

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

leon.hladnik1@gmail.com

HIŠA, d. o. o.,

Ukmarjeva ulica 4, 1000 Ljubljana



Strokovni članek

UDK 006:624.014.2:625.142(497.4Ljubljana)

SANACIJA SIDRANJA KRAJNIM OPORNIKOV ŽELEZNIŠKEGA NADVOZA NA DUNAJSKI CESTI V LJUBLJANI

ANCHORAGE REPAIR OF THE END SUPPORTS OF THE RAILWAY OVERPASS ON DUNAJSKA STREET IN LJUBLJANA

Povzetek

V prispevku je opisana v letu 2020 izvedena sanacija sidranja krajin opornikov železniškega nadvoza na Dunajski cesti v Ljubljani. V okviru rednih pregledov konstrukcije nadvoza se je ugotovilo, da so na več mestih pretrgane sidrne palice sidrišč na krajin opornikih glavne konstrukcije. Od izvedbe mostne konstrukcije v letu 1962 pa do sanacije sidranja v letu 2020 je bila sanacija pretrganih sider enkrat pred letom 1987 že opravljena, a so se potem sidra ponovno pretrgala.

Ključne besede: sanacija, ležišča, pretrgana sidra, utrujanje materiala, jeklena konstrukcija

Summary

The article describes the 2020 rehabilitation of anchoring on the end supports of the railway overpass on Dunajska Street in Ljubljana. As part of regular inspections of the underpass structure, it was found that the anchor rods of the anchorages on the end supports of the main structure had broken in several places. From the construction of the bridge structure in 1962 to the rehabilitation of anchoring in 2020, the repair of broken anchors was carried out once before 1987, but then the anchors were broken again.

Key words: rehabilitation, bearings, broken anchors, material fatigue, steel structure

1 UVOD

Jekleni železniški podvoz na Dunajski cesti v Ljubljani (slika 1) je bil zgrajen leta 1962 po projektni dokumentaciji, ki jo je izdelala Metalna iz Maribora ([Metalna, 1962a], [Metalna, 1962b], [IMK, 1962]). Je ena najbolj obremenjenih premostitvenih konstrukcij v slovenskem železniškem omrežju. Nosilna konstrukcija nadvoza je v statičnem smislu okvirna konstrukcija preko treh polj razponov 8,8+25,0+8,8 m. Prekladno konstrukcijo sestavljajo štirje sovprežni nosilci, podporno konstrukcijo pa tvorijo vmesni jekleni stebri in betonska masivna opornika, v katera je sidrana prekladna konstrukcija (slike 2a in 2b). Čez nadvoz potekajo štirje tiri. Vsak tir ima svojo gramozno gredo, podprto z betonsko ploščo sovprežnega nosilca prekladne konstrukcije. Betonska plošča je zabetonirana na spodnje pasnice glavnih jeklenih zvarjenih nosilcev. Vsak od štirih glavnih nosilcev ima dve stojini s pripadajočima spodnjima in zgornjima pasnicama. Z mozniki je zagotovljeno sovprežno delovanje spodnje betonske plošče in jeklenih nosilcev. Na vsakem krajnem oporniku je celotna prekladna jeklena konstrukcija sidrana s po šestnajstimi sidri premera 64 mm, to je dve sidri na eno stojino glavnih nosilcev. Prekladna konstrukcija je sidrana v krajne opornike, ker se zaradi neugodnega razmerja glavnega in krajnih razponov na opornikih pojavijo natezne reakcije, ki jih prevzamemo s sidri.

V okviru rednih pregledov konstrukcije nadvoza [ZAG, 2010] se je v preteklosti ugotovilo, da so na več mestih sidrne palice pretrgane.

V letu 2020 se je opravila sanacija sidranja v skladu z izdelanim Izvedbenim načrtom sanacije sidranja [Razpon, 2016].



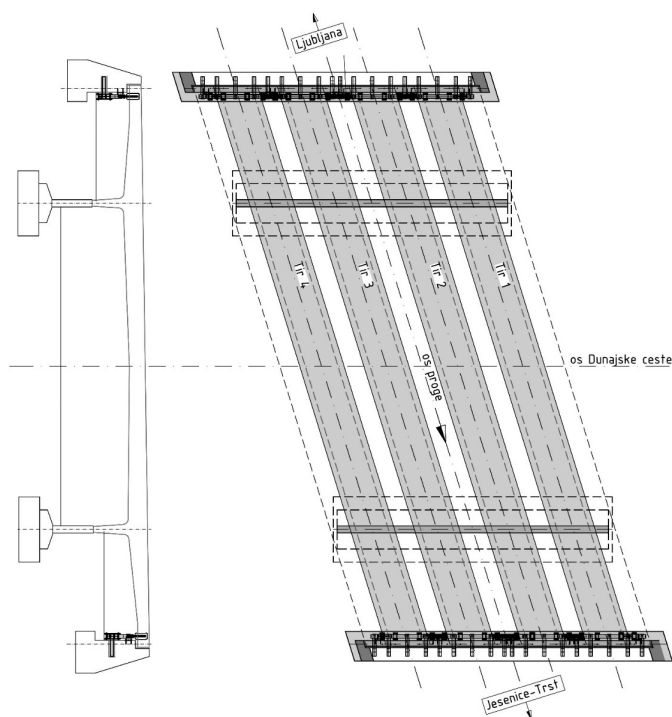
Slika 1. Najpogostejši makroelementi z računskimi modeli.

