

Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, september 2015, letnik 64, str. 201-220

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo Univerze v Mariboru in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**, predsednik
Dušan Jukić
prof. dr. Matjaž Mikoš
IZS MSG: **Gorazd Humar**
Mojca Ravnikar Turk
dr. Branko Zadnik
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**
UM FG: **doc. dr. Milan Kuhta**
ZAG: **doc. dr. Matija Gams**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

500 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 23,16 EUR; za študente in upokojene 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56 0201 7001 5398 955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledki med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

stran **202**

Ivo Bojc, univ. dipl. inž. grad.

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

ZNAČILNOSTI GRADNJE MOSTOV NA OBSTOJEČEM ŽELEZNIŠKEM OMREŽJU

CHARACTERISTICS OF BRIDGE CONSTRUCTION ON EXISTING
RAILWAY NETWORK



stran **211**

dr. Jure Pirc, univ. dipl. inž. grad.

prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.

izr. prof. dr. Marijan Žura, univ. dipl. inž. grad.

UPORABA ROBUSTNE STATISTIKE PRI DOLOČEVANJU POTOVALNIH ČASOV NA AVTOCESTAH

USING OF ROBUST STATISTICS FOR TRAVEL TIME ESTIMATION
ON HIGHWAYS



Koledar prireditev

Eva Okorn

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 hrbtnica 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.

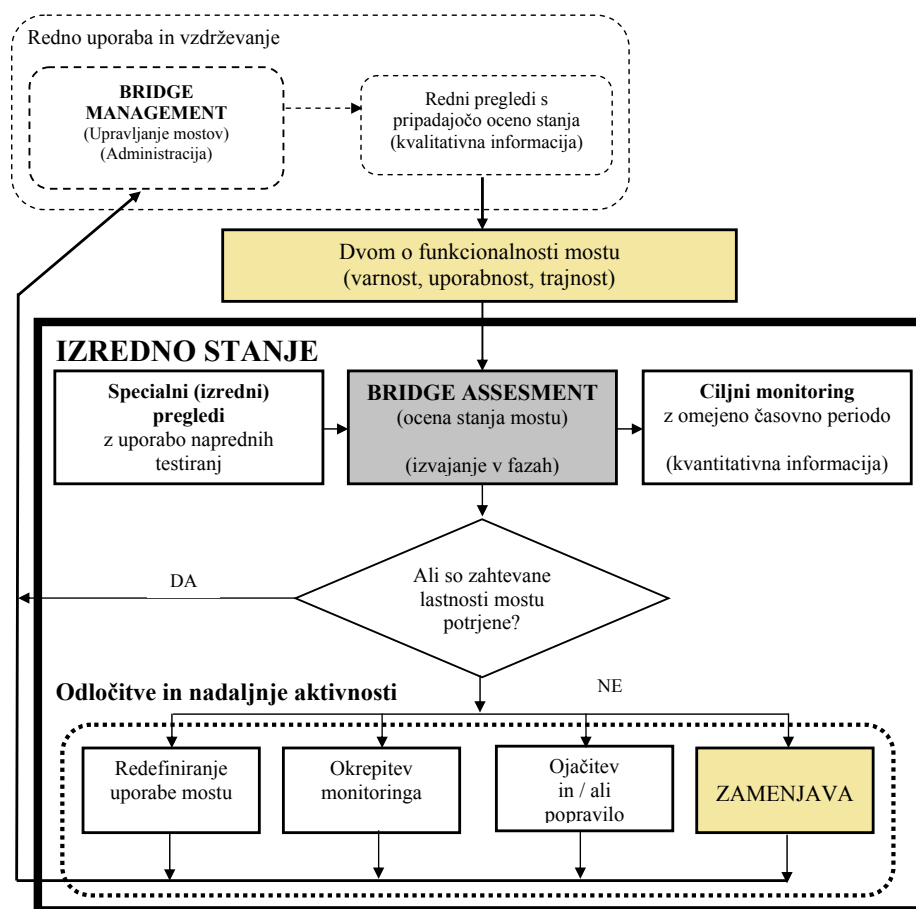
Obstoječe železniško omrežje na našem ozemlju je torej staro že okoli 160 let. Zaradi omejene dobe in povečanih zahtev na njem je treba mostove po določenem času obnoviti in jih nadomestiti z novimi. Glede na zgoraj opisano zato ne preseneča podatek, da je na evropskem železniškem omrežju več kot 1/3 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).

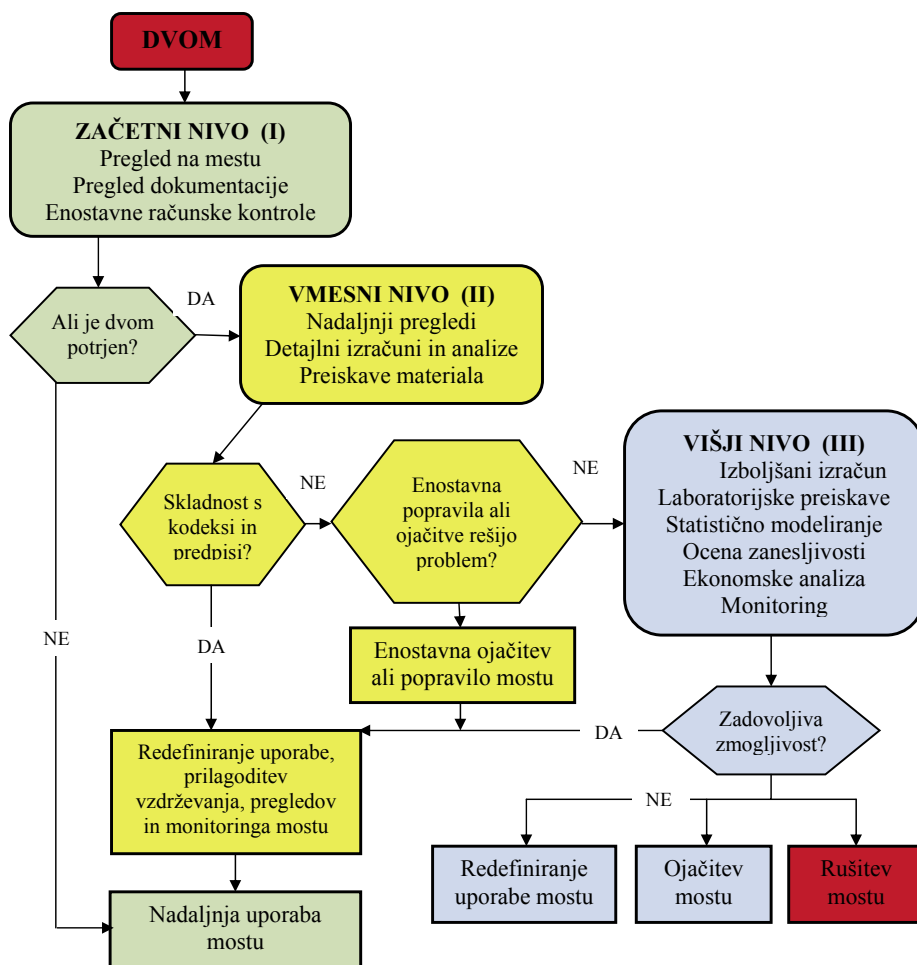
Ocena stanja mostu se v primeru suma izvaja stopenjsko, kot je prikazano na sliki 2. Najprej se opravijo enostavnejše analize (začetni nivo), ki morda že podajo ustrezne odgovore, v nasprotnem primeru se preide na vmesni nivo, v katerem se naredijo nadaljnji pregledi in podrobnejše analize, lahko pa 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 naštetje 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 gradbena dela po fazah, ki morajo biti usklajene s predvidenimi zaporami 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 (sledí 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 računaska 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 doseg 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 (datna 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 tovora, 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 zapora – 3000 EUR, 8-urna zapora – 5000 EUR, 12-urna zapora – 8000 EUR, 55-urna zapora – 40.000 EUR. Na zelo prometnih progah v bolj razvitih državah EU lahko stroški zapor dosegajo še mnogo višje vrednosti: npr. 72-urna zapora 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 izdelata 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, lažja 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 temu 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 krefnic), 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 proggo. 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 proggo na kraju samem ali pa se izgotovljen objekt potisne pod proggo 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 proggo, 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 hidrauličnimi stolpi (moving hydraulic tower).
- XII. Prestavitve 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 našete 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 proggo 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 proggo (nadvozi, nadhodi) pride do mošenj 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 proggo, 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)

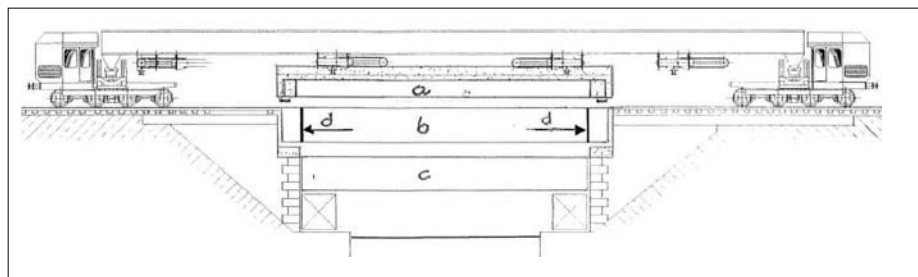
Takšno tirno vozilo se že dalj časa uspešno uporablja v nekaterih evropskih državah. Primerno je za zamenjavo prekladnih konstrukcij, pri katerih je podporna konstrukcija v ustreznem stanju in je z eventualno sanacijo primerna še za nadaljnjo uporabo. Dotrajana oz. neustrezna prekladna konstrukcija se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

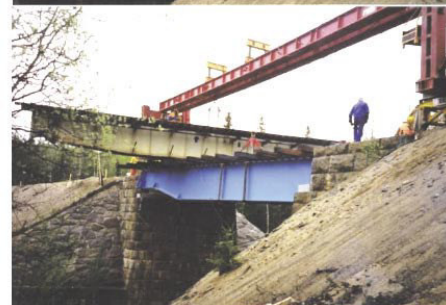
Nekoliko bolj zahtevna nadgrajena varianta te tehnologije je opisana v nadaljevanju. V tem primeru se stara konstrukcija ne spusti v odprtino pod mostom, temveč se stara in nova konstrukcija po višini zamenjata, stara konstrukcija pa se po namestitvi nove odpelje po tiru na deponijo (slika 4). V ta namen 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 tlorisu 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)

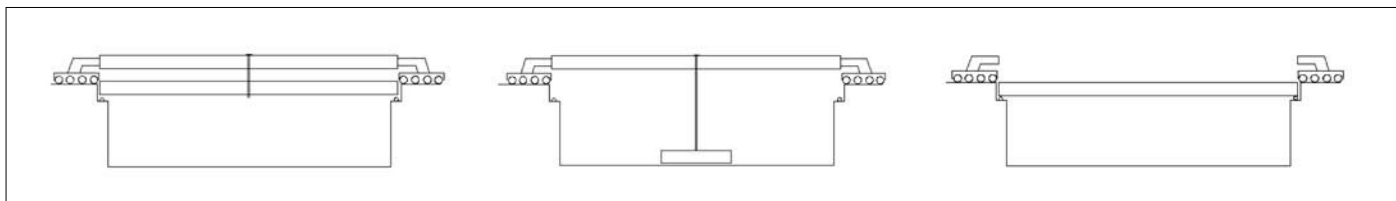


Slika 4 • Faze zamenjave stare in nove prekladne konstrukcije s pomočjo vrtenja le-teh okoli vertikalne osi za 90 stopinj

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 nameščanja 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.

