

MOSTOVI – DOSEŽKI, KRITERIJI VREDNOTENJA, AVTORSTVO

BRIDGES – ACHIEVEMENTS, EVALUATION CRITERIA, AUTHORSHIP

prof. dr. Milenko Pržulj, univ. dipl. inž. grad.

DDC svetovanje inženiring, d. o. o, Kotnikova 40, Ljubljana
e-pošta: milenko.przulj@ddc.si

Strokovni članek

UDK: 624.21

Povzetek | Po petnajstih letih projektiranja in izgradnji več kot 500 km avtocest v Sloveniji s približno 1200 mostovi je koristno analizirati dosežke, kriterije vrednotenja, avtorstvo in odgovornost. Dosežki se kažejo v pravih zasnovah mostov, uvajanju novih nosilnih sistemov ter uporabi sodobnih tehnologij izgradnje monolitnih in trajnih mostov. Za viadukte na plazovitih pobočjih so uporabljene specifične rešitve temeljenja na globokih vodnjakih. Velik prispevek k povečanju zanesljivosti in trajnosti nadvozov, podvozov in manjših mostov predstavlja uporaba integralnih konstrukcij. Glede na kriterije vrednotenja (objektivnost, funkcionalnost, zanesljivost, racionalnost, estetika) so slovenski dosežki pri projektiranju in izgradnji mostov ocenjeni kot izredni. To naši projektanti in izvajalci, poleg drugega, dokazujejo tudi s prejetimi nagradami na natečajih in z izgradnjo mostov v tujini.

Summary | After fifteen years of designing and construction of more than 500 km of motorways with about 1200 bridges in Slovenia it is worthwhile to analyse the achievements, the evaluation criteria, the authorship and the responsibility. The achievements are shown in properly designed bridges, in the introduction of new bearing systems and in the use of modern technologies for the construction of monolith and permanent bridges. Specific solutions of founding on deep wells are used for viaducts on landslide slopes. Furthermore, the use of integral constructions has significantly increased the reliability and durability of overpasses, underpasses, and smaller bridges. With regards to the evaluation criteria (objectiveness, functionality, reliability, economical aspect, aesthetics) the Slovenian achievements in design and construction of bridges are rated as exceptional, what our designers and contractors, besides other things, have proved also by gaining the awards on the competitions and by constructing the bridges abroad.

1 • DOSEŽKI PRI PROJEKTIRANJU IN IZGRADNJI MOSTOV V SLOVENIJI

Pri graditvi avtocest in drugih cest v Sloveniji so bili pri projektiranju in izgradnji mostov doseženi pomembni uspehi.

V prvih letih izgradnje avtocest v okviru nacionalnega programa izgradnje je naročnik DARS skupaj z izvajalci imel razumevanje za uveljavitev novih sodobnih tehnologij izgradnje monolitnih mostov. Pri pregledih obstoječih mostov, zgrajenih iz prednapetih montažnih betonskih nosilcev, so bile ugotov-

ljene pomanjkljivosti pri zasnovi in konstrukciji, ki so zmanjševale trajnost in zahtevale znatna sredstva za obnovo.

Tehnični odbor TO 07, ki je bil formiran s strani Ministrstva za promet RS, je zagotovil izdelavo tehničnih specifikacij za cestne mostove, prepuste, gravitacijske in sidrane zidove. Cilj tehnične specifikacije je bil predstavitev, obravnava in analiza splošnih teoretičnih, konstrukcijskih, projektantskih in tehnoloških

spoznaj, ki lahko bistveno vplivajo na potek naložbenega procesa, zasnovi, konstruiranje, projektiranje, gradnjo, vzdrževanje in obnovo mostov.

Vsebina tehničnih specifikacij je zagotavljala povezovanje poglobljenih teoretičnih in strokovnih spoznaj, podatkov iz literature s praktičnimi izkušnjami v stroki ter tehničnimi predpisi in standardi.

Gradbena podjetja so se odpovedala opremi za montažno gradnjo in so se opremila z novo opremo za monolitno gradnjo in globoko temeljenje na uvrtnih kolih in vodnjakih.



Slika 1 • Viadukt Črni Kal

Vsi objekti na avtocestah so projektirani in grajeni tako, da bodo zanesljivi, varni in trajni v času gradnje in med uporabo.

