

# HIDROLOŠKI I EKO-HIDROLOŠKI VIDOVI VODOTOKA KOJI PRESUŠUJU I POVREMENIH VODOTOKA

prof. emeritus Ognjen Bonacci, dipl. ing. građ.  
Olgica Erceg, mag. ing. aedif.

## 1. UVOD

Među planetarnim vodnim resursima otvoreni vodotoci igraju jednu od ključnih ekoloških i ekonomsko-socijalnih uloga. Razlog tome je njihova rasprostranjenost i dinamika pronosa vode u prostoru i vremenu, a s njom i svih ostalih stvari i organizama bitnih za pružanje podrške životu na Zemlji. Pod pojmom otvorenog vodotoka u ovom radu podrazumijevaju se apsolutno sve vrste otvorenih vodotoka od najmanjih potočića do velikih rijeka.

Od svih planetarnih ekosustava otvoreni su vodotoci tijekom dvadesetog stoljeća pretrpjeli najintenzivnije i najagresivnije napade na njihova prirodna svojstva (Boon et al., 2000.). Kad čovjek poduzima bilo koji zahvat na otvorenom vodotoku ili njegovom slivu, on to čini s ciljem poboljšanja njegovog vodnog režima ili postizanja neke koristi. Nažalost se pokazalo da je većina takvih zahvata poslije određenog vremena uzrokovala i brojne štete koje nerijetko i dugoročno premašuju postignute koristi. Najčešće se radi o tome da su posljedice pogubne za ekološke sustave. Zaboravlja se, naime, da otvoreni vodotok predstavlja istinski krvotok sliva i okoliša (Bonacci, 2016.).

U površinskim tokovima voda se pod utjecajem sile teže kreće po terenu iz viših reljefnih oblika prema nižim. Svaki vodotok ima svoj početak, tj. izvor, i svoj kraj, koji završava u moru, jezeru, ponoru ili u nekom vodotoku višeg reda. Izučavanje najrazličitijih vidova otvorenih vodotoka intenzivirano je u posljednjim desetljećima. Čini se ipak da je u tom procesu jedna vrsta otvorenih vodotoka relativno zanemarena. Radi se o vodotocima u kojima se tečenje javlja povremeno ili se prekida u određeno vrijeme godine. Svaki vodotok zavisno o geomorfologiji terena, klimatskim uvjetima, hidrogeološkim svojstvima, antropogenim zahvatima, ali i snažnim prirodnim fenomenima (npr. potresima, vulkanima itd.) potencijalno može određeno vrijeme presušiti. Ovi se procesi sve češće događaju na najrazličitijim područjima Zemlje. Datry et al. (2017.)

naglašavaju da ova vrsta otvorenih vodotoka drenira značajne količine voda na više od polovici površine kopna na planeti igrajući na taj način ključnu ulogu u pružanju podrške pripadnim ekosustavima i ljudima, prije svega u sušnim i polusušnim područjima.

U stručnoj i znanstvenoj literaturi na engleskom jeziku postoje brojni nazivi i s njima vezane definicije vodotoka koji presušuju. U **tablici 1** navedeno je devet naziva na engleskom jeziku i njihov prijevod na hrvatski jezik. Uz svaki od ovih naziva vezana je i različita, ali nerijetko i vrlo slična, definicija. Budući da se radi o prvom, donekle sustavnom hidrološkom radu o vodotocima koji presušuju na hrvatskom jeziku, autori pozivaju ostale kolegice i kolege da pomognu u boljem prevođenju termina i korigiraju one koji su izneseni u ovom radu te stvaranju hrvatske terminologije koji bi trebali postati važeći u praksi raznih znanstvenih disciplina.

**Tablica 1:** Engleski i hrvatski termini za otvorene vodotoke koji presušuju

R. br.	engleski termin	hrvatski prijevod
1.	<i>ephemeral</i>	povremen, kratkotrajan, prolazan
2.	<i>episodic</i>	povremen, epizodan
3.	<i>temporary</i>	privremen
4.	<i>intermittent</i>	koji presušuje, isprekidan
5.	<i>seasonal</i>	sezonski
6.	<i>dryland</i>	u sušnim područjima
7.	<i>interrupted</i>	isprekidan
8.	<i>nonperennial</i>	nije cjelogodišnji
9.	<i>near permanent</i>	gotovo trajan

Kako bi se pojednostavio pristup analizi ovih složenih sustava, Datry et al. (2017.) su u kapitalnom

djelu „*Intermittent rivers and ephemeral streams – ecology and management*“ predložili korištenje samo sljedeća dva naziva za ovu vrstu otvorenih vodotoka: (1) *intermittent river* (vodotok koji presušuje); (2) *ephemeral stream* (povremeni vodotok). Pod pojmom vodotoka koji presušuju podrazumijevaju se otvoreni vodotoci koji redovito presuše svake godine ili najmanje dva puta tijekom pet godina. Trajanje presušivanja je različito i kreće se od nekoliko dana do u ekstremnim slučajevima cijele godine. U povremene vodotoke spadaju oni otvoreni vodotoci u čijim se koritima voda pojavljuje isključivo kratkotrajno (nekoliko sati ili dana) i neposredno kao posljedica padanja intenzivnih kratkotrajnih oborina. Nastavno će se u ovom radu zajednički tretirati obje vrste vodotoka te će se rabiti kratica VKP.

Svijest o potrebi intenziviranja izučavanja najrazličitijih znanstvenih i praktičnih vidova problematike VKP u svjetskoj znanstvenoj i stručnoj literaturi u posljednje je vrijeme značajno narasla (Datry et al., 2017.). Razlog leži u činjenici sve većih potreba za vodom, sve češćim nedostatcima vode, ali prije svega i u sve češćim i dugotrajnijim presušivanjima vodotoka na kojima se taj proces nije javljao u prošlosti. Radi se o vrlo složenoj problematici koja uzrokuje brojne i dugoročno vrlo opasne negativne ekološke i druge (ekonomske, društvene itd.) posljedice.

