

UDK 624.6.004.68(436)

Primljeno 7. 4. 2006.

Most Donaustadtbrücke u Beču

Gerald Foller

Ključne riječi

most Donaustadtbrücke,
most Praterbrücke,
Dunav,
ovješeni most,
cestovni most,
most za metro

Key words

Donaustadtbrücke Bridge,
Praterbrücke Bridge,
Danube,
cable-stayed bridge,
road bridge,
metro bridge

Mots clés

pont Donaustadtbrücke,
pont Praterbrücke,
Danube,
pont haubané,
pont routier,
pont à métro

Ключевые слова

мост Donaustadtbrücke,
мост Praterbrücke,
Дунай,
подвесной мост,
дорожный мост,
мост для метро

Schlüsselworte

Donaustadtbrücke,
Praterbrücke,
Donau,
Schräggabelbrücke,
Strassenbrücke,
U-Bahnbrücke

G. Foller

Stručni rad

Most Donaustadtbrücke u Beču

Zbog izgradnje hidroelektrane Freudenu u Beču trebalo je podići nekoliko mostova preko Dunava. Za održanje prometa tijekom podizanja mosta Praterbrücke (A23) bila je neophodna izgradnja mosta Donaustadtbrücke. Za ovješeni most su za vrijeme njegovog trajanja predviđene sasvim različite vrste korištenja. Najprije je korišten kao dvotračni cestovni most, a od 2006. pregrađuje se u most za metro. Udvostručenjem kosih zatega most se osposobljava za prihvat većih opterećenja.

G. Foller

Professional paper

Donaustadtbrücke Bridge in Vienna

Several bridges had to be built across the Danube River in Vienna to enable construction of the Freudenu Hydropower Plant. The Donaustadtbrücke Bridge had to be built so that the traffic can be maintained during erection of the Praterbrücke Bridge (A23). The cable-stayed bridge was designed in such a way that it can be put to different uses during its design life. First it was used as a two-lane road bridge, but is being converted since 2006 to accommodate the metro traffic. Once the quantity of cables is doubled, the bridge will be able to withstand higher loads.

G. Foller

Ouvrage professionnel

Le pont Donaustadtbrücke à Vienne

Plusieurs ponts ont dû être construits à travers la rivière Danube à Vienne pour permettre la construction de la centrale hydraulique Freudenu. Le pont Donaustadtbrücke a dû être construit afin de maintenir la circulation au cours de la construction du pont Praterbrücke (A23). Le pont haubané a été conçu pour permettre les utilisations différentes au cours de sa durée de vie. Au début, il a été utilisé comme un pont routier à deux voies, mais il est en train d'être réaménagé depuis 2006 pour la circulation de métro. Après le doublage de la quantité des câbles, le pont sera à mesure de résister aux charges encore plus élevées.

Г. Фоллер

Отраслевая работа

Мост Donaustadtbrücke в Вене

Ради строительства гидроэлектростанции Freudenu в Вене было необходимо построить несколько мостов через Дунай. Для поддержания движения в течение поднимания моста Praterbrücke было необходимо строительство моста Donaustadtbrücke. Для подвесного моста за время его срока службы предусмотрены совсем различные меры использования. Сначала использовался двухлинейный дорожный мост, а от 2006 года он перестраивается в мост для метро. Удвоением косых кабелей мост обеспечивает возможность для принятия больших нагрузок.

G. Foller

Fachbericht

Die Donaustadtbrücke in Wien

Durch die Errichtung des Kraftwerkes Freudenu in Wien waren Hebungen mehrerer Brücken über die Donau erforderlich. Für die Verkehrsaufrechterhaltung während der Hebung der Praterbrücke (A23) wurde der Bau der Donaustadtbrücke notwendig. Für die Schräggabelbrücke sind ganz unterschiedliche Nutzungen während ihrer Bestandszeit vorgesehen. Vorerst als zweispurige Strassenbrücke genutzt, wird sie ab 2006. für den U-Bahnbetrieb umgebaut. Durch eine Verdoppelung der Anzahl der Schräggabel wurde sie für die Aufnahme der höheren Lasten ertüchtigt.

Autori: Dipl.-Ing. Gerald Foller, Ingenieurbüro A. Pauser, Münichreiterstraße 31, A-1130 Wien

1 Uvod

Izgradnjom hidrocentrale Freudenu u Beču došlo je do podizanja razine Dunava zbog čega je trebalo podizati nekoliko bečkih mostova.

Radi osiguranja slobodne visine od osam metara, za promet brodova Dunavom trebalo je i najveći most preko Dunava - Praterbrücke - podići 1,8 m. Više je pratećih zahvata bilo potrebno za savladavanje ovog tehnički i organizacijski teškog zadatka.

