

doi: 10.67563/ASESCONF2026071J

Slobodan Jaćović¹, Li Xin², Danijel Kukaras³, Elvir Kajević⁴, Zlatko Marković⁵, Jiang Wei⁶, Jovana Vujičić⁷, Mirjana Mandić⁷, Vule Ristić⁷, Mihajlo Milenković⁷

NEW SAVA BRIDGE IN BELGRADE-CONSTRUCTION OF BRIDGE STEEL SUPERSTRUCTURE-DESIGN AND EXECUTION ASPECTS

Summary: New Sava Bridge Project started in 2020 as a Design-Build contract between the Republic of Serbia and the Chinese state-owned company PowerChina International, for the building of the new, modern bridge with the higher capacity at the same location of the Old Sava Bridge. Final design phases of the bridge are finished by the Joint Venture consisting of: Millennium Team, Mostogradnja Ing, Faculty of Technical Sciences from Novi Sad and IO Design Enterprise. Technical control and consulting in the Execution design is done by the Faculty of Civil Engineering in Belgrade. The execution of the steel superstructure, including steel fabrication, transport and assembly, is entrusted to the Chinese state-owned company CSCEC. This paper focuses on the execution phase of the Project, providing insight into the employed construction methods for both the main span and the secondary spans of the bridge and related design activities.

Keywords: New Sava bridge, steel bridges, composite bridges, bridge construction

NOVI SAVSKI MOST-IZVOĐENJE ČELIČNE SUPERSTRUKTURE MOSTA-PROJEKTANTSKI I IZVOĐAČKI ASPEKTI

Rezime: Projekat Novog savskog mosta započet je 2020. godine kao Design-Build ugovor između Republike Srbije i kineske kompanije PowerChina International, za izgradnju novog, modernog mosta većeg kapaciteta na istom mestu gde je bio Stari savski most. Završne faze projekta mosta su urađene od strane konzorcijuma sastavljenog od kompanija: Millennium team, Mostogradnja Ing, Fakultet Tehničkih Nauka iz Novog Sada i IO Design Enterprise. Tehnička kontrola i konsalting u Projektu za Izvođenje je urađen od strane Građevinskog fakulteta u Beogradu. Izvođenje čelične konstrukcije mosta je povereno kineskoj kompaniji CSCEC. Ovaj rad se fokusira na fazu izvođenja radova, dajući pregled primenjenih metoda izgradnje kako glavnog, tako i bočnih raspona mosta i povezanih projektantskih aktivnosti.

Ključne reči: Novi savski most, čelični mostovi, spregnuti mostovi, izgradnja mostova

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 Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia

⁶ CSCEC Steel doo. Belgrade, Serbia

⁷ IO Design Enterprise doo. Belgrade, Serbia

1. UVOD

Nakon završenog i usvojenog Projekta Za Izvođenje novog mosta [1] [2], početkom 2025. godine, Projekat je ušao u fazu izvođenja, praćenu obimnim izvođačkim aktivnostima formiranja radnog platoa, uklanjanja Starog savskog mosta i izgradnje prilaznih konstrukcija. Radni plato je formiran na levoj obali Save, između Brankovog mosta i Starog savskog mosta. Budući izgled Novog savskog mosta sa okolinom je prikazan na slici 1.



Slika 1: Prikaz izgrađenog mosta

Vezano za izgradnju Superstrukture novog mosta, kineska kompanija cSCEc, kao podizvođač glavnog Izvođača PowerChina International, ima najznačajniju ulogu-izvođenje čelične konstrukcije mosta koja obuhvata: dalju razradu grafičke dokumentacije-izradu radioničke dokumentacije, izradu čelične konstrukcije, transport i montažu na radnom platou. Kompleksnost zadatka izrade i montaže čelične konstrukcije, definisanom Projektom za izvođenje, se ogleda u sledećim faktorima:

- trodimenzionalna, estetski oblikovana konstrukcija,
- zakrivljenost elemenata u obliku krivih višeg reda,
- debljine limova do 70mm,
- trodimenzionalno projektno nadvišenje,
- asimetrija geometrije,
- metodologija montaže, koja je takođe asimetrična.

