

Aleksandar Bojović¹, Novak Velović²

PROJEKT SANACIJE ČELIČNE KONSTRUKCIJE MOSTA GAZELA U BEOGRADU

U članku se daje prikaz Glavnog i izvođačkog projekta sanacije čelične konstrukcije drumskog mosta Gazela u Beogradu. Most je projektovan 1962-1966, a izveden 1966-1970. Proračunom konstrukcije mosta za stanje pre sanacije utvrđena su brojna prekoračenja dopuštenih napona i dopuštenih uporednih napona kao i nedovoljne sigurnosti na izbočavanje svih delova mosta. Merama sanacije prikazanim Projektom sanacije definisana su obimna ojačanja čelične konstrukcije mosta preko reke i prilaznih mostova.

Ključne reči: Sanacija, most, čelične konstrukcije, ojačanja konstrukcije.

THE REHABILITATION DESIGN OF GAZELLE BRIDGE IN BELGRADE

The article shows the review of the Detailed Rehabilitation Design for the steel structure of the road bridge “Gazela” (gazelle) in Belgrade. The Bridge was designed between 1962 and 1966 and constructed in the period 1966-1970. Structural Analysis for the bridge in the state prior to the rehabilitation showed numerous exceedings of the allowable stresses and the allowable comparison stresses, as well as insufficient buckling safety of all bridge segments. Rehabilitation measures, presented within the Rehabilitation Design, define massive reinforcements of the steel structure of the river bridge and the approach spans.

1 dipl.ing.grad., tehnički direktor, Delfin Inženjering, d.o.o., Jastrebovljeva 25, Beograd.
2 dipl.ing.grad., samostalni projektant, Mostprojekt a.d., Palmira Toljatija 11, Beograd.

1 UVOD

Drumski most Gazela projektovan je i izveden kao čelični most sa 2 x 3 saobraćajne trake i dve pešačke staze, ukupne širine 28,148 m. Most je podeljen na tri mostovske konstrukcije: 1) most preko reke dužine 332,00 m i glavnog raspona od 250,00 m, 2) prilazne mostove dužina 2 x 70,350 m i raspona 2 x 68,250 m.

Projektovan je 1962-1966 ([1], [2]) i izveden 1966-1970. [6]. Tokom eksploatacije 1970/2007. jedine intervencije su bile: 1987. - zamena zaštitne ograde u razdelnom pojasu, zamena ležišta prilaznih mostova iznad stubova 0 i 0' i popravka sistema za odvodnjavanje, 1992. - montirane dve cevi toplovoda. Konstrukcija mosta je detaljno pregledana više puta. Izveštaj sa poslednjeg pregleda 2006. [4] kao i raniji imali su kao zaključak obavezne i hitne popravke mosta. Projektom [5] počelo se najzad sa kompleksom radova sanacije mosta.

Projekt [5] urađen je u dva dela: 1) analiza opterećenja, nosivosti i upotrebljivosti u stanju mosta kakav jeste; 2) prema zaključcima iz 1) projektovanje potrebnih mera sanacije. Kratak prikaz najznačajnijih rezultata Projekta [5] dat je u nastavku teksta.

2 STANJE MOSTA PRE SANACIJE

Stanje Mosta pre sanacije detaljno je razmotreno: 1) ponovnim pregledom konstrukcije neposredno pre početka rada na [5] – septembar 2006; 2) ponovnim čitanjem svih izveštaja sa ranijih pregleda, 3) detaljnim proračunom konstrukcije zasnovanim na domaćoj tehničkoj regulativi (gde je uopšte ima) i nemačkim normama (koncepta dopuštenih napona) DIN 1072:1985, Beiblatt 1 zu DIN 1072:1988, DIN 18809:1987, DAST-Richtlinie 012:1978 kao najvažnijim. Originalni Statički proračun [1] i [2] urađen je inače prema DIN-normama svog vremena.

Opterećenja Mosta u stanju pre sanacije ("1963") i projektovanom ("2007"):

- ♦ stalna opterećenja (g_2) veća su 1,28 puta od istih po [1] i [2]: $g_{2,2007}/g_{2,1963} = 1,28$;
- ♦ sobračajna opterećenja (p) praktično su jednaka; jedino novo opterećenje u odnosu na [1] i [2] je vozilo V300, koje, međutim, nema nikakvog značaja za globalne i lokalne presečne sile (ortotropnu ploču kao kolovoznu konstrukciju).

