

DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2021.16>

PREGLED ZIDANIH SVOĐENIH MOSTOVA U REPUBLICI HRVATSKOJ

A REVIEW OF EXISTING MASONRY ARCH BRIDGES IN CROATIA

**Domagoj Trajber¹, Davorin Penava¹, Fulvio Rinaudo² Vasilis Sarhosis³
Lars Abrahamczyk⁴**

(1) Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Vladimira Preloga 3, Osijek, R. Hrvatska, dtrajber@gfos.hr; dpenava@gfos.hr

(2) Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino, Viale Pier Andrea Mattioli, 39, 10125 Torino, Italy, fulvio.rinaudo@polito.it

(3) School of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK, v.sarhosis@leeds.ac.uk

(4) Chair of Advanced Structures, Faculty of Civil Engineering, Bauhaus-Universität Weimar, Marienstraße 13D, 99423 Weimar, Germany, lars.abrahamczyk@uni-weimar.de

Sažetak

U radu je dan pregled zidanih svođenih mostova u Republici Hrvatskoj, njihovih tipoloških obilježja i opaženih oštećenja. Podatci o mostovima prikupljeni su u ovlaštenim ustanovama, državnim arhivima i restauratorskim zavodima. Podatci su statistički obrađeni uzimajući u obzir gradivo, geometrijska svojstva, debljinu svoda (luka), broj raspona i otvorenost/zatvorenost bočnih zidova. Najčešći su kameni mostovi konstantne debljine svoda (luka) i zatvorenih bočnih zidova s kružnim lukom za jednorasponske i segmentnim lukom za višerasponske mostove. Brzim vizualnim *in-situ* pregledima prikupljeni su dodatni podatci o geometrijskim svojstvima i stanju cestovnih mostova od opeke. Uočena oštećenja upućuju na potrebu za detaljnijom provjerom radi ocjenjivanja stanja mosta te kako bi se prikladnim mjerama održavanja i popravaka očuvala njihova trajnost i nastavilo neometano korištenje.

Ključne riječi: zidani svođeni mostovi, gradivo, tipologija, geometrija, oštećenja

Abstract

This study offers a review of masonry arch bridges in Croatia, it presents their most common typologies, geometric characteristics, and damages. Data about bridges have been collected from official institutions, state archives, and conservation institutes. Statistical analysis taking into account materials, arch geometry, arch thickness, number of spans, and superstructure type was conducted using collected data. The most common typologies are stone bridges with constant arch thickness, closed spandrel walls, and circular arch for the single-span and segmental arch for multi-span bridges. Additional data about geometry and damage of road brickwork bridges has been obtained with a rapid visual *in-situ* inspection. Observed damages indicate the need for further investigation for purpose of better understanding the capacity of these bridges, to secure their safe use through adequate maintenance and retrofitting.

Keywords: masonry arch bridges, construction material, typology, geometry, damage

1. Uvod

Na željezničkim i cestovnim mrežama u Europi postoji približno 300 000 zidanih svođenih mostova [1]. Izvori poput [2] – [4] pružaju više podataka o zidanim svođenim mostovima u drugim europskim zemljama. Glavnina ovih mostova sagrađena je prije više od stotinu godina te su tijekom uporabnoga vijeka bili izloženi utjecajima iz okoliša, prirodnim nepogodama te stalnom porastu prometnoga opterećenja. Ti su utjecaji uzrokovali različita oštećenja koja utječu na njihovu nosivost i uporabljivost. Zbog toga je bitno imati pouzdanu metodu ocjenjivanja mostova. Pregled eksperimentalnih istraživanja i metoda ocjenjivanja mostova moguće je naći u [5].

Statističkom obradom podataka o zidanim svođenim mostovima u Republici Hrvatskoj, koji su dobiveni u sljedećim ovlaštenim ustanovama: Hrvatske željeznice, Hrvatske ceste i Županijske uprave za ceste, državni arhivi i restauratorski zavodi, utvrđeno je kako postoji približno 178 zidanih svođenih mostova. Ovi mostovi čine važan dio prometne mreže, od kojih se na cestama nalazi 85 %, a na željeznicama 15 % mostova. Većina ovih mostova građena je tijekom 19. i 20. stoljeća od lokalno dostupnih materijala. U obalnim i planinskim područjima za izgradnju mostova korišten je kamen, dok je u kontinentalnome području korištena opeka. Dva najstarija (cestovna) mosta (Slika 1) koja su u uporabi i danas sagrađena su početkom 18. stoljeća.

