

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

dr. sc. Mladen Kustura, dipl. ing. građ.

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
izvanredni profesor, mladen.kustura@fgag.sum.ba

dr. sc. Marino Jurišić, mag. građ.

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, docent
marino.jurasic@fgag.sum.ba

dr. sc. Goran Šunjić, dipl. ing. građ.

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, izvanredni profesor
goran.sunjic@fgag.sum.ba

Sažetak: Članak prikazuje statičko i dinamičko ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj preko rijeke Save. Uz prikaz osnovnih konstruktivnih elemenata mosta, u članku je ukratko opisan način ispitivanja, date su osnovne karakteristike primijenjene opreme korištene za ispitivanje te su prikazani neki od rezultata provedenog ispitivanja, uz analizu i usporedbu izmjerenih parametara. Na kraju rada, kroz zaključak je pojašnjeno kako je utvrđena visoka razina podudarnosti izmjerenih parametara te je verificirana izvedba građevine.

Ključne riječi: mostovi, ispitivanje probnim opterećenjem, frekvencije osciliranja, pomaci, naprezanja

Load testing of the Svilaj interstate bridge

Abstract: The paper presents static and dynamic load testing of the Svilaj interstate bridge over the Sava River. In addition to presenting the basic structural elements of the bridge, the paper briefly describes the testing method, provides the basic characteristics of the equipment used for testing, and presents some of the results of the conducted testing along with an analysis and comparison of the measured parameters. At the end of the paper, the conclusion explains that a high level of agreement between the measured parameters was determined and the performance of the structure was verified.

Key words: bridges, load testing, oscillation frequencies, displacements, stresses

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

1. UVOD

Predmet ovoga rada je prikaz rezultata dobivenih probnim ispitivanjem međudržavnog mosta Svilaj preko rijeke Save koji je sastavni dio međunarodnog paneuropskog cestovnog koridora Vc Budimpešta - Beli Manastir - Osijek – Sarajevo - Ploče (slika 1.). Koridor Vc dio je europske mreže autocesta s oznakom E-73 koja sjever Europe povezuje s Jadranom i predstavlja okosnicu cestovne infrastrukture u istočnom dijelu Hrvatske. Most preko rijeke Save ujedno je i kontaktna točka autocestovne mreže Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine [1]. Radove na izgradnji mosta izvodila je tvrtka Hering d.d. Široki Brijeg. Započeli su u rujnu 2016., a završeni u srpnju 2020. godine (slika 2.). 30. rujna 2021. godine pušten je u promet [2].



Slika 1. - Lokacija mosta Svilaj na koridoru Vc



Slika 2. - Most Svilaj

Normom oznake U.M1.046 iz 1984 godine, preuzetom iz JUS standarda [3] koji važeći u Bosni i Hercegovini, odnosno HRN U.M1.046 [4] koja je važeća u Republici Hrvatskoj vrši se probno ispitivanje cestovnih mostova statičkim i dinamičkim opterećenjem te prema istim učinak probnog opterećenja mora u određenoj mjeri odgovarati učinku pokretnog opterećenja primijenjenog u statičkom proračunu odnosno u skladu s navedenom normom [5].

Sukladno važećim pravilnicima ispitivanje mostova probnim opterećenjem jedan je od uvjeta za tehnički pregled i izdavanje uporabne dozvole a odnosi se na cestovne mostove raspona većeg od 15 metara i željezničke mostove raspona većeg od 10 metara. Ispitivanje probnim opterećenjem mosta Svilaj proveli su djelatnici Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Mostaru u suradnji s djelatnicima Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu. Ispitivanjem se utvrđuje odgovor konstrukcije na određena statička i dinamička opterećenja koja su predviđena projektom [6].

2. OPIS KONSTRUKCIJE MOSTA

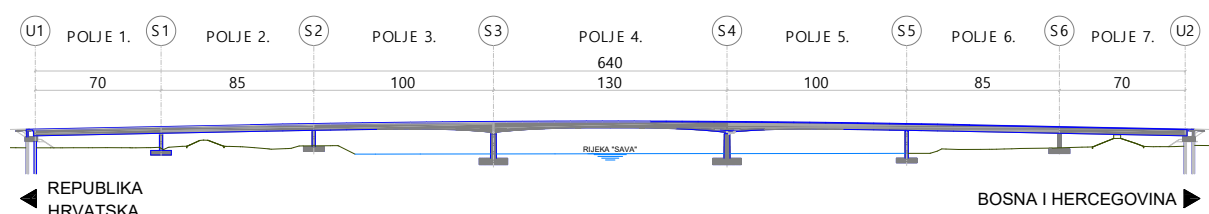
Opis konstrukcije mosta preuzet je iz Tehničkog izvješća projekta mosta kojega je izradilo poduzeće „IPZ“ Zagreb.

Rasponski sklop mosta je kontinuirana greda preko sedam polja sa dvostruko spregnutim poprečnim presjekom sastavljenim od čeličnog sanduka i betonske donje (uz oslonce) i gornje (kolničke) ploče. Izvedene su dvije istovjetne građevine za lijevi i desni trak autoceste. Otvori rasponskog sklopa su $70.0 + 85.0 + 100.0 + 130.0 + 100.0 + 85.0 + 70.0 = 640.0\text{m}$ između osi upornjaka (slika 3.). Ukupna širina mosta je $13.5 + 2.0 + 13.5 = 29.0\text{m}$. Predviđene su tri vozne

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

trake po 3.5m bez zaustavne trake, sa zaštitnim prometnim pojasevima od 0.5m sa obje strane kolnika, tako da je širina asfaltnog zastora 12.0m. Slijedi granitni rubnjak i betonska monolitna pješačka staza ukupne širine 0.75m, a na mjestu rasvjetnog stupa proširena dodatnih 0.45m. Na krajevima konzola predviđena je kruta odbojna ograda tipa BN4 širine 0.40m, visine 1.0m. Na mostu nije predviđen pješački promet.



