

ZNAČILNOSTI GRADNJE MOSTOV NA OBSTOJEČEM ŽELEZNIŠKEM OMREŽJU

CHARACTERISTICS OF BRIDGE CONSTRUCTION ON EXISTING RAILWAY NETWORK

Ivo Bojc, univ. dipl. inž. grad.

ivo.bojc@sz-pp.si

SŽ – Projektivno podjetje Ljubljana, d.d.

Ukmarjeva ulica 6, 1000 Ljubljana

prof. dr. Andrej Štrukelj, univ. dipl. inž. grad.

andrej.strukelj@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

Strokovni članek

UDK 624.21: 625.1(497.4)

Povzetek | V članku so opisane specifičnosti obnove dotrajanih mostov na obstoječem železniškem omrežju. Najprej je prikazan postopek upravljanja z železniško infrastrukturo (po UIC-navodilih) v obdobju, ko se pojavi dvom o njeni zanesljivosti. V nadaljevanju so poudarjene razlike med železniškimi in cestnimi mostovi ter pomen omejitev v železniškem prometu med njihovo gradnjo in obnovo. S primernimi ukrepi se lahko ovire v prometu omejijo na zelo kratek čas, ki se ga praviloma meri v urah. Opozorjeno je tudi na nekaj odprtih vprašanj pri upoštevanju velikosti železniških prometnih obtežb, ki bi že morala biti rešena v Nacionalnem dodatku Evrokodov (SIST EN 1991-2) in je treba nanje dobiti čim prej odgovor na nacionalni ravni (faktor α in dinamični koeficient Φ_2 oziroma Φ_3). Naštete so možne tehnologije gradnje pod železniškim prometom, ki se uporabljajo pri nas in v tujini. Na koncu je na kratko opisanih nekaj od teh tehnologij, katerih aplikacij pri nas do sedaj še ni bilo.

Ključne besede: tehnologija gradnje, mostovi, obtežbe mostov, železniško omrežje, ovire v prometu

Summary | This paper describes the specifics of reconstruction of obsolete bridges on an existing rail network. At the beginning, bridge management and assessment process of constructions are presented (according to UIC guideline), when doubt in their reliability is present. Further on, the differences between railway and road bridge structures and the importance of restrictions in railway traffic during reconstruction works on existing railway track are highlighted. During the construction works on bridges in existing railway lines track possessions demand a shorter time span, generally measured in hours. We also pointed out some open issues regarding the size of railway load (coefficient α and dynamic coefficient Φ_2 or Φ_3 , respectively), which should already be defined in the National annex to Eurocode EN 1991-2. It is of great importance to make some decisions about that as soon as possible. In addition, possible technologies for reconstruction works on obsolete bridges under the existing railway tracks used at home and abroad are listed. Finally, we briefly describe some of them, which have not yet been used in our country.

Key words: construction technology, bridges, load on bridges, railway network, track possessions

1 • UVOD

Z razvojem parne lokomotive se je v začetku 19. stoletja začel pospešen razvoj železniške infrastrukture, ki je vse do razvoja avtocestnega omrežja predstavljala glavno transportno sredstvo in bila s tega vidika strateškega pomena za razvoj gospodarstva in transport ljudi. Zaradi tega je takratno avstrijsko cesarstvo zgradilo pomembno železniško povezavo (imenovano Južna železnica) med Dunajem in pristaniščem v Trstu, ki še danes poteka tudi po našem ozemlju (Maribor–Celje–Ljubljana–Sežana). Zgrajena je bila po etapah med letoma 1841 in 1857. Ta povezava je bila v kasnejših letih hrbtenica razvoja naše dežele, okoli katere se

je že do konca prve svetovne vojne zgradila večina današnjega železniškega omrežja. Vse te železniške proge so – z izjemo nekaterih, ki so bile v šestdesetih letih prejšnjega stoletja odstranjene – še danes v uporabi. S tehnološkim napredkom se pojavljajo nove zahteve po njihovi modernizaciji in obnovi, ki mora omogočati večje hitrosti in večje obremenitve. Ker pa se v preteklosti izbrane trase prog po večini zelo težko spreminjajo, je modernizacija in obnova železniških prog zelo zahtevna inženirska naloga, ki s svojimi velikimi stroški predstavlja izziv ne samo stroki, temveč tudi širši družbi.

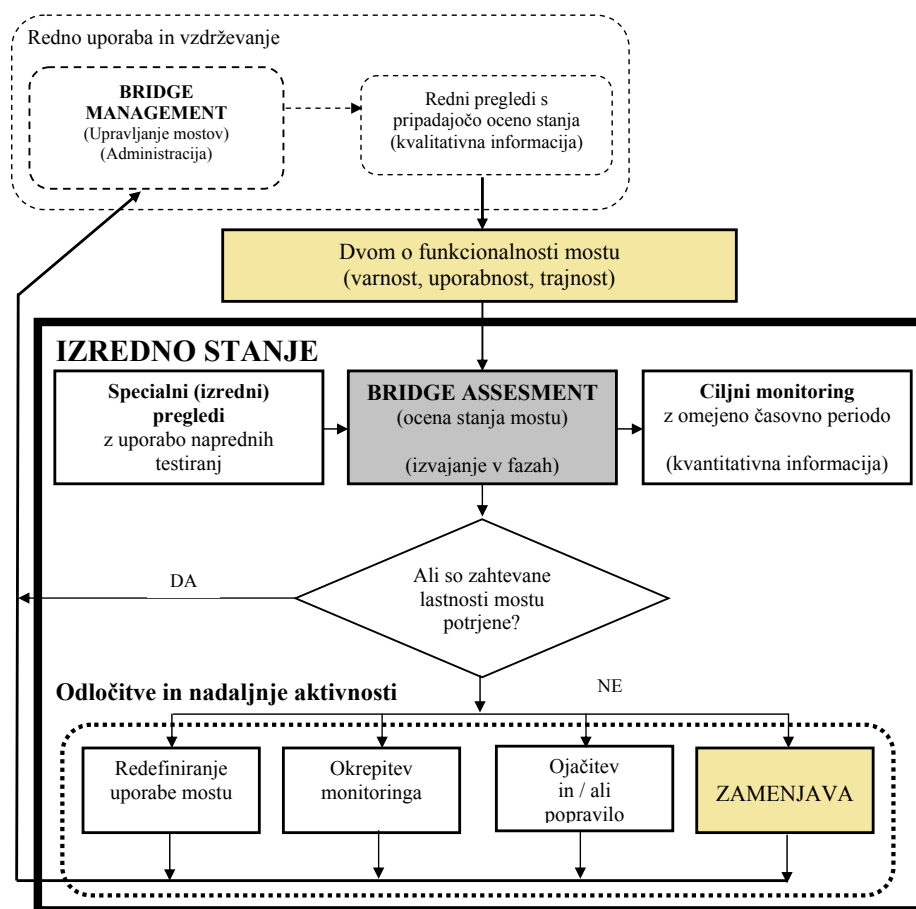
Obstoječe železniško omrežje na našem ozemlju je torej staro že okoli 160 let. Zaradi omejene dobe in povečanih zahtev na njem je treba mostove po določenem času obnoviti in jih nadomestiti z novimi. Glede na zgoraj opisano zato ne preseneča podatek, da je na evropskem železniškem omrežju več kot 1/3 mostov starejših od 100 let in samo 1/3 mlajših od 50 let (SB-ICA, 2007). Vsaka zamenjava dotrajanega mostu pomeni poseg v prog in s tem motnjo pri delovanju železniškega prometa, ki je z vidika upravljanja transporta nezaželena in zaradi tega dopustna samo v omejenem obsegu. Posledica tega so tudi bistveno povečani stroški posegov v infrastrukturo, ki se izvajajo s krajšimi zaporami in drugimi omejitvami v prometu.

