UTJECAJ VODOTOKA NA SIGURNOST MOSTOVA

Prethodno priopćenje/Preliminary communication
Primljen/Received: 10. 10. 2018.
Prihvaćen/Accepted: 14. 11. 2018.

Neven Kuspilić
Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, prof. dr. sc.
Gordon Gilja
Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, doc. dr. sc.

Sažetak: Neizravno djelovanje vodotoka predstavlja opasnost za sigurnost mostova jer uzrokuje podlokavanja dijelova konstrukcije, odnosno mijenja geometriju početnog projektnog stanja, i time ju stavlja u nove uvjete opterećenja. Periodičkim pregledom stanja korita i konstrukcije mosta u vodi se utvrđuje stvarno stanje mosta te pripadna ocjena, preporuke o mjerama praćenja stanja. održavanja i/ili sanacije i intervalu sljedećeg pregleda. Podloga za procjenu opasnosti od podlokavanja za pojedini most i ocjenu stabilnosti korita je morfodinamička analiza erozivnog kapaciteta toka na samom mostovskom profilu i pripadnoj dionici vodotoka. U ovom radu prikazani su rezultati specijalističkih hidrografskih mjerenja, morfodinamičke analize stabilnosti korita i zaštitnih građevina te podvodnog vizualnog pregleda elemenata konstrukcije mosta koje je proveo Građevinski fakultet u Zagrebu.Za kategorije ocjena stanja korita „dobro“ i „loše“ izdvojeni su primjeri iz Hrvatske na kojima su evidentirana karakteristična oštećenja za pojedinu kategoriju koja podrazumijevaju potrebu za održavanjem ili sanacijom.

Ključne riječi: Erozija, morfodinamička analiza, most, podlokavanje, podvodni pregled, ADCP

INFLUENCE OF WATERCOURSE FLOW ON BRIDGE SAFETY

Abstract: Indirect action of flow poses a risk to bridge safety as it results in scouring of structural elements, i.e. it changes the geometry of the initial design state and thereby subjects it to new loading conditions. Periodic inspections of riverbed and bridge structure under water establish the actual bridge condition and associated rating, recommendations for monitoring, maintenance and/or repair measures and time to next inspection. Estimation of scouring hazard for a particular bridge and riverbed stability assessment are based on morphodynamic analysis of the erosive capacity of flow on the bridge profile and adjacent watercourse section. This paper presents the results of specialist hydrographic surveys, morphodynamic analysis of the stability of riverbed and protection structures, and underwater visual inspections of structural bridge elements conducted by the Faculty of Civil Engineering Zagreb. For riverbed condition category ratings “good” and “poor”, examples from Croatia where for a particular category characteristic damage is established involving the need for maintenance or repair are singled out.

Key words: Erosion, morphodynamic analysis, bridge, scour, underwater inspection, ADCP

1 UVOD

Svjedoci smo pojava oštećenja i rušenja mostova koji nažalost ponekad završe fatalnim ishodom, gubitkom ljudskih života, ozljedama osoba i velikim materijalnim štetama. U velikom broju slučajeva uzrok tih gubitaka temeljnih zahtjeva za konstrukciju je djelovanje vode vodotoka. Ono može biti izravno, kao hidrodinamičko djelovanje uzrokovano opstrujavanjem vode oko dijelova konstrukcije mostova, ili neizravno preko učinka vode na promjenu geometrije korita vodotoka u zoni mosta. Upravo ovo neizravno djelovanje je vrlo opasno jer uzrokuje podlokavanja dijelova konstrukcije i time ju stavlja u nove uvjete. Odnosno mijenja geometriju početnog projektnog stanja, a time i statičku sliku i/ili uvjete temeljenja. Općenito pod sigurnosti građevine i njezinih elemenata podrazumijevamo njenu dostatnu mehaničku otpornost i stabilnost. Da bi se u uporabnom vijeku osigurala sigurnost građevina obavljaju se periodički pregledi. Kod mostova se prilikom pregleda stanja konstrukcije vrlo često prioritetno analizira stanje glede mehaničke otpornosti, dok se manje pozornosti pridaje stabilnosti. Takova praksa nema osnove iz spomenutog razloga dominantnog utjecaja vode na oštećenja mostova, odnosno na ugrožavanje njihove sigurnosti. Stoga je potrebno akceptirati tu činjenicu i prvenstveno kod mostova preko vodotoka u aluvijalnim dolinama pojačano provoditi preglede korita i stanja temelja konstrukcije.

Dostupni podaci iz studije otkazivanja stabilnosti mostova diljem svijeta od 1980. g. [1] koja je u konačnici sadržavala 1062 mosta pokazuju da su događaji uvjetovani režimom voda i nanosa najviše utjecali na oštećenja mostova: do otkazivanja stabilnosti u 18,8 % je došlo uslijed podlokavanja i u 28,3 % kao posljedice poplavnih djelovanja na konstrukciju, što objedinjeno čini 47,1 %. Istraživanje provedeno za infrastrukturu SAD-a[2] ukazuje da vjerojatnost otkazivanja stabilnosti mosta na godišnjoj razini unutar 95 % intervala pouzdanosti iznosi 1/4700, što preračunato u odnosu na postojeći broj mostova rezultira očekivanim otkazivanjem stabilnosti 128 mostova na godišnjoj razini. U studiji Muñoz Díaza i suradnika provedenoj za Kolumbiju u razdoblju od 1986. g. do 2001. g. uzrok rušenja čak 70 % mostova je bio hidraulički [3]. Sličnu bazu podataka na razini cijelog svijeta analizirao je Imhof te zaključio da je udio elementarnih nepogoda u rušenju mostova 29,3 %, od čega 61 % pripada hidrauličkim uzrocima [4].

Uz hidrauličke uzroke najveći broj otkazivanja stabilnosti je uslijed udara vozila što je kategorija prvenstveno vezana uz cestovne mostove koji prevode jednu prometnicu preko druge, dakle ne nalaze se u pojasu vodotoka te hidraulička opterećenja nisu primjenjiva na ovakve mostove. Eliminiramo li dakle iz navedene baze mostove na koje nisu primjenjivi hidraulički uzroci možemo zaključiti da na ostatku imaju veći postotak utjecaja od dostupnih brojki. Ovakva saznanja nisu novost – brojne studije koje analiziraju rušenja mostova od 19. stoljeća pokazuju da su poplave i podlokavanja konstrukcija uzrok rušenja u više od 50 % slučajeva (*npr.* [5][6][7]).