Slika 3. - Uzdužni presjek mosta Svilaj

Cijeli most je jedna dilatacijska cjelina, prijelazne naprave nalaze se samo na upornjacima. Rasponski sklop ima po jedan masivni stup u stupaštu na koji se oslanjaju dva ležaja. Ležajevi su izgrađeni kao lončasti, svi uzdužno pomični osim na stupu S3, koji sam prima spora opterećenja od temperature i reologije.

Za poprečni presjek kontinuiranog sklopa odabran je spregnuti sandučasti nosač promjenjive visine od 3300 do 5500mm. Sandučasti presjek je s horizontalnom donjom pločom ukrućenom torzijski krutim trapeznim rebrima, dok je gornja betonska ploča poprečno nagnuta 2.5%. Debljina donje ploče varira od 16 do 50mm (nad stupovima). Trapezasti oblik poprečnog presjeka osigurava se poprečnim okvirima na svakih cca. 4000mm i sa spregovima na svakih cca. 12000mm. Konstrukcija se oslanjanja na lončaste ležajeve, koji se postavljaju na kvadere od sitnozrnog betona.

Kvaliteta čelika je S355J2G3 za sve dijelove konstrukcije, beton kolničke ploče je klase C35/45, beton donje ploče je klase C40/50, armatura je kvalitete B500B, a čelik za prednapinjanje je kvalitete Pst 1660/1860 MPa.

Poprečno prednapeta AB kolnička ploča urađena je *in situ* u punoj širini od 12.9m. Iznad hrpta glavnog nosača debljina ploče iznosi 40cm, u sredini polja 28cm, a na kraju konzole 25cm. Ploča se spreže sa čeličnim sandukom preko moždanika koji se zavaruju na pojasne lamele sanduka. Glavna armatura u ploči je u poprečnom smjeru mosta, a iznad srednjih ležaja (gdje je ploča u vlaku) u uzdužnom i poprečnom smjeru. Kolnička ploča prednapeta je u poprečnom smjeru nespregnutim kabelima 4x0.62", na razmaku 0.5m.

Urađeno je šest stupnih mjesta, različitih dimenzija, ovisno o visini, rasporedu ležajeva, i opterećenju. Stupovi su punog eliptičnog presjeka, dimenzija prilagođenih dimenziji ležajeva na pojedinim pozicijama, a riječni stupovi imaju stranice izvedene u nagibu, zbog estetskih razloga. Izvedeni su zajednički temelji za stupove S1 i S6, S2 i S5 te S3 i S4 sa 24 do 32 pilota promjera 150cm, duljine L=18.0m.

Upornjaci su monolitne izvedbe, potkovastog oblika, jedinstveni za oba mosta, sa ugrađenim prijelaznim napravama. Temelj je pravokutni, dimenzija 28.2 x 6.95 x 2.5m, s12 pilota promjera 150cm, duljine 18.0m. Ležajna ploha je zbog odvodnje u nagibu 2% prema prsnom zidu. Prsni zid je debljine 80cm, isto kao i krila.

3. PROGRAM ISPITIVANJA

Ponašanje konstrukcije objekta pri statičkom i dinamičkom prometnom opterećenju, usklađenost kvalitete radova sa zahtjevima projekta te sposobnost konstrukcije da preuzme projektirano opterećenje provjeravaju se upravo ispitivanjem mostova probnim opterećenjem.

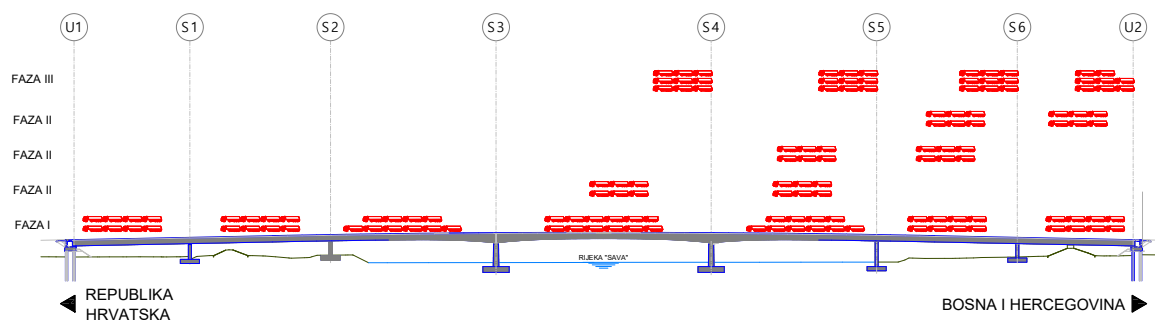
Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

U skladu s navedenim pravilnicima i normama učinak probnog opterećenja mora u određenoj mjeri odgovarati učinku pokretnog opterećenja primijenjenog u statičkom proračunu. Kako se u statičkom računu primjenjuju tipska opterećenja dana u odgovarajućim normama za proračun cestovnih mostova, a za probno ispitivanje teški kamioni, potrebno je odrediti broj i masu kamiona tako da se dobiju adekvatne unutarnje sile.

Prema izrađenom a zatim od strane nadzornog tijela i projektanta usvojenom Programu ispitivanja [7] probno opterećenje se izvodilo s najviše 12 teških kamiona pojedinačne mase oko 400kN postavljenih u položaje u kojem izazivaju najveća naprezanje u svim poljima (Faza I) i nad stupovima S4, S5 i S6 (Faza II). Također su se radile i sheme opterećenja koje izazivaju najveća posmična naprezanja u rebru mosta (Faza III) uz oslonac za lijevu stranu polja 5, 6, 7 i 8. Za sve sheme opterećenja u poljima i nad osloncima položaj kamiona je nesimetričan kako bi se utvrdilo ponašanje mosta pod ovakvim opterećenjem (slika 4.).

Prvo se radi nesimetrično opterećivanje jedne strane mosta, a poslije se postavlja zrcalno preslikano opterećenje za drugu stranu mosta. Kod posmičnih shema, vozila se postavljaju simetrično na uzdužnu os mosta u 3 reda po 3 kamiona u blizini oslonca. Ukupno je ovdje 9 vozila i radi se samo simetrična shema. Kod upornjaka a zbog velikog koeficijenta iskorištenosti U2 broj kamiona je 8.



