

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

V zbirki je izvirna različica izdajatelja.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

University
of Ljubljana
Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is a publisher's version PDF file.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Kušar, M., Šelih, J. 2014. Analiza stanja mostova na državnim cestama u Sloveniji = Analysis of bridge condition on state network in Slovenia. Građevinar 66, 9: 811-822.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14256/JCE.1047.2014>

http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE_66_2014_9_3_1047.pdf

Datum arhiviranja / Archiving Date: 24-10-2014

Primljen / Received: 3.3.2014.
 Ispravljen / Corrected: 24.6.2014.
 Prihvaćen / Accepted: 8.8.2014.
 Dostupno online / Available online: 10.10.2014.

Analiza stanja mostova na državnim cestama u Sloveniji

Autori:



Matej Kušar, dipl.ing.građ.
 Sveučilište u Ljubljani
 Fakultet građevinarstva i geodezije
matej.kusar@gi-zrmk.si



Izv.prof.dr.sc. **Jana Šelih**, dipl.ing.građ.
 Sveučilište u Ljubljani
 Fakultet građevinarstva i geodezije
jana.selih@fgg.uni-lj.si

Znanstveni rad - Prethodno priopćenje

Matej Kušar, Jana Šelih

Analiza stanja mostova na državnim cestama u Sloveniji

Stanje mostova neprestano mijenja se zbog različitih utjecaja, a opisuje se "koeficijentom vrednovanja stanja" koji se određuje na osnovu vizualnih pregleda. U radu je analizirano stanje mostova na slovenskim državnim cestama. Baza podataka koja se temelji na koeficijentu u obzir uzima prometno opterećenje, klimatske zone, konstrukcijske materijale, tip konstrukcije i elemente mosta. U obzir su uzete i promjene koeficijenta tijekom vremena. Rezultati analize pokazuju da su klimatski uvjeti i izloženost utjecajima vode i vlage najutjecajnijim parametrima koji utječu na stanje mostova. U radu su identificirani i izazovi povezani s metodologijom procjene stanja mostova, a provedena je i diskusija.

Ključne riječi:

mostovi, ocjena stanja, mreža državnih cesta, održavanje

Scientific paper - Preliminary note

Matej Kušar, Jana Šelih

Analysis of bridge condition on state network in Slovenia

During operation, bridge condition is decreasing due to various effects. The condition is described by "condition rating coefficient", determined by visual assessment. Condition of Slovenian state road bridge network is analyzed. The condition rating database is structured with respect to traffic load, climate zone, structural material, structural type and bridge element. Changes of condition rating coefficient with time are presented and analyzed. Results show that climate and exposure to water are the most important parameters influencing the condition of bridges. Challenges related to assessment methodology are identified and discussed.

Key words:

bridges, condition rating, state road network, maintenance

Wissenschaftliche Arbeit - Vorherige Mitteilung

Matej Kušar, Jana Šelih

Analyse des Brückenzustandes im staatlichen Straßennetz Sloweniens

Im Betriebsverlauf wird der Zustand von Brücken durch verschiedene Einflüsse beeinträchtigt. Meist wird die Lage durch Zustandsbewertungs-Koeffizienten beschrieben, die aufgrund visueller Begutachtung ermittelt werden. Der Zustand des slowenischen Netzwerkes von Straßenbrücken ist in dieser Arbeit analysiert. Dazu ist die Datenbank zur Zustandsbewertung in Bezug auf Verkehrslasten, Klimazonen, Baumaterialie, Tragkonstruktionen und Brückenelemente strukturiert worden. Zeitliche Veränderungen der Zustandsbewertungs-Koeffizienten sind dargestellt und analysiert. Die Resultate zeigen, dass Wetter- und Wassereinflüsse den Brückenzustand am bedeutsamsten beeinträchtigen. Überdies sind Herausforderungen bezüglich der Bewertungsmethodologie identifiziert und erläutert.

Schlüsselwörter:

Brücken, Zustandsbewertung, staatliches Straßennetz, Erhaltung

1. Uvod

Cestovna infrastruktura iznimno je važan dio imovine u vlasništvu države. Ona olakšava mobilnost građana, omogućuje prijevoz robe i pridonosi gospodarskom rastu i društvenom razvoju. Posebna pozornost treba se posvetiti upravljanju životnog ciklusa te imovine: planiranju, projektiranju, građenju, održavanju i obnovi, i, ako je to opravdano, rušenju i zamjeni [1, 2]. Tijekom upotrebe cestovne infrastrukture, njezina svojstva se smanjuju uslijed raznih oštećenja koja nastaju zbog: starenja i propadanja uslijed utjecaja okoline, povećanog prometnog opterećenja, te prirodnih nepogoda kao što su potresi, poplave i klizišta [2, 3]. Projektiranje pojedine građevine koje se provodi u početnoj fazi izrade projekata, čak i uz sve norme, standarde i smjernice, nije dovoljno da bi se konstrukciju zaštitilo od propadanja tijekom životnog ciklusa [3]. Odgovarajuće mjere održavanja i sanacije trebaju se provoditi tijekom cijelog vijeka trajanja konstrukcije kako bi se održala odgovarajuća svojstva [4].

Proces rekonstrukcije i sanacije građevine treba početi kada njezina svojstva padnu ispod unaprijed definirane prihvatljive razine [5]. Opseg i vrsta takvih zahvata trebali bi se temeljiti na trenutnom stanju građevine, na trendovima koji su uočeni u nedavnoj prošlosti, te na predviđanjima načina i stope propadanja u budućnosti. Mostovi su značajna komponenta cestovne mreže, posebice zato što se takve građevine smatraju kapitalnim investicijama. Zato treba postojati jasna, dobro definirana i sveobuhvatna metodologija za procjenu stanja mosta tijekom inspeksijskog nadzora. Tek tada se može očekivati da će ocjena stanja dati značajne rezultate, tj. omogućiti donošenje racionalnih odluka o prioritetu i opsegu rekonstrukcije tih građevina [6].

S obzirom na to da se troškovi održavanja i popravaka trebaju ograničiti imajući u vidu dostupna proračunska sredstva [2, 7, 8], najrazvijenije su zemlje propisale redovite rutinske procjene stanja mostova koje se obavljaju u određenim vremenskim intervalima, uz primjenu odgovarajućih metodologija [6, 9, 10, 11]. Većina postojećih sustava za održavanje mostova (eng. *bridge maintenance systems* - BMSs) prije svega se zasniva na podacima dobivenima u okviru vizualnih pregleda [12] i to unatoč činjenici da današnja potvrđena iskustva često upućuju na nepouzdanost takvih pregleda. Ipak, zbog njihove jednostavnosti i isplativosti, takve inspekcije i nadalje se koriste kao glavna metoda za prikupljanje podataka [11].

U Sloveniji je prva metodologija procjene mostova na temelju vizualnog pregleda definirana 1990. godine, [9], a u nekoliko idućih godina obavljena su selektivna poboljšanja da bi se udovoljilo zahtjevima korisnika. Ova se metoda prestala razvijati u razdoblju nakon 1993. godine, i to unatoč činjenici da su stručnjaci i predstavnici društava za upravljanje cestama opetovano upozoravali na potrebu da se provedu dodatna poboljšanja. Osim toga, javila se i potreba da se uspostavi sveobuhvatni sustav upravljanja mostovima, u kojem metodologija procjene stanja ima važnu ulogu [13]. I jedna

i druga aktivnost trebale bi se temeljiti na sustavnoj analizi postojećeg stanja mostova i na promjenama stanja koje se očekuju tijekom vremena.

U skladu sa spomenutim, ovo je istraživanje provedeno da bi se odredili parametri koji utječu na brzinu propadanja mostova, te da bi se u skladu s tim parametrima strukturirala baza podataka postojećih mostova na cestovnoj mreži u Sloveniji. Dostupni podaci kojima se opisuje stanje građevina unutar odabrane mreže mostova (izmjereni pomoću koeficijenta stanja mosta) u vremenu od protekla dva desetljeća korišteni su za analizu konstrukcijskih elemenata (npr. upornjaka) i nekonstrukcijskih elemenata (npr. krila upornjaka) s obzirom na spomenute parametre. Oprema mosta (npr. ograde, rasvjeta, dilatacijske spojnice i dr.) nije razmatrana u ovoj analizi. Na temelju dobivenih rezultata na sustavan način su određeni osnovni mogući nedostaci u metodologiji ocjenjivanja.

