

6. MOST CEZ DUNAJ V BRATISLAVE AKO SÚČASŤ PROJEKTU PPP D4R7

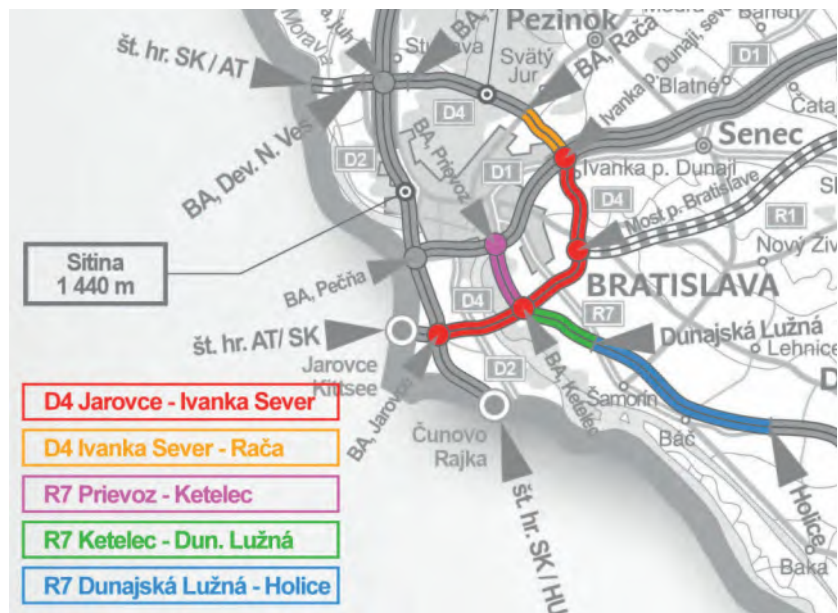
THE 6TH BRIDGE OVER DANUBE IN BRATISLAVA AS THE PART OF PPP D4R7 PROJECT

TEXT Wojciech Wlodzimirski, Patrick Wagner, Ľudovít Nad'

Obchvat Bratislavy D4R7 je projekt PPP, ktorý pozostáva z projektovania, výstavby, financovania a 30 rokov prevádzky 27 km diaľnice D4 a 32 km rýchlostnej cesty R7 okolo Bratislavy. Najznámejšou časťou projektu je Dunajské súmostie zahrňujúce 6. most cez Dunaj v Bratislave, jeho záplavové a ďalšie priľahlé oblasti v celkovej dĺžke takmer 3 km.

The D4R7 Bratislava Bypass is a PPP Project that consists of the design, construction, financing and operation of 27 km of the D4 motorway and 32 km of the R7 expressway around Bratislava. The best known part of the project is the Danube Crossing in Bratislava which comprises the 6th bridge over the Danube, its floodplain and adjacent areas with total length of almost 3 km.

V polovici roka 2015 bol vypísaný medzinárodný tender na PPP (Public Private Partnership – smluvný vzťah medzi súkromým a verejným sektorom, jímž se soukromý sektor zavazuje k zajištění veřejných služeb nebo infrastrukturních projektů, které bývají typicky dodávány nebo provozovány veřejným sektorem, pozn. red.) projekt D4R7, ktorý zahrnuje projektovanie, výstavbu a 30-ročnú koncesiu na správu a údržbu takmer 60 km úseku diaľnice D4 a rýchlostnej cesty R7 na Slovensku. V roku 2016 bol vyhlásený víťaz tendra, konzorcium ZBL (Zero Bypass Limited) vytvorené spoločnosťami Ferrovial (Španielsko) a Porr (Rakúsko), ktorého ponuka bola vyhodnotená ako technicky a finančne najlepšia. Tieto dve firmy ná-



1

Verejný obstarávateľ	Ministerstvo dopravy a výstavby SR
Koncesionár	Zero Bypass Limited
Hlavný projektant celého projektu PPP D4R7	Dopravoprojekt, a. s., Bratislava
Spolupráca na návrhu mostných konštrukcií	Torroja Ing. a SHP, spol. s r. o.
Spolupráca na geotechnike	BGG Consult
Nezávislá kontrola konštrukcií kat. III	Fhecor Ing. v spolupráci so Stavebnou fakultou STU v Bratislave
Nezávislý dozor projektu	rakúska spoločnosť FCP
Zhotoviteľ	D4R7 Construction, s. r. o.

sledne zriadili spoločnosť D4R7 Construction s cieľom zabezpečiť projektovanie a výstavbu.

