

**PROCENA STANJA I SANACIJA ARMIRANOBETONSKOG MOSTA PREKO REKE LIM U PRIJEPOLJU****ASSESSMENT AND REPAIR OF RC BRIDGE OVER RIVER LIM IN PRIJEPOLJE**

Edina Čičić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu izvršena je procena stanja starog armiranobetonskog mosta u Prijepolju i dati su prelozi za sanaciju sa tehnikama izvođenja.

**Ključne reči:** sanacija mosta, pešački most, procena stanja betonskih konstrukcija

**Abstract** – Main task in this paper is rehabilitation of an old reinforced concrete bridge located in Prijepolje with overview of current condition state of it and with measures for its rehabilitation.

**Keywords:** bridge rehabilitation, footbridge

**1. PEŠAČKI MOSTOVI – TEORIJSKO ISTRAŽIVAČKI DEO**

Pešački mostovi predstavljaju mostove koji su projektovani za pešake i bicikliste.

Prvi izgrađeni mostovi u istoriji bili su pešački i napravljeni od drveta. Stari Rimljani su prvi počeli da grade mostove od kamena, još u drugom veku pre nove ere. Jedan od takvih mostova je Fabricijev most (*Ponte Fabricio*), izgrađen 62. godine p.n.e. preko reke Tibet. Njegov današnji izgled može se videti na slici 1.



Slika 1. *Fabricijev most u Rimu*

Pešački mostovi se danas grade od različitih materijala poput drveta, kamena, betona, čelika ili pak kombinovanjem nabrojanih materijala. U zavisnosti od statičkog sistema, pešački mostovi se mogu podeliti u sledeće grupe:

- viseći mostovi;
- lučni mostovi;
- mostovi sistema proste/kontinualne grede.

Jedan od najpoznatijih pešačkih mostova u Srbiji je most sv. Irineja koji se nalazi u Sremskoj Mitrovici, prikazan na slici 2.

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mirjana Malešev, red.prof.**



Slika 2. *Most Svetog Irineja u Sremskoj Mitrovici*

Most sv. Irineja je pešački most preko reke Save između dve Mitrovice, Sremske i Mačvanske.

Sa dužinom od 262,5m najduži je viseći pešački most u Evropi i najduži pešački most u Srbiji.

Most se nalazi tačno na mestu nekadašnjeg starorimskog Artemidinog mosta, tada jedne od najvećih građevina antičkog Sirmijuma. Na njemu su, u vreme progona hrišćana, vršena pogubljenja "sirmijumskih svetih mučenika". Po jednom od njih, Sv. Irineju, most je dobio ime.

**2. UVOD – STRUČNI DEO**

Trajnost betonskih konstrukcija predstavlja njihovu sposobnost da, tokom eksploatacije zadrže projektovanu nosivost i upotrebljivost, kao i odgovarajući izgled bez povećanih troškova održavanja. Ipak, tokom vremena, kao posledica svojstava koje sadrži sama konstrukcija, vrste i intenziteta opterećenja i kao rezultat niza očekivanih i stohastičkih pojava, trajnost betonskih konstrukcija opada.

Ukoliko se kontrolni pregledi konstrukcija ne vrše redovno i ne preduzimaju mere održavanja armiranobetonskih objekata, može se doći do narušavanja ili ugrožavanja nosivosti, upotrebljivosti i stabilnosti objekta. Kada su narušeni svi, ili neki od nabrojanih pojmova, neophodno je izvršiti sanaciju objekta.

**2.2. Opis konstrukcije mosta, istorijat**

Tokom II svetskog rata srušen je čelični most koji se nalazio na istoj lokaciji kao i most koji je predmet ovog rada. Na istim stubovima, pedesetih godina prošlog veka, izgrađen je most čiji se današnji izgled vidi na slici 3.



Slika 3. *Izgled mosta pri visokom vodostaju Lima - uzvodna strana*

Armiranobetonska konstrukcija drumskog mosta preko reke Lim u Prijepolju u statičkom smislu formirana je preko postojećih stubova kao Gerberov nosač.

