

OBNOVA OTVORENIH VODOTOKA - JE LI OSTVARIVO I U KOJOJ MJERI?

dr. sc. Ognjen Bonacci, prof. emerit.

UVOD

Obnova (restauracija, sanacija ili revitalizacija) otvorenih vodotoka jedna je od najaktualnijih tema i aktivnosti u međunarodnoj znanstvenoj i široj ekološkoj zajednici. Do sada su napisani brojni članci i knjige, izvedeni brojni radovi za koje su utrošena ogromna sredstva, ali je nažalost ostala činjenica da nisu polučeni ni očekivani niti zadovoljavajući rezultati. Kako se ovim aktivnostima želi postići to da obnovljeni vodotok bude što sličniji prirodnom vodotoku, u radu se diskutiraju razlozi zašto je to teško postići, te se analiziraju prepreke na putu da se taj važan cilj ostvari. Ukazano je na bitnu ulogu protoka u punom koritu na procese formiranja korita i trase. Objašnjeni su pojmovi efektivnog i dominantnog protoka kao i način određivanja. Posebno je raspravljena uloga i važnost meandara i meandriranja riječnog toka u funkcioniranju riječnog sustava. Istaknuta je važnost precizne klasifikacije vodotoka koji se namjerava restaurirati. Kako među brojnim postojećim klasifikacijama prirodnih otvorenih vodotoka osobito važnu ulogu ima Rosgenova klasifikacija, navedene su njezine osnovne postavke.

Čovjek već nekoliko tisućljeća intervenira u prirodi mijenjajući prirodne strukture pokušavajući ih prilagoditi svojim trenutačnim interesima i potrebama. Kako je njegov život najčešće i neotuđivo vezan uz otvorene vodotoke svih dimenzija i oblika, na njima je najčešće poduzimao, a i danas vrlo intenzivno poduzima, različite zahvate. Od svih planetarnih ekosustava otvoreni su vodotoci čovjekovim djelovanjem pretrpjeli najagresivnije promjene prirodnih svojstva. Prije ili kasnije pokaže se da ti zahvati, koji prije svega degradiraju prirodne fizičke strukture, značajno i nepredvidivo negativno utječu na s njima vezane ekosustave. Ove aktivnosti ne samo da se odvijaju i danas već se i intenziviraju (Whol i sur., 2005.).

Čovjekovo crpljenje prirodnih resursa u nezaustavljivom je porastu. Taj trend ne pridonosi pružanju podrške održivom razvoju i biološkoj raznolikosti. Potreba ili barem namjera ostvarivanja ciljeva održivog razvoja, temeljna je pretpostavka za poduzimanje bilo kakvih zahvata ne samo na vodotocima, ali neizostavno upravo na njima. Problem je da u praksi često nije jasno što su u određenom slučaju ciljevi održivog razvoja. Nerijetko se javljaju suprotstavljena mišljenja o tome

što pomaže, a što odmaže ostvarivanju tih ciljeva. Koncept je idealno zamišljen, ali je u ostvarenju nejasan i nerijetko su suprotstavljena shvaćanja posljedica razlika u interesima. Zbog toga se dešava da je u praksi njegovo ostvarenje vrlo daleko od plemenitih proklamiranih namjera (Bonacci, 2015.a).

Kao reakcija na te krajnje zabrinjavajuće procese već desetljećima pokušava naći odgovore planetarni pokret ekologa podržan od najšire javnosti. Traže se načini da se degradacija otvorenih vodotoka, ako ne zaustavi, barem ublaži. Jedno od danas najčešćih rješenja koja se nude je obnova (revitalizacija, restauracija i/ili sanacija) otvorenih vodotoka. Lijepa i plemenita ideja čija se realizacija u praksi pokazala teško ostvarivom, prepunom zamki i problema. Za sada ona nije polučila toliko željene i važne ciljeve, a kako se čini ne treba biti previše optimističan da će se oni moći u cijelosti ostvariti niti u bliskoj budućnosti.

Obnova vodotoka je danas definitivno prihvaćena od svih sudionika u procesu (znanosti, struke, vladinih agencija, korisnika, ostalih zainteresiranih strana itd.) kao bitna i neophodna aktivnost u cilju zaustavljanja negativnih procesa izazvanih čovjekovim zahvatima izvršenim na otvorenim vodotocima. Postala je jedan od ključnih postupaka od kojih se očekuje da pomognu zaštititi i obnoviti jedan od najvažnijih prirodnih vodnih resursa, otvorene vodotoke. Obnove rijeka i njihovih slivova danas predstavljaju fundamentalni element nove filozofije upravljanja riječnim ekosustavima i zaštite okoliša (Williams i sur., 1997.).

Whol i sur. (2005.) navode da je broj projekata obnove vodotoka u SAD-u u eksponencijalnom porastu. Nažalost, mnogi su se zahvati pokazali kao neuspješni (npr. Williams i sur., 1997.; Philips i sur., 2022. itd.). Bernhard i sur. (2007.) naglašavaju da su mnogi projekti obnove vodotoka u SAD-u bili ostvareni s minimalnom znanstvenom podrškom. Oni smatraju da u njima posebno nedostaju sljedeći aspekti: (1) postojanje solidnog konceptualnog modela riječnog ekosustava; (2) jasno artikulirano razumijevanje procesa u ekosustavu; (3) prepoznavanje višestruko interaktivnih odgovora rijeke na raznim vremenskim i prostornim skalama; (4) dugotrajni monitoring uspješnih i neuspješnih reakcija na izvršene zahvate.

Unatoč uložnim znanstvenim, stručnim i financijskim naporima kao i rastućoj industriji vezanoj uz ovu inicijativu, te radova izvršenih na obnovi, stanje riječnih ekosustava nastavlja se pogoršavati na planetarnom nivou. Tri su bitna razloga za to. Prvi je taj što se intenzivno nastavlja nekontrolirani, slabo kontrolirani ili lažno kontrolirani antropogeni zahvati koji ne vode uopće ili barem ne vode dovoljno računa o zdravlju otvorenih vodotoka i pripadnih ekosustava. Uglavnom se preferiraju i ostvaruju kratkoročni interesi kapitala. Drugi razlog se mora tražiti u činjenici da već izvršeni radovi obnove i sanacije nisu rezultirali poboljšanjima koja su bila planirana, već su pogoršala i onako nezadovoljavajuća stanja. Treći razlog je što za koncept uspješne obnove ne postoje znanstveno osnovani preduvjeti. Jednostavnije rečeno, do sada nisu shvaćene sve znanstvene interakcije koje postoje unutar ovih vrlo složenih i dinamičnih društvenih sustava i ekosustava.

