

Aleksandar Bojović¹, Vukan Njagulj²

IDEJNI PROJEKT ŽELEZNIČKO-DRUMSKOG MOSTA PREKO DUNAVA U NOVOM SADU

U članku se prikazuju najbitnije pojedinosti Idejnog projekta novog Železničko-drumskog mosta preko Dunava u Novom Sadu, koji treba da se izgradi na lokaciji starog mosta („Žeželjevog mosta“ 1964-1999.). Most je sa dva železnička koloseka, dve drumske trake i dve pešačke staze. Glavni noseći sistem je čelična konstrukcija, sistema lukova sa zategama. Kolovozna konstrukcija je spregnuta čelik-beton. Rasponi konstrukcije su 27+177(+3)+219+48 m. Most je oslonjen na pet stubova. Centralni stub je oslonjen na temeljnu stopu starog mosta, jedan od stubova na keson starog mosta, a ostali na fundamente sa bušenim šipovima. Most je projektovan prema aktuelnim nemačkim i evropskim normama, kao prvi u Srbiji.

Ključne reči: most, železničko-drumski most, čelična konstrukcija, lučni most.

THE PRELIMINARY DESIGN OF THE RAILWAY ROAD BRIDGE ACROSS THE DANUBE IN NOVI SAD

This article presents the most important details from Preliminary Design of a Railway-road bridge across the Danube River in Novi Sad, Serbia. It should be built on the location of the old bridge (1964-1999). The new bridge is consist of two railway tracks, two road lines and two footpaths. The main bearing system is a steel structure - the system of arches with ties. The deck structure is of a composite steel-concrete. Structure spans are of the next dimensions: 27 +177(+3)+219+48 m. The bridge is supported by five piers. The central pier is supported by the foundation of the old bridge, one of the piers by old caisson and the rest of the piers by the bored piles foundations. The bridge is designed according to the current German and European norms.

Key words: Bridge, Railway Road Bridge, Steel Structure, Arch Bridge.

¹ dipl.ing. građ., tehnički direktor, Delfin Inženjering, d.o.o., Beograd, Jastrebovljeva 25.
² dipl.ing. građ., Institut IIPP d.o.o., Beograd, Jurija Gagarina 12b.

1 UVOD

Idejni projekt i Tenderski dokumenti za novi Železničko-drumski most preko Dunava u Novom Sadu urađeni su na osnovu ugovora investitora projekta – Delegacije Evropske unije za Srbiju (DEU) i projekatnata – italijanskog konzorcijuma Italferr i IRD Engineering, kao i ugovora pomenutog konzorcijuma i lokalnog partnera i podizvođača, (videti dalje t. 5).

Kratak pregled razvoja projekta:

- maj 2007: Italferr i IRD dobijaju DEU-konkurs za projektovanje;
- jun 2007: start izrade ugovorene tehničke dokumentacije, (Idejno rešenje, Idejni projekt, Glavni projekt, Tenderski dokumenti);
- novembar 2007: Idejno rešenje mosta; odobreno decembra 2007;
- mart 2008: Železnice Srbije izdaju Tehničke uslove po kojima most postaje trokolesečan, čime se Projektni zadatak DEU bitno menja;
- jun 2008: novo (drugo po redu) Idejno rešenje mosta;
- avgust 2008: završen i predat Idejni projekt, urađen prema drugom Idejnom rešenju;
- maj 2009: novi Proj. zadatak [2], sa bitnom promenom sadržaja kolovozne površine;
- jun 2009: novo (treće po redu) Idejno rešenje mosta, prema [2];
- oktobar 2009: novi (drugi po redu) Idejni projekt, po obimu detaljniji od uobičajenih idejnih projekata i kao zamena za ugovoreni glavni projekt;
- decembar 2009: Tenderski dokumenti završeni i predati;
- juli 2010: zvanično primljeni Tenderski dokumenti posle završetka svih procedura;
- jesen 2010: tenderske procedure i izbor izvođača;
- 2011-2013: gradnja mosta.

Projektni zadatak [2], sastavljen od oficijelnog investitora – Železnica Srbije sadrži sledeće osnovne zahteve:

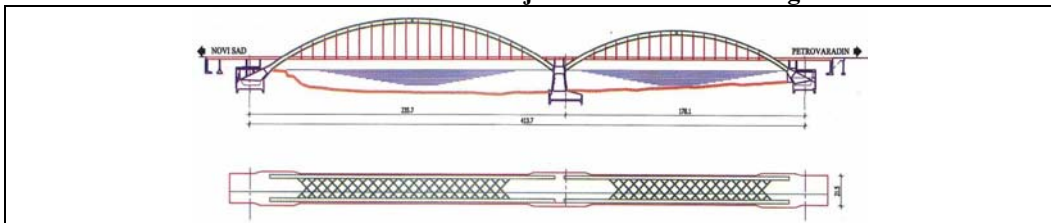
- lokacija mosta: Lokacija starog mosta, na trasi međunarodne magistralne pruge pruge broj 2 Beograd - Stara Pazova – Indija – Subotica - državna granica – Budimpešta, (Slika 1);
- saobraćaj na mostu: 2 koloseka + 2 drumske trake + 2 pešačke staze;
- sistem konstrukcije: lučni, čelični; (ovo je bio i urbanistički uslov prema [3]);
- brzine vozova: putnički – 160 km/h, teretni – 120 km/h;
- saobraćajnice: razmak koloseka = 4,20 m, drumske trake = 2 x (3,50+0,35) m;
- instalacije na mostu: vodovodne cevi, 2 x ϕ 610 mm, razni električni i telekomunikacioni kablovi, rasveta javna i dekorativna, saobraćajna signalizacija, sistem za odvodnjavanje kolovoza;
- fundiranje: iskoristiti temelje starog mosta u meri koliko je to moguće;
- norme za projektovanje: vodeća norma Ri 804:2003, [5] i sa njom u vezi DIN-Fb 101 do 104, [6] do [8]; (tj. projektovanje po Evropskim normama, pošto su DIN-Fb u potpunosti zasnovani na EN).