Presušivanje je prirodan proces koji se sve učestalije javlja kao posljedica klimatskih promjena, antropogenih zahvata te čovjekovog nepravilnog (krajnje egoističnog) upravljanja vodnim resursima. Realno je pretpostaviti da će klimatske promjene, prije svih učinak globalnog zagrijavanja, uzrokovati pojavu sve većeg broja povremenih tokova i sve dužeg trajanja presušivanja, posebno u sušnim područjima (Tockner, 2014.). Presušivanje definitivno postaje sve veći problem današnjice koji se javlja na cijeloj planeti.

Čini se da su u razvijenim dijelovima svijeta ovi procesi značajno intenzivniji nego na ostalim dijelovima planete. Razlog tome je u činjenici što su u tim prostorima prirodna svojstva otvorenih vodotoka značajno i bespovratno poremećena hidrotehničkim zahvatima (izgradnjom brana i akumulacija, ustava, regulacijom i kanaliziranjem korita itd.), odvođenjem vode, pretjeranim korištenjem podzemnih i površinskih voda itd.

Definitivno se mora shvatiti da VKP igraju ključnu ulogu ne samo u lokalnim prostorima, već i za održivi razvoj cijele planete. Treba se suočiti s činjenicom da su oni danas posebno ugroženi. Nastavi li se ovaj opasni trend, posljedice bi mogle biti mnogo gore od onih koje predviđaju i najveći pesimisti. Kako bi se osigurao njihov održivi razvoj, a time pomoglo i njihovim složenim ekosustavima te civilizacijama koje su vezane uz njih, neophodno je intenzivirati izučavanje svih fenomena koji se u njima odvijaju i utječu na procese presušivanja.

U ovom članku pokušat će se našu stručnu javnost upozoriti na potrebu neophodnosti intenzivnijeg, ali i interdisciplinarnog izučavanja fenomena presušivanja

otvorenih vodotoka koji su vrlo brojni i u Hrvatskoj. Ovoj kompleksnoj problematici pristupit će se prvenstveno sa stanovišta hidrologije i ekohidrologije kao znanstvenih grana koje nas opskrbljuju bazičnim parametrima neophodnim za izučavanje i razumijevanje svih ostalih aspekata, posebno onih ekoloških, bioloških, ekonomskih, socijalnih i sigurnosnih.

## 2. HIDROLOŠKI VIDOVI

Hidrološki režim svakog VKP karakteriziran je sljedećim svojstvima: (1) veličinom vodostaja; (2) veličinom protoka; (3) učestalosti pojavljivanja pojedinih vodostaja i protoka; (4) trajanjem presušivanja; (5) vremenom pojavljivanja presušivanja tijekom godine; (6) promjenama u pojavi presušivanja na vremenskoj skali dužoj od godine (analiza višegodišnjih trendova). Kod VKP trajanje presušivanja značajno je različito svake pojedine godine, što zavisi o različitim prirodnim pojavama (prije svega oborinama), ali sve češće i o antropogenim utjecajima. Izučavanje prethodno navedenih svojstava hidrološkog režima VKP od bitnog je značaja, stoga jer presušivanje drastično utječe na strukturu i funkcioniranje akvatičkih ekosustava, ali i na društvene i socijalne procese.

Pringle (2003.) definira hidrološku povezanost u otvorenom vodotoku „kao vodom posredovan (upravljan) transfer materije, energije ili organizama unutar i/ili između elemenata hidrološkog ciklusa“. Ward (1989.) navodi da hidrološka povezanost ima tri prostorne dimenzije (uzdužnu, poprečnu i uspravnu) koje su u interakciji s četvrtom dimenzijom, vremenom. Uzdužna, poprečna i uspravna hidrološka povezanost u VKP upravljana je interakcijom među prethodno spomenutim komponentama hidrološkog režima i geomorfologije (oblika korita, dimenzija i oblika plavljenog područja, svojstava, sastava i lokacije sedimenata uzduž toka) određenog vodotoka. Obrasci i varijabilnost hidrološke povezanosti VKP posljedica su prostornih i vremenskih razlika bilance voda. Jednostavnije rečeno, tečenje u koritu, tj. postojanje tekuće vode u njemu, funkcija je ulaza vode oborinama ili podzemnom vodom, njenog skladištenja (unutar, ispod, uzduž korita i plavljenog područja) te izlaza vode (poniranje, procjeđivanja i evapotranspiracije) u različitim vremenskim skalama (Gordon et al., 2004.; Godsey i Kirchner, 2014.).

Vrijeme pojave i trajanje presušivanja vode u otvorenim vodotocima usko su povezani s fenomenom meteorološke suše, tj. smanjenom količinom oborina tijekom određenog vremena i na određenom prostoru u odnosu na prosjek. Duže vremensko razdoblje bez padalina (meteorološka suša) uzrokuje i hidrološku sušu, koja se manifestira kao pojava malih voda i prekid tečenja u pojedinim dionicama otvorenih vodotoka. Suša se pojavljuje postepeno, može zahvatiti velika područja i trajati dugo. Na trajanje presušivanja značajno mogu utjecati prirodni uvjeti u slivnom području i samom

koritu vodotoka, a sve značajniji utjecaj imaju brojne slabo kontrolirane ljudske aktivnosti. Pri analizama i projektiranju hidrotehničkih sustava u posljednjim desetljećima počeo se koristiti koncept povratnog perioda suše. Analize trajanje presušivanja postale su dio analiza vezanih s gospodarenjem vodnim resursima.

U VKP postoje sljedeća tri oblika pojave vode u koritu: (1) tekuća voda, (2) stajaća voda koja se zadržava u depresijama u koritu; (3) suho korito. Ovi se oblici (faze) ciklički smjenjuju i slijede jedan iza drugog. Uzdužni pad korita i retencijske značajke terena su važan čimbenik koji utječe na protočnost i zadržavanje vode i trajanje pojedine faze. U nekim VKP, osobito u krškim terenima, ne postoji faza vode u mirovanju, dok u nekim vodotocima nema faze potpunog presušivanja, već samo tekuća faza i postojanje brojnih depresija ispunjenih vodom u mirovanju.