2 HIDRAULIČKI UVJETI U ZONI STUPOVA MOSTOVA

Hidraulički uzroci su čest skupni nazivnik koji objedinjuje utjecaj podlokavanja, poplave uslijed koje dolazi do povećanih ili neočekivanih promjenjivih opterećenja na konstrukciju (povećani tlakovi, prelijevanje preko rasponske konstrukcije, udar plutajućeg nanosa) kao i utjecaj ledostaja ili ledohoda. Tijekom uporabnog vijeka mosta on će se neminovno naći pod utjecajem ekstremnih promjenjivih opterećenja nastalih djelovanjem vjetra, vode ili potresa koja u kombinaciji sa stalnim opterećenjem mogu kompromitirati stabilnost konstrukcije [1]. Prirodne erozijske procese koji ugrožavaju mostove potrebno je sagledati u širem kontekstu jer su im uzročnici na širem području sliva i ne moraju nužno biti evidentni u bližoj okolici konstrukcije. Mnoge izazove u održavanju mostova i izradi metodologije projektiranja

konstrukcija otpornih na višestruke elementarne nepogode moguće je riješiti, ili barem poboljšati njihovo razumijevanje, kroz prikupljanje i opisivanje podataka o povijesnim oštećenjima mostova, pri čemu se podaci o uzročnicima oštećenja mostova i njihovim posljedicama prikupljaju direktnim opažanjem [8]. Stoga je potrebno primijeniti inženjerski pristup problemu, tj. na temelju indikatora prepoznati procese koji potencijalno mogu ugroziti konstrukciju [9][10]. Procjena stanja mosta bez popratne morfodinamičke analize režima voda i nanosa vodotoka pokazala se kao nedostatna na temelju podataka o rušenju mostova u saveznoj državi New York [8].

Erozivno djelovanje toka na korito u blizini mosta se može podijeliti na 3 karakteristična mehanizma: globalnu eroziju, eroziju uslijed suženja toka i lokalnu eroziju. Globalna erozija nastaje kao posljedica neravnoteže u režimu korito-formirajućeg nanosa vodotoka, a manifestira se morfološkim promjenama cjelokupnog korita u vidu njegovog snižavanja ili izdizanja, uključujući i lateralnu migraciju obala. Erozija uslijed suženja toka najčešće nastaje kao posljedica izgradnje nasipa prometnice na riječnom inundacijskom pojasu čime se znatno sužava protočni profil pri nailasku velikih voda i koncentrira povećana snaga toka kroz mostovski profil. Lokalno podlokavanje je najizraženije kod smještaja stupova i upornjaka u glavnom koritu pri čemu dolazi do produljenja strujnica oko građevinai posljedično povećane brzine toka, turbulencije i lokalnog kapaciteta toka za erodiranje korita.

Najviše istraživanja o fenomenu lokalne erozije provedeno je za potrebe određivanja utjecaja oko stupova mostova. Prema teorijskim razmatranjima u fizikalnom procesu podlokavanja stupova mostova utječe niz parametara: dinamički koeficijent viskoznosti μ,gustoća mase vode ρ, ubrzanje sile težeg, srednja brzina toka$v$, dubina toka h, promjer zrna nanosa d, standardna devijacija granulometrijskog sastava σ_g,efektivna širina stupa b_{eff},kut naleta toka vodeϕ, itd. Matematički opis tako složenog procesa uvodi niz restrikcija, pa su i raspoloživi obrasci za proračune prilagođeni karakterističnim uvjetima konstrukcije i vodotoka. Najjednostavnije jednadžbe za izračun podlokavanja oko stupa su one u kojima je funkcionalna zavisnost definirana preko jednog relevantnog parametra, npr. širine stupa b i pripadnih korekcijskih koeficijenata, kao što su Larras (1963), Breusers (1965), Breusers i dr. (1977). U nastavku je prikazan primjer takve jednadžbe, koju je izveo Larras[11]:

$$h_{E(LS)} = 1{,}42 \cdot K \cdot b^{-0{,}25}, \tag{1}$$

gdje je $h_{E(LS)}$– dubina lokalnog podlokavanja [m], K – koeficijent oblika stupa [/], b – širina stupa [m]. Za stupove čiji oblik odstupa od pravilnih oblika kao što su kružni ili pravokutni izvedene su jednadžbe u kojima figurira dubina toka h kao relevantan parametar uz širinu stupa. Primjer takve jednadžbe je Laursenova (1958) koja uzima u obzir i utjecaj oblika stupa te kut naleta toka na njega [12]:

$$\frac{b}{h} = K \cdot 5{,}5 \cdot \frac{h_{E(LS)}}{h}\left[\left(\frac{1}{11{,}5} \cdot \frac{h_{E(LS)}}{h} + 1\right)^{1{,}70} - 1\right], \tag{2}$$

gdje je h– srednja dubina toka [m], K – koeficijent oblika stupa ako je on paralelan s tokom ili koeficijent naleta toka ako postoji otklon stupa od toka [/].U kasnijim istraživanjima u izračun podlokavanja je uvrštena i brzina toka kao mjera njegovog intenziteta. Tako u Colemanovoj jednadžbi (1971) brzina toka figurira kao samostalna varijabla[13]:

$$\frac{v}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_{E(LS)}}} = 0{,}6 \cdot \left(\frac{v}{b}\right)^{0{,}9}, \tag{3}$$

gdje je v– srednja brzina toka [m/s], g– ubrzanje sile teže [m/s^2].U ostalim jednadžbama koji koriste brzinu toka ona je uključena indirektno, najčešće korištenjem Froudeovog broja, kao što je slučaj u jednadžbi Hancu (1971), Colorado State University (CSU, 1975), Jain i Fischer (1980) i Jain (1981). U nastavku je prikazana Hancuova jednadžba gdje figurira granični Froudeov broj za pokretanje čestica [14]:

$$\frac{h_{E(LS)}}{b} = 2{,}42 \cdot \left(2\frac{v}{v_{gr}} - 1\right) \cdot \left(\frac{v_{gr}^2}{g \cdot b}\right)^{1/3}, \tag{4}$$

gdje je v_{gr}– granična brzina toka za pokretanje čestica nanosa [m/s], a zadnji član u jednadžbi Froudeov broj. U Jainovoj jednadžbi Froudeov broj je zastupljen u svom izvornom obliku koji se odnosi na tečenje. Jainova jednadžba prikazana je u nastavku [15]:

$$\frac{h_{E(LS)}}{b} = 1{,}84 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^{0,5} \cdot Fr^{0,25}. \tag{5}$$

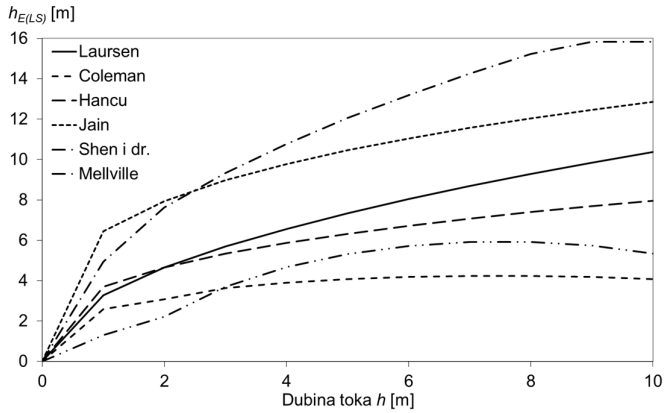
Osim unutar Froudeovog broja, brzina toka može biti zastupljena i unutar Reynoldsovog broja, kao što je slučaj za jednadžbu Shena i dr. (1969). Oni su nizom eksperimenata utvrdili da lokalno podlokavanje nastaje zbog razlike u pritisku oko stupa te su u jednadžbu uveli Reynoldsov broj na sljedeći način [16]:

$$h_{E(LS)} = 0{,}000223 \cdot \left(\frac{v \cdot b}{\nu}\right)^{0,619}, \tag{6}$$

gdje je ν– kinematička viskoznost tekućine [m^2/s]. Osim navedenih jednadžbi, grupa autora predvođena Melvilleom(1997) predlaže jednadžbe koje se sastoje isključivo od empirijskih parametara koji predstavljaju geometriju stupa, mjeru intenziteta toka, sastav i oblik korita i interakciju toka s mostom. U nastavku je prikazana jednadžba Mellvillea[17, 18]:

$$h_{E(LS)} = K_{hb} \cdot K_I \cdot K_d \cdot K_s \cdot K_\theta \cdot K_G, \tag{7}$$

gdje koeficijenti K predstavljaju bezdimenzijske empirijske parametre koji odražavaju razne utjecaje na dubinu podlokavanja: K_{hb}– parametar kombiniranog utjecaja dubine toka i širine stupa [/], K_I – parametar intenziteta toka [/],K_d–parametar veličine nanosa [/], K_s – parametar oblika stupa [/], K_θ – parametar kuta naleta toka [/], K_G – parametar oblika korita [/]. Ovi parametri se računaju preko funkcionalne zavisnosti s relevantnim parametrima toka i konstrukcije. Koliko navedene jednadžbe daju različite rezultate proračuna vidljivo je na sljedećoj slici (Slika 1)[19, 20].



Slika 1. Ovisnost $h_{E(LS)}$oh na primjeru mosta Jakuševac, prilagođeno s dopuštenjem iz [19]

Iz navedenog se može zaključiti da je oslanjanje na rezultate teorijskih jednadžbi vrlo nepouzdano te da jedino mjerenje stvarnih dubina podlokavanja stupova mostova u sklopu sustavnog monitoringa može biti temelj osiguranja sigurnosti mostova.

3 PODVODNI PREGLED MOSTOVA

Održavanje mostova u Hrvatskoj regulirano je *Zakonom o gradnji* (NN 153/13, 20/17), *Pravilnikom o održavanju građevina (NN 122/2014)* i *Pravilnikom o održavanju cesta (NN 90/14)* u cilju očuvanja temeljnih zahtjeva za građevinu i unapređenja njihovog ispunjavanja. Navedenim pravilnicima propisana je zaštita od podlokavanja elemenata konstrukcije koji se nalaze u dosegu vodotoka, kao i njihovi popravci u slučaju oštećenja [21].Da bi se za već izgrađene mostove mogle odrediti mjere održavanja i sanacije u skladu s njihovim stanjem potrebno ga je prethodno utvrditi. Praćenje stanja postojećih građevina provodi se kontinuiranim i periodičkim pregledima u skladu s pravnim aktima. Začeci pregleda mostova u Hrvatskoj sežu u 1996. godinu kada je uveden Hrvatski sustav za upravljanje mostovima (HRMOS) koji je 5 godina kasnije implementiran u sustav „Baza cestovnih podataka Hrvatskih cesta“ (BCP) [22]. Hrvatske autoceste koriste sustav gospodarenja građevinama (SGG) uspostavljen 2008. godine koji obuhvaća sve građevine unutar sustava autoceste, između ostalih i mostove. Trenutna praksa Hrvatskih cesta i Hrvatskih autocesta podrazumijeva provođenje redovnih, godišnjih, glavnih i izvanrednih pregleda mostova. Interval godišnjih pregleda mostova unutar prometne infrastrukture je dvogodišnji, glavnih šestogodišnji, dok se izvanredni pregledi obavljaju po potrebi nakon izvanrednih događaja kao što su elementarne nepogode [22]. U slučaju da se navedenim pregledima uoče značajnija oštećenja ili indikatora njihove pojave potrebno je provesti specijalistički pregled orijentiran na pojedini tip oštećenja.

Podvodni pregled mostova nije ujednačen, već ovisi o legislativi svake pojedine države i smjernicama agencija koje upravljaju mostovima. Najčešće svaka od njih ima smjernice razvijene unutar postojećeg sustava gospodarenja mostovima kojima se propisuju metode i proračuni za kvantifikaciju oštećenja. U Danskoj, Finskoj, Francuskoj, Norveškoj, Novom Zelandu, Njemačkoj, Portugalu, Švedskoj, Ujedinjenom Kraljevstvu i SAD-u se podvodni pregled provodi u intervalima od 1 do 6 godina i podrazumijeva vizualni pregled svih dijelova mosta u dosegu dodira[21]. Kada se identificiraju oštećenja ili se pokaže da je njihovo nastajanje izvjesno provode se detaljni/specijalistički pregledi i prikupljaju podaci na temelju kojih se projektiraju mjere sanacije elemenata mosta i riječnog korita. Specijalističke preglede najčešće provode konzultanti jer zahtijevaju specifična znanja, vještine i opremu

koji variraju ovisno o konstrukciji mosta i vrsti vodotoka.Najdetaljniji pravilnik za podvodni pregled

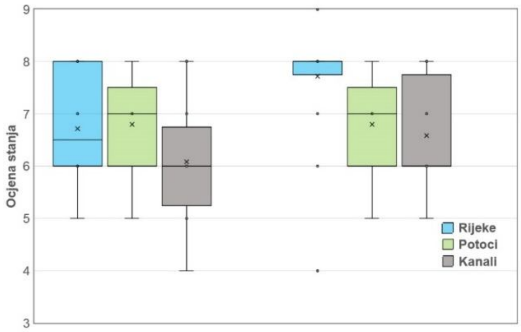
konstrukcija trenutno u Hrvatskoj je pravilnik 315 Hrvatskih željeznica pod nazivom „*Pravilnik o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica*“ iz 1970. g. [23]. Koristeći navedeni pravilnik kao temeljni dokument Građevinski fakultet provodi specijalističke preglede i ispitivanja na mostovima infrastrukture Hrvatskih željeznica (HŽ), Hrvatskih autocesta (HAC),Autoceste Rijeka - Zagreb (ARZ) i Autoceste Zagreb – Macelj (AZM) te na temelju rezultata pregleda i analize opasnosti od podlokavanja mostu pridružuje ocjenu stanja, preporuke o mjerama održavanja i/ili sanacije i intervalu sljedećeg pregleda.