2 OPŠTE O MOSTU

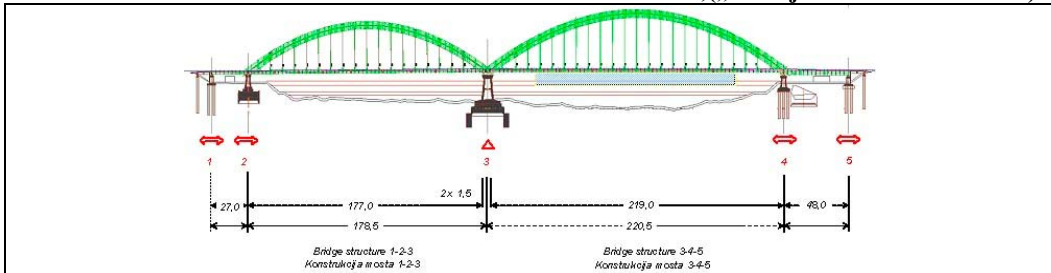
Železničko-drumski most preko Dunava u Novom Sadu je potpuno novi most (Slika 3), različit od starog (Slika 2) po svim karakteristikama. Jedina sličnost je vizuelna, novi most je lučni, (mada različitog sistema lukova), ali je urbanistički tražena sličnost zadovoljena.



Slika 1: Novi Sad. Lokacija Železničko-drumskog mosta.



Slika 2: Stari Železničko-drumski most u Novom Sadu („Žeželjev most“ 1961-1999.)

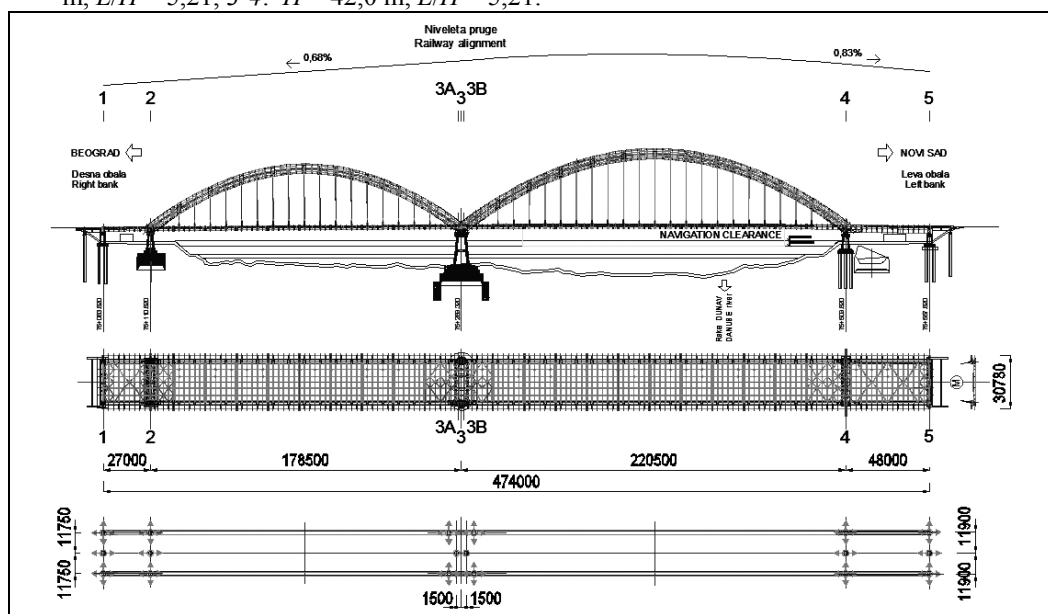


Slika 3: Novi Železničko-drumski most u Novom Sadu.

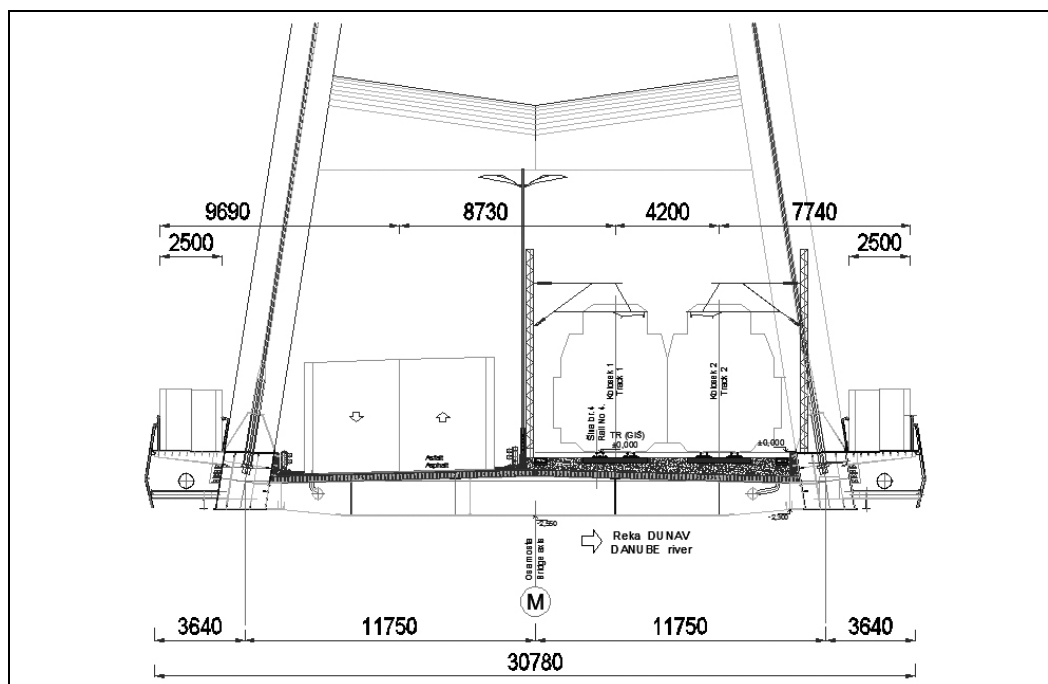
Osnovne karakteristike mosta:

- niveleta koloseka: prema saobraćajnom rešenju vođenja koloseka – zadovoljenjem uslova što kraćeg povezivanja sa postojećim kolosekom i obezbeđenjem plovnog profila ispod mosta;
- statički sistem: lukovi sa zategom; dve nezavisne konstrukcije, deo 1-2-3: 27,0+177,0 m, deo 3-4-5: 219,0+48,0 m, (Slika 4); (dalje o konstrukciji mosta videti t. 3);
- položaj stubova: centralni stub prema položaju temeljne stope starog mosta, ostali stubovi prema uslovima na obalama; razmaci stubova 1-2-3-4-5: 27,0 + 178,5 + 220,5 + 48,0 m; (dalje o stubovima i fundiranju videti t. 4);

- osnovne dimenzije: ukupna dužina 1-5 = 474,0 m; širina mosta između spoljnih ivica maski = 31,600 m; osni razmak zatega = 23,500 m (Slika 5); visine lukova: 2-3: $H = 34,0$ m, $L/H = 5,21$, 3-4: $H = 42,0$ m, $L/H = 5,21$.



Slika 4: Niveleta pruge, podužni presek, kolovozna konstrukcija, raspored ležišta.



Slika 5: Tipičan poprečni presek mosta.

3 KONSTRUKCIJA MOSTA

3.1 OPŠTI ZAHTEVI

Na izbore i odluke prilikom projektovanja mostovske konstrukcije odlučujući uticaji su bili: elementi Projektnog zadatka [2], zahtevi normi [5] do [8], zahtev racionalne montaže i potreba postizanja optimalnih količina materijala konstrukcije.

Niveleta železničke pruge, a odatle i položaj konstrukcije mosta prilagođeni su plovnom profilu Dunava ispod mosta, tehničkim uslovima za projektovanje železničkih pruga i priključivanju železničke pruge postojećim kolosecima na obe obale. Niveleta pruge novog mosta na najvišem mestu je za oko 1,10 m viša od stare. Osni razmak koloseka je 4200 mm prema Evropskom sporazumu o najvažnijim međunarodnim železničkim prugama iz 1989.

Debljina tucaničkog zatora je min 350 mm što je veće od zahteva Ril 804:2003 (300 mm).

Poprečni pad kolovozne ploče je 2,5% i odgovara uslovima odvodnjavanja i puta, i pruge.

Čelik konstrukcije je S355J2G3, S355K2G3 i S355N/L prema EN 10025:1993 i sa ograničenjima debljina prema uslovima Ril 804:2003 [5] i DIN-Fachberichte 103:2003 [7].

Zahtevi normi: Zahtevi merodavnih evropskih i nemačkih normi za železničke mostove su daleko obimniji i najvećim delom potpuno novi u odnosu na dosadašnju praksu projektovanja železničkih mostova u Srbiji. U Srbiji su, naime, formalno definisana jedino opterećenja – prema Pravilniku 316:1991, (urađenom inače prema prvom od šest delova nemačkog DS 804:1982), dok je sve ostalo ostavljeno opštim normama i volji projektanta, pri čemu su uslovi upotrebljivosti ostajali potpuno nedefinisani, (osim neformalnih „L/1000“ za deformacije).

U ovom projektu posebno važni i odlučujući su bili sledeći uslovi graničnih stanja nosivosti (ULS) i upotrebljivosti (SLS), čiji kratak pregled je dat u t. 3.4.

3.2 GLAVNI NOSEĆI SISTEM – IZBOR REŠENJA

Izbor osnovnog sistema konstrukcije mosta proistekao je, kao što je prethodno već rečeno iz uslova Projektnog zadatka [2] i Urbanističkih uslova [3]. Prema pomenutim uslovima most mora da bude vizuelno sličan starom, lučni i čelična konstrukcija. Ovi zahtevi isključili su mogućnost razmatranja analize racionalnosti drugačijih sistema konstrukcije mosta.

Zahtevi iz [2] i [3] takođe su bitno suzili analize mogućih sistema unutar grupe sistema lučnih mostova: 1) puni luk sa zategom, 2) rešetkasti luk sa zategom, 3) luk sa (rešetkastom) gredom, 4) dvostruki puni luk sa zategom. Zahtevi [2] i [3] praktično su vodili samo jednom sistemu – sistemu punog luka sa zategom, jer je jedino on sličan po izgledu starom mostu. Projektanti su analizovali i alternativne sisteme 2), 3) i 4) i zaključak je bio da su vrlo racionalni, u ponečemu i boljih karakteristika od unapred usvojenog sistema 1), ali su ipak odbačeni zbog kršenja osnovnog elementa Projektnog zadatka i Urbanističkih uslova – da most mora da je sličan starom. Na osnovu prethodnog u Idejnom projektu [4] je usvojen sistem mosta sa zategom.

Podela konstrukcije: Konstrukcija mosta podeljena je na dve celine: 1) deo mosta između osa 1-2-3, gde je podužno fiksni oslonac u osi 3; 2) deo mosta između osa 3-4-5, gde je podužno fiksni oslonac u osi 3; 3) između oslonaca konstrukcija u osi 3 (pomoćne ose 3A i 3B) je prelazna konstrukcija (3A-3B = 3,00 m). Razlog podele mosta jeste nastojanje da se uprosti montaža mosta, tj. da se izbegnu komplikovani radovi povezivanja masivnih konstrukcija

lukova u osi 3. Sam stub u osi 3, zbog velikih dimenzija odatle i nosivosti postojećeg temelja, iskorišćen je za prijem svih podužnih sila od pokretanja i kočenja vozila, vetra i seizmike.