PPP projekt D4R7 pozostáva z 27 km dlhého úseku diaľnice D4 (dve sekcie) a 32 km úseku rýchlostnej cesty R7 (tri sekcie) (obr. 1). Nachádza sa tu 14 križovatiek a 122 mostov, z ktorých najväčším a najnáročnejším je Dunajské súmostie s pôdorysnou plochou viac ako 100 000 m² (čo je asi polovica plochy všetkých mostov). V čase špičky stavebných aktivít na jeho pro-

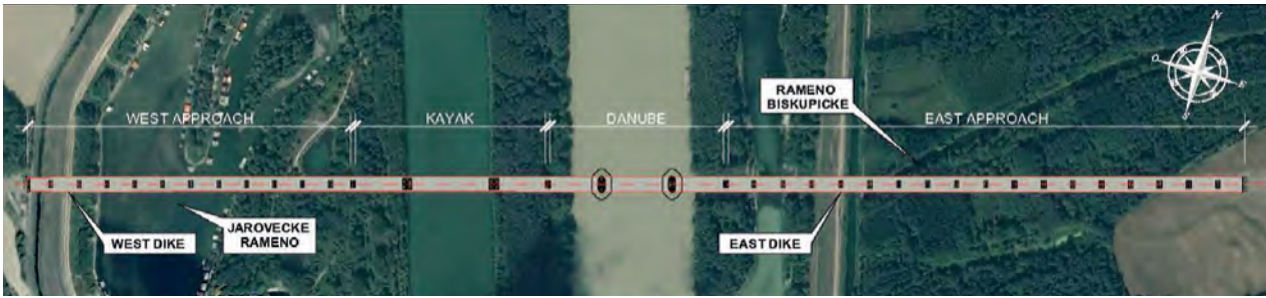
jekte pracovalo viac ako 1 600 ľudí.

6. most cez Dunaj, vrátane premostenia súvisiaceho okolia v Bratislave, bol vyprojektovaný skupinou špecialistov zo Slovenska, Španielska, Českej republiky a Rakúska.

Hlavné princípy návrhu

Minimálne požiadavky

Technické riešenie konštrukčného usporiadania vychádzalo z minimálnych požiadaviek definovaných v koncesnej zmluve verejným obstaráva-



2a



2b

telom (Ministerstvo dopravy a výstavby SR). Stredná časť mostov mala vymedzené plavebné profily: 150×10 m v koryte Dunaja a 200×4 m vo veslárskej dráhe. V západnej časti bolo treba rešpektovať ochrannú hrádzu, priesakový kanál a Jarovecké rameno (spojené s korytom rieky, ale bez prúdu vody). Celá táto oblasť je využívaná na rekreačné účely a je tam veľké množstvo plávajúcich domov (hausbótov). Počet mostných podpier v Jaroveckom ramene bol limitovaný na päť, čo predurčilo minimálne rozpätie mostných polí na cca 60 m.

Na východnom brehu Dunaja sa až po hrádzu nachádza často zaplavované územie s bujnou vegetáciou, nasleduje priesakový kanál a napo-

kon šikmé Biskupické rameno, v ktorom nesmela byť žiadna mostná podpera. To potom viedlo k premosteniu s minimálnym rozpätím 70 m. Keďže toto územie podlieha vysokej environmentálnej ochrane Natura 2000, bolo potrebné navrhnuť premostenie s celkovou dĺžkou takmer 3 km. Dunajské súmostie pozostáva zo staticky samostatných mostov (obr. 2):

- západné predmostie,
- most ponad veslársku dráhu,
- most cez Dunaj,
- východné predmostie.

