

JEDAN PRIMER SANACIJE CENTRIČNO PRITISNUTIH AB STUBOVA NA OSNOVU EKSPERIMENTALNO-TEORIJSKE ANALIZE MODELSKIH ISPITIVANJA

Љубомир Влајић¹
Александар Ландовић²

УДК: 624.21.059.25 (497.11Панчево)
DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.012

***Резиме:** У раду су приказана оштећења, начин санације и резултати испитивања која су извршена при санацији пожара оштећених стубова прилазних конструкција Панчевачком мосту у Београду. Такође у раду су дати резултати експериментално-теоријских моделских испитивања на стубовима ојачаним на сличан начин као и стубови моста. На крају је приказана процена носивости ојачаног стуба.*

***Кључне речи:** Друмски мост, армиранобетонски стубови, ојачавање, испитивање конструкције, теоријска анализа.*

1. UVOD

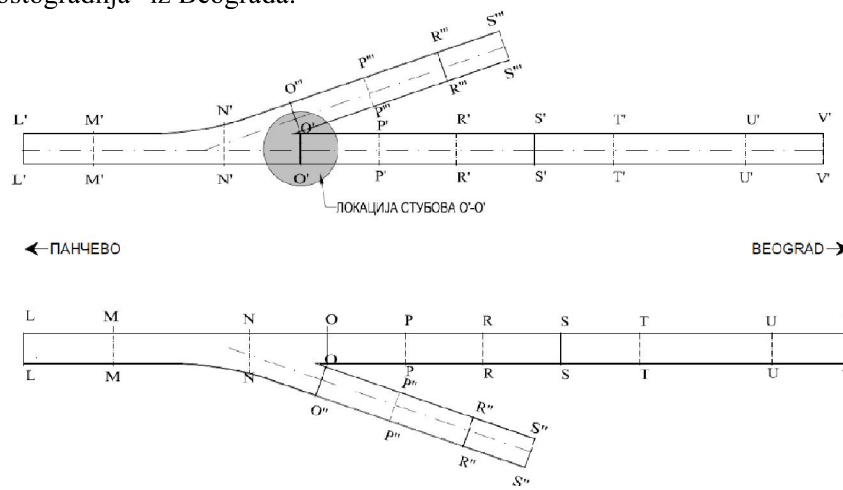
Prilazne konstrukcije Pančevačkog mosta preko reke Dunav, sa beogradske strane, puštene su u saobraćaj 1964. godine. Sastoje se od ukupno 16 nezavisnih konstrukcija koje su povezane u funkcionalnu celinu. One su posebno izdvojene za pravac Pančevo – Beograd (uzvodne konstrukcije) i Beograd – Pančevo (nizvodne konstrukcije), sa ulaznom i silaznom rampom, a služe isključivo za drumski saobraćaj. Oba pravca, uzvodne i nizvodne konstrukcije se sastoje od po 6 posebnih kontinualnih ramovskih konstrukcija sa vitkim stubovima, međusobno spojenih dilatacionim spojnicaма, a po dve konstrukcije čine silaznu i ulaznu rampu. Ove prilazne konstrukcije odvojene su od glavne rešetkaste čelične konstrukcije oko 300 m. Drumske prilazne konstrukcije projektovane su kao prednapregnuti kontinualni ramovski sistemi, sa konstantnom visinom i promenljivim momentom inercije. Poprečne preseke prilaznih konstrukcija čine po dva sandučasta nosača povezana kolovoznom pločom, dok su stubovi svih konstrukcija kružnog poprečnog preseka $\varnothing=66.0\text{cm}$. Počevši od sredine srednjeg polja, konstrukcija L'M'N'O' postepeno se proširuje, tako kod oslonca "O" ima četiri glavna nosača odnosno tri stuba (dva stuba O' i jedan stub O"). Konstrukcija L'M'N'O' ima raspone 20.74+39.50+22.65m, a konstrukcija O'P'R'S' 3×23,50=70,5m.

¹ Проф. Др Љубомир Влајић, дипл. инж. грађ., Научни саветник у пензији, Саобраћајни институт ЦИП Немањина 6/ИВ, Београд, Србија.

