

Primljen / Received: 16.5.2016.

Ispravljen / Corrected: 1.9.2016.

Prihvaćen / Accepted: 30.9.2016.

Dostupno online / Available online: 10.1.2017.

# Sanacija konstrukcije mosta Careva Ćuprija u Sarajevu

## Autori:



Doc.dr.sc. **Naida Ademović**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Sarajevu  
Građevinski fakultet  
naidadem@yahoo.com



Prof.dr.sc. **Azra Kurtović**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Sarajevu  
Građevinski fakultet  
azra\_kurtovic@gf.unsa.ba



Mr.sc. **Muhamed Madžarević**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Sarajevu  
Građevinski fakultet  
madzarbih@yahoo.com

Stručni rad

**Naida Ademović, Azra Kurtović, Muhamed Madžarević**

## Sanacija konstrukcije mosta Careva Ćuprija u Sarajevu

Rad prikazuje stanje konstrukcije i sanaciju mosta Careva Ćuprija u Sarajevu. Ova povijesna građevina je bila izložena različitim atmosferskim utjecajima tijekom uporabe, kao i značajnim prometnim opterećenjima za koja nije projektirana, što je rezultiralo degradacijom konstrukcije. S ciljem da most zadrži svoju ulogu nužno je izvršiti sanaciju konstrukcije vodeći računa da je građevina proglašena nacionalnim spomenikom Bosne i Hercegovine 11. ožujka 2009.

### Ključne riječi:

kulturno - povijesno naslijeđe, armiranobetonska lučna konstrukcija, sanacija, degradacija, modeliranje

Professional paper

**Naida Ademović, Azra Kurtović, Muhamed Madžarević**

## Structural repair of Careva Ćuprija Bridge in Sarajevo

Structural condition and repair of the Careva Ćuprija Bridge in Sarajevo is presented in the paper. This historic structure has been exposed to various atmospheric influences during its use, and also to significant traffic load for which it was not initially designed, which has ultimately resulted in degradation of its structure. To enable continued functioning of this bridge its structure must be repaired taking into account the fact that the bridge was proclaimed a national monument of Bosnia and Herzegovina on 11 March 2009.

### Key words:

cultural-historical heritage, reinforced-concrete arch structure, repair, degradation, modelling

Fachbericht

**Naida Ademović, Azra Kurtović, Muhamed Madžarević**

## Sanierung der Konstruktion der Careva Ćuprija Brücke in Sarajevo

Die Arbeit stellt den Zustand der Konstruktion sowie die Sanierung der Careva Ćuprija Brücke in Sarajevo dar. Dieses historische Bauwerk war während seiner Nutzung verschiedenen atmosphärischen Einflüssen und bedeutendem, die projektierten Lasten überschreitendem Verkehr ausgesetzt, so dass eine Degradierung der Konstruktion ausgelöst wurde. Mit dem Ziel, die Funktion der Brücke zu erhalten, ist eine Sanierung erforderlich und zwar unter Berücksichtigung der Tatsache, dass dieses Bauwerk seit dem 11. März 2009 in Bosnien und Herzegowina als Nationaldenkmal geführt wird.

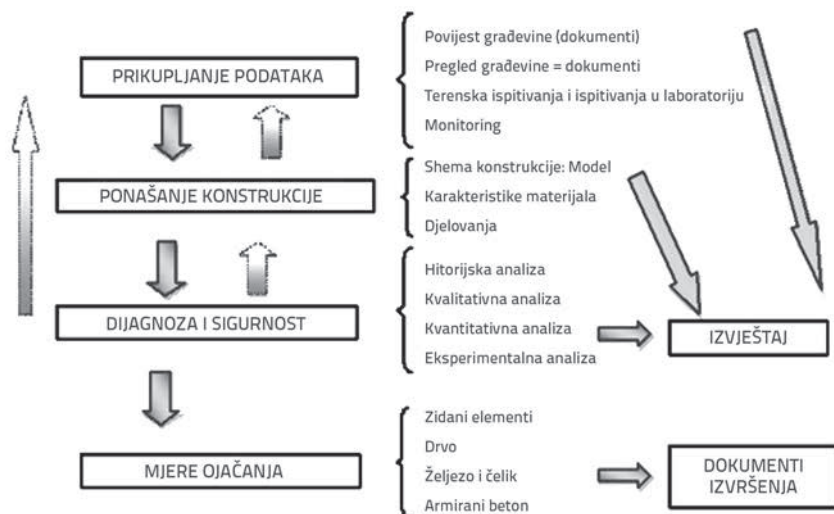
### Schlüsselwörter:

kulturhistorisches Erbe, Bogenkonstruktion in Stahlbeton, Sanierung, Degradierung, Modellierung

### 1. Uvod

Pravilno i detaljno ispitivanje te uspostavljanje prave dijagnoze postojeće konstrukcije ključni su faktori za planiranje odgovarajućih intervencija na konstrukciji. Intervencije mogu biti različite: od ojačanja pojedinih elemenata, zamjene istrošenih dijelova, dodavanja novih elemenata, poboljšanja veze između pojedinih elemenata i slično. Važnost ispitivanja za pravilno dijagnosticiranje stanja konstrukcije uzimajući u obzir povijesne činjenice o konstrukciji, određivanje karakteristika materijala i konstrukcije naglašena je u Venecijanskoj povelji [1].

Određivanje karakteristika postojeće konstrukcije veoma je kompleksan posao koji zahtijeva specifičnu multidisciplinarnu metodologiju za njenu procjenu, kako je to na primjer navedeno u Preporukama za analizu, konzervaciju i ojačanje kulturno-povijesne baštine što ih je objavio ICOMOS 2003. godine, a prikazano je na slici 1. [2, 3].



Slika 1. Metodologija za konstrukcijske intervencije prema ICOMOS-u [2, 3]



Slika 2. Metodologija analize [2, 3]

Pridržavajući se ove metodologije, može se doći do jasnije procjene stanja konstrukcije. Na osnovi tog znanja moguće je

razviti numeričke modele koji će kasnije biti kalibrirani kako bi se na adekvatan način mogle prikazati konstrukcijske forme i mehanizmi. Slika 2. upućuje na to da se metodologija može podijeliti u dvije glavne faze, a to su:

- 1. faza znanja** (istraživanja vezana za povijest građevine, opis konstrukcije - geometrija i materijali; pregled oštećenja; ispitivanja na građevini i laboratorijska ispitivanja); i
- 2. faza numeričke analize** (izbor tipa proračuna, mehaničkog i numeričkog modela te softverskog paketa).

Još u fazi znanja, a na osnovi prikupljenih podataka, formira se strategija odabira numeričkog modela koji će se koristiti za procjenu stanja konstrukcije.

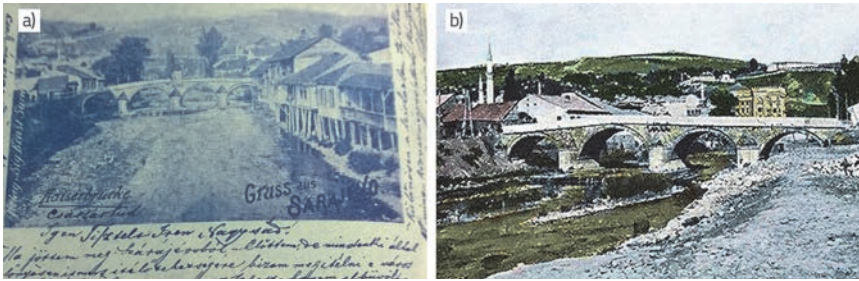
Primjena fazne multidisciplinarnne procedure ključna je za detaljno i suštinsko shvaćanje ponašanja postojeće konstrukcije. Takav pristup omogućava analizu konstrukcije koja je zasnovana na znanju i na taj način se potrebne metode ojačanja mogu

odrediti s mnogo većom sigurnošću. To je također značajno kako bi se spriječila nepotrebna ojačanja, kao i radovi koji mogu napraviti više štete nego koristi.