Riječno korito, iako suho, još uvijek može imati vodu koja teče ispod površine na manjoj ili većoj dubini, što zavisi o sastavu materijala kroz koji se proces tečenja odvija. Iako ne postoji tečenje u koritu, moguće je da se ono odvija ispod dna korita kroz hiporeičku zonu (Bonacci, 2016.). Na početku sušnog perioda ta dubina je mala, a nastavkom suše postaje sve dublja. Kada se ponovo javi oborine tada se podzemlje postepeno puni, a nivo podzemne vode raste sve dok ne dođe do formiranja površinskog tečenja.

Kad dođe do presušivanja površinskog tečenja, u određenom broju VKP na površinskim depresijama voda se može zadržati neko vrijeme, što zavisi o svojstvima tla na dnu depresije za propusnost vode, dimenzijama depresije i klimatskim uvjetima lokaliteta. Kameni i krški tereni vrlo slabo zadržavaju vodu na površini i neposredno ispod same površine terena, dok glinovito-pjeskoviti tereni mogu biti praktično nepropusni. Tijekom dugotrajnih suša prekida se tečenja u potpovršinskoj zoni, a voda iz depresija ispari ili se infiltrira u podzemlje. I brojni drugi, prije svega hidrogeološki čimbenici, utječu na hidrološke procese u VKP.

Otvoreni vodotoci najčešće izviru u jednoj glavnoj točki (izvoru ili vrelu), ili pak nastaju spajanjem više izvora smještenih na užem ili širem prostoru. Početni dio vodotoka smješten u najvišem dijelu sliva "hrani" vodom nizvodni dio korita. Izvori se razlikuju s hidromorfološkog, hidrogeološkog i hidrološkog stanovišta. Može se raditi o jednom mjestu iz kojeg voda izbija na površinu ili o brojnim mjestima izbijanja vode na širem ili užem prostoru na raznim nadmorskim visinama. Sa stanovišta koje izučava ovaj članak, bitno je naglasiti da brojni izvori nisu stalno aktivni, tj. da povremeno presuše (Žutinić et al. 2018.). U takvim slučajevima, kad izvori presuše, presuši i nizvodni dio korita vodotoka, sve dok se u njega ne slije neki stalni pritok.

Nerijetko se radi o izvorima sa značajnom izdašnosti. Kao primjer navodi se izvor Rječine čiji srednji protok iznosi 6,85 m<sup>3</sup>/s, dok je maksimalni izmjereni protok iznosio 60,1 m<sup>3</sup>/s (Bonacci et al., 2017., 2018.). Bez obzira

na to izvor presuši gotovo svake godine. U razdoblju od 68 godina od 1948.–2015. (nedostaju mjerenja 1960.–1965. i 2001.) prosječni broj dana presušivanja izvora Rječine godišnje iznosio je 44,6 dana. Tijekom četiri godine (1948.; 1968.; 1977. i 2014.) izvor nije presušio, dok je 1949. godina presušivanje trajalo 157 dana, što iznosi 43 % godine.

Klimatske i hidrogeološke značajke sliva te topografija korita oblikuju hidrogram otjecanja, njegov rastući (koncentracijski) i opadajući (recesijski) dio. Hidrogrami kratkog trajanja nisu povoljni za stvaranje biocenoze za razliku od dugotrajnih hidrograma karakteriziranih recesijskim krivuljama koje traju više mjeseci. Ove značajke su bitno različite od vodotoka do vodotoka, tako da ih je teško generalizirati.

VKP mogu gubiti vodu duž toka postepeno, što zavisi o svojstvima materijala koji formiraju dno i bokove korita. Proces poniranja javlja se kad je razina podzemne vode ispod razine dna korita, tj. kad površinske vode prihranjuju one podzemne. U krškim terenima VKP mogu gubiti vodu kroz brojne male ponore locirane na dnu korita koje formiraju ponorske zone. Proces poniranja može se odvijati kroz jedan veliki ponor. Kapacitet gutanja takvih ponora mijenja se i zavisi o dimenzijama otvora i krškog kanala, razine vode iznad ponora, ali i razine podzemne vode pripadnog krškog vodonosnika (Bonacci, 2013.).

Vodotok može presušiti na bilo kojem svojem dijelu, što zavisi, prije svega, o hidrogeološkim i geomorfološkim karakteristikama terena kroz koji protječu. To je osobito izraženo u krškim terenima. Kao primjer navodi se da se duž cijelog toka rijeke Zrmanje, koji iznosi oko 55 km, presušivanje javlja samo na dionici oko postaje Ervenik, udaljene oko 29 km od izvora, dakle oko sredine toka. Precizna dužina dionice na kojoj se javlja presušivanje nije do sada definirana.

Poplave u VKP su posebna kategorija poplava jer se javljaju na dijelovima vodotoka na kojem u određenom vremenu godine uopće nema vode. To je sa stanovišta zaštite od poplava posebno složena situacija, jer sama pojava voda je plavljenje suhog terena. Pojednostavljeno rečeno, poplava je u ovim koritima zapravo svako novo punjenje korita vodom koje može biti manje ili veće, brže ili sporije. Treba razlikovati povremene vodotoke i njihove velike vode koje se javljaju kao redovita pojava u kišnom periodu svake godine od onih povremenih vodotoka gdje se vode javljaju kao pojava u periodu od više godina kao rezultat ekstremnih oborina. U prvom slučaju pojava velikih voda je očekivana i može se predviđati, dok je u drugom slučaju to slučajna pojava koju je teško predvidjeti po pojavnosti i veličini. To su uglavnom bujice i slične vode, dok su u prvom slučaju to uzvodni dijelovi rijeka.

