



Utjecaj izgradnje hidroelektrana na rijeku Dravu

Alen Čuljak, Slavica Antunović, Teuta Benković-Lačić, Krunoslav Mirosavljević, Božica Japundžić-Palenkić, Robert Benković

Nacrtač – Abstract

Rijeke su integralni dio tla, nastale u turbulentnim vremenima oblikovanja Zemlje, i mijenjale su se tijekom njezine povijesti. Raznolikost rijeka ne odražavaju samo različiti tipovi tla kroz koje one protječu nego ta raznolikost ovisi i o promjeni godišnjih doba i razlika između vlažnih i suhih godina. Drava je srednjoeuropska rijeka i jedna od najvažnijih pritoka Dunava. U prirodnim uvjetima pronos sedimenta u Dravi je uravnotežen, što znači da se na određenom području odnesena količina sedimenta nadomjesti istom količinom s uzvodnih dijelova sliva. Na svom toku kroz Hrvatsku Drava je tri puta pregrađena na dijelu toka uzvodno od ušća Mure, dok je prije ulaska u Hrvatsku čak dvadeset puta pregrađena. Izgradnjom hidroakumulacijskih jezera u sklopu hidroenergetskih objekata mijenja se prirodni režim protoka, javljaju se značajne hidrološke i morfološke promjene na mjestu pregrada, kao i na dijelu toka uzvodno i nizvodno od pregrada. Izgradnja brana na rijekama smanjuje broj vrsta biljnoga i životinjskoga svijeta mijenjajući lokalne stanišne uvjete. Izgradnjom hidroelektrana dolazi i do kanaliziranja pojedinih dijelova vodotoka, gdje se mijenjaju erozijsko-sedimentacijski procesi u samom koritu. Rijeka koja je u prirodnom stanju sa svim svojim elementima najbolja je obrana od sezonskih poplava. Izgradnjom hidroenergetskih objekata mijenja se hidrološki režim, odnosno uvelike osciliraju vrijednosti protoka na pojedinim dijelovima rijeke Drave, što ima utjecaja na poplavne nizine nizvodno te na biljne vrste karakteristične za tu vrstu staništa. Glavnina biljnih vrsta koje su prilagođene poplavnim stanišnim uvjetima izgradnjom akumulacije izgubile bi većinu tla koje je pogodno za naseljavanje.

Ključne riječi: Drava, hidroelektrana, akumulacija, šumski ekosustavi, hrast lužnjak, sediment

1. Uvod – Introduction

Rijeke su integralni dio tla, nastale u turbulentnim vremenima oblikovanja Zemlje, i mijenjale su se tijekom njezine povijesti. Uz vodu one pronose i otopljene minerale i hranjive tvari te žive organizme. Njihova stalno promjenjiva korita, obale i podzemna voda ispod njih neodvojivi su dijelovi rijeke. Čak i livade, šume, močvare i ostaci poplavljenih ravnica mogu se promatrati kao dijelovi rijeke, ali i rijeka kao njihov dio.

Obalna područja posebno su osjetljiva na varijacije u hidrološkom ciklusu i služe kao dobri pokazatelji ekoloških promjena uzrokovanih radom hidroenergetskih objekata. Obalni ekosustavi nude pogodna staništa za mnoge vrste i funkcioniraju kao filteri između kopnenih i vodenih staništa te služe

kao putovi za raspršivanje i migraciju organizama (Nilsson i Berggren 2000). Obalni ekosustavi također imaju gospodarske i rekreacijske vrijednosti.

Rijeka je Drava u najvećem dijelu očuvala svoja prirodna vodena i močvarna staništa duž srednjega i donjega toka te je važno stanište brojnim skupinama biljaka i životinja, od kojih su neke i endemične. U ovom radu pokušat će se odgovoriti na pitanje ekološkoga očuvanja riječnoga kanala i poplavnih ravnica rijeke Drave u njezinu zaobalju. Opisat će se antropogeni pritisci na rijeke zbog izgradnje brana i s tim povezane ekološke promjene vodnoga režima, transporta sedimenta, stabilnosti obala i biološke raznolikosti (Lóczy 2019). Prema publikaciji Europske komisije (2018) u Europskoj su uniji do 2011. godine sagrađene otprilike 23 tisuće hidroenergetskih postrojenja, od čega se oko 91 % odnosi na male hidro-

elektrane, manje od 10 MWh, koje generiraju otprilike 13 % električne energije koju zemlje Europske unije dobivaju iz toga izvora. Velike hidroelektrane imaju samo 9 % udjela u infrastrukturnom, ali otprilike 87 % u energetske smislu.

2. Objekt istraživanja – *Object of research*

Rijeka Drava nalazi se na jugu središnje Europe i druga je najveća pritoka Dunava (Dadić i dr. 2015). Izvire u južnom Tirolu u Italiji odakle teče prema Republici Austriji, Republici Sloveniji te Republici Hrvatskoj, gdje se kod Osijeka ulijeva u Dunav koji teče dalje prema Republici Srbiji. Ukupna joj je slivna površina 42 238 km², što ju čini jednom od najvažnijih pritoka Dunava (Trockner i dr. 2009). Prema Grlici (2008: 5–8) ukupna joj je dužina 725 km, a izvor joj se nalazi na 1175 m nadmorske visine, kišno-ledenjačkoga je režima s malom vodenom količinom zimi i velikom krajem proljeća i početkom ljeta. Rijeka se Drava ubraja u skupinu brzih rijeka s većim padom, što je rezultiralo gradnjom čak 23 hidroelektrane u Republici Austriji, Republici Slove-

niji i Republici Hrvatskoj (Huđek i dr. 2020) (slika 1). Tri hidroelektrane u Hrvatskoj izgrađene su u vremenu od 1975. do 1989. godine. Dio riječne doline Drave, koji obuhvaća ušće Drave u Dunav, s posebnim naglaskom na Kopački rit, najveće je priobalno močvarno područje cijeloga srednjega Dunava s otprilike 25 tisuća hektara površine (Schwarz 2018). Drava ima relativno povoljan raspored protoka tijekom godine zahvaljujući velikoj akumulaciji vode u snijegu i ledu alpskih ledenjaka te je ona zbog tih obilježja pogodna za hidroelektrane (Režek 2003).

Hidrološki režim rijeke Drave određen je pripadnosti alpskoj regiji, što znači da se brzim otapanjem ledenjaka povećava vodni potencijal koji svoj maksimum ima od svibnja do srpnja (Hrvatinić 1998, Schwarz 2018). Sve veći broj rijeka u Europskoj uniji prolazi kroz hidrološke promjene nastale antropogenim utjecajem radi osiguravanja vode za poljoprivredne djelatnosti i za industriju. Najveći je utjecaj na hidrološki režim rijekâ izgradnja hidroenergetskih objekata jer se tako mijenjaju struktura i procesi karakteristični za ekosustav tekućica.



Slika 1. Sliv rijeke Drave i hidroelektrane izgrađene duž njege (Schwarz 2019)

Fig. 1 Drava River Basin and hydropower plants built alongside it (Schwarz 2019)

3. Metoda istraživanja – *Research methods*

Za istraživanje utjecaja izgradnje hidroenergetskih objekata na rijeku Dravu prvo su prikupljeni znanstveni i stručni radovi koje sadrže podatke o hidrologiji i geomorfologiji rijeka na kojima su oni izgrađeni, ekologiji vrsta koje su životno vezane uz vodena staništa te o utjecaju tih objekata na okoliš u kojem se nalaze. Evaluirane su primijenjene metode, istraživanje i značenje rezultata te su u daljnjem tijeku korištene one publikacije koje su prikladne za donošenje utemeljenih zaključaka o temi ovoga rada, odnosno koje su sadržavale kao temu istraživanja raznih antropogenih utjecaja na naplavne ravnice rijeka.

3.1 Pregled dosadašnjih istraživanja – *Overview of previous research*

Energetski doprinos hidroelektrana u obnovljivim izvorima energije u Europskoj uniji iznosi 41,7 %, a taj se udio smanjuje na 11,4 % ako se taj doprinos promatra kao dio ukupne proizvodnje električne energije u Europskoj uniji. Na rijekama u Republici Hrvatskoj nalaze se 23 hidroelektrane s ukupnim kapacitetom 452 MW (Huđek i dr. 2020), od kojih tri na rijeci Dravi (tablica 1). Od toga iznosa 438 MW otpada na 6 velikih hidroelektrana, 11 MW na 5 srednjih i samo 3 MW na 12 malih hidroelektrana.

Tablica 1. Osnovni podaci za tri hidroelektrane na rijeci Dravi (prema Bonacci i Oskoruš 2010)

Table 1 Basic data for three HPPs on Drava River (according to Bonacci and Oskoruš 2010)

Hidroelektrana <i>Hydro power plant</i>	Varaždin	Čakovec	Dubrava
Početak rada <i>Start of work</i>	1975.	1982.	1989.
Ugrađeni protok, m ³ /s <i>Built-in flow, m³/s</i>	450	500	500
Srednja godišnja proizvodnja, GWh/g <i>Average annual production, GWh/g</i>	476	400	385
Obujam akumulacije, 10 ⁶ m ³ <i>Accumulation volume, 10⁶ m³</i>	8,0	51,1	93,5
Vodena površina akumulacije, km ² <i>Reservoir water surface, km²</i>	3,0	10,5	16,6
Maksimalna količina vode u akumulaciji <i>Maximum amount of water in reservoir</i>	191 000	168 000	149 600
Duljina od ulaza do izlaza, km <i>Length from entrance to exit, km</i>	14,6	8,5	6,8

U tablici 2 navedene su mjerne postaje duž rijeke Drave s ovim podacima: udaljenost od ušća u rijeku Dunav, područje sliva, srednja protočnost i nadmorska visina.



