

Tomaž Weingerl, univ. dipl. inž. grad.
tomaz.weingerl@ponting.si



Dr.h.c Marjan Pipenbaher, univ. dipl. inž. grad.
marjan.pipenbaher@ponting.si
Ponting, d. o. o.,
Strossmayerjeva ulica 28, 2000 Maribor



Tatjana Gotovčević, univ. dipl. inž. grad.
tatjana.gotovcevic@pce.si



Aleš Filipič, univ. dipl. inž. grad.
ales.filipic@pce.si
Pipenbaher Consulting Engineers, d. o. o.,
Žolgarjeva ulica 4 a, 2310 Slovenska Bistrica



Strokovni članek
UDK/UDC 624.071.32:625.745.12(282)(497.4)

PRVI MOST, GRAJEN PO TEHNOLOGIJI NATEZNEGA TRAKU V SLOVENIJI

FIRST STRESS RIBBON BRIDGE IN SLOVENIA

Povzetek

V prispevku je prikazana zasnova in gradnja mostu za pešce in kolesarje čez reko Krko v Irči vasi. Gre za realizacijo prvonagrajene rešitve natečaja, ki ga je v letu 2017 izvedla Občina Novo mesto.

Most je zgrajen po tehnologiji nateznih trakov in je prvi izvedeni most tega tipa v Sloveniji. Širina mostu znaša 4 metre, debelina pohodne konstrukcije z razponom 131 metrov pa le 42 centimetrov. Za povečanje trajnosti konstrukcije so bili prvič na svetu uporabljeni kabli v zainjektiranih HDPE-ceveh. Tehnološko izredno zahtevna gradnja, pri kateri so bile uporabljene inovativne tehnološke rešitve, je trajala 20 mesecev in jo je izvedlo skupno podjetje JV CGP, d. d., in Freyssinet Adria, d. o. o.

Po končani gradnji sta bili izvedeni obremenilna preizkušnja s statičnimi in dinamičnimi obtežbami ter primerjava računskih in izmerjenih rezultatov obremenilne preizkušnje.

Gljučne besede: most, natezni trak, predizdelani elementi, geotehnična sidra, prednapenjanje, obremenilna preizkušnja

Summary

The article presents the design and construction of a footbridge over the Krka River at Irča vas. It is the realization of the winning proposal in the open competition organized by the Municipality of Novo mesto in 2017.

The bridge was built using Stress Ribbon Bridge technology and is the first bridge of this type built in Slovenia. The width of the bridge is 4 meters, the thickness of the deck, with a span of 131 meters, is only 42 centimeters. To increase the durability of the structure, tendons installed in grouted HDPE ducts were used for first time in the world. The technologically extremely demanding construction, implementing innovative technological solutions, lasted 20 months and was carried out by the joint venture JV CGP, d. d., and Freyssinet Adria, d. o. o.

After the completion of the construction, a load testing with static and dynamic loads was carried out and a comparison of the calculated and measured results was performed.

Key words: stress ribbon bridge, prefabricated elements, geotechnical anchors, prestressing, load testing

1 UVOD

V letu 2017 je Občina Novo mesto izvedla javni enostopenjski anonimni natečaj za izgradnjo mostu za pešce in kolesarje z dostopnimi kolesarskimi potmi, dostopne povezave do obvodnega nivoja, funkcionalne zelene površine, igrišča in počivališča.

Pravočasno je natečajne elaborate s ponodbami oddalo 13 kandidatov. Prvo nagrado je prejel natečajni elaborat s šifro 73182, natečajnika Ponting – Pipenbaher Consulting Engineers v sodelovanju z Jereb in Budja arhitekti.

V začetku junija, šest let po zmagi na natečaju, je bila uradna otvoritev mostu. Tehnološko izredno zahtevna gradnja je trajala 20 mesecev in jo je izvedlo skupno podjetje JV CGP, d. d., in Freyssinet Adria, d. o. o.

Most je zasnovan po tehnologiji natežnih trakov in je prvi most tega tipa, izveden v Sloveniji. Širina mostu znaša 4 metre, debelina pohodne konstrukcije z razponom 131 metrov pa le 42 centimetrov.

2 LOKACIJA IN ARHITEKTURNA ZASNOVA

Lokacija predvidenega mostu je v občutljivem naravnem okolju v območju razširjene struge in meandrov reke Krke. Pri oblikovni zasnovi mostu v popolnoma umirjenem naravnem ambientu zaščitene krajskega parka smo se držali načel, ki v največji možni meri ohranjajo kvaliteto arhitekture prostora.

Most je oblikovan po načelih minimalizma inženirske estetike, za katero je ključnega pomena razumevanje tehnične oblike v smislu poznavanja toka sil. Most z jasno določenimi nosilnimi sklopi deluje v konstruktorskem in oblikovnem smislu skrajno racionalno in lahko.



Slika 1. Fotografija mostu.

3 TEHNOLOGIJA NATEŽNIH TRAKOV

Pri mostovih, grajenih po tehnologiji natežnih trakov, je zelo tanka betonska konstrukcija položena na jeklene kabelske vrvi, ki potekajo v obliki verižnice. Sile iz natežnih trakov se preko opornikov in geotehničnih sider prenesejo v temeljna tla.

Tehnologija gradnje je neodvisna od terena pod konstrukcijo, zato so ti mostovi največkrat izvedeni preko globokih kanjonov in hudourniških rek, kjer je onemogočen dostop za izvedbo vmesnih podpor.

Prednost mostov, izvedenih po tehnologiji natežnih trakov, je njihova racionalnost, minimalni vpliv na okolje, hitra polmontažna gradnja in izvedba brez podpornega odra in opaža. Konstrukcija je visoke kvalitete, brez dilatacij in ležišč in potrebuje minimalno vzdrževanje.

