26,50}{\pi^2 \cdot 10200}} = 2,28$$

Predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_z = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,50) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (2,28 - 0,50) + 2,28^2) = 3,20$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{3,2 + \sqrt{3,2^2 - 2,28^2}} = 0,18$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima:

$$f_{c,0d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,50}{1,30} = 18,35 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja oblika poprečnog presjeka napregnutog savijanjem:

predmetni element je pravokutnog poprečnog presjeka

$$k_m = 0,70$$

Koeficijent utjecaja oblika elementa napregnutog savijanjem:

predmetni element je pravokutnog poprečnog presjeka

ekstrados predmetnog elementa sa tangentom u točki područja najveće zakrivljenosti zatvara kut od $\alpha = 0^\circ$

$$k_1 = 1,00 + 1,40 \cdot \tan \alpha + 5,40 \cdot \tan^2 \alpha = 1,00 + 1,40 \cdot \tan 0^\circ + 5,40 \cdot \tan^2 0^\circ = 1,00$$

$$k_2 = 0,35 - 8,00 \cdot \tan \alpha = 0,35 - 8 \cdot \tan 0^\circ = 0,35$$

$$k_3 = 0,60 + 8,30 \cdot \tan \alpha - 7,80 \cdot \tan^2 \alpha = 0,60 + 8,30 \cdot \tan 0^\circ - 7,80 \cdot \tan^2 0^\circ = 0,60$$

$$k_4 = 6,00 \cdot \tan^2 \alpha = 6,00 \cdot \tan^2 0^\circ = 0,00$$

$$k_I = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{R}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{R}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{R}\right)^3$$

$$k_I = 1,00 + 0,35 \cdot \left(\frac{2200}{101875}\right) + 0,60 \cdot \left(\frac{2200}{101875}\right)^2 + 0,00 \cdot \left(\frac{2200}{101875}\right)^3 = 1,008$$

Proračunska vrijednost naprezanja od savijanja:

$$\sigma_{m,y,ap,d} = k_I \cdot \frac{M_{y,ap,d}}{W_{ap,y}} = k_I \cdot \frac{M_{y,d}}{W_y} = k_I \cdot \frac{M_{y,d}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = 1,008 \cdot \frac{1328,75 \cdot 10^6}{\frac{320 \cdot 2200^2}{6}} = 5,12 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,ap,d} = \frac{M_{z,ap,d}}{W_{ap,z}} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{M_{z,d}}{\frac{b^2 \cdot h}{6}} = \frac{0,00 \cdot 10^6}{\frac{320^2 \cdot 2200}{6}} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja bočno torzijskog izvijanja oko osi y:

predmetni element ima efektivnu duljinu izvijanja jednaku $l_{eff,y} = L_{bracing} = 12986 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,crit,y} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot l_{eff,y}} \cdot \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = \frac{\pi \cdot 320^2 \cdot 10200}{2200 \cdot 12986} \cdot \sqrt{\frac{780}{12600}} = 28,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,y} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,y}}} = \sqrt{\frac{28,00}{28,58}} = 0,99 < 1,40$$

$$k_{crit,y} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,y} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,99 = 0,82$$

Koeficijent utjecaja bočno torzijskog izvijanja oko osi z:

predmetni element ima efektivnu duljinu izvijanja jednaku $l_{eff,z} = 1,40 \cdot L_{arch} = 90902 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,crit,z} = \frac{\pi \cdot h^2 \cdot E_{0,05}}{b \cdot l_{eff,z}} \cdot \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = \frac{\pi \cdot 2200^2 \cdot 10200}{320 \cdot 90902} \cdot \sqrt{\frac{780}{12600}} = 1326,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,z} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,z}}} = \sqrt{\frac{28,00}{1326,58}} = 0,14 < 0,75$$

$$k_{crit,z} = 1,00$$

Koeficijent utjecaja zakrivljenosti intradosa elementa i savijanja lamela tijekom proizvodnje:

predmetni element ima radijus intradosa $r_{in} = 100775 \text{ mm}$

predmetni element načinjen je od lamela debljine $t = 40 \text{ mm}$

omjer radijusa intradosa i debljine lamela predmetnog elementa jednak je $\frac{r_{in}}{t} = 2519,38 > 200$

omjer radijusa intradosa i debljine lamela predmetnog elementa ne zadovoljava uvjet $r_{in}/t < 240$

$$k_r = 1,0$$

Proračunska vrijednost čvrstoće na savijanje:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28,00}{1,30} = 19,38 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na tlak paralelno s vlakancima s izvijanjem i savijanje s bočnim izvijanjem:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot k_r \cdot f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,d}} \right) \leq 1,00$$
$$\frac{1,73}{0,18 \cdot 18,35} + \left(\frac{5,12}{0,82 \cdot 1,00 \cdot 19,38} + 0,70 \cdot \frac{0,00}{1,00 \cdot 16,62} \right) = 0,85 < 1,00$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot k_r \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,d}} \right) \leq 1,00$$

$$\frac{1,73}{0,18 \cdot 18,35} + \left(0,70 \cdot \frac{5,12}{1,00 \cdot 1,00 \cdot 19,38} + \frac{0,00}{1,00 \cdot 16,62} \right) = 0,71 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 85 %.

5.1.8. Provjera nosivosti na tlak/vlak okomito na vlakanca u području najveće zakrivljenosti

Koeficijent korekcije normalnih uzdužnih naprezanja elementa napregnutog savijanjem:

ekstrados predmetnog elementa sa tangentom u točki područja najveće zakrivljenosti zatvara kut od $\alpha = 0^\circ$

$$k_5 = 0,20 \cdot \tan \alpha = 0,20 \cdot \tan 0^\circ = 0,00$$

$$k_6 = 0,25 - 1,50 \cdot \tan \alpha + 2,60 \cdot \tan^2 \alpha = 0,25 - 1,50 \cdot \tan 0^\circ + 2,60 \cdot \tan^2 0^\circ = 0,25$$

$$k_7 = 2,10 \cdot \tan \alpha - 4,00 \cdot \tan^2 \alpha = 2,10 \cdot \tan 0^\circ - 4 \cdot \tan^2 0^\circ = 0,00$$

$$k_\rho = k_5 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{R} \right) + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{R} \right)^2 + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{R} \right)^3$$

$$k_\rho = 0,00 \cdot \left(\frac{2200}{101875} \right) + 0,25 \cdot \left(\frac{2200}{101875} \right)^2 + 0,00 \cdot \left(\frac{2200}{101875} \right)^3 = 0,00016$$

Proračunska vrijednost tlačnog naprezanja okomito na vlakanca:

$$\sigma_{c,90,d} = k_\rho \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap,y}} = k_\rho \cdot \frac{M_{y,d}}{W_y} = k_\rho \cdot \frac{M_{y,d}}{b \cdot h^2 / 6} = 0,00016 \cdot \frac{1328,75 \cdot 10^6}{\frac{320 \cdot 2200^2}{6}} = 0,00082 \text{ N/mm}^2$$

Proračunska vrijednost vlačnog naprezanja okomito na vlakanca:

$$\sigma_{t,90,d} = k_\rho \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap,y}} = k_\rho \cdot \frac{M_{y,d}}{W_y} = k_\rho \cdot \frac{M_{y,d}}{b \cdot h^2 / 6} = 0,016 \cdot \frac{151,41 \cdot 10^6}{\frac{320 \cdot 2200^2}{6}} = 0,000094 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja nelinearne raspodjele naprezanja elementa napregnutog savijanjem:

Predmetni element ima zaobljeni ekstrados i konstantni poprečni presjek;

$$k_{dis} = 1,40$$

Koeficijent utjecaja volumena elementa napregnutog savijanjem:

predmetni element je zakrivljen cijelom duljinom

predmetni nosač nema rubnih djelova u kojima prestaje zakrivljenost

za mjerodavnu vrijednost napreznog volumena uzima se $V = V_{tot,2/3} = 30,47 \text{ m}^3$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,20} = \left(\frac{V_0}{V_{tot,2/3}} \right)^{0,20} = \left(\frac{0,01}{30,47} \right)^{0,20} = 0,20$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće okomito na vlakanca:

$$f_{c,90d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3,0}{1,30} = 2,08 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na tlak okomito na vlakanca:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1,00$$

$$\frac{0,00082}{1,40 \cdot 0,20 \cdot 2,08} = 0,001 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 1 %.

Proračunska vrijednost vlačne čvrstoće okomito na vlakanca:

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,45}{1,30} = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na vlak okomito na vlakanca:

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1,00$$

$$\frac{0,000094}{1,40 \cdot 0,20 \cdot 0,31} = 0,001 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 1 %.

5.2. DIMENZIONIRANJE RAZUPORNOG NOSAČA

5.2.1. Provjera nosivosti na posmik

Proračunska vrijednost posmičnog naprezanja:

$$\tau_{v,d} = \frac{1,50 \cdot V_d}{A_{eff}} = \frac{1,50 \cdot V_d}{b_{eff} \cdot h_a} = \frac{1,50 \cdot V_d}{k_{cr} \cdot b \cdot h_a} = \frac{1,50 \cdot 48,84 \cdot 10^3}{0,67 \cdot 320 \cdot 2200} = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja oslabljenja poprečnog presjeka elementa:

Predmetni element nije oslabljen na opterećenom rubu (nije zasječen u čvoru)

$$k_v = 1,00$$

Proračunska vrijednost posmične čvrstoće:

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3,20}{1,30} = 2,22 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na posmik:

$$\frac{\tau_{v,d}}{k_v \cdot f_{v,d}} \leq 1,00$$

$$\frac{0,16}{1,00 \cdot 2,22} = 0,07 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 7%.

5.2.2. Provjera nosivosti na tlak paralelno s vlakancima i savijanje (s dokazom stabilnosti) u kritičnom presjeku

Proračunska vrijednost tlačnog naprezanja paralelno s vlakancima:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} = \frac{F_{c,0,d}}{b \cdot h} = \frac{4889,41 \cdot 10^3}{320 \cdot 2200} = 6,95 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi y:

predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,y} = L_{\text{beam}} = 36040 \text{ mm}$

$$\lambda_y = \frac{l_{i,y}}{i_y} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{l_{i,y}}{\sqrt{\frac{b \cdot h^3}{12}}}{\sqrt{b \cdot h}} = \frac{l_{i,y}}{0,289 \cdot h} = \frac{36040}{0,289 \cdot 2200} = 56,68$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 56,68 \cdot \sqrt{\frac{29,0}{\pi^2 \cdot 11100}} = 0,92$$

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_y = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},y} - 0,50) + \lambda_{\text{rel},y}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (0,92 - 0,50) + 0,92^2) = 0,944$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}} = \frac{1}{0,944 + \sqrt{0,944^2 - 0,92^2}} = 0,86$$

Koeficijent utjecaja izvijanja oko osi z:

predmetni element ima duljinu izvijanja jednaku $l_{i,z} = L_{\text{bracing}} = 3684 \text{ mm}$

$$\lambda_z = \frac{l_{i,z}}{i_z} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{l_{i,z}}{\sqrt{\frac{h \cdot b^3}{12}}}{\sqrt{b \cdot h}} = \frac{l_{i,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{3684}{0,289 \cdot 320} = 39,84$$

$$\lambda_{\text{rel},z} = \lambda_z \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 \cdot E_{0,05}}} = 39,84 \cdot \sqrt{\frac{29,0}{\pi^2 \cdot 11100}} = 0,65$$

Predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, pa se uvažava vrijednost $\beta_c = 0,10$

$$k_z = 0,50 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},z} - 0,50) + \lambda_{\text{rel},z}^2) = 0,50 \cdot (1 + 0,10 \cdot (0,65 - 0,50) + 0,65^2) = 0,72$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},z}^2}} = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,65^2}} = 0,97$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima:

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,5}{1,30} = 18,35 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja oblika poprečnog presjeka napregnutog savijanjem:

predmetni element je pravokutnog poprečnog presjeka

$$k_m = 0,70$$

Proračunska vrijednost naprezanja od savijanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{M_{y,d}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{288,84 \cdot 10^6}{\frac{320 \cdot 2200^2}{6}} = 1,12 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{M_{z,d}}{\frac{b^2 \cdot h}{6}} = \frac{0,00 \cdot 10^6}{\frac{320^2 \cdot 2200}{6}} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja bočno torzijskog izvijanja oko osi y:

predmetni element ima efektivnu duljinu izvijanja jednaku $l_{\text{eff},y} = L_{\text{bracing}} = 3684 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,\text{crit},y} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot l_{\text{eff},y}} \cdot \sqrt{\frac{G_{0,\text{mean}}}{E_{0,\text{mean}}}} = \frac{\pi \cdot 320^2 \cdot 11100}{2200 \cdot 3684} \cdot \sqrt{\frac{850}{13700}} = 109,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel},m,y} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit},y}}} = \sqrt{\frac{32,00}{109,7}} = 0,54 < 0,75$$

$$k_{\text{crit},y} = 1,0$$

Koeficijent utjecaja bočno torzijskog izvijanja oko osi z:

predmetni element ima efektivnu duljinu izvijanja jednaku $l_{\text{eff},z} = L_{\text{beam}} = 36040 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,\text{crit},z} = \frac{\pi \cdot h^2 \cdot E_{0,05}}{b \cdot l_{\text{eff},z}} \cdot \sqrt{\frac{G_{0,\text{mean}}}{E_{0,\text{mean}}}} = \frac{\pi \cdot 2200^2 \cdot 11100}{320 \cdot 36040} \cdot \sqrt{\frac{850}{13700}} = 1160,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel},m,z} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit},z}}} = \sqrt{\frac{32,00}{1160,3}} = 0,16 < 0,75$$

$$k_{\text{crit},z} = 1,00$$

Proračunska vrijednost čvrstoće na savijanje:

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28,00}{1,30} = 19,38 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na tlak paralelno s vlakancima s izvijanjem i savijanje s bočnim izvijanjem:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{\text{crit},y} \cdot f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{\text{crit},z} \cdot f_{m,d}} \right) \leq 1,00$$

$$\frac{6,95}{0,86 \cdot 18,35} + \left(\frac{1,12}{1,00 \cdot 19,38} + 0,70 \cdot \frac{0,00}{1,00 \cdot 22,15} \right) = 0,50 < 1,00$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{\text{crit},y} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{\text{crit},z} \cdot f_{m,d}} \right) \leq 1,00$$

$$\frac{6,95}{0,97 \cdot 18,35} + \left(0,70 \cdot \frac{1,12}{1,00 \cdot 19,38} + \frac{0,00}{1,00 \cdot 22,15} \right) = 0,43 < 1,00$$

Element presjeka 320/2200 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 50 %.

5.3. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA STABILIZACIJSKOG SUSTAVA

5.3.1. Razredba poprečnog presjeka

Tablica 5. Karakteristike odabranog profila:

| PROFIL | DIMENZIJE PRESJEKA | | STATIČKE VELIČINE | |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|
| | veličina | iznos | veličina | iznos |
| cijevni profil 200x200x5 | h | 200 mm | I | 4251 cm ⁴ |
| | b | 200 mm | W | 425 cm ³ |
| hladno dogot. profil | t _w | 10 mm | W _{pl} | 508 cm ³ |
| | t _f | 10 mm | i | 10,8 cm |
| S355J2 | r | 15 mm | I _t | 7072 cm ⁴ |
| poprečni presjek klase 1 | A | 72,6 cm ² | W _t | 651 cm ³ |
| | G | 57 kg/m | A _L | 0,757 m ² /m |

Hrbat:

$$\frac{c}{t} = \frac{(h - 2 \cdot t - 2 \cdot r)}{t} = \frac{(200 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15)}{10} = 15$$

$$33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

$$\frac{c}{t} < 33 \cdot \varepsilon$$

15 < 26,73 → Hrbat je razreda 1.

Pojasnica:

$$\frac{c}{t} = \frac{(h - 2 \cdot t - 2 \cdot r)}{t} = \frac{(200 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15)}{10} = 15$$

$$33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

$$\frac{c}{t} < 33 \cdot \varepsilon$$

15 < 26,73 → Pojasnica je razreda 1.

Razredba:

Poprečni presjek svrstan je u razred 1.

5.3.2. Nosivost poprečnog presjeka izloženog vlačnoj sili

Proračunska otpornost poprečnog presjeka na vlak:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{72,6 \cdot 35,5}{1,00} = 2577,3 \text{ kN}$$

Dokaz nosivosti poprečnog presjeka na vlak:

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{24,10}{2577,3} = 0,01 < 1,00$$

Odabrani profil zadovoljava nosivost uz iskoristivost 1 %.

5.3.3. Nosivost elementa izloženog tlačnoj sili na izvijanje

Proračunska otpornost elementa na izvijanje:

$$I_y = I_z$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4251}{304,4^2} = 9508,7 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{72,6 \cdot 35,5}{9508,7}} = 0,52$$

Za odabrani profil mjerodavna je krivulja izvijanja "c" te $\alpha = 0,49$.

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,52 - 0,20) + 0,52^2] = 0,71$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,52^2}} = 0,83$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,83 \cdot \frac{72,6 \cdot 35,5}{1,1} = 1954,26 \text{ kN}$$

Dokaz nosivosti elementa na izvijanje:

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{16,92 + 4,16}{1954,26} = 0,01 < 1,00$$

Odabrani profil zadovoljava nosivost uz iskoristivost 1 %.

5.4. PROVJERA GRANIČNOG STANJA UPORABIVOSTI

Proračunske vrijednosti progiba za mjerodavnu kombinaciju djelovanja:

$$u_{2,inst} = 146,1 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} = 221,1 \text{ mm}$$

5.4.1. Provjera uporabivosti

Granična vrijednost progiba:

$$\max u_{2,inst} = \frac{l}{300} = \frac{64930}{300} = 216,43 \text{ mm}$$

$$\max u_{net,fin} = \frac{l}{200} = \frac{64930}{200} = 324,65 \text{ mm}$$

Dokaz uporabivosti elementa:

$$\frac{u_{2,inst}}{l} \leq 1,00$$



$$\frac{146,1}{216,43} = 0,68 < 1,00$$

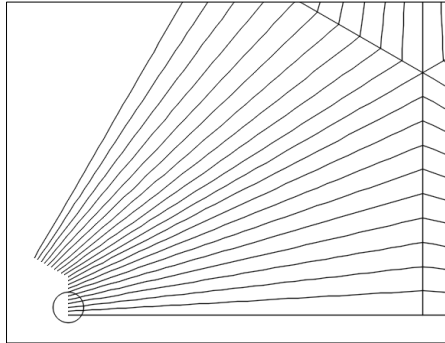
$$\frac{u_{\text{net,fin}}}{1} \leq 1,00$$

$$\frac{221,1}{324,65} = 0,68 < 1,00$$

Nosači pretpostavljenih karakteristika zadovoljavaju uvjete uporabivosti uz iskoristivost 68 %.

6. RAZRADA I PRORAČUN DETALJA

6.1. Detalj oslonca glavnog luka



Slika 42. Položaj promatranog detalja

Karakteristike štapnog spojnog sredstva:

Štapno spojno sredstvo je vijak M20 prema DIN 975 s maticom DIN 936 i podloškom DIN 125

Klasa čvrstoće štapnog spojnog sredstva je 8.8

Promjer štapnog spojnog sredstva jednak je $d = 20$ mm

Rupa u drvu treba imati promjer $d_{h,w} = 21$ mm, a u čeliku $d_{h,s} = 22$ mm

Štapno spojno sredstvo treba imati minimalnu duljinu od $l_{min} = 390$ mm

Karakteristike čeličnog lima u spoju:

Čelični lim u spoju je obostrani debeli lim ($t = 20$ mm $<$ $d = 20$ mm) te utisnuti lim

Limovi su međusobno povezani preko baznog lima debljine jednake $t = 30$ mm

Debljina čeličnog lima u spoju jednaka je $t = 20$ mm

Svi zavari između limova su kutni, debljine $a = 20$ mm

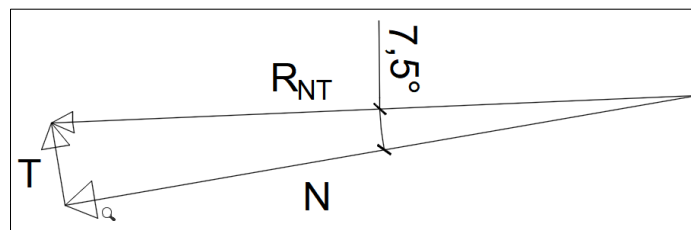
Prilikom obrade nužno je obraditi oštre rubove limova

Ulazne sile:

$$V_z = 146,27 \text{ kN}$$

$$N = 1136,01 \text{ kN}$$

$$R_{NT} = 1145,4 \text{ kN} \rightarrow \text{Sila zatvara kut od } \alpha = 7,5^\circ \text{ sa osi luka}$$



Slika 43. Mjerodavna rezultanta sila pri ležaju

Minimalni dozvoljeni razmaci spojnih sredstava:

$$\alpha = 7,5^\circ$$

$$a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = (4 + \cos 7,5^\circ) \cdot 20 = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano } a_1 = 150 \text{ mm}$$

$$a_2 = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano } a_2 = 450 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = \max(7 \cdot 20; 80 \text{ mm}) = 140 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano } a_{3,t} = 150 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = \max((2 + 2 \cdot \sin 7,5^\circ) \cdot 20; 3 \cdot 20) = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

6.1.1. Određivanje nosivosti spoja u dijelu glavnog luka

Proračunska vrijednost momenta tečenja štapnog spojnog sredstva:

$$M_{y,k} = \frac{0,80 \cdot f_{u,k} \cdot d^3}{6} = \frac{0,80 \cdot 800 \cdot 20^3}{6} = 853333,33 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{853333,33}{1,10} = 775757,58 \text{ Nmm}$$

Proračunska vrijednost čvrstoće pritiska spojnog sredstva po omotaču rupe u drvu za kut od $7,5^\circ$:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 410 = 26,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{h,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,9}{1,30} = 18,62 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja smjera sile:

predmetni element načinjen je od lijepljenog lameliranog drva, odnosno od drva crnogorice

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 20 = 1,65$$

Proračunska vrijednost čvrstoće pritiska spojnog sredstva po omotaču rupe u drvu za kut α :

rezultantna sila na promatrani element djeluje pod kutom od $7,5^\circ$

$$f_{h,7,5,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26,9}{1,65 \cdot \sin^2 7,5^\circ + \cos^2 7,5^\circ} = 26,61 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,7,5,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{h,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,11}{1,30} = 18,08 \text{ N/mm}^2$$

Nosivost jednog spojnog sredstva u jednoj vanjskoj reznoj ravnini za spoj obostranog debelog lima i silu pod kutom od $7,5^\circ$ na promatrani element:

$$R_{ks,7,5,d} = 0,50 \cdot f_{h,7,5,d} \cdot t_1 \cdot d = 0,50 \cdot f_{h,7,5,d} \cdot \left(\frac{b-t}{2}\right) \cdot d = 0,50 \cdot 18,08 \cdot \left(\frac{320-20}{2}\right) \cdot 20 = 27,12 \text{ kN}$$

$$R_{ls,7,5,d} = 1,50 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,7,5,d} \cdot d} = 1,50 \cdot \sqrt{2 \cdot 775757,58 \cdot 18,08 \cdot 20} = 35,53 \text{ kN}$$

$$R_{V,7,5,d} = R_{bs,7,5,d} = 27,12 \text{ kN}$$

Nosivost jednog spojnog sredstva u jednoj nutarnjoj reznoj ravnini za spoj utisnutog lima i silu pod kutom od $7,5^\circ$ na promatrani element:

$$R_{as,90,d} = f_{h,7,50,d} \cdot t_1 \cdot d = f_{h,7,5,d} \cdot b \cdot d = 18,08 \cdot 150 \cdot 20 = 54,24 \text{ kN}$$

$$R_{bs,90,d} = 1,50 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,7,5,d} \cdot d} = 1,50 \cdot \sqrt{2 \cdot 775757,58 \cdot 18,08 \cdot 20} = 35,53 \text{ kN}$$

$$R_{V,90,d} = R_{bs,7,5,d} = 35,53 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost spoja na poprečnu silu za $n = 12$ kom spojnih sredstava:

$$F_{R,90,d} = n \cdot n_{cp} \cdot \sum R_{V,90,d,i} = 12 \cdot 2 \cdot (27,12 + 35,53) = 1503,6 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{E,d}}{F_{R,d}} = \frac{R_{V,Rd}}{F_{R,90,d}} = \frac{1145,44}{1503,6} = 0,76 < 1,00$$

Detalj predmetnog spoja pretpotavljenih karakteristika zadovoljava uvjet nosivosti uz iskoristivost 76 %.