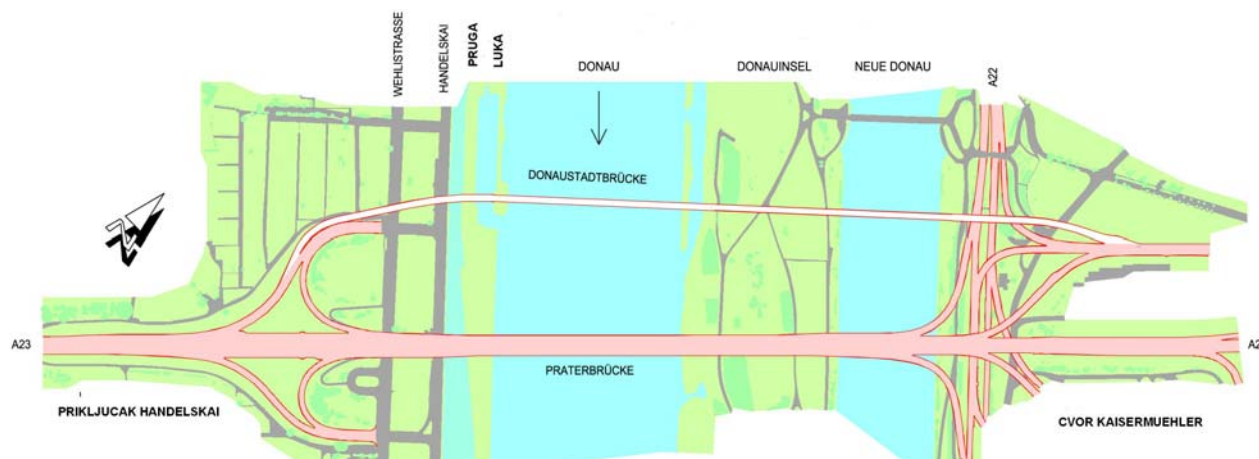
Istodobno s podizanjem predviđeno je bilo proširiti most Praterbrücke na 2 x 4 vozna traka, što je valjalo međusobno uskladiti.

Veliki se promet mogao savladati samo neprekidnim održavanjem prometa na po tri vozna traka u svakom

U dugoročnome urbanističkom planu predviđeno je povezivanje središte grada i južnih dijelova na lijevoj obali Dunava metroom. U svim varijantama polaganja trase potreban je prijelaz preko Dunava uzvodno od mosta Praterbrücke na gotovo istoj lokaciji.

Dogradnja mosta za potrebe metroa kasnije je moguća samo iznad kolnika pa je zbog toga odmah izvedena odvodnja u osi mosta, što je za cestovni most neuobičajeno, ali se za metro zahtijeva.

U podlogama investitora za idejni projekt predviđena je mogućnost odvojenog ugovaranja inondacijskih mostova i mosta preko matice rijeke. Ova okolnost dopuštala je samo klasičnu konzolnu gradnju, polazeći od pilona, ali je omogućila izvedbu nosive konstrukcije kao spregnute. Dobivena vlastita težina dala je dovoljno predna-



Slika 1. Situacija mostova Praterbrücke i Donaustadtbrücke

smjeru, kako ne bi nastao totalni slom prometnog sustava.

Pri podizanju jedne polovice konstrukcije ostala su četiri prometna traka na nepodignutoj polovici. Nastali manjak prometnih trakova nadoknađen je izgradnjom novog mosta Donaustadtbrücke, usporednog s postojećim mostom (slika 1.).

Glavni je projektant mosta autor ovog članka.

2 Projekt

2.1 Projektni kriteriji

Most Donaustadtbrücke prvotno je predviđen kao cestovni most, da bi kasnije postao most za metro

Za taj su most predviđene sljedeće faze upotrebe:

- obilazak tijekom podizanja mosta Praterbrücke (od Uskrsa 1997. do kraja 1997.)
- prijelaz brze autobusne linije preko njega (od 1998.)
- provođenje linije metroa preko mosta.

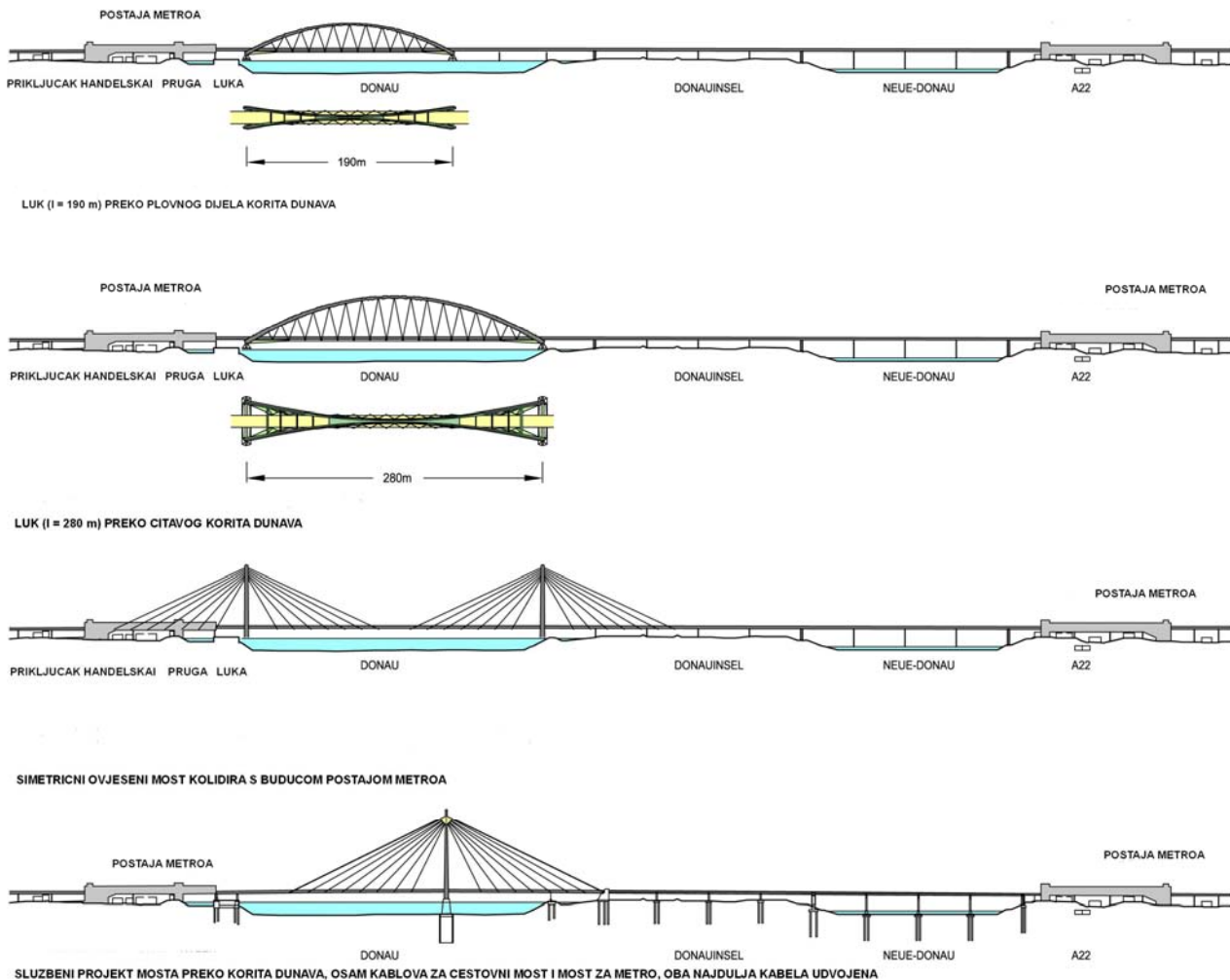
pinjanje u kosim zategama, tako da je s 2 x 8 parova zatega most od početka bio sposoban podnijeti opterećenje od cestovnog prometa i od metroa.