2 • UPRAVLJANJE ŽELEZNIŠKIH MOSTOV

Železnica se v državah EU loči na infrastrukturni del in promet. Infrastrukturni del upravlja (državno) železniško infrastrukturo, izvajalci prometa pa nastopajo prosto na trgu, neodvisno od državnih meja.

Upravljanje mostov (bridge management) se izvaja z rednimi pregledi in vzdrževalnimi deli. Na upravljanje mostov vplivajo tudi politične in ekonomske zahteve, kot so povečanje koristne obtežbe in hitrosti, povečanje prometa, podaljšanje življenjske dobe ipd. Če se med upravljanjem mostov pojavi kakšen sum oziroma dvom o varnosti, nosilnosti ali trajnosti posameznega mostu, se običajno redno stanje upravljanja spremeni v izredno stanje, ki je shematsko prikazano na sliki 1. V tem primeru se opravijo posebni pregledi, lahko pa tudi ciljni monitoring. Na podlagi tako pridobljenih podatkov se pripravi ocena stanja mostu (bridge assessment), ki podaja nadaljnje aktivnosti, kot je prikazano na sliki 1, povzeti iz dokumenta UIC Code 778-4 (UIC – International Union of Railways, katere članica so tudi Slovenske železnice).

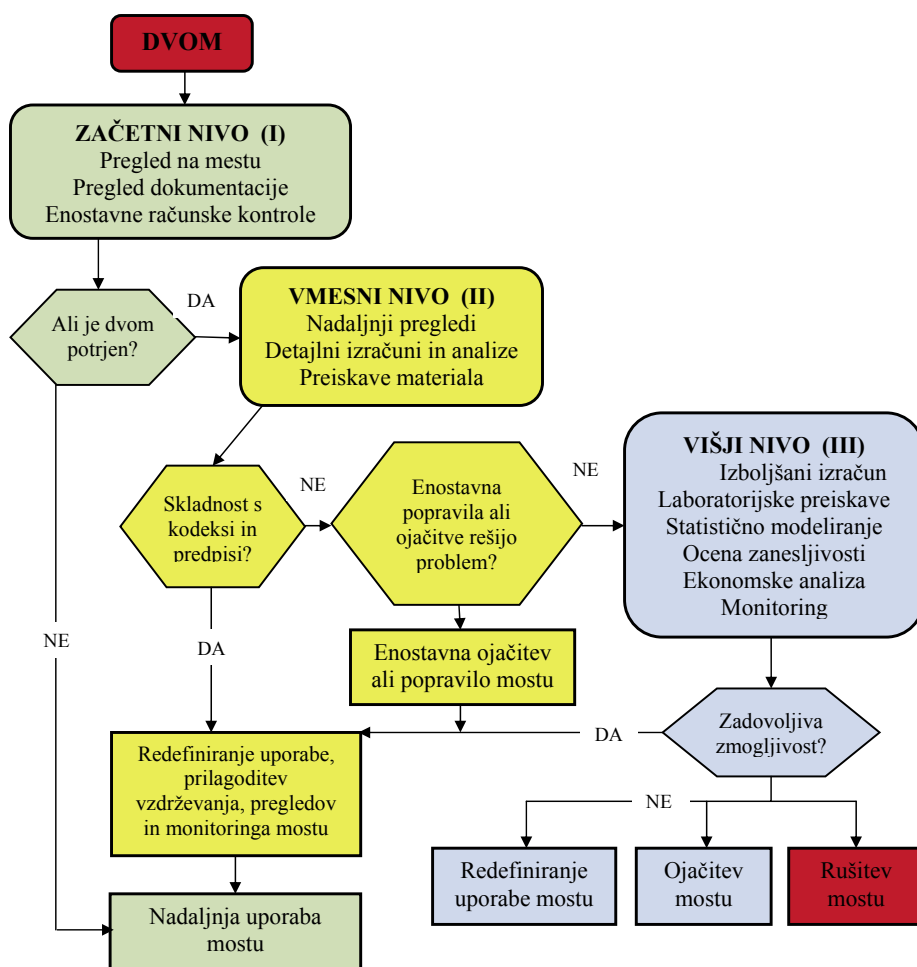
Ocena stanja mostu se v primeru suma izvaja stopenjsko, kot je prikazano na sliki 2. Najprej se opravijo enostavnejše analize (začetni nivo), ki morda že podajo ustrezne odgovore, v nasprotnem primeru se preide na vmesni nivo, v katerem se naredijo nadaljnji pregledi in podrobnejše analize, lahko pa že tudi preprostejše raziskave uporabljenih



Slika 1 • Shema posebnega stanja uporabe in vzdrževanja mostov v primeru, ko obstaja dvom o njihovi varnosti, uporabnosti ali trajnosti po UIC 778-4, 2011

materialov. Če tak vmesni nivo analize potrdi sum, se najprej preveri možnost enostavne ojačitve in/ali popravila. Če tudi to ne odpravi problema, se pristopi k najvišjemu nivoju analize, ki vsebuje še bolj natančne izračune, laboratorijske preiskave, statistično modeliranje, ekonomske analize ipd. Rešitev dvoma se nazadnje reflektira v eni od naštetih variant: redefiniranje uporabe mostu, ojačitev konstrukcije ali njegovo rušenje ter izgradnja novega mostu.

Redni pregledi mostov so zelo pomembna faza njihovega upravljanja. Omenjeni dokument UIC Code 778-4 (Poškodbe železniških mostov in postopki za njihovo vzdrževanje) predlaga razdelitev rednih pregledov na tri stopnje: rutinski pregledi (routine inspection) enkrat na leto, glavni pregled (principal inspection) enkrat na dve do tri leta in generalni pregled (general inspection) enkrat na štiri do šest let. Priporoča tudi enotno klasifikacijo poškodb mostov z oceno od 1 do 4. Pri tem pomeni: 1 – Zanemarljive manjše poškodbe, katerih odprava se lahko še brez posledic odloži; 2 – Resnejše poškodbe, še brez kratkoročnega vpliva na most, ki pa lahko že vodijo k povečanju stroškov za vzdrževanje; 3 – Resnejše poškodbe s kratkoročnim vplivom na most, ki že vodijo k omejitvam prometa; 4 – Poškodbe, ki zahtevajo takojšnjo odpravo.



