

Ekološki prihvatljiv protok potoka Plitvice određen hidrološkim metodama

Biličić, Dorotea

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:512186>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Dorotea Bilić

**Ekološki prihvatljiv protok potoka Plitvice određen
hidrološkim metodama**

Diplomski rad

**Zagreb
2023.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija*; smjer: *Fizička geografija s geoekologijom* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Ivana Čanjevca

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Diplomski rad

Ekološki prihvatljiv protok potoka Plitvice određen hidrološkim metodama

Dorotea Biličić

Izvadak: Cilj ovoga rada je definirati ekološki prihvatljiv protok za potok Plitvicu. Ekološki prihvatljiv protok određen je hidrološkim metodama, a izračunat je za hidrološke postaje Plitvice na potoku Plitvici i Rodić Poljana na glavnom pritoku Sartuku. Korištene metode su raznolike, zakonski propisane ili preporučene u različitim državama svijeta. Za izračun su korišteni hidrološki podaci o godišnjim, mjesečnim, dnevnim i satnim vrijednostima protoka za razdoblje od 1980. do 2021. godine. Za računanje ekološki prihvatljivih protoka prema odabranim hidrološkim metodama određene su i potrebne podloge, odnosno statističke varijable nužne za njihov izračun. Prema dobivenim rezultatima, u ovom radu analizirano je stanje potoka Plitvice te razni prirodni i antropogeni čimbenici koji takvo stanje uzrokuju.

57 stranica, 24 grafičkih priloga, 9 tablica, 24 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: ekološki prihvatljiv protok, potok Plitvica, hidrološke metode, krš, hidrogeografija

Voditelj: doc. dr. sc. Ivan Čanjevac

Povjerenstvo: doc. dr. sc. Ivan Čanjevac
prof. dr. sc. Danijel Orešić
izv. prof. dr. sc. Neven Bočić

Tema prihvaćena: 10. 2. 2022.

Rad prihvaćen: 9. 2. 2023.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Thesis
Faculty of Science
Department of Geography

Master

Ecological flow of the Plitvica stream determined by hydrological methods

Dorotea Biličić

Abstract: The goal of this paper is to define an ecological flow for the Plitvica stream. Ecological flow was defined using hydrological methods, and was calculated for the Plitvice hydrological station on the Plitvica stream and the Rodić Poljana hydrological station on the main tributary, the Sartuk stream. The methods used are varied, legally prescribed or recommended in different countries of the world. Hydrological data on annual, monthly, daily and hourly flow values for the period from 1980. to 2021. were used. Statistical variables that were necessary for the calculation of ecologically acceptable flows by the selected hydrological methods, have also been determined. According to the obtained results, the state of the Plitvica stream is analysed and discussed.

57 pages, 24 figures, 9 tables, 24 references; original in Croatian

Keywords: ecological flow, Plitvica stream, hydrological methods, karst, hydrogeography

Supervisor: Ivan Čanjevac, PhD, Assistant Professor

Reviewers: Ivan Čanjevac, PhD, Assistant Professor
Danijel Orešić, PhD, Full Professor
Neven Bočić, PhD, Associate Professor

Thesis title accepted: 10/02/2022

Thesis accepted: 09/02/2023

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

Zahvala

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Ivanu Čanjevcu na strpljenju i smjernicama za pisanje diplomskog rada. Zahvaljujem DHMZ-u na ustupljenim podacima. Posebne zahvale idu mojoj obitelji na žrtvi i odricanju kroz sve godine studija. Hvala dečku Luki na pomoći i podršci. Hvala svim kolegama i prijateljima koji su na neki način doprinjeli u pisanju ovoga rada.

1	UVOD	1
2	PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I LITERATURE	2
3	PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	4
3.1	Osnovne značajke vodotoka i slijevnog područja	4
3.2	Geografski smještaj i položaj	6
3.3	Geološka obilježja	9
3.4	Geomorfološka obilježja.....	11
3.4.1	Strukturna geomorfologija	11
3.4.2	Egzogena geomorfologija.....	12
3.5	Klima	13
3.5.1	Klimatološka obilježja.....	13
3.5.2	Hidrometeorološke značajke	14
3.6	Hidrološka obilježja.....	15
3.7	Biljni pokrov.....	27
4	CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	28
5	TEORIJSKI OKVIR ISTRAŽIVANJA	29
5.1	Ekološki prihvatljiv protok.....	29
6	PODACI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	31
6.1	Hidrološki podaci	31
6.2	Prikaz odabranih podloga za definiranje ekološki prihvatljivih protoka.....	31
6.3	Metodologija.....	36
6.3.1	Hidrološke metode	36
6.3.1.1	Metode koje preporučuje Europska udruga malih hidroelektrana (ESHA)40	
6.3.1.2	Metode propisane u susjednim državama	42
7	REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA.....	47

7.1	Analiza rezultata istraživanja.....	47
7.2	Rasprava	50
7.2.1	Osvrt na gubitke vode u potoku Plitvici u kontekstu EPP-a	50
7.2.2	Osvrt na varijabilnost protoka potoka Plitvice u kontekstu EPP-a	53
8	ZAKLJUČAK	55
9	LITERATURA.....	56
10	IZVORI	57
11	PRILOZI	VIII

1 UVOD

Geografija je znanost koja uspješno integrira, analizira i objašnjava procese i promjene prirodnih i društvenih zbivanja u geoprostoru. Dvije glavne grane u geografiji stoga su društvena i fizička geografija. Golema težnja za profitom i prirodnim resursima, kako obnovljivim tako i neobnovljivim, od strane raznih dionika poput kompanija, dovela su do poremećaja u okolišu na mikro i makro razini. Problem zagađenja i degradacije okoliša postaje sveprisutan na gotovo svakom dijelu planeta Zemlje. Svjetska zajednica zaokupljena je kako s daljnjim problemom zagađenja izaći na kraj. Taj problem postaje i jedan od fokusa geografa i geografske znanosti od druge polovine 20. stoljeća, stoga se u sklopu ove discipline pridaje i velika pažnja ekologiji. Takve degradacije u okolišu koje postaju sve češća svakodnevnica upravo su na neki način i tema istraživanja ovoga rada, odnosno fizičke geografije (Sekulić, 1999).

Znanstvenici su suočeni s činjenicom da sve češće, a posebno u uvjetima globalne promjene klime, sve potrebe za vodom iz otvorenih vodotoka neće biti moguće ispuniti. To ih je prisililo na stvaranje posebnih metoda i modela koji na razne načine, pomoću različitih kriterija i mjerila tretiraju problematiku upravljanja vodama otvorenih vodotoka. Brojni problemi i znanstveno neriješene dileme dolaze u vezi s količinom vode u otvorenom vodotoku i očuvanju staništa. U svijetu danas prevladava pojam ekološki prihvatljiv protok (EPP), a njegove definicije variraju od autora do autora i specifične namjene za koju se on određuje. Kriteriji za određivanje ekološki prihvatljivog protoka nisu usmjereni samo na zaštitu prirodnog stanja vodotoka te očuvanje flore i faune, već se odnose i na ispunjavanje zahtjeva ostalih korisnika voda (Bonacci, 2003). Tako su u ovom radu korištene razne hidrološke metode ekološki prihvatljivih protoka, a pojedine su kasnije analizirane i izdvojene kao one koje su najprihvatljivije i relevantne za specifičnu problematiku potoka Plitvice koji se nalazi unutar NP Plitvička jezera. Glavna motivacija za računanje ekološki prihvatljivih protoka pomoću hidroloških metoda doći je do osnovnih spoznaja o stanju vodotoka Plitvice i njezinog glavnog pritoka Sartuka. Iz tih spoznaja bila bi moguća i daljnja analiza čimbenika toga stanja.

2 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I LITERATURE

Sustavna briga povezana s određivanjem ekološki prihvatljivih protoka započela je tridesetih godina 20. stoljeća. Ekološki i brojni drugi problemi javljali su se zbog stalnog oduzimanja vode iz vodotoka koja se nerijetko vraćala u isti vodotok nizvodno. Cijeli nizvodni dijelovi vodotoka ili samo pojedine dionice ostajali su bez dijelova vode koja im je prirodnim režimom dotjecala. Kriteriji, mjerila i na njima zasnovane metode za određivanje ekološki prihvatljivih protoka značajno se razlikuju. Prve metode imale su za cilj zaštititi vrh hranidbenog lanca, odnosno riblje vrste otvorenih vodotoka. Smatralo se da će ako one budu zaštićene, biti zaštićeni i svi manje osjetljivi dijelovi hranidbenog lanca, što se dokazalo nedovoljnim pristupom. Prve studije protoka otvorenih vodotoka potrebnog okolišu izrađivane su početkom osamdesetih godina dvadesetog stoljeća, a u cilju je bilo odrediti protok dovoljan za održanje određene vrste (Bonacci, 2003).

Kinhill (1988) prema Bonacci (2003) smatra da protok mora biti dovoljan da se zaštiti prirodna flora i fauna, podrži estetska kakvoća okoliša, maksimalizira proizvodnja komercijalnih vrsta i zaštite građevine od znanstvenog i kulturnog značenja. Thumbridge i Glenane (1988) prema Bonacci (2003) definiraju četiri vrste protoka u otvorenom vodotoku u skladu s potrebama okoliša. Bonacci, Roje-Bonacci (1997) te Bonacci i sur. (1998) prema Bonacci (2003) u svojim radovima naglašavaju da za određenu dionicu otvorenog vodotoka EPP ne treba biti definiran kao jedna vrijednost minimalnog potoka koja vrijedi cijelu godinu, već kao niz različitih protoka koje treba ispuštati tijekom različitih sezona godine. Četiri smjera znanstvenih istraživanja koja povezuju ekologiju i hidrologiju, a mogu pomoći pri određivanju EPP-a navode Petts i Maddock (1994) prema Bonacci (2003). Ti smjerovi su: izučavanje uloge poplava, analize protoka u otvorenim koritima, hidraulički koncept otvorenih vodotoka i značenje hiporeičke zone. Gordon i sur. (1992) prema Bonacci (2003) u svome radu pišu kako su najbolja prirodna hidrološka svojstva velikih i malih voda ali ih je potrebno povezati sa životnim ciklusom analizirane vrste. Također, navode kako je većina do tada razvijenih metoda zasnovana na zaštiti pastrva u hladnim vodama otvorenih vodotoka. Kako bi se formirao model za određivanje EPP-a, Smolar-Žvanut (2001) prema Bonacci (2003) naglašava kako je potrebno da su zadovoljeni određeni zahtjevi, tj. da vrijednosti EPP-a moraju osigurati tim zahtjevima propisanu količinu i kakvoću vode u otvorenom vodotoku. Petit i Doupe (2002.) prema Bonacci (2003) navode kako je za određivanje EPP-a potrebna ravnoteža između potrebe za vodom ekosustava i socioekonomskog okoliša odnosno ljudi, što ujedno predstavlja holistički pristup upravljanja vodama otvorenih vodotoka. Tharme

(2003) prema Vučijak i dr. (2009) iznosi glavne značajke postupaka za određivanje EPP-a koje se mogu podijeliti u četiri skupine: hidrološke metode, metode hidrauličkih procjena, metode simuliranja staništa i holističke metode. Jowett i Biggs (2006) prema Vučijak i dr. (2009) ističu kako mnogi aspekti mogu utjecati na sposobnost održavanja režima protoka rijeke poput jakih poplava, manjih poplava više puta godišnje, niskih protoka, godišnjih režima protoka i varijabilnosti protoka.

Dyson i drugi, 2003; Hirji i Davis, 2009; Meitzen i drugi, 2013, prema Čanjevac i Vučković (2018) kao i ostali autori u posljednjih dvadesetak godina daju svoje definicije onog što se u hrvatskom jeziku prevodi kao održivi protok. Takav protok uzima u obzir i čovjeka, odnosno njegove potrebe i djelatnosti kao dijela ekosustava, a ponekad se poklapa s definicijom EPP-a. Najčešće se definira kao onaj protočni režim koji odgovara potrebama ekosustava i ljudi od rijeke ili uz rijeke. Holistički pristup ono je čemu se danas teži, te se njime uvažavaju sve tri povezane komponente održivoga razvoja, a to su okoliš, društvo i gospodarstvo. Širi i obuhvatniji pristup određivanju ekološki prihvatljivih protoka daje Okvirna direktiva o vodama Europske unije te njezini provedbeni dokumenti (Europska komisija, 2015). Gopal (2016) prema Čanjevac i Vučković (2018) navodi najnoviji trend povezivanja određivanja održivog protočnog režima s uslugama ekosustava.

3 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

3.1 Osnovne značajke vodotoka i slijevnog područja

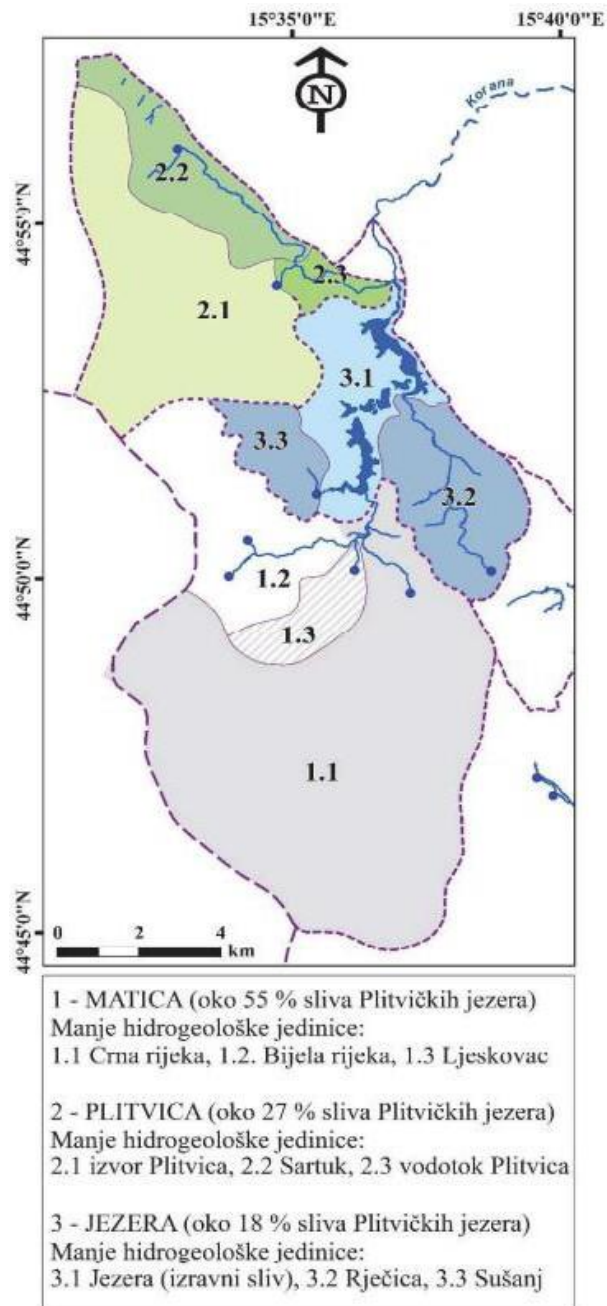
Potok Plitvica stalni je vodotok, a izvire u blizini zaseoka Rodić Poljana u NP Plitvička Jezera. Karakterizira ga snažno krško vrelo smješteno ispod strmih stijena, na nadmorskoj visini od 606 m. Potok je dugačak oko 4 kilometra, a 900 metara od vrela u njega se s lijeve strane ulijeva potok Sartuk, koji je ujedno i najznačajniji pritok Plitvice. Plitvica svoj tok završava napajajući Veliki slap koji je visinom od 78 metara najviši slap u Hrvatskoj. Na dijelu toka nizvodno od Hajdukovića mlina izraženo je poniranje vode u krško podzemlje, stoga do Velikog slapa dolazi samo 35% od ukupnog dotoka s izvora Plitvice i vodotoka Sartuk (NP Plitvička jezera, 2019.)



Sl. 1. Veliki slap i Sastavci

Izvor: Nacionalni park Plitvička jezera, 2020

Slijev potoka Plitvice predstavlja jedan od tri osnovna podslijeva Plitvičkih jezera, a čini ukupno 27% površine njihovog slijeva. Taj podslijev zajedno čine izvorišno područje Plitvice, potok Plitvica i potok Sartuk. Cijeli sustav Plitvičkih jezera, uključujući i potok Plitvicu, pripada Crnomorskom slijevu (Meaški i dr., 2016).



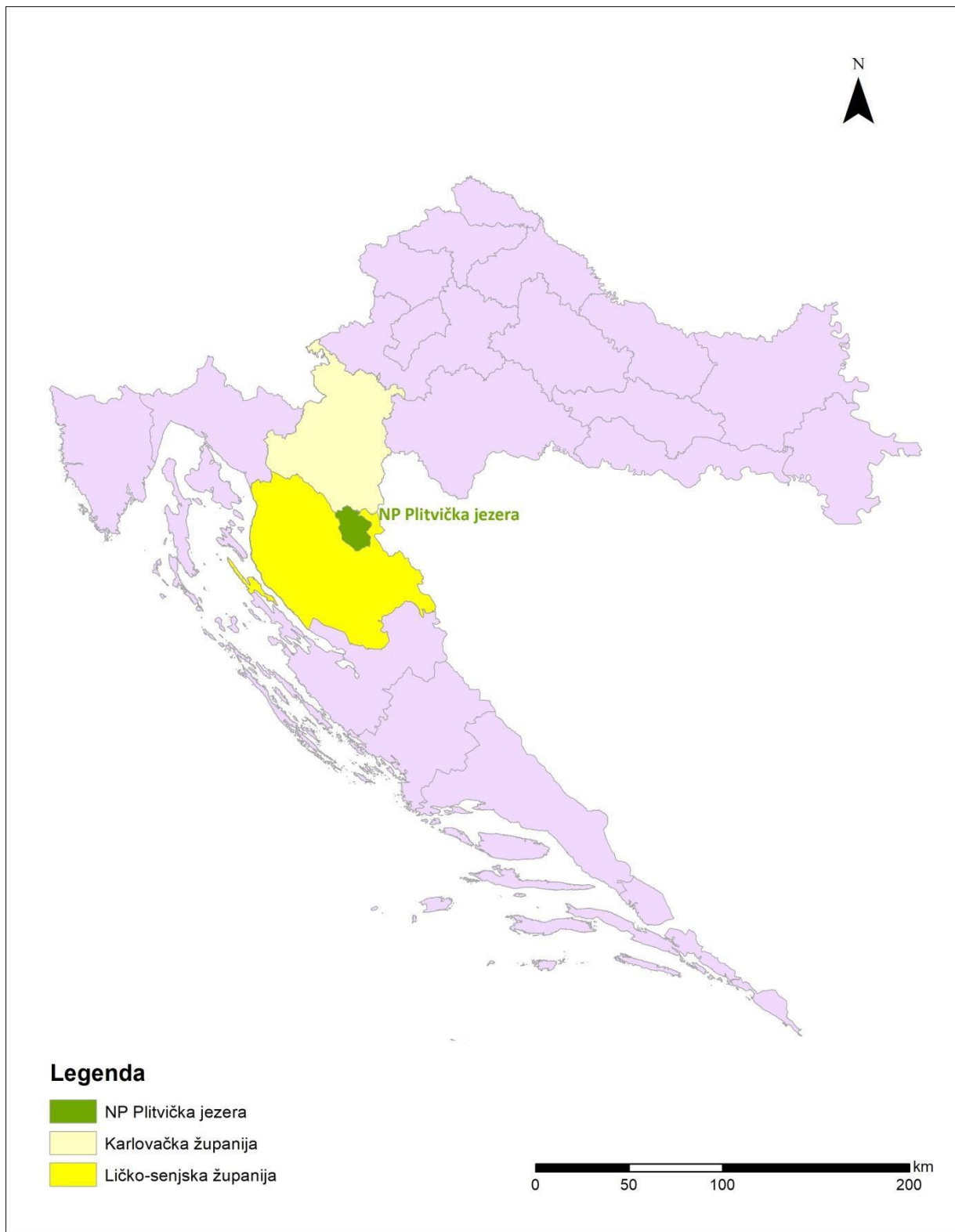
Sl. 2. Podjela slijeva Plitvičkih jezera na manje podslijeve