Omogućeno je da se uzdužni nosač s ortotropnom pločom montira na Dunavskom otoku i plovnom putom dopremi na mjesto ugradbe. Varijantni prijedlog prilagođen je rješenju iz projekta.

2.2 Projekt

U prvom projektom rješenju predviđen je plitki luk raspona 190 m, od desne obale Dunava do riječnog stupa, usporedno s mostom Praterbrücke, i vitke konstrukcije kontinuiranih nosača s jednakim rasponima (inondacijski mostovi) preko Dunavskog otoka i Novog Dunava.

Takvo rješenje s lukom preko plovnog dijela Dunava nije zadovoljavalo uvjete pa je razmatrano rješenje s lukom raspona 280,00 m kojim bi se premostilo čitavo vodno lice rijeke. To se rješenje pokazalo također neadekvatnim jer tako uski most u poprečnom smjeru nije



Slika 2. Razvojne faze projektiranja mosta Donaustadtbrücke

mogao spriječiti pojavu horizontalnih pomaka prevelikih za buduća vozila na tračnicama.

Logično je bilo da se traži rješenje s ovješnim mostom. Rješenje sa zavješanjem o dva pilona nije moglo biti primijenjeno zbog blizine postaje metroa Handelskai na desnoj obali Dunava pa je odabrano rješenje nesimetričnog ovješnog mosta s jednim pilonom. Na ovješni most sa spregnutom konstrukcijom čelik-beton nastavlja se konstrukcija od prednapetog betona.

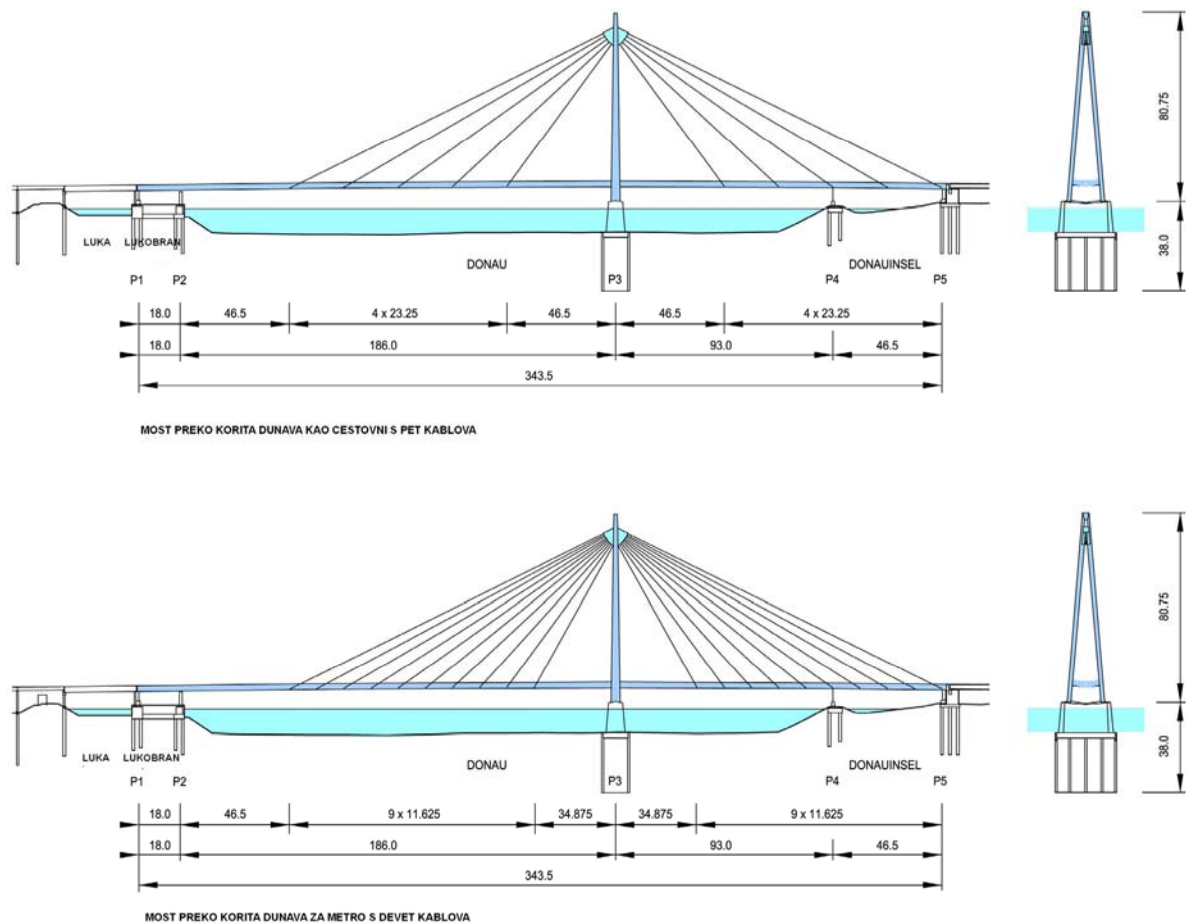
Na slici 2. prikazane su razvojne faze projektiranja mosta, od prvog prijedloga do konačnog rješenja.