Tijekom poplava dolazi do pokretanja ogromne količine nanosa i pojave intenzivne erozije. Ove poplave važne su s ekološkog stanovišta, jer nizvodno transportiraju nanos, hranjive tvari, staništa, biološke

organizme i cijele biocenoze različitog sastava. Velike vode i pojava poplava u VKP igraju ključnu ulogu za održivost ekosustava u njima, jer nizvodnim dionicama pružaju ključnu podršku za održiv razvoj i biološku raznolikost. To se osobito odnosi na povremene vodotoke kod kojih glavina vode proteče tijekom kratkotrajnih i snažnih poplava. Zbog toga se pojava poplava u VKP mora šire sagledavati uvažavajući kako negativne tako i pozitivne utjecaje na čovjeka i okoliš u cjelini.

U VKP brzina tečenja vode u pravilu je vrlo velika s tendencijom naglog postizanja maksimalnih vrijednosti (Moody et al., 2003.). Svaka pojava poplave može utjecati na značajno mijenjanje položaja i dimenzija korita. Sve prethodno navedeno rezultira činjenicom da ova vrsta vodotoka često nema jasno definiran oblik korita za srednje vode, što značajno otežava kontrolu hidroloških procesa koji se odvijaju u njima. Osnovna hidrološka karakteristika VKP je brzo formiranje hidrograma velikih voda koje izazivaju poplave i uzrokuju štete. Uzlazna grana hidrograma je strma, tj. vrijeme u kojem protok dosegne maksimalnu vrijednost je kratko, značajno kraće nego kod vodotoka koji ne presušuju.

Pojava poplave u VKP, naročito ekstremno velikih voda, rezultira preplavlivanjem velikih površina, budući da korita VKP najčešće nisu strogo morfološki formirana. Tipičan primjer je plavljenje polja u Dinarskom kršu. Većina vodotoka koji dotječu u brojna krška polja Dinarida prirodno presušuju tijekom sušnog i toplog dijela godine. Nakon padanja obilnih oborina u vlažnom i hladnom dijelu godine dolazi do naglog porasta protoka koji ne mogu progutati ponori.

Bujični tokovi općenito spadaju u povremene vodotoke u kojima se tečenje javlja neposredno i kratkotrajno nakon intenzivnih oborina. Kod njih je tečenje vode silovito, brzine prelaze 3 m/s, a nerijetko mogu biti i znatno veće. Procesi erodiranja su intenzivni. Bujice transportiraju velike količine finog i krupnog sedimenta, ali i velikih kamenja, dijelove drveća i druge objekte koji im se nađu na putu. Nerijetko dolazi do formiranja muljnih tokova.

Jedan od ključnih problema hidroloških, ali i drugih aspekata analize procesa presušivanja leži u činjenici što za taj složeni zadatak danas na raspolaganju uglavnom stoje podatci mjereni na pojedinim, u pravilu malobrojnim, vodomjernim postajama. Dodatni problem leži u činjenici da na velikoj većini VKP ne postoje nikakva hidrološka mjerenja bez obzira na činjenicu što se radi o ključnim vodnim resursima određene regije. Važno je imati na umu da se na vodomjernim postajama mjeri razina vode te da se protok na tom profilu određuje iz krivulje protoka. Za upravljanje vodnim resursima informacija o protocima smatra se važnijom od informacije o vodostajima. Kod izučavanja VKP informacija o razini vode igra ključnu ulogu. Saznanja o dužinama dionica vodotoka koji presušuju i trajanje presušivanja na njima obično su nepoznati ili nedovoljno sistematski opažani. Razlog tome leži prije

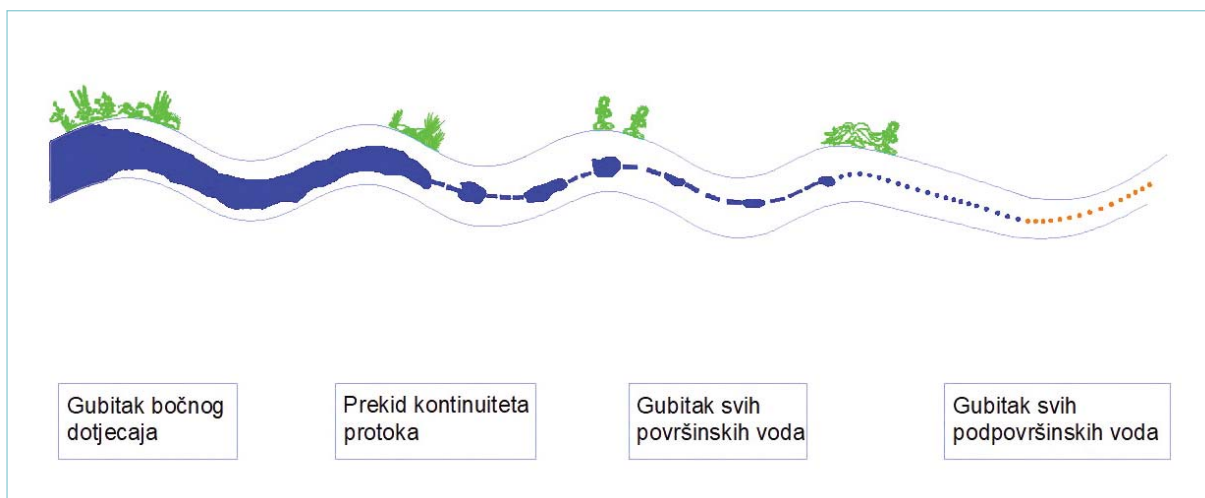
svoga u nedovoljnom broju vodomjernih postaja, ali i u složenosti praćenja ovih vrlo varijabilnih procesa u prostoru i vremenu.

Činjenica koja još uvijek nije dovoljno shvaćena u znanstvenoj i stručnoj zajednici je da bez detaljnih podataka o hidrološkom režimu VKP nije moguće niti shvatiti, a još manje ispravno upravljati pripadnim i ugroženim ekosustavima koji se u njima javljaju. Poznavanje detaljne dinamike presušivanja i ponovne pojave tečenja u svakom VKP kao i pojava dionica korita koje su nepovezane dotokom vode, ključne su hidrološke informacije neophodne za izučavanje ekoloških procesa i poduzimanje učinkovitih mjera upravljanja i zaštite. Godsay i Kirchner (2014.) naglašavaju da unatoč odavno prepoznatoj potrebi detaljnog izučavanja hidroloških vidova VKP na tom području nigdje u svijetu nisu poduzete odgovarajuće mjere. Posljedica toga je da u razumijevanju i zaštiti ovih osjetljivih i ugroženih sustava do sada nije bilo moguće postići značajniji napredak.