Razlog čestih neuspjeha u obnovama ili sanacijama otvorenih vodotoka i njihovih slivova treba tražiti u činjenici da znanost i praksa obnove zahtijevaju dublje shvaćanje prirodnih sustava kao i njihove veze s društvenim sustavima. Posebno je potrebno shvatiti koliko dugo neki zahvat može korisno obavljati svoju funkciju. Za uspjeh obnove potrebno je uz ekološke skladno uklopiti i socijalne aspekte kao što su duhovni, turistički, estetski, rekreacijski itd. Definitivno je shvaćeno da su dostignuta znanja nedovoljna za postizanje trajnije uspješnih rješenja u praksi. Izazov je za znanstvenike koji izučavaju riječne sustave da dublje shvate složene interaktivne procese koji se u svakom pojedinom prostoru zbivaju i koji se mogu značajno razlikovati od slučaja do slučaja. Očito je da je u rješavanju ove problematike neophodno krenuti od paradigme prirodnog vodotoka. Dakle, pokušajmo odgovoriti što je to prirodni vodotok. Na prvi pogled čini se da je odgovor jednostavan, ali nažalost nije.

Odgovor na prethodno postavljeno pitanje ključan je za pronalaženje učinkovitih, ali i realno ostvarivih rješenja obnove (revitalizacije, oporavka, restauracije) reguliranih ili na drugi način poremećenih prirodnih funkcija otvorenih vodotoka pa čak i umjetnih kanala. Prema tome naslov ovog članka mogao bi biti: Kako od umjetnog kanala ili reguliranog vodotoka stvoriti prirodni i koliko je to uopće moguće u stvarnosti?

PRIRODNI VODOTOK

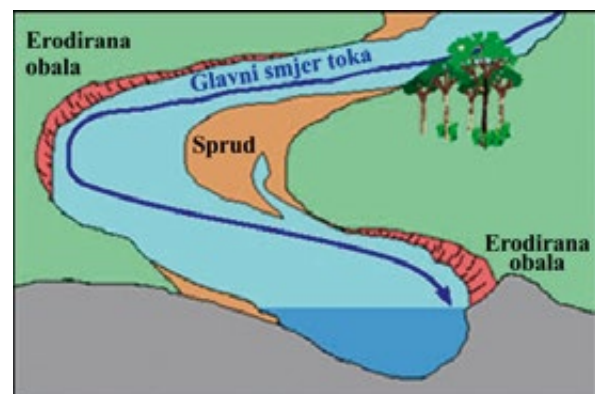
Riječni sustav predstavlja složenu strukturu koja se dinamično razvija na površini planeta i čije promjene zavise o geološkoj osnovici, litološkoj strukturi, klimi i topografskim čimbenicima (Knighton, 1998.). Svaki pojedini riječni sustav jedinstven je fenomen koji se može općenito definirati kao trojni (Schumm, 1977.). U njemu se energija pretvara u razne oblike organske i anorganske materije, kreirajući tri tipične zone: (1) najvišu (*crenon*); (2) središnju (*rhithron*); (3) donju (*potamon*). U najvišoj zoni dominira planinski reljef, doline su uske i imaju oblik slova V, nanosi su krupnozrnati, padovi korita su značajni,

a brzine vode velike. Sva navedena svojstva ublažavaju se postepeno u središnjem i donjem dijelu. Dominantni proces u središnjem dijelu je transport sedimenta erodiranog u gornjem dijelu. Ovaj se nanos akumulira u donjem dijelu. U njemu se plavljena područja razvijaju u široke doline kroz koje vijuga riječno korito i u kojem se formiraju paralelna korita, meandri, mrtvice, riječna jezera ili rukavci (*oxbow lakes*) i vlažna područja.

Whol i Merritts (2007.) navode da je prirodni vodotok dio prirodne topografije u kojem se odvija kontinuirano ili sezonsko tečenje tijekom godine, čiji su poprečni presjeci neregularni, a korito u nekim sekcijama meandrirano. Oni napominju da su pojmovi prirodni vodotok i stabilni vodotok različiti i potencijalno problematični koncepti kad se razmatraju riječne forme i procesi. Jednostavnije rečeno, prirodni vodotoci teško mogu biti stabilni. Tu činjenicu treba imati na umu i kod obnove vodotoka.

Pojam glavnog korita igra osobito važnu ulogu kod aluvijalnih vodotoka. Radi se o otvorenim vodotocima koji kreiraju vlastito korito krećući se kroz sedimente iz okolnih padina i iz samog korita. U većini slučajeva vrše se upravo obnove aluvijalnih vodotoka. Zavisno od promjena hidroloških svojstava vodotoka tijekom vremena, unutar ovog prostora se odvija proces formiranja korita koji izravno utječe na forme kroz koje protječe. Nagle i osobito značajne promjene oblika nastaju kao posljedica velikih voda kada se tečenje vrši izvan glavnog korita. Od antropogenih zahvata praktično trenutačne, ali dugoročne promjene hidrološkog režima uzrokuju izgradnja brana i formiranje akumulacija.

Sa stanovišta obnove vodotoka problem predstavlja činjenica da većina riječnih sustava podliježe kontinuiranom ciklusu promjena i da su one jedinstvene za svaki vodotok. Ne postoji sigurni indikator za određivanje dimenzija i oblika glavnog korita čak ni na jednom, a kamoli na više otvorenih vodotoka. Međutim, ipak postoji nekoliko indikatora koji mogu pomoći u boljem razumijevanju procesa formiranja glavnog korita, a preko toga i u pouzdanijem vršenju obnove vodotoka. Radi se o sljedećim parametrima: (1) nagibi obala; (2) vegetacija unutar i uz rubove glavnog korita; (3) sastav tla u kojem je formirano korito; (4) položaj sprudova i obala koje se erodiraju (elementi formiranja meandara) (slika 1); (5) lokacija stjenovitih segmenata u koritu;



Slika 1: Prikaz sastavnih dijelova meandra



Slika 2: Sustav meandara Gorgeous u nacionalnom parku Patagonia (Čile) (foto Brians Romans)

(6) ostali ambijentalni parametri specifični za pojedini vodotok (npr. postojanje otoka, prirodnih stepenica, vodopada itd.).

