



VARIJANTA IZVEDBE ČELIČNOG MOSTA U GABELI

Doc. dr. sc. **Vlaho Akmadžić**, dipl. ing. građ.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru
Miše Maslač, magistar građevinarstva
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

Sažetak: Rad se sastoji od dva dijela. Prvi dio je opis starog mosta u Gabeli, što uključuje način izgradnje pojedinih dijelova mosta, opis konstruktivnih dijelova te stanje u kojem se danas taj most nalazi. U drugom dijelu je napravljena varijanta rešetkastog mosta koji bi služio za cestovni promet sa jednim prometnim trakom. Poprečni raspon i ukupni raspon između osi upornjaka, kao i raspon između upornjaka i srednjeg stupa su ostali istih izmjera, dok je lučni glavni nosač, zamijenjen sa rešetkastim nosačem sa dva tipa ispune: modificirane Warrenove sa vertikalama i klasične Warrenove ispune bez vertikalama. Spojeve u zakovanoj izvedbi smo zamijenili vijcima. Za rešetkastu varijantu sa Warrenovom ispunom, urađen je proračun temelja gdje smo imali zbog loših karakteristika tla, temeljenje na pilotima kod upornjaka i slučaj plitkog temelja kod srednjeg stupa mosta. Proračun je proveden po HRN EN 1997-1:2007.

Ključne riječi: rešetkasta varijanta, spojevi u zakovanoj izvedbi, lučni rešetkasti most, stari most

DESIGN VARIANT OF THE STEEL BRIDGE IN GABELA

Abstract: The paper consists of two parts. The first part is a description of the old bridge in Gabela that includes the method of construction of certain parts of the bridge and a description of the structural parts of the current state of the bridge. The second part is made up of a grided-lattice bridge variantion that serves for road transport including a single lane. Cross-range and overall range between axes abutment, and the gap between the abutment and the central pillar remained in same propostions, while the arched main girder-truss was replaced with two types of fillings: modified Warren with verticals and classic Warren fillings without verticals. Stagger-fasteners we replaced with screws. For the grideded-lattice model with Warren filling, a calcuation was completed, where due to poor soil characteristics, foundation piled at the abutments and the case of shallow foundation at the location of the middle pillar of the bridge. This analysis was conducted by HRN EN 1997-1:2007.

Key words: grideded-lattice model, stagger-fasteners, network arch bridge, old bridge



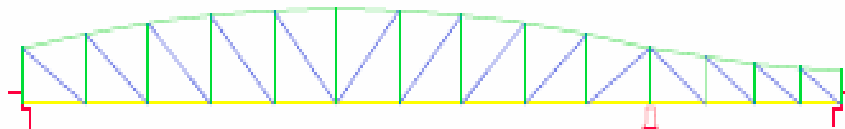
1. UVOD

1.1. Povijest mosta

Most na Neretvi kod Gabele preko kojeg je išla željeznička pruga uskog kolosijeka, sagrađen je 1899. godine za vrijeme Austrougarske monarhije. Ideja o izgradnji mosta i željezničke pruge preko njega potječe iz davne 1878. godine, gdje su se otvorile mogućnosti novih veza sa zaleđem te povezivanjem Južne Dalmacije s Monarhijom što bi olakšalo dolazak turista i oživjelo trgovački promet. Gradnja je započeta 1898. godine i završena je 1901. godine. Već 15. srpnja. 1901. godine uslijedilo je svečano otvaranje pruge kada je i krenuo prvi vlak preko mosta na Neretvi. Popularno zvan "most na Tresani", nalazio se na km 174+878 pruge Sarajevo - Dubrovnik. Most ostaje kao željeznički sve do dana 30. svibnja. 1976. godine kada se zadnji put na mostu oglasio zvižduk popularnog "Ćira". Danas most služi isključivo za cestovni promet sa jednim prometnim trakom povezujući tako Gabelu sa Višićima.

1.2. Konstrukcija mosta

Glavni rešetkasti nosač je lučna čelična rešetka, oslonjena na tri ležaja sa rasponima 101,00 + 30,70 m prikazana na slici 1.



Slika 1. Glavni rešetkasti nosač mosta

Ukupni raspon mosta je $L=131,70$ m. Rešetkasti nosač sa rasponom $L=101$ m ima deset polja konstantne dužine 10,1 m, a raspon $L=30,70$ m ima četiri polja promijenjive dužine 9,0+8,0+7,2+6,5 m. Optimalna visina rešetkastog nosača pri kojoj se dobije najmanja težina glavnih nosača je $L/7$ do $L/9$ što je u našem primjeru 14428 mm do 11222 mm za raspon $L=101$ m. Usvojena visina je $H=12000$ mm i širina $B=5000$ mm koje su zadovoljile prethodni uvijet.

1.2.1. Kolnik

Prema dimenzijama šina koje su korištene na mostu možemo zaključiti da odgovaraju današnjim šinama tipa "S-49" sa kolničkim priborom, koje su se postavljale na drvene pragove od borovine II. klase 26/24 cm međusobnog osnovog razmaka približno 60 cm. Pragovi su položeni direktno preko podužnih nosača vezom koja se ostvaruje pomoću kutnika dimenzija 120x80x10 koji je zakovicama vezan za gornji pojas podužnog nosača.

1.2.2. Podužni nosači

Podužni nosači u statičkom pogledu su kontinuirane grede na elastičnim osloncima, budući da se vrši njihovo nastavljanje preko poprečnih nosača (elastičnih oslonaca). Pokretno opterećenje se prenosi na podužne nosače preko pragova, ali se o tome pri proračunu ne vodi računa, već se isti računaju kao da su neposredno opterećeni od pokretnog opterećenja. Podužni nosači su izrađeni kao zakovani "I" profili visine $h=1050$ mm sastavljeni od lima debljine $t=10$ mm te "L" profila dimenzija 90x90x10 međusobno povezani zakovicama. Postavljeni su na osovinskom razmaku $b=110$ cm. Podužni i poprečni nosači se nalaze u istom nivou, pa je potrebno ostvariti kontinuitet podužnih nosača. Podužni nosači se



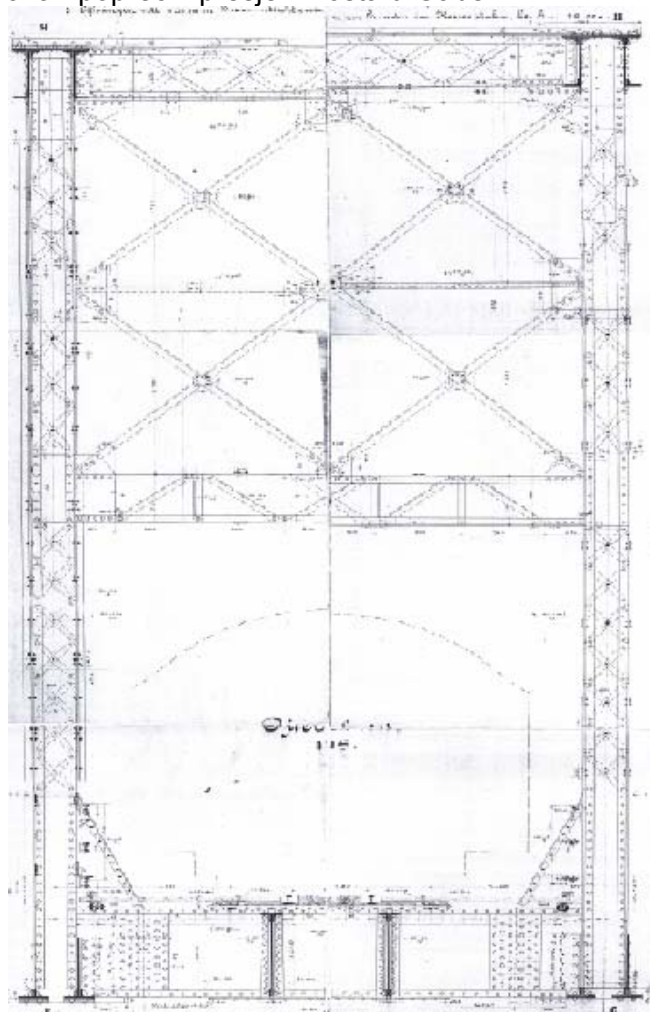
najprije montiraju od poprečnog do poprečnog postavljanjem na konstruktivnu donju stolicu, a zatim se zakovicama vežu za rebro poprečnog nosača preko priključnih kutnika.



Slika 2. Podužni nosač mosta u Gabeli

1.2.3. Poprečni nosači

Razmak glavnih nosača iznosi 5,0 m i to je ujedno i raspon poprečnih nosača što je vidljivo na slici 3. gdje je prikazan poprečni presjek mosta u Gabeli.



Slika 3. Poprečni presjek mosta u Gabeli



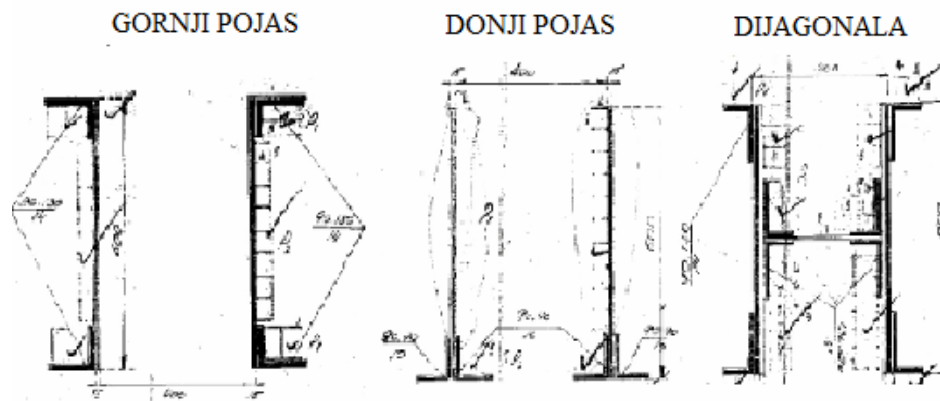
Poprečni nosači su u statičkom smislu proste grede raspona $B= 5,0$ m. Poprečni nosači izrađeni su kao zakovani "I" profili sastavljeni od "L" profila dimenzija $90 \times 90 \times 10$ i lima debljine $t=12$ mm povezani zakovicama (slika 4).