Svi ovi faktori zahtevali su značajno angažovanje Izvođača u pripremi procesa izvođenja, a takođe i angažovanje Projektanta na sledećim aktivnostima:

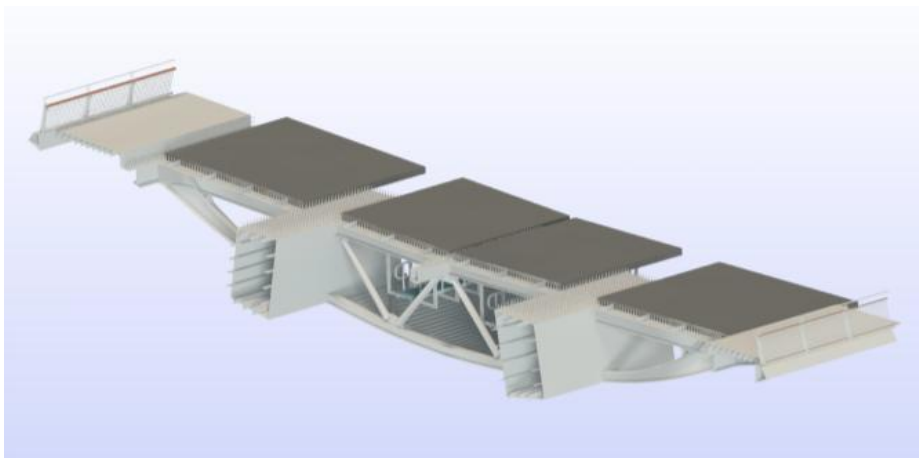
- kontrola i prihvatanje radioničke dokumentacije,
- numeričke analize geometrije Superstrukture nakon razrade radioničke dokumentacije,
- unapređenje projekta u delovima gde je to bilo moguće,
- numeričke analize pojedinih metodologija izvođenja radova (*method statements*).

1.1. SUPERSTRUKTURA MOSTA

Superstruktura mosta predstavlja najveći i najkompleksniju celinu celog Projekta, sa presudnim uticajem na projektovanje i izvođenje radova. Kontinualnog je statičkog sistema celom dužinom mosta, sa glavnim rasponom projektovanog kao tandem lukova sa zategom različite visine, videti sliku 2. Kolovozna ploča mosta je usvojena kao armirano betonska, debljine 250mm, na delu za drumski i tramvajski saobraćaj, dok je na delu za pešački saobraćaj predviđena čelična ortoploča, videti sliku 3. Utopljeni tramvajski kolosek je predviđen u sistemu "plivajuće" ploče, koja se izvodi iznad kolovozne, sa postavljanjem antivibracione prostirke između dve ploče.



Slika 2: Asimetrična konfiguracija lukova



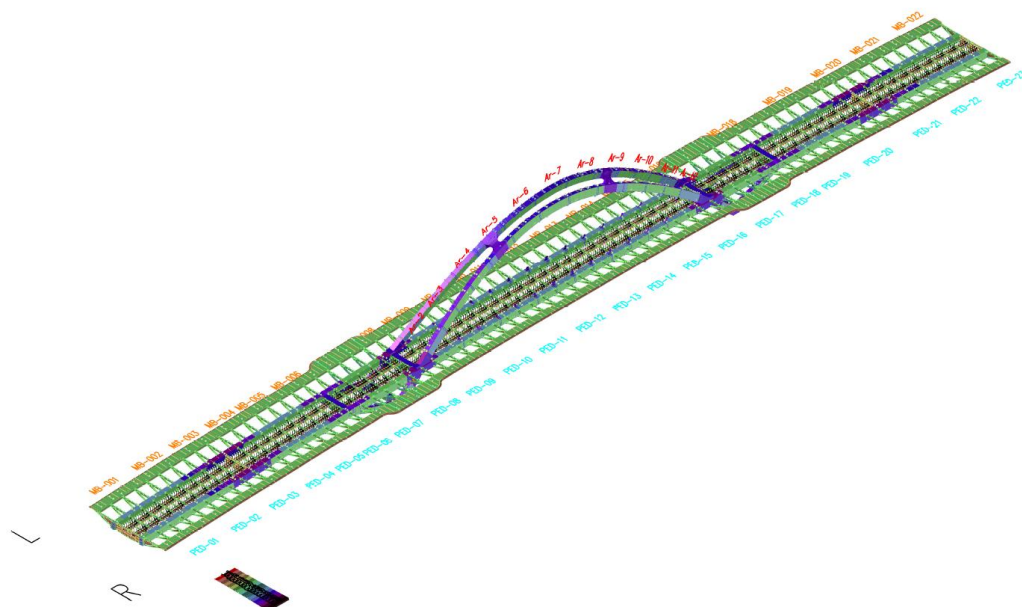
Slika 3: Karakteristični segment kolovozne konstrukcije

