

*Aleksandar Bojović<sup>1</sup>, Zlatko Marković<sup>2</sup>, Antonio Mora<sup>3</sup>, Jorrit Blom<sup>4</sup>, Dimitrije Aleksić<sup>5</sup>, Marko Pavlović<sup>6</sup>, Milan Spremić<sup>7</sup>, Novak Novaković<sup>8</sup>, Boško Janjušević<sup>9</sup>*

## **GLAVNI PROJEKT NOVOG ŽELEZNIČKO-DRUMSKOG MOSTA U NOVOM SADU**

### ***Rezime***

*Novi Železničko-drumski most preko Dunava u Novom Sadu je sa dva železnička koloseka, dve drumske trake i dve pešačke staze. Most je oslonjen na pet stubova i sastoji se od četiri proste grede: spregnutih grednih konstrukcija (rasponi 27,0 i 48,0 m) i čeličnih lučnih konstrukcija (raspona 177,0 i 219,0 m), sistema lukova sa zategama i dijagonalnim vešaljkama. Kolovozna konstrukcija svih raspona je spregnuta čelik-beton. Širina mosta je 31,60 m.*

*Ključne reči: most, železnički most, lučni most, čelični most, spregnuti most.*

## **DETAILED DESIGN OF THE NEW RAILWAY ROAD BRIDGE IN NOVI SAD**

### ***Summary***

*The new Railway-road bridge across the Danube River in Novi Sad bridge is consist of two railway tracks, two road lanes and two footpaths. The bridge is supported by five piers and consists of four simple beams: composite girders (spans 27,0 and 48,0 m) and steel arches with ties, with the hangers as network arrangement (spans 177,0 and 219,0 m). The deck structure of all spans is a composite steel-concrete structure. The bridge is 31,60 m wide.*

*Key words: bridge, railway bridge, arch bridge, steel bridge, composite bridge.*

1 dipl.ing.građ., tehnički direktor, DEL ING, d.o.o., Beograd, Jastrebovljeva 25

2 Prof.Dr.dipl.ing.građ, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73

3 M.Sc.CE, Azvi S.A., Ogranak Beograd, Novi Sad, Temerinska 102

4 M.Sc.ME, Azvi S.A., Ogranak Beograd, Novi Sad, Temerinska 102

5 dipl.ing.građ., direktor, DEL ING, d.o.o., Beograd, Jastrebovljeva 25

6 dipl.ing.građ, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

7 Mr. dipl.ing.građ, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

8 dipl.ing.građ., projektant, DEL ING, d.o.o., Beograd, Jastrebovljeva 25

9 dipl.ing.građ., projektant, DEL ING, d.o.o., Beograd, Jastrebovljeva 25

## 1. UVOD

Novi Železničko-drumski most preko Dunava u Novom Sadu projektovan je na lokaciji zadatoj Projektnim zadacima za Glavni i Idejni projekt [6], Urbanističkim uslovima grada Novog Sada kao i prema Idejnom projektu [7], tj. na mestu starog mosta (1961-1999), *slika 1.*

Glavni projekt mosta urađen je na osnovu Ugovora investitora – Železnica Srbije i izvođača radova – italijansko-španskog konzorcijuma JV Azvi S.A., Taddei S.p.A., Horta Coslada S.A., kao i ugovora pomenutog konzorcijuma i podizvodača za projektovanje, (videti dalje t. 5).

Novi Železnički most preko Dunava u Novom Sadu nalazi se na lokaciji starog mosta, na trasi međunarodne magistralne pruge broj 2 Beograd - Stara Pazova – Indija – Subotica - državna granica – Budimpešta.

Stari Drumsko-železnički most, videti [1] i [2], (zvaničnog naziva Most bratstva i jedinstva, a u građanstvu poznat kao Žeželjev most – prema projektantu Branku Žeželju, ili kao betonski most), projektovan 1956-1957, izveden 1957-1961. i srušen u ratnim dešavanjima 1999. Statički sistem mosta (*slika 1*) bio je sa dva luka uklještena u fundamente i sa ovešenom kolovoznom konstrukcijom.

Projektni zadatak [6], sastavljen od strane Železnica Srbije sadrži sledeće osnovne zahteve:

- lokacija mosta: Lokacija starog mosta, na trasi međunarodne magistralne pruge broj 2 Beograd - Stara Pazova – Indija – Subotica - državna granica – Budimpešta,;
- saobraćaj na mostu (*slika 3*): 2 koloseka + 2 drumske trake + 2 pešačke staze;
- sistem konstrukcije: lučni, čelični; (ovo je bio i urbanistički uslov);
- 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: dve vodovodne cevi 2 x  $\Phi$  610 mm, razni električni i telekomunikacioni kablovi, rasveta javna i dekorativna, saobraćajna signalizacija, sistem za odvodnjavanje;
- fundiranje: iskoristiti temelje starog mosta u meri koliko je to moguće;
- norme za projektovanje: vodeća norma Ri 804:2003 [9] i sa njom u vezi norme serije DIN-Fb 101 do 104:2009, tj. odgovarajuće Evropske norme EN 1990:2002, EN 1993-2:2006, EN 1994-2:2005 kao osnovne.