Slika 4. Poprečni nosač na mostu u Gabeli

1.2.4. Glavni nosači

Glavni nosač je rešetkasti lučni nosač oslonjen na tri ležaja. Rešetkasti nosač je promjenjive visine duž raspona, radi boljeg iskorištenja gradiva. Glavni dijelovi rešetkastog nosača su pojasni štapovi i štapovi ispune. Poprečni presjeci štapova ispune (vertikala i dijagonala) kao i štapovi gornjeg i donjeg pojasa mosta u Gabeli prikazani su na slici 5.



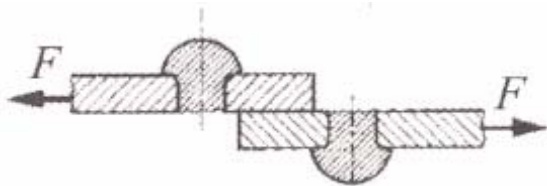
Slika 5. Poprečni presjeci štapova rešetkastog nosača mosta u Gabeli

1.2.4.1. Spojevi na mostu

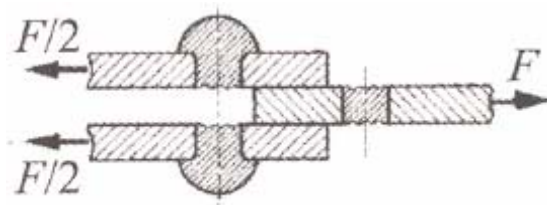
Način na koji su se radili spojevi na mostu je upotrebom zakovica. Razloga za usvajanje zakovane, a ne zavarene konstrukcije, navodi se, što je izrada ove konstrukcije bila vrlo hitna, dok bi upotreba zavarljivog materijala zahtijevala dug rok isporuke. U tehničkom opisu mosta navodi se, da je korišten lagerski materijal kvalitete 37. koji je trebao zadovoljiti tadašnje važeće DIN-ove propise.

1.2.4.2. Proračun zakovičnih spojeva

Ako u spoju ima više zakovica, u proračunu čvrstoće se najčešće pretpostavlja da sve zakovice jednako sudjeluju u prijenosu sile, tj. da su podjednako opterećene. Ako su zakovicom spojena dva lima, prevelika poprečna sila će prerezati zakovicu na jednom mjestu, pa se govori o jednoreznom spoju ($m=1$ =broj rezova) (slika 6.)



Slika 6. Jednorezni spoj zakovica



Slika 7. Dvorezni ili višerezni spoj zakovica

Ako su zakovicom spojena tri lima (tri dijela) ili više njih, prevelika poprečna sila F će prerezati zakovicu na dva ili više mjesta pa se govori o dvoreznom ($m = 2$) ili višereznom spoju (slika7.). Zakovice prvenstveno trebaju biti opterećene posmično. Tangencijalno naprezanje u poprečnom presjeku struka zakovice računamo:

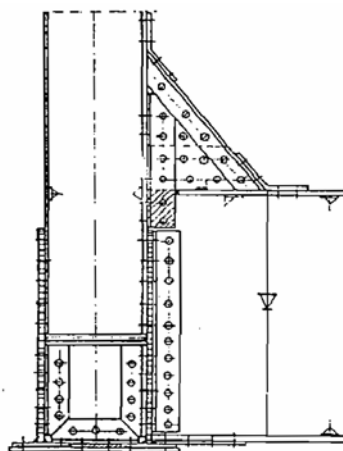
$$\tau_s = \frac{F}{i \cdot m \cdot A_s} \leq \tau_{dop} \quad (1)$$

Zakovica može biti opterećena i vlačno, što treba izbjegavati. U tom je slučaju naprezanje :

$$\sigma_v = \frac{F}{A_1} \leq \sigma_{dop} \quad (2)$$

gdje je : F = sila; i = broj zakovica; m = broj rezova; A_1 = površina poprečnog presjeka zakovane zakovice = $d_1^2 \cdot \pi/4$

U mostogradnji zakivaju se valjani profili i limovi u limene i rešetkaste nosače. Najčešće se koriste poluokrugle zakovice. Osnovna prednost primjene zakovičnih spojeva je brzina izvođenja spojeva, do 1000 zakovica po satu, a nedostatak što je potreban prijeklop na spojevima, a to uzrokuje težu konstrukciju. Danas su zakovične spojeve uglavnom istisnuli zavareni spojevi, posebno u mostogradnji. Na slici 8. prikazan je jedan detalj spoja poprečnog nosača mosta u Gabeli za donji pojas glavnog nosača, koji je rađen poluokruglim zakovicama.



Slika 8. Detalj spoja poprečnog nosača za donji pojas pomoću zakovica i priključnih kutnika



1.2.5. Spregovi

Na mostu se nalaze tri vrste sprega:

- Spreg protiv bočnih udara
- Spreg protiv kočenja
- Spregovi protiv vjetra

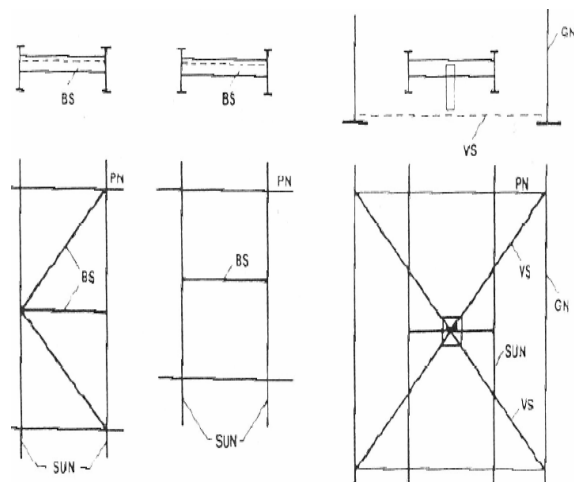
Sva tri sprega se nalaze u vodoravnoj ravni. Glavna im je zadaća prijenos vodoravnih opterećenja u smjeru osi mosta i očuvanje stabilnosti glavnih nosivih dijelova.

1.2.5.1. Spreg protiv bočnih udara

Osnovna im je svrha preuzimanje bočnih udara pri vijuganju vlaka i ukrućivanje uzdužnih nosača. Spreg protiv bočnih udara smješten je između podužnih nosača. Ustatičkom pogledu spreg je prosta rešetka sa dijagonalama i vertikalama od "L" profila povezanih zakovicama. Pojasevi ovog sprega su podužni nosači.



Slika 9. Spreg protiv bočnih udara na mostu u Gabeli



Slika 10. Sheme spregova protiv bočnih udara

1.2.5.2. Spreg protiv kočenja

Spreg protiv kočenja prenosi silu kočenja preko glavnih nosača na nepokretno ležište. Prema dužini mosta predviđen je jedan spreg protiv kočenja u sredini raspona, a postavljen je u ravni donjeg sprega protiv vjetra.

1.2.5.3. Spreg protiv vjetra

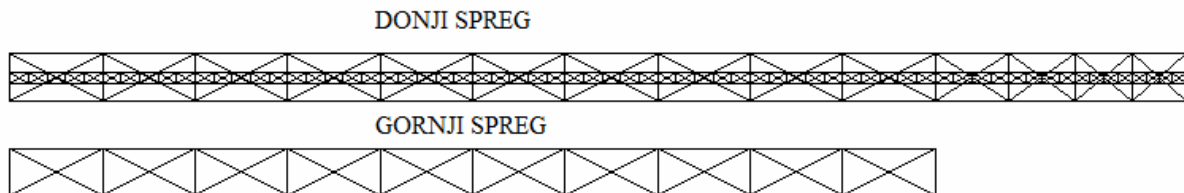
Na mostu imamo dva sprega protiv vjetra:

- Gornji: koji se nalazi u ravni gornjeg pojasa glavnih nosača (slika 11.)
- Donji: koji se nalazi u ravni donjeg pojasa glavnih nosača (slika 11.)