Slika 2. Hidrološke i meteorološke postaje na donjem toku rijeke Drave (Zhu i dr. 2019a)

Fig. 2 Hydrological and meteorological stations on lower flow of Drava River (Zhu et al. 2019a)

Tablica 2. Osnovni podaci za četiri mjerne postaje na rijeci Dravi (prema Bonacci i Oskoruš 2010)**Table 2** Basic data for four gauging stations along Drava River (according to Bonacci and Oskoruš 2010)

Mjerna postaja <i>Measuring station</i>	Udaljenost od ušća, km <i>Distance from river mouth, km</i>	Područje sliva, km ² <i>Basin area, km²</i>	Srednja vrijednost protoka, m ³ /s <i>Mean flow value, m³/s</i>	Nadmorska visina, m <i>Altitude, m</i>
Varaždin	285	15,616	347	166,06
Botovo	227	31,038	510	121,55
Terezino Polje	152	33,916	516	100,67
Donji Miholjac	80,5	37,142	537	88,57

Premda se hidroelektrane promatraju kao obnovljivi izvor energije, postoji opravdana mogućnost povećanoga stvaranja stakleničkih plinova zbog značajnih hidromorfoloških pritiska koji tekućicu pretvaraju u stajaćicu (Deemer i dr. 2016). Osim toga hidroelektrane imaju štetan utjecaj na biološki integritet. Biološki je integritet sposobnost održavanja uravnotežene, integrirane i prilagodljive zajednice organizama s raznolikim sastavom vrsta i funkcionalnom organizacijom usporedivom s prirodnim staništem promatrane regije (James i Dudley 1981). Rijeke, jezera i priobalna područja imaju važnu ulogu u životu vodenih organizama koji se u njima hrane, razmnožavaju i polažu jajašca (Jelić i dr. 2012). Uloga je nizinskih šuma vrlo naglašena u hidrologiji i vodozaštiti, a značajna je u klimatskom utjecaju zbog vezivanja ugljika i otpuštanju kisika, očuvanja bioraznolikosti i zaštiti prirode (Prpić 2003). Svaka barijera na riječnom toku može utjecati na normalne hidrološke procese i poremetiti ekološki kontinuitet slatkovodnih sustava kroz fragmentaciju rijeke koja onemogućuje prirodne migracije vodenih organizama (Liermann i dr. 2012). Prpić (2003) navodi kako su izgradnja autocesta, riječnih kanala i kanala među rijekama imali negativan utjecaj na nizinske šumske sustave hrasta lužnjaka i jasena u Republici Hrvatskoj. Velike štete nastale u Varaždinskim podravskim šumama, šumi Repaš i Svibovica posljedica su izgradnje hidroelektrana Ormož, Varaždin i Dubrava (Prpić 2001). Autor zaključuje kako svaki tehnički zahvat u prostor koji je promijenio vodne prilike u staništima nizinskih šuma, ima za posledicu sušenje hrasta lužnjaka, a nešto manje i drugih vrsta drveća nizinskih šuma.

Sediment koji čini prirodan dio vodenih ekosustava ključan je za njihovo funkcioniranje (Tamas 2018). U prirodnim rijekama postoji stalan nizvodni transport sedimenta koji održava ekološku strukturu i funkciju rijeka, dok poprečne strukture poput brana, pregrada i dr. značajno pridonose smanjenju pronosa sedimenta (Vorosmarty i dr. 2003). U velikim se akumulacijama može nakupiti i do 90 % sedimenta koji putuje rijekom, što može dovesti do smanjenja korisnoga obujma akumulacije i njezine

funkcije, a u isto vrijeme i uzrokovati povećanu eroziju korita i obala rijeke nizvodno od akumulacije (Prpić 2001, Richter i dr. 2016). Navedeno pridonosi hidrološkoj i morfološkoj degradaciji rijeke nizvodno od brane (Wiatkowski i Tomczyk 2018), što ima značajan utjecaj na riječni tok (Bonacci i Roje-Bonacci 2003). Naime, na dijelu rijeke gdje je izgrađena akumulacija poplavljuje se dolina zbog čega se smanjuje dubina vodenoga stupca uzrokujući promjene u načinu vlaženja tla i pojavu stajaćica u zaoblju, a u doba obilnijih kiša okolno područje podložnije je poplavama jer je podzemlje saturirano vodom i ne može upiti dodatne količine vode (Barsch i dr. 2002).

Utjecaj vodostaja rijeke Drave na naplavnu hrastovu šumu očituje se u sve većem broju osušenih starih hrastova (Prpić 2001, 2003). Prema Prpiću (*isto*) uzrok sušenja hrasta lužnjaka u šumi Repaš, koje se primjećuje od 1987. godine, sniženje je razine podzemne vode zbog erozije dna rijeke Drave koje je uvjetovano izgradnjom uzvodnih elektrana. Dugoročni trend minimalnoga vodostaja u Terezinu Polju, koje se nalazi nasuprot Barcsu u Republici Mađarskoj, pokazuje pad od preko 3 m u zadnjih 100 godina (Biondić i dr. 1999). Sukladno navedenim konstatacijama na Dravi su potrebne hitne mjere obnove u obliku proširivanja korita rijeke i uklanjanja (gdje je to moguće) odnosno izmještanja nasipa dalje od korita (Mohl i Schwarz 1998b). Krajem 19. stoljeća počelo je produbljivanje riječnoga korita, što je normalan prirodni proces, ali je zasigurno ubrzan izgradnjom 12 hidroelektrana na Dravi u Republici Austriji te još 8 u Republici Sloveniji do 1970. godine, gdje je vidljivo produbljivanje korita zbog zadržavanja vučenoga nanosa u akumulacijama u Austriji, Sloveniji i na kraju u Hrvatskoj. Nizvodno od brana protok se mijenja ovisno o radu pojedine hidroelektrane, a istodobno se povećava dubina vodenoga stupca zbog čega često dolazi do degradacije ekoloških uvjeta koji su prisutni u tekućici i do promjene erozijsko-sedimentacijskih procesa. Protočnost je rijeke razlika između unosa vode u sliv pomoću oborine i gubitka vode evapotranspiracijom, odnosno kroz atmosfersko

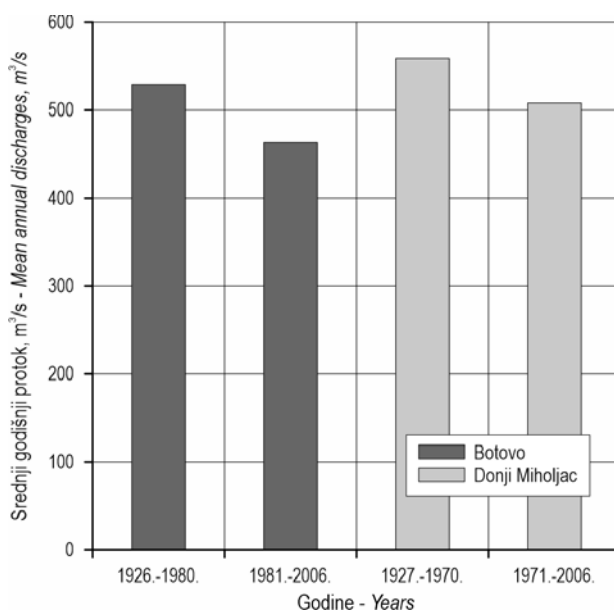
isparavanje i gubitak vode životnim procesima biljaka isparavanjem.

4. Rezultati i rasprava – Results and discussion

4.1 Promjene u vrijednosti srednjega godišnjega protoka – Changes in value of mean annual flow

U hidrologiji je protočnost definirana kao volumetrijska brzina protoka vode koja se transportira kroz zadanu površinu presjeka. Protočnost rijeke Drave može se promatrati u dva razdoblja, prije i poslije izgradnje hidroelektrana na gornjem toku rijeke Drave u Republici Hrvatskoj (Bonacci i Oskoruš 2010). U prvom promatranom razdoblju, od 1926. do 1980. godine, srednja je godišnja protočnost bila nepromijenjena, dok smanjenje protoka rijeke Drave započinje 1981. godine i traje sve do 2006. godine, odnosno do zadnje godine za koju su autori imali podatke. Tako je za razdoblje od 1926. do 1980. godine, na mjernoj postaji Botovo (slika 3), prosječna vrijednost protoka na godišnjoj razini iznosila 529 m³/s, a za kasnije razdoblje 463 m³/s, što je smanjenje od 66 m³/s, odnosno 12,48 %. Isti trend autori su primijetili i na mjernoj postaji Donji Miholjac. Prije izgradnje hidroelektrana u Republici Hrvatskoj, u prvom promatranom razdoblju na mjernoj postaji Donji Miholjac (slika 3), prosječna vrijednost protoka na godišnjoj razini iznosila je 559 m³/s, dok je u drugom promatranom razdoblju iznosila 508 m³/s, što je smanjenje od 51 m³/s, odnosno 9,12 %. Jedina je razlika u promatranim podacima što trend smanjenja protočnosti na postaji Donji Miholjac započinje 10 godina prije, 1971. godine. Razlika među izraženim vrijednostima za obje mjerne postaje statistički je značajna ($P < 0,01$). Hidroelektrane Varaždin i Čakovec puštene su u pogon 1975. godine, odnosno 1982. godine. Premda se ne može *ad hoc* tvrditi kako je upravo izgradnja dviju spomenutih hidroelektrana uzrok smanjenja protočnosti rijeke Drave, ne može se ni zanemariti povezanost dvaju promatranih razdoblja. Prema Prpiću (2001) vodotehnički zahvati u prostore nizinskih šuma izazivaju promjene u vodnim odnosima među različitim staništima šumskih ekoloških sustava, a čija je posljedica narušavanje biološke ravnoteže šume te sušenje stabala hrasta lužnjaka i ostalih vrsta drveća.

