



*Stručni rad/Professional paper*  
*Primljen/Received: 3. 4. 2019.*  
*Prihvaćen/Accepted: 23. 5. 2019.*

## NAPRSLINE NA STAROM MOSTU U MOSTARU

**Mladen Glibić**, red. prof. dr. sc.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, [mladen.glibic@gf.sum.ba](mailto:mladen.glibic@gf.sum.ba)

**Goran Šunjić**, doc. dr.sc.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, [goran.sunic@gf.sum.ba](mailto:goran.sunic@gf.sum.ba)

**Željko Mikulić**, dipl.ing.građ.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, [zeljko.mikulic@gf.sum.ba](mailto:zeljko.mikulic@gf.sum.ba)

**Sažetak:** Stari most u Mostaru je obnovljen sredinom 2004. godine. Prve naprsline su opažene 2007. godine. Proces nastajanja naprslina traje od tada neprekidno. U radu je predstavljen proces nastanka naprslina i komentirano je vertikalno pomicanje mjernih točaka na mostu od izgradnje novog mosta. Izvršena ja analiza ovih pojava i obrađeni su neki mogući uzroci njihovom nastanku.

**Ključne riječi :** Stari most u Mostaru, naprsline, vertikalna pomicanja kamenog luka, uzroci pucanja kamenog luka mosta

## THE CRACKS ON THE OLD BRIDGE IN MOSTAR

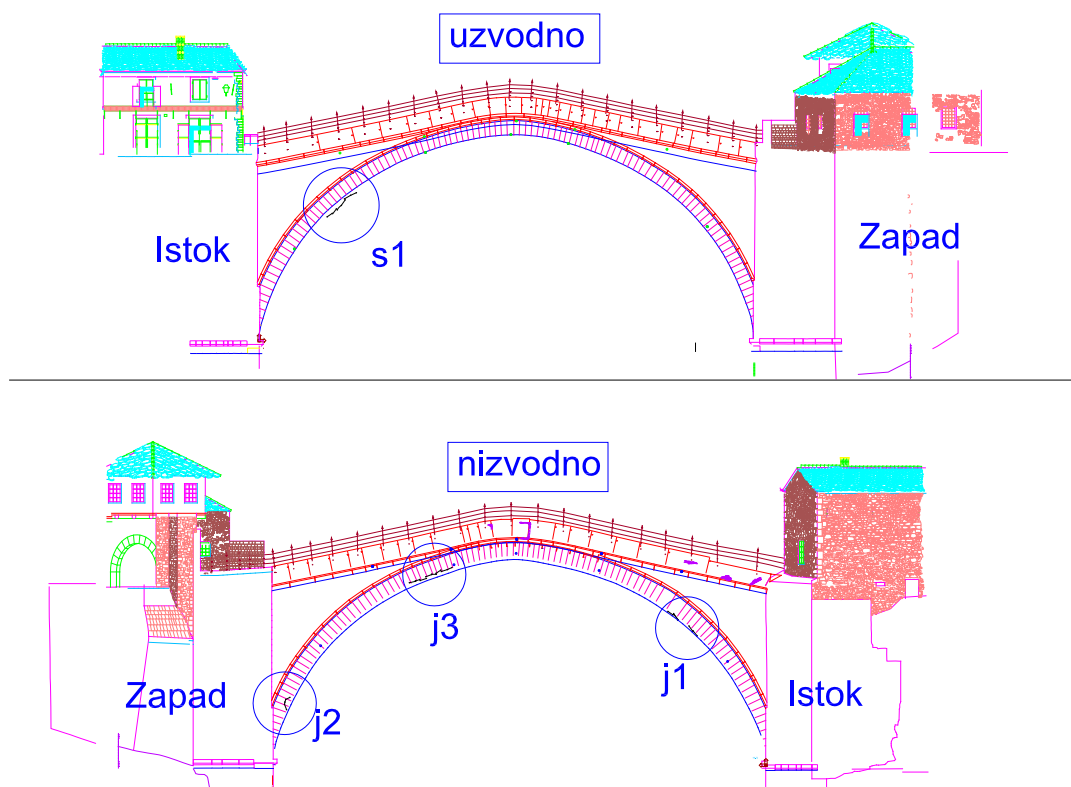
**Abstract:** The Old Bridge in Mostar was restored in mid-2004. The first cracks were observed in 2007. The cracking process has been ongoing since then. This paper presents the process of cracking and comments on the vertical deflection of measurement points on the bridge since construction of the new bridge. The analysis of these phenomena has been carried out and some possible causes of their emergence have been addressed.