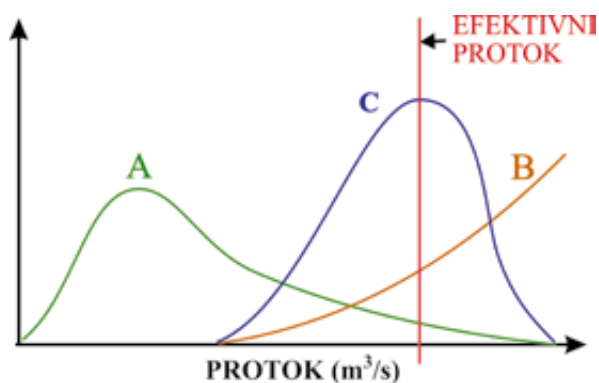
Na slici 2 nalazi se fotografija sustava meandara Gorgeous u nacionalnom parku Patagonia (Čile) (foto Brians Romans). Fotografija je prikazana u ovom radu s namjerom da se ukaže na fascinantnu ljepotu ovih oblika, ali i na činjenicu da ih je vrlo teško (gotovo nemoguće) izvesti na terenu. Meandri i meandriranje najčešće se koriste prilikom obnove vodotoka. Problem je što se za njihovo učinkovito funkcioniranje nedovoljno ili uopće ne koriste analize prirodnog stanja već se linija i oblici (krivine) trase korita ucrtavaju po slobodnoj procjeni projektanta ili prema nekim drugim kriterijima koji nemaju veze s prirodnim stanjem i funkcioniranjem dotičnog otvorenog vodotoka. Takva rješenja unaprijed su osuđena na propast.

Kod vodotoka koji imaju velike varijacije protoka tijekom godišnjih sezona, vrlo često je potrebno formirati korita i trase za male, srednje i velike vode. Takva rješenja gotovo je nemoguće predvidjeti. Otvoreni ih vodotok sam formira i mijenja tijekom vremena zavisno o varijacijama protoka vode i nanosa. Upravo u ovakvim slučajevima analiza krivulja trajanja protoka trebala bi biti ključni element za određivanje dimenzija obnovljenog vodotoka. Kod obnovljenih korita kao i kod umjetnih kanala, dno je obično široko i prilagođeno srednjim vodama. Vrlo brzo

obnovljeni vodotok formira svoja korita za protoke raznih veličina i trajanja.

Za postizanje uspješne obnove treba izučiti formiranje sprudova u sekciji vodotoka koji se želi obnoviti te fiziku tog procesa primijeniti pri projektiranju obnovljenog korita. Sprudovi se formiraju na konveksnim obalama i predstavljaju područje deponiranja nanosa. Formira ih sekundarni tok koji po dnu vodotoka donosi i kotrlja pijesak, šljunak i male komade kamena te ih deponira na blagim padinama spruda. Najčešće se nasuprot, na konkavnoj obali, formira područje erozije (slika 1). Da bi se zaustavili ili barem usporili procesi erozije obale, istu treba zaštititi. Kod toga je bitno koristiti isključivo prirodne materijale. U rijekama u kojima postoje otoci, neophodno je detaljno shvatiti njihovu ulogu kako u dinamici tečenja vode tako i njihovu ekološku funkciju.

Najvažniju ulogu i najsnažniji utjecaj kod otvorenih vodotoka u procesu definiranja oblika njihovih korita, ali i formi vodotoka, igra protok kroz glavno korito (*bankfull discharge*) (www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/413.pdf). Pri obnovi vodotoka valja uvažiti činjenicu da na formiranje korita i ostalih oblika najsnažnije utječe protok koji se odvija unutar punog korita. Protok punog korita ispunjava stabilno aluvijalno korito do visine iznad koje se voda počinje prelijevati u plavljeno područje. Taj je protok bitan jer precizno određuje granicu kad prestaje glavno



Slika 3: Grafički prikaz definiranja efektivnog protoka

korito i počinje plavljeno područje. Drugim riječima on predstavlja prijelomnu točku između procesa formiranja glavnog korita i plavljenog područja te njegovih važnih fizičkih i ekoloških funkcija.

Osim pojma protoka punog korita (*bankfull discharge*) koristi se i pojam efektivnog protoka (*effective discharge*), a definira se kao protok koji transportira najveći postotak sedimenata tijekom mnogo godina. Pojam efektivnosti u geomorfologiji povezan je sa sposobnošću transporta i formiranja krajobraznih oblika. Pronos vučenog nanosa igra ključnu ulogu u oba prethodno spomenuta procesa. Na slici 3 prikazano je grafički kako se definira efektivni protok. Važno je naglasiti da se pronos sedimenata odnosi na vučeni nanos. Procedura definiranja efektivnog protoka vrši se u tri etape (Biedenharn i sur., 2000.). U prvoj se definira krivulja učestalosti protoka tijekom godine, f (%), izražena u postocima vremena godišnje (označena slovom A na slici 3). Preporuča se koristiti godinu s prosječnim protokom u dužem vremenskom razdoblju. U drugoj fazi definira se krivulja protoka vučenog nanosa, G (tona), u zavisnosti od protoka vode u analiziranoj dionici vodotoka, Q (m^3/s) (označena slovom B na slici 3). U posljednjoj fazi množi se učestalost protoka, f , s pronosom vučenog nanosa, G , za odgovarajući protok, Q . Tako se definira nova krivulja, $(f \times G)$ (označena slovom C na slici 3). Vršna vrijednost te krivulje predstavlja vrijednost efektivnog protoka (slika 3). Različiti tipovi aluvijalnih vodotoka (s pjeskovitim, šljunkovitim, kamenitim dnom, kamenim gromadama na dnu) u različitom hidrološkim okolišu (stalni, povremeni) imaju različite efektivne protoke (Emmett i Wolman, 2001.).