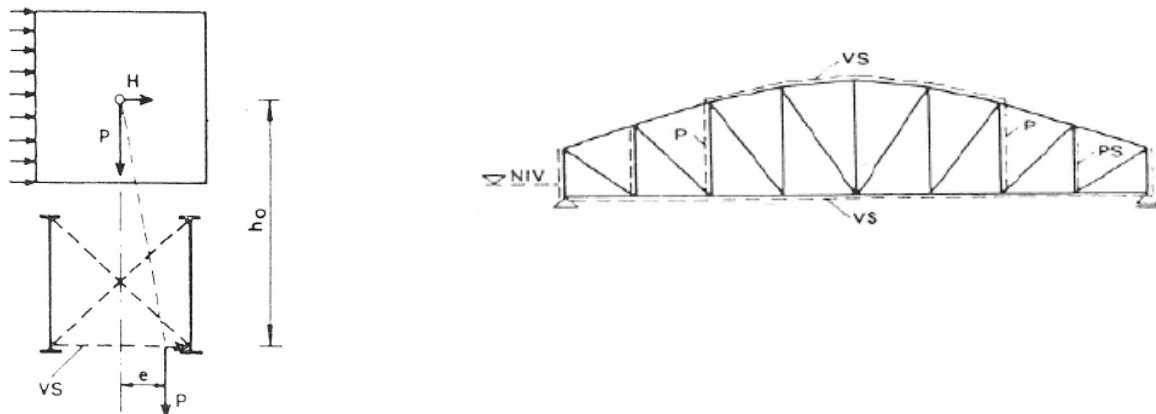


Gornji spreg je urađen sa ukriženim dijagonalama. Za dijagonale gornjeg sprega su usvojeni "L" profili 90x90x10. Ukupna dužina gornjeg sprega za vjetar je 101,00 m. Donji spreg za vjetar je sustava ukriženih dijagonala. Štapovi sprega su od dva "L" profila

dimenzija 90x90x9. Osnovna zadaća vjetrovnih spregova je da bočno stabiliziraju glavni nosač. Treba ga postaviti što bliže hvatištu vodoravne sile, jer se tako smanjuje njezino djelovanje na glavni nosač (slika 12.).



Slika 11. Spregovi mosta u Gabeli

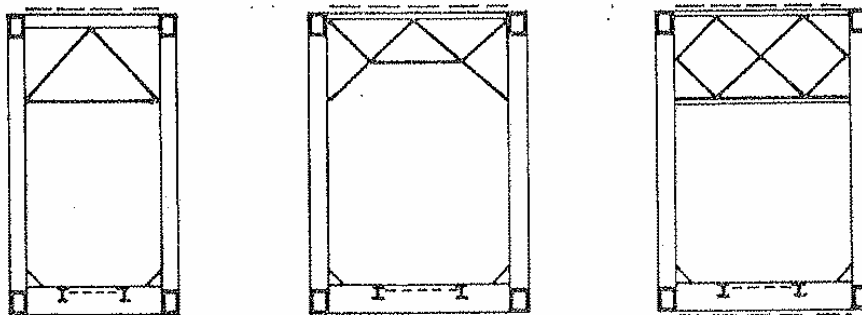


Slika 12. Utjecaj vodoravnih sila na glavne nosače

Slika 13. Prostorni raspored vjetrovnih spregova

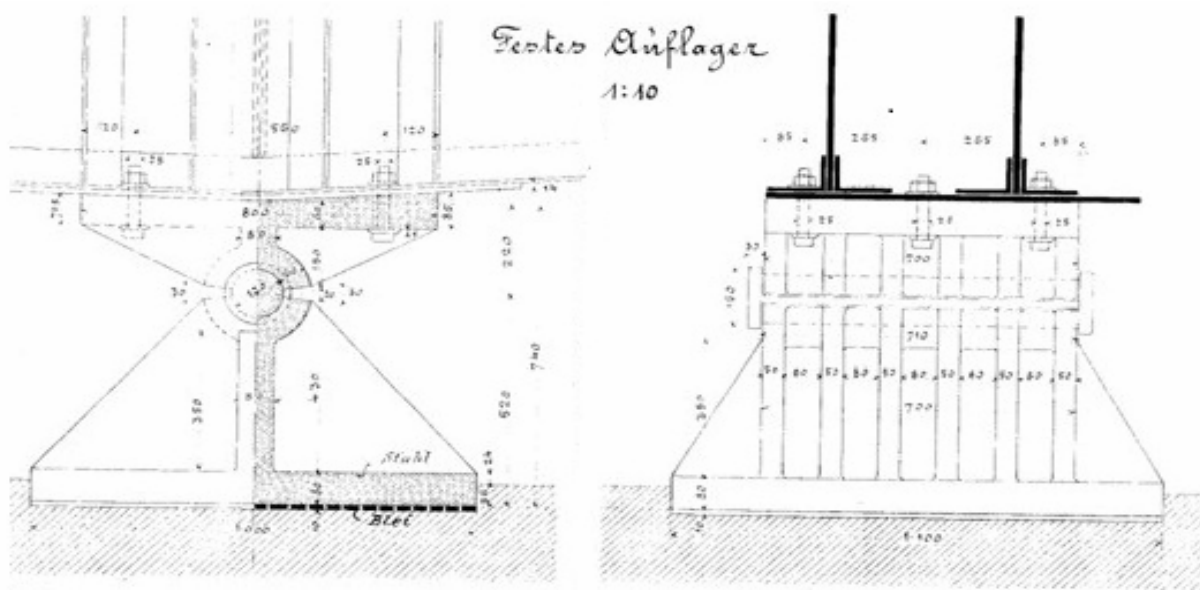
1.2.5.4. Portal

Portal čine dva vertikalna štapa (vertikale glavnog nosača) i dva horizontalna štapa (rigle), od kojih je donji poprečni nosač, a gornji vertikala sprega protiv vjetra, te poprečnog sprega sastavljenog od ukrštenih dijagonala "L" profila (slika 14.). Po statičkom sustavu ovi portali su zatvoreni okviri tri puta statički neodređeni. Uloga portala je da prenesu reakciju gornjeg sprega protiv vjetra ili na donji spreg protiv vjetra ili direktno na ležišta mosta.

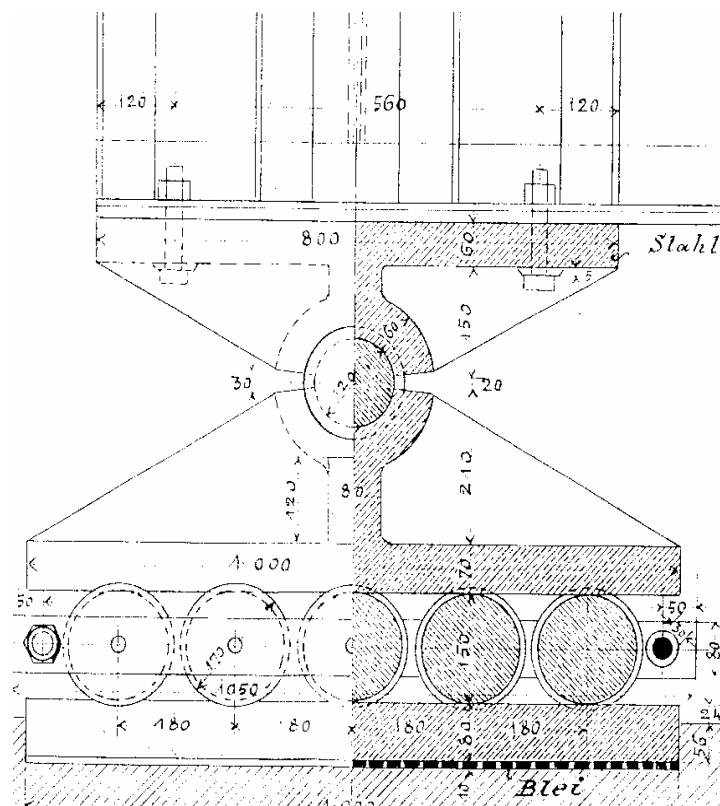


Slika 14. Portali

1.2.6. Ležišta mosta



Slika 15. Nepokretni ležaj mosta u Gabeli



Slika 16. Pokretni ležaj mosta u Gabeli

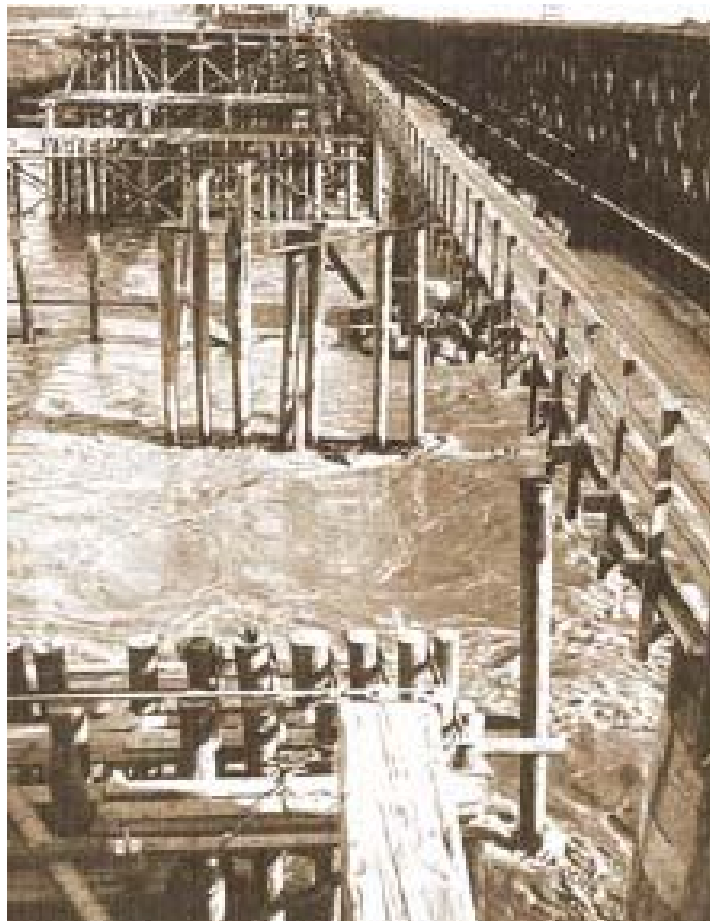


Riječ je o linijskim ležajevima koji osiguravaju oslanjanje preko kontakta između ravne i cilindrične površine. Taj linijski kontakt omogućava rotaciju oko jedne osi, preuzimanje umjerenih horizontalnih sila osigurava se posmičnim klinom. Sastoji se od donje čelične ploče (učvršćene u beton) i gornje čelične ploče pričvršćene na glavni nosač. Horizontalne sile se preuzimaju posmičnim klinom između njih. Valjkasti linijski ležaj sastoji se od u našem slučaju 5 punih čeličnih valjaka promjera 170 mm, postavljenih između dvije paralelne ploče debljine 80 mm, tako da se relativni pomak u smjeru „x“ može ostvariti kotrljanjem.