**Key words:** Old Bridge in Mostar, cracks, vertical deflection of the stone arch, causes of the stone bridge cracking



## 1. Pojava naprsline

Krajem studenog 2007. godine na luku Starog mosta u Mostaru uočene su naprsline. Značajne naprsline se uočene na više mjesta na luku mosta. One se nalaze na sjevernoj i južnoj strani kamenog luka uz istočnu obalu mosta, oko polovice visine luka (S1 i J1), dok uz zapadnu obalu naprsline su samo na južnoj strani luka mosta na petini visine luka (J2). Također, s južne strane postoje i naprsline nešto niže od tjemene luka prema zapadnoj obali (J3)(1). Na intradosu mosta nisu uočene naprsline. Sve se naprsline protežu kroz više kamenih blokova luka i ne idu isključivo po spojnicama.



Slika 1. Naprsline iz 2008. godine (1)

## 2. Stanje oko 2010. godine

U slijedećih nekoliko godina naprsline na mostu su bile raspoređene na većoj površini luka mosta, a već 2008. godine pojavile su se i na intradosu mosta. Sredinom 2010. godine urađeno je prostorno snimanje mosta i načinjen je crtež naprslina na intradosu svoda mosta (3).

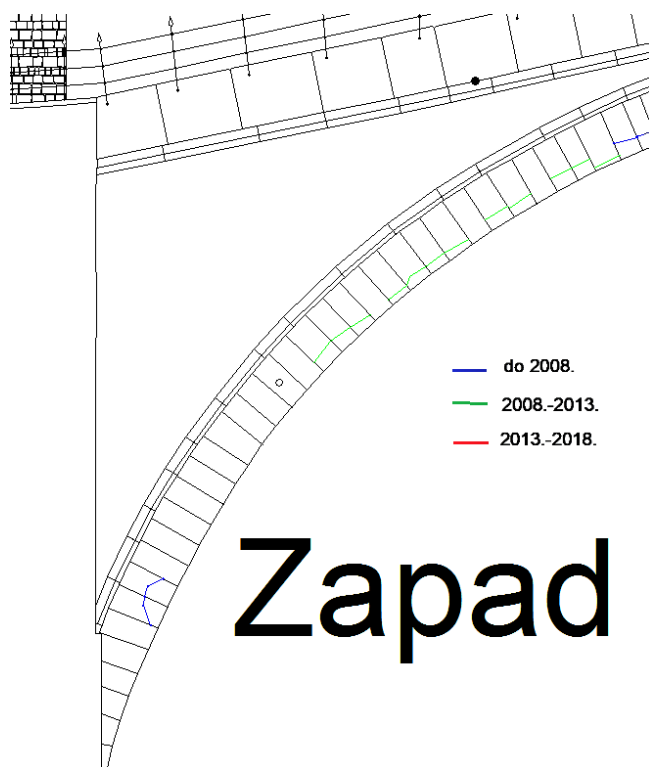


Slika 2. Naprsline na intradosu mosta 9.11.2008. godine

### 3. Razvoj naprslina od 2010. do 2018. godine

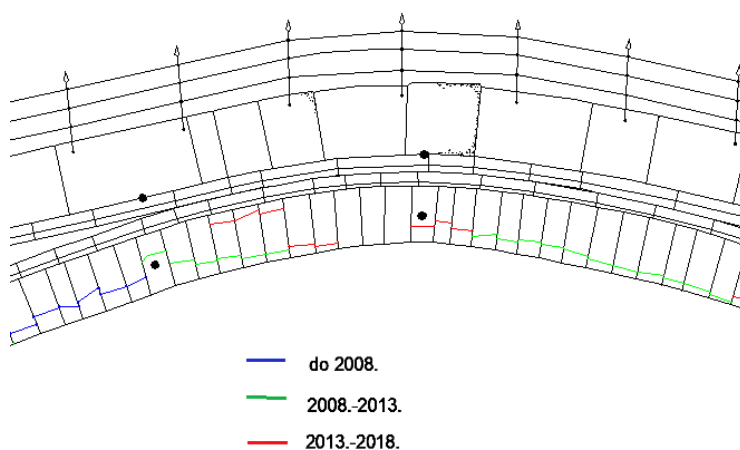
Tijekom slijedećih godina pojavljivale su se nove naprsline, a i postojeće su postajale sve više vidljive. U periodu od uočavanja naprslina na mostu vršio sam fotografiranje mosta u ljetnom vrućem i zimskom hladnom periodu godine. Na osnovu analize tih fotografija urađen je crtež postojećih naprslina na kojem su na intradosu crvenom bojom označene naprsline snimljene 2010. godine, a zelenom bojom naprsline koje su nastale poslije sve do početka prosinca 2018. godine. Vidljivo je značajno povećanje broja novih naprslina. Također je urađen i crtež nastanka naprslina na bočnim stranama svoda mosta. Na nizvodnoj i uzvodnoj strani obilježene su naprsline kroz veći broj intervala vremena od 2007. do kraja 2018. godine.

Posebno je interesantno razdoblje razvoja novih naprslina od snimka u proljeće 2018. do skorih snimaka početkom prosinca. U ovom periodu od pola godine nastao značajan broj novih naprslina na bočnim stranama svoda mosta.