Slika 2 • Diagram izvedbe ocene stanja obstoječih mostov (performance assessment) po UIC 778-4, 2011

3 • ZNAČILNOSTI ŽELEZNIŠKIH MOSTOV

Cestna in železniška infrastruktura imata v osnovi enotno bazo možnih konstrukcijskih zasnov mostov, vendar se je pri projektiranju treba zavedati pomembnih razlik med njima. V nadaljevanju bodo našteje nekatere od njih. Lastna teža konstrukcije predstavlja pri železniških mostovih običajno manjšinski delež skupne obtežbe, medtem ko je pri cestnih mostovih ravno nasprotno. Prometne obtežbe zaradi različnih geometrij niso neposredno primerljive, vendar lahko vseeno rečemo, da so obtežbe tirnih vozil praviloma

večje kot obtežbe cestnih vozil. Pri tem je pomembna tudi bistveno večja stalna koristna obtežba (tirna greda) železniških mostov, ki je lahko že skoraj enako velika kot lastna teža konstrukcije.

Dejanska nastopajoča prometna obtežba železniških tirnih vozil je tudi zelo pogosto blizu največji dopustni obtežbi (lokomotive, tovorni vagoni), kar pomeni, da so železniški mostovi relativno velik del časa obteženi blizu svojih največjih projektnih vrednosti oz. vrednosti, ki jih dopušča kategorizacija posameznih

prog. Še posebno to velja za stare mostove, za nove pa ne v celoti, ker so dimenzionirani z neko rezervo, ki je namenjena bodočemu povečanju tovora.

K zgoraj naštetim razlikam se lahko dodajo še nekatere, ki sicer na projektiranje mostov nimajo pomembnejšega vpliva. Ena od njih je odvijanje prometa, ki poteka na železnici po urniku oz. urejeno, na cestah pa bolj stihjsko. Vodenje prometa je zaradi specifičnosti enega in drugega področja prav tako strogo ločeno. Dopustni vzdolžni vzponi so pri železnici pod 2 %, pri cestah pa bistveno večji (5 do 10 %). Potrebna širina mostu za dvotirno progo znaša do 14 m, za enakovredno avtocesto pa okoli 28 m.

4 • NAČRTOVANJE OBNOVE ŽELEZNIŠKIH MOSTOV

Pri načrtovanju obnove železniške infrastrukture so v tem kontekstu mišljene predvsem sanacije, ojačitve in zamenjave obstoječih mostov, vendar pa velja podobno tudi za novogradnje na obstoječih progah. Pri zamenjavi obstoječih mostov je treba v tehnologiji gradnje upoštevati še njihovo hkratno rušenje. Tehnologija gradnje mora zajeti gradbeno dela po fazah, ki morajo biti usklajene s predvidenimi zapori tira, kot tudi vsa dela na signalnovarnostnih (SV) in telekomunikacijskih (TK) napravah ter eventualna dela na električni vozni mreži (VM).

Načrtovanje obnove železniških mostov mora zasledovati dolgoročni razvoj te infrastrukture, ki mora za posamezno progo predvideti morebitno načrtovano povišanje hitrosti, povišanje osne obremenitve proge, možno prekvalifikacijo proge v višji nivo (regionalna proga, glavna proga, mednarodni koridor ipd.). Za obnavljanje železniške infrastrukture to pomeni, da je pri tem treba zasledovati dolgoročno strategijo razvoja za daljše obdobje (60 do 80 let) vnaprej (ML-D3.2, 2014). To je še posebno pomembno pri določanju faktorja α , s katerim se karakteristična železniška prometna obtežna shema pomnoži glede na dejansko pričakovano obtežbo (sledi klasificirana prometna obtežna shema).

Ta faktor je definiran v predpisih Eurocode EN 1991-2 in lahko zavzame naslednje fiksne vrednosti: 0,75; 0,83; 0,91; 1,0; 1,10; 1,21; 1,33 in 1,46 (vsaka naslednja številka je povečana za 10 %). V tem dokumentu je priporočena vrednost za mednarodne proge več ali enako 1,0, v nacionalnem dodatku pa lahko vsaka država izbere svojo vrednost, ki pa ne sme biti manjša od predpisanih v mednarodnem dokumentu TSI infrastruktura.

V Sloveniji nacionalnega dodatka še nismo izdelali, zato na tem področju vlada zmeda, in se praktično vsak projektant individualno odloča o višini tega faktorja (večinoma 1,0 ali 1,10, ki je kot minimalen definiran v TSI-dokumentu za novogradnje in nadgradnje železniških prog, in UIC 776-1, kjer je definiran enako kot v predpisih Evrokod s pripisom, da vrednost 1,10 predstavlja 250 kN osni pritisk), kar pa ne bi smelo biti sprejemljivo. Nujno bi bilo, da bi v čim krajšem času sprejeli odločitve o višini tega faktorja. Če pogledamo prakso v drugih državah EU, te izbirajo med vrednostjo 1,21 in 1,33. Tudi v strokovni literaturi se največkrat omenjata ti dve vrednosti (Geißler, 2014). Mednarodna raziskovalna naloga MAINLINE, ki obravnava obnovo in izboljšanje železniške transportne infrastrukture z namenom zmanjšanja ekonomskega in okoljevarstvenega vpliva, na mednarodnih koridorjih priporoča vrednost $\alpha = 1,33$ (!) in projektno hitrost vsaj 200 km/h (MN-D3.4, 2014). Slovenija ima na svojem ozemlju dva pomembna mednarodna koridorja, in sicer V. koridor, ki poteka v smeri Trst (I)–Ljubljana–Celje–Pragersko–Ormož–Murska Sobota–Hodoš (H), in X. koridor, ki poteka v smeri Jesenice (A)–Ljubljana–Zidani Most–Dobova (CRO), s krakom Zidani Most–Maribor–Šentilj (A). To pomeni, da je hrbtenica slovenske železniške mreže sestavljena iz mednarodnih koridorjev in bi bilo zato dolgoročno treba, da se v prihodnje uporablja faktor vsaj $\alpha = 1,21$, če že ne kar $\alpha = 1,33$.

Za dinamični faktor sta v obvezujočem dokumentu (SIST EN 1991-2) navedena dva izraza: prvi za dobro vzdrževani tir, katerega razpon sega od 1,0 do 1,67 (Φ_2), in drugi za standardno vzdrževani tir v razponu od 1,0 do

2,0 (Φ_3). V predpisih za obtežbe, ki so veljali pred uveljavitvijo Evrokodov in so bili v bistvu povzeti po nemških predpisih, je bil definiran samo en koeficient dinamičnosti, ki je bil enak, kot je sedaj definiran za dobro vzdrževani tir, torej manjši med njima (Φ_2). Izbira je sedaj prav tako kot pri koeficientu α , odvisna od presoje projektanta, kar je vprašljivo in nesistemsko. V ta namen bi bilo treba razviti merila, po katerih bi se projektant skupaj z upravljavcem odločil za ustrezno izbiro. Ta merila, skupaj z definiranjem velikosti koeficienta α , bi bilo smotno določiti usklajeno vsaj s sosednjimi državami (npr. Avstrijo in Italijo) in tudi glede na preostale članice EU (npr. Nemčijo, Francijo in druge).

