

Podvodni pregled mostova

Neven Kuspilić, Gordon Gilja

Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

Sažetak

Najčešći uzrok oštećenja i rušenja mostova je djelovanje vode te je radi njihove prevencije nužno redovito promatranje promjena korita. Svjetska praksa obavljanja podvodnog pregleda mostova je različita, dok je naša regulativa u tome kontekstu manjkava – način pregleda, postupci i način ocjenjivanja stanja nigdje nisu definirani. Posljednjih godina obavljaju se podvodni pregledi mostova i ocjena stanja se donosi po različitim kriterijima. Stoga je nužno na razini države donijeti pravilnik o podvodnom pregledu mostova koji bi obuhvatio sve čimbenike na osnovi kojih se može odrediti stvarna opasnost od oštećenja konstrukcije mostova.

Ključne riječi: mostovi, podvodni pregled, erozija, podlokavanje, pravilnik

Underwater bridge inspection

Abstract

Water action is considered to be the most common cause of bridge damage and failure. Therefore, in order to prevent such occurrences regular bridge inspection is necessary. While underwater bridge inspection practices differ across countries, Croatian legislature is insufficient in this respect – inspection standards and rating system are not defined. Underwater bridge inspection has been carried out in Croatia in recent years using non-uniform criteria and rating system. It is necessary and urgent to adapt a set of rules which encompass all aspects of underwater bridge inspection in order to assess real bridge condition and its susceptibility to scour damage.

Key words: bridges, underwater inspection, erosion, scour, regulation

1 Uvod

Hidrauličko djelovanje vode na konstrukciju mosta ubraja se u grupu slučajnih djelovanja te se kao takvo uzima u proračun priprojektiranju. Ono se može uočiti u djelovanju voda i plutajućeg nanosa na samu konstrukciju te kroz promjene geometrije korita vodotoka i okolnog tla zbog djelovanja voda. Međutim, svjedoci smo stalnih promjena u klimi pa time i promjena u pojavnosti velikih voda u vodotoku, što mostove stavlja u nove uvjete djelovanja [1, 2]. Što su stariji mostovi, to su značajnije promjene hidrauličkih djelovanja u odnosu na projektne kriterije. Statistički gledano, upravo je voda daleko najzastupljeniji čimbenik rušenja mostova. Istraživanjima provedenima slučajevima oštećenja mostova od 1887. godine do danas ustanovljeno je da su poplavne vode i podlokavanja konstrukcija uzrok rušenja u više od 50 % slučajeva [3–11].

Promjene u koritu vodotoka nastale kao posljedica njegove prirode, erozijskih procesa uvjetovanih antropogenim djelovanjem te promjenama u režimu voda i nanosa nisu lako vidljive (ako i jesu, onda ih mogu prepoznati samo stručnjaci koji se bave tom specijalnošću) [12]. Slučajevi kada posljedice upozore na postojanje uzroka, tj. promjena u koritu, predstavljaju najveći problem jer je šteta već nastala. Dakle, kako bismo mogli spriječiti oštećenje dijelova konstrukcije mostova ili njihovo rušenje, moramo redovito i stručno pratiti promjene u koritu vodotoka te ocijeniti mogu li uočene promjene biti uzrok potencijalne opasnosti za konstrukciju. Promjene u koritu za konstrukciju znače promjenu projektnih parametara koji su različiti od onih korištenih prilikom projektiranja mostova, gotovo redovito u smislu nepovoljnijeg djelovanja [13]. Vlasnici mostova suočeni su sa sve većim izazovima pri održavanju mostova; osim starenja i pojava oštećenja, utjecajni faktori su i nedostatak sredstava za obnovu te povećana frekvencija prometa [14].

2 Sadašnja regulativa

Zakonska obveza vlasnika građevine je osigurati njeno održavanje tako da se tijekom njezina trajanja očuvaju temeljni zahtjevi za građevinu te unapređivati njihovo ispunjavanje. Temeljni dokument kojim je regulirana uporaba i održavanje građevina jest Zakon o gradnji (NN 153/13), a na djelatnost gospodarenja neposredno se odnosi poglavlje "Uporaba, evidentiranje, održavanje i uklanjanje građevina". Konkretan okvir za uspostavu sustava gospodarenja postavljen je člankom 151. kojim je predviđeno da održavanje građevine te poslove praćenja stanja građevine, povremene godišnje preglede građevine, izradu pregleda poslova za održavanje i unapređivanje ispunjavanja temeljnih zahtjeva za građevine i druge slične stručne poslove vlasnik građevine, odnosno osoba koja obavlja poslove upravljanja građevinama prema posebnom zakonu mora povjeriti osobama koje ispunjavaju uvjete za obavljanje tih poslova propisane posebnim zakonom. Spomenuti zakon, kao i Pravilnik koji donosi ministar, a kojim će biti propisani uvjeti za održavanje, još nisu izdani, premda za takvim dokumentima postoji potreba [15, 16].

Prema Pravilniku o održavanju cesta (NN 90/14) u Republici Hrvatskoj provodi se **redovito i izvanredno** održavanje cesta.

