

PROJEKAT KONSTRUKCIJE PEŠAČKOG VISEĆEG MOSTA PREKO REKE IBAR U BOGUTOVCU PREMA EVROKODU**STRUCTURAL DESIGN OF A PEDESTRIAN SUSPENSION BRIDGE OVER THE IBAR RIVER IN BOGUTOVAC ACCORDING TO EUROCODE**

Mihailo Čabović, Igor Džolev, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Rad obrađuje projekat konstrukcije pešačkog visećeg mosta u Bogutovcu, sa posebnim akcentom na upoređivanju rezultata statičkih i dinamičkih uticaja prema SRPS i Evrokodu. Obuhvaćeni su ključni tehnički aspekti proračuna kao i metodologija proračuna konstrukcije visećeg mosta prema važećim Evrokodu.

Ključne reči: strukturalna analiza, pešački viseći most

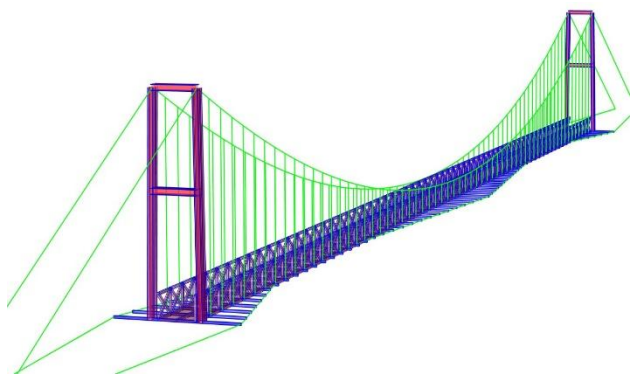
Abstract – The paper presents the structural design of a pedestrian suspension bridge in Bogutovac, with special emphasis on comparing the results of static and dynamic effects according to SRPS and Eurocode standards. It covers the key technical aspects of the structural analysis, as well as the methodology for the design of the suspension bridge structure in accordance with the current Eurocode provisions.

Keywords: Structural analysis, Pedestrian suspension bridge

1. UVOD

U skladu sa zahtevima i potrebama stanovništva, izrađen je projekat [1] pešačkog visećeg mosta preko reke Ibar u Bogutovcu, sa ciljem poboljšanja pešačke komunikacije i povezivanja obala u okviru naseljenog područja.

Konstrukcija visećeg mosta predstavlja klasičan sistem neukružene (gipke) lančanice sa dva pilona i ankerskim blokovima na desnoj i levoj obali Ibra.



Slika 1. 3D prikaz numeričkog modela iz programa SAP2000

NAPOMENA: Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Džolev, vanr. prof.

U okviru projekta konstrukcije pešačkog visećeg mosta u Bogutovcu, izbor konstrukcijskih materijala izvršen je u skladu sa važećim standardima i zahtevima Evrokoda, vodeći računa o mehaničkim svojstvima, trajnosti i konstrukcijskoj pouzdanosti elemenata.

Za armiranobetonske elemente konstrukcije predviđen je beton klase čvrstoće C30/37, koji obezbeđuje optimalan odnos nosivosti i trajnosti u uslovima spoljašnje eksploatacije. Projektom je predviđena armatura kvaliteta B500B i MA500/560, u skladu sa propisima SRPS EN 1992-1-1. Čelični elementi konstrukcije projektovani su od konstrukcionog čelika klase S235JR, čija mehanička svojstva i žilavost zadovoljavaju kriterijume definisane standardom EN 10025-2. Za noseće kablove predviđen je visokovredni čelik Y1860, namenjen za primenu u sistemima prednaprezanja i visećim konstrukcijama. Drveni elementi, koji čine delove pešačkog kolovoza i arhitektonskih detalja, izvedeni su od monolitnog četinarskog drveta klase C22, što obezbeđuje zadovoljavajuću čvrstoću i stabilnost pod uticajem atmosferskih uslova.