Slika 4. - Faze opterećenja mosta Svilaj

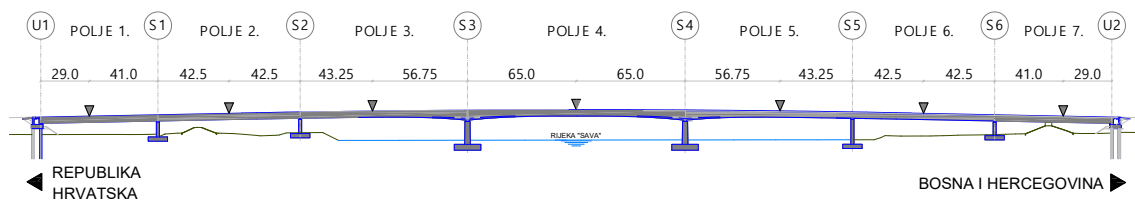
Prema korištenim pravilnicima i normama koeficijent efikasnosti je omjer između učinka računskog opterećenja u projektu i učinka stvarno primijenjenoga probnog opterećenja teškim kamionima te isti mora biti između 0.5 i 1.0., što je za obje konstrukcije mosta Svilaj (lijevi i desni most) zadovoljeno. Odnosno, koeficijent efikasnosti za mjerenje utjecaja u poljima mosta iznosio je od 0.76 do 0.86, koeficijent efikasnosti za mjerenje utjecaja na stupovima iznosio od 0.5 do 0.68 dok je za mjerenje posmičnih utjecaja koeficijent efikasnosti iznosio od 0.52 do 0.81 ovisno o mjestu ispitivanja i shemi opterećenja.

4. RASPORED MJERNIH MJESTA I KORIŠTENA OPREMA

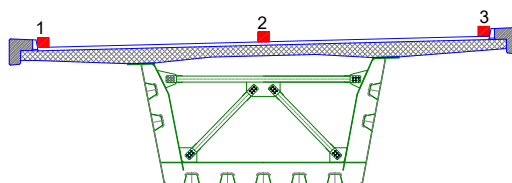
4.1 Raspored mjernih mjesta

U skladu s prethodno ukratko opisanim Programom ispitivanja provedeno je probno ispitivanje gdje su se geodetski mjerili vertikalni pomaci u svim poljima mosta (slika 5.) i to u tri točke po širini kolovoza (slika 6.).

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

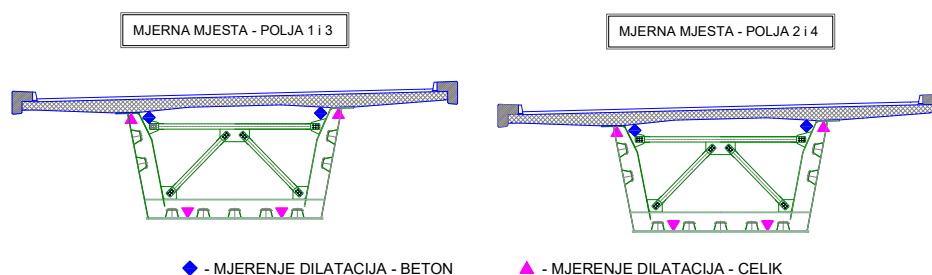
Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

Slika 5. - Mjerna mjesta za mjerenje vertikalnih pomaka - uzdužni presjek

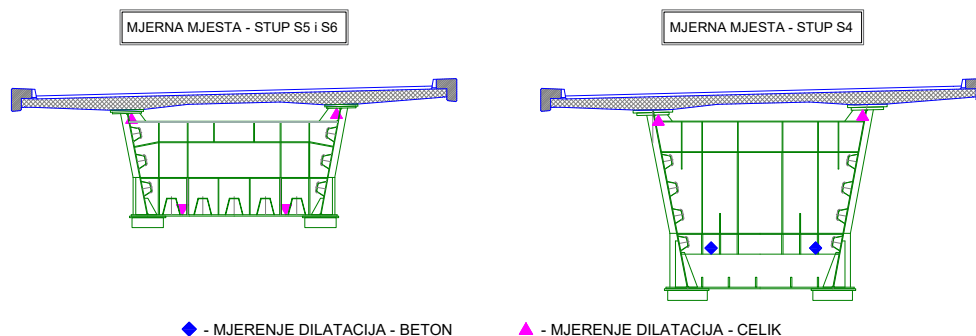


Slika 6. - Mjerna mjesta za mjerenje vertikalnih pomaka - poprečni presjek

Osim vertikalnih pomaka mjerenih u svim poljima mosta, također su mjerene i deformacije koristeći mjerne trake za beton i čelik u kritičnim presjecima za polja 1 – 4 (slika 7.) te uz stupove S4, S5 i S6 (slika 8.).



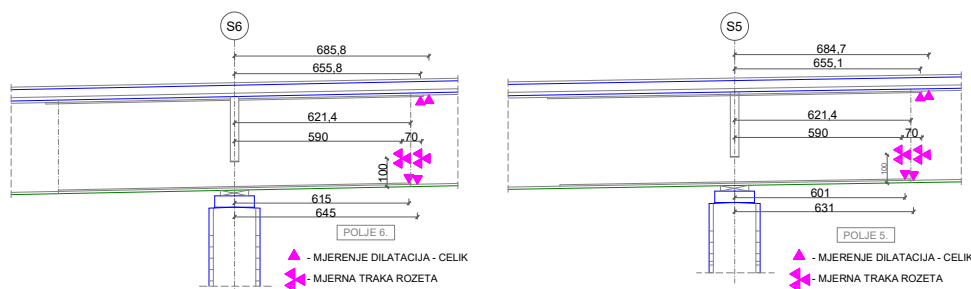
Slika 7. - Mjerna mjesta za mjerenje deformacija u poljima 1-4