2 OPIS PROBLEMATKE SIDRANJA PRED IZVEBO SANACIJE

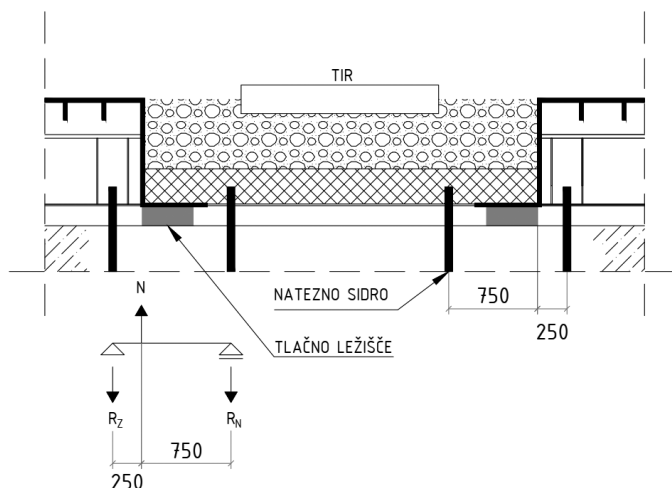
2.1 Ugotovitve pregleda konstrukcije

Pri izdelavi Izvedbenega načrta [Razpon, 2016] je bil opravljen dodatni vizualni pregled objekta, v okviru katerega

je bilo ugotovljeno, da so na več mestih pretrgane sidrne palice, ki prevzemajo natezne reakcije in posledično preprečujejo vertikalni dvig krajnih polj na lokaciji krajnih opornikov. Sidra so se pretrgala v območju navoja tik pod spodnjo matico (slike 3a, 3b in 3c). Pretrgana sidra so se opazila na obeh krajnih opornikih, in sicer po tri na vsaki strani, in to pri nosilcih, ki podpirajo tira 1 in 2. Na strani Ljubljane so pretrgane 1- in 4-sidrna palica (tir 1) ter 8-sidrna palica (tir 2). Na strani Sežane so pretrgane 1- in 4-sidrna palica (tir 1) ter 5-sidrna palica (tir 2). Pri ostalih sidrih se pretrga ni opazilo, kar pa ne pomeni, da morebiti niso nastale razpoke po delu prereza



Slika 2a. Zasnova nadvoza (z novim sistemom sidranja).



Slika 2b. Shematični prikaz obstoječega sistema sidranja enega glavnega nosilca.



Slika 3a. Pretrgana sidra.



Slika 3b. Pretrgana sidra.



Slika 3c. Pretrgana sidra.

tudi pri teh sidrih. Glede na videz preloma sklepamo, da gre za krhek lom, ki je lahko posledica utrujanja materiala [TÜV, 2016] ali napak pri izdelavi sider in vrezovanju ali valjanju navojev oziroma kombinacije naštetega. Opažena pretrgana sidra so v območju tirov 1 in 2, ki sta tudi prometno najbolj obremenjena (smer proti Primorski oziroma Gorenjski). Pri tem je treba opozoriti, da sidrne palice, ki segajo v gramozno gredo (vsaka druga), zaradi nedostopnosti ni bilo mogoče pregledati.

2.2 Ugotovitve pregleda obstoječe dokumentacije

Iz projektne dokumentacije ([Metalna, 1962a], [Metalna, 1962b]) je razvidno, da je pri statičnem računu konstrukcije nadvoza upoštevana prometna obtežna shema J-24,5/8 po takrat veljavnih jugoslovanskih predpisih in standardih. Sile na posamezna sidra so bile določene ob predpostavki, da vsa sidra, s katerimi je sidran glavni nosilec posameznega tira, enakomerno prejemajo obremenitev, ki pripada enemu tiru. Projektirana kvaliteta in kontrola nosilnosti sider iz projektne dokumentacije nista razvidni. Glavni nosilec, ki podpira posamezni tir, ima dve stojini, med njima pa je betonska plošča, podprta s spodnjim pasnicami nosilcev, na kateri ležita gramozna greda in tir. Ob vsaki stojini sta dve sidri, eno na zunanji strani stojine in eno na notranji strani stojine (slika 2b). Skupno so torej štiri sidra za en tir. Ker pa je zunanje sidro bližje stojini (245 mm oddaljeno od stojine) kot notranje (755 mm oddaljeno od stojine), je dejansko tudi bolj obremenjeno (preglednica 1), in sicer za ca. 1,5-krat ($212/141=1,5$), kot notranje, in predpostavka o enakomerni obremenjenosti sider ne drži. Vrednost 141 kN pomeni izvlečno silo na eno sidro zaradi prometne obtežbe (obtežna shema J-24,5/8) ob predpostavki, da vsa sidra prevzamejo izvlečno silo, ki pripada enemu tiru, enakomerno. Vrednost 212 kN pa je izvlečna sila zunanjega bolj obremenjenega sidra ob upoštevanju dejanskega odmika zunanjega in notranjega sidra od stojine nosilca, kjer deluje dvizna sila (prečna sila v stojini), ki se preko krajnega prečnega nosilca prenaša na sidra.