Pri viaduktu Črni Kal dolžine 1065 m (slika 1) je bila uporabljena prosta konzolna gradnja na območju sedmih velikih razpetin $60 + 120 + 3 \times 140 + 120 + 75$ m s šestimi mizami. Del viadukta z manjšimi razpetinami $60 + 3 \times 50 + 40$ m je bil zgrajen na odru »polje po polje«. Ločeni armiranobetonski prekladni konstrukciji viadukta se na območju večjih razponov naslanjata na skupne, na vrhu razcepljene trocelične stebre višine 36–90 m, temeljene na eliptičnih votlih vodnjakih globine 15–18 m. Zelo uspela kompozicija viadukta z ustreznim položajem podpor, optimalnimi velikostmi razpetin, spremenljivo višino prekladne konstrukcije in posebno rešitvijo enojnih stebrov, ki se pri vrhu razcepijo, deluje skladno z naravnim okoljem kraškega roba. Poleg za naše pogoje rekordne dolžine se viadukt odlikuje z velikimi razponi – 140 m, stebri višine do 90 m, specifično obliko prereza in tehnologijo gradnje visokih stebrov, temeljenih na vodnjakih, globine do 18 m. V težavnih pogojih gradnje ob vetrovih velikih hitrosti je v celoti dosežena s projektom predvidena geometrija. Uporabljeno je obojestransko sidranje visokih stebrov v temelje sosednjih podpor, s čimer so omejene nezaželene deformacije. Statična in dinamična analiza viadukta je sledila vsem

fazam gradnje v vzdolžni in prečni smeri ob popolnem obvladovanju realne reologije betona. Na viaduktu Črni Kal so uporabljene protivetrne ograje kot rezultat ustreznih meritev, študij, izračunov in testiranj v vetrovniku. Pri viaduktu Ločica (slika 2) na avtocestnem odseku Vransko–Trojane je optimalen položaj trase dosežen z izdelavo študije ob maksimalnem varovanju okolja, gozda in vodnih tokov ter brez izgradnje začasnih cest na nestabilnem pobočju. Velikosti razpetin in položaji podpor so usklajeni z morfologijo pobočij. Skladno in logično je razmerje velikosti razpetin in višine podpor. Višina prekladne konstrukcije viadukta, oblika intradosa ter prerez in oblika vmesnih podpor so oblikovno, konstrukcijsko in statično usklajeni. Specifična konstrukcija globokih vodnjakov na strmem pobočju je omogočila minimalne posege v pobočje. Izdelana je bila sodobna statična analiza viadukta za številne faze izgradnje z upoštevanjem deformacij kontinuirane večrazpanske konstrukcije in spremenljivih reoloških razmer. Tehnologija prostokonzolne gradnje prekladne konstrukcije viadukta z desetimi mizami brez toge povezave s stebri je bila zahtevna. Elastično uravnoteženje prekladne konstrukcije zategami iz visokovrednega jekla, ki so sidrane v tla ali temelje stebrov, je racionalna rešitev, ki pri nas do takrat še ni bila uporabljena. Reguliranje položaja

prekladne konstrukcije z vrha visokih vmesnih podpor s sinhroniziranimi prešami je zelo zahtevna. Pri projektiranju viadukta Ločica je prvič uporabljena potresna izolacija kot alternativna in cenejša rešitev potresno varne konstrukcije.

Z izgradnjo viaduktov Črni Kal in Ločica je tehnologija prostokonzolne gradnje izboljšana in inovirana za uporabo v vseh pogojih.

Gradnja prekladnih konstrukcij viaduktov in mostov s postopkom narivanja se uporablja, razvija, inovira in modificira že več kot 30 let (slika 3). Pri izgradnji avtocest v Sloveniji se je tehnologija narivanja uporabila na več kot 20 mostovih. Pogosta uporaba tehnologije narivanja je posledica ugodne cene opreme, zmanjšanega deleža delovne sile in hitrosti izgradnje.