## 2. OPŠTE O PROJEKTOVANOM MOSTU

Železničko-drumski most preko Dunava u Novom Sadu potpuno je novi most (*slika 2, slika 4*), različit od starog (*slika 1*) po svim karakteristikama. Jedina sličnost je vizuelna, novi most je lučni, (mada različitog sistema lukova), prema zahtevu Urbanističkih uslova.

Osnovne karakteristike, (utvrđene prethodno u Idejnom projektu [7], videti literaturu [2] do [5]):

- niveleta koloseka: prema zadovoljenju uslova što kraćeg povezivanja sa postojećim kolosekom i obezbeđenjem plovног profila ispod mosta;
- 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;
- statički sistem - četiri nezavisne proste grede (*slika 2*): spregnute gredne konstrukcije (rasponi 27,0 i 48,0 m) i čelične lučne konstrukcije (raspona 177,0 i 219,0 m), sistema lukova sa zategama i dijagonalnim vešaljkama; (delimična izmena u odnosu na Idejni projekt gde su bile vertikalne vešaljke i dve nezavisne konstrukcije 27+177m i 219+48 m);
- osnovne dimenzije: ukupna dužina = 474,0 m; širina mosta = 31,600 m; osni razmak zatega = 23,500 m; visine lukova: H = 34,0 i 42,0 m, L/H = 5,21 kod oba luka.

### 3. KONSTRUKCIJA MOSTA

#### 3.1 Opšti uslovi

Na izbore i odluke prilikom projektovanja mostovske konstrukcije još i Idejnog projektu [7], takođe i u Glavnom projektu [8], odlučujući uticaji su bili: elementi Projektnog zadatka [6], zahtevi normi EN i DION-Fb, zahtevi racionalne montaže i potreba postizanja optimalnih količina materijala konstrukcije.

Niveleta železničke pruge, a odатle 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.

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 1,5% što odgovara uslovima odvodnjavanja puta i pruge.

Čelik konstrukcije je S355 i samo lokalno S460 (serija normi EN 10025), sa ograničenjima debljina prema uslovima Ril 804:2003 i DIN-Fachbericht 103:2009, tabela II-3.2B.

Boja konstrukcije i vešaljki je signalno bela (RAL 9003, BS ISO 4800:1998), utvrđena u Tenderskim dokumentima, (*slika 4*). Time je uticaj toplotnih delovanja na konstrukciju bitno smanjen.

#### 3.2 Glavni noseći sistem – izbor rešenja

**Podužno nepokretan oslonac na centralnom stubu:** Konstrukcija mosta je sa podužno fiksним osloncima u osama 3A i 3B (*slika 2*). 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 odatile i nosivosti postojećeg temelja, iskorišćen je za prijem svih podužnih sila od pokretanja i kočenja vozila, vетра i seizmike.

**Veličine strela i preseka lukova:** Veličine strela i preseka lukova 2-3 i 3-4 (neizmenjene u [8]) određene su iz varijantnih proračuna u [7] najkritičnijeg uslova projektovanja –

zadovoljenja uslova dopuštenih rotacija na osloncima u osi 3 kao jednog od kriterijuma upotrebljivosti. Pri tom se pokazalo da povećanje strele lukova ima zanemarljiv uticaj na smanjenje deformacija.

**Promena sistema vešaljki datih Idejnim projektom:** Uslov o zbiru uglovnih rotacija u osi 3 iz **DIN-Fachbericht 103:2009**, t. G.3.1.2.3, izražen kao  $\theta_1 + \theta_2 (LM71/Tr1 + T_{M, pos, neg}) \leq 0,0050$  rad, znatno je strožiji od istog uslova prema **DIN-Fachbericht 101:2003** prema kom je urađen Idejni projekt [7] kad je važilo  $\theta_1 + \theta_2 (LM71/Tr1) \leq 0,0050$  rad kao i  $\theta(T_{M, pos, neg}) \leq 0,0050$  rad, (videti *sliku 3*). Uslov  $\theta_1 + \theta_2 (LM71/Tr1 + T_{M, pos, neg}) \leq 0,0050$  rad nije se mogao zadovoljiti racionalnim povećanjem dimenzija lukova i/ili zatega; (povećanje preseka zatega i inače nije bilo moguće); jedino rešenje je bila promena aranžmana vešaljki, tj. prelazak na sistem lukova sa dijagonalnim vešaljkama kod kojih su deformacije uopšte, pa i uglovne rotacije posebno, bitno manje od istih kod lukova sa vertikalnim vešaljkama. Rešenja sa lukovima sa dijagonalnim vešaljkama detaljno su analizovana sa ciljem postizanja: a) da sve vešaljke, pod svim kombinacijama opterećenja budu zategnute; b) da se cilj iz a) postigne minimalnim mogućim brojem vešaljki obzirom da povećanje broja vešaljki vodi komplikovanoj izradi i montaži, kao i ukupno većim troškovima izgradnje. Postizanje cilja a) nadalje nije bilo moguće sa kontinualnom zategom u osama 2 i 4; jedino rešenje je bilo odvajanje delova konstrukcije 1-2 od 1-2-3 i 4-5 od 3-4-5.