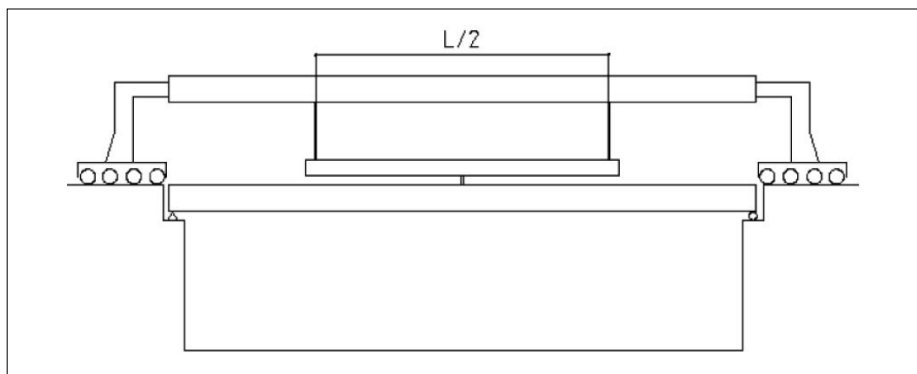
V tem primeru je treba zagotoviti še dodatno višino za namestitev vmesnega prenosnega nosilca.

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 dvižnih 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.

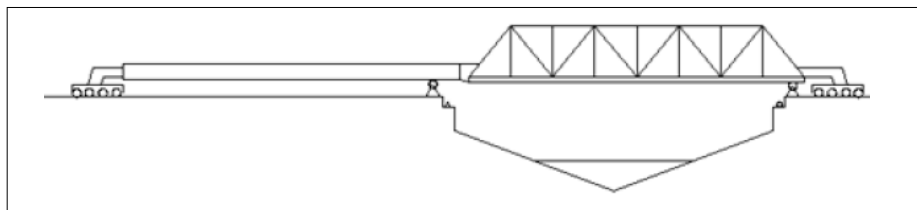
Pri tej metodi je treba posebno pozornost posvetiti spoju stare in nove prekladne konstrukcije. Ta spoj mora prenesti tako prečno silo kot tudi moment. S spajanjem teh dveh konstrukcij se bistveno poveča razpon začasno združene konstrukcije, ki znaša ravno dvakratni razpon mostu (razpona starega in novega 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 izkušeni 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.

UPORABA ROBUSTNE STATISTIKE PRI DOLOČEVANJU POTOVALNIH ČASOV NA AVTOCESTAH

USING OF ROBUST STATISTICS FOR TRAVEL TIME ESTIMATION ON HIGHWAYS

dr. Jure Pirc, univ. dipl. inž. grad.

jure.pirc@q-free.com

Q-free Traffic design, d. o. o., Kamniška 50, 1000 Ljubljana

prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.

goran.turk@fgg.uni-lj.si

izr. prof. dr. Marijan Žura, univ. dipl. inž. grad.

marijan.zura@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 519.2:656.1

Povzetek | Za voznike, cestne operaterje in prometne inženirje podatek o potovalnem času predstavlja najbolj uporabno informacijo pri načrtovanju potovanja v službo, na popoldanske aktivnosti ali na dopust. Potovalni čas posameznega vozila na odseku avtoceste lahko izmerimo z neposredno meritvijo časovnega intervala, ki ga za prevoz odseka potrebuje to vozilo. Za določitev reprezentativne vrednosti potovalnega časa na odseku opravljanja meritve moramo iz zbranih podatkov izločiti osamelce – potovalne čase vozil, katerih skrajšan oz. podaljšan potovalni čas nima vzroka v prometnih razmerah, temveč je posledica individualnega obnašanja posameznega vozila. Večina do sedaj predlaganih algoritmov uporablja klasične statistične metode, ki v primeru potovalnih časov, pridobljenih iz mešanega vzorca osebnih in tovornih vozil, niso sposobni izločiti vpliva počasnejših tovornih vozil. Potovalni časi tovornih vozil so zaradi fizičnih omejitev (fizične lastnosti vozila, nižje predpisane hitrostne omejitve, vpliv naklona trase) namreč bistveno daljši od potovalnih časov osebnih vozil. Ker so za obveščanje voznikov odločilni potovalni časi osebnih vozil, želimo vpliv tovornih vozil izločiti, to pa z obstoječimi algoritmi ni mogoče. Predlagani algoritem z uporabo robustne statistike določi tisto cenilko, ki v razmerah prostega prometnega toka najbolje opisuje voznike osebnih vozil, ki upoštevajo hitrostno omejitev na obravnavanem odseku. Za najbolj primerno robustno statistiko se je izkazal centil, ki ga določimo v fazi kalibracije algoritma v razmerah prostega prometnega toka in ga nato spremljamo tudi v razmerah zunaj prostega prometnega toka, ob predpostavki, da opisuje voznike osebnih vozil, ki drugače vozijo po hitrostnih omejitvah, na njihov potovalni čas pa so med potovanjem vplivale različne motnje znotraj prometnega toka. Evalvacija delovanja algoritma je potekala v različnih razmerah odvijanja prometnega toka. Algoritem se je izkazal za zelo učinkovitega tako za tehnologije z visoko stopnjo penetracije (reidentifikacija registrskih tablic) kot tudi za tehnologije z nizko stopnjo penetracije (reidentifikacija naslovov bluetooth). Primerjava z algoritmi, ki uporabljajo klasične statistične metode, je pokazala, da uporaba robustne statistike bistveno pripomore k natančnejšemu sledenju evolucije potovalnega časa.

Ključne besede: ocena potovalnega časa, neposredno merjenje potovalnega časa, algoritem za oceno potovalnega časa, robustna statistika, izločanje osamelcev

Summary | Highway operators around the world use Automated Vehicle Identification (AVI) based techniques as a technological input for travel time estimation on highways. Various AVI technologies provide various travel time measurement samples: some of them are able to identify only personal cars (e.g. tolling tags), while others provide mixed samples of all vehicle classes (e.g. license plate matching). As the adequate information on travel times should concern personal cars, the influence of heavy vehicles should be eliminated from the samples, which is not feasible with the use of existing travel time estimation algorithms. It was observed that also during congestion travel times of personal cars and heavy vehicles remain dispersed. The motivation for the present study was to introduce an algorithm that would be able to exclude the influence of slower heavy vehicles in travel time estimation for technologies, providing mixed samples of travel time measurements. This was achieved by the use of robust statistics. The results of the study could be used by all highway agencies and operators encountering problems with unreasonably extended estimations of travel times due to the presence of slow heavy vehicles in the traffic flow.

Keywords: travel time estimation, direct travel time measurement, travel time algorithm, robust statistics, outlier elimination

1 • UVOD

O predvidenem potovalnem času vzdolž avtocestnega odseka z zgoščenim prometnim stanjem je za voznike najbolj uporabna prometna informacija (Margulic, 2008), na podlagi katere vozniki lahko prilagodijo svoje potovanje. Pomembnost informacije o potovalnem času na določenem odseku avtoceste je v njegovi široki razpoznavnosti in preprostem tolmačenju za voznike (Markovič, 2010). Informacija o potovalnem času ni pomembna le za voznike, temveč tudi za upravljavce avtocestnega omrežja, ker predstavlja kvantitativno osnovo za oceno uspešnosti odvijanja prometnega toka na prometnem omrežju in je zato kazalnik uspešnosti prometnih strategij, uporabljamo pa jo lahko tudi za zanesljiv kazalnik nastanka zastojev (Berta, 2010). Kljub temu da potovalni čas predstavlja eno izmed osnovnih karakteristik prometnega toka, ga je bilo do pred nedavnim z razumnimi stroški zelo težko natančno izmeriti na večjem vzorcu prometnega toka (El Faouzi, 2010).

V splošnem obstajata dve možnosti ocene potovalnega časa na odseku avtoceste: prva možnost je neposredno merjenje, druga pa posredna ocena (Yeon, 2008). Neposredna meritev predstavlja merjenje časa, ki ga izbrano vozilo potrebuje za prevoz od točke A do točke B. Alternativa neposredni meritvi je posredna ocena potovalnega časa iz izmerjenih spremenljivk prometnega toka, kot sta hitrost in pretok, pridobljenih iz

točkovnih merilcev, in njihovi ekstrapolaciji na pripadajoč odsek izvajanja meritve.

