

ALTERNATIVNO PODPIRANJE IN DVIGOVANJE OBSTOJEČE JEKLENE KONSTRUKCIJE STAREGA POŠKODOVANEGA MOSTU ČEZ SAVO V BREŽICAH ZA POTREBE SANACIJE

ALTERNATIVE SUPPORT AND LIFTING OF THE EXISTING STEEL STRUCTURE OF OLD DAMAGED BRIDGE OVER SAVA IN BREŽICE FOR THE NEEDS OF REHABILITATION

dr. Leon Hladnik, univ. dipl. inž. grad.

leon.hladnik1@gmail.com

HIŠA, d. o. o. ,

Ukmarjeva ulica 4, 1000 Ljubljana

Strokovni članek

UDK 624.014.2:624.21.03(282)(497.4)

Povzetek | V prispevku je opisana izvedba alternativnega podpiranja in dvigovanja obstoječe jeklene konstrukcije poškodovanega mostu čez Savo za potrebe sanacije. Z dvigovanjem so se razbremenili poškodovani spodnji pasovi paličnega nosilca, kar je omogočilo njihovo postopno zamenjavo. Opisana je zasnova alternativne podporne konstrukcije brez podpiranja v strugi reke ter faznost izvedbe podpiranja, dvigovanja in sanacije. Podani so bistveni rezultati izvajanja monitoringa med podpiranjem in dvigovanjem ter izvedenim spustom po končani sanaciji.

Ključne besede: alternativno podpiranje, dotrajani elementi, jeklena konstrukcija, dvigovanje, sanacija, monitoring

Summary | The article describes the implementation of alternative support and lifting of the existing steel structure of the demanded bridge over the Sava River for the needs of rehabilitation. The lifting relieved the damaged lower beams of trusses, allowing them to be gradually replaced. The design of the alternative support structure without support in the river bed and the phasing of the support, lifting and rehabilitation are described. The main results of monitoring during support and lifting and the lowering performed after the completed rehabilitation are given.

Key words: alternative support, damage elements, steel construction, lifting, rehabilitation, monitoring

1 • UVOD

Jekleni most čez Savo v Brežicah (slika 1) je bil zgrajen leta 1907 po projektnih risbah iz leta 1905 (PROJ, 1905). Most sestavlja

dve jekleni prostoležeči palični konstrukciji z enakima statičnima razponoma 2 x 57,26 m, podprti z dvema krajnima in enim vmesnim

kamnitim opornikom. Predzadnja sanacija mostu je bila izvedena v letih 1991 in 1996, ko je bila izvedena tudi betonska voziščna plošča v spodnjem delu konstrukcije in preko moznikov povezana s sekundarnimi vzdolžnimi nosilci. Zaradi nadaljnjega poslabšanja korozijskih poškodb, predvsem spodnjega

dela jeklene konstrukcije (slika 2), se je v letu 2018 ponovno pristopilo k sanaciji. Za potrebe sanacije je bil izdelan PZI-načrt za sanacijo mostne konstrukcije (SPIT, 2017), v okviru katerega se je predvidelo, da se za potrebe sanacije in zamenjave poškodovanih elementov izvede podpiranje obstoječe konstrukcije s tal

v območju struge reke ob predhodni začasni preusmeritvi struge reke.

Ker je bilo predvideno, da se dela izvajajo tudi v zimskem in pomladanskem času, je bilo izvajalca RAFAEL, d. o. o., iz Sevnice strah, da bi se lahko voda v primeru večjih padavin nenadoma dvignila preko določenega nivoja

in bi odplaknila podporno jekleno konstrukcijo mosta v strugi, saj je Sava hudourniška reka. Zato smo pred pričetkom sanacije po naročilu izvajalca izdelali PZI-načrt alternativne variante podpiranja in dvigovanja obstoječe jeklene konstrukcije za potrebe sanacije (HIŠA, 2018). Sanacijska dela so potekala v letih 2018 in 2019.



Slika 1 • Most čez Savo v Brežicah.



Slika 2 • Korozijske poškodbe spodnjega dela konstrukcije.

2 • ALTERNATIVNA VARIANTA PODPIRANJA

2.1 Zasnova

Iz PZI-načrta sanacije (SPIT, 2017) je izhajalo, da je glede na stopnjo poškodovanosti glavnih nosilnih sklopov konstrukcije mostu le-te treba zamenjati, za kar pa je treba obstoječo konstrukcijo mostu v fazi poteka del začasno podpreti, dvigniti in s tem razbremeniti, tako da bodo dela na konstrukciji možna brez dodatnih ali naknadnih deformacij nosilnega sistema.

Polna razbremenitev konstrukcije, ki je namen začasnega podpiranja oz. dvigovanja konstrukcije v času poteka del, pomeni, da bo treba napetosti, ki so prisotne v nosilnih elementih konstrukcije zaradi lastne teže, stalnih obtežb in začasnih obtežb v času poteka del, v čim večji meri zmanjšati oziroma doseči njihovo zadostno izničenje.

Predvsem je bilo izničenje napetosti oziroma polna razbremenitev konstrukcije pomembna v spodnjem nateznem pasu, ki ga je bilo treba praktično v celoti zamenjati (slika 2). Če razbremenitev ne bi bila zadostna, bi po odstranitvi poškodovanih elementov lahko prišlo do dodatnih deformacij konstrukcije, kar bi lahko otežilo pravilno namestitve novih elementov in povzročilo

preveliko spremembo geometrije sanirane konstrukcije.