6.1.2. Određivanje nosivosti spoja u području oslonca glavnog luka

Nosivost ležajne ploče na posmik:

$$F_{v,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k} \cdot \gamma_{M0}}{1,50 \cdot \sqrt{3}} = \frac{t_a \cdot b_a \cdot f_{y,k} \cdot \gamma_{M0}}{1,50 \cdot \sqrt{3}} = \frac{30 \cdot 570 \cdot 355,00 \cdot 1,00}{1,50 \cdot \sqrt{3}} = 2336,54 \text{ kN}$$

$F_{E,d} = 1136,01 \rightarrow$ uzdužna sila u glavnom luku na mjestu ležaja

$$\frac{F_{E,d}}{F_{v,Rd}} = \frac{R_{V,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{1136,01}{2336,54} = 0,49 < 1,00$$

Detalj predmetnog spoja pretpotavljenih karakteristika zadovoljava uvjet nosivosti uz iskoristivost 49 %.

6.1.3. Proračun nosivosti ploče ležaja

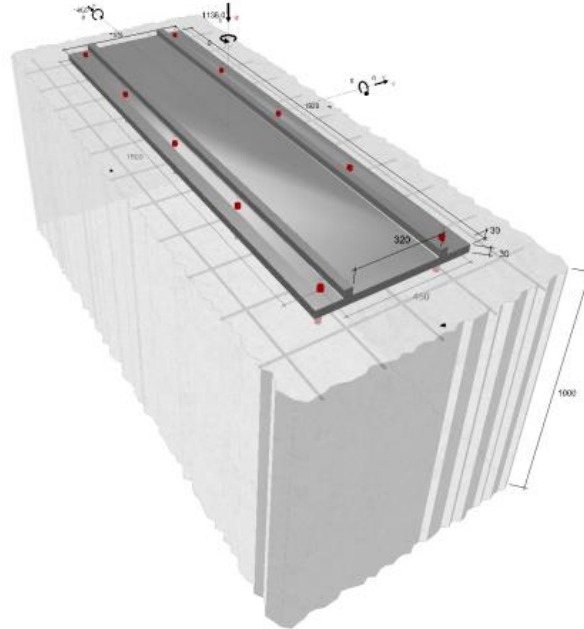
Unos podataka u računalni program *Würth Technical Software II*:

| Podaci za unos | | | | | |
|--------------------------------|--|--------|--------|----------------|------------|
| Podloga | Beton: ispucani C30/37; $f_{ck} = 30,00 \text{ N/mm}^2$; $f_{ck,cube} = 37,00 \text{ N/mm}^2$ $h = 1000 \text{ mm}$ Temperature range: $40^\circ\text{C} / 24^\circ\text{C}$ (Korisnik) $40^\circ\text{C} / 24^\circ\text{C}$ (Proračun) | | | | |
| Armatura | Betonski čelik, armatura: Normalno Rubna armatura: Bez Armatura za sprječavanje pukotina: Dostupno | | | | |
| Sidrena ploča | S235JR $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$ $\mu = 0,30$ $\gamma = 1,10$ $l_y \times l_z \times t = 570 \text{ mm} \times 1920 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ (Sidrena ploča korisnički dimenzionirana) | | | | |
| Uvjeti instalacije | Postupak bušenja: Udarno bušenje Stanje rupe: suho Savijanje sidra: Bez Type of cleaning: Compressed air cleaning (CAC), see installation manual ETA-17/0127 | | | | |
| Artikli sidrenog vijka: | | | | | |
| br. art. | Opis | Ø [mm] | l [mm] | t_{fix} [mm] | VE [Komad] |
| 5915 320 220 | Sidrena šipka W-VD-A/S M20-20/220 | M20 | 220 mm | 100 mm | 10 |
| 5915 320 260 | Sidrena šipka W-VD-A/S M20-60/260 | M20 | 260 mm | 140 mm | 10 |
| 5915 320 300 | Sidrena šipka W-VD-A/S M20-100/300 | M20 | 300 mm | 180 mm | 10 |

Odobran tip sidra i veličina WIT-UH 300 + W-VD-A/S M20
Materijal S 8.8
Efektivna dubina sidrenja 90 mm
Ocjena ETA-17/0127
 vrijedi od 13.11.2020.



Geometrija i opterećenje:



Slučajevi opterećenja:

| # | ime | N_{Sd} [kN] | V_{Sdv} [kN] | V_{Sdw} [kN] | M_{Sdu} [kNm] | M_{Sdv} [kNm] | M_{Sdw} [kNm] | Vrsta opterećenja |
|---|-----|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | | -1136,010 | 0,000 | -146,270 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | Normalno |

Dokazi

Rezultirajuće sile sidara:

| Broj sidara | $N_{Ed,x}^i$ [kN] | $(V^{Mx^i})_{Ed,y}$ [kN] | $(V^{Mx^i})_{Ed,z}$ [kN] | $(V^{Vy^i})_{Ed,y}$ [kN] | $(V^{Vz^i})_{Ed,z}$ [kN] | $V_{Ed,y}^i$ [kN] | $V_{Ed,z}^i$ [kN] | V_{Ed}^i [kN] |
|-------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -14,627 | 0,000 | -14,627 | 14,627 |
| 2 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -14,627 | 0,000 | -14,627 | 14,627 |
| 3 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -14,627 | 0,000 | -14,627 | 14,627 |
| 4 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -14,627 | 0,000 | -14,627 | 14,627 |
| 5 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -14,627 | 0,000 | -14,627 | 14,627 |
| 6 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -14,627 | 0,000 | -14,627 | 14,627 |
| 7 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -14,627 | 0,000 | -14,627 | 14,627 |
| 8 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -14,627 | 0,000 | -14,627 | 14,627 |
| 9 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -14,627 | 0,000 | -14,627 | 14,627 |
| 10 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -14,627 | 0,000 | -14,627 | 14,627 |

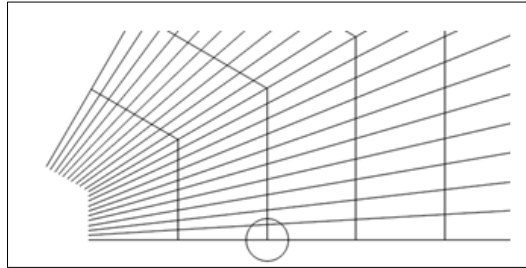
| | $\Sigma N_{Ed,x}^i$ [kN] | $\Sigma (V^{Mx^i})_{Ed,y}$ [kN] | $\Sigma (V^{Mx^i})_{Ed,z}$ [kN] | $\Sigma (V^{Vy^i})_{Ed,y}$ [kN] | $\Sigma (V^{Vz^i})_{Ed,z}$ [kN] | $\Sigma V_{Ed,y}^i$ [kN] | $\Sigma V_{Ed,z}^i$ [kN] | $[\Sigma V_{Ed}^i]$ [kN] |
|-------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Zbroj | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -146,270 | 0,000 | -146,270 | 146,270 |

Sažetak:

| Opterećenje | Dokaz | Iskorištavanje | Status |
|-------------|---|----------------|----------|
| Posmik | Slom čelika bez poluge | 18,66 % | dokazano |
| Posmik | Slom betona grupe sidara (pry-out) (Grupa sidara) | 30,47 % | dokazano |

Dokazi su uspješno provedeni!

6.2. DETALJ JEDNOSTRANOG SPOJA ELEMENTA STABILIZACIJSKOG SUSTAVA I GLAVNOG LUKA



Slika 44. Položaj promatranog detalja

Određivanje geometrije spoja u dijelu elementa stabilizacijskog sustava:

Karakteristike štapnog spojnog sredstva:

Štapno spojno sredstvo je vijak M20 prema DIN 975 s maticom DIN 931 i podloškom DIN 1052

Klasa čvrstoće štapnog spojnog sredstva je 8.8

Promjer štapnog spojnog sredstva jednak je $d = 20 \text{ mm}$

Rupa u u čeliku treba imati promjer $d_{h,s} = 22 \text{ mm}$

Štapno spojno sredstvo treba imati minimalnu duljinu od $l_{\min} = 360 \text{ mm}$

Karakteristike čeličnog lima u spoju:

Za spoj se koriste čvorna čelična ploča

Debljina čeličnog lima u spoju jednaka je $t = 10 \text{ mm}$

Svi zavari između limova su kutni, debljine $a = 10 \text{ mm}$

Prilikom obrade nužno je obraditi oštre rubove limova

Određivanje geometrije spoja u dijelu glavnog luka:

Karakteristike štapnog spojnog sredstva:

Štapno spojno sredstvo je vijak M20 prema DIN 975 s maticom DIN 934 i podloškom DIN 125

Klasa čvrstoće štapnog spojnog sredstva je 8.8

Promjer štapnog spojnog sredstva jednak je $d = 20 \text{ mm}$

Rupa u drvu treba imati promjer $d_{h,w} = 21 \text{ mm}$, a u čeliku $d_{h,s} = 22 \text{ mm}$

Štapno spojno sredstvo treba imati minimalnu duljinu od $l_{\min} = 360 \text{ mm}$

Karakteristike čeličnog lima u spoju:

Čelični lim u spoju je jednostrani tanki lim ($t = 10 \text{ mm} < d = 20 \text{ mm}$)

Debljina čeličnog lima u spoju jednaka je $t = 10 \text{ mm}$

Svi zavari između limova su kutni, debljine $a = 10 \text{ mm}$

Prilikom obrade nužno je obraditi oštre rubove limova

Ulazne sile:

$N = 16,92 \text{ kN} \rightarrow$ Najveća uzdužna sila u stabilizaciji dobivena proračunom

$Q_{b,d} = 4,16 \text{ kN}$

$\alpha = 0^\circ$

Minimalni dozvoljeni razmaci spojnih sredstava:

$$a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = (4 + \cos 0^\circ) \cdot 20 = 100 \text{ mm}$$

$$a_2 = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = \max(7 \cdot 20; 80 \text{ mm}) = 140 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = \max((2 + 2 \cdot \sin 0^\circ) \cdot 20; 3 \cdot 20) = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

6.2.1. Određivanje nosivosti spoja u dijelu glavnog luka

Nosivost spoja na tlačnu silu okomito na vlakanca:

nosivost podrazumijeva usporedbu direktno sa silom iz elementa stabilizacije koja djeluje na spoj pod kutom od 90°

$$F_{c,90,Rd} = A_a \cdot k_{c,90} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = n_{bolt} \cdot A_{plate} \cdot k_{c,90} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$

$$F_{c,90,Rd} = 2 \cdot 4894,30 \cdot 1,65 \cdot 0,90 \cdot \frac{3,0}{1,30} = 33544,78 \text{ N}$$

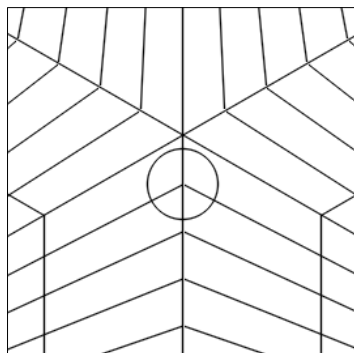
Ukupna nosivost spoja:

$$F_{R,d} = F_{c,90,Rd} = 33,54 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{E,d}}{F_{R,d}} = \frac{16,92 + 4,16}{33,54} = 0,63 < 1,00$$

Detalj predmetnog spoja pretpotavljenih karakteristika zadovoljava uvjet noivosti uz iskoristivost 63 %.

6.3. DETALJ SPOJA GLAVNIH LUKOVA I GREDE U SLJEMENU



Slika 45. Položaj promatranog detalja

Određivanje geometrije spoja u dijelu glavnog luka

Karakteristike štapnog spojnog sredstva:

Štapno spojno sredstvo je galvanizirani trn $\varnothing 20$ prema DIN 7

Klasa čvrstoće štapnog spojnog sredstva je S355JR

Promjer štapnog spojnog sredstva jednak je $d = 20$ mm

Rupa u drvu treba imati promjer $d_{h,w} = 20$ mm, a u čeliku $d_{h,s} = 22$ mm

Štapno spojno sredstvo treba imati minimalnu duljinu od $l_{min} = 300$ mm

Karakteristike čeličnog lima u spoju:

Čelični lim u spoju je utisnuti lim

Debljina čeličnog lima u spoju jednaka je $t = 15$ mm

Svi zavari između limova su kutni, debljine $a = 15$ mm

Prilikom obrade nužno je obraditi oštre rubove limova

Rupe je potrebno s obje strane zatvoriti ugradnjom drvenog čepa promjera 20mm i visine 10mm

Ulazne sile:

$V_{z1} = 32,33$ kN \rightarrow Poprečna sila u luku

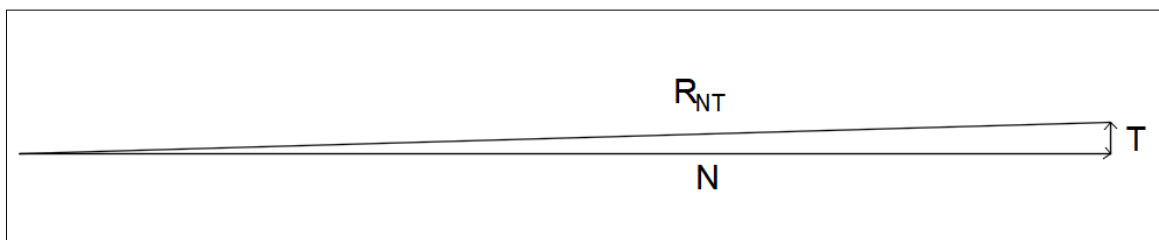
$N_1 = 1111,51$ kN \rightarrow Uzdužna sila u luku

$R_{NT1} = 1112$ kN \rightarrow Rezultanta sila zatvara kut od $\alpha = 0^\circ$ sa osi luka

$V_{z2} = 39,01$ kN \rightarrow Poprečna sila u gredi

$N_2 = 1012$ kN \rightarrow Uzdužna sila u gredi

$R_{NT2} = 1012,75$ kN



Slika 46. Mjerodavna rezultanta sila

Minimalni dozvoljeni razmaci spojnih sredstava:

$$a_{1,t} = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 20 = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano } a_{1,t} = 150 \text{ mm}$$

$$a_{2,t} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano } a_{2,t} = 360 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = \max(7 \cdot 20; 80 \text{ mm}) = 140 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano } a_{3,t} = 360 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = \max((2 + 2 \cdot \sin 0^\circ) \cdot 20; 3 \cdot 20) = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

Određivanje geometrije spoja u dijelu grede u sljemenu

Karakteristike štapnog spojnog sredstva:

Štapno spojno sredstvo je vijak M20 prema DIN 975 s maticom DIN 936 i podloškom DIN 125

Klasa čvrstoće štapnog spojnog sredstva je 8.8

Promjer štapnog spojnog sredstva jednak je $d = 20 \text{ mm}$

Rupa u drvu treba imati promjer $d_{h,w} = 21 \text{ mm}$, a u čeliku $d_{h,s} = 22 \text{ mm}$

Štapno spojno sredstvo treba imati minimalnu duljinu od $l_{\min} = 380 \text{ mm}$

Karakteristike čeličnog lima u spoju:

Čelični lim u spoju je obostrani tanki lim ($t = 15 \text{ mm} < d = 20 \text{ mm}$)

Debljina čeličnog lima u spoju jednaka je $t = 15 \text{ mm}$

Svi zavari između limova su kutni, debljine $a = 15 \text{ mm}$

Prilikom obrade nužno je obraditi oštre rubove limova

$$a_1 = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 20 = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano } a_1 = 150 \text{ mm}$$

$$a_2 = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano } a_1 = 200 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = \max(7 \cdot 20; 80 \text{ mm}) = 140 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = \max((2 + 2 \cdot \sin 0^\circ) \cdot 20; 3 \cdot 20) = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

6.3.1. Određivanje nosivosti spoja u dijelu glavnog luka

Proračunska vrijednost momenta tečenja štapnog spojnog sredstva:

$$M_{y,k} = \frac{0,80 \cdot f_{u,k} \cdot d^3}{6} = \frac{0,80 \cdot 510 \cdot 20^3}{6} = 544000,00 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{544000,00}{1,10} = 494545,45 \text{ Nmm}$$

Proračunska vrijednost čvrstoće pritiska spojnog sredstva po omotaču rupe u drvu za kut od 0° :

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 410 = 26,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{h,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,9}{1,30} = 18,62 \text{ N/mm}^2$$

Nosivost jednog spojnog sredstva u jednoj reznoj ravnini za spoj utisnutog lima i silu pod kutom od 0° na promatrani element:

$$R_{es,0,d} = f_{h,0,d} \cdot t_1 \cdot d = f_{h,0,d} \cdot \left(\frac{b-t}{2}\right) \cdot d = 18,62 \cdot \left(\frac{320-15}{2}\right) \cdot 20 = 56,79 \text{ kN}$$

$$R_{fs,90,d} = 1,10 \cdot f_{h,90,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,0,d} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right]$$

$$R_{fs,90,d} = 1,10 \cdot 18,62 \cdot 152,5 \cdot 20 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 494545,45}{18,62 \cdot 152,5^2 \cdot 20}} - 1 \right] = 30,78 \text{ kN}$$

$$R_{gs,0,d} = 1,50 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,0,d} \cdot d} = 1,50 \cdot \sqrt{2 \cdot 494545,45 \cdot 18,62 \cdot 20} = 28,79 \text{ kN}$$

$$R_{V,90,d} = R_{es,90,d} = 28,79 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost spoja na rezultatnu silu za $n = 24$ kom spojnih sredstava:

$$F_{R,90,d} = n \cdot n_{cp} \cdot R_{V,90,d} = 24 \cdot 2 \cdot 28,79 = 1266,76 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{E,d}}{F_{R,d}} = \frac{R_{V,Rd}}{F_{R,90,d}} = \frac{1112}{1266,76} = 0,80 < 1,00$$

Detalj predmetnog spoja pretpotavljenih karakteristika zadovoljava uvjet nosivosti uz iskoristivost 80 %.

6.3.2. Određivanje nosivosti spoja u dijelu grede u sljemenu

Proračunska vrijednost momenta tečenja štapnog spojnog sredstva:

$$M_{y,k} = \frac{0,80 \cdot f_{u,k} \cdot d^3}{6} = \frac{0,80 \cdot 800 \cdot 20^3}{6} = 853333,33 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{853333,33}{1,10} = 775757,58 \text{ Nmm}$$

Proračunska vrijednost čvrstoće pritiska spojnog sredstva po omotaču rupe u drvu za kut od 0° :

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 410 = 26,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{h,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,9}{1,30} = 18,62 \text{ N/mm}^2$$

Nosivost jednog spojnog sredstva u jednoj reznoj ravnini za spoj obostranog tankog lima i silu pod kutom od 0° na promatrani element:

$$R_{ks,0,d} = 0,50 \cdot f_{h,0,d} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot f_{h,90,d} \cdot b \cdot d = 0,5 \cdot 18,62 \cdot 320 \cdot 20 = 59,58 \text{ kN}$$

$$R_{ls,0,d} = 1,10 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,0,d} \cdot d} = 1,10 \cdot \sqrt{2 \cdot 494545,45 \cdot 18,62 \cdot 20} = 21,11 \text{ kN}$$

$$R_{V,0,d} = R_{ls,0,d} = 21,11 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost spoja na poprečnu silu za $n = 30$ kom spojnih sredstava:

$$F_{R,90,d} = n \cdot n_{cp} \cdot R_{V,90,d} = 30 \cdot 2 \cdot 21,11 = 1266,6 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{E,d}}{F_{R,d}} = \frac{R_{V,Rd}}{F_{R,90,d}} = \frac{1012,75}{1266,6} = 0,80 < 1,00$$

Detalj predmetnog spoja pretpotavljenih karakteristika zadovoljava uvjet nosivosti uz iskoristivost 80 %.

