

doi: 10.67563/ASESCONF2026070J

Slobodan Jaćović¹, Li Xin², Danijel Kukaras³, Elvir Kajević⁴, Etényi Zalán Ákos⁵, Jovana Vujičić⁶, Mirjana Mandić⁶, Vule Ristić⁶, Mihajlo Milenković⁶

REMOVAL OF THE MAIN SPAN OF OLD SAVA BRIDGE SUPERSTRUCTURE- DESIGN AND EXECUTION ASPECTS

Summary: The Old Sava Bridge was the war bridge in the center of Belgrade, built in 1942 by the German Reich to maintain the connection across the Sava River after the demolition of the King Alexander Bridge. Originally used as a temporary structure for military transport, it served as the main tram bridge until 2020. Considering the condition of the steel structure, piers and foundations, functionality issues related to the noise and vibration, navigational profile requirements, and limited repair options, full demolition was decided. The paper presents design and execution aspects of the superstructure removal, including phased dismantling and the use of specialized equipment in urban conditions. Special attention is given to the removal of the main span, led by company Mostogradnja Ing and their partner Hidépítő Zrt, that involved span removal with floating equipment, launching and disassembly on the heavy scaffolding.

Keywords: Old Sava bridge, bridge demolition, bridge replacement

UKLANJANJE GLAVNOG RASPONA SUPERSTRUKTURE STAROG SAVSKOG MOSTA-PROJEKTANTSKI I IZVOĐAČKI ASPEKTI

Rezime: Stari savski most bio je ratni most u centru Beograd, izgrađen 1942. godine od strane Nemačkog Rajha, radi održavanja veze preko reke Sava, nakon rušenja Mosta kralja Aleksandra. Prvobitno namenjen kao privremena konstrukcija za vojni transport, služio je kao glavni tramvajski most do 2020. godine. Uzimajući u obzir stanje čelične konstrukcije, stubova i temelja, funkcionalnih problema vezanih za buku i vibracije, zahteve plovnog puta, kao i ograničene mogućnosti sanacije, doneta je odluka o potpunom uklanjanju mosta. Rad prikazuje projektantske i izvođačke aspekte uklanjanja superstrukture mosta, uključujući faznu demontažu i primenu specijalizovane opreme u urbanim uslovima. Poseban akcenat je dat na uklanjanje glavnog raspona, vođen od strane kompanije Mostogradnja Ing i njihovog partnera Hidépítő Zrt, koji je uključivao upotrebu plovne mehanizacije, lansiranje na radni plato i demontažu na teškoj skeli.

Ključne reči: Stari savski most, demontaža mosta, zamena mosta

¹ IO Design Enterprise doo, Belgrade, Serbia, slobodanjacovic@io-des.com

² POWERCHINA-Intl, New Sava Bridge Project, Belgrade, Serbia

³ Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

⁴ Mostogradnja Ing doo, Belgrade, Serbia

⁵ Hidépítő Zrt., Budapest, Hungary

⁶ IO Design Enterprise doo, Belgrade, Serbia

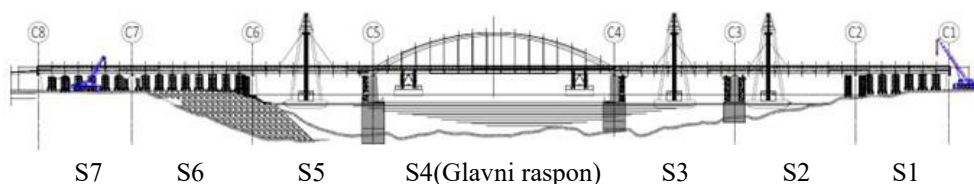
1. UVOD

Projekat Novog savskog mosta započet je 2020. godine kao ugovor po principu žutog Fidika (Design-Build), zaključen između Republike Srbije i kineske kompanije PowerChina International za izgradnju novog, modernog mosta većeg saobraćajnog kapaciteta na mestu Starog savskog mosta, videti sliku 1. Za potrebe izrade projektne dokumentacije, u okviru koje je jedan od delova Projekat rušenja, formiran je konzorcijum koji čine: Millennium Team Beograd, Mostogradnja Ing Beograd, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad i IO Design Enterprise Beograd. Tehničku kontrolu projekta izvršio je Građevinski fakultet u Beogradu [1]. Kompanija Mostogradnja Ing, sa svojim podizvođačima, je izvela najveći deo radova na rušenju Starog savskog mosta, a takođe i definisala opšti koncept demontaže glavnog raspona koji je ovde prikazan. U ovom trenutku, radovi na demontaži Superstrukture Starog savskog mosta su završeni, u toku su radovi na pregledu i ispitivanju postojeće konstrukcije radi mogućnosti ponovne upotrebe.