2.2.1. Nosiva konstrukcija

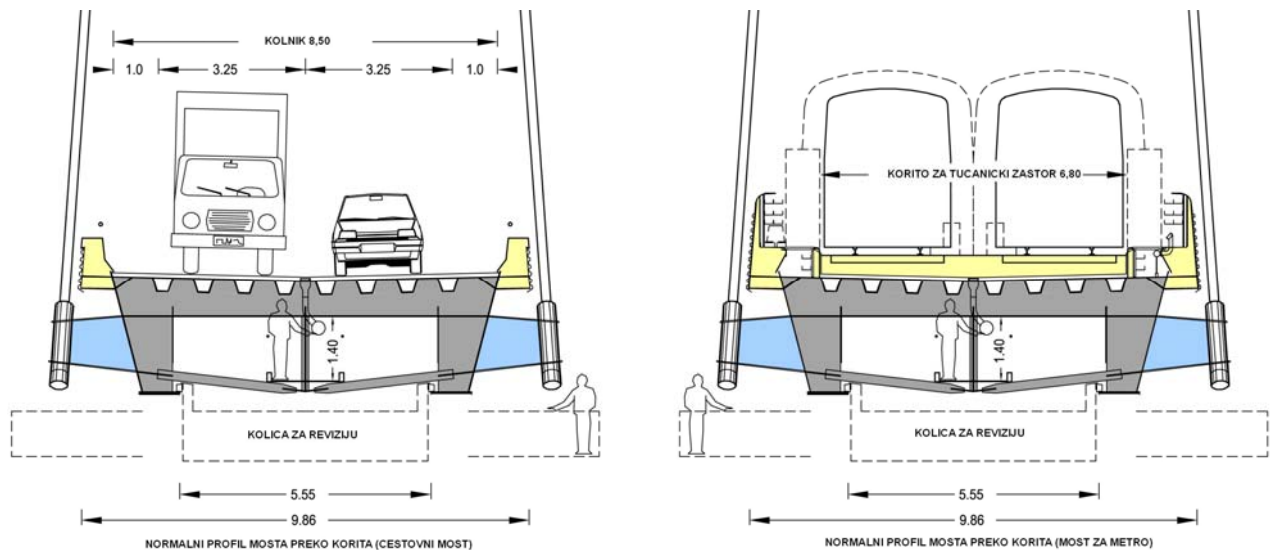
Iznad lukobrana kod luke za motorne čamce, zbog kasnijeg je prometovanja podzemne željeznice kut završne tangente zbog efekta upetosti kratkoga završnog polja duljine 18 m malen, a momenti u dugom nepoduprtom polju iznad matice reducirani. Zbog pojašnjenja načina djelovanja za tlačne su elemente uporabljeni betonski oslonci, a za vlačne elemente vitki čelični *pendel* ležaji.

Glavno je polje duljine 186 m kao cestovni most ovješeno na pet kosih zatega u obliku simetrične lepeze, koje se koncentrirano utežu u "sidrenu zdjelu" na glavi pilona. Stražnje polje za napinjanje ima duljinu sustava od 139,5 m i ukrućeno je dodatnim *pendel* stupom (P4) u trećinskoj točki, pri čemu je središnja zatega lepeze smještena izravno iznad toga vlačnoga *pendela*. Peta zatega doseže do kraja konstrukcije, gdje se preko još jednog *pendel* stupa (P5) vlačne sile uvode u razdjelni stup i u temelj. Ova dva vlačna *pendela* služe stabiliziranju pilona.

Pregradnjom mosta za metro pojavljuje se dodatno stalno opterećenje (primjerice: i zastor od drobljenca i dr.) koje je približno 2,5 puta veće od vlastite težine konstrukcije. Zbog toga je nužno ojačati nosivu konstrukciju, što se ostvaruje dodatnim zategama koje se interpoliraju između postojećih i njihov se broj povećava na 10, po 5 na svakoj strani pilona. Tako se lepeza zatega odgovarajuće progušćuje i razmak konzola na uzdužnom nosaču s 23,25 m raspolavlja na 11,63 m (slika 3.).