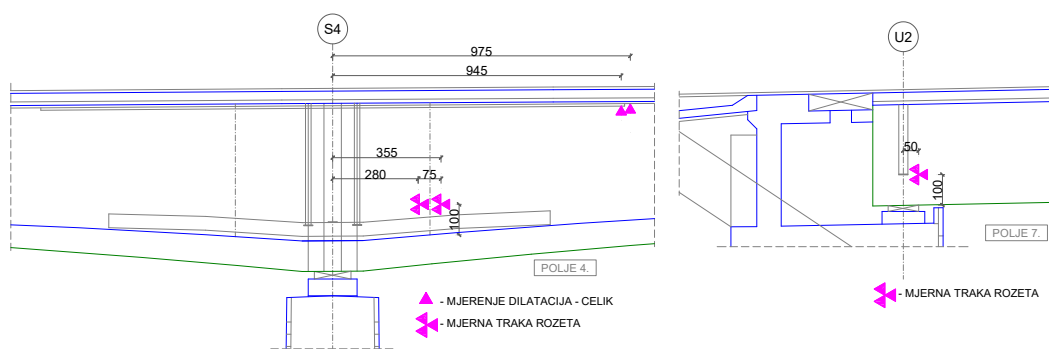
Slika 8. - Mjerna mjesta za mjerenje deformacija na stupovima

Također su se mjerile i deformacije u zoni promjene debljine lamela (slika 9a.) te promjene debljine hrbata (slika 9b.) u zoni upornjaka U2 te stupova S4, S5 i S6 koje su simetrično postavljene u poprečnom presjeku gdje su postavljene mjerne trake rozete za određivanje dvoosnog stanja naprezanja kod nepoznatih pravaca djelovanja glavnih naprezanja.

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

Slika 9a. - Mjerna mjesta za mjerenje deformacija za promjene debljine lamela i debljine hrbata, S6 i S5



Slika 9b. - Mjerna mjesta za mjerenje deformacija za promjene debljine lamela i debljine hrbata, S4 i U2

4.2 Korištena mjerna oprema

Na mostu Svilaj ukupno je promatrano 196 mjernih mjesta na kojima su postavljene mjerne trake na betonsku ili čeličnu konstrukciju, odnosno, po 98 mjernih mjesta za lijevu i desnu konstrukciju mosta.

Za mjerenje deformacija na betonu korištene su mjerne trake tvrtke HBM tip K-LY41 1-15-120-0 a mjerenje deformacija na čeliku izvršeno je mjernim trakama tvrtke HBM tip K-LY41 6/120 (slika 10.).

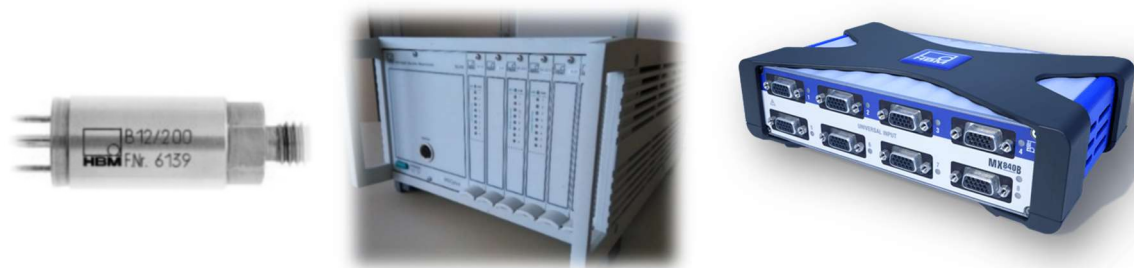


Slika 10. - Mjerne trake za beton (lijevo) i čelik (desno)

Mjerenje ubrzanja je obavljeno davačem ubrzanja odnosno jednoosnim akcelometrom tvrtke HBM tip B12/500 (slika 11a.). Prikupljanje izmjerenih vrijednosti vršeno je sistemima *MGC plus* (slika 11b.) i *Quantum X* (slika 11c.), a obrada izmjerenih vrijednosti vršena je u programskom paketu Catman AP. Maksimalan broj mjernih točaka na jednom mjernom mjestu bio je 24 (slika 12.).

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

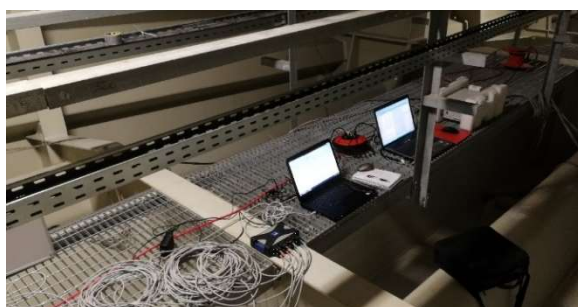


a) Davač ubrzanja

b) Uređaj "MGC plus"

c) Uređaj "Quantum X"

Slika 11. - Korištena mjerna oprema



Slika 12. - Mjerna oprema na mjestu ispitivanja

5. REZULTATI STATIČKIH ISPITIVANJA I USPOREDBA S RAČUNSKIM

Statička ispitivanja (slika 13. i slika 15.) provedena su prema shemama opterećenja prikazanim u poglavlju 3. U nastavku teksta bit će prikazani rezultati ispitivanja za vertikalne pomake i deformacije koji su preuzeti iz Izvješća o ispitivanju [8].



Slika 13. - Postavljanje opterećenja u položaj za statičko ispitivanje

5.1 Vertikalni pomaci mosta Svilaj

Vertikalni pomaci mjereni su geodetskim instrumentima u tri točke mosta u poprečnom presjeku kako je prikazano u poglavlju 4. na način da se mjerenje vršilo prije, za vrijeme i poslije nanošenja probnog opterećenja.

Usporedba rezultata dobivenih probnim ispitivanjem rađena je s vertikalnim pomacima dobivenim računskim proračunom u programskom paketu Tower 3D [9] (tablica 1.). Računski model je rađen kao prostorni model.

