

DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2021.07>

## POSTAVLJANJE OPREME ZA MONITORING NA MOSTU VRANDUK 1

### ***MONITORING EQUIPMENT INSTALLATION ON VRANDUK 1 BRIDGE***

**Marino Jurišić<sup>1</sup>, Radoslav Markić<sup>2</sup>**

(1) Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet, Matice hrvatske b.b., Mostar, [marino.jurismic@gf.sum.ba](mailto:marino.jurismic@gf.sum.ba)

(2) Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet, Matice hrvatske b.b., Mostar, [radoslav.markic@gf.sum.ba](mailto:radoslav.markic@gf.sum.ba)

#### **Sažetak**

Ovaj rad prikazuje postavljanje opreme za monitoring na mostu Vranduk 1 i predstavlja dio ispitivanja koja se rade u sklopu doktorskog rada. Na početku rada prikazane su osnovne informacije o mostu. Na most je postavljeno ukupno osam traka za mjerenje relativnih deformacija, i to pet traka na beton i tri trake na čelik. Četiri trake postavljene su na beton u unutarnjim rubovima poprečnoga presjeka, a jedna traka postavljena je za kompenzaciju temperaturnih promjena na kocku dimenzija 15 x 15 x 15 cm. Dvije trake su postavljene na žice u kablovima na prednapinjanje, a jedna je postavljena na komad žice za prednapinjanje dužine cca 5cm za kompenzaciju temperaturnih promjena. Zatim su sve trake nastavnim kablovima spojene u mjerni uređaj koji se nalazi u baznom segmentu mosta. Obzirom da se monitoring radi za fazu gradnje planirano trajanje je četiri mjeseca.

*Ključne riječi: monitoring, mostovi, relativne deformacije, slobodno konzolna gradnja*

#### **Abstract**

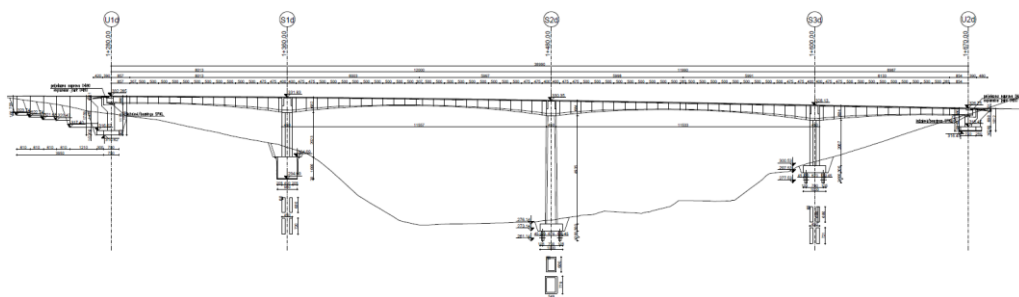
This paper presents monitoring equipment installation on Vranduk 1 bridge which is a part of a series of measurements that are being conducted for a doctoral thesis. Firstly, basic information about the bridge are shown. Total of eight strain gauges are installed on the bridge, five on concrete and three on steel. Four gauges are installed on concrete on edges inside the superstructure cross-section, and one gauge is installed on a concrete cube measuring 15x15x15cm for temperature compensation. Two gauges are installed on wires in prestressing cables, and one is installed on a piece of prestressing wire roughly 5cm long to compensate temperature. All strain gauges are inside the pierhead connected to measuring device using connecting cables. The monitoring will take place in construction phase over the course of four months.