Nosivost spoja na tlačnu silu okomito na vlakanca:

nosivost podrazumijeva usporedbu direktno sa silom iz elementa luka koja djeluje na spoj pod kutom od 90°

$$F_{c,90,Rd} = A_a \cdot k_{c,90} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = b_a \cdot l_a \cdot k_{c,90} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$

$$F_{c,90,Rd} = 2200 \cdot 320 \cdot 1,65 \cdot 0,90 \cdot \frac{3,0}{1,30} = 2412,55 \text{ kN}$$

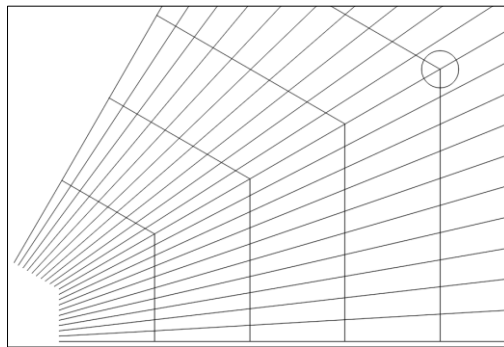
Ukupna nosivost spoja:

$$F_{R,d} = F_{c,90,Rd} = 2412,55 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{E,d}}{F_{R,d}} = \frac{1111,51 \cdot \cos 27,41}{2412,55} = \frac{986,73}{2412,55} = 0,41 < 1,00$$

Detalj predmetnog spoja pretpotavljenih karakteristika zadovoljava uvjet noivosti uz iskoristivost 41 %.

6.4. DETALJ OBOSTRANOG SPOJA ELEMENTA STABILIZACIJSKOG SUSTAVA I GLAVNOG LUKA



Slika 47. Položaj promatranog detalja

Određivanje geometrije spoja u dijelu elementa stabilizacijskog sustava

Karakteristike štapnog spojnog sredstva:

Štapno spojno sredstvo je vijak M20 prema DIN 975 s maticom DIN 931 i podloškom DIN 1052

Klasa čvrstoće štapnog spojnog sredstva je 8.8

Promjer štapnog spojnog sredstva jednak je $d = 20 \text{ mm}$

Rupa u u čeliku treba imati promjer $d_{h,s} = 22 \text{ mm}$

Štapno spojno sredstvo treba imati minimalnu duljinu od $l_{min} = 370 \text{ mm}$

Karakteristike čeličnog lima u spoju:

Za spoj se koriste čvorna čelična ploča

Debljina čeličnog lima u spoju jednaka je $t = 10 \text{ mm}$

Svi zavari između limova su kutni, debljine $a = 10 \text{ mm}$

Prilikom obrade nužno je obraditi oštre rubove limova

Određivanje geometrije spoja u dijelu glavnog luka

Karakteristike štapnog spojnog sredstva:

Štapno spojno sredstvo je vijak M20 prema DIN 975 s maticom DIN 934 i podloškom DIN 125

Klasa čvrstoće štapnog spojnog sredstva je 8.8

Promjer štapnog spojnog sredstva jednak je $d = 20 \text{ mm}$

Rupa u drvu treba imati promjer $d_{h,w} = 21 \text{ mm}$, a u čeliku $d_{h,s} = 22 \text{ mm}$

Štapno spojno sredstvo treba imati minimalnu duljinu od $l_{\min} = 370 \text{ mm}$

Karakteristike čeličnog lima u spoju:

Čelični lim u spoju je obostrani tanki lim ($t = 10 \text{ mm} < d = 20 \text{ mm}$)

Debljina čeličnog lima u spoju jednaka je $t = 10 \text{ mm}$

Svi zavari između limova su kutni, debljine $a = 10 \text{ mm}$

Prilikom obrade nužno je obraditi oštre rubove limova

Rezultanta sila djeluje pod kutom 1° s obzirom na vlakanca

Minimalni dozvoljeni razmaci spojnih sredstava:

$$a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = (4 + \cos 1^\circ) \cdot 20 = 100 \text{ mm}$$

$$a_2 = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = \max(7 \cdot 20; 80 \text{ mm}) = 140 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = \max((2 + 2 \cdot \sin 1^\circ) \cdot 20; 3 \cdot 20) = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

6.4.1. Određivanje nosivosti spoja u dijelu glavnog luka

Nosivost spoja na tlačnu silu okomito na vlakanca:

Nosivost podrazumijeva usporedbu direktno sa silom iz elementa stabilizacije koja djeluje na spoj pod kutom od 90°

$$F_{c,90,Rd} = A_a \cdot k_{c,90} \cdot k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = A_{\text{plate}} \cdot k_{c,90} \cdot k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} \text{ N}$$

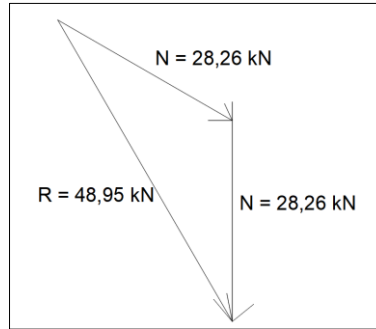
$$F_{c,90,Rd} = 2 \cdot 230 \cdot 391 \cdot 1,65 \cdot 0,90 \cdot \frac{3,0}{1,30} = 616,37 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost spoja:

$$F_{R,d} = F_{c,90,Rd} = 616,37 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{E,d}}{F_{R,d}} = \frac{48,95}{616,37} = 0,08 < 1,00$$

Detalj predmetnog spoja pretpotavljenih karakteristika zadovoljava uvjet noivosti uz iskoristivost 8 %.



Slika 48. Mjerodavna rezultanta sila za promatrani detalj

Proračunska vrijednost momenta tečenja štapnog spojnog sredstva:

$$M_{y,k} = \frac{0,80 \cdot f_{u,k} \cdot d^3}{6} = \frac{0,80 \cdot 800 \cdot 20^3}{6} = 853333,33 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{853333,33}{1,10} = 775757,58 \text{ Nmm}$$

Proračunska vrijednost čvrstoće pritiska spojnog sredstva po omotaču rupe u drvu za kut od 0° :

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 410 = 26,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{h,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,9}{1,30} = 18,62 \text{ N/mm}^2$$

Nosivost jednog spojnog sredstva u jednoj reznoj ravnini za spoj obostranog tankog lima i silu pod kutom od 0° na promatrani element:

$$R_{ks,0,d} = 0,50 \cdot f_{h,90,d} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot f_{h,90,d} \cdot b \cdot d = 0,5 \cdot 18,62 \cdot 320 \cdot 20 = 59,52 \text{ kN}$$

$$R_{ls,0,d} = 1,10 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,90,d} \cdot d} = 1,10 \cdot \sqrt{2 \cdot 494545,45 \cdot 18,62 \cdot 20} = 21,1 \text{ kN}$$

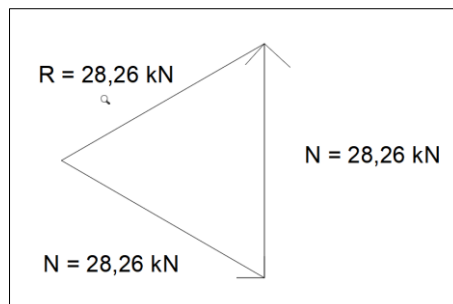
$$R_{V,0,d} = R_{ls,90,d} = 21,1 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost spoja na poprečnu silu za $n = 2$ kom spojnih sredstava:

$$F_{R,90,d} = n \cdot n_{cp} \cdot R_{V,90,d} = 2 \cdot 2 \cdot 21,1 = 84,4 \text{ kN}$$

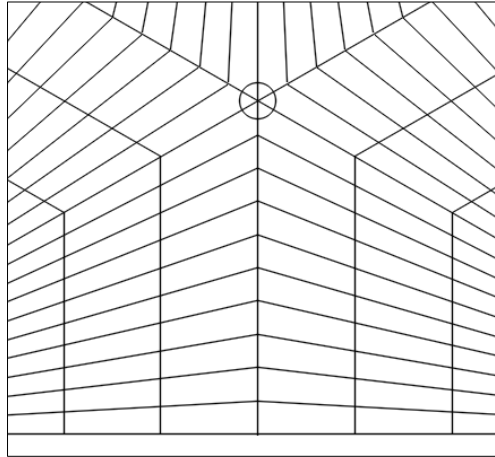
$$\frac{F_{E,d}}{F_{R,d}} = \frac{R_{V,Rd}}{F_{R,90,d}} = \frac{28,26}{84,4} = 0,33 < 1,00$$

Detalj predmetnog spoja pretpotavljenih karakteristika zadovoljava uvjet nosivosti uz iskoristivost 33 %.



Slika 49. Mjerodavna rezultanta sila za promatrani detalj

6.5. DETALJ SPOJA GLAVNIH LUKOVA I GREDA U SLJEMENU TJEMENA SUSTAVA



Slika 50. Položaj promatranog detalja

Određivanje geometrije spoja u dijelu glavnog luka i grede u sljemenu

Karakteristike štapnog spojnog sredstva:

Štapno spojno sredstvo je galvanizirani trn $\varnothing 20$ prema DIN 7

Klasa čvrstoće štapnog spojnog sredstva je S355JR

Promjer štapnog spojnog sredstva jednak je $d = 20$ mm

Rupa u drvu treba imati promjer $d_{h,w} = 20$ mm, a u čeliku $d_{h,s} = 22$ mm

Štapno spojno sredstvo treba imati minimalnu duljinu od $l_{min} = 300$ mm

Karakteristike čeličnog lima u spoju:

Čelični lim u spoju je utisnuti lim

Debljina čeličnog lima u spoju jednaka je $t = 10$ mm

Svi zavari između limova su kutni, debljine $a = 10$ mm

Prilikom obrade nužno je obraditi oštre rubove limova

Rupe je potrebno s obje strane zatvoriti ugradnjom drvenog čepa promjera 20mm i visine 10mm

Rezultanta poprečne i uzdužne sile za svaki pojedinačni element je 0°

Minimalni dozvoljeni razmaci spojnih sredstava za sve elemente:

$$a_1 = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 20 = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano: } a_1 = 150 \text{ mm}$$

$$a_2 = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano: } a_2 = 200 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = \max(7 \cdot 20; 80 \text{ mm}) = 140 \text{ mm} \rightarrow \text{Odabrano: } a_{3,t} = 150 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = \max((2 + 2 \cdot \sin 0^\circ) \cdot 20; 3 \cdot 20) = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 3 \cdot d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

6.5.1. Određivanje nosivosti spoja u dijelu glavnog luka i grede u sljemenu:

Proračunska vrijednost momenta tečenja štapnog spojnog sredstva:

$$M_{y,k} = \frac{0,80 \cdot f_{u,k} \cdot d^3}{6} = \frac{0,80 \cdot 510 \cdot 20^3}{6} = 544000,00 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{544000,00}{1,10} = 494545,45 \text{ Nmm}$$

Proračunska vrijednost čvrstoće pritiska spojnog sredstva po omotaču rupe u drvu za kut od 0° :

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 410 = 26,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{h,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{26,9}{1,30} = 18,62 \text{ N/mm}^2$$

Nosivost jednog spojnog sredstva u jednoj reznjoj ravnini za spoj utisnutog lima i silu pod kutom od 0° na promatrani element grede:

$$R_{es,0,d} = f_{h,0,d} \cdot t_i \cdot d = 18,62 \cdot 100 \cdot 20 = 37,24 \text{ kN}$$

$$R_{gs,0,d} = 1,50 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,0,d} \cdot d} = 1,50 \cdot \sqrt{2 \cdot 494545,45 \cdot 18,62 \cdot 20} = 47,5 \text{ kN}$$

$$R_{V,0,d} = R_{es,90,d} = 37,24 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost spoja na rezultatnu silu za $n = 40$ kom spojnih sredstava:

$$F_{R,0,d} = n \cdot n_{cp} \cdot R_{V,90,d} = 40 \cdot 4 \cdot 37,24 = 5958,4 \text{ kN}$$

$N_1 = 4889,41 \text{ kN} \rightarrow$ Uzdužna sila u nosaču

$V_{z1} = 39,01 \text{ kN} \rightarrow$ Poprečna sila u nosaču

$R_{NT1} = 4889,56 \text{ kN} \rightarrow$ Rezultanta sila u nosaču

$$\frac{F_{E,d}}{F_{R,d}} = \frac{R_{V,Rd}}{F_{R,90,d}} = \frac{4889,56}{5958,4} = 0,82 < 1,00$$

Detalj predmetnog spoja pretpostavljenih karakteristika zadoovoljava uvjet nosivosti uz iskoristivost 82 %.

Nosivost jednog spojnog sredstva u jednoj reznjoj ravnini za spoj utisnutog lima i silu pod kutom od 0° na promatrani element luka:

$$R_{es,0,d} = f_{h,0,d} \cdot t_i \cdot d = 18,62 \cdot 100 \cdot 20 = 37,24 \text{ kN}$$

$$R_{gs,0,d} = 1,50 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,0,d} \cdot d} = 1,50 \cdot \sqrt{2 \cdot 494545,45 \cdot 18,62 \cdot 20} = 47,5 \text{ kN}$$

$$R_{V,0,d} = R_{es,90,d} = 37,24 \text{ kN}$$

Ukupna nosivost spoja na rezultatnu silu za $n = 12$ kom spojnih sredstava:

$$F_{R,0,d} = n \cdot n_{cp} \cdot R_{V,0,d} = 12 \cdot 4 \cdot 37,24 = 1787,52 \text{ kN}$$

$R_{NT2} = 1511,3 \text{ kN} \rightarrow$ Rezultanta sila u luku

$$\frac{F_{E,d}}{F_{R,d}} = \frac{R_{V,Rd}}{F_{R,0,d}} = \frac{1511,3}{1787,52} = 0,85 < 1,00$$

Detalj predmetnog spoja pretpostavljenih karakteristika zadoovoljava uvjet nosivosti uz iskoristivost 85%

7. TRANSPORT I MONTAŽA

7.1. Transport

Transport i montaža iznimno su bitne faze izvedbe konstrukcija sa nosačima od lijepljenog lameliranog drveta. Budući da se radi o elementima velikih dužina (oko 65 metara) organizira se specijalni prijevoz cestovnim putem. Veliki izazov prijevozu osim velikih dužina zadaju i velike visine poprečnih presjeka te znatna vlastita težina nosača. Kada vozilo sa teretom premašuje propisane gabarite ili ukupnu masu, taj se prijevoz smatra izvanrednim prijevozom.



Slika 51. Primjer načina transporta lukova od LLD-a



Slika 52. Primjer načina transporta lukova od LLD-a

Za prijevoz tereta većih dimenzija i mase potrebna su specijalizirana vozila, posebno prilagođene rute uz što manje ometanje odvijanja prometa i sigurnosti. Takav prijevoz se odvija uz pratnju barem jednog vozila s rotirajućim žutim svjetlom.

Uz uzimanje transporta u obzir, pri projektiranju je potrebno poštivati maksimalne duljine elemenata tako da je sam transport izvediv. U ovom slučaju, najveći element ima duljinu od 65 m te će se njegov prijevoz kao i prijevoz ostalih elemenata izvesti pomoću kamiona s prikolicom (labudicom).

7.2. Montaža

Nakon obavljenog transporta, pretpostavka je da će se element vertikalno transportirati iz položaja u kojem je transportiran u položaj u koji će se ugraditi pomoću dizalice. Montaža je kao i transport vrlo bitna faza u izvedbi konstrukcije. Za montažu konstrukcije biti će potrebna jedna ili više autodizalica ili kran. Također je potrebna centralna skela na koju se montira čelični prsten te vertikalna teška skela za oslanjanje elemenata od lijepljenog lameliranog drva. Navedeni pomoćni elementi moraju biti dovoljne nosivosti za izvedbu montaže. Potrebno je odrediti najoptimalniji, odnosno najjednostavniji redoslijed montaže elemenata. S obzirom da je luk pozicije 11, odnosno nadulji luk, mase 18,75 tona, treba uzeti u obzir izbor mehanizacije s kojom će se ovaj element i ostali dizati na potrebno mjesto.



Slika 53. Primjer podizanja drvenih elemenata pomoću autodizalice



Redosljed montaže:

1. Izvedba centralne skele za montiranje čeličnog prstena na potrebnoj visini te spajanje 3 najveća luka na prsten s jedne strane te na betonski upornjak sa druge strane.
2. Izvedba vertikalne teške skele koja je jedan privremeni oslonac za gredu na rubu, a s druge strane je greda montirana na prsten.
3. Nakon montaže 3 glavna luka i 3 grede, krećemo sa montažom ostalih 60 lukova iznutra prema rubu konstrukcije na način da su s jedne strane spojeni na gredu, a s druge na betonski upornjak. U isto vrijeme kada montiramo ostale lukove izvodimo njihovo međusobno spajanje pomoću čeličnih elemenata za stabilizaciju.
4. Kada je završena montaža svih nosivih elemenata konstrukcije, vertikalna teška skela i svi privremeni i pomoćni oslonci mogu se maknuti te se kreće sa montažom limenog pokrova.



8. ISKAZ MATERIJALA

Iskaz materijala za drvene elemente:

| ELEMENT | POZ | b/h [mm] | L [m] | KOM | m ³ / KOM | m ³ / Σ KOM | m ³ / Σ | MATERIJAL |
|--------------|-----|----------|-------|-----|----------------------|------------------------|--------------------|-----------|
| Luk 01 | 1 | 320/2200 | 57,4 | 6 | 40,41 | 242,46 | 2.869,56 | GL28h |
| Luk 02 | 2 | 320/2200 | 57,52 | 6 | 40,49 | 242,94 | | |
| Luk 03 | 3 | 320/2200 | 57,76 | 6 | 40,66 | 243,96 | | |
| Luk 04 | 4 | 320/2200 | 58,16 | 6 | 40,94 | 245,64 | | |
| Luk 05 | 5 | 320/2200 | 58,71 | 6 | 41,33 | 248 | | |
| Luk 06 | 6 | 320/2200 | 59,41 | 6 | 41,82 | 250,92 | | |
| Luk 07 | 7 | 320/2200 | 60,26 | 6 | 42,42 | 254,52 | | |
| Luk 08 | 8 | 320/2200 | 61,24 | 6 | 43,11 | 258,68 | | |
| Luk 09 | 9 | 320/2200 | 62,36 | 6 | 43,9 | 263,4 | | |
| Luk 10 | 10 | 320/2200 | 63,6 | 6 | 44,77 | 268,62 | | |
| Luk 11 | 11 | 320/2200 | 64,93 | 6 | 45,71 | 274,26 | | |
| Gredni nosač | 12 | 320/2200 | 36,06 | 3 | 25,39 | 76,16 | | |

Iskaz materijala za čelične elemente:

| ELEMENT | POZ | h/t [mm] | L [m] | KOM | kg / KOM | kg / Σ KOM | kg / Σ | MATERIJAL |
|-----------------------|-----|----------|-------|-----|----------|------------|-----------|-----------|
| Zatega 1 | S1 | 200/10 | 1,18 | 60 | 67,26 | 4.035,6 | 47.962,00 | S355JR |
| Zatega 2 | S2 | 200/10 | 1,79 | 60 | 102,03 | 6.121,8 | | |
| Zatega 3 | S3 | 200/10 | 2,39 | 120 | 136,23 | 16.347,6 | | |
| Zatega 4 | S4 | 200/10 | 3,00 | 120 | 171,00 | 20.520,00 | | |
| Čelična cijev - tjeme | C1 | 1000/20 | 1,90 | 1 | 937,00 | 937,00 | | |

| ELEMENT | POZ | b/h [mm] | t [mm] | KOM | kg/m ³ | kg / Σ KOM | kg / Σ | MATERIJAL |
|--------------------------|-----|----------|--------|-----|-------------------|------------|-----------|-----------|
| Vertikalni lim (ležaj) | L1 | 1920/500 | 20 | 189 | 7850 | 28.486,08 | 79.356,36 | S355JR |
| Horizontalni lim (ležaj) | L2 | 1920/570 | 30 | 63 | 7850 | 16.237,07 | | |
| Lim (Jedn. zatega) | L3 | 360/230 | 10 | 36 | 7850 | 234,00 | | |
| Lim (Dvos. Zatega) | L4 | 400/230 | 10 | 684 | 7850 | 4.939,85 | | |



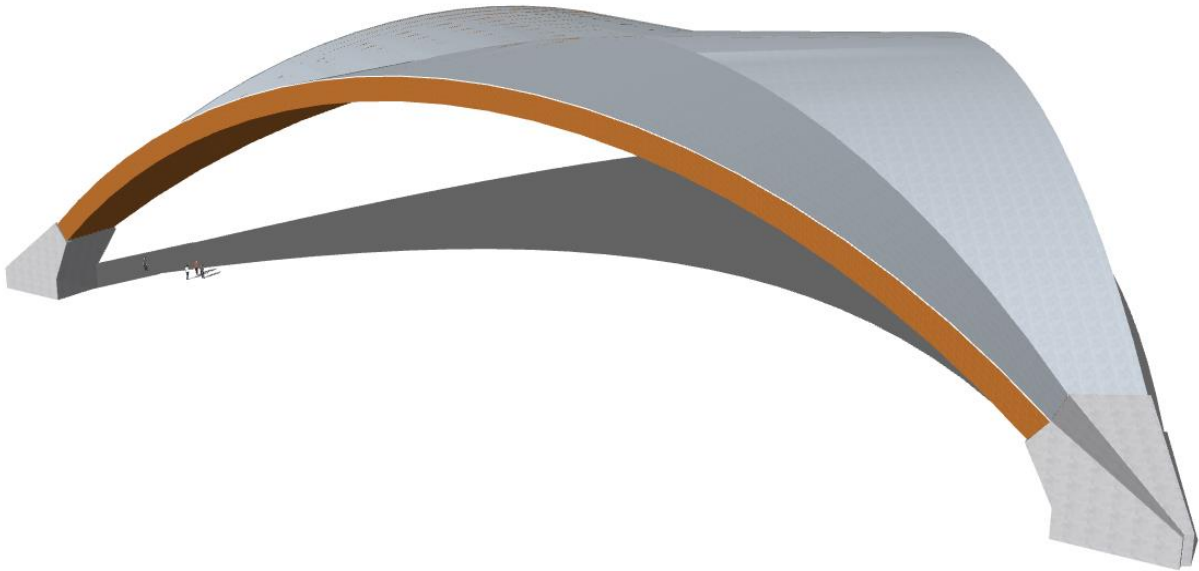
| | | | | | | | | |
|------------------------------|----|-----------|----|----|------|-----------|--|--|
| Lim (Obostrani) – sljeme | L5 | 1340/1900 | 15 | 60 | 7850 | 17.987,49 | | |
| Lim (Utisnuti) – sljeme | L6 | 760/1900 | 15 | 60 | 7850 | 10.201,86 | | |
| Lim tjeme (Utisnuti) – Luk | L7 | 510/1900 | 10 | 6 | 7850 | 456,4 | | |
| Lim tjeme (Utisnuti) – Greda | L8 | 670/1900 | 10 | 6 | 7850 | 599,58 | | |
| Lim – ukruta tjeme | L9 | 960/1900 | 10 | 1 | 7850 | 143,18 | | |
| Lim – ukruta tjeme | L9 | 475/1900 | 10 | 1 | 7850 | 70,85 | | |

