

UDK 624.012.45.042.2

EKSPERIMENTALNA ANALIZA PONAŠANJA INTEGRALNOG MOSTA POD PROBNIM OPTEREĆENJEM – STUDIJA SLUČAJA (DEO 1 – ISPITIVANJE STATIČKIH KARAKTERISTIKA)

Slobodan Ranković¹, Milan Gligorijević², Milovan Stanojev³

Rezime: U radu su tretirane karakteristike integralnih (ramovskih) mostova i njihovo ponašanje pod probnim opterećenjem. Vršena je analiza odgovora konstrukcije izložene dejstvu statičkog probnog opterećenja, na primeru armiranobetonskog drumskog mosta kod Trgovišta. Upoređene su merene sa računskim vrednostima globalnih deformacija (ugiba) pod statičkim opterećenjem i definisane lokalne deformacije (dilatacije) odnosno naponi u zategnutoj armaturi i pritisnutom betonskom delu preseka na osnovu dobijenih merenja "in situ". Urađena analiza ponašanja integralne (ramovske) mostovske konstrukcije pri različitim konstelacijama statičkog probnog opterećenja.

Ključne reči: t Ispitivanje, Integralni most, armiranobetonska konstrukcija, statičko opterećenje.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE INTEGRAL BRIDGE BEHAVIOR UNDER THE TEST LOAD – CASE STUDY (PART 1 – STATIC CHARACTERISTIC TESTING)

Abstract: The paper treated with integrated features (framing) bridges and their behavior under test load. With the analysis of structural response exposed to a static load test in the case of reinforced concrete road bridge near Trgoviste. Were compared with the measured values of computation of global deformation (deflection) under static loading and defined local deformation (strain) and voltages in a tight fitting and down the concrete section of cross-section based on the obtained measurements "in situ". The analysis made integral behavior (of frame) bridge construction in various constellations static load test.

Keywords: Testing, Integral bridge, concrete structure, static load.

¹ dr Slobodan Ranković, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

² Milan Gligorijević, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

³ Milovan Stanojev, student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

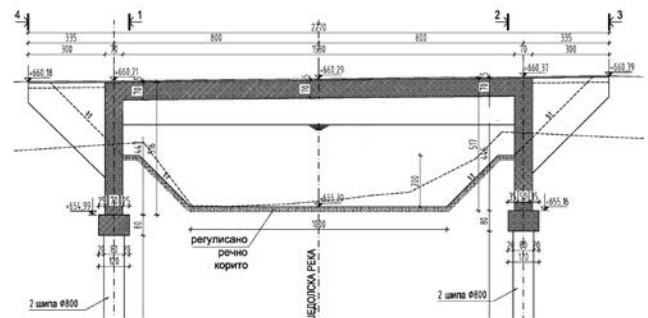
1 UVOD

Sve značajniji, gotovo presudni, faktor prilikom projektovanja, izgradnje i kasnije eksploatacije mostova je njihova trajnost, odnosno troškovi održavanja. Zbog svojih značajnih prednosti u tom pogledu, poslednjih godina svoje značajno mesto u gradnji betonskih i spregnutih mostova našli su takozvani "Integralni" mostovi. Radi se o okvirnoj (ramovskoj) konstrukciji bez dilatacija i ležišta. Upravo ovaj detalj razlog je manjih oštećenja, jer su uklonjeni glavni izvori njihovog propadanja (prodor vode i soli), čime se smanjuju troškovi održavanja. Njihova izgradnja je monolitna ili montažno monolitizirana, a dimenzije nosivih delova konstrukcije su robusnije. Statički sistem ramovskih konstrukcija sadrži rezerve u preraspodeli opterećenja i statičkih uticaja, što se i na konkretnom primeru pokazalo. Integralni mostovi se ne preporučuju kod zakosjenja većeg od 30° i kod većih raspona sa niskim krutim stubovima. Važan parametar u projektovanju i gradnji predstavljaju uslovi fundiranja, odnosno interakcija mosta sa tlom, pa tome treba posvetiti dužnu pažnju. Dužnu pažnju treba posvetiti deformacijama usled temperaturnih i reoloških faktora. Može se zaključiti da integralni mostovi imaju niz prednosti od kojih su najznačajniji: manji troškovi gradnje i održavanja, jednostavnije i brže građenje, izbegavanje nejednagog sleganja srednjih stubova, bolja preraspodela statičkih uticaja a time i veće rezerve u nosivosti. Jednu od interesantnih prednosti predstavlja mogućnost bolje preraspodele temperaturnih i reoloških uticaja kod mostova u krivini. Naime prostorno zakrivljeni mostovi imaju radijalnu deformaciju, tako da na njih manje utiču ova opterećenja.

