

OPTIMIZACIJA POSTUPKA MONTAŽE SPREGNUTOG DRUMSKOG MOSTA PREKO RIJEKE SAVE**THE ROAD BRIDGE OVER THE RIVER SAVA OPTIMIZATION OF ASSEMBLING**Aleksandar Đuraš, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast - GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – Za most preko rijeke Save, u mjestu Svilaj, urađena je analiza tri varijantna rješenja montaže mosta. Cilj rada je da se prikaže uticaj postupka montaže na nivo napreženja konstrukcije i da se pronađe najoptimalnije rješenje zamontažu mosta.

Ključne reči: Most, montaža, spregnute konstrukcije od betona i čelika

Abstract – The bridge over the river Sava, located in Svilaj, is calculated and the results are compared for three ways of assembling. The point was find the most optimal way of assembling.

Keywords: Bridge, assembling, steel-concrete composite structures

1. UVOD

Predmet ovog rada je poređenje uticaja u rasponskoj konstrukciji spregnutog drumskog mosta za tri varijantna rješenja montaže konstrukcije mosta. Most se nalazi u mjestu Svilaj, Federacija BiH i premošćava rijeku Savu. Most je statičkog sistema kontunualne grede na tri polja sa dvostrukom spregnutim poprečnim presjekom sastavljenim od čeličnog polusanduka i betonske donje i gornje-kolovozne ploče.

Tlocrtno je objekat u pravcu. Niveleta mosta je u vertikalnoj krivini sa radijusom $R=10000m$.

Tjeme nivelete nalazi se tačno u sredini srednjeg raspona, tj. konstrukcija je simetrična oko svoje središnje ose. Poprečni pad kolovoza konstantan je i iznosi 2,5%.

Dimenzije raspona su $100,0 + 130,0 + 100,0 = 330,0 m$, između osa oporaca. Čelični polusanduk promjenljive je visine od 3200mm (u srednjem polju) do 5400mm (iznad srednjih stubova).

Dimenzije raspona su rezultat konfiguracije terene i izabrane su na način da se dobiju približno isti statički uticaji u sva tri polja.

Ukupna širina mosta je 13,50 m. Predviđene su tri saobraćajne trake širine po 3,50 m, sa zaštitnim pojasevima od 0,75 m sa obje strane kolovoza, tako da je širina asfaltnog zastora 12,0 m. Slijedi kameni ivičnjak i betonski vijenac širine 0,75 m. Na krajevima konzola predviđena je metalna odbojna ograda, visine 1,0 m. Na mostu nije predviđen pješački saobraćaj.

NAPOMENA:

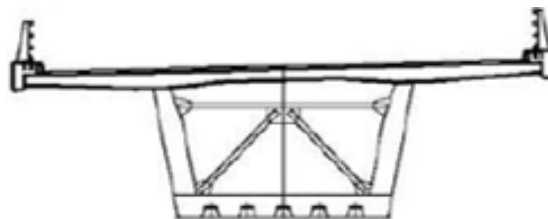
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Milan Spremić, dipl.inž.grad.

Cijeli objekat je jedna dilataciona cjelina, prelazne naprave nalaze se samo na oporcima. Ležišta su predviđena kao ležišta u "loncu", svi podužno pomični osim na oporcu O1.

Za poprečni presjek kontinualnog sklopa odabran je spregnuti sandučasti nosač promjenljive visine (3,20m u polju, 5,40m iznad oslonaca). Debljina vertikalnih limova sandučastog nosača iznosi 30mm. Debljina donje ploče varira od 40mm (u polju) do 80mm (nad osloncima).

Oblik poprečnog presjeka osiguran je poprečnim ukrutama, na svakih 5,0 m raspona. Pri montaži polusanduka predviđena je u visini gornjih pojaseva izrada sprega za vjetar, koji učestvuje u primanju bočnih udara vjetra, do betoniranja kolovozne ploče.

Kvalitet čelika je S355 za sve dijelove konstrukcije, beton kolovozne ploče je klase C35/45, a armatura je kvaliteta B500B.

Slika 1. *Poprečni presjek mosta*

AB kolovozna ploča se izvodi na gradilištu u punoj širini od 12,90m, sa poprečnim nagibom od 2,5%. Iznad rebara glavnog nosača debljina ploče iznosi 40cm, u sredini polja 28cm, a na kraju konzole 25cm. Ploča se spreže sa čeličnim sandukom moždanicima sa glavom koji se zavaruju na gornje nožice sanduka. Glavna armatura u ploči je u poprečnom smjeru mosta. Iznad srednjih oslonaca mosta usvojena je armatura u podužnom i poprečnom smjeru.