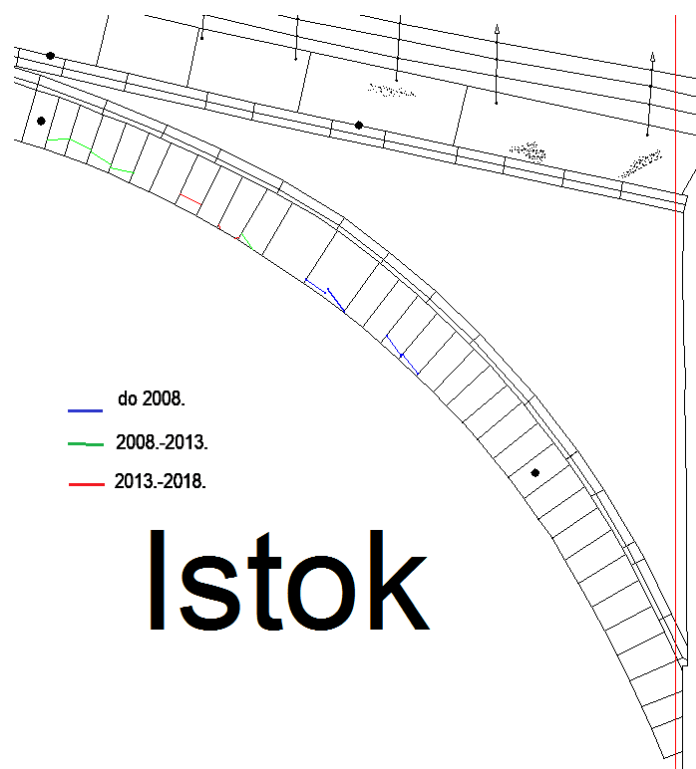


Slika 3. Skica naprslina na nizvodnoj strani luka mosta - zapad

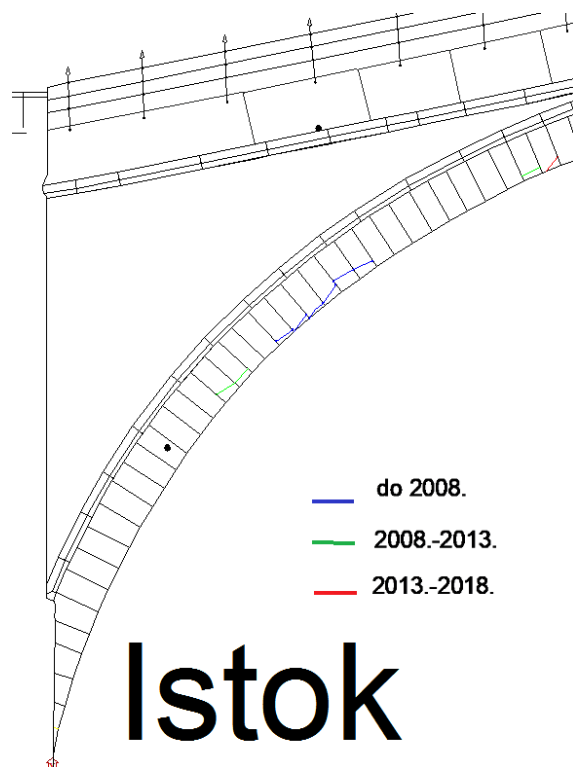
nizvodno



Slika 4. Skica naprslina na nizvodnoj strani luka mosta – sredina



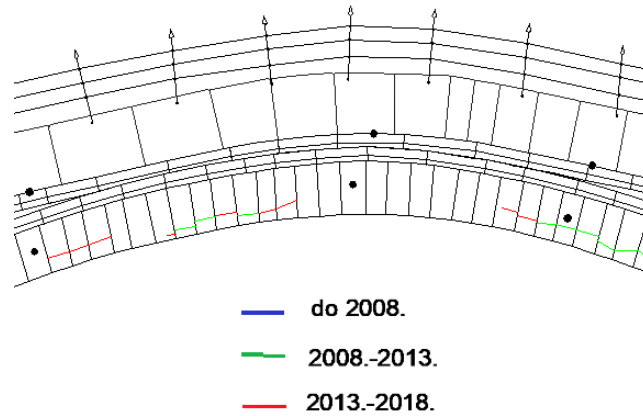
Slika 5. Skica naprslina na nizvodnoj strani luka mosta - istok