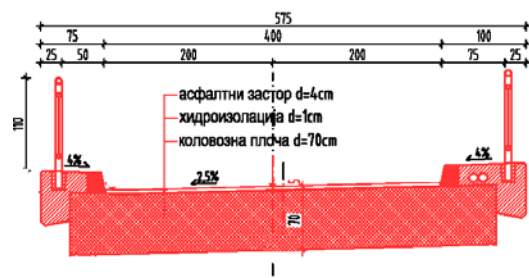
U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja integralnog mosta preko Kozjedolske reke u blizini Trgovišta koje je sprovedeno u decembru 2015. godine. Detaljan prikaz rezultata ispitivanja na uticaj statičkog i dinamičkog probnog opterećenja dat je u (1). Prvi deo rada tretira statičke uticaje i odgovor konstrukcije na njih. Ispitivanje je sprovedeno u saglasnosti sa važećim propisima za ispitivanje mostova SRPS U. M1. 046 (2). Snimanje i obrada dobijenih podataka vršeno je primenom savremene merne opreme (SPIDER 8) i odgovarajućih softverskih paketa (CATMAN).

2 KRATAK OPIS KONSTRUKCIJE

Most je drumski armiranobetonski ukupne dužine 16,70 m. Ukupna širina mosta, računajući i vence je 5,75 m. Širina kolovoza iznosi 4,0 m, a sa pešačkim stazama širina je 5,25m (0,5+4,0+0,75 m). Statički sistem je ramovska konstrukcija raspona 16,0 m. Projektovani kvalitet betona je čvrstoća pri pritisku MB30, otpornost na mraz M100. Kvalitet armature je RA 400/500-2. Kolovozna ploča mosta je puna AB ploča debljine 70 cm i širine 505 cm. Dimenzije obalnih stubova odgovaraju dimenzijama ploče sa kojom su kruto vezani. Na obalnim stubovima nalaze se krilni zidovi debljine $d=30$ cm. Dužina krilnih zidova je 3,0 m, a njihov pravac prati pravac saobraćajnice. Fundiranje mosta je na šipovima, dva para bušenih šipova $\varnothing 800$ mm, betonirana betonom MB30. Svaki od stubova se preko naglavne grede 120/80/540 cm oslanja na par šipova na osovinskom razmaku od 2,5 m. Poprečni pad kolovoza je jednostran i iznosi 2,5%. Asfaltni zastor je debljine $d=4$ cm. Pešačke staze su MB40, M200, V-6.



Slika 1: Podužni presek mosta



Slika 2: Poprečni presek mosta

3. PROGRAM ISPITIVANJA

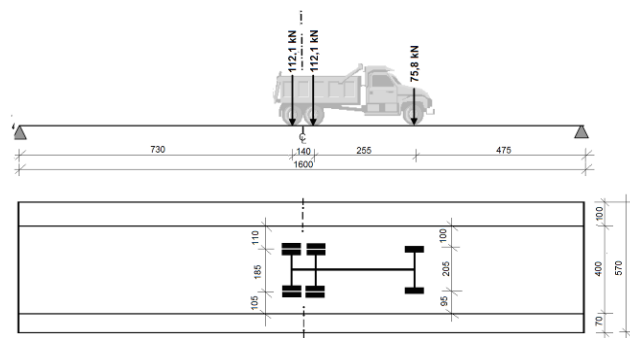
3.1 Vrsta opterećenja i koeficijent efikasnosti probnog tereta

S obzirom da je u pitanju bilo ispitivanje novog mosta radilo se redovnom ispitivanju pre puštanja mosta u saobraćaj. Aplicirano je normalno opterećenje sa koeficijentom efikasnosti

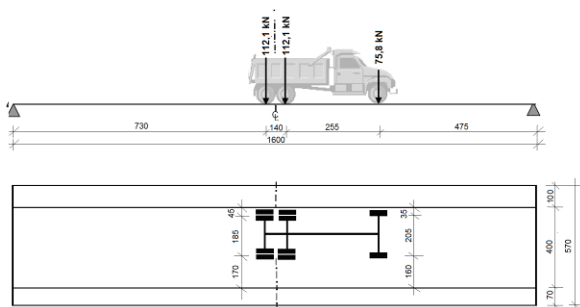
$$U = \frac{V_{st}}{V_n \cdot \varphi} = 0,52 > 0,5.$$