Kot alternativo osnovnemu predlogu, ki je predvidelo začasno izvedbo začasne podporne konstrukcije v strugi reke, smo predvideli izvedbo dodatne začasne samonosilne jeklene mostne podporne konstrukcije znotraj obstoječe konstrukcije (slika 3). Potem se je na obstoječo

konstrukcijo obesil še delovni oder (slika 3), ki je služil za delovno površino pri zamenjavi in sanaciji spodnje konstrukcije obstoječega mostu. Nato se je nova in obstoječa konstrukcija med seboj povezala z vešalkami tako, da je bil zagotovljen stalen razmik med novo in obstoječo konstrukcijo. Na podporno konstrukcijo se je nato vgradilo ustrezno število paraboličnih kablov za prednapenjanje (sliki 4 in 5). Nazadnje se je postopno napelo kable, s čimer smo dvignili podporno in s tem tudi obstoječo konstrukcijo do njene zadostne razbremenitve.



Slika 3 • Samonosilna začasna jeklena podpora konstrukcija znotraj obstoječe konstrukcije.



Slika 4 • Podporna konstrukcija v obstoječem mostu, kable za prednapenjanje in povezava med podporno konstrukcijo in konstrukcijo mostu.



Slika 5 • Podpiranje podporne konstrukcije in sidranje kablov.



Slika 6 • Odrez dela poškodovanega spodnjega pasu in vertikale.

V okviru sanacije so se z dvigom razbremenjeni poškodovani elementi odstranili (slika 6) in zamenjali z novimi (slika 7).

Po izvedeni sanaciji jeklene konstrukcije se je kable nadzorovano sprostilo, jeklena konstrukcija pa se je spustila v prvotno lego. Dodatna podporna konstrukcija se je nato prestavila v drugo polje.

Samo idejo za izvedeno alternativno podpiranje mosta v Brežicah smo dobili na podlagi v devetdesetih letih prejšnjega stoletja izvedenega projekta sanacije Kandijskega mostu preko reke Krke v Novem mestu, ki ga je načrtoval prof. dr. Franci Kržič iz Fakultete za gradbeništvo iz Ljubljane in pri katerem sem avtor tega članka kot študent sodeloval pri izvajanju meritev v času dviga in spusta konstrukcije. Naša rešitev se od njegove rešitve razlikuje v tem, da je kable za napenjanje napeljal po obstoječi konstrukciji, torej brez dodatne podporne konstrukcije. To si je lahko privoščil, saj je bila njegova konstrukcija brez spodnje betonske plošče. V našem primeru pa je bila v preteklosti izvedena spodnja betonska plošča povezana z mozniki z obstoječimi vzdolžnimi nosilci, ki dejansko deluje kot dodaten spodnji natezni pas. Spodnje betonske plošče si nismo upali odstraniti, to ni bilo niti predvideno z PZI-načrtom sanacije, saj se ni vedelo, ali bodo močno poškodovani jekleni spodnji pasovi brez te plošče sposobni prevzeti lastno težo konstrukcije.

2.2 Dodatna začasna podporna konstrukcija

Dodatna začasna podporna konstrukcija sestoji iz:

- palične prekladane konstrukcije osne širine 3 m in višine 1,5 m,
- podpor prekladne konstrukcije nad krajnimi prečniki obstoječe mostne konstrukcije (na eni strani je podpora nepomična, na drugi strani pa je podpora nihajna v vzdolžni smeri),
- vešalk, na katere se obesi obstoječa mostna konstrukcija in ki podpirajo kable za napenjanje,
- nosilcev sidrišč za prednapenjanje kablov in
- kablov za prednapenjanje.

Material dodatne podporne konstrukcije je bil S355J0. Teža celotne dodatne jeklene podporne konstrukcije je znašala 58 t.

Dodatno podporno konstrukcijo sestavljajo vroče valjani HEA- in HEB-profilirani ter vroče ali hladno valjane kvadratne cevi različnih presekov. Palična prekladna konstrukcija je bila sestavljena iz petih montažnih kosov,



Slika 7 • Spodnji pas po zamenjavi.

zvarjenih v delavnici, ki so se med seboj na montaži zvijačili.

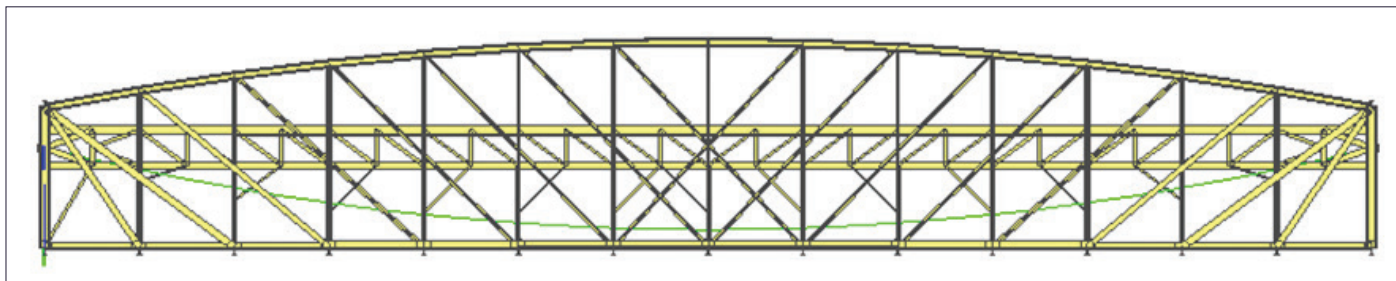
Dodatna podporna konstrukcija je bila konstruktivno nadvišana za velikost pomika zaradi lastne teže, in sicer 135 mm v sredini

razpona. Tako je montirana in na krajnih prečnih podprta palična prekladna konstrukcija po zaključku njene montaže in po namestitvi obešal in pred namestitvijo kablov ter pred izvedbo povezave z voziščno konstrukcijo ter