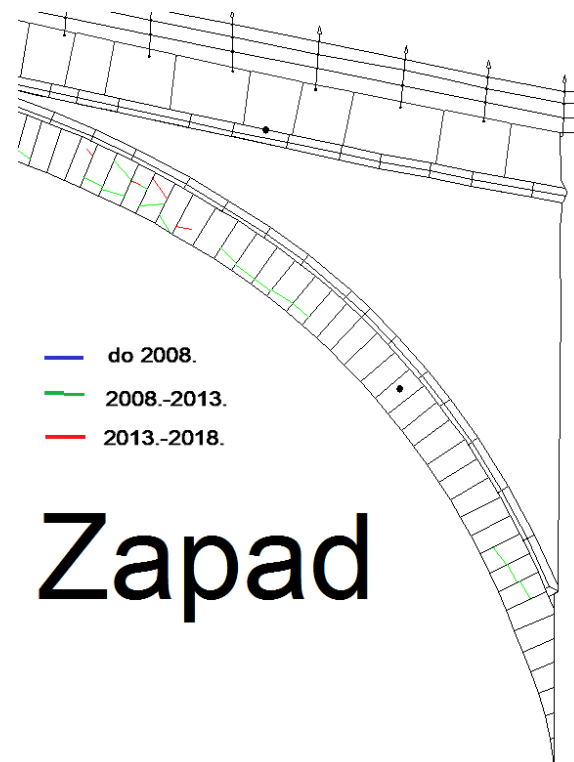
Slika 6. Skica naprslina na uzvodnoj strani luka mosta – istok



# uzvodno



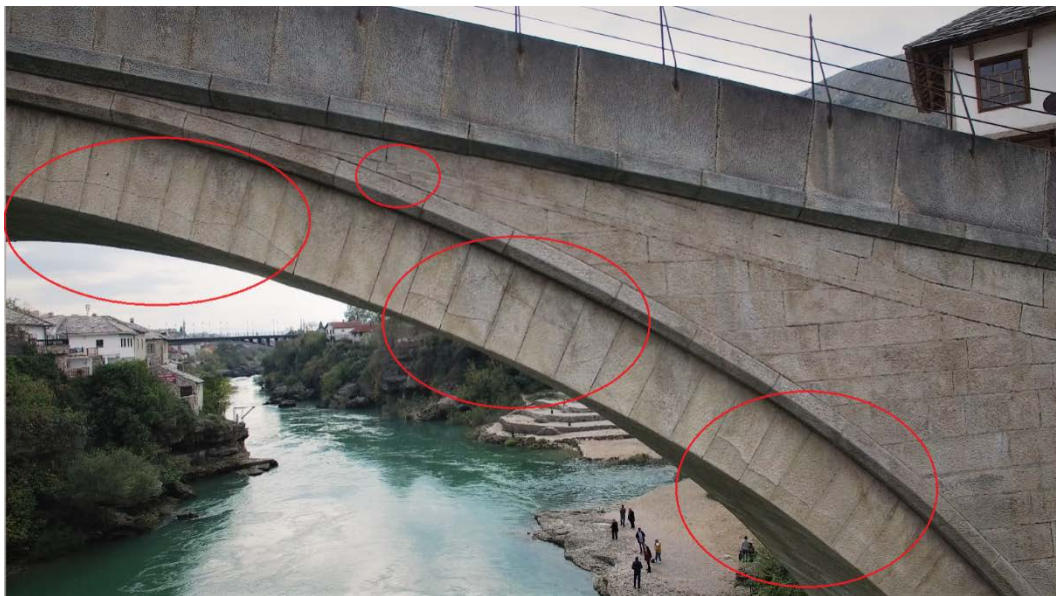
Slika 7. Skica naprslina na uzvodnoj strani luka mosta - sredina



Slika 8. Skica naprslina na uzvodnoj strani luka mosta – zapad



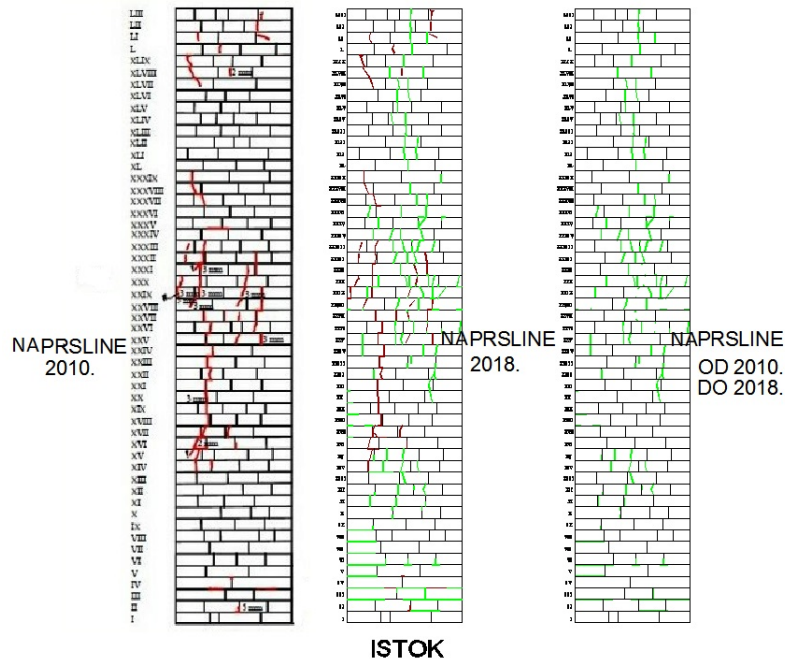
Slika 9. Naprsline nizvodna strana luka iz 2013. i 2018. godine. Vidljive nove naprsline desno od repera



