

Primljen: 01.10.2025
Recenziran: 31.10.2025
Prihvaćen: 03.11.2025

Elektronički zbornik radova
Građevinskog fakulteta
Sveučilišta u Mostaru
ISSN 2232-9080

Stručni rad

<https://doi.org/10.47960/2232-9080.2025.30.15.49>

Ispitivanje probnim opterećenjem mosta *Drivuša*

dr. sc. Marino Jurišić, mag. građ.

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

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

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
izvanredni profesor, mladen.kustura@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: Rad prikazuje statičko i dinamičko ispitivanje probnim opterećenjem mosta Drivuša u blizini Zenice na koridoru Vc. Daje se opis konstrukcije mosta, kao i načina ispitivanja. Prikazan je proces mjerenja, kao i oprema koja je korištena za mjerenje. Na kraju su dani rezultati mjerenja, sa usporedbom sa računskim vrijednostima. Utvrđeno je da se mjereni rezultati dobro slažu sa računskim pretpostavkama.

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

Load testing of the *Drivuša* bridge

Abstract: This paper details the static and dynamic proof load testing of the Drivuša bridge near Zenica on Corridor Vc. It includes a description of the bridge structure and the testing methodology. The measurement process and the equipment utilized are presented. The final section provides the measurement results and their comparison with the theoretically calculated values. It has been determined that the measured results correlate well with the numerical calculations.

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

Jurišić, M., Kustura, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem mosta Drivuša

1. UVOD

U ovom radu prikazani su rezultati probnog opterećenja mosta Drivuša. Most se nalazi na značajnom koridoru Vc (dionica Drivuša-Klopče) i premošćuje rijeku Bosnu (Slika 1. i Slika 2.). Izvođač radova bio je Hering d.d. Široki Brijeg [1].

Probno ispitivanje je obavljeno sukladno normi U.M1.046 iz 1984., koja je preuzeta iz JUS standarda [2] i trenutno je važeća u Bosni i Hercegovini. Ova norma nalaže da učinak probnog opterećenja mora biti u skladu s učinkom pokretnog opterećenja korištenog u statičkom proračunu [3].



Slika 1. - Lokacija mosta na koridoru Vc



Slika 2. - Most Drivuša

Sukladno važećem pravilniku 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 Drivuša proveli su djelatnici Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Mostaru. Ispitivanjem se utvrđuje ponašanje konstrukcije kada je izloženo određenim statičkim i dinamičkim opterećenjima koja su predviđena projektom [4].

2. OPIS KONSTRUKCIJE MOSTA

Most Drivuša nalazi se na početku dionice Drivuša – Klopče, u blizini čvora Drivuša. Projektiran je kao dva zasebna objekta, lijevi i desni most, koji se protežu od stacionaže KM 0+534.00 do stacionaže KM 1+189.00. Dužina lijevog mosta je 652.30 m, a desnog mosta 657.70 m, mjereno po središnjoj osi mosta.

Horizontalno, mostovi se nalaze u stalnoj krivini polumjera 1800 m. Vertikalno, počinju u stalnoj krivini i nastavljaju se u stalnom uzdužnom nagibu. Konstruktivno, mostovi su kontinuirani okviri sa 17 raspona i 18 oslonaca. Stupovi S5, S6, S7 i S8 monolitno su povezani s gornjim ustrojem, dok su ostali stupovi i upornjaci opremljeni ležajevima.

Rasponi lijevog mosta:

$$34.855 + (10 \cdot 39.835) + (2 \cdot 34.855) + (3 \cdot 39.835) + 29.876 = 652.30 \text{ m}$$

Rasponi desnog mosta:

$$35.144 + (10 \cdot 40.165) + (2 \cdot 35.14) + (3 \cdot 40.165) + 30.12 = 657.70 \text{ m}$$

Jurišić, M., Kustura, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem mosta Drivuša