Problem je da se radi o potrebi organiziranja složenih i skupih interdisciplinarnih sustava monitoringa. Nadu da će se ovakvo nezadovoljavajuće stanje, barem sa stanovišta hidrologije, moći ubrzo i učinkovito prevladati daju nove tehnologije, prije svega primjena satelitskih snimaka za velike rijeke. Instaliranje guste mreže kamera te korištenje dronova, prije svega kod manjih i srednjih otvorenih vodotoka, daju nadu da će se procesi presušivanja moći bolje pratiti i izučiti. Primjenom spomenutih tehnika bit će moguće stvaranje karata presušivanja (*wet/dry mapping*). Pri tome treba naglasiti da je za analize procesa presušivanja izrazito važno mjeriti i razine podzemne vode u područjima gdje dolazi do presušivanja korita, kao i meteorološke karakteristike sliva, prije svega oborine, temperature zraka i vlage u zraku..

### 3. EKOHIKROLOŠKI VIDOVI

Voda je ključni abiotički čimbenik vodnih ekosustava. Dinamika promjene i dostupnosti vode biocenoza utječe na njihovo oblikovanje, a time i na cjelokupni ekosustav voda. To posebno dolazi do izražaja u VKP kod kojih je dinamika promjena dostupnosti i kretanja vode izražena kroz ciklus tri faze koje se izmjenjuju tijekom vremena: (1) voda u kretanju; (2) voda u mirovanju retencionirana u nepovezanim depresijama korita; (3) vode u koritu nema (suho korito). Značajke ovog ciklusa, trajanje pojedine faze i intenzitet pojave, izravno oblikuju ekosustave svakog pojedinog VKP. U razdoblju kada voda teče formiraju se ekosustavi tekućica (lotic). U period kad voda miruje u depresijama u njima obitavaju ekosustavi stajačica i močvarnih područja (lentic). Kad korito vodotoka u potpunosti presuši u njemu žive ekosustavi bezvodnih, tj. kopnenih područja. Ta tri bitno različita ekosustava ciklički se izmjenjuju te predstavljaju kompleksni i integrirani jedinstveni ekosustav VKP.



Slika 1: Prikaz dinamike prekida tečenja vode u VKP (Stubbington et al., 2017.a)

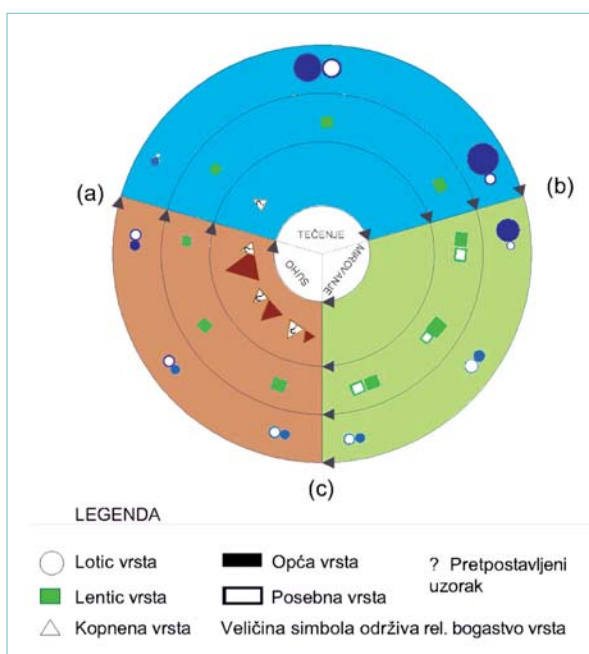
Zbog brojnosti VKP njihovi složeni, ranjivi i specifični (često endemski) ekosustavi spadaju stoga među najčešće i hidrološki najdinamičnije, ali i najugroženije planetarne ekosustave slatkih voda (Scott et al., 2010.). Radi se o ekosustavima čiji su ranjivi prirodni resursi u novije vrijeme izloženi ekstremnom iskorištavanju i devastiranju od strane čovjeka te osobito ugroženi globalnim zagrijavanjem.

Proces presušivanja i ponovne pojave tečenja u VKP ciklično se odvija. Na slici 1 (Stubbington et al., 2017.a) prikazana je uzdužna i poprečna dinamika prekidanja i ponovne pojave tečenja vode u VKP koja se odražava i na promjene ekoloških značajki duž korita vodotoka. Svaki od njih povezan je sa specifičnom vrstom ekosustava.

Na slici 2 prikazana su ta tri oblika pojavnosti vode i s njima povezana promjena pojave vrsta u VKP (Stubbington et al., 2017.). Tijekom prijelaza iz stanja tečenja u stanje mirovanja, a potom i u stanje suhog korita, mijenjaju se vrste tekućih voda (lotičke), vrste koje žive u stajaćim vodama (lentičke) i kopnene vrste. Strelicama je na slici prikazan godišnji ciklus promjena u okolišu VKP. Na dijelu slike 2a prikazano je da kad dođe do obnavljanja tečenja u vodotoku dolazi i do vrlo brzog povećanja populacije lotičkih vrsta. Na slici 2b prikazano je da kad u sustavu postoji samo voda u mirovanju bogatstvo lotičkih vrsta opada, dok lentičkih vrsta (vrste koje žive u vodama stajaćicama) raste. Porast brojnosti postoji u početku, ali se s produljenjem trajanja i smanjivanjem količine vode u depresijama smanjuje. Tijekom suhe faze lentičke vrste nestaju, a kopnene vrste dolaze u područje suhog korita iz priobalne zone i iz cijelog sliva (slika 2c). Njihova se brojnost povećava s trajanjem presušivanja. Treba napomenuti da je moguće da pojedina faza bude preskočena. Taksonomske grupe odnose se na beskralježnjake i neke zajednice biljaka.