3.2 Faze opterećenja

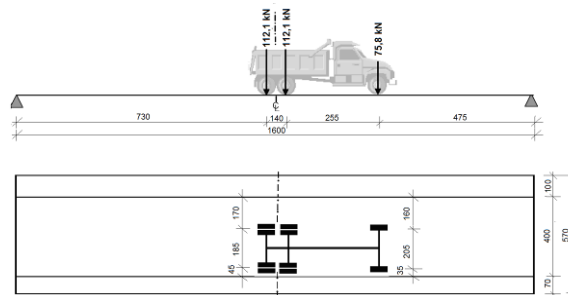
Statičko probno opterećenje aplicirano je u 3 faze sa jednim teškim vozilom (troosovinskim kamionom), koje je postavljano u polovini raspona simetrično po sredini kolovoza (I faza), antimetrično uzvodno (II faza) i antimetrično nizvodno (III faza).



Slika 3: Položaj probnog opterećenja (I faza)



Slika 4: Položaj probnog opterećenja (II faza)



Slika 5: Položaj probnog opterećenja (III faza)

3.3 Vrste i raspored mernih instrumenata

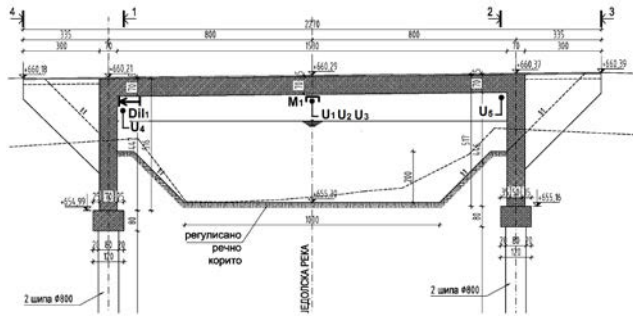
U ispitivanju mostovske konstrukcije na uticaj probnog opterećenja korišćeni su elektronski merni instrumenti, koji daju mogućnost praćenja i statičkih i dinamičkih karakteristika most.

Za merenja koja definišu elastičnu liniju nosača u podužnom smislu odnosno za određivanje deformacija (ugiba) korišćeni su induktivni pretvarači pomeranja (LVDT) V50 i V20.

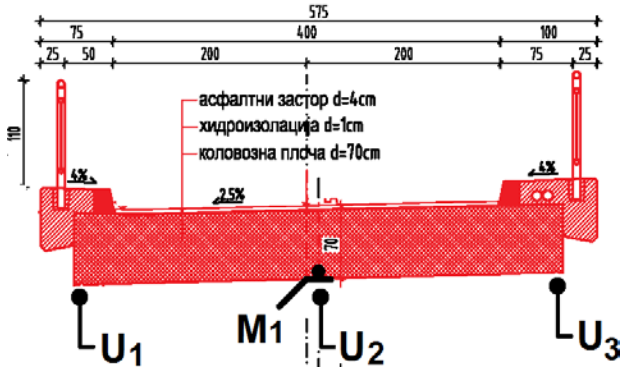
Određivanje dilatacija u armaturi vršeno je putem elektro otpornih tenzometara (mernih traka) Hottinger sa bazom od 6 mm i podatkom $p=1 \times 10^{-6}$ uz automatsku eliminaciju uticaja temperature. Dilatacije u betonu merene su dilatometerom sa bazom od 100 mm i podatkom $p=10 \times 10^{-6}$ korišćenjem elektronskih pretvarača pomeranja (LVDT) kao merača izduženja. Za snimanje signala statičkog i dinamičkog odgovora (odziva) mostovske konstrukcije korišćen je višekanalni akvizicijski sistem SPIDER 8 proizvodnje HBM (Hottinger Baldwin Mestechnik) povezan sa personalnim računarom. Obrada podataka izvršena je originalnim HBM softverskim paketom CATMAN.