U cestovnoj mreži Slovenije razlikuju se tri kategorije cesta: autoceste, državne ceste i lokalne ceste [14]. Ovo istraživanje odnosi se samo na građevine koje su uključene u mrežu državnih cesta.

2. Baza podataka i metodologija procjene stanja

2.1. Utvrđivanje utjecajnih parametara

Prvi korak u upravljanju mostovima unutar analizirane cestovne mreže sastoji se od sastavljanja sveobuhvatnog popisa s relevantnim podacima za svaki pojedini most. U tom je kontekstu potrebno napomenuti da se mostovi koji se nalaze na državnim cestama u Sloveniji razlikuju po materijalu od kojeg su izgrađeni, tipu nosive konstrukcije, dužini, broju trakova i prometnom opterećenju, a nalaze se u različitim klimatskim zonama.

Mehanizmi propadanja materijala od kojih su izgrađeni, a koji utječu na ponašanje konstrukcije, uvelike ovise o ekološkim čimbenicima, i to naročito o vanjskoj temperaturi, relativnoj vlažnosti i prisutnosti agresivnih elemenata u zraku i vodi [15]. Na temelju toga utvrđeni su, kvantificirani i sistematski iskazani parametri koji utječu na oštećenja koja se javljaju na mostovima. Zatim je napravljen popis mostova s obzirom na utvrđene parametre utjecaja.

Ako se promatra materijal konstrukcije, gornji ustroj mostova sastoji se od armiranog betona, čelika, kamena ili prednapetog betona. Kako je samo jedanaest mostova unutar državne cestovne mreže realizirano u drvenoj ili spregnutoj izvedbi, oni jednostavno nisu ni uključeni u analizu. U donjem ustroju mostova uglavnom se koristi armirani beton, osim u slučaju kamenih mostova, gdje se donji ustroj također sastoji od kamena. Indikator koji definira materijal konstrukcije mostova ima sljedeću vrijednost:

$$M_i \in (RC, PC, Sto, Ste) \quad (1)$$

gdje oznake u izrazu (1) predstavljaju sljedeće materijale u gornjem ustroju mosta: *RC* - armirani beton, *PC* - prednapeti beton, *Sto* - kamen i *Ste* - čelik. U Sloveniji postoje tri različite klimatske zone: alpska, mediteranska i kontinentalna, koje

različito utječu na propadanje materijala od kojih su mostovi izgrađeni [16]. Stoga se klima smatra relevantnim parametrom utjecaja:

$$C_i \in (Me, Co, Al) \quad (2)$$

gdje oznake *Me*, *Co* i *Al* predstavljaju mediteransku, kontinentalnu i alpsku klimu.

Prometno opterećenje, kao jedno od ključnih vrsta opterećenja cestovnih mostova, postavljeno je kao treći parametar utjecaja. Slovenska tehnička norma kojom je regulirano prometno opterećenje [17], te koju koristi Slovenska agencija za ceste (a ona upravlja mrežom državnih cesta), definira šest kategorija prometnog opterećenja u ovisnosti o nominalnom osovinskom opterećenju vozila od 100 kN, koje se preko dvostrukih kotača (4 x 25 kN) prenosi na površinu kolnika. Za potrebe ovog istraživanja, navedenih šest kategorija sažeto je u tri: laka (L), srednja (M) i teška (H) prometna opterećenja [17], ovisno o broju prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 100 kN, a to su:

$$T_i \in (L, M, H) \quad (3)$$

Vrijednosti intervala ograničenja *L*, *M* i *H* prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Kategorije prometnog opterećenja (pojednostavljeno iz [17])

Prometno opterećenje	Broj prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 100 kN	
	dnevno	u 20 godina
Teško (H)	preko 300	preko 2×10^6
Srednje (M)	80 do 300	6×10^5 do 2×10^6
Lako (L)	ispod 80	ispod 6×10^5

Zadnji parametar utjecaja odnosi se na procese propadanja vezane uz prisutnost vode. Prema funkciji, mostovi mogu biti iznad vode, iznad dolina (gdje često nalazimo vijadukte s nekoliko raspona) ili iznad cestovnih prometnica (nadvožnjaci). Glavna razlika između tih građevina proizlazi iz činjenice da su temelji, upornjaci i bočni zidovi mostova iznad vode izloženi propadanju zbog utjecaja abrazije, erozije, smrzavanja i odmrzavanja, ili zbog trajno visoke relativne vlažnosti. Donji ustroji vijadukata i nadvožnjaka nisu u izravnom kontaktu s vodom, pa nisu izloženi takvim procesima. Prisutnost vode utječe na propadanje građevinskih materijala koji se koriste u različitim elementima mostova [18]. Tip konstrukcije (*F*) stoga je dodan na popis parametara utjecaja:

$$F_i \in (B, P) \quad (4)$$

gdje vrijednost *B* označava mostove, a vrijednost *P* vijadukte i nadvožnjake. Stupanj propadanja analiziranih konstrukcija (*b*)

može se izraziti kao funkcija s gore utvrđenim parametrima utjecaja:

$$b_i = b_i(M_i, C_i, T_i, F_i) \quad (5)$$

gdje, kako je već spomenuto, *M_i* označava materijal konstrukcije, *C_i* tip klime ovisno o geografskom području u kojem se most nalazi, *T_i* prometno opterećenje koje djeluje na konstrukciju, a *F_i* tip konstrukcije i.

Za potrebe analize, most se prvo dijeli na konstrukcijske dijelove: donji ustroj, gornji ustroj i kolnička ploča [9]. Ti dijelovi mogu biti podložni različitim utjecajima okoliša: kolnik je izložen prometnom opterećenju te raznim okolišnim utjecajima koji dovode do propadanja materijala. Donji ustroj mosta može biti u izravnom kontaktu s vodom te može biti izložen raznim utjecajima okoliša, što ovisi o lokaciji mosta (npr. vjetar koji u obalnim područjima na most nanosi čestice soli). Kako elementi mosta ne propadaju ravnomjerno, oni se trebaju ocjenjivati i analizirati svaki za sebe. Zbog toga se konstrukcijski elementi mosta (*Be_i*) uzimaju kao dodatni parametar utjecaja:

$$Be_i = (S_{sub}, S_{sup}, D) \quad (6)$$

gdje *S_{sub}*, *S_{sup}* i *D* označavaju donji ustroj, gornji ustroj i kolnik. Cjelovit popis parametara utjecaja i mogući raspon vrijednosti svakog parametra prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Parametri utjecaja i raspon vrijednosti za svaki parametar

Parametar utjecaja	Vrijednost	Opis parametra
Građevni materijal, <i>M</i>	4	<i>RS</i> (armirani beton), <i>PC</i> (prednapeti beton), <i>Sto</i> (kamen), <i>Ste</i> (čelik)
Klimatska zona, <i>C_i</i>	3	<i>Me</i> (mediteranska), <i>Co</i> (kontinentalna), <i>Al</i> (alpska)
Prometno opterećenje, <i>T</i>	3	<i>L</i> (lako), <i>M</i> (srednje), <i>H</i> (teško)
Tip mosta, <i>F</i>	2	<i>B</i> (mostovi), <i>P</i> (nadvožnjaci ili vijadukti)
Dio konstrukcije, <i>Be</i>	3	<i>S_{sub}</i> (donji ustroj), <i>S_{sup}</i> (gornji ustroj), <i>D</i> (kolnik)

Na slovenskoj državnoj cestovnoj mreži ima 1282 mosta [19]. Kao što je već spomenuto, na toj mreži ima samo 11 drvenih ili spregnutih mostova, pa oni nisu ni uključeni u ovo istraživanje. Stoga se u ovoj analizi obrađuje ukupno 1271 most. Tablica 3. pokazuje da je glavnina mostova izvedena od armiranog betona te da se oni nalaze u područjima kontinentalne klime. Tek manji broj mostova nalazimo u području alpske klime jer je tamo teren uglavnom brdovit i slabo naseljen, a cestovna infrastruktura je oskudna.