Gornji ustroj je prednapeti sandučasti nosač preko 17 raspona i na 18 oslonaca. Poprečni presjek je trapezoidni sanduk širine 13.76 m i visine 3.00 m. Duljine konzola su 3.50 m s debljinom od 25 cm na slobodnom kraju konzole, i debljinom od 55 cm na uklještenom kraju kod rebra. Rebra su debljine 50 cm i uvučena su 55 cm pri dnu. Donja ploča je debljine 25 cm, a zadebljava se na 60 cm na spoju s rebrom. Gornja ploča je debljine 25 cm, a zadebljava se na 55 cm na spoju s rebrom. Uzdužno, pri približavanju osloncima, donja ploča se zadebljava na 60 cm. Rebra na stupovima zadebljavaju se na 1.30 m, a rebra na upornjacima zadebljavaju se na 1.80 m. Na taj način se na svakom osloncu formira poprečni nosač u dužini od 3.00 m s otvorom koji služi za prolaz unutrašnje oplata i osoblja zaduženog za kontrolu i održavanje konstrukcije.

Stupovi imaju kružni poprečni presjek promjera 2.70 m s proširenjem glave stupa za smještaj ležajeva. Stupovi S5-S7, S9, S11-S14 imaju plitko temeljenje na temeljima samcima. Ostali stupovi temeljeni su na 6 pilota promjera 1.20 m. Upornjaci U1 i U2 su zajednički za lijevi i desni most i temeljeni su na pilotima. Stupovi S5-S8 monolitno su povezani s gornjim ustrojem, dok su ostali stupovi i upornjaci opremljeni uzdužno pomičnim ležajevima.

Upornjaci imaju tanke bočne i prednje zidove, kao i oslonce za prijelazne ploče. Bočni zidovi imaju otvore za lakši pristup upornjaku i dilataciji. Ležajne grede upornjaka su nakošene i opremljene slivnicima i odvodnim kanalima. Temeljenje na pilotima izvedeno je temeljem geotehničkog elaborata G31.

Klase betona predviđene za elemente konstrukcije su:

Gornji ustroj: C40/50

Stupovi i upornjaci: C30/37

Piloti: C30/37

Temelji samci: C30/37

Prijelazne ploče: C25/30

Konstrukcija je armirana armaturnim čelikom B500 B, a prednapeta prednapetim čelikom Y1860S7.

Gornji ustroj mosta Drivuša izgrađen je u 17 faza. Prekidi betoniranja napravljeni su na 0.25·L raspona kako bi se smanjio nepovoljan utjecaj faza izgradnje susjednih raspona.

Nosač je građen metodom "raspon po raspon" (engl. span by span) korištenjem Pokretne skele (MSS – Movable Scaffolding System). Ova tehnologija podrazumijeva da je oplata podržana skelom sastavljenom od stražnjeg oslonca, prednjeg oslonca, glavnog nosača, vješaljki, prednjeg nosa, srednjeg potpornog nosača za lansiranje i prednje noge. Prilikom lansiranja, MSS nosi sa sobom sve elemente oplata. Potrebno je pripremiti oslonce jer se prednji nos oslanja na stup, a stražnji dio MSS-a leži na već izgrađenom elementu gornjeg ustroja. Ovaj specifični MSS je Gornjeg tipa (Overhead), što znači da se glavni nosač nalazi iznad gornjeg ustroja. Ovaj tip omogućuje manji slobodni prostor ispod konstrukcije nego Podvjesni sustavi (Underhead), gdje se glavni nosač nalazi ispod gornjeg ustroja.

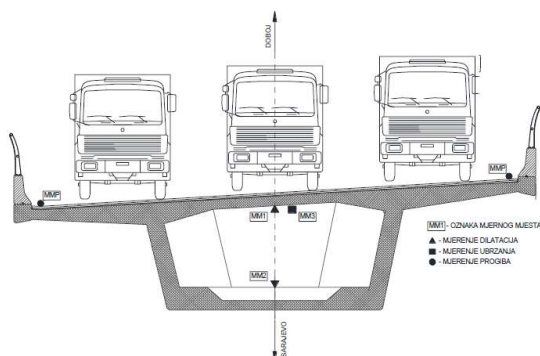
Jurišić, M., Kustura, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem mosta Drivuša