V literaturi najdemo vrsto študij na temo izračuna potovalnega časa iz linijsko pridobljenih meritev. Več avtorjev ((Malinovski, 2010), (Puckett, 2010), (Quayle, 2010), (Soriguera, 2010), (Turner, 1996), (Mirchandani, 2009)) se je ukvarjalo s problemom, kako izločiti osamelce, katerih podaljšan oz. skrajšan potovalni čas nima vzroka v prometnih razmerah na odseku, temveč je posledica individualnega obnašanja vozila. Quayle in Koonce (Quayle, 2010) sta za določitev območja upoštevanja potovalnega časa uporabila metodo drseče standardne deviacije. Algoritem filtriranja podatkov, ki sta ga predlagala Puckett in Vickich (Puckett, 2010), vsako na novo izračunano vrsto potovalnih časov primerja s predhodnim povprečjem. Če le-ta za več kot prag meritve (npr. 25 %) odstopa od prejšnjega povprečja, potem je ta vrednost označena kot neveljavna in je izločena. Dion in Rakha (Dion, 2006) sta želela zagotoviti, da je algoritem filtriranja podatkov uporaben tako v razmerah prostega kot tudi zgoščenega prometnega toka. Kim s sod. (Kim, 2012) so v svoji študiji semaforizirane cestne mreže preverili tri različne metode izločanja osamelcev v potovalnih časih na mestni cestni mreži: metodo drseče standardne deviacije, metodo škatle z brki in metodo časovne vrzeli. Predlagana metoda od Kima s sod. (Kim, 2012) temelji na kombinaciji drseče standardne de-

viacije in fiksni spodnji meji še upoštevanih potovalnih časov. Barceló in sod. (Barceló, 2010) so razvili vrsto tehnik za filtriranje podatkov o potovalnih časih, pridobljenih z reidentifikacijo naslovov bluetooth. Njihova metoda določa spodnjo mejo še upoštevanih potovalnih časov v prostem prometnem toku, s čimer so izločene pretirano visoke hitrosti. Avstrijski raziskovalci, Schneider s sod. (Schneider, 2006), so izločili osamelce v potovalnih časih, pridobljenih iz sistema elektronskega cestninjenja, z uporabo dveh metod: metodo škatle z brki in filtriranje vrednosti z.

Večini predhodno omenjenim raziskavam in algoritmom je skupno to, da temeljijo na predpostavki o normalni porazdelitvi potovalnega časa in reprezentativno vrednost potovalnega časa izračunajo s klasičnimi statističnimi metodami. Če za porazdelitev potovalnih časov uporabimo predpostavko o normalni porazdelitvi, z uporabo statistik, vezanih na normalno porazdelitev (povprečje, standardna deviacija), dobimo rezultate, ki nepravilno opisujejo obnašanje potovalnih časov. S prisotnostjo in izločanjem vpliva osamelcev z uporabo robustnih statističnih metod so se znanstveniki ukvarjali na različnih tematskih področjih: ((Ma, 2010) na področju prometnega inženirstva, (Field, 2010) vodarstva, (Daszykowski, 2006) farmacije). Za oceno reprezentativne vrednosti podatkov z osamelci so namesto povprečne vrednosti predlagali uporabo robustnih statistik, predvsem mediane, kot sta to predlagala Ma in Koutsopoulos (Ma, 2010) v sistemu za določevanje potovalnih časov v Stockholmu.

2 • TEORETIČNI PRISTOP

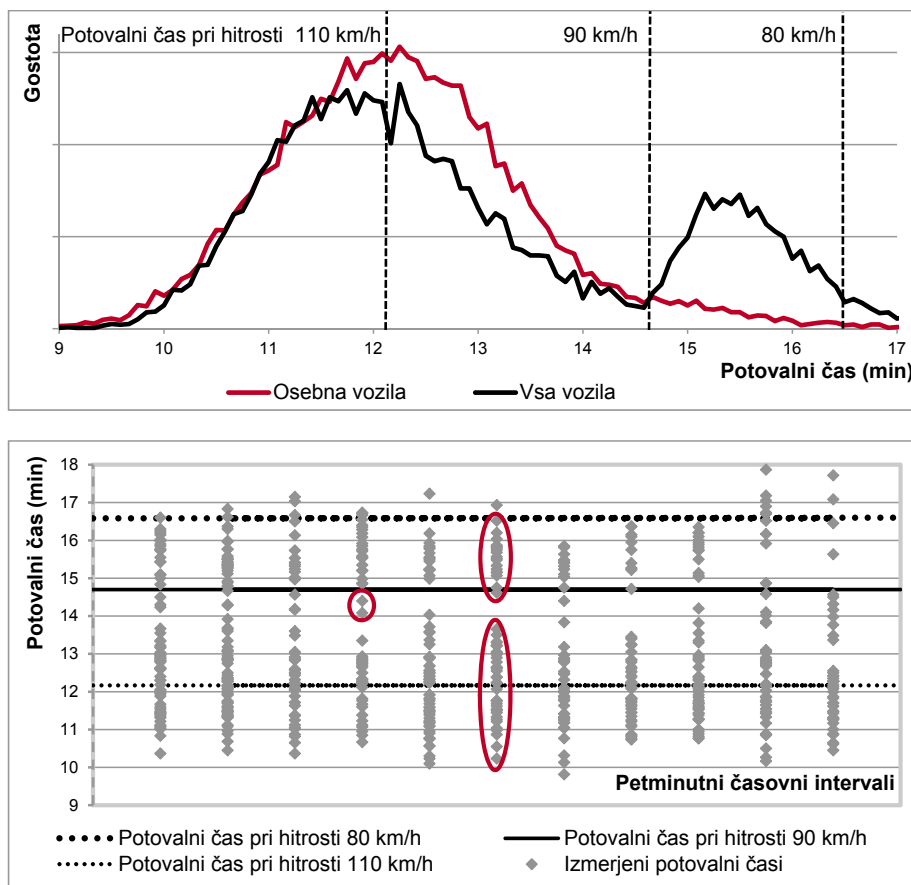
2.1 Robustna statistika

Med našimi raziskavami smo ugotovili, da se potovalni časi na avtocestnem odseku z vmesnimi priključki porazdeljujejo logaritemsko normalno, pri čemer je dobro vidna značilna zamaknjenost v desno. Ta zamik v desno je posledica podaljšanih potovalnih časov tovornih vozil in podaljšanih potovalnih časov, ki so pogosti predvsem v primeru vmesnega postanka vozila ali v času nastajanja zastojev.

Robustna statistika predstavlja alternativni pristop standardnim statističnim metodam, njen namen pa je določitev cenilk, na katere prisotnost osamelcev ne vpliva. Osamelec pomeni vrednost opazovanja, ki bistveno odstopa od vzorca večine preostalih opazovanj. Pri izračunu potovalnih časov za osamelce štejemo potovalne čase, katerih skrajšan (npr. motoristi, ki prehitvevajo kolono zaustavljenih vozil) oz. podaljšan (npr. vozila, ki so se ustavila na počivališču) potovalni čas nima vzroka v prometnih razmerah, temveč je posledica individualnega obnašanja posameznega vozila. Prisotnost osamelcev pri meritvah potovalnega časa ima velik vpliv na določitev reprezentativne vrednosti potovalnega časa. Uporaba robustnih metod omogoča avtomatsko zaznavo, označitev in eliminacijo osamelcev (Hampel, 1971) ter je zelo uporabna predvsem pri slučajnih sprememljivkah, ki niso porazdeljene normalno in pri katerih bi velika odstopanja od srednje vrednosti pri uporabi klasičnih statističnih mer pomenila velike spremembe v rezultatih statistik. Z uporabo robustne statistike dobimo zanesljive rezultate statistik tudi pri velikih odstopanjih posameznih vrednosti (osamelcev) od modela.

2.2 Pridobitev reprezentativnega vzorca izmerjenih potovalnih časov z uporabo robustne statistike

V svetu so se uveljavile različne tehnike in tehnologije merjenja potovalnih časov med dvema točkama (CSI, 2012): sistem za razpoznavo registrskih tablic s procesiranjem videoslike in njihovo reidentifikacijo na zaporednih merilnih mestih ((Bertinil, 2005), (Friederich, 2008), (Grüber, 2007), (Yasin, 2009)), sistem za reidentifikacijo naslovov bluetooth ((Haghani, 2010), (Malinovskiy, 2010), (Pucket, 2010)), reidentifikacija medijev za elektronsko cestninjenje (Vuadelle,



Slika 1 • Gostota porazdelitve potovalnih časov (zgoraj) in potovalni časi različnih kategorij vozil (spodaj)

2006), reidentifikacija vozil z analizo videoslike (MacCarley, 2001), določevanje potovalnih časov v zaprtem cestninskem sistemu z uporabo tradicionalnih cestninskih listkov (Soriguera, 2010), reidentifikacija vozil glede na njihovo dolžino (Coifman, 2002) itd. Izbira tehnologije in njena penetracija v veliki meri vplivata na vzorec meritev potovalnih časov, ki ga nadalje obravnavamo. Če se odločimo za reidentifikacijo naprav, ki jih uporablja samo en razred vozil (npr. tablice za elektronsko cestninjenje osebnih vozil), dobimo popolnoma drugačen vzorec izmerjenih potovalnih časov, kot če podatke pridobivamo na osnovi tehnologije, ki zajame celoten prometni tok (npr. reidentifikacija registrskih tablic ali naslovov bluetooth).

V času prostega prometnega toka sta iz zbranih podatkov o potovalnih časih dobro vidni dve večji skupini vozil. Prva so osebna vozila, ki vozijo z naključnimi hitrostmi, razporejenimi okoli povprečne hitrostne ome-

jitve na odseku, katerih naključno porazdelitev hitrosti gre v veliki meri pripisati individualnemu upoštevanju hitrostne omejitve na obravnavani trasi. Drugo večjo skupino predstavljajo tovorna vozila, katerih hitrosti so porazdeljene med 80 in 90 km/h, kolikor glede na posamezno kategorijo tovornega vozila (do 3,5 tone, nad 3,5 tone) znaša najvišja dovoljena hitrost. Vmesne potovalne čase predstavljajo preostale kategorije vozil (kombiji, dostavna vozila ipd.) oz. počasnejša osebna vozila.

V splošnem bi za izračun reprezentativne vrednosti potovalnega časa na odseku želeli pridobiti le meritve potovalnih časov osebnih vozil, saj se ta v prostem prometnem toku gibljejo skorajda brez fizičnih omejitev in so zato merodajna (Soriguera, 2009). V nasprotju z osebnimi vozili na težka tovorna vozila vpliva vrsta dejavnikov (naklon trase, nižje predpisane hitrostne omejitve, fizične omejitve pri vožnji ...), zaradi česar so izmerjeni potovalni

časi tovornih vozil bistveno daljši od tistih, ki jih za prevoz odseka potrebujejo osebna vozila. Ker tovorna vozila za prevoz odseka potrebujejo daljši čas kot osebna, želimo njihov vpliv pri določitvi reprezentativnega potovalnega časa kar se le da zmanjšati.