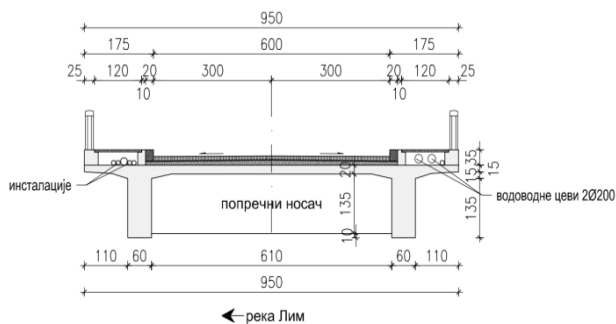
Iz obalnih stubova (na levoj i desnoj obali) izvučeni su kratki konzolni gredni prepusti raspona 2.85m i 2.90m. Preko rečnih stubova izvedene su grede sa prepustima i to:

- preko stubova 2 i 3 greda dužine 5.85m + 24.85m + 5.90m;
- preko stubova 4 i 5 greda dužine 5.79m + 25.10m + 5.66m

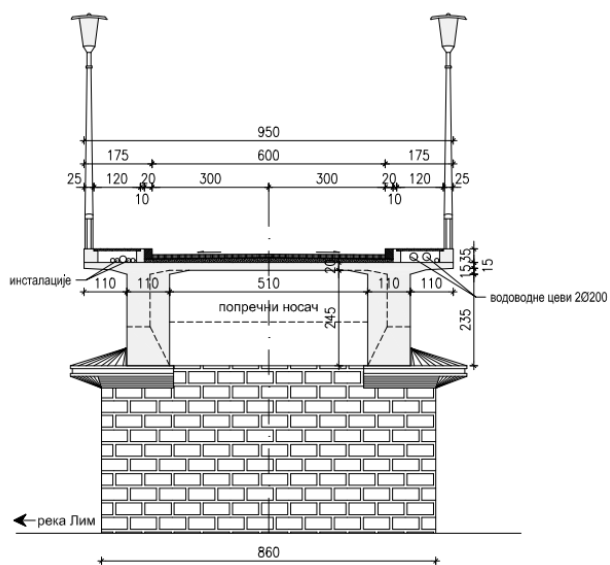
Na ovaj način stvorena je mogućnost da se preko formiranih konzolnih ispusta umetnu armiranobetonske proste grede raspona kako sledi:

- $l_1 = 15.40m$  – ka levoj obali;
- $l_2 = 13.45m$  – u sredini mosta;
- $l_3 = 15.40m$  – ka desnoj obali.

U poprečnom preseku armiranobetonska konstrukcija sastoji se od dva glavna podužna nosača promenljive visine i širine, koja su povezana sistemom poprečnih nosača i armiranobetonskom kolovoznom pločom čije se dimenzije mogu očitati na slikama 4, 5 i 6.



Slika 4. Poprečni presek mosta u sredini raspona

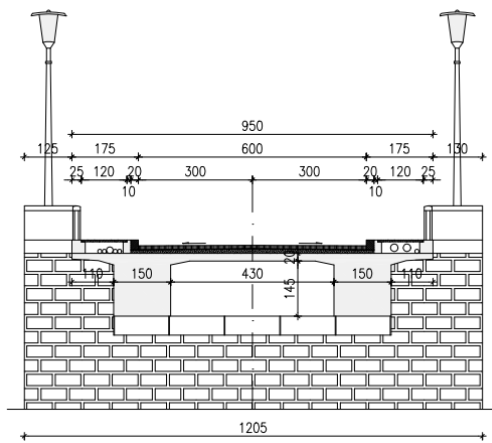


Slika 5. Poprečni presek mosta iznad rečnog stuba

### 2.3. Detaljan vizuelni pregled konstrukcije

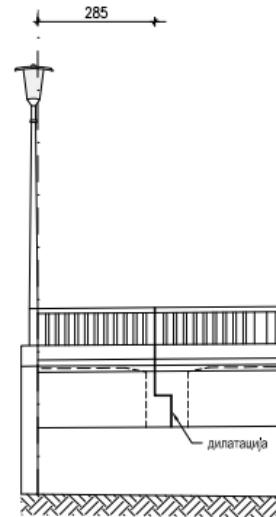
Detaljan vizuelni pregled obuhvata:

- registrovanje i klasifikaciju vidljivih oštećenja;
- ucrtavanje u pripremljene podloge;
- fotografisanje karakterističnih defekata i oštećenja;
- obeležavanje mesta za proveru kvaliteta materijala.

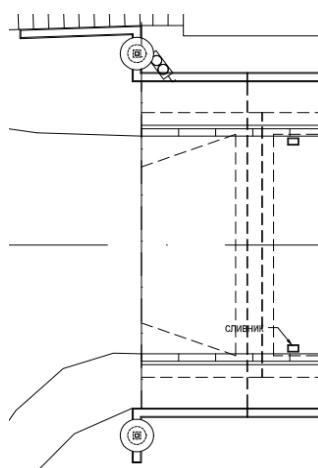


Slika 6. Poprečni presek mosta iznad obalnog stuba

Na slikama 7 i 8 date su skice koje predstavljaju izgled sa uzvodne strane kao i osnovu dela konstrukcije na kome se vrši vizuelni pregled, respektivno.



Slika 7. Konzolni ispust na levoj obali – izgled



Slika 8. Konzolni ispust na levoj obali – osnova

Na slici 9 dat je posmatrani element fotografisan sa nizvodne strane.



Slika 9. Konzolni ispust na levoj obali izgled nizvodne strane

Vizuelnim pregledom uočeni su sledeći:

- defekti:
  - mali zaštitni sloj;
  - nepostojanje zaštitnog sloja betona;
  - nepravilno raspoređena armatura;
  - segregacija betona;
- oštećenja:
  - korozija armature;
  - oštećenja betona usled korodiranja armaturnog čelika;
  - krečnjačke naslage;
  - mrlje od rđe i slivanja vode.

Uočeni i nabrojani defekti i oštećenja su često kombinovani i pojavljuju se na istim delovima nosača. Na primer, na slici 10, mogu se primetiti većina pomenutih defekata i oštećenja.



Slika 10. Defekti i oštećenja na spoju poprečnog i podužnog nosača

Na opisani način, urađen je vizuelni pregled svih elemenata koji su bili dostupni na mostu. Stubovi nisu pregledani, jer, zbog kamene obloge, nije bilo moguće uočiti ni defekte ni oštećenja.

### 2.3. Analiza registrovanih defekata i oštećenja

Na osnovu detaljnog vizuelnog pregleda dostupnih elemenata: konzolnih ploča, kolovozne ploče, dva glavna podužna nosača i poprečnih nosača, urađena je analiza registrovanih defekata i oštećenja uz napomenu da delovi konstrukcije, koji se nalaze između osa 4 i 5 kao i 5 i 6, odnosno sredina mosta, su bili dostupni za pregled samo iz udaljenosti, koja je onemogućavala detaljno sagledavanje elemenata.

#### Konzolne ploče

Na uzvodnoj strani mosta preko 80% površine donje i bočne strane konzolne ploče prekriveno je crnim mrljama usled slivanja vode što ukazuje na problem neadekvatno rešenog odvodnjavanja vode sa kolovoza. Sa crnim mrljama smenjuju se bele naslage kalcijum karbonata kao i mrlje od rđe.

Beli tragovi, osim što mogu ukazivati na prvi oblik hemijske korozije betona, mogu biti uzrokovane i taloženjem soli koje se posipaju po mostu u zimskim uslovima saobraćaja. Takođe, sa obala u dužini od približno po četvrtine ukupne dužine mosta uočeno je biološko rastinje.