Slika 1: Izgled Starog savskog mosta

Kako u izvođačkom, tako i projektantskom smislu, najzahtevniji deo celog procesa demontaže Starog savskog mosta predstavljao je uklanjanje glavnog raspona. To je bila poslednja faza demontaže čelične konstrukcije, kojoj su prethodile faze uklanjanja bočnih raspona, videti sliku 2 i olakšavanje konstrukcijom skidanjem asfalta, ortoploče i roštiljne podkonstrukcije, videti [1] i [2].



Slika 2: Šema raspona Starog savskog mosta sa različitim metodama uklanjanja

Kada je reč o samom Starom savskom mostu, to je stara čelična konstrukcija sa dugom eksploatacionom istorijom, koja je tokom svog radnog veka bila značajno modifikovana, sanirana i izložena opterećenjima za koja prvobitno nije bila projektovana. Poseban izazov predstavljala je činjenica da su svi radovi na demontaži, uključujući i uklanjanje glavnog raspona, izvođeni u užem centru Beograda, uz značajna prostorna i organizaciona ograničenja. Zahtevi za očuvanjem postojeće konstrukcije mosta, radi moguće ponovne montaže na drugoj lokaciji, su takođe bili značajni, što je radove na ojačanju, sečenju plamenom i zavarivanju svelo na minimum.

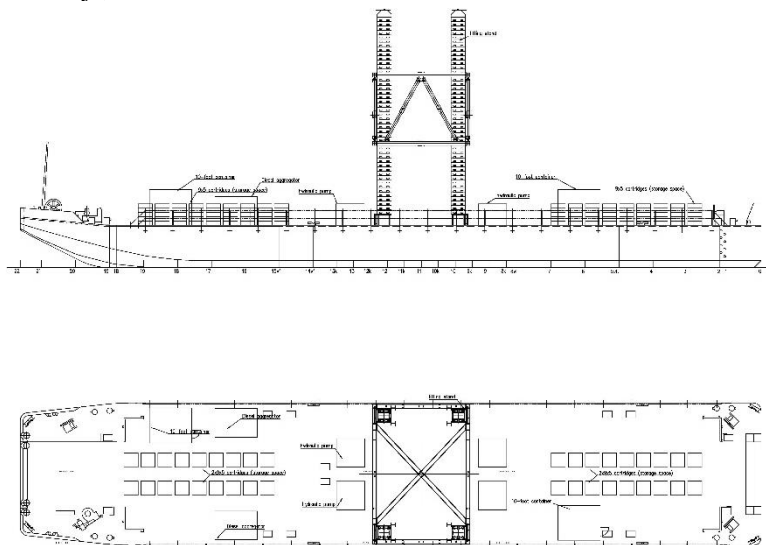
2. IZVOĐAČKI ASPEKT UKLANJANJA GLAVNOG RASPONA STAROG SAVSKOG MOSTA

Uklanjanje glavnog raspona Starog savskog mosta bilo je tehnički i tehnološki veoma složena operacija, koju je uspešno realizovala kompanija Mostogradnja Ing sa svojim podizvođačem, mađarskom kompanijom Hídépítő Zrt..

Nakon uklanjanja bočnih raspona Starog savskog mosta, čelična konstrukcija glavnog raspona demontirana je sa lokacije u više faza, korišćenjem barži sa penjućim presama, prevlačenjem preko lansirnih greda i upotrebom teške skele na radnom platou. Nakon izvršenih radova na demontaži, konstrukcija je u potpunosti uklonjena, transportovana i odložena na spremište Mostogradnje Ing u Batajnici.

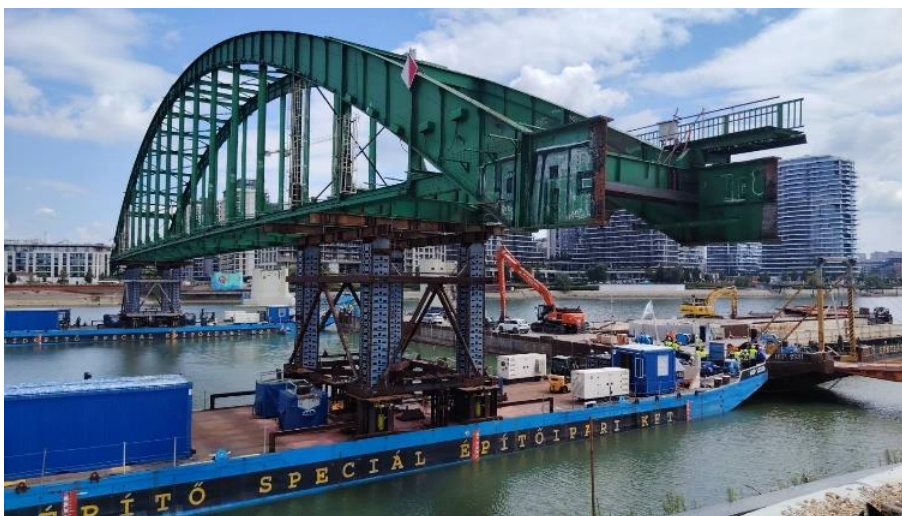
Uklanjanje glavnog raspona obuhvatalo je sledeće aktivnosti:

- podizanje glavnog raspona konstrukcije sa stubova mosta pomoću barži sa penjućim tornjevima, videti sliku 3, i spuštanje u položaj pogodan za rečni transport,
- privremeno pristajanje glavnog raspona u blizini radnog platoa do završetka pripreme lansirnih greda i pomoćne opreme, videti sliku 4 i 5,
- prevlačenje (lansiranje) glavnog raspona na radni plato preko lansirnih greda korišćenjem lansirnih kolica i vitla, uz višestruke promene konfiguracije oslanjanja,
- formiranje teške skele na radnom platou, radi daljeg usitnjavanja konstrukcije i uklanjanja sa prvobitne lokacije, videti slika 7.



Slika 3: Barže sa penjućim tornjevima koje je obezbedio Hídépítő Zrt

Za podizanje glavnog raspona, plovni put sa intenzivnim saobraćajem je zatvoren više dana radi pozicioniranja i pripremnih operacija dve barže opremljene tornjevima za podizanje. Dve barže su zauzele tačno definisan položaj ispod konstrukcije glavnog raspona koji je prethodno bio ojačan za ovu dispoziciju opterećenja. Prilikom pripreme za dizanje glavnog raspona, obe barže su osigurane pomoću užadi i sidara spuštenih u rečno dno, povezivanjem za stubove mosta i međusobno jedna za drugu, tako da su eventualna pomeranja u poprečnom i uzdužnom pravcu bila ograničena na svega nekoliko centimetara. Sistem za podizanje (penjući tornjevi) je dodatno podizan dok nije ostvaren kontakt sa zategom glavnog raspona. Sila podizanja je zatim pažljivo povećavana na obe barže sve dok se raspon nije odigao sa ležišta na stubovima. Nakon toga, dve barže su postale međusobno povezane preko mostovskog segmenta, formirajući plovilo u obliku katamarana.

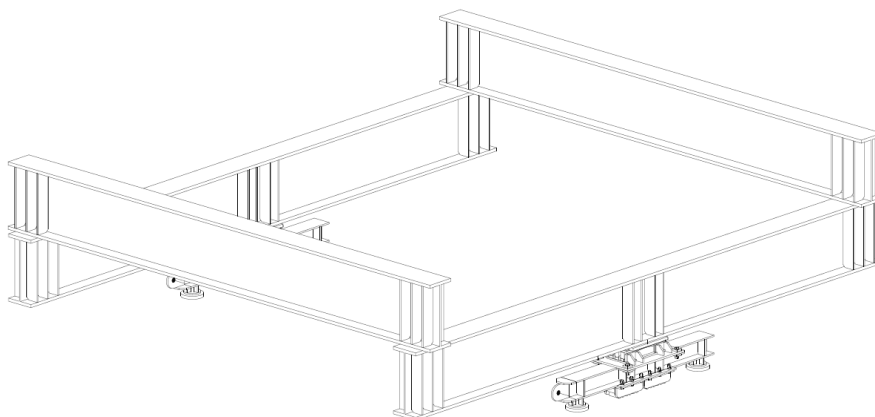


Slika 4: Prihvatanje glavnog raspona sa baržama i penjućim tornjevima



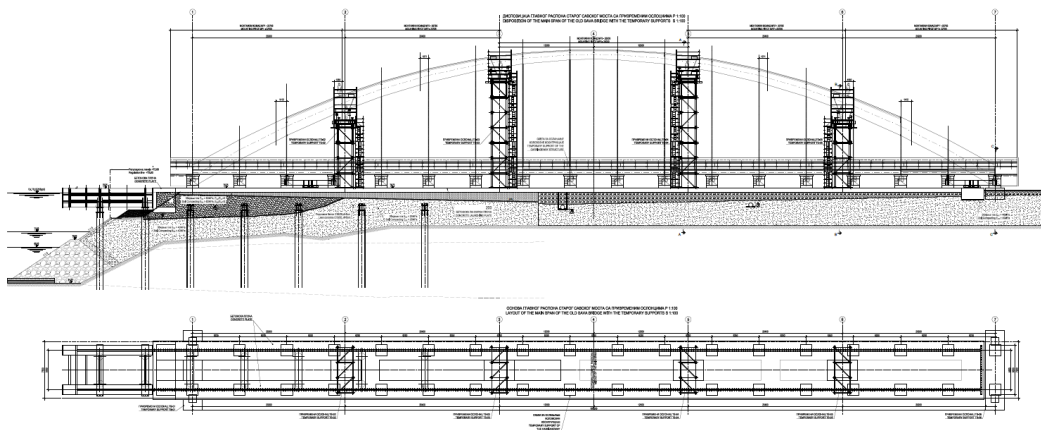
Slika 5: Oslanjanje glavnog raspona na tornjeve preko roštiljne konstrukcije