### 2. Povijesno istraživanje postojeće konstrukcije mosta

Kao što je naznačeno na slici 2., prvi korak predstavlja prikupljanje svih povijesnih podataka o konstrukciji. Careva Čuprija je po svom nastanku najstariji od svih sarajevskih mostova. Taj most je izgradio prvi bosanski sandžak-beg Isa-beg Ishaković. Izgrađen je u osi vrata Careve džamije na lijevoj obali rijeke Miljacke i Kolobara-hana na desnoj obali. Dokazi o postanku ovog mosta su bazirani na

Isa-begovoj vakufnami, a budući da vakufnama datira između 1. veljače i 3. ožujka 1462., a Isa-beg je postao bosanski namjesnik 1439.godine, znači da je most nastao u periodu između 1439. i 1462. godine. Povezivao je tadašnju glavnu transversalu grada u smjeru sjever-jug. Most je prvobitno bio izgrađen od drva. Isa-begovu drvenu čupriju, koja je već bila dotrajala, ponovno je izgradio Gazi Husrev-beg no ovaj put most je izgrađen od kamena. Godine 1619. poplava je uništila šest sarajevskih mostova, uključujući i ovaj. Carevu Čupriju je 1629. godine obnovio sarajevski aga hadži Husein Haračić. U velikoj poplavi 15. studenog 1739. taj je most ponovno stradao, ali ubrzo ga obnavlja sarajevski trgovac hadži Mustafa Bešlija. Careva Čuprija je, koliko se na osnovi sačuvane dokumentacije moglo utvrditi, imala četiri otvora koja su se oslanjala na tri stupa u rijeci i dva obalna podzida, kao što je prikazano na slici 3. Duljina mosta procjenjuje se na 50 metara. Rijeka Miljacka je izrazito bujičnog karaktera. Bujični karakter hidrološkog režima manifestira se velikim rasponom protoka



Slika 3. a) Razglednica Sarajeva na kojoj je prikazana Careva Ćuprija iz 18. stoljeća; b) Kamena Ćuprija iz 18. stoljeća [4]



Slika 4. a) Careva Ćuprija 1901 godine; b) Fotografija Careve Ćuprije 1900.-1910. [4]

i karakterističnom formom hidrograma velikih voda. Odnos protoka velikih voda i malih voda je reda veličine  $Q_{\max} / Q_{\min} \sim 10^3$ , za razliku od velikih vodotoka gdje je  $Q_{\max} / Q_{\min} \sim 10$ . S druge strane, trajanje velikih voda kod rijeka bujičnog karaktera je vrlo kratko, reda veličine nekoliko sati. U kategoriji manjih vodotoka, bujični karakter hidrološkog režima očituje se, prije svega specifičnom genezom, brzom koncentracijom i kratkim trajanjem velikih voda.

Na sjednici općinskog zastupništva 8. ožujka 1880. predložen je plan o regulaciji Miljacke čime bi se utvrdila i ojačala obala na potezu od Bentbaše do Ćobanije. Stari Carev most srušen je 1897. godine, da bi odmah dvadesetak metara uzvodno bio izgrađen novi Carev most i to u osovini ulice koja vodi prema Konaku. Izgrađen je kao prvi u Sarajevu armiranobetonski most sa jednim svodom i sa svijetlim rasponom od 25,36 metara, što je bila najveća konstrukcija tog tipa u Austro-Ugarskoj Monarhiji (slika 4.). Most je prema nekim podacima izgrađen po projektu češkog inženjera J. Pelikana/Šustera.



Slika 5. Careva Ćuprija sa skelom u periodu istražnih ispitivanja 2015. godine [5]

Most je u to dobra služio za pješački i za kolni promet. Nakon Prvog svjetskog rata most se počinje koristiti i za promet automobila.

Slika 5. prikazuje Carevu Ćupriju kako je izgledala sa skelom u periodu istražnih radova 2015. godine. Sa slike se može vidjeti da je došlo do određenih promjena na mostu vezano za pješačku ogradu te je uklonjena rasvjeta na mostu.

### 3. Opis konstrukcije mosta

Drugi korak je opis konstrukcije mosta radi utvrđivanja geometrije i ugrađenih materijala, što se prije svega obavlja vizualnim pregledom i in situ mjerenjima. Vizualnim pregledom utvrđeno je da se most sastoji od jednog armiranobetonskog svoda s blagom, gotovo radijalnom niveletom, čija visina na sredini mosta iznosi oko 5 metara.

Konstrukcija svoda je određena otvorom duljine oko 25,15 metara. Strelica luka mosta iznosi oko 2,60 m.

Most je temeljen na klasičan način na konstrukciju sastavljenu od kamenih ploča na koje su ozidani obalni upornjaci od krečnjaka (bijela hreša-autohtoni kamen) na koje je oslonjena konstrukcija svoda. Konstrukciju upornjaka uzvodno i nizvodno dodatno ojačavaju obalni zidovi izvedeni također od krečnjaka. Obalni upornjaci su gotovo okomiti i njihovi uglovi su završeni naizmjenično razmaknutim rubovima/nagnutim krajevima (i naizmjenično smaknutim čošnjacima) [6].

Duž obale nalazi se zaštita od drvenih greda i pilota promjenjivog promjera od 10 cm do 30 cm, na međusobnim razmacima od 50 cm do 80 cm.

### 4. Vizualni pregled i snimanje oštećenja mosta

Uklanjanjem dijelova betona sa svoda mosta utvrđeno je da je intrados mosta armiran krutom armaturom koja se sastoji od dva L profila 60x60x4 mm (ukupno ima 20 setova), što je prikazano na slici 6.



Slika 6. Položaj krute armature



Slika 7. prikazuje položaj armature koja je postavljena u poprečnom smjeru na svakih 45 - 50 cm i proteže se cijelom dužinom mosta.



Slika 7. Međusobni razmak krute armature

Kruta armatura je postavljena duž cijelog raspona mosta (slika 6.) i nastavljena je na četiri mjesta. Slika 8. pokazuje nastavljavanje krute armature. Nastavljanje krute armature izvedeno je preko čelične pločice debljine otprilike 6 mm, sa setom od po šest zakovica na svakoj strani. Dimenzije čelične pločice su 46x13 cm, debljine otprilike 6 mm. Zakovice se nalaze na međusobnom razmaku od 6 cm. Unutrašnji razmak između seta zakovica iznosi 13,5 cm, dok od ruba čelične pločice do prve (zadnje) zakovice iznosi 4,5 cm. Očigledna je korozija i ljuštenje čelika na čeličnim pločama nastavaka krute armature.



Slika 8. Nastavak krute armature

Ekstrados mosta je urađen u betonu s krutom armaturom koja je postavljena na krajevima, bočnim stranama (slika 9.). Tek nakon uklanjanja gornjih slojeva konstrukcije mosta moći će se vidjeti je li ta armatura postavljena cijelom širinom mosta kao što je to slučaj kod intradosa, ili se samo nalazi na bočnim stranama. Slika 9. prikazuje znatnu koroziju gornje krute armature. Ta je armatura nezaštićena te je direktno izložena atmosferskim utjecajima i vidljivo je znatno "bubrenje", povećavanje volumena armature, što upućuje na to da je armatura zahvaćena znatnim

stupnjem korozije. Dobro je poznato da su dijelovi konstrukcije s istočne strane izloženi znatnijem udaru kiše s vjetrovom te da brže dolazi do njihove degradacije i razaranja.