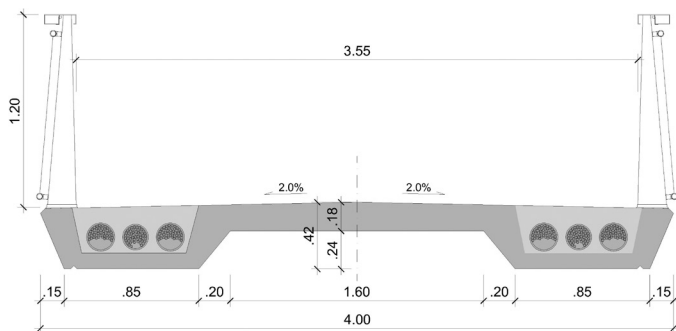
Na svetu je le nekaj deset mostov izvedenih s tehnologijo natežnih trakov s kabli znotraj betonskega prereza. Eden izmed prvih takšnih mostov je leta 1965 zgrajeni nadhod čez avtocesto v Švici [Structurae, 2018a] in cestni most v Urugvajju [Structurae, 2018b]. Med sodobnimi mostovi s kabli, ki potekajo znotraj betonskega prereza, ima rekordni razpon 150 m leta 1989 zgrajeni most v Bolgariji in leta 2008 zgrajeni most v Južni Afriki. Most v Novem mestu je z razponom 131 m četrti na svetu.

4 OPIS KONSTRUKCIJSKE ZASNOVE MOSTU

Novi most je lociran na krajinsko izpostavljeni lokaciji in premošča reko Krko z razponom dolžine 131 m. Tlorisno poteka v premi s strešnim prečnim padcem 2,0 %. V vertikalni ravnini poteka v plitkem konkavnem radiju, katerega naklon se po dolžini spreminja od -6,0 % do +6,0 %, z najnižjo točko ca. 8 m nad gladino reke. Na levem in desnem bregu se most zaključuje z opornikoma, preko katerih je zagotovljen zvezen prehod z mostu na okoliški teren.

4.1 Prečni prerez

Betonski predizdelani elementi so širine 4,0 m in dolžine 2,4 m. Debelina elementov se v prečni smeri spreminja od 42 cm na robu do 18 cm v srednjem delu. Uporabna širina mostu med ograjama je 3,50 m. Pohodna konstrukcija je izvedena iz betona kvalitete C45/55.



Slika 2. Prečni prezek mostu (dimenzije v metrih).

4.2 Podporna konstrukcija in temeljenje

Natezne sile iz nosilnih prednapetih kablov so prevzete z geotehničnimi sidri in opornikom, ki sta temeljena na vodnjakih. Opornik 1 je globoko temeljen na vodnjaku elipsastega prečnega prereza 4,90 / 7,00 m in globine 19,0 m, ki je z 52 sidri dolžine do 40,0 m sidran v kamninsko podlago. Opornik 2 je globoko temeljen na vodnjaku elipsastega prečnega prereza 3,80 / 5,00 m, globine 10,0 m, ki je sidran z 22 sidri dolžine do 20,5 m kompaktno kamninsko podlago.

4.3 Prednapenjanje

V prečnem prerezu je 6 kablov, sestavljenih iz 47 oziroma 55 vrvi preseka 150 mm², kvalitete Y 1860 S7-16,0-A, z nizko stop-

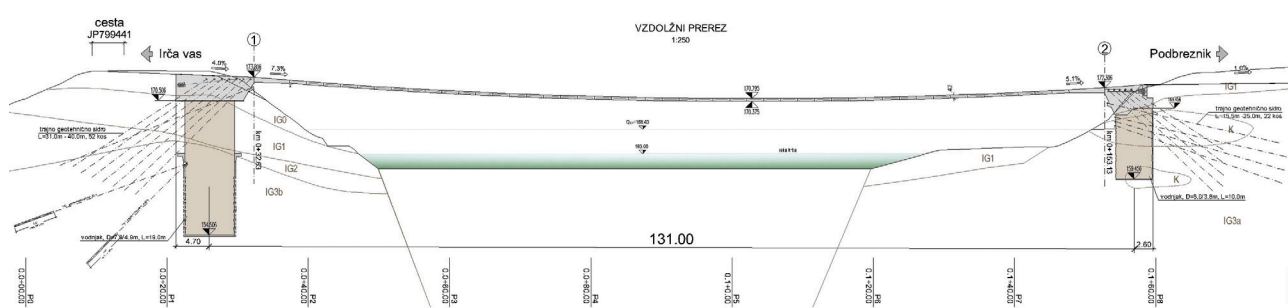
njo relaksacije. Od tega je v prvi fazi, za montažo elementov napetih 4 x 47 vrvi, v drugi fazi pa je za zagotovitev potrebne togosti in zagotavljanja tlakov v prerezu konstrukcije napetih 2 x 55 vrvi.

V glavnem so se pri do sedaj zgrajenih mostovih po tehnologiji natezних trakov uporabljale pocinkane kabelske vrvi, po katerih se je betonske elemente vleklo do končne pozicije. Pri tem je prihajalo do poškodb antikorozijske zaščite kabelskih žic. Po pozicioniranju elementov so se jeklene vrvi v betonskih koritih zabetonirale po klasičnem postopku, kar predstavlja močno vprašljivo rešitev z vidika zagotavljanja trajnosti.

