



METALNI PJEŠA KI MOST BULEVAR – DIONICA 1

prof.dr.sc. **Vlaho Akmadži**, dipl.ing.gra .
Gra evinski fakultet Sveu ilišta u Mostaru
Petar Pavi i, prvostupnik inženjer gra evine

Sažetak: U ovom radu je ukratko prikazano projektno rješenje pješa ko-biciklisti kog mosta, na promatranoj poddionici 1, duž trase ceste Bulevar. Ova specifi na lokacija je odabrana zbog nemogu nosti prolaza pješaka jednim dijelom dionice te zbog bolje povezanosti centra Mostara s industrijskom zonom. Kao inspiracija za ovaj projekt poslužio je pješa ko-biciklisti ki most u gradu Pescari u Italiji („Ponte del Mare”). Pri izradi projekta bilo je potrebno obratiti pozornost na po etne parametre mosta (odre ivanje položaja mosta, trase mosta, vrste mosta, rasponskog sklopa) te djelovanja na mostu (optere enja te na in djelovanja optere enja). Izvorno rješenje bilo je projektiranje ovješnog mosta s pilonom i zategama, gdje se kolovozne trake razdvajaju duž cijelog mosta. Zbog odabira simetri nog rasporeda zatega oko pilona, dio trase ostaje neiskorišten. S obzirom da je neiskorišteni dio u pravcu, odabrano je idealno rješenje: kombinacija ravninskog i ovješnog mosta. Prora un i dimenzioniranje su, radi specifi nosti pojedinog dijela mosta, napravljeni zasebno.

Ključne riječi: diplomski rad, metalni pješa ki most, ovješni most sa zategama.

PEDESTRIAN STEEL BRIDGE BULEVAR – SECTION 1

Abstract: The paper briefly presents a project solution for the pedestrian-cycling bridge, on the observed subsection 1, along the road line Bulevar. The impossibility of pedestrians to use one side of the section and a better connection between the center and the industrial area of Mostar, were the main reasons why this specific location was selected. The inspiration for this project was the pedestrian-cycling bridge in the city of Pescara in Italy („Ponte del Mare”). Before the very beginning of the project, it was necessary to pay attention to certain bridge settings (the position and the type of the bridge and the superstructure assembly) and on the actions on the bridge (bridge loads and their effect). The original design was a cable stayed bridge with pylon and anchoring ties, with the lanes separating along the entire bridge. With the choice of a symmetric schedule of cables around the pylon, a part of the route remains unused. Since the unused part is in the straight line, the ideal solution was the combination of a continuous (in straight line) and a cable stayed bridge. Calculation and sizing are, due to the specifics of an individual part of the bridge, made separately.

Key words: graduation thesis, pedestrian steel bridge, cable stayed bridge.



1. UVOD

Projekt izgradnje pješa ko-biciklisti kog mosta se planira na dionici trase ceste Bulevar (Franjeva ka crkva u Mostaru-most Hasana Brki a). Dionica se dijeli na etiri poddionice, a razmatrana je poddionica 1. Ova specifi na lokacija je odabrana zbog dva razloga: nemogu nost prolaza pješaka jednim dijelom dionice (osiguravanje prijelaza pješaka i biciklista) te bolja povezanost centra Mostara s industrijskom zonom.

Pri projektiranju je bilo potrebno izdignuti most iznad trase ceste Bulevar, kako bi se osigurao nesmetan protok prometa. Tako er je bilo potrebno osigurati prostor za odvodnju oborinskih voda zbog mogu nosti plavljenja Radobolje, uslijed velikih kiša u starom dijelu Mostara.

Slika 1 prikazuje orthophoto dionice 1. Na slici se vidi položaj dionice trase ceste Bulevar, koji uklju uje etiri poddionice. Svaka od etiri poddionice je razmatrana s razli itim tipom konstrukcijskog sustava i odabranim popre nim presjekom.