Glavne nosači/Zatege su kontinualni nosači, kutijastog preseka, pridržani vešaljima u glavnom rasponu na razmaku od 9m, dok su ostalim rasponima oslonjeni na stubovima mosta. Lukovi su pravougaonog kutijastog preseka $h/b=3/2m$, videti sliku 2, premošćavaju 166m u asimetričnoj konfiguraciji, spojeni u trećinama raspona sa unikatnim trodimenzionalnim elementima u cilju povećanja krutosti sistema.

Most će imati 24 vešaljke, 12 po luku, pozicionirane u ravnima lukova, u konvergentnom rasporedu. Vešaljke su projektovane kao paralelni sistem užadi (PSS) sa ankerovanjem sistemom na čep. Ukupna potrošnja konstrukcijskog čelika za konstrukciju mosta:

- 6536 tona, $402kg/m^2$ za ceo most.
 - 3538 tona, $554kg/m^2$ za glavni raspon.
- Klasa čeličnog materijala:
- S355J2+N - za limove debljine $t < 40mm$.
 - S355K2+N - za limove debljine $t \geq 40mm$.

Projekat za izvođenje je geometriju konstrukcije tretirao u konačnom stanju, dok je za izvođenje bilo neophodno razvijanje nadvišene konfiguracije, što je i urađeno od strane kompanije cSEc, videti sliku 4.



Slika 4: Integralni trodimenzionalni model nadvišene konstrukcije

Ovako razvijena geometrija konstrukcije na adekvatan način prilagođava geometrija Projekta za izvođenje uzimajući u obzir:

- aproksimaciju trodimenzionalne forme nadvišenja,
- izabranu metodologiju montaže mosta,
- montažne komade i pojedinačne elemente konstrukcije koji odgovaraju tehnologiji izvođača.

Kako su aproksimacije geometrije imale za rezultat određena odstupanja od projektovanog položaja, naknadne analize su sprovedene uzimajući u obzir povećanje projektne imperfekcije.

2. ASPEKTI IZVOĐENJA SUPERSTRUKTURE

Pored prethodno navedene grafičke razrade čelične konstrukcije, Izvođač PowerChina i cSCEc su imali značajne aktivnosti vezane za:

- detaljnu razradu metodologije izvođenja radova na gradilišnom platou, videti slike 5. i 6.,
- izradu krojnih lista elemenata, sa metodologijom ukрупnjavanja,
- formiranje montažnih komada u skladu sa metodologijom montaže,
- izrada metodologije geodetskog obeležavanja montažnih komada,
- probna montaža elemenata Superstrukture u radionici, videti slike 10. i 11.,
- transport i pretovar montažnih komada Superstrukture,
- izrada skele na radnom platou,
- priprema metodologije izvođenja betonske kolovozne ploče,
- priprema metodologije lansiranja glavnog raspona, videti sliku 7,
- usaglašavanje detalja opreme mosta (ležišta, dilatacija, uređaja za prijem udara, sistema utopljenog koloseka, vešaljki itd.).