Iz raziskav [ZRMK, 1987], ki so bile opravljene leta 1987, je razvidno, da ima material obstoječih sidrskih palic premera 64 mm natezno trdnost od 683 do 703 MPa ter da zaradi visoke vsebnosti ogljika (ca. 0,5 %) ni primeren za varjenje. To pomeni, da se ne bi smela uporabiti za sidranje obstoječega mostu, saj je njihova povezava s pločevinami, ki segajo do sidrnega nosilca na dnu masivnega betonskega krajnega opornika, izvedena prav z varjenjem.

Iz dokumentacije ([CIP 1987a], [CIP 1987b]), ki jo je izdelal CIP Saobračajni Institut iz Beograda v letu 1987, je razvidno, da so bila nekatera sidra pretrgana že pred letom 1987 in je bil izdelan idejni projekt sanacije sidranja [CIP, 1987b], ki je predvidel zamenjavo zgornjega dela sider z enakimi novimi z lokalnim razkopavanjem betonskega opornika v območju sider. V razpoložljivi dokumentaciji nismo našli nobenih dokumentov, ki bi se nanašali oziroma dokazovali, da je bila sanacija sidranja po letu 1987 dejansko že izvedena.

Obtežna shema J-24,5/8	Nominalni premer sider 2r	Računska površina sider na mestu navoja $A_s = 0.8 \times A$	Obremenitev sider	Napetosti v sidrih $\Delta\sigma_p$	Pričakovana pro- jektna življenjska doba sider DI
	mm	cm ²	kN	kN/cm ²	v letih
Obstoječa sidra Enakomeren odmik sider od stojine.	64	25,7	141	5,48	16 let
Obstoječa sidra Upoštevan dejanski odmik sider od stojine.	64	25,7	212	8,25	2 leti
Nova sidra 4 sidra v sklopu.	4x56	4x19,7=78,8	242	3,07	več kot 50 let

Preglednica 1. Natezna obremenitve sider in pričakovana projektna življenjska doba.

Da je po letu 1987 dejansko prišlo do sanacije (zamenjave) pred letom 1987 pretrganih sider, sklepamo na podlagi v nadaljevanju navedenega:

- Iz dokumenta [CIP, 1987a] iz leta 1987 je razvidna slika enega pretrganega sidra, kjer je sidro pretrgano, ocenjeno vsaj 200 mm, pod navojem oz. maticami izven območja navojev. Pri pregledu v letu 2016 so vsi razvidni pretrgi tik pod matico oz. v območju navojev.
- Posredno nam je bila posredovana ustna informacija, ki naj bi bila podana s strani enega od predstavnikov SŽ iz leta 1987, da je bila opravljena zamenjava pretrganih sider.
- V poročilu o pregledu mostu iz leta 2001 [IMK, 2001] ni nikjer navedeno, da bi pri tem pregledu opazili pretrgana sidra. Poročilo o pregledu mostu iz leta 2010 [ZAG, 2010] pa govori o pretrganih sidrih.

2.3 Kontrolni statični račun in kontrola utrujanja

V okviru opravljenega kontrolnega statičnega računa smo ugotovili, da obstoječa sidra ustrezajo za mejno stanje nosilnosti (MSN) tudi ob dejstvu, da dejansko niso enakomerno obremenjena.

Na podlagi izvedene kontrole utrujanja obstoječih sider po današnjih predpisih in standardih ([SIST, 2005a], [SIST, 2005b]) smo ugotovili, da ta niso ustrezna glede utrujanja materiala za pričakovano oz. že za dejansko doseženo projektno življenjsko dobo mostu (most je bil v letu izdelave Izvedbenega načrta sanacije star 54 let). Kontrola utrujanja in groba ocena projektne življenjske dobe sider je bila izvedena ob uporabi enačb (1), (2) in (3). Enačba (3), s katero je zajet vpliv življenjske dobe, je povzeta po literaturi [Taras, 2010]. Pri tem smo upoštevali izračunane obremenitve na natezna sidra zaradi obtežne sheme J-24,5/8, ki je bila upoštevana pri projektiranju konstrukcije. Grobo ocenjena projektna življenjska doba obstoječih sider tako znaša od 2 leti za upoštevanje obremenitve sider, izhajajoč iz dejanskega odmika sider od stojine glavnih nosilcev, do 16 let ob upoštevanju predpostavljene enakomerne obremenitve sider in je razvidna iz preglednice 1. Razlike napetosti zaradi spreminjajočega se vpliva prometne obtežbe so prevelike glede na Kategorijo detajla utrujanja 50 [SIST, 2005a], ki pripada natezno obremenjenim vijakom oziroma navojnim palicam.