Veličine raspona mosta određene su iz sledećih uslova: 1) raspon *I-2*: iz uslova uređenja desne obale, iz položaja postojećeg temelja u osi 2 i iz statičke analize sistema *I-2-3* (sa ciljem da se izbegnu zatežujuće reakcije oslonaca u osi 1); 2) rasponi *2-3* i *3-4*: iz položaja postojećih temelja u osama 2 i 3; 3) raspon *4-5*: iz uslova uređenja leve obale, iz položaja postojećeg temelja kod ose 4 i iz statičke analize sistema *3-4-5* sa ciljem da se postigne dovoljna nosivost i upotrebljivost dela *4-5*.

Veličine strele i preseka lukova 2-3 i 3-4 određene su iz varijantnih proračuna najkritičnijeg uslova projektovanja – zadovoljenja uslova dopuštenih rotacija na osloncima u osi 3 kao jednog od kriterijuma upotrebljivosti, gde usvojena prelazna ploča *3A-3B* pomenuta bitno ublažava problem. Pri tom se pokazalo da povećanje strele lukova ima zanemarljiv uticaj na smanjenje deformacija. Projektovane dimenzije lukova su praktično maksimalne racionalne dimenzije konstrukcije luka sa sandučastim poprečnim presekom. (Prema ovom kriterijumu gledano sistemi rešetkastog lukova sa zategom ili luka sa rešetkastom gredom su povoljniji).

Osnovni podužni raster konstrukcije od 3,000 m odabran je posle sledećih razmatranja: 1) moguće nosivosti poprečnih nosača kolovozne konstrukcije obzirom na njihovu ograničenu visinu preseka i moguću sadejstvujuću širinu betonske kolovozne ploče koja inače proističe iz raspona poprečnih nosača; 2) veličina momenata savijanja kolovoznih betonskih ploča; 3) veličina momenata savijanja zatege između tačaka vešanja.

Širina lukova i zatega iznosi 2,000 m, a usvojena je posle razmatranja: 1) globalne i lokalne stabilnosti lukova; 2) potrebnih širina dijafragmi lukova i zatega i otvora u njima za prolaz službenog osoblja; 3) potrebnih širina lukova i zatega na mestu oslanjanja na ležišta, usklađenih sa mogućim dimenzijama ležišta obzirom na sile i deformacije mosta u oslonačkim tačkama.

Izbor vešaljki: Vešaljke su kablovi odabrane prilikom izbora kablovi ili krute čelične konstrukcije. Prednosti kablova nad krutim čeličnim konstrukcijama su sledeće: 1) bez potrebe za montažnim nastavcima, (dužine vešaljki su do 42 m); 2) bitno viša otpornost na zamor; 3) efikasnije mogućnosti prigušenja oscilacija od delovanja saobraćaja i vetra; 4) adekvatnije obrade spoljnih površina obzirom na aeroelastičnu stabilnost.

3.3 KOLOVOZNA KONSTRUKCIJA – IZBOR REŠENJA

Usvojena kolovozna konstrukcija je spregnuta, čelično-betonska. U odnosu na drugu razmatranu varijantu, kolovoznu konstrukciju kao čeličnu sa ortotropnom pločom, spregnuta kolovozna konstrukcija ima sledeće prednosti: 1) bitno nižu cenu izrade i montaže; 2) veću otpornost na zamor; 3) manju buku prilikom odvijanja saobraćaja; 4) bitno manju opasnost zaleđivanja drumskog kolovoza; 5) jednostavnije održavanje.

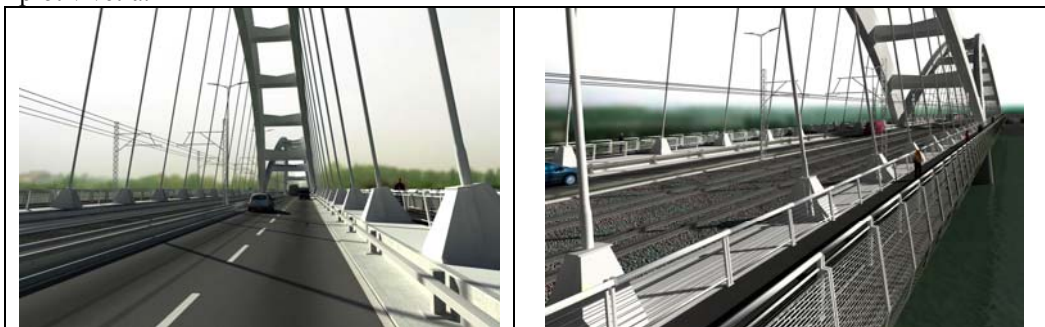
Kolovozna ploča je betonska debljine $t = 250$ mm, livena na licu mesta, od betona klase C40/50 (cilindar/kocka) prema EN 1992-1-1:2004, odnosno DIN-Fb 102:2003. Klasa betona C40/50 je inače najviša dozvoljena klasa betona prema Ril 804:2003 za ploču livenu na licu mesta. Kolovozna ploča je povezana sa čeličnim poprečnim i podužnim nosačima automatski zavarenim moždanicima sa glavom $\phi 25 \times 175$ mm prema DIN EN ISO 13918:1998 i DIN EN ISO 14555:1998. Armatura ploče je od čelika B500 prema EN 10080:2005.

Poprečni nosači su I-preseka, visine $1092 \text{ mm} \leq h \leq 1613 \text{ mm}$. Visina preseka je ograničena sa gornje strane niveletom i potrebnim debljinama tucaničkog zastora i betonske kolovozne ploče, a sa donje strane položajem donje ivice konstrukcije mosta prema gornjoj

ivici plovidbenog profila. Pomenuti razmak poprečnih nosača od 3,000 m proistekao je kao optimalan obzirom na nosivost poprečnih nosača sa datom visinom.

Poprečni nosači su udvojeni na razmaku od 18 do 24 m, tj. na dužini sekcija betonske kolovozne ploče. Ovim rešenjem je u velikoj meri onemogućena saradnja kolovozne konstrukcije sa zategom, gde bi naponi zatezanja u betonskoj kolovoznoj ploči bili samo parazitni. Naponi zatezanja u kolovoznoj ploči su zbog pomenutog prekida ploče bitno smanjeni i mogu se primiti bez ikakvog problema podužnom armaturom ploče.