1.1 Tehnički opis

Projektom je obuhvaćeno konstrukcijsko rešenje pešačkog visećeg mosta raspona 86 m i korisne širine 1,9 m, sa strelom od 8 m i glavnim nosećim užadima prečnika Ø42 mm. Radi prijema horizontalnih sila od vetra, predviđene su dve horizontalne lančanice Ø20 mm, koje se ankerišu u armirano-betonske ankerne blokove. Konstrukcija ukrućenja u vertikalnoj ravni realizovana je kao drvena rešetkasta ograda sa pojasevima, stubovima i ukrštenim dijagonalama, dimenzija 10×10 cm. Stubovi su kruto povezani sa poprečnim nosačima radi prenosa horizontalnih opterećenja od 1 kN/m, a njihova nosivost je dodatno povećana primenom čeličnih kosnika 2×L40. Drvena rešetkasta ograda uključena je u proračun kao potporni element koji obezbeđuje bočnu stabilnost konstrukcije.

Poprečni nosači postavljeni su na međusobnom rastojanju od 1,40 m, izvedeni od čeličnih profila HOP 100×100×5, sa promenljivom dužinom radi povezivanja sa horizontalnim lančanicama. Glavna noseća užad su povezana sa vešaljima Ø16 mm, sa izmenjenim priključnim detaljima prema poprečnim nosačima i lančanicama. Pešački patos izveden je od dasaka debljine 5 cm, oslonjenih na podužne drvene grede dimenzija 10×10 cm, koje leže na tri čelična poprečna nosača. Na

krajevima, patos se oslanja na donji pojas ograde, uz posebne umetke u zoni stubova. Geometrija glavnih užadi je zadržana, dok su ankerni blokovi povećani: na levoj obali dimenzija 7,0×3,5×3,0 m, a na desnoj 8,0×4,5×3,2 m, radi prilagođavanja uslovima potapanja temelja. Užad su ankerisana preko čeličnih cevi unutar ankernih blokova, sa vezom izvedenom preko pet spojnica za vertikalnu konzolu. Povećanje temelja ostvareno je zadržavanjem postojećih blokova i njihovim dograđivanjem, uz čelične ankere koji obezbeđuju adekvatnu povezanost starog i novog betona.

2. ANALIZA OPTEREĆENJA [2]

2.1. Stalno opterećenje

- Sopstvena težina
- Dodatno stalno opterećenje od 0,8 kN/m²

2.2 Korisno opterećenje:

Korisno dejstvo na konstrukciju mosta prema EC 1991-Annex A2 $q=4 \text{ kN/m}^2$ za raspone veće od 10 m.

2.3 Sneg

Karakteristična vrednost opterećenja od snega, za područje Bogutovac i povratni period od 50 godina, usvojena je u iznosu od $s_k=1.0 \text{ kN/m}^2$.

2.4 Vetar

Razmatrano je dejstvo vetra za datu lokacijo za mostove:
 Osnovni pritisak vetra: $q_b = 0,225 \text{ kN/m}^2$
 Udarni pritisak vetra: $q_{p(z)} = 1,369 \text{ kN/m}^2$

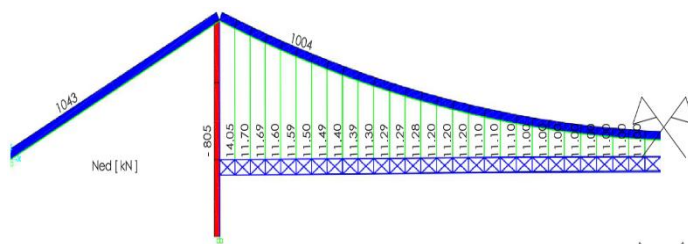
2.5 Opterećenje od tla

Prema podacima iz geomehaničkog elaborata zapreminska težina tla $\gamma = 21,74 \text{ kN/m}^3$, dok je kohezija $C = 0$ i ugao unutrašnjeg trenja $\varphi = 34^\circ$.

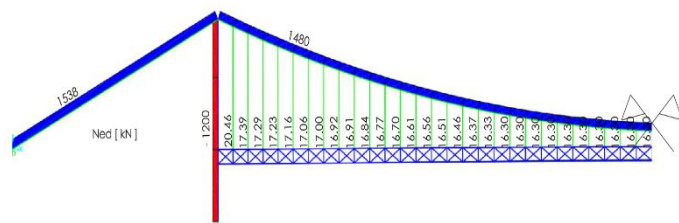
Za dimenzionisanje konstrukcije po kriterijumu nosivosti [3,4,5,6], korišćen je softver SAP2000 [7].