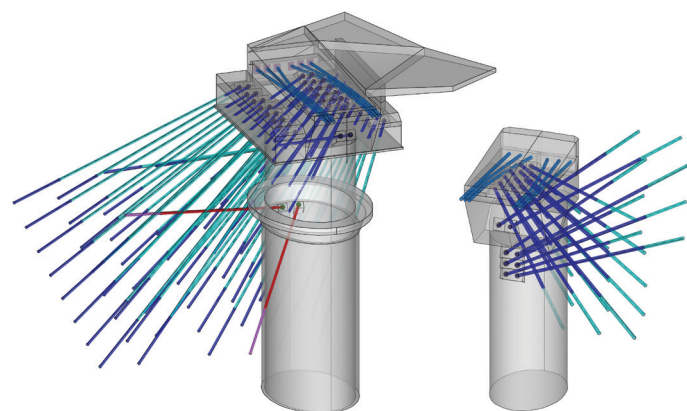
Izkušnje z že zgrajenimi tovrstnimi mostovi so pokazale, da je za njihovo trajnost ključna trajna zaščita kabelskih žic. Zaradi povedanega smo kabelske vrvi položili v zaščitne cevi HDPE (High Density Polyethylene), ki se jih po končani gradnji za-injektira, tako da je zagotovljena visoka antikorozijska zaščita jeklenih vrvi in s tem povezana dolgoročna nosilnost in trajnost objekta.

4.4 Geotehnična sidra

Vgrajenih je 74 trajnih geotehničnih sider, sestavljenih iz 7 pramenov 0,62" ($A_t = 1050 \text{ mm}^2$), s kvaliteto jekla za napenjanje St 1660/1860. Sidra so dolžin 15,5 do 40,0 m in so izvedena v naklonih 13° do 45°. Dolžina veznega dela sider znaša 6,0 m.



Slika 3. Vzdolžni prezek mostu (dimenzije v metrih).



Slika 4. 3D-model opornikov s potekom kablov za prednapenjanje in razpletom geotehničnih sider.

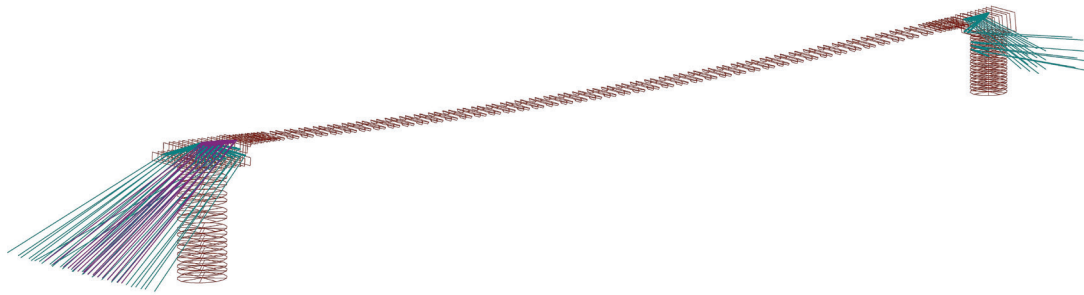
5 ANALIZA KONSTRUKCIJE

Statična in dinamična analiza mostu je bila izvedena na prostorskem modelu z grednimi in lupinastimi elementi, neodvisno, z dvema različnima programskima paketoma Bentley - RM Bridge [Bentley - RM Bridge, 2018] in SOFISTI_K [SOFISTI_K, 2018].

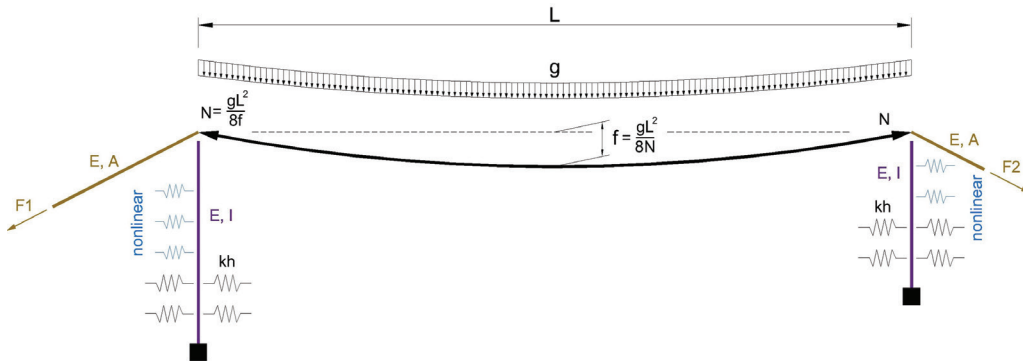
Nelinearna analiza po teoriji III. reda je zajemala 37 gradbenih faz ob upoštevanju časovno odvisnih deformacij zaradi krčenja in lezenja betona ter velike deformabilnosti konstrukcije.

5.1 Dinamična analiza – kontrola vibracij

Mostovi za pešce so podvrženi vibracijam in drugim dinamičnim obremenitvam, povzročeni zaradi hoje in tekanja pešcev. Zaradi dinamične obtežbe pešcev obstaja potencialna nevarnost za prekomerno nihanje mostov.



Slika 5. Računalniški model mosta: prostorski 3D-model iz prizmatičnih grednih elementov.



Slika 6. Shema statičnega modela konstrukcije.

Dinamična obtežba vetra za most ni problematična saj je razmeroma težka betonska pohodna konstrukcija tanka in široka plošča z majhno čelno površino aerodinamične oblike, ki onemogoča tvorbo večjih vrtincev in posledično vibracij (VIV – Vortex induced vibration).