Prethodno navedenim pravilnikom 315 HŽ-a nisu propisane ocjene stanja konstrukcije te Građevinski fakultet za ocjenjivanje koristi Državne standarde za pregled mostova iz SAD-a (*National Bridge InspectionStandards* - NBIS [24]). Na temelju NBIS-a definirani su Zajednički raspoznatljivi elementi mosta (CommonlyRecognized (CoRe) Elements) [24][25], kojima je djelovanje toka kvantificirano na svim elementima mosta i korita s kojima je tok u interakciji. Tako se svaka lokacija ocjenjuje pomoću 4 elementa: kut naleta toka na konstrukciju, globalna stabilnost korita, erozija uslijed suženja toka i zaštitne (regulacijske) građevine. U ovom kontekstu Građevinski fakultet provodi specijalistička hidrografska mjerenja, morfodinamičku analizu stabilnosti korita i zaštitnih građevina te podvodni vizualni pregled elemenata konstrukcije mosta. Vizualni pregled proveden je na širem području vodotoka uz most pri povoljnom (niskom) vodostaju, kao i na samim elementima mosta čiji su dijelovi u vodi pregledani uz asistenciju ronioca [21]. Rezultat pregleda i hidrauličke analize je su 2 ocjene za svaki most: ocjena stanja konstrukcije pod vodom i ocjena stanja korita. Raspon ocjena je identičan onima korištenim u NBIS standardu, od nula do devet, gdje je s nulom ocijenjen srušen most, a s devet most u izvrsnom stanju. Grupiranje ocjena na ovaj način gdje su 4 ocjene iz NBIS standarda pretočene u 2 ocjene izvedeno je zbog praktične upotrebe za vlasnika mosta koji može isključivo provoditi sanaciju objekta kojim upravlja, čime se isključuje mogućnost možebitne intervencije na riječno korito u većem opsegu. Neovisno o uvođenju jedinstvene ocjene, u elaboratima je napravljena detaljna analiza i osvrt na sve elemente propisane NBIS-om, opisano njihovo stanje i doprinos u ukupnoj ocjeni stanja korita.

4 ISKUSTVA IZ HRVATSKE

Na hrvatskim autocestama nalazi se ukupno 3030 mostova [26], od kojih je 2012. g. AZM izdvojila 13 mostova za podvodni vizualni pregled[27], a 2015. g. HAC[28] i ARZ [29]ukupno 22 mosta za provođenje specijalističkog pregleda koji je osim podvodnog pregleda uključivao i hidrauličku studiju. Pregledi i snimanja provedeni su na ukupno 11 mostova preko rijeka, 5 mostova preko potoka, 18 mostova preko kanala te jednom mostu na moru. U ovom radu su od svih analiziranih mostova izdvojeni oni s karakterističnim oštećenjima iz svake navedene grupe, kao i primjeri iz prakse na kojima je provedena sanacija oštećenje uzrokovanih djelovanjem vode.

Većina analiziranih mostova, neovisno o vrsti vodotoka, je u vrlo dobrom stanju te za 8 mostova (23 %) nije potrebno izvoditi radove na održavanju ili sanaciji korita kao niti za 18 mostova (51 %) radove na održavanju podvodnog dijela konstrukcije. Dobro stanje, tj. manji popravci potrebni na koritu i konstrukciji, evidentirano je za 22 mosta (63 %), odnosno 14 mostova (40 %). Loše stanje, tj. značajniji popravci potrebni su za najmanji broj mostova: za 5 mostova potrebno je sanirati korito (14 %) i na samo 3 mosta konstrukciju (9 %).Niti za jedan most nije utvrđeno izuzetno loše stanje korita ili konstrukcije koje bi zahtijevalo neodgodivu intervenciju i sanaciju. Slikom u nastavku prikazan je kutijasti dijagram ocjena stanja korita (Slika 2a) i konstrukcije (Slika 2b) za svaku grupu mostova zasebno.



Slika 2. Kutijasti dijagram ocjena stanja: a) korita (lijevo); b) konstrukcije (desno)

Promatraju li se mostovi prema grupi vodotoka, primjetno je da su s aspekta konstrukcije u najboljem stanju kanali, s prosječnom ocjenom 7,6, dok potoci i rijeke imaju nešto niže ocjene (6,8 i 6,6), što je očekivano iz razloga što mostovi preko kanala rijetko imaju stupove u vodi, a najčešće su AB konstrukcije s jednim rasponom. Kanali imaju visoke prosječne ocjene i za stanje korita (6,7), što je neznatno niže od potoka (6,8). I u ovoj kategoriji najlošije su ocijenjene rijeke (6,1). Vidljivo je da je najveći raspon ocjena za stanje korita kod kanala, dok je raspon kod rijeka i potoka isti uz veći interkvartilni raspon. Raspon ocjena stanja konstrukcije je najveći za rijeke, no uz vrlo mali interkvartilni raspon, dok je za potoke i kanale ukupni raspon jednak sa neznatno većim interkvartilnim rasponom za kanale.

Stanje korita i stanje konstrukcije su u pozitivnoj korelacijskoj vezi, tj. ukoliko ocjena pridružena podvodnom stanju konstrukcije odstupa od ocjene korita na razini analizirana tri razreda, to odstupanje nije više od 1 ocjene u pozitivnom ili negativnom smjeru. Također vrijedi i obratno ukoliko se promatraju razredi ocjena pridruženih stanju konstrukcije. Tako od mostova kojima je stanje korita ocijenjeno s vrlo dobrim ($\geq$ 8) samo most Krk ima ocjenu konstrukcije manju, tj. 6. Na mostu Krk uočena su mjestimična oštećenja na konstruktivnim elementima - ispod razupore na strani kopna te na temelju i luka na strani Krka. Od mostova kojima je stanje korita ocijenjeno s dobrim (6 i 7) samo most Orljava ima manju ocjenu konstrukcije, tj. 5. Na pilotima dvaju stupova ovog mosta uočena su oštećenja, tj. rupe širine i dubine između 15 cm i 20 cm. Mostovi kojima je stanje korita ocjenjeno lošim (4 i 5) su veći mostovi na rijeci Savi i Dravi te most preko rijeke Kupčine i most preko Lateralnog kanala. Dok kod dva potonja mosta stanje konstrukcije odgovara stanju korita, stanje konstrukcije pod vodom većih mostova preko Save i Drave je bolje (ocjena 6). Kod mostova na rijeci Dravi radi se o utjecaju rada hidroelektrane na nagle promjene u režimu voda i nanosa te posljedičnom evidentiranom globalnom snižavanju korita u odnosu na projektno stanje. Kod mosta s najlošijom ocjenom stanja korita (4), Ivanja Reka, nepovoljno stanje korita posljedica je lokalne erozije oko kamenog nabačaja kojim se stup štiti od lokalne erozije. Kameni nabačaj znatno sužava protočni profil rijeke Save i uzrokuje pojavu dubokih kaverni neposredno uz sam kameni nabačaj, potkopavajući ga čime se kamenje urušava u kaverne[30].