Ukupni iskaz materijala:

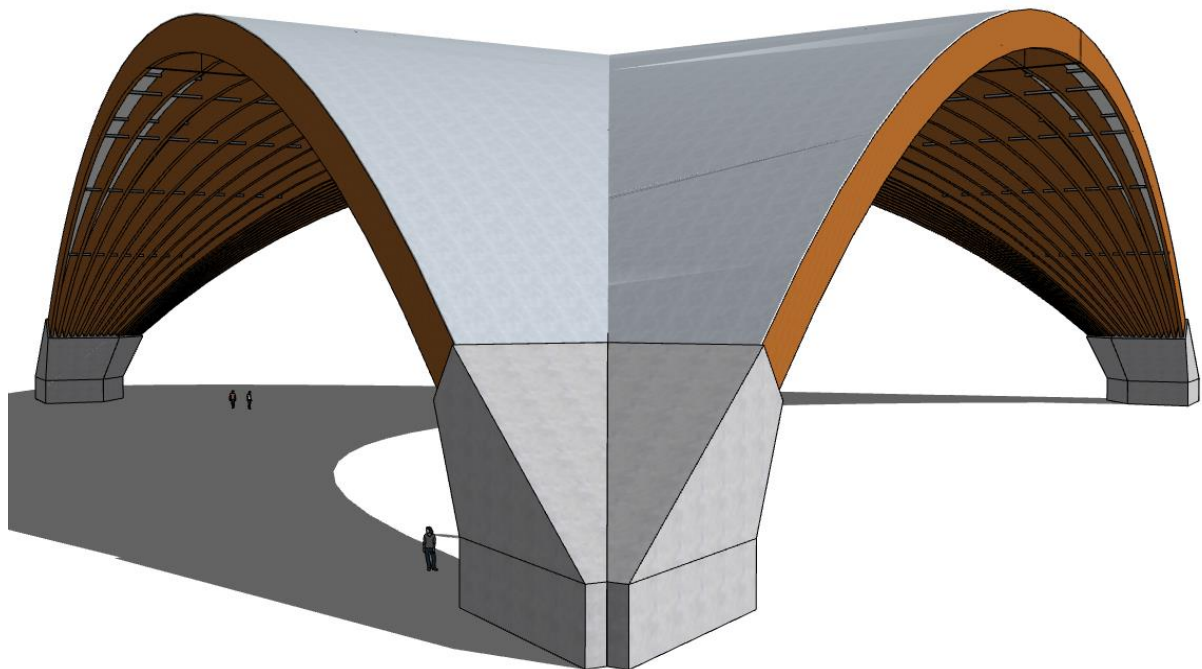
| | |
|--|------------|
| UKUPNA MASA (DRVO I ČELIK) [kg]: | 126.381,36 |
| UTROŠAK NA VAROVE I SPOJNA SREDSTVA (5 %) [kg]: | 3.967,82 |
| UKUPNO S PRIKLJUČCIMA [kg]: | 130.349,18 |

9. VIZUALIZACIJA

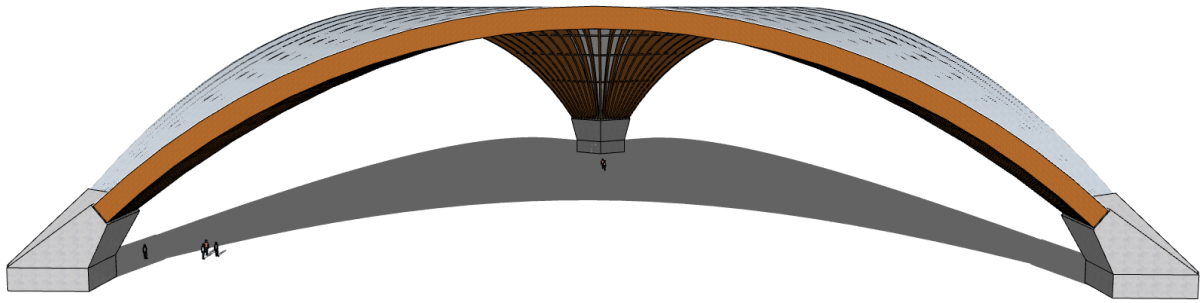
3D model je izrađen u računalnom programu *SketchUp* te su sve priložene slike iz istog.



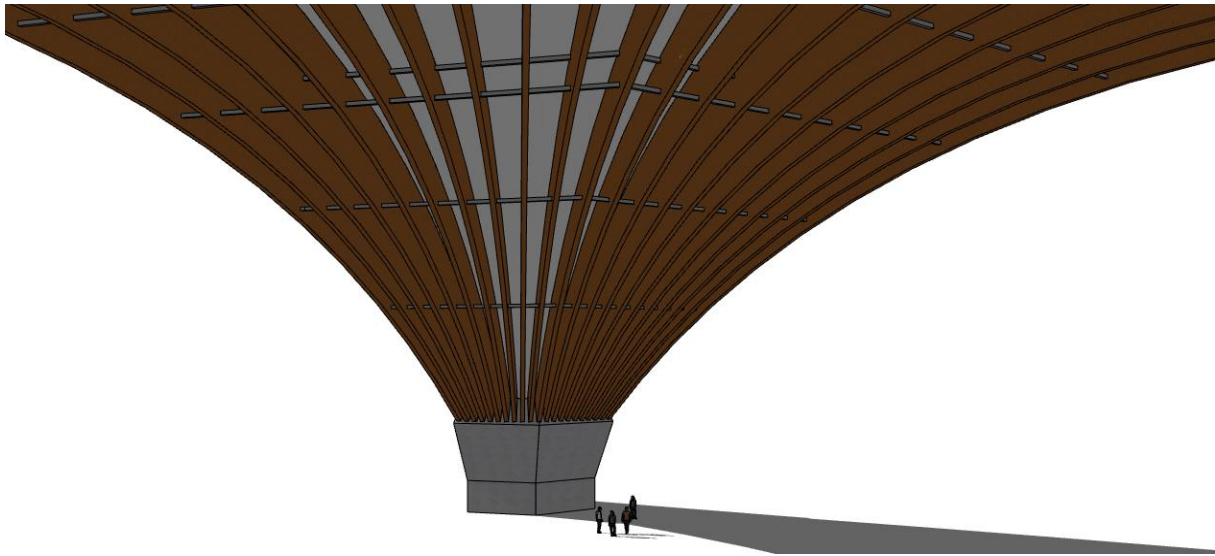
Slika 54. Pogled iz kuta



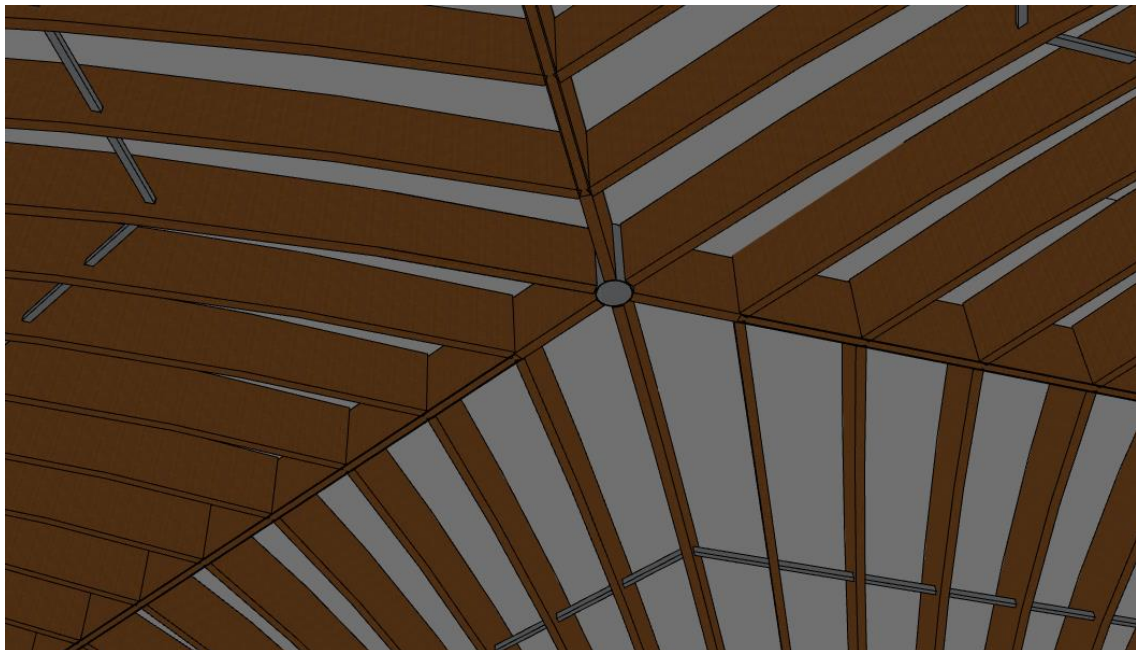
Slika 55. Pogled paralelno s najduljim lukom



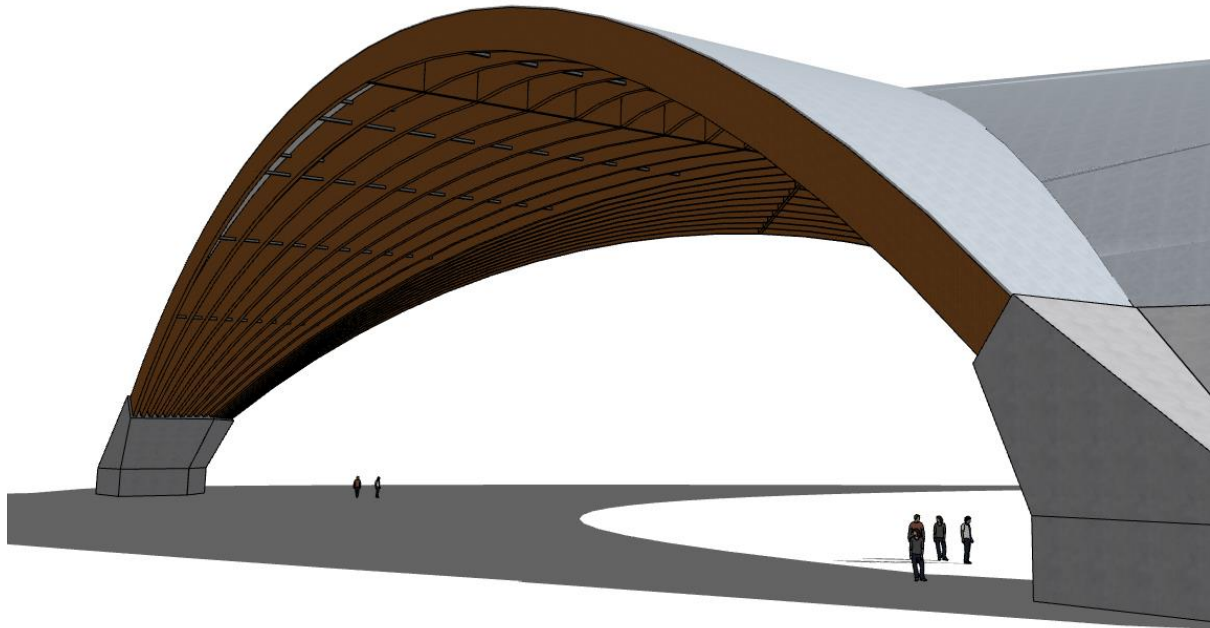
Slika 56. Pogled s boka



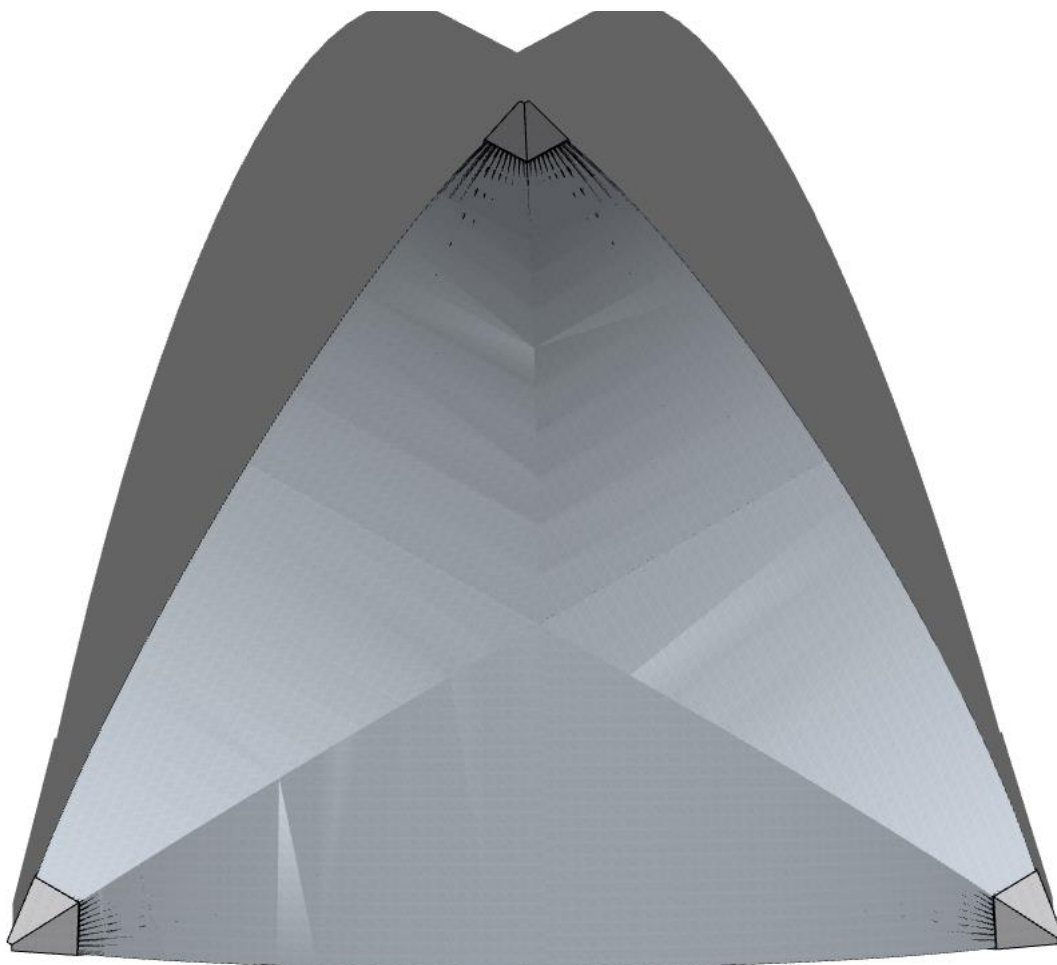
Slika 57. Pogled iznutra



Slika 58. Pogled na centralni detalj



Slika 60. Pogled iz niske perspektive



Slika 57. Pogled odozgo



10. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je proračun drvene konstrukcije otvorenog paviljona prema europskim normama. Konstrukcija se sastoji od velikog broja nosača koji su istih poprečnih presjeka, no različitih duljina raspona.

Prikazana je mogućnost oblikovanja lameliranih nosača u obliku lukova velikih dimenzija koji predstavljaju znatan izazov u projektiranju. Kao rezultat uspješnog projektiranja, dobiva se izvanredna konstrukcija koja obuhvaća sve aspekte gradnje, od pogleda estetike do nosivosti. U proces projektiranja mora se ući sa potrebnim znanjem i poznavanjem ponašanja lijepljenog lameliranog drva. S obzirom da je konstrukcija projektirana na dugi niz godina, možemo očekivati dugotrajnost drva koji je zaštićen svim potrebnim sredstvima protiv vanjskih utjecaja.

Također, ovaj rad pokazuje da lijepljeno lamelirano drvo ima svoje zaslužno mjesto u današnjem svijetu građevinarstva. Ova konstrukcija služi kao primjer savladavanja izrazito velikih raspona na elegantan i zadivljujući način koji bi se kroz prošlost, ali i danas savladavali drugim materijalima i načinima.



11. LITERATURA

- [1] CEN: HRN EN 1990:2011 - Osnove projektiranja konstrukcija; CEN, Bruxelles, 2011.
- [2] CEN: HRN EN 1991:2012 - Djelovanja na konstrukcije; CEN, Bruxelles, 2012.
- [3] CEN: HRN EN 1992:2019 - Projektiranje betonskih konstrukcija; CEN, Bruxelles, 2019.
- [4] CEN: HRN EN 1993:2015 - Projektiranje čeličnih konstrukcija; CEN, Bruxelles, 2015.
- [5] CEN: HRN EN 1995:2015 - Projektiranje drvenih konstrukcija; CEN, Bruxelles, 2015.
- [6] Adriana Bjelanović, Vlatka Rajčić: DRVENE KONSTRUKCIJE PREMA EUROPSKIM NORMAMA; Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007.
- [7] <https://www.grad.unizg.hr/predmet/drvkon> ;
posjećeno 23.09.2023.
- [8] [https://www.drvene-konstrukcije.hr/konstrukcije-od-llda/transport i montaza/](https://www.drvene-konstrukcije.hr/konstrukcije-od-llda/transport-i-montaza/) ;
posjećeno 12.01.2024.
- [9] <https://twitter.com/WesternArchrib/status/292047708573822976> ;
posjećeno 12.01.2024.
- [10] <https://unalam.blogspot.com/2014/09/glulam-installation.html> ;
posjećeno 12.01.2024.



12. GRAFIČKI PRILOZI

List 01 - Tlocrt i presjek A-A

List 02 - Presjek B-B

List 03 - Lučni nosač 1

List 04 - Lučni nosač 2

List 05 - Lučni nosač 3

List 06 - Lučni nosač 4

List 07 - Lučni nosač 5

List 08 - Lučni nosač 6

List 09 - Lučni nosač 7

List 10 - Lučni nosač 8

List 11 - Lučni nosač 9

List 12 - Lučni nosač 10

List 13 - Lučni nosač 11

List 14 - Detalj oslonca glavnog luka 1/2

List 15 - Detalj oslonca glavnog luka 2/2

List 16 - Detalj jednostranog spoja elemenata stabilizacijskog sustava i glavnog luka

List 17 - Detalj spoja glavnih lukova i grede u sljemenu 1/2

List 18 - Detalj spoja glavnih lukova i grede u sljemenu 2/2

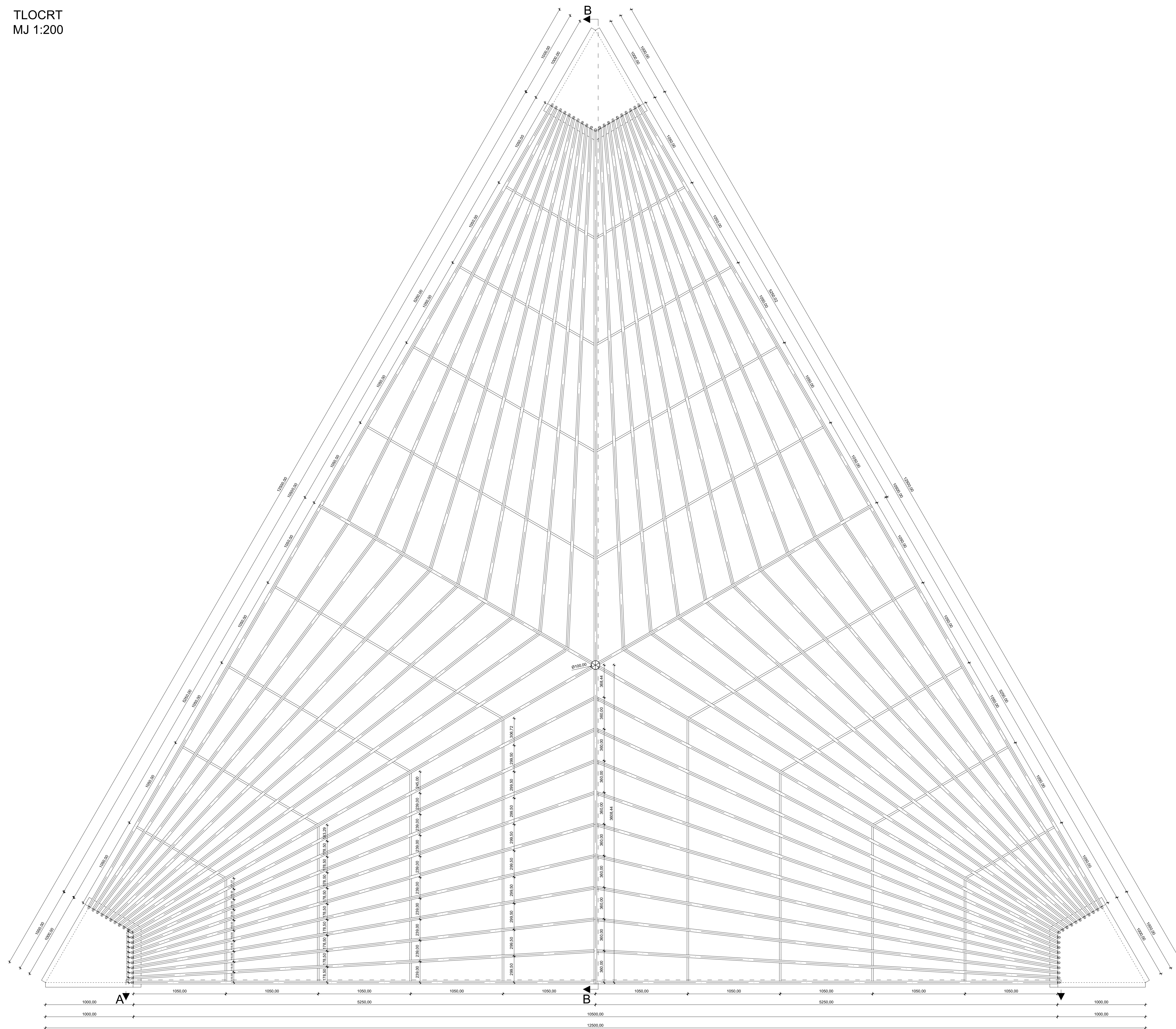
List 19 - Detalj obostranog spoja elemenata stabilizacijskog sustava i glavnog luka 1/2