Slika 3. Uzdužni presjeci cestovnog mosta i mosta za metro



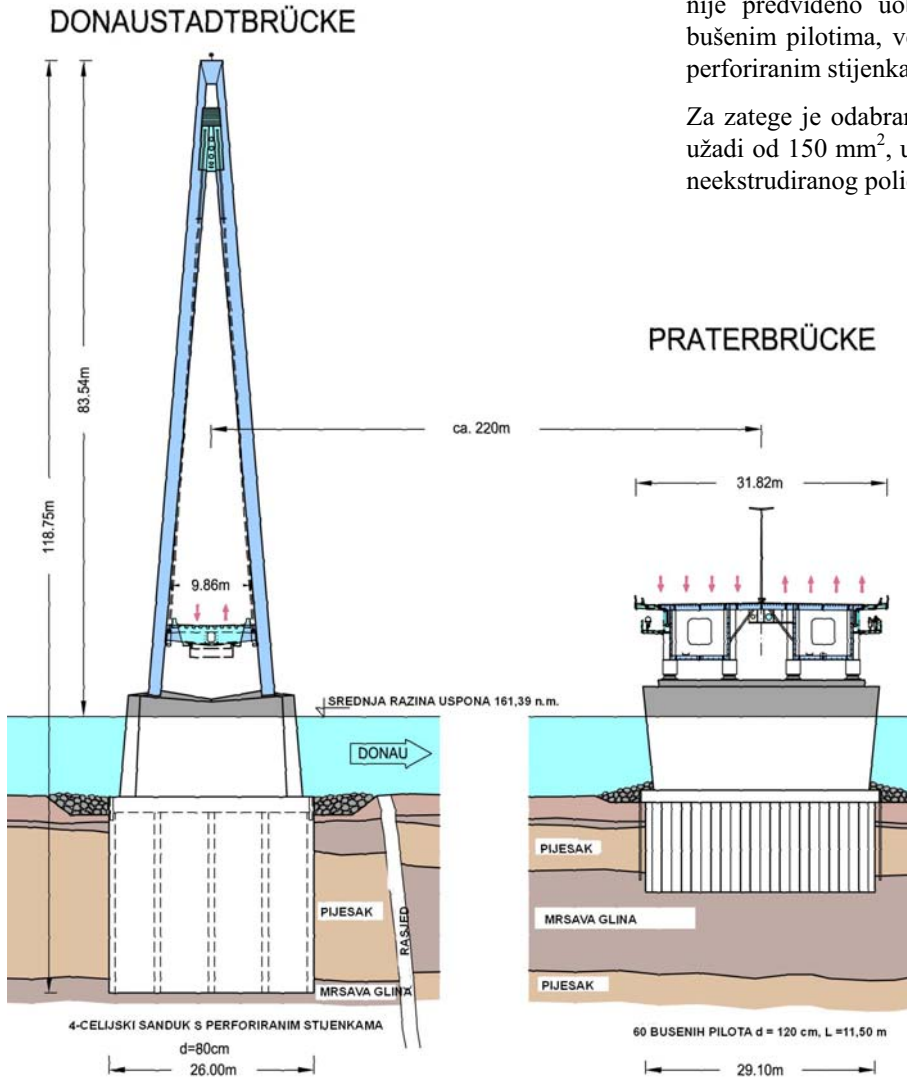
Slika 4. Poprečni presjeci cestovnog mosta i mosta za metro

Na slici 4. prikazani su karakteristični poprečni presjeci mosta za dvije upotrebe.

Kako bi konstrukcija oblikovno izgledala vitkijom i laganijom nagnuti su hrptovi glavnih nosača prema unutra, a pojasi razmješteni asimetrično.

S pomoću K-sloga nešto odmaknutog od donjih pojava u ravni konzola stvorena je zatvorena torzijska cijev, a usprkos tome podgled konstrukcije razrahljen, jer je vidljiv s obje obale koje stanovnicima služe za rekreaciju u slobodno vrijeme.

Dominantan element projekta je gornje sidreno područje kosih zatega u obliku zdjele, što je omogućilo dovoljno mjesta za radove oko napinjanja i zadovoljavajuće dužine žica (slika 5.).



Slika 5. Poprečni presjeci mostova s prikazanim geološkim slojevima tla

Između komora za natezanje s obje je vanjske strane točno iznad osi mosta prostor za rasvjetna tijela. Jaki reflektori, orijentirani paralelno s ravninama zatega, omogućuju osvjetljenje kolnika do kraja lepeza. Konvencionalni rasvjetni stupovi nalaze se tek izvan područja ovješnja i ne presijecaju optički lepeze zatega, nego noću vode prema lepezi svjetla.

Zbog male širine mosta mogao je A-pilon biti posebno vitak (slika 5.). U stupovima pilona, koji se prema gore uzduž osi mosta sužavaju, a poprijeko proširuju, smještene su ljestve za osoblje i dizalo za materijal.