Ploča se izvodi na licu mjesta po pojedinim sekcijama uz pomičnu oplatu. Vijenci su monolitni i izvode se nakon završetka gradnje, na posebnoj pomičnoj oplati.

Debljina kolovoznog zastora, što uključuje završni asfaltni sloj i hidroizolaciju, iznosi 9,0cm.

Prihvat i odvodnja vode sa površine mosta se obavlja pomoću slivnika koji se postavljaju uz ivičnjak na nižoj strani mosta.

Proračun mosta urađen je pomoću softverskog paketa SOFiSTiK na linijskom modelu za podužni proračun.

U proračun su uzeta djelovanja stalnog opterećenja, saobraćajnog opterećenja, temperature, vjetra i seizmike.

U skladu sa standardom EN1991-2 (opterećenja na mostove) izabrano je saobraćajno opterećenje LM1.

Dinamički proračun konstrukcije sproveden je postupkom spektralne analize, za računsko ubrzanje 0,11g i kategoriju tla B.

Prilikom proračuna rasponske konstrukcije, posebno su se računale sve faze građenja, uzimajući u obzir redoslijed montaže čelika, kao i redoslijed betoniranja kolovozne ploče.

Faze montaže čelične konstrukcije u krajnjim poljima nisu razmatrane, jer se ista vrši na privremenoj skeli. Proračun skele nije bio tema ovog rada.

Presjeci su modelirani s obzirom na faze gradnje i mogućnost uzimanja u obzir pojavu prslina u betonu u zategnutoj zoni, te postoji više tipova presjeka.

Tabela 1. Tipovi poprečnog presjeka

u polju	nespregnuti presjek (samo čelična konstrukcija)
	spregnuti presjek (čelična konstrukcija i gornja betonska ploča sa armaturom)
iznad oslonaca	nespregnuti presjek (samo čelična konstrukcija)
	spregnuti presjek (čelična konstrukcija i donja betonska ploča)
	spregnuti presjek (čelična konstrukcija, donja betonska ploča i armatura gornje betonske ploče)

Proveden je kompletan proračun unutrašnjih sila u elementima, analiza naprezanja po presjecima i dimenzionisanje.

I način montaže

Nakon izrade donjeg stroja mosta, što obuhvata obalne stubove (oporke) i središnje stubove, postavljaju se privremeni oslonci u vidu skele za krajnja polja mosta. Od oporaca se, preko privremenih oslonaca, do središnjih stubova montira čelična rasponska konstrukcija. Čelični polusanduk montira se sa terena, pomoću dizalica. Sklapa se u segmentima, dužine 15,625m, a dva zadnja segmenta, do središnjeg stuba su dužine 12,5 i 9,375m, respektivno. Kada se završi montaža krajnjih polja, vrši se uklanjanje privremenih oslonaca i montiranje konzole, njihovo spajanje u sredini glavnog otvora i konačno formiranje kontinualnog nosača. Sljedeći korak jeste betoniranje kolovozne ploče na pokretnoj oplati, kampadama, dužine 15,0 m. Nakon što je završeno betoniranje kolovozne ploče nanosi se dodatno stalno opterećenje na most, u vidu slojeva kolovoznog zastora i opreme mosta. Poslije ove faze, na mostu su završeni svi radovi na montaži i objekat je spreman za eksploataciju.

II način montaže:

Drugi način montaže rasponske konstrukcije se od prvog razlikuje samo kod montiranja čeličnog polusanduka u glavnom otvoru. Naime, poslije izrade konzola, dužina 22,75m, postavlja se jednodijelni segment koji će u trenutku montaže spojiti te dvije konzole i oformiti sistem kontinualne grede. Segment će se montirati sa plovnog objekta, dizalicama, i dužine je 84,5m. Poslije montaže

ovog segmenta, postupak je identičan kao i za prethodni način montaže, sve do faze upotrebljivosti mosta.