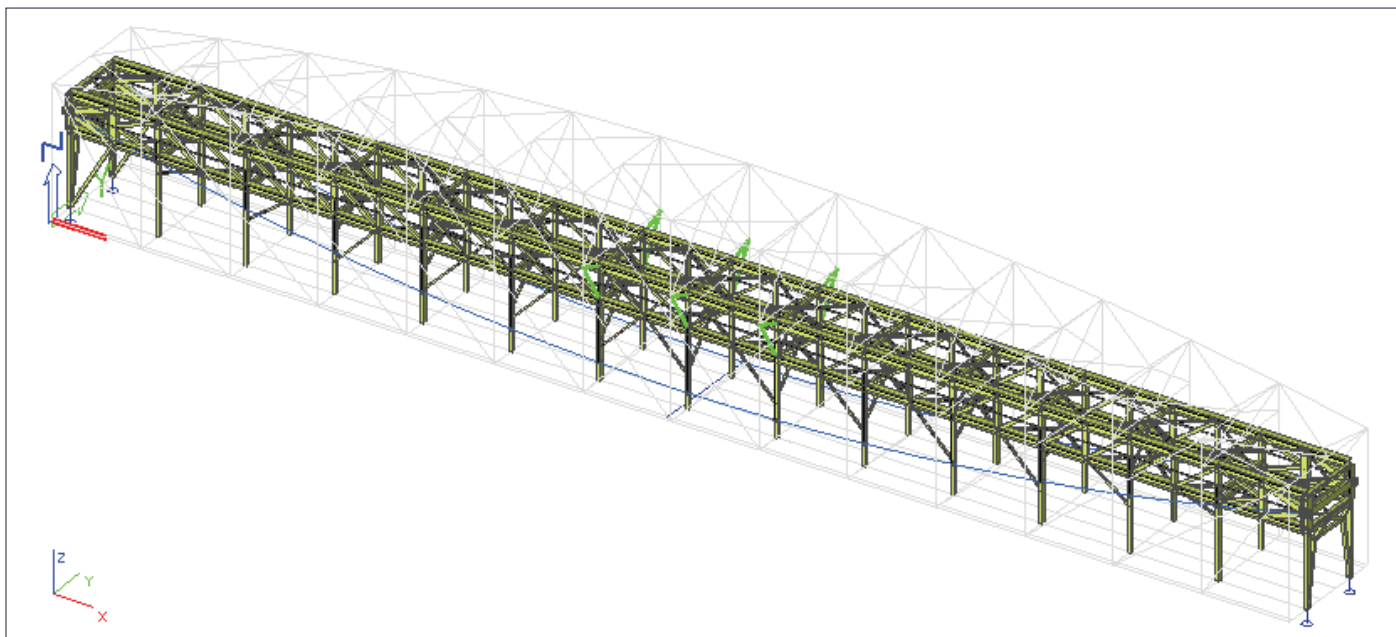
pred pričetkom napenjanja kablov bila praktično ravna.

Pri analizi na računskem modelu (sliki 8a in 8b) in določitvi elementov dodatne podporne konstrukcije so se upoštevala montažna stanja, kar pa je zahtevalo izračun notranjih statičnih količin po teoriji prvega reda (TPR). Elementi dodatne podporne konstrukcije so bili kontrolirani pri mejnem stanju nosilnosti (MSN). Analiza in kontrola elementov sta bili opravljeni v skladu z standardi Evrokod.

Zaradi velike tlačne osne sile v palični prekladni konstrukciji zaradi sile napenjanja kablov smo elemente dodatne podporne konstrukcije preverili tudi ob upoštevanju teorije drugega reda (TDR) in upoštevanju začetnih nepopolnosti. Obliko začetne nepopolnosti smo dobili z linearno stabilnostno analizo. Najmanjši izračunani obtežni kritični faktor v vrednosti 3,52 je pripadal globalni uklonski obliki, ki predstavlja uklon prekladne palične konstrukcije kot tlačnega stebra. Za velikost globalnih začetnih nepopolnosti smo privzeli velikost $L/200 = 57260/200 = 285$ mm.



Slika 8a • Računski model začasne podporne jeklene konstrukcije skupaj z obstoječo jekleno konstrukcijo mostu.



Slika 8b • Računski model začasne podporne jeklene konstrukcije.

Linearna stabilnostna analiza ne omogoča upoštevanja kablov in napanjanja kot pri analizi montažnih stanj, zato smo kable in silo prednapetja simulirali z nadomestno vertikalno in horizontalno obtežbo, ki smo jih dobili v okviru analize montažnih stanj za obtežni primer prednapenjanja.

V tej analizi smo predpostavili, da obstoječa mostna konstrukcija nima svoje togosti in predstavlja njena celotna teža obremenitev za dodatno podporno konstrukcijo. Lastno težo podporne jeklene konstrukcije, težo obstoječe mostne konstrukcije, težo odra in tehnološko obtežbo (predstavlja delavce, stroje in material pri sanaciji) smo upoštevali v nezgodni obtežni situaciji.

Ta model nam je služil tudi za določitev elementov zgornjega in spodnjega horizontalnega zavetrovanja prekladne palične konstrukcije ob upoštevanju delovanja obtežbe vetra pravokotno na prekladno konstrukcijo in izbočnih sil v tlačnih pasovih paličja.

2.3 Kable in sistem za prednapenjanje

Zaradi občutljivosti skupnega sistema za spreminjanje sile prednapetja, in ker se dejanska togost konstrukcije verjetno nekoliko razlikuje od računske, je izbrani sistem kablov in načina prednapenjanja omogočal fleksibilno donapenjanje ali popuščanje kablov.