Pod **redovitim održavanjem cesta** podrazumijevaju se poslovi nadzora i pregleda cesta i objekata, redovito održavanje cestovnih objekata, interventni radovi,...Nadzor nad stanjem cesta i objekata obavlja upravitelj ceste, na osnovi redovitih i izvanrednih pregleda te izvođač radova redovitog održavanja ceste, na osnovi ophodarske službe. Redoviti pregledi dijele se na sezonske preglede cesta, godišnje preglede cestovnih objekata i glavne preglede cestovnih objekata. Godišnji i glavni pregledi cestovnih objekata odnose se na objekte svijetlog raspona 5 m i više. Upravitelj ceste ima obvezu osigurati da se čelični i drveni cestovni objekti pregledavaju najmanje jednom godišnje, a drugi cestovni objekti pregledavaju se najmanje jednom svake dvije godine. Pri pregledu cestovnih objekata potrebno je pregledati sve njegove dostupne dijelove, te ovisno o nalazu ili zbog prethodnog zahtjeva inspekcije za ceste, potrebno je obaviti ispecijalistička mjerenja i ispitivanja. Izvanredni pregledi obavljaju se:

- odmah nakon nastanka događaja kao što su prirodne katastrofe te drugi izvanredni događaji koji imaju negativni utjecaj na ceste
- pri određivanju sposobnosti ceste za preuzimanje prekomjernih ili izvanrednih opterećenja
- prije isteka garancijskog roka po izgradnji ili rekonstrukciji
- na zahtjev inspekcije za ceste Ministarstva pomorstva, prometa i infrastrukture.

Pod radovima redovitog održavanja cestovnih objekata podrazumijeva se, između ostalog, čišćenje naplavina, nanosa i drugog materijala koji može ugroziti objekt ili promet te popravci podlokanih stupova, upornjaka i krila.

Radovi **izvanrednog održavanja** izvode se povremeno, a njihov opseg vezan je za stupanj dotrajalosti ili oštećenja ceste. Oni se mogu izvoditi samo na temelju projekta koji se obvezno izrađuje za provedbu takvog održavanja. Projekt za upravitelja ceste izrađuje ovlašteni inženjer (koji je ovlaštenje stekao po posebnom zakonu) na temelju projektnog zadatka, a na podlozi evidentiranih podataka o stanju ceste ili na temelju obavljenog prethodnog detaljnog pregleda. Izvanredno održavanje cestovnih objekata posebno obuhvaća zaštitu stupova i upornjaka od podlokavanja.

Iako pravilnik izrijeком spominje popravke podlokanih stupova i upornjaka te njihovu zaštitu od podlokavanja, nije donesen akt koji specificira postupke i metodologiju za utvrđivanje stanja korita. Iz našeg iskustva, osim utvrđivanja trenutnog stanja korita, nepoznanicu predstavlja i vrsta te dubina temeljenja pojedinih mostova. Naime, mnoge mostove karakterizira nedostupnost izvedbenih projekata ili projekata izvedbenog stanja, a za neke je utvrđeno odstupanje izvedenog stanja od izvedbenog projekta. Pažnja najčešće nije pridavana obliku korita prilikom projektiranja pa je njegovo stanje u vrijeme gradnje mosta uglavnom nepoznanica.

2.1 Interna regulativa HŽ-a

Hrvatske željeznice za podvodni pregled koriste pravilnik 315 pod nazivom "Pravilnik o održavanju donjeg stroja pruga jugoslavenskih željeznica" iz 1971. Njime je reguliran stalni nadzor, povremeni nadzor te specijalni pregled i ispitivanja na mostovima. Dinamika pregleda zahtijeva da se obalni i riječni stupovi izloženi podlokavanju pregledaju poslije svake velike vode, a najmanje jedanput godišnje. Pregled se prvenstveno provodi pri najnižem vodostaju. Njime se utvrđuje postojanje oštećenja u vidu podlokavanja od erozivne snage vode, zasipanja od bujičnih rijeka i potoka te produbljivanja korita i rušenja obala. Dubinu vode u svrhu utvrđivanja dubine podlokavanja mjeri se sondiranjem letvom pri niskom vodostaju ili ehosonderom u slučaju većih dubina.

3 Smjernice i regulativa u svijetu

U svjetskoj praksi je opseg podvodnog pregleda reguliran pravilnicima u okviru sustava gospodarenja mostovima. Najdetaljniji opis dostupan je za SAD gdje su 1971. godine nastali Državni standardi za pregled mostova (eng. *National Bridge Inspection Standards* - NBIS) koji definiraju frekvenciju pregleda, osposobljenost inženjera koji ih provode, strukturu izvještaja, sadržaj baze prikupljenih podataka te mjere koje se moraju poduzeti u slučaju utvrđenih oštećenja [17]. Prema tim standardima mostovi se dijele na 4 glavne konstrukcijske cjeline koje su zasebno ocjenjivane temeljem pregleda: gornji ustroj, donji ustroj, kolnička ploča i propusti. Proces ocjenjivanja provodio se svake dvije godine na takav način da se svakome od četiri glavna dijela dodjeljivala cjelobrojna ocjena između 0 i 9. Ocjene odražavaju stupanj dotrajalosti, tako što ocjena "9" pripada mostu bez ikakvih oštećenja i nedostataka, a ocjena "0" mostu koji je toliko propao da se više ne može popraviti [16].