Tudi motnje v prometu je treba planirati dolgo pred njihovim dejanskim nastopom (pri večjih posegih tudi do nekaj let vnaprej). S tem se lahko pravočasno prilagodijo vozni redi, s čimer se stroški zamud zmanjšajo na najmanjšo možno mero.

Vsak projekt obnove obstoječega mostu mora vsebovati tudi načrt tehnologije gradnje, kjer je slikovno, tekstualno in računsko določi tehnologija gradnje, ki mora biti razdeljena v faze. Te morajo zajeti in definirati tudi motnje v železniškem prometu. Pri računski analizi varnosti prometa v času gradnje (provizoriji, varnost brezín, obremenjenih s prometno obtežbo) se lahko računska prometna obtežba reducira. V tej fazi namreč ni treba upoštevati železniške prometne obtežbe po shemi LM71 (iz EN 1991-2), ker je ta namenjena neki bodoči povečani prometni obtežbi, ki danes še ni prisotna na železniških progah. V ta namen se upošteva kategorija proge, ki definira trenutno največjo dopustno obremenitev proge. Trenutno je pri nas najvišja kategorija proge D4, ki jo predstavlja osni pritisk 225 kN oziroma nadomestna linijska obtežba 80 kN/m. Definicije kategorij so navedene v Uredbi o kategorizaciji prog.

5 • OVIRE V ŽELEZNIŠKEM PROMETU

Razlikujemo planirane in neplanirane ovire (izredni dogodki – nesreče). Na kratko bodo opisane samo prve, medtem ko slednje niso predmet tega poglavja. Manifestirajo se lahko v naslednjih oblikah: zapore proge ali posameznega tira, omejitve hitrosti na progi ali posameznem tiru in kombinacija teh dveh, lahko pa tudi izklop in/ali odstranitev vozne mreže pri elektrificiranih progah.

Posledice ovir v prometu so odvisne od vrste železniškega prometa (mednarodni, regionalni in primestni promet, potniški in tovorni vlaki) in se kažejo v zamudah vlakov, začasnih odpovedi določenih vlakov, uvedbah začasnih obvoznih poti in nadomestnem prevozu potnikov z avtobusi. Obvozne poti so praviloma zelo dolge (lahko tudi do nekaj sto kilometrov), izpadi in zamude vlakov pome-

nijo velike finančne izgube, začasna zapora primestnega železniškega prometa pa lahko v gosto naseljenih območjih (še zlasti v času konic) povzroči prometni kaos na že tako prepolno zasedenih preostalih transportnih poteh. Zaradi tega je interes upravljavca železniške infrastrukture, da so motnje v prometu med gradbenimi posegi v obstoječo traso čim krajše. To je tudi opravičilo, da se lahko pri tem uporabijo tudi zelo specifične tehnologije gradnje, ki so bistveno dražje od običajnih tehnologij, v zameno pa omogočajo relativno majhne motnje v železniškem prometu.

Trajanje ovir je odvisno predvsem od velikosti objekta in izbrane tehnologije gradnje objekta. Dolžina trajanja zapor se načeloma določi v dogovoru med projektantom in izvajalcem na eni strani ter upravljavcem železniške infrastrukture na drugi. V okviru tega dogovora se lahko uporabljajo različno dolge zapore, ki lahko trajajo od nekaj ur do nekaj dni. Tako bi lahko razdelili trajanje zapor na naslednje skupine:

- urne zapore (do nekaj ur: npr. od 3 do 10 ur),
- dnevne zapore (od 12 do 24 ur),
- zapore ob koncu tedna (od 48 do 60 ur),
- nekajdnevne zapore, tedenske zapore (od nekaj dni do enega tedna).

Za posege in gradnjo mostov se pri nas koristijo predvsem urne in dnevne zapore, medtem ko se zapore ob koncu tedna koristijo bolj za remonte, obnove in modernizacijo trase prog. Seveda pa je zelo ugodno, če se te daljše zapore hkrati koristijo za posege v mostove in novogradnje v bližini. Za dosego tega cilja je potrebno skrbno načrtovanje vnaprej in dosledno upoštevanje terminskih planov širšega gradbene posega. Tedenske zapore ali še daljše zapore prometa niso običajne in so dopustne le izjemoma. Ovire v prometu pomenijo dodatne stroške, ki

jih ima tako upravljavec infrastrukture (dodatna organizacija prometa, zagotavljanje varnosti ipd.) kot tudi vsi vpleteni prevozniki (operaterji). Vse stroške se lahko na neki način finančno ovrednotiti. Pri tem ima vsaka država izdelano specifično metodologijo, ki odseva njim lastna merila, cene in prioritete. V osnovi izhajajo vse metodologije iz podobnih postavk, kot so število potnikov in količina tovara, ki bodo z uvedbo ovir v prometu prizadefi. Na nacionalni ravni se s podrobnejšo analizo vseh stroškov določi odločilni strošek zamud na enoto časa (EUR/uro ali EUR/minuto).

Treba je poudariti, da cena zapore na časovno enoto ni konstantna, temveč praviloma raste z dolžino zapore. Vzrok za to je zmanjševanje nabora alternativnih možnosti organizacije premoščanja dalj časa trajajočih zapor. Samo za oceno velikostnega reda bo v nadaljevanju omenjenih nekaj cen konkretnih različno dolgih zapor (veljala so za enotirno progno na odseku Ormož–Hodoš leta 2014): 6-urna zapore – 3000 EUR, 8-urna zapore – 5000 EUR, 12-urna zapore – 8000 EUR, 55-urna zapore – 40.000 EUR. Na zelo prometnih progah v bolj razvitih državah EU lahko stroški zapor dosegajo še mnogo višje vrednosti: npr. 72-urna zapore zelo frekventne štirirne

proge je stala 2,5 M GBP oz. 3,8 M EUR, kar pomeni okoli 10.000 EUR/uro/tir.

Tudi pri obračunavanju stroškov ovir v železniškem prometu je praksa po posameznih evropskih državah zelo različna. V nekaterih državah se upravljavec infrastrukture in prevoznik dogovorita o nadomestilu zaradi izpada dohodka, ki ga zaradi ovir v prometu utrpi prevoznik. Lahko se dogovorita tudi samo o sprejemljivi dolžini trajanja ovir, prav tako pa se lahko izvede tudi kombinacija prvega in drugega. V nekaterih drugih državah se strošek ovir samo finančno ovrednoti, plačila pa se ne izvedejo. Tako izračunani strošek v omenjenem primeru služi samo za argument pri presoji možne oziroma še sprejemljive dolžine trajanja zapor in/ali ovir v prometu.