Na osnovu prethodnog došlo se do konačnog sistema sa odvojenim konstrukcijama 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 i brojem vešaljki na lukovima jednakim onom iz Idejnog projekta [7]; uslovi zbiru uglovnih rotacija u osama 2, 3 i 4 su zadovoljeni.

Opisana Izmena uslovljena je, dakle, isključivo izmenama tehničkih zahteva merodavnih normi u aktuelnom izdanju, u ovom slučaju DIN-Fachbericht 101:2009, gde je obaveza praćenja zahteva aktuelnih izdanja normi definisana u Tenderskim dokumentima koji su i deo Ugovora o građenju.

**Kolovozna konstrukcija:** Usvojena kolovozna konstrukcija u [7] i zadržana u [8] je spregnuta, čelično-betonska. Sprezanje je vertikalno – za poprečne nosače i horizontalno – bočno, za zatege. U odnosu na drugu varijantu – razmatranu u pripremi Idejnog projekta [7], 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 zaledivanja drumskog kolovoza, 5) jednostavnije održavanje. Horizontalnim sprezanjem sa zategama povećana je krutost konstrukcije u horizontalnoj ravni.

## 4. PRORAČUN KONSTRUKCIJE

Proračun konstrukcije urađen je u potpunosti prema normama propisanim Projektnim zadatkom [7] i Tenderskim dokumentima. Pregled osnovnih postavki i najvažnijih rezultata proračuna dat je *tabelama 1 i 2*.

Ovde je potrebno je naglasiti da je ovo prvi železnički most (i drumski itovremeno) u Srbiji projektovan u potpunosti prema zahtevima savremenih Evropskih normi, (nemački DIN-Fb su sasvim u skladu sa EN). Ovo znači ogromnu razliku u odnosu na dosadašnju praksu projektovanja mostova u Srbiji, gde su osim želzničkih opterećenja (LM71 i SW/2) i proračuna napona, svi ostali proračuni graničnih stanja i zamora novi i nedefinisani u domaćoj tehničkoj regulativi.

**Tabela 1: Pregled osnovnih postavki i pojedinosti proračuna konstrukcije.**

<i>Tema</i>	<i>Opis</i>
<b>Modeli konstrukcija</b> <i>Slika 5</i>	<p><b>Gredni mostovi 1-2A i 4B-5:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ FE-model mosta u celini;</li> <li>▪ model od štapova i sa karakteristikama čeličnih i spregnutih preseka kao pomoći i kontrolni model.</li> </ul> <p><b>Lučni mostovi 2-3A i 3B-4:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ model od štapova čeličnog dela konstrukcije: lukova, zatega, vešaljki, greda koje povezuju lukove, poprečnih nosača; betonska ploča u obliku FE;</li> <li>▪ karakteristike betonske ploče, odnosno modula elastičnosti betona – prema vrsti opterećenja;</li> <li>▪ u celini sa stubovima za proračun seizmičkih sila;</li> <li>▪ bez stubova za sve ostale proračune.</li> </ul> <p><b>Detalji konstrukcija lučnih mostova 2-3A i 3B-4:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ FE-model dela zatege sa ankernom konstrukcijom vešaljke;</li> <li>▪ FE-model dela luka sa ankernom konstrukcijom vešaljke;</li> <li>▪ FE-model veze luk / zatega / oslonički poprečni nosač;</li> <li>▪ FE-model horizontalnih oslonaca mosta u na stubovima u osama 2, 3 i 4.</li> </ul>
<b>Opterećenja</b>	<p><b>Težine:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>G_{1,a,k}</math> = čelična konstrukcija, prema dimenzijama preseka usklađenim sa crtežima;</li> <li>▪ <math>G_{1,c,k}</math> = betonska ploča = 181 i 232 kN/m, (za debljine od 300 i 400 mm);</li> <li>▪ <math>G_{2,k}</math> = stalni teret = 223 kN/m.</li> </ul> <p><b>Saobraćajna drumska opterećenja</b>, (po EN 1991-2:2003 i DIN-Fb 101:2009):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ LM1, LM4;</li> <li>▪ LM3 za proračun zamora;</li> <li>▪ <math>Q_{ik}</math> sile kočenja za LM1.</li> </ul> <p><b>Železnička saobraćajna opterećenja</b>, (po EN 1991-2:2003, DIN-Fb 101:2009 i Ril 804:2003):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ LM71, SW/2;</li> <li>▪ vozovi Tip 2 i Tip 5 za dinamički proračun;</li> <li>▪ LM71/jedan kolosek za proračun zamora;</li> <li>▪ <math>Q_{ibk}</math> sile pokretanja i kočenja za LM71 i SW/2.</li> </ul> <p><b>Vetar:</b> prema lokalnim podacima Republičkog hidrometeorološkog zavoda kao i po EN 1991-2:2003 i DIN-Fb 101:2009: ▪ <math>v_{b,0} = 20,8 \text{ m/s}</math>.</p> <p><b>Toplotna delovanja</b>, (po EN 1991-2:2003 i DIN-Fb 101:2009):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ na osnovu <math>T_{Air,min} = -24^\circ\text{C}</math>, <math>T_{Air,max} = +37^\circ\text{C}</math>;</li> <li>▪ dodatna konstantna komponenta temperature za lukove, zatege i vešaljke (kablove) <math>\Delta T_{N,Arch} = \Delta T_{N,Tie} = \pm 15^\circ\text{C}</math>, <math>\Delta T_{N,Cable} = \pm 10^\circ\text{C}</math>;</li> <li>▪ dodatna konstantna komponenta temperature za ležišta i dilatacione sprave <math>\Delta T_{N,Bear} = \pm 20^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>