Jednako tako, treba uzeti u obzir mogućnost da su promjene nastale kao posljedica klimatskih promjena, regulacije rijeke, drenaže okolnoga područja ili drugoga antropogenoga djelovanja, što zahtijeva daljnja istraživanja u tom slučaju.



Slika 3. Promjene u vrijednosti srednjega godišnjega protoka (prema Bonacci i Oskoruš 2010)

Fig. 3 Changes in mean annual discharges (according to Bonacci and Oskoruš 2010)

4.2 Promjene u godišnjoj količini suspendiranoga nanosa – Changes in annual amount of suspended sediment

Nastanak suspendiranoga nanosa u riječnom slivu rezultat je trošenja i transporta tla unutar sliva. Nanos se stvara atmosferskim utjecajima na izloženim stijenama i kretanjem rastresitoga materijala nizvodno (Bridge 2003). U normalnim uvjetima pronos suspendiranoga nanosa u Dravi je uravnotežen, što znači da se na određenom području odnesena količina nanosa nadomjesti istom količinom s uzvodnih dijelova. Uz pronos suspendiranoga nanosa koji se kreće od izvora prema ušću (uzdužni pronos), postoji i bočna erozija koja donosi nanos s obala rijeke. Erozijski procesi, prijenos i taloženje suspendiranoga nanosa određuju nastanak i održavanje cijeloga niza staništa. Drava je rijeka koju uz protok vode karakterizira i znatan pronos pijeska i šljunka. Nizvodno od ušća Mure Drava godišnje pronosi oko 250 000 tona suspendiranoga nanosa u svom riječnom koritu (Bonacci i Oskoruš 2008). Sukcesija zajednica, vrsta i staništa neprestano se odvija, i to relativno velikom brzinom, odnosno unutar jednoga desetljeća (Belčić 2004). Osim toga postoji i plivajući nanos koji ne čine samo anorganske čestice tla koje rijeka pronosi svojim koritom nego i organske čestice koje su s ekološke strane mnogo važnije u

suspendiranom sedimentu jer se tu nalaze hranjive tvari, organska materija, mikroorganizmi, sjemenke raznih biljaka i jajašca životinjskih vrsta (Bonacci i Oskoruš 2010). Prema istim autorima podaci koji se odnose na mjerenja suspendiranoga nanosa dobiveni su u donjem toku rijeke Drave na mjernim postajama Varaždin, Botovo i Donji Miholjac. Podaci dobiveni na mjernoj postaji Varaždin odnose se na razdoblje od 1960. do 1981. godine, jer u 1982. godini ta mjerna postaja prestaje raditi zbog izgradnje hidroelektrane Čakovec. Podaci dobiveni na mjernim postajama Botovo i Donji Miholjac odnose se na razdoblje od 1968. do 2006. godine. Promatrajući trendove u dobivenim podacima, svako se razdoblje može podijeliti na manja razdoblja, odnosno vremenske odsječke prateći smanjenje prosječne godišnje vrijednosti u pronosu suspendiranoga nanosa u rijeci Dravi.

Prvi se podaci o prosječnim godišnjim vrijednostima suspendiranoga nanosa odnose na razdoblje od 1960. do 1967. godine, a postoje jedino za mjernu postaju Varaždin (slika 4). Na toj je postaji u tom razdoblju izmjerena prosječna vrijednost količine suspendiranoga sedimenta u iznosu od 950 731 tonu godišnje (Bonacci i Oskoruš 2010).

U drugom promatranom razdoblju od 1968. do 1974. godine podaci o prosječnim godišnjim vrijednostima suspendiranoga nanosa prikupljeni su na trima postajama: Varaždin, Botovo i Donji Miholjac (slika 4). Na mjernoj postaji Varaždin izmjerena je prosječna vrijednost količine suspendiranoga sedimenta za promatrano razdoblje u iznosu 417 619 tona godišnje, što je smanjenje od prosječno 533 112 tona godišnje, odnosno 56,07 % u odnosu na prvo promatrano razdoblje od 1960. do 1967. godine. Hidroelektrana Zlatoličje (Republika Slovenija), koja se nalazi preko 60 kilometara uzvodno od navedene mjerne postaje, puštena je u rad 1969. godine. Prema tipu elektrana je protočna s akumulacijom od 4,5 milijuna m³, što bi moglo objasniti tako nagli pad u prosječnim vrijednostima količine suspendiranoga sedimenta. Na mjernoj postaji Botovo, koja se nalazi 58 kilometara nizvodno od postaje Varaždin, zabilježena je prosječna vrijednost količine suspendiranoga sedimenta za promatrano razdoblje u iznosu od 1 001 186 tona godišnje. Na mjernoj postaji Donji Miholjac, koja se nalazi 146,5 kilometara nizvodno od postaje Botovo, izmjerena je prosječna vrijednost količine suspendiranoga sedimenta za promatrano razdoblje u iznosu 1 214 785 tona godišnje (Bonacci i Oskoruš 2010). To su prvi dostupni podaci o prosječnim godišnjim vrijednostima suspendiranoga nanosa za mjerne postaje Botovo i Donji Miholjac.

Treće promatrano razdoblje obuhvaća vrijeme između 1975. i 1981. godine. Podaci o prosječnim godišnjim vrijednostima količine suspendiranoga nanosa prikupljeni su na trima postajama: Varaždin, Botovo i Donji Miholjac (slika 4). Na mjernoj postaji Varaždin izmjerena je prosječna vrijednost količine suspendiranoga nanosa za promatrano razdoblje u iznosu od 173 231 tonu godišnje, što je smanjenje od 244 388 tona godišnje, odnosno 58,52 % u odnosu na drugo promatrano razdoblje (1968–1974). Smanjenje je čak i veće ako se uspoređi s prvim promatranim razdobljem (1960–1967) i iznosi 777 500 tona godišnje, odnosno čak 81,78 %. Hidroelektrana Varaždin, koja se nalazi 10 kilometara uzvodno od mjerne postaje, puštena je u rad 1975. godine. Prema tipu elektrana je protočna s akumulacijom obujma 800 m³. S velikom vjerojatnosti može se pretpostaviti kako je to uzrok daljnjemu smanjenju prosječnih godišnjih količina suspendiranoga nanosa izmjerenih na mjernoj postaji Varaždin, jer podaci o drugim infrastrukturnim radovima na rijeci Dravi za promatrano razdoblje nisu dostupni, odnosno nema ih. Na mjernoj postaji Botovo također dolazi do smanjenja izmjerenih prosječnih količina suspendiranoga nanosa te one za promatrano razdoblje iznose 834 933 tone godišnje, što je smanjenje od prosječno 166 253 tone godišnje, odnosno 16,61 %. Na mjernoj postaji Donji Miholjac neznatno se povećava prosječna količina suspendiranoga nanosa u iznosu od 87 482 tone godišnje te je izmjeren prosjek za promatrano razdoblje od 1 302 267 tona godišnje, što je povećanje od 7,2 % u promatranom razdoblju (Bonacci i Oskoruš 2010). Smanjenje vrijednosti za mjernu postaju Botovo nije tako drastično kao na mjernoj postaji Varaždin zbog nekoliko razloga. Prvi od njih je taj što mjerenja na njoj nisu rađena prije izgradnje hidroelektrane Zlatoličje (Republika Slovenija) koja ima 5770 puta veću akumulaciju od hidroelektrane Varaždin i 25 % više ukupne priključne snage, 127 MW naspram 95 MW kod hidroelektrane Varaždin. Dalje, hidroelektrana Varaždin smještena je samo 10 kilometara uzvodno od mjerne postaje Varaždin pa Drava nema mogućnost u tako kratkom intervalu nadomjestiti izgubljeni suspendirani nanos, dok je mjerna postaja Botovo udaljena 68 kilometara nizvodno od hidroelektrane Varaždin te je veća mogućnost rekuperacije suspendiranoga nanosa prirodnim putem. Treći je razlog manja površina riječnoga sliva za mjernu postaju Varaždin koji iznosi 15 616 km² nasuprot površini riječnoga sliva za mjernu postaju Botovo od 31 038 km². Dodatno je istraživanje literature potrebno kako bi se objasnilo blago povećanje prosječne godišnje količine suspendiranoga nanosa na mjernoj postaji Donji Miholjac. Može se pretpostaviti kako

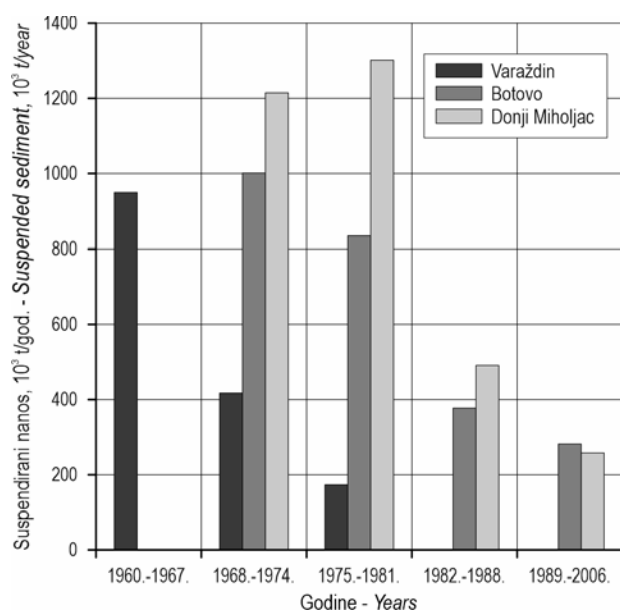
je površina riječnoga sliva mjerena na toj postaji (37 142 km²), kao i udaljenost od 214,5 kilometara od hidroelektrane Varaždin, dovoljno za prirodnu remedijaciju suspendiranoga nanosa.