Preverjeni so bili maksimalni pospeški konstrukcije za kritične nihajne oblike (med 0,5 in 2,3 Hz) po spektralni metodi [Heinemeyer, 2009]. Prav tako smo izvedli tudi časovno odvisno analizo ob upoštevanju dinamičnih obremenitev zaradi:

- hoje skupine pešcev pri prehodu čez most

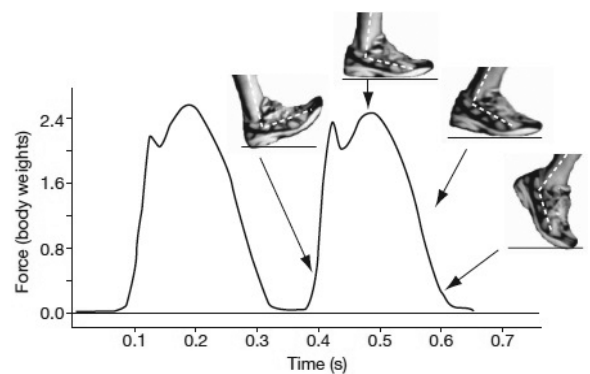
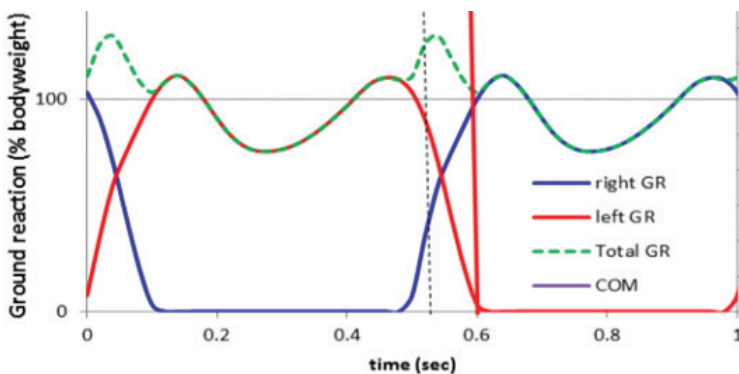
Upoštevana je bila skupina 75 pešcev posamezne teže 80 kg, ki prečkajo most. Pešči sinhrono korakajo s frekvenco 0,5 Hz in se čez most pomikajo s hitrostjo 1,2 m/s. Upoštevana je ekscentričnost dinamične obtežbe v prečni smeri glede na realne možne postavitve obtežbe.

tričnost dinamične obtežbe v prečni smeri glede na realne možne postavitve obtežbe.

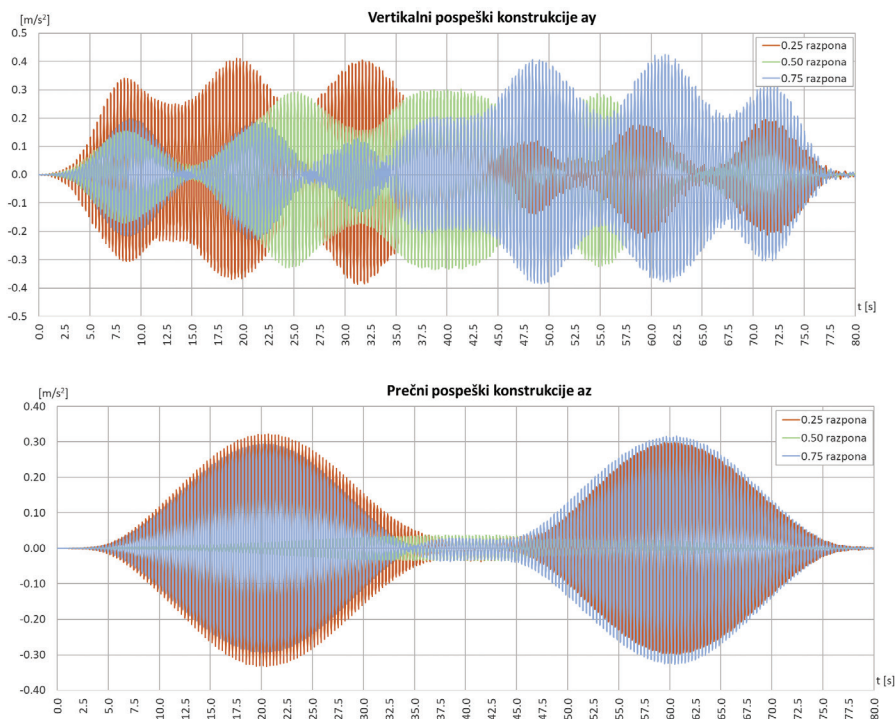
- teka skupine tekačev čez most

Upoštevana je bila skupina 60 tekačev posamezne teže 80 kg, ki prečka most. Čez most se pomikajo s hitrostjo 2,4 m/s in sinhrono korakajo s frekvenco 0,33 Hz. Upoštevana je ekscentričnost dinamične obtežbe v prečni smeri glede na realne možne postavitve obtežbe.

Rezultati časovno odvisne analize so pokazali, da je konstrukcija pri hoji pešcev čez most v prvem razredu udobnosti [Heinemeyer, 2009]. Pri prečno ekscentrični obtežbi tekačev s sinhronim vzbujanjem konstrukcije vzdolž celotnega mosta pa bi deli pohodne konstrukcije nihali s prečnim pospeškom do 0,3 m/s², pri čemer bi konstrukcija dosegla drugi razred udobnosti [Heinemeyer, 2009].



Slika 7. Faktor vertikalne obtežbe na podlago pri hoji [Wwrichard, 2018] in pri teku [ResearchGate, 2018].



Slika 8. Vertikalni in prečni pospeški konstrukcije pri ekscentričnem teku čez most [Ponting – Pipenbaher Consulting Engineers, 2020].

6 GRADNJA

Vodnjak opornika 1 je bilo treba izvesti na lokaciji obcestnega nasipa, ki je grajen iz gline, zaglinjenega gruščja, blokov apnenca in pomešan z gradbenimi odpadki. Pretr in zakrasel apnenec in dolomitiziran apnenec, ki predstavlja hribinsko podlago na obravnavanem območju, se je po geoloških raziskavah nahajal na globini 10 do 12 m.

V višini nasipa se je izvedel široki odkop školjkaste oblike, ki se je varoval s pasivnimi sidri in betonsko oblogo. Sledil je vertikalni izkop po kampadah, ki so se sproti varovale z monolitnimi AB-prstani. Med izkopom vodnjaka se je pokazalo, da se kompaktna hribinska podlaga nahaja 1,5 do 2,5 m globlje od predvidene, zato je bilo treba vodnjak poglobiti s 16,0 m na 19,0 m.



