

ЖЕЛЕЗНИЧКО – ДРУМСКИ МОСТ У НОВОМ САДУ. ГЛАВНИ ПРОЈЕКТ И ИЗВОЂЕЊЕ

Александар Бојовић¹

Антонио Мора²

Златко Марковић³

Димитрије Алексић⁴

Марко Павловић⁵

Милан Спремић⁶

Новак Новаковић⁷

Бошко Јањушевић⁸

УДК: 624.21(497.113Нови Сад)

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.001

Резиме: Железнички мост преко Дунава у Новом Саду је пројектован као мост са два железничка колосека, две друмске и две пешачке саобраћајне траке. Мост се састоји од четири мостовске конструкције: на десној и на левој обали су спрегнуте просте греде распона $L=27$ т и 48 т, лукови са мрежасто постављеним затегама су преко реке и имају распоне $L=177$ т и $L = 219$ т. Коловозна конструкција лукова је пројектована као спрегнута конструкција. Конструкција моста је пројектована према важећим немачким и европским прописима. Лучна конструкција моста са распонем 219 т претставља светски рекорд у групи челичних лучних двоколосечних мостова са луковима сандучастог попречног пресека.

Кључне речи: Железничко-друмски мост, лучни мост, лук са затегама, мрежасте затегае, челична конструкција, спрегнута конструкција, затега, извођење

¹ Александар Бојовић, дипл.инж. грађ., DEL ING DOO, Јастребовљева 25, Београд, Србија, тел: 011 354 11 20, е – mail: aleksandar.bojovic@deling.rs

² Antonio Mora, M.S.CE, Azvi Ogranak, Нови Сад, Темеринска 102, тел. 021 552 805. е – mail: zezelj.bridge.azvi@gmail.com

³ Проф. др. Златко Марковић, дипл.инж.грађ., Грађевински факултет Универзитета у Београду, Краља Александра 73, Београд, Србија, тел. 011 32 18 627, е – mail: zlatko@grf.bg.ac.rs

⁴ Димитрије Алексић, дипл.инж. грађ., DEL ING DOO, Јастребовљева 25, Београд, Србија, тел: 011 354 11 20, е – mail: dimitrije.aleksic@deling.rs

⁵ др Марко Павловић, дипл.инж. грађ., Грађевински факултет Универзитета у Београду, Краља Александра 73, Београд, Србија, тел. 011 32 18 627, е – mail: marko@grf.bg.ac.rs

⁶ др Милан Спремић, дипл.инж. грађ., Грађевински факултет Универзитета у Београду, Краља Александра 73, Београд, Србија, тел. 011 32 18 627, е – mail: spremic@grf.bg.ac.rs

⁷ Новак Новаковић, дипл.инж. грађ., DEL ING DOO, Јастребовљева 25, Београд, Србија, тел: 011 354 11 20, е – mail: novak.novakovic@deling.rs

⁸ Бошко Јањушевић, дипл.инж. грађ., DEL ING DOO, Јастребовљева 25, Београд, Србија, тел: 011 354 11 20, е – mail: bosko.janjusevic@deling.rs

1. УВОД

Железничко-друмски мост преко Дунава у Новом Саду је у изградњи. Гради га конзорцијум шпанских и италијанске фирме Azvi S.A. – Tadei S.p.A. – Horta Coslada S.L. у сарадњи са више подизвођача, међу којима су и фирме из Србије, (видети т. 4).

Мост се гради у Новом Саду на локацији претходног Друмско-железничког моста („Жежељевог моста“), срушеног 1999. у ратним дејствима, (слика 1). Мост се налази на траси међународне железничке магистралне пруге број 2, Будимпешта – граница са Мађарском – Суботица – Нови Сад – Београд.

Пројектовање и градња моста обављају се према захтевима Урбанистичких услова града Новог Сада, Пројектном задатку Железница Србије (истом и за Идејни, и за Главни пројект) и Тендерским документима.