Za prednapenjanje dodatne podporne konstrukcije in s tem dvig (nadvišanje) obstoječe konstrukcije sta se uporabila dva sistema kablov, in sicer na vsaki strani dodatne podporne konstrukcije po en sistem. Vsak sistem so štiri kable. Dva na zunanji strani paličnih nosilcev in dva na notranji strani paličnih nosilcev. Skupno se je torej uporabilo osem kablov. Vsak kabel je sestavljalo pet vrvi. Posamezna vrv je bila sestavljena iz 7 žic iz VV-jekla $f_{p0.1,k}/f_{pk}=1680/1860$ MPa, zunanji premer je 15,7 mm, prečni prerez vrvi je 1,5 cm². Posamezna vrv je bila vstavljena v PE-cev.

Posamezno vrv se je napenjala na 57 % nosilnosti vrvi, to je $0,57 \times 1860 = 1060$ MPa. Skupna projektna sila napenjanja mostu je znašala 6360 kN. Razpoložljiv preostanek napenjanja od 57 % do 70 % nosilnosti vrvi je služi za rezervo za morebitno dodatno napenjanje vrvi, kar pa se je med izvedbo izkazalo za nepotrebno.

Da bi v fazi napenjanja kablov zmanjšali vpliv ekscentričnosti sile napetja, so se kable napenjali postopoma in izmenično ter z obeh strani mostu. Kable so bili opremljeni z merilnimi dozami za merjenje sile v kablilih.

2.4 Potrebne ojačitve obstoječe konstrukcije

Na podlagi analize montažnih stanj je bilo ugotovljeno, da je treba nekatere elemente obstoječe jeklene mostne konstrukcije za potrebe dviga in izvedbe sanacije začasno ojačiti.

Obstoječe natezne diagonale obstoječega glavnega paličnega nosilca konstrukcije mostu (prvo, drugo in tretjo od ležišča proti sredini razpona), sestavljene iz dveh vzporednih pločevin brez povezave, ki nimajo uklonske



Slika 9 • Ojačitev nateznih diagonal (prvih treh) z lesom in jeklenimi sponami.



Slika 10 • Lokalni uklon pločvine natezne diagonale zaradi prezgodnje odstranitve lesene ojačitve.

odpornosti, je bilo treba uklonsko ojačiti. Ojačanje se je izvedlo s pomočjo lesenih elementov in jeklenih spon (slika 9).

Med samimi sanacijskimi deli se je zaradi trenutne nepazljivosti prekmalu odstranil del uklonske ojačitve (leseni elementi) v spodnjem delu ene od nateznih diagonal. Ker je pri dvigu konstrukcije prišlo do manjših tlačnih napetosti v pločevinah drugače nateznih diagonalah, se je neojačeni del pločevine diagonalne izklonil (slika 10). Zaradi velike vitkosti pločevine je prišlo do elastičnega uklona in je tudi po izklonu pločevina ostala v elastičnem področju, zato ni bilo težav pri njenem ravnanju. Takoj po ravnanju se je odstranjeni del lesene ojačitve ponovno vgradil do zaključka sanacije in spusta mostu.

Ker so bile stojine vmesnih prečnikov na mestu obešanja (vnos koncentrirane sile) precej korodirane, so se vse stojine vmesnih prečnikov dodatno ojačile z dovaritvijo obojestranskih ojačilnih profilov NPU160 S355J0 (slika 11), ki so se po zaključku sanacije odstranili.

Neobetonirani krajni prečnik na mestu podpiranja dodatne podporne konstrukcije se je zaradi vnosa koncentrirane sile v stojino prečnika ojačal z enostransko privarjenim ojačilnim profilom NPU220 S355J0, ki se je po zaključku sanacije odstranil (slika 12). Obbetoniranega krajnega prečnika (obrežna stran) zaradi vnosa koncentrirane sile ni bilo treba dodatno ojačevati. Oba krajna prečnika je bilo treba dodatno vertikalno podpreti na mestu podpiranja dodatne podporne konstrukcije. Dodatno podpiranje se je izvedlo z dodatnim ležiščem pod stebrom dodatne podporne konstrukcije na dodatno zabetoniranem betonskem bloku med krajnim prečnikom in kapo opornika (slika 12).



Slika 11 • Ojačitev vmesnih prečnikov na mestu obešanja.



Slika 12 • Ojačitev krajnega prečnika in dodatno podpiranje.

3 • FAZNOST IZVEDBE

Sanacija je potekala v več fazah od 4 do 10, opisanih v preglednici 1. Faze 1 do 3 predstavljajo obstoječe stanje pred pričetkom sanacije. Zamenjava spodnjih pasov paličja in pripadajočih vozlišč v fazi 8 (sliki 6 in 7) se je izvajala postopoma v več podfazah. V prvi podfazi najprej le na območju prečnika na sredini razpona, in sicer najprej na eni strani prečnika, nato še na drugi strani. V drugi podfazi je sledila sanacija na obeh sosednjih prečnikih, najprej na diagonalnih straneh (na enem prečniku gorvodno in na drugem prečniku dolvodno) in nato še na