1.2.7. Montaža i izrada

Glavni nosači su izrađeni u zakovanoj izvedbi u radionici. Isto tako i podužni nosači su u radionici zakovani sa spregom između njih i na gradilište transportirani kao kompletno polje. Ovakav način je ubrzao montažu na gradilištu. Da bi se dobilo na vremenu, pokraj kamenog stupa i upornjaka bila je izgrađena drvena skela na koju je montiran most, tako da je istodobno s kamenim stupom na skelu montirana čelična konstrukcija. Most je potom montiran poprečnim navlačenjem na kameni stup.

Izrada drvene skele za prihvaćanje čelične konstrukcije bilo je u to vrijeme veoma složen i zahtjevan posao (slika 17.). Glavni razlog tome je vodostaj rijeke Neretve koji bi znao porasti zbog jakih kiša i nanosa koje bi Neretva nosila sa sobom. Zbog toga je drvena skela bila ojačana čeličnim rešetkastim gredama. Drveni piloti su zabijani u dno rijeke Neretve. Postupnim je otpuštanjem oslobođena skela i konstrukcija je postala samonosiva.



Slika 17. Gradnja drvene skele



1.2.8. Zaštita konstrukcije

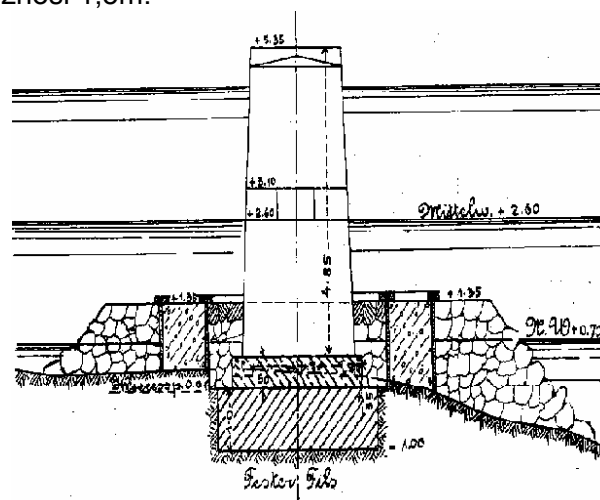
Osnovna problematika ovog mosta je korozija tj. hrđanje željeza zbog kisika u zraku, vodene pare ili slabih rastopina soli. Sama konstrukcija mosta veoma je nepovoljna glede korozije, zbog svojih oštih rubova, čvornih limova koji predstavljaju mjesta pogodna za početak korozije. Problem korozije mora se riješavati već pri projektiranju, pa sve do održavanja izvedene konstrukcije, a to sigurno nije primjenjivano na ovom mostu već dugi niz godina. Zbog korozije, most osim što gubi na estetskoj vrijednosti, javlja se i pitanje kvalitete čelika i čeličnih spojeva, koje je mnogo važnije od estetike (slika 18.).



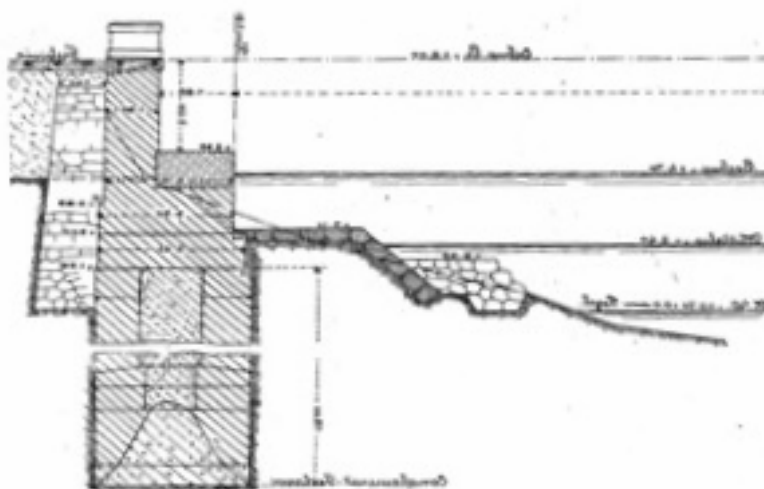
Slika 18. Primjer korozije na mostu

1.2.8 Temelji mosta

Ovaj stari most ima dva upornjaka i jedan stup koji se nalazi u vodi. Srednji stup (slika 19.) i jedan upornjak su temeljeni na plitkom temelju, dok je drugi upornjak temeljen na kesonima zbog loših karakteristika tla. Kao zaštita plitkih temelja koristio se kameni nabačaj. Lijevi upornjak (slika 20.) je fundiran u otvorenoj jami na dubini 13 m tlocrtnih dimenzija 8,50 x 3,50 m. Promjer okna iznosi 1,5m.



Slika 19. Srednji stup mosta u Gabeli



Slika 20. Upornjak mosta

1.2.9 Sadašnje stanje mosta



Slika 21. Most danas



Danas most služi za cestovni promet, sa izrađenom kolničkom konstrukcijom s jednom prometnom trakom, što znači da sama konstrukcija mosta trpi neko drugo prometno opterećenje za koje nije projektirana. Zbog povećanog prometnog opterećenja i većih dinamičkih utjecaja od povećanja brzine, za koju ovaj most nije projektiran, javlja se pitanje je li potrebno most ojačati za tzv. višu klasu. Budući da je most sagrađen prije 120 godina, ovo pitanje svake godine postaje sve ozbiljnije.

2.VARIJANTNO RIJEŠENJE ČELIČNOG MOSTA

2.1 Opće napomene

Projektni zadatak je proračun cestovnog čeličnog mosta s *omnia* pločama koji se nalazi na lokalnoj cesti Gabela-Višići. Prema položaju to je most preko rijeke Neretve (slika 22.), a prema tipu nosive konstrukcije most spada u rešetkaste mostove sa Warrenovom ispunom. Ukupna duljina mosta je 130,00 m. Osnj razmak upornjaka je 130,00 m. Rasponska konstrukcija ima dva raspona, odnosno jedan armirano-betonski stup poligonalnog poprečnog presjeka, s odgovarajućim osnim razmacima upornjaka i stupa 100,00 m + 30,00 m. S obzirom da je most u pravcu usvojen je minimalni poprečni nagib na čitavoj duljini mosta i iznosi 2,5 %. Poprečni nagib je zanemaren u statičkoj analizi i proračunu mosta izvršenom u programskom paketu *Tower 6*.



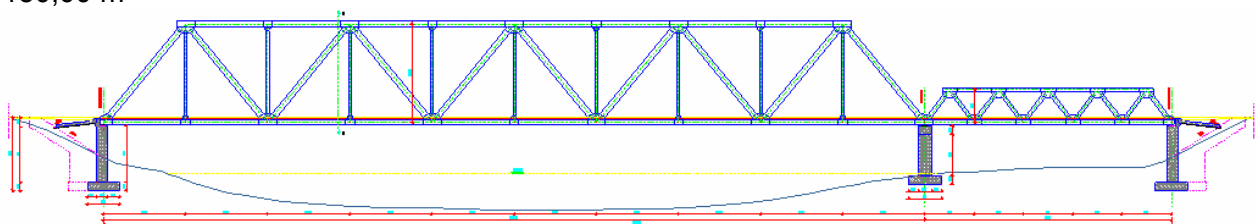
Slika 22. Prostorna lokacija projektiranog mosta

2.1.1 Rasponski sklop mosta

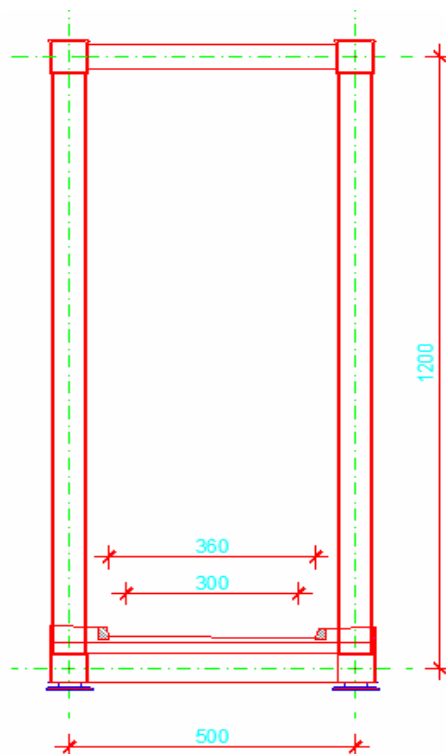
Rasponski sklop mosta je formiran od dva glavna trapezasta nosača sa trokutastom ispunom, koji se oslanjaju na odgovarajuće fiksne i pokretne lončaste ležajeve, po dva iznad stupa i upornjaka, ukupno 6 komada.