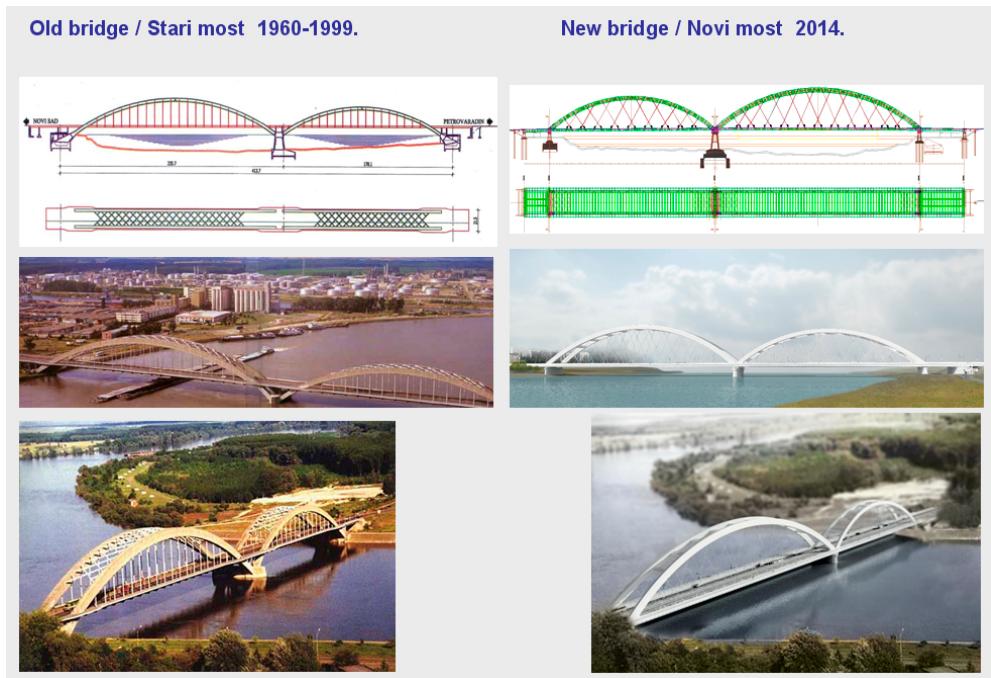
	<p><b>Seizmičke sile:</b> lokalni podaci prema Seizmičkom izveštaju i po EN 1998-2:2005+A1:2009:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sa karakteristikama opruga tla u sva tri ortogonalna pravca iz Glavnog projekta stubova i fundiranja;</li> <li>▪ sa krutostima opruga 0,5K i 2,0K;</li> <li>▪ metodom multimodalne analize;</li> <li>▪ metodom istorije opterećenja (time history).</li> </ul> <p><b>Kombinacije opterećenja:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ULS (granično stanje nosivosti) po EN 1991-2:2003 i DIN-Fb 101:2009, gde je vodeće promenljivo opterećenje železničko saobraćajno ili drumsko saobraćajno opterećenje, vetar ili delovanje toplove;</li> <li>▪ SLS (granično stanje upotrebljivosti): po EN 1991-2:2003 i DIN-Fb 101:2009, za svaki razmatrani deo konstrukcije.</li> </ul>
<b>Opšti metod proračuna</b>	<p>Metod elastično – elastično:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ za čelične preseke;</li> <li>▪ za spregnute preseke.</li> </ul>
<b>Preseci konstrukcije</b>	<p>Preseci za proračun sila i deformacija:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ grede, zatege: kod svake poprečne dijafragme, (na 3,00 m razmaka);</li> <li>▪ lukovi: kod svake poprečne dijafragme, (na oko 3,00 m razmaka);</li> <li>▪ svi preseci posebno i za levu stranu mosta, i za desnu stranu mosta.</li> </ul>
<b>Statički proračun</b>	<p><b>Proračun sila i deformacija:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ za svako pojedinačno opterećenje sa odgovarajućom karakterističnom vrednošću;</li> <li>▪ za svaku od ULS-kombinacija;</li> <li>▪ za svaku od SLS-kombinacija.</li> </ul> <p><b>Koeficijenti železničkih opterećenja:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\alpha = 1,00</math> prema zahtevu Projektnog zadatka [6];</li> <li>▪ dinamički koeficijent <math>\Phi</math> za svaki razmatrani deo konstrukcije, (lukove, zatege, vešaljke, poprečne nosače).</li> </ul> <p><b>Proračun nadvišenja:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ za opterećenja: <math>G + 0,25Q</math>, <math>Q = \text{LM71}/\text{jedan kolosek} + \text{LM1}</math>.</li> </ul> <p><b>Seizmički proračun:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ za opterećenja: <math>G + 0,20\text{LM1} + 0,30\text{LM71}/\text{jedan kolosek}</math>.</li> </ul> <p><b>Lokalna stabilnost – izbočavanje:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ metoda redukovanih napona.</li> </ul> <p><b>Globalna stabilnost lukova:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ po teoriji II reda;</li> <li>▪ po opštoj metodi.</li> </ul>
<b>Dinamički proračun</b>	<p><b>Opterećenja:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ vozovi Tipa 2 i 5 prema zahtevu Projektnog zadatka [6];</li> </ul> <p><b>Dinamički proračun:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sila, deformacija, dinamičkog koeficijenta;</li> <li>▪ oscilacija konstrukcija – tonova i frekvencija;</li> <li>▪ vertikalnih ubrzanja konstrukcije.</li> </ul>
	<p><b>Sigurnost saobraćaja:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pomeranja kolovozne konstrukcije iza ležišta;</li> <li>▪ Ekstremne uglovne rotacije na ležištima;</li> <li>▪ Uvrtanje kolovoza;</li> </ul>