Četvrto promatrano razdoblje obuhvaća vrijeme od 1982. do 1988. godine, a podaci o prosječnim vrijednostima količine suspendiranoga nanosa prikupljeni su na dvjema postajama, Botovo i Donji Miholjac (slika 4). Mjerna postaja Varaždin prestala je raditi u 1982. godini zbog izgradnje hidroelektrane Čakovec. Bonacci i Oskoruš (2010) daju podatke za mjernu postaju Botovo, na kojoj su izmjerene prosječne vrijednosti suspendiranoga nanosa u tom razdoblju od 377 118 tona godišnje, što je smanjenje od prosječno 457 815 tona godišnje, odnosno 54,83 % u odnosu na ranije promatrano razdoblje (1975–1981). Smanjenje u prosječnim godišnjim vrijednostima količine suspendiranoga nanosa još je izraženije ako se usporede s vrijednostima iz razdoblja 1968–1974. godine. U tom slučaju smanjenje iznosi prosječno 624 068 tona godišnje, odnosno 62,33 %. Na mjernoj postaji Donji Miholjac izmjerene su prosječne godišnje vrijednosti količine suspendiranoga nanosa za promatrano razdoblje od 490 029 tona godišnje, što je smanjenje od prosječno 812 138 tona godišnje, odnosno 62,36 % u odnosu na ranije promatrano razdoblje (1975–1981). Hidroelektrana Čakovec puštena je u rad 1982. godine i prema tipu elektrana je protočna s akumulacijom obujma 5160 m³ i snage 77,44

MW, a prosječna godišnja proizvodnja električne energije iznosi 360 GWh. Smještena je 48 kilometara uzvodno od mjerne postaje Botovo, a 198 kilometara uzvodno od mjerne postaje Donji Miholjac. Može se pretpostaviti kako je elektrana, zajedno s pripadajućom akumulacijom, pridonijela smanjenju protočnosti rijeke Drave, što se posljedično odrazilo i na prosječnu godišnju količinu suspendiranoga nanosa. Ne može se sa sigurnošću sve uočene trendove objasniti infrastrukturnim radovima na rijeci Dravi, a bez uključivanja dodatnoga istraživanja i analiziranja podataka na konkretnim mjernim postajama u duljem razdoblju.

Peto promatrano razdoblje obuhvaća vrijeme od 1989. do 2006. godine, a podaci o prosječnim vrijednostima količine suspendiranoga nanosa prikupljeni su na dvjema postajama, Botovo i Donji Miholjac (slika 4). Bonacci i Oskoruš (2010) daju podatke s mjerne postaje Botovo na kojoj je izmjerena prosječna količina suspendiranoga nanosa u tom razdoblju od 280 862 tona godišnje, što je manje od prosječnih 96 256 tona godišnje, odnosno za 25,52 % u odnosu na ranije promatrano razdoblje (1982–1988). Ako usporedimo dobivene vrijednosti s razdobljem od 1975. do 1981. godine, tada je smanjena prosječna količina suspendiranoga nanosa za 554 071 tonu godišnje, odnosno za 66,36 %. Na mjernoj postaji Donji Miholjac izmjerena je prosječna količina suspendiranoga nanosa za promatrano razdoblje u iznosu od 258 454 tona godišnje, što je smanjenje od 231 575 tona godišnje, odnosno 47,28 % u odnosu na ranije promatrano razdoblje (1982–1988). Smanjenje prosječne količine suspendiranoga nanosa još je veće ako to usporedimo s razdobljem 1975–1981. i iznosom 1 043 813 tona godišnje, odnosno 80,15 %. U promatranom je razdoblju izgrađena još jedna hidroelektrana, zadnja od triju višenamjenskih hidroelektrana na rijeci Dravi. Hidroelektrana Dubrava puštena je u rad 1989. godine i prema tipu elektrana protočna je s akumulacijom obujma 9350 m³. Postojeća je snaga elektrane 79,78 MW, a prosječna godišnja proizvodnja električne energije iznosi 350 GWh.

Opterećenje suspendiranim sedimentom za promatranu postaju Botovo smanjilo se dodatnih 65 % ako se usporede podaci za dva razdoblja, 1967–1981. ($0,922 \times 10^6$ t/godišnje) i 2003–2017. ($0,323 \times 10^6$ t/godišnje). Za postaju Donji Miholjac smanjenje je još veće i iznosi oko 81 % ako se usporede razdoblja 1971–1981. ($1,383 \times 10^6$ t/godišnje) i 2007–2017. ($0,263 \times 10^6$ t/godišnje) (Zhu i dr. 2019b). Prema autorima nagla promjena režima sedimenta i naglo smanjenje koncentracije suspendiranoga nanosa na promatra-



Slika 4. Promjene u godišnjoj količini suspendiranoga nanosa (prema Bonacci i Oskoruš 2010)

Fig. 4 Changes in annual suspended sediment load (according to Bonacci and Oskoruš 2010)

nim postajama započelo je u 80-im godinama 20. stoljeća, što koincidira s izgradnjom i radom akumulacija te provedbom antropogenih mjera na rijeci Dravi.

Stickler i dr. (2013) proučavali su ovisnost proizvodnje hidroenergije o šumskom sustavu koji okružuje rijeku, kako na lokalnoj razini promatrajući sliv rijeke Xingu, tako i na regionalnoj razini promatrajući sliv rijeke Amazone. Simulirano krčenje šuma u slivu rijeke Xingu (*Xingu Basin*) uzrokovalo je povećanje protoka. Krčenje 20 %, odnosno 40 % šuma dovelo bi do povećanja protoka od 4 % odnosno 10 % u odnosu na referentno stanje prirodne pošumljenosti. Povećanje je protoka posljedica niže evapotranspiracije vegetacije koja bi zamijenila šumu bilo da se radi o pašnjacima ili nasadima usjeva. Ako se u simulaciju uključe regionalni pokazatelji, koji obuhvaćaju sliv cijele rijeke Amazone (*Amazon Basin*), odgovor je bitno drugačiji. U tom slučaju, ako simulacija pokazuje opadanje šumskoga pokrivača na regionalnoj razini za 15 % i 40 %, opada i razina oborine u slivu rijeke Xingu, poništavajući tako pozitivan učinak smanjenja šumskoga pokrivača rijeke Xingu na sam protok. Protok opada za 6–13 % u simulaciji koja predviđa smanjenje šumskoga pokrivača po sadašnjim stopama regionalnoga krčenja od 15 %, a u simulaciji koja predviđa 40 % krčenja šuma protok opada za 30–36 % u usporedbi s referentnim, prirodnim stanjem.

Razlike u smanjenju protoka rezultat su smanjenja oborine koje je veće od smanjenja evapotranspiracije unutar sliva rijeke Xingu. Autori su spoznaje o smanjenju protoka upotrijebili kako bi izračunali posljedice koje će to imati na proizvodnju električne struje. Prema njihovim simulacijama može se očekivati smanjenje u iznosu od 38 % od planiranoga energetskoga doprinosa hidroelektrane. Soares-Filho i dr. (2006) iznose procjenu da će do 2050. godine nestati ukupno 40 % amazonske šume zbog trenutne poljoprivredne ekspanzije. Ako se to uzme u obzir pri izradi simulacije ovisnosti generiranja električne energije o zastupljenosti šumskoga pokrivača u slivu rijeke Amazone te ako se uzmu u obzir simulirani neizravni učinci šuma na oborinu, srednji godišnji potencijal proizvodnje električne energije mogao bi se smanjiti na 25 % maksimalno instaliranoga kapaciteta. Učinak klimatskih promjena osjeti se u promjeni u vodnoj bilanci, ugrožavajući tako jednako ekosustave prirodnih vodnih sustava te mogućnost korištenja samih vodnih resursa (Bonacci 2014).

Prema Planu upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. (2016) prepoznat je intenzitet porasta

vremenske neravnomjernosti vodnoga režima, što posljedično može utjecati na zdravlje i sigurnost ljudi te gospodarstvo u cjelini. Uočene vremenske neravnomjernosti vodnoga režima odgovor su hidrološkoga režima na klimatske promjene, a mogu se očitovati na nekoliko načina. Jedan je produženo trajanje malovodnih razdoblja i pojava presušivanja na lokacijama na kojima to prije nije bilo zabilježeno. Drugi je produženo trajanje razdoblja velikih vodostaja, a treći povećanje maksimalnih protoka i razina.