#### Kolovozna ploča

Nedovoljno zbijen beton i prirodna mešavina agregata uslovlili su pojavu zona segregacije na donjoj površini kolovozne ploče. Zastupljenost nabrojanih defekata, koji mogu lokalno da značajnije redukuju efektivni poprečni presek, je preko 70% površine.

Na pojedinim mestima se uočavaju i betonska gnezda manjih dimenzija. Na oko 30% donje površine ploče uočene su bele mrlje koje mogu biti posledica soli za odmrzavanje i prvog oblika hemijske korozije betona, ili kombinacije obe pojave što je najverovatnije upravo i slučaj.

#### Glavni podužni nosači

Najzastupljenije i najintenzivnije oštećenje glavnih podužnim nosačima jeste korozija podužne armature i oštećenja betona u okolini korodiranih šipki u vidu mrlja od rđe, prslina, ljuskanja, otpadanja delova betona. Ovo oštećenje locirano je na ukupno 16 mesta, po 8 mesta na svakom podužnom nosaču i to u neposrednoj blizini slivnika, što ukazuje da je glavni uzrok ovih pojava voda koja se slivala niz nosače zbog nedovoljne dužine slivnika.

Većina šipki nije obavijena betonom dok su preostale sa veoma slabom athezijom. Armatura je toliko zahvaćena korozijom da se jasno može uočiti listanje. Slivanje vode je uzrokovalo i ispiranje kalcijum karbonata iz cementnog kamena i taloženje na površini betona kao i formiranje stalaktita od po nekoliko cm. Ova pojava klasifikuje se kao prvi oblik hemijske korozije betona. Bočna spoljna strana glavnog nosača u osi A prekrivena je crnim mrljama usled slivanja vode sa kolovoza. Biološko rastinje sa konzolne ploče uzrokovalo je oštećenja na glavnom nosaču u vidu prslina i pukotina.

#### Poprečni nosači

Na svakom od, za pregled dostupnih, poprečnih nosača uočene su prsline koje se pružaju celim presekom do samog vrha nosača. Na pojedinim poprečnim nosačima prslina se nalazi u sredini raspona a na ostalim su po dve prsline u trećinama raspona.

Njihov položaj i oblik ukazuju da su verovatno nastale usled preopterećenja što se može objasniti i činjenicom da je susedni most bio bombardovan tokom NATO agresije, te da su se teška vozila usmeravala preko ovog mosta.

Osim prslina, poprečni nosači imaju oštećenja u vidu korodiranih šipki koja su locirana samo na onim poprečnim nosačima koji se nalaze uz dilatacione razdelnice.

### Zaključak

Nakon analize stanja konstrukcije nadstroja mosta može se zaključiti da su nosivost, upotrebljivost i trajnost ove konstrukcije ugrožene. Iako se kao statički određena konstrukcija, stabilnost takođe može dovesti u pitanje, u ovom stadijumu razvijenih defekata i oštećenja, stabilnost se ne smatra ugroženom.

### 3. KONTROLNI PRORAČUN KONSTRUKCIJE

S obzirom na promenu namene mosta, menja se i korisno opterećenje, te je potrebno uraditi analizu opterećenja uzimajući u obzir godinu gradnje mosta i tadašnje propise i propise aktuelne danas, a koji se odnose na pešačke mostove. Očekivano, postojeća armatura je dovoljna da ponese novo, manje korisno opterećenje.

#### Frekvencija pešačkih mostova

S obzirom na promenu namene konstrukcije iz drumskog na pešački most, osim kontrole presečnih sila u karakterističnim presecima, od značaja je proveriti i frekvenciju mosta. S tim u vezi, Pravilnik o tehničkim normativima za određivanje veličine opterećenja mostova propisuje da „sopstvene frekvencije konstrukcije pešačkog mosta bez opterećenja se ne smeju naći u opsegu od 0,8 Hz do 5,5 Hz“.