Slika 9. Pogled na torkretiran izkop vodnjaka 1.



Slika 10. Pogled na izkop vodnjaka 2.

Na območju opornika 2 je strma brežina prekrita z deluvialno rjavo glino različne debeline. Ponekod na brežini apnenec izdanja na površje. S projektom je bilo predvideno, da je vodnjak do vrha vpet v siv in dolomitiziran apnenec, vendar je zaradi preperle in zaglinjene kamnine že v začetni fazi izkopa na srednji strani vodnjaka odpadla skala višine 2,0 m in globine 3,0 m. Za zagotavljanje lokalne stabilnosti podpore 2 je bilo treba dodati 9 geotehničnih sider in dodatno armaturo vodnjaka.

Pred izkopom zadnje kampade obeh vodnjakov je bilo potrebno zelo zahtevno in precizno miniranje (globina vodnjaka, dostop z vrtnim strojem, zagotavljanje oblike vodnjaka, minimalni vpliv na okoliško nosilno hribino).

Armiranje in betoniranje vodnjakov se je izvedlo klasično v slojih višine 2,5 do 4,0 m. V zgornjih slojih vodnjakov so se med polaganjem armature natančno pozicionirale opažne cevi, ki so kasneje služile za usmeritev, vrтанje in vgrajevanje geotehničnih sider.

Glede na geometrijo opornika, dispozicijo sider, razpoložljivi delovni prostor ter dimenzije in »okornost« razpoložljivega stroja za vrтанje sider je bilo potrebnih precej prilagoditev in

nepredvidenih delovnih faz, da je bilo vrтанje sploh izvedljivo. Vrтанje, vgrajevanje in napenjanje sider se je na oporniku 1 izvajalo v dveh fazah, in sicer najprej 32 sider spodnjega nivoja in nato 20 sider v zgornjem nivoju. Na oporniku 2 se je vseh 22 sider napelo v eni fazi. V postopku napenjanja geotehničnih sider so se na vseh sidrih izvedli odobritveni preizkusi, pri čemer se je vsako sidro najprej napelo na 1406 kN in se za tem zaklinilo na silo med 900 in 1050 kN. Na vsakem oporniku sta



Slika 11. Armatura dna vodnjaka 1.



Slika 12. Opažne cevi v zgornjem sloju vodnjaka 1.



Slika 13. Vrтанje sider opornika 1.



Slika 14. Vrтанje sider opornika 2.



Slika 15. Napenjanje sider spodnjega nivoja opornika 1.

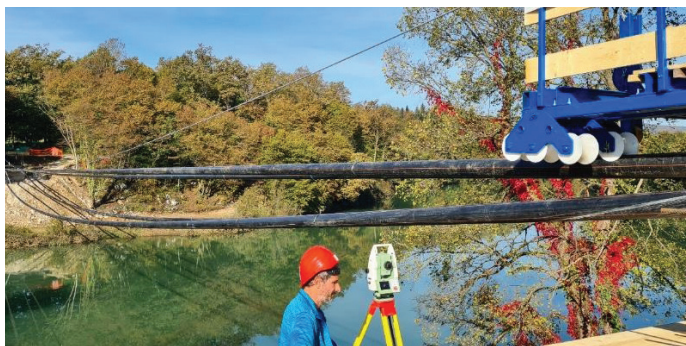


Slika 16. Pogled na že napeta sidra drugega nivoja opornika 1.

se vgradili po dve merski sidri z oddajniki, ki omogočajo oddaljeno spremljanje sil v sidrih.

Po prvi fazi napenjanja geotehničnih sider spodnjega nivoja opornika so se do konca izvedli konstrukcijski deli opornikov, v katere so se vgradili kabske glave, kabske cevi, kabski deviatorji ter pomožna oprema za montažo kablov zgornjega nivoja opornikov.

V fazi montaže kablov se je čez Krko najprej napela ena kabska vrv, ki se je na koncih zasidrala v opornika. Na to vrv so se nato s pomočjo objemk obešale posamezne HDPE-cevi, v katere so se vstavljale kabske vrvi. Glede na prerez HDPE-cevi in veliko število vrvi je bilo treba vrvi skozi cev speljati vzporedno brez prepletanja od ene kabske glave do druge, ki sta med seboj oddaljeni več kot 140 m. Za izvedbo tega je moral izvajalec Freyssinet Adria, d. o. o., izdelati poseben »čolniček«, ki je usmerjal kabske vrvi in preprečeval njihovo prepletanje med uvlačenjem. Izvedla se je montaža štirih gladkih HDPE-cevi, v katere se je uvleklo po 47 kabskih vrvi. Napenjanje kablov se je izvajalo z napenjanjem vseh kabskih vrvi sočasno, pri čemer se je vsak kabel napel s silo 6600 kN. Poves kablov se je z začetnih 3 m zmanjšal na 17 cm. Med napenjanjem kablov sta se opornika premaknila 5 do 7 mm proti reki, kar je ca. 15 % manj od rezultatov, dobljenih z računsko analizo.



Slika 17. HDPE-cevi v fazi napenjanja kablov.

Že naslednji dan se je izvedlo napenjanje geotehničnih sider drugega nivoja opornikov, dva dni za tem pa se je pričela montaža predizdelanih elementov.

Izvajalec je začel izdelavo betonskih elementov v svojem obratu že kmalu po začetku gradnje, tako da so bili v času montaže ti stari že 6 do 10 mesecev, s čimer se je do takrat polovica krčenja betona že izvršila. Treba je bilo izdelati 44 tipskih elementov teže 4,3 t in dva krajna elementa teže 6,0 t. Elementi so bili zabetonirani v jeklenem opažu iz betona C45/55 in so armirani z armaturo B500B. Debelina betona, 2,4 m dolgega in 4,0 m širokega predizdelanega betonskega elementa, je lokalno samo 10 do 20 cm.