Podužni nosači su I-preseka, visine koja proizilazi iz visine poprečnih nosača. Broj podužnih nosača od 3 podužna nosača, (1, 2, 3 ili više), određen je iz sledećih razmatranja: 1) potrebe da njihov broj bude minimalan zbog ogromnog broja ukrštanja sa poprečnim nosačima celom dužinom mosta; 2) potrebe da sa poprečnim nosačima izgrade efikasan roštiljni sistem za ujednačeno prenošenje vertikalnih delovanja; 3) cilja da svojim rasporedom bitno smanje lokalno savijanje kolovozne ploče; 4) potrebe da se optimalno uklope u geometriju sprega protiv vetra.



Slika 6: Kolovozne površine – drumna i koloseka.

3.4 PRORAČUN KONSTRUKCIJE

Proračun konstrukcije urađen je u potpunosti prema normama propisanim Projektnim zadatkom Železnica Srbije [2] – videti t. 1. Proračun je izuzetno obiman, najmanje tri puta obimniji od do sada uobičajenog kod nas. Nekoliko karakterističnih podataka:

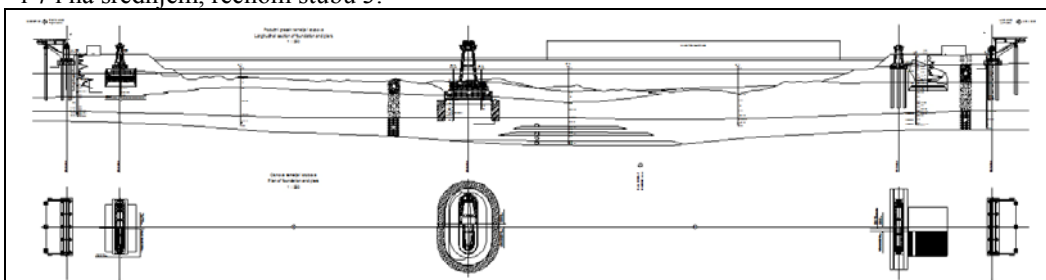
- karakt. opterećenja: težine konstrukcije čelične (s) i betonske (c) - $G_{1,s,k} \approx 245$ kN/m, $G_{1,c,k} \approx 140$ kN/m; stalna opterećenja $G_{2,k} \approx 230$ kN/m; saobraćajna opterećenja, železnička i drumska - $q_{v,k} = 80+150 = 230$ kN/m i $q_{i,k} = 41$ kN/m; pešačka navala $q_{iik} = 25$ kN/m;
- bitne karakteristike proračuna: dinamičke karakteristike konstrukcije → dinamički koeficijent Φ , železnička opterećenja kao $F(x;t)$ (time hystory), grupe (gr) saobraćajnih opterećenja – 13 železničkih i 5 drumskih, oko 5000 uticajnih linija i oko 40000 sila; ekstremne presečne sile (4 kombinacije) i deformacije, vertikalna ubrzanja; oscilacije – vertikalne, horizontalne, torzione; zamor – koncept $\Delta\sigma$;
- dokazi graničnih stanja nosivosti (ULS), zamora (Fat) i upotrebljivosti (SLS): **ULS**: naponi, izbočavanje; **SLS**: oscilacije $n_{v,i}$, n_{Hi} , $n_{Z,i}$ [Hz], vertikalna ubrzanja a [m/s^2], vertikalne deformacije δ_z [mm], rotacije na osloncima θ [rad], uvrtnje kolovozne table (kao denivelacija šina [mm], aeroelastična stabilnost kolovozne konstrukcije (odvajanje vrtloga, maksimalne amplitude, torziona kretanja, flater) i vešaljki (odvajanje vrtloga, galopiranje, vibracije izazvane kišom i vetrom); **Fat**: zamor likova, zatega, vešaljki, kolovozne konstr.;

- utrošci materijala: čelik 11800 t, sekundarne konstrukcije 550 t, kablovi 160 t; čelik 8,3 (t/m)/kolosek, (most po ukupnim saobraćajnim opterećenjima odgovara trokolosečnom mostu); beton i armatura kolovozne konstrukcije 3200 m³ (0,31 m³/m²) i 1590t (155 kg/m²); svi specifični utrošci materijala su, prema svetskoj literaturi, u optimalnim granicama;
- očekivano koštanje mosta: 60.000.000 EUR, (30 mil. donacija EU, 30 mil. Srbija).

4 STUBOVI I TEMELJI

4.1 UVOD

Dispoziciono rešenje temelja i stubova novog mosta (Slika 7) uslovljeno je sa više faktora koji su uzajamno povezani. Projektnim zadatkom je definisan izgled rečnog dela konstrukcije mosta što je uslovljeno da se, ukoliko je to moguće, postojeći temelji starog mosta iskoriste za oslanjanje konstrukcije novog mosta. Stubovi i temelji starog mosta su, kao oslonci lučnih konstrukcija, bili opterećeni i velikim horizontalnim silama dok konstrukcija novog mosta, čiji je statički sistem iznad reke *luk sa zategom*, na stubove primarno prenosi vertikalne sile. Zbog toga je nosivost postojećih temelja dovoljna iako su vertikalna opterećenja od novog mosta daleko veća nego što su bila od starog mosta. Po projektnom rešenju most je oslonjen na ukupno 5 stubnih mesta, na krajnjim stubovima 1 i 5, na srednjim stubovima na obalama reke 2 i 4 i na srednjem, rečnom stubu 3.



Slika 7: Stubovi mosta, ose 1 do 5, podužni presek i osnova.