Na vrhu tornjeva za podizanje izvedena je posebna roštiljna konstrukcija, kako bi se uskladile tačke oslanjanja na konstrukciji mosta (pozicije ojačanih vešaljki) sa položajima tornjeva za podizanje, videti sliku 4. Ove roštiljne konstrukcije su morale biti modifikovane u toku samih faza prevlačenja, u zavisnosti od položaja oslanjanja duž glavnog raspona, što je predstavljalo dodatni zadatak imajući u vidu veoma kratak rok za izvođenje. Celokupna operacija prevlačenja podrazumevala je izražene promene deformisanog oblika konstrukcije usled izmene lokacije privremenih oslonaca, a postojala je i potrebu za nivelisanjem barži u toku procesa prevlačenja radi obezbeđenja ravnomerne raspodele kontaktnih sila na lansirnim gredama.



Slika 6: Lansirna kolica za prevlačenje preko lansirnih greda

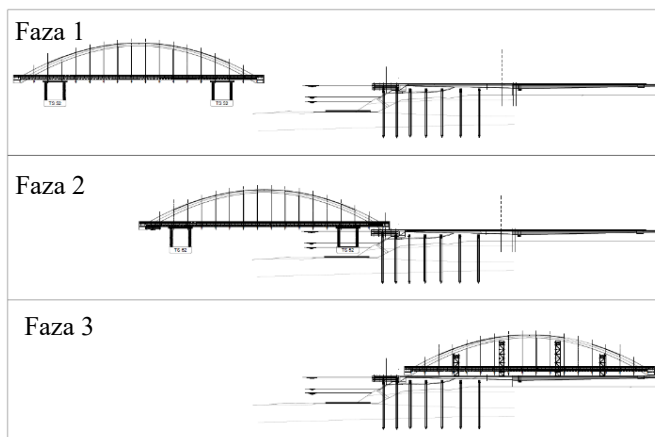
Završne faze demontaže glavnog raspona izvedene su na radnom platou, gde je konstrukcija dalje demontirana na teškoj skeli, rastavljanjem zakovanih veza na mestima montažnih nastavaka. Nakon rastavljanja, pojedinačni delovi konstrukcije uklonjeni upotrebom autodizalica. Demontažu je bilo potrebno obaviti u što većim komadima postojeće čelične konstrukcije, kako bi se olakšalo buduće ponovno montiranje. Takođe je bilo potrebno obezbediti što veće rasterećenje konstrukcije kako bi se prilikom raskivanja veza došlo do minimalnih pomeranja konstrukcije i izbegli nagli lomovi zakivaka. To je uspešno obavljeno operacijama podizanja i spuštanja konstrukcije, denivelacijom oslonaca, čime su lukovi dovedeni u rasterećeno stanje, a reakcije se preko tornjeva prenele na tlo. Ojačanje postojeće konstrukcije za fazu demontaže na skeli je svedeno na minimum, radi neophodnosti ograničenja oštećenja postojeće konstrukcije.



Slika 7: Demontaža glavnog raspona na radnom platou

2.1. FAZE UKLANJANJA GLAVNOG RASPONA

U cilju preglednijeg prikaza tehnologije izvođenja, operacija uklanjanja glavnog raspona sistematizovana je u tri osnovne faze sa pripadajućim podfazama. Ovaj proces obuhvata: odvajanje raspona od stubova i njegovo oslanjanje na barže, manipulaciju konstrukcijom na reci, uzdužno prevlačenje mosta preko lansirnih greda do radnog platoa, kao i završnu fazu demontaže na teškoj skeli. Tri osnovne faze uklanjanja glavnog raspona prikazane su na slici 8. Tokom ovih faza, glavni raspon prolazio je kroz više promena statičkog sistema.

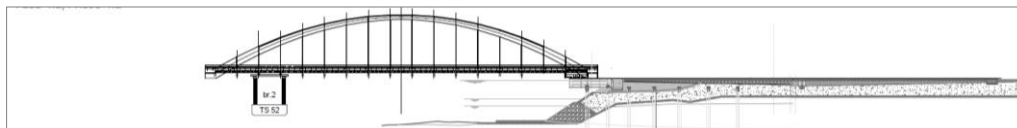


Slika 8: Tri faze uklanjanja glavnog raspona

Faza 1 – odnosi se na prihvatanje glavnog raspona pomoću barži i penjućih tornjeva radi njegovog podizanja i uklanjanja sa stubova, kao i manipulacije konstrukcijom na reci.