Za montažo elementov je moral izvajalec poiskati novo tehnološko rešitev, saj pri tem tipu mostov do sedaj na svetu še niso bili uporabljeni kabli v zainjektiranih HDPE-ceveh. V ta namen je zasnoval specialni pomični voziček, na katerega se je obešal



Slika 18. Predizdelani betonski element.

po en element. Elementi so se z vozičkom dvigovali direktno s kamiona in po HDPE-ceveh prepeljali na končno pozicijo, kjer so se povezali s predhodnim segmentom. Voziček z osmimi seti treh plastičnih koles je elemente prevažal po kabskih HDPE-ceveh brez poškodb cevi. Montaža elementov je trajala samo 5 dni.

Po montaži vseh elementov se je v utore elementov pričelo polaganje armature in rebastih HDPE-cevi, ki so služile za napenjanje kablov druge faze. Po zabetoniranju dveh glavnih



Slika 19. Montaža z vlečenjem elementov po vrveh [Stráský, 2023].



Slika 20. Montaža elementov s specialnim vozičkom.

vzdolžnih kanalov, prečnih utorov med elementi ter zgornjih delov opornikov je postala konstrukcija monolitno povezana.

Po montaži elementov je poves konstrukcije znašal 152 cm in se je med betoniranjem vzdolžnih kanalov in prečnih utorov povečal na 208 cm, kar je bilo tudi računsko predvideno.

Sledilo je uvlačenje 2 x 55 kablskih vrvi v rebrasti HDPE-cevi in napanjanje kablov 2. faze, ki so se napeli na silo 8500 kN. Skupna sila v vseh kablkih znaša 44.000 kN (4.400 t). Z napanjanjem kablov druge faze so se v prerez pohodne konstrukcije vnesli tlaki, tako da v fazi uporabe v konstrukciji ne prihaja do nategov. Poves konstrukcije po napanjanju in injektiranju kablov druge faze je znašal računsko predvidenih 170 cm.

Letos spomladi se je pričela izvajati finalizacija objekta, v sklopu katere sta se izvedla epoksidni protidrski premaz pohodne površine ter ograja iz nerjavečega jekla z vgrajeno linijsko LED-razsvetljavo. Poleg tega so se izvedli tudi na dostopne kolesarske poti, ureditev okolice ter majhen trg z razglednim balkonom ob mostu.

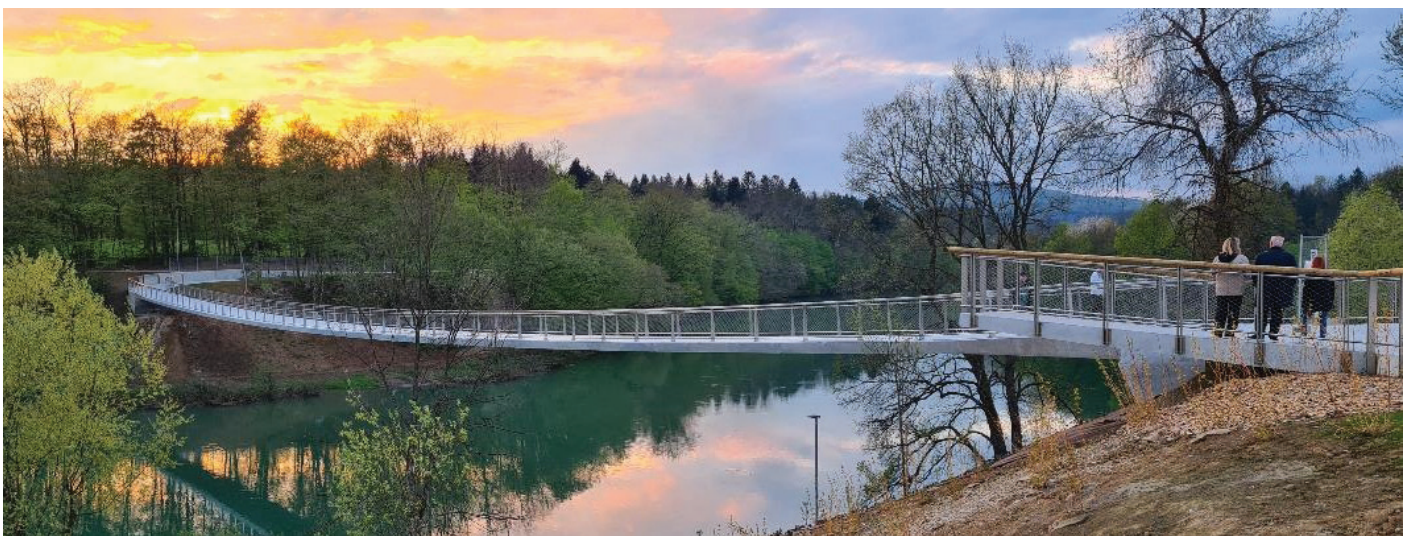
Med gradnjo mostu je bilo potrebnih kar nekaj sprememb, ki pa smo jih skupaj z izvajalcem uspešno sprotno reševali: zaradi (ne)razpoložljive mehanizacije je izvajalec spremenil način izvedbe izkopa vodnjaka 1. Med izkopom obeh vodnjakov se je pokazala nepredvidljivost temeljenja v kraškem svetu, zaradi česar je bila potrebna poglobitev vodnjaka 1 ter dodatna armatura in dodatna sidra na podpori 2. Po izbiri dobavitelja sider se je prilagodil premer opažnih cevi v vodnjakih. Med vrtnjem sider opornika 1 se je v eni od vrtin zlomil vrtalni drog, ki ga ni bilo možno izvleči in tudi posledično izvesti sidra. S tem so se ustrezno korigirale sile zakliranja preostalih sider opornika 1. Prav tako je prišlo do loma vrtalnega drogovja med vrtnjem sidra na oporniku 2, kjer se je posledično izvedlo sidro krajše dolžine. S projektom predvidena kablaska rebrasta HDPE-cev ni bila več v proizvodnji. V edino primerno rebrasto HDPE-cev, ki jo je bilo možno dobiti, pa je bilo zaradi manjšega premera zelo težko uvleči 55 kablskih vrvi.