Izvor: Meaški i dr., 2016

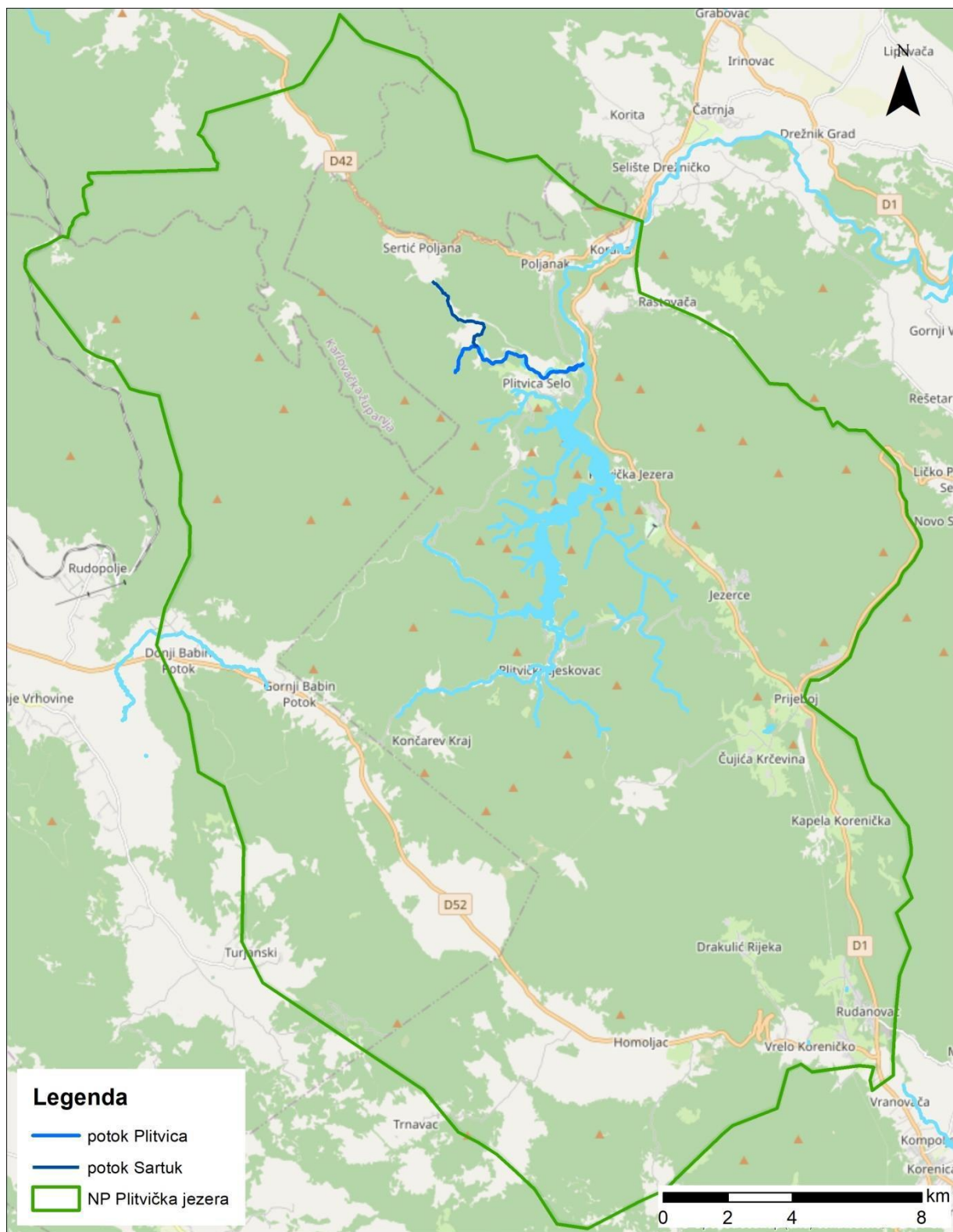
3.2 Geografski smještaj i položaj

Potok Plitvica protječe kroz sjeverozapadni dio Nacionalnog parka Plitvička jezera. Plitvička jezera nalaze se između planina Male Kapele na zapadu i sjeverozapadu i Ličke Plešivice na jugoistoku, dok ih na jugu omeđuje Ličko sredogorje s poljima u kršu i Kordunska krška zaravan na sjeveroistoku (Bočić, 2009). Prema uvjetno-homogenoj (fizionomskoj) regionalizaciji Republike Hrvatske, Plitvička jezera spadaju u regiju Gorska Hrvatska, koja se definira kao razmjerno mali sektor središnjeg dinarskog planinskog prostora koji pripada Hrvatskoj a ujedno je i prostor tzv. hrvatskoga praga. Unutar cjeline Gorska Hrvatska, Plitvička jezera pripadaju prostoru Like, odnosno Ličke zavale. Prema daljnjoj podjeli unutar Ličke zavale nalaze se unutar Krbave, odnosno krbavsko-koreničkog prostora. Do kraja 19. stoljeća prostor je slabije naseljen i korišten zbog izoliranosti i granice s Bosnom. Područje je slabo vrednovano do Drugoga svjetskog rata, a nakon proglašenja nacionalnim parkom uvodi se nužna infrastruktura i započinje se s njegovim vrednovanjem i zaštitom (Magaš, 2013).

Veći dio nacionalnog parka administrativno pripada Ličko-senjskoj županiji (91%), odnosno općinama Plitvička jezera i Vrhovine, dok se manji dio parka nalazi u Karlovačkoj županiji (9%), na području općina Rakovica i Saborsko. Istočni dio Nacionalnog parka ujedno je dio graničnog područja Republike Hrvatske prema susjednoj Bosni i Hercegovini. Prostor Plitvičkih jezera danas ima povoljan prometni položaj. Glavna poveznica kontinentalne Hrvatske i Dalmacije, državna cesta D1 (D429) prolazi kroz prostor Plitvičkih jezera. Kroz Nacionalni park prolaze manje prometna državna cesta D42 kao poveznica prostora sa sjeverom i područjem Gorskog kotara i D52 kao poveznica sa sjevernim Jadranom. Autocesta A1 prolazi sjeverozapadno od Plitvičkih jezera, s njom su također povezane navedene prometnice. Trasa Ličke pruge koja je ujedno i jedina željeznička poveznica kontinentalne Hrvatske s Dalmacijom prolazi uz SZ granicu parka (NP Plitvička jezera, 2019).



Sl. 3. Geografski položaj NP Plitvičkih jezera unutar RH



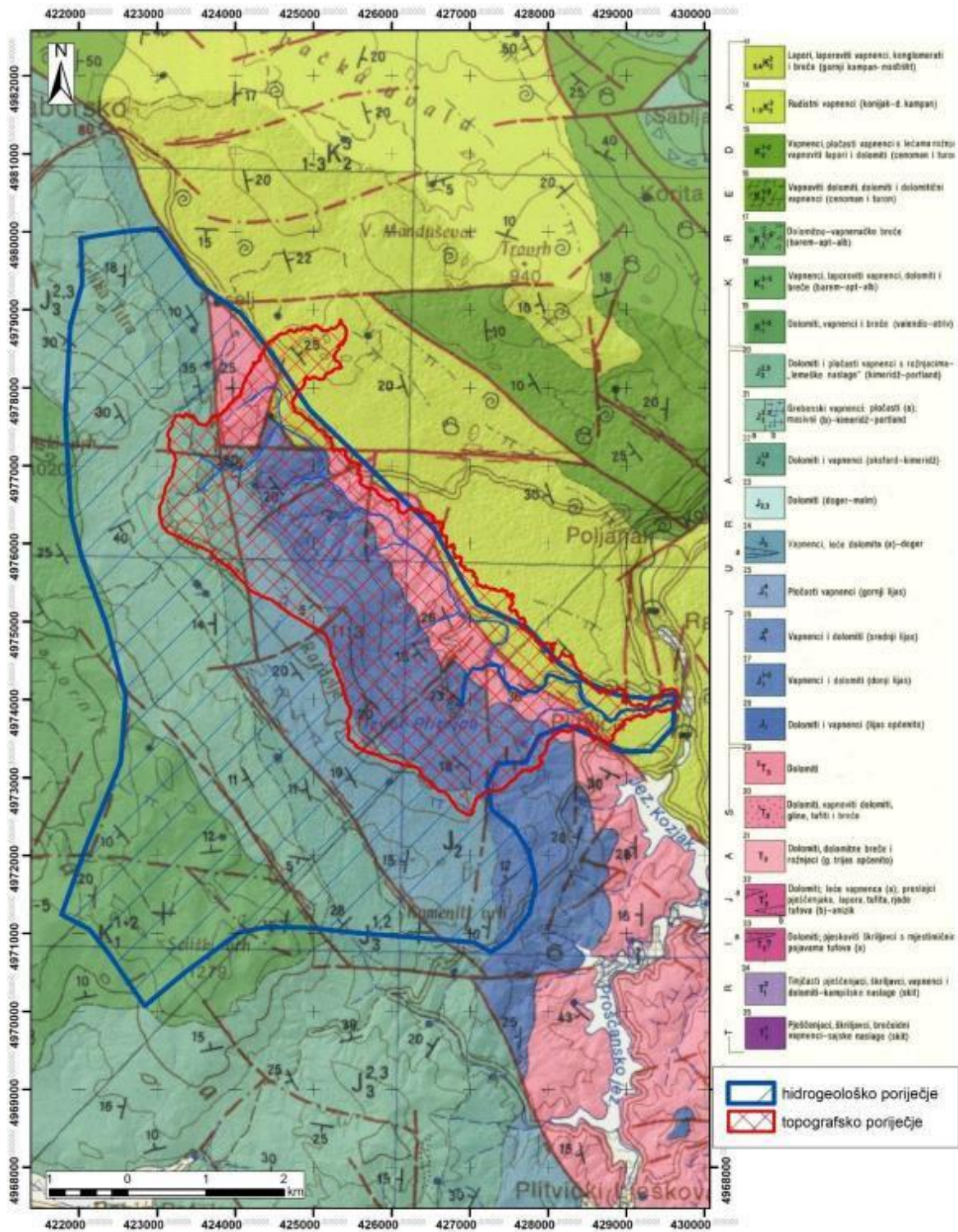
Sl. 4. Geografski smještaj potoka Plitvice i potoka Sartuka unutar NP Plitvička jezera

3.3 Geološka obilježja

Plitvička jezera dio su Dinarskog krškog područja. Procesi okršavanja karbonatnih stijena mezozojske starosti vezani su za vodne sustave toga prostora. Na tom se području od karbonatnih stijena javljaju dobro vodopropusne, osrednje vodopropusne i slabo vodopropusne stijene. Uz njih se još pojavljuju i naslage promjenjivih vodopropusnih svojstava, te u cjelini vodonepropusne klastične stijene (Meaški i dr., 2016).

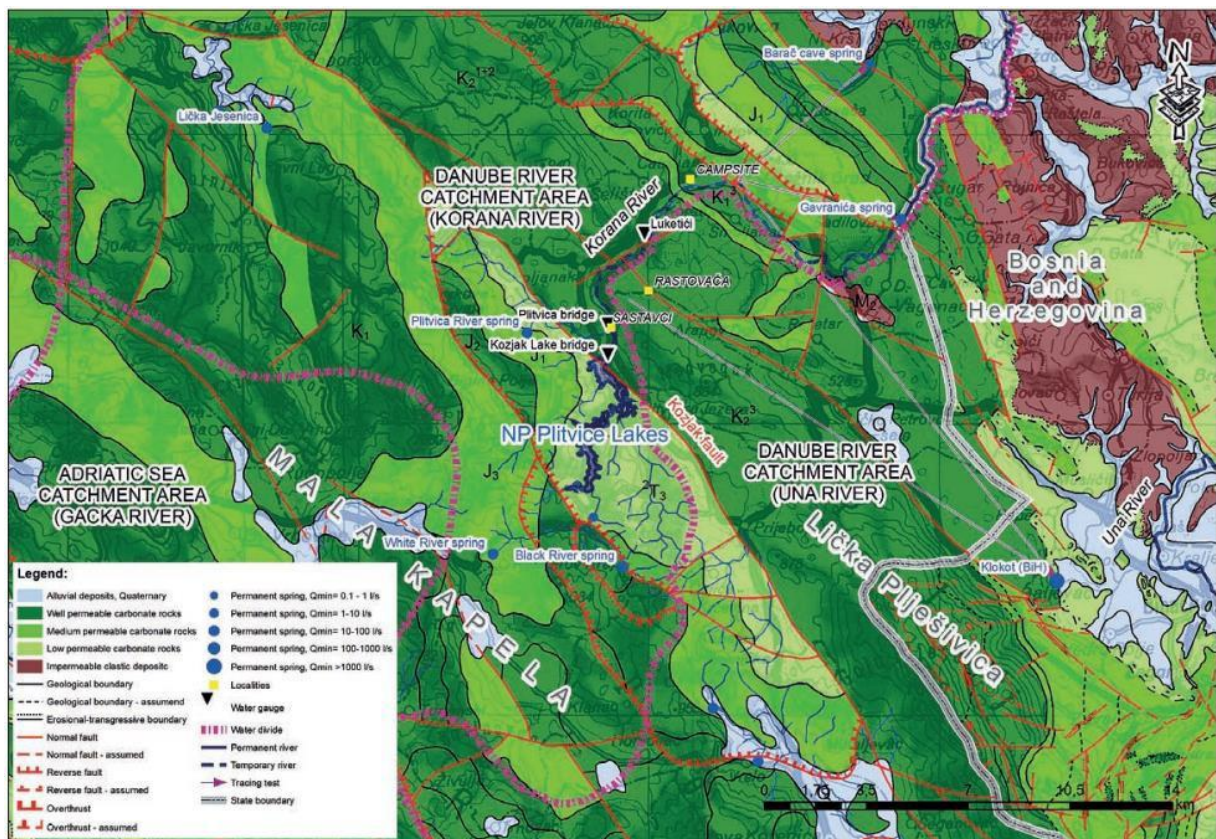
Kao što je već ranije spomenuto, slijev Plitvičkih jezera pripada Crnomorskom slijevu, a smješten je u području koje graniči sa slijevom Jadranskog mora. Prostor Plitvičkih jezera dijeli se na tri osnovna podslijeva: Maticu, Jezera i Plitvicu. Unutar podslijeva Plitvica, moguće je izdvojiti dva tipa područja: ona koja se odvodnjavaju prema izvoru Plitvice i ona koja odvodnjavaju potok Sartuk tj. Plitvicu. Drenažno područje izvora Plitvice građeno je od vapnenačkih vodonosnika donjokredne i dogerske starosti, a zauzima područje površine oko 28 km². Krški izvor Plitvice uzlaznog je tipa, a usječen je u vapnence lijaske starosti. Hidrogeološko područje vodotoka Plitvice s hidrogeološkim područjem izvora Plitvice mora se promatrati odvojeno zbog problema gubitaka vode, iako čini jedinstvenu cjelinu. Prvih 500 metara toka prisutni su osrednje vodopropusni karbonati jurske starosti. Nakon tih 500 metara, nastavlja protjecati preko slabo vodopropusnih dolomita gornjotrijaske starosti. Na oko 900 metara od izvora, u Plitvicu se ulijeva Sartuk. Protok vodotoka Plitvice stabilan je oko 2 kilometra nizvodno od izvora do kontakta slabo vodopropusnih dolomita i dobro vodopropusnih stijena gornjokredne starosti (Meaški i dr., 2016).

Na području gdje Plitvica nastavlja teći vodopropusnim stijenama gornjokredne starosti, dolazi do smanjenja protoka i poniranja. Sedra ima pozitivnu funkciju smanjenja gubitaka vode iz potoka Plitvice, zbog povećanja vododrživosti duž cijelog toka. Negativna posljedica je preveliko sedrenje zbog kojeg se mjestimično voda izlijeva iz korita zbog njegovog izdizanja. Ta se voda akumulira u livadama u kojima su prisutne geomorfološke formacije poput sufozija i vrtača u koje voda naposljetku ponire, što ujedno predstavlja i najznačajniji gubitak vode vodotoka Plitvice (Meaški i dr., 2016.).



Sl. 5. Topografsko i hidrogeološko poriječje u odnosu na geološku podlogu

Izvor: Čanjec i dr. 2021



Sl. 6. Hidrogeološka karta Plitvičkih jezera i uzvodnog dijela rijeke Korane

Izvor: Biondić i dr., 2016

3.4 Geomorfološka obilježja

3.4.1 Strukturna geomorfologija

Tektonika predstavlja važan element za formiranje vodnih sustava u krškim područjima zbog stvaranja preduvjeta za erozijski rad vode (Biondić i dr., 2010). Neki od indikatora aktivne tektonike koji se mogu pronaći u dolini Plitvice su izdužene strme padine, laktasta skretanja dolina, pregibi u uzdužnom profilu tekućica i promjene u orijentaciji grebena. Morfolineamenti također su prisutni na području, a određeni su temeljem gore navedenih pokazatelja i morfometrijskih karakteristika reljefa. Oni mogu biti indikatori aktivnih rasjeda, a u reljefu se pojavljuju u obliku izduženih linearnih pojava. Prema Biondić i dr. (2016) rasjedi dinarske orijentacije prevladavaju zbog svoje duljine i važnosti. Dva su morfolineamenta dinarske orijentacije prisutna u području vodotoka Plitvice. Jedan se pruža dolinom Plitvice i Sartuka te obilježava Plitvički rasjed, a drugi se pruža od izvorišnog područja potoka Plitvice prema sjeverozapadu i izvorišnoj zoni potoka Sartuka, a to je ujedno i moguća trasa aktivnog rasjeda. Lineameni dijagonalnog pružanja u smjeru sjever-jug nalaze

se u području izvora Plitvice do sela Plitvice, te su vjerojatno posljedica široke rasjedne zone. Dolinske probojnice na području također upućuju na pružanje morfolineamenta, prvenstveno Zekanovka na vodotoku Plitvici (Čanjevac i dr., 2021).

Visine razina zaravnjenja upućuju na aktivnu tektoniku. Najniže područje krške zaravni nalazi se uz Donja jezera i stepeničasto se povećava prema sjeverozapadu. Fragmenti zaravnjenih površina nalaze se još i na uzvišenju Radolje. U blizini dolina Plitvice i Sartuka nalazi se niža razina, dok se viša nalazi u južnom dijelu Razdolja. Iz visina zaravnjenja mogu se odrediti dvije glavne morforstrukture u ovom području. Prva je Razdolje, koja je relativno izdignuta i pruža se dinarskim pravcem, te se vjerojatno sastoji od dvije manje morfostrukture. Druga je zaravan Poljanak koja predstavlja veći dio Unsko koranske zaravni. Između dvije glavne gore navedene morfostrukture nalazi se rasjedna zona koja se sastoji od niza manjih morfostrukturnih jedinica, a ujedno je i predisponirala razvoj dolina Plitvice i Sartuka (Čanjevac i dr., 2021).

3.4.2 Egzogena geomorfologija

Na širem području potoka Plitvice od morfostrukturnih tipova zastupljeni su krški, fluviokški, padinski, fluviudenudacijski te fluvijalni tip reljefa (Čanjevac i dr., 2021).

Ford i Williams (2004) prema Čanjevac i dr. (2021) definiraju ponikve kao glavni indikator krškog reljefa i procesa okršavanja. Većina ponikava na širem području potoka Plitvice je ljevkastog oblika. Njihova gustoća iznosi 39,4 ponikve/km² što se klasificira kao kategorija srednje gustoće (Čanjevac i dr., 2021). Uz ponikve od krških oblika važni su i speleološki objekti na ovom području.

Fluviokrški reljef nastaje kombiniranim djelovanjem krške korozije i površinskog erozijskog djelovanja vode. Najznačajniji fluviokrški oblici na ovom području su izvorišni obluci, doline, probojnice i sedrene barijere (Čanjevac i dr. 2021).

Padinski reljefni oblici koji se javljaju na ovom području su urušni blokovi, kršje, točila i sipari. Padinski procesi odvijaju se na padinama izgrađenim od dolomita gdje se javlja površinska plošna erozija. Kod tog procesa, rastrošeni materijal se transportira spiranjem i gravitacijski u niža područja terena. Na vapnenačkim terenima dominira površinska korozija i procjeđivanje vode u podzemlje. Intenzivni gravitacijski procesi osipavanja i urušavanja javljaju se podno strmih stjenovitih padina (Čanjevac i dr. 2021.)

Fluviudenudacijski reljefni oblici koji se javljaju na području Plitvice su jaruge i doline tekućica. Proces koji podrazumijevaju erozijsko usijecanje vodenih tokova tj. drenažne mreže nazivaju se fluviudenudacijskim (Čanjevac i dr., 2021).

Fluvijalni reljefni oblici na širem području Plitvice vezani su uz doline ravnog dna ispunjene akumuliranim materijalom u obliku sedre na Plitvici i aluvijalnog materijala u dolini Sartuka. Kod fluvijalnih procesa erozija i akumulacija prostorno se i vremenski izmjenjuju na dolinskom dnu. Ti oblici na Plitvici se pojavljuju kao riječni otoci, prudovi i lepezaste plavine (Čanjevac i dr, 2021).