Најважнији технички захтеви Урбанистичких услова и Пројектног задатка:

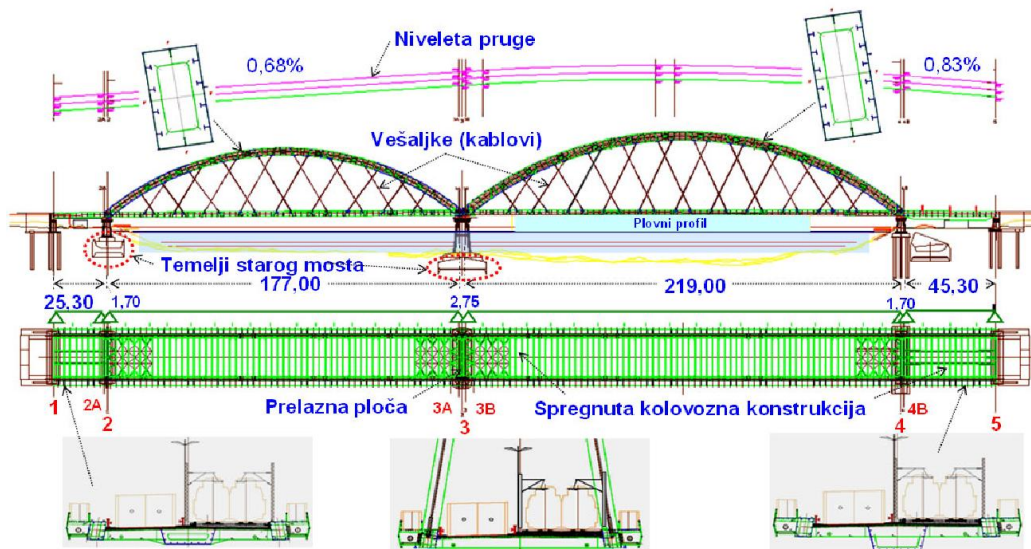
- локација: локација старог моста;
- саобраћај на мосту, слика 3: два колосека + две друмске траке + две пешачко-бицикличке стазе;
- оса колосека број 1 на мосту, слика 3: у осни постојећег колосека на обалама;
- статички систем и материјал конструкције: челични, лучни мостови;
- финансирање: искористити темеље старог моста колико је могуће;
- инсталације на мосту: према захтевима корисника;
- убрзање у вертикалној равни од железничких оптерећења: $a_v \leq 1,3 \text{ m/s}^2$;
- брзине возова: путничких 160 km/h, теретних 120 km/h;
- норме за пројектовање: водећа норма су препоруке Немачких савезних железница Ril 804:2003 [5], одатле повезане немачке норме DIN-Fb 101 до 104:2009 и европске норме EN 1990:2002, EN 1993-2:2006, EN 1994-2:2005 као основне, као и норме серије EN 1998 за земљотресна дејства.

Изузетно битан услов, ван поменутих захтева, био је услов о коштању моста: највише 60 милиона EUR, према захтеву Делегације Европске комисије, обзиром да је Европска комисија донатор дела средстава за изградњу моста.

Кратак преглед развоја пројекта у целини:

- 2007-05 до 2010-07: Италијанске фирме Italferr и IRD добијају конкурс Делегације Европске комисије (DEU) за пројектовање моста; садржај: Идејно решење + Идејни пројект + Главни пројект + Тендерски документи; градња моста према Црвеном Фидику. Током времена Железнице Србије два пута мењају пројектни задатак што је довело до израде два идејна пројекта (!). Идејни пројект, други по реду, био је у проширеном облику и као замена за Главни пројект. Ово је био разлог преласка услова изградње моста - са Црвеног на Жути Фидик; о Идејном пројекту видети литературу [1].
- 2010-07: расписан конкурс DEU за извођење радова по Жутом Фидику;
- 2011-01: потписан уговор о изградњи моста са шпанско-италијанским конзорцијумом Azvi S.A. – Tadei S.p.A. – Horta Coslada S.L.; Главни пројект [2] је завршен 2011-11 и после свих законских процедура градња је почела 2012-04. Завршетак изградње моста се очекује 2015.

Главни пројект је приказан у радовима [3] и [4].