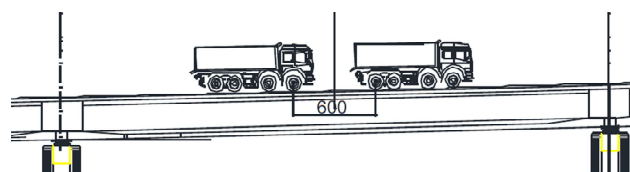
3. PROGRAM ISPITIVANJA

Ispitivanje mostova probnim opterećenjem predstavlja ključan korak u procesu verifikacije izvedene konstrukcije. Njegova temeljna uloga je provjera ponašanja objekta Drivuša pod statičkim i dinamičkim prometnim opterećenjem radi usklađenosti s projektnim zahtjevima, te ocjena kvalitete radova i sposobnosti konstrukcije da sigurno preuzme projektirano opterećenje. U skladu s važećim pravilnicima i normama, učinak probnog opterećenja mora u određenoj mjeri odgovarati učinku mobilnog opterećenja koje je primijenjeno u statičkom proračunu.

Budući da se u statičkom računu primjenjuju tipska opterećenja propisana za cestovne mostove, dok se za probno ispitivanje koriste teški kamioni, bilo je neophodno pažljivo odrediti njihov broj i masu kako bi se osiguralo postizanje adekvatnih unutarnjih sila. Prema izrađenom, a zatim od strane nadzornog tijela i projektanta usvojenom Programu ispitivanja, probno opterećenje mosta Drivuša izvedeno je sa 6 teških kamiona. Pojedinačna masa svakog vozila iznosila je oko 400 kN, a kamioni su pozicionirani tako da izazivaju najveća naprezanja kako u poljima tako i iznad oslonaca (Slika 3. i Slika 4.).



Slika 3. – Položaj kamiona u poprečnom presjeku



Slika 4. – Položaj uzdužno

Uspješnost provedenog testiranja utvrđena je izračunom koeficijenta efikasnosti. Ovaj koeficijent definiran je kao omjer između učinka računskog opterećenja iz projekta i učinka stvarno primijenjenog probnog opterećenja teškim kamionima. Prema korištenim propisima, njegova vrijednost mora se kretati u rasponu od 0.5 do 1.0. Program ispitivanja mosta Drivuša potvrdio je da je navedeni uvjet zadovoljen, jer je najmanji koeficijent iskorištenosti bio na ispitivanju oslonačkog mjesta S2 i iznosio je 0.56, dok je najveći bio na ispitivanju polja 2 i iznosio je 0.78.

Jurišić, M., Kustura, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem mosta Drivuša

4. KORIŠTENA MJERNA OPREMA

Na mostu Drivuša ukupno su promatrana 32 mjerna mjesta na kojima su postavljene mjerne trake na betonsku konstrukciju unutar mosta (Slika 5.).



Slika 5. - Mjerna traka na mjestu ispitivanja

Za mjerenje relativnih deformacija korištene su mjerne trake tvrtke HBM tip K-LY411-15-120-0 (Slika 6.).



Slika 6. - Mjerne trake za beton

Mjerenje ubrzanja je obavljeno davačem ubrzanja odnosno jednoosnim akcelometrom tvrtke HBM tip B12/500 (Slika 7a.). Prikupljanje izmjerenih vrijednosti vršeno je sistemom *MGC plus* (Slika 7b.) a obrada izmjerenih vrijednosti vršena je u programskom paketu Catman AP.



a) Davač ubrzanja



b) Uređaj "MGC plus"

Slika 7. - Korištena mjerna oprema

5. REZULTATI STATIČKIH ISPITIVANJA I USPOREDBA S RAČUNSKIM

Statička ispitivanja (Slika 8.) provedena su prema shemama opterećenja prikazanim u poglavlju 3. U nastavku teksta bit će prikazani rezultati ispitivanja za vertikalne pomake i dilatacije.