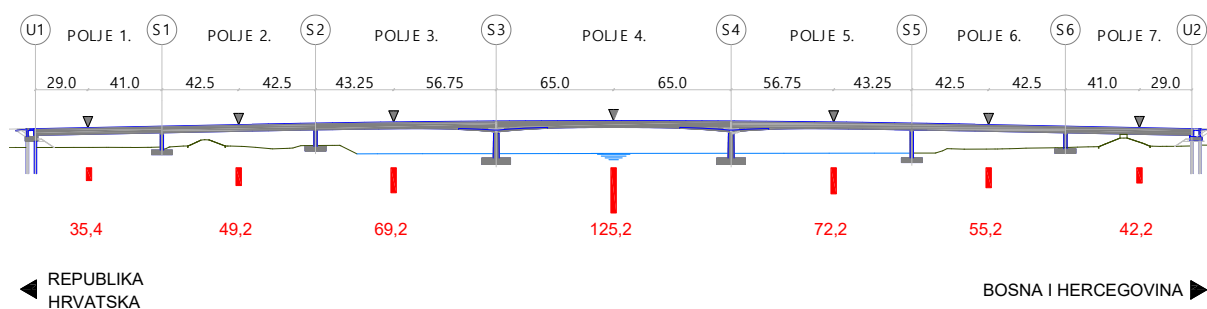
Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

Tablica 1. - Usporedba izmjerenih i računskih vertikalnih pomaka

		POLJE						
		1	2	3	4	5	6	7
IZMJERENI POMACI (mm)	1.	41.2	54.7	78.1	136.5	79.4	59.7	43.8
	2.	35.4	49.2	69.2	125.2	72.2	55.2	42.2
	3.	35.2	48.9	69.7	124.9	69.7	51.8	37.1
RAČUNSKI POMACI (mm)	1.	41.22	56.81	84.25	151.92	84.25	56.81	41.22
	2.	48.08	63.94	92.27	162.06	92.27	63.94	48.08
	3.	54.02	70.12	99.45	171.55	99.45	70.12	54.02

Maksimalne vrijednosti za središnju točku prikazane su dalje u tekstu (slika 14.).



Slika 14. - Maksimalni vertikalni pomaci u sredini kolnika (mm)



Slika 15. - Opterećenje u položaju za statičko ispitivanje

5.2 Deformacije mosta Svilaj

Kako je na lijevoj i desnoj konstrukciji mosta postavljeno po 98 mjernih traka za mjerenje deformacija, u daljnjem tekstu će biti prikazani rezultati izmjerenih deformacija u polju 4, deformacija za upornjak U2, deformacije uz stup S6 te promjene debljine lamela i debljine hrbata također uz stup S6.

Rezultati probnog ispitivanja prikazani su tabelarno te na dijagramima dobivenim obradom izmjerenih vrijednosti u programskom paketu Catman AP. Na osnovu izmjerenih deformacija i

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

poznatih vrijednosti modula elastičnosti za beton (MB50 i MB55) i čelik određujemo naprezanja prema obrascima:

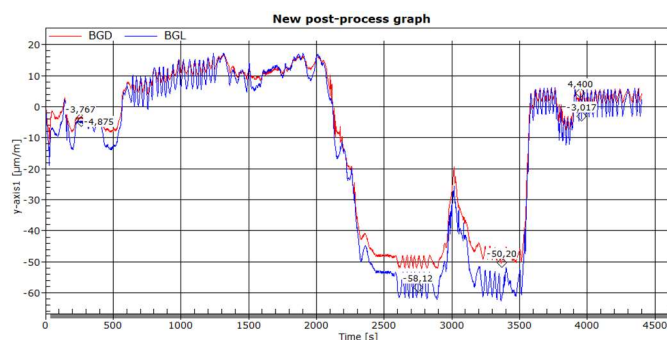
- Naprezanje za čelik: $\sigma = \varepsilon(\text{‰}) \cdot 210000(\text{MPa})$
- Naprezanje za beton (gornja ploča, MB50): $\sigma = \varepsilon(\text{‰}) \cdot 36000(\text{MPa})$
- Naprezanje za beton (donja ploča, MB55): $\sigma = \varepsilon(\text{‰}) \cdot 37000(\text{MPa})$

Na mjestima promjene debljine hrblata postavljene su mjerne trake rozete za određivanje dvoosnog stanja naprezanja kod nepoznatih glavnih pravaca (pravaca djelovanja glavnih naprezanja) iz čijih će se deformacija proračunati glavna naprezanja prema obrascu:

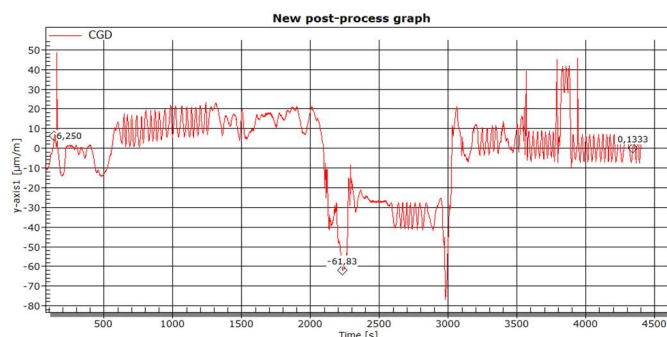
$$\begin{array}{c} \diagup \varepsilon_1 \\ \text{---} \varepsilon_2 \\ \diagdown \varepsilon_3 \end{array} \quad \sigma_{1,2} = \frac{E}{1-\nu} \cdot \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} \pm \frac{E}{\sqrt{2}(1+\nu)} \cdot \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_2)^2}$$

5.2.1 Deformacije za polje 4

Deformacije u polju 4 (slike 16., 17. i 18.) mjerile su se na 6 mjernih mjesta prema shemi prikazanoj u poglavlju 4. Korištene oznake za mjerna mjesta jesu: BGL-beton gore lijevo, BGD - beton gore desno, CGL - čelik gore lijevo, CDL - čelik dolje lijevo. Nakon analize izmjenjenih rezultata izvršena je usporedba dobivenih vrijednosti naprezanja (tablica 2.)