Слика 1. Изглед и диспозиција моста

2. ОСНОВНЕ ТЕХНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МОСТА

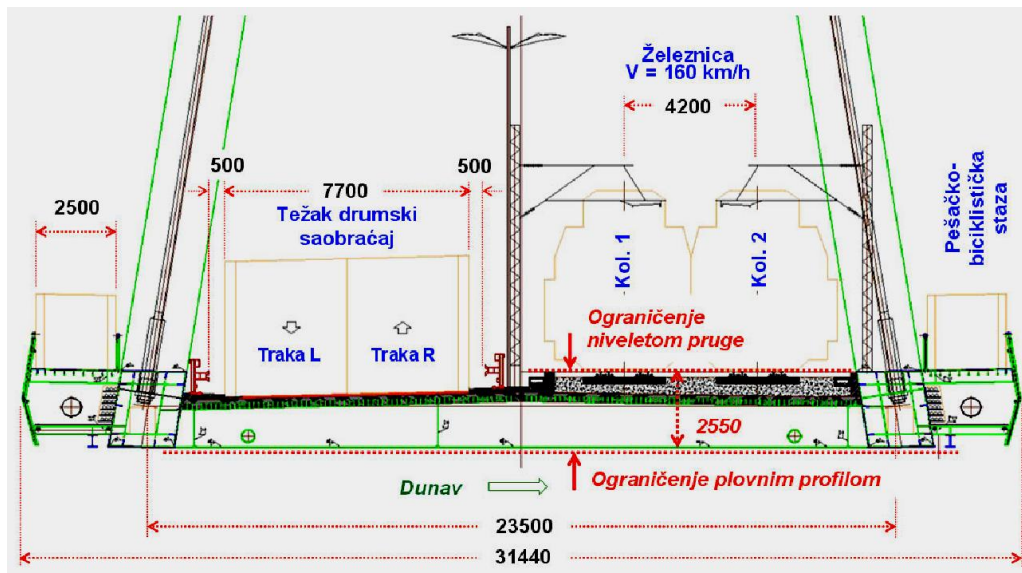
Просторни положај моста одређен је следећим условима, (слика 1, слика 2):

- положајем колосека бр. 1 (слика 2) који се наставља на постојећи колосек на обалама; колосек број 2 је на 4,20 m од колосека бр. 1, а друмске траке на потребном размаку од колосека 1 и у наставку на постојеће саобраћајнице на обалама;
- положајем централног стуба, стуба у оси 3, где се оса 3 поклапа са осом постојећег кесона старог моста у дну реке;
- положајем опорца старог моста на десној обали, којим је одређен положај стуба у оси 2; положајем уређених обала и саобраћајница на обалама;
- висинским током нивелете железничке пруге, вишој око 1,5 m од нивелете пруге на старом мосту због обезбеђивања пловног профила испод моста.

Мост је према Главном пројекту [2] подељен на четири мостовске конструкције,:

- Прилазни мостови на обалама распона 25,30 m и 45,30 m. Конструкцију мостова чине две бочне челичне греде (пресека једнаког пресеку затега лучних мостова) и централна спрегнута греда. Греде су спојене попречним носачима спрегнутим са армиранобетонском коловозном плочом $t_c = 300$ mm.

- Мостови преко Дунава – два лучна моста система пуних лукова са затегама, распона 177,00 m и 219,00 m. Вешалке су каблови у дијагоналном распореду, без везе на местима укрштања и на међусобном осном размаку од $e = 300$ mm. Коловозна конструкција је спрегнута - попречни носачи са армиранобетонском коловозном плочом $t_c = 300$ и 400 mm. Коловозна плоча је такође спрегнута и са затегама у хоризонталаној равни, повећавајући тако крутост моста у хоризонталној равни. Између два лучна моста, изнад централног стуба, пројектована је прелазна конструкција распона 2,75 m која побољшава иначе успешно решен проблем сабирања угловних ротација два суседна лучна моста.