Če uporabljena metoda reidentifikacije vozil na kontrolnih točkah omogoča le pridobivanje mešanega vzorca potovalnih časov vseh kategorij vozil in če razlikovanje med osebnimi in tovornimi vozili ni mogoče, moramo za zagotovitev reprezentativne vrednosti potovalnega časa uporabiti primerno metodo filtriranja neposredno izmerjenih vrednosti potovalnega časa, na podlagi katerega se voznike obvešča o potovalnem času na odseku.

Ob opaženem dejstvu, da je razpršitev potovalnih časov znotraj izbranega časovnega intervala v času prostega prometnega toka velika in da nekatera vozila dosega bistveno nižje hitrosti kot druga, je več kot očitno, da povprečna vrednost potovalnih časov ne predstavlja reprezentativne vrednosti razmer na trasi. Z uporabo robustne statistike želimo poiskati tisto statistiko, ki v razmerah prostega prometnega toka najbolje opisuje voznike, ki upoštevajo hitrostno omejitev na obravnavanem odseku. To statistiko nato spremljamo tudi v razmerah zunaj prostega prometnega toka, ob predpostavki, da opisuje voznike, ki drugače vozijo po hitrostnih omejitvah, na njihov potovalni čas

pa med potovanjem vplivale različne motnje znotraj prometnega toka.

Pri primerjavi neposredno izmerjenih podatkov o potovalnih časih s potovalnim časom ob upoštevanju predpisane hitrostne omejitve na odseku se je za najbolj uporabno statistiko pokazal centil. Rang centila, ki ga model upošteva za določitev reprezentativne vrednosti potovalnega časa, je nastavljen parameter, ki je odvisen od odseka opravljanja meritve in ga je treba za vsak odsek določiti s kalibracijo. Med kalibracijo določimo vrednost centila, ki v prostem prometnem toku najbolje opiše voznike, ki vozijo po hitrostni omejitvi.

3 • ALGORITEM ZA DOLOČEVANJE LINIJSKEGA POTOVALNEGA ČASA Z UPORABO ROBUSTNE STATISTIKE

3.1 Opis algoritma

Na podlagi reidentifikacije določenega vozila na dveh zaporednih merilnih mestih ob pogoju sinhronizacije ure na obeh lokacijah dobimo izmerjeni potovalni čas, ki ga je vozilo potrebovalo za prevoz obravnavanega odseka:

$$tt_{ABi} = t_{Bi} - t_{Ai} \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

Reprezentativno vrednost potovalnega časa za izbrano časovno obdobje, odsek izvajanja meritve in dnevni oz. nočni režim delovanja izračunamo z eno od naslednjih enačb.

Če je na voljo več kot 20 meritev potovalnega časa, vrednost potovalnega časa izračunamo z uporabo centilne vrednosti za dnevni oz. nočni način delovanja.

$$tt_{AB} = p\text{-ti centil vzorca potovalnih časov } tt_{ABi}, \text{ v časovnem intervalu zajema } \Delta t \quad (2)$$

Če je na voljo od 2 do 20 meritev potovalnega časa, vrednost potovalnega časa izračunamo na podlagi predpostavke o logaritemsko normalni porazdelitvi (Benjamin, 1970).

$$\tilde{m}_{TT} = \frac{m_{TT}^2}{\sqrt{m_{TT}^2 + \sigma_{TT}^2}} \quad (3)$$

$$\sigma_{\ln TT}^2 = \ln\left(\frac{\sigma_{TT}^2}{m_{TT}^2} + 1\right) \quad (4)$$

$$tt_{AB} = \tilde{m}_{TT} \exp(k_\epsilon \sigma_{\ln TT}) \quad (5)$$

V zgornji enačbi m_{TT} predstavlja povprečje vzorca potovalnih časov, σ_{TT}^2 je varianca vzorca potovalnih časov, \tilde{m}_{TT} predstavlja mediano vzorca potovalnih časov, k_α je inverzna kumulativna funkcija standardizirane normalne porazdelitve, ϵ pa je p -ti centil glede na dnevni oz. nočni način delovanja algoritma.

Če sta v časovnem intervalu zajema podatkov na voljo manj kot dve meritvi potovalnega časa, algoritem ni sposoben zagotoviti ocene, zato vrednosti potovalnega časa ne moremo izračunati. Vrednost potovalnega časa v takem primeru ostane enaka kot v prejšnjem časovnem intervalu.

Reprezentativna vrednost potovalnega časa TT_{AB} se izračuna ob predpostavki logaritemsko normalne porazdelitve potovalnih časov, s čimer upoštevamo značilno zamaknenost v desno, ki predstavlja podaljšane potovalne čase. Uporabljen je faktor eksponentnega glajenja α , ki na podlagi števila meritev n v časovnem intervalu t_k in vrednosti parametra občutljivosti β določi vpliv posameznega (trenutnega in prejšnjega) časovnega intervala pri izračunu reprezentativne vrednosti potovalnega časa. Parameter občutljivosti je v modelu nastavljen vrednost med 0,1 in 0,3. Z uporabo vrednosti $\beta = 0,2$ 24 meritev potovalnega časa znotraj časovnega intervala zagotavlja dovolj velik vzorec, da za izračun reprezentativne vrednosti potovalnega časa ne potrebujemo podatkov iz prejšnjega časovnega intervala:

$$TT_{AB} = \exp[\alpha \cdot \ln(tt_{AB}(t_k)) + (1 - \alpha) \cdot \ln(tt_{AB}(t_{k-1}))] \quad (6)$$

$$\alpha = 1 - (1 - \beta)^n \quad (7)$$

V zadnjem koraku reprezentativno vrednost potovalnega časa zaokrožimo na zgornjo vrednost cele minute, da voznikom zagotovimo lažje dojemljivo informacijo.

3.2 Kalibracija algoritma

Za pravilno delovanje algoritma za določevanje potovalnih časov iz neposrednih linijskih meritev je potrebna njegova kalibracija, saj določitev parametrov algoritma ni trivialna. Izračun reprezentativne vrednosti potovalnega časa za časovno obdobje izračuna in odsek opravljanja meritve se izvajata na podlagi predhodno kalibriranega algoritma.

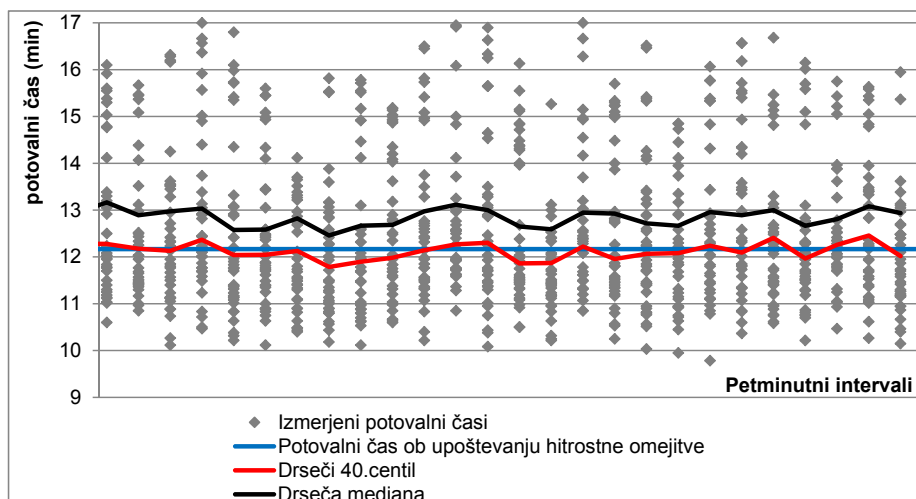
Kalibracija algoritma se izvede za vsak posamezni odsek opravljanja meritve v odvisnosti od uporabljene tehnologije zajema podatkov in je v največji meri odvisna od količine in strukture prometnega toka, ki na danem odseku prevladuje. Kalibracija se izvede v času prostega prometnega toka ločeno za dnevni in nočni režim delovanja. Z izbiro trajanja časovnega intervala zajema podatkov za pridobitev reprezentativnega vzorca potovalnih časov podnevi in ponoči poskušamo pridobiti kar se le da veliko število meritev za zagotovitev reprezentativnega vzorca potovalnih časov.

Glavna naloga kalibracije algoritma je določiti vrednosti robustnih statistik, ki dobro opišejo prometni tok v dnevnem in nočnem času. Na podlagi izmerjenih potovalnih časov je

treba določiti centilni vrednosti za dnevni in nočni čas, ki najbolje opišeta vozila, ki vozijo skladno s hitrostnimi omejitvami na danem odseku. To naredimo s primerjavo korenov povprečnih kvadratnih napak (RMSE) za različne vrednosti centilov potovalnega časa $tt_{i,p}$, izračunanih glede na vrednost potovalnega časa ob upoštevanju hitrostne omejitve $tt_{omejitev}$. Centilna vrednost potovalnega časa z najmanjšo napako se v algoritmu uporabi kot reprezentativen centil.

$$RMSE_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (tt_{i,p} - tt_{omejitev})^2} \quad (8)$$

Analiza podatkov za daljše časovno obdobje je za pilotski odsek, predstavljen v nadaljevanju, pokazala, da voznike, ki v prostem prometnem toku podnevi upoštevajo hitrostno omejitev, najbolje opiše vrednost 40. centila podnevi in 10. centila ponoči (slika 2). Naslednji korak kalibracije algoritma določi dnevni in nočni režim delovanja ter prehode med njima. Natančen čas prehoda je odvisen



Slika 2 • Drseči 40. centil predstavlja približno vrednost potovalnega časa za vozila, ki v dnevnem času upoštevajo omejitev hitrosti na odseku

predvsem od količine prometnega toka in deleža tovornih vozil v prometnem toku. Ko so določene vrednosti robustnih statistik in čas delovanja posameznega dnevnega oz. nočnega režima, moramo preveriti, kako algo-

ritem deluje v daljšem časovnem obdobju in kako robusten je na prisotnost osamelcev v prometnem toku. Tu po potrebi naredimo še manjše popravke, kot je npr. zaokroževanje vrednosti za potrebe obveščanja voznikov.