III način montaže:

Ovaj način montaže obuhvata izradu konzole čeličnog sandučastog nosača, u dužini od 22,75m. Konzola je orjentisana od srednjeg stuba ka sredini mosta i čine ju 2 segmenta, jedan dužine 9,75m, a drugi 13,0m. Nakon izrade ove konzole vrši se betoniranje ploče u donjoj zoni čeličnog sanduka. Poslije očvršćavanja betona donje ploče, nastavlja se sa montažom čeličnog sanduka sve do dužine od 65,0 m, sa obje strane, gdje se nosači spajaju. Sistem montaže je identičan prvom, samo sa dodatkom donje ploče kao konstruktivnog elementa. Uvođenjem donje ploče smanjile su se debljine limova čeličnog nosača, uz zadržavanje istih vanjskih gabarita sanduka.

2. REZULTATI PRORAČUNA

Za svaki način montaže vršena je kontrola napona u čeličnom sanduku, gornjoj-kolovoznoj ploči i donjoj ploči (samo za treći način montaže). Presjeci koji su kontrolisani su pozicionirani iznad stubova i u srednjem rasponu. Tablično su prikazani naponi za dvije kombinacije opterećenja, a poređenje je vršeno za kombinaciju I, jer ona daje najveće uticaje.

2.1. Kontrola napona u presjeku iznad stubova

U tabelama 2, 3 i 4 prikazani su naponi u poprečnom presjeku konstrukcije mosta iznad stubova. Kontrolna mjesta u presjeku su gornja zona čelika, donja zona čelika, armatura u kolovoznoj ploči i kod trećeg načina montaže napon u donjoj ploči.

Tabela 2. Naponi za I način montaže

Naponi	Komb I	Komb II
σ_c^g	28,25	24,25
σ_{cd}	-25,98	-22,51
σ_a	13,41	9,49

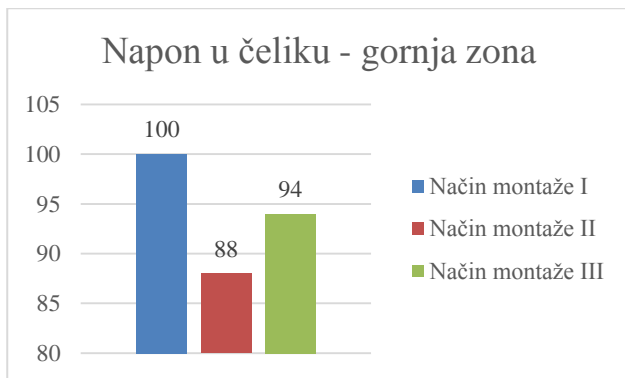
Tabela 3. Naponi za II način montaže

Naponi	Komb I	Komb II
σ_c^g	24,91	21,29
σ_{cd}	23,00	19,53
σ_a	13,41	9,49

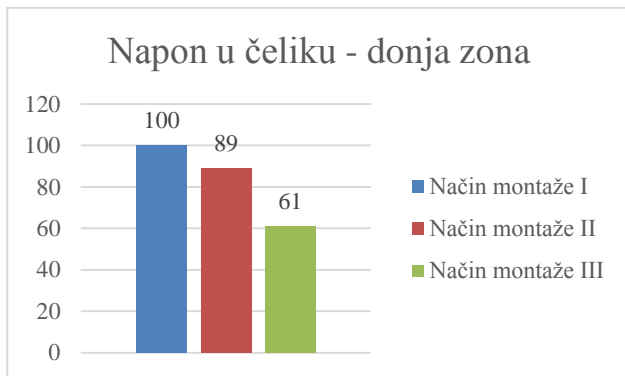
Tabela 4. Naponi za III način montaže

Naponi	Komb I	Komb II
σ_c^g	26,42	23,08
σ_{cd}	-15,88	-13,98
σ_b^d	-2,21	-1,91
σ_a	12,28	8,72

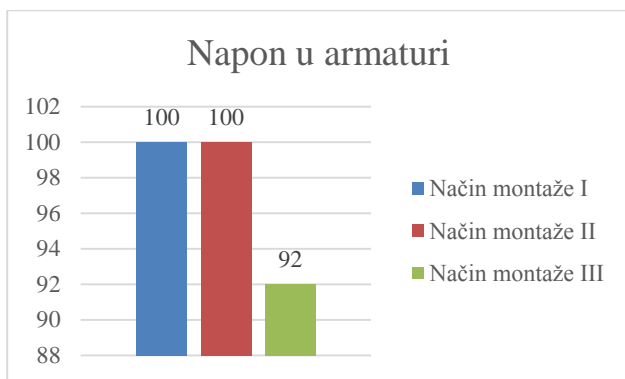
Na slikama 2, 3 i 4, grafikonima su procentualno predstavljeni naponi u presjeku iznad stubova. Poređenje je vršeno u odnosu na najveći, referentni, uticaj na određenom kontrolnom mjestu, kome je dodijeljena vrijednost 100.