Promjene u priobalnoj vegetaciji velikih naplavnih rijeka vrlo često su praćene promjenom u hidrologiji rijeke. Poiani i dr. (2000) navode da je trajanje poplava s izlivanjem sedimenta pojedinačno najvažnija pokretačka snaga naplavne ravnice rijeke Yampa u Coloradu u SAD-u. Autori su simulirali uvjete bez poplave kroz određeno razdoblje, predviđajući kako će se biljne vrste naplavne nizine nositi s promjenama u vodnom režimu rijeke. Rezultati simulacija pokazali su kako bi se predviđena količina zreloga pamukova drveta postupno smanjila za 50 % u razdoblju od 120 godina, a potpuno bi nestala za 450 godina. Slične rezultate dobili su i Rood i Heinze-Milne (1989) za rijeku Old Man u Alberti u Kanadi te Johnson (1992) za rijeku Missouri u Montani u SAD-u. Zbog velikih promjena u riječnoj morfologiji rijeke Drave svi su se dinamični tipovi staništa smanjili (Mohl i Schwarz 1998a). U zadnjih 100 godina površina vode smanjila se za 65 %, a otvorena staništa kao što su otoci, šljunčani i pješčani sprudovi smanjili su se za 92 %. Bez procjene utjecaja na okoliš dijelovi su rijeke nasipima i iskopavanjima pretvoreni u dijelove novopredloženoga stabiliziranoga ritskoga koridora. Takvi se radovi provode čak i unutar strogo zaštićenih područja kao što je ušće Mure (Schneider-Jacoby 1999). Stabiliziranje protočnosti nakon akumulacije smanjuje veličinu i površinu naplavnoga područja, a takvi kumulativni učinci ogledaju se u poremećaju obalnoga ekosustava, promjenama u trofičkoj strukturi te smanjenju raznolikosti organizama koji su specifično prilagođeni periodičnim poplavama te prinosom hranjivih tvari i sedimenta koji s time dolazi (Ward i Stanford 1995). Prema Prpiću (2001) dva su razloga za sušenje stabala hrasta lužnjaka u šumi Repaš. Prvi je razlog postupno snižavanje razine podzemne vode, što je posljedica erozije korita rijeke Drave, a do erodiranja korita dolazi zbog utjecaja uzvodno sagrađenih hidroelektrana (Čakovec, Varaždin i Dubrava). Drugi je razlog suša, što je prirodan proces koji ne utječe u tolikoj mjeri na sastojine hrasta lužnjaka. Prema Reichu (1994) naplavna obalna područja po-

vezana s alpskim rijekama Isar i Lech u Njemačkoj dramatično su se promijenila nakon izgradnje akumulacije na tim rijekama. U razdoblju kraćem od 70 godina smanjenje pionirskih zajednica na tim rijekama iznosilo je visokih 90 %, dok su se područja sa sekundarnim sukcesijskim fazama vegetacije drastično proširila.

Glavni problem s kojim se suočavaju preostala vlažna područja između Drave u Sloveniji i Hrvatskoj jest niski vodostaj od samo 2,4 % prosječnoga protoka rijeke (Schneider-Jacoby 1996). Iako se napolavno područje još uvijek redovito plavi, vegetacija se tijekom zadnjih godina značajno promijenila, a razina je podzemne vode u opadanju. To je problem ne samo za zaštitu prirode već i za obranu od poplava, jer visoke vode tijekom poplavnoga razdoblja teku kroz mnogo uže riječno korito nego do sada, što dovodi do većih razmjera poplava. Sukladno navedenim konstatacijama potrebno je načiniti analizu kojom bi se utvrdila potrebna količina vode za održavanje usluga ekosustava (Bloesch i dr. 2004). Usluge ekosustava mogu se podijeliti na regulacijske, potporne, kulturne i one koje pružaju resurse. Od regulacijskih usluga može se izdvojiti ublažavanje poplava, lokalno reguliranje klime i ublažavanje suša. Od potpornih najznačajnije su osiguravanje staništa i bioraznolikost, a od kulturnih rekreacija, turizam, estetska vrijednost krajobraza. Od usluga pružanja resursa bitno je izdvojiti ribe, drva, energiju biomase, osiguravanje zaliha pitke vode (Trenc i dr. 2019). Osim planiranih hidrocentrala glavni izvor problema u zaštićenim područjima duž Drave, posebice u dunavsko-dravskom nacionalnom parku, zloropora je rijeke, što će rezultirati gubljenjem raznolikosti i proizvodnosti u širokom ritskom ekosustavu, uključujući nestanak mrtvaja i nizin-skih šuma (Schneider-Jacoby 1998).

Prema Planu upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. vodno područje rijeke Dunav ima veliku koncentraciju površinskih voda i razgranatu mrežu tekućica, osobito u svom panonskom dijelu gdje su najveće rijeke na vodnom području Dunav, Sava, Drava, Kupa i Mura. Slivne površine tih rijeka premašuju 10 000 km². Hidrološka obilježja spomenutih rijeka na dunavskom vodnom području uvjetovana su klimatskim prilikama područja iz kojih dolaze te prema tome rijeka Sava ima obilježje kišno-snežnoga režima, a kod Drave prevladava snježno-glacijalna komponenta. Hidromorfološki elementi kakvoće odnose se na glavne hidrološke i morfološke pokazatelje koji su bitni za razvoj biotičkih zajednica u vodenim staništima (tablica 3).

Tablica 3. Hidromorfološki elementi za ocjenu ekološkoga stanja rijeka (Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. /2016/)

Table 3 Hydromorphological elements for assessing ecological state of rivers (Plan of Water Area Management 2016–2021 (2016))

Hidromorfološki elementi <i>Hydromorphological elements</i>	Hidrološki režim <i>Hydrological regime</i>	Protok (količina i dinamika vodenoga toka) <i>Flow (quantity and dynamics of water flow)</i>
	Uzdužni kontinuitet <i>Longitudinal continuity</i>	Uzdužni kontinuitet pod utjecajem umjetnih građevina <i>Longitudinal continuity under influence of artificial buildings</i>
	Morfološki uvjeti <i>Morphological conditions</i>	Geometrija korita <i>Riverbed geometry</i> Podloga <i>Substrate</i> Vegetacija i organski ostaci u koritu <i>Vegetation and organic remains in riverbed</i> Karakter erozije/taloženja <i>Character of erosion/deposition</i> Struktura obale i promjene na obali <i>Coast structure and changes in coast</i> Vrsta/struktura vegetacije na obali i na okolnom zemljištu <i>Type/structure of vegetation on coast and surrounding land</i> Korištenje okolnoga zemljišta i s tim povezana obilježja <i>Use of surrounding land and related features</i> Interakcija između korita i poplavnoga područja <i>Interaction between riverbed and floodplain</i>

Problem hidromorfološkoga opterećenja zbog fizičkih zahvata utvrđen je na značajnom broju vodnih tijela površinskih voda. Kao najčešći uzrok hidromorfoloških problema pokazale su se uzdužne građevine i zahvati u koritu ili na obalama. Najčešća je namjena takvih građevina zaštita od poplava, za plovidbu ili dobivanje hidroenergije (Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021.). Hidromorfološke promjene uočene na temelju analize podataka u tom Planu mogu se podijeliti na fizičke promjene duž korita, obala i inundacije, zatim na poprečne vodne građevine i zadnje, na kontrolu dinamike vodenoga toka. Za vodna tijela s nezadovoljavajućim hidromorfološkim stanjem trebaju se planirati revitalizacijske, odnosno restauracijske mjere koje treba usmjeriti na poboljšanje osnovnih hidromorfoloških elemenata kakvoće. Osim toga u Planu upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. (2016) navedeno je kako su na temelju analize prikupljenih podataka utvrđene određene promjene hidro-

loškoga režima. Neke od njih su: produženje sušnih epizoda, što može uzrokovati negativne posljedice na razvoj ekosustava i korištenje vode, povećanje dinamičnosti hidrograma, brže izmjene malih i velikih voda, što povećava rizik od poplavlivanja. Kao jedna od predloženih mjera (ključni tip mjera 5–27, r. br. 50) smanjenja utjecaja hidromorfoloških opterećenja redovitoga održavanja vodotoka predlaže se da se pri održavanju brana i drugih građevina na pregradnom mjestu koje ometa kretanje/migraciju slatkovodne faune, odnosno koje narušava uzdužni (longitudinalni) kontinuitet ekološkoga sustava, izgradi kaskada, rampa, riblja staza, prolaz za ribe i slične tehničke izvedbe (Plan upravljanja vodnim područjima, 2016).

Svako pomicanje biološke ravnoteže može imati značajne i nepredviđene posljedice, a do tih se spoznaja često dolazi retroaktivno analizom mogućih uzroka koji su već doveli do određenih posljedica. Kada se uzmu u obzir sve te činjenice, velika je korist od rijeka u očuvanom stanju. Usluge ekosustava koje pružaju rijeke brojne su i vrijedne, a među njima su zalihe pitke vode, zaštita od poplava, proizvodnja drvne mase, proizvodnja ribe i staništa za divljač, osiguravanje staništa mnogim biljnim i životinjskim vrstama (Trenc i dr. 2019). Razvojem poljoprivrede, urbanizacije, prometa i vodnoga gospodarstva poplavne nizine mnogih rijeka ili su potpuno nestale ili su vrlo smanjene kao u primjeru rijeke Drave, a očuvana poplavna nizina ujedno je i najbolja obrana od poplava (Loomes i O'Neill 2000). Zdravi slatkovodni ekosustavi pružaju obilje dobara i usluga za lokalnu zajednicu, stoga se tekućicama mora bolje upravljati ako se ne žele izgubiti te dobiti i bioraznolikost slatkovodnih ekosustava (Richter i dr. 2003). Postojanje širokoga pojasa poplavne šume također ima vrlo važnu ulogu u funkcioniranju dinamičnoga riječnoga sustava (Rauš 1994). Takav pojas nije samo posljedica riječne dinamike već je i njegov integralni dio. Sezonsko je plavljenje posve prirodan proces pa je ekosustav prilagođen vodi koja tamo ostane i do nekoliko mjeseci na godinu. Pojas zaobalja čini poplavna šuma s brojnim riječnim rukavcima, starim kanalima i nekoliko mrtvih rukavaca, koji na prirodan način primaju visoke vode i služe kao prirodna obrana od poplave. Za održanje riječnih sustava potrebno je zadržati prirodne vodne prilike podzemnih i površinskih voda (Prpić i dr. 1997, Prpić 2001). Prema autorima vodotehnički zahvati dovode u opasnost šumske ekosustave te njihovu raznolikost ako se ne uzmu u obzir posebnosti šumskih sustava na području na kojem je planiran prostorni vodotehnički zahvat.