Tablica 3. Analizirani mostovi svrstani prema parametrima utjecaja

MATERIJAL (gornji ustroj)	Tip konstrukcije	Broj analiziranih građevina	Prometno opterećenje			Vrsta klime		
			L	M	H	Me	Co	AI
Armirani beton (RC)	B	899	538	202	159	81	754	64
	P	150	62	29	59	35	104	11
Kamen (Sto)	B	97	58	30	9	37	58	2
Prednapeti beton (PC)	B	75	29	20	26	1	74	0
Čelik (Ste)	B	50	42	6	2	6	40	4
UKUPNO		1271	729	287	255	160	1030	81
			1271			1271		

Napomena: B - most, P - vijadukt i nadvožnjak

2.2. Metodologija procjene

Metodologija koja se sada primjenjuje isključivo je usredotočena na ocjenjivanje stanja građevine u vrijeme procjene [10]. Ona se temelji na analizi oštećenja i mogućih nedostataka utvrđenih vizualno tijekom obilaska. Oštećenja i nedostaci javljaju se na nosivim i nenosivim dijelovima, a trebaju se uočiti i kvantificirati za svaki element mosta. Stanja zasebnih konstrukcijskih elemenata se zbrajaju i tako se dobiva stanje ukupne konstrukcije. Bezdimenzijska ocjena stanja mosta R, definirana je kao zbroj ocjena zasebnih dijelova konstrukcije:

$$R = R_{sub} + R_{sup} + R_{deck} \tag{7}$$

gdje su R_{sub} , R_{sup} i R_{deck} ocjene za donji ustroj, gornji ustroj i kolnik mosta. Navedeni dijelovi konstrukcije sastoje se od nekoliko elemenata: donji se ustroj sastoji od temelja, upornjaka, krila upornjaka i ostalih elemenata, ovisno o vrsta mosta. Svaki od tih elemenata može biti neoštećen, tj. može imati jedno ili nekoliko vrsta oštećenja. Ocjena za odabrane vrste štete (i) i odabrani element (j), R_{ij} , određuje se pomoću sljedećeg izraza;

$$R_{ij} = B_i \cdot K_{1,j} \cdot K_{2,i,j} \cdot K_{3,i,j} \cdot K_{4,i,j} \tag{8}$$

gdje je B_i procjena referentne vrijednosti za štetu i (i = 1, ... m, pri čemu je m ukupan broj identificiranih oštećenja), $K_{1,j}$ (j = 1, .. n, gdje je n broj elemenata analiziranog mosta) predstavlja značenje elementa j, $K_{2,i,j}$ označava intenzitet oštećenja elementa j, $K_{3,i,j}$ izražava opseg štete i na elementu j, a $K_{4,i,j}$ predstavlja hitnost intervencije na elementima j (zato što je uslijed oštećenja i ugrožena sigurnost, upotrebljivost i trajnost).

Ocjena ukupnog stanja mosta, bazirana na ocjeni stanja svakog pojedinog elementa mosta, R_{sub} , R_{sup} i R_{deck} , određuje se pomoću izraza (8):

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_{i,j} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_i \cdot K_{1,j} \cdot K_{2,i,j} \cdot K_{3,i,j} \cdot K_{4,i,j} \tag{9}$$

Ocjena za donji ustroj, gornji ustroj i kolničku ploču mosta iz jednadžbe (9) definirana je kao zbroj ocjena stanja njihovih elemenata.

Vrijednosti $K_{2,i,j} \in [0,4; 1,0]$, $K_{3,i,j} \in [0,5; 1,0]$, $K_{4,i,j} \in [1,0; 5,0]$ (i = 1, ... m, j = 1, ... n) određuje procjenitelj tijekom pregleda na terenu. S druge strane, parametri $B_i \in [1,0; 5,0]$ i $K_{1,j} \in [0,3; 1,0]$ ovise samo o vrsti oštećenja i o elementu mosta na kojem se oštećenje nalazi, pa ih stoga procjenitelj ne određuje. Na primjer, u slučaju korozije, parametar Bi varira od 1 (npr. korozija stremena) do 5 (puknuće prednapetog kabela).

U skladu s metodologijom, prvi radovi na sanaciji mosta trebaju se obaviti kada ocjena stanja R premaši vrijednost od 20 ~ 25, ovisno o važnosti mosta za cestovnu mrežu. Ne propisuju se granične vrijednosti za pojedine elemente mosta. Za potrebe daljnje analize, granične su vrijednosti za donji i gornji ustroj postavljene na 12, a za kolničku ploču na 8. Treba napomenuti da sadašnja metodologija procjene ne omogućuje izravno pretvaranje ocjene stanja u stupanj oštećenosti elementa. Ako su kod raznih elemenata zabilježene jednake ocjene stanja, to znači da je kolnička ploča znatno oštećenija od donjeg i gornjeg ustroja mosta. Da bi se analiziralo ponašanje konstrukcija, odabrane granične vrijednosti će kasnije biti podijeljene u četiri intervala jednake duljine, koji će definirati razine propadanja.

Procjena građevina smještenih na analiziranoj cestovnoj mreži provodi se prema opisanoj metodologiji svake dvije godine od 1993. Stoga su za analizu bili dostupni rezultati dobiveni tijekom deset zadnjih procjena. Međutim, informacijski sustav za ocjenu stanja ima značajan nedostatak koji se treba uzeti u obzir u ovoj analizi: ne iskazuje jednoznačno da li je obnova odabranog mosta već provedena. Izvršena sanacija trebala bi biti vidljiva iz ocjene koja se mijenja s vremenom, tj. obnovljeni most bi trebao imati znatno bolju ocjenu stanja nakon obnove.

3. Analiza podataka

Podaci o ocjenjivanju stanja, dobiveni od upravitelja Državne cestovne mreže, analizirani su za vremensko razdoblje 1993.

-2011. i za ukupno 1271 most. Prikupljeni podaci razvrstani su prema parametrima koji su iskazani u tablici 2. Procjene su provedene pomoću važeće službene metodologije te je kao konačan rezultat dobivena ocjena ukupnog stanja građevine, zajedno s popisom ocjena za pojedinačne dijelove građevine. Podaci za sve ispitivane građevine pohranjeni su u jedinstvenu bazu podataka koja se vodi pri Upravi cesta Republike Slovenije. Na razini pojedinačnih građevina, pojedinosti o svakom pregledu iskazane su u izvješću o istraživanju. Analizirano je ukupno 50.000 podataka.

3.1. Obrada podataka

Jedan od osnovnih nedostataka sadašnjeg sustava procjene stanja, određen analizom postupaka koji su sada u primjeni, jest nepostojanje sustava kontrole kvalitete, tj. osiguranja kvalitete za podatke koji se dobivaju tijekom inspekcije (pregleda mosta). Iako su ocjenjivači osposobljeni za jednoznačno i ujednačeno otkrivanje, klasificiranje i prosuđivanje oštećenja, "ad hoc" usporedbe rezultata provedene na istoj građevini koju je analiziralo nekoliko ocjenjivača, upućuju da u nekim slučajevima dolazi do značajnih razlika. Nedosljednosti u prikupljanju podataka istraživali su i drugi autori [11, 12]. Prvi veći nedostatak je značajan porast ocjene ukupnog stanja nakon jedne inspekcije, te pad ocjene prilikom sljedeće inspekcije iako u međuvremenu u bazu podataka nisu upisane nikakve sanacije. Ovo se opažanje može objasniti činjenicom da se: a) popravak na građevini provodio u vremenskom intervalu koji se razmatra (popravak je upisan u inspeksijsko izvješće, ali ne i u bazu podataka); ili b) ocjenjivanje nije zabilježeno na odgovarajući način (najčešći razlog za takvo pogrešno ocjenjivanje je subjektivnost i/ili nedovoljna osposobljenost pojedinih ocjenjivača, kao što je već prije navedeno).

Prema tome, podaci i njihove promjene s vremenom pratili su se pomno i prije provedbe analize. U tom je razdoblju analizirana čitava baza podataka isto kao i pojedinačna inspeksijska izvješća. Također su evidentirani i trendovi s nepodudarnim nizovima podataka. Ako je sanacija zabilježena u izvješću, ti su se nizovi podataka čuvali i obrađivali na način kako slijedi.

Dva parcijalna niza podataka definirana su za mostove koji su sanirani u analiziranom vremenskom intervalu. Prvi opisuje

ponašanje građevine prije sanacije, a drugi predstavlja promjenu ocjene nakon obnove. Od ta dva niza podataka, za daljnju je analizu usvojen duži niz podataka (tj. onaj koji sadrži više podatkovnih bodova), kao što je prikazano na slici 1. Kompletan vremenski interval analiziran je za mostove koji nisu sanirani u promatranom vremenskom intervalu.