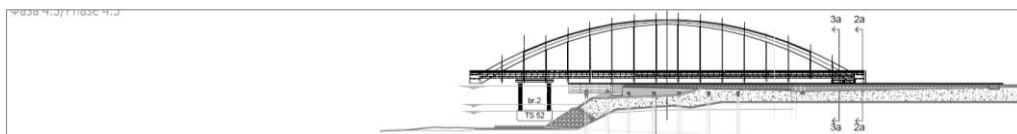
Faza 2 – odnosi se na podužno prevlačenje glavnog raspona preko lansirnih greda postavljenih na rečnoj obali. Ova faza obuhvata više podfaza, videti slike 9 do 13, u skladu sa tehnologijom prevlačenja-lansiranja. Tehnologija je podrazumevala upotrebu lansirnih kolica na lansirnim gredama, videti sliku 6, kao i promene lokacije oslonaca na baržama.

Faza 2.1- Tokom ove faze vrši se pozicioniranje glavnog raspona u blizini lansirne grede. Na lansirnu gredu se postavljaju lansirana kolica koja će prihvatiti glavni raspon i uklanja se barža broj 1.



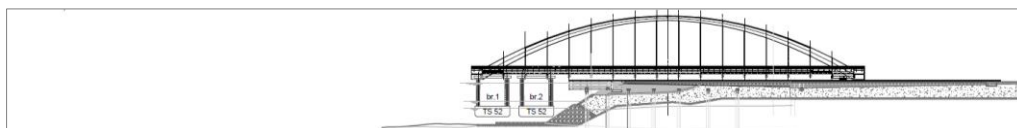
Slika 9: Faza 2.1

Faza 2.2- U okviru ove faze vrši se prvo lansiranje glavnog raspona preko lansirnih greda korišćenjem sistema za prevlačenje, sve do trenutka kada se konstrukcija približi obali u meri koja omogućava nastavak operacije prema predviđenoj tehnologiji izvođenja.



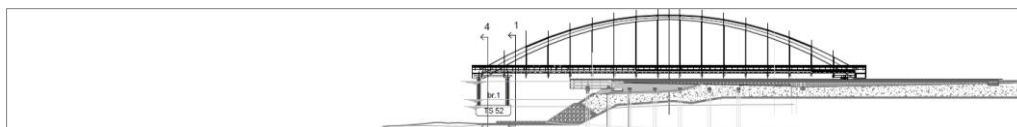
Slika 10: Faza 2.2

Faza 2.3- Tokom ove faze dolazi do postavljanja barže 1 iza barže 2 (došlo je do promene njihove pozicije u vodi) kako bi se nastavilo lansiranje glavnog raspona preko lansirne grede.



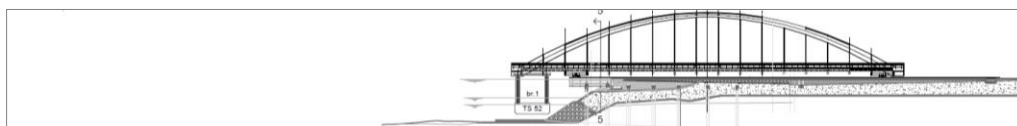
Slika 11: Faza 2.3

Faza 2.4-U okviru ove faze vrši se drugo lansiranje glavnog raspona, tako da se uklanja barža broj 2, da bi moglo lansiranje da se nastavi. U ovoj fazi glavni nosač je oslonjen na dva oslonačka poprečna nosača, što odgovara sistemu proste grede.



Slika 12: Faza 2.4

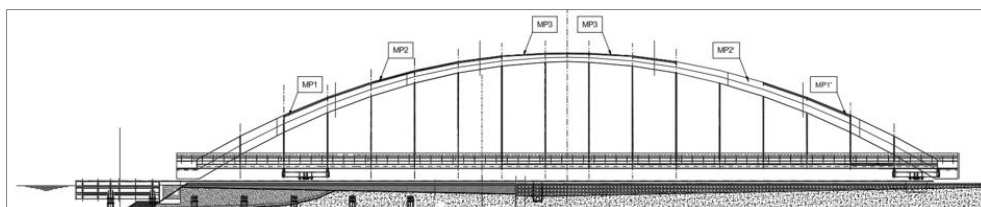
Faza 2.5-Na lansirnu gredu se postavljaju lansirna kolica, koja će prihvatiti glavni raspon i omogućiti treće lansiranje glavnog raspona preko lansirne grede i konačno pozicioniranje na radnom platou.