Specifičnost većine VKP je da je dubina vode u lentic i lotic fazi uglavnom mala. Svaka faza pridonosi biološkoj raznolikosti ekosustava. Sve se faze moraju ravnopravno i integralno proučavati želi li se dobiti cjelovita slika o biološkoj raznolikosti VKP te pronalaženja učinkovitih postupaka za njihovu zaštitu. Svaku fazu obilježavaju specifične populacije istih vrsta.

Ekosustav VKP se svrstava u akvatične sustave, ali i u prijelazne između akvatičnog i kopnenog ekosustava. Koliko je sustav akvatičan, a koliko prijelazan ovisi o trajanju pojedine faze. Sa stanovišta ekologije VKP važni su jer povezuju različite ekološke zajednice kretanjem vode, energije, staništa, vrsta i hranjivih tvari ne samo duž korita vodotoka, nego i u širem krajoliku. U suhom periodu se tvari akumuliraju u koritima, da bi u tekućem bile transportirane u nizvodna područja. Na



Slika 2: Prikaz promjena vrsta ovisno o fazi pojave vode u VKP (Stubbington et al., 2017.b)

taj su način povezana uzvodna i nizvodna područja koja tvore šire i složene ekosustave.

VKP predstavljaju privremene dinamičke ekosustave koji su sposobni pružiti podršku različitim i svojstvenim akvatičnim ekosustavima faune i flore. Mehanizmi otpornosti i prilagodljivosti omogućuju vrstama i zajednicama da prežive suhu fazu te da se brzo rekoloniziraju kada se u vodotoku ponovo pojavi tečenje vode. Antropogeni utjecaji i klimatske promjene mijenjaju svojstva presušivanja (vrijeme pojave i trajanje), što utječe na smanjenje biološke raznolikosti i brojnosti akvatične flore i faune. Da bi se sačuvala prirodna biološka raznolikost neophodno je učinkovito upravljanje, obnova i zakonodavstvo zasnovano na detaljnim izučavanjima ekohidroloških karakteristika svakog pojedinog vodotoka i njegovog ekosustava.

Suha korita VKP igraju vrlo značajnu ekološku ulogu (Levick et al., 2008.). Radi se o posebnoj vrsti biotopa na kojem obitavaju specifičnim hidrološkim uvjetima prilagođene biocenoze, tj. formirani su specifični ekosustavi u kojima nerijetko postoje ugrožene i endemske vrste. U sušnim, polusušnim i krškim terenima vegetacija oko korita je uglavnom slabo razvijena zbog nedostatka organske materije na kojoj bi se ista mogla razvijati. U takvim sustavima javlja se snažna erozija koja za posljedicu ima veliku produkciju i pronos sedimenata. Flora i fauna se oduvijek postepeno prilagođavaju značajkama biotopa. Pojedine vrste prilagođavaju se ciklusu promjena površinskog tečenja vode i presušivanja bolje od drugih te one lakše preživljavaju nagle i neočekivane promjene koje nameće priroda i sve češće čovjek svojim zahvatima.

U VKP osim vode na površini, s ekološkog stanovišta važnu ulogu igra i tečenje ispod površine korita, kao i razina podzemne vode. Između vidljivih površinskih voda i nevidljivih podzemnih voda i/ili tokova postoji snažna interakcija hranjivih tvari, flore i faune. Bitna razlika između podzemne i površinske biocenoze je u tome da podzemlje ne može koristiti insolaciju i njom poticane biokemijske procese kao što je to fotosinteza. Kamena korita bez supstrata su siromašna hranjivim tvarima i vlagom. Posljedica toga je da su vrlo siromašna biocenozom za razliku od muljevito-glinovitih korita. Dubina i značajke supstrata tla u značajnoj mjeri definiraju mogućnost razvoja biljaka. U pravilu vrijedi da veće dubine omogućavaju rast većih biljaka pa čak i stabala.

Klima, prije svega raspored i količina oborina, vrijednosti temperature zraka, ali i vlaga u zraku i tlu glavni su pokretači promjena stanja vode u sustavima VKP. Kako je klima varijabilna tijekom jedne godine, ali i tijekom godina dolazi do promjena unutargodišnjeg i višegodišnjeg stanja vodnosti, što izravno utječe na kratkoročne i dugoročne promjene u ekosustavu. Razlikuju se VKP s pojavom jednog ciklusa u godini ili

s više ciklusa tijekom godine. U prvom se slučaju radi o klasičnom sezonskom VKP u kojem se presušivanje javlja tijekom sušnog razdoblja, a tijekom kišnog razdoblja se tečenje vode na površini obnavlja. U drugom su slučaju izmjene višestruke unutar jedne godine, ovisno o režimu oborina i retencijskim karakteristikama terena i vodonosnika. Dinamika izmjena stanja i trajanje pojedine faze bitno utječu na značajke biocenoza koje se razvijaju uz svaki pojedini VKP.

Kad se formira površinsko otjecanje, osobito tijekom poplava, tekuća voda u sustav donosi cijeli niz organizama iz slivnog područja. Dio organizama se zadržava, a dio otječe nizvodno. U fazi kad dolazi do recesije otjecanja organizmi se zadržavaju u depresijama i manjim lokvama te dijelom emigriraju uz rubove korita. Kada nestane vode organizmi ugibaju, hiberniraju ili emigriraju u dublje slojeve terena, u okoliš suhog korita ili dalje u sliv i nizvodna područja, ovisno o kojoj vrsti organizama se radi kao i njihovoj sposobnosti kretanja. To vrijedi za proizvođače, potrošače prvog reda, biljojede, potrošače drugog reda, mesojede te razlagače. Ekosustav VKP ima cijeli hranidbeni lanac manje ili više bogat i složen koji definira njihovu biološku raznolikost. Migracija je značajna karakteristika ovih ekoloških sustava.