Presečne sile:

- ♦ od saobraćajnih opterećenja (p) odlično poklapanje rezultata, tj: $\max/\min M_{p,2007}/M_{p,1963} \approx 1$;
- ♦ most preko reke: od zbirnih opterećenja – stalnih (g) i saobraćajnih (p): $\max/\min M_{g+p,2007}/M_{g+p,1963} \leq 1,10$; (prekoračenje koje bi se moglo podneti).
- ♦ prilazni mostovi: $\max/\min M_{g+p,2007}/M_{g+p,1963} \leq 1,30$, (preveliko prekoračenje).

Nosivost mosta preko reke (neki od rezultata gde su prekoračenja najdrastičnija):

- ♦ uporedni naponi na spoju pojaseva i vertikalnih limova: $\sigma_v/\sigma_{v,dop} \leq 1,18 > 1$; prekoračenje na dužini od 68 m, (ukupna dužina mosta = 332 m);
- ♦ zbir napona glavni nosač (GN)+ortotropna ploča (OP),rebra između greda (R1): $\sigma_{GN+OP(R1)}/\sigma_{dop} \leq 1,62 > 1$; prekoračenje na dužini od 295 m (od 332 m);

- ♦ sigurnost na izbočavanje gornjeg pojasa (OP): $\text{potr } v_B/v_B \leq 1,51 > 1$; prekoračenje na dužini od 70 m (od 332 m);
- ♦ sigurnost na izbočavanje delimičnih polja donjeg pojasa: $\text{potr } v_B/v_B \leq 1,31 > 1$; prekoračenje na dužini od 236 m (od 332 m);
- ♦ sigurnost na izbočavanje ukrućenja donjeg pojasa: $\text{potr } v_B/v_B \leq 2,14 > 1$; prekoračenje na dužini od 259 m (od 332 m);
- ♦ sigurnost na izbočavanje vertikalnih limova greda: $\text{potr } v_B/v_B \leq 1,47 > 1$; prekoračenje na dužini od 218 m (od 332 m);
- ♦ stubovi: sigurnost na izbočavanje pojaseva i vertikalnih limova, delimičnih i pojedinačnih polja: $\text{potr } v_B/v_B \leq 1,65 > 1$; prekoračenja na oko 1/2 visine stubova;
- ♦ kosnici: sigurnost na izbočavanje pojaseva i vertikalnih limova, delimičnih polja: $\text{potr } v_B/v_B \leq 1,46 > 1$; prekoračenja po celoj dužini kosnika.

Nosivost prilaznih mostova:

- ♦ normalni naponi: $\sigma/\sigma_{\text{dop}} \leq 1,34 > 1$; prekoračenje na dužini od 47 m, (ukupna dužina mosta = 68 m);
- ♦ zbir napona glavni nosač (GN)+ortotropna ploča (OP), rebra između greda (R1): $\sigma_{\text{GN+OP(R1)}}/\sigma_{\text{dop}} \leq 1,38 > 1$; prekoračenje na dužini od 55 m (od 68 m);
- ♦ sigurnost na izbočavanje gornjeg pojasa (OP): $\text{potr } v_B/v_B \leq 1,29 > 1$; prekoračenje na dužini od 34 m (od 68 m);
- ♦ nosivost zakovanih montažnih nastavaka vertikalnih limova: $N/N_{\text{dop}} \leq 1,04 > 1$; prekoračenje na jednom montažnom nastavku (od 4);
- ♦ nosivost zakovanih montažnih nastavaka donjih pojaseva, zakivci i (podvezice): $N/N_{\text{dop}} \leq 1,18 (1,52) > 1$; prekoračenje na 3 (4) montažna nastavka (od 4).

Šta su uzroci očito ogromnih prekoračenja dopuštenih vrednosti, daleko većih od pomenutog povećanja momenata savijanja za 10%, ($M_{g+p,2007}/M_{g+p,1963} \leq 1,10$), iako su proračuni [1] i [2] rađeni po DIN-u pošto je naša tehnička regulativa 1960. bila izrazito nekompletna, (nažalost i sada je) ?