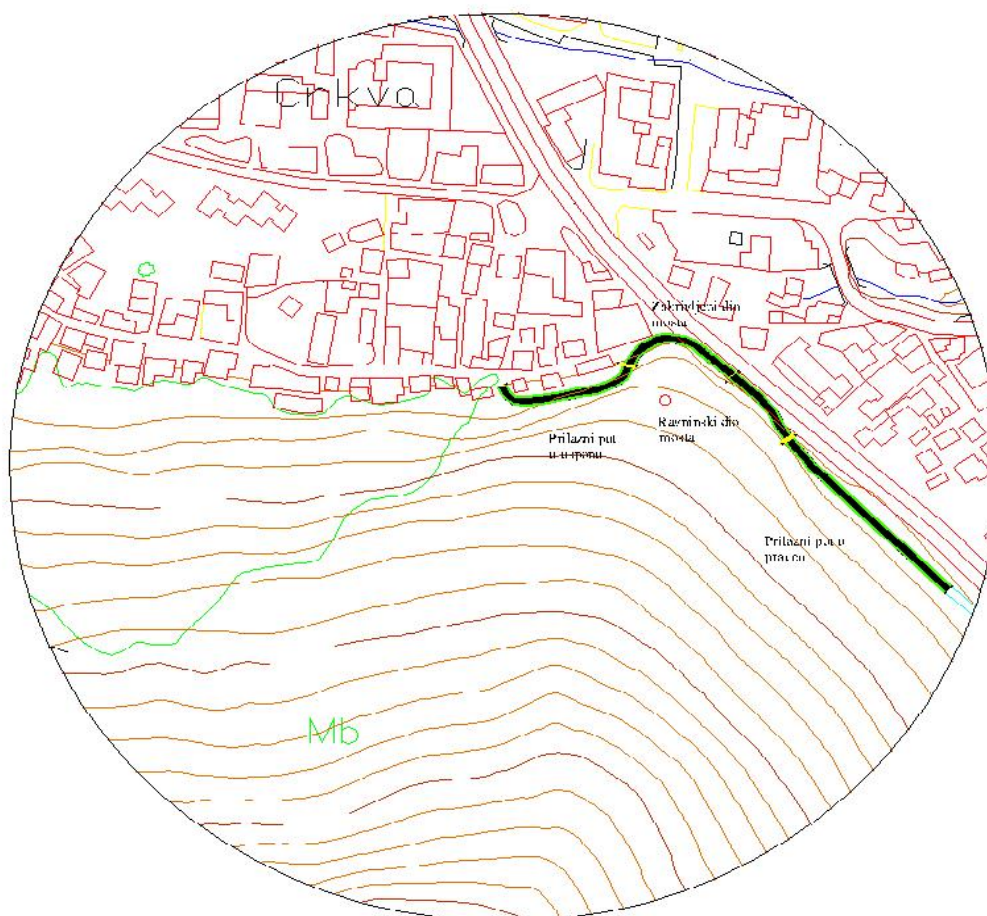
Slika 1. Orthophoto dionice ceste Bulevar

Uz prethodno navedene zahtjeve i uvažavanje prirodnih obilježja lokacije, odabran je ovješeni most s pilonom i zategama. Odabirom simetri nog rasporeda zatega oko pilona, dio trase dionice mosta na poddionici 1 ostaje neiskorišten. S obzirom da je neiskorišteni dio trase u pravcu, odabrano je idealno rješenje za most na poddionici 1; kombinacija ravninskog i zakrivljenog (ovješnog) mosta.

Cesta duž trase (Bulevar) se nalazi na 65 m nadmorske visine. Planira se asfaltirati prilazni put uz Hum, uspona od 4 % (pješa ke rampe) s ravnim dijelovima za odmor pješaka i biciklista (širine 5 m). Po etak prilaznog puta se nalazi na 67 m nadmorske visine. Prilazni put se uspinje do po etka zakrivljenog dijela mosta te je njegova dužina cca 160 m. Na kraju ravninskog dijela, tako er, se planira asfaltirati dio puta do poddionice 2. Taj dio puta je u pravcu te u obzir dolazi izgradnja mogu e šetnice.



Slika 2 prikazuje tlocrtnu situaciju terena poddionice 1. Označen je planirani položaj mosta te planirani prilazni put (asfaltirani, uspon od 4 %) kao i put kojim se poddionica 1 spaja s poddionicom 2.



Slika 2. Tlocrt situacije poddionice 1 – položaj mosta

Inspiracija za ovaj projekt je bio pješa ko-biciklisti ki most u gradu Pescari u Italiji („Ponte del Mare“). Most u Pescari služi kao poveznica sjevernog i južnog dijela grada, što je ujedno bila i glavna ideja ovog projekta. Most je ovješeni s pilonom i zategama, dužine 466 m i visine 50 m. Izgrađen je 2009 god., a troškovi izgradnje mosta su iznosili oko 7 milijuna eura.



Slika 3 prikazuje most u Pescari u Italiji („Ponte del Mare”). Na mostu se nalaze dvije trake (pješa ka 3.1 m i biciklisti ka 4.1 m). Trake su tlocrtno i visinski razdvojene.

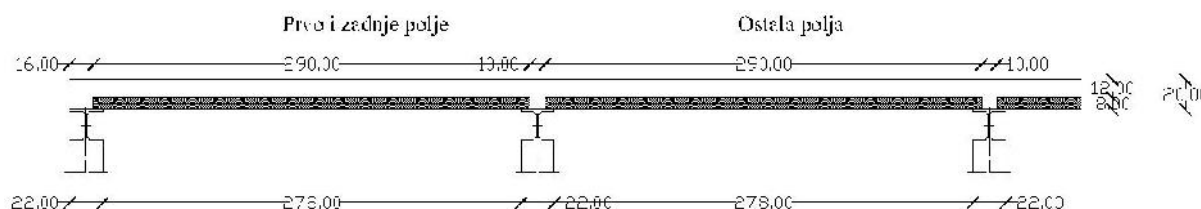


Slika 3. Ponte del Mare

2. RAVNINSKI DIO MOSTA

Dužina ravninskog segmenta je 48.0 m, a širina u poprečnom smjeru 5 m (pješa ki dio 2 m, biciklisti ki dio 3 m). Ukupna visina mosta (visina stupa, visina metalnog segmenta, debljina ploče) bez ograde iznosi 7.7 m, odnosno 8.8 m s ogradom. Za kolni ku ploču odabran je polumontažni sustav OMNIA ploča, spregnut s konstrukcijom mosta preko IPE profila. Debljina kolni ke ploče je dobivena proračunom te iznosi 20 cm.