V Sloveniji upravljavec železniške infrastrukture (SŽ – infrastruktura) plačuje denarno nadomestilo prevoznikom (SŽ – promet, Rail Cargo, Avstrija ...), vendar samo do določenega odstotka, ki je opredeljen z zakonom. Slovenski zakonodajalec je namreč zavzel stališče, da se lahko del stroškov, ki ga ima prevoznik zaradi začasnih omejitev v prometu, kompenzira s prihranki, ki jih bo ta imel po končani oviri. Vsi nastali stroški upravljavca kot tudi prevoznika pri tem seveda bremenijo investitorja objekta.

6 • FAKTORJI, KI VPLIVAJO NA IZBIRO TEHNOLOGIJE GRADNJE

Izbira tehnologije gradnje objektov je odvisna od več faktorjev, ki morajo načeloma voditi k čim manjšim motnjam in oviram v železniškem prometu. To lahko pomeni tudi precejšnje povečanje stroškov gradnje, ki pa morajo vseeno ostati v razumnih mejah. V nadaljevanju bodo omenjeni pomembnejši od njih.

6.1 Vrsta zamenjave mostov

Pri obnovi oz. zamenjavi obstoječih mostov ločimo med naslednjimi posegi:

- zamenjava celotne konstrukcije, kjer se zamenjata podporna in prekladna konstrukcija;
- zamenjava prekladne konstrukcije: kjer je podporna konstrukcija v zadovoljivem stanju in so razponi še ustrezni, se lahko zamenja samo prekladna konstrukcija. Podporna konstrukcija se pri tem samo primerno sanira in preuredi tako, da omogoča namestitev nove prekladne konstrukcije. Takšna delna obnova je na železniškem omrežju zelo pogosta.

- zamenjava posameznega konstrukcijskega elementa: npr. novi krovni elementi na sicer zadržani obstoječi prekladni konstrukciji, ali pa zamenjava posameznih delov nosilnih elementov prekladne ali podporne konstrukcije;
- dodajanje posameznih konstrukcijskih elementov: tipičen primer tega je lahko ojačitev obstoječih kamnitih zidanih ločnih konstrukcij, kjer se na konstrukciji izdelava nova krovna plošča. Takšen primer je lahko tudi izvedba dodatnih vmesnih podpor ipd.
- kombinacija zgoraj naštetih pristopov.

6.2 Dolžine mostov

V literaturi ni enotne razdelitve mostov glede na njihovo velikost, pa vendar se lahko z vidika tehnologije gradnje pod železniškim prometom opredelijo razponi, ki razmejijo gradnjo mostov predvsem po zahtevnosti posegov. Na splošno seveda velja, da čim krajši je objekt, lažje je njegova zamenjava. To je povezano

z dolžino razpoložljivih provizorijev in teže konstrukcije, ki jo je treba vgraditi v progno. Zato je za kratke mostove na voljo mnogo več tehnoloških postopkov obnove kot za večje mostove.

Z vidika tehnologije gradnje pod železniškim prometom se objekti delijo na kratke – z razponom do 10 m, srednje – z razponom med 10 in 30 m, večje – z razponom nad 30 m. Zanimivi so deleži železniških mostov v EU po (SB-ICA, 2007) majhnih – z razponom (od 2) do 10 m jih je kar 62 %, srednjih, od 10 do 40 m, je 33 % in večjih od 40 m samo 5 %. Na nemškem železniškem omrežju (DB) je kar 90 % mostov dolgih do 30 m (Pfeifer, 2008).

6.3 Materiali in tipi konstrukcij mostov

Zaradi različne teže in različnih tipov konstrukcije je zelo pomembna tudi izbira materiala nove konstrukcije, ki je običajno iz betona (armirani ali prednapeti) ali jekla, pogosto pa sovprežna iz obeh materialov. K tem je za obstoječe mostove treba dodati še zidane ločne konstrukcije, ki so zgrajene iz kamna in/ali opeke. Tudi tukaj je zanimiva primerjava deležev obstoječih

objektov na evropskem železniškem omrežju (SB-ICA, 2007): betonski mostovi imajo 23 % delež, jekleni prav tako 23 %, sovprežnih je 11 % in zidanih ločnih mostov kar 43 % (!). Presenetljiv je velik delež zidanih ločnih mostov iz kamna in opeke, kar je posredno povezano s starostjo železniških prog.

Tudi računski model obstoječe in nadomestne konstrukcije (prostoležeči nosilci, neprekinjeni nosilci, okvirji z enim ali več razponi ipd.) ima pomembno vlogo pri izbiri in načrtovanju tehnologije gradnje obnove obstoječega objekta. Pomembna je tudi razlika med izbiro monolitne in montažne gradnje.

6.4 Sprejemljiv oz. dopusten čas trajanja ovir v železniškem prometu

Ta podatek je ključen pri odločanju o izbiri tehnologije gradnje in ima zelo pomemben vpliv na omejitve izbire tehnologije. Zaradi tega je gradnja železniških mostov v primerjavi s cestnimi dražja in zahtevnejša.

V praksi se dopuščajo različno dolge zapore, ki pa se lahko običajno merijo le v urah (12 do 24 ur) ali največ v dnevih (zapore ob koncu tedna), kar je odvisno od pomembnosti proge, gostote prometa in števila tirov. Zapore se praviloma predvidijo ob nedeljah in praznikih.

6.5 Tirna slika na mostu

Tudi potek zgornjega ustroja proge (tirov) na obravnavani lokaciji ima lahko svoj vpliv. Če je npr. na lokaciji tirna zveza (npr. krefnica), se praviloma v takšne tire ne da vgraditi provizorijev, kar zahteva prilagajanje tehnologije gradnje objekta ali pa izvedbo začasne spremembe tirne slike (prestavitve ali začasna odstranitev kretnic), kar pa seveda dodatno poveča stroške. Podobne omejitve veljajo tudi za tire v ostrih krivinah in večjih nadvišanjih tirov.

6.6 Razpoložljiv delovni prostor na mostu in ob njem ter njegova dostopnost

Nekatere tehnologije gradnje zahtevajo izdelavo nove konstrukcije ob progi, ki se po ustreznem staranju betona od strani potisne pod železniško progo. Za izdelavo konstrukcije ob progi je seveda potreben primeren prostor, ki mora biti vsaj začasno na razpolago, potreben pa je tudi dostop do njega. Če je ta dostopen samo po železnici, to pomeni dodatno omejitev v prometu. Na gosto naseljenih območjih ali ob neugodnih terenskih razmerah (npr. strma območja, večji vodotoki) pa je ta tehnologija otežena ali celo onemogočena.