2.1.2 Glavni rasponski nosači mosta

Glavni nosač mosta je rešetkasti nosač na dva raspona 100,00 + 30,00 ukupnog raspona 130,00 m



Slika 23. Glavni rešetkasti nosač mosta



Slika 26. Poprečni presjek mosta

2.1.4 Vjetrovni spreg

Imamo dva tipa vjetrovnog sprega na mostu:

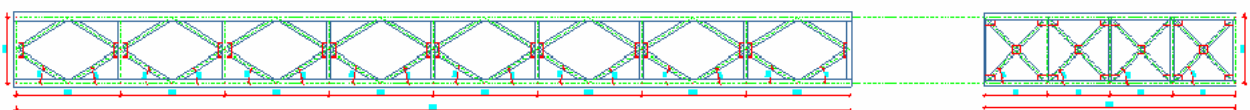
- Rešetkasti spreg s ukrštenim dijagonalama
- Rešetkasti spreg s romboidnom ispunom

2.1.4.1 Rešetkasti spreg s ukrštenim dijagonalama

Za trapezni nosač raspona $L=30,00$ m usvojen je rešetkasti vjetrovni spreg s ukrštenim dijagonalama. Za dijagonale su usvojena dva "L" profila dimenzija $140 \times 140 \times 16$ i vertikala IPB 400. Postavljeni su na visini $H=4$ m u ravnini gornjeg pojasa rešetkastog nosača u četiri polja ukupne duljine $l=24,00$ m.

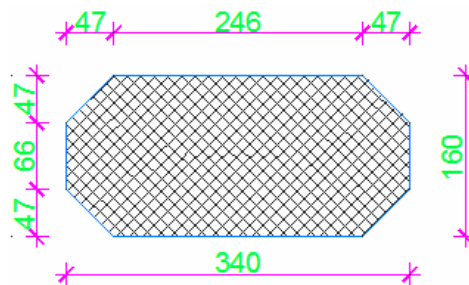
2.1.4.2 Rešetkasti spreg s romboidnom ispunom

Za trapezni nosač s modificiranom Warrenovom ispunom raspona $L=100,00$ m usvojen je rešetkasti vjetrovni spreg s romboidnom ispunom. Za dijagonale vjetrovnog sprega usvojena su dva "L" profila dimenzija $180 \times 180 \times 22$ i vertikala sandučastog poprečnog presjeka visine $h=500$ mm i širine $b=440$ mm. Postavljeni su na visini $H=12$ m u osam polja ukupne duljine $L=80,00$ m u ravnini gornjeg pojasa rešetkastog nosača koji je ujedno i pojas vjetrovnog sprega.



Slika 27. Vjetrovni spreg

2.1.5 Stup mosta

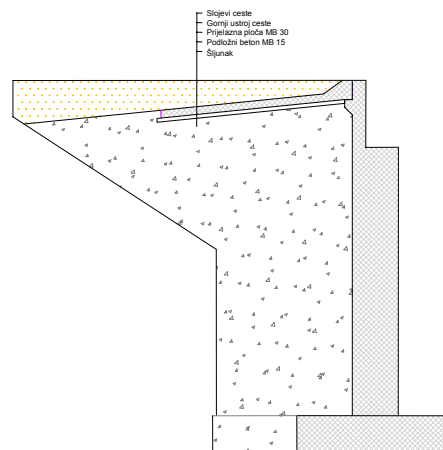


Slika 28. Dimenzije poprečnog presjeka stupa

Predviđen je stup poligonalnog poprečnog presjeka, vanjskih izmjera 3,4 m (poprečno na most) 1,6 m (u smjeru mosta). Visina tijela stupa je 5 m. Temelj stupa je klasični, masivni, tlocrtnih dimenzija 10x4 m.

2.1.6 Upornjaci mosta

Upornjaci mosta su klasični, masivni, s kruto vezanim paralelnim krilima.



Slika 29. Uzdužni presjek kroz upornjak rešetkastog mosta

2.2 Gradiva mosta

2.2.1 Čelik S 355

Glavni rešetkasti nosači sa ispunom i spregovima izvedeni su od čelika S355 (Fe510) s granicom popuštanja od 355 N/mm^2 i vlačnom čvrstoćom od 510 N/mm^2 .

2.2.2 Beton

Marke betona : MB30 - temelji; MB30 - naglavne grede; MB 50 - klupice. Kod upornjaka koristiti betona: MB30 - temelji, zid i krila; MB 30 - naglavne grede; MB50 - klupice. Betonski rubnjak treba biti marke betona MB 50.



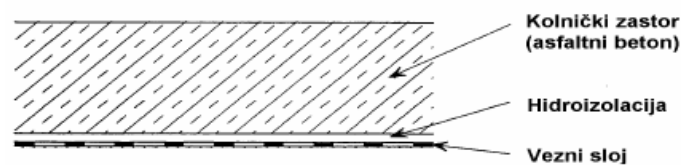
2.3 Oprema i ostala rješenja mosta

2.3.1 Hidroizolacija

Za hidroizolaciju kolničke ploče, predviđena je kvalitetna jednoslojna hidroizolacija iz zavarenih bitumenskih traka debljine 5 mm.

2.3.2 Zastor

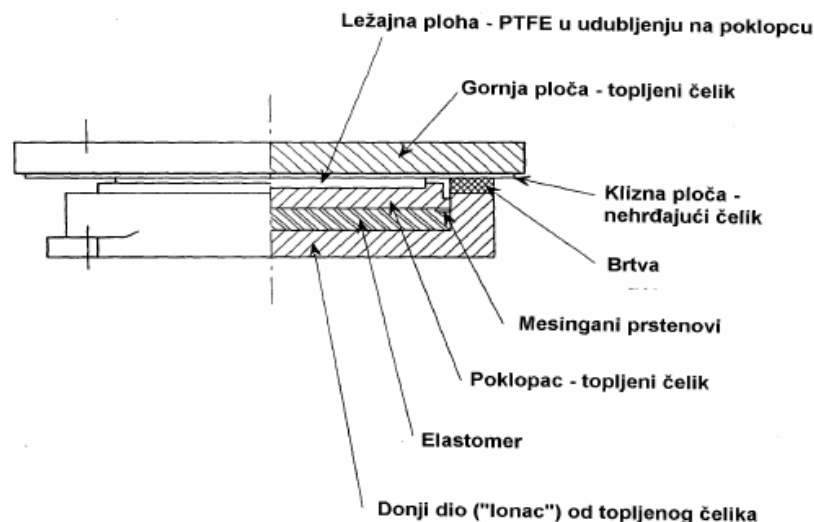
Zastor na kolničkoj ploči rasponske konstrukcije se formira od zaštitnog sloja asfalt-betona AB-8 debljine 3,5 cm, ugrađenog iznad hidroizolacije, te habajućeg sloja splitmastiksasfalta SMA11 debljine 4,5 cm.



Slika 30. Slojevi kolnika ceste

2.3.4 Ležajevi

Iznad upornjaka i stupa korišteni su pomični i nepomični lončasti ležajevi. Ovakvi se ležajevi sastoje od čeličnog prstena kako sastavnog dijela posude u koju se stavlja elastomer. Horizontalni pomak se omogućava dodavanjem klizne plohe (nehrđajući čelik -PTFE) na gornji dio ležaja.

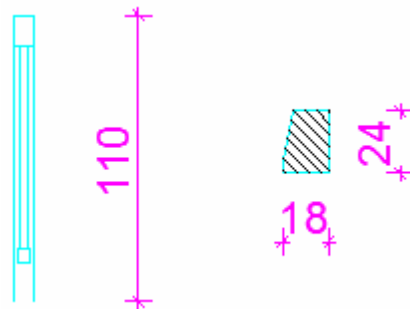


Slika 31. Dijelovi lončastog ležaja

2.3.5 Rubnjak i ograda na mostu

Na mostu se nalazi ograda visine 110 cm. Ograda je postavljena cijelom dužinom mosta. Ogradu je potrebno izraditi od metalnih (HOP) profila, ispuna ograde mora biti dovoljno gusta (20-30cm). Pričvršćena je za beton na razmacima dva metra.

Zaštita od iskakanja vozila s kolnika je betonski rubnjak visine 24 cm, dužine 100 cm, izrađen od betona MB50.



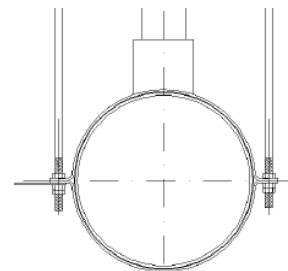
Slika 32. Poprečni presjek ograde i rubnjaka

2.3.6 Odvodnja

Vode se s kolnika preko slivnika prihvaćaju u odvodne cijevi, te na kraju objekta (iza krila) odvođe u sabirno okno. Duž objekta, uz lijevi rub kolnika, prolazi odvodna cijev promjera 200 mm dimenzionirana tako da za svaki m^2 slivne površine osiguramo $4cm^2$ u presjeku cijevi s tim da je cijev minimalnog promjera 15cm. Ona je ujedno i tranzitna cijev za odvodnju ceste, a služi za odvodnju vode s kolnika. Slivnici su položeni na nižoj strani kolnika odnosno na lijevoj strani kolnika. Sastoje se od donjeg i gornjeg fiksnog dijela i kišne rešetke. S obzirom na minimalni uzdužni nagib 0,5%, slivnike ćemo postaviti na svakih 10,0 m.

Tablica 1. Razmak slivnika s obzirom na uzdužni nagib most

Razmak slijevnika [m]	Uzdužni nagib kolnika [%]
5 ÷ 10	0,2 ÷ 0,5
10 ÷ 25	0,5 ÷ 1,0
20 ÷ 25	1,0



Slika 33. Cijev za odvodnju mosta

2.4 Analiza opterećenja

Analiza opterećenja je napravljena u skladu sa PRAVILNIKOM O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA ODREĐIVANJE VELIČINE OPTEREĆENJA MOSTOVA (JUS-u).