U sljedećem je koraku za čitavo promatrano razdoblje linearnom regresijom procijenjeno smanjenje ocjene (definirane kao promjena ocjene stanja u jedinici vremena) za sve mostove i njihove dijelove (donji ustroj, gornji ustroj i kolnička ploča). Bilo je pokušaja da se upotrijebi krivulja eksponencijalne regresije, no dobiveni rezultati su pokazali da linearni odnos dobro predstavlja raspoložive podatke, i to zbog izražene varijabilnosti podataka [20]. Ocjena $y_{j,lin}$ određuje se za građevinu j pomoću izraza (10):

$$y_{j,lin} = a + b \cdot x_j \quad (10)$$

gdje je b prosječno smanjenje ocjene za interval koji se promatra, a x_j predstavlja vrijeme. Koeficijenti a i b određeni su primjenom metode najmanjih kvadrata [21] preko dostupnih skupova podataka kako slijedi:

$$b = \frac{\sum_{j=1}^p (x_j - \bar{x}) \cdot (y_j - \bar{y})}{\sum_{j=1}^p (x_j - \bar{x})^2} \quad (11)$$

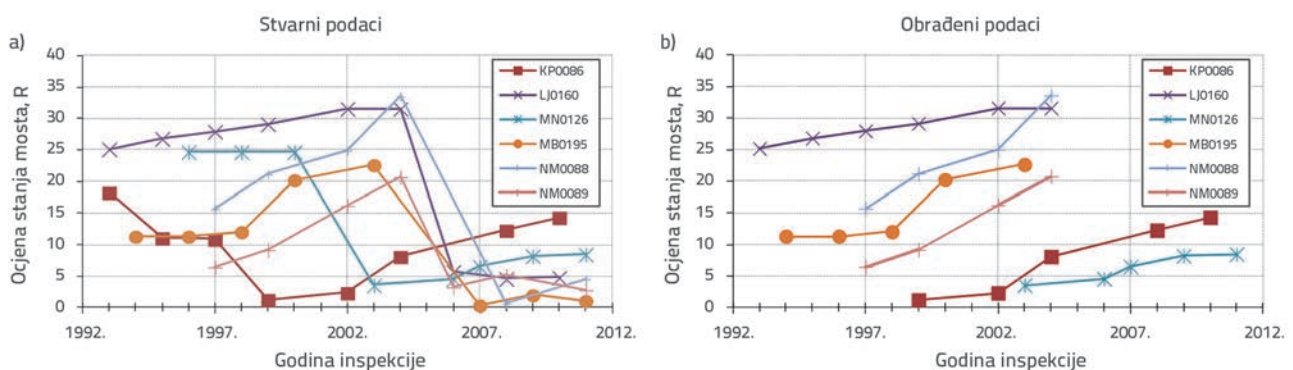
$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \quad (12)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^p x_j \quad (13)$$

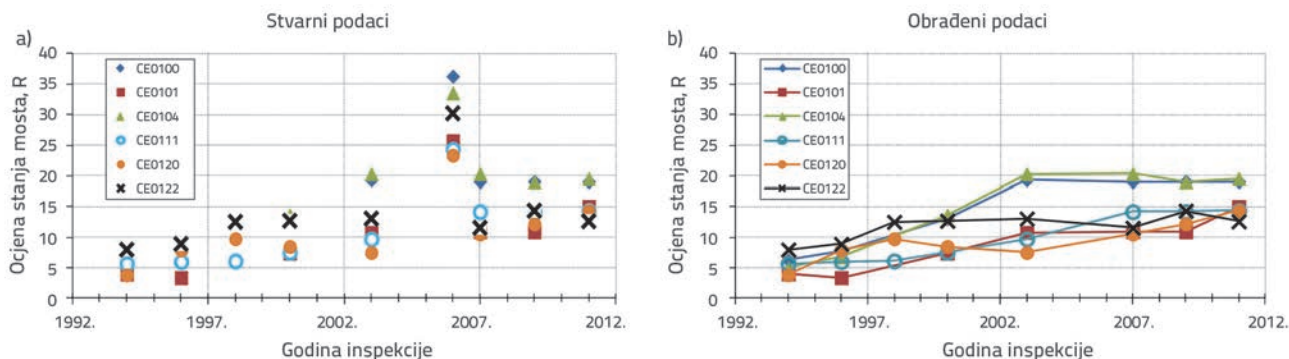
$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^p y_j \quad (14)$$

gdje j označava analiziranu godinu, p posljednju godinu analize, a n veličinu skupa podataka.

Stvarne vrijednosti ocjene u godini koja se razmatra (j) razlikuju se od vrijednosti utvrđenih linijom regresije ($y_{j,lin}$) koja prikazuje tijek pogoršanja. Da bi se utvrdila veličina raskoraka između stvarne i izračunane vrijednosti stanja, za te dvije vrijednosti



Slika 1. Promjena ocjene stanja tijekom vremena (1993.-2011.) za šest pojedinačnih mostova na kojima je otkrivena nedosljednost zabilježenih podataka zbog sanacije: a) stvarni podaci inspekcije; b) obrađeni podaci (kraći nizovi podataka prije ili nakon sanacije uklonjeni su iz stvarno zabilježenih nizova podataka)



Slika 2. Promjene ocjena stanja u vremenu za 6 pojedinačnih mostova u razdoblju 1994.-2011.: a) stvarni podaci inspekcije; b) obrađeni podaci (ocjena stanja zabilježena u 2006. je uklonjena zbog velike nedosljednosti, koja je posljedica nepouzdanog ocjenjivača)

izračunana je standardna pogreška. Izračun je obavljen za čitavu građevinu te za pojedinačne elemente građevine. Standardna pogreška (SE), definirana linijom regresije prema jednadžbi (9), $(y_{i,lin})$ izračunana je pomoću izraza (15):

$$SE = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \cdot \left[\sum_{j=1}^p (y_j - \bar{y})^2 - \frac{\left[\sum_{j=1}^p (x_j - \bar{x}) \cdot (y_j - \bar{y}) \right]^2}{\sum_{j=1}^p (x_j - \bar{x})^2} \right]} \tag{15}$$

gdje su \bar{x} i \bar{y} srednje vrijednosti skupa, dok su x_j i y_j neovisni i ovisni podaci. Smatra se da je skup podataka konzistentan ako standardna pogreška (SE) zadovoljava uvjet:

$$\frac{SE}{\bar{y}} \leq 0,3 \tag{16}$$

Vrijednosti kriterija (0,3) iz jednadžbe (16) odabrana je na temelju mišljenja nekoliko stručnjaka, uglavnom iskusnih ocjenjivača, od kojih je zatraženo da tu vrijednost odrede sa stajališta dovoljne konzistentnosti skupova podataka te adekvatnosti broja skupova podataka dostupnih za daljnju analizu. Stoga se podaci mogu koristiti u daljnjoj analizi samo ako je zadovoljen uvjet iz jednadžbe (16).

S druge strane, ako za dani skup standardna pogreška SE ne zadovoljava kriterij zadan u jednadžbi (16), tada se podaci za koje je standardna pogreška najveća eliminiraju iz skupa, jer su smatraju nepouzdanima. Kako bi se osiguralo: a) da ne postoji više od jedan iznimno nepouzdan podatak i b) da uklanjanje takvih podataka rezultira značajnim (barem tridesetpostotnim) smanjenjem početne standardne pogreške, treba se zadovoljiti sljedeći kriterij nakon obrade skupa:

$$1,3 \cdot (SE_i / \bar{y}) \leq (SE_0 / \bar{y}) \tag{17}$$

gdje SE_i predstavlja standardnu pogrešku obrađenog skupa (nakon eliminacije podataka s najvećom standardnom pogreškom), a SE_0 standardnu pogrešku izvornog skupa podataka.

Ako za promatrani skup jednadžba (17) nije zadovoljena, tada se skup podataka kao cjelina smatra nepouzdanim te se isključuje iz daljnjeg ispitivanja. Analiza potpunih podataka koji opisuju

stanje mostova na državnim cestama pokazuje da je 2599 od 4956 skupova podataka (tj. oko 52 %) u skladu sa stanjem iskazanim u izrazu (16).