Dominantni protok (*dominant discharge*) je teoretski protok koji bi u slučaju da konstantno teče aluvijalnim vodotokom formirao geometriju korita identičnu onj koju je formirao dugotrajni hidrogram. Dominantni protok kontrolira dužinu i širinu meandara. On je nešto veći od protoka unutar punog korita (Benson i Thomas, 1966.).

Stabilan prirodni otvoreni vodotok ima korito koje zadržava svoje dimenzije, oblike i poprečni profil tijekom vremena te ne podliježe procesima erodiranja ili zasipavanja. Polagano migrira kroz krajolik kroz dugo razdoblje vremena zadržavajući oblike i funkcije. Sposoban

je transportirati sedimente koji dolaze iz uzvodnog dijela sliva. Nestabilnost se javlja kada promjene hidrološkog režima ili neki najčešće antropogeni radovi, ali i prirodne pojave (potresi, klizišta itd.) uzrokuju promjenu procesa erozije ili nasipavanja. Kod stabilnih vodotoka produkt dotoka i dimenzija sedimenata proporcionalan je produktu nagiba vodotoka i protoku ili snazi vodotoka. Promjena bilo koje od spomenutih varijabli uzrokuje brze fizičke promjene u koritu (content.ces.ncsu.edu/natural-stream-processes). Antropogeni zahvati, a prije svega brane i akumulacije, drastično mijenjaju transport nanosa nizvodno od njih. U slučaju da se želi obnoviti neka dionica vodotoka nizvodno od brane i akumulacije bitno je voditi računa o novonastaloj situaciji, tj. o novom režimu nanosa i promijenjenom hidrološkom režimu.

Geometrija prirodnih aluvijalnih korita istovremeno kontrolira te se prilagođava tečenju vode i sedimenata koji se nalaze unutar njega. Povratne sprege između tečenja i oblika u kojima se ono odvija utječe na rizik od poplava te se prilagođava utjecajima klime i promjenama korištenja zemljišta. S obzirom na veliko variranje hidroloških i klimatskih karakteristika, pronosa nanosa, geologije i vegetacijskog pokrova iznenađujuće je da otvoreni vodotoci slijede upadljivo konzistentne oblike hidrauličke geometrije (Philips i sur., 2022.).

Philips i sur. (2022.) naglašavaju da je prirodna varijabilnost nerazdvojiva značajka svakog riječnog sustava te da su fizički, kemijski i biološki procesi povezani na kompleksan način preko cijelog sliva i preko svih vremenskih skala. Zbog toga oni smatraju da projekti obnove imaju veću vjerojatnost za uspjeh ako budu razmatrani i organizirani u kontekstu cijelog sliva. Shodno prethodnim činjenicama Philips i sur. (2022.) predlažu da znanost i na njoj zasnovana praksa obnove otvorenih vodotoka mora uključiti sljedeće: (1) eksplicitno prepoznavanje kompleksnosti i neizvjesnosti; (2) kontinuirani razvoj teoretskih okvira koji će omogućiti identifikaciju općih značajki unutar riječnih sustava i postavljanje relevantnih pitanja; (3) unaprijediti znanost i korist od monitoringa obnove mjerenjem bitnih parametara na korektnim skalama prostora i vremena; (4) povezati znanost i praksu; (5) razviti metode obnove koje će biti učinkovite unutar postojećih ograničenja. Izbor mjesta monitoringa koje karakterizira procese u otvorenom vodotoku važne za njegovu obnovu i predstavlja ključni preduvjet za uspjeh poduzetih aktivnosti obnove (McManamay i sur., 2017.).

KLASIFIKACIJA OTVORENIH VODOTOKA

S obzirom na impresivnu interakciju čimbenika koji utječu na formiranje korita i riječne mreže bitno je za razumijevanje procesa koji se odvijaju u koritu stvoriti konceptualne okvire koji će biti od pomoći i za vođenje njihove obnove (Lane i sur., 2022.). Jedan od nezaobilaznih preduvjeta za postizanje uspjeha u obnovi vodotoka je precizno definiranje njegove prirodne strukture kao preduvjet za ispunjavanje ciljeva koje su istaknuli Philips i sur. (2022.). U tom smislu veliku pomoć pruža precizna

klasifikacija određenog vodotoka koji se namjerava restaurirati. Klasifikacije prirodnih vodotoka vrše se s različitih stanovišta i uz primjenu različitih kriterija. Za potrebe obnove vodotoka koriste se geomorfološke, geografske, hidrološke, ekološke, interdisciplinarne, ali i neke druge klasifikacije.

Prve klasifikacije je objavio američki geograf Davis (1889.; 1902.) kojeg se ujedno smatra ocem geomorfologije. Davis (1902.) je razvio teoriju kreiranja reljefnih oblika uzrokovanih procesima erozije. Nazvao ju je geografski ciklus, ali se danas češće koriste nazivi ciklus erozije i/ili geomorfološki ciklus. Njegova teorija tumači da planine i oblici reljefa prolaze kroz tri faze, fazu mladosti na samom početku formiranja, fazu zrelosti i konačno fazu starosti prije nego što nestanu.

Količina protoka i njena varijabilnost u vremenu kritična je komponenta za opskrbu vodom, kvalitetu vode i ekološki integritet svakog pojedinog sustava otvorenog vodotoka. Hidrološka klasifikacija je vrlo važna za donošenje ispravnih odluka vezanih s ekohidrološkim aspektima obnove otvorenih vodotoka, kao i za upravljanje njihovim vodnim resursima (npr. Olden i sur., 2012.; Drissia i sur., 2019.; Adams i sur., 2022. itd.). Bitna uloga svake hidrološke klasifikacije je pouzdano određivanje protoka punog korita i efektivnih i dominantnih protoka. Napori za poboljšanje hidroloških klasifikacija koji su izvršeni u posljednjih nekoliko dekada išli su za tim da se dublje pronikne u odnos hidrologije (variranja protoka u prostoru i vremenu) i bioloških procesa (npr. Poff i sur., 1997.; Bunn i Arthington, 2002.; Assani i Tardif, 2005.; McManamay i DeRolph, 2019. itd.). Bunn i Arthington (2002.) naglašavaju da ekolozi moraju dublje shvatiti uloge i značenja svakog individualnog protoka i njegovog trajnog utjecaja na biološko-ekološke procese. Taj dio znanosti treba iz faze deskriptivnosti, u kojoj se uglavnom nalazi, preći u dublje utemeljenu znanost. To bi bio pravi put kojim bi hidrološke klasifikacije učinkovitije pomogle u ostvarivanju ciljeva obnove vodotoka. Kao dobar primjer takvog pristupa može se istaknuti istraživanje strukture akvatičnih insekata u rijeci Jadro (Rađa i Šantić, 2014.). Međutim, treba biti svjestan da niti jedna klasifikacija ne može odgovoriti na sve složene situacije na koje se nailazi u prirodi. Zbog toga se preporuča koristiti različite pristupe za različite tipove vodotoka i slivove. Pri tome se ne smije zaboraviti činjenica da praktična upotrebljivost klasifikacije prije svega zavisi o raspoloživosti pouzdanim podacima, što je nažalost rijetko ispunjeno. Kao primjer se navodi da su slovenske kolege 2010. objavili hidromorfološku klasifikaciju slovenskih rijeka (Repnik Mah i sur., 2010.).