Slika 4 prikazuje podužni presjek OMNIA ploče, gdje se vidi položaj OMNIA ploče na IPE profilima.

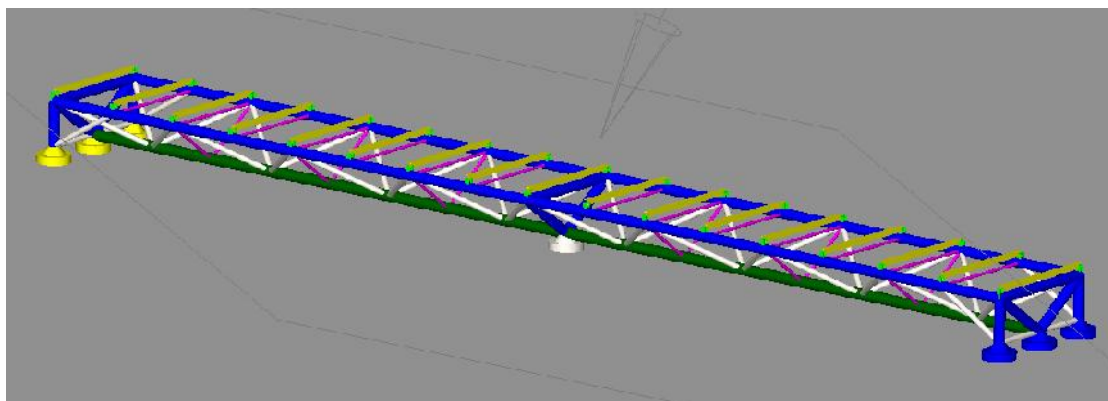


Slika 4. Podužni presjek OMNIA ploče



Usvojen je sustav kontinuiranog nosa a preko dva polja, zbog zadovoljena progiba $l/700$. Prijenos optere enja je odabran sistemom prostorne rešetke. Prostorna rešetka se sastoji od cjevastih šupljih profila, I profila te spregova. Veze pojedinih konstruktivnih elemenata ispune, ostvarene su kutnim varovima.

Slika 5 prikazuje izometriju prostorne rešetke metalnog segmenta mosta, definiranu programskim paketom Tower 6.

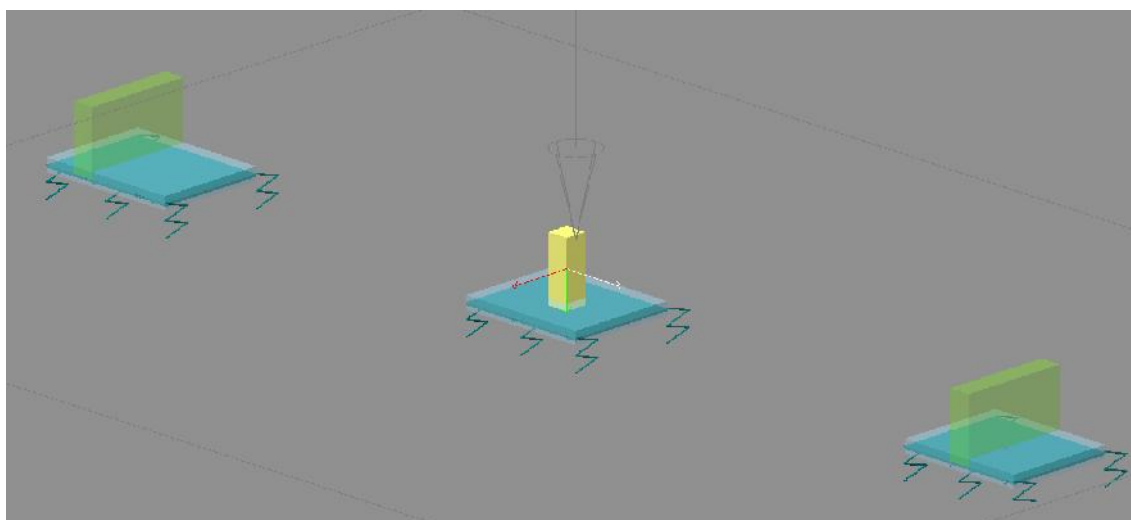


Slika 5. Prostorna rešetka – model 1

Optere enje (vlastita težina, korisno optere enje, optere enje vjetrom, optere enje snijegom, temperaturni utjecaji) se prenosi preko metalnog segmenta na upornjake mosta, koji se nalaze na osnovnom razmaku od 48.0 m. Sporedni (srednji) stup je postavljen na 24.0 m, s ciljem sprjeavanja vertikalnih pomaka konstrukcije. Stupovi su punog kvadratnog presjeka, dimenzija 1.0x1.0 m. Usvojen je klasi an tip upornjaka, ije su dimenzije definirane prora unom upornjaka.

Model je definiran u programskom paketu Tower 6, s prethodno navedenim karakteristikama. Model je analiziran na na in da se prvo nanijelo optere enje na metalni dio, koji je oslonjen na ležajeve te se zatim prenijelo optere enje na betonski dio. Na taj na in je definiran prora un te su dimenzionirana oba segmenta ravninskog modela.