4 • VALIDACIJA DELOVANJA ALGORITMA

4.1 Obstoječi algoritmi za določevanje potovalnega časa

Eden izmed prosto dostopnih algoritmov je v ZDA široko uporabljen algoritem TransGuide, ki je bil razvit na inštitutu Southwest Research (SwRi, 2000). Algoritem določa potovalne čase na odseku med zaporednimi lokacijami samodejne identifikacije vozil z metodo drsečega povprečja in samodejno izloči vse potovalne čase, ki za več kot prag meritve odstopajo od definiranega merodajnega potovalnega časa na izbranem odseku. Potovalni čas na odseku se računa z metodo drsečih povprečij, pri čemer se uporabljata dva parametra: časovni okvir zajema in prag meritve za izločanje osamelcev. Časovni okvir zajema se uporablja za določitev časovnega okvira, ki ga upoštevamo pri izračunu potovalnega časa. V primeru časovnega okvira 5 minut za izračun potovalnega časa upoštevamo le podatke o avtomobilih, ki so v zadnjih 5 minutah prispeli na določeni odsek. Prag meritve se uporablja za izločitev osamelcev. V primeru, da je prag meritve nastavljen na 20 %, to pomeni, da vsi potovalni časi, ki za več kot 20 % odstopajo od potovalnega

časa, določenega v prejšnji časovni iteraciji, ne bodo vključeni v izračun.

Kot je razvidno v nadaljevanju, je algoritem TransGuide pogosto kritiziran zaradi njegove nezmožnosti sledenja nenadnim spremembam. Z željo po sledenju nenadnim spremembam sta Dion in Rakha (Dion, 2006) želela zagotoviti, da bi bil algoritem izločanja podatkov uporaben tako v razmerah prostega kot tudi zgoščenega prometnega toka, torej v primeru stabilnih prometnih razmer, kjer nihanje povprečja ni izrazito, ter tudi v primeru nestabilnih prometnih razmer, katerih posledica so velika nihanja povprečne vrednosti potovalnega časa. Algoritem zagotavlja uporabnost tudi pri manjšem številu podatkov, pridobljenih iz vira samodejne identifikacije vozil. Algoritem izločanja podatkov uporablja dinamično spreminjajoče se območje veljavnosti, ki na podlagi števila meritev v danem časovnem intervalu, števila meritev v prejšnjem časovnem intervalu in na podlagi zaporednih meritev zunaj območja veljavnosti določi veljavne potovalne čase. Algoritem vsako vrednost izmerjenega potovalnega časa, ki je zunaj območja veljavnosti, zavrže.

Zaradi velikih nihanj v izmerjenih potovalnih časih, ki Dion-Rakhovemu algoritmu zaradi uporabe povprečne vrednosti predstavljajo težave pri izračunu reprezentativne vrednosti potovalnega časa, sta avtorja Ma in Koutsopoulos (Ma, 2010) predlagala nadgradnjo algoritma, ki namesto povprečne vrednosti za določitev intervala zaupanja za prihodnji časovni interval uporabi mediano. Mediana se uporabi tudi pri izračunu reprezentativne vrednosti potovalnega časa. Določitev intervala zaupanja za prihodnji interval se izvede na podlagi razpršenosti, ki za določitev namesto povprečne vrednosti uporabi mediano. V vseh algoritmih je bil časovni interval zajema nastavljen na $\Delta t_{dan} = 5$ min. in $\Delta t_{noč} = 15$ min.

4.2 Območje testiranja

Odsek avtoceste A1 čez Trojane med Vranskim in Blagovico, kot del V. Pan-evropskega koridorja med Barcelono (Španija) in Kijevom (Ukrajina), predstavlja enega prometno najbolj obremenjenih avtocestnih odsekov v Republiki Sloveniji (slika 3). Na 22 km višinsko zelo razgibane trase s štirimi predori in velikim številom objektov, kot so nadvozi, viadukti in mostovi, je promet voden z modernim sistemom za nadzor in vodenje prometa. 50 mikrovalovnih detektorjev, 32 videodetekcij-



Slika 3 • Območje testiranja



Slika 4 • Obveščanje voznikov o potovalnem času

skih kamer, 35 videonadzornih kamer, 5 cestno-vremenskih postaj, sistema za merjenje potovalnih časov z uporabo reidentifikacije registrskih tablic in naslovov bluetooth ter 24 grafičnih prikazovalnikov spremenljive prometnoinformativne signalizacije predstavlja ugodno področje za preizkušanje različnih računskih orodij in novih tehnologij.

Na podeželski avtocesti, izpeljani po gričevnatem terenu, prevladuje tranzitni promet, sestavljen predvsem iz tovornih vozil, ki prevažajo tovor med novimi članicami Evropske unije. Povprečni letni dnevni pretok na odseku znaša približno 40.000 vozil; kar 30 % od teh so tovorna vozila, ki imajo bistven vpliv na določevanje potovalnih časov. Delež tovornih vozil se ponoči poveča na 80 %.

Območje testiranja z zahtevno traso in nameščeno opremo zagotavlja velik nabor podatkov tako za razmere prostega prometnega toka kot tudi za različne izredne dogodke (nesreče, neugodne vremenske razmere, zapore ceste, preusmeritve prometa ...), ki se razvijajo v zastoje. Baza podatkov različnih dogodkov se sprti posodablja, kar omogoča preizkušanje izboljšav v realnem prometnem okolju.

Na avtocestnem odseku med Vranskim in Blagovico je bil nameščen pilotski sistem za neposredno merjenje potovalnih časov z reidentifikacijo registrskih tablic in naslovov bluetooth. Odsek je specifičen predvsem zaradi tega, ker na delu odseka velja omejitev hitrosti 100 km/h (70 % dolžine trase), na preostalem delu odseka pa je omejitev hitrosti 130 km/h (30 % dolžine trase).

Na obeh krajnih točkah odseka je bila na obstoječi infrastrukturi sistema za nadzor in vodenje prometa (portali SPIS) postavljena oprema za samodejno razpoznavanje registrskih tablic ter oprema za samodejno zaznavanje naslovov bluetooth (slika 4). Podatki

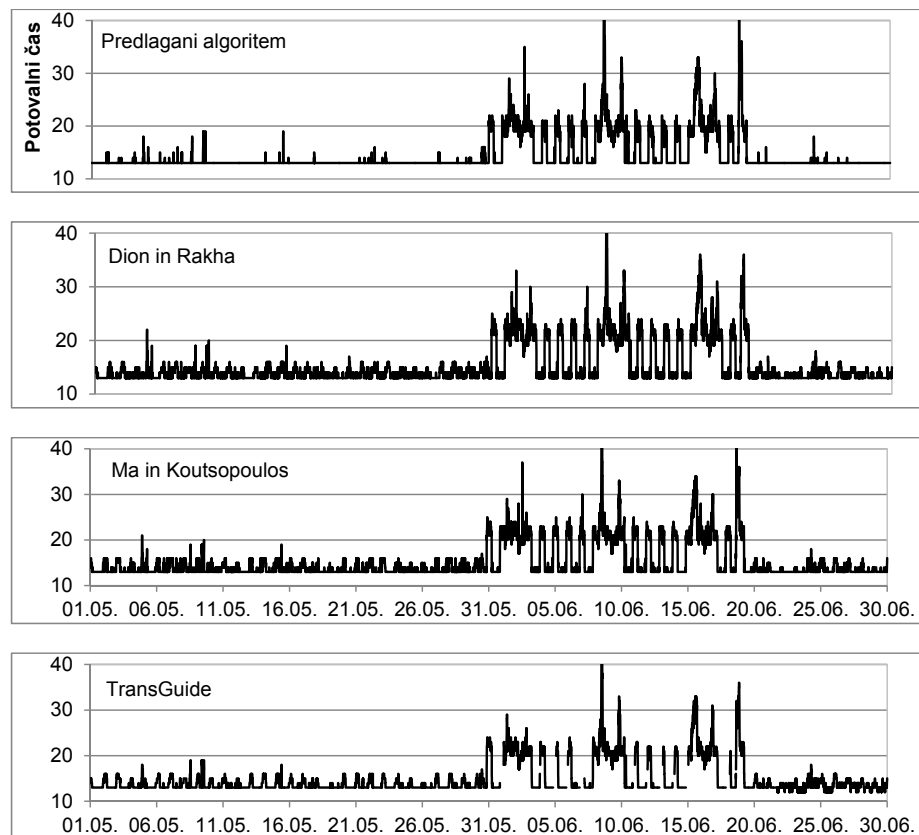
s terena se prenašajo preko optičnega komunikacijskega omrežja do centralnega dela sistema, razvitega za potrebe izračunavanja potovalnih časov. Centralni del sistema je nameščen v regionalnem nadzornem centru Vransko, ki upravlja promet na tem delu avtoceste A1.

4.3 Evalvacija algoritma

Dva meseca smo vzporedno spremljali delovanje algoritmov za določevanje potovalnih časov: pri nas razvitega algoritma, ki

temelji na uporabi robustnih statističnih metod, v ZDA široko uporabljenega algoritma TransGuide, ki potovalne čase izračuna z določitvijo praga meritve in uporabo običajnih statističnih metod, ter Dion-Rakhov in Ma-Koutsopoulosov algoritem, ki po avtorjevem vedenju nista doživela praktične uporabe (slika 5).