3.5 Klima

3.5.1 Klimatološka obilježja

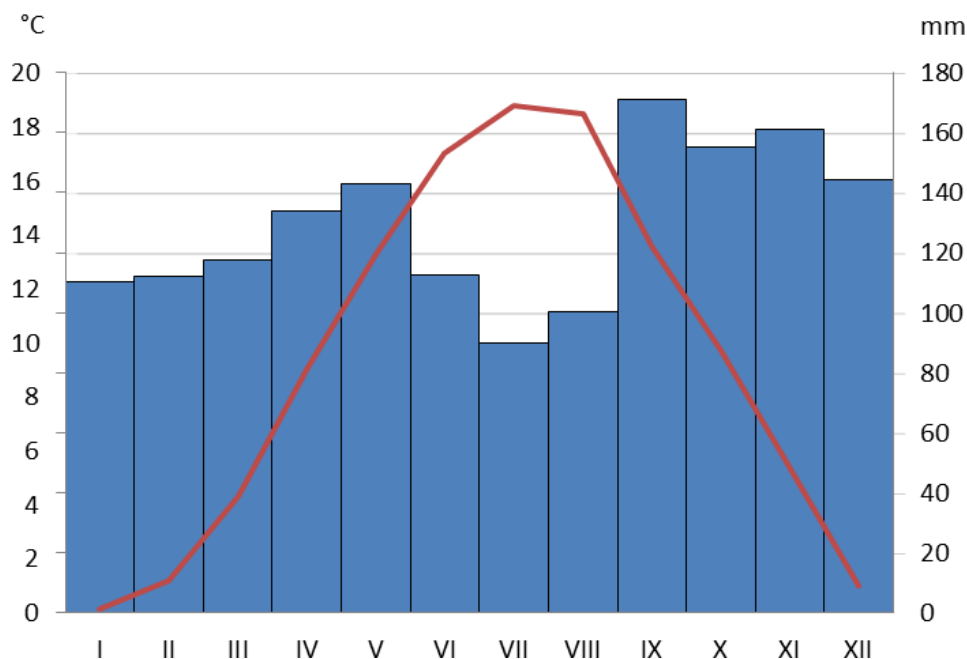
Na prostoru Nacionalnog parka Plitvička jezera, prevladava umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom (Cfb) prema Köppenovoj klimatskoj klasifikaciji. Na ovom se području, prema daljnjoj podjeli, miješaju Cfsbx" i Cfwbx" klime. U Köppenovoj klasifikaciji klime, oznaka C obilježava umjereno toplu kišnu klimu koja prevladava u velikom dijelu umjerenog pojasa. Takvoj klimi odgovara srednja temperatura zraka najhladnijeg mjeseca viša od -3 °C i niža od 18 °C. Unutar klima C izdvajaju se tipovi klima s toplim ljetom (b) ako je najmanje četiri mjeseca u godini srednja mjesečna temperatura zraka viša od 10 °C, a srednja temperatura najtoplijeg mjeseca niža od 22 °C. Suhih mjeseci nema tijekom godine. Najmanje padalina ima mjesec koji je u hladnom dijelu godine (fw), a gotovo podjednaku količinu padalina prima ljetni mjesec kolovoz (fs). Dva maksimuma javljaju se u godišnjem hodu padalina (x"), odnosno jesensko-ranozimski i proljetni maksimum (MICRO projekt d.o.o, 2019).

Na Plitvičkim jezerima proljeća počinju relativno kasno, kišovita su i hladna s temperaturama uobičajeno nižim od 8 °C. Ljeta su topla, a obilježavaju ih također topla i svježja jutra, a srednja mjesečna temperatura zraka u srpnju iznosi 18,8 °C. Prosječna temperatura zraka u jesen je oko 13 °C. Trajanje jeseni je kratko, prelazi u zimu već u studenom (MICRO projekt d.o.o., 2019). Zime su relativno duge i hladne, srednja mjesečna temperatura zraka u prosincu je 1° C, dok je od mjeseci najhladniji siječanj. Na godišnjoj razini, srednja temperatura zraka iznosi 9,3 °C (NP Plitvička jezera, 2019).

Što se tiče srednje mjesečne količine padalina, u razdoblju do 1986.-2021. prosjek je 129,3 mm, a količine uobičajeno nisu veće od 300 mm. Vrijednosti godišnjih količina padalina kreću se između 1148 i 2113 mm Srednje godišnje količine padalina pokazuju visok stupanj promjenjivosti, 1592 ± 371 mm. Snijeg je najčešća oborina zimi. Najmanje padalina ima u veljači, u prosjeku oko 80 mm, a najviše u studenom, otprilike 200 mm. Vedrih dana najviše je u srpnju i kolovozu. Zimi i u proljeće znatan je kontinentalni utjecaj na strujanje zračnih masa, što za posljedicu ima puhanje vjetrova iz smjera sjeveroistoka. Ljeti je

uglavnom vidljiv utjecaj Mediterana koji uzrokuje puhanje slabih vjetrova iz smjera jugozapada, osim za vrijeme kiše kada je vjetar jači. Razdoblja tišine su vrlo rijetka. Srednja godišnja relativna vlažnost zraka iznosi 77,5 %. Srednja relativna vlažnosti zraka za dulje razdoblje pokazuje da su od proljeća do ljeta zastupljenije niže vrijednosti od 65 do 67 %, dok su zimi visoke, oko 86 % (NP Plitvička jezera, 2019).

Klimadijagram postaje Plitvička jezera (1986.-2021.)



Sl. 7. Klimadijagram meteorološke postaje Plitvička jezera (1986.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ

3.5.2 Hidrometeorološke značajke

Riđanović (1993) prema Čanjevac i dr. (2021) tvrdi da režim padalina, kao ulazna veličina, ima velik utjecaj na režim otjecanja tekućice. Prema Čanjevac i dr. (2021) analizom dostupnih podataka na stanici Donji Babin Potok za period od 1999. do 2018. utvrđeno je da prostor Plitvičkih jezera ima maritimni pluviometrijski režim s nešto većom količinom padalina u hladnijem dijelu godine. Pojava snijega i trajanje snježnog pokrivača služi kao pokazatelj koji indicira promijene temperature zraka u hladnijem dijelu godine. Uz ukupnu količinu padalina, također ima važan utjecaj na otjecanje i režim tekućice. Godišnji hod protoka pod velikim je utjecajem pojave snijega i trajanja snježnog pokrivača koji, za zima s većom količinom snijega, formiraju zimske sekundarne minimume te jače izražene proljetne maksimume protoka. Porast temperature zraka uvjetovan klimatskim promjenama rezultira

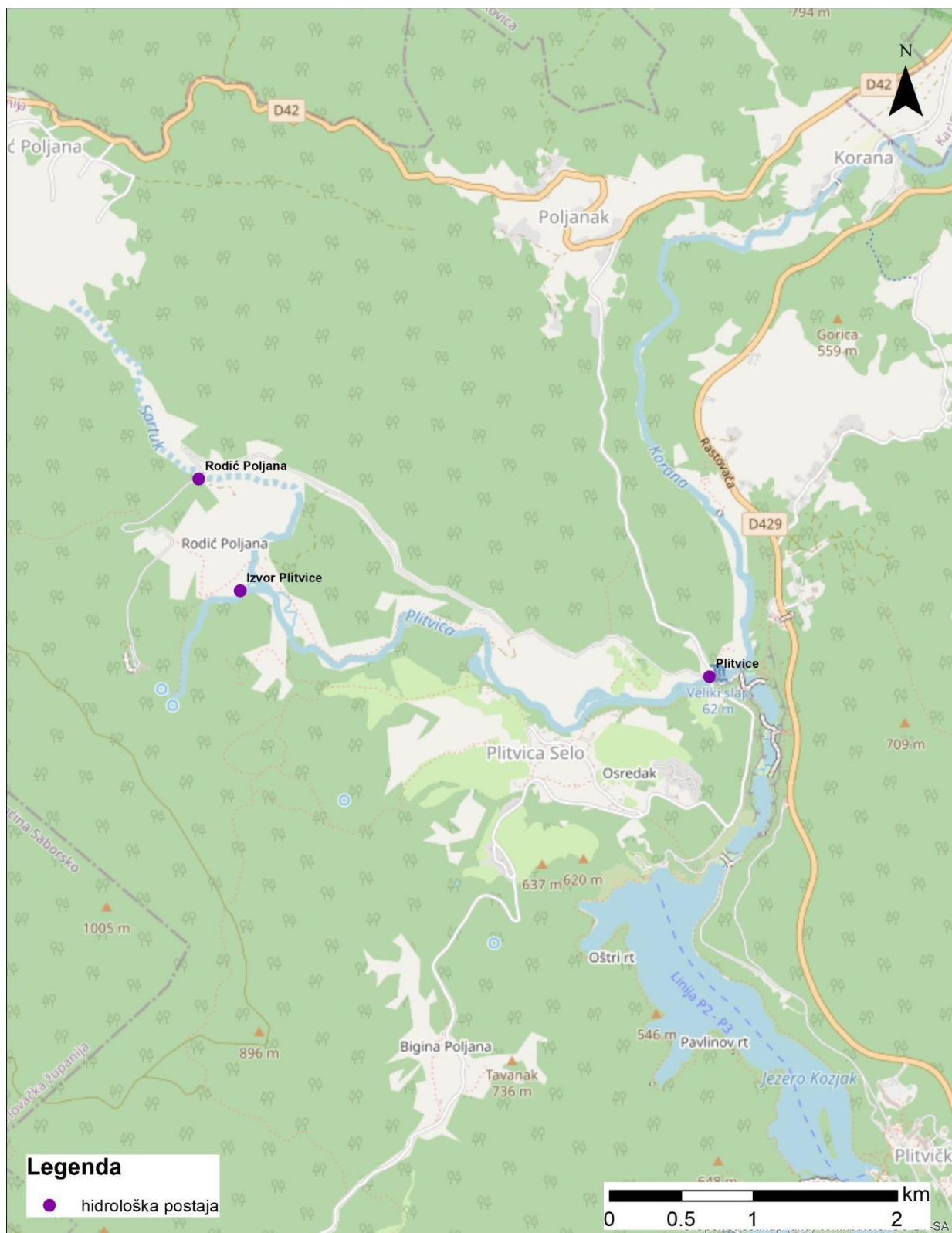
prijelazom od snijega prema kiši a sekundarno može utjecati i na smanjenje srednjih protoka (Čanjevac i dr., 2021).

Prema Čanjevac i dr. (2021) na mjernim postajama Donji Babin potok i Korenica vidljiv je trend smanjenja godišnjeg broja dana sa snježnim pokrivačem većim od jednog centimetra. Za postaju Gornji Babin Potok utvrđen je statistički značajan trend smanjenja za mjesec studeni. Iako podaci istraživanja nisu potpuni, oni indikativno pokazuju utjecaj spomenutih pojava na promjene protočnog režima vodotoka Plitvice (Čanjevac i dr., 2021.)

3.6 Hidrološka obilježja

Na porječju potoka Plitvice aktivne su tri hidrološke postaje, a njihov prostorni raspored vidljiv je na slici 8. Najuzvodnija hidrološka postaja na potoku Plitvici je Izvor Plitvice. Ona je ujedno i najmlađa postaja, s početkom rada 2018 godine. Zbog tako kratkog vremenskog niza, podaci ove postaje nisu dovoljni za daljnju analizu. Nizvodno od hidrološke postaje Izvor Plitvice, u Plitvicu se ulijeva vodotok Sartuk. Za vrijeme srednjih protoka pridonosi oko 10 % ukupnom protoku Plitvice. Hidrološka postaja na Sartuku je Rodić Poljana, se nalazi 1,1 km uzvodno od njegovog ušća u Plitvicu. Postaja Plitvice je najnižvodnija hidrološka postaja na potoku Plitvici, a nalazi se iznad Velikoga slapa kojim ujedno potok Plitvica i završava svoj tok (Čanjevac i dr. 2021).

Protočni režim na svim navedenim hidrološkim postajama pripada Dinarsko snježno-kišnom režimu. Taj složeni režim ima po dva minimuma i maksimuma tijekom godine, a tipičan je za kraće tekućice Gorske Hrvatske. Te tekućice imaju značajan doprinos sniježnice u prihrani rijeke što određuje proljetni maksimum (Čanjevac i dr. 2021).



Sl. 8. Hidrološke postaje na potoku Plitvici i potoku Sartuku

Tab. 1. Mjesečni i godišnji srednjaci protoka Plitvice na hidrološkoj postaji Plitvice (1980.-2021.)

Mjesečni i godišnji srednjaci protoka [L/s] na hidrološkoj postaji Plitvice na Plitvici za period 1980.-2021.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
1980	520	1290	1010	1300	3010	794	380	171	152	392	1530	562	926
1981	370	263	2570	1370	773	1750	365	217	823	694	389	2210	983
1982	1000	259	664	1440	837	319	166	112	181	849	322	1110	606
1983	747	443	1410	1060	226	112	102	90	127	183	120	263	407
1984	412	477	911	3090	1660	593	198	61	465	591	688	355	792
1985	488	644	1210	1820	1070	338	231	77	87	119	370	988	620
1986	676	403	777	1590	565	1120	566	196	205	841	1080	611	719
1987	273	818	1010	2210	1430	594	331	180	162	190	517	636	696
1988	554	697	1600	1590	699	733	271	202	422	348	443	765	694
1989	242	398	809	843	2370	860	994	836	1420	1760	871	702	1010
1990	381	301	233	824	304	265	160	84	134	551	764	837	403
1991	1720	783	951	1300	2730	931	650	379	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	953	775	1110	1170	646	433	130	57	442	157	456	307	553
2002	444	1150	580	1320	614	145	61	130	776	708	797	960	640
2003	726	445	668	661	208	110	56	46	60	402	349	193	327
2004	340	430	930	1570	839	890	211	76	183	447	963	1270	679
2005	269	85	1150	1920	741	212	297	894	649	880	604	857	713
2006	595	617	1310	1760	1050	1090	254	160	56	35	140	105	597
2007	579	542	790	447	184	330	130	137	596	1140	1800	705	615
2008	1020	553	980	1410	572	831	315	236	321	454	866	1350	743
2009	536	851	747	986	395	244	166	116	103	190	343	1010	474
2010	769	650	1190	1160	799	930	310	199	668	563	684	1100	752
2011	513	511	539	468	394	314	201	163	80	188	140	369	323
2012	367	209	525	815	870	506	273	246	630	550	1120	722	570
2013	593	485	1760	2170	867	624	385	252	218	458	1790	682	857
2014	685	1820	1180	-	-	-	1100	1010	-	2330	1020	917	-
2015	654	555	1240	1030	719	366	209	189	513	1980	414	505	698
2016	386	1290	1320	554	2060	627	292	306	374	614	1310	485	-
2017	285	999	1140	516	608	335	182	127	690	383	1300	1700	-
2018	794	313	2260	1620	461	718	433	235	209	147	351	487	669
2019	366	1010	451	1080	3190	838	551	461	353	345	2030	751	952
2020	314	241	495	401	509	282	-	-	-	870	886	1660	-
2021	2300	1480	476	675	621	320	936	342	297	1510	1090	1440	957
srednjak	632.45	660.21	1030.18	1255.31	1000.66	579.81	340.81	249.59	379.87	652.16	798.34	831.69	677.68
minimum	242	85	233	401	184	110	56	46	56	35	120	105	323
maksimum	2300	1820	2570	3090	3190	1750	1100	1010	1420	2330	2030	2210	1010

Izvor podataka: DHMZ

Tab. 2. Mjesečni i godišnji srednjaci protoka Sartuka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana (1980.-2021.)

Mjesečni i godišnji srednjaci protoka [L/s] na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na Sartuku za period 1980.-2021.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
1980	143	218	94	153	316	26	25	25	25	25	25	-	-
1981	-	-	-	-	-	303	80	45	108	96	37	362	-
1982	149	45	107	179	96	34	28	34	29	155	64	201	94
1983	179	94	221	137	34	20	13	10	11	15	11	25	64
1984	46	48	138	327	169	66	24	17	65	81	92	48	93
1985	87	66	167	214	175	45	23	10	11	11	42	114	81
1986	80	100	122	150	62	152	62	26	25	108	96	45	86
1987	23	119	161	219	144	46	33	15	8	15	73	47	75
1988	58	100	229	142	69	69	21	16	18	17	28	51	68
1989	8	37	61	70	331	62	97	62	197	244	94	81	112
1990	60	57	62	168	43	28	17	10	17	85	166	251	80
1991	366	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72	-
2002	105	130	72	285	269	40	30	34	137	224	189	255	147
2003	176	234	213	97	69	47	18	15	9	27	37	39	82
2004	72	72	192	270	125	100	52	29	27	48	66	131	99
2005	125	97	229	418	213	153	90	161	164	177	146	290	188
2006	167	158	189	197	126	71	39	40	33	27	29	38	93
2007	62	56	99	128	51	29	19	15	48	93	261	99	80
2008	87	63	122	148	53	53	38	30	24	16	38	115	65
2009	92	110	79	162	71	36	34	20	11	11	15	28	56
2010	60	64	92	134	187	157	77	71	95	74	134	140	107
2011	102	129	108	75	60	43	20	17	10	12	9	55	53
2012	70	71	86	86	87	63	34	25	60	130	148	143	84
2013	152	177	173	197	115	80	49	32	37	38	122	84	105
2014	73	247	189	169	-	-	-	-	302	363	349	139	-
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	68	219	265	91	471	96	32	36	37	75	169	46	-
2017	-	-	132	49	43	25	18	16	104	37	154	161	-
2018	129	65	266	115	95	103	71	35	31	32	48	72	88
2019	41	103	43	123	392	113	63	40	38	23	130	105	101
2020	39	36	80	44	59	46	32	60	62	203	107	165	78
2021	259	182	90	97	73	35	60	24	20	114	79	179	101
srednjak	106.14	110.61	140.72	160.14	142.79	73.83	41.34	33.45	58.77	85.87	98.60	119.37	91.20
minimum	8	36	43	44	34	20	13	10	8	11	9	25	53
maksimum	366	247	266	418	471	303	97	161	302	363	349	362	188

Izvor podataka: DHMZ

Tab. 3. Mjesečni i godišnji minimumi protoka Plitvice na hidrološkoj postaji Plitvice (1980.-2021.)

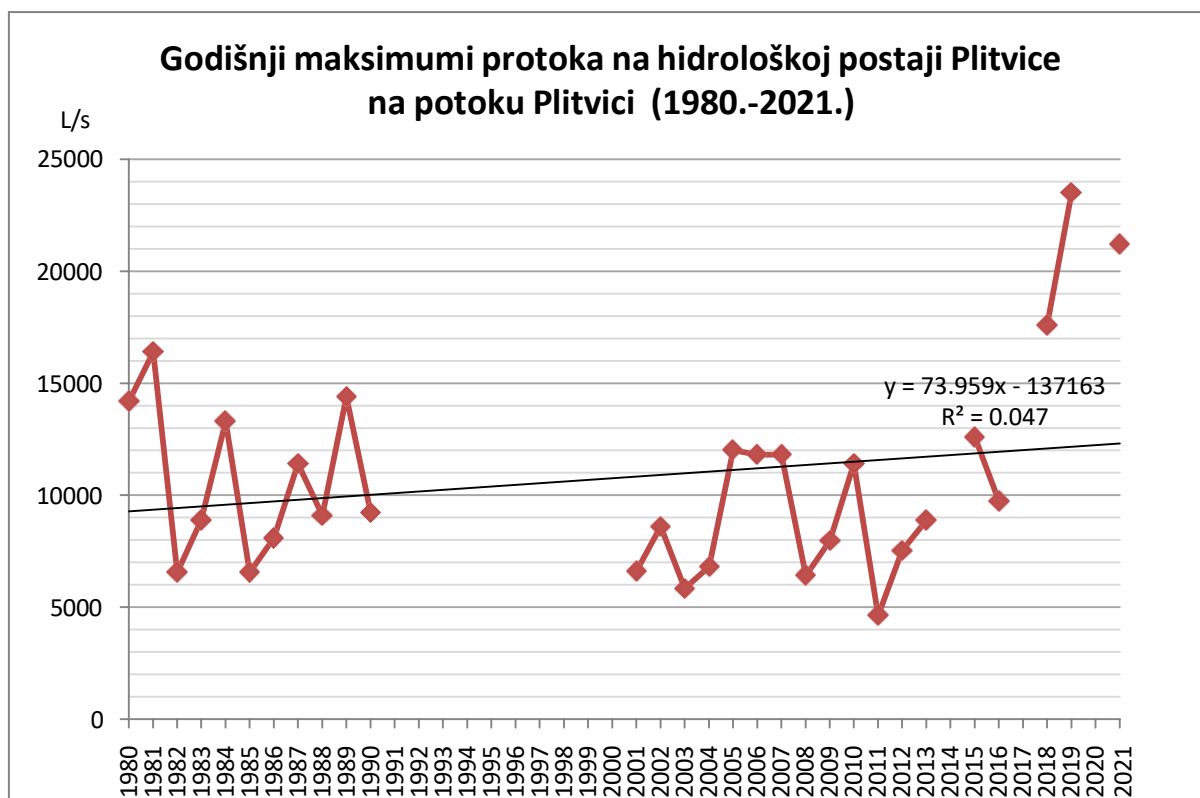
Mjesečni i godišnji minimumi protoka [L/s] na hidrološkoj postaji Plitvice na Plitvici za period 1980. - 2021.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
1980	271	406	334	692	1680	406	172	134	102	77	172	271	77
1981	172	172	218	584	271	334	218	172	172	271	271	271	172
1982	334	172	172	584	406	172	77	56	56	56	172	490	56
1983	250	203	203	304	129	77	57	57	57	57	77	57	57
1984	82	154	207	980	785	275	59	28	41	113	113	113	28
1985	41	275	350	691	430	207	113	41	41	82	82	514	41
1986	155	180	208	466	208	287	208	155	133	133	208	287	133
1987	180	180	373	894	565	373	180	155	133	133	133	287	133
1988	208	466	466	669	373	373	180	133	180	208	208	373	133
1989	180	180	466	466	894	565	565	373	373	779	565	565	180
1990	329	217	107	217	217	137	82	46	46	82	269	174	46
1991	790	549	436	549	1320	549	269	174	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	376	267	267	606	376	206	78	48	48	78	93	179	48
2002	131	606	301	235	267	78	51	51	54	461	267	507	51
2003	418	235	267	301	131	78	51	38	32	41	93	78	32
2004	111	131	179	658	461	418	93	54	48	54	111	658	48
2005	81	54	38	590	388	99	81	81	120	345	199	388	38
2006	388	231	434	1130	590	483	99	44	34	33	34	66	33
2007	266	266	266	199	99	99	81	81	66	199	590	231	66
2008	120	388	345	708	434	388	266	199	170	266	434	708	120
2009	207	396	441	396	239	149	103	103	83	83	103	207	83
2010	265	225	354	507	354	354	225	121	121	308	402	507	121
2011	354	308	265	354	308	188	153	22	22	22	92	66	22
2012	188	121	308	354	402	265	225	153	121	265	615	308	121
2013	102	294	294	1130	689	359	294	184	140	184	236	431	102
2014	558	703	655	-	-	-	474	623	-	752	734	607	-
2015	311	311	506	661	205	256	159	119	119	506	311	311	119
2016	159	159	660	424	751	358	199	199	199	246	496	383	159
2017	233	346	413	346	413	187	147	87	87	287	287	652	87
2018	372	156	195	372	301	243	243	195	61	99	156	243	61
2019	291	366	366	366	750	539	539	231	231	231	112	112	112
2020	226	226	226	279	226	246	-	-	-	233	226	601	-
2021	649	557	406	406	406	244	244	244	244	244	406	753	244
srednjak	266.61	287.88	325.03	534.94	470.88	281.00	187.03	137.53	111.13	216.50	258.34	356.19	90.77
minimum	41	54	38	199	99	77	51	22	22	22	34	57	22
maksimum	790	703	660	1130	1680	565	565	623	373	779	734	753	244

Izvor podataka: DHMZ

Tab. 4. Mjesečni i godišnji minimumi protoka Sartuka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana (1980.-2021.)