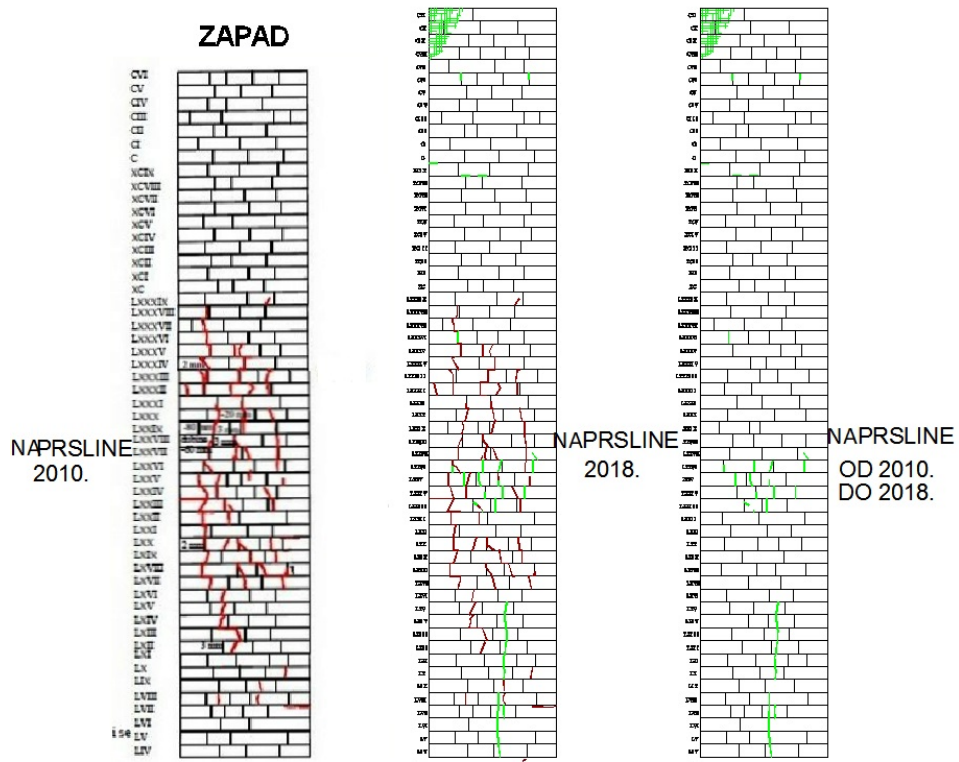
Slika 10. Naprsline na uzvodnoj strani luka 2018. godine



Naprsline na Starom mostu u Mostaru



Slika 11. Skica naprslina intradosa svoda mosta prema istočnoj strani



Slika 12. Skica naprslina intradosa svoda mosta prema zapadnoj strani





Slika 13. Naprsline na intradosu mosta istočna strana, 2018 godine

#### 4. Analiza pojave naprslina

Naprsline na mostu imaju nekoliko karakterističnih odlika:

- a) Naprsline nastaju duži niz godina i nije završen proces nastanka naprslina.
- b) Naprsline nastaju na skoro čitavoj površini intradosa svoda mosta.
- c) Naprsline nastaju zbog tlačnog naprezanja većeg od tlačne nosivosti kamena svoda mosta.

Naprsline na mostu se primijećene krajem 2007. godine, tri godine poslije završetka mosta. Od tada je primijećen stalan nastanak novih naprslina i taj proces nije završen. Očigledno je da su uzrok nastanka naprslina dugotrajni procesi, a ne kratkotrajna opterećenja mosta. Zbog toga ova kratkotrajna opterećenja nisu izazvala nastanak naprslina: potresi, vjetar, utjecaj velikih voda Neretve, slijeganje upornjaka, primjena krute skele i kontaktno naponsko injektiranje upornjaka pri izgradnji. Opterećenja koja djeluju duži vremenski period su vlastita težina, korisni teret i utjecaj promjene temperature. Vlastita težina je dominirajuće opterećenje, ali to što se naprsline nisu javile u prve tri godine starosti novog mosta pokazuje da samo ovo opterećenje nije uzrok pojave naprslina.

Korisni teret od 5 kN/m<sup>2</sup> koji se u najvećoj vrijednosti rijetko pojavljivao je previše mali u odnosu na vlastiti težinu mosta da bi on bio uzrok pojave naprslina.