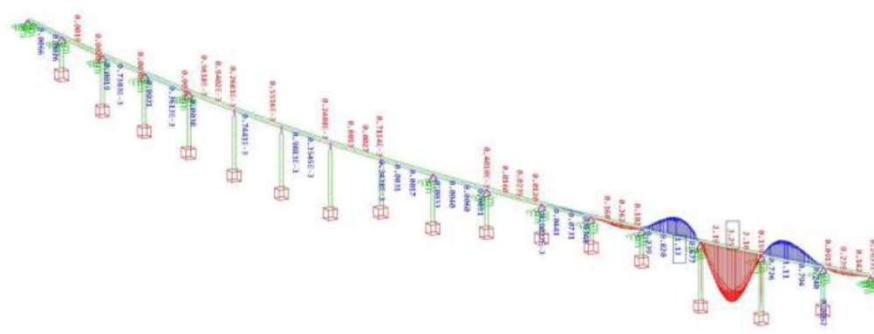


Slika 8. –Opterećenje postavljeno u položaj

5.1 Vertikalni pomaci mosta

Vertikalni pomaci mjereni su geodetskim instrumentima u dvije 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. Maksimalne vrijednosti za središnju točku prikazane su dalje u tekstu. Uspoređeni su rezultati dobiveni probnim ispitivanjem sa rezultatima računskog modela napravljenom u programu SOFiSTiK, te je prikazana razlika. Zbog velikog broja rezultata prikazat će se usporedba samo za lijevu točku lijevog mosta. Ostali rezultati se također jako dobro slažu sa računskim (Tablica 1.).

Kao primjer prikazat će se dijagram progiba sa računskog modela koji služi za usporedbu sa mjerenim progibima (Slika 9.).



Slika 9. – Primjer dijagrama progiba sa računskog modela

Jurišić, M., Kustura, M., Šunjić, G.

Ispitivanje probnim opterećenjem mosta Drivuša

Tablica 1. –Usporedba rezultata mjerenih i računskih progiba za lijevu stranu lijevog mosta

TOČKA	Mjerenje	Mjerenje	Mjerenje		
Mjerenje	0	1	2		
Datum	25.07.'18.	OPTEREĆENO	RASTEREĆENO		
4	9.6491	9.6463	-2.8	9.6489	- 0.2
P2-5	10.5716	10.5683	-3.3	10.5714	- 0.2
12	11.529	11.5256	-3.4	11.5292	0.2
P4-13	12.6247	12.6215	-3.2	12.6251	0.4
20	13.8438	13.8407	-3.1	13.8441	0.3
P6-21	15.1342	15.1314	-2.8	15.1346	0.4
28	16.5755	16.5725	-3	16.5757	0.2
P8-29	18.0982	18.0954	-2.8	18.098	- 0.2
36	19.7373	19.7347	-2.6	19.7374	0.1
P10-37	21.4818	21.4782	-3.6	21.4822	0.4
44	23.3258	23.3229	-2.9	23.3261	0.3
P12-45	25.1598	25.1575	-2.3	25.1601	0.3
52	26.9165	26.9139	-2.6	26.9169	0.4
P14-53	28.7897	28.7862	-3.5	28.7901	0.4
60	30.787	30.7833	-3.7	30.7867	- 0.3
P16-61	32.7883	32.7852	-3.1	32.7879	- 0.4
68	34.6031	34.6009	-2.2	34.6034	0.3

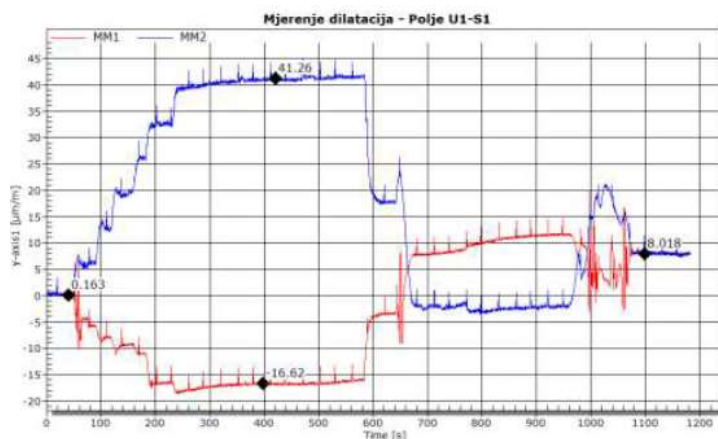
5.2 Relativne deformacija i naprezanja mosta