Otvoreni vodotoci u kojima se tečenje javlja povremeno ili se prekida u određeno vrijeme godine dreniraju značajne količine voda na više od polovice površine kopna na planetu igrajući na taj način ključnu ulogu u pružanju podrške pripadnim ekosustavima i ljudima, prije svega u sušnim i polusušnim područjima (Datry i sur., 2017.). Presušivanje je prirodan proces koji se sve učestalije javlja kao posljedica klimatskih promjena, antropogenih

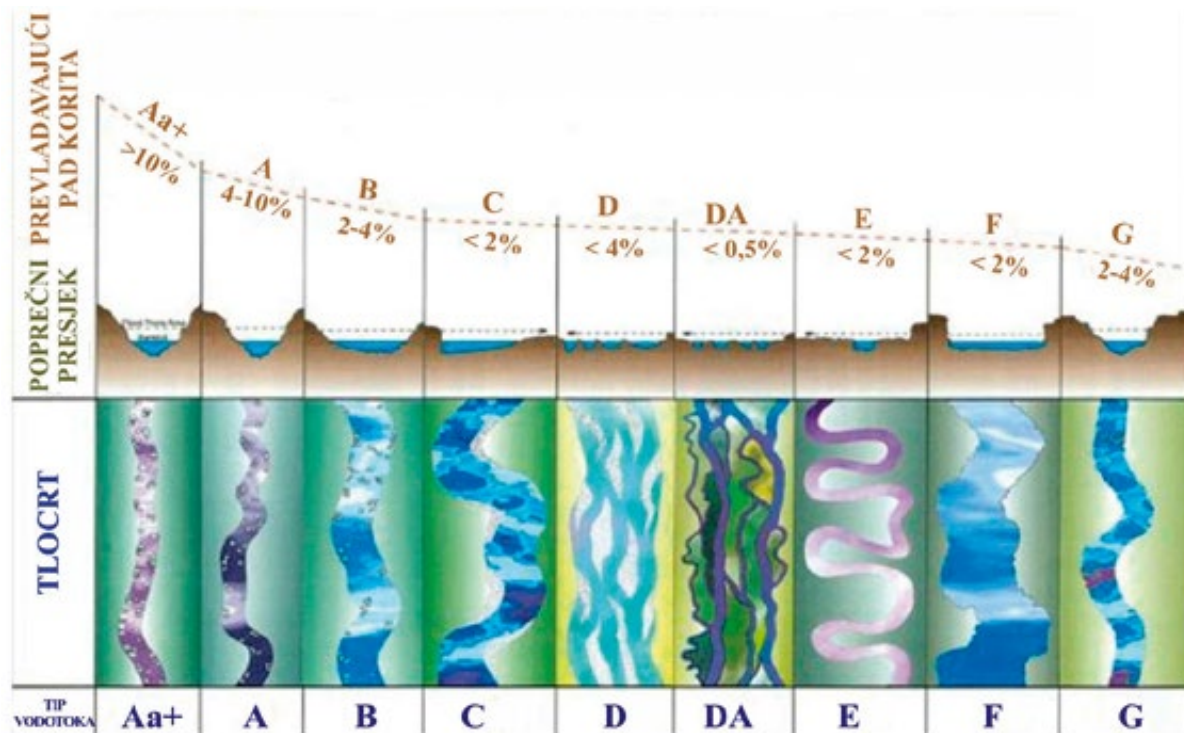
zahvata te čovjekovog nepravilnog upravljanja vodnim resursima (Bonacci, 2019.). Za ove vrlo važne i vrlo česte skupine otvorenih vodotoka Durigetto i sur. (2022.) su razvili novi probabilistički model klasifikacije.

Yamani i Toorani (2014.) navode da je od početka 20. stoljeća do danas razvijeno dvadesetak vrsta klasifikacija otvorenih vodotoka (npr. Schumm, 1963.; Buffington i Montgomery, 1999.; Simon i Collison, 2002. itd.). Međutim, jedna među njima smatra se najkompleksnijom i najkorisnijom za potrebe obnove. Radi se o Rosgenovoj klasifikaciji prirodnih rijeka objavljenoj 1994. godine u časopisu CATENA (Rosgen, 1994.). O tome koliko je ovaj rad cijenjen i korišten svjedoči činjenica da je do sada citiran preko 3000 puta i da se citiranost, dakle korištenje saznanja iznesenih u tom radu ne smanjuje.

Rosgenovu klasifikaciju koriste hidrolozi, inženjeri hidrotehničari, geomorfolozi i biolozi jer se pokazala učinkovitom ne samo za osiguranje stabilnosti otvorenih vodotoka već i za obnavljanje njegovih degradiranih bioloških funkcija (content.ces.ncsu.edu/application-of-the-rosgen-stream-classification-to-north-carolina).

Rosgen (1994.) je svojom klasifikacijom nastojao (i uspio) smanjiti varijacije prepoznavanjem određenih skupina vodotoka koristeći sličnosti u njihovim geomorfološkim oblicima. Prednost Rosgenove klasifikacije je u tome što omogućava brzo i praktično razgraničenje vrsta vodotoka i njihovu raspodjelu u prostoru. Parametri na osnovi kojih se vrši klasifikacija su: (1) jednostrukost i/ili višestrukost korita; (2) omjer ukopavanja glavnog korita; (3) omjer širine, L, prema dubini, H, korita, L/H; (4) vijugavost glavnog korita, $V=LV/LD$, se određuje kao odnos duljine vodotoka, LV, prema duljini doline, LD; (5) nagib dna korita; (6) materijali od kojih su dno i korita izgrađeni.