Mjesečni i godišnji minimumi protoka [L/s] na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na Sartuku za period 1980. - 2021.													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
1980	35	31	35	35	31	25	25	25	25	25	25	-	-
1981	-	-	-	-	-	35	35	28	28	35	22	35	-
1982	51	21	21	62	41	16	12	16	12	12	33	62	12
1983	75	26	33	41	16	12	6	4	4	4	6	3	3
1984	6	16	21	62	33	26	12	6	9	16	16	16	6
1985	9	33	26	75	41	21	4	4	6	4	9	33	4
1986	26	16	26	51	21	33	12	6	6	6	21	9	6
1987	6	12	51	62	51	21	9	6	3	4	12	12	3
1988	12	41	26	51	33	26	9	3	4	9	6	9	3
1989	3	4	16	16	51	26	21	21	41	89	62	62	3
1990	33	33	26	51	26	9	9	6	4	4	41	62	4
1991	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	-
2002	78	64	53	35	64	27	21	21	21	188	64	188	21
2003	64	188	158	64	53	17	17	7	5	7	17	27	5
2004	43	35	64	132	78	64	35	21	17	17	27	53	17
2005	97	74	74	179	150	97	35	35	74	123	97	211	35
2006	132	132	111	111	93	35	27	27	27	17	13	35	13
2007	35	35	43	93	17	13	13	9	9	13	111	78	9
2008	64	43	35	78	35	35	27	21	17	9	13	43	9
2009	78	53	53	93	53	22	28	7	7	5	7	7	5
2010	49	49	49	100	100	81	65	65	53	53	53	111	49
2011	82	82	69	58	37	21	14	8	3	3	8	8	3
2012	46	58	46	58	46	30	26	14	14	115	99	115	14
2013	105	122	88	122	88	36	36	18	26	10	18	74	10
2014	66	66	140	100	-	-	-	-	162	112	140	112	-
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	18	27	143	52	227	42	17	16	19	17	33	15	15
2017	-	-	83	29	29	17	15	14	14	19	19	57	-
2018	69	29	46	57	57	37	29	23	19	19	19	19	19
2019	16	22	27	27	130	52	27	18	17	17	22	33	16
2020	18	22	27	22	22	17	17	16	18	33	33	42	16
2021	84	67	55	44	35	18	18	13	11	15	18	55	11
srednjak	52.59	50.04	56.72	67.59	59.21	31.41	21.41	16.48	22.50	33.33	35.47	55.00	11.96
minimum	3	4	16	16	16	9	4	3	3	3	6	3	3
maksimum	132	188	158	179	227	97	65	65	162	188	140	211	49

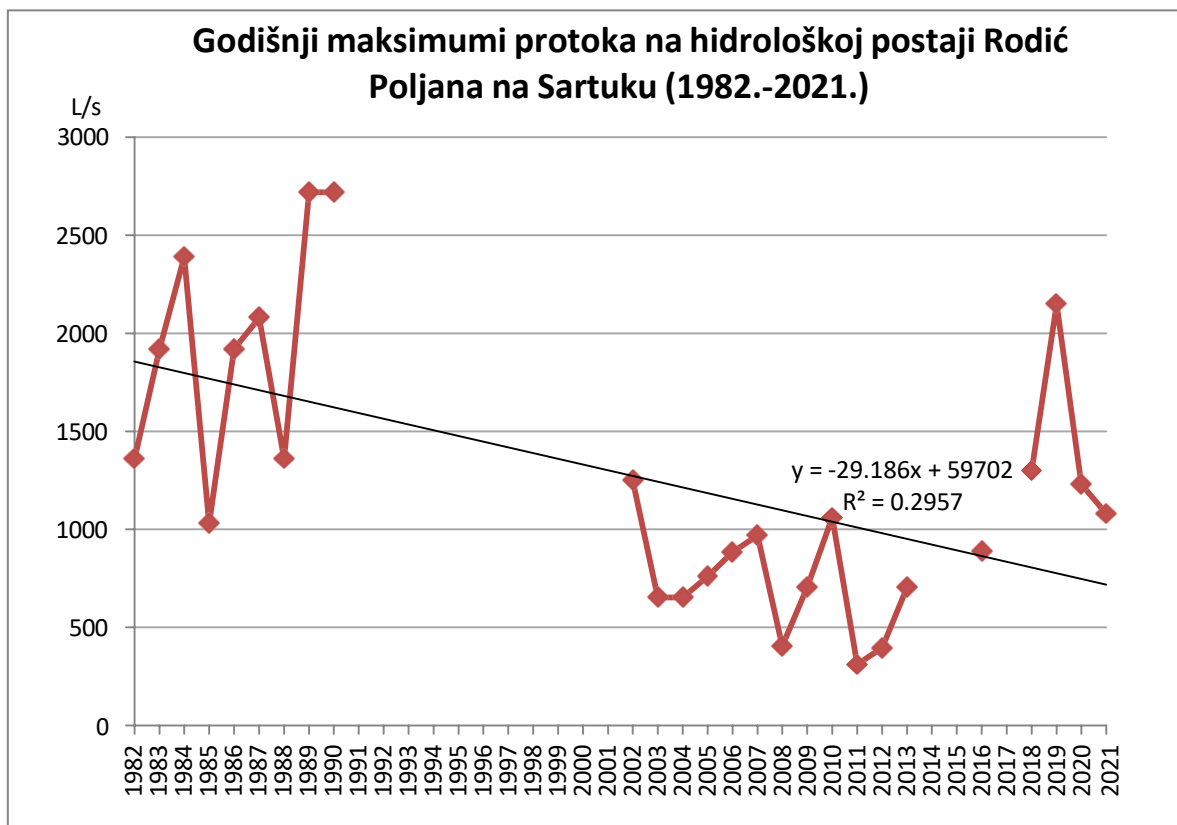
Izvor podataka: DHMZ



Sl. 9. Hidrogram godišnjih maksimuma protoka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici (1980.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ

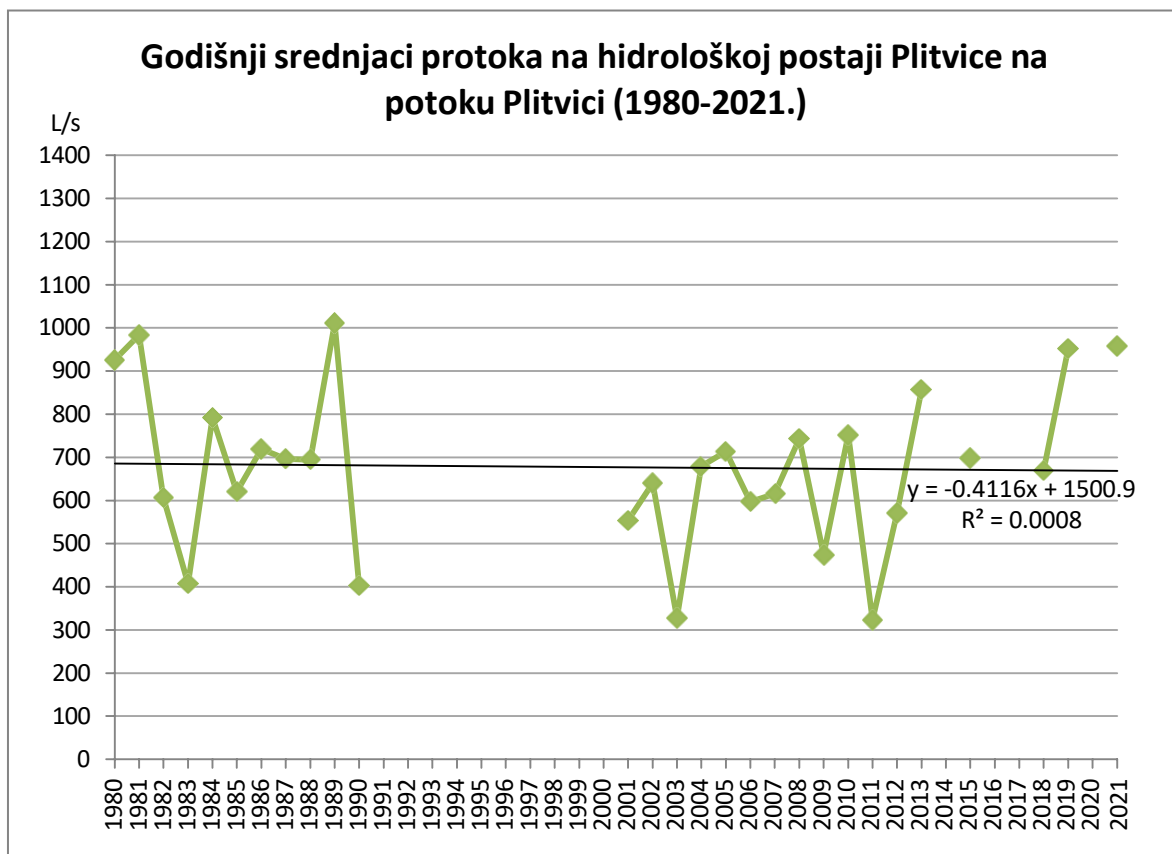
Na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici primarni (proljetni), znatno jače izraženi maksimum javlja se u novijem razdoblju u ožujku ili travnju, a drugi (kasnojesenski) maksimum u studenome (Čanjevac i dr, 2021). Vrijednosti mjesečnih maksimuma protoka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici promatrani su u periodu od 1980.-2021. U ožujku prosječna vrijednost maksimuma iznosi 5217,58 L/s, dok najveći zabilježeni maksimum u tom mjesecu (2018.) iznosi 17600 L/s. U travnju prosječna vrijednost maksimuma iznosi 4715,88 L/s, dok je najveća zabilježena vrijednost maksimuma za taj mjesec zabilježena 1984., a iznosi 13300 L/s. Kasnojesenski maksimum u studenome u prosjeku iznosi 5035,47 L/s, dok mu je najveća zabilježena vrijednost 13000 L/s zabilježena 2019. Godišnji maksimumi protoka na hidrološkoj postaji Plitvice imaju trend rasta, s najvećom vrijednošću zabilježenom 2019. od 23500 L/s (sl. 9).



Sl. 10. Hidrogram godišnjih maksimuma protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku (1982.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ

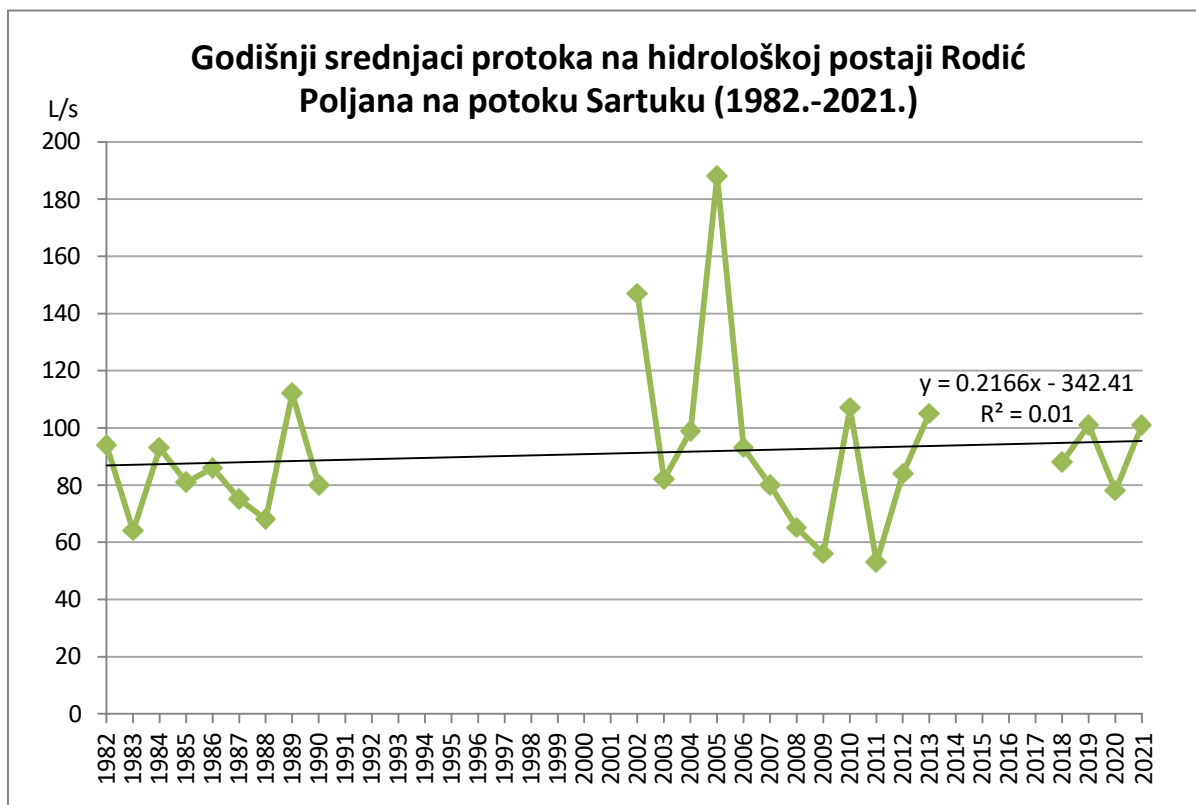
Na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku primarni (proljetni), znatno jače izraženi maksimum javlja se u ožujku ili travnju, a drugi (kasnojesenski) maksimum u prosincu (Čanjevac i dr, 2021). Vrijednosti mjesečnih maksimuma protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku promatrani su u periodu od 1980.-2021. U ožujku prosječna vrijednost maksimuma iznosi 580,62 L/s, dok najveći zabilježeni maksimum iz 1983. iznosi 1920 L/s. U travnju prosječna vrijednost maksimuma iznosi 603,34 L/s, dok najveća zabilježena vrijednost maksimuma za taj mjesec zabilježena 1984. iznosi 2390 L/s. Kasnojesenski maksimum u prosincu u prosjeku iznosi 513,07 L/s, dok mu je najveća vrijednost od 2920 L/s zabilježena 1982. Godišnji maksimumi protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku imaju trend pada, s najvećom vrijednošću od 2720 L/s zabilježenom uzastopno 1989. i 1990. (sl. 10). Početna godina na prikazanom hidrogramu (sl. 10) je 1982. zbog nedostatka izmjerenih vrijednosti godišnjih maksimuma protoka za godine 1980. i 1981. na postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku.



Sl. 11. Hidrogram godišnjih srednjaka protoka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici (1980.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ

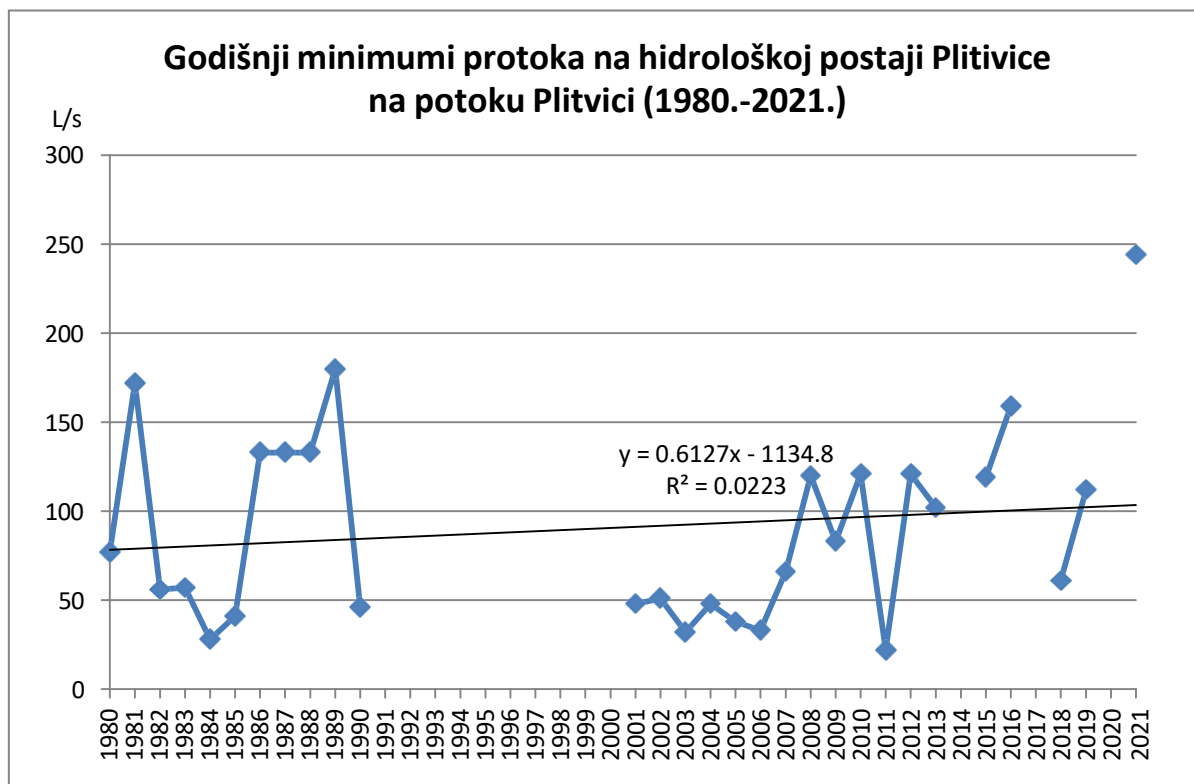
Trend vrijednosti godišnjih srednjaka protoka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici ima vrlo blagi pad (sl. 11). Prosječna godišnja vrijednost srednjaka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici u periodu od 1980.-2021. iznosi 677,68 L/s (tab. 1).