Rezultati probnog ispitivanja prikazani su tabelarno te na dijagramima dobivenim obradom izmjerenih vrijednosti u programskom paketu Catman AP. Na osnovu izmjerenih dilatacija i poznatih vrijednosti modula elastičnosti za beton određujemo naprezanja prema obrascima:

- Naprezanje za beton (C40/50): $\sigma = \varepsilon(\text{‰}) \cdot 35000(\text{MPa})$

Zbog velikog broja rezultata prikazat će se primjer dijagrama za polje U1-S1 (lijevi most) (Slika 10.), nakon čega će se tabelarno prikazati usporedba naprezanja po mjernim mjestima na lijevom mostu (Tablica 2.).

Jurišić, M., Kustura, M., Šunjić, G.
Ispitivanje probnim opterećenjem mosta Drivuša



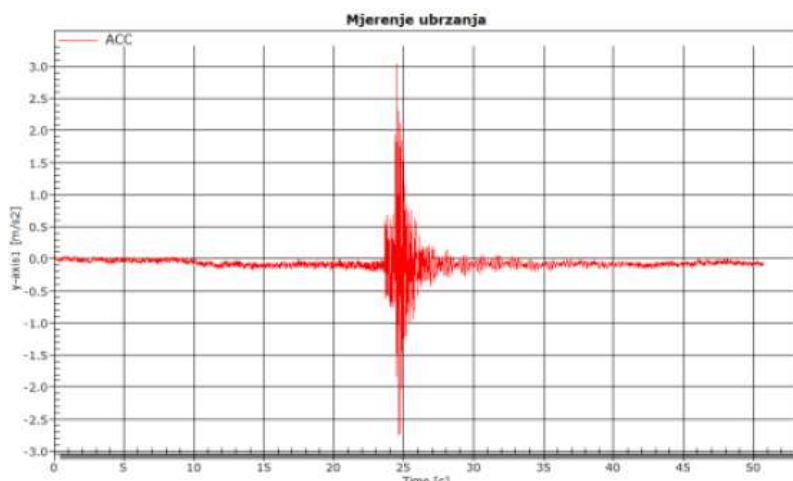
Slika 10. – Primjer mjerenih vrijednosti relativnih deformacija za polje U1-S1 (lijevi most)

Tablica 2. – Usporedba naprezanja po mjernim mjestima na lijevom mostu

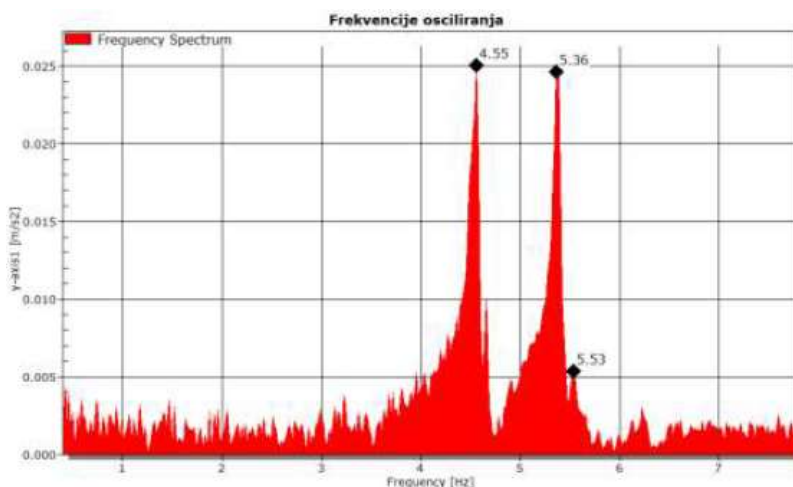
Mjerno mjesto	Mjereno (MPa)		Računsko (MPa)		Razlika (MPa)	
	MM1	MM2	MM1	MM2	MM1	MM2
Polje U1-S1	-0.58	1.43	-0.68	1.33	0.1	0.1
Oslonac S1	0.39	-0.08	0.45	-0.47	0.06	0.39
Polje S1-S2	-0.66	1.06	-0.62	1.33	0.04	0.27
Oslonac S2	0.2	/	0.33	-0.34	0.13	/
Polje U2-S16	-0.67	0.85	-0.52	1.03	0.15	0.18
Oslonac S16	0.34	-0.09	0.47	-0.5	0.13	0.41
Polje S15-S16	-0.74	1.04	-0.61	1.3	0.13	0.26
Oslonac S15	0.18	/	0.29	-0.32	0.11	/