Raspored mernih instrumenata bio je uslovljen statičkim sistemom i tipom konstrukcije, kao i realnim uslovima na terenu, a izvršen je u skladu sa principom opasaivanja preseka mernim instrumentima. Korišćena je oprema za praćenje deformacija i naprezanja u karakterističnim presecima u kojima se očekuju maksimalni uticaji (polovini raspona i u neposrednoj blizini oslonca). Za praćenje deformacija (ugiba) konstrukcije pod statičkim probnim opterećenjem u polovinama raspona na nezavisnoj skeli postavljena su tri pretvarača pomeranja V50, koji su beležili statičke i dinamičke ugibe. Nad osloncima, ugibi su određivani pretvaračima pomeranja V20. Merne trake su postavljene na podužnoj (glavnoj) armaturi $\varnothing 25$ mm na polovini raspona. U pritisnutoj

zoni betona u neposrednoj blizini krutog ugla ramovske konstrukcije (osloncu) postavljen je dilatometer (prema šemi instrumenata). Ovi davači korišćeni su za određivanje dilatacija pri statičkom i dinamičkom opterećenju.



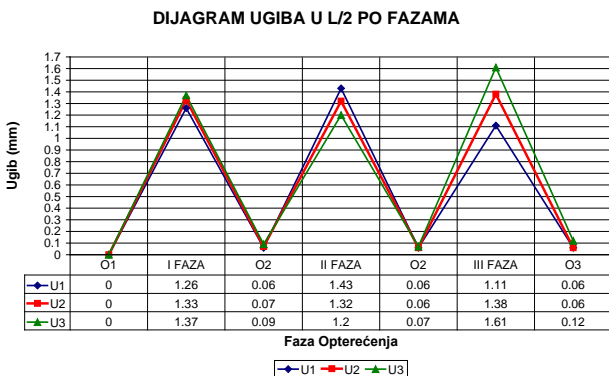
Slika 6: Raspored instrumenata u podužnom pravcu



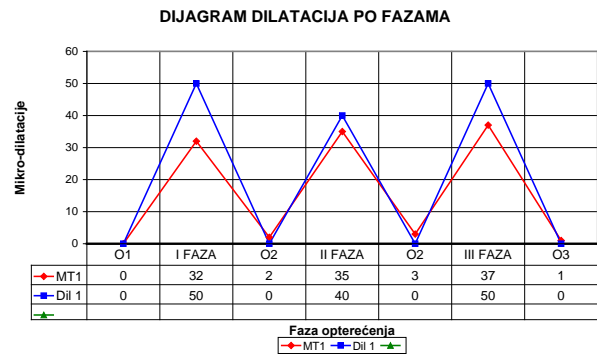
Slika 7: Raspored instrumenata u poprečnom pravcu

4. REZULTATI ISPITIVANJA

Rezultati statičkih ispitivanja, odnosno merenih ugiba i dilatacija, pri statičkom probnom opterećenju, prikazani su dijagramima na slikama 8 i 9 redom.

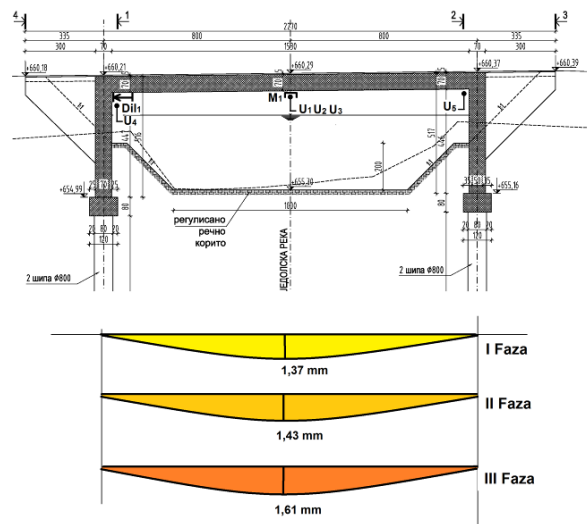


Slika 8: Mereni ugibi pri statičkom opterećenju

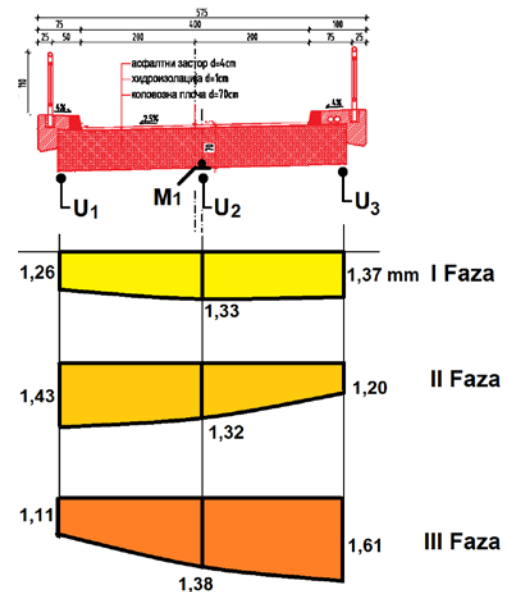


Slika 9: Merene dilat. pri statičkom opterećenju

Grafički prikaz merenih ugiba (izražen u mm) u podužnom i potrečnom pravcu, po fazama, prikazan je na slikama 10 i 11 redom.