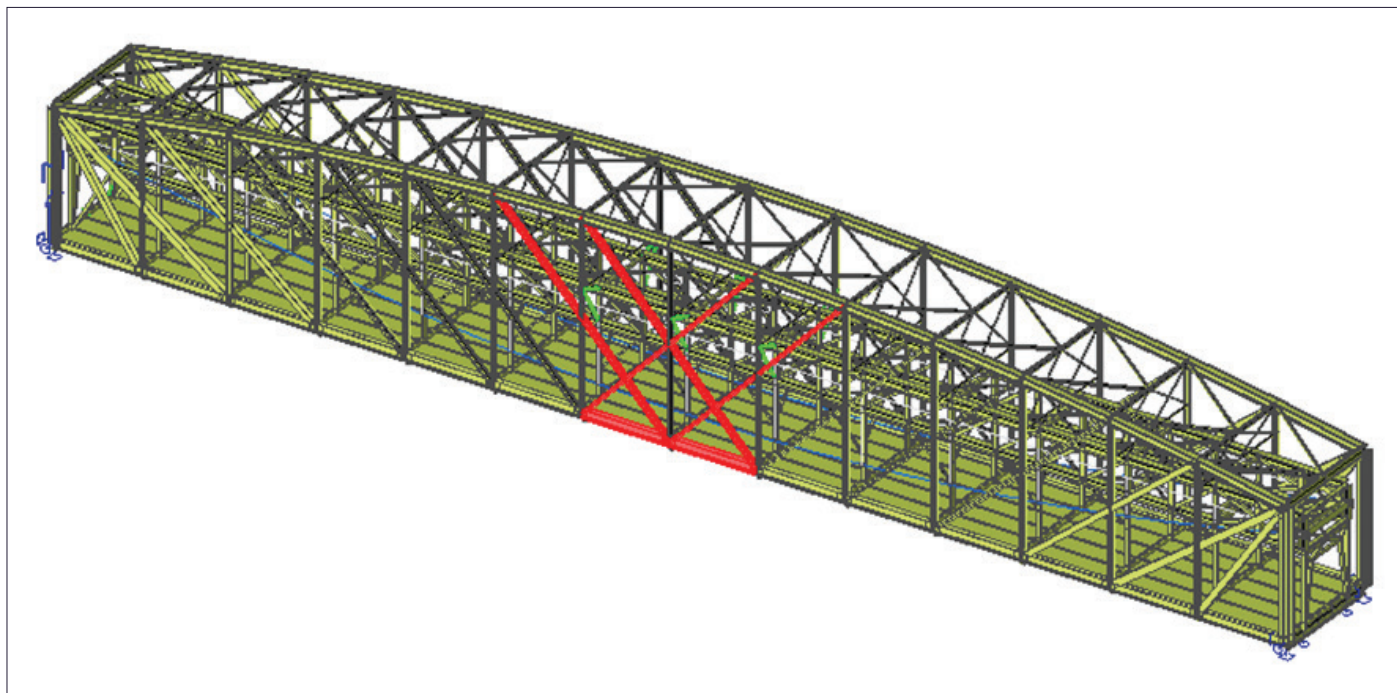
preostalih diagonalnih straneh. Na podoben način se je v ostalih podfazah izmenično nadaljevalo vse do krajnih prečnikov na obeh straneh mostu hkrati.

Na sliki 13 rdeči elementi računskega modela predstavljajo odstranjene elemente v prvi podfazi faze 8, to je odstranitev prvega vozlišča in dela spodnjega pasu. Odstranjeni elementi v vseh podfazah so bili računsko upoštevani v analizi montažnih stanj.

Računsko sta bili analizirani tudi dve hipotetični dodatni fazi montažnega stanja (fazi 11 in 12). Fazi sta bili namenjeni dodatni

kontroli in dimenzioniranju dodatne podporne konstrukcije v nezgodnem obtežnem slučaju. Pri tem smo predpostavili, da najprej odpovedo vsi spodnji pasovi in diagonale. Zaradi zmanjšanja togosti glavne konstrukcije pride posledično do dviga konstrukcije. Vsa obstoječa lastna teža konstrukcije deluje na prednapeto začasno podporno konstrukcijo. V nadaljevanju smo dodali še dodatno koristno obtežbo 250 kg/m² na AB-ploščo, ki predstavlja odstranjene elemente in montažno obtežbo na začasnem delovnem odru.

V preteklosti je bila na nepodprti jekleni konstrukciji naknadno zabetonirana AB-plošča. Zaradi povezave z mozniki med jeklenimi



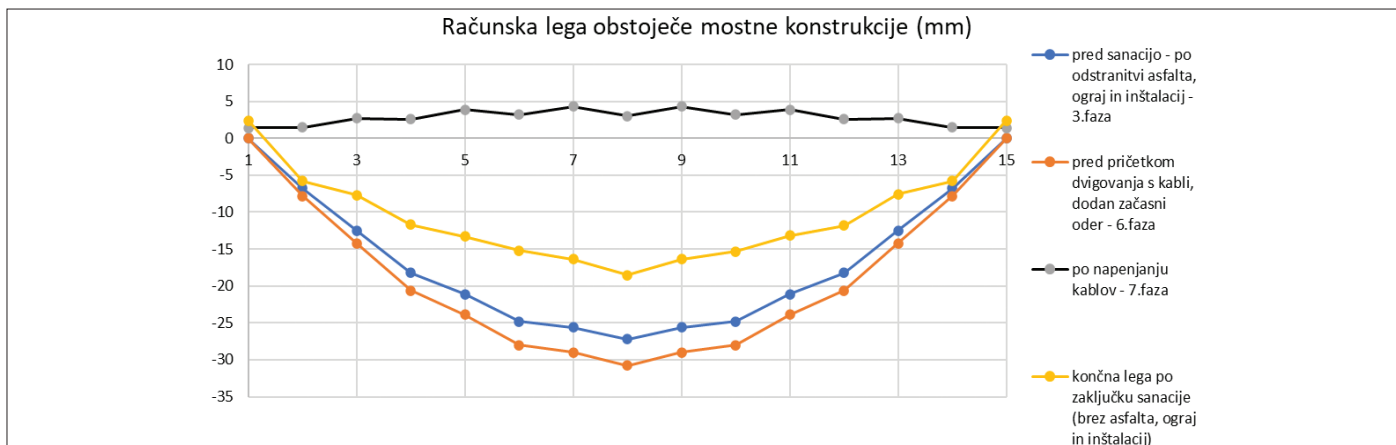
Slika 13 • Računski model z odstranjenimi elementi (rdeče obarvani) prve podfaze faze 8.