Slika 21. Betoniranje utorov prefabriciranih elementov.



Slika 22. Napanjanje kablov 2. faze z napanjalko CC1500.



Slika 23. Pogled na končan most.

7 OBREMENILNA PREIZKUŠNJA

V začetku marca 2023 je bila izvedena obremenilna preizkušnja, ki jo je izvedel dr. Andrej Štrukelj, profesor na Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru v sodelovanju z Zavodom za Gradbeništvo Sloveni-

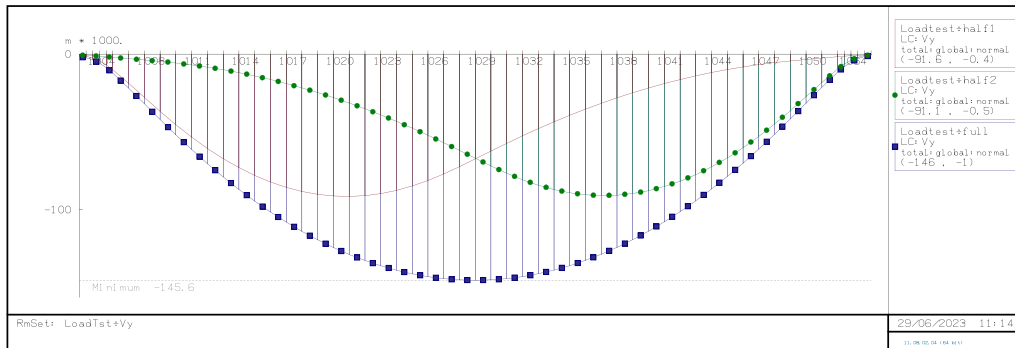
je [Štrukelj, 2023]. Izvajale so se statične in dinamične obremenitve pohodne konstrukcije z vozili teže med 3,4 in 4,2 t. Pri maksimalni obremenitvi je bilo uporabljenih 18 vozil skupne mase 70,4 t, kar predstavlja približno 60 % projektne obtežbe mostu. Med različnimi postavitvami vozil so se z geodetsko spremljavo izvajale meritve vertikalnih pomikov



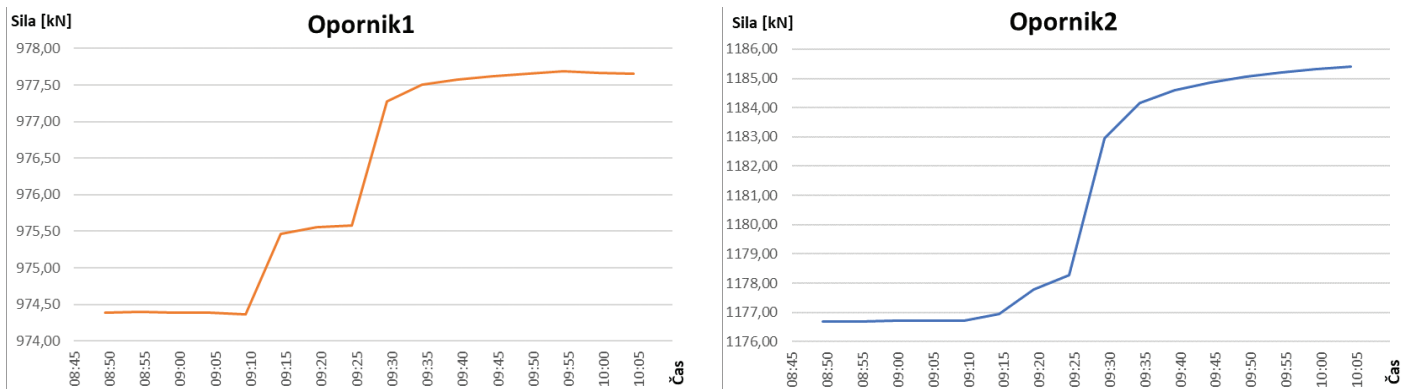
Slika 24. Trajne in začasne merilne naprave nameščene na konstrukcijo.



Slika 25. Maksimalna obremenitev z 18 vozili med obremenilno preizkušnjo.



Slika 26. Vertikalni pomiki konstrukcije med računsko simulacijo obremenilne preizkušnje (maks. 145 mm).



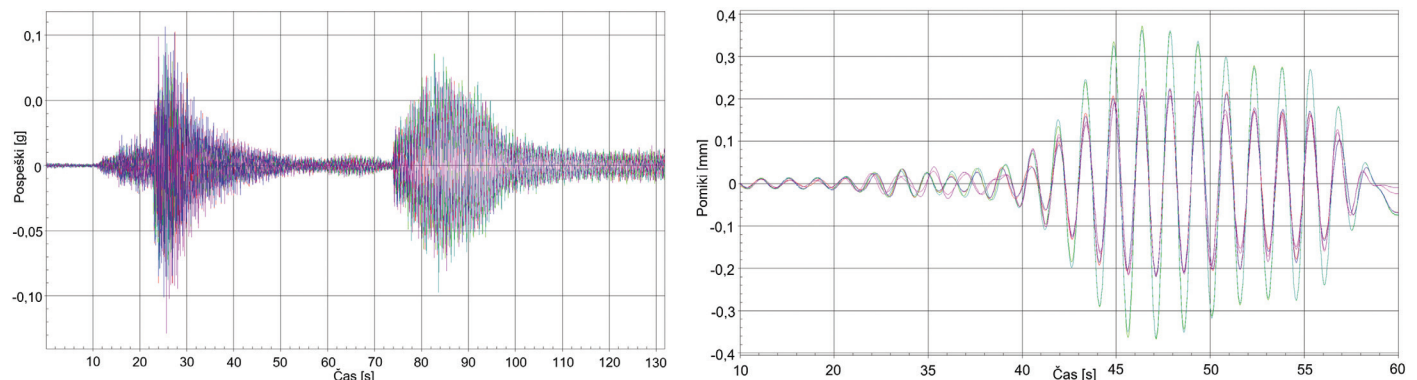
Slika 27. Odčitane sile v merskih sidrih med obremenilno preizkušnjo.