Slika 9. Korozija gornje krute armature - istočna fasada - uzvodna strana.

Ograda mosta se nalazi u jako lošem stanju (slika 10.); korozijom je obuhvaćena cijela konstrukcija čelične ograde. Također, uočeno je odvajanje betona na bočnom dijelu konstrukcije mosta (istočna fasada-uzvodna strana mosta i zapadna fasada-nizvodna strana mosta) na mjestu veze s čeličnim "S" nosačima te njihova korozija (slika 11.).



Slika 10. Korozija čelične ograde i oštećenje pješačke staze

Slika 10. prikazuje degradaciju i nedostatak asfaltnog zastora na pješačkoj stazi. Oštećenja na pješačkim stazama i ogradama nastala su od procesa smrzavanja i odmrzavanja. Kad jednom dođe do prodora vode u kapilarni sustav i do njenog smrzavanja,

pore i šupljine bivaju proširene djelovanjem hidrostatičkog tlaka koji nastaje zbog povećanja volumena smrznute vode. Ovaj tlak lagano – tijekom brojnih ponavljanja ciklusa – proširuje pore i kapilare. Vidljivo je i oštećenje od smrzavanja i odmrzavanja u obliku pucanja i ljuštenja betona, što je posljedica u velikoj mjeri progresivnog ekspandiranja cementnog kamena. Učinak smrzavanja i odmrzavanja bitno je pojačan zbog soli za odmrzavanje tijekom održavanja cesta, što je dovelo do maksimalnog ljuštenja betonske površine. Pucanje i odvajanje betona na kraju je dovelo do izlaganja armature djelovanju korozije zbog prodora klorida i vlage.

Na istočnoj fasadi jasno se vidi horizontalna pukotina koja se prostire cijelom dužinom obloge od pješčara (slika 11.). Ta kamena obloga na istočnoj fasadi je, uslijed udara kiše s vjetrom, jače oštećena u odnosu na zapadnu fasadu, gdje su također vidljiva oštećenja ali manja.

Slika 12. pokazuje znatnu horizontalnu pukotinu koja se prostire gotovo cijelom dužinom luka na bočnoj strani.



Slika 11. Odvajanje dekorativnih elemenata, horizontalne pukotine u betonu na luku i korozija nosača ograde-istočna fasada-uzvodna strana



Slika 12. Horizontalne pukotine na zidovima: istočna fasada - uzvodna strana

Ta pukotina nije zahvatila samo dekorativni element nego se prostire i kroz nosivu betonsku konstrukciju svoda mosta, što je i očekivano s obzirom na znatnu koroziju krute armature intradosa. Također, vidljivo je postojanje i vertikalnih pukotina na bočnim zidovima konstrukcije svoda. Pukotine općenito povećavaju poroznost betona i omogućuju vodi, solima topivim u vodi i kemikalijama da prodru unutar betona te tako ubrzavaju njegovu destrukciju i otvaraju put daljnjoj koroziji krute armature. Slika 13. prikazuje znatnu koroziju donje krute armature uz rub lučne konstrukcije, kao i nedostatak betonskog dijela, te nepostojanje zaštitnog sloja betona. Kao što je poznato, beton zahvaljujući svom alkalnom karakteru, štiti čeličnu armaturu od korozije. Visoka pH vrijednost utječe na stvaranje tankog zaštitnog sloja stabilnih oksida na površini čelika, sprečavajući tako daljnji razvoj hrđe. Kada je taj zaštitni sloj stabilnih feroksida narušen djelovanjem kiselog okruženja, javlja se fenomen depasivizacije, odnosno započinje korozija čelika. Uočljivo je povećavanje volumena armature uslijed korozije, što rezultira stvaranjem unutrašnjih naprezanja, te pucanjem i ljuštenjem betona. Vidljive su uzdužne pukotine na korodiranoj "krutoj armaturi". Dijelovi krute armature koji su posve "ogoljeni", izloženi su aktivnom djelovanju atmosferilija te je ugrožena nosivost ovih elemenata. Takvo stanje stvara uvjete za proširenje korozije na pasivirani dio krute armature.



Slika 13. Korozija krute armature luka s donje strane: istočna fasada - uzvodna strana

Ovdje se radi o općoj koroziji koja je zahvatila čitavu izloženu površinu metala, ali i o potpovršinskoj ili slojevitoj koroziji. Najraširenija je na čeličnim dijelovima koji su bili u dodiru s vodom i kiselinama.

Treba uzeti u obzir da je tijekom poplave u svibnju 2014. vodostaj rijeke Miljacke bio najveći u posljednjih deset godina, iznosio je 244 cm i razina vode došla je do razine pete svoda (slika 14.), te su dijelovi konstrukcije bili izloženi direktnom djelovanju vode. Slično, premda manjih razmjera dogodilo se i 31. listopada 2007. S obzirom na dosadašnje pokazatelje bujičnog karaktera rijeke Miljacke, opravdano se postavlja pitanje sigurnosti mosta od



nove poplave. Pri tome se mora voditi računa da osim razaranja materijala mosta uslijed svog bujičnog karaktera, rijeka Miljacka sa sobom nosi otpadne materijale, nanose i time uzrokuje dodatna oštećenja konstrukcije mosta i obaloutvrde. Kao što je poznato, sam proces podlokavanja je različit uzme li se u obzir fenomen podlokavanja u vodi koja nije opterećena nanosom i fenomen gdje se koritom pokreće nanos.



Slika 14. Poplava u svibnju 2014. godine

Poznato je da se bubrenje, kao korozivna posljedica većeg volumena od volumena uništenog materijala, i listanje kao žarišta "pittinga" šire u dubinu materijala. Prosječna brzina prodiranja korozije kod ugljičnog čelika u gradskoj atmosferi iznosi od 1,182 do 7,88 (mm/god).

Slike 15. i 16. pokazuju karbonizaciju betona koja se pojavljuje kad ugljični dioksid iz zraka proдре u beton i reagira s hidroksidima, kao što je kalcijev hidroksid, formirajući karbonate. U reakciji s kalcijevim hidroksidom formira se kalcijev karbonat. Ovaj proces smanjuje pH vrijednost otopine u porama ispod 11,8, a na toj razini pasivizirajući film oksida željeza na čeliku postaje nestabilan, što dovodi do depasivacije odnosno procesa korozije. Karbonizacija u velikoj mjeri zavisi od relativne vlažnosti zraka. Do najvećeg stupnja karbonizacije dolazi kada se relativna vlažnost održava u opsegu između 50 % i 75 %. Isto kao i kloridni ioni, karbonizacija uništava pasivizirajući film na armaturi, ali nema utjecaja na brzinu korodiranja.

Voda s kolnika prodrla je kroz nasip do betonske konstrukcije svoda i uzrokovala koroziju izlučivanja (koroziju mekih voda). Poznato je da filtrirajuća voda na svom putu rastvara kalcijev hidroksid (izvod hidratacije portlandskog cementa) koji se taloži na površini betona gdje stupa u reakciju sa  $\text{CO}_2$  (ugljičnim dioksidom) sadržanim u atmosferi formirajući relativno čvrste, tvrde, dobro prionule, svijetle prevlake kalcijevog karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ) kao mlazove usmjerene prema dolje. Tijekom vremena se šire i postaju deblje narušavajući izgled površine te poprimajući stalaktitski ili stalagmitski oblik. Očito je njihovo formiranje duž cijele donje površine mosta (intradosa) na mjestima prostiranja krute armature. Stalaktiti su dužine oko 20 cm i promjera oko pola centimetra.