vzdolžnimi nosilci in AB-ploščo ta deluje kot dodatni natezni spodnji pas paličnih nosilcev. Z izvedenim dvigom konstrukcije tako nismo uspeli povsem razbremeniti spodnjih pasov paličnih nosilcev. Popolna razbremenitev spodnjih pasov bi zahtevala večje sile prednapenjanja in posledično tudi večji obseg ojačevanja obstoječe mostne konstrukcije ter močnejšo in težjo dodatno podporno konstrukcijo. V spodnjih nateznih pasovih paličja so po dvigu konstrukcije računsko ostale minimalne napetosti velikostnega reda 21 MPa. To je povzročilo malenkostne premike vozlišč ob odrezu elementa, ki se zamenja z novim. Pri dolžini odrezanega elementa v vrednosti $L = 2 \times 4090 \text{ mm}$ (odrez levo in desno od vozlišča) znaša računsko predvideni horizontalni pomik 0,82 mm. Zaradi lokalnega zmanjšanja togosti po odrezu poškodovanega elementa posledično pride tudi do malenkostnega dviga konstrukcije.

Računsko smo ocenili vpliv sanacije vozlišč in pasov na posamezni lokaciji na vertikalne deformacije. S seštevanjem razlik vertikalnih deformacij po posameznih saniranih vozliščih za posamezno podfazo faze 8 smo ugotovili, da bo predvidoma most po zaključku sanacije in sprostitvi vseh kablov in odstranitvi dodatne podporne konstrukcije do maksimalno ca. 9 mm višje (slika 14), kot je bil pred pričetkom sanacije.

faza	obdobje izvedbe	opis
1	pred sanacijo	Izvedba jeklene konstrukcije mosta.
2	pred sanacijo	Betoniranje betonske plošče na spodnjem delu konstrukcije.
3	pred sanacijo	Sovprežno delovanje betonske plošče in spodnjega dela jeklene konstrukcije po strditvi betona – med predzadnjo sanacijo vgrajeni moznički na sekundarnih vzdolžnikih, ki podpirajo betonsko ploščo. Namestitev asfalta.
4	sanacija	Izvedba nove dodatne podporne konstrukcije po odstranitvi asfalta.
5	sanacija	Namestitev začasnega delovnega odra pod prečnike – obešeni na spodnjo ploščo.
6	sanacija	Izvedba povezave med dodatno podporno konstrukcijo in obstoječo konstrukcijo – obešanje (podpiranje) prečnikov.
7	sanacija	Namestitev kablov in prednapetje kablov. Posledično dvig konstrukcije mostu in razbremenitev elementov palične konstrukcije.
8	sanacija	Postopna odstranitev (odrez) dotrajanih elementov spodnjega dela konstrukcije (spodnjih pasov palične konstrukcije) in namestitev novih elementov. Izvedba v več podfazah na posameznih prečnikih.
9	sanacija	Spuščanje kablov in posledično spuščanje mostne konstrukcije po celotni zamenjavi dotrajanih elementov.
10	sanacija	Namestitev novega asfalta in ostale opreme mostu.

Preglednica 1 • Faznost izvedbe.



Slika 14 • Računska lega mostne konstrukcije pred dvigom, med dvigom in po spustu.

4 • MONITORING V ČASU SANACIJE

4.1 Izvajanje monitoringa

Poleg izvedbe natančnega nivelmana stanja obstoječe konstrukcije za potrebe določitve ustreznega nadvišanja konstrukcije v fazi izvedbe sanacije, se je vse faze sanacije:

- odstranitev asfalta,
- vgradnja dodatne podporne konstrukcije,
- prednapenjanje s kabli – dvig mostne konstrukcije,
- izvedba sanacije,
- popuščanje kablov – spust mostne konstrukcije,

ustrezno spremljalo z meritvami.

Sistem prednapenjanja je omogočal stalno spremljanje napenjalne sile v kablih ves čas poteka sanacije.

Geodetsko se je merilo vertikalni (Z) in horizontalna pomika (X in Y) na vseh vertikalah (15 vertikal) gorvodno in dolvodno posamezne mostne konstrukcije. Merska mesta so bila nad voziščno konstrukcijo (slika 15), to je na delu vertikal, ki se niso odstranjevali.

Meritve relativnih napetosti (slika 16) so se izvajale s pomočjo merilnih lističev. Meritve so se izvajale na zgornjem in spodnjem pasu palične konstrukcije na sredini razpona konstrukcije. Na spodnjem pasu so se merile napetosti do njegove odstranitve. Napetosti so se merile tudi na krajnih diagonalah med krajno in prvo vertikalno.

Z induktivnimi merilci pomikov so se spremljali tudi vzdolžni pomiki pomičnih ležišč. Rezultati meritev so zbrani v poročilu, ki ga je pripravil izvajalec meritev podjetje ZAG iz Ljubljane ((ZAG, 2019a), (ZAG, 2019b), (ZAG, 2019c)).