3. STATIČKA I DINAMIČKA ANALIZA VISEĆEG MOSTA

U okviru sprovedene statičke analize konstrukcije pešačkog visećeg mosta razmatrane su dve reprezentativne kombinacije opterećenja. Prva kombinacija, data izrazom $1,35g + 1,5q$, predstavlja osnovnu proračunsku kombinaciju koja obuhvata delovanje stalnih i promenljivih opterećenja uz primenu preporučenih parcijalnih koeficijenata sigurnosti, u skladu sa smernicama Evrokoda. Druga kombinacija, $1,0g + 1,0q$, definisana je kao uporedna varijanta, u kojoj su razmatrane karakteristične vrednosti opterećenja bez uvećanja, radi sagledavanja realnog ponašanja konstrukcije pod normativnim uslovima opterećenja. Izbor ograničenog broja kombinacija opterećenja zasniva se na potrebi da se analiza usmeri na najreprezentativnije slučajeve, koji pružaju jasnu osnovu za procenu ukupne stabilnosti i sigurnosti konstrukcije. Ovim pristupom omogućeno je direktno poređenje dobijenih rezultata sa rezultatima postojećeg projekta sanacije izrađenog na Građevinskom fakultetu u Beogradu, čime se obezbeđuje sveobuhvatna ocena usklađenosti i efikasnosti primenjenog proračunskog modela.



Slika 2. GSN – *Kombinacija opterećenja* : $1,0g + 1,0a$



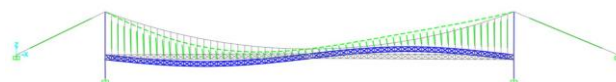
Slika 3. GSN – *Kombinacija opterećenja* : $1,35g + 1,5q$

Za određivanje dinamičkog odgovora urađena je modalna analiza. U narednoj tabeli date su vrednosti modalne analize.

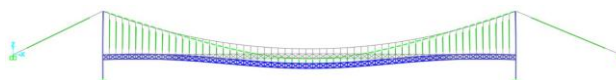
Tabela 1. *Tonovi perioda oscilovanja*

Тонови	T [s]	f [Hz]
1.	2,62947	0,3803
2.	1,63337	0,61223
3.	1,35157	0,73988
4.	1,14854	0,87067
5.	1,10483	0,90511

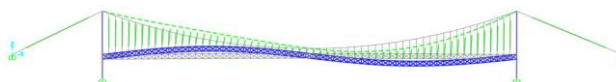
Grafički prikaz modalne analize:



Slika 4. *I ton oscilovanja*



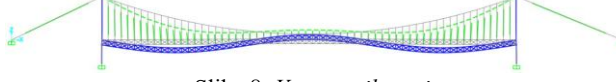
Slika 5. II ton oscilovanja



Slika 6. *III ton oscilovanja*



Slika 7. *IV ton oscilovanja*



Slika 8. *V ton oscilovanja*

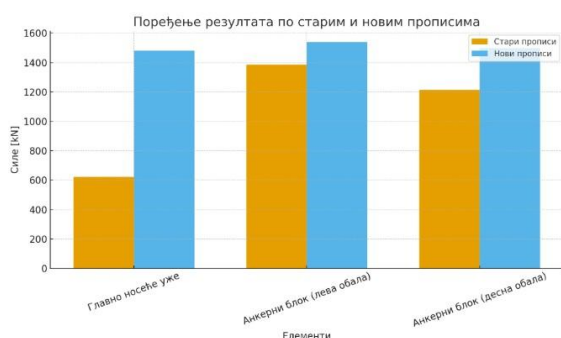
4. ZAKLJUČAK

Izbor adekvatnog tipa pešačkog visećeg mosta uslovljen je sa više međusobno povezanih faktora, kao što su raspon konstrukcije, geometrija terena, očekivana opterećenja i finansijske mogućnosti. Optimalnim projektovanjem temelja, materijala i konstruktivnih elemenata obezbeđuje se trajnost, stabilnost i ekonomičnost mosta u skladu sa važećim normativima. Za razliku od drumskih mostova, pešački mostovi imaju manja stalna opterećenja, ali su znatno osetljiviji na dinamička dejstva usled veće vitkosti i manje krutosti. Zbog toga kontrola stanja upotrebljivosti (SLS) predstavlja ključni aspekt njihove eksploatacije. Ukoliko se sopstvena frekvencija konstrukcije nađe u kritičnom opsegu, neophodno je sprovesti detaljnu dinamičku analizu radi provere vertikalnih i horizontalnih ubrzanja u odnosu na granične vrednosti definisane standardom. Ukoliko rezultati ne zadovolje kriterijume komfora, potrebno je primeniti modifikacije konstruktivnog rešenja, kao što su izmena mase, promena frekvencije, povećanje prigušenja ili ugradnja dampersa, pri čemu se ovo poslednje rešenje preporučuje kao krajnja mera zbog visoke cene.