Slika 15. Karbonizacija intradosa i formiranje stalaktita



Slika 16. Karbonizacija intradosa i formiranje stalaktita

Osim korozije izlučivanja, beton mosta je izložen i općoj kiselinskoj koroziji. Opća kiselinska korozija nastaje djelovanjem  $\text{CO}_2$  iz okoline na cementni kamen pri čemu dolazi do kemijske reakcije. Ugljični dioksid s vodom stvara ugljičnu kiselinu koja reagira sa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  stvarajući  $\text{CaCO}_3$ , ali se i drugi spojevi cementnog kamena razgrađuju te se pri tome oslobađa voda. Prema tome, ovdje se radi o koroziji mekih voda (korozija izlučivanja) u kombinaciji s općom kiselinskom korozijom.

Slike 17. i 18. pokazuju formiranje naslaga na upornjaku debljine čak do 20 cm, koja se ljušti i odvaja od kamenih blokova postavljenih oko upornjaka mostovske konstrukcije. Slika 19. također jasno prikazuje znatnu koroziju krute armature u blizini lijevog upornjaka s nizvodne strane, koja prodrе kroz naslage nastale kao posljedica korozije izlučivanja. Uslijed karbonizacije dolazi do smanjenja alkalnosti betona.



Slika 17. Naslage na lijevom upornjaku - istočna strana





Slika 18. Naslage na desnom upornjaku - istočna strana

Slika 19. pokazuje krutu armaturu koja se nalazi na strani intradosa. Kruta armatura se sastoji od dva L - profila 60x60x4 mm koja su međusobno odvojena slojem betona od 1 cm, pa ukupna širina krute armature s betonom iznosi 13 cm. Uklanjanjem zaštitnog sloja betona (5 cm) uočena je jača korozija armature (slika 20.). Vidljivo je ljuštenje čelika. Stupanj korozije armature varira ovisno o položaju krute armature i postojanju odnosno nepostojanju zaštitnog sloja betona. Općenito, može se reći da se radi o visokom stupnju korozije krute armature.

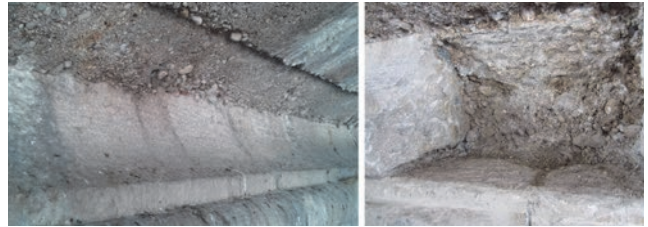


Slika 19. Kruta armatura



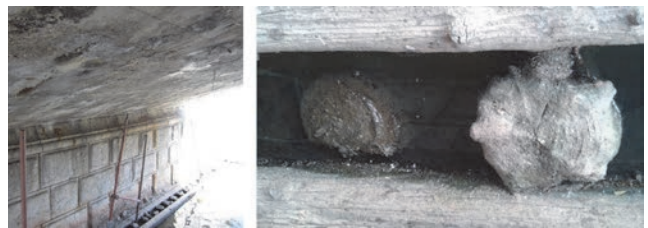
Slika 20. Debljina zaštitnog sloja betona

Uklanjanjem kamenih blokova (slika 21.) kod lijevog upornjaka uočeno je da kameni blokovi služe isključivo kao obloga.



Slika 21. Kameni blokovi upornjaka na lijevoj strani obale Miljacke: prije (lijevo) i nakon (desno) uklanjanja

Jedan dio obale Miljacke zaštićen je drvenim gredama i pilotima koji se nalaze između dvije grede (slika 22.). Drveni piloti su promjenjivog promjera od 10 do 30 cm na međusobnim razmacima od 50 do 80 cm. Za vrijeme istražnih ispitivanja, koja su provedena tijekom sušnog perioda (kolovoz 2015.) uočeno je da drveni piloti nisu bili potpuno prekriveni vodom, nego su se nalazili izvan vodene površine 5 do 8 cm.

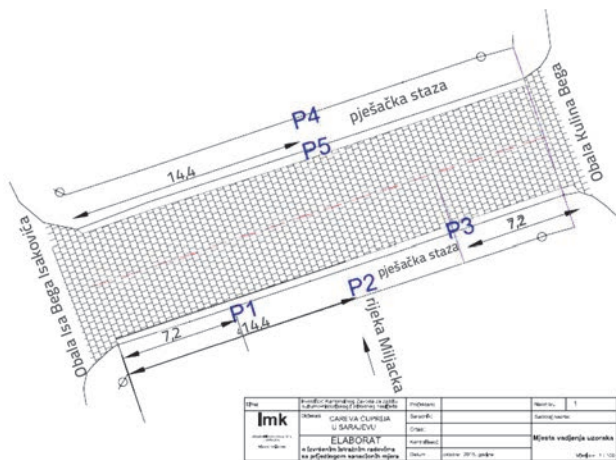


Slika 22. Drveni piloti i grede koje se protežu obalom Miljacke

## 5. Ispitivanje na građevini i u laboratoriju

Ispitivanje mostovske konstrukcije provedeno je 2007. godine u Institutu za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta u Sarajevu [7]. Tada je izvađeno 12 cilindričnih uzoraka iz bočnih zidova i svodne konstrukcije mosta kako bi se utvrdila postojeća marka betona. S obzirom na to da se radi o objektu kulturno-povijesne baštine, provode se ispitivanja prema propisima koji su se primjenjivali dugi niz godina (JUS, Pravilnik PBAB/87 i dr.). Kako bi se utvrdilo stanje konstrukcije 2015. godine i je li došlo do daljnje degradacije kvalitete betona, izvađeno je ukupno 5 dodatnih cilindričnih uzoraka s gornje konstrukcije mosta (slika 23.) [8]. Broj uzoraka za ispitivanja razornom metodom utvrđen je strogo pazeći da se postojeća konstrukcija u što manjoj mjeri ošteti. Kontrolno ispitivanje provedeno je nedestruktivnom metodom pomoću sklerometra.

S obzirom na nedostupnost informacija o projektu sanacije mosta, koje su zasigurno provedene nakon djelomičnih istražnih radova 2007. godine, te nemogućnosti pronalaska originalne projektne dokumentacije mosta (niti jedan arhiv u BiH ne posjeduje dokumentaciju o mostu), odlučilo se na ispitivanje mosta s raznim metodama pazeći da se sa što manjim brojem izvađenih uzoraka iz konstrukcije dobiju relevantni podaci o stanju građevine.



Slika 23. Mjesta vađenja uzoraka [8]

Nakon vađenja cilindričnih uzoraka utvrđeno je da debljina konstrukcije svoda ne varira samo duž svoda nego da debljina u svodu nije konstantna (tablica 1.).

Tablica 1. Poprečni presjek cilindričnih uzoraka izvađenih u tjemenu luka

Slojevi [cm]	Oznaka cilindričnog uzorka		
	P2	P4	P5
Asfalt	6	4	6
“Novi asfalt”	-	20	-
Nasuti i rastresiti materijal	22	16	22
Konstrukcija svoda	53	44	34
Ukupna visina uzorka	81	84	62

Utvrđeno je postojanje hidroizolacije od sloja bitumena koja se nalazi s gornje strane ekstradosa debljine od 5 do 8 mm (slika 24.).