Pri tem se je treba zavedati, da opravljena kontrola utrujanja (namenjena projektiranju novih mostov) v sodobnih predpisih (Evrokod) ne daje točnega odgovora glede pričakovane življenjske dobe jeklenih elementov oziroma njihovih detajlov, ampak nam je bolj v pomoč pri izbiri/konstruiranju ustreznih detajlov oz. dimenzij elementov, da bo dejanska življenjska doba mostu ob ustreznem vzdrževanju enaka ali večja od projektne (pričakovane).

Za točnejšo kontrolo utrujanja oziroma točnejšo določitev pričakovane življenjske dobe elementov in detajlov obstoječe jeklene konstrukcije bi bilo treba zagotoviti podatke o zgodovini obremenjevanja, pričakovanem letnem pretovoru in pričakovanih osnih obremenitvah.

Glede na obliko preloma obstoječih sider in glede na rezultate kontrole utrujanja menimo, da so se obstoječa sidra pretrgala zaradi utrujanja materiala.

Kontrola utrujanja je bila narejena na podlagi naslednje enačbe:

$$\gamma_{FF} \times \lambda \times \phi_2 \times \Delta\sigma_p \leq \Delta\sigma_c / \gamma_{MF} \quad (1)$$

$$\lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \lambda_4 \quad (2)$$

$$\lambda_3 = \left(\frac{DI}{100}\right)^{1/5} \quad (3)$$

V okviru kontrole utrujanja smo upoštevali naslednje parametre:

- parcialni varnosti faktorji $\gamma_{FF} = \gamma_{MF} = 1,0$
- dinamični faktor $\phi_2 = 1,35$ pri razponu krajnega polja $L_B = 8,35$ m
- vrsta prometa EC_{mix} , $\lambda_1 = 0,9$ pri razponu krajnega polja $L_B = 8,35$ m
- letni pretovor $1,5 \times 10^6$ ton/tir/leto, $\lambda_2 = 0,9$
- vpliv sosednjih tirov, $\lambda_4 = 1,0$
- kategorija detajla 50 (5 kN/cm²), $k_s = \left(\frac{30}{2 \times r}\right)^{0,25}$, $\Delta\sigma_c = k_s \times 5$ (kN/cm²)
- DI – projektna življenjska doba v letih

V času projektiranja in izvedbe mostu (1960–1962) sta sicer obstajali določeno znanje in zavedanje o problematiki utrujanja jeklenih konstrukcij, vendar takratni predpisi, pravilniki in standardi niso eksplicitno zahtevali kontrole utrujanja elementov in detajlov konstrukcije.

Ker so glavni nosilci povezani med seboj s prečnim nosilcem nad krajnimi in vmesnimi podporami, so sosednja sidra sodelovala pri prevzemanju nateznih obremenitev sider ob obremenitvah posameznega glavnega nosilca. Posledično je po pretrgu prvega sidra zaradi togosti prečnika prišlo do prerazporeditev obremenitev na sosednja sidra in zaradi tega ni bilo velikih pomikov v srednjem polju prekladnega nosilca oziroma dviga nosilca na krajnih opornikih. To bi se lahko zgodilo, če bi odpovedala vsa sidra. Ob tem bi se nosilec prekladne konstrukcije računsko lahko dvignil do 7,35 cm nad krajni opornik, kar pa na konstrukciji nismo opazili. To bi se lahko zgodilo le, če bi bila vsa sidra v zgodovini enako obremenjena in bi se vsa pretrgala in ne bi prišlo do prerazporeditve obremenitev na sidra. V tem primeru, bi zaradi nedelovanja sidranja in posledične prerazporeditve momentov lahko prišlo do večjih obremenitev v polju (lahko tudi do porušitve mostu ali vsaj večjih, čezmernih, lahko tudi trajnih deformacij). To pa se v realnosti ne zgodi, saj sta tira 3 in 4 precej manj obremenjena kot tira 1 in 2, in pretrganih sider pri glavnih nosilcih tirov 3 in 4 nismo opazili. Ker te možnosti ne moremo povsem izključiti, smo se odločili opraviti sanacijo celotnega sidranja (vseh štirih glavnih nosilcev).

3 SANACIJA SIDRANJA

3.1 Zasnova novega sistema sidranja

Pri zasnovi novega sistema sidranja smo upoštevali naslednje:

- Obstoječa sidra ni možno uporabiti v okviru novega sistema sidranja (zaradi utrujanja pretrgana, material neprimeren za varjenje).
- Ne poznamo kvalitete sider, ki so bila po letu 1987 zamenjana in so se znova pretrgala,
- Omejene možnosti, ki nam jih omogoča obstoječa geometrija v območju sidranja.
- Sistem naj bi prevzemal le natezne obremenitve, ne pa tudi tlakov. Ti se prenašajo v opornik kot sedaj s pomočjo obstoječih tlačnih ležišč.
- Želeli smo sistem, ki bo omogočal hitro in enostavno zamenjavo morebiti poškodovanih, za utrujanje najbolj občutljivih elementov (navojne palice) brez dodatnih posegov v betonski opornik.
- Zahtevo naročnika, da je rekonstruirano sidranje dimenzionirano najmanj za kategorijo proge D4 (225 kN/os in 80 kN/m).
- Rekonstruirano sidranje je projektirano v skladu z zahtevami standardov Evrokod.
- Da je glede na trenutno starost mostu 54 let (v letu 2016) projektna življenjska doba elementov novega sistema sidranja glede utrujanja materiala vsaj 50 let (od dneva izvedbe novega sidranja dalje).
- Da se pri izvedbi sanacije sidranja čim manj ovira promet na mostu.