- ♦ uporedni naponi grede i stubova: uporedni naponi nisu uopšte proračunavani u [1] i [2] iako su morali biti proveravani prema DIN 4100:1956;
- ♦ naponi ortotropne ploče (OP): 1) rebra OP su u [1] i [2] tretirana kao nosači na krutim osloncima, što, međutim, nije slučaj zbog deformabilnosti poprečnih nosača pa su pozitivni momenti savijanja rebara daleko veći; 2) sadejstvjujuće širine kolovoznog lima za proračun napona po DIN 18809:1987 kao pojasa rebara su samo oko 60% razmaka rebara zbog čega je i računski presek rebara bitno manji; obe činjenice iz 1) i 2) su bile van domašaja projekatnata 1961-1963 zbog nedostatka računskih sredstava i nepostojanja odredbi u normama iz kasnijeg DIN 18809;
- ♦ izbočavanje rebara OP i podužnih ukrućenja donjeg pojasa: obe pomenute grupe rebara imaju preveliki odnos visina/debljina, $h/t = 15 \div 28 > 11 \div 16$ prema onda važećem DIN 4114-1: 1952xx, odnosno 11 prema sadašnjem JUS U.E7.081: 1986; kriterijum (h/t) nije uopšte razmatran u [1] i [2];
- ♦ izbočavanje vertikalnih limova grede: 1) prevelika vitkost podužnih ukrućenja, $\lambda = 93 \div 126$ pri razmaku poprečnih ramova od 7,50 m); 2) povećanje koeficijena sigurnosti za stabilnost na izbočavanje, sa $v_B = 1,35$ i 1,25 prema DIN

4114-2:1953x na $v_B = 1,50$ i $1,33$ po JUS U.E7.121:1986, dok je prema DAST-Richtlinie 012:1978 promenljiv, već prema naponskom stanju $v_B = 1,32 \div 1,74$;

- ◆ izbočavanje pojaseva grede: 1) neodgovarajući odnos h/t ukrućenja; 2) prevelika vitkost podužnih ukrućenja donjeg pojasa; 3) promena koeficijenta sigurnosti u normama;
- ◆ stubovi: 1) velika prekoračenja dopuštenih vrednosti napona – normalnih (σ), tangencijalnih (τ) i uporednih (σ_v) u zoni uklještenja stubova u kombinacijama opterećenja sa promenom temperature, naročito sa $t = -35^\circ\text{C}$, (gde τ i σ_v uopšte nisu proveravani u [1]!), posledica su osnovnog statičkog sistema mosta – ramovski sistem sa dugom riglom i kratkim stubovima; 2) prekoračenja iz 1) postoje i pri nedokumentovanim kombinacijama opterećenja, (kombinacije sa manjim vrednostima opterećenja p i t od onih po normama, slika 2).

3 PROJEKTOVANE MERE SANACIJE

Projektovane mere sanacije Mosta (slika 3) mogu se podeliti u 5 grupa: 1) ojačanja konstrukcije, 2) popravke konstrukcije, 3) nove sekundarne konstrukcije, 4) popravke postojećih sekundarnih konstrukcija, 5) zamena ležišta i dilatacionih sprava.

Ojačanja mostovskih konstrukcija, slika 1, (RB=Most preko reke, AB=Prilazni mostovi):

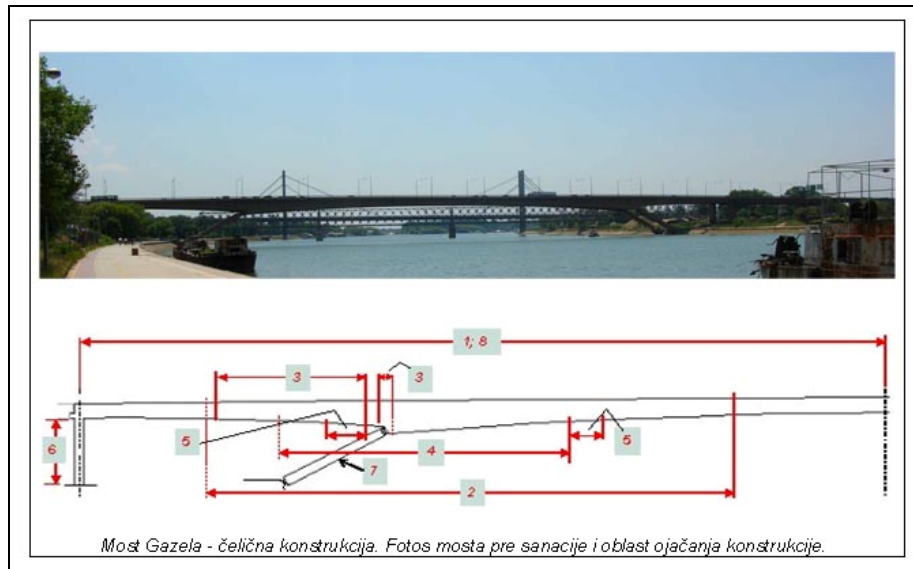
- ◆ Ojačanja 1 (RB,AB)=Ojačanja ortotropne ploče, rebara i poprečnih nosača, sl.4 ;
- ◆ Ojačanja 2 (RB,AB) = Dodatni poprečni ramovi u gredi;
- ◆ Ojačanja 3 (RB) = Dodatna podužna ukrućenja vertikalnog lima grede;
- ◆ Ojačanja 4 (RB) = Dodatna poprečna ukrućenja donjeg pojasa grede;
- ◆ Ojačanja 5 (RB) = Flanše na podužnim ukrućenjima donjeg pojasa;
- ◆ Ojačanja 6 (RB) = Dodatni poprečni ramovi u stubovima;
- ◆ Ojačanja 7 (RB) = Dodatni poprečni ramovi u kosnicima;
- ◆ Ojačanja 8 (RB,AB) = Nove konstrukcije pešačkih staza, (umesto veoma oštećenih starih betonskih, ujedno i kao mera ojačanja preseka grede u celini);
- ◆ Ojačanja 9 (AB) = Ojačanja donjeg pojasa.