6.7 Razpoložljivost provizorijev

Provizoriji so začasni jekleni tipizirani mostovi, ki se vgradijo za premoščanje gradbene jame in po katerih začasno poteka železniški promet. So nepogrešljivi predvsem pri gradnji krajših in srednje dolgih mostov, ki se gradijo na obstoječih železniških progah. Na voljo so v različnih dolžinah, in sicer od nekaj metrov pa do ca. 30 m. Provizoriji se lahko med seboj po dolžini tudi sestavljajo, pri čemer mora biti med njimi nameščena ustrezna vmesna podpora. Ker pa je število razpoložljivih provizorijev omejeno, je treba v času načrtovanja preveriti tudi njihovo razpoložljivost v predvidenem terminu gradnje.

Pomembna je tudi konstrukcijska višina provizorija. Od nje je namreč odvisno, ali je možno graditi most pod progo na kraju samem ali pa se izgotovljen objekt potisne pod progo ob zapori prometa, ko se provizorij že odstrani.

Ob zgoraj naštetih faktorjih je treba upoštevati še nekatere, ki so tukaj samo naštet: elektrifikacija železniške proge, ki omejuje prostor nad progo, geotehnični pogoji s svojim vplivom na nosilnost tal in naklonom brežin gradbene jame, razpoložljiva gradbena oprema in izkušnje izvajalca in projektanta, sprejemljivost stroškov gradnje ipd.

7 • NABOR TEHNOLOGIJ GRADNJE MOSTOV NA OBSTOJEČI ŽELEZNIŠKI INFRASTRUKTURI

Nabor možnih tehnologij gradnje mostov, ki se gradijo na obstoječi železniški infrastrukturi, je naslednji:

- I. Gradnja pod provizorijem (ločimo med gradnjo pod malimi tirnimi provizoriji, pod provizoriji tipa dvojček in pod sestavljenimi provizoriji).
- II. Montaža prekladne konstrukcije z dvigali (avtodvigala ali tirna dvigala).
- III. Potiskanje s strani po potisni stezi (lahko se potiska pod provizorij ali v času zapore) – samo prekladno konstrukcijo ali celotno okvirno konstrukcijo.
- IV. Vrivanje konstrukcije po terenu s strani s sprotim izkopavanjem.
- V. Deviacija železniške proge.
- VI. Podvrtavanje.
- VII. Montažna gradnja.
- VIII. Prevoz in montaža prekladne konstrukcije s tirnim mostnim transporterjem (railway bridge carrier).
- IX. Nova prekladna konstrukcija kot del tirnega

mostnega transporterja (new bridge as crane beam).

- X. Vzдолžno narivanje s povezavo starega z novim mostom (composite launching nose).
- XI. Vodoravno in navpično premikanje s premičnimi hidravličnimi stolpi (moving hydraulic tower).
- XII. Prestavitev in montaža mostov z večosnim kolesnim transporterjem (SPMT – self-propelled modular transporter).

Tehnologije od I do VII so poznane tudi pri nas, tehnologije pod zaporednimi številkami od VIII do XII pa se pri nas še niso uporabljale, so pa prisotne v nekaterih drugih državah članicah EU.

Vse zgoraj našteje tehnologije gradnje je mogoče ločiti v dve oz. tri temeljne skupine:

- gradnja mostu na kraju samem,
- gradnja mostu na nadomestni lokaciji in njegov transport (po strjenju betona) na kraj pod železniško progo in

- kombinacija, kjer se en del (običajno podpor-na konstrukcija) izdela na kraju samem, prekladna konstrukcija pa na drugem mestu.

Tudi pri gradnji mostov nad obstoječo železniško progo (nadvozi, nadhodi) pride do motenj spodaj potekajočega železniškega prometa. V tem primeru predstavljajo motnje predvsem nevarnost poseganja v železniški prosti profil, dotik visokonapetostnega voda pri elektrificiranih progah in padec predmetov na območje tirov. Zato mora tudi pri teh objektih izbrana tehnologija zagotavljati varnost odvijanja železniškega prometa pod njim. Pri tem se je običajno poleg naštetega treba nagibati še k čim manjši višinski legi nove prekladne konstrukcije nad prostim profilom spodaj ležeče železniške proge. Če se ta predvidi višje, kot je potrebno, pomeni, da bodo vsi uporabniki takšnega mostu vsakodnevno premagovali večjo višinsko razliko, kot bi bilo dejansko treba. Prekladne konstrukcije, ki so locirane nad železniško progo, se običajno gradijo po naslednjih tehnoloških postopkih:

- montažna gradnja,
- na odru (lahko tudi z možnostjo naknadnega spuščanja prekladne konstrukcije) in
- narivanje.

8 • PREDSTAVITEV NEKATERIH TEHNOLOGIJ GRADENJ

V nadaljevanju bodo na kratko predstavljene nekatere tehnologije gradnje, ki pri nas še niso bile uporabljene.

8.1 Tirni mostni transporter (railway bridge carrier)

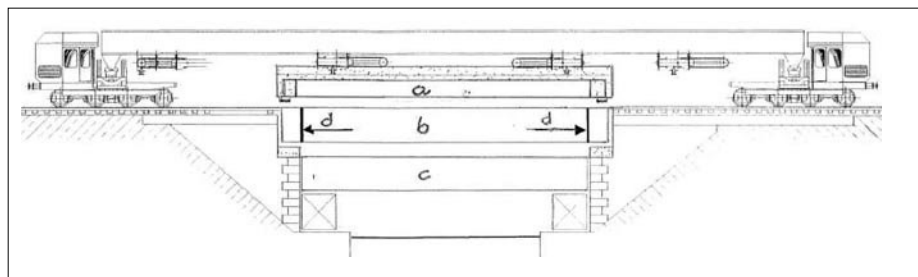
Takšno tirno vozilo se že dalj časa uspešno uporablja v nekaterih evropskih državah. Primerno je za zamenjavo prekladnih konstrukcij, pri katerih je podporna konstrukcija v ustreznem stanju in je z eventualno sanacijo primerna še za nadaljnjo uporabo. Dotrajana oz. neustrezna prekladna konstrukcija se pri tem zamenja z novo.

Sestavljen je iz dveh tirnih vozičkov, ki sta povezana z jeklenim nosilcem, opremljenim z dvigali za manipulacijo s tovorom oziroma prekladno konstrukcijo (slika 3). Tako sestavljeno tirno vozilo nima lastnega pogona in se premika ob pomoči vlečnega tirnega vozila. Nova prekladna konstrukcija se izdelata na primernem mestu, za katero je zaželeno, da je čim bližje končni lokaciji. Tirni mostni transporter se prav tako sestavi na primernem bližnjem mestu, drugače pa je razstavljen in shranjen na deponiji. Z naloženo novo prekladno konstrukcijo se ga nato vleče do lokacije s hitrostjo ca. 10 km/h.