Z razvojem tehnologije narivanja se povečujejo dolžine segmentov, ki se betonirajo v delavnici za opornikom iz začetnih 20 m na 30–40 m. Dolžina objektov, ki se gradijo po postopku narivanja, je dosegla dolžino 833 m pri mostu čez Muro. Za uporabo te tehnologije ni več potrebno, da je geometrija ceste na mostu enostavna. Velikost razpetin se je povečala z začetnih 30 na 50 m pri viaduktu Javorje brez začasnih podpor. Z začasnimi podporami so premoščeni razponi do 80 m pri mostu čez Muro in 70 m pri viaduktu Šentožbolt. Slovenski gradbeniki popolnoma obvladu-



Slika 3 • Narivanje prekladne konstrukcije na viaduktu Bonifika dolžine 547 m



Slika 4 • Neskončni vijak



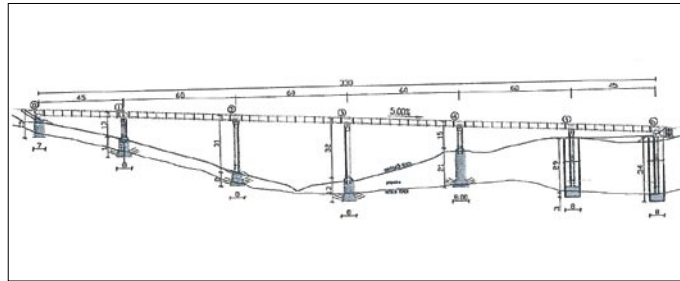
Slika 5 • Viadukt Boršt 1

jejo izredno geometrijsko točnost pri izvedbi segmentov in pri narivanju. Mostovi, ki se gradijo po postopku narivanja, imajo najkrajše roke izgradnje in nižje cene za 10–12 %. Z uporabo racionalnih tehnologij izgradnje se zmanjšujejo skupni stroški, tako da kriterij optimalne rešitve ni najmanjša poraba materiala v nosilni konstrukciji, ampak najmanjši skupni stroški, ki vključujejo tudi stroške uporabljene tehnologije in stroške vzdrževanja.

Na viaduktu Polance na hitri cesti Razdrto–Vipava so bile uporabljene lastne inovativne rešitve (neskončni vijak, slika 4) pri hkratnem narivanju obeh prekladnih konstrukcij.

Na odseku hitre ceste od Razdrtega do Podnanosa je zgrajenih 8 viaduktov na plazovitem pobočju s specifičnimi rešitvami globokega temeljenja na vodnjakih. Na viaduktu Boršt 1 (slika 5) vodnjaki premera 6 m in globine 13–22 m niso dosegli geološke osnove, ki je na globini, večji od 40 m, in se lahko premikajo skupaj s pobočjem. Na razširjeni glavi stebrov je puščena možnost reguliranja prečne lege prekladne konstrukcije.

Na viaduktu Polance (slika 6), ki je bil zgrajen s tehnologijo prostokonzolne gradnje, so vmesni stebri togo vpeti v prekladno konstrukcijo. Vsi temelji na vodnjakih so sidrani v geološko osnovo – fliš. Vodnjaki za podpore 1–4 so polni z razširljivo spodnjega dela. Stebra 5 in 6 sta temeljena na votlih vodnjakih globine 34 m, ki ne morejo prevzeti sil zaradi pomikov tal in so elastično povezani po višini. Prostor med plaščem vodnjaka in stebra je 2 m in omogoča pomike plašča 2 cm letno.



Slika 6 • Vzdolžni prerez viadukt Polance

Most čez Ljubljanico s poševnimi zategami (slika 7) je prvi tovrstni most v Sloveniji. Tanka, široka, ploščasta prekladna konstrukcija razpetine 2×40 m je obešena s 6 pari vzporednih zateg na treh pilonih AB višine 35 m. Specifična konstrukcijska zasnova z ugodno arhitektonsko obdelavo se lepo vklaplja v okolje.

Z mostom čez Dravo na Ptuj (slika 8) je slovenska mostogradnja obogatena za še en novi sodobni nosilni sistem (angleški Extrasosed). Most dolžine 430 m ima 5 razpetin $65 + 3 \times 100 + 65$ m. Nad vmesnimi podporami so kratki armiranobetonski piloni višine 9 m s 5 deviatorji za sprejem kablov zunaj prereza škatlaste prekladne konstrukcije višine 2,6 m. Na radejski obvoznici je zgrajen zelo lep viadukt skupne dolžine 165 m s specifičnimi rešitvami kvaziločne konstrukcije razpetine 111 m tipa Vallette II (slika 9). Srpasta oblika elastično vpetega loka je temeljena na deformabilnih gramoznih tleh, ojačanih s pahljačo kolov jet-grouting. Konstruktivne rešitve, temeljenje in lep izgled so prispevek sodobni gradnji mostov.