## 5.1. Određivanje karakteristika materijala

### 5.1.1. Kruta armatura

Čvrstoća čelika ispitana je prema metodi POLDY na građevini. Slika 25. prikazuje mjesta ispitivanja čvrstoće čelika krute armature na intradosu mosta. Na osnovi provedenih ispitivanja čelika na krutoj armaturi dva L-presjeka 60 x 60 x 4 mm čelik se može svrstati u razred kvalitete Č 0545 prema JUS normama (a prema EN 10027-1 E295; odnosno DIN St 50-2), kod kojeg vlačna čvrstoća iznosi 470 N/mm<sup>2</sup>, a granica plastičnosti iznosi 285 N/mm<sup>2</sup>.

### 5.1.2. Ugrađeni beton

Slika 26. prikazuje jedan od uzoraka izvađen u tjemenu mosta, koji se nalazi odmah pored uzorka koji je izvađen 2007. godine kako bi se usporedila kvaliteta betona.



Slika 26. Jedan od uzoraka



Slika 24. Hidroizolacija od bitumena



Slika 25. Ispitivanje tvrdoće čelika



Izgled svih uzoraka izvađenih iz konstrukcije prikazan je na slici 27. Analizom uzoraka P4 uočeno je da se radi o drugoj vrsti betona (slika 28.), suvremenoj dobroj strukturi tvornički spravljenog betona s dolomitnim agregatom, koji najvjerojatnije potječe iz poslijeratnih decada prošlog ili ovog stoljeća. Ovi podaci se ne mogu uzeti u



Slika 27. Izgled uzoraka betona prije obrade i ispitivanja



obzir prilikom proračuna sadašnje marke betona konstrukcije svoda mosta jer predstavljaju "novi" beton koji je sigurno korišten prilikom sanacije mosta prije nekih 10 do 15 godina. Ovdje se radi o betonu koji je po svojoj strukturi posve različit od ostalih uzoraka, gdje se jasno vidi da je korišten riječni agregat i druga vrsta cementa.



Slika 28. Izgled uzorka izvađenih iz pješačke staze (P4)

Svi ostali uzorci betona su drugog strukturnog sastava s riječnim agregatom (slika 29.) i cementom koji, u odnosu na cemente koji se proizvode od sredine 20. stoljeća, ima upadljivu izmjenu boje cementnog kamena (tamniji i svjetliji tonovi smeđe boje).



Slika 29. Izgled uzorka izvađeni iz ostalih dijelova konstrukcije

Ocjena postojeće kvalitete betona izvršena je prema kriteriju 1 - uhodana proizvodnja za utvrđivanje kvaliteta ugrađenog betona [9].

Rezultati pojedinačnih ispitivanja cilindričnih uzoraka prikazani su u tablici 2. Uzorci P4 su eliminirani iz analize jer ne pripadaju istoj vrsti betona kako je prije naznačeno. Iz tablice 2. jasno se vidi da jedna skupina daje velike vrijednosti tlačne čvrstoće. Na mjestima vađenja tih uzoraka zbiva se filtracija meke vode

Tablica 2. Rezultati pojedinačnih ispitivanja

Redni broj	Element konstrukcije	Oznaka uzorka	Promjer [mm]	Visina uzorka [mm]	Masa uzorka [g]	Volumna masa betona [kg/m <sup>3</sup> ]	Sila loma uzorka [N]	Tlačna čvrstoća	
								Utvrđena na cilindru [N/mm <sup>2</sup> ]	Redukcija na kocku a=200 mm [N/mm <sup>2</sup> ]
1	Konstrukcija mosta Careva Čuprija	P1	101,0	101,0	1595,29	1971	165500	20,66	21,07
2		P1M	100,0	100,8	1577,16	1992	146500	18,65	19,03
3		P2	99,0	99,8	1499,23	1952	148500	19,29	19,68
4		P3	99,0	99,9	1557,12	2025	168000	21,82	22,26
5		P4G1	99,5	98,9	1696,68	2206	451000	58,00	59,16
6		P4G2	99,4	99,4	1737,86	2253	469000	60,44	61,65
7		P4S	99,5	99,7	1510,35	1948	137500	17,68	18,04
8		P4D1	99,5	100,0	1590,74	2046	192500	24,76	25,25
9		P4D2	99,5	100,2	1573,95	2020	181000	23,28	23,74
10		P5G	99,7	99,6	1665,62	2142	283000	36,25	36,97
11		P5D	99,7	99,3	1654,43	2134	302500	38,75	39,52

## 1.2. NAKNADNO DOKAZIVANJE KVALITETE BETONA (JUS U M1.048)

### A. REZULTATI KERNOVA ISPITIVANJA REDUCIRANI NA SADAŠNJU ČVRSTOĆU

vremenski koeficijent redukcije	1
koeficijent odnosa čvrstoće betona u konstrukciji	0,85
KOREKCIJSKI KOEFICIJENT	1,18

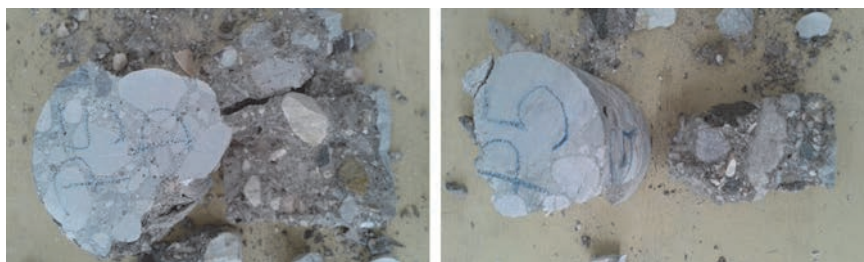
mjesec				
serija	1	1-3	4-7-8	9-11
Pojedinačni korigirani redukcijski koeficijent (MPa)		24,79	26,19	27,93
		22,38	21,22	43,50
		23,15	29,71	46,50

### B. KONTROLA SADAŠNJE MARKE BETONA (prema t.3.2.1.)

MB		1-3	4-7-8	9-11
serija (1)				
srednja vrijednost	Xsr	23,44	25,71	39,31
minimalna vrijednost	Xmin	22,38	21,22	27,93
kriterij PBAB	m(n)=	23	23	33
KRITERIJ 1.	X1=	17	17	27
ocjena MB	Xsr > m(n)	da	da	da
	Xmin > X1	da	da	da
zaključak	Sadašnja MB	20	20	30

(kišnice). Uslijed filtracije meke vode nastupilo je zapunjavanje kapilara koje se manifestiralo zgrušnjavanjem betona i povećanjem volumne mase u očvrslom stanju. Vrijednosti volumne mase ( $2142 \text{ kg/m}^3$  i  $2134 \text{ kg/m}^3$ ) i čvrstoće na pritisak na kocki ( $37,0 \text{ MPa}$  i  $39,5 \text{ MPa}$ ) znatno odstupaju od svih ostalih [8].

Za koncentriranost filtracije vode kroz beton, tj. za neravnomjernu filtraciju, značajno je to što je broj filtracijskih kanala najveći u početku filtracijskog puta, uz površinu betona koja je pod pritiskom. Nastaje začepljenje prolaza filtracije uslijed hidrolitičkog raspadanja komponenata cementnog kamena i uslijed bubrenja koloidnih spojeva (uglavnom kalcijevog hidrosilikata). Do jakog usporavanja procesa izlučivanja nastupa samo ako se sloj koji je osiromašen vapnom i oslabljen izlučivanjem, a koji se taloži na površini betona, ne raspadne uslijed mehaničkog ili hidrauličkog utjecaja (slika 30.). Na svim uzorcima (slika 31.) vidljiva je znatna korozija betona.