Tijekom vremena i usvajanjem novih znanja i spoznaja došlo je do promjena u načinu definiranja elemenata mostova koji su obuhvaćeni pregledom te korištenog sustava ocjenjivanja, ponajviše zbog subjektivnog doživljaja inspektora. Na saveznoj razini je 1991. zaživio sustav Pontis, čiji je cilj bio standardizirati opis elemenata mosta. Njime je definirano 160 različitih elemenata koji se mogu primijeniti za most, a u prosjeku su pojedini mostovi sadržavali njih 10. Nakon prikupljanja iskustava kroz njegovu implementaciju preispitani su standardi za pregled mostova što je 1993. g. rezultiralo novim standardom nazvanim Zajednički raspoznatljivi elementi mosta (*Commonly Recognized (CoRe) Elements*). Pregled mostova po elementima zamišljen je kao dopuna postojećeg NBIS standarda, a ne kao njegova zamjena. Elementi mosta su kategorizirani u 3 kategorije:

- državni elementi – definiraju primarne elemente nužne za ocjenu sigurnosti mosta kao što su rasponska konstrukcija, stupovi, upornjaci, itd.;
- elementi gospodarenja mostom – definiraju sekundarne elemente kao što su ležajevi, završni slojevi, itd.
- elementi pojedinih agencija – proizvoljni elementi karakteristični za most koji mogu uključivati i elemente koji nisu dio mosta.

Broj standardiziranih elemenata mosta smanjen je na 108, uvedena definicija svakog elementa, njegova mjerna jedinica te opis njegovog stanja pomoću skale od 3 do 5 ocjena. Stanje elementa mosta opisano pojedinom ocjenom uključuje i broj elemenata s pripadnom ocjenom. Za svaku ocjenu su definirani tipizirani postupci koji moraju biti poduzeti nakon utvrđivanja stanja mosta.

Američka udruga državnih službenika zaduženih za promet i autoceste (AASHTO) službeno je prihvatila Priručnik s CoRe elementima 1995. godine i okarakterizirala ga kao poželjan standard za prikupljanje podataka o mostu. Iako je bilo naznaka da bi Priručnik CoRe elemenata mogao postati državni standard, to se nije pokazalo praktičnim rješenjem. Umjesto toga, Savezna administracija za autoceste (FHWA) je razvila algoritam kojim se CoRe ocjene elemenata pretvaraju u NBIS ocjene kako bi bile konzistentne i usporedive. Na ovaj način savezne države mogu provoditi preglede prema novom standardu, a izvijestavati Saveznu administraciju prema starom. Trenutačno više od 40 saveznih država primjenjuje pregled mostova na razini elemenata [18, 19].

Kriteriji za podvodni pregled nisu bili jasno definirani unutar standarda za pregled mostova, što je pogotovo došlo do izražaja 1985. godine kada se srušio most Chickasawbogue u Alabami. Istraga koja je uslijedila iznijela je na vidjelo činjenicu da je 21 dan prije rušenja mosta na njemu proveden dvogodišnji rutinski pregled. S obzirom na to da u to vrijeme podvodni pregled nije bio definiran standardiziranim pravilnikom, na tom mostu nije nikada niti bio proveden. Također se pokazalo da većina saveznih država, njih 35, podvodni pregled provodi tek kada se jave problemi, a samo njih 15 rutinski pregledavaju dijelove mosta pod vodom. Međutim, i ti pregledi su provedeni izvana, tj. bez korištenja dodatne opreme ili ronilačkih usluga. Kao rezultat, FHWA je dobio zadatak da uspostavi kriterije za podvodni pregled elemenata mosta jer oni moraju biti obuhvaćeni unutar sustava gospodarenja mostom. Savezne države su dobile naputak da identificiraju mostove podložne podlokavanju i da razviju procedure za provođenje podvodnog pregleda mosta. Zakonska odredba kojom se uređuje uvrštavanje podvodnog pregleda mosta u pravilnike za provođenje pregleda mosta stupila je na snagu 1987. godine. Uspostava okvira za provođenje podvodnog pregleda mosta započinje prikupljanjem podataka o mostovima čiji su elementi u vodi predubokoj za vizualni pregled izvana u uvjetima malih voda. Općenito, dubina vode koja onemogućava zadovoljavajući pregled s površine, bilo korištenjem vizualnog pregleda iz čamca ili sondiranja letvom, iznosi od 1 m do 2 m. U tim slučajevima pregled mora izvesti ronilac [20]. Nakon uspostavljanja baze podataka s takvim mostovima, podvodni pregled na prioritetnim mostovima mora biti proveden unutar jedne godine, a na ostalima unutar pet godina.

Kada se govori o podvodnom pregledu, onda se treba termin "podvodni" uzeti relativno. Naime zbog oscilacija vode u vodotoku, dio korita i konstrukcije se nalaze stalno pod vodom, a dio povremeno. Podvodni pregled podrazumijeva pregled cijelog korita i dijela konstrukcije, i to ne samo onih dijelova koji su povremeno potopljeni već i šire – dijelova koji su pod utjecajem vode. To je područje gdje se, na primjer, zbog promjena razina vode mogu pojaviti klizanja obale, zbog pojave valova erozija obale, zbog nagomilava-