Brzim vizualnim *in-situ* pregledima prikupljeni su detaljniji podatci o geometriji i oštećenjima mostova od opeke na temelju kojih je uočena potreba za detaljnijom provjerom radi ocjenjivanja stanja ovih mostova te kako bi se prikladnim mjerama održavanja i popravaka očuvala njihova trajnost i nastavilo neometano korištenje.



a) Stari most Valpovo (Karašice)



b) Most na Dobri, Novigrad (Dobra) (Slika preuzeta s *Googlea*)

Slika 1. Stari most Valpovo (a) i Most na Dobri (b)

2. Tipološka obilježja

Na temelju tipoloških obilježja zidani svođeni mostovi klasificirani su u skladu s [4], ali prilagodbom kojom su uvršteni segmentni, a isključeni nepravilni svodovi (koji nisu bili zastupljeni). Promatrana tipološka obilježja bila su: gradivo, geometrijska svojstva svoda (luka), debljina luka, broj raspona i izvedba bočnih zidova (vidjeti Tablicu 1).

Tablica 1. Klasifikacija zidanih svođenih mostova prema tipološkim obilježjima

Gradivo	→	Opeka	Debljina luka	→	Konstantna
		Kamen			Promjenjiva
		Mješavina			
Geometrija svoda (luka)	→	Polukrug	Broj raspona	→	Jednorasponski
		Parabola			Višerasponski
		Elipsa	Konstrukcija bočnih zidova	→	Zatvorena
		Segment			Otvorena
		Zakošeni			

Obradom prikupljenih podataka utvrđeno je sljedeće:

1. 86 % mostova izvedeno je od kamena, 13 % od opeke, a preostalih 1 % od kamena i opeke
2. najzastupljeniji su segmentni (28 %) i polukružni luk (25 %)
3. 69 % mostova ima konstantnu debljinu luka
4. približno je 66 % mostova jednorasponskih, dok je preostalih 33 % višerasponskih
5. najčešći su kameni mostovi konstantne debljine luka (15 %) i zatvorenih bočnih zidova s kružnim lukom za jednorasponske i segmentnim lukom za višerasponske mostove (15 %).

3. Geometrijska obilježja

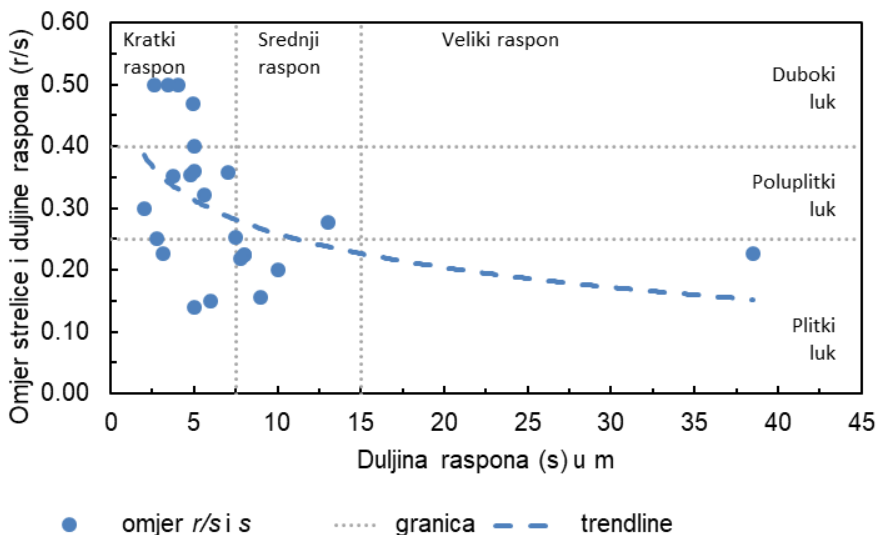
Radi usporedbe zidanih svođenih mostova prema geometrijskim obilježjima prikupljani su podatci o broju i svijetloj duljini raspona s , strelici r , obliku i debljini svoda (luka) u tjemenu d_c i peti d_s . Mostovi su zatim klasificirani u šest grupa prema [6], od kojih su tri na temelju omjera strelice i duljine raspona, a tri prema duljini raspona. Grupe prema omjeru strelice i raspona su:

- plitki lukovi $0,00 < r/s \leq 0,25$
- poluplitki lukovi $0,25 < r/s \leq 0,40$
- duboki lukovi $0,40 < r/s$

a grupe prema duljini raspona su:

- kratki raspon $0,0 < s \leq 7,5$
- srednji raspon $7,5 < s \leq 15,0$
- veliki raspon $15,0 < s$.