Ako se izdvoje mostovi s vrlo dobrim stanjem konstrukcije vidljivo je da pripadajuće niže ocjene (6) stanja korita ima 6 mostova preko kanala. U ovom slučaju radi se o mostovima koji prevode autocestu preko kanala koji na autocestu nailaze s kutom manjim od 90°. U ovakvim slučajevima su najčešće izvedene nagle promjene u geometriji korita kako bi most s koritom zatvarao pravi kut i kako bi se pojednostavila izvedba mosta. Nagla promjena u geometriji negativno se odražava na režim voda i nanosa u mostovskom profilu te dolazi do urušavanja obala i potkopavanja obloge korita koja često prati ovakvu izvedbu mosta [21]. Od mostova s dobrim stanjem konstrukcije niže pripadne ocjene korita imaju samo tri najveća analizirana mosta preko rijeka Save i Drave, kao što je već opisano. Svega tri mosta imaju lošu ocjenu stanja konstrukcije pod vodom: Orljava, Kupčina i Lateralni kanal. Kod

mosta Kupčina stupovi i upornjaci su bez vidljivih oštećenja, no uočena su oštećenja servisne ceste na desnoj obali u profilu mosta gdje je došlo do slijeganja betonskog zida i njegovog odvajanja od kolničke ploče servisne ceste. Nepoznato je u kojoj mjeri se upornjaci oslanjaju na ovako izvedenu servisnu cestu što rezultira niskom ocjenom. Kod mosta s najlošijom ocjenom stanja konstrukcije pod vodom (4), Lateralnog kanala, na temeljnoj stopi jednog stupa uočena su dva oštećenja - pukotina dubine 25 cm uz lice stupa i oštećenje temeljne stope koja se proteže 60 cm u dubinu. Uzevši u obzir mostove s lošim stanjem konstrukcije ili korita, HAC je napravio prioritetnu listu te je za most Orljava u tijeku postupak javne nabave za izvođenje radova, a za most Ivanja Reka je u postupku procjena utjecaja na okoliš. Ostali mostovi s najnižim ocjenama stanja korita (mostovi preko Drave i Lateralni kanal) su sljedeći po redu za sanaciju [31].

U nastavku su za kategorije ocjena stanja korita „dobro“ i „loše“ izdvojeni primjeri na kojima su evidentirana karakteristična oštećenja za pojedinu kategoriju koja podrazumijevaju potrebu za održavanjem ili sanacijom. Za svaki most napravljena je morfodinamička analiza erozivnog kapaciteta toka i ocijenjena stabilnost korita u odnosu na djelovanje globalne erozije, erozije uslijed suženja toka i lokalnog podlokavanja. Hidrološki i hidraulički parametri toka na promatranoj dionici utvrđeni su iz hidrauličkog modela stacionarnog tečenja. Potencijal globalne erozije utvrđen je analizom granične brzine ovisne o sastavu korita i usporedbom geometrije mostovskog profila iz dostupnih povijesnih podataka s onim izvedenim geodetskim snimanjem za potrebe ovog elaborata. Analiza napretka erozije utvrđena je usporedbom maksimalnog potencijalnog erozivnog djelovanja toka sa stvarnim stanjem korita utvrđenim geodetskim snimanjem. Potencijal maksimalnog erozivnog djelovanja toka u vidu erozije uslijed suženja toka i lokalnog podlokavanja izračunat je upotrebom prethodno kalibriranog matematičkog modela HEC-RAS za uvjete tečenja srednje i visoke vode oko elemenata mosta. Dana je procjena erozivnog kapaciteta toka u zoni mosta kao i lokalnog podlokavanja ispod stupova te na temelju provedenih analiza ocijenjen mogući utjecaj erozije korita na stabilnost mosta. Model je kalibriran na temelju hidrauličkih mjerenja polja brzine toka i protoka prilikom dva hidrološka događaja različitog intenziteta.

4.1 Ljubanj II

Za ovaj most je morfodinamičkom analizom utvrđeno da djelovanje globalne erozije na korito u okolici mosta nije izgledno niti u uvjetima srednje niti visoke vode, pri čemu su brzine toka u koritu zanemarive (<0,5 m/s) i ne predstavljaju opasnost za pokretanje čestica iz korita jer se dopuštena brzina tečenja za analizirani vodotok kreće u rasponu od 0,8 m/s do 1,2 m/s. Usporedbom povijesnog mostovskog profila i snimljenog sadašnjeg stanja potvrđen je ovaj zaključak jer se snimci poklapaju. Lokalno podlokavanje oko stupova mosta nije prisutno jer je korito u mostovskom profilu zaštićeno betonskom oblogom korita po dnu i pokosima od djelovanja erozije. Neposredno uz most u vodotok se s obje njegove obale priključuju sabirni kanali površinske odvodnje s prometnice, čija dna su na istoj koti kao i dno kanala Ljubanj II.

Slika 3. Urušavanje obale na ušću sabirnog kanala (lijevo); detalj podlokane betonske obloge desne obale (desno).

Ušća sabirnih kanala nisu obložena, već se nalaze u prirodnom, zemljanom iskopu i na ušću je evidentirano urušavanje njihovih obala u korito (Slika 3a).

Iz rezultata uzdužnog profila brzina toka vidljivo je da je tečenje na dionici neujednačeno – najmanje brzine se javljaju u mostovskom profilu, dok se na dionici vodotoka uzvodno i nizvodno javljaju veće brzine tečenja. Povećane brzine tečenja na ušću kanala, osim što uzrokuju urušavanje obale, utječu i na stabilnost obloge obala kanala u mostovskom profilu. Uslijed urušavanja obale na ušću sabirnog kanala došlo je do erozije tla ispod betonske obloge i njenog podlokavanja na uzvodnom kraju. Podlokavanje obloge dodatno naglašavaju događaji intenzivnijeg otjecanja s prometnice.

4.2 Lateralni kanal

U uvjetima srednje vode brzine u koritu Lateralnog kanala su zanemarive (< 0,27 m/s), dok u uvjetima velike vode dolazi do znatnog povećanja brzine tečenja u koritu uzvodno (0,72 m/s) i nizvodno od mosta (0,55 m/s). Unatoč značajnom povećanju brzine toka u odnosu na uvjete srednje vode, opasnosti od globalne erozije nema jer se dopuštena brzina tečenja za analizirani vodotok kreće u rasponu od 0,8 m/s do 1,2 m/s. Neposredno uzvodno od mosta servisna prometnica prolazi kroz mostovski profil uz desnu obalu te je izvedbom njene rampe u korito sužen protočni profil i usmjerena glavnina toka k lijevoj obali (Slika 4a). Matematičkim modelom izračunato je da u uvjetima velike vode na ovako suženom profilu brzina lokalnog toka doseže vrijednosti granične brzine za pokretanje materijala iz korita (0,86 m/s) te su ispunjeni uvjeti za pojavu erozije uslijed suženja toka u mostovskom profilu. Posljedično dolazi do lokalnog povećanja brzine u lijevom otvoru mosta te erozije obale (Slika 5a), što je evidentirano i usporedbom s povijesnim snimkom. Erozija dna se poklapa s lokacijom proračunskih profila s povećanim hidrauličkim opterećenjem na korito, tj. do erozije dna korita u mostovskom profilu je došlo zbog suženja toka. Uzvodno od rampe evidentirano je zasipanje uz desnu obalu u korito koje je potom obraslo gustim raslinjem.

Slika 4. Lateralni kanal: a) suženje protočnog profila uzvodno od mosta, pogled s desne obale (lijevo); b) prevaljeni profil brzine toka na ortofoto podlozi (desno)

Matematičkim modelom izračunato je potencijalno lokalno podlokavanje oko stupova mosta u koritu koje iznosi $h_{E(LS)}$= 0,54 m za uvjete srednje vode te $h_{E(LS)}$= 1,14 m za uvjete velike vode. Izmjerena dubina kaverne od lokalnog podlokavanja oko stupova mosta iznosi 1 m, što odgovara utjecaju velike vode procijenjenu modelom. Kaverna oko stupa S1/1prikazana je na slici u nastavku (Slika 5b), kao i erozija uslijed suženja toka lijeve obale (Slika 5a).