List 20 - Detalj obostranog spoja elemenata stabilizacijskog sustava i glavnog luka 2/2

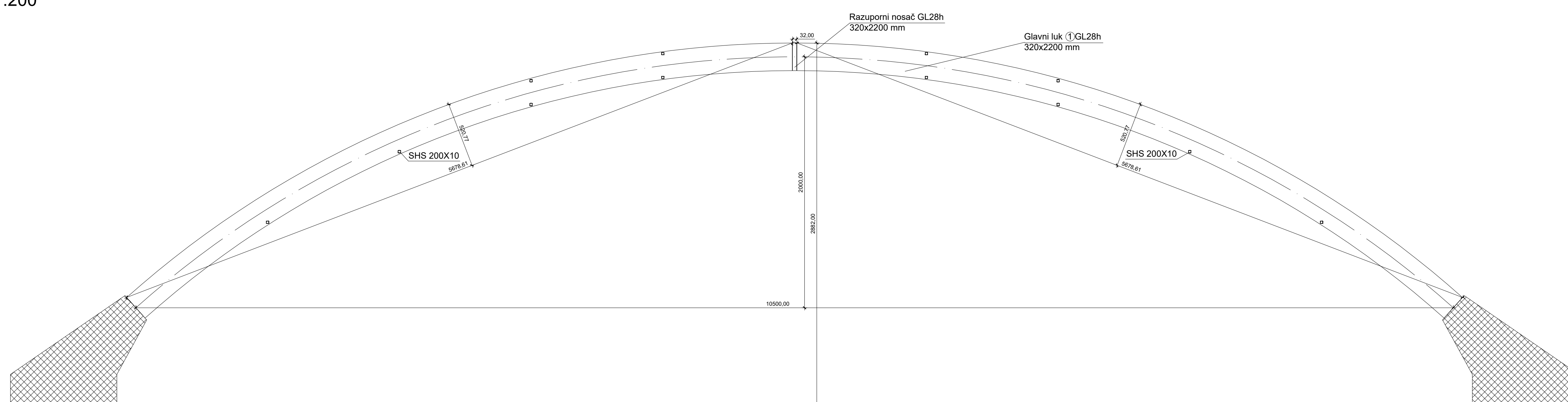
List 21 - Detalj spoja glavnih lukova i greda u sljemenu tjemena sustava 1/2

List 22 - Detalj spoja glavnih lukova i greda u sljemenu tjemena sustava 2/2

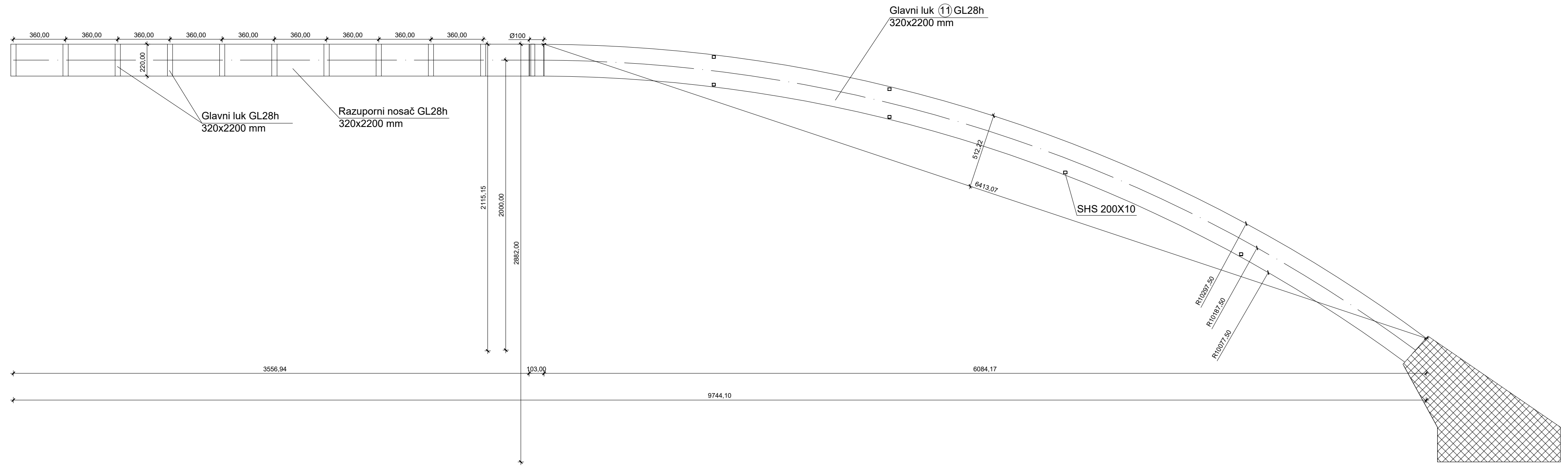
TLOCRT
MJ 1:200



PRESJEK A-A
MJ 1:200

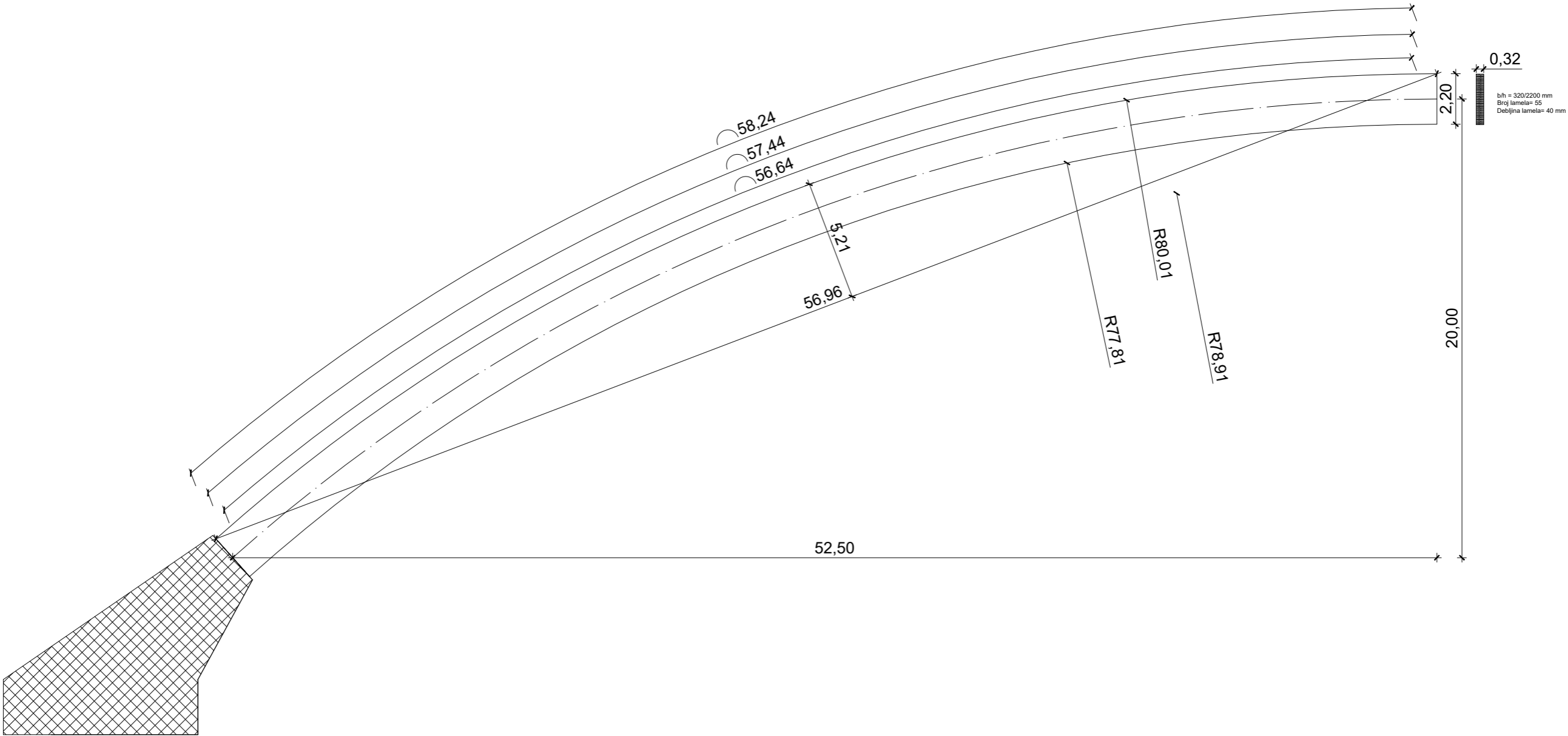


PRESJEK B-B
MJ 1:200



| | | | |
|-------------------|-----------------|-----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacrt: | Presjek B-B | | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: | Jure Barbalić |
| Akademski godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |

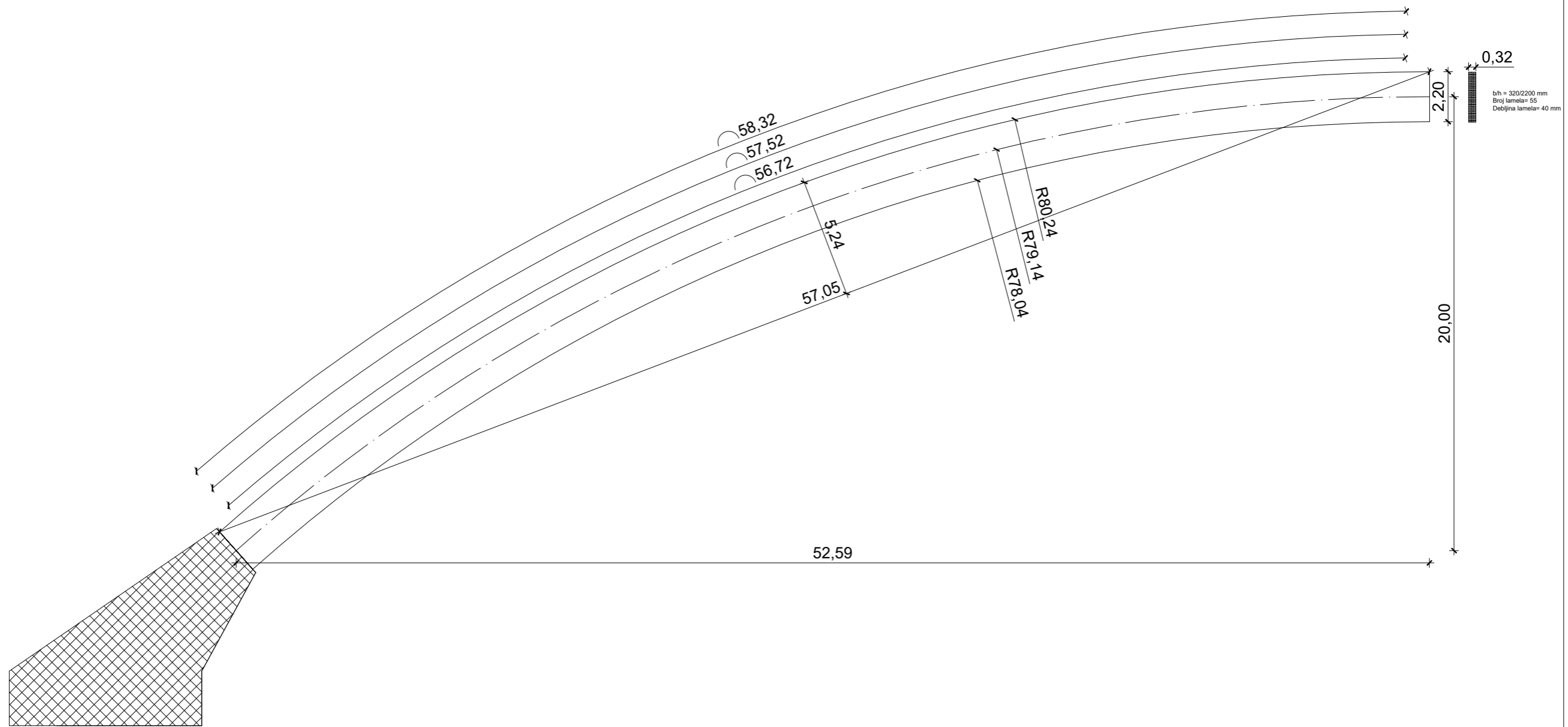
LUČNI NOSAČ 1
MJ 1:200



| | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Predmet: DIPLOMSKI RAD | |
| Sadržaj nacрта: Lučni nosač 1 | |
| Mentor: Vlatka Rajčić | Komentor: Jure Barbalić |
| Akadska godina: 2023./2024. | Mjerilo: 1:200 |
| Izradio: Kristijan Šiško | |

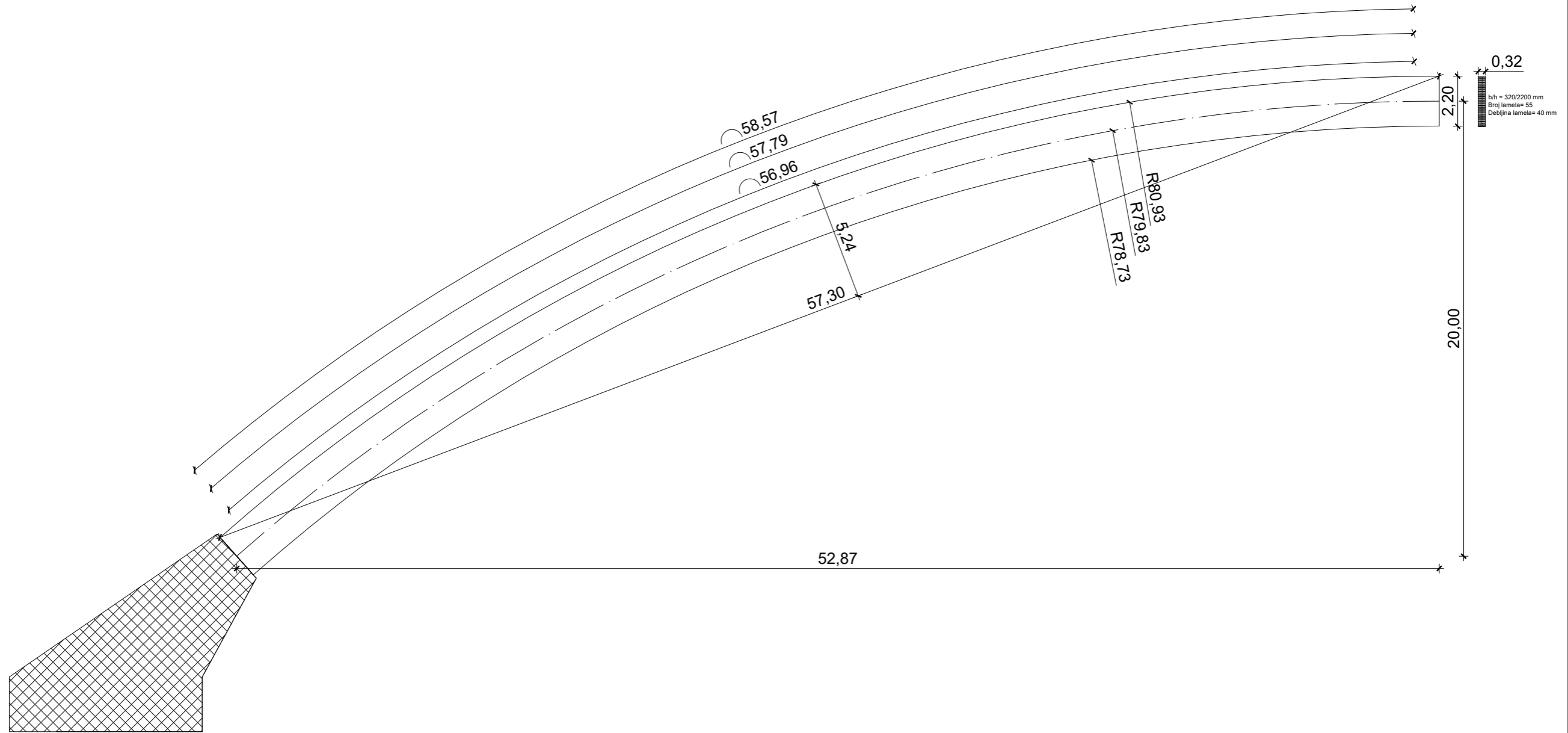
LUČNI NOSAČ 2

MJ 1:200



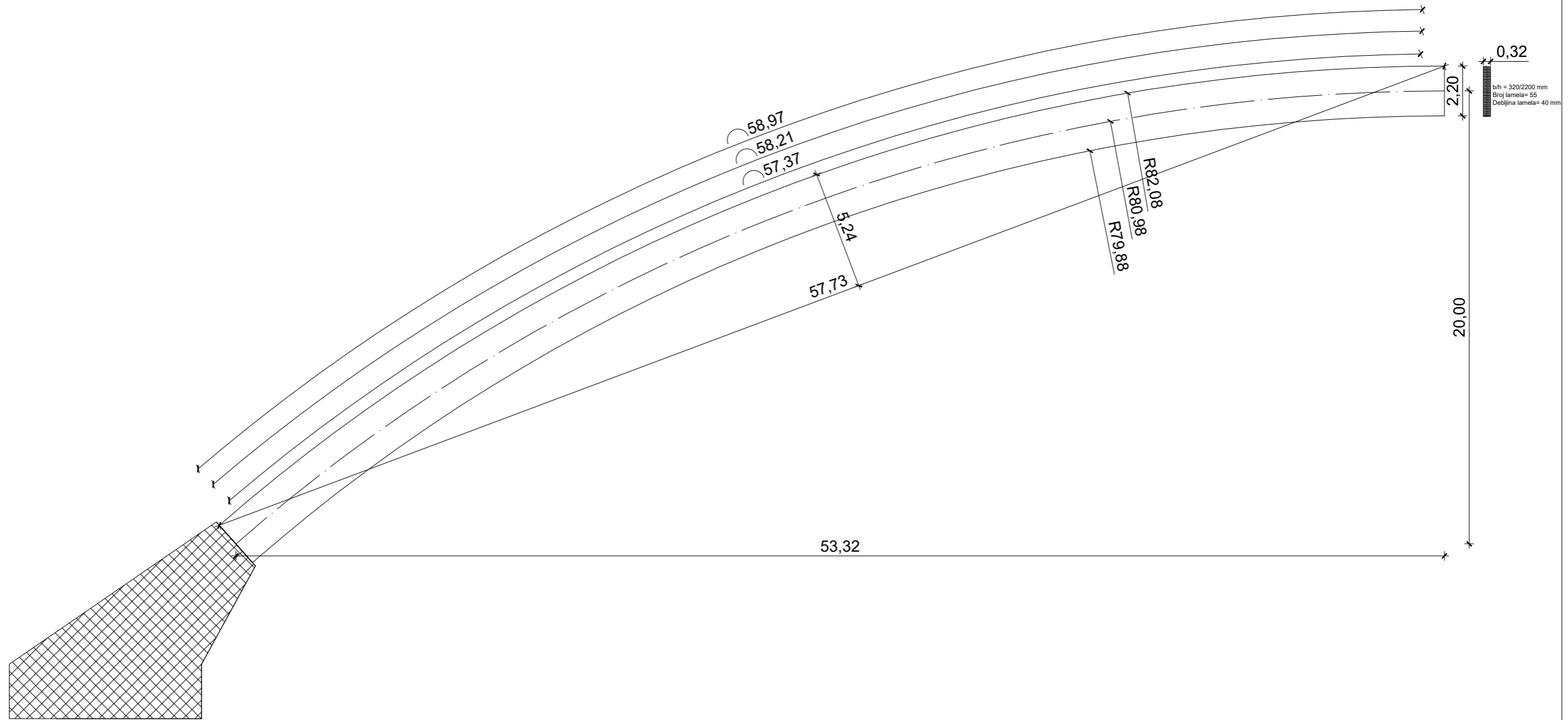
| | | | |
|-----------------|-----------------|-----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacрта: | Lučni nosač 2 | | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: | Jure Barbalić |
| Akadska godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |