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 S15-S16, što je registrirano akcelometrom (Slika 11.) a nakon obrade rezultata dobiven je dijagram frekvencija osciliranja mosta (Slika 12.).

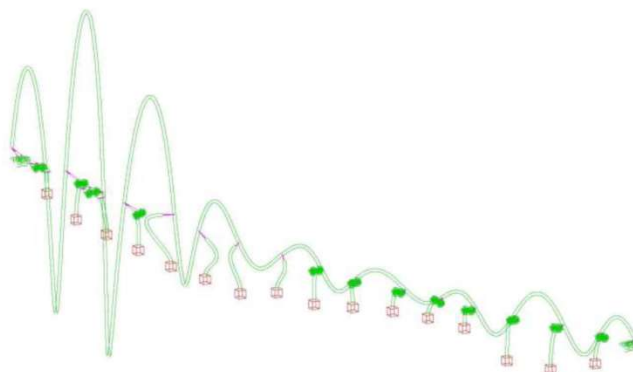


Slika 11. - Zapis ubrzanja dobiven akcelometrom



Slika 12. - Frekvencije osciliranja

Računskim modelom također su određeni modalni oblici osciliranja (Slika 13.) te su obradom rezultata određene su frekvencije osciliranja mosta i izvršena usporedba s računskim (Tablica 3.).



Slika 13. - Prvi računski modalni oblik osciliranja ($T = 4.01$ Hz)

Tablica 3. – Usporedba frekvencija osciliranja

Frekvencija (Hz)	Vrijednost 1	Vrijednost 2	Vrijednost 3
Računske vrijednosti	4.01	4.13	4.24
Mjerene vrijednosti	4.55	5.36	5.53

7. ZAKLJUČAK

U svrhu sveobuhvatne analize ponašanja konstrukcije, provedeno je ispitivanje mosta Drivuša probnim opterećenjem kako bi se verificirala njegova usklađenost s projektom, potvrdila kvaliteta izvedenih radova i ocijenila sposobnost preuzimanja projektiranog statičkog i dinamičkog prometnog opterećenja. Tijekom ovih ispitivanja, eksperimentalno su određeni ključni statički i dinamički parametri, uključujući pomake, naprezanja i vlastite frekvencije, koji su potom uspoređeni s odgovarajućim računskim (teorijskim) veličinama. Provedena analiza pokazala je visoku razinu podudarnosti između eksperimentalno izmjerenih i računskih parametara, što nedvojbeno potvrđuje da se most u stanju korištenja ponaša sukladno projektu. Ovime je uspješno verificirana izvedba građevine, čime je ispunjen preduvjet za puštanje mosta Drivuša u promet.

8. LITERATURA

1. <https://www.jpautoceste.ba/>
2. JUS U.M1.046:1984 Pravilnik za ispitivanje mostova probnim opterećenjem, Sl. list 60/84
3. Rak, M.; Krolo, J.; Bartolac, M.: Ispitivanje i analiza parametara velikih lučnih mostova, Građevinar 62, str. 913-920., Zagreb 2010.
4. Biondić, H.: Probno opterećenje mostova, Ekscentar, br. 14, pp. 80-83, Zagreb 2011.
5. Izvješće o ispitivanju mosta Drivuša na autocesti Koridor Vc sekcija Drivuša-Klopče, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Mostar, kolovoz 2018.
6. <https://www.sofistik.com/en/>