V dvomesečnem obdobju primerjave algoritmov smo iz baze podatkov sistema za nadzor in vodenje prometa izluščili 14 različnih izrednih dogodkov, kot so npr. nesreče, dela



Slika 5 • Primerjava določevanja potovalnih časov z različnimi algoritmi (predlagani, TransGuide, Dion-Rakhov in Ma-Koutsopoulosov algoritem) za obdobje dveh mesecev

	Predlagani	TransGuide	Dion	Ma
Povprečni potovalni čas v času razmer prostega prometnega toka: podnevi	13.03 min.	13.06 min.	13.26 min.	13.10 min.
Standardni odklon potovalnega časa: podnevi	0.17 min.	0.30 min.	0.47 min.	0.36 min.
Delež časovnih intervalov s podaljšanim potovalnim časom brez razloga: podnevi	2.3 %	4.3 %	24.0 %	8.1 %
Povprečni potovalni čas v času razmer prostega prometnega toka: ponoči	13.02 min.	14.22 min.	14.32 min.	14.35 min.
Standardni odklon potovalnega časa: ponoči	0.20 min.	1.01 min.	0.80 min.	1.06 min.
Delež časovnih intervalov s podaljšanim potovalnim časom brez razloga: ponoči	1.4 %	70.0 %	85.6 %	73.3 %
Nezmožnost določitve potovalnega časa	0 %	1.75 %	0.008 %	0 %
Primerjava potovalnega časa v času nastanka zastoja (- hitrejši odziv, + počasnejši odziv) *	0 %	-1.0 %	-3.6 %	-1.7 %
Primerjava potovalnega časa v času razpustitve zastoja (- hitrejši odziv, + počasnejši odziv) *	0 %	+8.5 %	+5.5 %	+2.8 %

Preglednica 1 • Primerjava delovanja algoritmov (* predlagani algoritem je vzet kot referenčen, vendar ne nujno najboljši)

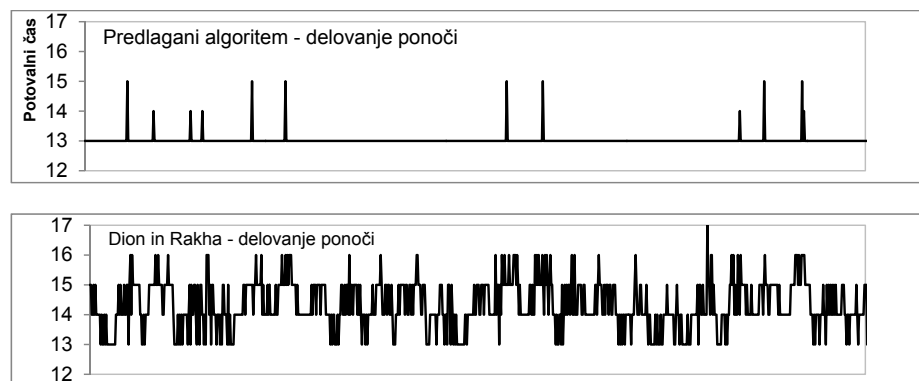
na cesti, močan dež, ter 13 preusmeritev prometnega toka na vzporedno cestno omrežje zaradi del v predorih. Preusmeritev prometa na vzporedno cesto je bila v desetih primerih ponoči med 20:30 in 5:00, v treh primerih med vikendom, od petka od 20:30 do ponedeljka do 5:00.

Primerjava uspešnosti določevanja potovalnih časov z različnimi algoritmi v dnevnem času in razmerah prostega prometnega toka pokaže, da so potovalni časi, določeni z različnimi algoritmi, v povprečju znotraj nekaj sekund (preglednica 1). Vrednosti potovalnega časa se gibljejo okoli vrednosti potovalnega časa ob upoštevanju hitrostne omejitve, ki je za obravnavani odsek 13 minut. Dion-Rakhov algoritem in algoritem TransGuide občasno določata tudi do 30 % podaljšane potovalne čase, kljub temu da so na odseku prevladovali razmere prostega prometnega toka. Algoritma sta brez razloga podaljšane potovalne čase določevala za časovna obdobja vse tja do ene ure.

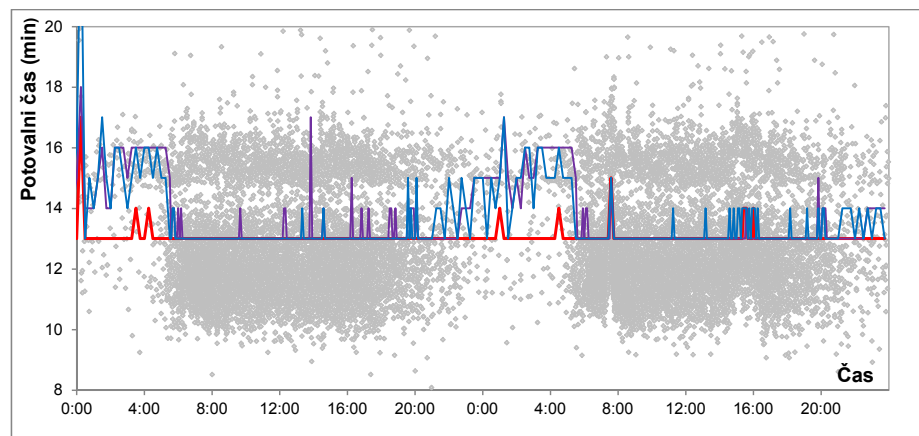
V nočnem času delovanja algoritma, ko pretežni delež prometnega toka predstavljajo tovorna vozila, algoritem TransGuide ter Dion-Rakhov in Ma-Koutsopoulousov algoritem niso bili zmožni izločiti podaljšanih potovalnih časov teh tovornih vozil. V času dvomesečne primerjave algoritmov so omenjeni algoritmi vsako noč določevali do 30 % podaljšane potovalne čase, čeprav so na odseku prevladovali razmere prostega prometnega toka. Dion-Rakhov algoritem je kar 85 % nočnega časa določeval nepravilno podaljšane potovalne čase, ki so trajali tudi po več kot eno uro.

Predlagani algoritem je z upoštevanjem velikega deleža tovornih vozil ves čas pravilno določeval potovalne čase na odseku izvajanja meritve (slika 6). Kljub temu da natančnost

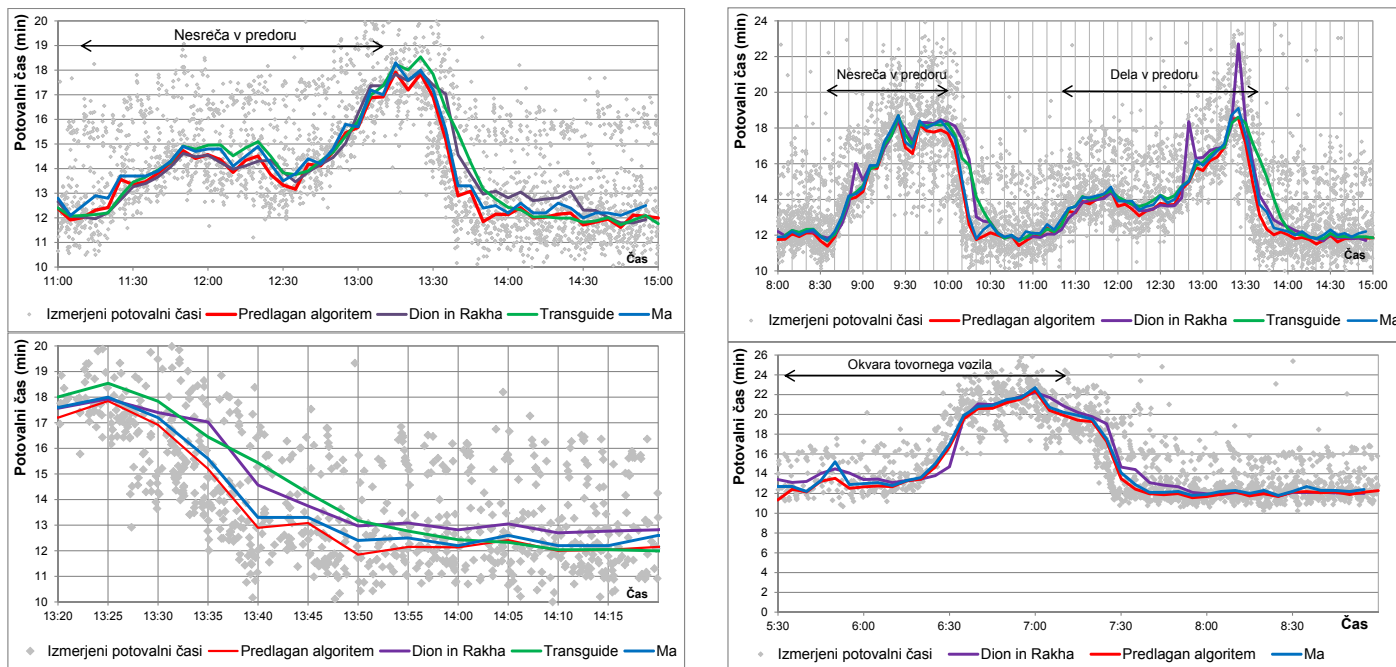
delovanja algoritma v razmerah prostega prometnega toka ni tako pomembna kot v času zastojev, je vseeno zaželeno, da algoritem dobro deluje tudi v teh razmerah (slika 7).



Slika 6 • Robustno delovanje predlaganega algoritma ponoči glede na Dion-Rakhov algoritem za obdobje dveh mesecev



Slika 7 • Primerjava delovanja algoritmov za obdobje dveh noči. Zaradi boljše predstavitve so potovalni časi zaokroženi na zgornjo minuto

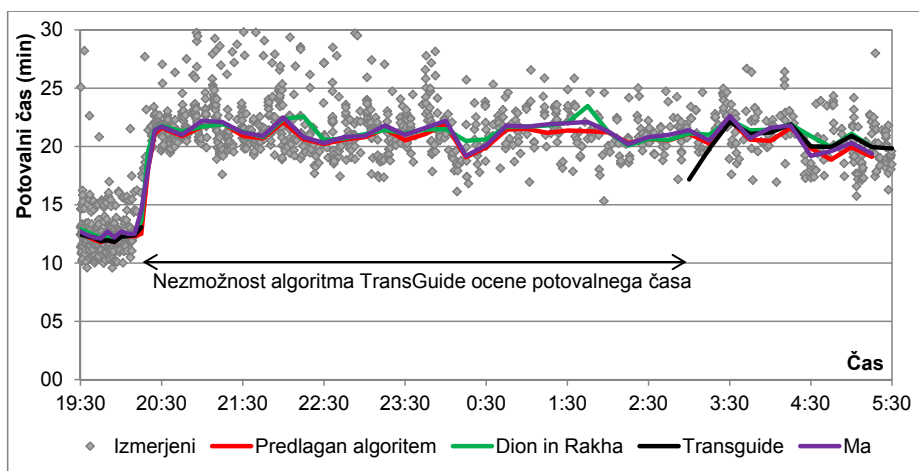


Slika 8 • Primerjava med algoritmi v primeru prometne nesreče, del v predoru in zapore voznega pasu zaradi okvare vozila