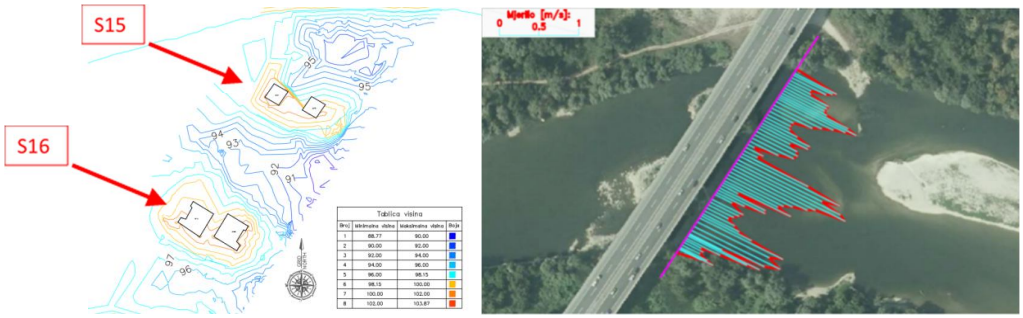
Sigurnost ovako podlokanih stupova nije moguće procijeniti jer su temeljeni na „…plošnim temeljima nepoznate dubine temeljenja“ [32], što onemogućuje usporedbu dubine kaverne sa stvarnom dubinom temelja.

Slika 5. Erozija uslijed suženja toka u lijevom otvoru mosta (lijevo); pogled na kavernu uz uzvodno lice stupa S1/1

U navedenom izvedbenom projektu se također navodi da je „…prilikom geomehaničkog bušenja ustanovljeno da je dno kanala za otprilike 85 cm dublje nego je predviđeno projektom kanala, što nužno zahtjeva dublje temeljenje nego je to idejnim projektom predviđeno.“. Navedeni citat upućuje na mogućnost da izgrađeni temelji odstupaju od projekta zbog prilagodbe geometriji kanala.

4.3 Ivanja Reka

U uvjetima srednje vode brzine u koritu rijeke Save u blizini mosta Ivanja Reka su zanemarive (<0,4 m/s) i ne predstavljaju opasnost za pokretanje čestica iz korita. U uvjetima velike vode dolazi do povećanja brzine tečenja (srednja brzina u koritu uzvodno od mosta je 1,12 m/s, nizvodno od mosta 0,74 m/s i u mostovskom profilu 0,7 m/s) no opasnosti od globalne erozije nema jer se dopuštena brzina tečenja kreće oko 1,5 m/s, što je utvrđeno i usporedbom povijesnog i snimljenog mostovskog profila. Lokalno podlokavanje nije prisutno u neposrednoj blizini stupova mosta jer su oni zaštićeni od podlokavanja kamenim nabačajem. Iz detaljnog geodetskog snimka s izobatama vidljiv je kameni nabačaj oko stupova (Slika 6a) čijom je izgradnjom lokalno ubrzan tok, intenzivirana turbulencija te produbljeno korito nezaštićeno kamenim nabačajem. I u uvjetima tečenja srednje i velike vode dolazi do neravnomjernosti uzdužnog profila brzina (Slika 6b)[30].



Slika 6. Most Ivanja Reka: a) detaljna batimetrija korita u mostovskom profilu (lijevo); b) prevaljeni profil brzine toka na ortofoto podlozi (desno)

Osim izgradnje kamenog nabačaja oko stupova, pojava ovih kaverni posljedica je i izgradnje praga u koritu koji se nalazi neposredno uzvodno od mosta. Na pragu dolazi do smanjenja dubine toka čime se povećava njegova brzina na kruni. Prelaskom preko krune tečenje prelazi u siloviti režim te neposredno nizvodno, u profilu mosta, dolazi do pojave hidrauličkog skoka. U hidrauličkom skoku dolazi do disipacije energije toka koja se troši na šljunčano korito u mostovskom profilu, uslijed koje dolazi do pokretanja materijala korita

nizvodno i stvaranja kaverni. Tako je došlo do formiranja spruda nizvodno od mosta od materijala erodiranog u mostovskom profilu (Slika 6b). Pojava kaverni u profilu mosta nastalih zbog pojave hidrauličkog skoka nije lokalizirana isključivo na mostovski profil. Kaverne između stupova S15 i desne obale te između stupova S15 i S16 nastavljaju se nizvodno od mostovskog profila, gdje dosežu i maksimalnu dubinu. Kaverna između stupova S15 i desne obale nalazi se na udaljenosti od 70 m od osi mosta, a dubina joj iznosi 11 m. Kaverna iste dubine nalazi se između stupova S15 i S16 na udaljenosti od 40 m od osi mosta, dok je najplića kaverna (8 m) između stupova S16 i lijeve obale. Erozija korita u mostovskom profilu je uznapredovala do te mjere da su rubovi kaverni dosegli nožicu kamenog nabačaja. Širenje kaverni na ovaj način je uzrokovalo potkopavanje korita ispod nabačaja i njegovo urušavanje u kavernu, što je najizraženije oko stupa S15 (Slika 7).

Slika 7. Detalj urušene zaštite od kamenog nabačaja stupova S15: a) na sjevernom pokosu (lijevo); na južnom pokosu (desno)

4.4 Podsused

Na mostu Podsused koji ima 3 stupa u glavnom koritu rijeke Save trenutno je u tijeku sanacija stupa uz desnu obalu (Slika 8). Hidrodemoliranjem uklonjen je sav degradirani beton temelja stupa do zdravog betona, te su ubušena ukupno 102 mikropilota dubine 3 do 4 m oko temelja stupa. U rupe mikropilota ubrizgava se cementni mort pod tlakom 3 do 4 bara radi ispune šupljina u temeljnom tlu i ojačanja tijela i temelja stupa. Oko temelja stupa i svih mikropilota bit će izvedena armiranobetonska obloga, a korito zaštićeno od podlokavanja nabačajem od lomljenog kamena [33][34]. Istom tehnologijom već je saniran srednji stup mosta tijekom 2014., 2015. i 2016. godine, a planira se sanirati i treći stup mosta, uz lijevu obalu za koji je raspisan natječaj[26].

Slika 8. Pogled s desne obale na stupove mosta Podsused: a) prethodno sanirani srednji stup (lijevo); b) desni stup tijekom sanacije (desno)

4.5 Nin

Ekstreman kišni događaj koji je zahvatio zadarsko područje 11. rujna 2017. g. i njegove posljedice u vidu poplave i bujice najviše su utjecali na grad Nin i njegovu okolicu pri čemu je oštećeno ukupno 20 mostova [35]. Tijekom kišnog događaja ukupna količina oborine iznosila je 283 l/m^2, što je druga najveća količina kiše nakon 1986. g. [36]. Dva najznačajnija mosta s kulturno-povijesnog stajališta su Gornji i Donji most koji vode u staru gradsku jezgru Nina, izgrađeni u 16. st. [37]. Pod utjecajem bujičnog toka oba mosta su znatno oštećena uslijed podlokavanja temelja (Slika 9).