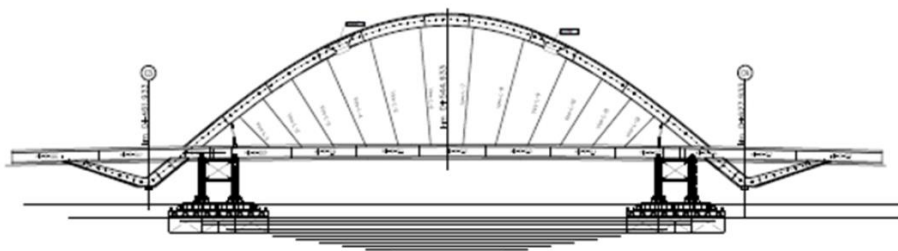


Slika 5: Izvođenje glavnog raspona-faza ukрупnjavanja lukova

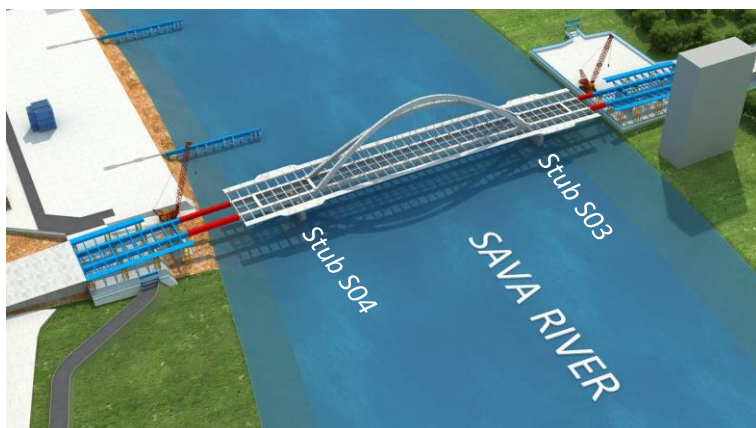
Metodologija montaže predviđa ukрупnjavanje glavnog raspona na radnom platou u celinu dužine 241m, širine 38m (43m na proširenjima), ukupne težine 5000t sa dodatnim teretom. Nakon završenog procesa utezanja vešaljki, planirano je lansiranje glavnog raspona preko lansirnih greda na dva sistema barži sa oslonačkom konstrukcijom, a potom i transport rekom sa postavljanjem na rečne stubove S03 i S04, videti sliku 8.



Slika 6: Izvođenje glavnog raspona-faza utezanja vešaljki



Slika 7: Faza rečnog transporta glavnog raspona



Slika 8: Faza povezivanja glavnog i bočnih raspona

Nakon postavljanja glavnog raspona na rečne stubove i ukрупnjavanja bočnih raspona preko skele, izvode se spojni komadi dužina 12m na beogradskoj i 30m na novobeogradskoj strani, videti sliku 8. Nakon spajanja cele Superstrukture, pristupa se izradi armiranobetonske kolovozne ploče u dve opšte faze:

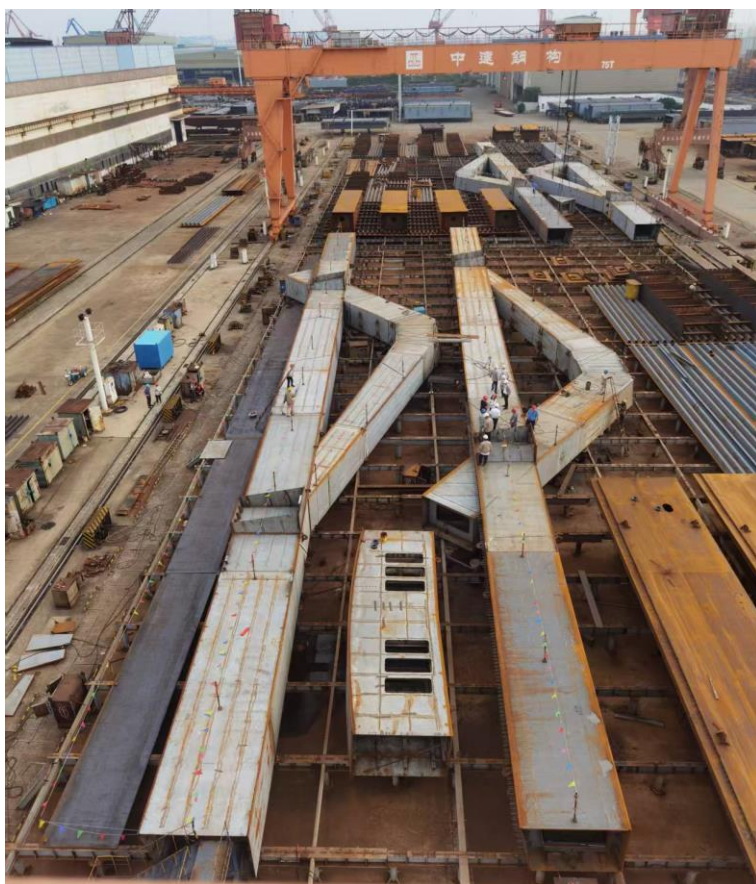
- izvođenje kolovozne ploče bez sprežavanja sa čeličnom konstrukcijom, gde će najveći deo težine betonske konstrukcije biti primljen čeličnom konstrukcijom mosta, a primarni uticaji skupljanja i tečenja ostvareni van spregnutog sistema,
- izvođenje spojeva kolovozne ploče u zonama čeličnih nosača i moždaničkih veza, gde će konačno cela Superstruktura "proraditi" kao spregnuti sistem.