Slika 2. Grafički prikaz napona u gornjoj zoni čelika



Slika 3. Grafički prikaz napona u donjoj zoni čelika



Slika 4. Grafički prikaz napona u armaturi

2.2. Kontrola napona u presjeku u srednjem rasponu

U tabelama 5, 6 i 7 prikazani su naponi u poprečnom presjeku rasponske konstrukcije u srednjem polju. Kontrolna mjesta u presjeku su gornja zona čelika, donja zona čelika i gornja ivica kolovozne ploče.

Tabela 5. Naponi za I način montaže

Naponi	Komb I	Komb II
σ_c^g	-14,09	-12,72
σ_{cd}	24,65	19,66
σ_b^g	-1,39	-1,04

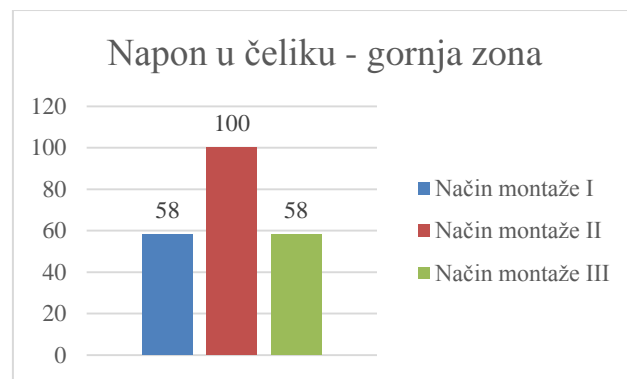
Tabela 6. Naponi za II način montaže

Naponi	Komb I	Komb II
σ_c^g	24,26	22,92
σ_{cd}	30,39	25,39
σ_b^g	1,39	1,04

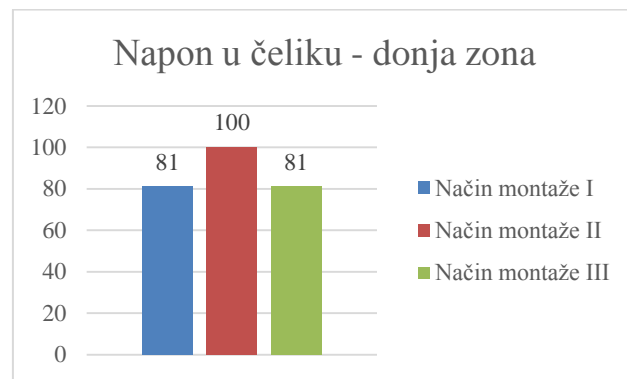
Tabela 7. Naponi za III način montaže

Naponi	Komb I	Komb II
σ_c^g	-14,09	-12,72
σ_{cd}	24,65	19,66
σ_b^g	-1,39	-1,04

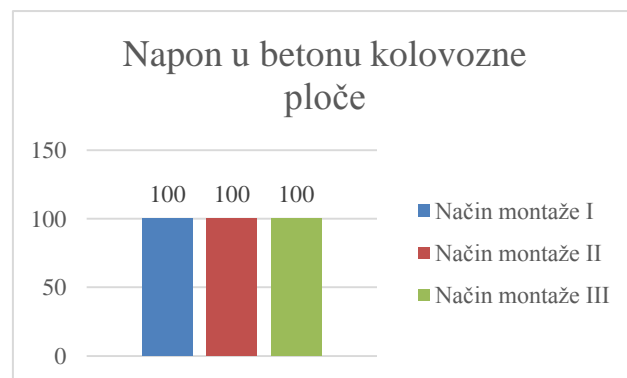
Na slikama 5, 6 i 7, grafikonima su procentualno predstavljeni naponi u poprečnom presjeku rasponske konstrukcije u srednjem polju. Poređenje je vršeno u odnosu na najveći, referentni, uticaj na određenom kontrolnom mjestu, kome je dodijeljena vrijednost 100.



Slika 5. Grafički prikaz napona u gornjoj zoni čelika



Slika 6. Grafički prikaz napona u donjoj zoni čelika



Slika 7. Grafički prikaz napona u kolovoznoj ploči

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu proračuna, koji je sproveden na drumskom spregnutom mostu (čelik-beton), preko rijeke Save, može se zaključiti sljedeće:

Za presjek iznad stubova najveći naponi se dobijaju za prvi način montaže, u obje zone čeličnog nosača, što je i razumljivo, uzevši u obzir da je u ovom načinu montaže čelik u statičkom sistemu konzole sve do spajanja na sredini.