*Keywords: monitoring, bridges, strain, balanced cantilever construction*

## 1. Uvod

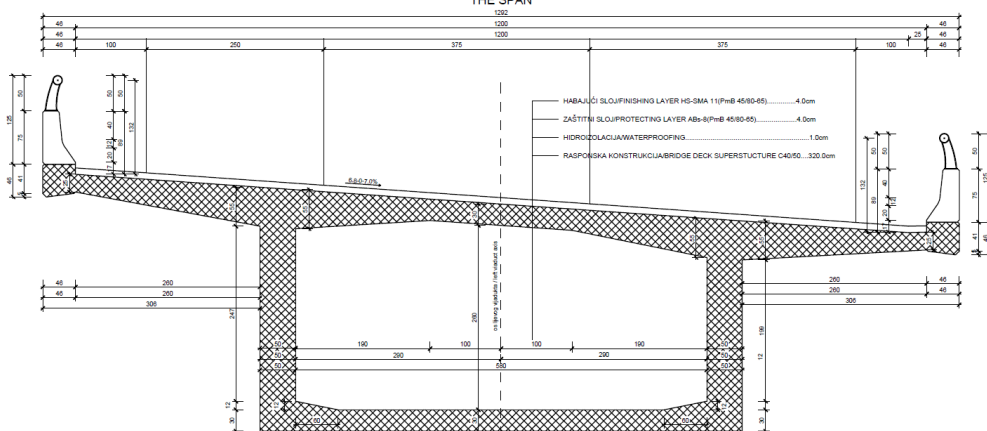
Most Vranduk 1 gradi se na autocesti koridora Vc, dionica Poprikuše – Zenica Sjever (Donja Gračanica), poddionica Vranduk – Ponirak. Trasa poddionice počinje u dolini rijeke Bosne koliko to dopuštaju tehnički elementi kao i uvjeti na terenu jer dolinu rijeke gotovo u potpunosti zauzimaju postojeća cesta Doboj – Zenica i pruga Vrhpolje/Samac – Sarajevo te više lokalnih cesta. Vranduk 1 sastoji se od lijevoga i desnoga mosta gdje svaki smjer autoceste ima zasebnu konstrukciju gornjega i donjega ustroja. Monitoring je postavljen na desnome mostu Vranduk 1. Na desnome mostu, počevši od stacionaže 1 + 280,00 u duljini od 76,292 m do stacionaže 1 + 356,292, konstantna je lijeva krivina polumjera 755,75 m koja se nastavlja u prijelaznu krivinu (klotoida) dužine 92,5 m do stacionaže 1 + 448,792. Nakon toga ide kratki pravac dužine 11,257 m do stacionaže 1 + 460,049. Iza se nastavlja prijelazna krivina u dužini od 86 m do stacionaže 1 + 546,049 koja prelazi u konstantnu desnu krivinu polumjera 694 m na dužini od 123,951 m do kraja mosta do stacionaže 1 + 670,00. Vitoperenje se obavlja na potezu od 50 m, tj. po 25 m lijevo i desno od kratkoga pravca s poprečnoga nagiba 2,5 % prema lijevo u poprečni nagib 2,5 % prema desno. Niveleta je na početku skoro u tjemenu (0 %) i postupno dolazi do pada od 1,97 %.