Slika 9. Mostoviu Ninu: a) Gornji most (lijevo); b) Donji most (desno) / Autor: D. Bujak

Donji i Gornji kameni most izgrađeni su na kamenom nasipu položenom na slabo nosivom muljevitom morskom dnu, s tri kamena luka, uz ojačanja na dijelovima između lukova s plitko temeljenim AB sanducima. Izuzetan kulturno-povijesni i prometni značaj ovih mostova zahtjeva hitnu sanaciju oštećenja te je u tijeku natječaj za izvođenje radova. Radovi prvenstveno uključuju stabilizaciju temeljnog tla, izradu novih temelja i statičko ojačanje konstrukcije. Stabilizacija temeljnog tla je predviđena tehnologijom mlaznog injektiranja vertikalnih stupnjaka na mjestu srušenih segmenata mosta i kosim stupnjacima u kamenom nasipu ispod temelja mosta. Novo temeljenje predviđeno je pilotima ispod temelja lukova koji završavaju naglavnom gredom pilota i AB pločom koja je ujedno i dno mostovskog profila. Kameni čelni zidovi povezuju se s AB sanducima pomoću čeličnih sidara kako bi se ojačala konstrukcija mosta uz zadržavanje autentičnog povijesnog izgleda izvana[38][39].

4.6 Đurmanec

Most Đurmanec izgrađen je 1969. godine na državnoj cesti D1 u Krapinsko-zagorskoj županiji i jedan je od 1473 mosta u sustavu infrastrukture državnih cesta [40]. Za vrijeme velikovodnog događaja u lipnju 2015. g. kao posljedica dnevne oborine > 23 l/m^2 u slivu rijeke Krapinice protok njenim koritom je imao dovoljan erozivni kapacitet da erodira desnu obalu uz južni upornjak mosta. Uz veliki protok rijeke Krapinice dodatni utjecaj na eroziju obale je imao plutajući nanos koji se nagomilao u središnjem, najvećem, rasponu mosta. Količina plutajućih naplavina (Slika 10) je bila dovoljna da onemogući protok kroz središnji otvor, već je on u potpunosti bio usmjeren u desni otvor te erodirao desnu obalu iza upornjaka u dubini 2-3 metra te temelja upornjaka što je posljedično rezultiralo njegovim naginjanjem [41]. Veliki erozivni kapacitet rijeke Krapinice na ovom mjestu je posljedica velikog zavoja rijeke neposredno uzvodno od mosta u koji rijeka nailazi nakon dugog uzvodnog ravnog poteza. Ovakvi nagli zavoji su karakteristični za male rijeke i kanale preko kojih se prevodi prometnica, ponajprije zbog jednostavnosti izvedbe konstrukcije, no izrazito nepovoljno djeluju na režim voda i nanosa što se nerijetko očituje erozijom obala i korita te pojavom sprudova u blizini ovakvih mostova.

Slika 10. Most Đurmanec: a) nagomilani plutajući nanos u središnjem otvoru mosta (lijevo); b) erozija obale iza upornjaka (desno) / Autor: M. Skazlić

Sam položaj mosta je vrlo značajan jer se nalazi na državnoj cesti kojom je potrebno u najkraćem mogućem roku osigurati ponovno redovito odvijanje prometa te je proces sanacije izveden u svega četrdesetak dana. Uz sanaciju konstrukcije mosta izvedena je i zaštita korita vodotoka oblaganjem dna i pokosa lomljenim kamenom frakcije 150-300 mm u betonu. Oblaganje pokosa obje obale vodotoka rijeke izvedeno je unutar mostovskog profila te na potezu korita 10 metara uzvodno i nizvodno od mosta [41].

5 ZAKLJUČAK

Procjena erozivnog djelovanja toka na korito za već izgrađene mostove u stranoj praksi je regulirana smjernicama, dok to trenutno u Hrvatskoj nije slučaj. Svake godine svjedočimo oštećenju niza mostova, u manjoj ili većoj mjeri, pod djelovanjem rijeka, potoka ili bujica. Ovakvi ekstremni događaji, iako naizgled naglog karaktera, mogu se pravovremeno predvidjeti i spriječiti pravilnim i kontinuiranim pregledom mostova. Kontinuirani pregled mora uključivati podvodni vizualni pregled i mjerenje batimetrije korita koji se uspoređuju sukcesivnim pregledima te mjerenje protoka. Mjerenje protoka je posebno važno jer je na manjim rijekama u Hrvatskoj mreža vodomjernih postaja nepotpuna te često nisu poznati podaci o režimu voda. Podaci o izmjerenom režimu voda i stanju korita su ključni za morfodinamičku analizu, jer jedino podaci prikupljeni u sklopu sustavnog monitoringa mogu biti temelj osiguranja sigurnosti mostova. Niz prikazanih primjera u kojima je evidentirano loše stanje korita posljedica je upravo nepravilno reguliranih dionica vodotoka ili neadekvatno izvedene zaštite od erozije što se pokazalo kontraproduktivnim i doprinijelo nestabilnosti korita te ugrozilo sigurnost mosta. Morfodinamičkom analizom ove dionice se mogu detektirati, a dodjeljivanjem ocjene stanja i prioritizirati u svrhu poduzimanja daljnjih mjera.

LITERATURA

1. Lee, G.C., Mohan, S.B., Huang, C., Fard, B.N.: *A Study of U.S. Bridge Failures (1980-2012)*, University at Buffalo, State University of New York, Buffalo, NY, 2013
2. Cook, W.: *Bridge Failure Rates, Consequences, and Predictive Trends*, Utah State University, 2014, 115
3. Muñoz Diaz, E.E., Moreno, F.N., Mohammadi, J.: *Investigation of Common Causes of Bridge Collapse in Colombia*, Practice Periodical on Structural Design and Construction, 2009, 14(4), 194-200
4. Imhof, D.: *Risk assessment of existing bridge structures*, University of Cambridge, 2004, 260
5. Wardhana, K., Hadipriono, F.C.: *Analysis of Recent Bridge Failures in the United States*, Journal of Performance of Constructed Facilities, 2003, 17(3), 144-150
6. Maddison, B.: *Scour failure of bridges*, Proceedings of the Institution Civil Engineers - Forensic Engineering, 2012, 165(FE1), 39-52