Slika 9: Faze izvođenja kolovozne konstrukcije mosta



Slika 10: Probna montaža luka u radionici



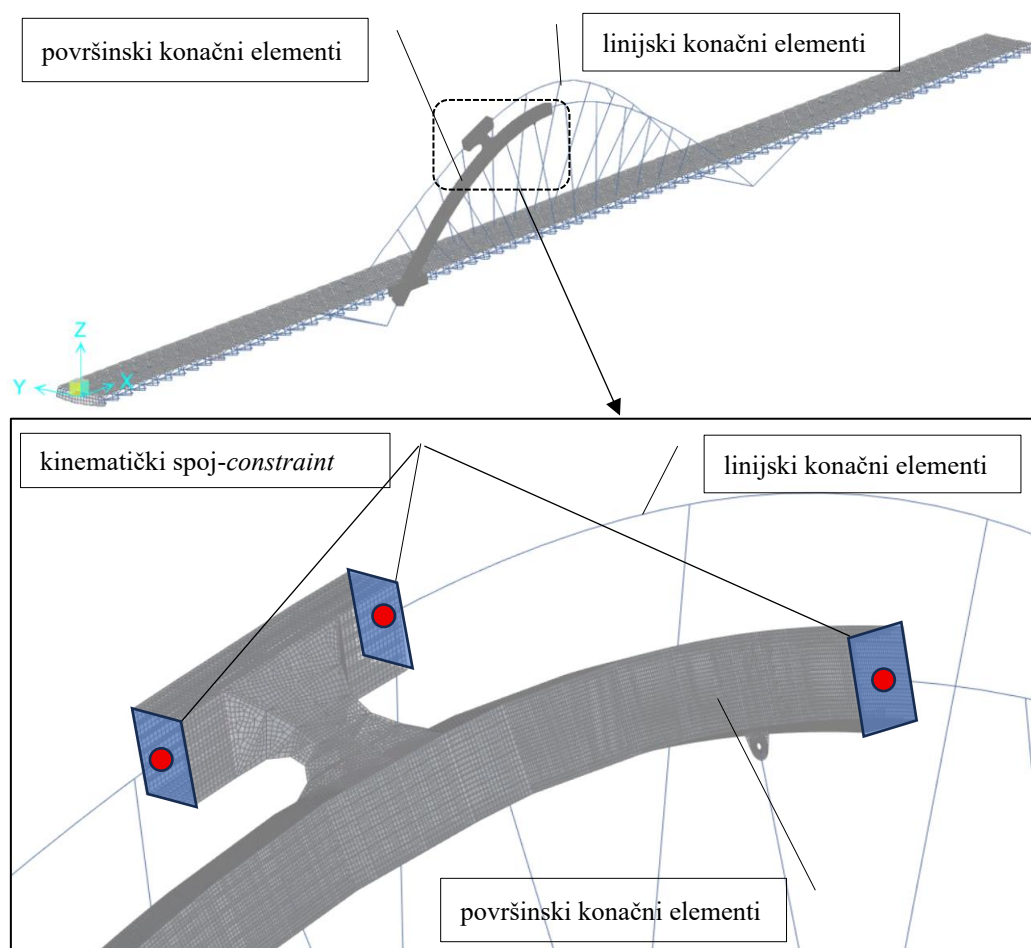
Slika 11: Probna montaža ukrštaja glavnih konstruktivnih elemenata

3. PROJEKTANTSKI ASPEKTI IZGRADNJE SUPERSTRUKTURE

Kroz sve prethodne faze projekta, a takođe i u fazi izvođenja radova, najveći projektantski izazovi se ogledaju u:

- kompleksnoj metodologiji izvođenja radova, koja je zahteva nelinearni fazni proračun uticaja od stalnih dejstava,
- kompleksnoj geometriji konstrukcije, koja je posledica širokog saobraćajnog profila i estetskog oblikovanja,
- odgovarajućoj primeni Evrokod standarda za proračun, gde se za ovakvu konstrukciju, usvajajući racionalna rešenja za ukrućenje površinskih elemenata, dobija obimna baza merodavnih uticaja i sprovode odgovarajuće kontrole nosivosti uz obimnu asistenciju metode konačnih elemenata, videti [3], [4], [5], [6] i [7].