Pri gradnji ločnega mostu čez dolino Mangartskega potoka (slika 10) razpetine 86 m, skupne dolžine 128 m in višine 60 m je prvič v Sloveniji uporabljena tehnologija prostokonzolne gradnje ločnih mostov s pomočjo začasnih armiranobetonskih pilonov višine 20 m, poševnih zateg in pomičnega odra.

Velik prispevek k povečanju zanesljivosti in trajnosti nadvozov, podvozov in manjših mostov predstavlja uporaba integralnih konstrukcij.

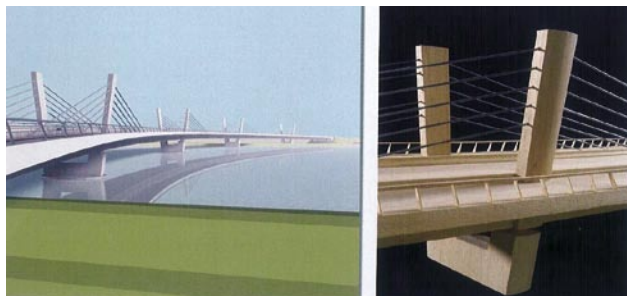
Integralni mostovi so betonski mostovi z okvirnimi konstrukcijami brez dilatacij in ležišč (slika 11). Gradnja integralnih mostov je monolitna, dimenzije so robustnejše. Poškodbe takšnih mostov so manjše, saj so odpravljeni glavni vzroki poškodb, območja nepovezanosti, dilatacije in območja ležišč. Stroški vzdrževanja so nižji, promet pa varnejši. Okvirne konstrukcije vsebujejo systemske rezerve v preporazporeditvi obremenitev. Projektiranje mostov v skladu s predpisi in standardi ni zadostno jamstvo za dober in trajen most. Pravilna zasnova namreč poleg standardov upošteva tudi izkušnje iz prakse in povratne informacije s področja vzdrževanja mostov in upravljanja z njimi.

Elastični krajni oporniki, ki ustrezajo naravi integralnih konstrukcij za nadvoze in druge objekte, skonstruirani skladno s primerom na sliki 12, so zelo racionalni in omogočajo hitro izgradnjo.

Integralne mostove je mogoče zgraditi tudi iz montažnih AB prednapetih T-nosilcev s širokim in tankim zgornjim pasom in stojino konstantne širine 40 cm ali več. Nad montažnimi nosilci se betonira plošča minimalne debeline 20 cm, ki je s pomočjo moznikov sovprežna z montažnimi nosilci. S prečnimi nosilci nad oporniki in vmesnimi podporami, ki se betonirajo hkrati s ploščo nad nosilci, se dosežeta toga povezava in integralna konstrukcija. Uporaba prenapetih montažnih nosilcev AB brez sovpreganja in kontinuiranja v Sloveniji ni dovoljena, ker ne zagotavlja ustrezne trajnosti.



Slika 7 • Most čez Ljubljanico



Slika 8 • Most čez Dravo na Ptuj



Slika 14 •



Slika 15 •

2 • KRITERIJI VREDNOTENJA

Če želimo oceniti dosežene rezultate pri projektiranju ter gradnji mostov in viaduktov je treba določiti kriterije vrednotenja. Ti so dani v splošni tehnični smernici za ocenjevanje variantnih (natečajnih) rešitev mostov:

- merila, ki se nanašajo na upoštevanje posebnosti lokacije in na podloge za izdelavo natečajnih rešitev;
 - konstruktivno-tehnološka merila;
 - merila, ki se nanašajo na oblikovanje mostu in ohranitev naravnega okolja;
 - ekonomska merila;
 - merila, ki se nanašajo na uporabo mostu.
- Za širše, celovitejše, objektivnejše in sodobnejše vrednotenje je koristno preveriti osnovne principe večšine projektiranja mostov:

- objektivnost;
- funkcionalnost;
- zanesljivost in trajnost;
- racionalnost, stroški izgradnje in vzdrževanja;
- estetika, harmonija z okoljem in elementi originalnosti.

Sledi logično vprašanje, ali so gradbeni inženirji-konstruktorji mostov šolani, da lahko uspešno udeležijo vse principe večšine projektiranja.

Objektivnost je splošna večpomenska sposobnost človeka, da pravilno sprejema vse zunanje vplive in pravilno oceni svoj odnos proti vsemu zunanjemu in proti sebi samemu. Objektivnost je del vzgoje in splošne kulture osebnosti in jo je težko naknadno in namensko pridobiti.