² Мр Александар Ландовић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, Суботица, Србија, тел: 024/554-300,е – mail: landovic@gf.uns.ac.rs

2. OŠTEĆENJA STUBOVA

U toku noći 24.05.2011. oko 02 časa i 45 minuta, u zoni armiranobetonskih stubova O' segmenta mosta O'-S' i segmenta O'-L' došlo je do požara na barakama ispod mosta. Požar je trajao više od četiri sata, a postoji osnovana sumnja da su se u požarom zahvaćenim barakama nalazila burad sa naftom. Tom prilikom su barake potpuno uništene, a pomenuti stubovi prilaznih konstrukcija teško oštećeni. 03.06.2011.g. formirana je ekspertska Komisija sa zadatkom da izvrši pregled oštećenja stubova i predloži konkretne sanacione mere. Komisija je radila pod rukovodstvom prvog Autora ovog rada, a formirana je od stručnjaka Saobraćajnog instituta CIP, JP "Putevi Srbije" i GP "Mostogradnja" iz Beograda.



Slika 1. - Položaj oštećenih stubova

Prilikom pregleda na predmetnim stubovima u osi O' utvrđeno je da je zaštitni sloj betona delimično je ili potpuno otpao. Na armiranobetonskom "jezgru" stubova uočen je niz horizontalnih, kosih i vertikalnih prslina (slika 2.), različitih širina i do preko 2mm, ali nije bilo moguće utvrditi njihovu dubinu propagacije. Ležišna greda, koja u poprečnom pravcu povezuje dva stuba O' neznatno je oštećena. Pregledom nije bilo moguće pouzdano utvrditi stepen degradacije armature i betona u dubini "jezgra" stuba. Na osnovu detaljnog pregleda konstrukcije Komisija je naredila potpunu obustavu saobraćaja svih drumskih vozila na predmetnom delu oštećene konstrukcije kao i njeno hitno podupiranje u zoni oštećenih stubova izradom privremenih "jarmova".

Nakon postavljanja privremenih "jarmova", i njihovog prijema izvršeno je izdizanje konstrukcije hidrauličnim presama za oko 10mm. Privremeni "jarmovi" bili su postavljeni dovoljno daleko, od stubova O' da ne bi ometali njihovu sanaciju, a dovoljno blizu, kako se usled prepusta na nosećoj konstrukciji ne bi izazvala njena oštećenja usled korisnog opterećenja. Takođe je propisano da se predviđeno nadvišenje mora održavati sve vreme dok se vrši sanacija oštećenih stubova. Neophodno je bilo obezbediti da oštećeni stubovi (par stubova O') budu potpuno rasterećeni za sve vreme dok se izvode radovi na njihovoj sanaciji, što je naročito bitno kako bi se novododatni konstruktivni elementi angažovali za prijem dela ukupnog opterećenja tih stubova.

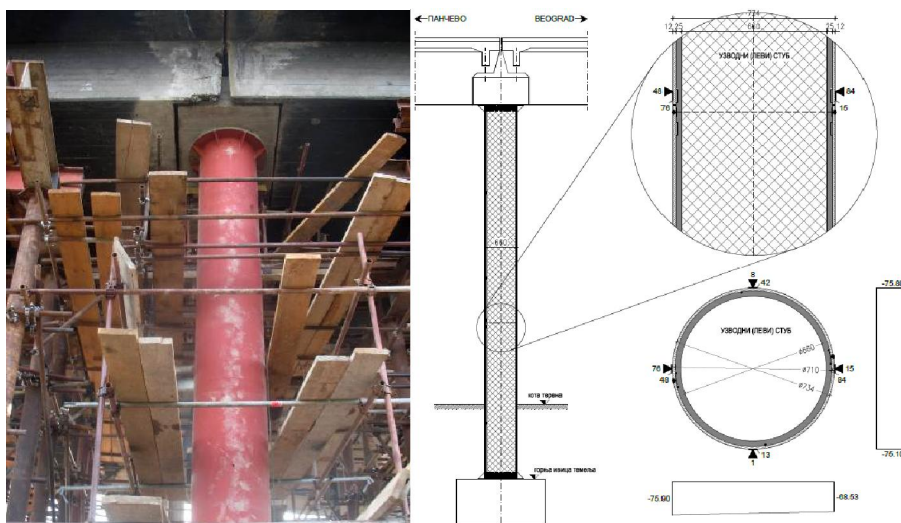


Slika 2. - Oštećenje zaštitnog sloja, armature i "jezgra" betona i vertikalna prslina

3. URGENTNI RADOVI I TEHNOLOGIJA NJIHOVOG IZVOĐENJA

Postupak sanacije armiranobetonskih stubova sastojao se u postavljanju čeličnog plašta-cevi (slika 3.a) oko oštećenog stuba i ispunjavanju međuprostora odgovarajućim materijalom. Upotrebljena je čelična cev debljine zida 12mm, a međuprostor između AB stuba i čelične cevi širine oko 25mm ispunjen je sitnozrnim betonom. Spoljašnja površina oštećenih stubova pripremljena je mehaničkim uklanjanjem svih nevezanih delovi betona. Na gornjem delu čeličnog segmenta formiran je čelični obod koji se direktno oslanja na armiranobetonsku ležišnu gredu (slika 3.b).