Slika 6 prikazuje betonski dio mosta (upornjake i stup mosta), definiran programskim paketom Tower 6.



Slika 6. Betonski dio mosta – model 1



Geološki podaci o tlu nisu poznati jer nisu izvršena potrebna geološka i geomehani ka ispitivanja tla, pa su isti pretpostavljeni u prora unu. Temeljenje upornjaka je izvršeno na plitkim temeljima samcima dimenzija 6.5x5.0x1.0 m, dok je temeljenje srednjeg stupa izvršeno na plitkim temeljima dimenzija 6.0x5.0x1.0 m. Nakon provedenih geoloških i geomehani kih ispitivanja, potrebno je provjeriti, da li usvojeni na in temeljenja zadovoljava izra unatu nosivost tla ispod temelja za dobivene karakteristike tla.

Zaštita hidroizolacijom proizvo a a Neshvyl je izvršena na kolni koj plo i, ime je osigurana vodonepropusnost. Po evši od betonske plo e, slijede slojevi: bitumenski prajmer (bitumenski premaz za hladan postupak ugradnje, kao prethodni premaz prije ugradnje hidroizolacije), hidroizolacija (izvodi se jednoslojno na prethodnom prajmer premazu površine, varenjem za podlogu, ugra uje se bitumenska folija debljine 5 mm, koja je namjenski proizvedena za upotrebu na mostovima i zadovoljava uvjete kvalitete) te kanal za dreniranje kolovoznog zastora (izvodi se mješavinom Deckproof Epoxy ES i opranog kamenog agregata granulacije 8-11 mm, izlivanjem na površinu ugra ene hidroizolacije). Na hidroizolaciju je položena završna obloga u obliku Colorsint obloge.

Predvi ena rasvjeta e biti realizirana u obliku LED-svjetala (eng. LED – Light Emiting Diode) cijelom dužinom mosta. Planira se ugradnja led svjetala po hodnoj plohi te u oba rukohvata.

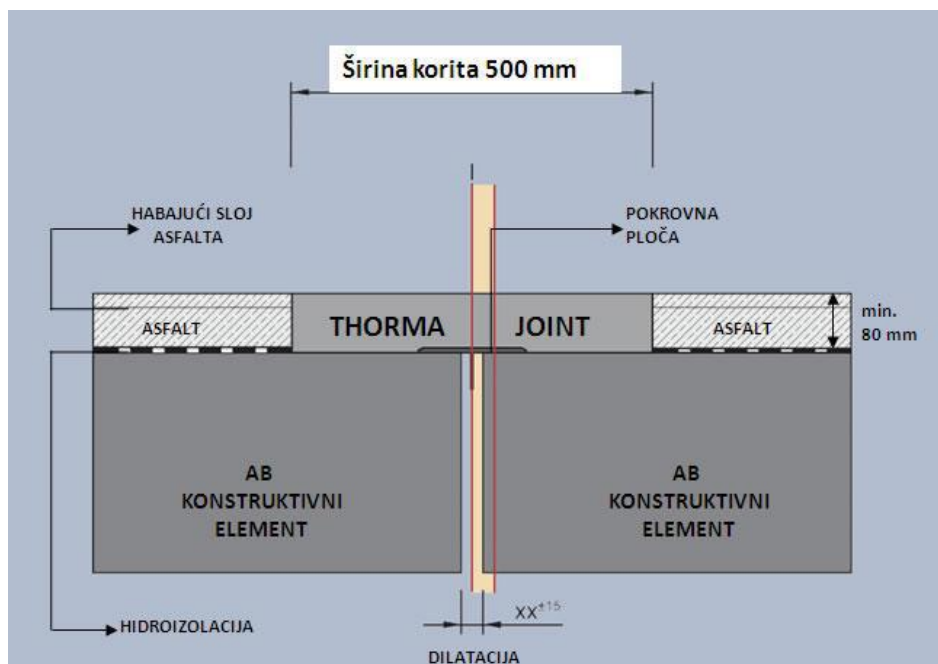
U opremu mosta možemo ubrojiti ogradu mosta, prijelazne naprave i ležajeve. Ograda je izra ena od eli nih HOP profila, premazana antikorozivnom zaštitom i u boji (po izboru investitora). Ograda je dilatirana na svakih 6 m, a visina ograde je 1.1 m. Spajanje ograde s pješa kom stazom se izvodi vijcima. Za prijelazne naprave usvojen je sustav Thorma joint, u odnosu na ukupni pomak konstrukcije od 25.52 mm. Dok su za ležajeve usvojeni armirani elastomerni sidreni ležajevi marke Poliol, tip 1, na lijevom upornjaku se nalaze nepomi ni ležajevi. Na srednjem stupu se nalaze ležajevi pomi ni u svim smjerovima, dok je na desnom upornjaku ležaj pomi an u jednom smjeru.

Slika 7 prikazuje Poliol elastomerne ležajeve koji omogu uju prijenos optere enja s konstrukcije na potpore (stupove i upornjake). Pri tome ležajevi omogu uju pomake i zakretanja sklopa, kako bi se ostvarila raspodjela naprezanja, deformacija i pomaka, predvi ena stati kim prora unom.