Položaj oporaca lukova starog mosta na desnoj obali i u reci je povoljan, a nosivost, uz dodatne tehničke intervencije, odgovarajuća opterećenjima od novog mosta pa je dispozicionim rešenjem konstrukcije mosta predviđeno da se ti postojeći temelji iskoriste za oslanjanje konstrukcije novog mosta. Položaj oporca luka starog mosta na levoj obali je za novoprojektovani statički sistem luka sa zategom veoma nepovoljan pa ovaj temelj, iako je dovoljne nosivosti, nije iskorišćen za oslanjanje konstrukcije mosta. Stubovi 1, 4 i 5, koji su u celini novi, fundirani su na velikim bušenim šipovima.

Zbog promene namene mosta u odnosu na stari most, projektom konstrukcije mosta je predviđeno proširenje mosta na uzvodnu stranu što je dovelo do značajnog povećanja već postojećeg ekscentriciteta osovine starog mosta u odnosu na osovinu postojećih temelja stubova. Ekscentričan način oslanjanja je bio naročito nepovoljan za relativno uzan temelj stuba 2. Problem je rešen tako što je izvršena rotacija položaja pravca koloseka u osnovi, a time i osovine mosta oko izabrane tačke na levoj obali u pravcu suprotnom kazaljki na satu.

Glavna konstrukcija mosta se na svim stubovima oslanja (Slika 4) direktno na obostrano pokretna ležišta, a nepokretna ležišta – obostrano nepokretna na stubu 3 (koji ima veliku

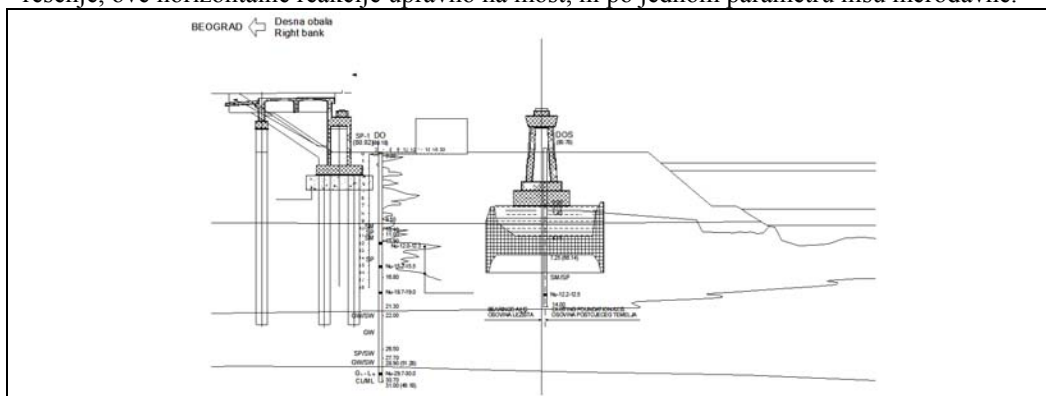
nosivost za horizontalne sile u podužnom pravcu) i poprečno nepokretna na stubovima 1, 2, 4 i 5 – nalaze se u osovini mosta.

Pre donošenja odluke o korišćenju postojećih temelja stubova 2 i 3 za fundiranje mosta obavljani su obimni pripremni radovi: pregled postojeće projektne dokumentacije i dokumentacije o izvođenju radova na fundiranju starog mosta - posebno o postupku koji je primenjen tokom radova na iskopu i betoniranju u kesonskim komorama, razmatranja mogućih oštećenja na postojećim temeljima pri rušenju mosta uzrokovano bombardovanjem, podataka o stanju i promenama korita reke posle rušenja i uklanjanja ostataka srušenog mosta, geoistražni terenski i laboratoriski radovi uključujući i izradu bušotina kroz postojeće temelje kao i snimanja sadašnjeg stanja dna korita reke u široj zoni mosta. Analiza uzoraka betona uzetih iz postojećih temelja pokazala je da raspored konstruktivnog betona i betona ispune odgovara projektu a kvalitet betona je znatno veći nego što je projektom zahtevano. Na osnovu rezultata geoistražnih radova analizirana je i mogućnost da je, bez obzira na masu i dubinu ukopavanja temelja, tokom rušenja konstrukcije mosta moglo doći do pomeranja temelja u oba pravca kao i rotacije temelja. Težište analiza i istražnih radova je bilo na stanju i upotrebljivosti postojećeg temelja rečnog stuba 3.

U vezi rezultata navedenih analiza, statičkih i konstruktivnih rešenja u projektu stubova i temelja, kao i projektom predviđenog načina izvođenja radova, posebno na rečnom stubu 3 u ovom tekstu su za pojedine stubove navedeni samo karakteristični detalji.

4.2 STUBOVI 1 I 5 – STUBOVI NA DESNOJ OBALI

Parovi stubova 1-2 i 4-5 (Slika 8, Slika 9) imaju specifična opterećenja koja potiču od horizontalnih reakcija upravno na most koje su u značajnoj meri uvećane zbog nesrazmernog odnosa raspona kontinualnih konstrukcija 1-3 i 3-5. Horizontalne reakcije upravno na most, zbog dispozicionog rešenja konstrukcije mosta (zakošenosti lukova) i sila u glavnim nosačima, izazivaju sva opterećenja na mostu izuzev opterećenja koja su simetrična u vertikalnoj ravni. Poprečno pomeranje konstrukcije krajnjih stubova 1 i 5 koje te reakcije mogu da prouzrokuju po parametru upotrebljivosti kod železničkih mostova, svakako je veoma nepovoljno. Zbog toga su projektom predviđene posebne mere za smanjenje bočne pomerljivosti ovih stubova - zamena nekvalitetnog sloja podlta koja će biti izvedena pre izrade bušenih šipova i odgovarajuće konstruktivno oblikovanje čeonih zidova. Za stubove 2 i 4, koji su opterećeni i drugim velikim reakcijama konstrukcije mosta, čime je uslovljeno i njihovo dispoziciono rešenje, ove horizontalne reakcije upravno na most, ni po jednom parametru nisu merodavne.