Ostao nam je najsumnjiviji uzrok pojave pukotina na mostu, a to je utjecaj promjene temperature mosta. Ovdje imamo dvije vrste promjene temperature kao opterećenja na most. Prva vrsta je godišnja promjena temperature zraka u Mostaru, dok je druga promjena temperature u raznim dijelovima mosta koja ima dnevni karakter.

Mostar je poznat po umjerenom klimi preko zime, ali sa izrazito vrućim ljetima. Zimske temperature zraka ne padaju ispod – 10 °C, dok ljeti temperature prelaze 40 °C.



Temperatura zidova mosta koji su izloženi direktno suncu prelazi i 55 °C. Može se sa sigurnošću prihvatiti da najveća godišnja temperaturna razlika kojoj je konstrukcija mosta izložena prelazi 50 °C.

Promjena temperature unutarnjih dijelova mosta je znatno manja, ali dnevna razlika između unutarnjeg i vanjskog dijela mosta ljeti može ići do 20 °C .

Rekonstruirani Stari most je značajno kvalitetnije urađen nego što je bio porušeni most. Kvalitetni odabir materijala, stručno izvođenja, primjena suvremene tehnologije, stručna i neprekidna kontrola radova i neusporedivo veća razina stručnog znanja su razlozi da je novi most superioran u odnosu na stari. Posljedica toga je da smo dobili puno krući most nego što je bio prije. Zbog toga promjene temperature izazivaju veća naprezanja u nosivoj konstrukciji mosta nego što ih je imao stari Stari most kroz četiri stoljeća. Utjecaj temperature glavna nosiva konstrukcija mosta počinje osijecati od trenutka otpuštanja skele mosta. To je bilo u proljeće 2004. godine kad je temperatura bila oko 10 °C. Utjecaj povećanja temperature na most najveći je u ljetnim mjesecima (srpanj i kolovoz), dok je tokom siječnja najveći utjecaj smanjenja temperature.

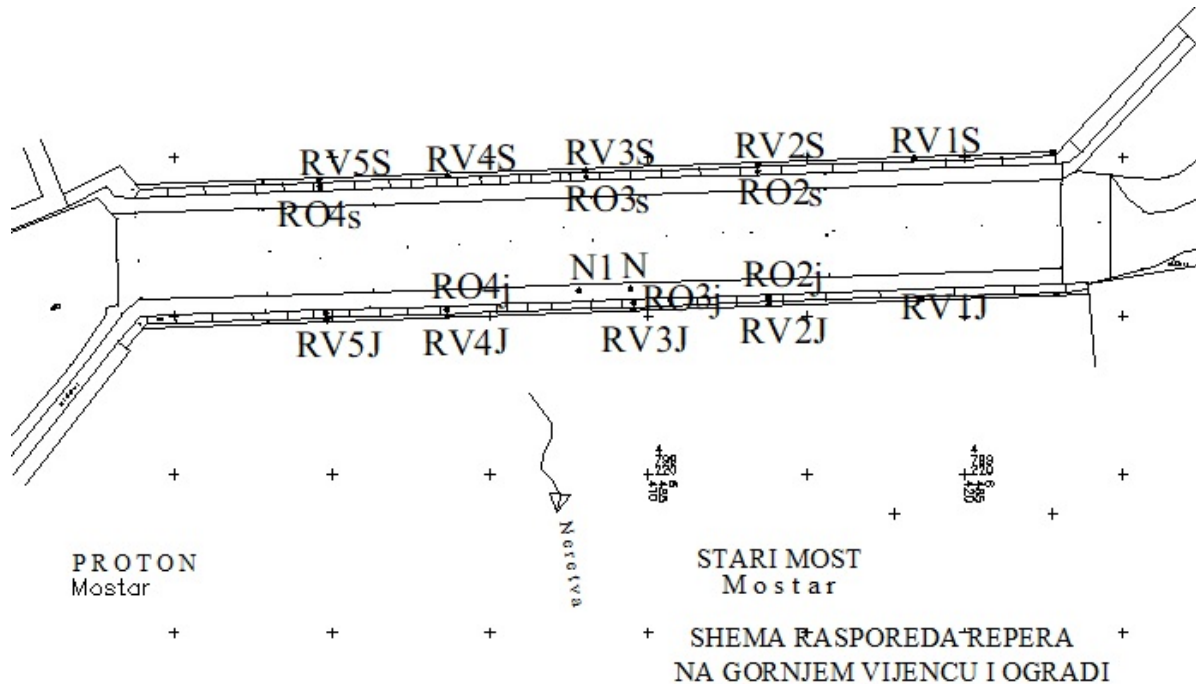
Mogući uzrok dugotrajnog nastanka naprsline može biti zajednički utjecaj velike vlastite težine, kruća konstrukcija novog mosta zajedno sa temperaturnim naprezanjem mosta i eventualna slabija kvaliteta kamena svoda mosta. Ovaj zadnji razlog se mora analizirati jer su sve naprsline nastale zbog naprezanja tlakom i cijepanjem kamena. Nema značajnih naprsline kroz spojnice od morta kao posljedica naprezanjem vlakom.