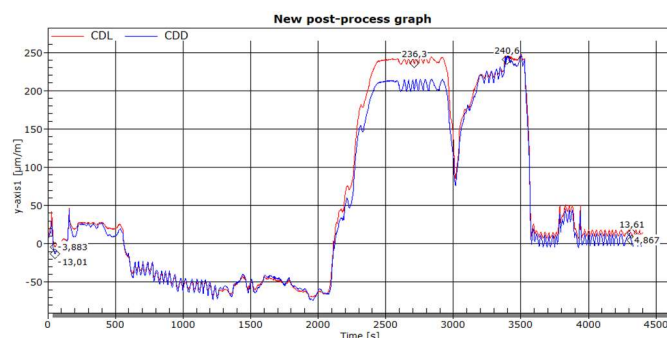


Slika 16. - Vremenski tijek deformacija za polje 4 (beton - gornja strana)



Slika 17. - Vremenski tijek deformacija za polje 4 (čelik - gornja strana)

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

Slika 18. - Vremenski tijek deformacija za polje 4 (čelik - donja strana)

Tablica 2. - Usporedba naprezanja za polje 4

	BGL	BGD	CGL	CGD	CDL	CDD
Računsko naprezanje (MPa)	-2.52	-2.52	-18.93	-18.93	+62.60	+62.60
Izmjereno naprezanje (MPa)	-1.67	1.91	-	-14.29	+50.42	+53.25

Napomena: Mjerna traka na poziciji CGL (čelik-gore-lijevo) nije radila zbog oštećenja kabla za ispitivanje. Mjerne trake povezane su posebnim konektorima sa mjernim uređajem i računalom (slika 19.).

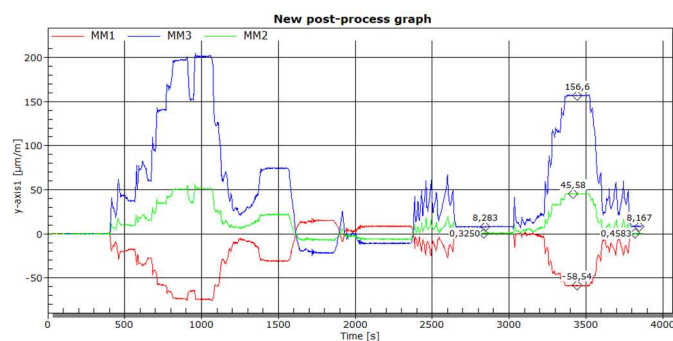


Slika 19. - Mjerne trake za mjerenje deformacija na betonskoj i čeličnoj konstrukciji

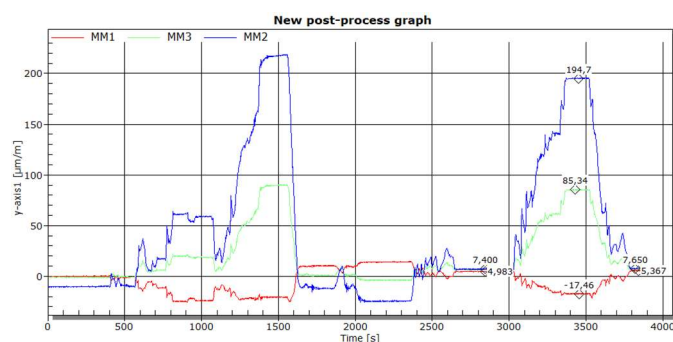
5.2.2 Deformacije uz upornjak U2

Deformacije uz upornjak U2 (slike 20. i 21.) mjerile su se koristeći mjerne trake rozete (slika 22.) iz kojih su se sračunala glavna naprezanja te se izvršila usporedba s računskim rezultatima (tablica 3.).

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

Slika 20. - Vremenski tijek deformacija za U2, hrbat-lijevo



Slika 21. - Vremenski tijek deformacija za U2, hrbat – desno

Tablica 3. - Usporedba glavnih naprezanja za U2

Glavno naprezanje (MPa)		LIJEVO	DESNO
Računsko	σ_1	+20.74	+20.90
	σ_2	-27.62	-27.34
Izmjereno	σ_1	+22.72	+32.44
	σ_2	-26.26	-17.36

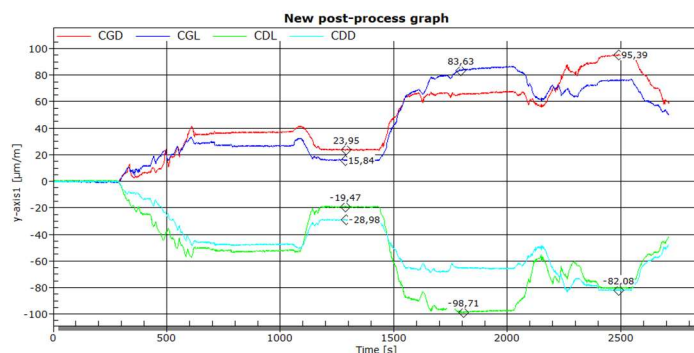


Slika 22. - Mjerne trake za mjerenje deformacija uz upornjak U2

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj**5.2.3 Deformacije uz stup S6**

Deformacije uz stupove pa tako i uz stup S6 (slika 23.) mjerile su se na 4 mjerna mjesta prema shemi prikazanoj u poglavlju 4. Korištene oznake za mjerna mjesta jesu: CGL- čelik gore lijevo, CGD - čelik gore desno, CDL - čelik dolje lijevo, CDD - čelik dolje desno. Nakon analize izmjerenih rezultata izvršena je usporedba dobivenih vrijednosti naprezanja (tablica 4.)