LUČNI NOSAČ 3
MJ 1:200



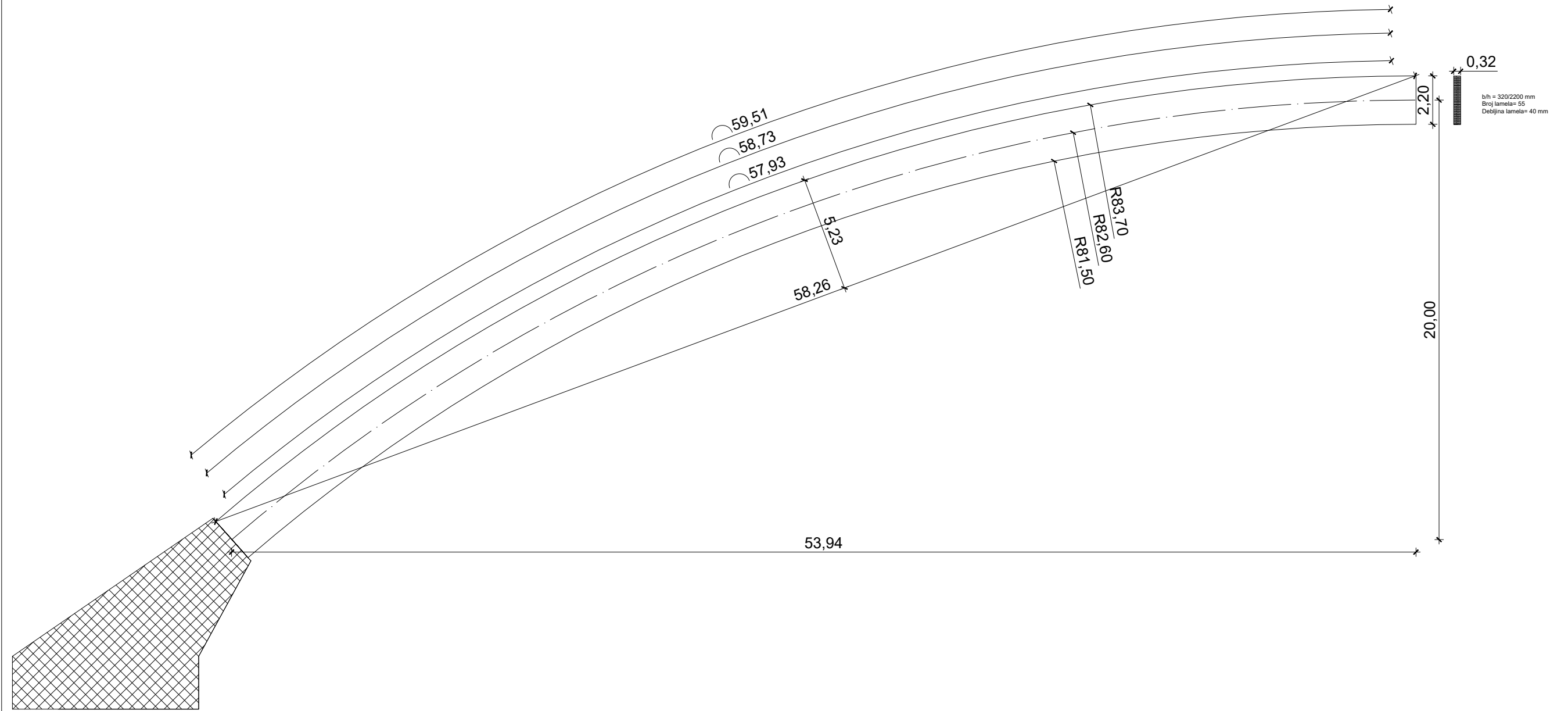
| | | |
|-----------------|-----------------|--------------------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | |
| Sadržaj nacрта: | Lučni nosač 3 | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: Jure Barbalčić |
| Akadska godina: | 2023./2024. | Mjerilo: 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | |

LUČNI NOSAČ 4
MJ 1:200



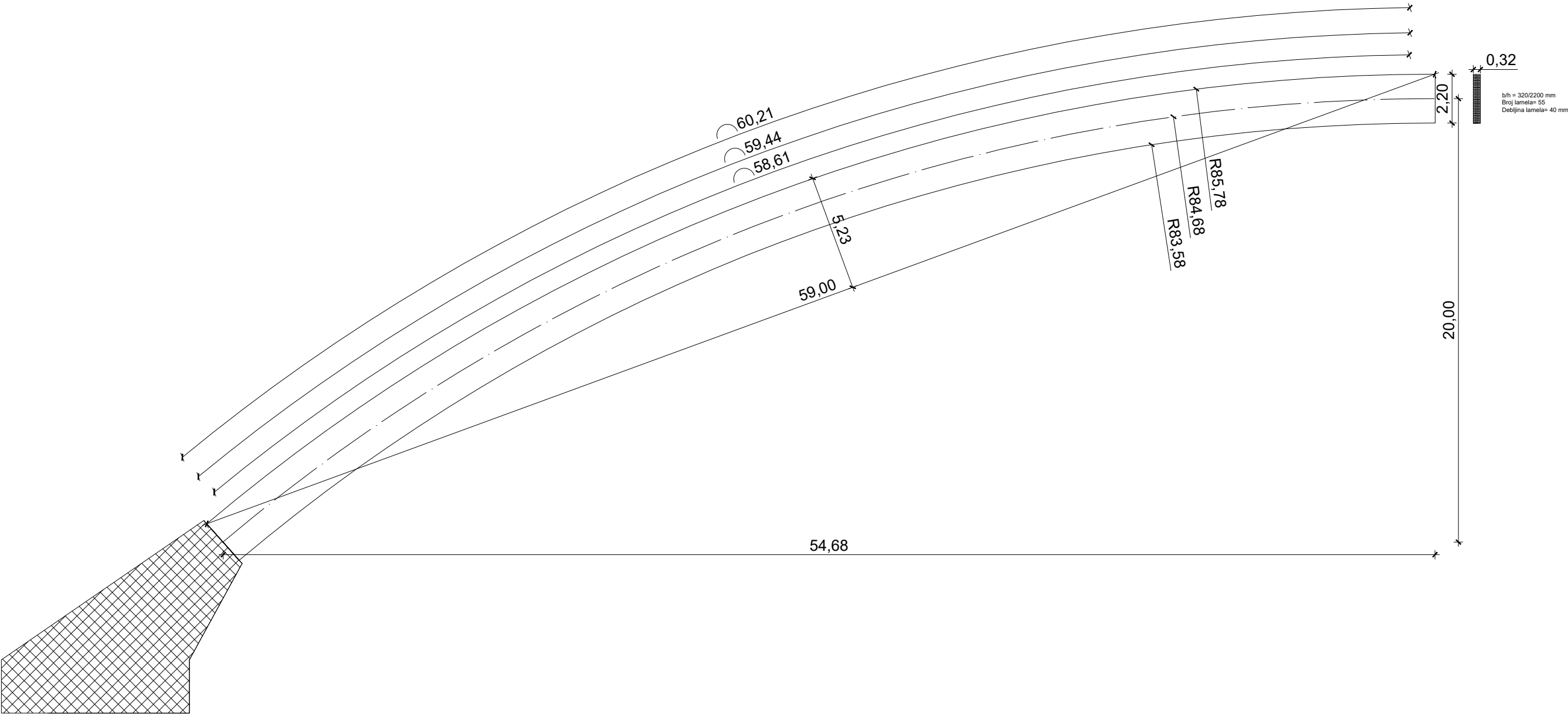
| | | |
|--------------------|-----------------|-------------------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | |
| Sadržaj nacрта: | Lučni nosač 4 | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: Jure Barbalić |
| Akademaska godina: | 2023./2024. | Mjerilo: 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | |

LUČNI NOSAČ 5
MJ 1:200



| | | | |
|-------------------|-----------------|-----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacрта: | Lučni nosač 5 | | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: | Jure Barbalić |
| Akademski godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |

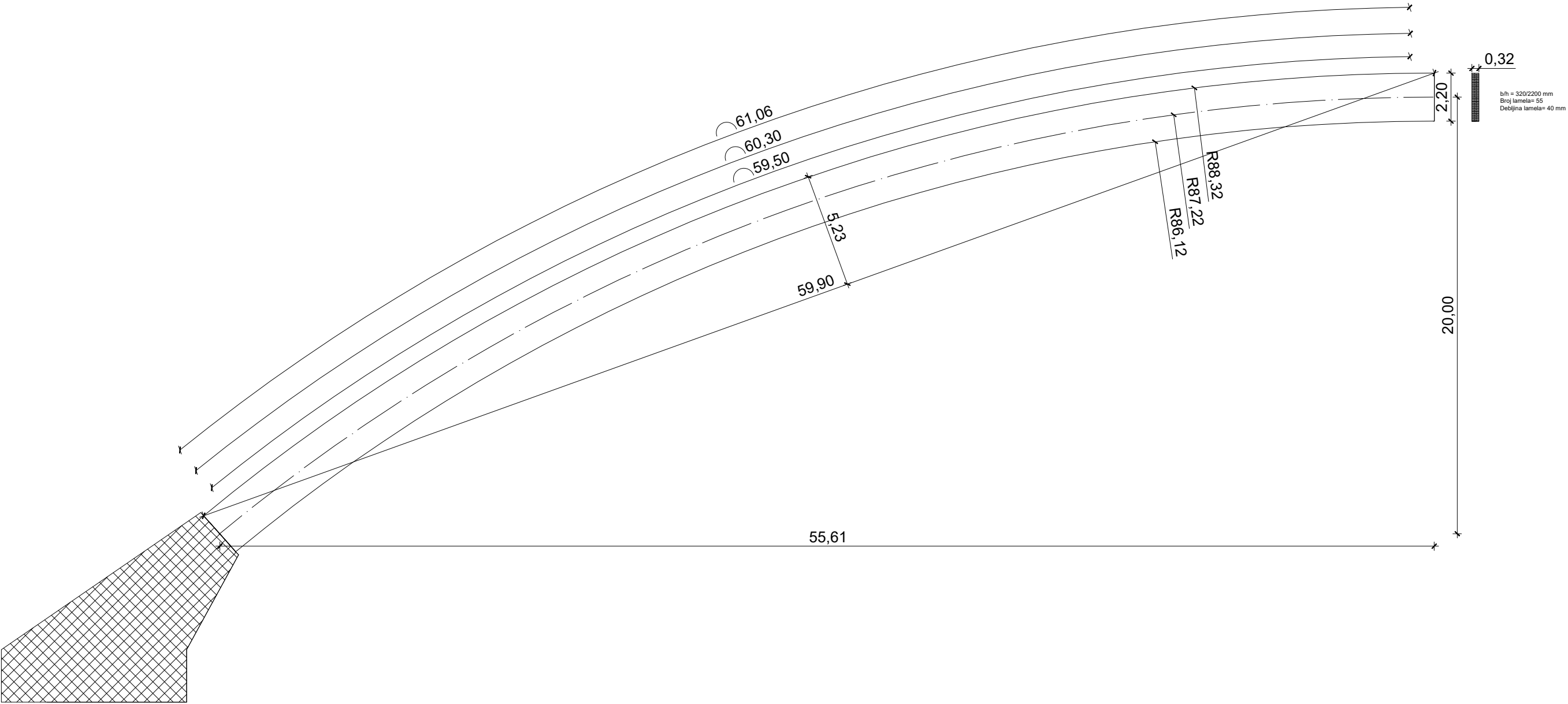
LUČNI NOSAČ 6
MJ 1:200



b_h = 320/2200 mm
Broj lamela= 55
Debljina lamela= 40 mm

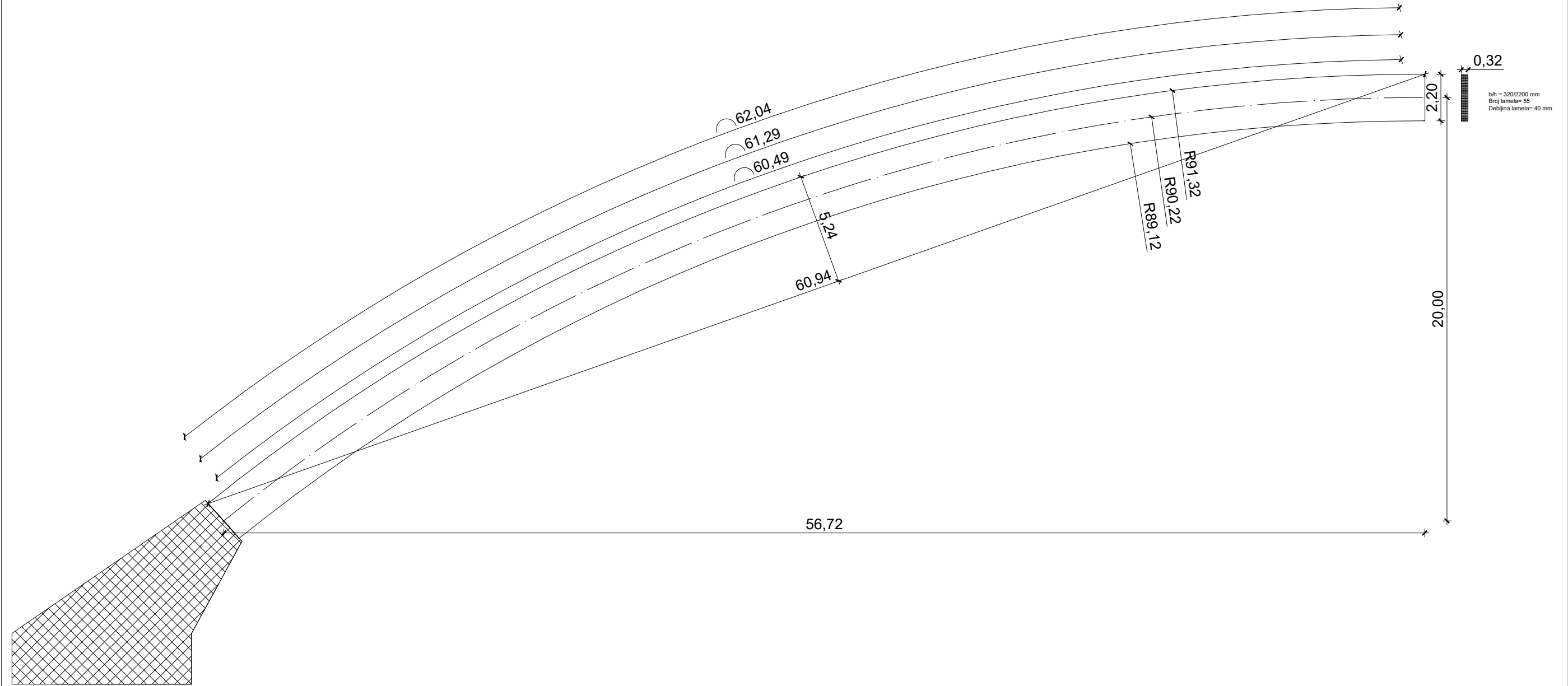
| | | | |
|--------------------|-----------------|-----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacрта: | Lučni nosač 6 | | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: | Jure Barbalić |
| Akademaska godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |

LUČNI NOSAČ 7
MJ 1:200



| | | | |
|-------------------|-----------------|-----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacрта: | Lučni nosač 7 | | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: | Jure Barbalić |
| Akademski godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |

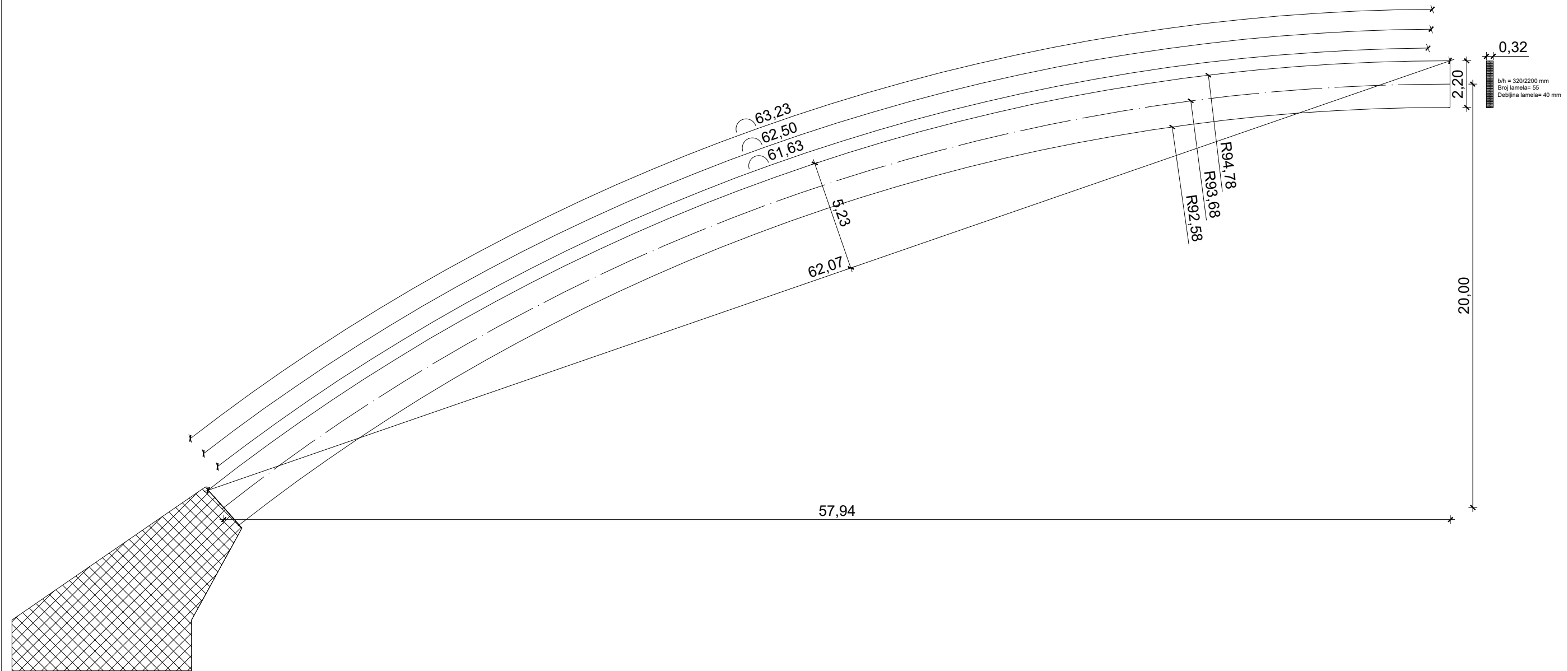
LUČNI NOSAČ 8
MJ 1:200



| | | | |
|-----------------|-----------------|-----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacрта: | Lučni nosač 8 | | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: | Jure Barbalić |
| Akadska godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |

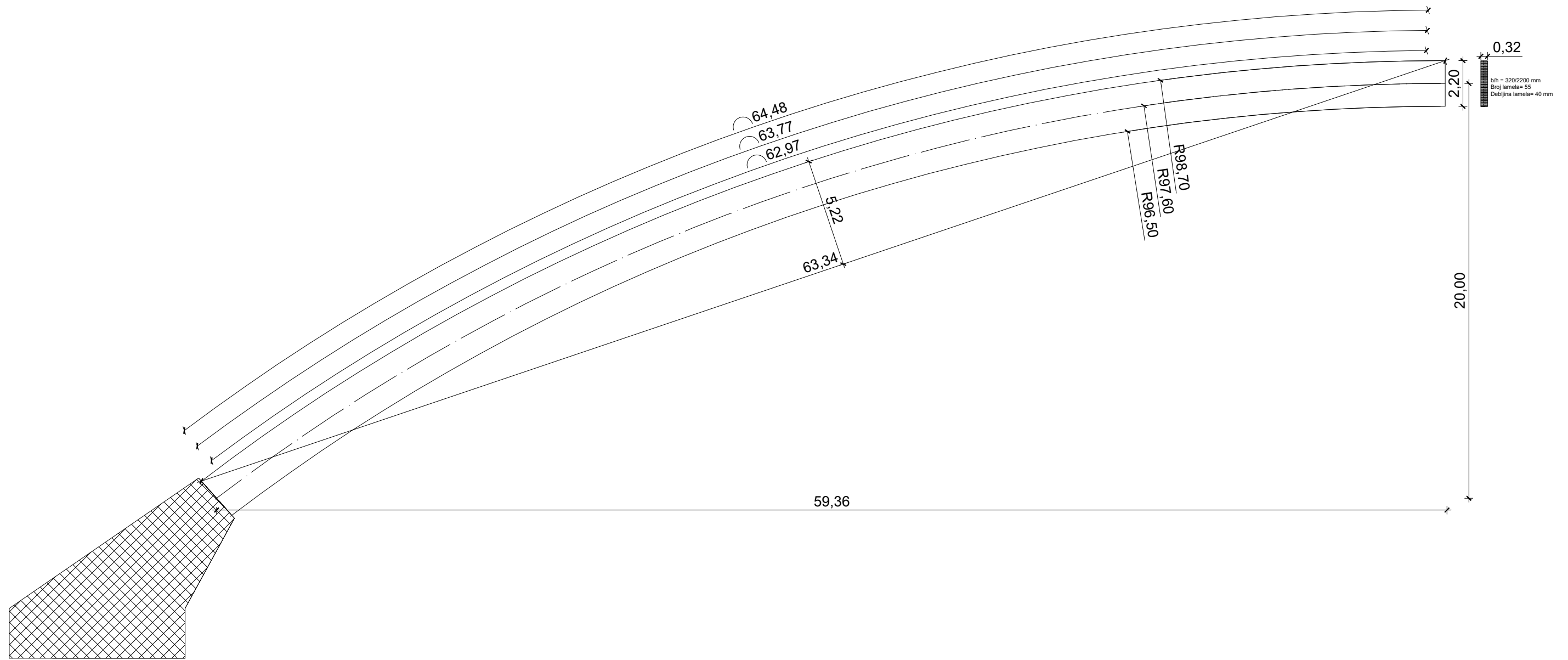
LUČNI NOSAČ 9

MJ 1:200



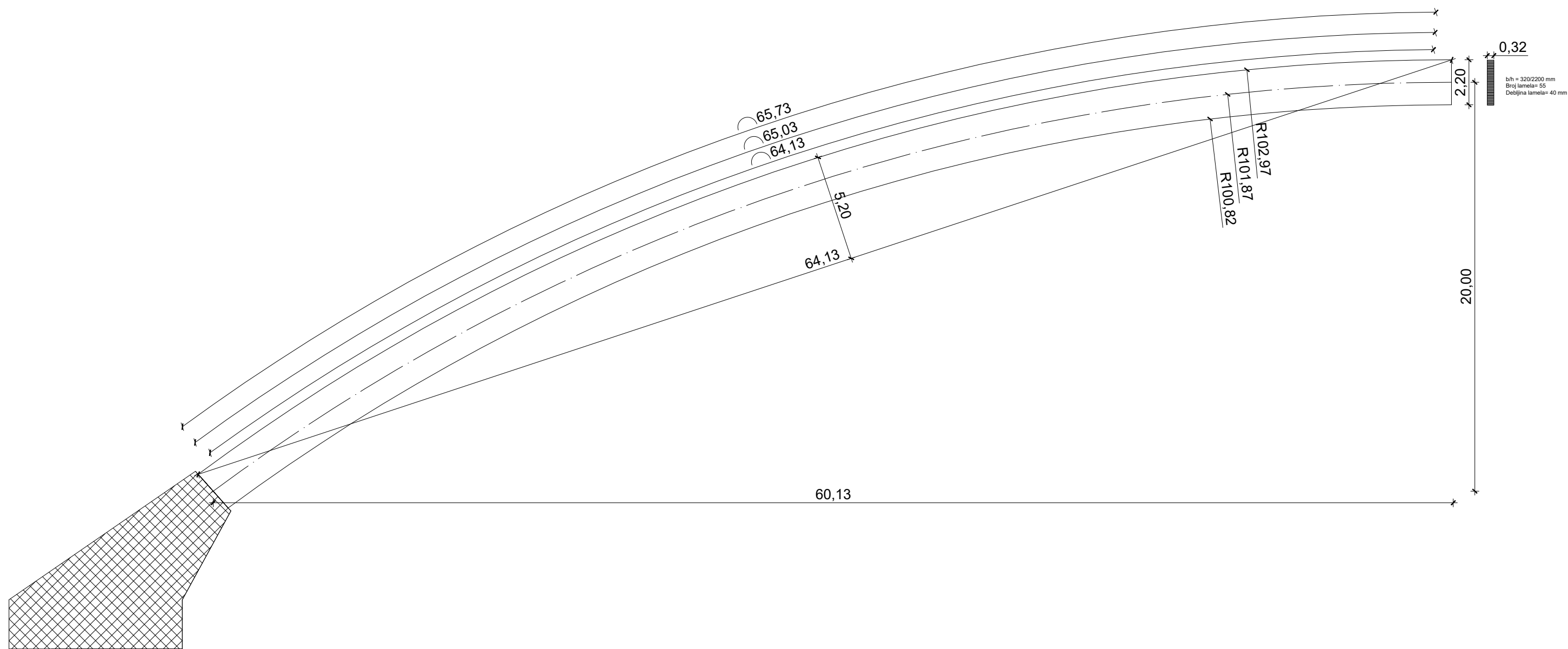
| | | | |
|-----------------|-----------------|-----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacрта: | Lučni nosač 9 | | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: | Jure Barbalić |
| Akadska godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |

LUČNI NOSAČ 10
MJ 1:200



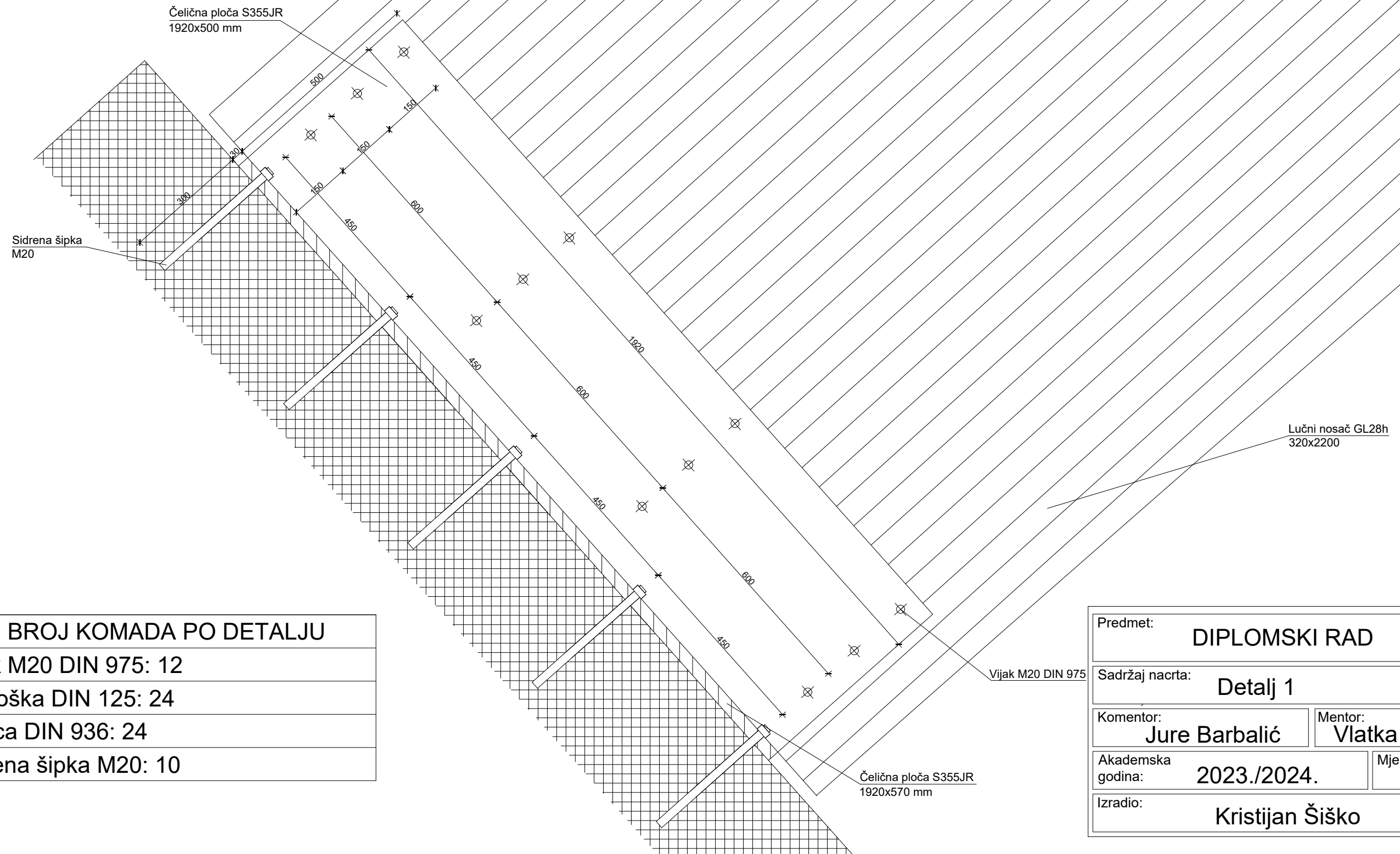
| | | | |
|--------------------|-----------------|-----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacрта: | Lučni nosač 10 | | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: | Jure Barbalić |
| Akademaska godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |

LUČNI NOSAČ 11
MJ 1:200



| | | | |
|-------------------|-----------------|-----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacрта: | Lučni nosač 11 | | |
| Mentor: | Vlatka Rajčić | Komentor: | Jure Barbalić |
| Akademski godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:200 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |

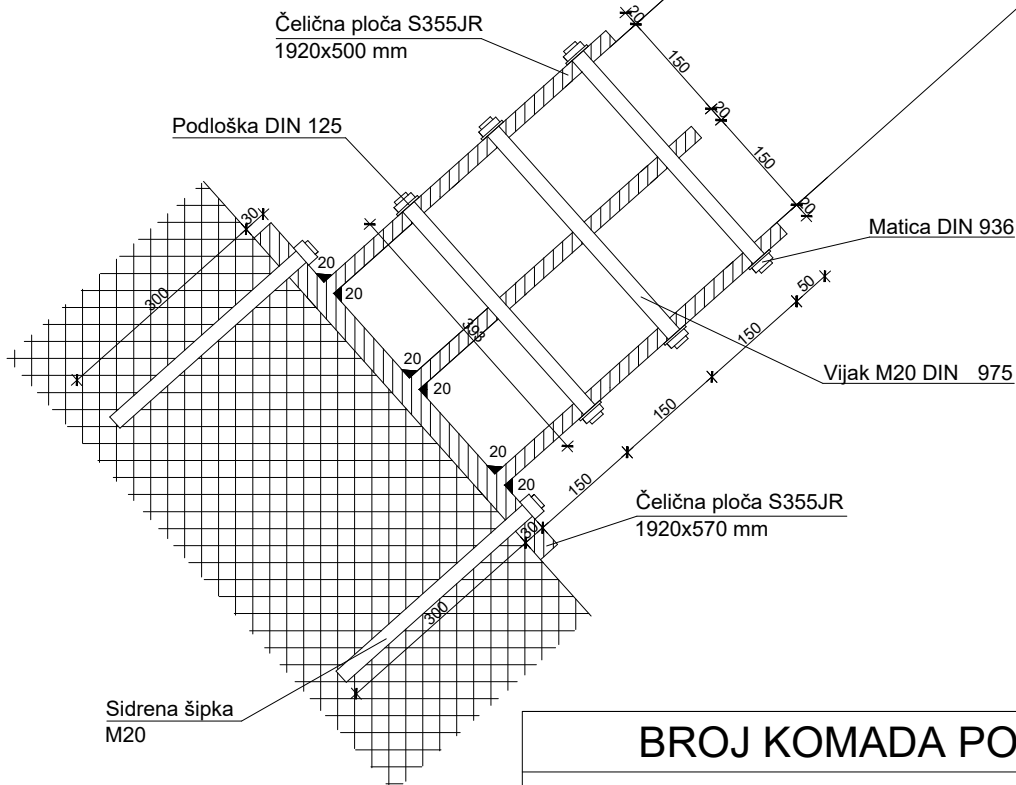
DETALJ OSLOMCA GLAVNOG LUKA
MJ 1:10



| BROJ KOMADA PO DETALJU |
|------------------------|
| Vijak M20 DIN 975: 12 |
| Podloška DIN 125: 24 |
| Matica DIN 936: 24 |
| Sidrena šipka M20: 10 |

| | | |
|-----------------|-----------------|--------------------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | |
| Sadržaj nacrt: | Detalj 1 | |
| Komentor: | Jure Barbalić | Mentor: Vlatka Rajčić |
| Akadska godina: | 2023./2024. | Mjerilo: 1:10 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | |

DETALJ OSLONCA GLAVNOG LUKA MJ 1:10



BROJ KOMADA PO DETALJU

Vijak M20 DIN 975: 12

Podloška DIN 125: 24

Matica DIN 936: 24

Sidrena šipka M20: 10

Predmet:

DIPLOMSKI RAD

Sadržaj nacрта:

Detalj 1

Komentor:

Jure Barbalić

Mentor:

Vlatka Rajčić

Akademski
godina:

2023./2024.

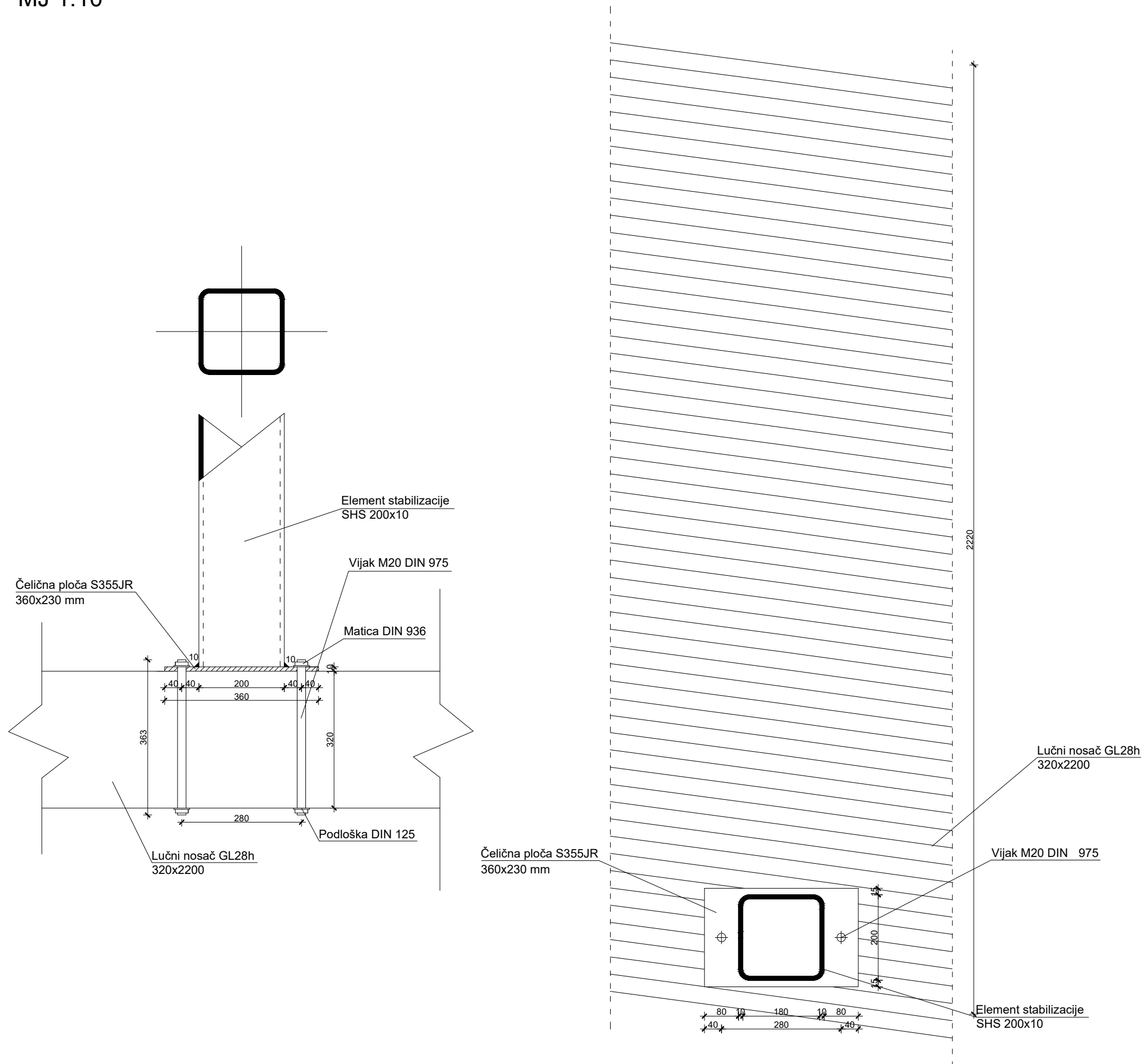
Mjerilo:

1:10

Izradio:

Kristijan Šiško

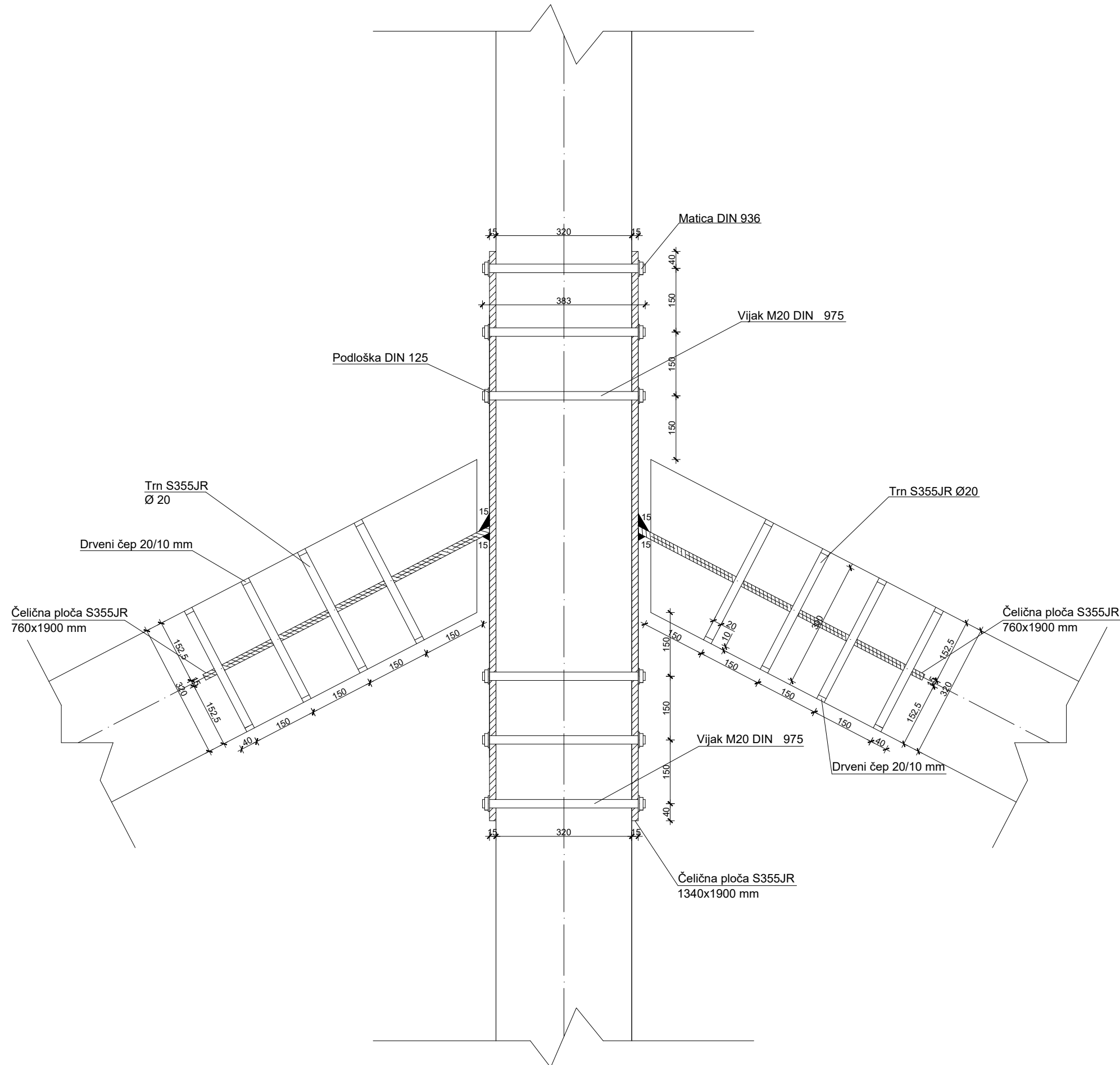
DETALJ JEDNOSTRANOG SPOJA ELEMENTA STABILIZACIJSKOG SUSTAVA I GLAVNOG LUKA
MJ 1:10



| | |
|-------------------------------|---|
| BROJ KOMADA PO DETALJU | |
| Vijak M20 DIN 975: | 2 |
| Podloška DIN 125: | 4 |
| Matica DIN 936: | 4 |

| | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Predmet: DIPLOMSKI RAD | |
| Sadržaj nacrt: Detalj 2 | |
| Komentor: Jure Barbalić | Mentor: Vlatka Rajčić |
| Akademaska godina: 2023./2024. | Mjerilo: 1:10 |
| Izradio: Kristijan Šiško | |

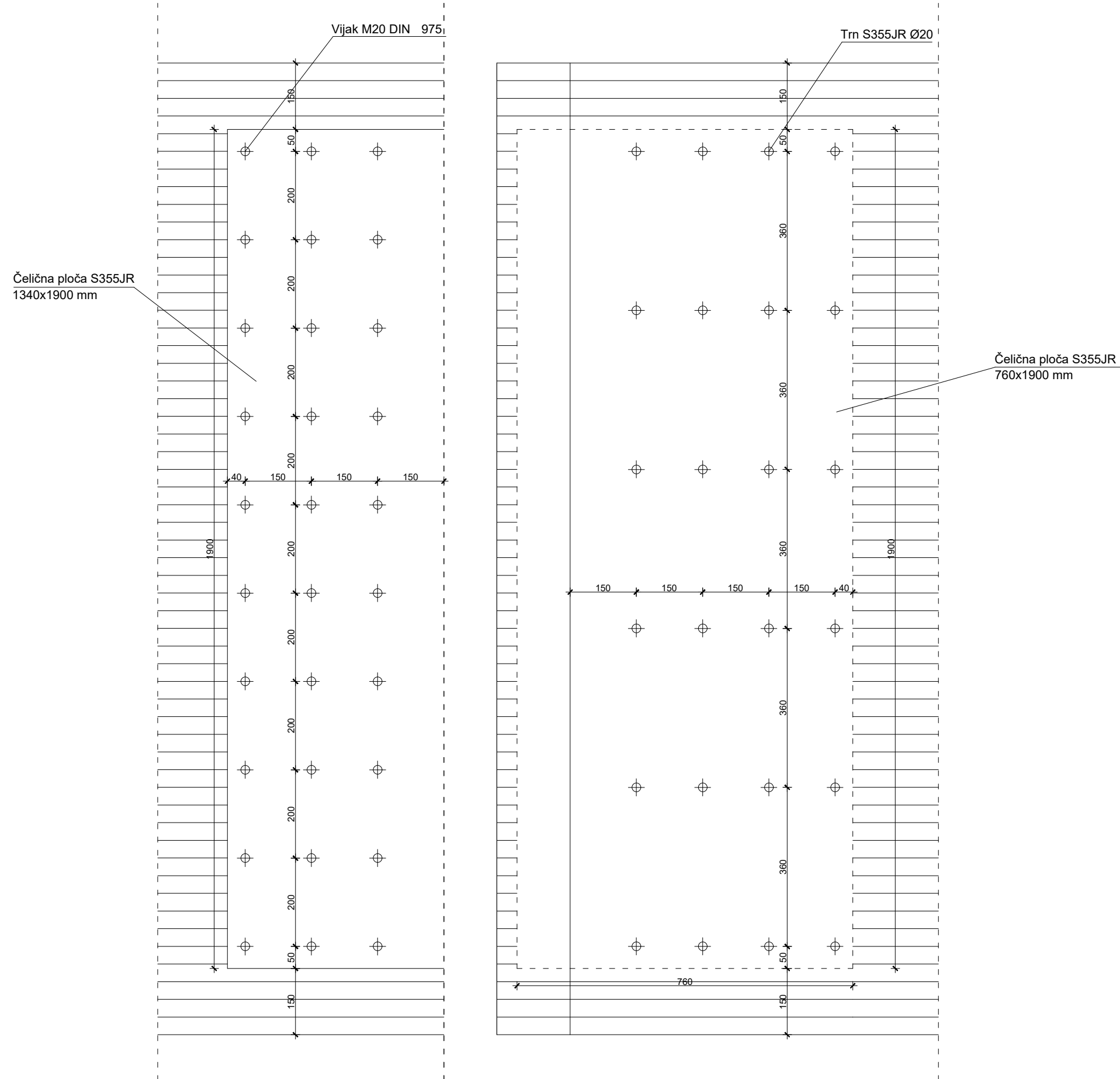
DETALJ SPOJA GLAVNIH LUKOVA I GREDE U SLJEMENU
MJ 1:10



| BROJ KOMADA PO DETALJU | |
|------------------------|-----|
| Vijak M20 DIN 975: | 60 |
| Podloška DIN 125: | 120 |
| Matica DIN 936: | 120 |
| Trn S355JR Ø20: | 48 |
| Drveni čep 20/10 mm: | 96 |

| | |
|------------------------------------|------------------------------|
| Predmet: DIPLOMSKI RAD | |
| Sadržaj nacrt: Detalj 3 | |
| Komentor: Jure Barbalić | Mentor: Vlatka Rajčić |
| Akadska godina: 2023./2024. | Mjerilo: 1:10 |
| Izradio: Kristijan Šiško | |