U okviru statičke analize pešačkog mosta preko reke Ibar, izvršeno je poređenje rezultata dobijenih po starim i novim propisima. Stari pristup, zasnovan na sistemu dozvoljenih naprezanja (Allowable Stress Design), upoređen je sa savremenim konceptom graničnih stanja (Limit States Design) koji primenjuje parcijalne koeficijente sigurnosti na opterećenja i otpore. U analizi su posebno razmatrani glavno noseće uže i ankerni blokovi na obe obale, kao najopterećeniji i konstruktivno najznačajniji elementi. Ovim pristupkom omogućeno je sagledavanje uticaja različitih normativnih okvira na raspodelu unutrašnjih sila i zahteve koje konstrukcija mora da ispuni u pogledu nosivosti, stabilnosti i upotrebljivosti.

Tabela 2. Rezultati istraživanja

Elemnti	SRPS [kN]	EN [kN]	Razlika [%]
Glavno noseće uže	622,9	1480,0	137,5 %
Ankerni blok (Leva obala)	1385,0	1538,0	11,0 %
Ankerni blok (Leva obala)	1213,45	1498,0	23,4 %



Slika 9. Grafički prikaz rezultata istraživanja

Rezultati sprovedene analize pokazuju jasnu tendenciju povećanja proračunskih unutrašnjih sila pri prelasku sa starog sistema dozvoljenih naprezanja na koncept graničnih stanja. Najveća odstupanja uočena su kod

glavnog nosećeg užeta, gde je opterećenje prema novim propisima skoro 2,5 puta veće, dok su razlike u ankernim blokovima u rasponu od 11–23%. Ovi rezultati ukazuju na potrebu za većim dimenzionisanjem konstruktivnih elemenata i povećanom potrošnjom materijala, što direktno utiče na ekonomičnost i optimizaciju konstrukcije.

Uzrok ovih razlika leži u različitom pristupu dva koncepta proračuna. Dok je sistem dozvoljenih naprezanja počivao na primeni globalnog faktora sigurnosti i pojednostavljenom računskom modelu, koncept graničnih stanja podrazumeva razmatranje većeg broja kombinacija opterećenja i primenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti kako na opterećenja, tako i na otpore materijala. Takav pristup dovodi do strožijih kriterijuma sigurnosti i viših proračunskih vrednosti, ali istovremeno obezbeđuje realniju procenu ponašanja konstrukcije u graničnim uslovima. S druge strane, koncept graničnih stanja uzima u obzir više različitih kombinacija opterećenja i primenjuje parcijalne koeficijente sigurnosti, kako na opterećenja, tako i na otpore. To dovodi do strožijih kriterijuma i većih proračunskih vrednosti.

5. LITERATURA

- [1] Đorđe Vuksanović, Glavni projekat sanacije visećeg mosta preko reke Ibar u Bogutovcu, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2008.
- [2] Andrija Rašeta, Igor Džolev, Nikola Rajić, Vladimir Živaljević, Mostovi – upustvo za seminarski rad 2020-2021, Fakultet Tehničkih Nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2025.
- [3] Zlatko Marković, Granična stanja čeličnih konstrukcija prema evrokodu, Akademska misao, 2019.
- [4] Footbridges, A manual for constrution at Community and District Level Departmant for international Develepment, UK, 2004.
- [5] Aleksandar Bojović, Čelični mostovi: izabrana poglavlja, Akademska misao, 2021.
- [6] Milenko Pržulj, Mostovi, Udruženje Izgradnja, Beograd, 2014.
- [7] SAP2000 <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>, (accessed Sep. 1, 2025)

Kratka biografija:



Mihailo Čabović rođen je 1996. god. u Novom Sadu. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka na studijskom programu Građevinarstvo smer konstrukcije, u oktobru 2022. godine. Trenutno je zaposlen u Beogradu na poziciji projekanta konstrukcija.



Igor Džolev rođen je u Novom Sadu 1983. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2018. god., a od 2024. je zvanju vanredni profesor za užu naučnu oblast Teorija konstrukcija.