Popravke konstrukcije (RB,AB): 1) zatvaranje svih rupa na kolovoznom limu; 2) obezbeđivanje otvora na donjem pojasu od ulaza ptica, 3) zamena zavrtnjeva prednapregnutim zavrtnjima u montažnim nastavcima donjeg pojasa i ukrućenja vertikalnih limova grede, 4) merenje i eventualno ojačanje ugaonih šavova veza pojaseva i vertikalnih limova grede.

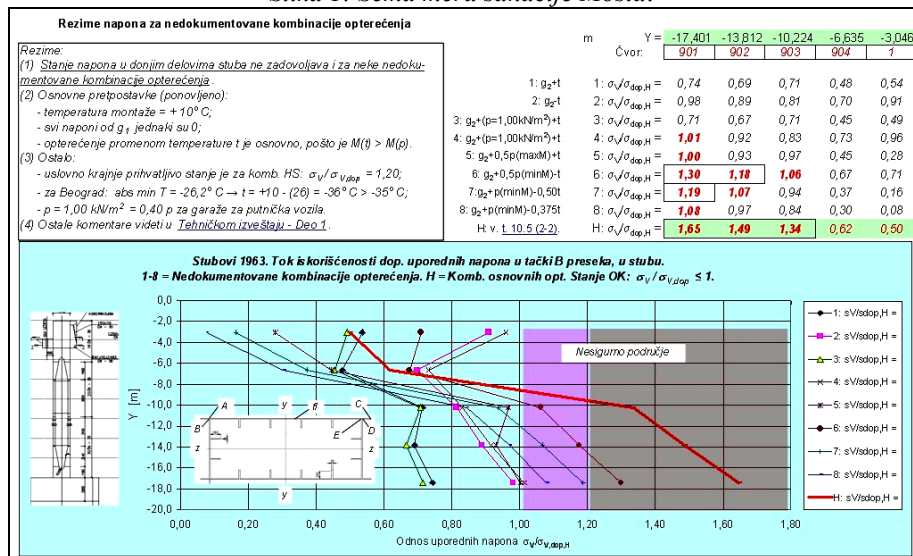
Nove sekundarne konstrukcije (RB,AB): 1) ograde (pešačkih staza), 2) zaštitne ograde razdelnog pojasa, 3) zaštitne ograde kod pešačkih staza, 4) ivičnjaci kod razdelnog pojasa, 5) elementi za vezu stubova rasvete kolovoza, 6) elementi za nošenje cevi za kišnu kanalizaciju, 7) konstrukcije za nošenje staza spoljnih revizionih kolica, 8) penjalice i platforme unutar stubova 0 i 0'.

Sekundarne konstrukcije za popravku (RB,AB): 1) konstrukcije za nošenje staza srednjih revizionih kolica, 2) reviziona staze unutar greda i između njih, 3) reviziona kolica, spoljna i srednja, 4) elementi za vezu signalizacije za rečnu plovidbu.