2.4.1 Opterećenje na mostu

2.4.1.1 Vlastita težina

Uzeta u obzir pri proračunu u programskom paketu *Tower 6*.

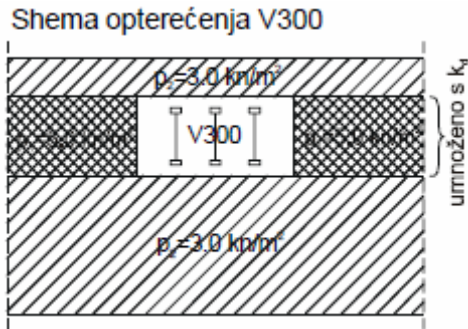
2.4.1.2 Dodatno stalno opterećenje

Dodatno stalno opterećenje podrazumijeva težinu nadgradnje (izolacije, zastora, ograde, cijevi za odvodnju).

Ukupno opterećenje od kolnika iznosi 2,36 kN/m²

2.4.1.3 Prometno (pokretno) opterećenje

Širina kolničkog traka iznosi 3 m, sa rubnim trakom 0,3 m. Na temelju širine kolnika manje od 6,0 m i III. kategorije mosta usvojili smo računsku shemu opterećenja V300.

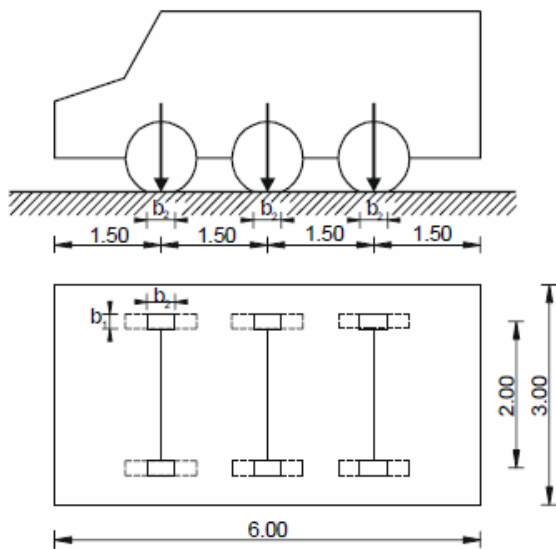


Tablica 2. Kategorija mosta i računska shema

Kategorija mosta	Računska shema
I	V600 + V300
II	V600
III	širina kolnika ≥ 6.0 m širina kolnika < 6.0 m
	V300 + V300 V300

Slika 34. Računska shema opterećenja V300

Glavni trak se opterećuje jednoliko raspodijeljenim opterećenjem p_1 ispred i iza tipskog vozila. Ostatak mosta se opterećuje jednoliko raspodijeljenim opterećenjem p_2 .



Tablica 3. Težina i širina nalijeganja tipskog voz

Vozilo	Ukupni teret (kN)	Teret pojedinog kotača (kN)	Širina nalijeganja kotača (m)	
			b1	b2
V600	600	100	0.60	0.20
V300	300	50	0.40	0.20

Slika 35. Tipsko vozilo V300

Tablica 4. Jednoliko raspodijeljeno opterećenje

Vozilo	Ukupna težina vozila (kN)	Zamjenjujuće jednoliko raspodijeljeno opterećenje p^* (kN)	Jednoliko raspodijeljeno opterećenje glavnog traka p_1 (kN/m ²)	Jednoliko raspodijeljeno opterećenje izvan glavnog traka p_2 (kN/m ²)
V600	600	33.3	5.00	3.00
V300	300	16.7	5.00	3.00

*) Opterećenje p je zamjenjujuće opterećenje za tipsko vozilo



Dinamički koeficijent za cestovne mostove izračunava se prema izrazu:

$$k_d = 1.4 - 0.008 \cdot L \geq 1,0 \quad (5)$$

Pa je dinamički koeficijent jednak:

$$k_d = 1.4 - 0.008 \cdot 30 = 1,16 \geq 1,0 \text{ gdje je } L=30 \text{ m}$$

$$p_1 = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.16 = 5.8 \text{ kN/m}^2$$

$$P = 50 \text{ kN} \cdot 1.16 = 58 \text{ kN}$$

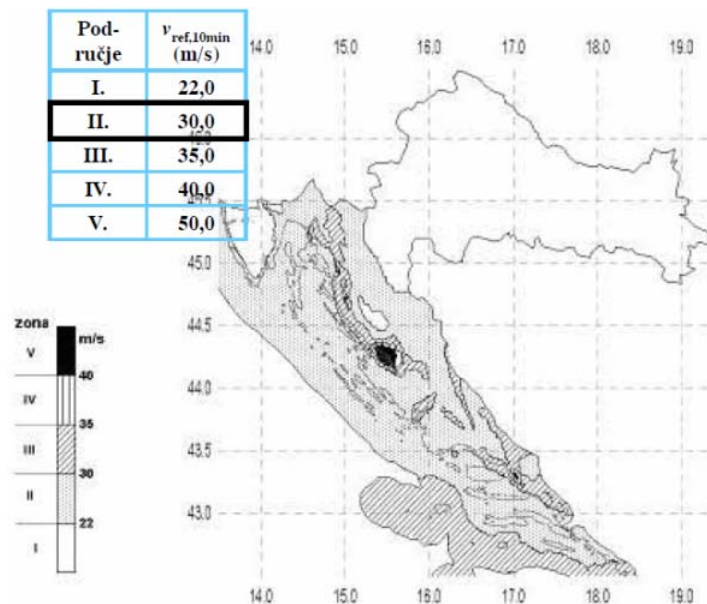
Jednoliko raspodijeljeno opterećenje glavnog traka p_1 iznosi 5.8 kN/m^2 , a sila pojedinog kotača P iznosi 58 kN .

2.4.1.4 Opterećenje na ogradu mosta

Prema PRAVILNIKU O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA ODREĐIVANJE VELIČINE OPTEREĆENJA MOSTOVA (JUS), član 41. određene su slijedeće vrijednosti: Veličina opterećenja na ogradu, kako je prikazano na slici.43, uzima se u horizontalnom smjeru $p_H=1 \text{ kN/m}$ i u vertikalnom smjeru $p_V=1 \text{ kN/m}$.

2.4.1.5 Opterećenje vjetrom

S obzirom na lokaciju (Gabela, BiH) proračun se radi za brzinu vjetra $v=30 \text{ m/s}$ (slika 36).



Slika 36. Brzina vjetra s obzirom na lokaciju i vjetrovnu zonu

Prema PRAVILNIKU O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA ODREĐIVANJE VELIČINE OPTEREĆENJA MOSTOVA (JUS), djelovanje vjetra je

$$q_w = w \cdot h_{eff} \quad (7)$$

pa slijedi da je djelovanje vjetra za:

- Opterećen most : $q_w = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.7\text{m} = 9.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- Neopterećen most : $q_w = 1.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.48\text{m} = 1.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$



2.4.1.6 Sile kočenja

Sila kočenja:

$$q_{\text{koč}} = \frac{1}{20} \cdot 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.0 OMNIA PLOČE NA REŠETKASTOM MOSTU I PRORAČUN POTREBNE ARMATURE OMNIA PLOČE

3.1 Armatura omnia ploče

- Tanke polumontažne armiranobetonske ploče širine 220 cm ,debljine 5-10 cm(10 cm) te dužine prema potrebi (5 m)
- Armatura: MA mreže;RA šipke po potrebi i obavezno R-nosači na određenom međusobnom razmaku (50 cm)
- R-nosači čine prostornu rešetku obrnutog slova V ;(šipke RA □12, □ 14) povezane su dijagonalama (□ 5)
- Zaštitni sloj betona donje zone 4,0 cm



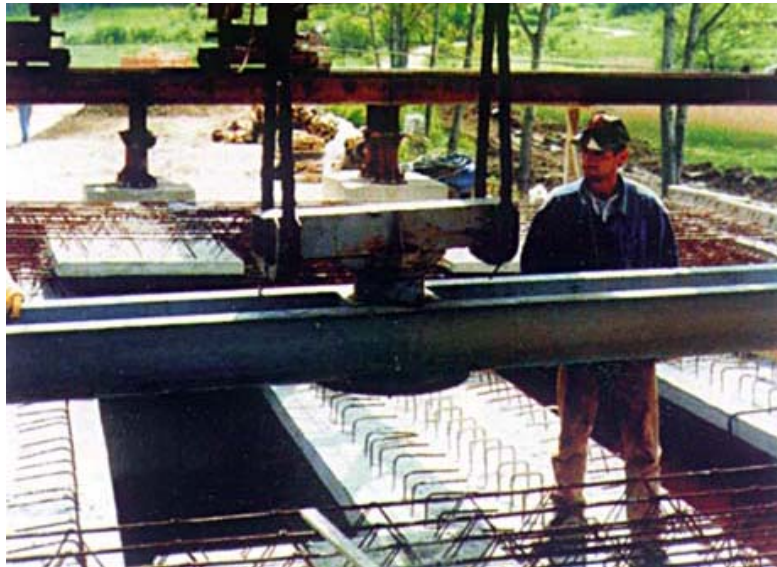
Slika 37. R-nosači



Slika 38. Ugrađena armatura

4.2 Izvedba omnia ploče

- Proizvodnja na omnia stazi
- Postavljanje glavne poprečne armature na stazi
- Postavljanje R-nosača
- Betoniranje parcijalno tanke ploče(10cm)
- Transport na gradilište i montaža pomoću lansirne skele
- Armiranje uzdužnom armaturom i ugradnja opreme
- Betoniranje sloja masivnog betona (10 cm)