Na donjem delu donjeg segmenta, formiran je identičan čelični obod, koji služi za njegovo oslanjanje na temeljnu stopu. Zavarivanjem po izvodnicama formirana je cev spoljašnjeg prečnika $\varnothing 734\text{mm}$. Prvi Autor ovoga rada prikazani postupak sanacije AB stubova je do sada uspešno primenio na više objekata u Republici Srbiji.



Slika 3. – Rezultati ispitivanja nakon spuštanja glavnih nosača

4. REZULTATI ISPITIVANJA SANIRANIH STUBOVA

Nakon očvršćavanja materijala ispune izvršeno je uklanjanje privremenih "jarmova" i spuštanje konstrukcije na ležišta. Na taj način bilo je moguće da se sanirani stubovi ispituju i za dejstvo sopstvene težine konstrukcije, prilikom oslobađanja "jarmova", kao i za eventualno dejstvo probnog opterećenja. Rezultati ispitivanja specifičnih deformacija pri spuštanju "jarma", odnosno pri opterećivanju rekonstruisanih stubova O' ukupnom težinom noseće konstrukcije, grafički su prikazani na slici 3. Na osnovu rezultata merenja utvrđeno je da ukupna normalna sila u stubu O' usled dejstva sopstvene težine noseće konstrukcije mosta iznosi $S_g=1314,48kN$ [1]. Ova veličina razlikuju se od odgovarajuće računске vrednosti samo za 7,5%. Računska vrednost normalne sila u stubu usled stalnog opterećenja iznosi $S_g=1413.30kN$, dok usled saobraćajnog opterećenje sila u stubu iznosi $S_p=681.59kN$ [5].



Slika 4. - Merne trake postavljene u dva ortogonalna pravca

5. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH MODELSKIH ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalna analiza razmatranog problema izvršena je na modelima stubova u razmeri 1:3,3. Ispitivani su modeli stubova dimenzija preseka $10 \times 10 \text{ cm}$, visine 85 cm , izrađeni od betona $f_p=50 \text{ MPa}$, armirani sa $\pm 2\text{Ø}5$ i uzengijama $U\text{Ø}4/6(3)$. Armatura je izrađena od čelika kvaliteta $f_y=500 \text{ MPa}$. Ojačavanje stuba izvršeno je čeličnom cevi spoljašnjeg prečnika $D=159 \text{ mm}$, debljine zida $t=2 \text{ mm}$ i granice razvlačenja $f_y=220 \text{ MPa}$. Ispunu 1 činio je sitnozrni beton pritiska čvrstoće $f_p=50 \text{ MPa}$, dok je ispunu 2 činio beton čvrstoće $f_p=70 \text{ MPa}$. U tabeli 1 prikazane su srednje vrednosti graničnih sila dobijene eksperimentalnim putem, kao i računске vrednosti određene prema evropskim propisima Evrokod4. Detaljan proračun računskih sila prikazan je u [3].

Tabela 1. Uporedni prikaz sila loma analiziranih stubova

Model stuba	Experiment $_{sr} P_u$ [kN]	Numerika EC4 $\chi_c N_{pl,Rd}$ [kN]
Kontrolni uzorci	368	-
Ispuna 1	1001	909.8
Ispuna 2	1043	1025.8



Slika 5. Karakteristični lom ispitivanih modela

Analizon eksperimentalnih vrednosti uočava se da armiranobetonski stubovi ojačani sprežanjem sa čeličnim cevima i ispunom od sitnozrnog betona imaju oko 2.7÷2.8 puta veću nosivost u odnosu na kontrolne uzorke. Stubovi ojačani čeličnom cevi iskazuju znatno duktilnije ponašanje, a uočeno je da celokupni poprečni presek spregnutog stuba učestvuje u prijemu opterećenja [2]. Granična sila stuba određena primenom propisa Evrokod 4 dosta dobro se slaže sa eksperimentalnim vrednostima, što ukazuje da nosivost AB stuba ojačanog sprežanjem sa čeličnim cevima može da se sračunava primenom ovih propisa.