Priečne usporiadanie mostov muselo vyhovieť šírkovému usporiadaniu diaľnice s 2×2 jazdnými pruhmi s možnosťou vytvorenia 2×3 pruhov (pre prípadné dočasné situácie). Tiež

1 Prehľadná mapa umiestnenia stavby projektu PPP D4R7 **2** Dunajské súmostie: a) situácia, b) 3D model **3** Most cez koryto rieky Dunaj: 3D model

1 Overview of the location - Project PPP D4R7
2 Danube Crossing: a) layout, b) 3D model
3 Bridge over the Danube River: 3D model

bolo požadované vytvoriť bezpečnostný koridor medzi zvodidlom a stenou na ochranu vtáctva a 3 m široký chodník pre chodcov, resp. cyklistov na oboch stranách mosta.

Konštrukčná typológia

Berúc do úvahy minimálne požiadavky, ako aj cieľ navrhnuť a postaviť všeobecne prijateľné a efektívne dielo (medzi najdôležitejšími parametrami bola ekonomická a časová efektívnosť), ukázalo sa, že najvhodnejším riešením premostenia je dodatočne predpätý most komorového prierezu s jednou mostovkou. Preto bola pre obidve predmostia použitá technológia výsuvnej skruže (rozpätia dosahujú 70 m) a oba hlavné mosty sú letmo

3



betónované (s rozpätím hlavného poľa 170 m v prípade mosta cez Dunaj, resp. 210 m na moste ponad veslársku dráhu). Všetky tieto parametre, vrátane značnej šírky nosnej konštrukcie, robia tieto mosty vo svojej kategórii výnimočnými. Šírka nosnej konštrukcie 35 m si vyžiadala dvojetapové zhotovenie, v prvej etape komorové jadro a následne konzoly so vzperami.

Návrh zohľadňujúci efektívnu výstavbu

Hlavné mosty

Dva hlavné mosty Dunajského súmostia sú navrhnuté ako samostatné mostné konštrukcie aj s ohľadom na identifikované riziká, časovo náročné zakladanie v koryte rieky a veľké rozpätie mosta ponad veslársku dráhu.

Na výstavbu vahadiel oboch mostov bolo nasadených osem betónovacích vozíkov, každý s nosnou kapacitou 430 t (maximálna hmotnosť lamely). Vahadlo mosta nad veslárskou dráhou má na každej strane 20 lamiel dĺžky od 3,9 m pri zárodku do 5 m v strede poľa. Výška nosnej konštrukcie sa mení od 13 m (pri zárodku) do 4,3 m (v strede poľa), pričom steny komory majú po celej dĺžke mosta konštantné zosikmenie a šírka spodnej dosky komory je tomu prispôsobená. Most cez Dunaj je navrhnutý podľa rovnakých geometrických princípov so zohľadnením kratšieho rozpätia hlavného poľa, má 16 lamiel dĺžky od 4,2 do 5 m a výšky od 10 do 4,3 m.

Pozdĺžne dodatočné predpätie vedené v interných káblových kanálikoch je do konštrukcie vnášané v troch etapách (vahadlové káble, káble spojitosti a doplnujúce káble po zhotovení konzol – po dokončení celého priečneho rezu).

Oba mosty sú založené na pilótach Ø 1,8 m, vnútorné piliere mosta cez veslársku dráhu majú 30 pilót dĺžky do 29 m a vnútorné piliere mosta cez koryto Dunaja 26 pilót dĺžky do 42 m. Zvlášť náročné bolo zakladanie pilierov mosta cez Dunaj, ktorému bola venovaná veľká pozornosť, vrátane rozsiahlych konzultácií zainteresovaných inštitúcií a podrobných matematických a fyzikálnych modelovaní. Najprv, pod ochranou jednoduchej

štetovnicovej steny, boli zhotovené umelé ostrovy, z ktorých sa zrealizovali pilóty a šesťuholníkové pilótové zhlavie s rozmermi 42,2 × 17,2 m. Piliere oboch hlavných mostov sú navrhnuté v jednotnej geometrii. Na každom z nich je jeden rad sférických ložísk a stabilita vahadla je zabezpečená dočasnými piliermi pomocou predpínacích káblov kotvenými do základu.