Med testiranjem smo primerjali tudi odziv algoritmov v primeru izrednih dogodkov na avtocesti. V primeru zapore voznega pasu v predoru zaradi nesreče ob 11:15 (slika 8, prva slika) je odziv vseh algoritmov na podaljšane potovalne čase zaradi nastanka zastoja podoben. Razlika med algoritmi je prisotna v času razpustitve zastoja (slika 8, druga slika) ob 13:25, kjer predlagani algoritem in Ma-Koutsopoulosov algoritem odreagirata precej hitreje. Predlagani algoritem in Ma-Koutsopoulosov algoritem sta že ob 13:40 ocenila razmere normalnega prometnega toka, medtem ko Dion-Rakhov algoritem in TransGuide sledita deset minut kasneje, ob 13:50. Medtem ko je potovalni čas izračunan s predlaganim algoritmom in posredovan voznikom preko spremenljive prometnoinformativne signalizacije že ob 13:35 padel z 18 na 16 minut, je potovalni čas, ocenjen z Dion-Rakhovim algoritmom, še vedno imel vrednost 18 minut. Deset minut kasneje, ob 13:40, je predlagani algoritem voznike že obveščal o potovalnem času 13 minut, medtem ko je Dion-Rakhov algoritem voznike obveščal o 15-minutnem potovalnem času, algoritem TransGuide pa celo o 16-minutnem potovalnem času. Podobno obnašanje algoritmov je bilo opaženo tudi v primeru drugih izrednih dogodkov, kot so v primeru prometne nesreče in del v predoru v istem dnevu (slika 8, tretja slika). Kot je razvidno s slike, se je predlagani algoritem po končanju del v predoru precej hitreje odzval. Medtem ko je predlagani algoritem

že ob 13:40 ocenil normalne razmere, sta se Dion-Rakhov in Ma-Koutsopoulosov algoritem odzvala z desetminutnim zamikom, algoritem TransGuide pa celo s 15-minutnim zamikom. Podoben odziv algoritmov je razviden tudi v primeru zapore pasu zaradi okvare tovornjaka (slika 8, četrta slika). V vseh obravnavanih primerih se je v času razpustitve zastoja predlagani algoritem odzval precej hitreje, medtem ko je Dion-Rakhov algoritem občasno ocenil precej podaljšane potovalne čase zaradi vključitve tretje zaporedne vrednosti zunaj območja upoštevanih meritev, ki pa je bila osamelec.

Algoritem TransGuide deluje nepravilno tudi pri preusmeritvi prometnega toka na sekundarno cestno omrežje v času zapor odseka Vransko-Blagovica, torej v situaciji, ko po postavitvi zapore potovalni časi vozil zelo hitro narastejo na skoraj dvakratno vrednost s 13 minut na 22 minut. Ker algoritem TransGuide pri izračunu upošteva le vrednosti potovalnega časa, ki so za do 20 % podaljšane od vrednosti potovalnega časa v prejšnjem časovnem intervalu, ni sposoben slediti veliki spremembi potovalnih časov. Slika 9 prikazuje situacijo, ko algoritem kar 6 ur ni bil sposoben upoštevati nobene meritve, čeprav jih je bilo

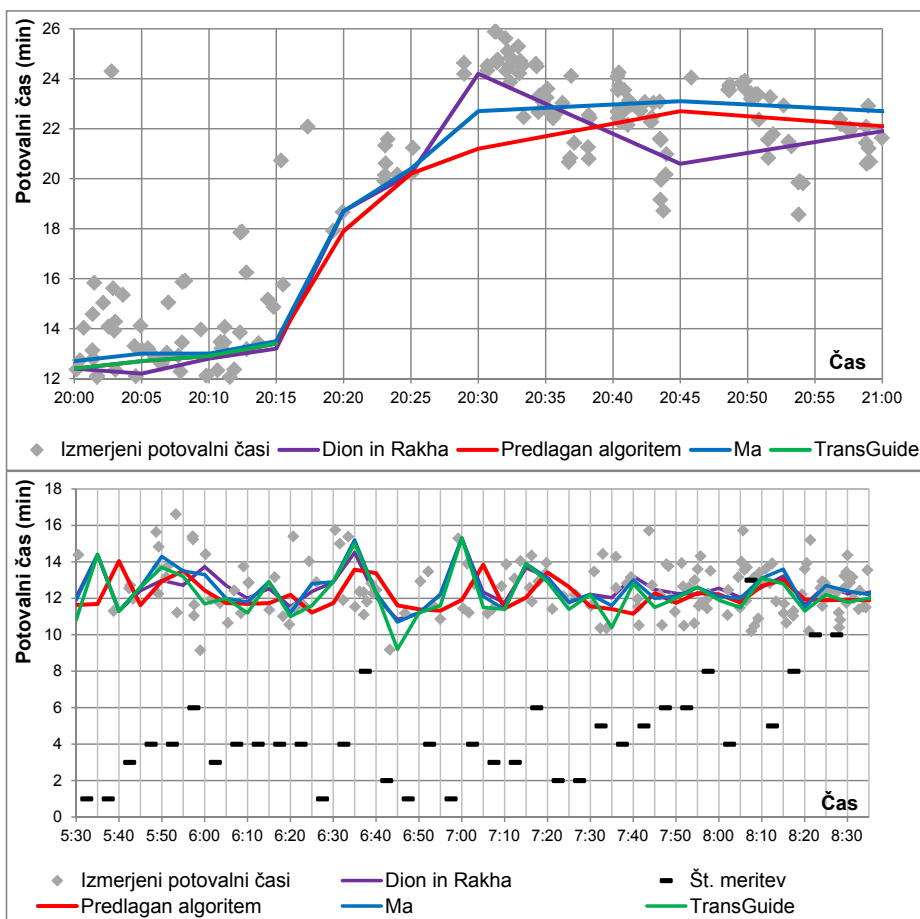


Slika 9 • Algoritem TransGuide zaradi nenadne spremembe v potovalnih časih, večje od 20 % glede na predhodni časovni interval, te ni bil sposoben zaznati - informacija za voznike zato 7 ur ni bila na voljo

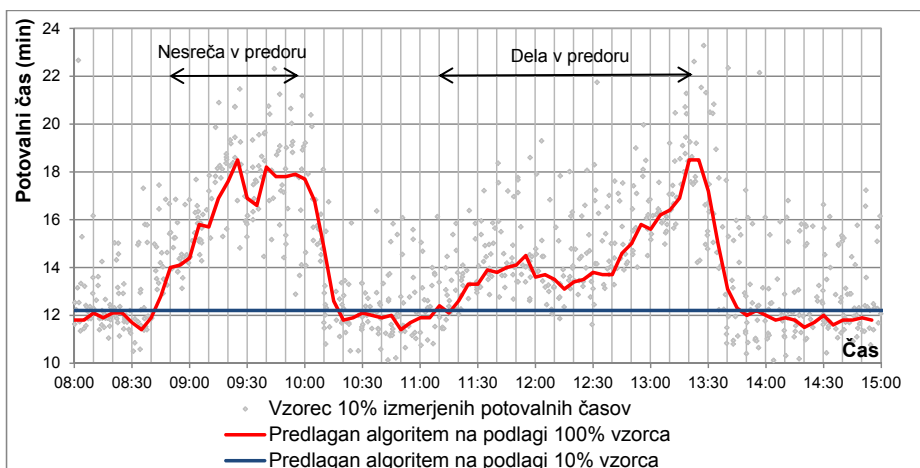
veliko. Ker algoritem ni bil sposoben zaznati podaljšanih potovalnih časov, informacija za voznike, čeprav bi jo ti v tem času najbolj potrebovali, ni bila na voljo skoraj 7 ur.

V času dvomesečne primerjave delovanja algoritmov se je zelo redko zgodilo, da bi bilo v posameznem časovnem intervalu zajema na voljo manj kot pet meritev potovalnega časa. Slika 10 prikazuje teh nekaj primerov. Glavno razliko med ocenjenim potovalnim časom med algoritmi (slika 10, prva slika) lahko pripišemo dejstvu, da predlagani algoritem uporablja nižjo vrednost parametra občutljivosti β , ki v primeru majhnih vzorcev daje prioriteto glajenju. Kot je razvidno (slika 10, druga in tretja slika), prednost glajenja pred hitrim odzivom pomeni manj nihanj. Medtem ko predlagani algoritem ter Dion-Rakhov in Ma-Koutsopoulos algoritem dobro ocenijo potovalne čase v primeru majhnega vzorca, pa po drugi strani algoritem TransGuide popolnoma odpove. Od 20:15 dalje zaradi velike spremembe, večje od 20 %, ni bil več sposoben oceniti vrednosti potovalnega časa.

Delovanje predlaganega algoritma smo preverili tudi v primeru zmanjšanja prvotne velikosti vzorca za 90 %, kar pomeni, da je bilo na voljo le 10 % prvotnih meritev (slika 11). Glede na to, da sistem reidentifikacije registrskih tablic zaradi vmesnih priključkov upari približno 70 % vseh potovanj, to pomeni, da je predlagani algoritem sposoben natančno oceniti potovalne čase na odsekih za tehnologije, ki imajo stopnjo penetracije manjšo od 7 %.



Slika 10 • Primerjava delovanja algoritmov v primeru majhnega vzorca v času izrednega dogodka (prva slika) in v času razmer prostega prometa na praznični dan (druga in tretja slika)



Slika 11 • Primerjava delovanja algoritmov v primeru zmanjšanja velikosti vzorca za 90 %

5 • SKLEPI

Namen študije je bil izdelati robusten algoritem za določevanje potovalnih časov, pridobljenih iz linijskih meritev, ki bo kljub prisotnosti osamelcev v potovalnem času sposoben dobro oceniti reprezentativno vrednost potovalnega časa na avtocestnem odseku. Želja je bila z uporabo robustne statistike poiskati tisto statistiko, ki v razmerah prostega prometnega toka najbolje opisuje voznike, ki upoštevajo hitrostno omejitev na obravnavanem odseku. To statistiko nato spremljamo tudi v razmerah zunaj prostega prometnega toka, ob predpostavki, da opisuje voznike, ki drugače vozijo po hitrostnih omejitvah, na njihov potovalni čas so med potovanjem vplivale različne motnje znotraj prometnega toka.