Slika 30. Izgled uzoraka P5 D i P5 G



Slika 31. Procjeđivanje kroz beton

Na osnovi provedenih ispitivanja može se beton ugrađen u svod mostovske konstrukcije Careva Čuprija svrstati u razred kvalitete MB 20.

Oštećenja konstrukcije prema CEB-u [10] (tablica 3.) mogu se svrstati u razinu oštećenja D. Ako je razina oštećenja C ili D, potreban je hitan popravak i rekonstrukcija konstrukcije.

Iako je ispitivanje provedeno na malom broju uzoraka izvađenih iz konstrukcije mosta, može se ustanoviti da nije došlo do smanjenja čvrstoće betona u odnosu na ispitivanje koje je proveo Institut 2007. godine [7], ali je sigurno došlo do daljnje degradacije betonske konstrukcije mosta uslijed korozije mekih voda (korozija izlučivanja) u kombinaciji s općekiselinskom korozijom (topivi plinovi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ).

### 5.1.3. Utvrđivanje alkalnosti, udjela štetnih komponenti (sulfata i klorida)

Uzorcima na kojima je ispitivana čvrstoća na pritisak usitnjeni su u prah te je izrađena analiza pH vrijednosti, udjela sulfata i klorida [8]. Mikroheterogeni (grubo disperzni) disperzni sustavi imaju čestice promjera većeg od  $10^{-7} \text{ m}$ , a koloidni ili ultramikroheterogeni s promjerima disperzne faze od  $10^{-7} \text{ m}$  do  $10^{-9} \text{ m}$ . Disperzni sustav na kojem je provedeno ispitivanje dobiven je usitnjavanjem betona do čestica određenih veličina (kao razdjelno sito za ove dvije disperzne metode to je otvor  $90 \mu\text{m}$ ). Udio sulfata utvrđen je semikvantitativnom metodom:

- sulfatnih iona izraženih kao  $\text{SO}_4^{2-}$  prema metodi BS 812: Part 118:1988 (Sulfate test strips) Quantofix Sulfate; slijedeći upute proizvođača Macherey – Nagel.

Udio klorida utvrđen je kvalitativnom metodom:

- kloridnih iona  $\text{Cl}^-$  prema metodi BS 812: Part 117:1988 (Test Kit for Chloride determination chlorid(e) CL 500; slijedeći upute proizvođača Macherey – Nagel.
- pH vrijednost utvrđena je digitalnim mjeračem.

Tablica 3. Razine oštećenja prema CEB-u [10]

Razine oštećenja / Vrste oštećenja	A	B	C	D	E
Promjene u boji	korozija postoji	kao u A	kao u A	kao u A	kao u A
Pukotine	malo uzdužnih	uzdužne, malo poprečnih	opsežne, duge	kao u C	kao u C
Ljuštenje		malo	intenzivno	armatura gubi vezu s betonom	kao u D
Smanjenje presjeka armature		-5%	-10%	-25%	pop.arm.(spone) izgubila presjek Glavna djelomično još postoji
Odlamanje				vjerojatno	prisutno



Tablica 4. Karakteristike materijala kao ulazni podaci za proračun prilikom modeliranja

Element	E [N/mm <sup>2</sup> ]	Poissonov koeficijent - ν	Gustoća - ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Vlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	Granica plastičnosti [N/mm <sup>2</sup> ]
Fasadni zidovi	28500	0,20	2400	1.9	
Svod	28500	0,20	2500	1.9	
Nasuti i rastresiti materijal			1800		
Postojeći čelik	210000	0,30	7850	470	285
Čelik za ojačanje	210000	0,30	7850	575	500

Utvrđene su niske pH vrijednosti, što pokazuje da po toj osnovi nije osigurana dobra korozijska zaštita ugrađene armature. Za sigurnu zaštitu armature od korozije treba pH vrijednost iznositi najmanje 11,8, jer za pH vrijednost manju od 10 postoji 90 postotni rizik od korozije.

Treba naglasiti izuzetno veliku otvorenu poroznost i veliko upijanje vode nasutog rastresitog materijala koji se nalazi iznad betona i u kojem se zadržava velika količina vlage koja se procjeđuje kroz poroznu strukturu betona. Kiseli karakter rastvora čestica nasipa u vodi u znatnoj mjeri utjecao je na smanjenje alkalnosti betona s gornje površine.

Udio klorida u betonu je od 25 mg/l do 75 mg/l odnosno do 0,0075 %. Količine klor-iona u odnosu na količinu cementa u ispitanim uzorcima u dopuštenim su granicama, iznose do 0,05 %.

## 6. Numerička analiza

### 6.1. Postojeća konstrukcija

Nakon eksperimentalnih ispitivanja na građevini i u laboratoriju, provedena je numerička analiza postojeće konstrukcije mosta te izrađen projekt njezine sanacije u dogovoru s investitorom i kao takav je odobren [11]. U tom smislu veoma je važno utvrditi ponašanje konstrukcije pri statičkom djelovanju i dinamičke karakteristike radi utvrđivanja ponašanja pri seizmičkom djelovanju. Za analizu te konstrukcije primijenjena je metoda konačnih elemenata i upotreba programa Tower [12]. Prilikom modeliranja korišteni su pločasti elementi sa šest stupnjeva slobode kretanja te su se usvojile određene pretpostavke:

- zidovi su oslobođeni prijenosa utjecaja na konstrukciju svoda,
- veza rasponske konstrukcije i upornjaka oslobođena je prenošenja momenta savijanja, što je opravdano s obzirom na detalj oslanjanja rasponske konstrukcije na upornjake.
- broj čvorova: 37506; broj pločastih elemenata: 35667; i broj graničnih elemenata: 2100.

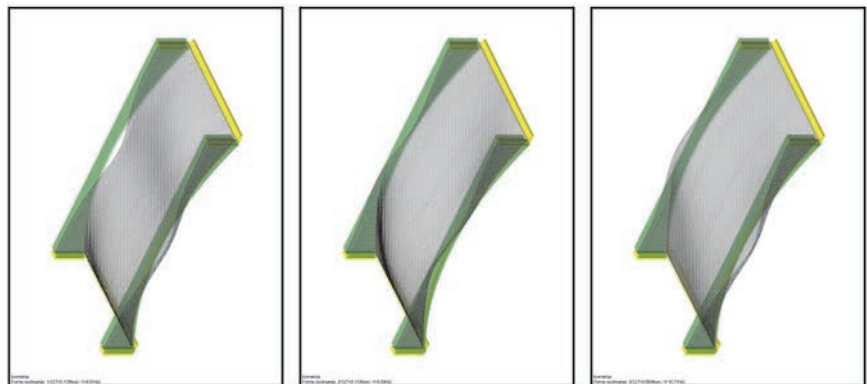
Na osnovi karakteristika materijala koje su dobivene eksperimentalnim ispitivanjem, prikazane u tablici 4., trebalo

je utvrditi nosivost konstrukcije te odabrati eventualne mjere sanacije.

S obzirom na to da se radi o gradskom mostu, svrstava se u mostove kategorije II, prema [13]. Za te mostove glavni trak opterećen je tipskim vozilom V600 na najnepovoljnijem mjestu. Budući da je riječ o mostu koji je izgrađen 1897. godine, te da su tada opterećenja bila znatno manja, dodatno je proveden proračun za kategoriju mosta III i odgovarajuće opterećenje.

#### 6.1.1. Modalna analiza

U prvoj fazi numeričke analize provedena je modalna analiza kako bi se odredili modalni oblici i periodi slobodnih titranja (osnovni). Osnovni periodi, frekvencije, oblici titranja (vibracija) prikazani su na slici 32. i u tablici 5. Očito je da se radi o veoma krutoj konstrukciji.