Na Slici 2 prikazan je odnos između omjera strelice i duljine raspona (r/s) i duljine raspona (s), te su označena područja odabranih grupa mostova. Zastupljenost mostova prema odabranim grupama prikazana je u Tablici 2.



Slika 2. Odnos između omjera strelice i duljine raspona (r/s) i duljine raspona (s)

Tablica 2. Raspodjela mostova po grupama na temelju omjera strelice i duljine raspona (r/s) i duljine raspona (s)

	Kratki raspon	Srednji raspon	Veliki raspon	Σ
Duboki luk	4 (18 %)	-	-	4 (18 %)
Poluplitki luk	7 (30 %)	1 (4 %)	-	8 (34 %)
Plitki luk	4 (18 %)	6 (26 %)	1 (4 %)	11 (48 %)
Σ	15 (66 %)	7 (30 %)	1 (4 %)	

Na temelju geometrijskih obilježja odabrana su tri referentna zidana svoda cestovnih mostova od opeke. Pri tome nisu razmatrani mostovi velikoga raspona i mostovi s dubokim svodom (lukom) zbog njihove male zastupljenosti. U Tablici 3 prikazana su geometrijska obilježja referentnih zidanih svodova.

Tablica 3. Geometrijska obilježja referentnih zidanih svodova

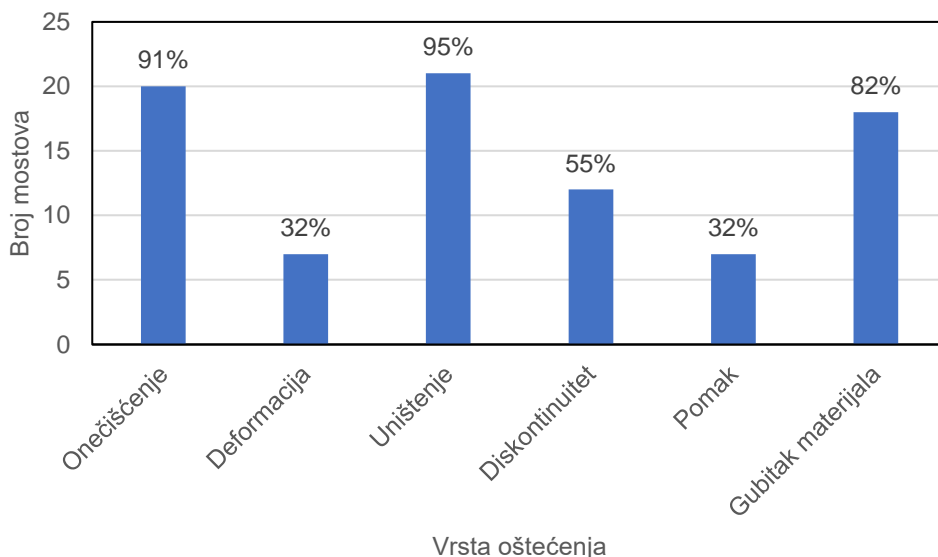
	Poluplitki svod (luk)	Plitki svod (luk)
Kratki raspon	$s = 4,70$ m	$s = 4,20$ m
	$r/s = 0,35$	$r/s = 0,20$
	$d_c = 0,60$ m	$d_c = 0,60$ m
	(Most A)	(Most B)
Srednji raspon	-	$s = 8,40$ m
	-	$r/s = 0,20$
	-	$d_c = 0,80$ m
	-	(Most C)

4. Oštećenja i *in-situ* pregled mostova

Tijekom uporabnoga vijeka zidani svođeni mostovi pretrpe oštećenja koja utječu na njihovu nosivost i uporabljivost. Najčešće su uzrokovana propadanjem gradiva kao posljedica izloženosti okolišu, starosti i nepravovremenoga održavanja. U skladu s [7] oštećenja su klasificirana u šest glavnih vrsta:

- **onečišćenje** – pojava bilo kakve vrste raslinja ili nečistoća
- **deformacija** – promjene u geometrijskim svojstvima (izvijanje ili ugibanje ispune, ziđa, zaštite, te klizanje i bubrenje ziđa)
- **uništenje** – propadanje fizikalnih i kemijskih konstrukcijskih značajki (takva se oštećenja mogu prepoznati po, primjerice, ljuštenju ili odlamanju opeke)
- **diskontinuitet** – pukotine
- **pomaci** – pomaci cijele konstrukcije ili njezinih konstrukcijskih dijelova (primjerice rotacija ili translacija bočnih zidova)
- **gubitak gradiva**.