Slika 7. Poliol elastomerni ležajevi

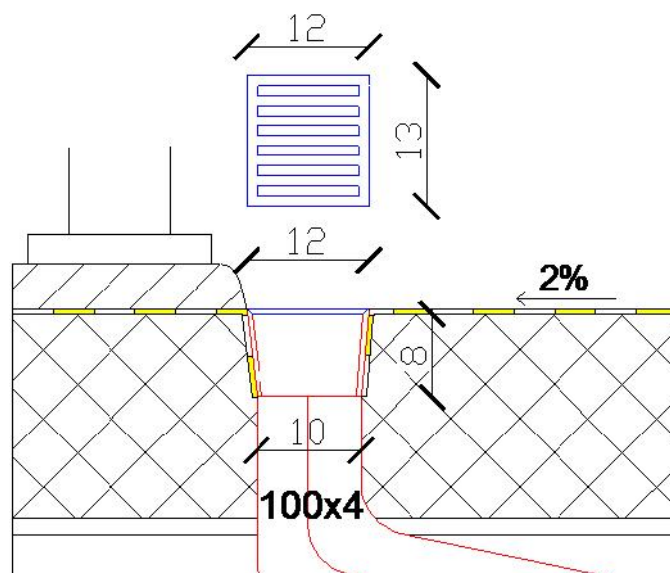
Slika 8 prikazuje Thorma joint prijelazne naprave, koje dopuštaju pomake AB konstrukcije do ± 35 mm, uz osiguranje vodonepropusnosti i trajnosti.



Slika 8. THORMA® JOINT

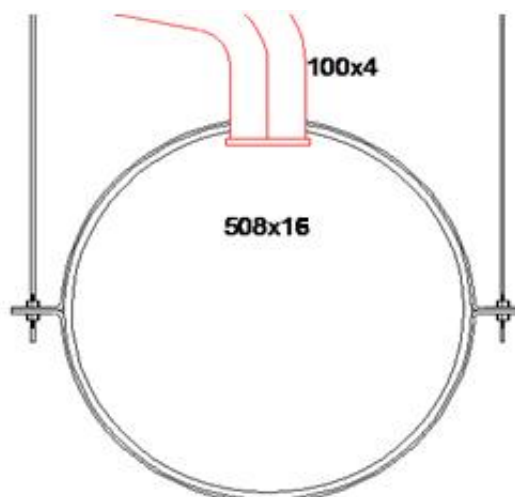
Na mostu se nalazi zatvoreni sustav odvodnje, gdje su na svakih 16 m postavljeni rešetkasti slivnici. Pad u uzdužnom smjeru iznosi od 0,2 % ,dok je u popre nom smjeru pad od 2 % , što omogu uje otjecanje vode do slivnika. Voda se putem cijevi 100 mm vodi do cijevi za provod (protjecanje) fekalnih voda, koja se dalje vodi cijelom dužinom mosta u obliku cijevi 508x16 mm. Uloga cijevi 508x16 mm je da služi kako bi se povezale neke gradske etvrti s kolektorom otpadnih voda. Na taj na in se omogu ava bolja odvodnja.

Na slici 9 prikazan je detalj odvodnje kroz AB plo u.



Slika 9. Na in odvodnje kroz AB plo u

Slika 10 prikazuje ulazak odvodne cijevi u cijev za odvod fekalnih voda.