<b>SLS-proračuni za sigurnost saobraćaja i udobnost korisnika</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Horizontalni ugib;</li> <li>▪ Horizontalne rotacije kolovozne konstrukcije;</li> <li>▪ Ograničenja frekvencije prvog tona bočnih oscilacija <sup>1)</sup>.</li> </ul> <p><sup>1)</sup> Prema Ril 804:2003, M.804.4101, t. 2.7, dokaz nije potreban, (potreban je jedino za jednokolosečne železničke mostove).</p> <p><b>Udobnost korisnika:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vertikalna ubrzanja kolovozne konstrukcije;</li> <li>▪ Vertikalni ugib kolovozne konstrukcije.</li> </ul>
<b>Aerodinamički efekti</b>	<p><b>Aerodinamički efekti i aeroelastična stabilnost:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kolovozne konstrukcije kao ploče;</li> <li>▪ kablove vešaljki.</li> </ul>

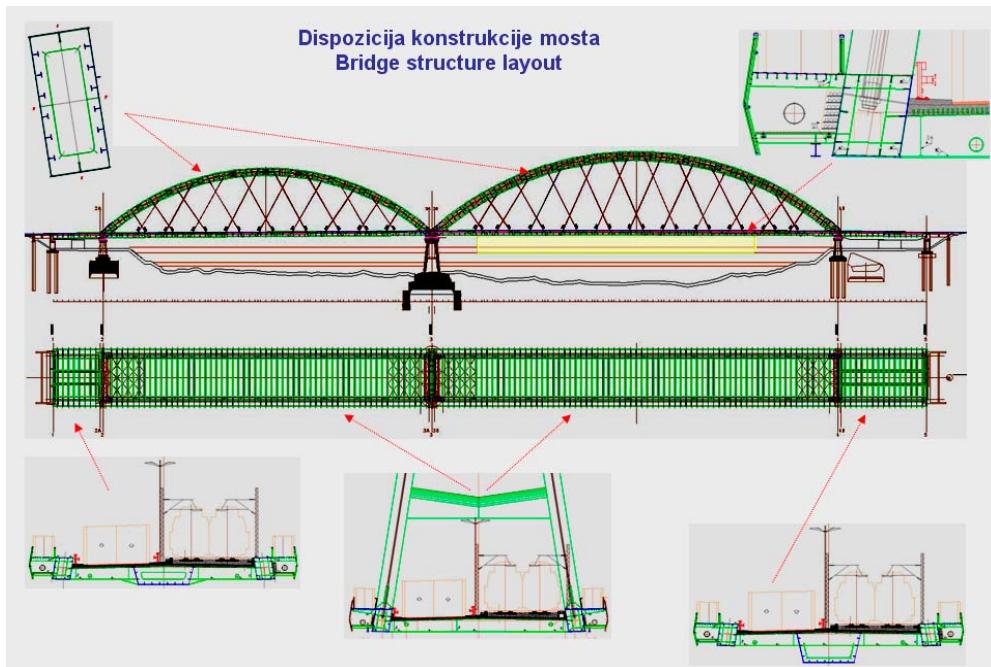
**Tabela 2: Pregled najvažnijih rezultata proračuna konstrukcije.**