Izgradnja hidroelektrana, kanaliziranje vodotoka i iskapanje sedimenta doveli su do manjka sedimenta u rijeci, što znači da Drava odnosi ili gubi više sedimenta nego što ga dobiva iz uzvodnih dijelova. Važne promjene u prostoru nastaju izgradnjom umjetnih jezera, u prvom redu hidroakumulacijskih jezera u sklopu hidroelektrana (Huđek i dr. 2020). Njihovom izgradnjom mijenja se prirodni režim protoka, javlja se značajan ekološki učinak na dubinu vodenoga stupca okolnoga područja i na nizvodni dio toka. Uvjeti za poljoprivredu izgradnjom akumulacija iz temelja se mijenjaju i u uzvodnom i u nizvodnom dijelu porječja. Uloga je brane i vodene akumulacije dvojna. S jedne strane, brana stvara akumulaciju vode koja osigurava stalni, ujednačeni dotok vode s obzirom na promjenjivost protoka u rijeci u sušnom i kišnom razdoblju. S druge strane, akumulacija vode povećava njezinu potencijalnu energiju, a time i snagu elektrane. Nesumnjivo da hidroelektrane imaju dug eksploatacijski vijek te se velika ulaganja pri izgradnji dugoročno isplate, što je pozitivna činjenica. One su posebno prikladne za nagla povećanja potrošnje jer mogu povećati proizvodnju električne energije gotovo u trenu, što kod termoelektrana nije slučaj. Teoretski gledano, namjene su brana, odnosno akumulacija uistinu višestruke, od hidroenergije, kontrole poplava nizvodno, regulacije protoka vode za sušnih razdoblja, opskrbe industrije i stanovništva, zatim navodnjavanja, turizma i ribarstva na akumulacijama te vodnoga transporta. No, u praksi je izgradnja brane i akumulacije, kao i rad hidroelektrane u funkciji proizvodnje električne energije. Brane transformiraju okolicu i stvaraju rizike nepovratnih utjecaja. Glavni utjecaji visokih brana na ekosustav, bioraznolikost i na život uzvodno i nizvodno od brane uglavnom su poznati. Velike brane dovode do trajnoga gubitka plodnoga tla, šuma i degradacije razvođa gornjega toka rijeke stvaranjem akumulacije, gubitka bioraznolikosti vodenih staništa, opadanja kvalitete vode zbog stvaranja »efekta bare« u akumulacijama i potapanja izvora čiste pitke vode (Slowik i dr. 2021). Negativni utjecaji kulminiraju ako se na istoj rijeci lokalizira više brana. Formiranjem akumulacija prvo stradaju salmonidne riblje vrste koje su prilagođene čistoj, hladnoj vodi koja je s velikom količinom otopljenoga kisika u vodi (Stickler i dr. 2013). Relativno veliko opterećenje različitim onečišćenjima odražava se na zdravlje vodenih organizama u vodenim ekosustavima jer su takve akumulacije istodobno kolektori u kojima se taloži i dugotrajno zadržava onečišćenje. Smanjen protok rijeke te učinke povećava jer akumuliranje vode znatno smanjuje autopurifikaciju (samoočišćenja). Prema Schwarzu (2007) oko trećine

riječnih tokova od cijeloga kanala rijeke Drave ubraja se u II. klasu ili, bolje, dvije trećine pripadaju u klase III. do V. Analize i istraživanja te problematike pokazali su da je neke utjecaje moguće ublažiti propisivanjem mjera kojima se značajne negativne posljedice izgradnje brana smanjuju na prihvatljivu razinu, ali mnogi su utjecaji izgradnje akumulacija, posebno na kopnene ekosustave trajni, a njihov utjecaj mjerljiv.

Stvaranje akumulacija poprečnim hidrotehničkim građevinama, odnosno branama, dugoročno degradira plodnu zemlju i smanjuje debljinu sloja plodne zemlje u zaobalju rijeka (Huđek i dr. 2020). Prema autorima taj je proces prisutan u svim deltamama i donjim tokovima rijeka, a on se maksimalno negativno odražava tamo gdje je izgrađen sustav od više brana čime se korisna sedimentacija u potpunosti prekida. Nadalje, brana zaustavlja prirodne procese sedimentacije, što se izravno odražava na visokoproduktivnim zemljištima nizvodno od brane koja više ne dobivaju ravnomjernu prirodnu prehranu. Zbog redukcije nanosa nastaju promjene u morfologiji korita rijeke i njezinih obala odnosno nastaju erozijsko-sedimentacijske promjene u tekućici (Bonacci i dr. 1992). Prpić (2001) također primjećuje kako je erozija korita Drave, nastala pod utjecajem hidroelektrana, odgovorna za snižavanje razine podzemne vode. Oscilacija vodostaja u akumulacijama negativno se odražava na živi svijet u vodi i u izravnoj je vezi s veličinom protoka ispuštene vode (dnevna, sezonska) i može biti ekstremno visoka i ekstremno niska (Bonacci i Oskoruš 2010). Takva promijenjena dinamika hidrološkoga režima odražava se na eroziji obala i delte, na smanjenju biološke i ekološke funkcije vodenoga ekosustava i na umanjenu valorizaciju rekreacije i turizma. U nizvodnom dijelu promijenjena dinamika toka otežava uspostavu sustava navodnjavanja i ugrožava stabilnost prirodnih staništa mnogih biljnih i životinjskih vrsta (Trockner i Stanford 2002). Tako se poništavaju dobrobiti usluga ekosustava koje se odnose na funkcije i procese kojima prirodni ekosustavi i vrste od kojih se sastoje održavaju i ispunjavaju ljudski život (Nilsson i Berggren 2000). Prema Prpiću (1996) posebnu pozornost treba skrenuti na utjecaj akumulacije na okoliš, napose nakon iskustava u odnosu na nizinske šume doline rijeke Rajne u Njemačkoj. U akumulacijama je prisutno sezonsko zagrijavanje i rashlađivanje koje je promijenjeno u odnosu na tekućice. U ljetnim mjesecima površinski sloj vode, kao i priobalna voda, intenzivno se zagrijava, dok se u dubini zadržava hladna voda. Tijekom rada hidroelektrane većinom koriste vodu s donje kote korisna obujma, a taj je sloj vode uvijek znatno hladniji u od-

nosu na površinski. Snižena temperatura vode uvelike utječe na ekosustav u vodi nizvodno od brane.

Krajem 20. stoljeća raspravljalo se o još jednoj hidroelektrani na rijeci Dravi. Projekt HE Novo Virje primjer je jednoga takva prijedloga, a radi se o postrojenju koje bi bilo smješteno 120 km sjeveroistočno od Zagreba, instalirani bi kapacitet bio 138 MW s godišnjom proizvodnjom od 640 GWh, što odgovara oko 4 % tadašnjih potreba za strujom u Hrvatskoj. HE Novo Virje imala bi akumulacijsko jezero od 27 km². Prema Prpiću (1996, 1997) stručna je javnost tada upoznata s planovima osnivanja rezervata biosfere Drava – Mura i projekta hidroelektrane Novo Virje. Već je tada bilo poznato da su te dvije inicijative suprotstavljene i da bi, promatrajući s gledišta zaštite prirode i okoliša, rezervat biosfere pružio Republici Hrvatskoj veću korist od hidroelektrane, dok za dobivanje električne energije ima puno drugih rješenja. Hrvatsko-mađarski prekogranični rezervat biosfere Mura – Drava – Dunav proglašen je 2012. godine na 24. sjednici Međunarodnoga koordinacijskoga vijeća UNESCO-ova programa »Čovjek i biosfera« u Parizu u Francuskoj. Tijekom sljedećih godina i ostale države kroz koje Drava prolazi proglasile su taj dio nacionalnim rezervatom biosfere, primjerice Donja dolina Mure u Austriji, Rijeka Mura u Sloveniji te Bačko Podunavlje u Srbiji. Svi ti naponi u zaštiti značajnoga ekosustava rijeke Drave rezultirali su proglašenjem prekograničnoga rezervata biosfere Mura – Drava – Dunav između pet država – Austrije, Slovenije, Mađarske, Hrvatske i Srbije na 33. sjednici Međunarodnoga koordinacijskoga vijeća UNESCO-ova programa »Čovjek i biosfera« (MAB) u Abuji u Nigeriji 15. rujna 2021. godine (UNESCO MAB ICC 2021). Tako je to postalo najveće riječno zaštićeno područje u Europi, sa 700 kilometara riječnih tokova i gotovo milijun hektara. Riječ je o iznimno značajnom ekosustavu načinjenom od poplavnih šuma koje predstavljaju vlažna staništa, zatim od vlažnih travnjaka, sprudova, obala, napuštenih korita i meandara rijeka. Velika se bioraznolikost promatranoga područja ogleda u 75 tipova staništa te u brojnim rijetkim i ugroženim vrstama flore i faune.