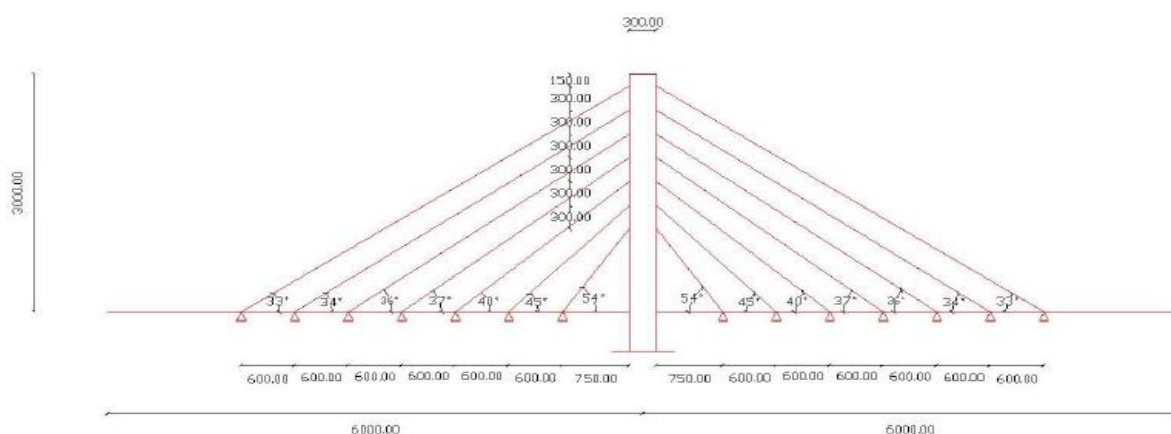


Slika 10. Detalj spoja odvodne cijevi i cijevi za odvod fekalnih voda

3. ZAKRIVLJENI DIO MOSTA

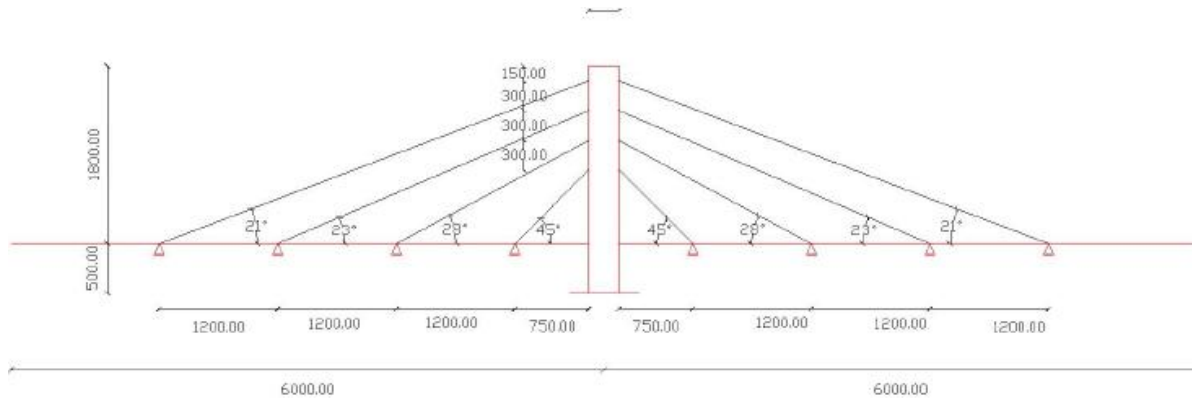
Zakrivljeni dio mosta, duž trase ceste (Bulevar) promatrane poddionice 1, je u prvoj varijanti bio ovješeni most sa simetričnim raspoređivanjem zategama (64 zatege) te pilonom (visine 30 m) u sredini. Metalni dio mosta je planiran u obliku cilindra (kružni rešetkasti profili). Zbog predimenzioniranosti modela u varijanti 1 (previše zatega i nepotrebno visok pylon), nakon provedene analize i proračuna pojedinih elemenata, usvojena je varijanta 2. Proračunom zatega usvojena je manja visina pilona od 18 m i 32 zatege. Zbog jednostavnosti izvedbe te olakšanog nastavljanja mosta sa zakrivljenog na ravninski dio, metalni dio oba segmenta je simetričan.

Slika 11 prikazuje zakrivljeni dio mosta u pogledu (varijanta 1). Prikazan je razmak između zatega na pilonu (3 m) te razmak između zatega na metalnom segmentu (6 m).



Slika 11. Zakrivljeni dio u pogledu – varijanta 1

Slika 12 prikazuje zakrivljeni dio mosta u pogledu (varijanta 2). Prikazan razmak između zatega na pilonu (3 m) te razmak između zatega na metalnom segmentu (12 m).



Slika 12. Zakrivljeni dio u pogledu – varijanta 2

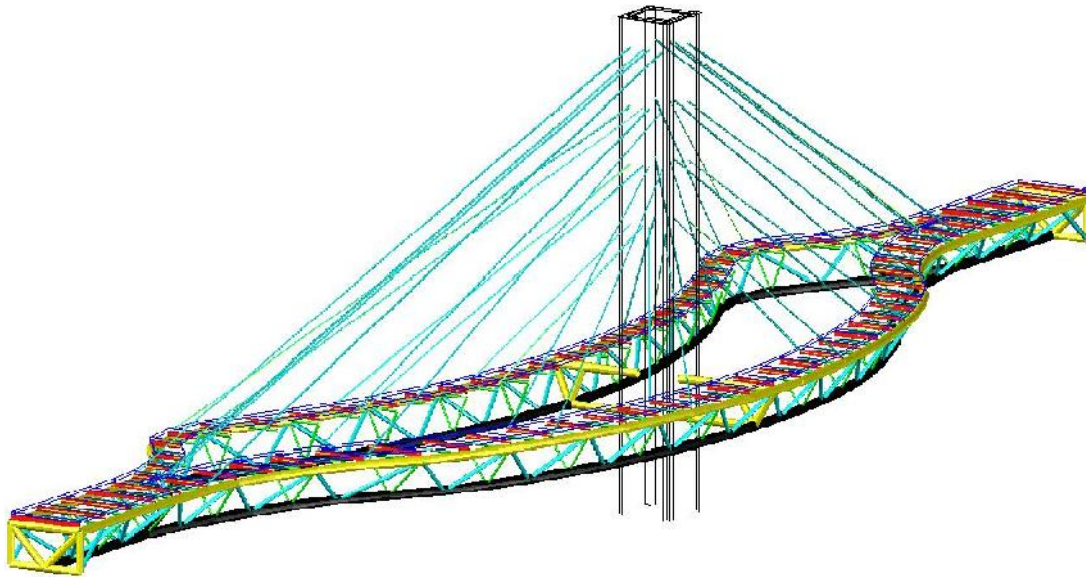
Usvojen je ovješeni sustav mosta sa zategama, gdje je za prijenos optere enja odabran kombinirani sustav pilona sa zategama te metalnom rešetkom, koja se oslanja na upornjake. Korišteni su hladnooblikovani šuplji profili okruglog presjeka razli itih dimenzija, klase vrsto e S355. Dužina zakrivljenog segmenta je 120 m, a širina u popre nom smjeru 5 m (pješa ki dio 2 m, biciklisti ki dio 3 m). Ukupna visina mosta, osiguravaju i dostatan prostor za nesmetani protok prometa Bulevarom od 5 m, iznosi 7.7 m, odnosno s ogradom mosta 8.8 m. Za kolni ku plo u je odabran polumontažni sustav tlocrtno zakrivljenih OMNIA plo a debljine 20 cm.