Západné a východné predmostie

Obidve predmostia boli navrhnuté tak, aby každé tvorilo jednu konštrukciu s najmenším počtom rovnakých mostných polí. Východné predmostie s jednou mostovkou má celkovú dĺžku 1 250 m (16 typických vnútorných polí s rozpätím 70 m) a západné predmostie má dĺžku 785 m (10 typických vnútorných polí s rozpätím 67,5 m). Nosná konštrukcia má konštantnú výšku 4,3 m a vizuálne tvorí pokračovanie hlavných mostov. To navodzuje vizuálny dojem jedného spojitého mosta.

Všetky tieto faktory, vrátane toho, že celé Dunajské súmostie je pôdorysne priame, umožnili vysoko účinný a efektívny postup výstavby.

Výhradne vnútorné predpätie bolo použité najmä z dvoch hlavných dôvodov, a to je vyššia účinnosť (vyššia excentricita) v porovnaní s voľnými káblami vedenými v komore a tiež lepšie parametre ich trvanlivosti. Spojitosť predpínacích jednotiek je zabezpečená presahom káblov (vždy 50 % káblov má presah na každej strane piliera).

Obe predmostia sú založené na pilótach Ø 1,2 m a dĺžky až do 32 m. Mostné podpery sú tvorené dvojicami pilierov s hladným driekom, ktoré sú v spodnej časti navzájom spojené malou (nízkou) stenou. Na každej dvojici pilierov sa zhotovil zárodok dĺžky 4 m, ktorý slúžil ako podpera pre výsuvnú skruž vo fáze jej vysunutia a pri betónovaní.

Na zhotovenie predmostí boli použité dve samostatné výsuvné skruže (MSS) typu „zhora“, vhodné pre betónáž nosnej konštrukcie s rozpätím do 70 m.

Skruž bola tvorená oceľovou priehradovou konštrukciou s horným oblúkom. Priehyb konštrukcie bol ria-

dený aktívnym (organickým) predpínaním systémom zabudovaným do oceľovej konštrukcie MSS. Každá MSS vážila viac ako 1 100 t a poskytovala podporu pre betónáž celého mostného poľa s hmotnosťou do 2 500 t. Pracovný cyklus na zhotovenie jedného 70m záberu (vysunutie skruže, uloženie betonárskej výstuže, betónáž a predpätie MSS) sa ustálil na dva týždne.

Priečny rez

Zhotovenie 35 m širokej mostovky, rovnako na všetkých štyroch mostoch, bolo navrhnuté v dvoch stavebných fázach. Toto riešenie bolo v ostatných rokoch na Slovensku aj v Čechách viackrát úspešne uplatnené.

Počas analýzy a optimalizácie boli porovnávané viaceré možnosti konštrukčného usporiadania priečneho rezu:

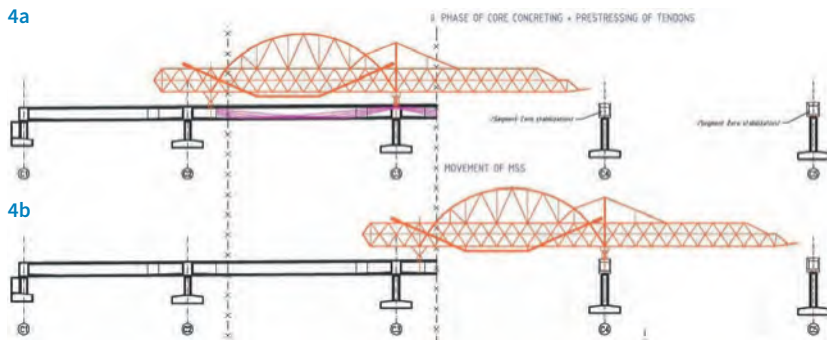
- rebrá alebo vzpery,
- priebežné, kontinuálne vzpery,
- oceľové alebo betónové vzpery,
- dve samostatné mostovky.