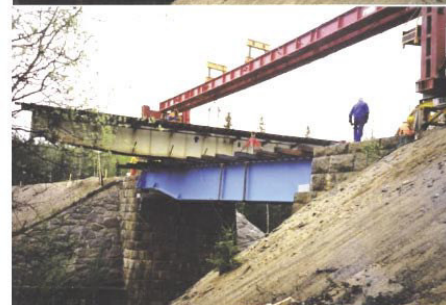
Nekoliko bolj zahtevna nadgrajena varianta te tehnologije je opisana v nadaljevanju. V tem primeru se stara konstrukcija ne spusti v odprtino pod mostom, temveč se stara in nova konstrukcija po višini zamenjata, stara konstrukcija pa se po namestitvi nove odpelje po tiru na deponijo (slika 4). V ta namen se nova konstrukcija pripelje nad staro, kjer jo zavrtijo okoli vertikalne osi za 90 stopinj. Po tem pa se še nekoliko premakne vzdolž tira, tako da se lahko z drugim dvigalom nemoteno dvigne stara prekladna konstrukcija, ki jo prav tako zasukajo za 90 stopinj. V tej fazi je stara konstrukcija spodaj, nova pa zgoraj, obe pa obrnjeni pravokotno na progo in v florisu pozicionirani ena zraven druge. V tem položaju se stara konstrukcija dvigne, nova pa spusti in zarotira nazaj v smeri proge. Po njeni namestitvi na ležišča opornikov se zarotira še zgornja stara prekladna konstrukcija, ki jo nato s tirnim mostnim transporterjem prepeljejo na deponijo.

Ta metoda je učinkovita pri jeklenih prekladnih konstrukcijah do razpona ca. 25 m in betonskih do ca. 12 m. Njena prednost je, da ne zahteva dodatnega prostora ob železniški

progi, zato je lahko ta tudi nedostopen. Čas potrebne zapore prometa za izvedbo te tehnologije je 12 do 24 ur. Temu času je treba prišteti še montažo in demontažo tirnega mostnega transporterja in nalaganje nove prekladne konstrukcije pod nosilec vozila, ki je tudi odvisno od lokalnih razmer na mestu izdelave nove konstrukcije. Nalaganje se lahko izvede s tehnologijo potiskanja od strani ali z dvigali, če proga ni elektrificirana, lahko pa se uporabi tudi katerakoli druga primerna tehnologija. S temi deli vred se čas izvedbe zamenjave podaljša za nekaj dni oz. do enega tedna.



Slika 3 • Nova konstrukcija nad staro; rezanje stare prekladne konstrukcije v liniji opornika in spuščanje v odprtino (a: nova prekladna konstrukcija; b – stara prekladna konstrukcija; c – stara prekladna konstrukcija v začasni poziciji pred odstranitvijo; d – mesto reza stare prekladne konstrukcije)

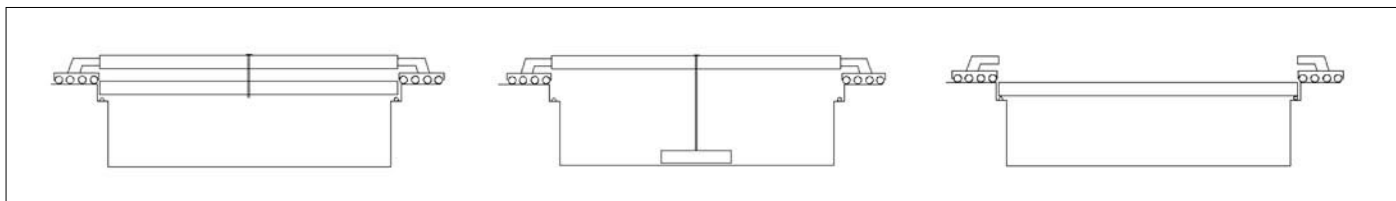


Slika 4 • Faze zamenjave stare in nove prekladne konstrukcije s pomočjo vrtenja le-teh okoli vertikalne osi za 90 stopinj

8.2 Nova prekladna konstrukcija kot nosilec tirnega mostnega transporterja (new bridge as crane beam)

V bistvu gre pri tej tehnologiji za izpeljanko iz prejšnje tehnologije, kjer se jekleni glavni nosilec tirnega mostnega transporterja nadomesti kar s samo novo prekladno konstrukcijo. Zaradi tega se lahko na ta način obnovijo (zamenjajo) tudi daljše prekladne konstrukcije, ki imajo razpon 30 m in več (ML-D 3.2, 2014). Tudi v tem primeru je ta tehnologija ugodna samo za določene tipe prekladne konstrukcije, kot so nosilci in plošče.

V tem primeru je treba za predhodno spuščanje stare prekladne konstrukcije predvideti na sredini nove konstrukcije luknjo za prehod jeklene vrvi (običajno primerno skonstruirana drenažna luknja), s katero se



Slika 5 • Faze spuščanja stare prekladne konstrukcije in nameščanje nove na obstoječa opornika

stara konstrukcija privzdigne z ležišč, zavrti in spusti v odprtino. Nato se po potrebi uredijo nova ležišča, če to ni bilo mogoče storiti že pred zaporo tira. Sledi spuščanje nove konstrukcije na končno mesto.

Da bi se zmanjšale obtežbe nove prekladne konstrukcije v fazi odstranjevanja stare, se lahko izdelata modifikacija zgoraj opisane metode z uporabo vmesnega prenosnega nosilca, ki eno silo razdeli v dve, kot je prikazano na sliki 6. Pri tem načinu se pomembno zmanjša momentna obremenitev nove prekladne konstrukcije v fazi vgrajevanja, maksimalne strižne sile pa se omejijo na območje ob končnih podporah, kjer nastopajo tudi pri uporabi mostu.

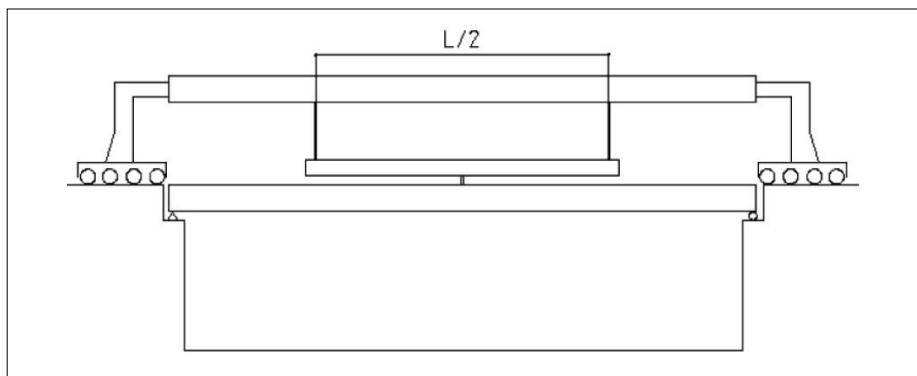
V tem primeru je treba zagotoviti še dodatno višino za namestitev vmesnega prenosnega nosilca.