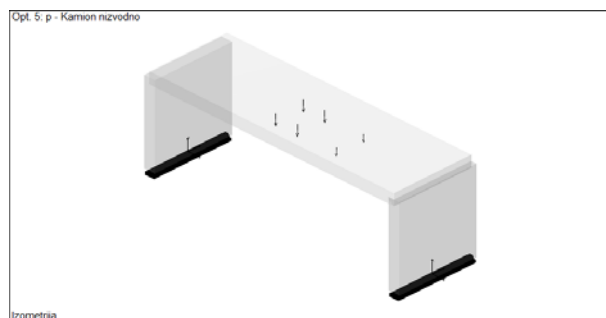
Slika 10: Mereni ugibi u podužnom pravcu



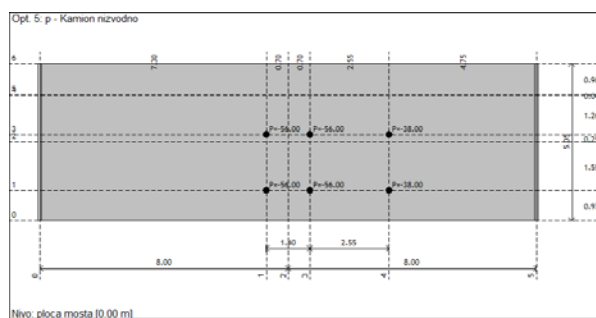
Slika 11: Mereni ugibi u poprečnom pravcu

5. RAČUNSKE VELIČINE

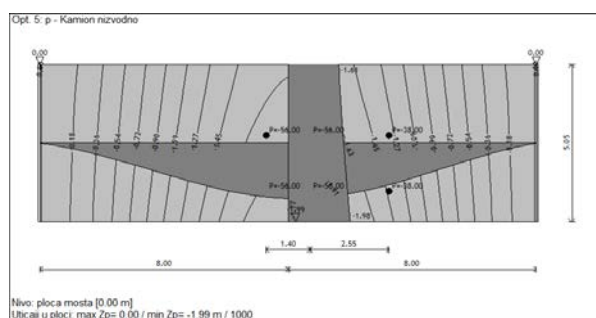
Kontrolni statički proračun, za aplicirano probno opterećenje (kamion), sproveden je primenom programa Tower. Za jednu od konstelacija opterećenja (III faza) prikazani su rezultati (grafički) računskih ugiba i momenata u kolovoznoj ploči mosta, koji su korišćeni za poređenja sa merenim vrednostima.



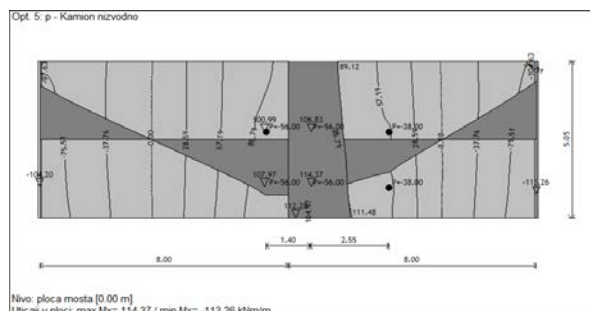
Slika 12: Izometrijski prikaz računskog modela



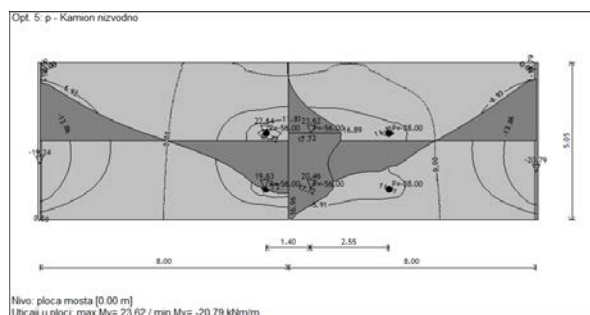
Slika 13: Prikaz rasporeda opterećenja u osnovi kolovozne ploče (III faza)



Slika 14: Dijagram računskih ugiba (III faza)



Slika 15: Dijagram momenata Mx (III faza)



Slika 16: Dijagram momenata My (III faza)

6. ANALIZA REZULTATA

Poređenje merenih i računskih vrednosti ugiba pri statičkom opterećenju dato je tabelarno i definisan je ostvareni koeficijent sigurnosti $\eta = \frac{U_{rač}}{U_{mer}}$.