Ako najvhodnejšie a staticky aj konštrukčne najúčinnnejšie sa vybralo toto riešenie: jedna široká mostovka s prefabrikovanými betónovými vzperami v osovej vzdialenosti 5 m, podopierajúcimi široké konzoly hornej dosky, ktorá je priečne predpätá. (obr. 5)

Výstavba

Dunajské súmostie tvorí štyri samostatné, bezprostredne na seba nadväzujúce mosty, ktoré majú spolu dĺžku takmer 3 000 m, šírku mostovky 35 m a pôdorysnú plochu cca 100 000 m². Mosty sú založené na pilótach v celkovom počte 18 000 ks Ø 1 200 a 1 800 mm, zabudovalo sa 110 000 m³ betónu, 22 000 t betonárskej výstuže a 3 700 t predpínacej výstuže.

Predmostia, východné v dĺžke 1 250 m a západné v dĺžke 750 m, mali v prvej fáze budované jadro nosnej konštrukcie v šírke 14,4 m s použitím dvoch samostatných výsuvných skruží (na každom predmostí jedna). Pracovalo sa zväčša bez využitia nočných smien a na zhotovenie jedného záberu (70 m, resp. 67,5 m) sa zabudovalo približne 1 000 m³ betónu, pričom nepretržitá betónáž trvala asi 24 h. Nad kaž-



5a 5b



6a

4 Výsuvná skruž: a) pred vysunutím, b) po vysunutí 5 Pričný rez: a) konštantnej výšky na predmostiach, b) v mieste nad podporou mosta nad veslárskou dráhou 6 a), b) Zárodok na pilieroch predmostí 4 Moving formwork: a) before moving, b) after moving 5 Cross-section: a) at a constant depth at the approaches to the bridge, b) at the main pier over the rowing track 6 a), b) Zero segment on the piers at the approach to the bridge

dým pilierom sa v predstihu zhotovil zárodok (obr. 6), čo prinieslo dve významné výhody:

- v celom zábere je to najkomplikovanejšia časť, a teda sa časovo nepredlžoval pracovný cyklus,
- zárodok tvoril podporu pre výsuvnú skruž, a teda nebolo potrebné pripravovať komplikované dočasné podpory skruže pri každom mostnom pilieri (naviac by tam bolo riziko časových strát v prípade vysokej hladiny v Dunaji pri záplavách).

Ďalším dôležitým predpokladom na dosiahnutie 2-týždňového pracovného cyklu bola rozsiahla prefabrikácia výstuže.

Po dokončení jadra prierezu sa pomocou betónovacích vozíkov budo-

6b





7



8



9a

vali konzoly v šírke asi 10 m na každej strane prierezu (obr. 7). Jeden pracovný záber dĺžky 20 m sa zhotovil priemerne za 5 dní a zhrňoval aj uloženie prefabrikovaných vzpier vo vzájomnej vzdialenosti 5 m.