Čas potrebne zapore prometa je praktično enak kot pri prejšnji tehnologiji (12 do 24 ur), celoten proces zamenjave prekladnih konstrukcij s pripravljalnimi deli (montaža in demontaža vozičkov, nalaganje oz. vpenjanje nove prekladne konstrukcije na voziček ipd.) pa lahko traja nekaj dni do enega tedna.

8.3 Vzdolžno nameščanje s povezavo starega in novega mostu (composite launching nose)

Ta metoda je primerna predvsem v primerih, kjer ni mogoče uporabiti tirnega mostnega transporterja, kar pomeni, da je namenjena predvsem daljšim objektom (do 40 m) na težko dostopnih območjih in tam, kjer je prostor okoli lokacije objekta zelo omejen. Stara konstrukcija je v tem primeru lahko tudi paličnega tipa, kar pri uporabi tehnologije tirnega mostnega transporterja ni možno.

Glavna ideja je, da se novi objekt dostavi na lokacijo, stari se dvigne z ležišč, nato pa se oba na enem kraju povežeta v začasno konstrukcijsko enoto. Takšno združeno konstrukcijo se nato vleče (ali potiska) tako, da se stara konstrukcija umika, medtem ko se nova konstrukcija premika na končno mesto. Tako se vsa dela opravljajo samo z nivoja



Slika 6 • Ugodnejša razporeditev dviznih sil z vmesnim prenosnim nosilcem

železniške proge, pri čemer dostop na teren v okolici objekta ni potreben.

Nov objekt se, podobno kot pri predhodno opisanih tehnologijah, izdelata na poljubnem mestu brez motenj v železniškem prometu. Tako izdelani objekt se z dvema vozičkoma, ki sta nameščena (pritrjena) na vsakem koncu konstrukcije, po železnici transportira na obravnavano lokacijo. Vozička sta v bistvu del tirnega mostnega transporterja, kjer je nova prekladna konstrukcija nameščena namesto glavnega nosilca, kot je bilo že opisano v predhodno obravnavani tehnologiji.

Ko nova konstrukcija prispe pred obstoječo, se odpne sprednji voziček, ki se ga prepelje

na drugo stran obstoječega mostu. Stara konstrukcija se s hidravličnimi dvigalkami dvigne z ležišč tako, da se lahko konstrukciji povežeta v konstrukcijsko celoto.

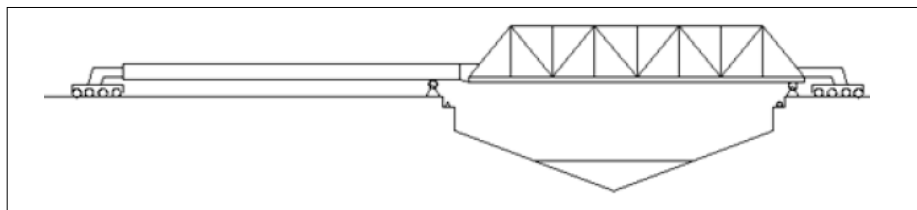
Pri tej metodi je treba posebno pozornost posvetiti spoju stare in nove prekladne konstrukcije. Ta spoj mora prenesti tako prečno silo kot tudi moment. S spajanjem teh dveh konstrukcij se bistveno poveča razpon začasno združene konstrukcije, ki znaša ravno dvakratni razpon mostu (razpona starega in novega objekta sta enaka). Pri tem deluje sicer samo obtežba lastne teže obeh mostov, vendar je običajno kljub temu nujno, da se tako sestavljena konstrukcija začasno podpira na mestih obstoječih opornikov (začasna drsna



Slika 7 • Vzdolžno nameščanje nove konstrukcije, kjer stara konstrukcija predstavlja narivni kljun

ali valjčna ležišča). Izdelava teh začasnih podpor sicer izvedbo nekoliko zaplete in zahteva še nekaj dodatnega časa.

Čas potrebne zapore prometa je prav tako enak kot pri prejšnjih dveh tehnologijah (torej 12 do 24 ur), celotni čas zamenjave pa traja od enega vikenda do enega tedna (odvisno od lokalnih razmer in opremljenosti ter izkušenj izvajalca).



Slika 8 • Vzdolžno nameščanje nove prekladne konstrukcije (levo) s hkratnim umikom stare (desno) z začasnim podpiranjem nad opornikoma

9 • SKLEP

Pri projektiranju obnov dotrajanih mostov na obstoječem železniškem omrežju je treba že na nivoju projekta skrbno načrtovati tudi tehnologijo gradnje (načrt tehnologije gradnje po fazah), ki mora zagotavljati čim manj ovir v železniškem prometu oz. morajo biti sprejemljive tudi za upravljavca železniške infrastrukture. V ta namen so razvite različne tehnologije gradnje, ki vsaka zase izkazuje

določene prednosti in slabosti v dani situaciji in jih je treba izbirati glede na lokalne danosti in pogoje upravljavca. Z namenom razširitve nabora možnih tehnologij na našem železniškem omrežju bi bilo koristno vpeljati dodatne tehnologije, ki so se obnesle že v nekaterih drugih državah članicah EU. Za obnovo dotrajane železniške infrastrukture bi moral zakonodajalec na nacionalnem

nivoju definirati tudi faktor pričakovanega povečanja prometne obtežbe (faktor α), ki mora zrcaliti planiran razvoj železniškega prometa v daljšem časovnem obdobju (npr. 60 do 80 let vnaprej). Ker potekata po našem ozemlju dva pomembna mednarodna koridorja (V. in X. koridor), je to za našo državo še posebnega pomena in bi moralo biti načrtovanje tudi čezmejno čim bolj usklajeno. Zaradi določitve dinamičnega vpliva tirnih vozil na mostove bi bilo treba definirati tudi stopnjo vzdrževanosti tirov.

10 • LITERATURA

- ML-D 3.1, MAINLINE – Deliverable 3.1, Benchmark of production and replacement of railway infrastructure, European Commission within 7th Framework Programme in cooperation with International Union of Railways (UIC), 2013.
- ML-D 3.2, MAINLINE – Deliverable 3.2, Methods for replacement, European Commission within 7th Framework Programme in cooperation with International Union of Railways (UIC), 2014.
- ML-D 3.4, MAINLINE – Deliverable 3.4, Guideline for replacement of elderly rail infrastructure, European Commission within 7th Framework Programme in cooperation with International Union of Railways (UIC), 2014.
- SB- ICA, Sustainable Bridges – Guideline for Inspection and Condition Assessment of Existing European Railway Bridges (Including advices on the use of non-destructive testing), Integrated Research European Commission within 6th Framework Programme, 2004–2007.
- Pfeifer, R. H., Molter, T. M., Handbuch Eisenbahnbrücken, Eurail press, 2008.
- Berglund, P., Development of a Method for Replacing Railway Bridges, Masters Thesis, Luleå University of Technology, 2013.
- UIC Code 778-4, Defect in railway bridges and procedure for maintenance, 2nd edition, 2011.
- Geißler, K., Handbuch Brückenbau, Ernst & Sohn, 2014.