Objektivnost je najpomembnejša pri umeščanju trase avtocest in drugih cest v prostor. Most je v veliki meri posledica rešitve trase in pomen objektivnosti pri projektiranju mostov je bistveno ožji. Pri cestnih mostovih se objektivnost ne nanaša na oceno, ali je neki most

sploh potrebno graditi, kje ga postaviti, in izbiro trase, nivelete, širine ter namena mostu. Projektant mostu mora objektivno pristopiti k izbiri materiala, izbiri nosilnega sistema konstrukcije, tehnologije graditve in opreme. Osebne ambicije se morajo podrediti splošnim interesom, in to je eden od temeljnih principov objektivnosti.

Funkcionalnost mostu kot dela trase ceste je nesporna in je upravičena s projektom ceste. Ne glede na to ugotovitev na funkcionalnost mostov bistveno vpliva geometrija ceste, zato so pri večjih mostovih nujni sodelovanje in kompromisi. Funkcionalnost mestnih mostov je zelo zahtevna in se opredeljuje skladno s prostorskimi in urbanističnimi plani. Namen, razporeditev in širine posameznih površin so osnova za pravilno izbiro širine mostu. Funkcionalnost mostu se izboljšuje s pravilno izbiro rešitve prehoda s ceste na most, celovito obdelavo prostora pod mostom in okoli njega ter rešitvijo opreme mostu.

Zanesljivost mostov je splošen termin, ki vključuje varnost, uporabnost in trajnost. Na avtocestah morajo biti vsi mostovi zanesljivi, da sta zagotovljena ustrezna varnost in tekoče odvijanje prometa. Na avtocestah niso zaželeni nepreverjene konstrukcije z elementi tveganja. Kontrola zanesljivosti se nanaša na obnašanje konstrukcije v času njene predvidene življenjske dobe. Življenjska doba mostu je obdobje, v katerem ima most zagotovljena varnost in uporabnost, kar znaša 80–120 let, le-ti pa sta odvisni od lokacije, intenzitete in vrste prometa ter drugih parametrov.

Trajnost mostov se s časom zmanjšuje kot posledica lastnosti, ki jih ima sama konstrukcija in kot rezultat niza pričakovanih in nepričakovanih pojavov. Na trajnost mostov najbolj vplivajo lastnosti konstrukcije (za-

snova, nosilni in statični sistem, izbira materiala in tehnologije graditve ter oprema). Z rednim vzdrževanjem je mogoče bistveno podaljšati življenjsko dobo mostov, preprečiti večje poškodbe in nenadne rušitve.

Pri mostovih razlikujemo racionalnost, ki je posledica rešitve trase ceste, in racionalnost, ki je odvisna od rešitve samega mostu.

Položaj trase, nivelete, morfologija prepreke in geološko-geomehanski pogoji preudicirajo dispozicijske elemente mostu in s tem bistveno vplivajo na racionalnost. Na lokaciji velikih mostov, zgrajenih v okviru nacionalnega programa izgradnje avtocest, je viden učinek napora, da se preko variantnih rešitev tras dobi racionalna rešitev velikih viaduktov in mostov (viadukti preko Trojan, viadukt Črni Kal, mostovi na Muri in Dravi). Bilo bi dobro, če se ta praksa nadaljuje pri projektiranju hitre ceste na tretji razvojni osi. **Vse večje zahteve, pogosto neutemeljene, za zaščito narave in zahteve lokalnih oblasti bistveno dražijo ceste in mostove.**

Projektirani in zgrajeni mostovi v Sloveniji imajo racionalne in dobre zasnove, pravilno so temeljeni na osnovi ustreznih geološko-geomehanskih elaboratov, dobro so konstruirani ter zadostno statično in dinamično analizirani z uporabo sodobnih programov in opreme. Z uporabo sodobnih tehnologij izgradnje, posebej postopka narivanja, je izpolnjen bistveni pogoj racionalnosti in je dosežena popolna sinergija tehnologije gradnje in rešitev nosilnih konstrukcij s statično analizo v fazi gradnje in uporabe. Z zadovoljstvom lahko ugotovimo, da pri gradnji veliko novih zahtevnih mostov v Sloveniji ni prišlo do incidentnih situacij ali rušitev.