Faza izvođenja je iskorišćena za dalje razvijanje računskih modela Superstrukture mosta, radi sticanja preciznijeg uvida u naponsko i deformacijsko ponašanje konstrukcije, videti sliku 12. Ovakvi unapređeni modeli su upotrebljeni izradi novih računskih izveštaja radi dokazivanja pojedinih metodologija izvođenja i unapređenja projekta, kao što je prethodno navedeno, a u nastavku detaljnije pojašnjeno.

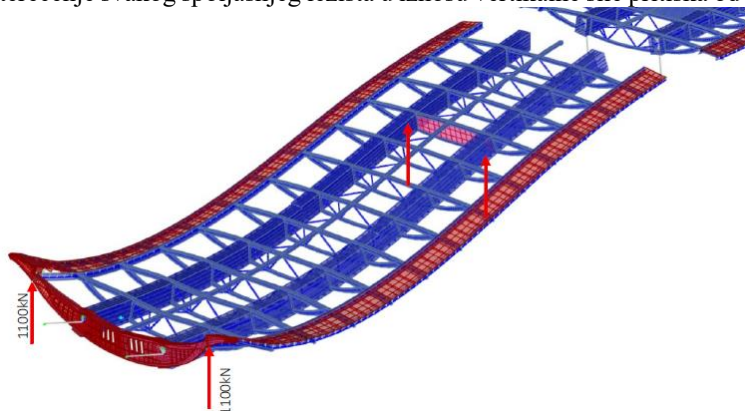


Slika 12: Dalja razrada računskih modela za potrebe izvođenja

3.1. ELIMINISANJE SILA ODIZANJA U LEŽIŠTIMA

Predmet angažovanja je izmena metodologije izvođenja radova radi eliminisanja negativnih reakcija na mestima ležišta u zonama obalnih stubova S01 i S06. Takođe, ovom metodologijom se dalje razrađuju detalji ležišta i dilatacija, na bazi PZI projekta i preliminarnih crteža proizvođača mostovske opreme.

Imajući u vidu nepovoljnost postojanja ležišta sa negativnim reakcijama, vezanih za eksploataciju i održavanje, Izvođač i Projektant je razradio nekoliko varijanti za eliminaciju negativnih reakcija, od kojih je usvojena izmena metodologije izvođenja radova, koja podrazumeva specijalno oslanjanje bočnih raspona prilikom ukрупnjavanja čelične konstrukcije na levoj i desnoj obali reke Save. Čelična konstrukcija će se u inicijalnoj fazi osloniti samo na spoljašnja ležišta, videti sliku 13., a tek naknadno u zoni Glavnih nosača, čime će se dobiti prethodno opterećenje svakog spoljašnjeg ležišta u iznosu vertikalne sile pritiska od cca. 1000kN.



Slika 13: Izmjena metodologije izvođenja promenom privremenog oslanjanja

3.2. KONTROLE POVEĆANIH PRORAČUNSKIH IMPERFEKCIJA

Predmet ovih kontrola su neophodni proračuni za odobrenje radioničkih crteža od strane Projektanta, nakon usvajanja PZI projekta. Kao posledica dalje razrade nadvišene geometrije, zabeležena su odstupanja koja su morala biti proverena u formi povećanih računskih imperfekcija, a ista odstupanja je potrebno pratiti u daljim fazama izvođenja radova. Pojednostavljenje nadvišene konfiguracije dovelo je do odstupanja koje utiče na bočnu stabilnost tandema lukova koja je kontrolisana u PZI projekta. Da bi se potvrdila stabilnost konstrukcije za novu vrednost imperfekcije, ceo proces proračuna je ponovljen na novom računskom modelu.