Novi sistem sidranja (slike 2, 4a in 4b) je zasnovan tako, da stojine glavnih nosilcev sidramo v betonski opornik v ravnini tik ob vertikalni steni betonskega opornika. Sistem novega sidranja sestavljajo:

- nihajne povezave med stojinami obstoječih glavnih nosilcev in novimi nosilci Virendel,

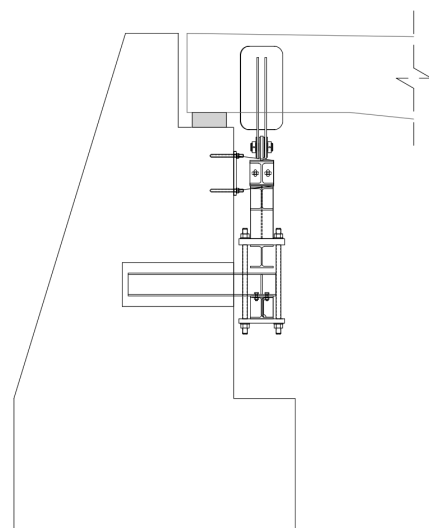
- vmesni zvarjeni I-nosilci med stojinami glavnih nosilcev,
- nosilci Virendel,
- navojne palice za povezavo med nosilci Virendel in vzdolžnim nosilcem sidranja,
- vzdolžni (v smeri opornika prečno na most) nosilci sidranja in
- konzolni nosilci, sidrani v obstoječi betonski opornik.

Nihajne povezave iz pločevin povezujejo stojine glavnih nosilcev (kjer nastopa natezna obremenitev – prečna sila v stojini) z nosilci Virendel (slika 5). Priključki nihajnih povezav so izvedeni s pomočjo sornikov in priključnih ušes. Nihajne povezave so zgoraj pri glavnih nosilcih 1. in 4. tira direktno priključeni na zunanje stojine (slika 4b). Pri vseh ostalih stojinah glavnih nosilcev pa so nanje priključene preko novih vmesnih zvarjenih I-nosilcev (slika 5), ki so privarjeni na stojine sosednjih glavnih nosilcev (slika 6). Vmesni zvarjeni I-nosilci morajo biti čim bolj togi, da so zasuki na mestu priključka na stojine čim manjši. Spodaj pa so nihajne povezave priključene na nosilce Virendel.

Za vsak tir je predviden po en nosilec Virendel, ki je sestavljen iz pasov in vertikal iz vročevaljanih profilov. Nosilec Virendel



Slika 4a. Novi sistem sidranja v krajni opornik.



Slika 4b. Novi sistem sidranja v krajni opornik.



Slika 5. Vmesni nosilec med stojinami glavnih nosilcev, nihalne povezave, nosilec Virendel, navojne palice, vzdolžni nosilec, konzolni nosilec, sidran v opornik.

mora biti čim bolj tog, da se sile sidranja čim bolj enakomerno prenesejo na sistem konzolnih nosilcev, sidranih v betonski opornik.

Nosilci Virendel so s sklopi po štirih navojnih palic na več mestih povezani z vzdolžnim nosilcem za sidranje (slika 7), ta pa je z vijaki pritrjen na prečne konzolne nosilce, sidrane v betonski opornik. Konzolni nosilci so v betonski opornik sidrani tako, da je v opornik izvrtana luknja, vanjo vstavljen konzolni nosilec s projektirano sidrno dolžino (slika 8). Prazen prostor med konzolnim nosilcem in obstoječim betonskim opornikom je zapolnjen z novim betonom (betonska plomba). Vzdolžni nosilci in konzolni nosilci so iz vročevaljanih profilov.

Konstrukcija novega sistema sidranja je z namenom, da novi sistem sidranja lahko prevzema le netezne obremenitve, zasnovana tako, da so omogočeni vertikalni pomiki nosilca Vi-

rendel navzdol. Izvedene so podaljšane luknje v vertikalni smeri v pločevinah konzol za podpiranje tlačnega zgornjega pasu nosilca Virendel. Vertikalni pomiki nosilca Virendel navzgor pa so preprečeni z navojnimi palicami. Horizontalne podaljšane luknje v konzolah za sidranje v betonski opornik omogočajo horizontalne pomike sistema v smeri prečno na most. Večji razmak med pločevinami nihalne povezave in priključnega ušesa na strani pomičnega ležišča mostu (stran Jesenice) pa omogoča pomike sistema v vzdolžni smeri mostu.