nja leda ili naplavina poremetiti strujna slika koja bi uzrokovala dodatnu eroziju korita i slično. Jasno je da je pregled dijela korita i konstrukcije mosta koji su stalno pod vodom najsloženiji, no ne smije se odvojiti od ostalih dijelova koji su pod utjecajem voda [12]. Erozivno djelovanje toka djeluje na samu konstrukciju (podlokavanjem elemenata mosta) i na dulji potez korita (globalnom erozijom, lateralnom migracijom korita) te na stabilnost zaštitnih građevina. To je razlog zašto definiranjem CoRe elemenata mosta nije moguće obuhvatiti djelovanje toka kao jedinstven element nego je isprepletено sa svim elementima s kojima je tok u interakciji. Tako se samo korito vodotoka promatra kroz 4 elementa: kut naleta toka na konstrukciju, globalna stabilnost korita, erozija uslijed suženja toka i zaštitne građevine. Erozija i podlokavanje profila mosta promatraju se usporedbom s povijesnim snimkama korita za sljedeća 4 elementa: profil korita uz rubove konstrukcije i profili dna uz lica uronjenih elemenata, podlokavanje elemenata vidljivo na terenu i položaj matice toka korita pri nailasku na mostovski profil. Podlokavanje se još evidentira i pri vizualnom podvodnom pregledu upornjaka i stupova analizom kaverni od podlokavanja uz elemente mosta i ispiranjem materijala od kojeg je izrađena konstrukcija. Podvodni pregled se provodi na 3 razine prema detaljnosti i opsegu pregleda te vrsti mjerenja:

razina I: obuhvaća “oplovljavanje” oko mosta koje se oslanja na vizualnu inspekciju izvana, a ako se utvrdi postojanje oštećenja, prelazi se na razinu II koja ih detaljno opisuje;

razina II: detaljniji pregled kojim se mjere oštećenja i procjenjuju, a za verifikaciju zaključaka razine I obavlja se pregled konstrukcije nasumičnim uzorkovanjem površine elementa;

razina III: obuhvaća vrlo detaljan pregled primjenom nedestruktivnih ili minimalno destruktivnih metoda ispitivanja svojstava materijala i karakteristika korita.

Rutinski podvodni pregled obuhvaća pregled razine I na 100 % površine elemenata u vodi kako bi se uočila očita oštećenja. Pregled razine II se provodi na 10 % površine da bi se potvrdili zaključci pregleda razine I. Pojava erozije unutar korita i na obalama se mora provjeriti. Poprečni profil korita se mora usporediti s povijesnim snimkama kako bi se evidentirala lateralna migracija korita i globalna erozija. U rijekama u kojima se javlja značajan pronos nanosa nije moguće realno izmjeriti dubinu podlokavanja zbog zatrpavanja kaverni vučenim nanosom u uvjetima malih voda. Za mjerodavnu dubinu kaverne mjerenja je potrebno provesti tijekom trajanja velikih voda kada je materijal korita u pokretu, tj. kada je dubina kaverne uz elemente mosta najveća.

Detaljni pregled podvodnih elemenata je potrebno provesti kada se njihovo stanje ne može ocijeniti na temelju rutinskog pregleda. On podrazumijeva upotrebu specijalne opreme i metoda izvan opsega rutinskog pregleda. Podvodne inspekcije moraju biti popraćene inženjerskom procjenom osjetljivosti elemenata mosta na podlokavanje te preporukama za izvedbu zaštite od podlokavanja. Cjelovito praćenje promjena u koritu

vodotoka ima više komponenti. Ono se sastoji od geodetskih, geotehničkih, hidroloških, hidrauličkih i vizualnih elemenata. Inženjersku procjenu mora načiniti interdisciplinarni tim sastavljen od inženjera konstruktora, hidrotehničara i geotehničara. Tumačenje rezultata složen je specijalistički postupak čiji rezultat mora dati ispravnu procjenu o opasnosti od pojave neželjenih promjena koje bi mogle ugroziti konstrukciju mosta. Također, vrlo je važno u uzdužnom smislu pregledati dovoljno dugu dionicu korita vodotoka, reprezentativnu za zaključivanje o procesima koji se događaju u zoni mosta [12]. Opseg istraživanja u sklopu procjene može biti u velikom rasponu, od brzih do detaljnih, ovisno o podacima prikupljenim pregledom, karakteristikama korita, dubini i brzini toka, vrsti i dubini temeljenja te ostalim utjecajnim faktorima. Za pravilno određivanje opasnosti od podlokavanja potrebno je poznavati hidrauličke karakteristike toka kroz profil mosta. Hidraulička studija predstavlja samostalni izvještaj koji je preduvjet za izgradnju svih novih mostova i rekonstrukciju postojećih. Rezultat studije mora jasno pokazati karakteristike polja tečenja za projektni protok, protok 100-godišnjeg povratnog razdoblja i protok 500-godišnjeg povratnog razdoblja ili protok koji prelijeva nasipe. Za svaki od navedenih hidroloških događaja moraju biti izračunane dubine podlokavanja oko elemenata mosta i određena mjesta pojave erozije. Procjena podlokavanja je inženjerska procjena postojećih i potencijalnih opasnosti uslijed djelovanja toka na korito koja rezultira preporukama o zahvatima koji se mogu poduzeti sa svrhom smanjivanja opasnosti od podlokavanja [17, 19, 21].

Podvodni pregledi se moraju provesti u intervalima najmanje jednom svakih 5 godina. Maksimalni interval je prikladan samo za mostove koji su u odličnom stanju i kod kojih nije evidentirana nestabilnost korita koja ugrožava stabilnost mosta. Kod mostova gdje postoji opasnost od pojave erozije, praćenje korita se mora provesti nakon svakog velikovodnog događaja sve dok se ne izvede zaštita od erozije i podlokavanja. Nakon izvedene zaštite od podlokavanja potrebno je pratiti njeno stanje nakon nailaska velikih voda. Ovi pregledi koji se provode nakon velikovodnih događaja s potencijalnim štetnim djelovanjem na most pripadaju skupini specijalnih pregleda, te se provode prema potrebi i procjeni inspektora.