Slika 32. Oblici vibracija i frekvencije

Tablica 5. Periodi i frekvencije osciliranja

Mod	Period [s]	Frekvencija [Hz]
1	0,1135	8,81
2	0,1120	8,93
3	0,0934	10,71

#### 6.1.2. Statička analiza postojeće konstrukcije

U drugoj fazi numeričke analize provedena je statička analiza kako bi se odredilo ponašanje konstrukcije pod utjecajem vlastite težine, te probnog opterećenja za dvije grupe mostova.

Tablica 6. Stanja naprezanja

Kombinacija opterećenja	$\sigma_{1g}$ [MPa]	$\sigma_{2g}$ [MPa]	$\sigma_{1d}$ [MPa]	$\sigma_{2d}$ [MPa]	$\sigma_{ug}$ [MPa]	$\sigma_{ud}$ [MPa]
I+II+III	0,44 (V) do - 1,61 (T)	- 0,07 (T) do - 4,66 (T)	0,71(V) do -1,51(T)	0,35 (V) do - 3,63(T)	0,09 (V) do 4,67 (V)	0,11 (V) do 3,63(V)
I+II+III+IV – V600	0,73(V) do - 2,46 (T)	0,20 (V) do - 8,65 (T)	3,29(V) do -2,15(T)	2,37 (V) do - 5,09(T)	0,03 (V) do 7,80 (V)	0,08 (V) do 5,08(V)
I+II+III+IV – V300+V300	0,58(V) do - 1,92 (T)	0,20 (V) do - 7,70 (T)	2,71(V) do -1,90(T)	1,55 (V) do - 4,76(T)	0,05 (V) do 7,02 (V)	0,13 (V) do 4,68(V)

Oznake u tablici imaju ova značenja:

$\sigma_{1g}$  - naprezanje za pravac glavne osi 1, na gornjem rubu ploče,  $\sigma_{2g}$  - naprezanje za pravac glavne osi 2, na gornjem rubu ploče  
 $\sigma_{1d}$  - naprezanje za pravac glavne osi 1, na donjem rubu ploče,  $\sigma_{2d}$  - naprezanje za pravac glavne osi 2, na donjem rubu ploče  
 $\sigma_{ug}$  - uzdužno naprezanje, na gornjem rubu ploče,  $\sigma_{ud}$  - uzdužno naprezanje, na donjem rubu ploče

Tablica 7. Odnos stvarne i potrebne površine armature za postojeće stanje propisanih koeficijenata sigurnosti za ULS –PBAB87; prometno opterećenje za V300+V300

Presjek	Položaj presjeka	Količina ugrađene armature St 50-2 $A_{st}$ [cm <sup>2</sup> /m]	Količina potrebne armature St 50-2 $A_{pot}$ [cm <sup>2</sup> /m]	$A_{st}/A_{pot}$	Količina potrebne armature MA 500/560 $A_{pot}$ [cm <sup>2</sup> /m]	Koeficijent sigurnosti
$A_g$	X = 25,05 m Y = 11,20 m Z = 0,12 m	nije se moglo utvrditi na licu mjesta	5,71	-	3,13	-
$A_d$	X = 5,81 m Y = 4,00 m Z = 1,86 m	19,56	8,75	1,12	5,41	1,8

Oznake u tablici znače:  $A_g$  - površina armature u gornjoj zoni,  $A_d$  - površina armature u donjoj zoni.

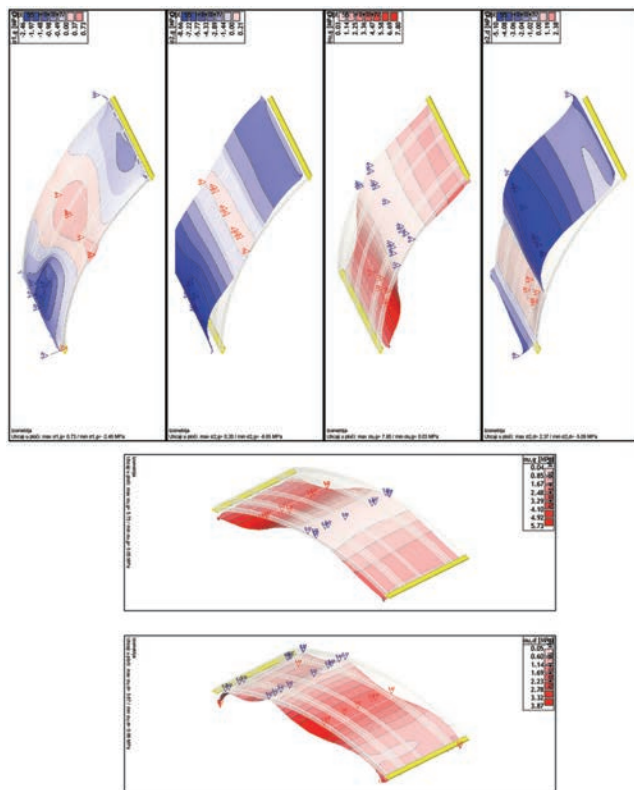
Vrijednosti glavnih vlačnih i tlačnih naprezanja prikazane su u tablici 6. Vrijednost sporednog naprezanja se proračunava iz Missove formule (1) zasnovane na hipotezi najveće energije distorzije:

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \tag{1}$$

Slika 33. prikazuje stanje naprezanja za kombinaciju opterećenja I+II+III+IV – V300+V300 jer se pokazalo da se s većim opterećenjem ne može ojačati konstrukcija a da se pri tome izvede što je moguće manja intervencija na objektu.

Odnos stvarne i potrebne površine armature za postojeće stanje propisanih koeficijenata sigurnosti i za prometno opterećenje za V300+V300 prikazano je u tablici 7.

Na osnovi proračuna je utvrđeno da će se ojačanje konstrukcije mosta s donje strane izvesti mrežama (MA 500/560) Q524 i špricanim betonom klase C 20/25, debljine 10 cm, a ojačanje s gornje strane mrežama (MA 500/560) Q524 i špricanim betonom klase C 20/25 u debljini od 5 cm. Štrcani beton se tradicionalno upotrebljava za povećanje debljine svoda radi povećanja kapaciteta nosivosti i stabilizacije te zaštite konstrukcije izložene atmosferskim utjecajima. Brojni zidani mostovi viktorskijskog stila i konstrukcija svoda u Engleskoj ojačani su na taj način [14].



Slika 33. Stanja naprezanja za kombinaciju opterećenja s vozilima V300+V300-postojeća konstrukcija: I - vlastita težina konstrukcije, II - težina nasutog materijala, III - opterećenje od gornjih slojeva i težina ograde, IV - vrsta pokretnog opterećenja