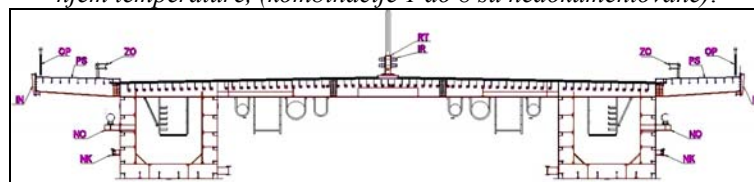
Ukupne mase čelič. konstr. sanacije = Ojačanja + Sek. konstr. = $1603+436 = 2039$ t.



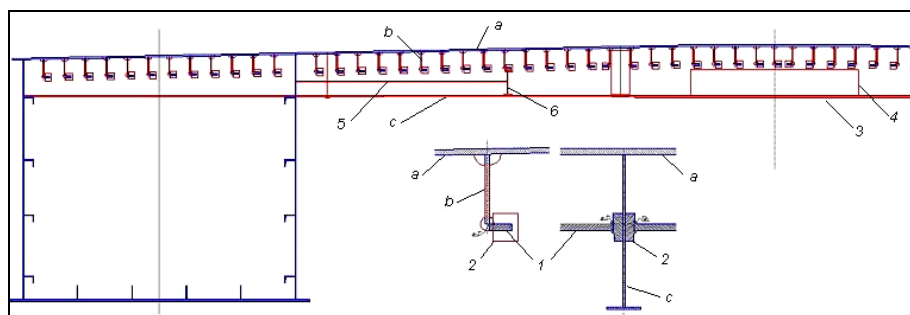
Slika 1: Šema mera sanacije Mosta.



Slika 2: Dijagrami uporednih napona stuba za kombinacije opterećenja sa delovanjem temperature, (kombinacije 1 do 8 su nedokumentovane).



Slika 3: Poprečni presek grede Mosta posle sanacije.



Slika 4: Ojačanja ortotropne ploče.

a = kolovozni lim, b = rebro OP, c = poprečni nosač (PN), 1 = ojačanje, dodata flanša, 2 = podmetač, 3 = ojačanje, dodata flanša PN, 4 = ojačanje, ojačanje vertikalnog lima PN, 5 = ojačanje, podužna ukrućenja vertikalnog lima PN, 6 = ojačanje, vertikalna ukrućenja vertikalnog lima PN

Investitor, projektanti, tehnička kontrola

Investitor: Republika Srbija. Javno preduzeće Putevi Srbije, Beograd.

Generalni projektant: Mostprojekt, a.d., Beograd.

Podizvođač za čeličnu konstrukciju: Delfin Inženjering, d.o.o., Beograd.

Odgovorni projektant sanacije čelične konstrukcije: Dipl.Ing. Aleksandar Bojović.

Projektant: Dipl.Ing. Novak Velović.

Globalni statički i dinamički proračun mosta preko reke: Prof.Dr.Ing. Šerif Dunica.

Tehnička kontrola: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu. Izvestioci:

Prof.Dr.Ing. Dragan Buđevac, Dr.Ing. Zlatko Marković, Mr.Ing. Boris Gligić.

LITERATURA

- [1] Most preko Save na Autoputu Bratstvo-Jedinstvo kroz područje Beograda. Statički proračun konstrukcije preko reke. Glavni nosač, Sveske I do XIII. Direkcija za izgradnju mostova, Beograd. Beograd, 18. januar 1963.
- [2] Most preko Save na Autoputu Bratstvo-Jedinstvo kroz područje Beograda. Statički proračun konstrukcije L = 66,80 m. Direkcija za izgradnju mostova, Beograd. Beograd, 18. januar 1963.
- [3] Most preko Save na Autoputu Bratstvo-Jedinstvo kroz područje Beograda. Dopuna osnovne investiciono-tehničke dokumentacije „Ojačanje dijafragmi u polju 04 i 05“ glavne čelične konstrukcije Mosta preko reke Save. Direkcija za izgradnju mostova, Beograd. Beograd, 27.11.1970.
- [4] Most Gazela - most preko reke. Izveštaj o obavljenom vizuelnom pregledu. Mostprojekt, a.d., Beograd. Beograd, oktobar 2006.
- [5] Glavni i izvođački projekt sanacije Mosta Gazela sa prilaznim konstrukcijama. Čelične mostovske konstrukcije. Most preko reke i prilazni mostovi. Generalni projektant: Mostprojekt a.d., Beograd. Podizvođač - Projektant sanacije čeličnih konstrukcija: Delfin Inženjering, d.o.o., Beograd. Beograd, septembar 2007.
- [6] Grupa autora: Auto-put kroz Beograd. NIP Export-press, Beograd, 1970.