5. Zaključci – *Conclusions*

Donji je sliv rijeke Drave jedan od hidroenergetski najekstenzivnije iskorištavanih riječnih slivova u svijetu (Zakwan i dr. 2021). Sustavno pregrađivanje, odnosno hidromorfološko degradiranje pojedinih dijelova rijeke, izgradnja hidroelektrana i ostali antropogeni utjecaji mogu imati negativan učinak na tok rijeke Drave. Izgradnja planiranih akumula-

cija na pojedinim dijelovima toka rijeke, a posebice u donjim dijelovima toka samo bi pojačala negativan učinak uz značajne posljedice za samu ekologiju rijeke (Huđek i dr. 2020). Izgradnja akumulacije dovela bi do trajnoga gubitka plodnoga tla, šuma i raznolikosti vodenih staništa, a i zaustavili bi se prirodni procesi sedimentacije, što bi izravno utjecalo na napolavne ravnice koje bi se nalazile nizvodno od akumulacije (Petrić i dr. 2019). Prema Prpiću (1997) vodotehnički zahvati na rijeci Dravi imaju snažan utjecaj na okoliš jer su uzrok sniženja razine podzemne vode, zamočvarenja staništa u području akumulacije te njegova osušenja uz odvodne kanale. Navedeni bi procesi negativno djelovali na nizinske šumske ekosustave, izazivajući stres i fiziološko slabljenje te veće sušenje hrasta lužnjaka, prisutnoga u šumama Repaš i Gabajeva greda. Količina sedimenta koji prema postojećem toku Drave nosi određenu količinu hranjivih i mineralnih tvari, potrebnih napolavnim ravninama, bila bi znatno smanjena (Tamas 2018). Taj je proces prisutan u svim rijekama koje su pregrađene branama, a on se negativno odražava tamo gdje je izgrađen sustav od više brana čime se korisna sedimentacija u potpunosti prekida (Nilsson i Berggren 2000). Kolebanja bi vodene mase iza akumulacije bila znatna, što bi utjecalo na cijeli ekosustav rijeke Drave iza akumulacije. Sve biljne vrste koje su prilagođene poplavnomu staništu izgradnjom akumulacije izgubile bi tlo pogodno za naseljavanje, a time bi bila onemogućena sukcesija biljnih zajednica i neprestano obnavljanje staništa i vraćanje ciklusa na početak stvaranjem golih sprudova. Tako bi se izgubila biološka raznolikost jer ne bi bile prisutne sve faze sukcesija zajednica s pripadajućim vrstama (Nilsson i Berggren 2000). Nizvodni utjecaji i promjene nastaju iz dvaju osnovnih razloga: zbog postojanja brana i akumulacija i zbog strukture rada brana. Postojanje brane i akumulacije izaziva promjenu nizvodne morfologije korita rijeke i njezinih obala zbog promijenjenoga sedimentnoga nanosa (Tamas 2018). Izaziva promjenu u kvaliteti/stanju vode, ima posljedice na temperaturu vode, hranjive tvari, zamućenost, koncentraciju otopljenih plinova, teških metala i minerala te u konačnici redukciju biološke raznolikosti. Ako bi se akumulacija radila zbog izgradnje još jedne hidroelektrane na Dravi, smatramo da takva investicija ne bi bila opravdana jer bi se akumulacijom više izgubilo nego dobilo. Potrebno je naglasiti da bi Park prirode Kopački rit bio izravno ugrožen stvaranjem takve akumulacije jer njegovo bogatstvo raznolikosti i vrsta i staništa dijelom je povezano s vodnim režimom rijeke Drave, a najviše ovisi o vodama Dunava.

6. Literatura – References

- Barsch, H., O. Bastian, C. Beierkuhnlein, A. Bossard, J. Breuste, F. Klötzli, K. Otl, B. Tress, G. Tress, U. Weiland, 2002: Application of landscape ecology. U: *Development and Perspectives of Landscape Ecology*, O. Bastian, U. Steinhardt (ur.), Springer, Dordrecht, str. 307–432.
- Belčić, B., 2004: Strukturne osobine i prirodna sukcesija ritskih šuma na ušću Mure u Dravu. *Šumarski list*, 128 (3–4): 103–118.
- Biondić, B., R. Biondić, F. Dukarić, E. Hrvojić, 1999: Zaštita krških vodonosnika. U: *Hrvatske vode – od Jadrana do Dunava*, D. Gereš (ur.), Hrvatske vode, Zagreb, str. 531–536.
- Bloesch, J., M. Schneider, J. Ortlepp, 2004: Ecohydrolic models as tools for quantifying an ecological residual water flow for the hydroelectric plant Rheinau, River Rhine. *International Association for Danube Research*, 35: 75–83.
- Bonacci, O., T. Roje-Bonacci, 2003: The influence of hydroelectrical development on the flow regime of the karstic river Cetina. *Hydrological Processes*, 17(1): 1–15.
- Bonacci, O., D. Oskoruš, 2010: The changes in the lower Drava River water level, discharge and suspended sediment regime. *Environmental Earth Sciences*, 59 (8): 1661–1670. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0148-8>
- Bonacci, O., 2014: Upravljanje vodnim resursima u novim uvjetima. U: *Izazov u graditeljstvu 2*, S. Lakušić (ur.), Hrvatski savez građevnih inženjera, Zagreb, str. 160–187.
- Bridge, J. S., 2003: *Rivers and floodplains*. Blackwell, Malden, 491 str.
- Dadić, T., L. Tadić, O. Bonacci, 2015: Utjecaj Drave i Dunava kroz povijest na poplave u Osijeku. *Hrvatske vode*, 23(94): 287–294.
- Deemer, B. R., J. A. Harrison, S. Li, J. J. Beaulieu, T. DelSontro, N. Barros, J. A. Vonk, 2016: Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: A New Global Synthesis. *BioScience*, 66(11): 949–964.
- Europska komisija, 2018: Guidance on the requirements for hydropower in relation to Natura 2000. N2K GROUP EEIG – Ecosystems LTD, Brussels and Belec, Czech Republic, str. 17–18.
- Grlica, I., 2008: Studija biološke raznolikosti rijeke Drave – Dravske mrtvice i odvojeni rukavci, II dio. *Prirodoslovno društvo »Drava«*, Virovitica, 78 str.
- Hrvatina, M., 1998: Discharge regimes in Slovenia. *Geografski zbornik*, 38: 59–87.

- Hudek, H., K. Žganec, M. T. Pusch, 2020: A review of hydropower dams in Southeast Europe – distribution, trends and availability of monitoring data using the example of a multinational Danube catchment subarea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117: 109434. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109434>
- Jelić, M., D. Jelić, P. Žutinić, M. Čaleta, 2012: Fish fauna of the lower reaches of the River Drava and surrounding marshland habitats near Donji Miholjac (Eastern Croatia). *Croatian Journal of Fisheries*, 70(4): 153–167.
- Johnson, W. C., 1992: Dams and riparian forests: case study from the upper Missouri River. *Rivers*, 3: 229–242.
- Karr, J. R., D. R. Dudley, 1981: Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 5: 55–68. <https://doi.org/10.1007/BF01866609>
- Liermann, C. R., C. Nilsson, J. Robertson, R. Y. Ng, 2012: Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. *Bioscience*, 62(6): 539–548. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.6.5>
- Lóczy, D., 2019: Introduction. U: *The Drava River*, D. Lóczy (ur.), Springer Geography, Springer, Cham, 1–3.
- Loomes, R., K. O'Neill, 2000: Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. *Pacific Conservation Biology*, 6(3): 274. <https://doi.org/10.1071/pc000274>
- Mohl, A., U. Schwarz, 1998a: Landschafts und Gewässerstrukturkartierung an der kroatisch-ungarischen Drau (Flußkilometer 226–185,5), im Gebiet des geplanten kroatischen Wasserkraftwerks »Novo Virje«, unter besonderer Berücksichtigung naturschutzrelevanter und gewässerökologischer Fragestellungen. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur (BOKU) / Wien und Universität Wien.
- Mohl, A., U. Schwarz, 1998b: Einfluß der Wasserwirtschaft auf den Flußlauf der Drau zwischen Botovo und Ferdinandovac. *International Conference Sustainable Economic Use of the Lowland Rivers and the Protection of Nature and Environment*. Hrvatsko šumarsko društvo – Hrvatsko energetska društvo, Zagreb, 118–132.
- Nilsson, C., K. Berggren, 2000: Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation: Dam operations have caused global-scale ecological changes in riparian ecosystems. How to protect river environments and human needs of rivers remains one of the most important questions of our time. *BioScience*, 50(9): 783–792. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0783:AORECB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0783:AORECB]2.0.CO;2)
- Petrić, H., E. A. Tamás, D. Lóczy, 2019: Flood history and river regulation. U: *The Drava River*, D. Lóczy (ur.), Springer Geography, Springer, Cham, 105–124. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92816-6_8
- Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. Narodne novine, 66/2016.
- Poiani, K. A., B. D. Richter, M. G. Anderson, H. E. Richter, 2000: Biodiversity conservation at multiple scales: functional sites, landscapes, and networks. *BioScience*, 50(2): 133–146. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0133:BCAMSF\]2.3.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0133:BCAMSF]2.3.CO;2)
- Prpić, B., 1996: Hidroelektrana Novo Virje ili rezervat biosfere »Drava – Mura«. *Šumarski list*, 120(5–6): 216.
- Prpić, B., 1997: Još o hidroelektrani Novo Virje. *Šumarski list*, 121(3–4): 195.
- Prpić, B., 2001: Utjecaj vodotekničkih zahvata na stabilnost sastojina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj u primjeru HE Novo Virje. *Šumarski list*, 125(7–8): 379–390.
- Prpić, B., 2003: Utjecaj tehničkih zahvata u prostoru na nizinske šume. *Šumarski list*, 127(5–6): 230–235.
- Prpić, B., Z. Seletković, I. Tikvić, 1997: O utjecaju kanala Dunav – Sava na šumske ekosustave. *Šumarski list*, 121(11–12): 579–592.
- Prpić, B., S. Matić, P. Jurjević, H. Jakovac, I. Milković, 2005: Općekorisno i gospodarsko značenje poplavnih šuma. U: *Poplavne šume u Hrvatskoj*, J. Vukelić (ur.), Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, str. 17–21.
- Rauš, Đ., 1994: Vegetacija podravskih ritskih šuma u okolini Legrada na ušću Mure u Dravu. U: *Zbornik simpozij Pevalek, Flora i vegetacija Hrvatske*, I. Trinajstić (ur.), Šumarski fakultet – Hrvatske šume p. o. Zagreb, Koprivnica – Zagreb, str. 87–100.
- Reich, M., 1994: Les impacts de l'incision des rivières des alpes bavaroises sur les communautés terrestres de leur lit majeur. *Revue de Géographie de Lyon*, 69: 25–30.
- Reinartz, R., J. Bloesch, T. Ring, H. Stein, 2003: Sturgeons are more than caviar: A plea for the revival of sturgeons in the Danube River (Literature review). *Large Rivers*, 14(3–4): 387–403. <https://doi.org/10.1127/lr/14/2003/387>
- Režek, D., 2003: Hidroelektrane na Dravi. *Građevinar*, 55(11): 647–653.