Zbog geološkog rasjeda, u neposrednoj se blizini pilona u području temeljenja naišlo na, za prostor oko Dunava

kraj Beča, neuobičajen sastav tla: ispod relativno tankog sloja šljunka, drobljenog materijala i mršave gline nalazi se moćan sloj pijeska sve do sloja mršave prašinate gline, poznate kao "Wiener Tegel" (slika 5.). Zbog toga nije predviđeno uobičajeno temeljenje na betonskim bušenim pilotima, već je odabran višeceljski sanduk s perforiranim stijenkama.

Za zatege je odabran sustav od pojedinačno izmjenjive užadi od 150 mm^2 , u pasti protiv korozije i omotaču od neekstrudiranog polietilena, koja se u svežnjevima vode kroz zaštitne cijevi (crna tvrda poliesterska cijev otporna na ultraljubičaste zrake) s neekstrudiranim sivim tvrdim poliesterskim mortom. Na taj su način žice četverostruko zaštićene od korozije i ostalih vanjskih utjecaja.

3 Građenje

Montaža nosive konstrukcije raščlanjena je u četiri faze koje su se međusobno preklapale:

- sastavljanje i lansiranje do riječnog stupa
- montaža pilona
- doprema plovnom putem
- napinjanje zatega.

Te su faze prikazane na slici 6.

3.1 Sastavljanje i lansiranje

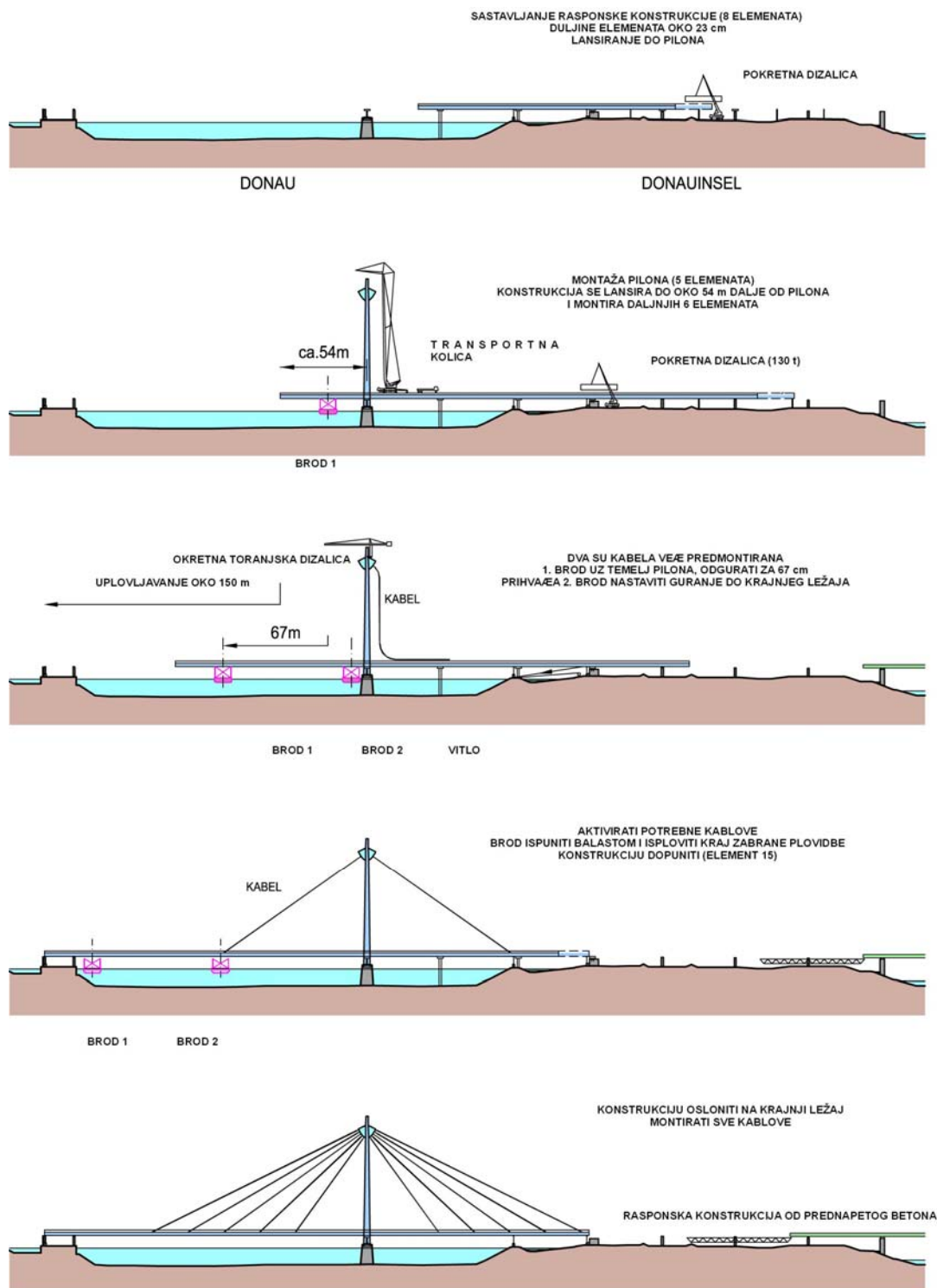
Glavni je nosač sastavljen od dijelova izvedenih od po tri predgotovljena elementa.