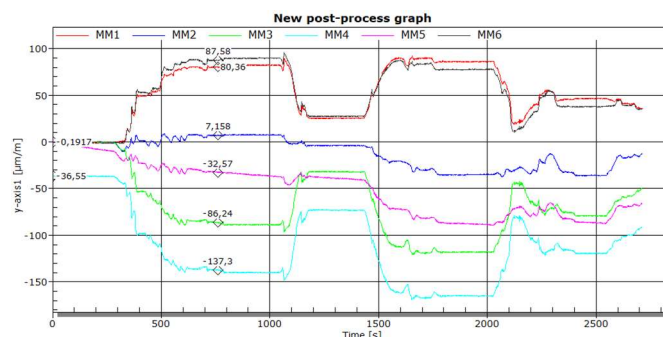
Slika 23. - Vremenski tijek deformacija uz stup S6

Tablica 4. - Usporedba naprezanja uz stup S6

	CGL	CGD	CDL	CDD
Računsko naprezanje (MPa)	+10.35	+9.58	-29.11	-29.11
Izmjereno naprezanje (MPa)	+14.23	+15.00	-16.64	-11.15

5.2.4 Promjena debljine hrbrata

Deformacije uz stup S6 za promjenu debljine hrbrata (slike 24. i 25.) mjerile su se prema shemi prikazanoj u poglavlju 4. koristeći mjerne trake rozete (slika 26.) iz kojih su se sračunala glavna naprezanja te se izvršila usporedba s računskim rezultatima (tablica 5. i tablica 6.).



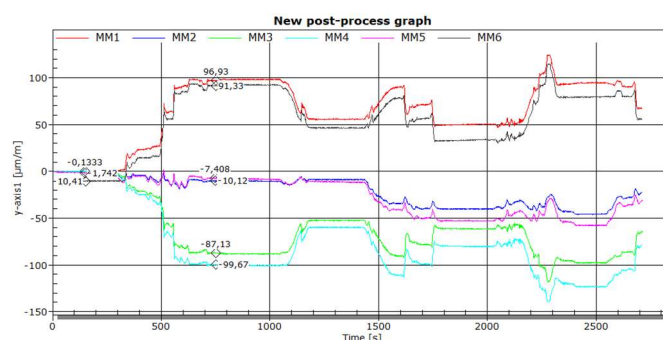
Slika 24. - Vremenski tijek deformacija za promjenu debljine hrbrata – lijevo

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

Tablica 5. - Usporedba glavnih naprezanja za promjenu debljine hrbata - lijevo

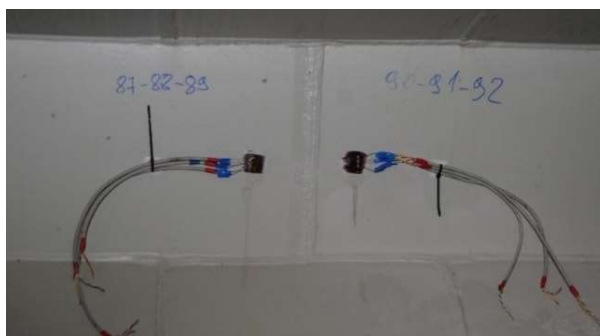
	Glavno naprezanje (MPa)	"prema stupu"	"prema polju"
Računsko	σ_1	+15.74	+17.12
	σ_2	-17.43	-17.99
Izmjereno	σ_1	+11.75	+12.8
	σ_2	-13.28	-16.31



Slika 25. - Vremenski tijek deformacija za promjenu debljine hrbata – desno

Tablica 6. - Usporedba glavnih naprezanja za promjenu debljine hrbata - desno

	Glavno naprezanje (MPa)	"prema stupu"	"prema polju"
Računsko	σ_1	+15.59	+16.80
	σ_2	-17.11	-17.31
Izmjereno	σ_1	+15.25	+12.98
	σ_2	-12.64	-15.11



Slika 26. - Mjerne trake za mjerenje deformacija za promjenu debljine hrbata

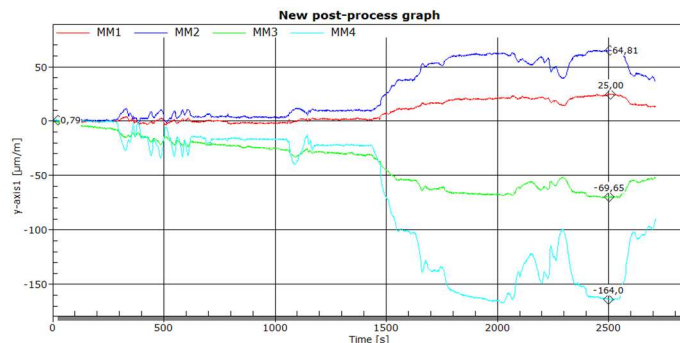
5.2.5 Promjena debljine lamela (gore) i ploče (dole)

Deformacije uz stup S6 na mjestu promjene debljine lamela (slike 27. i 28.) mjerile su se na 4 mjerna mjesta prema shemi prikazanoj u poglavlju 4. Korištene oznake za mjerna mjesta jesu: MM1- čelik gore lijevo, MM2 - čelik gore desno, MM3 - čelik dolje lijevo, MM4 - čelik dolje

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj

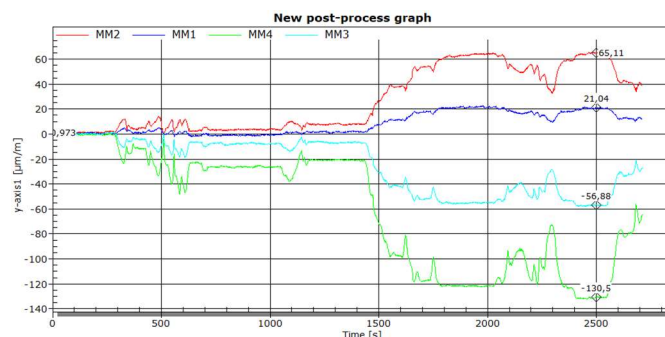
desno. Nakon analize izmjerenih rezultata izvršena je usporedba dobivenih vrijednosti naprezanja (tablica 7. i tablica 8.).