- Richter, B. D., R. Mathews, D. L. Harrison, R. Wigington, 2003: Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. *Ecological Applications*, 13(1): 206–224. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2003\)013\[0206:ESWMMR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2003)013[0206:ESWMMR]2.0.CO;2)
- Rood, S. B., S. Heinze-Milne, 1989: Abrupt downstream forest decline following river damming in southern Alberta. *Canadian Journal of Botany*, 67(6): 1744–1749. <https://doi.org/10.1139/b89-221>
- Schneider-Jacoby, M., 1993: Vögel als Indikatoren für das ökologische Potential der Saveauen und Möglichkeiten für deren Erhaltung. Dissertation an der Universität Konstanz, erschienen 1995: Naturerbe Verlag Jürgen Resch, Überlingen.
- Schneider-Jacoby, M., 1996: Drau und Mur – Leben durch Flußdynamik. Naturerbe Verlag Jürgen Resch, Überlingen, 148 str.
- Schneider-Jacoby, M., 1998: Sustained use of the Drava-Mura lowland as a bordering region of Austria, Croatia, Slovenia and Hungary. *Proceedings International Conference Sustainable Use of the Lowland Rivers and the Protection of Nature and Environment*. Hrvatsko šumarsko društvo – Hrvatsko energetska društvo – Euronatur, Zagreb, str. 154–155.
- Schneider-Jacoby, M., 1999: Report on the visit to the ornithological reserve Veliki Pažut, Croatia, January 20 1999. Radofzell, 20 str.
- Schwarz, U., J. Bloesch, 2004: The impact of hydroelectric dams on the floodplains of the Drava-Mura rivers in Croatia/Hungary. In: *GIS and RS in Hydrology, Water Resources and Environment*, Y. Chen (ur.). International Association of Hydrological Sciences IAHS Publ., 283: 571–574.
- Schwarz, U., 2007: Pilot study: hydromorphological survey and map of the Drava and Mura Rivers IADS-Report prepared by FLUVIUS. Floodplain ecology and river basin management, Vienna, 141 str. http://iad.gs/docs/reports/HydromorphIAD_Mura_Drava2007.pdf
- Schwarz, U., 2019: Hydromorphology of the Lower Drava. U: *The Drava River*, D. Lóczy (ur.), Springer Geography, Springer, Cham, 61–67.
- Slowik, M., K. Kiss, S. Czigany, A. Gradwohl-Valkay, E. Pirkhoffer, 2021. The influence of changes in flow regime caused by dam closure on channel planform evolution: insights from flume experiments. *Environmental Earth Sciences*, 80: 165. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09437-5>
- Soares-Filho, B. S., D. C. Nepstad, L. M. Curran, G. C. Cerqueira, R. A. Garcia, C. A. Ramos, E. Voll, A. McDonald, P. Lefebvre, P. Schlesinger, 2006: Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440(7083): 520–523. <https://doi.org/10.1038/nature04389>
- Stickler, C. M., M. T. Coe, M. H. Costa, D. C. Nepstad, D. G. McGrath, L. C. P. Dias, H. O. Rodrigues, B. S. Soares-Filho, 2013: Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales. *PNAS* 110(23): 9601–9606. <https://doi.org/10.1073/pnas.1215331110>
- Tamás, E. A., 2018: Sediment transport of the Drava River. U: *The Drava River*, D. Lóczy (ur.), Springer Geography, Springer, Cham, 91–103. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92816-6_7
- Trenc, N., A. Duplić, R. Topić, B. Matoš, J. Velić, M. Čaleta, I. C. Fuller, 2019: Morfološke promjene i promjene usluga ekosustava Save u blizini Zagreba. 7. Zbornik radova Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode, D. Biondić, D. Holjević, M. Vizner (ur.), Hrvatske vode, Zagreb, str. 270–278.
- Trockner, K., J. A. Stanford, 2002: Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation* 29(3): 308–330. <https://doi.org/10.1017/S037689290200022X>
- Trockner, K., U. Uehlinger, C. T. Robinson, 2009: *Rivers of Europe*. Elsevier Academic Press, San Diego, USA, 700 str.
- Ward, J. V., J. A. Stanford, 1995: Ecological connectivity in the future of riverine flood plains alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research and Management*, 11(1): 105–119. <https://doi.org/10.1002/rrr.3450110109>
- Zakwan, M., Q. B. Pham, S. Zhu, 2021: Effective discharge computation in the lower Drava River. *Hydrological Sciences Journal*, 66(5): 826–837. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1900853>
- Zhu, S., M. Hadzima-Nyarko, A. Gao, F. Wang, J. Wu, S. Wu, 2019a: Two hybrid data-driven models for modeling water-air temperature relationship in rivers. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 12622–12630. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04716-y>
- Zhu, S., O. Bonacci, D. Oskoruš, 2019b: Assessing sediment regime alteration of the lower Drava River. *Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek, E-GFOS* 10(19): 1–12. <https://doi.org/10.13167/2019.19.1>
- *<https://mingor.gov.hr/vijesti/proglasen-prekogranicni-rezervat-biosfere-mura-drava-dunav-izmedju-pet-drzava/8395> (Pristupljeno 26. rujna 2022.)

Abstract

Impact of Hydropower Plant Construction on Drava River

Rivers are an integral part of the soil, formed during the turbulent times of the formation of the planet Earth and have changed throughout its history. The diversity of rivers is not only reflected in the different types of soil through which they flow, but this diversity also depends on the changes in seasons and the differences between wet and dry years. The Drava River is a Central European river and one of the most important tributaries of the Danube. Under natural conditions, the transport of sediment in the Drava River is balanced, which means that in a certain area the amount of sediment carried away is replaced by the same amount from the upstream parts of the basin. Flowing through Croatia, the Drava River was dammed three times upstream of the mouth of the Mura River, while before entering Croatia it was dammed as many as 20 times. The construction of hydroaccumulation lakes, as part of hydropower facilities, changes the natural flow regime, causing significant hydrological and morphological changes at dam sites, as well as upstream and downstream of dams. The construction of dams on rivers reduces the number of plant and animal species by changing local habitat conditions. The construction of hydroelectric power plants leads to the canalization of certain parts of the watercourse, thus changing the erosion-sedimentation processes in the riverbed. A river in its natural state with all its elements is the best defense against seasonal floods. The construction of hydropower facilities changes the hydrological regime, that is, large fluctuations occur in the flow values in certain parts of the Drava River, which has an impact on the floodplains downstream and on the plant species characteristic of that type of habitat. Most of the plant species that are adapted to flood habitat conditions would lose most of the soil that is suitable for settlement with the construction of the reservoir.

Keywords: Drava, hydroelectric power plant, reservoir, forest ecosystems, oak, sediment

Adrese autorâ – Authors' addresses:

Alen Čuljak, prof.*
e-pošta: aculjak@unib.hr
Doc. dr. sc. Slavica Antunović
e-pošta: santunovic@unib.hr
Doc. dr. sc. Teuta Benković-Lačić
e-pošta: tblacic@unib.hr
Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Miroslavljević
e-pošta: kmirosavljevic@unib.hr
Doc. dr. sc. Božica Japundžić-Palenkić
e-pošta: bjpalenkic@unib.hr
Dr. sc. Robert Benković
e-pošta: rbenkovic@unib.hr
Sveučilište u Slavonskom Brodu
Biotehnički odjel
dr. Mile Budaka 1
35000 Slavonski Brod
HRVATSKA

Primljeno (Received): 3. 8. 2022.

Prihvaćeno (Accepted): 28. 9. 2022.

* Glavni autor – Corresponding author