Slika 13: Faza 2.5

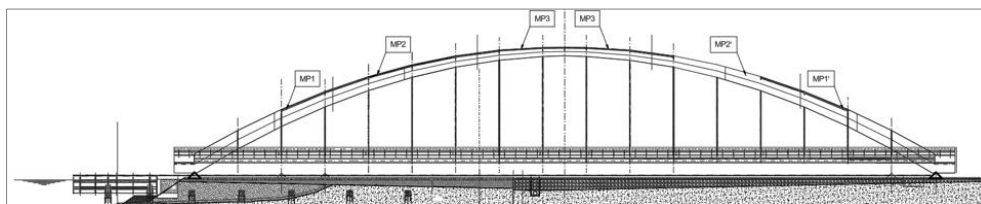
Faza 3- Podrazumeva takođe niz podfaza koje se odnose na pozicioniranje glavnog raspona na radnom platou, montiranje teške skele i dalju demontažu konstrukcije. Lansirna kolica nakon završetka lansiranja glavnog raspona se fiksiraju i nakon toga slede operacije u cilju usitnjavanja konstrukcije, videti slike 14 do 22.

Faza 3.1-Fiksiranje glavnog raspona na lansirnoj gredi



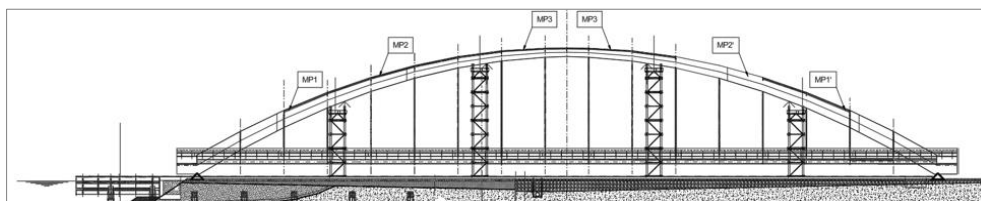
Slika 14: Faza 3.1

Faza 3.2-Odizanje glavnog raspona na mestu lansirnih kolica radi postavljanja ležišta



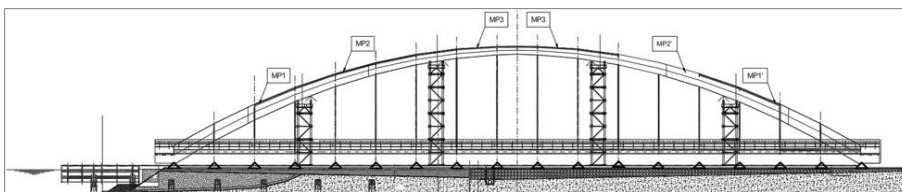
Slika 15: Faza 3.2

Faza 3.3-Montaža tornjeva za prihvatanje lukova mosta, podizanje konstrukcije i aktiviranje tornjeva



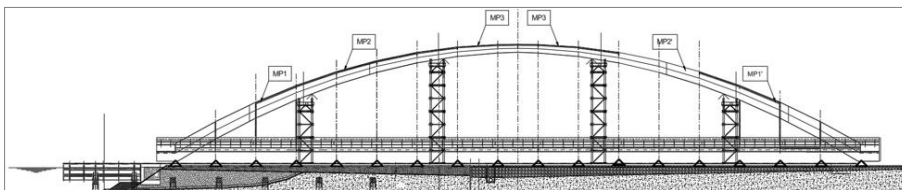
Slika 16: Faza 3.3

Faza 3.4-Montaža privremenih oslonaca ispod zatege



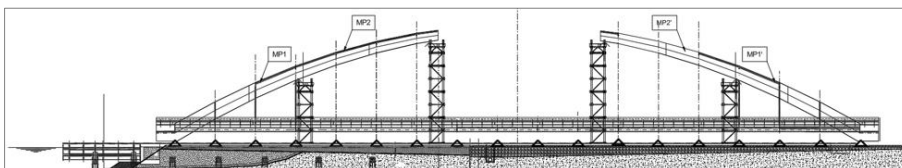
Slika 17: Faza 3.4

Faza 3.5-Demontaža vešaljki, osim ojačanih vešaljki



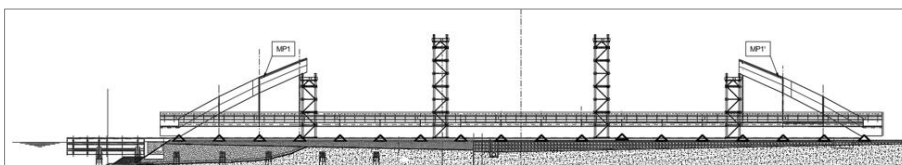
Slika 18: Faza 3.5

Faza 3.6-Demontaža montažnog komada MR-3. U ovoj fazi dolazi do aktiviranja tornjeva.