4.2 Povzetek rezultatov monitoringa

Na slikah 17 in 18 je prikazana relativna lega levoobrežne in desnoobrežne mostne konstrukcije po izvedenem dvigu konstrukcije ter po spustu konstrukcije po izvedeni zamenjavi poškodovanih spodnjih pasov paličja. Izmer-

konstrukciji, kjer sta se gorvodna in dolvodna palična konstrukcija dvignili praktično enako. Pri levoobrežni konstrukciji pa se je dolvodna konstrukcija dvignila bolj kot gorvodna. To je verjetno posledica raznih nepopolnosti, ki so posledica izvedbe. Napenjalne sile so bile na gorvodni in dolvodni strani praktično enake. Razvidno je tudi, da je levoobrežna konstrukcija po spustu ostala v nekoliko nadvišani legi po celotnem razponu, kar je v skladu z



Slika 15 • Tarča za geodetske meritve pomikov na mestih vertikal.

jeni pomiki so prikazani posebej za gorvodni in posebej za dolvodni palični nosilec. Za primerjavo je prikazana tudi računska lega po izvedenem dvigu. V preglednici 2 pa so navedeni izmerjeni in računski pomiki na sredini razpona palične konstrukcije.

Razvidno je, da se izmerjeni in računski pomiki ob dvigu konstrukcije zelo dobro ujemajo. Nekoliko boljše je ujemanje pri desnoobrežni

našimi pričakovanji. Nekoliko drugače pa je pri desnoobrežni konstrukciji, kjer se je konstrukcija na levi strani praktično vrnila v svoje izhodišče, na desni strani pa je ostala nekoliko nadvišana. Razlike po našem mnenju lahko pripišemo razlikam pri obnašanju posamezne konstrukcije ob izvajanju posameznih podfaz zamenjave spodnjih pasov paličnih nosilcev. Ker nismo mogli z dvigom konstrukcije v celoti



Slika 16 • Zaščiteni merilni lističi za meritev napetosti na spodnji strani spodnjega pasu.

razbremeniti spodnjih pasov paličnih nosilcev, je prihajalo do različnih minimalnih pomikov konstrukcije na mestih odrezov poškodovanih elementov. Poleg tega pa vsaka izvedena konstrukcija vsebuje različne nepopolnosti, ki so posledica izdelave elementov in montaže na gradbišču.

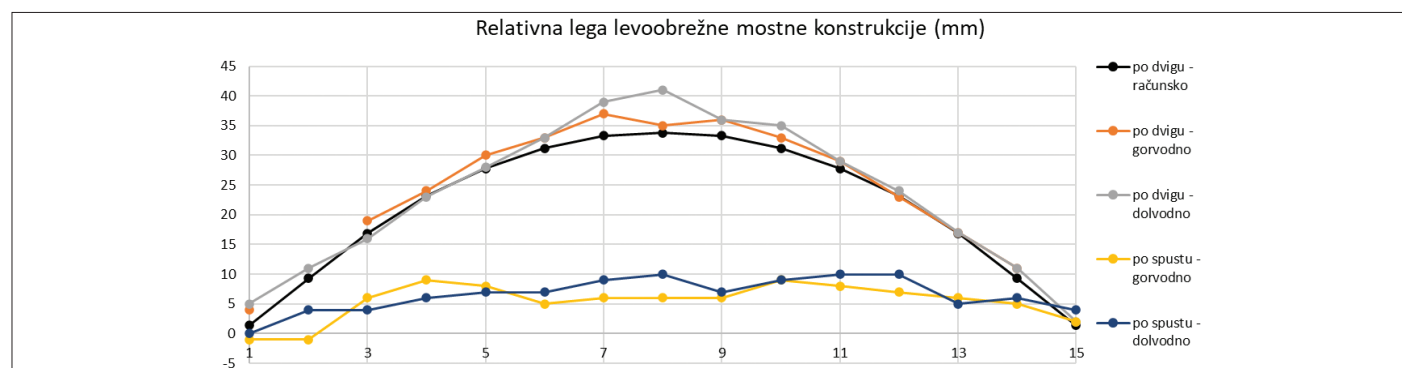
V preglednici 3 so prikazane izmerjene relativne napetosti zaradi dviga jeklene konstrukcije. Najbolje se izmerjene napetosti

ujemajo z računskimi na zgornjem pasu paličnega nosilca na sredini razpona. Izmerjene napetosti v krajnih diagonalah so manjše od računskih napetosti, kar lahko pripišemo dejstvu, da so bile krajne diagonale uklonsko ojačane z lesenimi elementi in jeklenimi sponami in je pri prevzemanju obremenitve sodeloval delni sovprežni presek sestavljen iz jeklenih pločevin in lesenih elementov, kar pa v računskem modelu

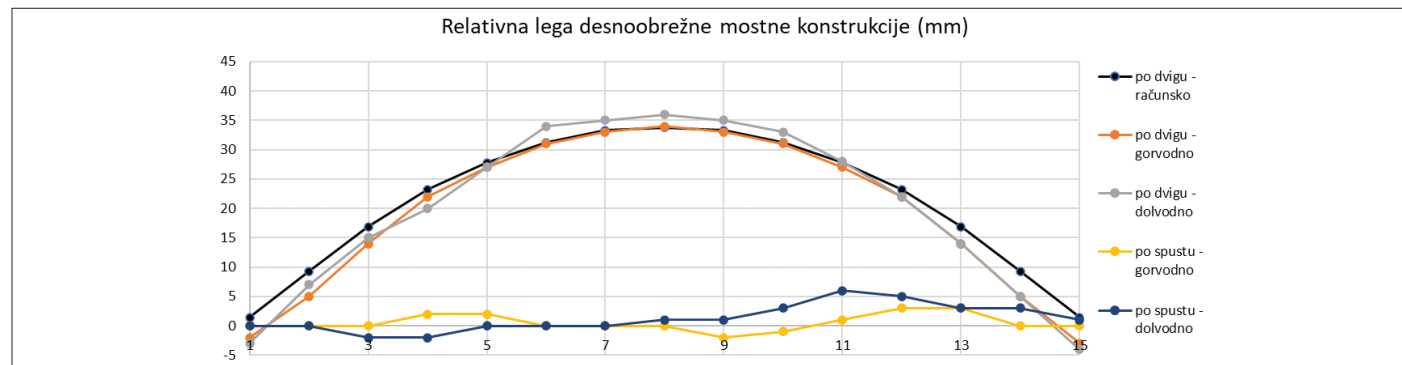
	Računski pomik	Izmerjeni pomik	Izmer./Račun.
	(mm)	(mm)	
Levoobrežna konstrukcija			
gorvodno	33,8	35	1,04
dolovodno		41	1,21
Desnoobrežna konstrukcija			
gorvodno	33,8	34	1,01
dolovodno		36	1,07