Slika 39. Montaža omnia ploče

4.3 Statički proračun omnia ploče

Proračun *omnia* ploče radili smo prema *Pravilniku za beton i armirani beton PBAB'87* u dvije faze:

Faza 1.(faza montaže) : Rezultate potrebne armature smo dobili proračunom u programu *Tower 6*:

$$A_{1d} = 9.52 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{2d} = 0.52 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Faza 2. :Rezultate potrebne armature smo dobili proračunom u programu *Tower 6*:

$$A_{1d} = 9.99 \text{ cm}^2/\text{m} \quad A_{1g} = 2.27 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{2d} = 0.63 \text{ cm}^2/\text{m} \quad A_{2g} = 0.07 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Ukupna potrebna armatura :

$$A_{1d(\text{Ukupno})} = A_{1d(\text{Faza 1})} + A_{1d(\text{Faza 2})} = 9.52 \text{ cm}^2/\text{m} + 9.99 \text{ cm}^2/\text{m} = 19.51 \text{ cm}^2/\text{m}$$

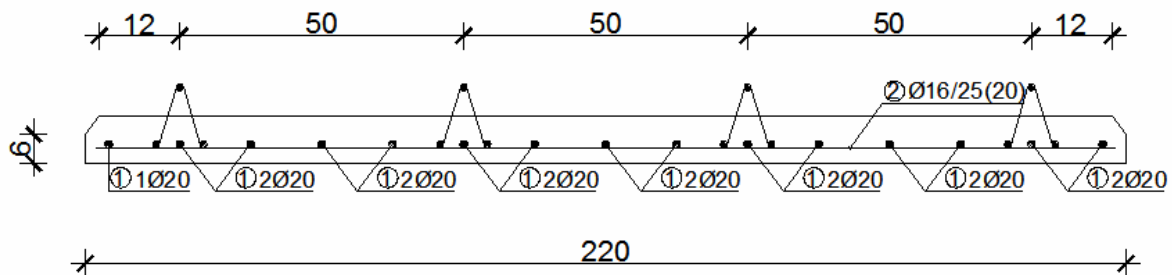
$$A_{1g(\text{Ukupno})} = A_{1g(\text{Faza 1})} + A_{1g(\text{Faza 2})} = 0 + 2.27 \text{ cm}^2/\text{m} = 2.27 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Usvojeno:

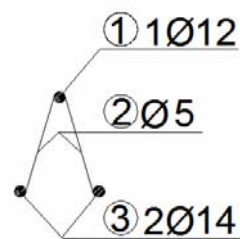
- **Donja zona:** □ 20/15 cm stv A_{1d} =20.93cm²/m
Razdjelna □ 16/25 cm stv A_{1d} =8.03cm²/m
- **Gornja zona:** Konstruktivna mreža R 257 stv A_{1g} =2.57cm²/m



OMNIA PLOČA



PRESJEK R-NOSAČA

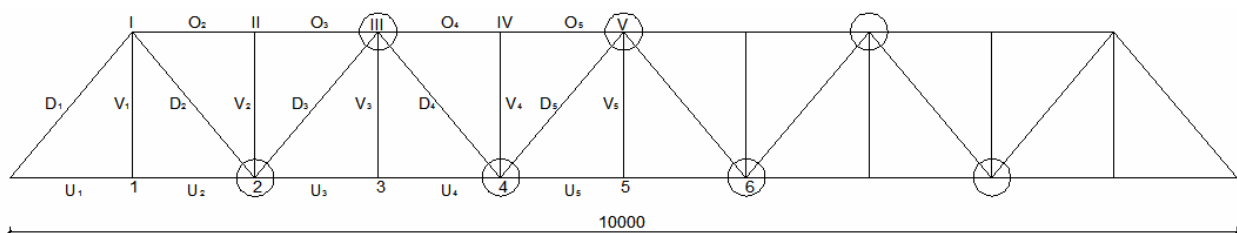


Slika 40. Usvojena armatura omnia ploče

5. PRORAČUN KARAKTERISTIČNIH VEZA I MONTAŽNIH NASTAVAKA REŠETKASTOG MOSTA

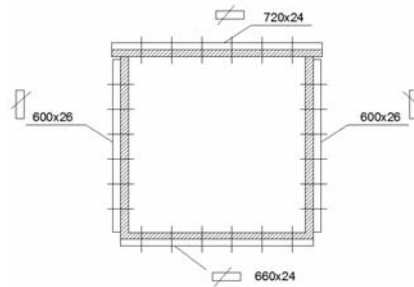
5.1 Proračun montažnog nastavka gornjeg i donjeg pojasa glavnog nosača na dužini L=100 m

Shema montažnih nastavaka pojasnih štapova prikazana je na slici 41. Montažni nastavci se izvode kod čvorova na strani štapa u kojem je manja sila, uz upotrebu visokovrijednih vijaka klase čvrstoće 10.9. sa punom silom pritezanja.



Slika 41. Shema montažnih nastavaka pojasnih čvorova

GORNJI POJAS

Štap O₃:Slika 42. Presjek montažnog nastavka štapa O₃

Površina podvezica :

$$A_p = 72 \cdot 2.4 + 2 \cdot 60 \cdot 2.6 + 66 \cdot 2.4 = 643.31 \text{ cm}^2$$

$$A_p = 643.31 \text{ cm}^2 \geq A_p = 641.84 \text{ cm}^2$$

Usvajaju se visokovrijedni vijci na rebrima i nožicama M30....10.9, nosivosti $N_{TS} = 161.6 \text{ kN}$ GORNJA NOŽICA: Površina presjeka gornje nožice : $A = 72 \cdot 2.2 = 158.4 \text{ cm}^2$

$$\text{Nosivost gornje nožice : } F_v = A \cdot \sigma_{dop} = 158.4 \cdot 24 = 3801.6 \text{ kN}$$

$$\text{Potreban broj vijaka } n = \frac{3801.6}{161.6} = 23.52$$

Usvojeno : 24 M30....10.9

DONJA NOŽICA:

Površina presjeka gornje nožice : $A = 66 \cdot 2.2 = 145.2 \text{ cm}^2$ Nosivost gornje nožice : $F_v = A \cdot \sigma_{dop} = 145.2 \cdot 24 = 3484.8 \text{ kN}$

$$\text{Potreban broj vijaka } n = \frac{3484.4}{161.6} = 21.55$$

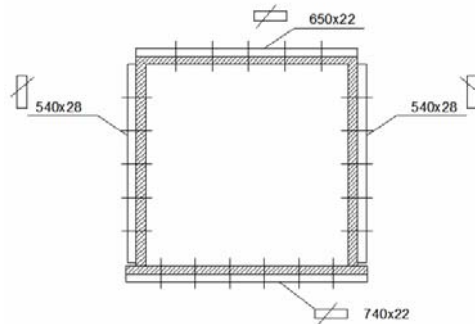
Usvojeno : 24 M30....10.9

REBRO:

Površina presjeka rebra : $A = 60 \cdot 2.8 = 168 \text{ cm}^2$ Nosivost rebra : $F_v = A \cdot \sigma_{dop} = 168 \cdot 24 = 4032 \text{ kN}$

$$\text{Potreban broj vijaka } n = \frac{4032}{161.6} = 24.95$$

Usvojeno : 2 x 26 M30....10.9**DONJI POJAS**Štap U₃: Površina poprečnog presjeka štapa U₃ je $A = 497.2 \text{ cm}^2$. Veza je urađena vijcima M30....10.9 čija je nosivost po jednoj površini trenja $N_{TS} = 161.6 \text{ kN}$.

Slika 43. Presjek montažnog nastavka štapa U_3

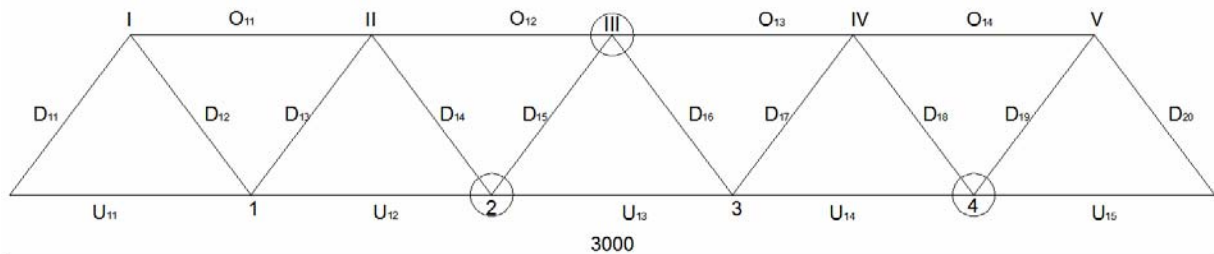
GORNJA NOŽICA (nastavak lamele 650x20): **Usvojeno : 20 M30....10.9**
Podvezica 650x22

DONJA NOŽICA (nastavak lamele 740x20) **Usvojeno : 24 M30....10.9**
Podvezica 740x22

REBRO (nastavak 548x2.6): **Usvojeno : 20 M30....10.9**
Podvezica 540x28

5.2 Proračun montažnog nastavka gornjeg i donjeg pojasa glavnog nosača na dužini $L=30$ m

Shema montažnih nastavaka pojasnih štapova prikazana je na slici 44. Montažni nastavci se izvode kod čvorova na strani štapa u kojem je manja sila, uz upotrebu visokovrijednih vijaka klase čvrstoće 10.9.