Algoritem na podlagi izmerjenih potovalnih časov na odseku z uporabo primerne vrednosti centila izračuna reprezentativno vrednost potovalnega časa, s katero voznike obveščamo o potovalnem času na odseku. Vrednosti centila in časovni okvir delovanja določimo v fazi kalibracije algoritma na izbranem avtocestnem odseku.

Evalvacija delovanja algoritma je potekala v različnih razmerah odvijanja prometnega toka: od prostega prometnega toka podnevi in ponoči, v času izrednih dogodkov na avtocestni trasi in tudi v času preusmeritve prometnega toka na sekundarno cestno omrežje. Algoritem se je izkazal za zelo učinkovitega tako za tehnologije z visoko kot tudi nizko

stopnjo penetracije. Primerjava z algoritmom, ki uporablja klasične statistične metode, je tako pokazala, da uporaba robustne statistike bistveno pripomore k natančnemu sledenju evolucije potovalnega časa.

Neposredno izmerjeni potovalni časi na odseku med dvema kontrolnima točkama predstavljajo natančno informacijo, pridobljeno s sledenjem posameznih vozil, ki pa vsebuje določeno časovno zakasnitev v primerjavi z dejanskim potovalnim časom, ki ga bo potreboval voznik, ki na odsek šele vstopa. Nadaljnje delo bo potekalo predvsem v smeri aktualizacije informacije o potovalnem času, ki jo bomo po predvidevanjih dosegli z združitvijo podatkov iz točkovno izmerjenih hitrosti na vmesnih lokacijah med kontrolnima točkama neposredno izmerjenih potovalnih časov.

6 • ZAHVALA

Raziskavo sta delno financirala Evropska unija – Evropski regionalni sklad za razvoj Republike Slovenije, ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo, ter podjetje Q-free Traffic design, d. o. o.

7 • LITERATURA

- Barceló, J., Montero, L., Marqués, L., Marinelli, P., Carmona, C., Travel time forecasting and dynamic OD estimation in freeways based on Bluetooth traffic monitoring. Proceedings of the 89th Annual meeting of the transportation research board, Washington D.C., USA, 2010.
- Benjamin, C.A., Cornell, J.R., Probability, statistics and decision for civil engineers. McGraw-Hill, 1970.
- Berta, T., Török, A., Travel time reduction due to infrastructure development in Hungary. *Promet – Traffic & Transportation*, 22, (1), 2010.
- Coifman, B., Estimating travel times and vehicle trajectories on freeways using dual loop detectors. *Transportation research part A* 36, 4, 351–364, 2012.
- CSI, Cambridge Systematics Inc., Travel time data collection – White paper. Florida department of transportation, District IV, 2012.
- Daszykowski, M., Kaczmarek, K., Yander Heyden, Y., Walczak, B., Robust statistics in data analysis-A review basic concepts. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Volume 85, 203–219, 2006.
- Dion, F., Rakha, H., Estimating dynamic roadway travel times using automatic vehicle identification data for low sampling rates. *Transportation Research Part B*, 40, (9), 745–766, 2006.
- El Faouzi, N.-E., Billot, R., Bouzedba, S., Motorway travel time prediction based on toll data and weather effect integration. *IET Intelligent Transport Systems*, 4, (4), 338–345, 2010.
- Field, M. S., Application of robust statistical methods to background tracer data characterized by outliers and left-censored data. *Water research* 45, 3107–3118, 2010.
- Friederich, M., Jehlicka, P., Schlaich, J., Automatic number plate recognition for the observance of travel behavior. 8.th international conference on survey methods in transport: Harmonisation and data comparability, Annecy, Francija, http://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publication/downloads/200805_Fr_PJ_JS-ANPR.pdf, 2008.
- Grüber, B., Röhr, T., Reisezeitmessungen setzen sich durh. *Strassenverkehrstechnik* 5, 264–267, 2007.
- Haghani, A., Masoud, H. Kaveh F.S., Young S., Tarnoff P., Freeway travel time ground truth data collection using bluetooth sensors. Presented at TRB 2010 annual meeting proceedings, Washington D.C., <http://trb.metapress.com/content/4885780436228757/>, 2010.

- Hampel, F.R., A general qualitative definition of robustness. *The Annals of Mathematical Statistics*, 42, (6), 1887–1896, 1971.
- Kim, S.D., Porter, J.D., Magaña, E.M., Wireless data collection system for travel time estimation and traffic performance evaluation – Final report. Oregon department of transportation and Federal highway administration, USA, 2012.
- Ma, X., Koutsopoulos, H., Estimation of the automatic vehicle identification based spatial travel time information collected in Stockholm. *IET Intelligent Transport Systems*, 4, (4), 298–306, 2010.
- MacCarley, A. C., Video-based vehicle signature analysis and tracking system phase 2: Algorithm development and preliminary testing. California PATH Working paper, Institute of Transportation studies (UCB), UC Berkley, ZDA, 2001.
- Malinovskiy, Y., Wu, J. Y., Lee, U. K., Field experiments on Bluetooth based travel time data collection. Proceedings of the 89th Annual meeting of the transportation research board, Washington D.C., USA, 2010.
- Margulici, J. D., Ban, X., Benchmarking travel time estimates. *IET Intelligent Transport Systems*, 2, (3), 228-237, 2008.
- Markovič, H., Bašić, B. D., Gold, H., Dong, F., Hirota, K., GPS data based non-parametric regression for predicting travel times in urban traffic networks. *Promet – Traffic & Transportation*, 22, (1), 1–13, 2010.
- Mirchandani, P. B., Gentili, M., He, Y., Location of vehicle identification sensors to monitor travel-time performance. *IET Intelligent Transport Systems*, 3, (3), 289–303, 2009.
- Puckett, D.D., Vickich, M.J., Bluetooth-based travel time speed measuring systems development – Final report. Department of Transportation, research and Innovative Technology Administration, Washington, D.C., USA, 2010.
- Quayle, S.M., Koonce, P., Arterial performance measures using MAC readers - Portland's experience, <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2010/NATMEC/Quayle.pdf>, 2010.
- Schneider, M., Linauer, M., Hainitz, N., Koller, H., Traveller information service based on real-time toll data in Austria. *IET Intelligent Transport Systems*, 3, (2), 124–137, 2009.
- Soriguera, F., Rosas, D., Robusté, F., Travel time measurement in closed toll highways. *Transportation Research Part B*, 44, (10), 1242–1267, 2010.
- SwRI, TransGuide model deployment report - Design report. Report prepared for TransGuide, Texas department of Transportation, Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, USA, 2000.
- Turner, S. M., Eisele, W. L., Benz, R. J., Holdener, D. J., Travel time data collection handbook. Research report FHWA-PL-98-035. Federal Highway Administration. Washington, D.C, ZDA, 2010.
- Vuadelle B., Système d'information de temps de parcours sur le réseau autoroutier AREA. Proceedings of ASECAP meeting, Pula, Hrvatska: 105–115, <http://www.asecap.com/english/documents/SESSION1BAREA.pdf>, 2006.
- Yasin, A. M., Karim, M. R., Travel Time Measurement in Real-Time using Automatic Number Plate Recognition for Malaysian Environment. *Journal of Eastern Asia Society For Transportation Studies*, 8, 2009.
- Yeon, J., Elefteriadou, L., Lawphongpanich, S., Travel time estimation on a freeway using Discrete Time Markov Chains. *Transportation Research Part B*, 42, (4), 325–338, 2008.

KOLEDAR PRIREDITEV

14.-16.10.2015

International Conference on Urban Planning and Architectural Design for Sustainable Development

Lecce, Italija
www.ierek.com/conferences/

14.-15.10.2015

International Conference Vibroengineering 2015 Katowice

Katovice, Poljska
www.jveconferences.com

15.-16.10.2015

21. simpozij Vodni dnevi 2015

Podčetrtek, Slovenija
www.vodnidnevi.si/index.php/si/

15.10.2015

5. posvet društva za ceste severovzhodne Slovenije Kako nadoknaditi izgubljeni čas med 2010 in 2015

Prevalje, Slovenija
www.dcm-svs.si/dogodki.html

21.10.2015

ICE BIM 2015

London, Velika Britanija
www.ice-bim.com

1.-4.11.2015

6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering

Christchurch, Nova Zelandija
www.6icege.com

19.-21.11.2015

3rd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering (3rd ICRMCE)

Solo, Indonezija
http://sipil.ft.uns.ac.id/icrmce03/index_intro.php

20.11.2015

37. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije

UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana, Slovenija
www.sdgk.si

25.-26.11.2015

22nd International Conference Concrete Days 2015

Liřomyři, Čeřka
www.cbsbeton.eu/en

26.-27.11.2015

15. kolokvij o asfaltnih in bitumnih, ZAS

Bled, Slovenija
www.zdruzenje-zas.si/kolokvij/

2.-4.12.2015

International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry

Istanbul, Turčija
www.shc2015.org/home.html

2.-4.12.2015

ASA 2015 – 49th International Conference of the Architectural Science Association

Melbourne, Avstralija
<http://asa2015.abp.unimelb.edu.au/>

7.-9.12.2015

Building Simulation Conference 2015 (BS2015)

Hyderabad, Indija
www.bs2015.in/

14.-17.2.2016

Geotechnical and Structural Engineering Congress

Phoenix, Arizona, ZDA
www.geo-structures.org/

8.-11.5.2016

IABSE Conference Guangzhou 2016

Bridges and Structures Sustainability-Seeking Intelligent Solutions
Guangzhou, Kitajska
www.iabse.org/Guangzhou2016

24.-29.5.2016

1st European and Mediterranean Structural Engineering and Construction Conference

Istanbul, Turčija
www.isec-society.org/EURO_MED_SEC_01/

22.-24.6.2016

2. CESB16 – Central Europe towards Sustainable Building 2016

Praga, Čeřka
www.cesb.cz

17.-22.7.2016

35th International Conference on Coastal Engineering

Istanbul, Turčija
<http://icce2016.com/en/>

27.-29.7.2016

3rd International Conference on Structures and Architecture

Guimaraes, Portugalska
www.icsa2016.arquitectura.uminho.pt/

Rubriko ureja • **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: **gradb.zveza@siol.net**