Kontrola	Result / Rezultat
<b>Granična stanja nosivosti (ULS)</b>	<p><b>Otpornost preseka:</b> Mnogobrojni dokazi svih delova konstrukcije: <math>\sigma_{Ed} \leq \sigma_{Rd}</math>.</p> <p><b>Izbočavanje delova preseka lukova</b> (metodom redukovanih napona):</p> <p>Vertikalni limovi:  <math>\max [\sigma_{x,Ed}/(\rho_x f_y/\gamma_{M1})]^2 + 3[\tau_{Ed}/(\chi_v f_y/\gamma_{M1})]^2 = 0,80 &lt; 1</math></p> <p>Flanges / Flanše:  <math>\max [\sigma_{x,Ed}/(\rho_x f_y/\gamma_{M1})]^2 + 3[\tau_{Ed}/(\chi_v f_y/\gamma_{M1})]^2 = 0,70 &lt; 1</math></p> <p><b>Izbočavanje uzrokovano izvijanjem pojasa:</b>  <math>(h_w/t_w)/[k_E/f_{y,f} (A_w/A_{fc})0,5] \leq 0,52 &lt; 1</math></p> <p><b>Vešaljke:</b>  <math>F_{ed}/F_{rd} \leq 0,98 &lt; 1</math></p>
<b>Granična stanja upotrebljivosti (SLS)</b>	<p><b>Vertikalno ubrzanje kolovozne konstrukcije,</b> (voz tipa 5) i komfor korisnika, potrebno <math>b_v \leq 1,3 \text{ m/s}^2</math>: most 1-2A: <math>b_v \leq 1,0 \text{ m/s}^2</math>; good / dobar; most 2-3A: <math>b_v \leq 1,3 \text{ m/s}^2</math>; good / dobar; most 3B-4: <math>b_v \leq 0,8 \text{ m/s}^2</math>; very good / vrlo dobar; most 4B-5: <math>b_v \leq 1,0 \text{ m/s}^2</math>; good / dobar.</p> <p><b>Vertikalni ugib kolovozne konstrukcije,</b> potrebno <math>\delta_Z \leq L/800</math>: most 1-2A(M): <math>\delta_Z(LM71/Tr2) \leq 5 \text{ mm} = L/5060</math>; most most 2-3A(R): <math>\delta_Z(LM71/Tr2) \leq 53 \text{ mm} = L/3345</math>; most most 3B-4(R): <math>\delta_Z(LM71/Tr2) \leq 65 \text{ mm} = L/3388</math>; most most 4B-5(R): <math>\delta_Z(LM71/Tr2) \leq 11 \text{ mm} = L/4118</math>.</p> <p><b>Pomeranja kolovozne konstrukcije iza ležišta,</b> potrebno <math>\delta \leq 9 \text{ mm}</math>: osa 2: <math>\delta = 3 \text{ mm} &lt; 9 \text{ mm}</math>; osa 3: <math>\delta = 4 \text{ mm} &lt; 9 \text{ mm}</math>; osa 4: <math>\delta = 4 \text{ mm} &lt; 9 \text{ mm}</math>.</p>

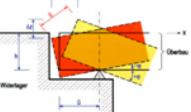
<i>Slika 3</i>	<p><b>Ekstremne uglovne rotacije na ležištima,</b>      potrebno <math>\theta_1 + \theta_2</math> (LM71/1 track+<math>\Delta T_M</math>) <math>\leq 5</math> mrad:      osa 2: <math>\theta_1 + \theta_2 = 2,3</math> mrad <math>&lt; 5,0</math> mrad;      osa 3: <math>\theta_1 + \theta_2 = 3,7</math> mrad <math>&lt; 5,0</math> mrad;      osa 4: <math>\theta_1 + \theta_2 = 3,1</math> mrad <math>&lt; 5,0</math> mrad.</p> <p><b>Uvrtanje kolovoza:</b>      Sve konstrukcije: <math>t &lt; 1</math> mm/3m <math>&lt; 3</math> mm/3m.</p> <p><b>Horizontalni ugibi i rotacije oko vertikalne ose:</b>      Sve konstrukcije: zanemarljivo male vrednosti.</p>
<b>Dinamički proračun</b>	<p><b>Frekvencije 1. tona vertikalnih oscilacija:</b>      most 1-2A: <math>n_{1,V} = 4,44</math> Hz <math>&lt; n_{0,max} = 8,45</math> Hz <sup>1)</sup>;      most 2-3A: <math>n_{1,V} = 1,16</math> Hz <math>&lt; n_{0,min} = 1,66</math> Hz;      most 3B-4: <math>n_{1,V} = 1,16</math> Hz <math>&lt; n_{0,min} = 1,66</math> Hz;      most 4B-5: <math>n_{1,V} = 2,39</math> Hz <math>&lt; n_{0,min} = 2,43</math> Hz.</p> <p><sup>1)</sup> Dinamički proračun nije potreban.      Sve konstrukcije:  <math>N, V, M(\Phi LM71) &gt; N, V, M[(1+\varphi') + \varphi''] RT]</math>.</p>
<b>Globalna stabilnost lukova</b>	<p><b>Izvijanje lukova izvan ravni lukova.</b>      Teorija II reda / Opšti metod:      most 2-3A: <math>\alpha_{ult,k} = 1,15 / 1,03 &gt; 1</math> ;      most 3B-4: <math>\alpha_{ult,k} = 1,12 / 1,01 &gt; 1</math> .</p>
<b>Zamor</b>	<p>Zamor čeličnih konstrukcija,      potrebno <math>[(\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2})_{Railway} + (\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2})_{Road}] / (\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}) \leq 1</math> :</p> <p><b>Lukovi:</b>  <math>[(\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2})_{Railway} + (\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2})_{Road}] / (\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}) \leq 0,36</math></p> <p><b>Zatege:</b>  <math>[(\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2})_{Railway} + (\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2})_{Road}] / (\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}) \leq 0,39</math></p> <p><b>Vešaljke (kablovi):</b>  <math>[(\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2})_{Railway} + (\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2})_{Road}] / (\Delta \sigma_C) \leq 0,68</math></p>
<b>Aerodinamički efekti</b>	<p>Prema BD 49/01 <sup>1)</sup>:</p> <p><b>Greda</b> (zatege+kolovozna konstrukcija):      Aerodinamička osetljivost: <math>\max P_b = 0,02 &lt; 1</math> OK      Odvajanje vrtloga: <math>\min(V_{cr}/V_{vs}) = 1,15 &gt; 1</math> (OK);      Flater: <math>\min(v_{crit,i}/v_m) = 14,32 &gt; 1</math> (OK);      Turbulencija: <math>\max P_T = 0,10 &lt; 1</math> (OK).</p> <p><b>Vešaljke (kablovi):</b>      Odvajanje vrtloga: <math>\min(v_{crit,i}/v_m) = 1,20 \approx 1,25</math> OK      Galopiranje: <math>v_{CG}/v_m = 2,69 &gt; 1,25</math> OK:      Scruton-ov broj: <math>Sc &gt; 10 \rightarrow</math>  <math>\rightarrow</math> Vibracije izazvane kišom i vetrom: OK.</p> <p><sup>1)</sup> BD 49/01</p> <p>Design Manual for Roads and Bridges.      The Highway Agency, Scottish Executive Development Department, The National Assembly for Wales. The Department for Regional Development. Crown Copyright 2001.</p>
	<p>Oznake:      RT = Vozovi tipa 2 i tipa 5 (EN 1991-2:2003 i DIN-Fb 101:2009)      Tr = Kolosek</p>