Sl. 12. Hidrogram godišnjih srednjaka protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku (1982.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ

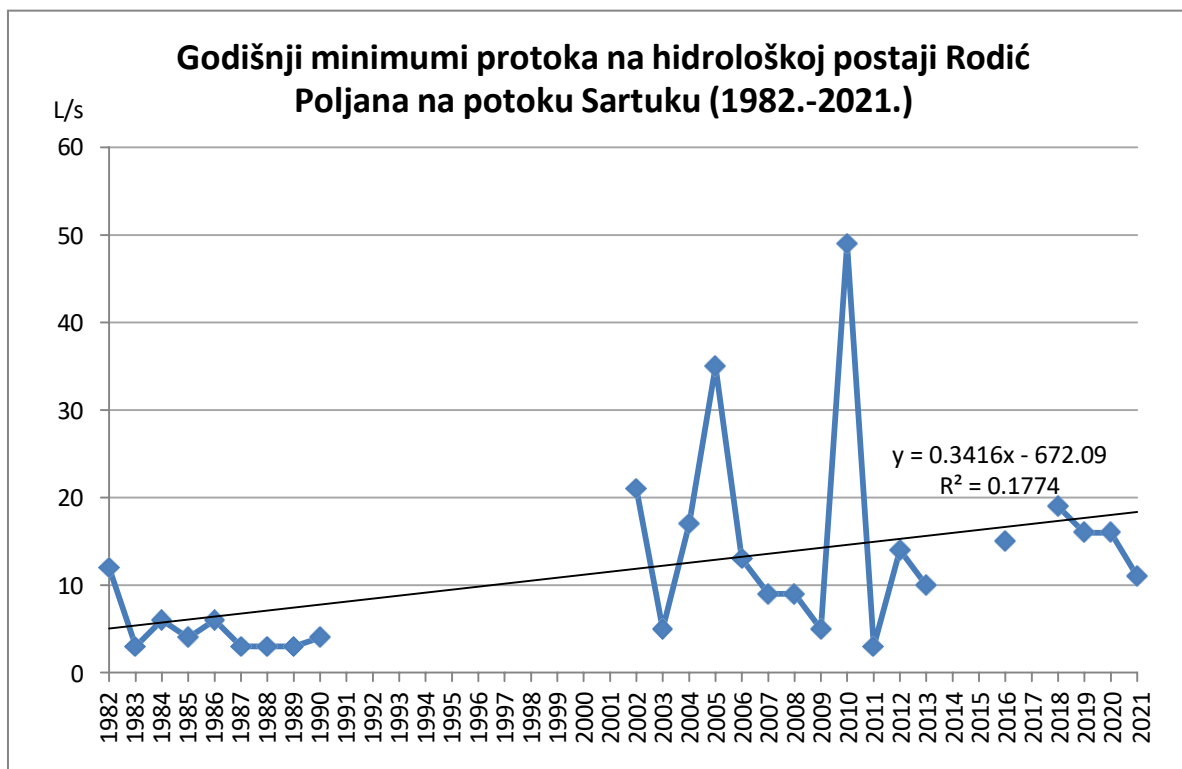
Trend vrijednosti godišnjih srednjaka protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku ima blagi rast (sl. 12). Prosječna godišnja vrijednost srednjaka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku u periodu od 1980.-2021. iznosi 91,2 L/s (tab. 2). Početna godina na prikazanom hidrogramu (sl. 12) je 1982. zbog nedostatka izmjerenih vrijednosti godišnjih srednjaka protoka za godine 1980. i 1981. na postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku.



Sl. 13. Hidrogram godišnjih minimuma protoka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici (1980.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ

Primarni (ljetni) minimum na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici javlja se u srpnju ili kolovozu, a sekundarni (zimski) u siječnju (Čanjevac i dr, 2021). Vrijednosti mjesečnih minimuma protoka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici promatrani su u periodu od 1980.-2021 (tab. 3). U srpnju prosječna vrijednost minimuma iznosi 187,03 L/s, dok je najmanja zabilježena vrijednost minimuma u tom mjesecu zabilježena uzastopno 2002. i 2003. godine, a iznosi 51 L/s. U kolovozu prosječna vrijednost minimuma iznosi 137,53 L/s, dok najmanja zabilježena vrijednost minimuma za taj mjesec zabilježena 2011. iznosi 22 L/s. Sekundarni minimum u siječnju u prosjeku iznosi 266,61 L/s, dok mu je najmanja vrijednost od 41 L/s zabilježena 1985. Godišnji minimumi protoka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici imaju trend rasta, s najvećom vrijednošću zabilježenom 2021. od 244 L/s (sl. 13). Najmanja godišnja vrijednost minimuma iznosi 22 L/s, a zabilježena je 2011.



Sl. 14. Hidrogram godišnjih minimuma protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku (1982.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ

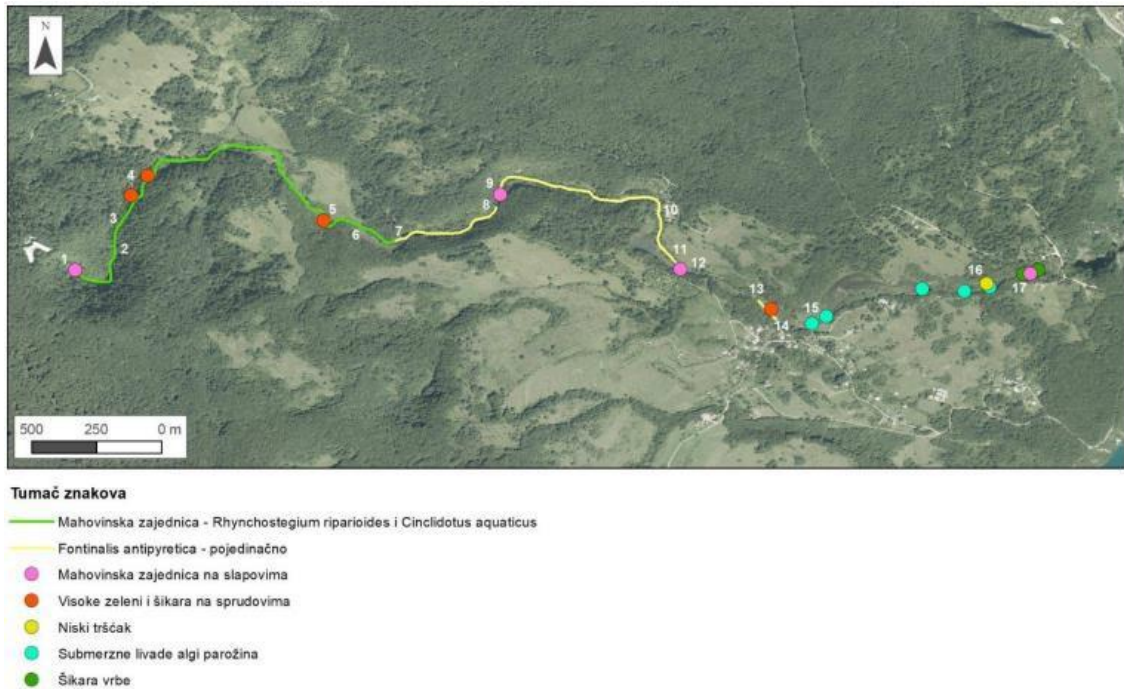
Primarni (ljetni) minimum na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku javlja se u srpnju ili kolovozu, a sekundarni (zimski) u siječnju ili veljači (Čanjevac i dr, 2021). Vrijednosti mjesečnih minimuma protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku promatrani su u periodu od 1980.-2021 (tab. 4.). U srpnju prosječna vrijednost minimuma iznosi 21,41 L/s, dok je najmanja zabilježena vrijednost minimuma u tom mjesecu zabilježena 1985. godine, a iznosi 4 L/s. U kolovozu prosječna vrijednost minimuma iznosi 16,48 L/s, dok najmanja zabilježena vrijednost minimuma za taj mjesec zabilježena 1988. iznosi 3 L/s. Sekundarni minimum u siječnju u prosjeku iznosi 52,59 L/s, dok mu je najmanja vrijednost od 3 L/s zabilježena 1989. Sekundarni minimum u veljači u prosjeku iznosi 50,04 L/s, dok mu je najmanja vrijednost za taj mjesec od 4 L/s zabilježena 1989. Godišnji minimumi protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku imaju trend rasta (sl. 14). Početna godina na prikazanom hidrogramu (sl. 14) je 1982. zbog nedostatka izmjenjenih vrijednosti godišnjih minimuma protoka za godine 1980. i 1981. na postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku. Najveća godišnja vrijednost minimuma od 49 L/s

zabilježena je 2010. Najmanja godišna vrijednost minimuma iznosi svega 3 L/s, a zabilježena je prvi puta 1983., te u uzastopnim godinama od 1987.-1989.

3.7 Biljni pokrov

Potok Plitvica cijelim svojim tokom nalazi se u pojasu bukovih šuma. U izvorišnom dijelu Plitvice zastupljena je miješana šuma bukve i jele s prisutnošću smreke. Kako se tok nastavlja, ostaje zastupljena samo šuma bukva. Šikare vrbe rakite najzastupljenije su na položenijim dijelovima obalnog pojasa, prudovima i završnim kaskadnim slapovima. Obilje svjetlosti pogoduje gustoći staništa vrbe rakite na kaskadnim slapovima nadomak Velikog slapa, no bez obzira na bujnu vegetaciju, voda kroz njih neometano protječe. Uz vrbe, u obalnom pojasu pojavljuju se i vrste vaskularne flore svojstvene za vlažna staništa kao što su visoke zeleni (Čanjevac i dr. 2021).

Na lijevoj obali nizvodno od mjesta Hajdukovići šuma se prekida te ju zamjenjuju zapuštene livade i šikare. Takvo stanje nije prirodno, već je posljedica krčenja primarne šume zbog čega su nastale livade košenice. Košnja je danas najvećim dijelom napuštena i tu se posljedično razvila šikara. Iako nisu u potpunosti prirodni, travnjaci su važna središta bioraznolikosti, pa je preporučljiva sezonska košnja jednog dijela tog staništa radi njihova opstanka. Vodena se vegetacija u izvorišnom dijelu pojavljuje u obliku mahovina na krupnom kamenu i stijenama. Vrsta mahovine *Cinclidotus aquaticus* pojavljuje se na mjestima gdje je tok brz, a uz nju se javljaju i vrste *Rhynchostegium riparoides* i *Cratoneuron filicinum*. Pojavom šljunka i pijeska u koritu mahovine nestaju, jer oni nisu pogodna podloga za naseljavanje. Prethodne vrste zamjenjuje nova pod imenom *Fontinalis antipyretica*. Mahovinska vegetacija vlažnih stijena pojavljuje se u zoni prskanja vode u dijelu toka prema Velikom slapu gdje se Plitvica prelijeva preko karbonatih blokova. Ujezerenja nizvodno od Plitvica sela sadržavaju bujniju vodenu vegetaciju u vidu livada alga parožina, dok su u plićim dijelovima zastupljene sastojine niskih trščaka. (Čanjevac i dr., 2021).



Sl. 15. Glavni tipovi vegetacije u koritu i neposrednom obalnom pojasu potoka Plitvice

Izvor: Čanjevac i dr., 2021

4 CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Glavni cilj ovog istraživanja odrediti je hidrološkim metodama vrijednosti ekološki prihvatljivog protoka za potok Plitvicu i njen glavni pritok potok Sartuk. Pomoću tih vrijednosti dobila bi se okvirna slika o stanju i količinama vode u koritu te eventualnim gubicima vode. Drugi cilj istraživanja je da dobivene vrijednosti ekološki prihvatljivog protoka rezultiraju podizanjem svijesti o stanju tekućice. S takve razine osvještenosti ljudi imaju bolji uvid u daljnja istraživanja, mjere i zahvate koji bi se trebali provesti ukoliko se utvrdi da je stanje u vodotoku narušeno.

5 TEORIJSKI OKVIR ISTRAŽIVANJA

5.1 Ekološki prihvatljiv protok

Prema zakonu o vodama u Republici Hrvatskoj, ekološki prihvatljiv protok definira se kao protok kojim se osigurava kakvoća, količina i vremenska raspodjela površinske i podzemne vode potrebne za održavanje funkcija i procesa slatkovodnih, estuarijskih i o njima ovisnih ekosustava, o kojima ovise i ljudi. Ekološki prihvatljiv protok određuje se za vodne aktivnosti: zahvaćanja, akumuliranja, skladištenja i distribucije površinskih voda (Zakon o vodama, NN 66/19, 84/21). Ovaj zakon usklađen je s direktivama Europske unije pa tako i Okvirnom direktivom o vodama.

Okvirna direktiva o vodama Europske unije podrazumijeva širi i obuhvatniji pristup u određivanju ekološki prihvatljivih protoka. Radi jednostavnosti ekološki prihvatljiv protok usmjeren je isključivo na sprječavanje degradacije ekološkog stanja vodotoka te postizanje najmanje dobrog ekološkog stanja što je ujedno cilj ODV-a. (Čanjec i Vučković, 2018). Pojam ekološki prihvatljiv protok prema ODV definiran je kao hidrološki režim koji je u skladu s postizanjem okolišnih ciljeva za površinske vode prema Stavku 4. Okvirne direktive o vodama EU. (Europska komisija, 2015).

Prema Čanjec i Vučković (2018) Postoje mnoge definicije ekološki prihvatljivog protoka (Bonacci, 2003; Dyson i drugi, 2003; Tharme, 2003; Hirji i Davis, 2009; Meitzen i dr., 2013). Njegovo određivanje složen je postupak unutar kojeg je potrebno precizno definirati vodni režim malih voda te uvažiti i razne morfometrijske i bio-ekološke značajke vodotoka koje su individualne za svaki vodotok (OIKON d.o.o., 2016).

Na području potoka Plitvice voda se koristi za potrebe vodoopskrbe što ima utjecaj na prirodni režim vodotoka. Voda se stalno crpi za potrebe javnog vodoopskrbnog sustava na izvoru Plitvice gdje postoji zahvat u koritu. Količina vode koja se neprestano crpi iznosi 16 L/s, a to je ujedno i vrijednost od 5-10% minimalnog protoka Plitvice zbog vrijednosti ljetnih minimuma na stanici Izvor Plitvice koje se kreću između 200 i 300 L/s. Osim za potrebe javne vodoopskrbe, primijećeno je da se nizvodno od lokacije Hajdukovića mlina nalazi nekoliko ilegalnih vodozahvata. Utjecaj takvih vodozahvata teško je procijeniti jer je njihov broj, te količina i dinamika kojom se voda crpi na svakom od njih nepoznata (Čanjec i dr., 2021).

S obzirom na to da se u slučaju Plitvice izvor koristi za vodoopskrbu, to se smatra vanjskim korištenjem voda koje posljedično uzrokuje trajno smanjenje količina vode koje su raspoložive u potoku. Kada se voda uzima nepovratno, treba procijeniti utjecaje koje takvo

korištenje voda ima na korisnike preostalih voda matičnog vodotoka. Vodni potencijal želi se maksimalno iskoristiti za potrebe vodoopskrbe, stoga će svaka količina vode koja nije iskorištena za tu namjenu za korisnika predstavljati gubitak. Količina vode u koritu koja protječe nizvodno od zahvata kao i količina koja ostaje u koritu bitni su za održavanje dobrog ekološkog stanja te očuvanje i zaštitu prirodnih vrijednosti tog vodotoka. Ekološki prihvatljiv protok odnosno njegovo određivanje vrlo je bitno kako bi se sačuvala prirodna biološka i krajobrazna raznolikost (OIKON d.o.o., 2016).



Sl. 16. Brana na izvoru potoka Plitvice zbog potrebe vodoopskrbe

Izvor: Čanjevac i dr., 2021

6 PODACI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

6.1 Hidrološki podaci

U diplomskom radu korišteni su hidrološki podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda od 1980. do 2021. godine. Korišteni hidrološki podaci odnose se na godišnje, mjesečne, dnevne i satne vrijednosti protoka. Za potrebe računanja ekološki prihvatljivih protoka pomoću raznih hidroloških metoda korišteni su podaci za hidrološku postaju Plitvice na Plitvici i Rodić Poljana na Sartuku. Iz podataka hidrološke postaje Izvor Plitvice na Plitvici, nije bilo moguće izračunati ekološki prihvatljiv protok niti odrediti podloge za njegovo računanje. Razlog tome je što se podaci o protoku za tu hidrološku postaju bilježe tek od 2018. godine što predstavlja premali vremenski period za bilo kakve daljnje analize. Krivulje trajanja protoka ipak su izrađene kako bi se dobio bolji uvid u stanja protoka na toj hidrološkoj postaji.

6.2 Prikaz odabranih podloga za definiranje ekološki prihvatljivih protoka

Za računanje ekološki prihvatljivih protoka (EPP) prema odabranim hidrološkim metodama bilo je potrebno odrediti i određene podloge, odnosno statističke varijable nužne za njihov izračun (Žugaj, 2000) Podloge korištene za izračun ekološki prihvatljivih protoka su: srednji godišnji protok, prosječni minimalni godišnji protok, srednji mali protok, vrijednost protoka u 347 dana (odgovara 95% vremena na krivulji trajanja srednjih dnevnih protoka), vrijednost protoka u 300 dana (odgovara 80% vremena na krivulji trajanja srednjih dnevnih protoka), minimalni srednji protok u kolovozu, vrijednost minimalnog protoka za 347 dana (odgovara 95% vremena na krivulji trajanja mjesečnih protoka malih voda) i vrijednost minimalnog protoka za 300 dana (odgovara 80% vremena na krivulji trajanja mjesečnih protoka malih voda) (OIKON d.o.o., 2016).

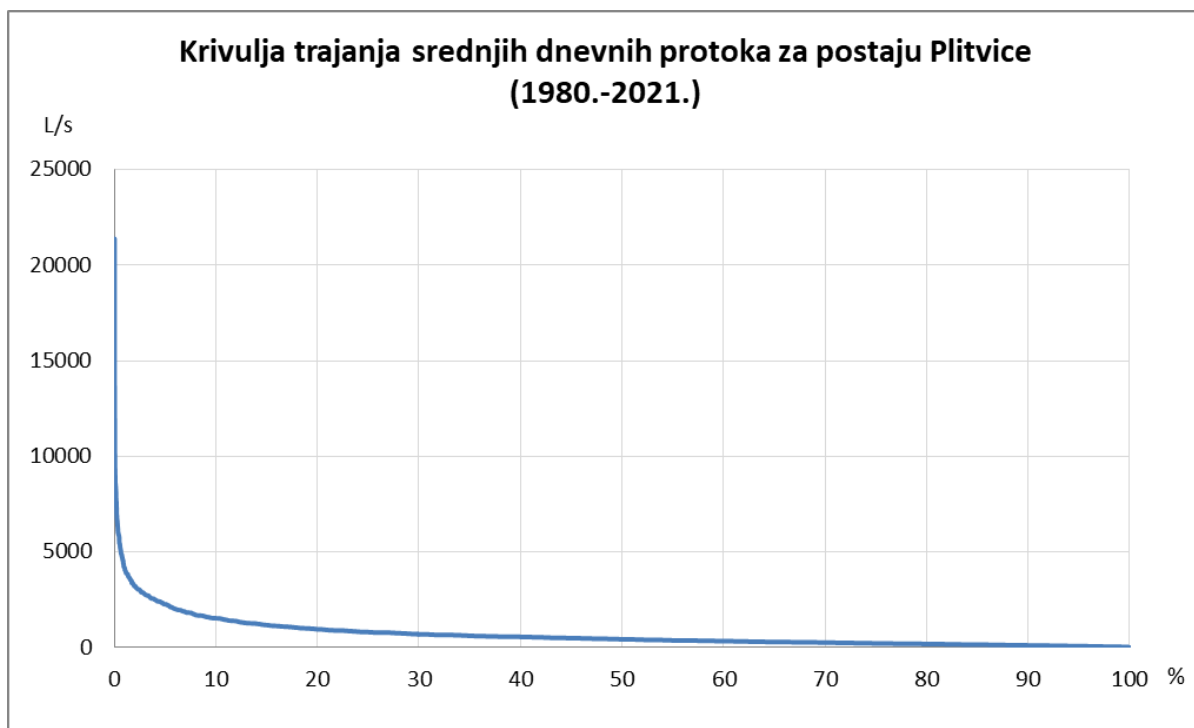
Tab. 5. Podloge potrebne za izračun EPP-a hidrološkim metodama

Podloge za EPP
Qsr – srednji godišnji protok unutar razdoblja analize
sQnp – srednji mali protok: aritmetička sredina minimalnih godišnjih srednjih dnevnih protoka
MNQ(Qmin) – prosječni minimalni godišnji protok, definiran kao aritmetička sredina minimalnih godišnjih protoka
Q347 – vrijednost protoka u 347 dana, koji odgovara 95% vremena na krivulji trajanja srednjih dnevnih protoka
Q300 – vrijednost protoka u 300 dana, koji odgovara 80% vremena na krivulji trajanja srednjih dnevnih protoka
Qmin_kolovoz – minimalni srednji protok u kolovozu
Qmin_95% – vrijednost minimalnog protoka za 347 dana, koji odgovara 95% vremena na krivulji trajanja napravljenoj na bazi mjesečnih protoka malih voda
Qmin_80% – vrijednost minimalnog protoka za 300 dana, koji odgovara 80% vremena na krivulji trajanja napravljenoj na bazi mjesečnih protoka malih voda

Izvor: OIKON d.o.o., 2016.