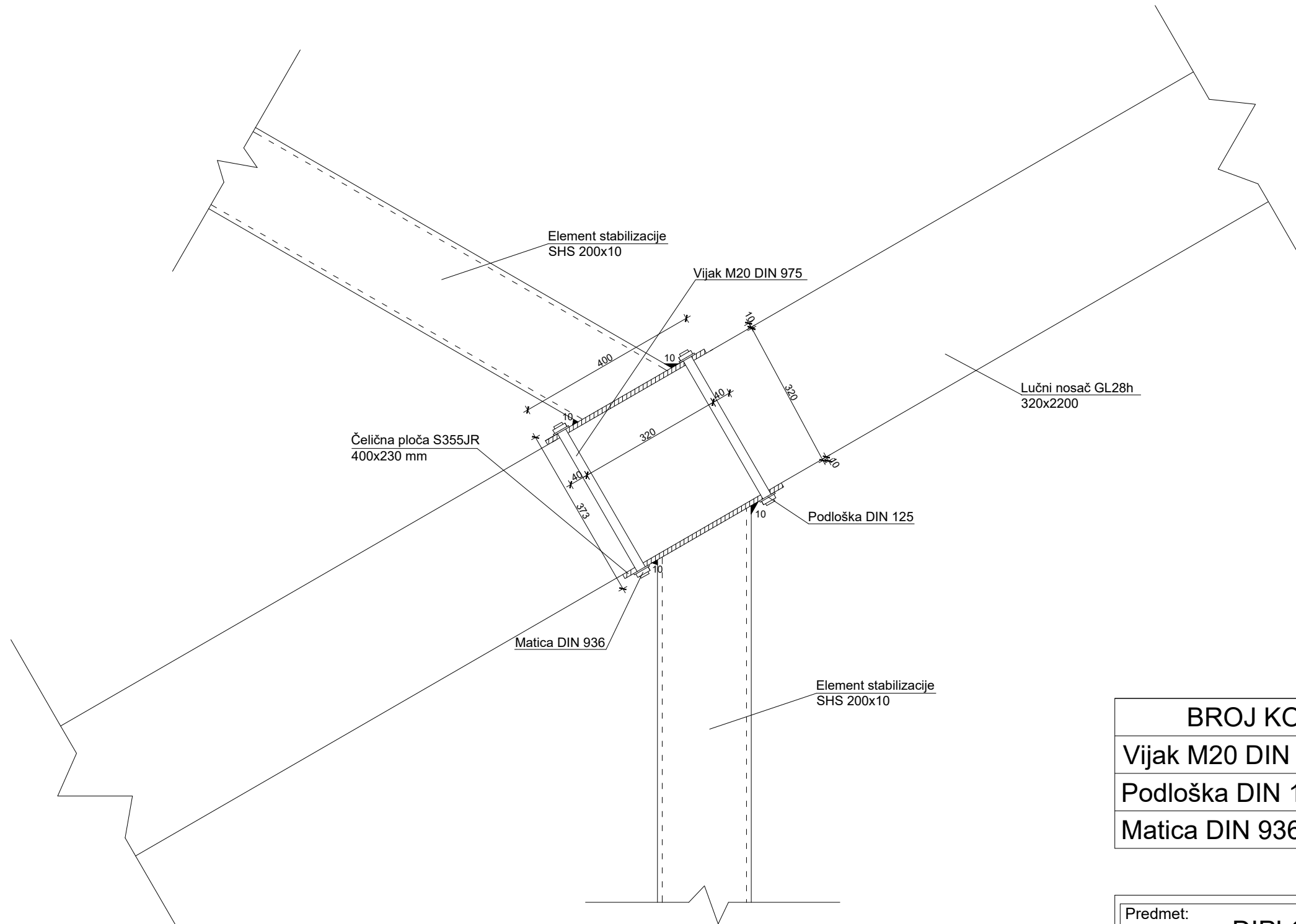
DETALJ SPOJA GLAVNIH LUKOVA I GREDE U SLJEMENU MJ 1:10



| BROJ KOMADA PO DETALJU | |
|------------------------|-----|
| Vijak M20 DIN 975: | 60 |
| Podloška DIN 125: | 120 |
| Matica DIN 936: | 120 |
| Trn S355JR Ø20: | 48 |
| Drveni čep 20/10 mm: | 96 |

| | |
|------------------------------------|------------------------------|
| Predmet: DIPLOMSKI RAD | |
| Sadržaj nacrt: Detalj 3 | |
| Komentor: Jure Barbalić | Mentor: Vlatka Rajčić |
| Akadska godina: 2023./2024. | Mjerilo: 1:10 |
| Izradio: Kristijan Šiško | |

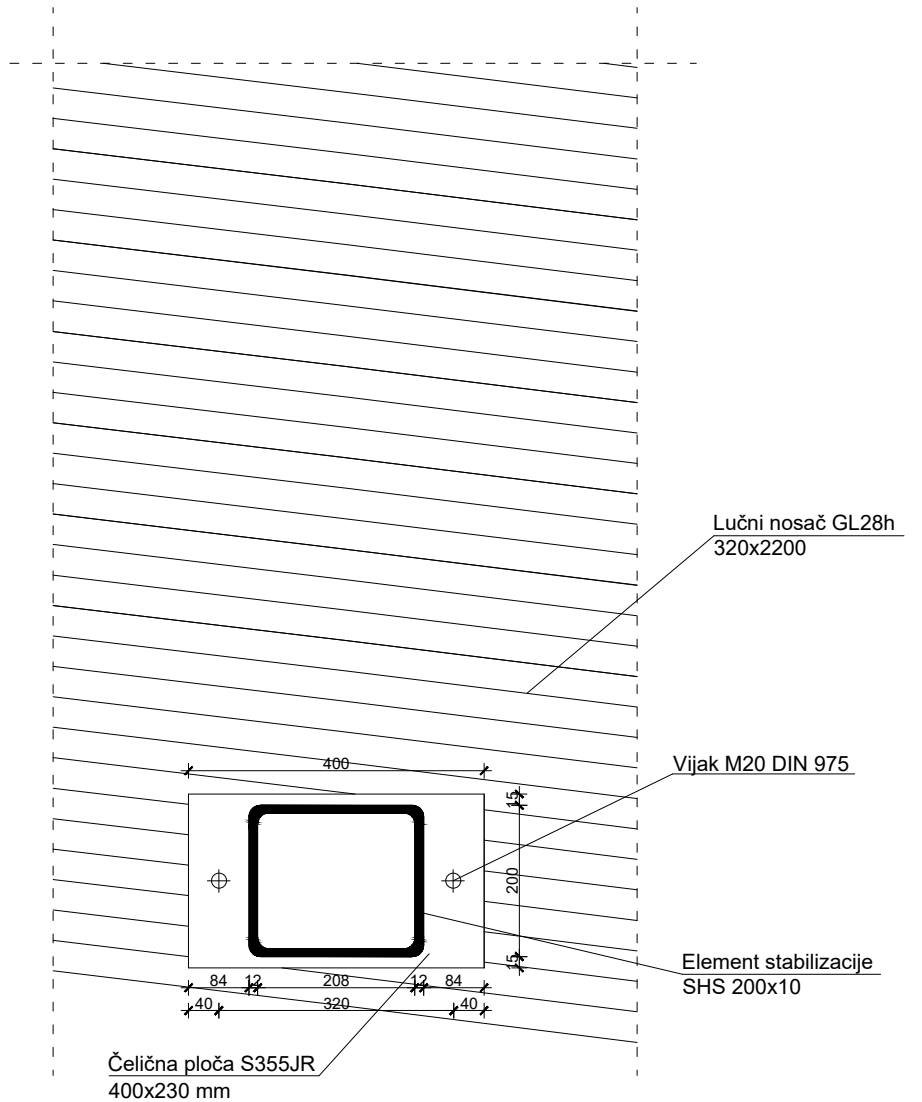
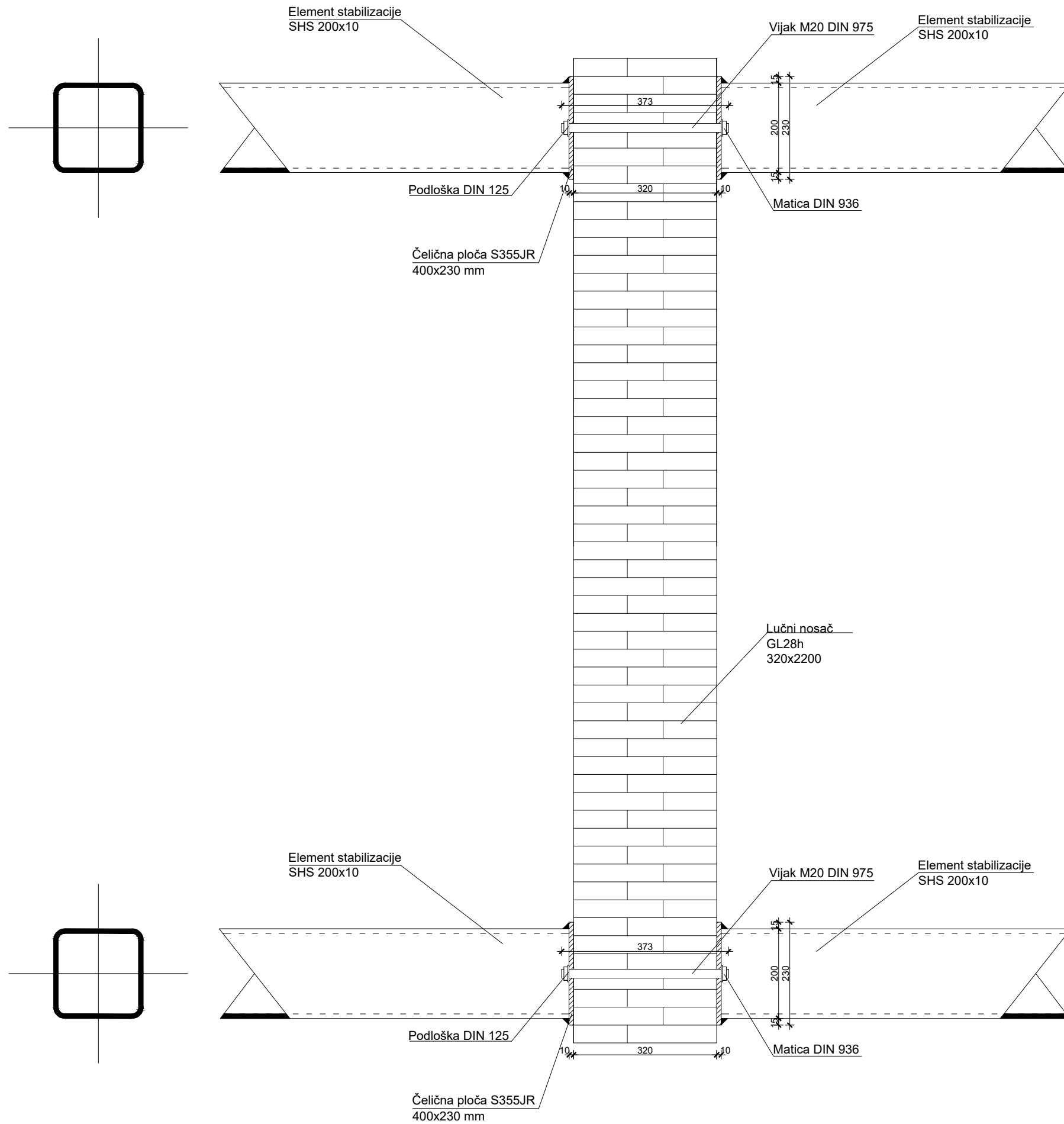
DETALJ OBOSTRANOG SPOJA ELEMENTA STABILIZACIJSKOG SUSTAVA I GLAVNOG LUKA
MJ 1:10



| BROJ KOMADA PO DETALJU | |
|------------------------|---|
| Vijak M20 DIN 975: | 2 |
| Podloška DIN 125: | 4 |
| Matica DIN 936: | 4 |

| | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Predmet: DIPLOMSKI RAD | |
| Sadržaj nacrt: Detalj 4 | |
| Komentor: Jure Barbalić | Mentor: Vlatka Rajčić |
| Akademaska godina: 2023./2024. | Mjerilo: 1:10 |
| Izradio: Kristijan Šiško | |

DETALJ OBOSTRANOG SPOJA ELEMENTA STABILIZACIJSKOG SUSTAVA I GLAVNOG LUKA MJ 1:10



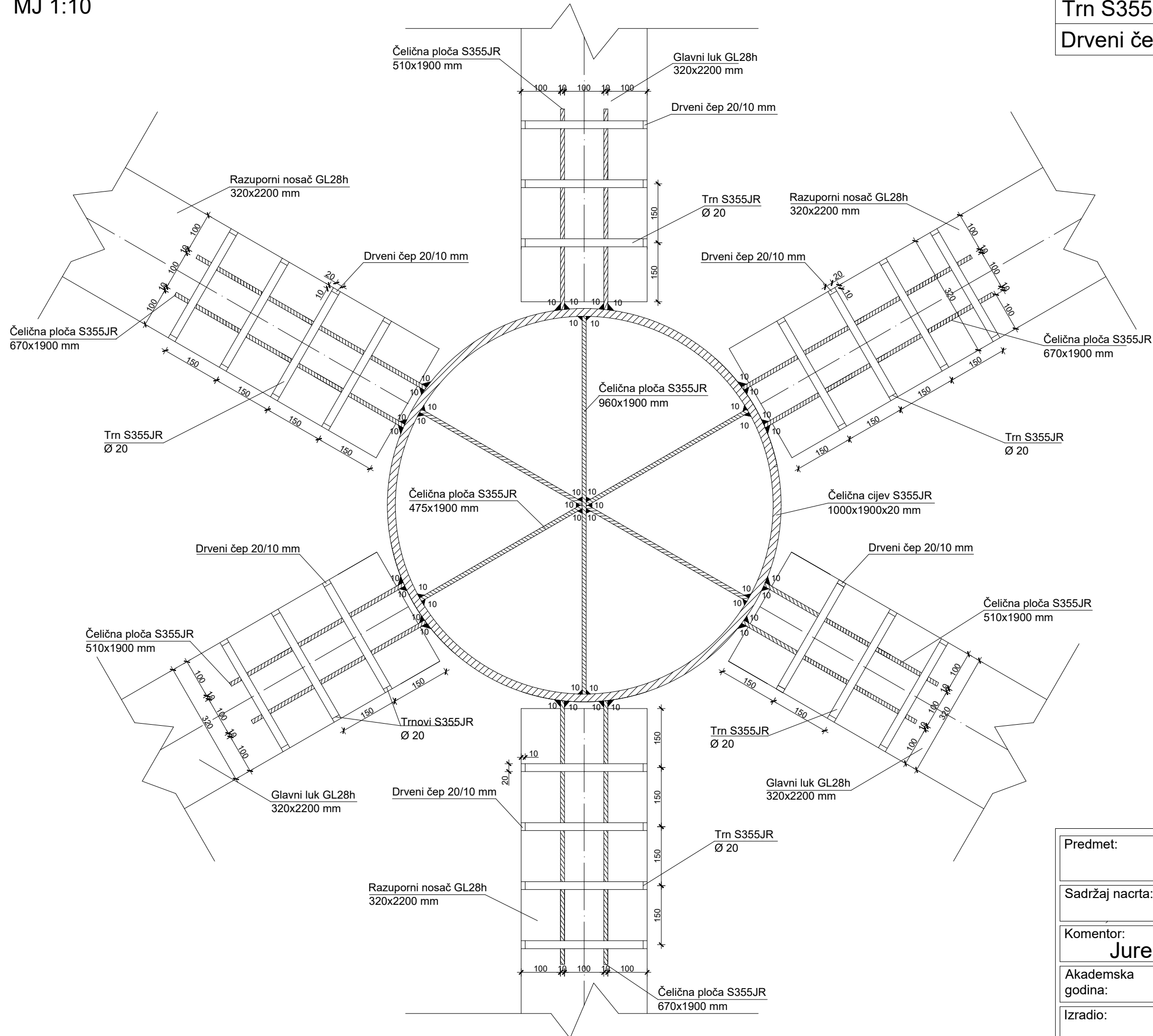
| | | | |
|-----------------|-----------------|----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacрта: | Detalj 4 | | |
| Komentor: | Jure Barbalić | Mentor: | Vlatka Rajčić |
| Akadska godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:10 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |

| | |
|------------------------|---|
| BROJ KOMADA PO DETALJU | |
| Vijak M20 DIN 975: | 4 |
| Podloška DIN 125: | 8 |
| Matica DIN 936: | 8 |

DETALJ SPOJA GLAVNIH LUKOVA I GREDA U SLJEMENU TJEMENA SUSTAVA

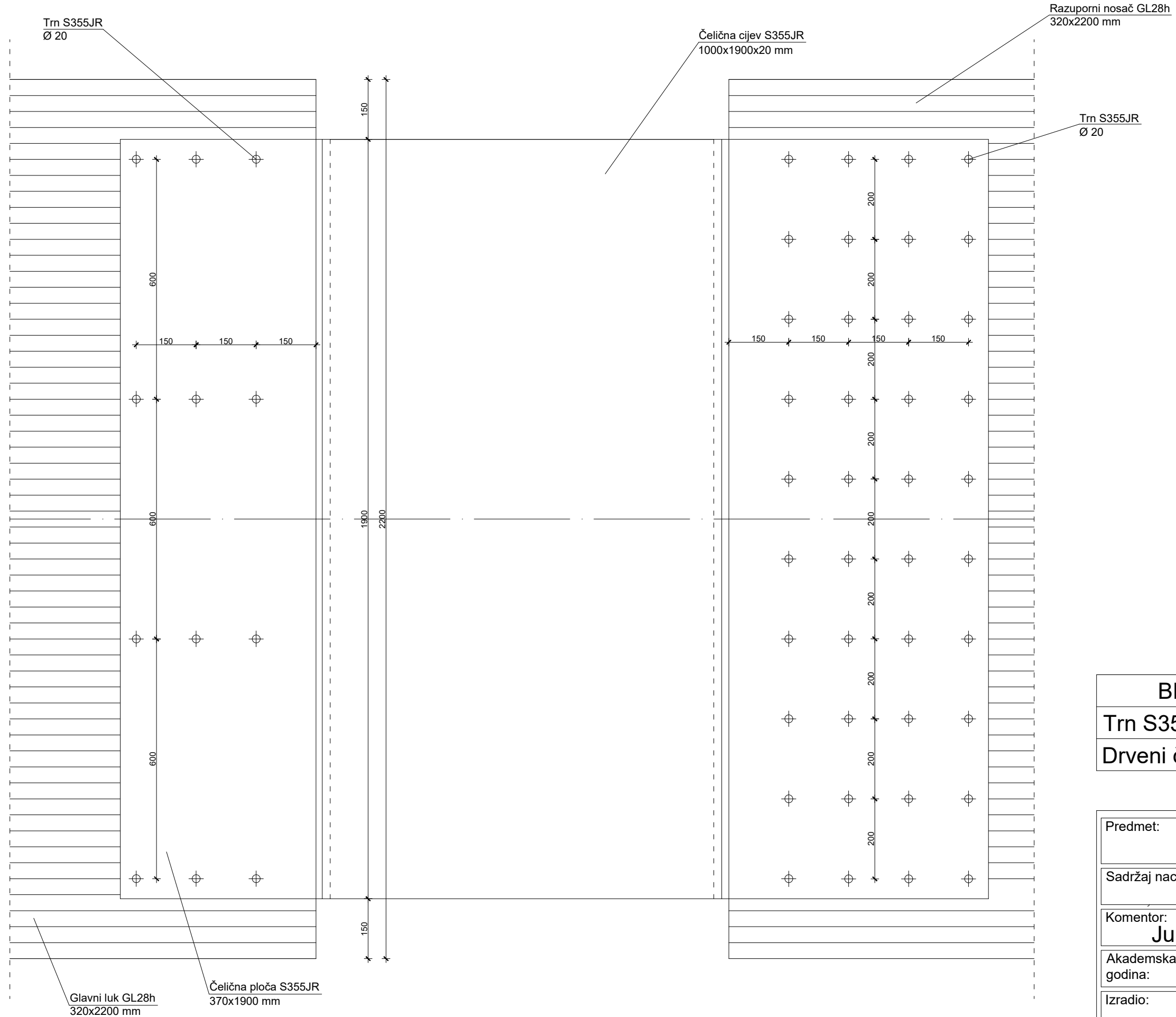
MJ 1:10

| |
|--------------------------|
| BROJ KOMADA PO DETALJU |
| Trn S355JR Ø20: 156 |
| Drveni čep 20/10 mm: 312 |



| | | |
|-------------------|-----------------|-----------------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | |
| Sadržaj nacrt: | Detalj 5 | |
| Komentor: | Jure Barbalić | Mentor: Vlatka Rajčić |
| Akademski godina: | 2023./2024. | Mjerilo: 1:10 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | |

DETALJ SPOJA GLAVNIH LUKOVA I GREDA U SLJEMENU TJEMENA SUSTAVA MJ 1:10



BROJ KOMADA PO DETALJU

Trn S355JR Ø20: 156

Drveni čep 20/10 mm: 312

| | | | |
|--------------------|-----------------|----------|---------------|
| Predmet: | DIPLOMSKI RAD | | |
| Sadržaj nacrt: | Detalj 5 | | |
| Komentor: | Jure Barbalić | Mentor: | Vlatka Rajčić |
| Akademaska godina: | 2023./2024. | Mjerilo: | 1:10 |
| Izradio: | Kristijan Šiško | | |