U VKP trajanje velikih poplavnih voda obično nije dugotrajno, osim u slučajevima plavljenja polja u kršu. Posljedica toga je da je priobalna zona siromašna biljnim i životinjskim vrstama, a posebno ribama i bentosom (pridnene vrste) koje se zajedno s vodom povlače nizvodno od kud su i došle. Ostali organizmi dolaze iz uzvodnih područja zajedno sa vodom te se lokalno razvijaju ovisno o trajanju faze površinskog otjecanja. Razdoblje malih voda dulje traje i povoljnije je za razvoj životnih zajednica. Biološka raznolikost je tada najveća i nastavlja se s fazom mirovanja vode.

Suha i polu-vlažna korita pogodna su za razvoj jedinstvenih biljaka i životinja koje su prilagođene velikim fluktuacijama raspoloživosti vode. Ona mogu služiti kao spremište jaja i sjemena biljnih i životinjskih vrsta koja se polažu u suhim periodima, a izlegu se i klijaju kad se voda vrati u korito. Suha korita služe kao migracijski koridori za neke životinjske vrste do mjesta gdje postoji tekuća ili stajaća voda (Tockner, 2014.). Zajednice se zadržavaju po rubu korita i u samom koritu, ako za to postoje uvjeti. Što je više finog sedimenta nataloženo na dnu korita, to je brojnost vrsta i jedinki značajnija.

Iako se presušivanje vodotoka smatra kao opasan poremećaj, u mnogim akvatičnim ekosustavima ono podupire većinu procesa otpornosti ekosustava. Na taj način ovaj poremećaj utječe na povećanje varijabilnosti staništa i biološke raznolikosti. Povremenost pojave tečenja u ekosustavima VKP ne treba se tretirati kao isključivo negativni ekološki stres, već kao ključan čimbenik u formiranju oblika i raznolikosti tih jedinstvenih sredina.

Na razvoj biljaka i opstanak životinja veliku ulogu ima brzina toka vode. Velike brzine znače gubitak finog sedimenta u koritu rijeke, pojavu čvrstog stjenovitog dna koji omogućava život samo mahovini i drugim biljkama koje su pričvršćene na čvrstu podlogu. Velike brzine omogućavaju opstanak samo dobrih plivača koji preživljavaju korištenjem hrane koju voda transportira ili koja se zadržava na obalama. Kako se smanjuje protok vode, smanjuje se i njena brzina. U tom periodu dolazi do taloženja sedimenta i formiranja finog supstrata koji na dnu omogućava život biljaka i životinja do trenutka kada voda i vlaga u tlu ne presuše. To vrijedi za lateralno i longitudinalno gibanje vode.

Površina vode i turbulencija utječu na intenzitet izmjene plinova iz zraka u vodu i obrnuto. Veće površine vodnog lica i snažnije turbulencije omogućavaju veće i brže otapanje kisika u vodi, čime se ostvaruju povoljniji uvjeti za život u njima. S druge strane, veće površine znače i veće isparavanje CO<sub>2</sub> iz vode u atmosferu, što ima i utjecaj na globalno stanje CO<sub>2</sub> i klimatske promjene.

#### 4. ZAKLJUČCI I SMJERNICE ZA DALJNI RAD

Iz svih navoda iznesenih u ovom radu proizlazi da je bitan preduvjet za postizanje uspješnog i održivog razvoja sustava VKP ključno detaljno, znanstveno zasnovano i interdisciplinarno poznavanje i tretiranje njihovih hidroloških i ekoloških vidova. Pri tome se ne smiju zanemariti niti brojni drugi prirodni i antropogeni čimbenici. Za analizu i upravljanje ekosustavima VKP nužno je sagledati ne samo dionicu vodotoka na kojoj se javlja presušivanje, već i uzvodno korito, ali i cijelo slivno područje. Uzvodno područje sliva generira hranu i vodu utječući tako na život u vodotoku i njegovim nizvodnim dionicama. Svaka promjena u slivu se odražava na ekološko stanje povremenih vodotoka i sve njihove prirodne značajke. Klimatske promjene će utjecati na mijenjanje hidroloških svojstava slivnog područja i VKP, a time i na njihove ekološke značajke. Što promjene budu veće, to će i utjecaji na ekosustave biti značajniji, a time i na ljude koji žive u tim prostorima.

Glavne prijetnje biološkoj raznolikosti u VKP su promjene hidrologije, uključujući promjene trajnosti protoka, pogoršanje kakvoće vode zbog onečišćenja, promjene morfologije korita zbog erozije i sedimentacije, gubitak ili promjena vegetacije bitne za funkcioniranje raznih životinjskih vrsta. Spomenute prijetnje i njihovi uzroci obično se podudaraju. Od osobitog je značaja, za upravljanje ekosustavom VKP pažljivo odabrati strategiju upravljanja koja se istovremeno može baviti ublažavanjem višestrukih prijetnji sa svrhom pružanja podrške biološkoj raznolikosti (Stubbington et al., 2017.b).

VKP izrazito su važni za ljude i okoliš, mnogo su veće važnosti od one koja im se danas pridaje.

Postavlja se pitanje kako u novim uvjetima najbolje upravljati i zaštititi VKP da bi se ojačala sigurnost okoliša i istovremeno osigurali uvjeti boravka ljudi na nekom prostoru. Realno je za očekivati da će klimatske promjene povećati brojnost i trajanje presušivanja, čime će ekosustavi biti snažnije ugroženi. Problemi upravljanja i korištenja VKP postaju značajniji i složeniji, što imperativno zahtijeva da ove sustave treba mnogo intenzivnije i sveobuhvatno analizirati uvažavajući sve relevantne čimbenike.

Upravljanje VKP treba značajnije unaprijediti, a prije svega ih je potrebno jasno definirati, klasificirati i zakonski regulirati. Za sada je spomenuta problematika dosta nejasna i slabo riješena, čak i u najrazvijenijim državama svijeta. VKP sastavni su dijelovi riječne mreže, ali i cijelog sliva, te se kao takovi moraju integralno tretirati u hidrološkom, ekološkom, društvenom i ekonomskom smislu.