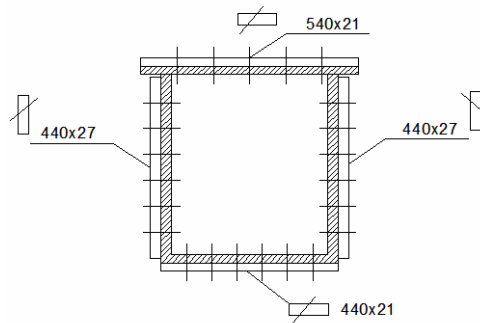


Slika 44. Shema montažnih nastavaka

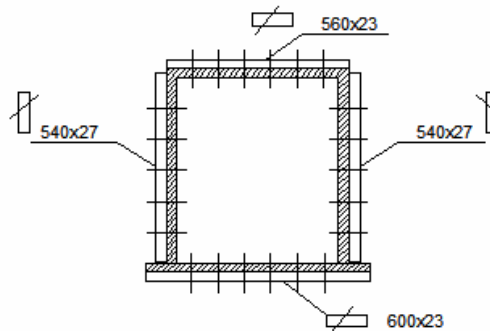
GORNJI POJAS

Štap O_{12} :

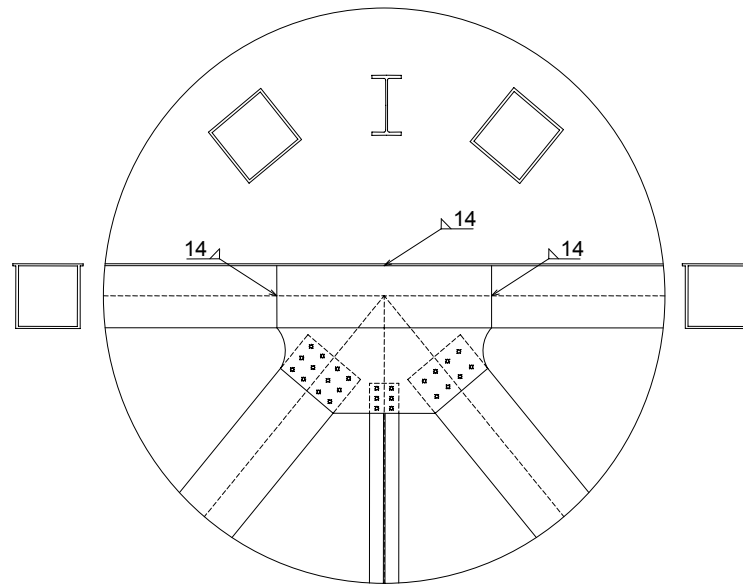
Montažni nastavak će se računati kao statički pokriven tj. prema površini presjeka. Površina poprečnog presjeka štapa O_{12} je $A = 428.9 \text{ cm}^2$.

Slika 45. Presjek montažnog nastavka štapa O₁₂GORNJA NOŽICA: **Usvojeno : 22 M27....10.9**DONJA NOŽICA: **Usvojeno : 24 M27....10.9**REBRO: **Usvojeno : 2 x 24 M27....10.9****DONJI POJAS****Štap U₁₂:**

Površina poprečnog presjeka štapa U₁₂ je $A = 519.04 \text{ cm}^2$. Veza je urađena vijcima M27....10.9 čija je nosivost po jednoj površini trenja $N_{TS} = 117.9 \text{ kN}$.

Slika 46. Presjek montažnog nastavka štapa U₁₂GORNJA NOŽICA(nastavak lamele 560x20): **Usvojeno : 24 M27....10.9**
Podvezica 560x23DONJA NOŽICA (nastavak lamele 600x20): **Usvojeno : 24 M27....10.9**
Podvezica 600x23REBRO(nastavak 552x2.4): **Usvojeno : 25 M27....10.9**
Podvezica 540x27**5.3 Proračun spoja štapova ispune i gornjeg pojasa rešetkastog nosača na dužini L=100 m**

Vežu između pojasnih štapova glavnog rešetkastog nosača i štapova ispune ostvarili smo pomoću odgovarajućih čvornih limova i visokovrijednih vijaka klase čvrstoće 10.9 na temelju sila koje smo dobili u programu TOWER 6. Detalj karakterističnog spoja je prikazan na slici 47.



Slika 47. Detalj pojasnih štapova glavnog rešetkastog nosača i štapova ispune - čvor III

5.3.1 Čvor III

Veza dijagonale D_{13} za čvorni lim

Dijagonala D_3 se za čvorni lim vezuje vijcima M24 kvaliteta 10.9 sa nosivošću na trenje $N_{TS}=90.7$ kN.

Usvojeno : 24 M24....10.9

Proračun napona u čvoru III

$$D_r = 2102.82 - 4 \cdot 0.4 \cdot 90.7 = 1957.7 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{br} = 676 \text{ cm}^2$$

$$A_{net} = 676 - 2 \cdot 4 \cdot 2.5 \cdot 2.6 = 624 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{D_r}{A_{net}} = \frac{1957.7}{624} = 3.13 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{dop} = 24 \text{ kN/cm}^2$$

Veza dijagonale D_4 za čvorni lim

Dijagonala D_4 se za čvorni lim vezuje vijcima M24 kvaliteta 10.9 sa nosivošću na trenje $N_{TS}=90.7$ kN.

Usvojeno : 16 M24....10.9

Veza vertikale V_3 za čvorni lim

Vertikala V_3 se za čvorni lim vezuje vijcima M24 kvaliteta 10.9 sa nosivošću na trenje $N_{TS}=90.7$ kN. Razlika između čiste širine pojasnih štapova (660 mm) i visine dijagonale (600 mm) potrebna je da bi se presjek lokalno ojačao na dijelu veze zbog slabljenja rupama za vijke. Vezu ćemo ostvariti vijcima M24 kvalitete 10.9 sa nosivošću na trenje $N_{TS}=90.7$ kN.

Usvojeno : 12 M24....10.9

Ojačanje nožice na mjestu veze za čvorni lim

$$\text{Sila koju prima bruto presjek jedne nožice: } F = \frac{30 \cdot 3}{270} \cdot 549.84 = 183.28 \text{ kN}$$

Sila u presjeku I-I nožice vertikale: $F_1 = F \cdot n \cdot 0.4 \cdot N_{TS}$ gdje je $n=3$ (prvi red vijaka u vezi)
 $F_1 = 183.28 \cdot 3 \cdot 0.4 \cdot 90.7 = 74.44 \text{ kN}$



iz uvjeta

$$A_{\text{net}} = (b - n \cdot d) \cdot t_{\text{ojač}} \geq \frac{F_1}{\sigma_{\text{dop}}}$$

slijedi

$$t_{\text{ojač}} \geq \frac{74.44}{(30 - 3 \cdot 2.5) \cdot 24} = 0.14 \text{ cm}$$

Usvaja se ojačana nožica vertikale 300 x 3cm

Veza čvornog lima za pojasne štapove

Pretpostavlja se debljina čvornog lima $t=22$ mm koji je zavaren kutnim varovima za pojasne štapove. Presječna sila na mjestu veze: $S_{mj}=S_1-S_2=5999.49-3949.32=2050.17$ kN

Iz konstrukcijskog oblikovanja čvornog lima proizlazi da je dužina podužnog vara jednaka $l_{w2}=220$ cm, a dužina poprečnog $l_{w1}=58$ cm što zadovoljava uvjet: $l_{w2} \geq 1.5 l_{w1}$ $220 \geq 87$

Pretpostavljamo debljinu vara $a=14$ mm što je manje od $0.7 t_{\text{min}}=15.4$ mm

Dopušteno naprezanje za kutne varove s obzirom na vrstu osnovnog materijala S355 iznosi:

$$\sigma_{w,\text{dop}}=17 \text{ kN/cm}^2$$

$$l_{w2'}=l_{w2}-2a=220-2 \cdot 1.4=217.2 \text{ cm}$$

$$V_{II,2} = \frac{S_{mj}}{l_{w2'} \cdot 2 \cdot a} = \frac{2050}{217.2 \cdot 2 \cdot 1.4} = 3.37 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$n_1=0$ pa slijedi

$$\sigma_u = V_{II,2} \leq \sigma_{w,\text{dop}}$$

$$\sigma_u = 3.37 \text{ kN/cm}^2 \leq 17 \text{ kN/cm}^2$$

Usvajaju se podužni kutni var 14x2200 i poprečni kutni var 14x580.



Slika 48. Simulacija 1



Slika 49. Simulacija 2



Slika 50. Simulacija 3



LITERATURA

1. D.Horvatić, Z.Šavor (1998.): Metalni mostovi, Građevinska knjiga, Zagreb
2. Buđevac Dragan, Stipanić Bratislav (1986.): Praktikum iz čeličnih mostova, Građevinska knjiga, Beograd
3. D. Buđevac, Z. Marković, D. Bogavac, D.Tošić (1999.): Metalne konstrukcije, Građevinski fakultet, Beograd
4. Harapin Alen (2007.): Mostovi, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split
5. Androić Boris (2006): Čelični i spregnuti mostovi, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
6. Korlaet Željko (1995.): Uvod u projektiranje i građenje cesta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
7. Pravilnik o tehničkim normativima za određivanje veličine opterećenja mostova, JUS 1991, Beograd
8. B.Zarić, D.Buđevac, B.Stipanić: Čelične konstrukcije u građevinarstvu -2. Propisi i profili