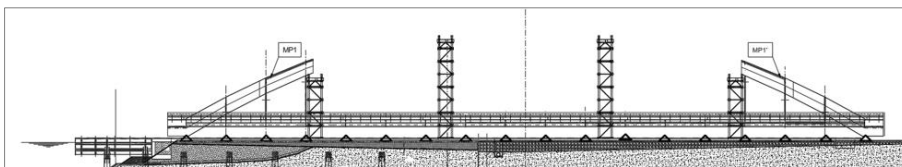
Slika 19: Faza 3.6

Faza 3.7-Demontaža montažnih komada MR-2 i MR-2'



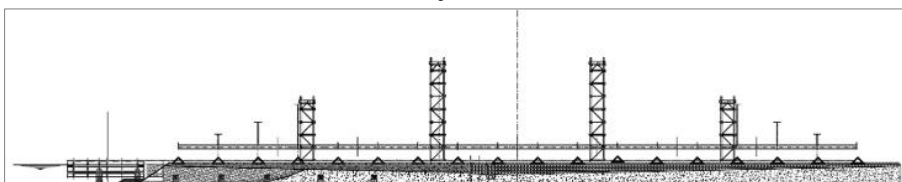
Slika 20: Faza 3.7

Faza 3.8-Odsecanje ojačanih vešaljki u gornjoj zoni i odvajanje ostatka luka (MR-1)



Slika 21: Faza 3.8

Faza 3.9-Demontaža kolovozne konstrukcije



Slika 22: Faza 3.9

3. PROJEKTANTSKI ASPEKTI UKLANJANJA GLAVNOG RASPONA STAROG SAVSKOG MOSTA

Izazovi proračuna čelične konstrukcije glavnog raspona u fazama demontaže se ogledaju u:

- osnovnom čeličnom materijalu postojeće konstrukcije koji ispitivanjem pokazuje značajnu nosivost, ali takođe i redukovanu žilavost,
- konceptu ojačanja koje je moralo biti efikasno i primenjeno u odgovarajućem momentu, imajući u vidu rasterećenje konstrukcije,
- primeni detalja kojom će se napraviti minimalna šteta na postojećoj konstrukciji,
- fleksibilnosti statičkog sistema, koji za asimetrične dispozicije opterećenja daje velike doprinose naprezanja i deformacije,
- strukturi naprezanja koje potiče od različitih statičkih sistema,
- nepredvidivim klimatskim uslovima u periodu kada su vršene značajne operacije demontaže.

Nakon razdvajanja od ostatka konstrukcije, glavni raspon je postao znatno fleksibilniji i osetljiviji na promene položaja opterećenja, zbog čega je bilo neophodno predvideti i sprovesti odgovarajuće mere ojačanja kako bi se obezbedila njegova stabilnost i bezbedan prolazak kroz sve faze demontaže i transporta [1] [2]. Glavni raspon mosta, izdvojen iz kontinualnog sistema, kroz faze lansiranja prolazi različite oblike deformacije koji imaju značajan uticaj na vertikalno poravnanje osloničkih konstrukcija, tj. penjućih tornjeva na baržama i lansirnih kolica. Sračunata su pomeranja tačaka oslanjanja u odnosu na trenutni položaj mosta, kako bi se ova deformabilnost mogla proveriti i koristiti kao faktor u oceni regularnog ponašanja konstrukcije prilikom transporta rekom i lansiranja.

3.1. OJAČANJE POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE

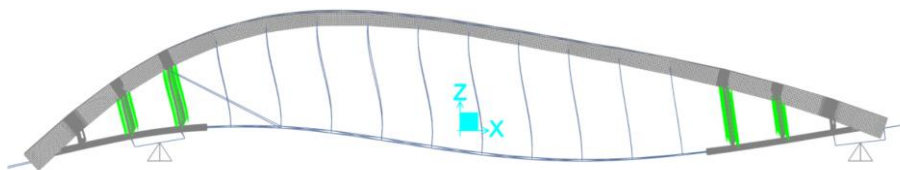
Promene u statičkom sistemu i uslovima oslanjanja konstrukcije glavnog raspona, koje su nepovoljne, kao i položaji mesta oslanjanja i tačaka podizanja konstrukcije, zahtevali su dodatno ojačanje čelične konstrukcije i ugradnju pomoćnih elemenata, videti [1] i [2], kao što su:

- ojačanje vešaljki radi oslanjanja konstrukcije na barže, čime se povećava njihova nosivost na pritisak,
- ojačanje zone isecanja glavnih nosača, koje obuhvata ugradnju dodatnih poprečnih ukrućenja i poprečnih nosača,
- ojačanje poprečnih nosača glavnog raspona radi privremenog oslanjanja konstrukcije tokom faza uzdužnog prevlačenja (lansiranja),
- kose zatege za ukrućenje glavnog raspona pri asimetričnim uslovima oslanjanja tokom prevlačenja na radni plato,
- dodatni spregovi radi poboljšanja bočne stabilnosti donje flanše lukova.