Tablica 8. Stanje naprezanja

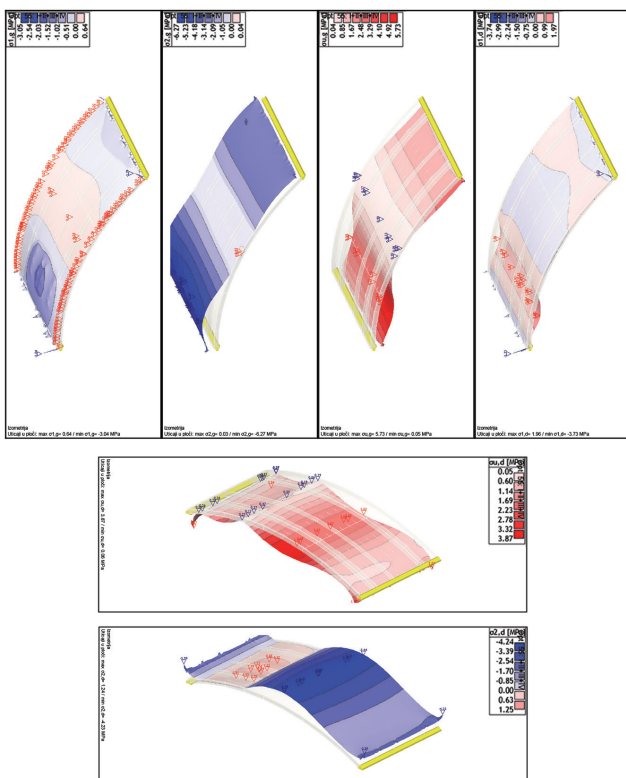
Kombinacija opterećenja	$\sigma_{1g}$ [MPa]	$\sigma_{2g}$ [MPa]	$\sigma_{1d}$ [MPa]	$\sigma_{2d}$ [MPa]	$\sigma_{ug}$ [MPa]	$\sigma_{ud}$ [MPa]
I+II+III	0,56 (V) do - 2,37 (T)	- 0,31 (T) do - 3,78 (T)	0,28(V) do -3,04(T)	0,22 (V) do - 3,54(T)	0,35 (V) do 3,69 (V)	0,04 (V) do 3,20(V)
I+II+III+IV – V300+V300	0,64(V) do - 3,04 (T)	0,03 (V) do - 6,27 (T)	1,96(V) do -3,73(T)	1,24 (V) do - 4,23(T)	0,05 (V) do 5,73 (V)	0,06 (V) do 3,87(V)

Tablica 9. Potrebna količina površine armature za postojeće stanje ULS (PBAB87) s mrežastom armaturom (MA 500/560). Prometno opterećenje za V300+V300

Presjek	Položaj presjeka	Količina ugrađene armature Č 0545 $A_{st}$ [cm <sup>2</sup> /m]	Količina potrebne armature MA 500/560 $A_{pot}$ [cm <sup>2</sup> /m]	Usvojena armatura $A_{usv}$ [cm <sup>2</sup> /m]
$A_g$	X=0,18 m Y=-0,47 m Z=0,08 m	nije se moglo utvrditi na licu mjestu	4,72	Q524 5,24
$A_d$	X=5,81 m Y=2,12 m Z=1,86 m	19,56	4,61	Q524 5,24

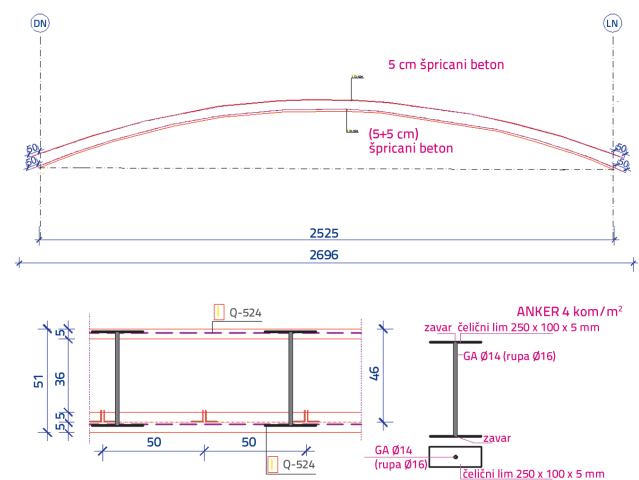
## 6.2. Statička analiza ojačane konstrukcije

Na kraju je provedena analiza sanirane konstrukcije u skladu s odobrenjem investitora, te je u tablici 8. i na slici 34. prikazano stanje naprezanja svoda, a u tablici 9. količina potrebne armature za preuzimanje vlačnih naprezanja.



Slika 34. Stanja naprezanja za kombinaciju opterećenja sa vozilima V300+V300 - sanirana konstrukcija

Slika 35. prikazuje način armiranja intradosa i ekstrasosa mosta s detaljem ankera koji služi za povezivanje donje i gornje armature.



Slika 35. Armiranje svoda i detalj ankera

## 7. Zaključak

Zaštita kulturno-povijesnog naslijeđa vrlo je značajna za očuvanje kulturnog identiteta. Cilj je zaštite ne samo očuvati kvalitetu nego i produžiti trajanje neke građevine. Nekada taj cilj može biti ostvaren pravilnim održavanjem, no ako se neprimjereno koristi, mora se pristupiti određenoj sanaciji građevine. Pri tome se mora voditi računa da se poštuju pravila Venecijanske konvencije s jedne strane, a s druge da se omogući sigurna uporaba takvih građevina. Cilj istraživanja bio je odrediti stanje konstrukcije u smislu degradacije materijala i kapaciteta nosivosti te poduzeti potrebne mjere sanacije konstrukcije.

Na osnovi pregleda mostovske konstrukcije Careva Ćuprija i rezultata ispitivanja utvrđeno je da je potreban hitan popravak i sanacija konstrukcije svoda. U tom smislu što se tiče same nosive konstrukcije predložena je sanacija upotrebom armaturnih mreža sa strane intradosa i ekstradosa s ciljem

minimalne intervencije na mostu. Također, treba izvršiti zamjenu cijele konstrukcije iznad intradosa, pri čemu u toj fazi moraju biti uključeni stručnjaci iz područja kulturno-povijesne baštine kako bi se most vratio u prvobitno stanje iz 1897. godine, kao što je prikazano na slici 4.

## LITERATURA

- [1] Venice-Charter ICOMOS [Online] [http://www.international.icomos.org/charters/venice\\_e](http://www.international.icomos.org/charters/venice_e), International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites, 1964.
- [2] Ademović, N.: Ponašanje zidanih konstrukcija u BiH pri djelovanju potresa s gledišta suvremenih teoretskih i eksperimentalnih saznanja, disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2012 (in Bosnian).
- [3] Ademović, N.: Structural and seismic behavior of typical masonry buildings from Bosnia and Herzegovina, MSc thesis. University of Minho, 2011.
- [4] <http://radiosarajevo.ba/photo/galerija/12787>
- [5] Ademović, N., privatne fotografije, 2015
- [6] Careva Ćuprija historijski spomenik, Odluka Komisije/Povjerenstva za očuvanje nacionalnih spomenika, Službeni glasnik BiH, broj 36/09.
- [7] Elaborat o stanju konstrukcije mosta Careva Ćuprija, Institut za materijale i konstrukcije od 30.01.2007, broj 244-4/06
- [8] Elaborat o izvršenim istražnim radovima sa prijedlogom sanacionih mjera mosta Careva Ćuprija u Sarajevu, IMK, Sarajevo, broj, 04-1-997-257-6/15, oktobar 2015.
- [9] Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton i priznata tehnička pravila koja su vezana uz primjenu toga pravilnika, Službeni list 11/87.
- [10] Andrade, C., Alonso, C., Gonzales, J.A.: Approach to the calculation of residual life in corroding concrete reinforcements based on corrosion intensity values, u: 9<sup>th</sup> European Congress of Corrosion, Utrecht, Neurtherlands, Oct. 1989
- [11] Projekat konstruktivne sanacije mosta Careva Ćuprija u Sarajevu, Institut za materijale i konstrukcije od 16.11.2015, broj 04-1-997-257-7/15
- [12] Tower 7, uputstvo za rad sa programom, Radimpex, 2015
- [13] Pravilnik o tehničkim normativima za određivanje veličina opterećenja mostova iz 1991. godine, Službeni list SFRJ br.1/91
- [14] Page, J.: Repair and strengthening of arch bridges, IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte, pp.565-572