Praksa europskih država u programima pregleda mostova uključuje detaljne i česte podvodne preglede. U Danskoj se provode 3 tipa pregleda. Osnovni pregled se provodi u intervalima od 1 do 6 godina i obuhvaća vizualni pregled svih dijelova mosta, uključujući podvodni pregled. Inspektor bilježi oštećenja, njihove uzroke i potencijalni rizik na temelju čega donosi odluku o intervalu u kojem je potrebno ponoviti pregled. Specijalni pregledi se provode povremeno, kada se identificiraju oštećenja ili se pokaže da je njihovo nastajanje izvjesno. Tada se provode detaljni pregledi i prikupljanju podaci na temelju kojih se donose odluke o potrebi za mjerama održavanja elemenata mosta i korita. Tehnički specijalni pregled se provodi nakon ekstremnog događaja koji može utjecati na stabilnost mosta, kao što je pojava velikih voda. Specijalne i tehničke specijalne preglede provode konzultanti.

U Njemačkoj preglede provode državni zaposlenici. Program pregleda sastoji se od 2 razine, tj. Od velikog i malog testiranja. Veliko testiranje podrazumijeva pregled konstruk-

cije na način da se može dotaknuti svaki njen element, a obuhvaća i podvodni pregled te pregled korita. Veliko testiranje provodi se unutar 6-godišnjeg razdoblja. Malo testiranje se provodi 3 godine nakon svakog velikog testiranja, a fokusira se na njegovim zaključcima i poznatim oštećenjima. Osim navedenih, također se provode i specijalni pregledi nakon svakog značajnijeg događaja, kao što su oluje ili veliki vodni valovi.

U finskoj i francuskoj praksi podvodni pregled se smatra zasebnim pregledom koji provode certificirani inspektori sa završenom posebnom izobrazbom. Podvodni pregled se provodi unutar 6-godišnjeg razdoblja. Podvodni pregled može biti dio intenzivnog monitoringa kojem se pribjegava kad su konstrukcije u lošem stanju.

Norveška praksa koristi 7 tipova pregleda podijeljenih u 3 klase. Podvodni pregled svrstan je u Klasu rutinskih pregledi, podtip je velikog pregleda. Obuhvaća vizualni pregled koristeći usluge ronilaca, pregled uronjenih dijelova konstrukcije, pregled korita te utvrđivanje radova na održavanju i popravku zaštitnih građevina. Podvodni pregled se provodi i u sklopu dodatnih specijalnih pregleda nakon ekstremnog događaja koji može utjecati na stabilnost mosta, kao što je pojava velikih voda. Za svaki pregled su definirana terenska mjerenja koja je potrebno napraviti u sklopu pregleda.

U Švedskoj se provode 4 razine rutinskih pregleda. Podvodni pregled provodi se u sklopu velikog pregleda svakih 6 godina, a mogu ga provoditi državni zaposlenici ili konzultanti. Veliki pregled obuhvaća pregled cjelokupne konstrukcije s izvještajem koji sadrži ocjenu svakog elementa. Podvodni pregled se provodi na svim elementima pod vodom, na način da im se dođe u doseg dodirnom. Na temelju podvodnog pregleda donose se planovi održavanja ili popravka utvrđenih oštećenja. Podvodni pregled se provodi i u sklopu specijalnih pregleda. Specijalne preglede provode konzultanti u uvjetima kada je potrebno detaljnije istražiti oštećenja utvrđena velikim pregledom.

U Ujedinjenom Kraljevstvu se provodi 5 tipova pregleda. Osnovni pregled se provodi u intervalima od 6 godina i obuhvaća vizualni pregled svih dijelova mosta, uključujući podvodni pregled. Specijalni pregledi se provode povremeno, kada se identificiraju oštećenja ili se pokaže da je njihovo nastajanje izvjesno. Osnovne i specijalne preglede provode vanjske tvrtke.

4 Primjena na primjerima iz Hrvatske

Zavod za hidrotehniku u sklopu Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu angažiran je na provođenju podvodnih vizualnih pregleda mostova u sklopu cestovne i željezničke infrastrukture od 2009. godine i gubitka stabilnosti mosta Sava Jakuševac. U sklopu podvodnog pregleda provodi se hidraulička analiza polja tečenja za karakteristične protoke (srednji i stogodišnji protok), analiza potencijalnog erozivnog djelovanja toka, detaljno geodetsko snimanje korita i vizualni ronilački pregled elemenata konstrukcije u vodi [1, 2, 12, 22, 23, 24].

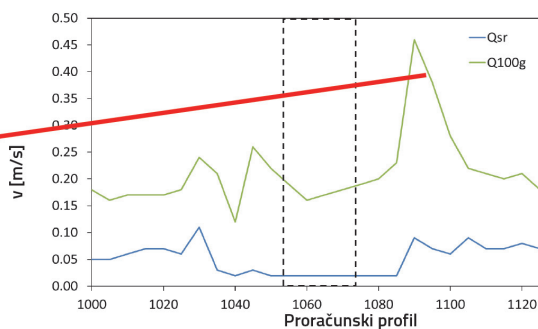
Iz geodetskog snimka je definiran oblik korita što služi za procjenu podlokavanja oko elemenata mosta i za trend globalnih promjena u koritu. Globalne promjene korita utvr-

đene su usporedbom snimljene geometrije korita s dostupnim povijesnim snimcima u vrijeme gradnje mosta ili kasnijih elaborata. Podlokavanje oko elemenata stupa je utvrđeno analizom detaljnog geodetskog snimka oko elemenata mosta. Stupanj razvoja kaverni utvrđen je usporedbom izmjerene geometrije s teorijski izračunanim dimenzijama na temelju karakteristika polja tečenja. Svim elementima kod kojih je utvrđeno postojanje kaverni zajedničko je to da je dubina kaverni stabilna pri srednjem protoku, dok se pri velikim vodama očekuje njihovo daljnje produbljivanje. Erozijska i urušavanje zaštitnih građevina te njihovo stanje utvrđeno je vizualnim ronilačkim pregledom.