Слика 2. Типичан пресек зоне коловоза

Битни разлози избора конструктивних решења:

- Основни конструктивни систем лучних мостова – лукови са затегом, а не укљештени лукови. Огромне хоризонталне силе од лукова примају се унутар система затегама, а не тлом – што може да буде изузетно опасно по опстанак моста у случају размицања ослонаца, поготово у условима лошег тла, какво је углавном на обалама.
- Величина стреле лучних мостова: Одређене из анализе дебљина лимова пресека лукова и затега – да се обезбеди оптимални избор класа и подкласа челика у складу са поступцима заваривања.
- Вешалке – каблови или пуне затега: Изабрани су каблови због убедљивих предности: без монтажних наставака, много веће отпорности на замор, већег пригушења осцилација и обезбеђења аероеластичне стабилности.
- Коловозна конструкција – спрегнута или челична са ортотропном плочом: Спрегнута конструкција има изразите предности: битно нижу цену израде, већу отпорност на замор, мању опасност од залеђивања, одаје мању буку, лакше се одржава.

- Вешалке – дијагонални или вертикални распоред: Према Главном пројекту дијагонални због веће крутости, у Идејном вертикални. До измене је дошло због измене захтева меродавне норме – DIN-Fb 101:2009 за угловне ротације на лежиштова, (раније издање је из 2003.).

3. ПРОРАЧУН КОНСТРУКЦИЈЕ МОСТА

Прорачун конструкције моста из [2] је урађен према актуелним издањима норми серије DIN-Fachbericht и европских норми серија EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1994 и EN 1998. Ово је први мост у Србији уопште пројектован и прорачунат према овим нормама. Садржи низ доказа и поступака који се досад никад нису примњивали у домаћој пракси:

- Примењени програми: Sofistik (као водећи и основни), SAP (за упоредну контролу и FE-прорачуне), Tower (за FE-прорачуне).
- Модели конструкција: Прилазни мостови – комплетно у FE; Лучни мостови – глобални модел штапаст без и са бетонском коловозном плочом, детаљи конструкције у FE.
- Оптерећења: саобраћајна железничка и друмска оптерећења за статички и динамички прорачун и прорачун замора, топлотна дејства, дејство ветра, сеизмичка дејства.
- Стање граничне носивости (ULS): статички прорачун, динамички прорачун, отпорност пресека, локална стабилност – избочавање према методи редукованих напона, глобална стабилност лукова.
- Стање граничне употребљивости (SLS): вертикална убрзања, вертикални угиби, хоризонтални угиби и ротације око вертикалне осе, померања коловозне конструкције иза лежишта, екстремне угловне ротације на лежиштима, увртање коловоза, прелине бетонске коловозне плоче.
- Замор: челичних конструкција лукова, затега, попречних носача, греда, вешалки – каблова, бетонских коловозних плоча – бетона, арматуре, можданика.
- Аеродинамички ефекти: греде – аеродинамичка осетљивост, одвајање вртлога, флатер, турбуленција, вешалки – одвајање вртлога, галопирање, вибрације изазване кишом и ветром.

Прорачун монтаже лучних мостова такође је био веома сложен, почев од монтаже каблова па за сваки корак лансирања (састављање мостова на обалама и транспорт на платформама, санкама и баржама, обалом и реком, до коначне локације).

Лучни мостови у Новом Саду иначе спадају међу највеће у свету у својој групи.

Табела 1: Преглед железничких челичних лучних мостова са највећим распонима.

| | Решетк. лукови са затегом | Лукови са затегом - гредом | Лукови са затегом, 1 кол. | Лукови са затегом, 2 кол. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Wanzhou Bridge Кина, 2005, 360 m, 2 колосека | Caiyuanba Bridge Кина, 2009, 420 m, 2 кол. + 6 тр. | Fehmarnsund Немачка, 1963 248 m, 1 к.+2 тр | Нови Сад Србија, 2015, 219 m, 2 к.+2 тр |

| | | | | |
|---|--|---|--|---|
| 2 | Dashengguan Br. Кина, 2005, 336 m, 6 колосека | Yiwan Bridge Кина, 2008, 275 m, 2 колосека | Main Bridge Немачка, 1993 160 m, 1 кол. | Нови Сад Србија, 2015, 177 m, 2 к.+2 тр |
| 3 | Hell Gate Bridge САД, 1918, 298 m, 3 колосека | Hammer Bridge Немачка, 1987 250 m, 4 кол. | Vahldorf Bridge Немачка, 2005 150 m, 1 кол. | Ogatayama Br. Јапан, 1995, 139 m, 2 колосека |