In-situ vizualni pregled i klasifikacija prema oštećenjima provedeni su na 22 zidana svođena cestovna mosta od opeke (vidjeti Sliku 3). Najučestalije vrste oštećenja jesu onečišćenje, uništenje i gubitak materijala. Izbijanje soli i mahovina najčešći su oblici onečišćenja, a u nekim su slučajevima zabilježeni probijanje vode i gusto raslinje. Također, u nekoliko slučajeva zabilježeni su bitni diskontinuiteti, poput odvajanja prstenja i potencijalnoga odvajanja bočnih zidova od svoda (luka). Ovakve vrste oštećenja uzrokuju bitan gubitak nosivosti te ih je potrebno sanirati kako bi se nastavila sigurna uporaba mosta.



Slika 3. Učestalost vrsta oštećenja na zidanim svođenim cestovnim mostovima na temelju *in-situ* vizualnoga pregleda

5. Zaključak

U radu je dan pregled zidanih svođenih mostova u Republici Hrvatskoj, njihovih tipoloških obilježja i oštećenja. Podatci o mostovima prikupljeni su u ovlaštenim ustanovama, državnim arhivima, restauratorskim zavodima i *in-situ* vizualnim pregledom. Provedena je klasifikacija mostova prema tipološkim obilježjima na temelju čega su izdvojene najzastupljenije tipološke značajke. Daljnjom klasifikacijom na temelju geometrijskih obilježja odabrana su tri referentna zidana svoda cestovnih mostova od opeke radi provedbe daljnjih istraživanja. Oštećenja uočena *in-situ* vizualnim pregledom mostova upućuju na potrebu za detaljnijom provjerom radi ocjenjivanja stanja mostova te kako bi se prikladnim mjerama održavanja i popravaka očuvala njihova trajnost i nastavila neometana uporaba. Broj zidanih svođenih mostova u Republici Hrvatskoj skroman je u odnosu na druge europske zemlje, no oni su ipak neizostavan dio prometne mreže te dio građevinske baštine.

Literatura

- [1] A. Brencich and R. Morbiducci, "Masonry Arches: Historical Rules and Modern Mechanics," *Int. J. Archit. Herit.*, vol. 1, no. 2, pp. 165–189, May 2007, doi: 10.1080/15583050701312926.
- [2] S. De Santis and G. de Felice, "Overview of railway masonry bridges with a safety factor estimate," *Int. J. Archit. Herit.*, vol. 8, no. 3, pp. 452–474, May 2014, doi: 10.1080/15583058.2013.826298.
- [3] J. Page, *Masonry arch bridges. State of the art review*. The Stationery Office, 1993.
- [4] J. Bień and T. Kamiński, "Masonry arch bridges in Poland," in *ARCH'04 - Proceedings of the 4th International Conference on Arch Bridges*, 2004, p. 10, [Online]. Available: <http://arch-bridges.fzu.edu.cn/html/Conference/2015/07/13/cdb34f28-0084-4749-8007-3550ef61cc90.html>.
- [5] V. Sarhosis, S. De Santis, and G. De Felice, "A review of experimental investigations and assessment methods for masonry arch bridges.pdf," *Struct. Infrastruct. Eng.*, p. 50, 2016, doi: 10.1080/15732479.2015.1136655.
- [6] D. V. Oliveira, P. B. Lourenço, and C. Lemos, "Geometric issues and ultimate load capacity of masonry arch bridges from the northwest Iberian Peninsula," *Eng. Struct.*, vol. 32, no. 12, pp. 3955–3965, Dec. 2010, doi: 10.1016/j.engstruct.2010.09.006.
- [7] J. Bień and T. Kamiński, "Bien and Kaminski (2007) - Damages to masonry arch bridges - proposal for terminology unification," in *ARCH'07 - Proceedings of the 5th International Conference on Arch Bridges*, 2007, pp. 341–348.

Zahvale

Istraživanje je provedeno uz potporu i u okviru projekta *Erasmus+* programa Europske unije pod nazivom *Environmental Risk Assessment and Mitigation on Cultural Heritage Assets in Central Asia – ERAMCA* (projektni broj: 609574-EPP-1-2019-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP) i programa Hrvatske zaklade za znanost (HrZZ) pod nazivom *Projekt razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti*. Posebna zahvala Hrvatskim željeznicama, Hrvatskim cestama, Županijskim upravama za ceste i Hrvatskome državnom arhivu za ustupanje podataka koji su bitno pridonijeli ovom istraživanju.