Statički sustav mosta okvirna je konstrukcija (rasponska je konstrukcija prednapeta), ima tri stupa i četiri polja s rasponima  $80\text{ m} + 120\text{ m} + 120\text{ m} + 70\text{ m} = 390\text{ m}$ . Rasponska je konstrukcija sandučastoga poprečnog presjeka promjenjive visine od 6,80 m na stupu do 3,20 m u sredini raspona. Gornja je ploča debljine 0,30 m sa zadebljanjima uz rebro. Donja je ploča promjenjive debljine od 1,00 m nad stupom do 0,30 m u polju. Rebra su vertikalna i promjenjive debljine, 0,65 m nad osloncem, 0,50 m nakon prva tri segmenta. Širina je gornje ploče 12,92 m, a širina donje ploče 6,80 m. Bazni je segment dužine 8,00 m, prva dva segmenta dužine su 4,75 m, a ostali segmenti (zaključno s dvanaestim) dužine su 5,00 m. Spojni segmenti dužine su 3,00 m. Stupovi S1 i S3 dvodijelni su AB stupovi promjenjivoga poprečnog presjeka sa širinom zidova 6,80 m i nagibom vanjskih stranica stupa 1 : 100 od vrha stupa prema temelju. Zidovi stupa S1 debeli su 1,20 m, a stupa S3 1,40 m. Stup S1 visok je 20,23 m, a stup S3 20,67 m. Stup S2 sandučastoga je poprečnog presjeka s promjenjivim dimenzijama i stijenkom debljine 0,70 m. Stup je u vrhu dimenzija 6,80 x 4,50 m i širi se prema temelju u nagibu 1 : 100. Na dnu je dimenzija 7,79 x 5,49 m. Stup S2 visok je 49,35 m. Most je zanimljiv jer se izvodi tehnologijom slobodne konzolne gradnje, što podrazumijeva da se prvo napravi stup mosta, a zatim se na vrhu stupa napravi bazni segment. Nakon završenoga baznog segmenta podiže se oprema za slobodnu konzolnu gradnju (krletke) koja se montira i drži oplatu za daljnje segmente. Potom se uradi armatura pojedinoga segmenta i postave cijevi za prednapinjanje. Segment se betonira i nakon očvršćivanja betona na 70 % tlačne čvrstoće prednapinju se kablovi konzolne gradnje (kablovi u gornjoj ploči). Nakon prednapinjanja krletka se gura naprijed i proces se ponavlja istovremeno s obje strane konzole stupa dok se ne izradi i posljednji segment. Nakon izrade posljednjega segmenta na dvije susjedne konzole jedna se krletka pomiče i radi se spojni segment koji ujedinjuje konstrukciju. Poslije ovoga prednapinju se kablovi u poljima mosta koji osiguravaju nosivost konstrukcije na korisne terete. U mostu ima ukupno 120 kablova konzolne gradnje (40 kablova iznad svakoga stupa). U srednjim poljima ima po 16 kablova koji se prednapinju nakon spajanja polja, a u krajnjim poljima po 12 kablova. Dijelovi konstrukcije uz upornjake U1 i U2 rade se na skeli. U nastavku su prikazani uzdužni presjek mosta i karakteristični presjek rasponske konstrukcije.



Slika 1. Uzdužni presjek mosta

KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJEK / CHARACTERISTIC CROSS SECTION  
LIJEVI (DESNI) MOSTA VRANDUK 1 / LEFT (RIGHT) BRIDGE VRANDUK 1 M 1:25  
NORMALNI POPREČNI PRESJEK MOSTA U POLJU / NORMAL CROSS SECTION OF THE BRIDGE IN  
THE SPAN



Slika 2. Karakteristični poprečni presjek rasponske konstrukcije

## 2. Oprema i plan za monitoring

U izvedbi se koristila oprema njemačkoga proizvođača HBM. Mjerne trake za relativnu deformaciju rade na principu promjene otpora. Traka se jakim ljepljivom veže za konstrukciju i deformira skupa s njom. Pri deformaciji mjerne trake mijenja se i otpor kroz traku, a ako se promjena otpora pomnoži s čimbenikom trake, dobije se promjena relativne deformacije. Sve mjerne trake za relativnu deformaciju jednoosne su i imaju početni otpor 120 Ω. Za beton su korištene mjerne trake s bazom dužine 50 mm zbog nehomogene prirode materijala. Za čelik su korištene mjerne trake s bazom dužine 3 mm kako bi cijela mjerna traka stala na širinu čelične žice. Korišten je uređaj *QuantumX 840A* koji ima osam ulaza te podržava konfiguracije punoga mosta i polumosta, ali ne i četvrtine mosta što je korišteno u ovome slučaju (pojedinačna mjerna traka). Zato su se izradili posebni adapteri tako što su se unutar 15-pinskog konektora postavili precizni metal-film otpornici od 120 Ω koji skupa s mjernom trakom čine konfiguraciju punoga mosta. Konektor je postavljen jako blizu trake (15 – 20 cm) kako bi se većim dijelom umanjile greške mjerenja uslijed dodatnoga otpora i promjene otpora kablova koji vode od konektora do mjerne trake.