6. RAČUNSKA ANALIZA STUBOVA MOSTA

Računska analiza stubova konstrukcije mosta izvršena je korišćenjem podataka iz [5].

Granični uticaji u stubu: $N_u = 4116.5kN$

Granična nosivost stuba za postojeći presek (presek bez oštećenja) $A_a=88cm^2$, $f_y=240MPa$, $A_b=A_c=3422cm^2$, $f_b=f_c=27.75MPa$, visina $l=9.0m$, $e=0$, početna imperfekcija $e_o = l/300$.

Granična nosivost stuba $N_{u,o}$ prema Pravilniku BAB:

$$N_{u,o} = (A_b \cdot f_b + A_a \cdot \sigma_v) \frac{1}{1 + 3.2 f / d} \quad (1)$$

$$f = d \frac{\lambda - 25}{100} \sqrt{0.10 + e / d} + e_o \quad (2)$$

$$N_{u,o} = 8896.6kN$$

Granična nosivost stuba za presek ojačan tokom sanacije 2011.g.: čelik $A_s=272cm^2$, $f_y=235MPa$, beton-ispuna: $A_c=538cm^2$, $f_{ck}=20.5MPa$

Granična nosivost stuba $N_{pl,Rd}$ prema propisima Evrokod4 [6]:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a \cdot \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_a} + \frac{A_c \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \left[1 + \eta_c \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}} \right] + \frac{A_s f_{sk}}{\gamma_s} \quad (3)$$

$$N_{pl,Rd} = 19122.4kN$$

Umanjenje nosivosti usled efekata izvijanja $\chi N_{pl,Rd} = 17143.6kN$

7. ZAKLJUČCI

Osnovni koncept izvedene sanacije oštećenih armiranobetonskih stubova bazira se na njihovom ojačanju sprežanjem sa čeličnim cevima. Na osnovu izvršene teorijsko – eksperimentalne modelske analize zaključuje se da stub mosta ojačan na prikazan način može da prihvati celokupno opterećenje sa višestruko povećanim koeficijenom sigurnosti, a samo izvođenje sanacije stubova prikazanom metodom ima značajne prednosti po svojoj jednostavnosti i lakoći izrade.

LITERATURA

- [1] Vlajić, Lj., Vranjevac, V., Lukić, P.: *Sanacija AB stubova na prilaznim konstrukcijama "Pančevačkog mosta" oštećenih dejstvom požara 2011.g.*; Osmo naučno-stručno međunarodno savetovanje "Ocena stanja, održavanje i sanacija građevinskih objekata i naselja", Zbornik radova, Borsko jezero, **2013.**, str. 189-196.
- [2] Vlajić, Lj., Bešević, M., Landović, A., Kukaras, D.: *Experimental analysis of reinforced concrete columns strengthened with steel tubes*; The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology, Thailand, **2011.**, pp.
- [3] Landović, A.: *Eksperimentalno-teorijska modelska analiza mogućnosti ojačanja centrično pritisknutih AB stubova sprežanjem sa čeličnim cevima*; Magistarski rad, Građevinski fakultet Subotica, **2010.**, str. 110.
- [4] Bešević, M., Landović, A., Kukaras, D., Trujić T.: *Analiza nosivosti spregnutih AB okruglih stubova sa krutim čeličnim profilima*, Zbornik radova građevinskog fakulteta 19, Subotica, **2010.**, str. 79-91.
- [5] *Glavni projekat sanacije drumsko-železničkog mosta preko Dunava - "Pančevački most" sa prilaznim konstrukcijama* - Saobraćajni institut CIP - Knjiga 4-B-1, Beograd, **2007.**, str. 70.
- [6] *Evrokod 4 EN 1994-1-1:2004: Proračun spregnutih konstrukcija od čelika i betona*, Prevod, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, **2006.**, str. 130.

ONE EXAMPLE OF REHABILITATION OF AXIALLY LOADED RC COLUMNS BASED ON EXPERIMENTAL-THEORETICAL ANALYSIS OF MODEL SPECIMENS

Summary: *This paper presents the damage, the repair and the results of tests that are performed during the repair of fire damaged columns on access structures to Pančevo bridge in Belgrade. Also, the paper presents the results of experimental and theoretical model tests on reinforced columns strengthened in a similar way as the bridge columns. Finally the evaluation capacity of strengthened bridge columns is given.*

Keywords: *Road bridge, reinforced concrete columns, strengthening, testing of structures, theoretical analysis.*