Oba **hlavné mosty** súmostia sú zhotovené technológiou letmej betonáže a spolu majú dĺžku 900 m. Aj keď most nad veslárskou dráhou má výrazne väčšie rozpätie hlavného poľa (210 m), jeho zakladanie bolo jednoduchšie ako na moste cez koryto Dunaja. Oba piliere hlavného poľa boli na brehovej čiare, a tak bolo treba vyhotoviť len malé dočasné polostrovy. Naproti tomu zakladanie piliarov mosta cez Dunaj si vyžadovalo zhotovenie dočasných ostrovov v koryte. Na pilieroch sa najprv vyhotovili zárodok v dĺžke 20 m, pričom na zabezpečenie stability vahadla sa z von-

kajšej strany (v smere ku krajnému polu) vybetónovali dočasné podpory predpätím fixované k základu. Na každom zo štyroch mostných pilierov boli na zárodkoch osadené dvojice betónovacích vozíkov nosnosti 450 t, ktorými sa v bežnom pracovnom cykle sedem dní postupne betónovali lamely jadra (1. fázy) nosnej konštrukcie. Po dobudovaní vahadiel sa najprv uzatvorili krajné polia a napokon sa zabetónovali uzatváracie lamely stredných polí. Pred zabetónovaním boli konce vahadiel navzájom tuho spojené štyrmi mohutnými ocelovými nosníkmi profilu I 1 000, čím sa zabránilo nežiadúcim horizontálnym a vertikálnym pohybom počas uzatvárania poľa (obr. 8).

Most cez Dunaj bol „uzatvorený“ 9. júna 2020 a bola tak dosiahnutá spojitost 1. fázy nosnej konštrukcie.

7 Betónovanie konzol v druhej fáze priečneho rezu **8** Dočasné tuhé spojenie koncov vahadiel počas betonáže uzatváracjej lamely **9 a), b)** Realizácia uzatváracích lamiel na moste nad veslárskou dráhou (bližšie) a na moste cez Dunaj **10** „Vítaný tím“ – ľudia, ktorí sa podieľajú na výstavbe 6. mosta cez Dunaj

7 Concreting of cantilevers in the 2nd phase of the cross-section **8** Temporary rigid connection of the ends of the cantilevers during the concreting of the closing segment **9 a), b)** Completion of the closing segments of the bridge over the rowing track (foreground) and on the Danube Bridge **10** “Winning team” – people involved in the construction of the 6th bridge over the Danube

Zdroje:

- [1] Rýchlostná cesta R7 a časť diaľnice D4 bola dnes odovzdaná verejnosti. *D4R7* [online]. © 2017 D4R7 Construction, s. r. o. Dostupné z: <https://www.d4r7.com/sk/clanok/rychlostna-cesta-r7-a-cast-dialnice-d4-bola-dnes-odovzdana-verejnosti>



9b

10



V prípade mosta nad veslárskou dráhou sa tak stalo 1. júla 2020 (obr. 9).

Záver

Projektovanie a výstavba 6. mostu cez Dunaj sa ukázali ako veľká výzva, ktorá si vyžaduje aktiváciu veľa zdrojov a kapacít v krátkom časovom rámci. Veľkosť a podmienky projektu mali za následok širokú spoluprácu niekoľkých stavebných tímov z rôznych krajín. Spojením dvoch hlavných mostov, mostu ponad veslársku dráhu a mostu cez Dunaj, budovaných metódou letmej betonáže bol v júni 2020 dosiahnutý dôležitý míľnik. Buď sa pokračovať 2. fázou nosnej konštrukcie, t. j. vyhotovením konzol, čo potrvá do jari 2021. Následne sa vykonajú všetky dokončovacie práce na mostoch. Dokončenie projektu sa predpokladá v lete 2021.

19. júla 2020 bola verejnosti odovzdaná rýchlostná cesta R7 a časť diaľnice D4. Do prevádzky bolo uvedených 29,7 km (25,2 km na R7 a 4,5 km na D4) s 22 mostmi a križovatkami v Rovinke, Dunajskej Lužnej a Šamoríne. Je to približne polovica dĺžky najväčšieho infraštruktúrneho projektu na Slovensku (59 km), ale i jedného z najväčších PPP projektov v Európe. [1]



Ing. Wojciech Włodzimirski
wwlodzimirski@d4r7.com



Ing. Patrick Wagner
pwagner@d4r7.com



prof. Ľudovít Nad'
lnad@d4r7.com

všichni: D4R7 Construction, s. r. o.