Usvojen je simetri an most s pilonom u sredini te je odabran šuplji popre ni presjek pilona potrebnih dimenzija, za usidrenje zatega mosta. Visina pilona je 18 m, ime je zadovoljen minimalni uvjet $h/L = 0.3$. Pilon se nalazi na polovini osnog raspona, odnosno na 60 m. Odabran je na in postavljanja zatega u obliku pseudolepeze, zbog kontinuiranog rasprostiranja zatega po gornjem dijelu pilona. Time je olakšano sidrenje zatega. Ovaj raspored je ekonomi ki najpovoljniji. Me urazmaci izme u zatega su 12 m. Preliminarnim prora unom dobivena je površina zatega od 90 mm te je zbog dovoljnih dimenzija betonskog pilona odabrano rješenje sidrenja zatega na pilon. Vla ne sile u stjenkama pilona (od djelovanja zatega) se preuzimaju kratkim kablovima u stjenkama.

Izvršena je antikorozivna zaštita eli ne konstrukcije i ograde u obliku dva osnovna premaza na bazi olovnog-miniija te završnog premaza u boji (po želji investitora).

Upornjaci mosta se nalaze na osnom razmaku od 120 m. Usvojen je klasi an tip upornjaka definiran prora unom te je korištena marka betona MB 30 (C25/30).

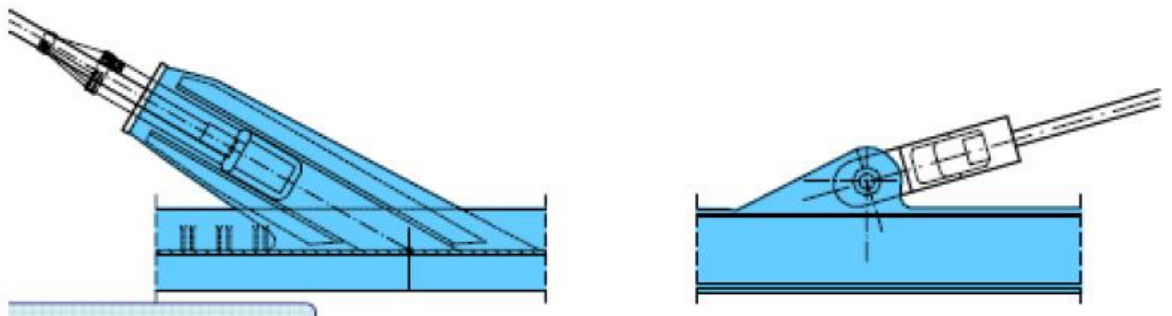
Slika 13 prikazuje zakrivljeni dio mosta, s prethodno navedenim karakteristikama, definiram u programskom paketu Tower6.



Slika 13. Zakrivljeni dio mosta – model 2

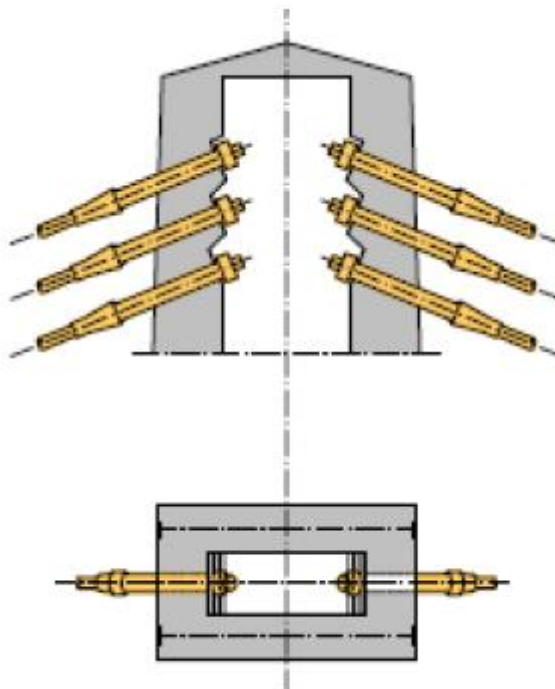
Geološki podaci o tlu nisu poznati jer nisu izvršena potrebna geološka i geomehani ka ispitivanja tla, pa su isti pretpostavljeni u prora unu. Temeljenje upornjaka je izvršeno na plitkim temeljima samcima dimenzija 6.5x5.0x1.0 m. Betonski pilon zakrivljenog dijela mosta nije detaljnije elaboriran.