Tabela 1 - Uporedni pregled računsk. i merenih vrednosti ugiba

FAZE OPTEREĆENJA	VRSTA OPTEREĆENJA		OSTVARENI KOEFIC. SIGURNOSTI $\eta = \frac{U_{rač}}{U_{mer}}$
	RAČUNSKE VREDNOSTI UGIBA ZA OPTEREĆENJE OD PROB. TERETA	MERENE VREDNOSTI UGIBA ZA OPTEREĆENJE OD PROB. TERETA	
I FAZA	1,79 mm	1,37 mm	1,30
II FAZA	1,98 mm	1,43 mm	1,38
III FAZA	1,98 mm	1,61 mm	1,23

Na osnovu poređenja rezultata merenih i računskih veličina ugiba za aplicirano probno opterećenje može se izvući sledeći zaključak:

Merene vrednosti ugiba manje su od računskih, a ostvareni koeficijent sigurnosti od

$$\eta = \frac{U_{rač}}{U_{mer}} = 1,23 \div 1,38 > 1,0$$

dokazuje da mostovska konstrukcija ispunjava uslove za tehnički ispravnu konstrukciju, odnosno da ima rezervu od 23% do 38% u pogledu ostvarenog globalnog koeficijenta sigurnosti po ugibima, koji predstavlja integralni parametar i objedinjuje uticaje opterećenja, geometrije i krutosti konstrukcije mosta, te je stoga najmeritorniji pokazatelj o ponašanju konstrukcije kao celine. Zaostale vrednosti ugiba, posle rasterećenja, manje su od maksimalno propisanih 25% i pokazuju elastično ponašanje konstrukcije.

Mereni naponi u armaturi i betonu takođe su manji od računskih, pa i po ovom parametru konstrukcija zadovoljava.

7. OCENA REZULTATA – ZAKLJUČAK

Ispitivanjem na uticaj statičkog probnog opterećenja armiranobetonskog drumskog integralnog mosta utvrđeno je: 1) da je koeficijent sigurnosti po ugibima ($\eta > 1$); 2) Da je maksimalni mereni ugib $y_{mer} = 1,61$ mm i da je mnogo manji od dozvoljenih $l/300 = 53,3$ mm; 3) da je zaostali ugib 0,12 mm ili 7,4% od maksimalno merenog, što je manje od dozvoljenih 25% za AB konstrukcije i dokazuje elastično ponašanje noseće konstrukcije; 4) da su maksimalne merene dilatacije u zategnutoj armaturi ($\epsilon_a = +37 \times 10^{-6}$) odnosno naponi ($\sigma_a = +78$ daN/cm²) i betonu ($\epsilon_b = -50 \times 10^{-6}$) odnosno ($\sigma_b = -16$ daN/cm²), daleko manji od dozvoljenih, 5) da nije uočena pojava prslina u betonu tokom opterećenja.

Sve ove statičke karakteristike ispitivanog integralnog mosta ukazuju na zaključak da se radi o tehnički ispravnoj konstrukciji koja ima više konstruktivno i tehnološki povoljnih karakteristika. To takođe upućuje na zaključak, da integralne mostove treba praktikovati mnogo češće.

8. FOTO DOKUMENTACIJA



Slika 17: Izgled mosta (uzvodna strana)



Slika 17: Raspored instrumenata u polovini raspona (U1, U2, U3 i M1).



Slika 18: I faza opterećenja (simetrija-centralno)



Slika 19: Položaj ugibomera (U2) i merne trake (M1) na ploči mosta u polovini raspona

LITERATURA

- [1] Izveštaj o ispitivanju IK 25/15, Laboratorija za ispitivanje konstrukcija, GAF Niš, 2015.
- [2] SRPS U.M1.046, 1984: *Ispitivanje mostova probnim opterećenjem*.
- [3] Radojković M.: *Ispitivanje konstrukcija*, Građevinski fakultet, Beograd, 1979.