Estetika, harmonija z okoljem

Estetika je izrazito subjektivna disciplina in se menja s časom. Strokovnost, splošna kultura in objektivnost avtorjev vplivajo na estetski nivo mostov. Skladen most, harmonično vklopljen v okolje, vnaša nov element lepote.

Estetika mostu je pretežno odvisna od zasnove, izbire nosilnega sistema, dispozicijske rešitve, enotnosti kompozicije (skladna razmerja delov nosilne konstrukcije in mostu kot celote), upoštevanja pomembnosti ovire, morfoloških in geoloških danosti. Naknadno oblikovanje pravilno konstruiranega mostu je omejeno le na opremo.

Težnja, da so mostovi lepi, je trajno prisotna v zgodovini gradnje mostov. Projektiranje in izgradnja mostov je stik znanja, izkušenj in sposobnosti. Mostovi morajo izpolnjevati tri bistvene pogoje: koristnost, dolgotrajnost in lepoto. Razpetine, skupne dolžine in višine mostov so dosegle izredne velikosti, ki so bile nerealne še pred 50 leti. Hiter razvoj teorije konstrukcij in uporaba računalnikov sta zameglila globlji občutek za tradicijo, konstrukcijo in estetiko.

Mostovi so atraktivni objekti in vzbujajo pozornost strokovne in širše javnosti. Naša obveznost je, da jih pravilno konstruiramo in zaščitimo pred avtorji neprimernih modnih idej, ki zmanjšujejo njihovo stabilnost in trajnost.

Most je predvsem utilitarni objekt, ki ga tvorita nosilna konstrukcija in oprema. Samo nekateri izredni mostovi so po lokaciji, velikosti, doseženih razponih, skupni dolžini, namenu, konceptu, konstrukciji, tehnologiji izgradnje, poleg utilitarnosti, tudi simboli tehničnih, civilizacijskih in kulturnih dosežkov v času in prostoru. Slabo premišljena konstrukcija mostov obremenjuje okolje, zato je treba še bolj paziti na njihovo estetiko in skladno vključevanje v ruralni in urbani prostor. »Zgodovina civilizacije ni dala priznanja nobeni konstrukciji samo zato, ker se ni zrušila, pač pa je priznala njeno skladno lepoto, ki se je ohranila vse do danes.« (P. A. Mihelis).

Most se ne oblikuje, ampak konstruira in projektira po naravnih danostih ovire, elementih prometnice ter pravilih gradbene teorije in prakse. Uspeh kompozicije mostu je rezultat znanja, izkušenj in sposobnosti projektanta. Samo izredni graditelji mostov, ki jih plemeniti veselje ustvarjanja, lahko s šolano ustvarjalno spretnostjo in izkušnjami izdelajo skladno kompozicijo. Vsaka uspešna kompozicija mostu ima svoj estetski nivo, ki je rezultat

duhovne zrelosti avtorja. Čas je najboljši sodnik v izbiri med dobro in slabo zgrajenimi mostovi.

»Projektant mostov brez občutka za oblike in konstruktivne kompozicije je ali začetnik, ali le statik – zagotovo ni konstruktor.« (P. Séjourné)

Avtorji, odgovorni projektanti in graditelji mostov so lahko samo gradbeni inženirji konstrukcijske smeri, ker jim to program študija in praksa omogočata. Geomehaniki, arhitekti, cestni projektanti, hidrotehniki in krajinski arhitekti dajejo svoj doprinos k uspešni kompoziciji mostu in so zaželeni sodelavci odgovornemu projektantu in avtorju. Po svoji izobrazbi in usmeritvi ne morejo odgovarjati za varnost, trajnost in gospodarnost mostov.

Odgovorni projektant, avtor projekta mostu, pooblaščen gradbeni inženir konstruktivne smeri po veljavni zakonodaji prevzema celotno odgovornost za varnost in zanesljivost mostu v času gradnje in pri uporabi.

3 • LITERATURA

Viadukti in mostovi na slovenskih avtocestah, DARS, 2004.

TSC 07.101, splošna tehnična specifikacija za cestne premostitvene objekte, DARS, 1998.

Trojanović, M., Betonski mostovi 2, Beograd, 1964.

Pržulj, M., Integralni betonski mostovi, 9. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož 2009.

Pržulj, M., Gospodarjenje z mostovi in njihova rehabilitacija, DDC Ljubljana, 2000.