Klasifikacijsku razinu 1 opisuju morfološke karakteristike 9 tipova vodotoka, a označava ih slovima od Aa+, A, B, C, D, DA, E, F, G (slika 4). Posebna se pažnja posvećuje određivanju tipova riječnih dolina. Doline tipa I predstavljaju urezani kanjoni u obliku slova V. Doline tipa II karakterizira relativno stabilan umjereni reljef umjerenih bočnih nagiba čije su padine uglavnom nagiba manjeg od 4 % i koje su pokrivene zemljom iz rezidualnog tla i nanosa. Dolina tipa III razvijena je u aluvijalnim i koluvijalnim nanosima. Dolinu tipa IV karakteriziraju blagi nagibi kanjona, klisure i ograničena poplavna područja. Dolina tipa V je nastala kao rezultat glacijalnih procesa. Široka korita čije dno formira morenski materijal imaju oblik slova U. Nagibi su uglavnom manji od 4 %. Umjereni strme, krivolinijske doline spadaju u tip VI. Doline tipa VII su strme, a njihove riječne padine su blage. Široke doline blagog nagiba s dobro razvijenim poplavnim područjem uz riječne terase karakteriziraju doline tipa VIII. Doline tipa IX su široke. Padine su im umjerene do blage te su povezane s glacijalnim ispiranjem i/ili eolskim pješčanim dinama. Doline tipa X su široke, s blagim uzvisinama reljefa. Glavinom su formirane u aluvijalnim materijalima. Delte velikih rijeka klasificirane su u tip dolina XI.



Slika 4: Prikaz osnovnih elemenata Rosgenove (1994.) klasifikacije razine 1

Prethodno vrlo kratko iznesene informacije o Rosgenovoj klasifikaciji spadaju u tzv. razinu 1. Klasifikacija razine 2 je razvila strože kriterije u kojima se tretira problematika donosa i transporta sedimentima. Ova razina razmatra potencijale za prirodni oporavak otvorenih vodotoka kao i pitanje promjene hidrološkog režima (Rosgen i Silvey, 1996.).

Rosgenova klasifikacija zahtijeva sustavni monitoring terenskih geomorfoloških parametara i karakteristika. Radi se o detaljnim, dugotrajnim i skupim terenskim mjeranjima u kojima su danas od velike pomoći nove tehnologije kao što su dronovi, ultrazvuk, satelitska mjerenja, laserska mjerenja itd.

ZAKLJUČAK

Regulacija vodotoka kojom su se vodotoci krotili u bliskoj prošlosti i koja se učila na fakultetima prije više desetaka godina (negdje nažalost još i danas) trebala bi postati relikv prošlosti. Njome se željela postići puna kontrola nad prirodnim otvorenim vodotocima. Željelo ih se ukrotiti i učiniti ljepšima (što god to značilo). Posljedice takvih radova ukazale su da bi tu vrstu regulacije otvorenih vodotoka trebalo učiti kao loš primjer, tj. kako se ne smije raditi.

Na otvorenim vodotocima potrebno je vršiti što manje krutih inženjerskih intervencija. Pravilne i stabilne linije trasa nisu prirodne i ne podržavaju biološku raznolikost. Treba vršiti tek najnužnije intervencije kojima se osigurava stabilnost važnih konstrukcija koje se nalaze u blizini obala. Bun i Arthington (2002.) naglašavaju da budućnost obnove vodotoka treba usmjeriti u procese restauracije prirodnog stanja, a ne na inženjersku

regulaciju otvorenih vodotoka što nažalost i danas još uvijek prevladava.

„Krivu Drinu“ ne treba ispravljati i uljepšavati. Treba joj što više omogućiti da se prilagođava stalnim prirodnim promjenama u prostoru i vremenu, promjenama diktiranim hidrologijom i geologijom. Otvoreni vodotok će to najbolje obaviti sam bez „medvjedih usluga“ čovjeka. Ljepota nije u ljudskom oku dopadljivim pravilnim linijama i oblicima već u prirodnom prilagođavanju otvorenog vodotoka stalnim promjenama terena i raznim hidrološkim stanjima (vidi sliku 2). Treba definitivno shvatiti da čovjek ne može napraviti „ljepši i stariji vodotok“. Prirodni su vodotoci toliko lijepi da ih ljudske intervencije mogu samo nagrđiti. Dakle, potrebno je izvoditi što manje zahvata na njima i pustiti ih da se sami prilagođavaju stalnim i dinamičnim promjenama kako su to radili milijunima godina i kako će to raditi i u buduću. Jasno, ako je i gdje je to moguće. A takvih je mjesta na planetu sve manje. Gradovi su priča za sebe, ali se i u njima treba težiti ispunjavanju prethodno navedenih postavki.

Međutim, na samom kraju ovog razmišljanja o prirodnim vodotocima i obnovi vodotoka treba se sjetiti da je priroda moćnija i pametnija (ne nalazim bolje i jače riječi) od čovjeka. Ona je vrlo prilagodljiva i stvari dovodi u red poslije relativno kratkog vremena. Činjenica je da u beton i čelik okovani umjetni kanali, ukoliko se stalno ne održavaju (čiste od nanosa), već poslije par godina počinju sve više ličiti na prirodni vodotok. U njema se počinje taložiti nanos na kojem se razvija vegetacija. Kod malih voda ona počinje meandrirati. Uz nanos i vegetaciju vraćaju se akvatična flora i fauna. Poslije nekoliko desetaka godina umjetni kanal sve više slič

prirodnom vodotoku. Kad velike vode uspiju razoriti neku od čvrstih umjetnih kamenih ili betonskih obala voda nađe nove puteve i počinje svoju „prirodnu obnova vodotoka“.