Nakon uklanjanja najnepouzdanijeg skupa podataka sadržanog u nizu podataka koji ne ispunjavaju uvjet iz jednadžbe (16), tada 41 % od ukupnog broja skupova podataka postaje pogodno za daljnju analizu. Od preostalih skupova, 4 % ne ispunjava niti jedan od uvjeta iz jednadžbi (16) i (17), a 3 % sadrži premale nizove podataka (nizove s manje od tri podatka) pa se ne mogu koristiti u daljnjoj analizi [20].

Rezultati opisanog postupka koji osigurava konzistentnost podataka usvojenih za daljnje analize prikazani su na slici 2 za odabranih šest mostova. U procjeni iz 2006. godine, tim su mostovima dodijeljene iznimno visoke vrijednosti (slika 2.a) koje očito nisu bile u skladu s drugim ocjenama tih mostova (također u promatranom vremenskom intervalu). Te iznimno visoke vrijednosti eliminirane su iz skupa pomoću postupka definiranog jednadžbama (16) i (17). Standardne pogreške obrađenih skupova podataka znatno su niže (do 70 %) u odnosu na vrijednosti izvornih podataka. Promjene ocjena stanja s vremenom prikazane su na slici 2.b za obrađene skupove podataka.

Nakon obrade inicijalnih podataka utvrđena je prosječna stopa propadanja (b) za sve građevine i njihove dijelove te za sve kombinacije utjecajnih parametara primjenom linearne regresije (tablica 2.) Pojednosti o postupku i odgovarajući rezultati dani su u [20].

3.2. Određivanje prosječne stope propadanja

Drugi cilj istraživanja bio je utvrđivanje prosječne stope propadanja konstrukcije i njenih dijelova pod utjecajem odabranih kombinacija utjecajnih parametara. Kako bi se analiziralo ponašanje mosta, ocjene stanja kolničke ploče te donjeg i gornjeg ustroja podijeljene su u četiri intervala koji definiraju razine propadanja (izvršno, dobro, zadovoljavajuće, dovoljno). Odabrana veličina intervala ocjene stanja za donji i gornji ustroj te kolničku ploču iznosi 3 i 2 (tablica 4.).

Stopa propadanja (b) se nakon toga izračunava za svaki skup (k), definiran za svaki pojedini interval ocjene stanja:

$$b_k = \frac{\sum_{j=1}^p (x_{k,j} - \bar{x}_k) \cdot (y_{k,j} - \bar{y}_k)}{\sum_{j=1}^p (x_{k,j} - \bar{x}_k)^2} \quad (18)$$

Za svaku kombinaciju utjecajnih parametara, prosječna brzina propadanja (\bar{b}) određuje se na sljedeći način:

$$\bar{b}(M, Cl, T, F, Be, R) = \frac{\sum_{k=1}^r b_k}{r} \quad (19)$$

$$r = r(M, Cl, T, F, Be, R) \quad (20)$$

gdje R označava razinu ocjene stanja, a r broj skupova podataka s istom kombinacijom utjecajnih parametara u okviru intervala ocjene stanja.

Za promatrane su građevine određene vrijednosti prosječnih stopa propadanja za sve kombinacije utjecaja definiranih u tablici 3. Vrijednosti za armiranobetonske mostove koji se nalaze u području kontinentalne klime prikazane su u tablici 4.

Vrijeme potrebno za postizanje unaprijed definirane razine ocjene stanja, usvojeno je za potrebe analize kao zavisna varijabla ocjenjivanja stanja, a definirano je linearnim odnosom. Za donji i gornji ustroj vrijeme je definirano pomoću jednadžbe (21).

$$t(R) = \left. \begin{cases} \frac{R}{b_{[0,3]}}; R \in [0,3) \\ \frac{3}{b_{[0,3]}} + \frac{R-3}{b_{[3,6]}}; R \in [3,6) \\ \frac{3}{b_{[0,3]}} + \frac{3}{b_{[3,6]}} + \frac{R-6}{b_{[6,9]}}; R \in [6,9) \\ \frac{3}{b_{[0,3]}} + \frac{3}{b_{[3,6]}} + \frac{3}{b_{[6,9]}} + \frac{R-9}{b_{[9,12]}}; R \in [9,12] \end{cases} \right\} \quad (21)$$

Tablica 4. Prosječne stope propadanja armiranobetonskih mostova za lako (L), srednje (M) i teško (H) prometno opterećenje

a) armiranobetonska kolnička ploča				
Materijal, tip konstrukcije, dio konstrukcije	Prometno opterećenje	Ocjena stanja Razina (R)	Broj dostupnih podataka, r	Stopa propadanja (\bar{b}) [godina ⁻¹]
ARMIRANOBETONSKA KOLNIČKA PLOČA	L	[0-2]	144	0,09
		[2-4]	158	0,22
		[4-6]	67	0,32
		[6-8]	32	0,50
	M	[0-2]	59	0,12
		[2-4]	70	0,21
		[4-6]	28	0,32
		[6-8]	14	0,45
	H	[0-2]	48	0,09
		[2-4]	54	0,22
		[4-6]	18	0,26
		[6-8]	12	0,45

b) armiranobetonski gornji ustroj				
Materijal, tip konstrukcije, dio konstrukcije	Prometno opterećenje	Ocjena stanja Razina (R)	Broj dostupnih podataka, r	Stopa propadanja (\bar{b}) [godina ⁻¹]
ARMIRANOBETONSKI GORNJI USTROJ MOSTA	L	[0-3]	163	0,11
		[3-6]	104	0,28
		[6-9]	55	0,48
		[9-12]	65	0,84
	M	[0-3]	72	0,08
		[3-6]	39	0,25
		[6-9]	29	0,33
		[9-12]	24	0,79
	H	[0-3]	54	0,12
		[3-6]	34	0,21
		[6-9]	26	0,31
		[9-12]	17	0,67

c) armiranobetonski donji ustroj				
Materijal, tip konstrukcije, dio konstrukcije	Prometno opterećenje	Ocjena stanja Razina (R)	Broj dostupnih podataka, r	Stopa propadanja (\bar{b}) [godina ⁻¹]
ARMIRANOBETONSKI DONJI USTROJ	L	[0-3]	109	0,13
		[3-6]	137	0,21
		[6-9]	105	0,37
		[9-12]	83	0,75
	M	[0-3]	53	0,09
		[3-6]	78	0,19
		[6-9]	42	0,32
		[9-12]	18	0,46
	H	[0-3]	46	0,14
		[3-6]	87	0,21
		[6-9]	34	0,28
		[9-12]	16	0,60

d) armiranobetonski mostovi u području kontinentalne klime				
Materijal, tip konstrukcije, dio konstrukcije	Prometno opterećenje	Ocjena stanja Razina (R)	Broj dostupnih podataka, r	Stopa propadanja (\bar{b}) [godina ⁻¹]
ARMIRANOBETONSKA KONSTRUKCIJA	L	[0-5]	56	0,33
		[5-10]	72	0,48
		[10-15]	92	0,65
		[15-20]	182	1,18
	M	[0-5]	27	0,29
		[5-10]	40	0,47
		[10-15]	38	0,62
		[15-20]	66	1,04
	H	[0-5]	9	0,31
		[5-10]	43	0,57
		[10-15]	34	0,58
		[15-20]	49	0,92

Kada se promatra kolnička ploča i konstrukcija u cjelini, vrijednost varijable vrijeme utvrđena je iz izraza sličnih jednadžbi (20), pri čemu je interval ocjene stanja u rasponu od 2 do 5 jedinica.

3.3. Ovisnost stope propadanja o utjecajnim parametrima

3.3.1. Prometno opterećenje

Utjecaj prometnog opterećenja na promatranu razinu propadanja analiziran je za mostove izgrađene sa svim vrstama materijala. Dobiveni su rezultati za cijeli most i zasebno za kolničku ploču.

Kako u alpskoj klimatskoj zoni ima samo nekoliko građevina sa srednjim i teškim prometnim opterećenjem, utjecaj prometnog opterećenja analiziran je isključivo za područja kontinentalne i mediteranske klime. Može se primijetiti da mostovi izloženi teškom prometnom opterećenju imaju istu stopu propadanja kao i oni izloženi srednjem / lakom prometnom opterećenju kada se nalaze u istom klimatskom području [20]. Jedino manje odstupanje od tog trenda može se uočiti kod mostova izloženih srednjem prometnom opterećenju u području mediteranske klime.