Za početak je nužno organizirati sustavno prikupljanje i arhiviranje podatke o VKP, tj. napraviti mape VKP, stvoriti nacionalne arhive njihovih tokova i biološku raznolikost kako je to predviđeno okvirnom direktivom o vodama. Dinamika širenja i ekološka problematika povremenih tokova morat će se detaljno pratiti korištenjem hidroloških, morfoloških, bioloških, ali i klimatoloških pokazatelja kako bi se razumjela raznolikost života koji postoji u njima i kako bi se on učinkovito zaštitio. Od osobite važnosti je izučiti kako bi se populacija biljaka i životinja mijenjala kao posljedica različitog trajanja presušivanja.

Upravljanje procesima širenja VKP u prostoru i vremenu i intenziteta promjena u njima uzrokovanih klimatskim promjenama je veliki izazov za znanost i upravljanje vodama u bliskoj budućnosti.

Nužno je prepoznati potrebu za održivim upravljanjem VKP s ciljem očuvanja kvalitete i količine vode u njima te pružanja podrške njihovim ekosustavima. Da bi se to moglo postići neophodno je poboljšati konceptualno razumijevanje hidroloških i ekoloških interakcija koje pridonose očuvanju ekosustava VKP. Činjenica je da se o ovim procesima još uvijek ne zna dovoljno. U nekim državama u kojima velika većina otvorenih vodotoka spada u VKP, kao što je npr. Australija, Španjolska i sušni dijelovi SAD-a, izučavanju ove problematike posvećuje se sve veća, iako još uvijek nedovoljna pažnja. Problemi upravljanja i korištenja VKP postaju značajniji i složeniji, što imperativno zahtijeva da ove sustave treba sveobuhvatno analizirati uvažavajući sve relevantne čimbenike. U Hrvatskoj nije dovoljno prepoznato da su kod nas VKP vrlo brojni i uglavnom ugroženi te da bi stoga trebalo koncentrirati napore na njihovom izučavanju s ciljem učinkovite zaštite. Osnovna namjera autora ovog rada jest da u Hrvatskoj pokušaju potaknuti te procese, koji moraju biti interdisciplinarni i dobro organizirani. ■

## LITERATURA

- Bonacci, O. (2013.): Poljes, ponors and their catchments. U: Shroder, J.F.; Frumkin A. (ur.). *Treatise on Geomorphology*, Vol. 6. Karst Geomorphology. Academic Press, San Diego, 112–120.
- Bonacci, O. (2016.): River – the bloodstream of landscape and catchment. *Acta Hydrotechnica*, 29(50):1–12.
- Bonacci, O.; Oštrić, M.; Roje–Bonacci, T. (2017.): Prilog hidrologiji krškog izvora Rječine. *Hrvatske Vode*, 25(100):99–108.
- Bonacci, O.; Oštrić, M.; Roje–Bonacci, T. (2018.): Water resources analysis of the Rječina karst spring and river (Dinaric karst). *Acta Carsologica*, 47(2–3):123–37.
- Bonacci, O.; Roje–Bonacci, T. (2015.): Drastic hydrological changes caused by hydroelectrical development in karst: a case of the karst river Zrmanja (Croatia). *Environmental Earth Sciences*, 74(9):6767–6777.
- Boon, P.J.; Davies, B.R.; Petts, G.E. (2000.): *Global perspectives on river conservation: science, policy and practice*. Wiley, Chichester.
- Datry, T.; Bonada, N.; Boulton, A. (2017.): *Intermittent rivers and ephemeral streams – Ecology and management*. Elsevier & Academic Press, London.
- Godsey, S.E.; Kirchner, J.W. (2014.): Dynamic discontinuous stream network hydrologically driven variations in active drainage density, flowing channels and stream order. *Hydrological Processes*, 28(23):5791–5803.
- Gordon, N.D.; McMahon, T.A.; Finlayson, B.L.; Gippel, C.J.; Nathan, R.J. (2004.): *Stream hydrology: an introduction for ecologists*. Wiley, Chichester.
- Levick, L.; Fonseca, J.; Goodrich, D.; Hernandez, M.; Semmens, D.; Stromberg, J.; Leidy, R.; Scianni, M.; Guertin, D.P.; Tluczek, M.; Kepner, W. (2008.): *The ecological and hydrological significance of ephemeral and intermittent streams in the arid and semi-arid American Southwest*. U.S. Environmental Protection Agency and USDA/ARS Southwest Watershed Research Center, EPA/600/R-08/134, ARS/233046.
- Moody, T.; Wirtanen, M.; Yard, S.N. (2003.): *Regional relationships for bankfull stage in natural channels of the arid southwest*. Natural Channel Design Inc., Flagstaff, Arizona.
- Pringle, C. (2003.): What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important?. *Hydrological Processes*, 17(13):2685–2689.
- Scott, T.L.; Datry, T.; Arscott, D.B.; Tockner, K. (2010.): Emerging concepts in temporary–river ecology. *Freshwater Biology*, 55(4):717–738.
- Stubbington R.; Bogan M.T.; Bonada N.; Boulton A.J.; Datry T.; Leigh C.; Vorste R.V. (2017.a): The biota of intermittent rivers and ephemeral streams: Aquatic invertebrates. *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. Ecology and Management*, 217–243.
- Stubbington, R.; England, J.; Wood, P.J.; Sefton, C.E.M. (2017.b): Temporary streams in temperate zones: recognizing, monitoring and restoring transitional aquatic–terrestrial ecosystems. *WIREs Water*, 4(4):e1223.
- Tockner K. (2014.): *When is a river not a river? Challenges for managing temporary waterways*. <https://freshwaterblog.net/2014/06/17/when-is-a-river-not-a-river-challenges-for-managing-temporary-waterways/> (posjet 15. listopada 2018.)
- Žutinić, P.; Petrić, I.; Gottstein, S.; Gligora Udovič, M.; Kralj Borojević, K.; Kamberović, J.; Kolda, A.; Plenković–Moraj, A.; Ternje, I. (2018.): Microbial mats as shelter microhabitat for amphipods in an intermittent karstic spring. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 419, 7 str.
- Ward, J.V. (1989.): The four-dimensional nature of lotic ecosystem. *Journal of the North American Benthological Society*, 8(1):2–8.