## 5. Progibi repernih točaka

Još za vrijeme gradnje mosta postavljene su reperne točke na vijencu mosta, s uzvodne (sjeverne) i nizvodne (južne) strane . Geodetski su mjerene koordinate ovih repernih točaka od odvajanja skele od mosta 2004. do 2018. godine.

Analizom vrijednosti deformacija vidi se da se vrijednosti na reperskim točkama RV3 (sredina mosta) povećavaju prema gore (negativni progib) kako vrijeme prolazi, dok se vrijednosti kod reperskih točaka RV1 i RV5 negativno povećavaju (progib). Ova povećanja apsolutnih vrijednosti deformacija se pokazuju i kod mjerenja zimi i ljeti. Apsolutne vrijednosti podizanja reperskih točaka RV3 ljeti su veće od zimskih, dok je za rubne reperne točke RV1 i RV5 obratno.

Također do sličnih rezultata se može doći analizirajući slike dobivene 3D snimanjem mosta 2004., 2010. i 2018. godine. Vidljiva su prostorna pomicanja presjeka u oba smjera i također je prisutna i rotacija presjeka mosta. Indirektni pokazatelj rotacije mosta je i pojava proširenja spojnica među kamenjem kaldrme.



Slika 14. Položaj repernih točaka

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
TOČKA	Mjerenje	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$
Mjerenje	<b>0</b>	<b>1</b>		<b>4</b>		<b>5</b>		<b>6</b>		<b>7</b>		<b>8</b>		<b>9</b>		<b>10</b>		<b>11</b>	
Datum	01.02.'04	07.02.2004.		29.03.2004.		20.04.2004.		27.04.2004.		08.01.2008.		07.01.2011.		21.06.2014.		14.12.2014.		12.09.2015.	
<b>sjever</b>																			
<b>RV1s</b>	58,1498	58,1498	0,0	58,1492	-0,6	58,1492	0,0	58,1492	-0,6	58,1487	-1,1	58,1496	-0,2	58,1464	-3,4	58,1458	-4,0	58,1462	-3,6
<b>RV2s</b>	59,1669	59,1669	0,0	59,1664	-0,5	59,1664	-0,5	59,1658	-1,1	59,1662	-0,7	59,1646	-2,3	59,1677	0,8	59,1660	-0,9	59,1684	1,5
<b>RV3s</b>	60,1231	60,1231	0,0	60,1234	0,3	60,1234	0,3	60,1231	0,0	60,1268	3,7	60,1269	3,8	60,1333	10,2	60,1305	7,4	60,1350	11,9
<b>RV4s</b>	59,6502	59,6502	0,0	59,6501	-0,1	59,6501	-0,1	59,6492	-1,0	59,6518	1,6	59,6505	0,3	59,6541	3,9	59,6517	1,5	59,6552	5,0
<b>RV5s</b>	58,5110	58,5110	0,0	58,5103	-0,7	58,5103	-0,7	58,5099	-1,1	58,5099	-1,1	58,5069	-4,1	58,5079	-3,1	58,5069	-4,1	58,5078	-3,2
<b>jug</b>																			
<b>RV1j</b>	58,1396	58,1396	0,0	58,1388	-0,8	58,1388	-0,8	58,1382	-1,4	58,1382	-1,4	58,1394	-0,2	58,1359	-3,7	58,1355	-4,1	58,1360	-3,6
<b>RV2j</b>	59,1791	59,1791	0,0	59,1789	-0,2	59,1789	-0,2	59,1773	-1,8	59,1782	-0,9	59,1768	-2,3	59,1799	0,8	59,1785	-0,6	59,1810	1,9
<b>RV3j</b>	60,0390	60,0390	0,0	60,0390	0,0	60,0390	0,0	60,0381	-0,9	60,0414	2,4	60,0413	2,3	60,0478	8,8	60,0455	6,5	60,0501	11,1
<b>RV4j</b>	59,4440	59,4439	-0,1	59,4430	-1,0	59,4430	-1,0	59,4425	-1,5	59,4438	-0,2	59,4425	-1,5	59,4455	1,5	59,4438	-0,2	59,4470	3,0
<b>RV5j</b>	58,4366	58,4365	-0,1	58,4361	-0,5	58,4361	-0,5	58,4355	-1,1	58,4355	-1,1	58,4314	-5,2	58,4325	-4,1	58,4315	-5,1	58,4325	-4,1
TOČKA	Mjerenje	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$	Mjerenje	$\Delta V$
Mjerenje	<b>0</b>	<b>12</b>		<b>13</b>		<b>14</b>		<b>15</b>		<b>16</b>									
Datum	01.02.'04	14.07.2016.		19.12.2016.		15.07.2017.		12.12.2017.		10.06.2018.									
<b>sjever</b>																			
<b>RV1s</b>	58,1498	58,1476	-2,2	58,1472	-2,6	58,1463	-3,5	58,1454	-4,4	58,1461	-3,7								
<b>RV2s</b>	59,1669	59,1690	2,1	59,1664	-0,5	59,1687	1,8	59,1661	-0,8	59,1681	1,2								
<b>RV3s</b>	60,1231	60,1373	14,2	60,1316	8,5	60,1357	12,6	60,1314	8,3	60,1348	11,7								
<b>RV4s</b>	59,6502	59,6558	5,6	59,6558	5,6	59,6571	6,9	59,6525	2,3	59,6565	6,3								
<b>RV5s</b>	58,5110	58,5090	-2,0	58,5081	-2,9	58,5084	-2,6	58,5064	-4,6	58,5074	-3,6								
<b>jug</b>																			
<b>RV1j</b>	58,1396	58,1338	-5,8	58,1371	-2,5	58,1360	-3,6	58,1338	-5,8	58,1352	-4,4								
<b>RV2j</b>	59,1791	59,1823	3,2	59,1795	0,4	59,1812	2,1	59,1787	-0,4	59,1808	1,7								
<b>RV3j</b>	60,0390	60,0520	13,0	60,0474	8,4	60,0506	11,6	60,0468	7,8	60,0498	10,8								
<b>RV4j</b>	59,4440	59,4439	-0,1	59,4439	-0,1	59,4475	3,5	59,4445	0,5	59,4468	2,8								
<b>RV5j</b>	58,4366	58,4343	-2,3	58,4325	-4,0	58,4320	-4,6	58,4307	-5,9	58,4317	-4,9								