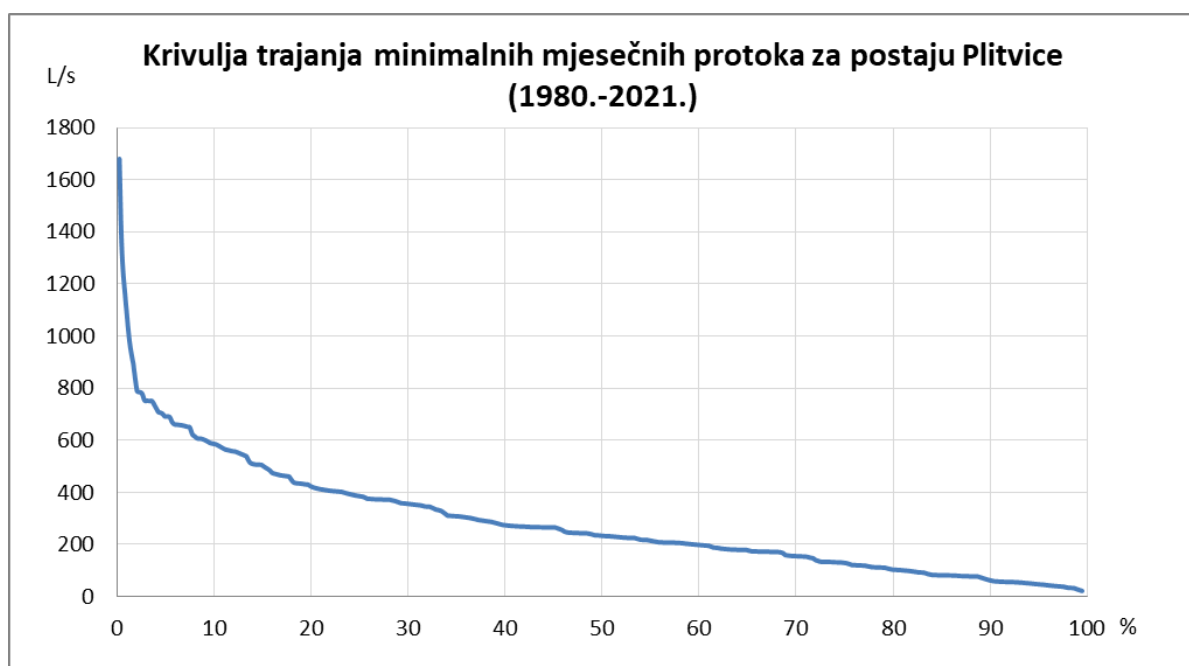
Tab. 6. Vrijednosti podloga za izračun EPP-a

Vrijednosti podloga za izračun EPP-a [L/s]		
Lokacija	Plitvica Plitvice	Sartuk Rodić Poljana
Period analize	1980. - 2021.	1980. - 2021.
Qsr	713	106
sQnp	113.12	20.59
MNQ(Qmin)	109	19.59
Q347	78	10
Q300	187	24
Qmin_kolovoz	137.53	16.48
Qmin_95%	48	5
Qmin_80%	103	13



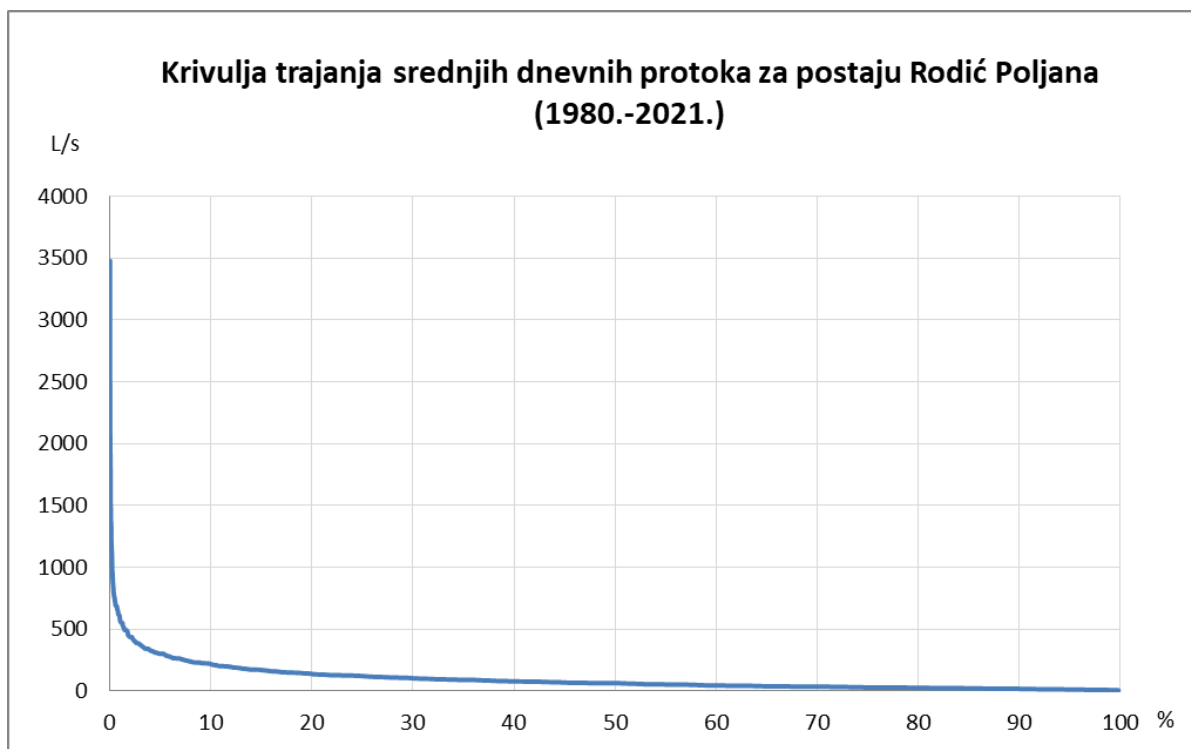
Sl. 17. Krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka za hidrološku postaju Plitvice na Plitvici (1980.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ



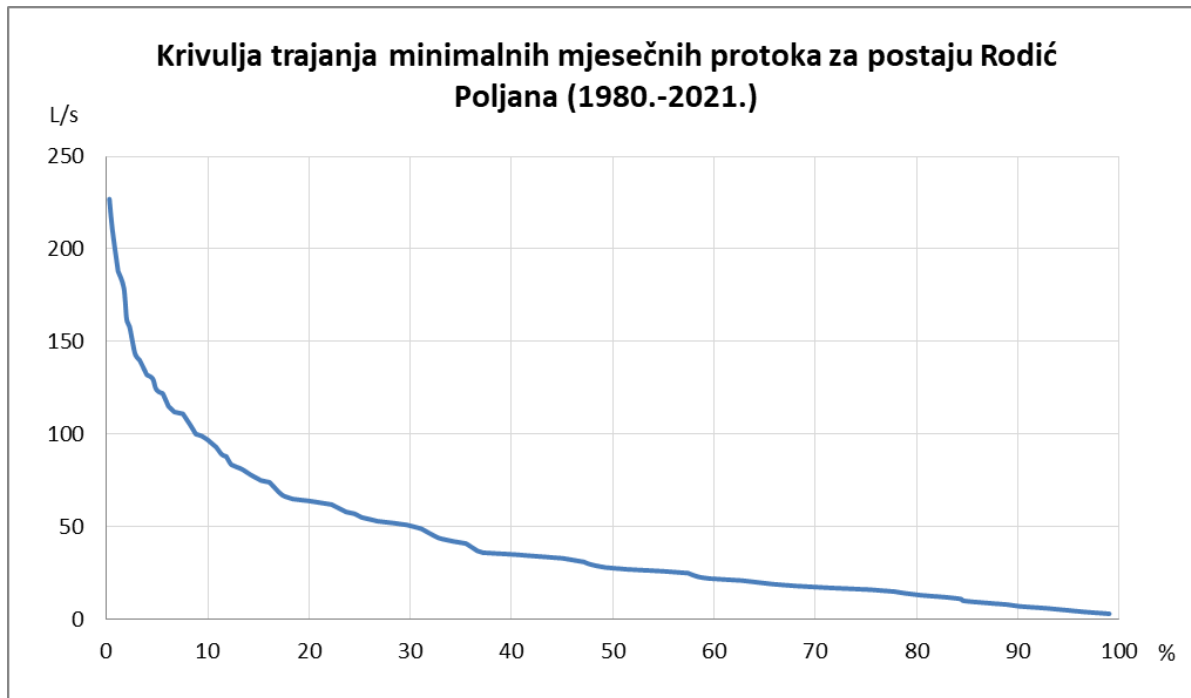
Sl. 18. Krivulja trajanja minimalnih mjesečnih protoka za hidrološku postaju Plitvice na Plitvici (1980.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ



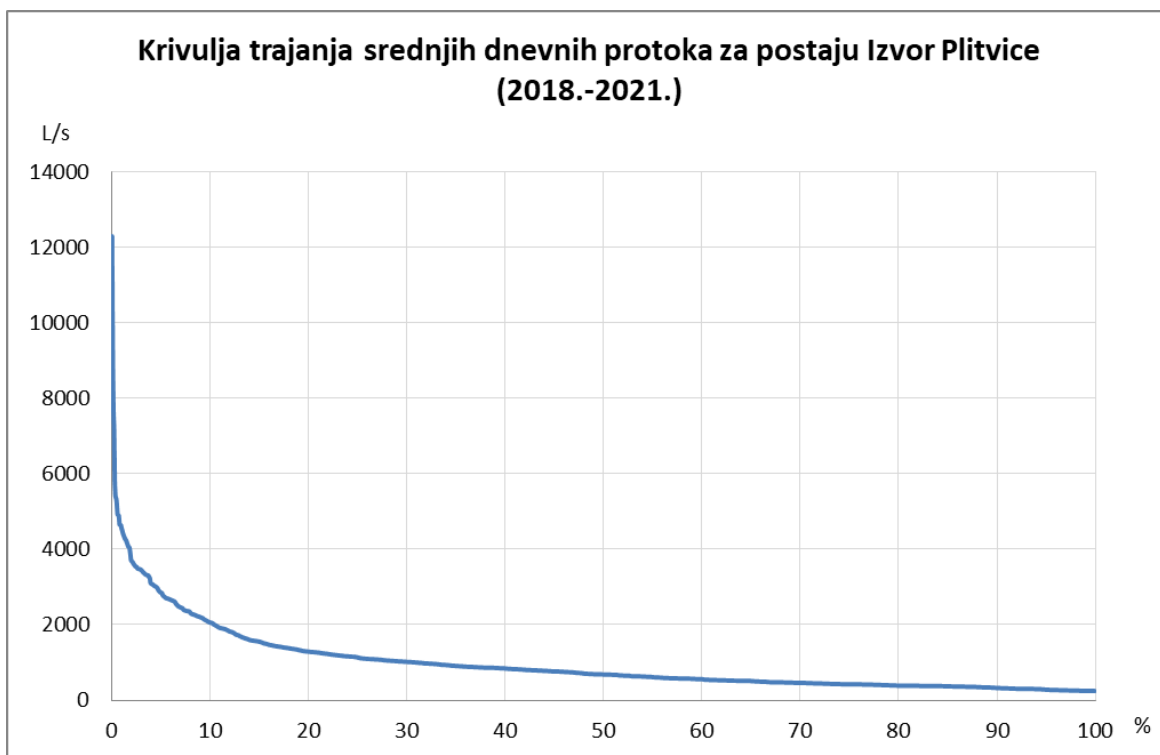
Sl. 19. Krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka za hidrološku postaju Rodić Poljana na Sartuku (1980.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ



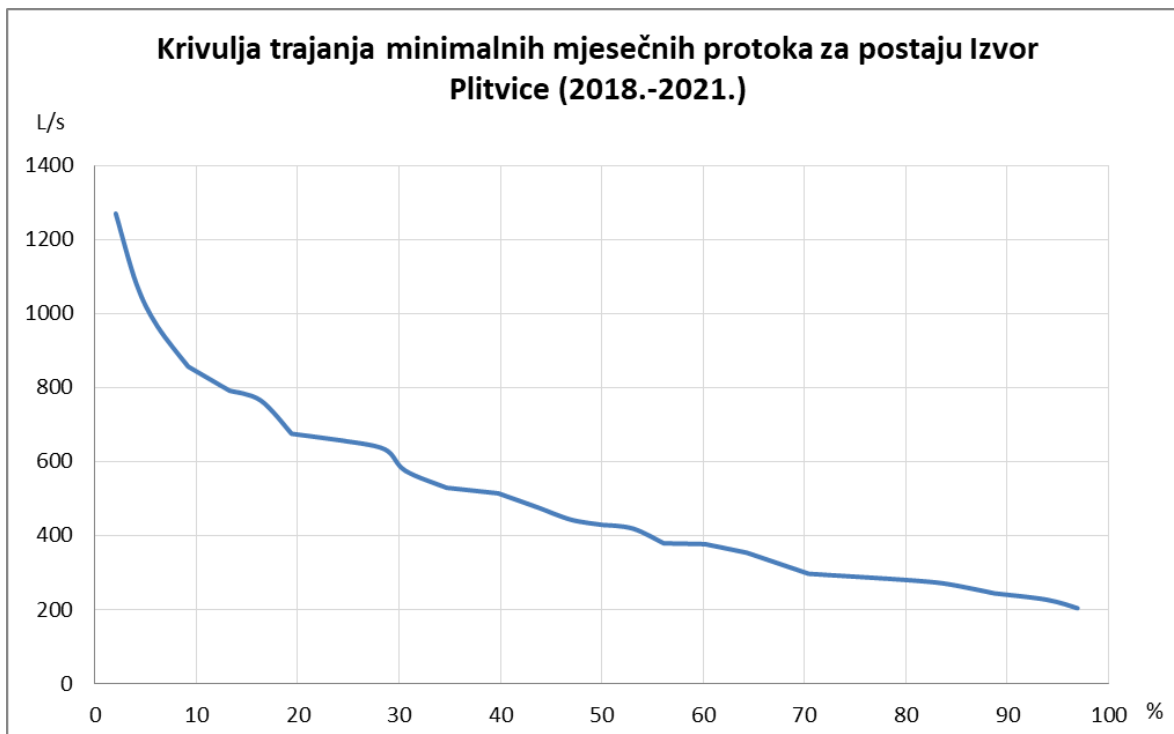
Sl. 20. Krivulja trajanja minimalnih mjesečnih protoka za hidrološku postaju Rodić Poljana na Sartuku (1980.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ



Sl. 21. Krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka za hidrološku postaju Izvor Plitvice na Plitvici (2018.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ



Sl. 22. Krivulja trajanja minimalnih mjesečnih protoka za postaju Izvor Plitvice na Plitvici (2018.-2021.)

Izvor podataka: DHMZ

6.3 Metodologija

U ovome radu za izračun ekološki prihvatljivih protoka korištene su isključivo hidrološke metode, te su iste prilagođene za potrebe istraživanog područja. Korištene metode su raznolike i zakonski propisane ili preporučene u različitim državama svijeta (OIKON d.o.o., 2016). Opisi hidroloških metoda preuzeti su iz stručne studije pod nazivom *Definiranje ekološki prihvatljivih protoka Rječine* izvođača OIKON d.o.o., objavljene 2016., te *Pravilnika o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka* objavljenog u Službenim novinama FBiH 4/2013. Također, metode su preuzete i iz dostupne literature sljedećih autora i izvođača: Žugaj, 2000; Bonacci, 2003; ESHA, 2014.

6.3.1 Hidrološke metode

U diplomskom radu za izračun ekološki prihvatljivih protoka korištene su hidrološke metode navedene u nastavku. Formule za svaku pojedinu metodu nalaze se ispod opisa te metode. Sve vrijednosti EPP-a u ovom diplomskom radu izražene su u L/s.

Biološki minimum definira se kao protok vode koji se mora ispuštati nizvodno od zahvata u vodotok, bez da se poremeti ekološki sustav (Žugaj, 2000). Koristi se kao stručna praksa pri određivanju ekološki prihvatljivih protoka u Hrvatskoj i nije jednoznačno definiran. Biološki minimum predstavlja prosječan minimalni godišnji protok koji se računa kao aritmetička sredina minimalnih godišnjih protoka u promatranom razdoblju (OIKON d.o.o, 2016). Njegova vrijednost ne mora biti jednaka u pojedinim mjesecima ili sezonama. No, određivanje tzv. biološkog minimuma trebalo bi predstavljati složen postupak, koji bi osim hidroloških analiza i obrada trebao uključivati biološke, ekološke i ostale zahtjeve koji su individualni za svaku rijeku. Zbog svega navedenog teško je odrediti univerzalne kriterije koji bi u obzir uzimali fizikalno-kemijske i biološke parametre u pojedinim vodotocima (Žugaj, 2000).

Iako su u ovom diplomskom radu korištene samo hidrološke metode za određivanje biološkog minimuma, to ne znači da njihove vrijednosti nisu relevantne. Naime veličine za određivanje biološkog minimuma u Hrvatskoj uglavnom su veće od onih u europskim zemljama određenih različitim pristupima. To pruža određenu sigurnost i pouzdanost što se tiče određivanja biološkog minimuma samo pomoću hidroloških metoda, obzirom da je za njegovo određivanje u većini slučajeva potreban složen interdisciplinarni pristup. Veličina biološkog minimuma određena je kao prosječan minimalni godišnji protok (Žugaj, 2000).

$$Q_0 = MNQ$$

Alarmantna granična vrijednost predstavlja najnižu dopuštenu vrijednost ispod koje protok ne smije ići (Bonacci, 2003). Za izračun ove metode bilo je potrebno izraditi srednju krivulju trajanja protoka. Protok koji bi osigurao ekološke zahtjeve vodotoka treba računati na način da se uzme 20% vrijednosti protoka 80%-tnog trajanja na srednjoj krivulji trajanja protoka. Potrebno je protok koji je u razdoblju od godine dana na raspolaganju u najmanje 300 dana ili u 80% slučajeva pomnožiti s 20% kako bi se dobila alarmantna granična vrijednost (OIKON d.o.o., 2016). Postoje još dvije formule za računanje ove metode za veće i manje vodotoke, no značenja njihovih dimenzija i varijabli ista su kao i u gore opisanoj formuli (Bonacci, 2003). Spomenute se formule odnose na Matthey-ovu metodu određivanja ekološki prihvatljivih protoka koja je također korištena u ovom radu i biti će opisana u nastavku.

$$Q_e = 0,2 \cdot Q_{300}$$

Matthey-eva formula određuje minimalne uvjete ili protok potreban za život riba. Iako je takve protoke najbolje empirički određivati, izračunom ove metode dobiva se protok koji odgovara onom u dugim vremenskim nizovima. Taj protok se izražava kao protok prisutan u najmanje 80% slučajeva godišnje, odnosno 300 dana u godini (OIKON, 2016). Matthey-eva metoda za određivanje ekološki prihvatljivog protoka obuhvaća dvije formule, onu za manje te onu za veće vodotoke. Vrijednost 80%-tnog protoka koji se koristi u Matthey-ovoj formuli za manje vodotoke trebala bi biti manja od 50 l/s. U formuli za veće vodotoke trebala bi se koristiti vrijednost 80%-tnog protoka od 0,3 do 3 m³/s, te bi trebala davati slične rezultate kao i formula za manje vodotoke (ESHA, 2014). U formuli za manje vodotoke koristi se prirodan logaritam, dok formula za veće vodotoke predstavlja lineariziranu osnovnu Matthey-ovu formulu u kojoj se nalazi konstanta 75 izražena u l/s (OIKON, 2016).

Kod ove hidrološke metode preporuča se da najmanja dubina vodotoka ne bude niža od 20 centimetara. Također se preporuča prestanak uzimanja vode iz vodotoka kod pojedinih graničnih protoka, ali oni su predmet posebnih analiza. Preporuka za nizinske vodotoke sa relativno širokim koritima su da po metru širine korita teče od 30 do 40 L/s. Vrijednosti ne bi smjele biti niže od 2 do 3 l/s po km², pa se preporuča i poznavanje površine slijeva (Bonacci, 2003).