*Slika 1: Stari i novi Železničko-drumski most preko Dunava u Novom Sadu.*



*Slika 2: Dispozicija i preseci mosta.*

SLS-requirement SLS-uslov	Bridge / Most 2-3A	Bridge / Most 3B-4
(3-3) Unrestrained uplift at the bearings Nekontrolisano odizanje ležista	All vertical reaction forces > 0 Sve vertikalne reakcije oslonaca > 0 s. Ch. 5. <span style="background-color: yellow;">OK</span> <span style="background-color: green;">OK</span>	
Movements of the end of the deck beyond bearings Pomeranja kolovozne konstrukcije iza ležista	s. Ch. 6.9.  $\max\delta = \begin{matrix} 2A-2 & 3A-3B & 4-4B \\ 2,8 & 3,8 & 3,9 \text{ mm} \end{matrix}$ $\delta_{lm} = \begin{matrix} 9 & 9 & 9 \text{ mm} \end{matrix}$ $\delta/\delta_{lm} = \begin{matrix} 0,31 & 0,42 & 0,43 \\ \text{OK} & \text{OK} & \text{OK} \end{matrix}$	
(3-4) Extreme angular rotations at bearings Ekstremne uglovne rotacije na ležistima	s. Ch. 5.2.9.  $\max (\theta_{y1} + \theta_{y2}) = \begin{matrix} 2A-2 & 3A-3B & 4-4B \\ 2,3 & 3,7 & 3,1 \text{ mrad} \end{matrix}$ $\lim (\theta_{y1} + \theta_{y2}) = \begin{matrix} 5,0 & 5,0 & 5,0 \text{ mrad} \\ 0,45 & 0,75 & 0,62 \\ \text{OK} & \text{OK} & \text{OK} \end{matrix}$	
(3-5) Twist of the deck Uvrtanje kolova	Twist value / Mera uvrtanja: $t < \begin{matrix} 1 \text{ mm/3 m} \end{matrix}$ Limit twist value for V = 160 km/h: $t_{lm} = \begin{matrix} 3,0 \text{ mm/3 m} \\ \text{OK} \end{matrix}$	

Slika 3: Izvod iz [8] – Rezime nekih od SLS-kontrola mostova 2-3 i 3-4.



Slika 4: Izvod iz [8] – Novi Železničko-drumski most u Novom Sadu – 3D-vizuelizacija.