Slika 15. Tablica mjerenja koordinata repernih točaka



## 6. Analiza progiba i naprslina

Prikazane vrijednosti progiba i slike naprslina pokazuju da kako most stari obje pojave se povećavaju. Apsolutne vrijednosti deformacija se povećavaju a pojava nastanka novih naprslina nije završena. Naprsline na kamenju svoda mosta smanjuju krutost konstrukcije, što dovodi do povećanja vrijednosti deformacija. Zagrijavanje konstrukcije mosta dovodi do uzdizanja sredine mosta, čija vrijednosti raste kako se krutost mosta smanjuje. Naprsline na svodu mosta nastaju zbog naprezanja tlaka koja izazivaju cijepanje kamena. Koliko su naprsline smanjile krutost mosta može se saznati mjerenjem dinamičkih svojstava mosta i uspoređivanjem sa izmjerenim vrijednostima iz 2007. godine (2). Te godine dok most još nije imao naprsline izmjerene su vlastite frekvencije mosta. Istraživanja provedena 2007. godine sadrže određivanje dinamičkih karakteristika Starog mosta u Mostaru eksperimentalnim putem metodom ispitivanja mjerenjem ambijentalnih vibracija. Mjerenja je uradio:

INSTITUT ZA ZEMLJOTRESNO INŽENJERSTVO I INŽENJERSKU SEIZMOLOGIJU – IZIIS iz Skopja Makedonija.

Izmjerene vrijednosti su se dobro slagale sa računskim vrijednostima iz projekta obnove mosta (4).

Postoji realna opasnost da zimi kad se smrzne voda od padavina u naprslinama dođe do lokalnih ispadanja komada kamenja iz svoda mosta.

## 7. Zaključak

Naprsline koje nastaju u svodu mosta zadnjih desetak godina sigurno smanjuju sigurnost konstrukcije mosta. Pojava nastajanja novih naprslina pokazuje da proces još nije završen i da naprsline sve više ugrožavaju nosivost mosta. Zbog toga je hitno potrebno poduzeti aktivnosti koje će definirati stvarne razloge nastajanja naprslina na mostu. Potrebno je predložiti mjere sanacije postojećih naprslina i mjere koje će otkloniti mogućnost nastajanja novih. Vrijeme nam ističe.

## 8. Literatura

1. Glibić, M.: "A possible reasons of cracks on the arch of the Old Bridge", International Scientific Symposium, Mostar, 2008.
2. Krstevska, L., Kustura, M., Tashkov, Lj.: "Experimental dynamic testing of the Old Bridge in Mostar", International Scientific Symposium, Mostar, 2008.
3. IGA plan d.o.o.: Izveštaj sa trodimenzionalnog 3D snimanja Starog mosta u Mostaru, Mostar, 2010.
4. General Engineering: "Dijelovi glavnog projekta ponovne izgradnje Starog mosta", Firenca, 2002.
5. J. Radnić, A. Harapin, M. Smilović, N. Grgić, M. Glibić: Static and dynamic analysis of the old stone bridge in Mostar, Građevinar 63 (06.), 529-546
6. PROTON d.o.o.: "Geodetic recording of cracks on the Old Bridge", Mostar, 2018.
7. ARHIPLUS d.o.o. "Monitoring Starog mosta", Mostar, 2018.