Analizirani mostovi su podijeljeni u kategorije prema veličini vodotoka koji protječe ispod njih. Podijeljeni su na kanale koji skupljaju oborinske vode i u kojima se tečenje javlja nakon kiša, na potoke/male rijeke koji imaju konstantno određenu količinu vode no dubina vode je mala te na rijeke. Za svaku kategoriju opisani su karakteristični problemi i navedene ocjene za stanje korita na širem potezu vodotoka koje može utjecati na most i podlokavanje unutar profila mosta. U nedostatku pravilnika koji bi regulirao ocjenjivanje erozije korišten je NBIS sustav ocjena 0-9. NBIS sustav je korišten jer su ocjene definirane i opisno uz brojčanu vrijednost te mogu biti primijenjene kao samostalne, bez potrebe za primjenom ostalih dijelova sustava gospodarenja mostovima, što je slučaj za ostale sustave ocjenjivanja.

4.1 Kanali

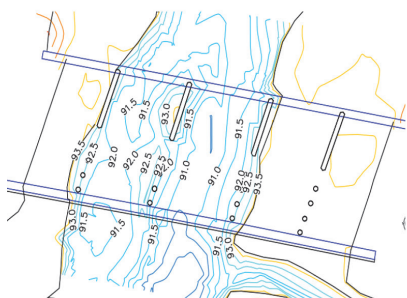
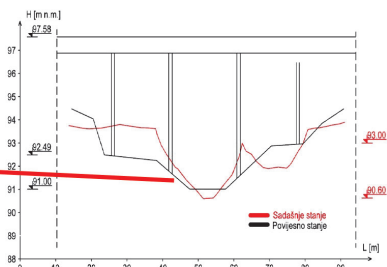
Karakteristike korita kanala pokazuju da su sva analizirana korita globalno stabilna. Obale su obrasle i zatravljene te nedovoljno održavane. Izvedbom prometnice najčešće dolazi do premještanja trase kanala kako bi se ona prilagodila mostu. To je razlog zašto neposredno nizvodno i uzvodno od profila mosta dolazi do nagle promjene trase kanala i geometrije njegovog poprečnog profila. Nagla promjena geometrije uvjetuje povećanje brzine tečenja uslijed čega dolazi do podlokavanja obala i njihovog urušavanja u korito. Uzevši u obzir da su kanali većinom izvedeni u koherentnom materijalu te da nakon otjecanja slijedi sušni period, tok vode nema dovoljno energije da bi transportirao materijal iz uruštene obale nizvodno. Stoga na urušenom materijalu nerijetko počne rasti raslinje te on predstavlja prepreku tečenju prilikom otjecanja nakon kišnih događaja koji slijede. Na mnogim kanalima je izvedena obloga pokosa i dna unutar profila mosta, bilo betonska gabionska ili od riprapa. Na taj način su stupovi i upornjaci zaštićeni od erozije i u nekim slučajevima plitko temeljeni. Obloga je uglavnom stabilna i u dobrom stanju. Međutim, u nekim slučajevima je urušavanje obale korita toliko uznapredovalo da utječe na stabilnost obloge. Postoji mogućnost da tijekom nailaska velikih voda dođe do daljnje erozije korita iza obloge, čime bi stabilnost stupova bila ugrožena. Mogućnost ove pojave promatrana je kroz hidrauličku analizu koja je uputila na povećane brzine tečenja u područjima rubova obloge gdje su obale već erodirane. Ocjene stanja korita za analizirane kanale kreću se u rasponu od 5 do 8, s tim da je samo jedan analizirani kanal ocijenjen s ocjenom 5, što znači loše stanje i zahtijeva popravke. Na slici 1. prikazana su oštećenja karakteristična za kanale i analizirano polje tečenja.



Slika 1. Urušavanje obale kao posljedica nagle promjene geometrije kanala (lijevo); uzdužni profil brzine s naznačenim povećanjem brzine na mjestu urušavanje obale (desno)