## 5. GLAVNI PROJEKT I IZGRADNJA MOSTA

<i>Objekat</i>	<b>Železničko-drumski most preko Dunava u Novom Sadu.</b>
<i>Investitor</i>	JP "Železnice Srbije", Beograd
<i>Finansiranje</i>	Delegacija Evropske komisije za Republiku Srbiju Autonomna pokrajina Vojvodina Grad Novi Sad
<i>Generalni izvođač</i>	<b>JV Azvi S.A., Taddei S.p.A., Horta Coslada S.L.</b> <a href="http://www.azvi.es">www.azvi.es</a> , <a href="http://www.gruppoedimo.it/taddei">www.gruppoedimo.it/taddei</a> Direktor projekta: <b>Antonio Mora</b> , M.Sc.CE Zamenik direktora projekta: <b>Luciano Casasola</b> , M.Sc.CE Koordinator projektovanja: <b>Jorrit Blom</b> , M.Sc.ME
<i>Podizvodači za projektovanje</i>	Glavni projekt konstrukcije mosta: <b>DEL ING d.o.o.</b> , Beograd. <a href="http://www.deling.rs">www.deling.rs</a> Odgovorni projektant konstrukcije mosta: <b>Aleksandar Bojović</b> , dipl.ing.grad. Projektanti konstrukcije mosta: <b>Zlatko Marković</b> , dipl.ing.grad. <b>Dimitrije Aleksić</b> , dipl.ing.grad. Projektanti: <b>Marko Pavlović</b> , dipl.ing.grad., Mr. <b>Milan Spremić</b> , dipl.ing.grad., <b>Novak Novaković</b> , dipl.ing.grad., <b>Uroš Kostić</b> , dipl.ing.grad., <b>Boško Janjušević</b> , dipl.ing.grad.. Konsultant za arhitekturu i izrada 3D-vizuelizacija: <b>Petar Bojović</b> , M.Sc.Arch.
	Glavni projekt fundiranja i stubova: <b>ENCODE d.o.o.</b> , Beograd Odgovorni projektant fundiranja i stubova: <b>Damir Peco</b> , dipl.ing.grad. Projektanti fundiranja i stubova: <b>Ivan Bojović</b> , dipl.ing.grad., <b>Stevan Šijan</b> , dipl.ing.grad..
<i>Tehnička kontrola</i>	Tehnička kontrola Glavnog projekta u celini: Institut „Kirilo Savić“ a.d., Beograd <a href="http://www.iks.rs">www.iks.rs</a>
<i>Inženjer</i>	JV <b>DB International, Egis International</b> . <a href="http://www.db-international.de">www.db-international.de</a> , <a href="http://www.egis-group.com">www.egis-group.com</a> Rukovodilac tima Inženjera: <b>Dragi Marjanović</b> , dipl.ing.grad. Glavni inženjer kontrole tehničke dokumentacije: <b>Goran Tadić</b> , dipl.ing.grad. Odgovorni nadzorni organ: <b>Stanislav Kolundžija</b> , dipl.ing.grad.

## 6. LITERATURA

- [1] Zeželj,B.: **Most preko Dunava u Novom Sadu.** (The Bridge across the Danube in Novi Sad).  
“Naše građevinarstvo” broj/No 5/1962, str/pages. 97-106.  
Monografija “Železničko drumski most preko Dunava u Novom Sadu”.  
Memoir “Railway-road Bridge across Danube in Novi Sad”.  
Izdavačko-štamparsko preduzeće Jugoslovenskih železnica, Subotica, 1961.
- [2] Petrangeli,M.P., Bojovic,A., Maglia,E.: **La riconstruzione del ponte Zvezelj sul Danubio.** (The reconstruction of the Zvezelj Bridge over the Danube)  
Strade&Autostrade No 82 – anno XIV, No 4 (luglio/agosto 2010), p. 86-89.
- [3] Bojović,A., Njagulj,V.: **Idejni projekt Železničko-drumskog mosta preko Dunava u Novom Sadu.**  
(The Preliminary design of the Railway road bridge across the Danube in Novi Sad)  
13. kongres DGKS - 2010. Zbornik radova, str. 87-98.  
Zlatibor – Čigota, 22-24. septembar 2010.
- [4] Petrangeli,M.P., Bojovic,A., Njagulj,V.: **New Railway Road Bridge across the Danube in Novi Sad. Preliminary Design.**  
7th International Conference on Bridges across the Danube 2010:  
Bridges in the Danube Bassin, October 14-15: Sofia, Bulgaria.  
Proceedings, p. 247-260.
- [5] Bojović,A., Njagulj,V.: **Idejni projekt Železničko-drumskog mosta preko Dunava u Novom Sadu.**  
(The Preliminary design of the Railway road bridge across the Danube in Novi Sad)  
Međunarodni naučno-stručni skup „Istraživanja, projekti i realizacije u graditeljstvu“. Urednici Zoran Popović i Goran Petrović.  
Zbornik radova, str. 49-54.  
Institut IMS, Beograd, oktobar 2010.
- [6] **Projektni zadatak za izradu Idejnog projekta i Tenderske dokumentacije za izgradnju Železničko-drumskog mosta preko Dunava u Novom Sadu.**  
JP "Železnice Srbije", Sektor za strategiju i razvoj, Beograd.  
Beograd, broj 102/09-1183, 14.05.2009.  
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 Railways, Sector for strategic and development, Belgrade.
- [7] Železničko-drumski most preko Dunava u Novom Sadu.  
Railway road Bridge across the Danube in Novi Sad.  
Knjiga 3.4: **Idejni projekt konstrukcije mosta** / Book 3.4: Preliminary Design of the Bridge Structure.  
Italferr, IRD Engineering, Institut CIP.  
Beograd, 13.10.2009.
- [8] Železničko-drumski most preko Dunava u Novom Sadu.  
Railway road Bridge across the Danube in Novi Sad.  
Knjiga 4: **Glavni projekt konstrukcije mosta** / Book 4: Detailed Design of the Bridge Structure. DEL ING d.o.o., Beograd.  
Beograd, 30.11.2011.
- [9] **Ril 804:2003**  
DB Richtlinie 804: Eisenbahnbruecken (und sonstige Ingenieurbauwerke).  
Planen, Bauen und Instand halten.