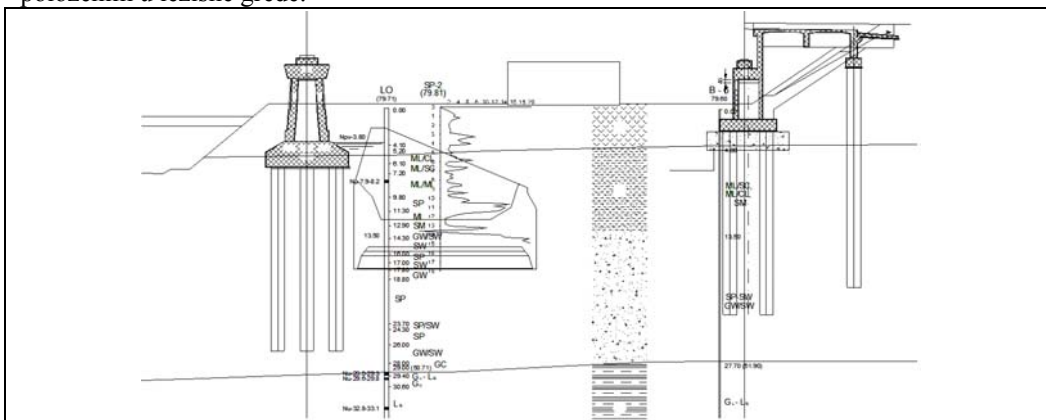


Slika 8: Stubovi na desnoj obali, u osama 1 i 2.

4.3 STUBOVI 2 I 4 – STUBOVI NA LEVOJ OBALI

Rotacijom osovine koloseka, a time i mosta, ekscentricitet osovine konstrukcije mosta u odnosu na osovinu postojećeg temelja stuba 2 smanjen je sa 2615mm na 823mm (na uzvodnu stranu). Time je, zbog nesimetričnih reakcija konstrukcije mosta od stalnog opterećenja (koje su znatno veće na nizvodnoj strani mosta) i izbalansirane težine novog stuba, postignuto da je opterećenje temeljne spojnice od stalnog opterećenja praktično centrično. Sličan postupak je primenjen i pri projektovanju rasporeda šipova na novom stubu 4 i to tako što je, radi nivelisanja maksimalnih opterećenja u šipovima, osovina šipova pomerena u odnosu na osovinu mosta za 1200mm na nizvodnu stranu.

Na stubovima 2 - 4 vertikalne reakcije se najvećim delom prenose preko bočnih ležišta koja su postavljena blizu krajeva ležišnih greda na rastojanju od skoro 24,0 m. Radi uvođenja tih sila u presek stuba kao celinu i radi smanjenja mogućnosti pojave prslina od efektivnih i parazitnih napona zatezanja u betonu predviđeno je prednaprezanje konstrukcije stuba, ležišnih greda i tela stuba, u pravcu upravno na osovinu mosta, kablovima odgovarajuće nosivosti položenim u ležišne grede.



Slika 9: Stubovi na levoj obali, u osi 4 i 5.

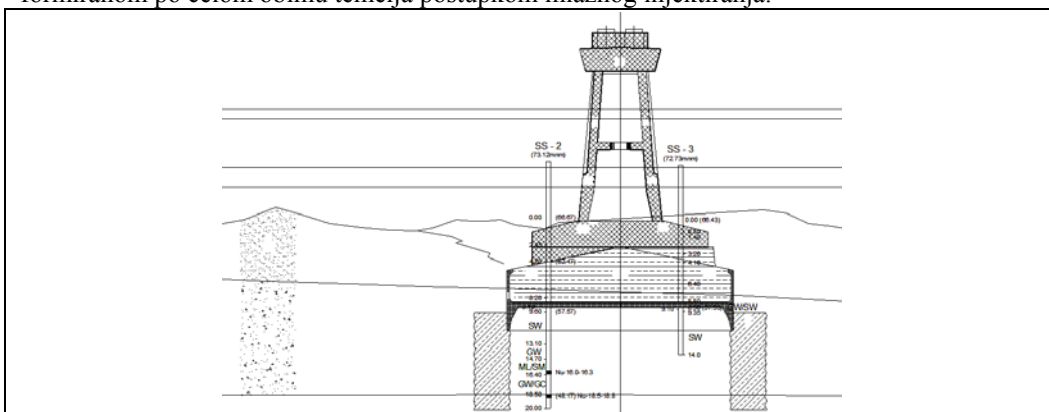
4.4 STUB 3 – REČNI STUB

Dimenzije elemenata novog stuba (Slika 10) određene su skladu sa dimenzijama mosta i same vodene prepreke ali i u skladu sa konstruktivnim zahtevima koji proističu iz dimenzija postojećeg temelja koje su veoma velike - 39,50x24,50 m. Nosivost svih postojećih i novih konstruktivnih elemenata ovog stuba je izuzetno velika pa su i zato na ovom stubu smeštena nepokretna ležišta za obe konstrukcije. Poseban razlog za povećanje dimenzija „temeljne stope“ novog stuba, koja se oslanja direktno na postojeći temelj, je moguće (mada malo verovatno) oštećenje postojećeg temelja za koje postoje indicije da je nastalo pri rušenju bivšeg mosta. Dimenzije novog „temelja“ su određene tako da se postojeći temelj, uz radove na sanaciji i ojačanju koji su predviđeni projektom, i koji se mogu kvalitetno obaviti radom u suvom, pod zaštitom priboja od talpi, može tretirati ne kao konstruktivni element već kao veoma kvalitetna zamena materijala podtla.

Temelj stuba 3 je pri bombardovanju i rušenju mosta bio opterećen silama koje je nemoguće računski obuhvatiti. Rušenje lučnih konstrukcija gornjeg stroja rečnog dela mosta izazvano je direktnim pogocima avionskih bombi u delove konstrukcije većeg luka u zoni

oslanjanja na rečni stub. Po položaju ostataka - delova konstrukcije mosta i oštećenjima na glavi i telu stuba može se sa znatnom sigurnošću tvrditi da je pri rušenju konstrukcije mosta prvo pao veći luk, a da je zatim manji luk (horizontalnim potiskom) odgurao ležišnu gredu sa sandučastog dela stuba. Time je manji luk, koji u toku bombardovanja nije bio direktno oštećen, izgubio horizontalni oslonac, što je dovelo i do njegovog rušenja.