Slika 27. - Vremenski tijek deformacija za promjenu debljine lamela i ploče – lijevo

Tablica 7. - Usporedba naprezanja za promjenu debljine lamela i ploče - lijevo

	MM1	MM2	MM3	MM4
Računsko naprezanje (MPa)	+8.67	+10.36	-20.59	-36.58
Izmjereno naprezanje (MPa)	+5.25	+13.61	-14.62	-34.44



Slika 28. - Vremenski tijek deformacija za promjenu debljine lamela i ploče -desno

Tablica 8. - Usporedba naprezanja za promjenu debljine lamela i ploče - desno

	MM1	MM2	MM3	MM4
Računsko naprezanje (MPa)	+8.29	+10.13	-20.61	-36.58
Izmjereno naprezanje (MPa)	+4.41	+13.67	-11.94	-27.40

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

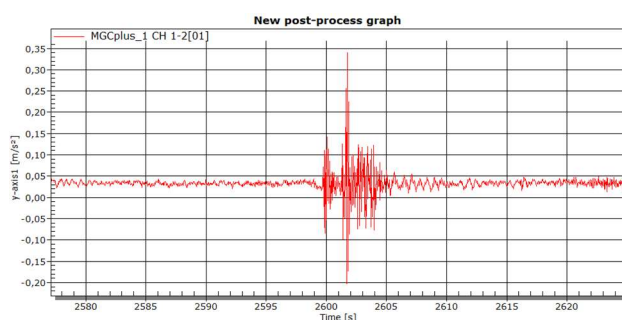
Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta Svilaj



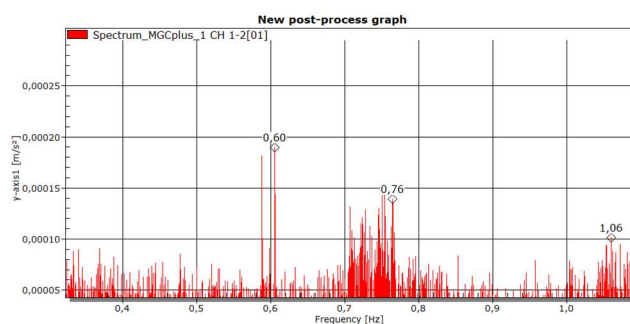
Slika 29. - Mjerne trake za mjerenje deformacija za promjenu debljine lamela

6. REZULTATI DINAMIČKIH ISPITIVANJA I USPOREDBA S RAČUNSKIM

Pri dinamičkom ispitivanju mosta mjerena su vertikalna ubrzanja uslijed pobude vozilom koje je prešlo pri brzini od oko 30 km/h preko drvene daske debljine 5 cm u polju 4 što je registrirano akcelometrom (slika 30.) a nakon obrade rezultata dobiven je dijagram frekvencija osciliranja mosta (slika 31.).



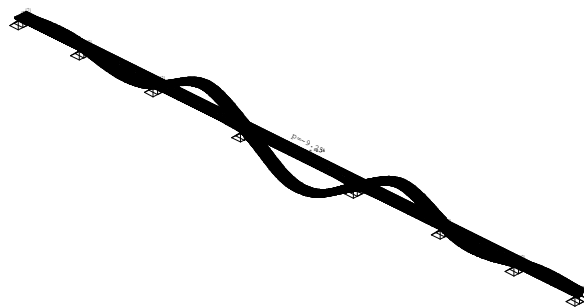
Slika 30. - Zapis ubrzanja dobiven akcelometrom



Slika 31. - Frekvencije osciliranja

Računskim modelom također su određeni modalni oblici osciliranja (slika 31.) te su obradom rezultata određene frekvencije osciliranja mosta i izvršena usporedba s računskim vrijednostima (tablica 9.).

Kustura, M., Jurišić, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem međudržavnog mosta SvilajSlika 32. - Prvi računski modalni oblik osciliranja ($T= 0.60$ Hz)

Tablica 9. - Usporedba frekvencija osciliranja

Frekvencija (Hz)	Vrijednost 1	Vrijednost 2	Vrijednost 3
Računske vrijednosti	0.60	0.93	1.11
Mjerene vrijednosti	0.60	0.76	1.06

7. ZAKLJUČAK

U svrhu analize ponašanja konstrukcije međudržavnog mosta Svilaj pri statičkom i dinamičkom prometnom opterećenju izvršeno je ispitivanje probnim opterećenjem. Ispitivanje probnim opterećenjem se provodi radi provjere usklađenosti s projektom, usklađenosti kvalitete radova sa zahtjevima projekta te ocjene sposobnosti konstrukcije da preuzme projektirano opterećenje. Tijekom statičkih i dinamičkih ispitivanja eksperimentalno su određeni relevantni statički i dinamički parametri (pomaci, naprezanja i vlastite frekvencije) i međusobno uspoređeni s odgovarajućim računskim veličinama. Provedenom analizom dobivenih parametara, kako izmjerenih tako i računskih, utvrđena je visoka razina podudarnosti za statičke i dinamičke utjecaje, pa se može reći da se most u stanju korištenja ponaša sukladno računskom modelu. Ovim postupkom je verificirana izvedba građevine što je preduvjet da se međudržavni most Svilaj preko rijeke Save pusti u funkciju.

8. LITERATURA

1. <https://www.hac.hr/hr/o-nama/eu-projekti/instrument-za-povezivanje-europe/izgradnja-mosta-Svilaj>
2. <https://www.jpautoceste.ba/>
3. JUS U.M1.046:1984 Pravilnik za ispitivanje mostova probnim opterećenjem, Sl. list 60/84
4. HRN U.M1.046:1984 Ispitivanje mostova pokusnim opterećenjem
5. Rak, M.; Krolo, J.; Bartolac, M.: Ispitivanje i analiza parametara velikih lučnih mostova, Građevinar 62, str. 913-920., Zagreb 2010.
6. Biondić, H.: Probno opterećenje mostova, Ekscentar, br. 14, pp. 80-83, Zagreb 2011.
7. Program ispitivanja mosta Svilaj, na autocesti Koridor Vc, Dionica: Osijek-Svilaj, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Mostar, veljača 2020.
8. Izvješće o ispitivanju mosta Svilaj, na autocesti Koridor Vc, Dionica autoceste u RH: Sredanci-granica BiH i dionica autoceste u BiH: Odžak-granica Rh, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Mostar, lipanj 2020.
9. <https://www.radimpex.rs/sr/tower>