Utjecaj prometnog opterećenja na ponašanje mosta analiziran je i za pojedine konstrukcijske elemente od kojih je kolnička ploča najizloženija. Rezultati (tablica 4.) pokazuju da oštećenje mosta i njegovih konstrukcijskih dijelova ne ovisi o prometnom opterećenju. Analiza podataka za kamene, prednapete i čelične mostove daje slične rezultate kao i za armiranobetonske mostove.

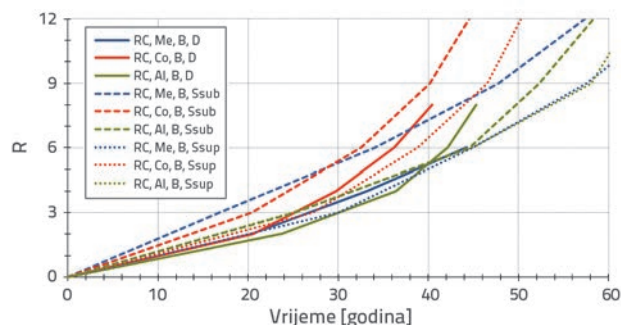
Uzimajući u obzir rasap parametara ocjenjivanja možemo zaključiti, na temelju rezultata prikazanih u tablici 4., da stopa propadanja mosta u cjelini, te stopa propadanja njegovih konstrukcijskih elemenata, ne ovisi o prometom opterećenju. Ovakvo ponašanje se pripisuje činjenici da su mostovi projektirani i izgrađeni u skladu s domaćim smjernicama koje zahtijevaju odgovarajuću mehaničku otpornost konstrukcije na projektirani promet i druga opterećenja. Nadalje, ta se otpornost može pripisati i upotrebi odgovarajućih, dobro osmišljenih materijala koji su se koristili za kolnik i druge konstrukcijske dijelove mosta. Kao posljedica toga, analizirani su drugi utjecajni parametri, bez prometnog opterećenja.

3.3.2. Tipovi klime

U Sloveniji su samo armiranobetonski mostovi prisutni u sve tri klimatske zone. Čelični i kamene mostovi nalaze se u kontinentalnoj i mediteranskoj klimi, a prednapete mostove nalazimo isključivo u područjima s kontinentalnom klimom.

Prvo je istraživao utjecaj tipa klime na sveukupno propadanje kao i na propadanje pojedinih elemenata mosta. Analiza dostupnih podataka [20] pokazala je da tip klime utječe na propadanje donjeg ustroja, gornjeg ustroja i kolnika mosta (slika 3.). Analizirana je i promjena stanja cestovne opreme na mostu.

Ta se oprema sastoji od zaštitnih ograda za nogostup, zaštitnih odbojnih ograda, ograda mosta, rasvjete, instalacijskih kanala i prijelaznih naprava. Ako se izuzmu prijelazne naprave, analiza podataka pokazuje da propadanje elemenata cestovne opreme mosta ne ovisi o vrsti klime [20]. Stoga se cestovna oprema nije uzimala u obzir za daljnju analizu.



Slika 3. Propadanje mosta u vremenu (izraženo kao vrijeme potrebno za postizanje unaprijed definirane razine R) za armiranobetonske elemente mosta, kao funkcije tipa klime

3.3.3. Građevni materijali i tipovi mostova

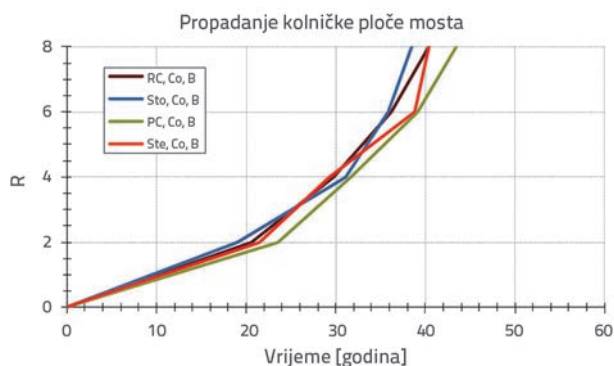
Stopa propadanja ispitana je s obzirom na građevni materijal od kojeg su izgrađeni mostovi. Za razmatranje su uzeta u obzir četiri različita materijala koja se koriste za gornji ustroj. Međutim, donji ustroj je izgrađen od armiranog betona, bez obzira na vrstu gornjeg ustroja, osim kod kamenih mostova kojih ima i najmanje. Prema tome, stopa propadanja donjeg ustroja analizirana je samo za armiranobetonske i kamene konstrukcije. Tipični primjeri donjeg i gornjeg ustroja mosta prikazani su na slici 4. Elementi kolničke ploče mostova odabrani su isključivo prema potrebama predviđenog prometa i nisu u vezi s materijalom od kojeg je izgrađen most. Dakle, očekuje se da će stopa propadanja kolnika biti neovisna od stope propadanja građevnog materijala od kojeg je izgrađen most.

Primjeri promjena parametra R u vremenu (potrebni za postizanje unaprijed zadanih razina ocjenjivanja, kao što je prikazano u izrazu (20)), prikazani su na slikama 5. i 6. Prikazana je degradacija (propadanje) kolničke ploče mosta, donjeg ustroja i gornjeg ustroja u kontinentalnoj klimi. Prema utvrđenoj konvenciji, vrijeme je prikazano na osi x, a rejting (ocjena stanja) na osi y. Rezultati prikazani na slici 5. pokazuju gotovo identičnu stopu propadanja kolničkih ploča mostova bez obzira na građevni materijal, u području kontinentalne klime. Slični rezultati dobiveni su za kolničke ploče mostova u drugim klimatskim zonama [20]. Razlika u stopi propadanja kolnika mostova koji su izgrađeni od različitih materijala zabilježena je samo u visokom stupnju degradacije [20].

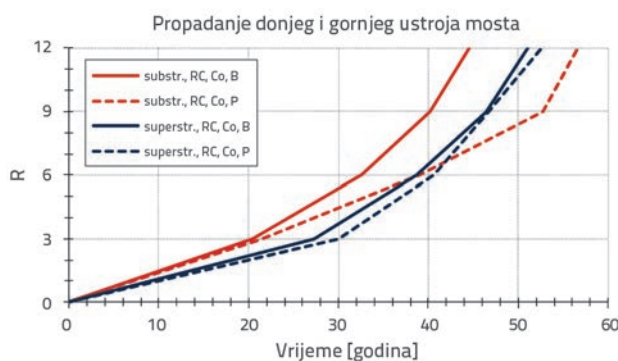
Analiza utjecaja građevnog materijala na stopu propadanja mostova provedena je na sljedeći način. Mostovi nad vodama u Sloveniji napravljeni su od svih vrsta materijala i od raznih kombinacija materijala. Podvožnjaci i nadvožnjaci izvedeni su isključivo od armiranog betona (tablica 3.). Većina takvih mostova nalazi se u područjima kontinentalne i mediteranske



Slika 4. Primjeri mostova: a) armiranobetonski; b) prednapeti; c) čelični; d) kameni. Kod primjera a), b) i c) donji ustroj je izgrađen od betona, a kod d) od kamena



Slika 5. Propadanje u vremenu (izraženo kao vrijeme potrebno za postizanje unaprijed definirane razine R) za kolničke ploče mostova ovisno o građevnom materijalu mostova (kontinentalna klima)



Slika 6. Propadanje u vremenu (izraženo kao vrijeme potrebno za postizanje unaprijed definirane razine R) za donji i gornji ustroj mosta od armiranog betona ovisno o tipu konstrukcije (kontinentalna klima)