Slika 14 prikazuje detalj sidrenja zatega na eliku gredu.



Slika 14. Sidrenje zatega na eliku gredu

Slika 15 prikazuje detalj sidrenja zatega na pilonu (šupljeg popre nog presjeka).



Slika 15. Sidrenje zatega na pilonu

4. KONSTRUKCIJSKI MATERIJALI

Prilikom projektiranja, izrade proračuna te dimenzioniranja, korišteni su važeći i BiH propisi: Smjernice za projektiranje, građenje, održavanje i nadzor na putevima; Pravilnik za beton i armirani beton (PBAB87); Pravilnik za metalne konstrukcije (Dopušteni naponi); JUS propisi; DIN propisi. Za izgradnju betonskog dijela građevine koristi se beton razreda tlačnog vrstne MB 30 (C 25/30). Kao armatura koristi se betonski čelik B 500 (tip B, prema TPBK) za sve elemente, u obliku šipki ili mreža. Zaštitni slojevi betona do armature iznose 2.0 - 5.0 cm. Za čelični dio konstrukcije koriste se profili različitih dimenzija, klase vrstne S355 te se za zatege na ovješnom dijelu mosta koristi čelik kvalitete 1660/1860.

5. ZAKLJUČAK

Rekapitulacija materijala je napravljena uzimajući količine materijala (kg) za pojedine elemente, te je izračunata okvirna cijena pojedinih segmenata, a sve prema standardnoj kalkulaciji. Dakle, troškovnik uključuje samo troškove grubih građevinskih radova. Rekapitulacijom materijala za ravninski dio mosta dobivena je ukupna težina čelika od 55 200,24 kg. Ukupna cijena konstrukcije ravninskog segmenta iznosi 165 600,72 KM.

Rekapitulacijom materijala za zakrivljeni dio mosta dobivena je ukupna težina čelika od 192 343,33 kg. Ukupna cijena konstrukcije zakrivljenog segmenta iznosi 577 029,99 KM.

Troškovnikom ravninskog dijela mosta definirana je cijena za betonski dio (upornjak, temelji upornjaka, stup, temelj stupa i kolnička ploča) u iznosu od 49 500 KM, cijena za



zemljane radove (iskop temelja) u iznosu od 1.840 KM, te cijena elika (profili i armatura) u iznosu od 171 549,88 KM.

Ukupna cijena ravninskog segmenta iznosi 221 889,88 KM.

Troškovnik zakrivljenog dijela mosta nije definiran (zbog betonskog pilona i razloga što nije razra en na nivou glavnog projekta). Usporedbom dobivenih cijena iz rekapitulacije materijala konstrukcije, vidljivo je da je cijena zakrivljenog segmenta tri puta ve a od ravninskog.

Dakle, približno definiran troškovnik zakrivljenog segmenta bio bi minimalno tri puta ve i od ravninskog, odnosno iznosa 665 669,64 KM.

S prethodno definiranim cijenama odre uje se ukupna cijena investicije, koja bi bila u iznosu od 887 559,52 KM, odnosno cca 900 000 KM.

LITERATURA

1. *Androi , auševi , Dujmovi , Džeba, Markulak, Peroš*; eli ni i spregnuti mostovi; Zagreb, 2006. god.
2. *Bu evac, Stipani* ; eli ni mostovi; Beograd, 1989. god.
3. *Bu evac, Stipani* ; Praktikum iz eli nih mostova; Beograd, 1986. god.
4. *Koržinek, Tešovi* ; Primjena omnia plo a u mostogradnji; Gra evinar, 2002. god.
5. *Direkcija cesta Federacije BiH, Putevi Republike Srpske*; Smjernice za projektovanje, gra enje, održavanje i nadzor na putevima; Sarajevo/ Banja Luka, 2005. god.
6. Katalog proizvo a a ležajeva Polirol
7. Katalog proizvo a a prijelaznih naprava Thorma joint
8. Katalog proizvo a a hidroizolacijskih sustava Neshvyl
9. *Zovki* ; Metalne konstrukcije I, Vježbe - Montažni nastavci.
10. *Bu evac, Stipani , Zari* ; eli ne konstrukcije u gra evinarstvu; Beograd, 1986. god.
11. *Zlatar, Hasanovi* ; Betonske konstrukcije I i II; Sarajevo, 1997. god.
12. ECCE; Footbridges; Slovenia, 2014 god.
13. *Pržulj Milenko*; Spregnute konstrukcije; Sarajevo, 1989 god.
14. *Androi , Dujmovi , Piškovi* ; Primjena hladno oblikovanih šupljih eli nih profila; Gra evinar, 2014
15. www.grad.hr/mostovi; Ovješeni mostovi; predavanja iz kolegija Mostovi - "Masivni mostovi".
16. *Radi , Kindij, Mandi* ; Prora un i oblikovanje ovješeni mostova na primjeru mosta Jarun; Gra evinar, 2009 god.
17. *Gliši Mladen*; Fundiranje arhitektonskih objekata; *Beograd, 2004 god.*
18. Katalog proizvo a a Colorsint obloge
19. Katalog proizvo a a LED svjetala OSRAM