Za manje vodotoke:

$$Q_e = 15 \cdot Q_{300} / (\ln Q_{300})^2$$

Za veće vodotoke:

$$Q_e = 0,25 \cdot Q_{300} + 75$$

Metoda za određivanje ekološki prihvatljivih protoka u Francuskoj i Austriji računa se kao srednji godišnji protok koji se množi s vrijednošću 0,15 za veće, a 0,2 za manje vodotoke. Može se računati i na način da se srednji niski protok odnosno prosječna vrijednost svih opaženih minimalnih godišnjih protoka pomnoži s vrijednošću 0,7 za veće ili 1,3 za manje vodotoke (OIKON, 2016). Za određivanje ove metode može se uzeti srednja brzina vode koja u vodotoku ne smije biti niža od 0,2 do 0,4 m/s. Nadalje, može se uzeti i temperaturno ograničenje, pa tako temperatura vode također ne bi smjela biti niža od određene vrijednosti. Takav kriterij relevantno je poštivati u ljetnom periodu, te je individualan za svaki vodotok. Primjena ove metode bolja je kod većih rijeka gdje se raspolože s brojnim hidrološkim i morfološkim mjerenjima. Za manje otvorene vodotoke primjena nije toliko uobičajena (Bonacci, 2003).

$$Q_e = (0,15 - 0,20) \cdot \bar{Q}$$

Tennantova metoda iz 1976. godine jedna je od prvih metoda za određivanje ekološki prihvatljivih protoka koju je objavio istoimeni znanstvenik pod nazivom metoda Montana. Često se koristi kao brza i približna metoda za određivanje ekološki prihvatljivih protoka. Brze i približne metode u određivanju ekološki prihvatljivih protoka nažalost ne uključuju razmatranja o potrebama ekosustava i staništa. U njihovom slučaju glavni čimbenik je protok, dok se ostali fizički i kemijski čimbenici potrebni za održavanje ekosustava otvorenih vodotoka zanemaruju (Bonacci, 2003). Važna je zbog toga što obuhvaća preporuke za potrebe riba, divljih životinja, drugih resursa u okolišu i rekreacije u sklopu određivanja ekološki prihvatljivih protoka (OIKON d.o.o., 2016). Računa se kao vrijednost prosječnog godišnjeg protoka pomnoženog s određenim postotkom. Ona opisuje kako određeni postotak godišnjeg protoka ili raspon protoka utječe na potrebe riba i divljih životinja u određeno doba godine, bilo sušno ili vlažno. Te vrijednosti protoka opisane su kao maksimalni ili protok za ispiranje, optimalan raspon, izvanredno povoljan, odličan, dobar, konkretan ali degradirajući, loš ili minimalan, te onaj koji uzrokuje teške degradacije.

Tab. 7. Tennantova metoda za računanje EPP-a

Redni broj	Opis vrste protoka	10.-3. mjesec	4.-9. Mjesec
1	maksimalni ili protok za ispiranje	200%	200%
2	optimalni raspon	60-100%	60-100%
3	izvanredno povoljan	40%	60%
4	odličan	30%	50%
5	dobar	20%	40%
6	konkretan ali degradirajući	10%	30%
7	loš ili minimalan	10%	10%
8	uzrokuje teške degradacije	0-10%	0-10%

Izvor: Bonacci, 2003.

Kod Baxterove metode za određivanje ekološki prihvatljivih protoka fokus je na zaštiti pastrva uz podršku populacijama u različitim životnim fazama (OIKON, d.o.o., 2016). Mlađi pastrva tijekom ljeta potrebno je da u otvorenom vodotoku bude 20 do 25 % prosječnog godišnjeg protoka. Kako bi odrasle riblje jedinice migrirale potrebno je da protok iznosi 30 do 70 % prosječne godišnje vrijednosti protoka u određenom vremenskom razdoblju. Protok treba iznositi 12,5 do 30 posto prosječne godišnje vrijednosti protoka kako bi se pastrve mrijestile, dok je za njihovo izlijevanje potrebno da 10 do 17% vrijednosti prosječnog godišnjeg protoka teče u otvorenom vodotoku (Bonacci, 2003). Vrijednosti prosječnog godišnjeg protoka računaju se kao aritmetička sredina srednjih dnevnih vrijednosti u određenom vremenskom periodu. Kao i kod Tennanta, ova metoda također spada u brze i približne metode u određivanju ekološki prihvatljivih protoka. Ona također, kao i prethodna metoda, ima manjkavosti u razmatranja o potrebama ekosustava i staništa. Veća pažnja usmjerena je na protok dok se nedovoljno uzimaju u obzir ostali fizički i kemijski čimbenici potrebni za održavanje ekosustava otvorenih vodotoka.

Tab. 8. Baxterova metoda za računanje EPP-a

Redni broj	Faze života pastrve	Minimum	Maksimum
1	Mlađ- tijekom ljeta	20%	25%
2	Migracija odraslih riba	30%	70%
3	Mriještenje	12,5%	30%
4	Izlijeganje	10%	17%

Izvor: Bonacci, 2003.

Metoda za određivanje ekološki prihvatljivog protoka u Španjolskoj pokajini Asturiji obuhvaća kombinaciju nekoliko metoda (OIKON d.o.o., 2016). Rijeke su u Asturiji podijeljene u tri razreda pa se tako i ova metoda računa u tim trima razredima prema Matthey-evoj formuli (Žugaj, 2000). Za računanje svih razreda u formuli se koristi protok jednak protoku u 347 dana na prosječnoj krivulji trajanja. U prvome se razredu za EPP uzima najveća od triju vrijednosti. U drugom se razredu EPP izračuna kao i u prvom i onda mu se pribroji protok vrijednosti specifičnog dotoka sa slijeva koja iznosi 2 L/s/km². U trećem se razredu, ponovno EPP izračuna kao i u prvom i potom mu se još pribroji protok koji iznosi 4 L/s/km² što odgovara vrijednosti specifičnog dotoka sa slijeva i to čini konačnu vrijednost EPP-a za tu kategoriju (Žugaj, 2000).

$$Q_0 = 0,35 \cdot Q_{347}$$

$$Q_0 = 15 \cdot Q_{347} / (\ln Q_{347})^2$$

$$Q_0 = 0,25 \cdot Q_{347} + 75$$

6.3.1.1 Metode koje preporučuje Europska udruga malih hidroelektrana (ESHA)

Austrijska metoda od 10% vrijednosti srednjeg protoka nalaže da zadržani protok u skladu s njom treba biti veći od 10% srednje vrijednosti prirodnog protoka, a mijenja se ovisno o vremenu (ESHA, 2014). Za promatrano razdoblje najčešće se uzima mjesečna vrijednost (OIKON d.o.o., 2016). Primjena ove metode zahtijeva, ponekad složeno, kontinuirano mjerenje protoka na različitim presjecima vodotoka (ESHA, 2014).

$$Q_e = 10\% \cdot Q_{sr_mj}$$

Prema austrijskoj metodi Lanser ekološki prihvatljiv protok treba biti u intervalu 5-10% srednjeg godišnjeg protoka. (OIKON d.o.o., 2016).

$$Q_{\min_bio} = 5\% \cdot \bar{Q}$$

$$Q_{\max_bio} = 10\% \cdot \bar{Q}$$

Austrijska metoda Jager nalaže osiguranje barem 15% vrijednosti srednjeg godišnjeg protoka, radi ribolovnog interesa (ESHA, 2014).

$$Q_{bio} = 15\% \cdot \bar{Q}$$

Američka metoda Montana odnosi se na potrebe ribolova. Kod visoke ekonomske važnosti ribolova ekološki prihvatljiv protok računa se kao raspon od 40-60% vrijednosti srednjeg godišnjeg protoka. Za nisku ekonomsku važnost ta vrijednost iznosi 10% srednjeg godišnjeg protoka (ESHA,2014).

Visoka ekonomska važnost ribolova:

$$Q_{\max_bio} = 40 - 60\% \cdot \bar{Q}$$

Niska ekonomska važnost ribolova:

$$Q_{\min_bio} = 10\% \cdot \bar{Q}$$

Prema austrijskoj metodi Steinbach, zadržani protok treba biti najmanje jednak vrijednosti srednjeg godišnjeg protoka mjenog za duži vremenski period. Taj se protok treba potom podijeliti na zimski i ljetni period (ESHA, 2014).

$$Q_{bio} = Q_{\min}$$

Njemačka metoda Rheinland Pfalz nalaže da ekološki prihvatljiv protok predstavlja interval između 20 i 50 % srednjeg minimalnog godišnjeg protoka (OIKON d.o.o., 2016).

$$Q_{\min_bio} = 20\% \cdot Q_{\min}$$

$$Q_{\max_bio} = 50\% \cdot Q_{\min}$$

Još jedna njemačka metoda je Sawall i Simon metoda. Metoda nalaže da zadržani protok mora biti interval od 7-100% minimalnog srednjeg protoka u kolovozu (OIKON d.o.o., 2016).

$$Q_{\min_bio} = 7\% \cdot Q_{\min_kolovoz}$$

$$Q_{\max_bio} = Q_{\min_kolovoz}$$

6.3.1.2 Metode propisane u susjednim državama

Određivanje ekološki prihvatljivog protoka u susjednoj Bosni i Hercegovini zakonski je definirano, te je pravilnikom određena metoda izračuna. Postoje različiti parametri koji se koriste za izračun ove metode, pa ih je potrebno navesti i definirati u nastavku. Vrijednosti parametara računaju se za najmanje desetogodišnje odnosno tridesetogodišnje nizove hidroloških podataka u kontinuitetu (OIKON d.o.o., 2016). Prvi parametar je srednji minimalni protok koji predstavlja aritmetičku sredinu godišnjih vrijednosti srednjih dnevnih protoka u određenom vremenskom periodu. Nadalje, srednji protok je aritmetička sredina srednjih godišnji dnevnih protoka u promatranom vremenskom razdoblju. Zadnji parametar predstavlja srednji dekadni protok, on se računa kao aritmetička sredina srednjih dekadnih protoka (Pravilnik o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka, Službene novine FBiH 4/2013).

Za slučaj kada se ekološki prihvatljiv protok računa za vodotok nizvodno od hidroakumulacije, tada je potrebno odrediti maksimalni dozvoljeni protok tj. ispuštanje iz akumulacije za sušne periode tijekom godine u visini od dvostrukog srednjeg dekadnog protoka za predmetnu dekadu (Pravilnik o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka, Službene novine FBiH 4/2013).

Podloge potrebne za proračun EPP-a:

$$Q_{\min}^{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} Q_{\min,i}}{N}$$

$$Q_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} Q_{sr,i}}{N}$$

$$Q_{dek(j)}^{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} Q_{DEK(j),i}}{N}$$

Kada su dostupne dekadne vrijednosti protoka, tada se EPP računa na sljedeći način.

$$Q_{ep} = \begin{cases} 1,0 \times Q_{\min}^{sr} & \text{za } Q_{DEK(j)}^{sr} < Q_{sr} \\ 1,5 \times Q_{\min}^{sr} & \text{za } Q_{DEK(j)}^{sr} \geq Q_{sr} \end{cases}$$

Kada je srednji minimalni protok jednak 0 ili je omjer između srednjeg minimalnog protoka i srednjeg protoka manji od 1:25, tada se EPP računa na sljedeći način.

$$Q_{ep} = \left\{ \begin{array}{ll} 0,10 \cdot Q_{sr} & \text{za } Q_{DEK(j)} < Q_{sr} \\ 0,15 \cdot Q_{sr} & \text{za } Q_{DEK(j)} \geq Q_{sr} \end{array} \right\}$$

Kada se ne raspolože podacima o dekadnim protocima, tada se EPP računa na sljedeći način.

$$Q_{ep} = \left\{ \begin{array}{ll} 0,10 \cdot Q_{sr} & \text{za } \textit{period svibanj – listopad} \\ 0,15 \cdot Q_{sr} & \text{za } \textit{period studeni – travanj} \end{array} \right\}$$

GEP ili metoda garantiranog ekološkog protoka razvijena u Srbiji, kako navode Vučjak i sur. 2013 prema OIKON d.o.o., 2016, sastoji se od triju parametara. Oni su: prosječni višegodišnji protok na profilu brane tj. mjestu vodozahvata; minimalni mjesečni protok vjerojatnosti 95% i minimalni mjesečni protok vjerojatnosti od 80%. Ako se umjesto mjesečnih raspolaže dnevnim nizovima hidroloških podataka o protoku, tada se umjesto minimalnih mjesečnih mogu koristiti 30-dnevni protoci malih voda istih vjerojatnosti (OIKON d.o.o., 2016). Metoda se računa u dva dijela, odnosno za hladniji i topliji dio godine. Za hladni dio godine od listopada do ožujka metoda se računa na sljedeći način (OIKON d.o.o., 2016).

$$Q_{ekol.gar.} = \left\{ \begin{array}{ll} 0,1 \cdot \bar{Q} & \text{za } Q_{95\%}^{min.mj.} \text{ ili } Q_{95\%}^{min.(30)} \leq 0,1 \cdot \bar{Q} \\ Q_{95\%}^{min.mj.} \text{ ili } Q_{95\%}^{min.(30)} & \text{za } 0,1 \cdot \bar{Q} \leq Q_{95\%}^{min.mj.} \text{ ili } Q_{95\%}^{min.(30)} \leq 0,15 \cdot \bar{Q} \\ 0,15 \cdot \bar{Q} & \text{za } Q_{95\%}^{min.mj.} \text{ ili } Q_{95\%}^{min.(30)} \geq 0,15 \cdot \bar{Q} \end{array} \right\}$$

Za topli dio godine od travnja do rujna metoda se računa na sljedeći način (OIKON d.o.o., 2016).

$$Q_{ekol.gar.} = \left\{ \begin{array}{ll} 0,15 \cdot \bar{Q} & \text{za } Q_{80\%}^{min.mj.} \text{ ili } Q_{80\%}^{min.(30)} \leq 0,15 \cdot \bar{Q} \\ Q_{80\%}^{min.mj.} \text{ ili } Q_{80\%}^{min.(30)} & \text{za } 0,15 \cdot \bar{Q} \leq Q_{80\%}^{min.mj.} \text{ ili } Q_{80\%}^{min.(30)} \leq 0,25 \cdot \bar{Q} \\ 0,25 \cdot \bar{Q} & \text{za } Q_{80\%}^{min.mj.} \text{ ili } Q_{80\%}^{min.(30)} \geq 0,25 \cdot \bar{Q} \end{array} \right\}$$

Slovenska metoda za određivanje ekološki prihvatljivog protoka opisana je u dokumentu *Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljiveg pretoka* objavljenom u Uradnom listu RS 79/2009. Za računanje ekološki prihvatljivog protoka potrebno je izračunati srednji protok te srednji mali protok. Srednji mali protok određuje se kao aritmetička sredina najmanjih srednjih dnevnih protoka u određenom vremenskom periodu. Srednji protok računa se kao aritmetička sredina srednjih godišnjih protoka u nekom vremenskom periodu. Ako veličina zahvata to nalaže, potrebno je izračunati i srednji dekadni protok. Srednji dekadni protok aritmetička je sredina srednjih godišnjih

protoka u određenoj dekadi. Metoda se temelji na međusobnim odnosima između srednjeg malog i srednjeg protoka, srednjeg dekadnog i srednjeg protoka te parametrima poput dužine zahvaćanja vode, povratnog ili nepovratnog zahvaćanja i količine zahvaćanja vode (OIKON d.o.o., 2016).

Dužina zahvaćanja može biti točkasta, kratka i duga. Točkasta je kada udaljenost između zahvaćanja i ponovnog dotoka u vodotok iznosi 10 ili manje metara. Kratka je u slučaju da je udaljenost između zahvaćanja i ponovnog dotoka u vodotok između 10 i 100 m, a slijevno područje do mjesta zahvata iznosi do 100 km². Također, dužina je kratka i u slučaju da je udaljenost između zahvaćanja i ponovnog dotoka u vodotok između 10 i 200 m, a slivno područje do mjesta zahvata iznosi više od 100 km². Duga dužina zahvaćanja odnosi se na slučaj kada je udaljenost između zahvaćanja i ponovnog dotoka u vodotok veća od onih u prethodno navedenim situacijama (OIKON d.o.o., 2016).

Što se tiče zahvaćanja vode ono može biti povratno i nepovratno. Povratno je ono zahvaćanje kod kojeg se voda koja je zahvaćena vraća u isti vodotok, dok je nepovratno ono u kojem je zahvaćena voda zauvijek uzeta iz vodotoka. Što se tiče količine zahvaćene vode, zahvat može biti manji i velik. Velik je onaj zahvat u kojem količina zahvaćene vode iz vodotoka prelazi 20% srednjeg godišnjeg protoka u promatranom razdoblju, dok je manji zahvat onaj kod kojeg je ta vrijednost manja od 20% (OIKON d.o.o., 2016).

Ukoliko je zahvaćanje vode povratno i odnos između srednjeg protoka i srednjeg malog protoka manji ili jednak omjeru 20:1, tada se ekološki prihvatljiv protok računa na sljedeći način.

Kod manjeg točkastog zahvata vrijedi:

$$Q_{es} = 1,0 \cdot sQ_{np}$$

Kod većeg točkastog zahvata vrijedi:

$$Q_{es} = 1,2 \cdot sQ_{np}$$

Kod manjih kratkih zahvata vrijedi:

$$Q_{es} = 1,0 \cdot sQ_{np}$$

Kod većih kratkih zahvata koristi se srednji dekadni protok kako slijedi.

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka manja od vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 1,5 \cdot sQ_{np}$$

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka veća ili jednaka vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 0,7 \cdot sQ_s$$

Kod manjih dugih zahvata vrijedi:

$$Q_{es} = 1,2 \cdot sQ_{np}$$

Kod većih dugih zahvata koristi se srednji dekadni protok kako slijedi.

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka manja od vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 1,5 \cdot sQ_{np}$$

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka veća ili jednaka vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 0,7 \cdot sQ_s$$

Ukoliko je zahvaćanje vode povratno i odnos između srednjeg protoka i srednjeg malog protoka je veći od omjera 20:1, tada se EPP računa na sljedeći način.

Kod manjeg točkastog zahvata vrijedi:

$$Q_{es} = 0,05 \cdot sQ_s$$

Kod većeg točkastog zahvata vrijedi:

$$Q_{es} = 0,1 \cdot sQ_s$$

Kod manjih kratkih zahvata vrijedi:

$$Q_{es} = 0,05 \cdot sQ_s$$

Kod većih kratkih zahvata koristi se srednji dekadni protok kako slijedi.

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka manja od vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 0,1 \cdot sQ_s$$

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka veća ili jednaka vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 0,7 \cdot sQ_s$$

Kod manjih dugih zahvata vrijedi:

$$Q_{es} = 0,1 \cdot sQ_s$$

Kod većih dugih zahvata koristi se srednji dekadni protok kako slijedi.

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka manja od vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 0,1 \cdot sQ_s$$

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka veća ili jednaka vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 0,7 \cdot sQ_s$$

Ukoliko je zahvaćanje vode nepovratno i odnos srednjeg protoka i srednjeg malog protoka je manji ili jednak omjeru 20:1, tada se EPP računa na sljedeći način.

Kod manjih zahvata vrijedi:

$$Q_{es} = 1,5 \cdot sQ_{np}$$

Kod većih zahvata koristi se srednji dekadni protok kako slijedi.

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka manja od vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 2,0 \cdot sQ_{np}$$

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka veća ili jednaka vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 0,7 \cdot sQ_s$$

Ukoliko je zahvaćanje vode nepovratno i odnos srednjeg protoka i srednjeg malog protoka je veći od omjera 20:1, tada se EPP računa na sljedeći način.

Kod manjih zahvata vrijedi:

$$Q_{es} = 0,1 \cdot sQ_s$$

Kod većih zahvata koristi se srednji dekadni protok kako slijedi.

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka manja od vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 0,2 \cdot sQ_s$$

Ako je vrijednost srednjeg dekadnog protoka veća ili jednaka vrijednosti srednjeg protoka vrijedi:

$$Q_{es} = 0,7 \cdot sQ_s$$

7 REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA

7.1 Analiza rezultata istraživanja

U prethodnom Poglavlju 6.3.1 Hidrološke metode, navedene su sve korištene hidrološke metode za određivanje ekološki prihvatljivog protoka u ovom radu. U poglavlju 6.2. Podloge za proračun ekološki prihvatljivog protoka, navedene su podloge koje su bile potrebne za daljnji izračun hidroloških metoda. Te podloge navedene su u tablici 5. Rezultati proračuna ekološki prihvatljivih protoka pomoću hidroloških metoda za hidrološke postaje Plitvice i Rodić Poljana navedeni su u ovom poglavlju u tablici 9.