U zaključnom razmatranju ove kompleksne problematike nije na odmet osvrnuti se na uloge umjetnih kanala u funkcioniranju cjelovitih riječnih sustava. U prošlosti i danas, a u budućnosti sve više, umjetni kanali će biti dio riječnih sustava. Dorotovičová (2013.) je pokazala da umjetni kanali predstavljaju surogate biotopa i biološke koridore organski povezane s prirodnim vodotocima. Kao takvi oni već danas igraju, a osobito bi u budućnosti mogli igrati važnu ulogu u pružanju podrške akvatičnoj biološkoj raznolikosti. To su stvari koje tek treba izučiti.

Čini se da i za vodotoke važi ona Galenova (129.-216.) *Vrijeme je najbolji liječnik*. Iz te se misli može mnogo toga korisnog naučiti. A to je da ostavimo prirodu da liječi rane koje joj je čovjek nanio. Na nama je da pažljivo pratimo, detaljno mjerimo kako priroda reagira i na osnovi toga zaključimo što bi mi trebali poduzeti u procesu obnove (revitalizacija, restauracija i/ili sanacija), ali i održavanja otvorenih vodotoka. Dug je to i naporan put, ali se čini jedinim izglednim i učinkovitim rješenjem.

Razmišljanje o u ovom članku tretiranoj problematici, završit će se citiranjem misli Asit-a K. Biswas-a (2004.) iz njegovog referentnog članka *Dams: cornucopia or disaster?* „Ne postoji jedinstveno rješenje koje bi važilo u heterogenom svijetu s različitim klimatskim, fizičkim, socijalnim, ekonomskim i okolišnim uvjetima; različitim institucionalnim, tehničkim i upravljačkim kapacitetima;

drugačijim institucionalnim i zakonskim okvirima vezanim s upravljanjem vodnim resursima; divergentnim nivoima razvoja i raspoložive tehnologije. Ne postoji jedinstvena paradigma jednako vrijedna za sve različite uvjete koji se javljaju u realnom svijetu.“

Nova saznanja o odnosu riječne morfologije i ekologije (raspodjele organizama i razvoja ekoloških procesa u različitim hidrološkim situacijama) u rijekama, plavljenim područjima i u širem riječnom koridoru kao i u slivu, od fundamentalnog su značaja za poduzimanje inženjerskih zahvata i drugih mjera koje će moći ispuniti zahtjeve održivog razvoja i zaštite od poplava. Očito je da će se još vrlo dugo vremena trebati ozbiljno i intenzivno raditi na rješavanju ove problematike (Bonacci, 2015.b).

Sve prethodno razmatrano, ukazuje na to da dostignuta znanstvena saznanja o prirodnim riječnim sustavima ne omogućavaju dobra i učinkovita praktična ostvarenja njihove obnove. Pred interdisciplinarnom znanosti o rijekama stoje veliki izazovi. Obnova vodotoka složen je i neizvjestan proces i do sada nije polučio zadovoljavajuće rezultate. Bez obzira na to, on mora biti nastavljen i intenziviran jer se samo na taj način može osigurati održiv razvoj rijeka i svih bioloških i socijalnih sustava vezanih uz njih i njihove brojne funkcije.

I na samom kraju ovog razmišljanja treba spomenuti status gradskih potoka grada Zagreba. Dilema je kako riješiti ovu vrlo aktualnu problematiku: zatvoriti ih i osigurati gradu neophodno potreban prostor za razvoj ili urediti ih i održavati tako da predstavljaju ukras grada. Vrlo vjerojatno treba naći kompromisno rješenje. Na nekim dijelovima trebat će ih zatvoriti, na nekim pustiti



Slika 5: Potok Črnomerec (foto Dunja Bonacci Skenderović)



Slika 6: Potok Črnomerac (foto Dunja Bonacci Skenderović)

da živa tekuća voda bude ukras i da pruža podršku ranjivim gradskim ekosustavima. Radi se zaista o teškim odlukama koje bi trebalo što prije donijeti. Kao poticaj za razmišljanje prilažu se dvije fotografije (slika 5 i slika 6) s potoka Črnomerca snimljene 10. srpnja 2021. ■

ZAHVALA

Ovaj rad je sufinanciran kroz projekt "VODIME - Vode Imotske krajine" (KK.05.1.1.02.0024), projekt financiran sredstvima Vlade Republike Hrvatske i sredstvima

Europske unije kroz Europski strukturni fond, u sklopu poziva "Shema za jačanje primijenjenih istraživanja za mjere prilagodbe klimatskim promjenama" (KK.05.1.1.02.0024).

Ovo istraživanje je djelomično sufinancirano kroz projekt KK.01.1.1.02.0027, koji je sufinanciran od strane Hrvatske Vlade i Europske Unije kroz *European Regional Development Fund - the Competitiveness and Cohesion Operational Programme*.

LITERATURA

- Adams, S., Bledsoe, B., Stein, E. (2022.): Advancing stream classification and hydrologic modeling of ungaged basins for environmental flow management in coastal southern California. *Hydrology and Earth System Sciences*, DOI:10.5194/hess-2021-553
- Assani, A. A., Tardif, S. (2005.): Classification and characterization of natural flow regimes in Quebec (Canada). Factors of spatial variability – an eco-geographical approach. *Revue Des Sciences De L'Eau*, 18 (2), 247–266. DOI: 10.7202/705559ar
- Benson, M. A., Thomas, D. M. (1966.): A definition of dominant discharge. *Hydrological Sciences Journal*, 11 (2), 76–80. DOI: 10.1080/02626666609493460
- Bernhardt, E. S., Sudduth, E. B., Palmer, M. A., Allan, J. D., Meyer, J. L., Alexander, G., Follstad-Shah, J., Hassett, B., Jenkinson, R., Lave, R., Rumps, J., Pagano, L. (2007.): Restoring rivers one reach at a time: results from a survey of U. S. river restoration practitioners. *Restoration Ecology*, 15 (3), 482–493. DOI:10.1111/j.1526-100X.2007.00244.x
- Biedenharn, D. S., Copeland, R. R., Thorne, C. R., Soar, P. J., Hey, R. D., Watson, C. C. (2000.): *Effective discharge calculation: a practical guide*. US Army Corps of Engineers, Washington, DC., USA
- Biswas, A. K. (2004.): Dams: cornucopia or disaster?. *International Journal of Water Resources Development*, 20 (1), 3–14. DOI:10.1080/0790062032000170571
- Bonacci, O. (2015.a): Brane i akumulacije: jučer, danas, sutra. *Hrvatske Vode*, 23 (91), 43–49
- Bonacci, O. (2015.b): Space for the river – Prostor za rijeku. *Hrvatske Vode*, 23 (93), 222–230
- Bonacci, O. (2019.): Hidrološki i ekohidrološki vidovi vodotoka koji presušuju i povremenih vodotoka. *Hrvatske Vode*, 27 (109), 237–243.
- Bunn, S. E., Arthington, A. H. (2002.): Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for

- aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30 (4), 492–507. DOI:10.1007/s00267-002-2737-0
- Buffington, J. M., Montgomery, D. R. (1999.): A procedure for classifying textural facies in gravel-bed rivers. *Water Resources Research*, 35 (6), 1903–1914. DOI:10.1029/1999WR900041
- Datry, T., Bonada, N., Boulton, A. (2017.): *Intermittent rivers and ephemeral streams - Ecology and management*. Elsevier & Academic Press, London.
- Davis, M. W. (1889.): The rivers and valleys of Pennsylvania, *National Geographic Magazine*, 1 (3), 183–253
- Davis, M. W. (1902.): *Elementary physical geography*, Ginn and Co, Boston, USA
- Dorotovičová, C. (2013.): Man-made canals as a hotspot of aquatic macrophyte biodiversity in Slovakia. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 43 (4), 277–287. DOI:10.1016/j.limno.2012.12.002
- Drissia, T. K., Jothiprakash, V., Anitha, A. B. (2019.): Statistical classification of streamflow based on flow variability in west flowing rivers of Kerala, India. *Theoretical and Applied Climatology*, 137 (3–4), 1643–1658. DOI:10.1007/s00704-018-2677-0
- Durighetto, N., Mariotto, V., Zanetti, F., McGuire, K. J., Mendicino, G., Senatore, A., Botter, G. (2022.): Probabilistic description of streamflow and active length regimes in rivers. *Water Resources Research*, 58, e2021WR031344. DOI: 10.1029/2021WR031344
- Emmett, W. W., Wolman, M. G. (2001.): Effective discharge and gravel-bed rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26 (13), 1369–1380. DOI: 10.1002/esp.303
- Knighton, D. (1998.): *Fluvial forms and processes: A new perspective*. Routledge, London, DOI:10.4324/9780203784662
- Lane, B., Guillon, H., Byrne, C., Pasternack, G. B., Kasprak, A., Sandoval-Solis, S. (2022.): Channel reach morphology and landscape properties are linked across a large heterogeneous region. *Earth Surface Processes and Landforms*, 47 (1), 257–274. DOI:10.1002/esp.5246
- McManamay, R. A., DeRolph, C. (2019.): A stream classification system for the conterminous United States. *Scientific Data* 6, 190017. DOI:10.1038/sdata.2019.17
- McManamay, R. A., Smith, J. G., Jett, R. T., Mathews, T. J., Peterson, M. J. (2017.): Identifying non-reference sites to guide stream restoration and long-term monitoring. *Science of Total Environment*, 621, 1208–1223. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.10.107
- Olden, J. D., Kennard, M. J., Pusey, B. J. (2012.): A framework for hydrologic classification with a review of methodologies and applications in ecohydrology. *Ecohydrology*, 5 (4), 503–518. DOI:10.1002/eco.251
- Phillips, C. B., Masteller, C. C., Slater, L. J., Dunne, K. B. J., Francalanci, S., Lanzoni, S., Merritts, D. J., Lajeunesse, E., Jerolmack, D. J. (2022.): Threshold constraints on the size, shape and stability of alluvial rivers. *Nature Reviews Earth & Environment*. DOI:10.1038/s43017-022-00282-z
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Sparks, R. E., Strombe, J. C. (1997.): The natural flow regime. *BioScience*, 47 (11), 769–784. DOI:10.2307/1313099
- Rada, B., Šantić, M. (2014.): Community structure of aquatic insects in the karstic Jadro River in Croatia. *Journal of Insect Science*, 14 (1), 54. DOI:10.1093/jis/14.1.54
- Repnik Mah, P., Mikoš, M., Bizjak, A. (2010.): Hydromorphological classification of Slovenian rivers. *Acta Geographica Slovenica*, 50 (2), 201–229. DOI:10.3986/AGS50202
- Rosgen, D. L. (1994.): A classification of natural rivers, *CATENA*, 22 (3), 169–199. DOI:10.1016/0341-8162(94)90001-9
- Rosgen, D. L., Silvey, H. L. (1996.): *Applied river morphology*. Wildland Hydrology Books, Fort Collins, CO., USA
- Schumm, S. A. (1963.): *A tentative classification of alluvial river channels*. Geological Survey Circular 477. US Geological Survey, Washington DC, USA
- Schumm, S. A. (1977.): *The fluvial system*. Wiley, New York. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3290040121>
- Simon, A., Collison, A. J. C. (2002.): Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surface Processes and Landforms* 27 (5), 527–546. DOI:10.1002/esp.325
- Williams, J. E., Wood, C. A., Dombeck, M. P. (1997.): *Understanding watershed-scale restoration, in watershed restoration: principles and practices*, American Fisheries Society, Bethesda, Md., USA
- Whol, E., Angermeier, P. L., Bledsoe, B., Kondolf, G. M., MacDonnell, L., Merritt, D. M., Palmer, M. A., Poff, N. L., Tarboton D. (2005.): River restoration, *Water Resources Research*, 41, W10301. DOI:10.1029/2005WR003985
- Whol, E., Merritts, D. J. (2007.): What is a natural river. *Geography Compass* 1 (4), 871–900. DOI:10.1111/j.1749-8198.2007.00049.x
- Yamani, M., Toorani, M. (2014.): Geomorphological classification of Taleghan River pattern in Taleghan Town by Rozgen method. *Physical Geography Research Quarterly*, 46 (2), 183–198
- <https://content.ces.ncsu.edu/natural-stream-processes> (posjet 12. svibnja 2022.)
- <https://content.ces.ncsu.edu/application-of-the-rosgen-stream-classification-to-north-carolina> (posjet 15. svibnja 2022.)
- https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/413.pdf (posjet 11. svibnja 2022.)