7. Yao, C., Briaud, J.-L., Gardoni, P.: *Risk Analysis on Bridge Scour Failure*, IFCEE 2015, San Antonio, Texas, 2015, 1936-1945
8. Cook, W., Barr, P.J.: *Observations and Trends among Collapsed Bridges in New York State*, Journal of Performance of Constructed Facilities, 2017, 31(4), 04017011
9- Gilja, G., Kuspilić, N., Bekić, D.: *Utjecaj degradacije korita na sigurnost mostova*, Sabor hrvatskih graditelja 2012: Graditeljstvo - poluga razvoja, Cavtat, Croatia, 2012, 795-806
10. Tenžera, D., Puž, G., Radić, J.: *Vizualni pregled kao pomagalo za ocjenu stanja mostova*, Građevinar, 2012, 64(9), 717-726
11. Larras, J.: *Profondeurs maximales d'erosion des fonds mobiles autour des piles enriviere*, Annales des ponts et chaussées, 1963, 133(4),
12. Laursen, E.M.: *Scour at bridge crossings*, Transactions of the American Society of Civil Engineers,, 1962, 127(3294), 166-209
13. Coleman, N.L.: *Analyzing laboratory measurements of scour at cylindrical piers in sand beds*, 14th IAHR World Congress, Paris, France, 1971, 31-37
14. Hancu, S.: *Sur le calcul des affouillements locaux dans la zone des piles du pont*, 14th IAHR World Congress, Paris, France, 1971, 299-305
15. Jain, S.C.: *Maximum Clear-Water Scour Around Circular Piers*, Journal of the Hydraulics Division, 1981, 107(HY5), 611-626
16. Shen, H.W., Schneider, V.R., Karaki, S.: *Local scour around bridge piers*, Journal of the Hydraulics Division, 1969, 95(HY6), 1919-1940
17. Melville, B.W., Coleman, S.E.: *Bridge scour*, Highlands Ranch, Colo. : Water Resources Publications, LLC, 2000
18. Melville, B.W.: *Pier and abutment scour: Integrated approach*, Journal of Hydraulic Engineering, 1997, 123(2), 126-136
19. Kuspilić, N., Bekić, D., Gilja, G.: *Praćenje morfodinamičkih promjena korita vodotoka u zoni stupova mostova*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, 2010, 69-112
20. Kuspilić, N., Bekić, D., Gilja, G., McKeogh, E.: *Monitoring of river channel morphodynamical changes in the zone of bridge piers*, First International Conference on Road and Rail Infrastructure (CETRA 2010), Opatija, Croatia, 2010, 107, p8
21. Kuspilić, N., Gilja, G.: *Podvodni pregled mostova*, Sabor hrvatskih graditelja 2016: EU i hrvatsko graditeljstvo, Cavtat, Croatia, 2016, 287-300
22. Tenžera, D., Puž, G., Radić, J.: *Pregledi mostova na državnim cestama u Hrvatskoj*, Transportna infrastruktura i transport, 2012, 3 22-30
23. Građevinska služba ZJŽ. *Pravilnik o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica*, Zavod za novinsko-izdavačku i propagandnu delatnost JŽ, 1970,
24. FHWA. *National Bridge Inspection Standards*, Federal Register, U.S. Department of Transportation, 2004, 74419-74439
25. NYSDOT. *Bridge Inspection Manual*, New York State Department of Transportation, New York, 2016
26. Goleš, D.: *Koliko su sigurni mostovi po kojima vozite? Stručnjak s Građevinskog fakulteta otkrio kako se u Hrvatskoj kontroliraju i održavaju*, DNEVNIK.hr, https://dnevnik.hr/vijesti/hrvatska/dr-sc-zlatko-savor-otkrio-kako-se-kontroliraju-i-odrzavaju-hrvatski-mostovi---527269.html, 2018/09/19, 2018
27. GFZG. *Podvodni pregled temelja i korita rijeke uz temelje*, Autocesta Zagreb - Macelj d.o.o., Zagreb, 2013
28. GFZG, IEE. *Podvodni vizualni pregled donjega ustroja mosta, te hidrografsko snimanje korita u zoni mosta - mostovi u nadležnosti HAC d.o.o.*, Hrvatske autoceste održavanje i naplata cestarine d.o.o., Zagreb, 2016
29. GFZG, IEE. *Podvodni vizualni pregled donjega ustroja mosta, te hidrografsko snimanje korita u zoni mosta - mostovi u nadležnosti ARZ d.o.o.*, Hrvatske autoceste održavanje i naplata cestarine d.o.o., Zagreb, 2016
30. Gilja, G., Kuspilić, N., Tečić, D.: *Morphodynamic impact of scour countermeasures on riverbed topography*, 15th International Symposium Water Management and Hydraulics Engineering, Primošten, Croatia, 2017, 176-183
31. Bohutinski, J.: *Što je pokazala inspekcija mostova na autocestama. Donosimo ocjene!*, Večernji list, https://www.vecernji.hr/vijesti/video-sto-je-pokazala-inspekcija-mostova-na-autocestama-donosimo-ocjene-1265230, 2018/09/19, 2018

32. IPZ. *Most preko Zapadnog l. k. u km 392+032.70 autoceste „Bratstvo-jedinstvo“*, Inženjersko projektni zavod, 1989
33. R.A.: *Objavljeno u kakvom su stanju svi mostovi u Zagrebu, neki u vrlo lošem*, Media servis, https://www.index.hr/vijesti/clanak/objavljeno-u-kakvom-su-stanju-svi-mostovi-u-zagrebu-neki-u-vrlo-losem/2018226.aspx, 2018/09/19, 2018
34. B.S.LJ.: *Sanacija zagrebačkih mostova - stvar preventive, ne panike*, HRT, https://vijesti.hrt.hr/457252/sanacija-zagrebackih-mostova-stvar-preventive-ne-panike, 2018/09/19, 2018
35. D.G.: *Šokantni podaci: Štete veće od milijardu kuna, srušeno preko 20 mostova, Nin više nema plaža!*, Morski.hr, http://morski.hr/2017/09/18/sokantni-podaci-stete-vece-od-milijardu-kuna-sruseno-preko-20-mostova-nin-vise-nema-plaza/, 22.10.2018., 2018
36. DHMZ. *Meteorološki i hidrološki bilten*, Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske, 2017, 60
37. I.I.: *Rekonstrukcija vrijedna 27 milijuna kuna: Kreće obnova Gornjeg i Donjeg mosta u Ninu*, Zadarski.hr, https://zadarski.slobodnadalmacija.hr/regional/clanak/id/534412/krece-obnova-gornjeg-i-donjeg-mosta-u-ninu, 22.10.2018., 2018
38. Matešić, L.: *Izvadak iz projekta obnove i rekonstrukcije Donjeg mosta u Gradu Ninu*, Zagreb, 2018
39. Matešić, L.: *Izvadak iz projekta obnove i rekonstrukcije Gornjeg mosta u Gradu Ninu*, Zagreb, 2018
40. Polšak Palatinuš, V.: *Kreće se u glavni pregled mostova, njih čak 30 posto nije u dobrom stanju*, tportal.hr, https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/krece-se-u-glavni-pregled-mostova-njih-cak-30-posto-nije-u-dobrom-stanju-foto-20180822, 2018/09/19, 2018
41. Skazlić, M., Tenžera, D., Futivić, K.: *Sanacija mosta Đurmanec nakon izvanredne okolnosti djelovanjem poplave*, Sabor hrvatskih graditelja 2016: EU i hrvatsko graditeljstvo, Cavtat, Hrvatska, 2016, 301-312