4. УЧЕСНИЦИ

| | |
|------------------------------------|---|
| <i>Објект</i> | Железничко-друмски мост преко Дунава у Новом Саду |
| <i>Инвеститор</i> | ЈП Железнице Србије, Београд |
| <i>Финансирање</i> | Делегација Европске комисије за Републику Србију, Аутономна покрајина Војводина, Град Нови Сад |
| <i>Извођач</i> | Конзорцијум JV Azvi S.A., Taddei S.p.A., Horta Coslada S.L. |
| <i>Подизвођачи за пројектовање</i> | Главни пројект конструкције моста: DEL ING d.o.o. , Београд, www.deling.rs Одговорни пројектант: Александар Бојовић, диг Пројектанти (сви диг): Проф.др. Златко Марковић, Димитрије Алексић, др. Марко Павловић, др. Милан Спремић, Новак Новаковић, Урош Костић, Бошко Јањушевић. Консултант за архитект.: Петар Бојовић, М.Arch, MAS ETH- HS |
| | Главни пројект стубова и фундарања: ENCODE d.o.o. , Београд. Одговорни пројектант: Дамир Пецо, диг. |
| <i>Подизвођачи за извођење</i> | Састављање челичне конструкције и стуб 3: Мостоградња а.д. Каблови: VSL Ltd. , Saint Legier, Switzerland. Лансирање: Mammoet , Rotterdam, Netherland. Лежишта и дилатације: FIP Industriale , Servazzano, Italy. |
| <i>Техничка конт.</i> | Институт „Кирило Савић“ д.о.о., Београд |
| <i>Инжењер</i> | JV DB International, Egis International. |

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Petrangeli, M.P., Bojovic, A., Njagulj, V.: New Railway Road Bridge across the Danube in Novi Sad. 7th International Conference on Bridges across the Danube **2010**, Bridges in the Danube Basin „Theory and practice in bridge engineering“, Bridges, October 14-15, Sofia, Bulgaria, Proceedings, p. 247-260.
- [2] Railway Road Bridge across the Danube in Novi Sad. Detailed Design of the Bridge Structure. DEL ING d.o.o., Belgrade, (as subcontractor of JV Azvi/Taddei/Horta Coslada, Belgrade, November **2011**.
- [3] Bojović, A., Marković, Z. Mora, A., Blom, J., Aleksić, D., Pavlović, M., Spremić, M., Novaković, N., Janjušević, B.: Detailed design of the railway road bridge in

- Novi Sad, Conference Contemporary civil engineering practice **2012**. Proceedings, p. 75-88.
- [4] Bojović,A., Marković,Z., Mora,A., Blom,J., Aleksić,D., Pavlović,M., Spremić,M. Novaković,N., Janjušević,B.: Railway road bridge across the Danube in Novi sad – Design and construction, The eight international conference „Bridges in Danube Basin“, New Trends in Bridge Engineering and Efficient Solutions for Large and Medium Span Bridges, Timisoara – Belgrade, 4-5 October **2013**; Springer Vieweg, p. 139-150.
- [5] Ril 804:2003
DB Richtlinie 804: Eisenbahnbruecken (und sonstige Ingenieurbauwerke). Planen, Bauen und Instand halten.

RAILWAY - ROAD BRIDGE IN NOVI SAD. GENERAL PROJECT AND CONSTRUCTION

Summary: *The Railway Road Bridge across the Danube in Novi Sad is designed for two railway tracks, two road lanes and two foothpaths. The bridge consists from four bridge structures: right and left bank bank simple composite beams $L = 27$ m and 48 m, and network tied arch steel bridge structures over the river $L = 177$ m and $L = 219$ m. The deck structure of the arch bridges is the composite deck. The bridge were designed according to actual german and european norms. The arch bridge 219 m is the world record span in the group of steel arch bridges with two tracks and box arches.*

Keywords: *Railway road bridge, arch bridge, tied arch, network arch, steel structure, composite structure, cable stay, erection*