Tabela 1. Periodi i frekvencije prvih 5 tonova

№	T [s]	f [Hz]	GPO [°]	FU <sub>α</sub> [%]	FU <sub>α+90°</sub> [%]	FU Z [%]
1	0.157075	6.366397	*	0.00	0.00	11.82
2	0.155276	6.440135	*	0.00	0.00	0.00
3	0.129573	7.717650	*	0.00	0.00	0.00
4	0.128174	7.801923	*	0.00	0.00	0.00
5	0.120527	8.296903	*	0.00	0.00	15.95

Može se smatrati da usled normalnog kretanja pešaka vibracije imaju sledeće vrednosti između **1 i 3 Hz**, dok grupa trkača može da izazove vibracije od 3 Hz. Iz priložene tabele može se očitati da frekvencija oscilovanja prvog tona konstrukcije iznosi **6.36 Hz** što je zadovoljavajuće i sa aspekta propisanih vrednosti iz Pravilnika o tehničkim normativima za određivanje veličine opterećenja mostova.

### 4. PREDLOG SANACIJE AB MOSTA

Za sanaciju glavnih podužnih greda predložene su sledeće mere:

- Čišćenje površinskih nečistoća uzrokovanih slivanjem vode peskarenjem, sa cele površine podužnih nosača. Na ovaj način površina betona postaje ohrapavljena, što pozitivno utiče na prionjivost sanacionog materijala;
- Ručno štemovanje betona u zonama korodiranih šipki armature tako da se formira plavilan oblik. Čišćenje šipki armature žičanim četkama do metalnog sjaja, zatim nanošenje zaštite armature od korozije;

- Postavljanje mrežice za armiranje novog zaštitnog sloja preko kompletne površine podužnih nosača. Ova mrežica se pričvršćuje sa nosač ankerima i dodatno tako što se na svakih metar rastojanja „nabaci“ malo betona formirajući tzv „pogače“.
- Torkretiranje betona u dva sloja;
- Lepljenje karbonskih traka u cilju nadomeštaja oslabljenog korodiranog preseka armature.

### 5. ZAKLJUČAK

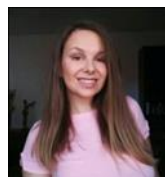
Beton kao materijal nije večan, uticaji koji deluju na konstrukcije napravljene od armiranog betona, vremenom ostavljaju vidljive posledice koje mogu biti manje ili više opasne po životni vek objekta. I pored ove činjenice, redovnim pregledom i primenom sanacionih mera odmah po nastanku oštećenja može se učiniti da konstrukcije napravljene od ovog materijala imaju duge eksploatacione periode.

Osim što materijal utiče na životni vek i statički sistem može znatno doprineti produženju istog. Na primerima mostova izgrađenih sredinom prošlog veka, u kojima su se često mogli videti Gerberovi zglobovi, zaključuje se da ovakvi statički sistemi nikako nisu preporuka za mostove projektovane u današnje vreme.

### 6. LITERATURA

- [1] M. Malešev, V. Radonjanin: Skripta sa predavanja Trajnost i procena stanja betonskih konstrukcija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [2] M. Pržulj: Mostovi, Izgradnja, Beograd, 2014.
- [3] [https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/1110\\_WS\\_EC2/report/Bridge\\_Design-Eurocodes-Worked\\_examples.pdf](https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/1110_WS_EC2/report/Bridge_Design-Eurocodes-Worked_examples.pdf)
- [4] [https://sh.wikipedia.org/wiki/Most\\_sv.\\_Irineja](https://sh.wikipedia.org/wiki/Most_sv._Irineja)
- [5] [http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/pravilnici\\_za\\_optereenja\\_mostova\\_1383809672547.pdf](http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/pravilnici_za_optereenja_mostova_1383809672547.pdf)

#### Kratka biografija:



**Edina Čičić** rođena u Prijepolju, 1993. Osnovne akademske studije na odseku građevinarstva završila je 2017. godine i iste upisala master studije.

kontakt: [edinacic@gmail.com](mailto:edinacic@gmail.com)