Za lansiranje primijenjeni su oko 4 m dugi nosači-njihala s kliznom plohom od teflona, koji su bili razmješteni na razmacima

od oko 47 m na pomoćnim montažnim postoljima. Donji pojas glavnog nosača premazan je sredstvom kojim je dodatno smanjeno trenje. Podizanje vrha konstrukcije na uređaje za lansiranje obavljeno je s pomoću uređaja s teleskopskim cilindrom. Taj je uređaj već prije uspješno primijenjen pri gradnji mosta Nordsteg, također jednog od bečkih mostova preko Dunava.

3.2 Montaža pilona

Pošto je konstrukcija nalegla na stup pilona počela je montaža pilona, pri čemu je nosiva konstrukcija služila kao pomoćni most za dopremu dijelova pilona i kao platforma za autodizalicu s rešetkastom "rukom" duljine 80 m i 220 t nosivosti.



Slika 6. Faze građenja mosta preko riječne matice

3.3 Doprema plovnom putom

Postupak uplovljavanja trebalo je obaviti tijekom dvodnevno prekida prometa brodova (slika 7.). Sve je radove dakle trebalo izvesti uz ekstremno vremensko ograničenje.

Vertikalno podupiranje u glavnom polju duljine 186 m preuzela su dva broda. Potrebna visina regulirana je ubacivanjem i izbacivanjem balasta. Za horizontalno je vođenje nosača na vrhu nosive konstrukcije montirana vođea užad usidrena na čvrstim točkama na desnoj obali

Dunava, nategnutost koje se mogla kontrolirati vitlima na nosivoj konstrukciji.

Laserskim zrakama u osi mosta i "nišana" moglo se prilikom dopreme rijekom svako odstupanje od planirane osi mosta očitati s milimetarskom točnošću. Vrijedno je pažnje da je odstupanje 204 m duge horizontalne konzole pri nailasku na zadanu točku na desnoj obali Dunava iznosilo svega nekoliko milimetara.



Slika 7. Doprema plovnim putem nosive konstrukcije (oba broda usidrena i povezana)

3.4 Napinjanje zatega

S pomoću okretne dizalice na vrhu pilona zatega su podignute i uvedene u "sidrenu zdjelu" gdje su i napinjane. Pri napinjanju i pri završnoj kontroli sila u zategama prikupljao se veći broj geometrijskih i hidrauličkih podataka.

Na slici 8. prikazana je fotografija gotovog mosta za fazu njegove upotrebe kao cestovnog mosta.



Slika 8. Pogled uzvodno na završen cestovni most

4 Pregradnja

Nakon izgradnje most Donaustadtbrücke služio je kao zaobilazna trasa pri podizanju mosta Praterbrücke (1977.), a iza toga su preko njega prolazili javni promet (brze autobusne linije) i interventna vozila (od 1988.). Most

se privodi svojoj konačnoj namjeni za prijelaz metroa. Do izrade i predaje projekta te raspisa natječaja za most došlo je kasnije pa je načelna dozvola dobivena 2000., a konačna dozvola i raspis 2004. Početak radova bio je predviđen u svibnju 2005., ali je pomaknut na listopad 2006.

Pregradnja mosta Donaustadtbrücke u most za metro može se podijeliti na četiri potrebna zahvata:

- pojačanje s pomoću dodatnih zatega (udvostručenje)
- zahvati iznad kolnika (kolosijeci s posteljom od drobljenca, nove rubne grede koje odgovaraju metrou i oprema pruge)
- proširenje nosive konstrukcije u području priključka na postaju (područje obalnog nasipa)
- podizanje cjevovoda uzdužne odvodnje mosta (smjer Trgovačka obala).

4.1 Pojačanje dodatnim zategama

Dodatnim zategama koje su smještene između postojećih podupire se uzdužni nosač za prihvat dodatnog opterećenja, a lepeza zatega se odgovarajuće proglašuje.

Ovaj zahvat u postojeći sustav zahtijeva snimanje postojećeg stanja glede geometrije nosive konstrukcije i sila u zategama, usporedbu s projektom i redosljed međusobno usklađenih daljnjih faza radova. Tako je omogućena promjena sustava cestovnog mosta u konačni sustav mosta za metro.

Trebalo je obaviti ove radove:

- ukloniti postojeću čeličnu rubnu odbojnu ogradu
- navariti dodatne konzole za usidrenje zatega
- izvesti nove rubne odbojne ograde u čeliku i armiranom betonu
- obaviti potrebnu korekciju ležaja (sniženje) zbog očekivanog slijeganja pilona (dodatno opterećenje) kod P1, P2 i P4
- zatega 1 i 10 dodatno nategnuti za oko 210 - 300 mm
- izvesti posteljicu od drobljenca do donjeg ruba pruge
- na izvedenoj posteljici od drobljenca izraditi prikladne pomoćne konstrukcije za odmatanje zatega s bubnja; napeti nove kose zatega s četiri preše
- dovršiti posteljicu od drobljenca i završiti radove oko kolosijeka
- geodetski snimiti nosivu konstrukciju i pilone
- izvesti finu korekciju sila u zategama preciznim postupcima napinjanja, sada s dvije preše za svaku zategu
- zaštititi od buke, opremiti prugu.

Na slici 9. prikazana je „sidrena zdjela“ za konačni broj zatega koji je dvostruko veći od prethodne faze.

4.2. Mjere pregrađivanja iznad kolnika

Obavlja se adaptiranje za kolosiječni promet, pri čemu se zadržava postojeća hidroizolacija, a kolničkim se zatorom koristi kao zaštitnim slojem. Na rubovima se nova izolacija od tekuće sintetike priključuje na postojeću.