Za vročevaljane profile in pločvine je bil uporabljen material kvalitete S355J2. Vgrajene navojne palice so kvalitete 8.8. V okviru izvedbenega načrta je bila podana zahteva, da morajo biti navojne palice premera 56 mm dodatno 100-% (celoten obseg in dolžina vseh palic) pregledane z magnetofluksno metodo. Kontrola je morala biti opravljena v poboljšanem stanju materiala. Navoji morajo biti brez nepravilnosti, zajed in razpok (kalilnih). Za sornike se je uporabilo izboljšano jeklo kvalitete 42CrMo4+QT. Za beton za zalivanje sidrnih odprtin je bil predviden beton kvalitete C25/30, PV-II; XF2; XD1, XC4, nekrčljivi beton, frakcija 0-16mm.

Z Izvedbenim načrtom so bile podane zahteve za protikorozijsko zaščito novega sistema sidranja jeklene konstrukcije mostu in delov mostu, kjer se je zaradi montaže in varjenja novega sistema sidranja poškodovala obstoječa protikorozijska zaščita, ki v skladu s SIST EN ISO 12944 zagotavlja visoko trajnost, razred H (nad 15 let), in zaščito pred vplivi okolja, ki sodijo v visoko kategorijo korozijske ogroženosti C4.



Slika 6. Varjeni priključek vmesnega zvarjenega I-nosilca na stojino glavnega nosilca.



Slika 7. Navojne palice – dva sklopa (vsak štiri palice).



Slika 8. Sidranje v betonski opornik.

3.2 Pričakovana projektna življenjska doba novega sistema sidranja

Obstoječe sidranje na enem krajnem oporniku, sestavljeno iz šestnajstih sider premera 64 mm, smo nadomestili s šestnajstimi sklopi sider s po štirimi navojnimi palicami premera 56 mm v vsakem sklopu (skupno 64 navojnih palic premera 56 mm na enem krajnem oporniku).

Na sliki 9 je prikazan statični model novega sistema sidranja, ki je služil za določitev oz. kontrolo elementov sistema.

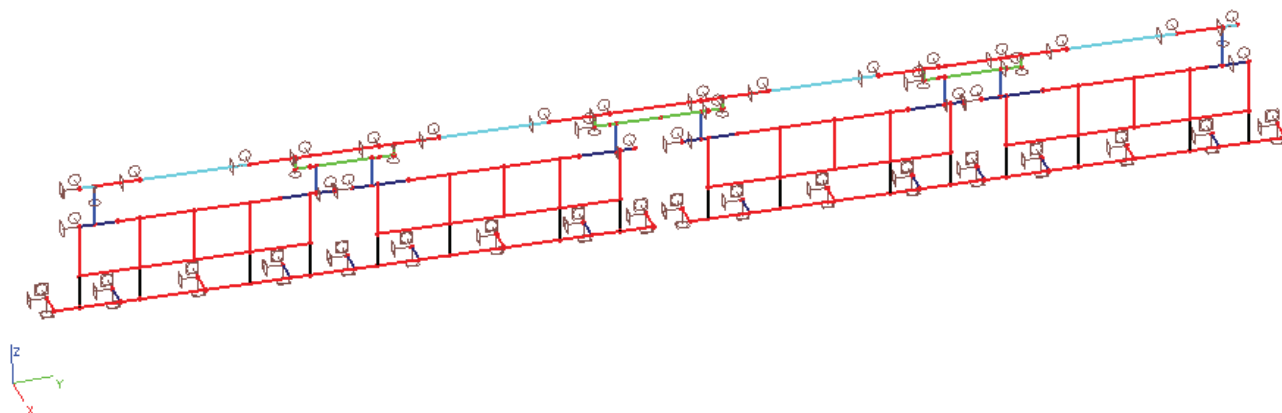
Vsi elementi novega sistema sidranja so bili poleg mejnega stanja nosilnosti preverjeni tudi za utrujanje. Pri analizi novega sistema sidranja so bili uporabljeni slovenski standardi iz družine Evrokod. Pri tem smo upoštevali želeno projektno življenjsko dobo 50 let. Najbolj kritičen element so navojne palice premera 56 mm. S povečanjem števila navojnih palic (sider) smo zmanjšali nivo napetosti v posamezni navojni palici na $3,07 \text{ kN/cm}^2$ in tako dosegli želeno projektno življenjsko dobo celotnega sistema sider. Zaradi podajnosti celotnega sistema vsi sklopi sider niso enako obremenjeni. V preglednici 1 so prikazane napetosti in pričakovana življenjska doba najbolj obremenjenega sklopa. Sama zasnova sistema sidranja (slika 7) omogoča naknadno menjavo navojnih palic, če bi prišlo do njihovega ponovnega pretrga v času uporabe v prihodnosti.