Posle rušenja mosta došlo je do intenzivne degradacije dna nizvodno i zasipanja uzvodno od ostataka srušenog mosta. Degradacija je bila posebno izražena u matici reke uz levu obalu. Pri uklanjanju konstrukcije, u pojedinim fazama radova, zbog opšteg poremećaja toka, velike brzine vode i nepovoljnih hidrauličkih efekata izazvanih ostatakima stare konstrukcije, moglo je doći do odnošenja materijala i u zoni temelja stuba 3. Tokom geoistražnih radova izvršeno je ispitivanje zbijenosti podtla standardnim penetracionim testom (SPT) i granulometričkog sastava tla. Rezultati nedvosmisleno dokazuju da nije došlo do podlokavanja i time prouzrokovanog poremećaja prirodnog stanja tla u zoni kontakta temelja i tla na koti 55,0 m.n.m. Projektom je ipak predviđeno ojačanje i obezbeđivanje postojećeg temelja "zavesom" formiranom po celom obimu temelja postupkom mlaznog injektiranja.



Slika 10: Stub u osi 3, centralni stub – stub u reci.

Projektom je predviđeno da se radovi na eventualnoj sanaciji postojeće temeljne stope u meri u kojoj je to potrebno i poboljšanju oslanjanja konstrukcije kesona na materijale unutar kesonske komore kao i svi ostali radovi na novom stubu izvrše u suvom, pod zaštitom priboja od čeličnih talpi. Priboj se sastoji od jednog zida talpi odgovarajuće nosivosti koji je po visini oslonjen na dva horizontalna čelična razupirača ramovske konstrukcije i na tampon sloj od armiranog podvodnog betona koji se nalazi između zida talpi i postojećeg temelja. Oslanjanje talpi u donjoj zoni je poboljšano izradom "zavesa" postupkom mlaznog injektiranja sa jednim redom bušotina u prostoru između talpi priboja i postojećeg temelja i dva reda bušotina izvan priboja, po celom obimu. Visinska razlika između nivoa radne vode i nivoa gornje ivice tampon sloja, bez uticaja talasa, ukupno je 13,00 m. Sigurnost građevine na isplivanje od potiska vode (uzgona) za nivo radne vode sa koeficijentom sigurnosti 1,10 obezbeđena je kontrateretom od gabiona ukupne težine 20.000 kN koji će biti složeni po obimu zida priboja, van radnog prostora.

Radi umirenja turbulentnog kretanja vode reke u zoni postojećeg temelja, posebno u fazi radova na pobijanju talpi na uzvodnom delu priboja, kao i radi zaštite priboja od udara plovila i predmeta koja reka može da nanese, predviđeno je da se uzvodno od temelja izvede hidraulički oblikovana zaštitna građevina. Ova građevina se sastoji od noseće konstrukcije formirane od čeličnih pobijenih "H" šipova sa vodicama i pregradnih zidova od čeličnih talpi sa

horizontalnim osloncem između šipova na gornjoj ivici. Zaštitna građevina je oblikovana tako da između krajeva zaštitne građevine i zida priboja od talpi postoji slobodan prostor za nesmetan rad na pobijanju talpi priboja i mlaznom injektiranju.

5 UČESNICI U IZRADI IDEJNOG PROJEKTA

U izradi Idejnog projekta Drumsko-železničkog mosta preko Dunava u Novom Sadu učestvovala su sledeće organizacije i odgovorni pojedinci:

Organizacije:

Investitor za Idejni projekt i Tenderske dokumente: Delegacija Evropske komisije.
Projektanti: Italferr s.p.a., Rim, IRD Engineering, Rim.
Lokalni partner: Institut IIPP d.o.o., Beograd.
Podizvođač za konstrukciju mosta: Delfin Inženjering d.o.o., Beograd.
Projektant prema zakonima Rep.Srbije: Saobraćajni institut CIP d.o.o., Beograd.

Odgovorna lica:

Rukovodilac projekta: Prof. Mario Paolo Petrangeli;
Odgovorni projektant konstrukcije mosta: Aleksandar Bojović, dipl.ing.građ.;
Odgovorni projektant stubova i temelja: Vukan Njagulj, dipl.ing.građ.;
Projektanti konstrukcija (svi dipl.ing.građ.):
Dejan Srejić, Slobodan Jačović, Uroš Kostić, Kristijan Koločvari, Zoran Canić.

6 LITERATURA

- [1] Monografija “Železničko drumski most preko Dunava u Novom Sadu”.
Izdavačko-štamparsko preduzeće Jugoslovenskih železnica, Subotica, 1961.
- [2] Terms of Reference for Preliminary Design and tender Documents for construction of the Railway-road Bridge across the Danube in Novi Sad.
Public Enterprise Serbian Raiways, Sector for strategic and development, Belgrade.
Belgrade, 14.05.2009.
- [3] Extract of Urban plan for the reconstruction of the Railway-road Bridge across the Danube in Novi Sad. Novi Sad, 24.08.2009.
- [4] An EU-funded project managed by the Delegation of the European Commission to the Republic Serbia. Project Number: EuropeAid/123989/D/SER/YU. Railway road Bridge across the Danube in Novi Sad. Preliminary Design and Tender Documents.
Italferr s.p.a. Rome; IRD Engineering, Rome.
Belgrade, December 2009.
- [5] Ril 804:2003
DB Richtlinie 804: Eisenbahnbruecken (und sonstige Ingenieurbauwerke).
Planen, Bauen und Instand halten.
- [6] DIN-Fachbericht 101:2003
Einwirkungen auf Bruecken.
- [7] DIN Fachbericht 103:2003
Stahlbruecken.
- [8] DIN Fachbericht 104:2003
Verbundbruecken.