Postojeći čelični rubni odbojnici, koji su vijcima pričvršćeni na čelične konzole, zamjenjuju se čeličnim parapetnim elementima koji nose betonsku rubnu gredu, panele za zaštitu od buke, korita za zatege, rukohvat, rasvjetu i vod za suho gašenje te s vanjske strane horizontalnu oblogu od trapeznih limova.

Između rubnih betonskih greda s koritima za zatege nalazi se posteljica ood drobljenca ispod koje je zbog zaštite od buke položena hasura od gumenog granulata. Tračnice su pričvršćene na betonske pragove.

Dilatacije se moraju prilagoditi metrou.

4.3 Proširenje nosive konstrukcije

Nosiva konstrukcija postaje metrou s bočnim kolektorima ispod perona priključuje se neposredno na most Donaustadtbrücke. Zatege koje leže na konzolama parapeta mosta uvode se kroz čeonu stranu u peronske kolektore i dalje kroz postaju.

Zbog toga je trebalo izvesti kontinuirano širenje konstrukcije mosta na njezinu početku.

Tako se i u odnosu prema osi mosta nešto pomaknut položaj kolosijeka može savladati. Razlog tom pomaku jest činjenica da su kolosijeci u postaji u krivini čiji kraj pada na početak mosta.

LITERATURA

- [1] Pauser, A.: *Gedanken zum Entwurf der Donaustadtbrücke*, 1996, Perspektiven Heft 2/1996 - 3 Seiten
- [2] Schön, Anton R.: *Praterbrücke – ein Riese wird geliftet*, 1996, Perspektiven Heft 2/1996 - 13 Seiten
- [3] Vogl, H.: *Neubau der Donaustadtbrücke*, 1996, Perspektiven Heft 2/1996 - 4 Seiten
- [4] Roller, M.: *Hebung und Umbau der Praterbrücke in Wien*, 1997, Stahlbau - 66. Jahrgang - Heft 9, 11 Seiten
- [5] Pauser, A.; Foller, G.: *Entwurf und Planung der Donaustadtbrücke in Wien*, 1997, Stahlbau - 66. Jahrgang - Heft 9, 7 Seiten
- [6] Fink, J.; Kirchmair, W.; Parzer, M.: *Konstruktion und Montage der Donaustadtbrücke in Wien*, 1997, Stahlbau - 66. Jahrgang - Heft 9, 7 Seiten
- [7] Lahninger, G.: *Maßarbeit über der Donau*, 1997, Konstruktiv 201, Juni/Juli 1997, 2 Seiten
- [8] Fink, J.: *Neubau der Donaustadtbrücke in Wien*, 1997, Stahlbau-Rundschau 88/1997, 4 Seiten
- [9] Hufnagel, W.: *Brücken verbinden – Fundamente tragen*, 1997, Perspektiven Heft 8-9/1997 - 4 Seiten
- [10] Pauser, A.: *Gedanken zur Entwicklung des Brückenbaues*, 1997, Perspektiven Heft 8-9/1997 - 4 Seiten
- [11] Foller, G.; Scheuchenpflug, P.: *Die Hebung der Betontragwerke der Praterbrücke*, 1997, Perspektiven Heft 8-9/1997 - 7 Seiten
- [12] Vayas, I.; Ermopoulos, J.; Ioannidis, G.: *Bemessungsbeispiele im Stahlbau nach Eurocode 3*, Verlag: Verlag Ernst & Sohn, 2001, 676 Seiten
- [13] Müller, M.; Bauer, T.: *Eisenbahnbrückenbau nach Eurocode*, Verlag: Bauwerk Verlag GmbH, 2001, 215 Seiten
- [14] Piechatzek, E.: *Einführung in den Eurocode 3, Konzept – Bemessung – Beispiele – Tabellen*, Verlag: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 2002, 357 Seiten

4.4 Podizanje uzdužnog cjevovoda odvodnje mosta

Uzdužni se vod, uz održavanje najmanjega nagiba na odgovarajućoj duljini (oko 52 m) podiže do donjeg ruba poprečnog nosača. Postignuta je visina dovoljna da se odvodnja mosta provede u kolektor ispod perona postaje, odakle se kroz prihvatnu građevinu i sifon ispod Dunavske obalne željezničke pruge uvodi u kanal na Trgovačkoj obali.

5 Zaključak

Izgradnja hidroelektrane u Beču stvorila je određene prometne probleme jer se vodostaj Dunava u Beču povisio, pa se radi osiguranja prometa brodova moralo podizati nekoliko mostova u gradu.

U ovome se radu opisuje prometno rješenje kojim je došlo do izgradnje novog mosta Donaustadtbrücke. To je rješenje zanimljivo stoga što je novi most prvo građen za jednu namjenu, a kad je prošla potreba za tom namjenom dograđen je za drugu namjenu. Prvobitna namjena novog mosta bila je preuzimanje preusmjerenoga cestovnoga prometa koji je išao preko mosta Praterbrücke tijekom podizanja tog mosta, a kad je ta potreba prestala most je preuređen za prijelaz metrou preko Dunava.

U članku su obrazloženi glavni problemi koji su se rješavali projektiranjem i izgradnjom novog mosta preko kojega bi uskoro trebao prelaziti metro.

Za prvu je namjenu most inženjerski zanimljivo i vrhunsko rješenje, a njegovo preuređenje i dogradnju za novu namjenu tražilo je od projektanta i izvođača visoka kreativna dostignuća.