4.2 Potoci / male rijeke

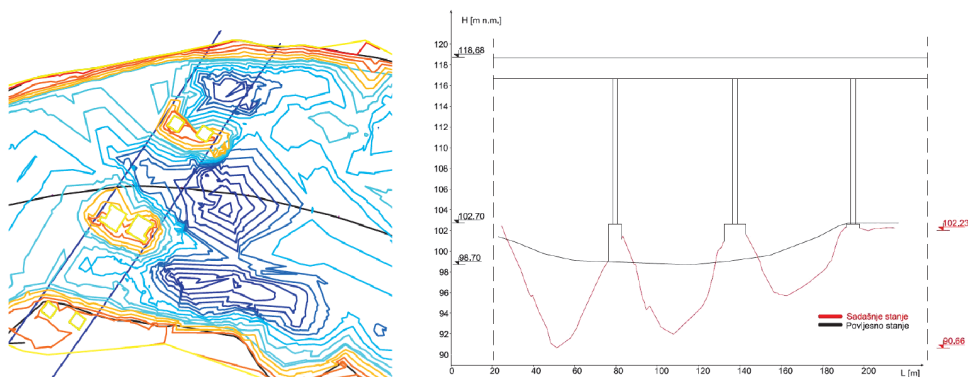
Karakteristike korita potoka i malih rijeka su slične kao i korita kanala jer je dinamika tečenja u njima slična. Sva analizirana korita su globalno stabilna, a obale su obrasle i zatravljene. Unutar profila mosta najčešće nije izvedena obloga, već je korito u prirodnom stanju. Ocjene stanja korita za analizirane potoke i male rijeke kreću se u rasponu od 6 do 8. Na jednoj maloj rijeci uočena je pojava gdje se pretpostavlja da je došlo do probijanja paralelnog korita kroz dodatni otvor mosta. Snimak povijesnog stanja upućuje na mogućnost uznapredovale lokalne erozije koja je rezultirala račvanjem korita unutar profila mosta. Na slici 2. je prikazana rijeka, geometrija korita u projektnom i postojećem stanju te analizirano polje tečenja kroz otvor mosta.



Slika 2. Promjena geometrije profila mosta u odnosu na projektno stanje (gore desno) i profil brzine kroz profil mostau postojećem stanju (dolje)

4.3 Rijeke

Korita naših najvećih rijeka karakteriziraju globalne promjene korita, snižavanje dna, lateralna migracija korita, formiranje sprudova i urušavanje obala. Zbog velikih brzina i dubina tečenja kroz profile mosta, dolazi do pojave kaverni značajnijih dimenzija uz stupove mostova i osipanja kamenog nabačaja izvedenog kao zaštite od podlokavanja. Ocjene stanja korita za analizirane rijeke u rasponu su od 3 do 8. Više mostova je ocijenjeno s ocjenom 3, što predstavlja ozbiljno narušeno stanje i iziskuje hitne mjere sanacije korita kako bi se spriječio gubitak stabilnosti mosta. Na slici 3. je prikazana batimetrija korita u području oko mosta te usporedba geometrije korita u projektom i postojećem stanju.



Slika 3. Batimetrija korita (lijevo); promjena geometrije profila mosta u odnosu na projektno stanje (desno)

Vizualnim ronilačkim pregledom podvodnih dijelova nekih starijih temelja stupova mostova su uočena oštećenja na kesonima s čeličnom oplatom koja su se nekada nalazila u tlu, a zbog degradacije dna korita vodotoka se sada nalaze pod izravnim djelovanjem vode. Na slici 4. su prikazana oštećenja kesona i kamene ispune temeljne stope.



Slika 4. Oštećenja čelične oplata kesona i kamene ispune (lijevo); snimka pod vodom (desno)

5 Zaključak

U Europi i SAD-u postoji duga tradicija podvodnih pregleda mostova u sklopu sustava gospodarenja mostovima. Nastajanje normi i smjernica koje se odnose na podvodni pregled potaknuli prirodni uzroci su havarije i oštećenja mostova, što se nažalost počelo događati i na hrvatskim infrastrukturnim objektima. Provođenje podvodnih pregleda u prošlosti je bilo sputano brojnim zabudama. Sadašnje znanje o tome jasno naglašava sljedeće:

- pregledi s površine vode nisu mjerodavni za ocjenu stanja konstrukcije pod vodom
- podvodni pregledi moraju obuhvatiti i konstrukciju mosta i korito vodotoka
- jednostavno sondiranje nije dostatno za ocjenu podlokavanja oko elemenata mosta pod vodom
- podvodni pregledi sprječavaju nastanak dodatnih troškova jer omogućavaju preventivno djelovanje.

U stranoj praksi se podvodni pregledi provode u sklopu češćih, manje detaljnih pregleda i osnovnih, detaljnih pregleda te samostalno kao specijalni pregledi koji se provode po potrebi. Prednosti takvog pristupa su u ostvarivanju ušteda izbjegavanjem zatvaranja cesta, sprječavanjem rušenja mostova i smanjenjem troškova održavanja. Rješenje problema vezanih uz erozivno djelovanje toka koji se javljaju tijekom uporabe mostova leži u sistematičnom pristupu. Takav pristup najlakše je provesti kategorizacijom mostova s elementima u zoni djelovanja voda, temeljnim pregledom takvih konstrukcija i davanjem prednosti u kontekstu podvodnih pregleda.

Često su problemi erozije vezani uz mostove lokalne naravi i stoga se u njihovom rješavanju trebaju koristiti iskustva istraživačkih institucija kako bi se osigurala primjena najbolje prakse za pojedini problem. Umjesto apsolutnog preuzimanja pristupa od drugih agencija, svakom vlasniku mosta predlaže se razvoj sustava gospodarenja mostovima sa svrhom ispunjavanja ciljeva koji proizlaze iz problema specifičnih za njihovu infrastrukturu. Da bi se povećalo razumijevanje prikupljenih podataka potrebno je uspostaviti standarde podvodnog pregleda. Široka primjena zajedničkih standarda potiče inovativnu upotrebu podataka, standardiziranu obuku inspektora i inženjera, primjenu dostupnih proizvoda i alata te dijeljenje iskustava i rezultata istraživanja sa svrhom povećanja razumijevanja problema s kojima se susreću korisnici cestovne infrastrukture.