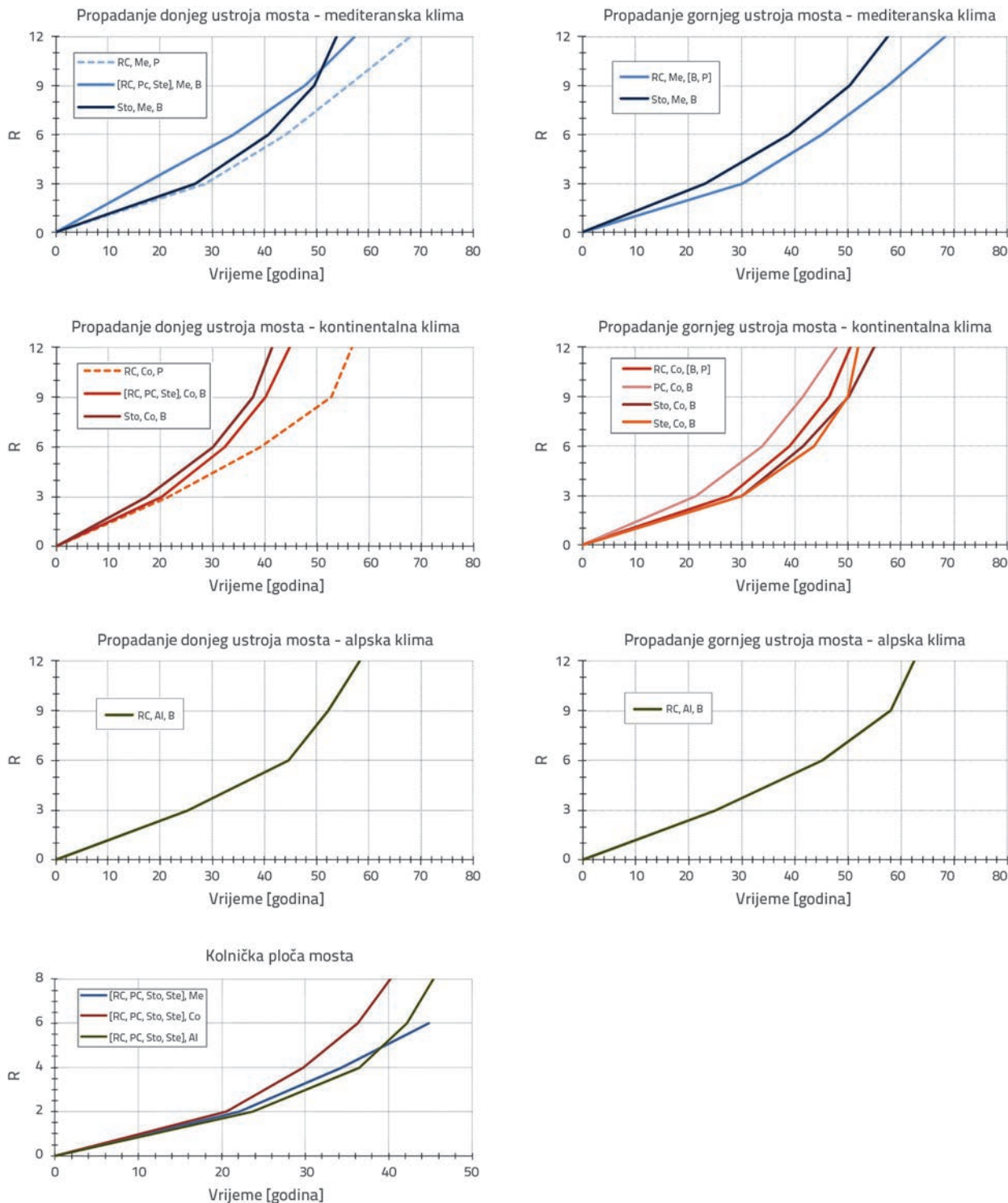
klime, a samo se jedanaest mostova nalazi u zoni alpske klime. Stoga je odnos između građevnog materijala (gradiva) i stope propadanja određen samo za armiranobetonske mostove koji se nalaze u područjima mediteranske i kontinentalne klime.

Analiza podataka pokazuje da donji ustroji vijadukata i nadvožnjaka propadaju vidno sporije (za približno 25%) od donjih ustroja mostova nad vodama (rijekama, kanalima, morem). Kao što je već objašnjeno, ovo opažanje može se objasniti stalnim izlaganjem konstrukcijskih elemenata riječnoj vodi, što se može dodatno pogoršati poplavama ili promjenom razine vode bez obzira na to je li temperatura vode ispod nule ili nije.

Nadalje, može se uočiti da gornji ustroji mostova, vijadukata i nadvožnjaka imaju gotovo istu stopu propadanja. Na slici 6. prikazani su rezultati ponašanja donjeg i gornjeg ustroja armiranobetonskih mostova koji se nalaze u područjima kontinentalne klime.

4. Rezultati i diskusija

Na temelju provedene analize, utvrđen je odnos između utjecajnih parametara i stope propadanja mosta, a rezultati su prikazani na slici 7. Može se uočiti da klima najviše utječe na stopu propadanja mosta



Slika 7. Razvoj propadanja (izraženo kao vrijeme potrebno za postizanje unaprijed definirane razine R) za pojedine elemente mosta prema vrsti klime, građevnom materijalu i tipu konstrukcije

(od svih utjecaja koji su usvojeni u istraživanju). Stopa propadanja pojedinih dijelova mosta je najmanja u mediteranskoj klimi, a znatno se povećava u kontinentalnoj klimi (gdje je velik broj ciklusa smrzavanja / odmrzavanja vode koji se javljaju uglavnom zimi).

Propadanje konstrukcijskih elemenata mostova u području alpske klime odvija se gotovo jednako sporo kao i u mediteranskoj klimi, a tome je najvjerojatnije razlog mali broj godišnjih smrzavanja i odmrzavanja vode, jer je temperatura u zimskim

mjesecima stalno ispod nule. Proces propadanja u zoni alpske klime analiziran je samo za armiranobetonske mostove, budući da drugih tipova mostova u toj zoni gotovo da i nema. Kako u alpskoj zoni ima i relativno malo armiranobetonskih mostova (u odnosu na broj mostova u drugim klimatskim zonama), dobiveni bi rezultati mogli imati određenu razinu nesigurnosti.

Kao što je već navedeno, tip konstrukcije utječe samo na brzinu propadanja donjeg ustroja. Ovaj utjecajni parametar može se analizirati samo za armiranobetonske konstrukcije jer na slovenskim državnim cestama nema kamenih nadvožnjaka ili vijadukata. Voda može izazvati eroziju tla u temeljima ili ispod njih, isto kao i abraziju krila upornjaka i upornjaka. Poplave mogu uzrokovati mehanička oštećenja zbog velikih komada materijala koji plutaju velikim brzinama. Tako nešto ne može se dogoditi kod nadvožnjaka i vijadukata, pa stoga te građevine propadaju sporije od mostova, što se jasno može vidjeti na slici 7.

Iz te se slike također može zaključiti da je utjecaj građevnog materijala na stupanj propadanja relativno nizak. Nadalje, analiza podataka pokazuje da je propadanje gornjeg i donjeg ustroja mosta gotovo neovisno o korištenom materijalu. Vidljive razlike u stupnju propadanja mogu se primijetiti samo kada je konstrukcija već znatno oštećena. Ubrzano propadanje čeličnih konstrukcija u kasnijim godinama životnog vijeka mosta pripisuje se brzom napredovanju korozije jer tada čelični elementi više nisu adekvatno zaštićeni antikorozivnim premazom. Kameni mostovi propadaju brže nakon oštećenja prvog kamenog bloka, što uzrokuje pojavu praznog prostora između blokova kamene konstrukcije, a to dovodi do bržeg oštećenja i ubrzanog gubitka materijala.

Kao što je navedeno u točki 3.3.1., analiza prometnog opterećenja pokazuje da ne postoji korelacija između stope propadanja elemenata mosta i veličine prometnog opterećenja. Ovo se opažanje može objasniti prikladnim projektiranjem mosta u odnosu na očekivano prometno opterećenje, ali može biti i posljedica predimenzioniranja konstrukcijskih elemenata tijekom projektiranja.

Predstavljena metodologija se sastoji od dvije glavne komponente: vizualnog pregleda mostova i proračuna ocjene stanja. Kao što je već poznato prema [11], vizualni pregled ima nekoliko nedostataka kao što su subjektivno promatranje i nestručnost procjenitelja. Rezultat tih nedostataka je relativno velika disperzija ocjena stanja mostova u pojedinim nizovima podataka.