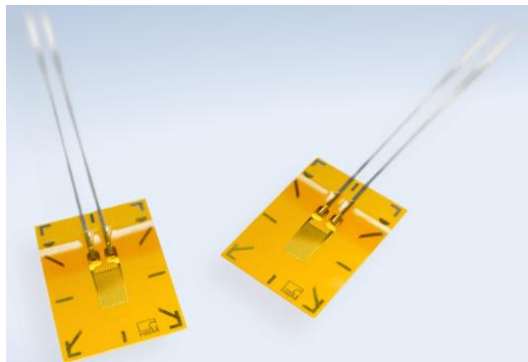
Sve su trake unaprijed pripremljene. Ovisno o mjernome mjestu napravljeni su nastavni kablovi koji na jednome kraju imaju muški, a na drugome ženski 15-pinski konektor.

Duljine su nastavnih kablova 15 – 22 m. Sve se trake preko nastavnih kablova spajaju u *QuantumX* univerzalno mjerno pojačalo koje ima točnost do 0,05 % i može mjeriti i do 40 000 uzoraka u sekundi. Pojačalo je povezano na računalo na kojem je instaliran program *CatmanEasy* koji služi za prikupljanje i obradu podataka. Uređaj i računalo povezani su na rezervno napajanje koje je povezano u mrežu napona 220 V.

Monitoring je započeo 3. lipnja 2021., planirano je trajanje do 3. listopada 2021. godine, a dio je više monitoringa koji će se iskoristiti za izradu doktorskoga rada. U tome razdoblju postupno su napravljeni svi segmenti konzolnom gradnjom nakon čega će se uraditi spojni segment, pri čemu je ostavljeno dovoljno vremena za monitoring spojene konstrukcije. Prate se promjene relativnih deformacija betona i čelika za prednapinjanje u presjeku uslijed fazne gradnje. Karakteristični koraci u slobodnoj konzolnoj gradnji su: pomak krletke, postavljanje oplata i armature, betoniranje segmenta i očvršćavanje betona, prednapinjanje kablova konzolne gradnje te ponovno pomak krletke. Cilj je izmjeriti promjene relativnih deformacija tijekom gradnje cijele konzole i nakon spajanja konstrukcije te iste usporediti s proračunskim modelima. Preko modula elastičnosti može se doći do naprezanja u betonu i čeliku. Osim relativnih deformacija na mostu se prate geodetske visine točaka na rubu svakoga segmenta tijekom cijele gradnje. I ove stvarne vrijednosti vertikalnih pomaka usporedit će se s već proračunatim nadvišenjima mosta i ponašanjem tijekom gradnje.



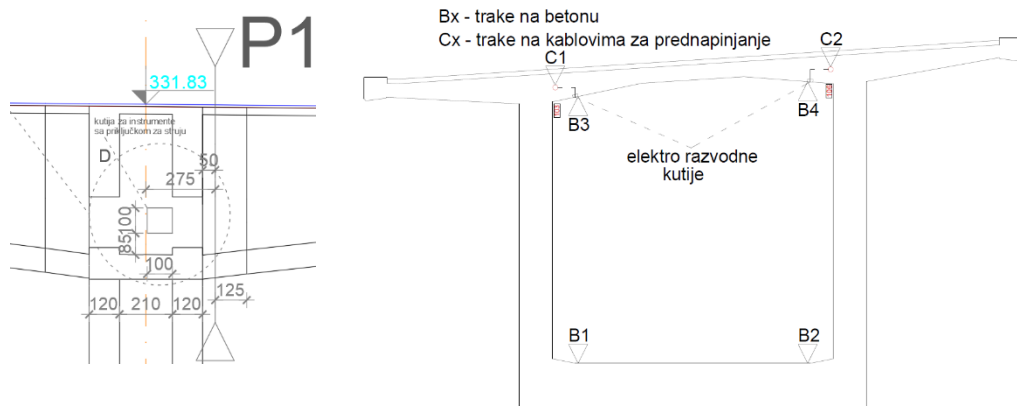
Slika 3. *QuantumX* – univerzalno mjerno pojačalo