4 IZVEDBA DEL

Izvedba del je potekala v več fazah, ki so v grobem predstavljene v preglednici 2. Med samo izvedbo del je bil s strani naročnika vzpostavljen strokovni nadzor. Dela so v večini potekala ob omejenem prometu (omejena maksimalna hitrost vlakov na 10 km/h zaradi zmanjšanja dinamičnih učinkov ter brez zaviranja in pospeševanja na mostu). V času privijanja matic

	Preddela
Faza 1	Izdelava geodetskega in gradbenega posnetka konstrukcije v območju novega sistema sidranja. Izdelava delavniških risb. Kontrola kvalitete stanja betona obstoječih opornikov [IGMAT, 2020].
Faza 2	Izvedba konzolnih sidrskih nosilcev Izvedba lukenj v opornike. Montaža in centriranje konzolnih nosilcev. Betonaža izvrtin.
Faza 3	Namestitev elementov novega sistema sidranja Namestitev vzdolžnega nosilca. Namestitev nosilca Virendel. Namestitev vmesnih zvarjenih I-nosilcev med stojnimi glavnimi nosilci. Namestitev ušes za povezavo na zunanjih straneh glavnih nosilcev tirov 1 oz. 4. Namestitev vešalk med zvarjenimi in nosilci in nosilcem Virendel. Vgradnja navojnih palic. Končno pritvitje navojnih palic.
Faza 4	Obremenilna preizkušnja

Preglednica 2. Faze izvedbe del.



Slika 9. Statični model novega sistema sidranja.

navojnih palic in ob izvedbi obremenile preizkušnje pa so bile potrebne delne in kompletne zapore prometa, ki so se izvajale v nočnem času.

Končno privitje navojnih palic se je izvedlo ob prisotnosti težke dizelske lokomotive na tiru, kjer se je izvajalo privitje. Pozicija prve osi lokomotive je bila tik nad novim sistemom sidranja. Na ta način se je se izničil dvig nosilca zaradi stalne teže prekladne konstrukcije.

5 OBREMENILNA PREIZKUŠNJA

Po izvedbi novega sistema sidranja je bila opravljena obremenilna preizkušnja [UM FGPA, 2020] z namenom ugotavljanja ustreznosti delovanja novega sistema sidranja prekladne konstrukcije v krajni opornik. V preglednici 3 je prikazana primerjava med izmerjenimi in računskimi pomiki na sredini vmesnega polja in na mestu sidranja prekladnega nosilca v krajni opornik [Hiša, 2020a]. Do malenkostnega dviga na mestu sidranja, ki ne preseže 0,5 mm, pride zaradi dejanske podajnosti sicer zelo togega sistema sidranja kot celote. Prikazane so tudi napetosti, izmerjenje na vertikalnih nosilca Virendel. Izmerjene vrednosti pomikov in napetosti so manjše od računskih. Boljše je ujemanje med izmerjenimi in računskimi vrednostmi pri pomikih in slabše pri napetostih. Večja razlika med izmerjenimi in računskimi napetostmi (izmerjene so manjše) je posledica modeliranja konstrukcije z linijskim modelom.

Na podlagi zgoraj navedenega lahko zaključimo, da se novi sistem sidranja nadvoza v krajne opornike obnaša v skladu s pričakovanji oziroma tako, kot je bilo z Izvedbenim načrtom sanacije predvideno.

cifikacij, ter omogočanje podaljšanje življenjske dobe konstrukcij, so se izdelala Navodila za obratovanje in vzdrževanje [Hiša, 2020b]. Navodila opredeljujejo vrsto potrebnih pregledov sistema sidranja, način njihovega izvajanja in časovne intervale izvajanja pregledov. Tekoči pregledi se morajo opravljati vsaj enkrat letno, glavni pregledi na vsakih pet let ter izredni pregledi po potrebi. Navodila sledijo Pravilniku o tehničnih predpisih za vzdrževanje jeklenih konstrukcij v času uporabe [UL SFRJ, 1965], ki je sicer pravilnik iz leta 1965, a novejšega v Republiki Sloveniji nimamo. Navodila opozarjajo, da je dodatno posebno pozornost pri pregledih treba nameniti kontroli stanja priključevanja (npr. razpoke v zvarih ali osnovnem materialu) na stojine prekladne konstrukcije nadvoza (slika 6) in kontroli stanja navojnih palic premera 56 mm (slika 7). Navojne palice so najbolj kritičen element novega sistema sidranja glede morebitnih poškodb (npr. razpok osnovnega materiala – navoji), povezanega z utrujanjem materiala.

Pri celotnem masivnem betonskem oporniku je treba kontrolirati morebitne premike v vseh smereh, nagibe, razpoke in druge poškodbe masivnih krajnih betonskih opornikov. Preveriti je treba stanje konzolnih nosilcev, sidranih v beton. Dodatno pozornost je treba nameniti površni betonskega opornika (slika 8) v območju sidranja konzolnih nosilcev.

7 ZAKLJUČEK

V prispevku prikazana izvedba sanacije sidranja prekladne konstrukcije železniškega nadvoza v krajni opornika je projektirana za življenjsko dobo 50 let. Zasnovana je tako, da omogoča naknadno zamenjavo navojnih palic, ki

	Računski pomik	Izmerjeni pomik	Računske napetosti	Izmerjene napetosti	Izmer./Račun.
	(mm)	(mm)	(kN/cm ²)	(kN/cm ²)	
Vertikalni pomik (navzdol) konstrukcije na sredini vmesnega polja	15,4	11,6			0,75
Dvig konstrukcije na mestu sidranja	0,70	0,50			0,71
Normalne natezne napetosti na vertikalnih nosilca Virendel			2,1	0,85	0,41

Preglednica 3. Računski in izmerjeni pomiki in napetosti pri obremenilni preizkušnji.