Preglednica 2 • Računski in izmerjeni pomiki na sredini razpona zaradi dviga konstrukcije.

nismo upoštevali. Najslabše je ujemanje pri spodnjem pasu paličnega nosilca na sredini razpona. Izmerjene napetosti so večje od računskih napetosti, kar pa verjetno lahko pripišemo dejstvu, da med betonsko ploščo in spodnjim pasom paličnih nosilcev ni bila vzpostavljena polna sovprežnost, kot je bila predpostavljena v računskem modelu. Ker so se izmerjeni in računski pomiki, ki opisujejo globalno obnašanje konstrukcije, zelo dobro ujeli in ker so računske in izmerjene napetosti glede na mejo plastičnosti materiala relativno majhne, razlikam med izmerjenimi in računskimi napetostmi nismo posvečali dodatne pozornosti.



Slika 17 • Relativni pomiki levoobrežne mostne konstrukcije po dvigu in spustu.



Slika 18 • Relativni pomiki desnoobrežne mostne konstrukcije po dvigu in spustu.

		Levoobrežna konstrukcij		Desnoobrežna konstrukcija	
+ nateg	Računske napetosti	Izmerjene napetosti	Izmer./Račun.	Izmerjene napetosti	Izmer./Račun.
	(MPa)	(MPa)		(MPa)	
Sredina razpona, zgornji pas paličja					
gorvodno	73	64	0,88	50	0,68
dolovodno	73	74	1,01	51	0,70
Sredina razpona, spodnji pas paličja					
gorvodno	-15	-26	1,75	-35	2,34
dolovodno	-15	-21	1,40	-53	3,50
Krajna diagonala prva stran					
gorvodno	-78	-29	0,37	-61	0,78
dolovodno	-78	-34	0,44	-34	0,43
Krajna diagonala druga stran					
gorvodno	-78	-33	0,42	-46	0,60
dolovodno	-78	-37	0,48	-54	0,69

Preglednica 3 • Računske in izmerjene napetosti zaradi dviga konstrukcije.

5 • ZAKLJUČEK

Iz prispevka je razvidno, da je bila izvedena varijanta alternativnega podpiranja in dvigovanja obstoječe jeklene konstrukcije poškodovanega

mostu čez Savo za potrebe sanacije ustrezno zasnovana in izvedena ter je omogočila uspešno zamenjavo poškodovanega spodnjega

pasu paličja po celotni dolžini obeh paličnih konstrukcij brez podpiranja v strugi reke. S pomočjo monitoringa se je v zadostni meri potrdilo ujemanje med računsko predvidenim in dejanskim globalnim obnašanjem konstrukcije med samim dvigom pred sanacijo in spustom konstrukcije po uspešno izvedeni sanaciji.

6 • ZAHVALA

Projektiranje tako zahtevnih rešitev, kot je ta, predstavljena v tem članku, je izrazito timsko delo, zato gre zahvala celotni projektantski ekipi v podjetju HIŠA, d. o. o. (Tomaž, Emil, Robert, Rok in Sergej). Zahvala pa tudi izvajalcu RAFAEL, d. o. o., ki je z doslednim upoštevanjem projektne rešitve in vseh navodil zagotovil uspešno izvedbo.

7 • LITERATURA

HIŠA, PZI Načrt gradbenih konstrukcij, Alternativna varianta podpiranja in dvigovanja obstoječe konstrukcije mostu, HIŠA d.o.o., Ljubljana, št. načrta: 118/18, avgust 2018, 2018.

PROJ, Osnovne risbe mostne konstrukcije, Eiserne strassenbruske uber die Save bei Rein, Lotien Gesellschafty PH. Waagner, 2257.9039.2.8.G.20 L48 0048, 1905.

SPIT, PZI Načrt gradbenih konstrukcij, Sanacija Mostu čez Savo v Brežicah, SPIT d.o.o., Nova Gorica, št. načrta: 153-15/16, september 2017, 2017. ZAG, Poročilo št. 1134/18-680-1 o izvedbi monitoringa med podpiranjem in dvigovanjem obstoječe konstrukcije Mostu čez Savo v Brežicah za potrebe sanacije, ZAG Ljubljana, Laboratorij za konstrukcije, 19.03.2019, 2019a.

ZAG, Končno poročilo št. 1134/18-680-2 o izvedbi monitoringa med podpiranjem in dvigovanjem obstoječe konstrukcije Mostu čez Savo v Brežicah (levoobrežna polovica mostu) za potrebe sanacije, ZAG Ljubljana, Laboratorij za konstrukcije, 19.12.2019, 2019b.

ZAG, Končno poročilo št. 1134/18-680-2 o izvedbi monitoringa med podpiranjem in dvigovanjem obstoječe konstrukcije Mostu čez Savo v Brežicah (desnoobrežna polovica mostu) za potrebe sanacije, ZAG Ljubljana, Laboratorij za konstrukcije, 19.12.2019, 2019c.