Kose zatege su uvedene kao elementi koji, bez obzira na svoju veličinu, daju veoma pozitivne efekte na ponašanje glavnog raspona u toku celog procesa lansiranja. Ovi elementi su posebno efikasni za ukrućenje konstrukcije za asimetrične položaje oslanjanja, gde se postiže značajna redukcija napona, videti sliku 23.

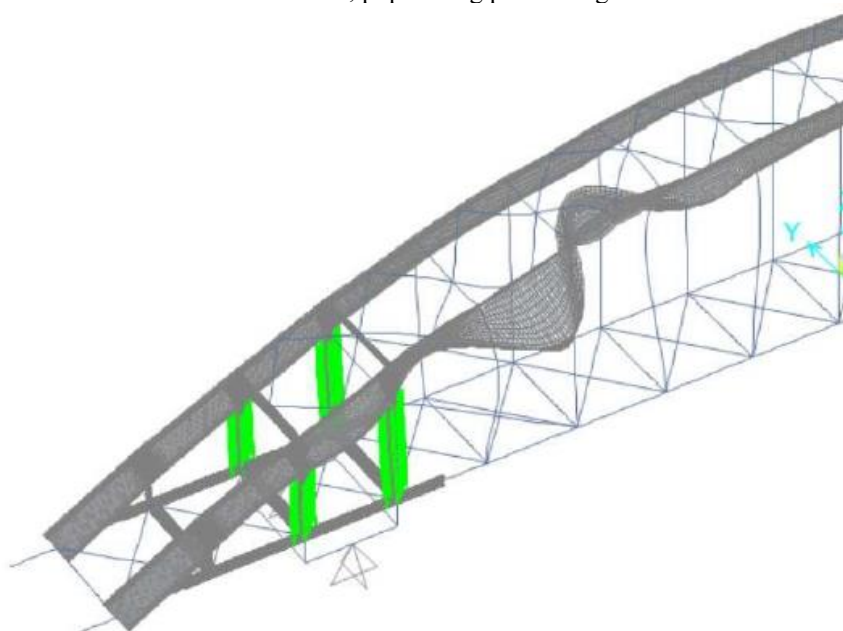
3.2. KONTROLE NOSIVOSTI POSTOJEĆE KONSTRUKCIJE

Glavni raspon mosta prolazi različite faze oslanjanja u procesu demontaže, a kako bi se ispratio ceo proces, tj. promene statičkog sistema i opterećenja na postojećoj čeličnoj konstrukciji mosta, izrađeni su računski modeli od linijskih i površinskih konačnih elemenata, koji su u skladu sa aktuelnim statičkim sistemom i opterećenjem konstrukcije mosta u svakoj karakterističnoj fazi demontaže. Faza 2.2 lansiranja predstavlja projektantski najzahtevniju fazu, videti sliku 23, zbog asimetričnog oslanjanja, za koju je bilo neophodno obezbediti dodatno ojačanje konstrukcije.



Slika 23: Deformacijski oblik konstrukcije glavnog raspona tokom lansiranja za Fazu 2.2

Takođe su sprovedene provere stabilnosti primenom metoda opisanih [3] i [4], pri čemu su razmatrani karakteristični oblici nestabilnosti, poput onog prikazanog na slici 24 .



Slika 24: Kritični oblik nestabilnosti postojeće konstrukcije

REFERENCE

- [1] Jačović S, Xin L, Kukaras D, Kajević E, Mandić M, Ristić V, Vujičić J, Janković P. Stari savski most–projekat rušenja–Superstruktura mosta, Društvo građevinskih konstruktora – Internacionalni simpozijum, Vrnjačka Banja, Srbija, 2024.
- [2] Jačović S, Xin L, Kukaras D, Kajević E, Zalán Ákos E. ,Vujičić J, Mandić M, Ristić V. Old Sava Bridge in Belgrade-Removal of the Bridge Superstructure-Design and execution, 11th European Conference on Steel and Composite Structures – EUROSTEEL 2026, 2026.
- [3] Braun B, Chacón R, Degée H, Duchêne Y, Dunai L, Kövesdi B, Kuhlmann U, Lener G, Pourostad V, Sinur F, Timmers R. Design of Steel Plated Structures with Finite Elements, ECCS – European Convention for Constructional Steelwork, Ernst & Sohn GmbH, Berlin, Germany, 2023.
- [4] Beg D, Kuhlmann U, Davaine L, Braun B. Design of Plated Structures, ECCS Eurocode Design manuals, ECCS Press/Ernst & Sohn, 2010.