Treći način montaže daje nešto veće napone u gornjoj zoni čelika u odnosu na drugi ali dosta manje napone u donjoj zoni. Razlog je postojanje donje betonske ploče kod trećeg načina montaže, koja „navlači“ uticaje na sebe i rasterećuje donju zonu čelika, ali povećava napone u gornjoj zoni čelika.

Za presjek u polju najveći naponi se dobijaju za drugi način montaže, u obje zone čeličnog nosača. Prvi i treći način daju iste vrijednosti u ovoj zoni i manji su od drugog načina. Ovo se objašnjava time da se kod prvog i trećeg načina montaže čelični nosač prilikom spajanja u polju nalazi u sistemu dvije konzole ili grede sa prepustom, ako posmatramo i krajnja polja. Spajanjem dva dijela moment u polju je 0, a samim tim i naponi. Naprezanje se javlja tek nakon izlivanja kolovozne ploče i nanošenja dodatnog tereta, stalnog i korisnog.

Kod drugog načina montaže gotov segment se ubacuje u središnje polje i tako se povezuju dva dijela. Ubacivanjem ovog segmenta javljaju se momenti u sredini raspona od težine istog, te se tako i javljaju naprezanja u čeliku. Razlika napona ovog načina montaže u odnosu na prvi i treći jeste u težini ovog segmenta.

Na osnovu svega do sad obrazloženog možemo vidjeti da izrada donje AB ploče nije neophodna, sa stanovišta napona u čeliku. Pored toga unosi dodatni teret na samu konstrukciju, a komplikuje i izvođenje. Stoga, način montaže sa donjom pločom izuzimamo dalje iz razmatranja.

Što se tiče prvog i drugog načina montaže, postoje određene prednosti i nedostaci. Sa aspekta uticaja u konstrukciji pogodniji je drugi način montaže, jer vrši pravilniju preraspodjelu uticaja duž nosača, dok kod prvog načina montaže dominiraju uticaji iznad stubova. Međutim, ako se pogleda aspekt izvođenja i montaže konstrukcije prvi način montaže ima primat, zato što se montiranje vrši iz manjih dijelova.

To znači da nije potrebna specijalna oprema za montiranje niti za dopremu segmenata.

Kod drugog načina montaže srednji, upasni segment, zbog svojih gabarita, ima veliku težinu, te zahtijeva upotrebu većih dizalica za montažu. Takođe neophodna je i upotreba plovni objekata kojima bi se dopremao takav segment, jer drumskim saobraćajem nije moguće zbog ograničenja saobraćajnog profila pristupnih saobraćajnica. Pošto rijeka Sava nije cijelom dužinom plovna za teretni saobraćaj, ovakav način montaže bio bi teško izvodljiv.

4. LITERATURA

- [1] EN 1991-2:2002 : EUROCODE 1 - Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges
- [2] EN 1991-1:2004 : Evrokod 1 – Dejstva na konstrukcije, Beograd, 2009.
- [3] EN 1992-1-1:2004 : Evrokod 2 - Proračun betonskih konstrukcija, Beograd, 2006.
- [4] EN 1993-1-1:2005 : Evrokod 3 - Proračun čeličnih konstrukcija, Beograd, 2006.
- [5] EN 1994-2:2001 : EUROCODE 4 – Design of composite steel and concrete structures – Part 2: Composite bridges
- [6] EN 1998-2:200X : EUROCODE 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 2: Bridges
- [7] Spregnute konstrukcije čelik – beton, Radomir Folić, Damir Zenunović, Novi Sad 2016.
- [8] Spregnute konstrukcije, Milenko Pržulj, Beograd 1989.

Kratka biografija:



Aleksandar Đuraš rođen je 28.09.1992. god. u Prnjavoru, Republika Srpska, BiH. Osnovnu i srednju školu je završio u Derventi. Diplomski rad na Arhitektonsko – građevinskom fakultetu u Banjoj Luci, na temu Proračun konstrukcije poslovnog objekta P+5+Pe, odbranio je 2016.god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na temu Optimizacija postupka montaže drumskog spregnutog mosta preko rijeke Save, odbranio je 2019.god. Trenutno živi u Banjoj Luci i zaposlen je u firmi „Institut za građevinarstvo IG“. Kontakt: acodjuras@gmail.com