6 NAVODILA ZA OBRATOVANJE IN VZDRŽEVANJE

Za potrebe zagotavljanja integritete konstrukcije sistema sidranja, kar pomeni izpolnjevanje varnosti pred porušitvijo, uporabnost in trajnost, skladno z določili spe-

so najbolj kritične, kar se utrujanja materiala tiče. Z obremenilno preizkušnjo se je potrdilo projektno predvideno obnašanje izvedenega sistema sidranja. Izveden sistem sidranja bo zagotavljal ustrezno varnost konstrukcije do konca njegove življenjske dobe oziroma do predvidene poglobitve prometa v bližnji ali daljni prihodnosti in s tem ustrezne nadomestitve konstrukcije nadvoza.

8 ZAHVALA

Projektiranje izvedene rešitve je izrazito timsko delo, zato gre zahvala celotni projektantski ekipi (Tomaž, Emil, Rok). Zahvala pa tudi izvajalcu RAFAEL, d. o. o., ki je z doslednim upoštevanjem projektne rešitve in vseh navodil zagotovil uspešno izvedbo.

9 LITERATURA

CIP, CIP Saobračalni Institut, Beograd, Elaborat o ispitivanju železničkov mosta na km 566+200 pruge Jesenice-Ljubljana, poročilo o preizkušnji, ŽG Ljubljana TOZD UVP Ljubljana, 1987a.

CIP, CIP Saobračalni Institut, Beograd, Idejni projekt Sanacije železničkov podvoznjaka preko Titove ceste v Ljubljani, projektna dokumentacija, ŽG Ljubljana TOZD UVP Ljubljana, 1987b.

Hiša, Projekt izvedenih del sanacije sidranja železniškega mosta km 566+200, Podvoz Dunajske ceste v Ljubljani, št. načrta 117/19-PID-GK, Hiša d.o.o., Ljubljana, 2020a.

Hiša, Navodila za obratovanje in vzdrževanje, Podvoz Dunajske Ceste, Sanacija sidranja železniškega mostu, km 566+200, rev. 0, Hiša d.o.o., Ljubljana, 2020b.

Igmat, Poročilo o odvzemu, pregledu in tlačnem preskusu izvrtanih preskušancev, Igmat d.d., Ljubljana, številka: 615-POB-20, 2020.

IMK, Poročilo št. 1594/1 o kontroli izdelave in montaže konstrukcij podvozov na Titovi in Celovski cesti v Ljubljani, Inštitut za metalne konstrukcije, Ljubljana, 1962.

IMK, Poročilo o pregledu premostitvenega objekta, Podvoz čez Dunajsko cesto v km 566+200 na progi Ljubljana-Jesenice, Inštitut za metalne konstrukcije, Ljubljana, 2001.

Metalna, Podvoz na Titovi cesti v Ljubljani, Glavni Projekt, MAPA I, II, III, IV, V, Metalna Maribor, 1962a.

Metalna, Podvoz na Titovi cesti v Ljubljani, Dodatek k glavnemu projektu, Metalna Maribor, 1962b.

Razpon, Izvedbeni načrt sanacije sidranja, Podvoz Dunajska v km 565+095 (pravilno v km 566+200), št. načrta P13/2016, Razpon d.o.o., Ljubljana, 2016.

SIST, SIST EN 1993-1-9:2005, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij, Del 1.9: Utrujanje, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005a.

SIST, SIST EN 1993-2:2005, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij, Del 2: Jekleni mostovi, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005b.

Taras A., Greiner R., Richard, Development and Application of Fatigue Class Catalogue for Riveted Bridge Components, Structural Engineering International, IABSE - International

Association for Bridge and Structural Engineering, Vol.20, 1/2010, Science and Technology, str. 91 do 103, 2010.

TÜV, Poročilo, Vizualni pregled in strokovno mnenje glede potencialnega vzroka pretrga sidra, TÜV SÜD Sava d.o.o., Ljubljana, številka 110416, 2016.

UM FGPA, Poročilo o obremenilni preizkušnji nadvoza na Dunajski cesti v Ljubljani v km 565+095, številka 09-2020-AS, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, 2020.

UL SFRJ, Pravilnik o tehničnih predpisih za vzdrževanje jeklenih konstrukcij v času uporabe, Uradni list SFRJ št. 6/65, Uradni list Socialistične Federativne Republike Jugoslavije, 1965.

ZAG, Poročilo št. P 1445/09-610-20 o pregledu nadvoza preko Dunajske v Ljubljani na progi Ljubljana-Sežana d.m. v km 566+200, Zavod za gradbeništvo, Ljubljana, 2010.

ZRMK, Dopolnilo k poročilu in oceni stanje jeklene armature in ostale kovinske konstrukcije železniškega nadvoza na TITOV CESTI, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij, Ljubljana, 1987.