Numeričke provere uključuju:

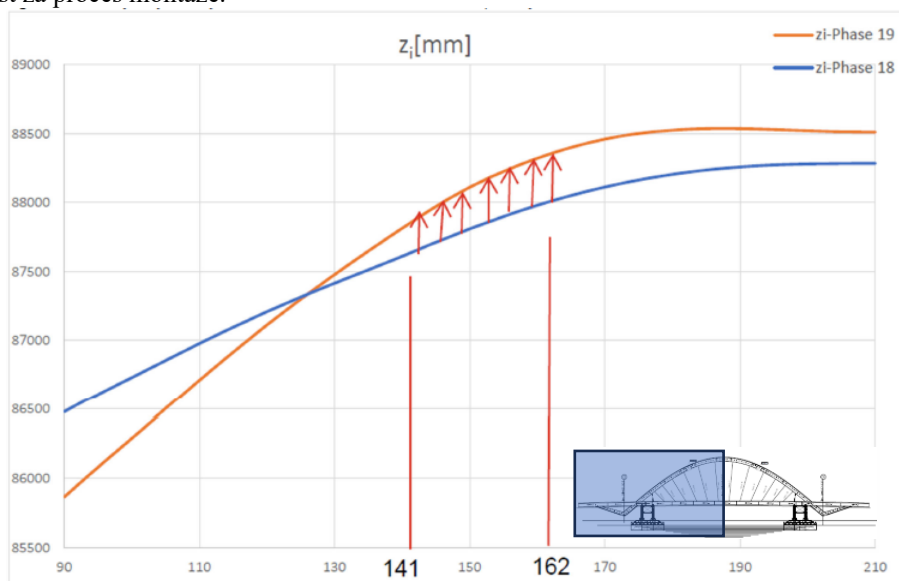
- proračun na sofisticiranijem modelu u odnosu na onaj u PZI, videti sliku 12.,
- uticaj nadvišenja na stabilnost tandema lukova,
- uticaj povećanih imperfekcija usled odstupanja glavnih konstruktivnih elemenata,
- LBA (linearna bifurkaciona analiza) za dobijanje kritičnih sila i formi za izvijanje,
- GNIA (geometrijski nelinearna analiza sa imperfekcijama) sa povećanom imperfekcijama koje imaju oblik formi dobijenih u LBA analizi.

3.3. LANSIRANJE GLAVNOG RASPONA

Izrađen je preliminarni izveštaj proračuna glavnog raspona Superstrukture u toku procesa lansiranja preko lansirnih greda i rečnog transporta sa baržama do konačne pozicije na stubovima S03 i S04. Proračun pretpostavlja ukupnu težinu glavnog raspona od 5000 tona za transport.

Tokom procesa montaže, glavni raspon prolazi kroz više projektnih situacija koje uključuju višestruke promene statičkog sistema, dispozicija opterećenja itd., što rezultira složenim

naprezanjem i izraženom deformacijom, videti sliku 14 (Faza 18-glavni raspon na lansirnim gredama; Faza 19-glavni raspon na baržama; prikazano do polovine raspona). Preliminarni izveštaj je razvijen u cilju proračuna glavnog raspona kroz faze montaže, optimizacije metodologije i dodatnog ukrućenja unutar Superstrukture kako bi se postigla adekvatna nosivost i krutost za proces montaže.



Slika 14: Deformacija superstrukture usled prelaska sa lansirnih greda na sistem barži

REFERENCES

- [1] Jačović S, Xin L, Kukaras D, Kajević E, Mandić M, Ristić V, Vujičić J, Janković P. New bridge over the Sava River on the location of Old Sava bridge in Belgrade – Bridge Superstructure, Društvo građevinskih konstruktora – Internacionalni simpozijum, Vrnjačka Banja, Srbija, 2024.
- [2] Jacovic S, Xin L, Kukaras D, Kajevic E, Mandic M, Ristic V, Vujicic J, Jankovic P. New Bridge over the Sava River on the Location of Old Sa-va Bridge in Belgrade – Bridge Superstructure, The 11th International Conference on BRIDGES IN DANUBE BASIN, Munich, Germany, 2024.
- [3] Vujičić J, Jačović S. Stability problems of New Sava Bridge superstructure, Macedonian Association of Structural Engineers (MASE)-21st International Symposium, Ohrid, North Macedonia, 2025.
- [4] 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.
- [5] Beg D, Kuhlmann U, Davaine L, Braun B. Design of Plated Structures, ECCS Eurocode Design manuals, ECCS Press/Ernst & Sohn, 2010.
- [6] EN 1993-1-5:2006-Eurocode 3 Design of steel structures, Part 1-5: plated structural elements; EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019, European Committee for Standardization, Brussels, 2006.
- [7] EN 1993-1-14:2020-Eurocode 3-Design of steel structures, Part 1-14: Design assisted by finite element analysis, European Committee for Standardization, Brussels, 2020.