pohodne konstrukcije in horizontalnih pomikov opornikov. Z digitalnimi inklinometri so se merili zasuki opornikov. Z merilnimi celicami, ki so vgrajene v merskih sidrih so se z daljinskim odčitavanjem podatkov beležile sile v merskih sidrih.

Dinamično vzbujanje konstrukcije je bilo povzročeno z vožnjo enega vozila preko 4 lesenih gred, ki so bile položene na enakih medsebojnih razdaljah na površini voziščne konstrukcije.

zap. št.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
identificirane lastne frekvence [Hz]	0,6592	-	0,9766	1,4893	1,8799	-	2,6855	-	3,3691	-
računske lastne frekvence [Hz]	0,7001	0,9868	1,0882	1,6637	1,7989	2,2683	2,6353	2,9172	3,3794	3,6121

Preglednica 1. Primerjava identificiranih lastnih frekvenc z računsko določenimi [Štrukelj, 2023].



Slika 28. Izmerjeni pospeški (levo) in pomiki (desno) na sredini razpona pri vožnji vozila čez most med dinamično obremenilno preizkušnjo [Štrukelj, 2023].

Pod razpansko konstrukcijo so na četrтинah razpona trajno vgrajeni trije pari pospeškomerov. V času obremenilne preizkušnje pa so se na konstrukcijo namestili še dodatni pospeškomeri, s katerimi je bilo možno spremljati pospeške konstrukcije na več mestih. Med vožnjo vozila preko ovir so se merili vertikalni in prečni pospeški konstrukcije. Iz rezultatov meritev so se naknadno identificirale tudi lastne frekvence in dušenje konstrukcije.

Primerjava rezultatov računske analize z rezultati meritev je pokazala zelo dobro ujemanje oziroma so bili vsi izmerjeni pomiki do 10 % manjši od računskih. Razlike v rezultatih tega velikostnega razreda so se pojavljale že med gradnjo, kar je posledica dejanske vpetosti vodnjakov v hribino, ki je večja od računske. Prav tako so se iz meritev identificirane lastne frekvence zelo dobro ujemale z računsko določenimi frekvencami.

8 SKLEP

Izvajalec se je s svojo tehnično pripravo dobro pripravil na gradnjo in preučil vse gradbene faze ter izvedel tehnološko zahtevno in v nekaterih segmentih inovativno gradnjo prvega mostu z nateznimi trakovi v Sloveniji.

Most je izveden zelo kvalitetno in bo z minimalnimi stroški vzdrževanja povezoval prebivalce mesta z gozdom na nasprotnem bregu Krke.

Most, ki kot tanka črta prečka reko, se s svojo naravno obliko verižnice lepo vklaplja v naravni ambient gozda, reke in obrečnega prostora. Izjemen občutek in razgled med hojo po mostu sta presešla vsa pričakovanja, ki so se porajala v zadnjih šestih letih.

9 LITERATURA

Bentley - RM Bridge, Bentley Systems, Incorporated 685 Stoc-ton Drive, Exton, PA 19341, United States, 2018.

Heinemeyer, C., Butz, C., Keil, A., Schlaich, M., Goldack, A., Tro-meter, S., Lukić, M., Chabrolin, B., Lemaire, A., Martin, P., Cunha, Á., Caetano, E., Design of Lightweight Footbridges for Human Induced Vibrations. Luxembourg, Office for Official Publicati-ons of the European Communities, spletna stran: JRC Publica-tions Repository - <https://publications.jrc.ec.europa.eu/reposit-ory/handle/JRC53442>, 2009.

Ponting - Pipenbaher Consulting Engineers, Brv in kolesarska pot Irča vas, Projektna dokumentacija PONTING 544/2019-PZI, 2020.

ResearchGate, spletna stran: The Impact of load carriage on the biomechanical and physiological responses to shod and unshod running - https://www.researchgate.net/publicati-on/264695039_The_Impact_of_load_carriage_on_the_bio-mechanical_and_physiological_responses_to_shod_and_un-shod_running, 2018.

Stráský, Hustý a partneři s.r.o., spletna stran: Bridge across the Rogue River - <https://www.shp.eu/en/projects/bridge-across-the-rogue-river/63>, 2023.

Structurae, spletna stran: Puente Leonel Viera - <https://structu-rae.net/en/structures/puente-leonel-viera>, 2018a.

Structurae, spletna stran: Birchweid Footbridge - <https://struc-turae.net/en/structures/birchweid-footbridge>, 2018b.

SOFISTIK, SOFISTIK AG, Flataustr. 14, 90411 Nurmberg, 2018.

Štrukelj, A., Poročilo o obremenilni preizkušnji brvi za pešce in kolesarje - Irča vas, št. 07-2023-AS, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, 2023.

Wwrichard, spletna stran: Which bump does what? - <https://wwrichard.net/2013/04/25/which-bump-does-what/>, 2018.



Slika 29. Nočna razsvetljava mostu.