Nekoliko autora koji su obrađivali slične teme, npr. [1, 7, 11, 12] naglašavaju da bi se terenskim inspekcijama mogli dobiti kvalitetniji podaci ako bi procjenitelji: a) imali redovitu obuku, b) koristili ujednačene postupke za provedbu inspekcija i c) povremeno uspoređivali rezultate kako bi se uskladili uvjeti ocjenjivanja za iste opsege i intenzitete oštećenja. Da bi se potvrdila pouzdanost rezultata, trebale bi se uvesti i posebne povremene inspekcije kao dodatna mjera kontrole kvalitete.

Sadašnja metodologija ima dvije osnovne slabosti. Dužina/površina mosta se ne računa kod određivanjem stupnja oštećenosti mostova. Nadalje, metodologija procjene ne može prepoznati moguće oštećenje na relativno malom dijelu mosta (lokalna oštećenja), što može predstavljati značajan rizik za

spособnost preuzimanja opterećenja i trajnost konstrukcije. Činjenica da su prijelazne naprave klasificirane kao oprema, a ne kao konstrukcijski dio mosta, prikriva važnost i utjecaj tog elementa na cjelokupno ponašanje konstrukcije.

Da bi se otklonili ti nedostaci, u tijeku je razvoj nove metode procjene, ali ona za sada još nije dovoljno ispitana. Velika većina mostova na slovenskim državnim cestama ima relativno kratke rasponne i uglavnom su dvotračni, tako da nedostaci trenutačno primijenjene metodologije bitno ne utječu na konačne rezultate analize. Međutim, sa završetkom slovenske mreže autocesta, koja sadrži veći broj dužih i širih mostova i vijadukata, trebat će se svakako uspostaviti i nova metodologije za procjenu stanja.

Može se očekivati da će, zbog stalnog porasta prometnog opterećenja i utjecaja okoliša koji negativno utječu na stanje cesta, važnost adekvatne metodologije procjene stanja biti u budućnosti još izraženija nego danas.

5. Zaključak

U radu su prikazane osnovne karakteristike mostova na državnim cestama u Sloveniji, te metodologije koje se primjenjuju za procjenu stanja mostova. Definirani su osnovni parametri tih građevina te su analizirani rezultati kontrolnih pregleda mostova obavljenih u proteklih dvadeset godina.

Rezultati analize postojećih podataka pokazuju da su klimatski uvjeti i utjecaj vode parametri koji najviše utječu na stanje mostova. Da bi se osigurala sigurnost i uporabivost ovih građevina, mostove koji se nalaze u zonama s oštrijom klimom treba pratiti češće kako bi se otkrila potencijalna promjena njihovih svojstava. Dobiveni rezultati također pokazuju da se sadašnja metodologija procjene treba poboljšati, posebno u elementima vezanim uz opis i procjenu lokalno koncentriranih oštećenja. Prikupljanje podataka trebalo bi se na odgovarajući način informatizirati s ciljem postizanja veće učinkovitosti.

Buduća istraživanja trebala bi se usredotočiti i na restrukturiranje postojeće baze podataka, tako da se detaljnije mogu proučiti štete na mostovima zbog korištenja soli za odmrzavanje cesta u zimskom razdoblju. S aspekta upravitelja cestovnom infrastrukturom, daljnja istraživanja potrebna su i u području uvođenja sustava za pomoć pri donošenju odluka o održavanju, popravljanju i obnavljanju mostova. Takvi alati omogućuju uspostavljanje racionalne osnove za prepoznavanje konstrukcija koje trebaju dobiti prioritet u održavanju, popravcima i obnovi, te tako pomažu upraviteljima sustava u postupcima donošenja odluka.

Zahvala

Autori zahvaljuju slovenskoj Agenciji za ceste na odobrenju pristupa bazi Državne cestovne mreže te profesoru Antoniu C.M. Sousi na pomoći oko teksta. Autori također zahvaljuju na financijskoj potpori koju je pružilo Sveučilište u Ljubljani kroz Program doktorskih studija za promicanje suradnje s industrijom, te na potpori slovenske Agencije za istraživanje kroz istraživački program br. P2-0185.

LITERATURA

- [1] Hearn, G.: Bridge Inspection practices. National cooperative highway research program – NCHRP. Synthesis 375, 2007, http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_375.pdf, 8.6.2014.
- [2] Šelih, J., Kne, A., Srdič, A., Žura, M.: Multiple-criteria decision support system in highway infrastructure management. *Transport*, Vol. 23, pp. 299-305, 2008.
- [3] Frangopol, D.M.: Life-cycle performance, management, and optimisation of structural systems under uncertainty: accomplishments and challenges. *Structure and infrastructure engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*, Vol. 7, pp. 389-413, 2011, <http://dx.doi.org/10.1080/15732471003594427>, 8.6.2014.
- [4] Ellingwood, B.R.: Risk-benefit-based design decisions for low-probability/high consequence earthquake events in mid-America. *Progress in Structural Engineering and Materials*, Vol. 7, pp. 56-70, 2005.
- [5] Testa, R.B., Yanev, B.S.: Bridge maintenance level assessment. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. Vol. 17, pp. 358-367, 2002.
- [6] Yanev, B., Richards, G.: Designing Bridge Maintenance on the Network and Project Levels. *Structure and Infrastructure Engineering*. Vol. 9, pp. 349-363, 2013.
- [7] Woodward, R.J., Cullington, D.W., Daly, A.F., Vassie, P.R., Haardt, P., Kashner, R., Astudillo, R., Velando, C., Godart, B., Cremona, C., Mahut, B., Raharinaivo, A., Lau Markey, I., Bevc, L., Peruš, I.: Bridge management systems: Extended review of existing systems and outline framework for a European system. BRIME PL97-2220, 227 p., 2001.
- [8] Morcous, G.: Comparing the use of artificial neural networks and case based reasoning in modeling bridge deterioration. Annual conf. of the Canadian society of civil engineering, Montreal, 2002.
- [9] Žnidarič, J., Terčelj, S., Marolt, J.: Določite v standardov uporabnosti cestnih mostov – številčna ocen stanja mostov – rating. Ljubljana. Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij ZRMK, 50 p, 1990 (In Slovenian).
- [10] Žnidarič, J., Bevc, L., Capuder, F., Marolt, J., Srpčič, J., Terčelj, S., Žnidarič, A., Vojska, J.: Vrednotenje varnosti cestnih mostov (Inženirske osnove za računalniško obdelavo poročil o pregledu mostov). Ljubljana. Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij ZRMK, 43 p, 1992 (In Slovenian).
- [11] Tenžera, D., Puž, G., Radič, J.: Visual inspection in evaluation of bridge condition, *GRAĐEVINAR* 64 (2012) 9, pp. 717-726.
- [12] Gattulli, V., Chiaramonte, L.: Condition Assessment by visual inspection for a Bridge Management System, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 20, pp. 95-107, 2005.
- [13] Revizijsko poročilo – vzdrževanje avtocest (Revision report – maintenance of roads). 2010. Izrekmnenja o vzdrževanju avtocest v obdobju 2005 – 2007. Računsko sodišče RS, <http://www.rs-rs.si/rsrs/rsrs.nsf/I/K29468874F0E38504C12574C6003CCF53?openDocument&appSource=AA288C363EA722B2C125715C001B5795>, 8.6.2014 (In Slovenian).
- [14] Regulation on Roads, Official Gazette of Republic of Slovenia, No.109/2010, <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=2010109&stevilka=5732>, 8.6.2014.
- [15] Žarnič, R.: Lastnostigradiv. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 350 p., 2005 (In Slovenian).
- [16] Moncmanova, A.: Environmental deterioration of materials, WIT Press, Southampton, UK, 312 p., 2007.
- [17] TSC06.511: http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/pdf_datoteke/TSC/TSC-06-511-2009.pdf, 8.6.2014.
- [18] Sistonen, E., Vesikari, E.: Effect of interacted deterioration parameters in service life of concrete structures in cold environments – state of the art, Research Report VTT-R-09217-08, VTT, 2008, http://www.vtt.fi/files/sites/duraint/task_1_state_of_the_art.pdf, 8.6.2014.
- [19] Direkcija za ceste, <http://www.dc.gov.si/>, 8.6.2014.
- [20] Kušar, M.: Condition assessment of state road network bridges, Internal report, University of Ljubljana, 2013 (In Slovenian).
- [21] Turk, G.: Verjetnostni račun in statistika. 1.izd. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2012. 264 pp. (In Slovenian)