Slika 4. Mjerne trake

### 3. Postavljanje mjernih traka

Mjerne trake za beton i čelik postavljene su u istome presjeku mosta radi lakše usporedbe rezultata. Presjek je pomaknut 50 cm od ruba dijafragme kako bi se izbjegao utjecaj dijafragme na relativnu deformaciju. Ukupno je postavljeno osam mjernih traka. Pet traka postavljeno je na beton, od čega su četiri postavljene na konstrukciju za mjerenje relativnih deformacija uslijed fazne gradnje, a jedna na tehnološku betonsku kocku dimenzija 15 x 15 x 15 cm za mjerenje relativnih deformacija uslijed promjene temperature. Tri trake postavljene su na čelik, od kojih su dvije postavljene na žice u kablovima za prednapinjanje koje mjere promjenu relativne deformacije čelika za prednapinjanje, a jedna na komad žice dužine otprilike 5 cm koja mjeri promjenu relativne deformacije uslijed promjene temperature.



**Slika 5.** Presjek u kojem su postavljene mjerne trake i položaj u presjeku

Mjerne trake lijepljene na beton imaju bazu dužine 5 cm. Lijepe se tako da se prvo izbrusi površina betona kako bi se dobila ravnija površina. Ovo je posebno potrebno na donjoj ploči zbog velike hrapavosti površine betona. Na gornjoj ploči beton je relativno ravan jer je stajao na oplati. Nakon brušenja postavlja se kuka koja služi za pridržanje trake i adaptera prije lijepljenja kao i osiguranje da se traka neće lako pokidati zbog vjetra ili slučajnoga povlačenja tijekom monitoringa. Traka i adapter vežu se za kuku plastičnim vezicama. Nakon toga se alkoholom čisti površina na koju će se zalijepiti traka. Dvokomponentno ljepilo miješa se i nanosi na površinu betona, nakon čega se mjerna traka postavi na ljepilo. Višak ljepila istisne se i čeka se kako bi se ljepilo očvrstnulo. Nakon što ljepilo očvrstne, na traku se stavlja zaštitna masa koja štiti od vremenskih prilika i blagih udaraca. Zaštitna masa pokriva traku cijelom dužinom, sve dok ne dođe do zaštićenoga kabela adaptera. Poslije ovoga silikonira se rub zaštitne mase kako bi se traka u potpunosti izolirala.



**Slika 6.** Postavljena mjerna traka za beton

Mjerne trake koje su se lijepile na čelik imaju bazu dužine 3 mm. Čelik je čist te nije bilo potrebe za brušenjem pa se alkoholom očistilo područje oko žice. Trake i adapteri pričvrstili su se plastičnim vezicama na okolnu armaturu. Na traku je nanoseno trenutačno ljepilo na bazi cijanoakrilata. Na traku je zatim postavljena zaštitna masa te je provjeren otpor.



**Slika 7.** Postavljena mjerna traka za čelik

Nakon postavljanja mjernih traka adapteri su nastavnim kablovima spojeni na uređaj koji se nalazi unutar baznoga segmenta. Nastavni kablovi traka za beton provučeni su kroz otvore u dijafragmi, a nastavni kablovi traka za čelik provučeni su kroz plastične cijevi ostavljene neposredno pored kabla za prednapinjanje.



**Slika 8.** Kutija s mjernim pojačalom i računalom

## 4. Zaključak

Monitoring mosta Vranduk 1 Desno trebao bi dati rezultate koji će nakon usporedbe s više računskih modela pokazati koliko dobro modeli opisuju ponašanje konstrukcije. S obzirom na to da se monitoring paralelno radi na više slobodno konzolnih mostova različitih raspona i karakteristika, rezultati se mogu iskoristiti za kalibraciju postojećih modela ili za razvijanje novoga.

## 5. Literatura

- [1] Azman, M.K.: Deflection monitoring of cast in-situ balanced cantilever prestressed concrete box girder bridge, 2012
- [2] Jurišić, M., Džolan, A.: Program of measuring device placement on bridge Grabovina, Zajednički temelji 2019, Sedmi skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti, 55-60, 2019, ISBN 978-953-6953-51-6
- [3] HBM: Test & Measurement | Load Cell | Transducer | Strain Gage, <https://www.hbm.com/en/>, pristupljeno: 31. 8. 2021.