Posljednjih godina u Hrvatskoj se obavljaju podvodni pregledi mostova na željeznicama i na autocestama, međutim ti pregledi se obavljaju na različite načine, različiti se elementi pregledavaju i ocjena stanja se donosi po različitim kriterijima. Stoga je nužno na razini države donijeti pravilnik o podvodnom pregledu mostova koji bi obuhvatio sve čimbenike na temelju kojih se može odrediti stvarna opasnost od oštećenja konstrukcije mostova. Primjeri dosad analiziranih mostova u Hrvatskoj upozoravaju na postojanje neposredne opasnosti od gubitka stabilnosti mostova na našim najvećim rijekama.

Literatura

- [1] Gilja, G., Oskoruš, D., Kuspilić, N.: Erosion of the Sava riverbed in Croatia and its foreseeable consequences, BALWOIS Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, Ohrid, Republic of Macedonia, pp. 123-124, 2010.
- [2] Gilja, G., Kuspilić, N., Bekić, D.: Impact of morphodynamical changes on the bridge stability: Case study of Jakuševac bridge in Zagreb (Chapter), Current events in hydraulic engineering, eds. J.M. Sawicki&P. Zima, Gdansk University of Technology, Gdansk, pp.112-122, 2011.
- [3] Smith, D.W.: Bridge failures, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 1. 1976.
- [4] Maddison, B.: Scour failure of bridges, Proceedings of the Institution Civil Engineers - Forensic Engineering, 165 (2012) FE1, pp. 39-52.
- [5] Yao, C., Briaud, J.-L., Gardoni, P.: Risk Analysis on Bridge Scour Failure, IFCEE 2015, San Antonio, Texas, pp. 1936-1945, 2015.
- [6] Wardhana, K., Hadipriono, F.: Analysis of Recent Bridge Failures in the United States, Journal of Performance of Constructed Facilities, 17 (2003) 3, pp. 144-150.
- [7] FHWA-NHI: Evaluating Scour at Bridges, Hydraulic Engineering Circular No. 18, 5th Edition, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. 2012.
- [8] Taricska, M.R.: An analysis of recent bridge failures in the United States (2000-2012), Ohio State University, 2014.
- [9] Briaud, J.-L., Gardoni, P., Yao, C.: Bridge Scour Risk, 6th International Conference on Scour and Erosion (ICSE6), Paris, France, 2012.
- [10] Word Press. Bridges 202 - More Depth on the Failure Statistics, <https://becauseicantn.wordpress.com/2012/01/31/bridges-202-more-depth-on-the-failure-statistics/>, 03. 07. 2016.
- [11] Thomas, M. An Amazing Bridge Collapse Statistic, <http://urbanworkbench.com/an-amazing-bridge-collapse-statistic/>, 03. 07. 2016.
- [12] Kuspilić, N., Gilja, G., Bekić, D., Zubčić, K.: Podvodni pregled stupova mostova i korita vodotoka (Chapter), Mjerenja, ispitivanja i monitoring na prometnicama, (ur. Lakušić, S.), Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, pp. 262-286, 2013.
- [13] Kuspilić, N., Gjetvaj, G.: Promjena projektnih parametara mostova zbog utjecaja vode, Prvi sabor hrvatskih mostograditelja, SECON HDGK, Brijunski otoci, pp. 265-274, 2005.
- [14] McClure, S., Daniell, K., Langehennig, M.: Assessing National Bridge Inspection Standards (NBIS) Metrics Using Data Extracted from National Bridge Inventory Source Files, Transportation Research Board, 2013.
- [15] Tenžera, D., Puž, G., Radić, J.: Pregledi mostova na državnim cestama u Hrvatskoj, Transportna infrastruktura i transport, 3 (2012), pp. 22-30.
- [16] Tenžera, D., Puž, G., Radić, J.: Vizualni pregled kao pomagalo za ocjenu stanja mostova, GRAĐEVINAR, 64 (2012) 9, pp. 717-726.
- [17] Ryan, T. W., Mann, J. E., Chill, Z. M., Ott, B. T.: Bridge Inspector's Reference Manual, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Arlington, Virginia, 2012.
- [18] NYSDOT: Bridge Inspection Manual, New York State Department of Transportation, New York, 2016.

- [19] FHWA: National Bridge Inspection Standards, Federal Register, U.S. Department of Transportation, 2004.
- [20] NCHRP: Report on the 1995 Scanning Review of European Bridge Structures, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, 1996.
- [21] FHWA: Recording and Coding Guide for the Structure Inventory Appraisal of the Nation's Bridges, Office of Engineering, Bridge Division, Bridge Management Branch, Washington, D.C. 1995.
- [22] Kuspilić, N., Bekić, D., Gilja, G.: Praćenje morfodinamičkih promjena korita vodotoka u zoni stupova mostova (Chapter), Prometnice – nove tehnologije i materijali (ur. Lakušić, S.), Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, Zagreb, pp. 69–112, 2010.
- [23] Kuspilić, N., Bekić, D., McKeogh, E., Gilja, G.: Monitoring of river channel morphodynamical changes in the zone of bridge piers, Proceedings of the First International Conference on Road and Rail Infrastructure (CETRA 2010), Opatija, Croatia, 2010.
- [24] Gilja, G., Kuspilić, N., Bekić, D.: Utjecaj degradacije korita na sigurnost mostova, SABOR HRVATSKIH GRADITELJA 2012, Graditeljstvo – poluga razvoja, Hrvatski savez građevinskih inženjera Zagreb, Cavtat, Croatia, pp. 795–806, 2012.