Tab. 9. Rezultati izračuna EPP-a za hidrološke postaje Plitvice na Plitvici i Rodić Poljana na Sartuku prema različitim metodama

Metoda proračuna EPP-a	hidrološka postaja Plitvice na Plitvici		hidrološka postaja Rodić Poljana na Sartuku		
	EPP [L/s]		EPP [L/s]		
Biološki minimum	109		19.6		
Alarmantna granična vrijednost	37.4		4.8		
Matthey	102.5		35.6		
Francuska i Austrija	142.6		21.2		
Tennant		4. - 9. mj	10. - 3. mj	4. - 9. mj	10. - 3. mj
	1.	1268.6	1535	170.2	220.4
	2.	308.6 - 634.3	460.5 - 767.5	51.1 - 85.1	66.1 - 110.2
	3.	380.6	307	51.1	44.08
	4.	317.2	230.3	42.6	33.1
	5.	253.7	153.5	34	22
	6.	190.3	76.8	25.5	11
	7.	63.4	76.8	8.5	11

	8.	0 - 63.4	0 - 76.8	0 - 8.5	0 - 11
Baxter		min.	max.	min.	max.
	1.	142.6	178.3	21.2	26.5
	2.	213.9	499.1	31.8	74.2
	3.	89.1	213.9	13.3	31.8
	4.	73	121.2	10.6	18
Španjolska - Asturija	1.	27.3		3.5	
	2.	61.64		28.29	
	3.	94.5		77.5	
10% vrijednosti Qsr_mj		min.	max.	min.	max.
		25	125.5	3.3	16
Lanser		min.	max.	min.	max.
		35.7	71.3	5.3	10.6
Jager		106.95		15.9	
Montana		min.	max.	min.	max.
		71.3	285.2 - 427.8	10.6	42.4 - 63.6
Steinbach		Sušno	vlažno	sušno	Vlažno
		111.1	216.5	16.5	33.3
Rheinland - Pfalz		min.	max.	min.	max.
		18.2	45.4	2.4	6
Sawall i Simon		min.	max.	min.	max.
		9.63	137.5	1.16	16.5
Bosna i Hercegovina		5. - 10. mj	11. - 4. mj	5. - 10. mj	11. - 4. mj

	71.3	106.95	10.6	15.9
GEP - Srbija	Sušno	Vlažno	sušno	vlažno
	71.3	106.95	10.6	15.9
Slovenija	169.65		-	

Vrijednosti ekološki prihvatljivog protoka manje su za hidrološku postaju Rodić Poljana na Sartuku nego za postaju Plitvice na Plitvici, što je logično obzirom na različite veličine protoka tekućica. Rezultati biološkog minimuma mogu se uzeti kao orijentir za sve ostale vrijednosti EPP-a potoka Plitvice. Odabir ove metode na strani je sigurnosti što se tiče utjecaja na prirodu zbog svojeg konzervativnog rezultata (OIKON d.o.o., 2016). Dobivena vrijednost biološkog minimuma za potok Plitvicu iznosi 109 L/s, dok je za Sartuk vrijednost manja te iznosi 19,6 L/s. Vrijednosti manje od biološkog minimuma gledajući mjesečne minimume protoka u periodu od 1980.-2021. (tab. 2 i 3) za obje postaje javljaju se u toplijem dijelu godine, najviše u kolovozu i rujnu.

Metoda Steinbach je gotovo identična biološkom minimumu, ali svakako pogodnija od prakse u Hrvatskoj zbog toga što su vrijednosti za zimski i ljetni period godine zasebne. U slučaju Plitvice i Sartuka ta metoda daje nešto veće vrijednosti ekološki prihvatljivog protoka od zakonski propisanog biološkog minimuma. Za Plitvicu vrijednosti metode Steinbach iznose 111,1 L/s za sušni i 216,5 L/s za vlažni period godine, dok su za Sartuk te vrijednosti 16,5 L/s za sušno, te 33,3 L/s za vlažno razdoblje.

Metodama koje se koriste u BIH i Srbiji dobivene su jednake vrijednosti ekološki prihvatljivog protoka. Vrijednosti ekološki prihvatljivog protoka dobivene za obje metode u slučaju hidrološke postaje Plitvice iznose 71,3 L/s za sušno i 106,95 L/s za vlažno razdoblje, dok za hidrološku postaju Rodić Poljana vrijednosti za obje metode iznose 10,6 L/s za sušno i 15,9 L/s za vlažno razdoblje.

Rezultati slovenske metode ekološki prihvatljivog protoka za hidrološku postaju Plitvice iznose 167,9 L/s, što je vrijednost veća od one koju predlaže biološki minimum, odnosno dosadašnja stručna praksa za određivanje EPP-a u Republici Hrvatskoj.

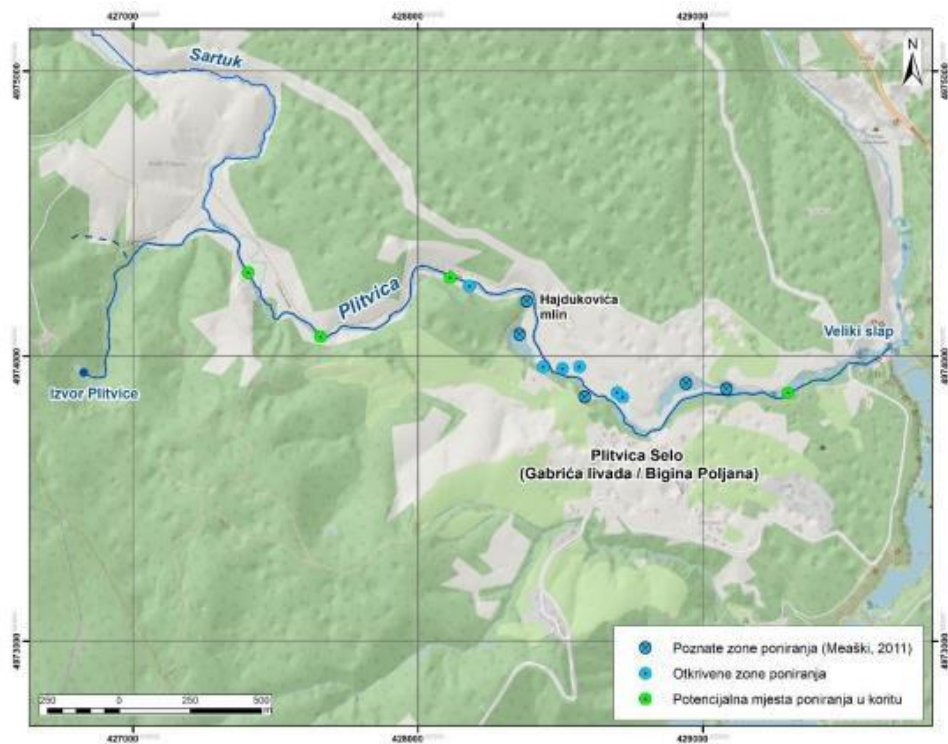
Ostale vrijednosti ekološki prihvatljivog protoka koje valja istaknuti za potok Plitvicu su sve one dobivene pomoću metoda koje se odnose na zaštitu populacije pastrva odnosno riba, divljih životinja, drugih resursa u okolišu i rekreacije. Baxterovom metodom dobivene

su slijedeći rasponi vrijednosti EPP-a za potok Plitvicu: 142,6-178,3 L/s (mlađ tijekom ljeta), 213,9-499,1 L/s (migracija odraslih riba), 89,1-213,9 L/s (mriještenje) i 73-121,2 (izlijevanje). Za potok Sartuk vrijednosti su: 21,2-26,5 L/s (mlađ tijekom ljeta), 31,8-74,2 L/s (migracija odraslih riba), 13,3-31,8 L/s (mriještenje) i 10,6-18 L/s (izlijevanje). Vrijednosti EPP-a dobivene Tennantovom metodom za potok Plitvicu od 4.–9. mjeseca kreću se od vrijednosti 1268,6 L/s protoka za ispiranje do raspona 0-63 L/s koji uzrokuje teške degradacije. Od 10.-3. mjeseca te vrijednosti iznose od 1535 L/s do raspona od 0-76,8 L/s. Za potok Sartuk vrijednosti se u toplom dijelu godine kreću u rasponu od 170,2 L/s protoka za ispiranje, do raspona od 0-8,5 L/s koji uzrokuje teške degradacije. Vrijednosti protoka za hladan dio godine za potok Sartuk kreću se od 220,4 L/s do raspona od 0-11 L/s.

7.2 Rasprava

7.2.1 Osvrt na gubitke vode u potoku Plitvici u kontekstu EPP-a

Stijenska podloga potoka Plitvice na području kod Hajdukovića mlina postaje propusnija i voda počinje ponirati na tom dijelu toka. Ta poniranja za posljedicu imaju manjak vode na Velikom slapu, s naglaskom na ljetne mjesece (Meaški i dr., 2016). Voda koja ponire najvjerojatnije otječe krškim podzemnim sustavom nizvodno prema rijeci Korani ili u susjedni slijev rijeke Une (Biondić i dr. 2010). Protok Plitvice mjeri se kontinuirano povrh Velikog slapa na hidrološkoj postaji Plitvice. Interpretacijom podataka o srednjem protoku za razdoblje 1980.-1990., te grafa vodostaja, pad protoka prije i nakon zone poniranja iznosi oko 55%, a vrijednost se penje na 65% u sušnim razdobljima (Meaški i dr., 2016). Biondić 2008 prema Meaški i dr., 2016 navodi taj gubitak vode kao konstantan i neovisan o protoku, već o promjeni poprečnog profila korita rijeke. Nakon Hajdukovića mlina gdje Plitvica teče kroz dobro propusne stijene, javlja se i sedrenje. Zbog tog procesa korito se izdiže i voda se izlijeva izvan njega i ponire u okolna područja ispunjena ponikvama. Kao posljedica sedrenja i izlijevanja uz tok Plitvice stvaraju se i jezera (Meaški i dr, 2016). Biondić i dr. 2010 prema Čanjevac i dr., 2021 tvrdi da je u prošlosti sedrene barijere krčilo lokalno stanovništvo što je posljedično uzrokovalo manje izlijevanja i samim time, manje gubitke vode iz korita.



Sl. 23. Ponorne zone potoka Plitvice

Izvor: Čanjevac i dr., 2021



Sl. 24. Pukotina na desnoj obali nizvodno od Hajdukovića mlina

Izvor: Čanjevac i dr., 2021

DHMZ 2015; 2016; 2017 prema Čanjevac i dr., 2021 navodi kako su provedena hidrološka mjerenja pokazala značajne gubitke vode u Plitvici dužinom njezinog toka. No ti gubici nisu stalni, pošto se na nekim mjestima izmjerenih gubitaka pojavljuju i povećanja u protoku. Činjenica je da do Velikog slapa dolazi manja količina vode no što su mjerenja pokazala na Izvoru Plitvice i Sartuku, no za to su zaslužne određene hidrološke prilike (Čanjevac i dr., 2021). DHMZ, 2021 izvještava o mjerenjima izvršenim 2020. godine. Tada su također izmjereni gubici duž toka Plitvice od samog Izvora Plitvice do Bigine Poljane. Blagi dotok izmjeren je na segmentu toka od Bigine Poljane do Slapa Plitvice (DHMZ, 2021).

Gubici na Plitvici stoga su povezani prvenstveno s zonom poniranja nakon Hajdukovića mlina na koju više ili manje imaju utjecaj hidrološke prilike, budući da je dokazano da su gubici u tom području veći u ljetnim mjesecima. Proces poniranja vode događa se i zbog količine sedre u koritu koja pogoduje većem izlivanju vode u ponorsku zonu, pa je sedrenje toka također uzročnik gubitaka. Vrijednosti manje od izračunatog biološkog minimuma (dosadašnja stručna praksa u RH) za potok Plitvicu (tab. 3) i njezin pritok Sartuk (tab. 4) uočene su najčešće tijekom ljetnih mjeseci, promatrajući mjesečne vrijednosti minimuma protoka u periodu 1980.-2021. To nezadovoljavanje vrijednosti ekološki prihvatljivog protoka koje se pojavljuje u ljetnim mjesecima direktno je povezano s većim gubicima u koritu za vrijeme ljetnih mjeseci na već spomenutoj dionici toka. Tomu treba dodati i pojačano crpljenje vode lokalnoga stanovništva u ljetnim mjesecima.

S obzirom na navedeno, daju se naslutiti tri su glavna razloga koji uzrokuju manjak u vodotoku Plitvici. Prvi razlog je sastav stijenske podloge. Na dijelu toka od Izvora Plitvice do Hajdukovića mlina stijene su nepropusnije nego nizvodno, što uzrokuje manje poniranja i samim time više vode ostaje u koritu, dok je nizvodno situacija obrnuta. Drugi razlog je sedrenje toka. Iako je sedrenje prirodni proces, pitanje je do koje granice se taj prirodni proces može odvijati a da za posljedicu ima izlivanje vode iz korita. Treći razlog su ilegalna vodocrpilišta. Budući da njihov broj i karakter nisu poznati, ne zna se koliku količinu vode ona uzimaju iz potoka i koliko se te količine vraća preko ilegalnih sustava otpadnih voda koja se otpuštaju u tekućicu. Zbog ovog razloga, zakonski propisana Slovenska metoda ne može se uzeti kao relevantna za potok Plitvicu, iako bi bila vrlo značajna u prikazu stanja tekućice. Razlog tome su preduvjeti za njezin izračun, koji između ostalog nalažu poznavanje informacija o vodozahvatima u koritu. Na potoku Plitvici postoji samo jedan službeni vodozahvat i to na samom njegovom izvoru. Taj vodozahvat je nepovratan, što znači da se voda koja se uzima iz vodotoka ne vraća nazad u taj isti vodotok. Voda koja se zahvaća na

izvoru Plitvice služi za vodoopskrbu naselja Plitvica selo i Poljanak, a predstavlja problem u ljetnim sušnim razdobljima ukoliko je crpljenje vode nekontrolirano (NP Plitvička jezera, 2019). Kada bi taj vodozahvat bio jedini na samom vodotoku Plitvici, u tom slučaju, ova bi metoda bila primjenjiva. Budući da je duž korita potoka Plitvice zabilježeno nekoliko ilegalnih vodozahvata čiji karakter, odnosno dužina zahvaćanja i količina vode koja se crpi nije poznata (Čanjevac i dr., 2021), ta metoda se ne može sa sigurnošću primijeniti zbog nedostatka podataka. U Slučaju vodotoka Sartuka ta je metoda u potpunosti neprimjenjiva pošto u njegovom koritu ne postoje vodozahvati (NP Plitvička jezera, 2019).

Kada se situacija sagleda generalno u smislu dobivenih vrijednosti EPP-a pomoću biološkog minimuma, protok potoka Plitvice ne zadovoljava dobivene vrijednosti. To nije slučaj za sve mjesece i sve godine mjerenja, ali u ljetnim mjesecima u pojedinim godinama dobivene vrijednosti nisu zadovoljene. Postoje i vrijednosti EPP-a dobivene drugim metodama prema kojima su vrijednosti protoka na Plitvici zadovoljavajuće u svim mjesecima, ali te vrijednosti nisu prilagođene specifično hrvatskim potrebama. Zato je, u realnosti, situacija mnogo složenija.

7.2.2 Osvrt na varijabilnost protoka potoka Plitvice u kontekstu EPP-a

Uspoređujući vrijednosti srednjih mjesečnih protoka Plitvice i njezinog glavnog pritoka Sartuka s dobivenim vrijednostima EPP-a Tennantovom metodom, mogu se raspraviti sljedeće spoznaje. Vrijednosti potoka Plitvice kreću se u kategorijama optimalnih, povoljnih, odličnih i dobrih protoka, te dotiču vrijednosti koje su blizu maksimalnih ili protoka za ispiranje i konkretnih ali degradirajućih protoka, što se suhog dijela godine tiče. Za vlažan dio godine vrijednosti se kreću u kategoriji optimalnog raspona, prema kategoriji protoka za ispiranje ali bez dosezanja pune vrijednosti tih protoka. Promatrajući vrijednosti srednjih mjesečnih protoka na Plitvici (tab. 1), možemo zaključiti da su protoci vrlo varijabilni, te da taj raspon može dobro služiti potrebama ekosustava (Sabol, 2016). Potok Sartuk s druge strane, u sušnom periodu godine doseže raspon vrijednosti od onih približnih protocima za ispiranje sve do vrijednosti koje uzrokuju teške degradacije (tab. 2). To znači da on gotovo presuši u ljetnom periodu. U vlažnom djelu godine vrijednosti su stabilnije i kreću se većinom u kategoriji optimalnog raspona, te malo iznad te kategorije. Dobivene vrijednosti prikazuju dobru varijabilnost protoka, bez velikih prelazaka u „štetne“ kategorije.

Plitvička jezera spadaju u pastrvski tip voda u kojima je zastupljena jedna od 4 autohtone vrste riba na području Plitvičkih jezera, potočna pastrva (NP Plitvička jezera,

2019). Obzirom na važnost očuvanja potočne pastrve kao autohtone vrste, bitan je element protoka, točnije ekološki prihvatljivog protoka koji bi pogodovao njezinom opstanku na istraživanom području. Minimalne vrijednosti EPP-a pomoću Baxterove metode zadovoljavaju vrijednosti srednjih mjesečnih protoka. S druge strane, vrijednosti srednjih mjesečnih protoka (tab. 1) veće su od propisanih maksimalnih vrijednosti za potok Plitvicu dobivenih pomoću Baxterove metode. Isto vrijedi i za potok Sartuk, vrijednosti protoka (tab. 2) odgovaraju propisanim minimumima, dok propisane maksimume vrijednosti protoka prelaze u većini slučajeva. Iz toga se može zaključiti da protok potoka Plitvice i Sartuka samo djelomično podržava životne potrebe pastrva u određenim razvojnim fazama.

Različiti režimi protoka zaslužni su za održavanje prirodne amplitude poremećaja koji su odgovorni za stvaranje heterogenih uvjeta staništa u vremenu i prostoru (King J.M. et al., 2008). Ove dvije metode EPP-a potvrđuju to u slučaju riba, odnosno pastrva i divljih životinja. Stoga se da zaključiti da je za određene vrste, u ovom slučaju pastrve, pun raspon protoka bitan za održavanje staništa i bioraznolikosti. U slučaju potoka Plitvice, protoci su generalno zadovoljavajući uspoređujući ih s propisanim vrijednostima dobre varijabilosti protoka koje daje Tennantova metoda i odgovarajućih minimuma kod Baxterove metode. Vrijednosti koje protok potoka Plitvice ne zadovoljava, vrijednosti su maksimuma EPP-a dobivenih Baxterovom metodom.

8 ZAKLJUČAK

Potok Plitvica nalazi se u NP Plitvička jezera. U prostorima s tim stupnjem zaštite, dopušteni su zahvati i djelatnosti kojima se na ugrožava izvornost prirode, a zabranjena je gospodarska uporaba prirodnih dobara. Potok Plitvica ipak se, bez obzira na navedenu tvrdnju, suočava s problemima koji su djelomična posljedica antropogenih aktivnosti koje su započele i prije proglašenja prostora nacionalnim parkom. Te aktivnosti, poput izgradnje smještajnih kapaciteta, turističkih potreba kao i potreba samog stanovništva neminovno utječu na količinu i kvalitetu vode u koritu. Uočeno je da se od izvora potoka Plitvice do njezinog završetka, Velikog slapa, pojavljuje manje vode u koritu, a taj manjak naglašen je u ljetnom periodu godine.

Tri su glavna razloga koji uzrokuju manjak u vodotoku Plitvici: sastav stijenske podloge, sedrenje toka i ilegalna vodocrpilišta. Na dijelu toka od Izvora Plitvice do Hajdukovića mlina stijene su nepropusnije nego nizvodno, što uzrokuje manje poniranja i samim time više vode ostaje u koritu, dok je nizvodno situacija obrnuta. Sedrenje toka prirodan je proces, no ostaje pitanje do koje granice se on može odvijati, pošto za posljedicu ima izlivanje vode iz korita. Ilegalna vodocrpilišta na potoku Plitvici nemaju definiran broj i kapacitet. Ne zna se koliku količinu vode se uzima iz tekućice i koliko se te količine vraća u isti tok nizvodno preko ilegalnih sustava otpadnih voda.

Odabranim hidrološkim metodama dobivene su vrijednosti ekološki prihvatljivog protoka. Uspoređene su neke od dobivenih, od kojih se ističe biološki minimum kao prevladavajuća stručna praksa u RH, s mjesečnim minimumima protoka. Tom usporedbom potvrđeno je da u ljetnim mjesecima vrijednosti protoka ne zadovoljavaju dobivene vrijednosti EPP-a. Slovenska metoda za izračun EPP-a bila bi dobar i relevantan pokazatelj kada bi bilo poznato više informacija o vodozahvatima u koritu potoka Plitvice. Vrijednosti protoka na potoku Plitvici u većini mjeseci zadovoljavaju većinu ostalih vrijednosti EPP-a dobivenih drugim metodama. Nadalje, neke od vrijednosti tih metoda nisu prilagođene specifično potrebama hrvatskih tekućica, odnosno potoka Plitvice. Usporedbom mjesečnih vrijednosti srednjih protoka generalno su zadovoljene vrijednosti dobre varijabilnosti protoka dobivenih Tennantovom metodom. Također, vrijednosti zadovoljavaju i propisane minimume za Baxterovu metodu, koja je bitna za podržavanje različitih životnih faza pastrva. S druge strane, vrijednosti tom metodom propisanih maksimuma nisu zadovoljene.

Budući da se prirodni procesi poput sedrenja ili poniranja vode ne mogu zaustaviti, predlažem daljnja istraživanja koja se tiču otkrivanja antropogenih ilegalnih zahvata u koritu. Takvi zahvati narušavaju prirodni režim protoka rijeke i kvalitetu same vode. S obzirom na

to, u interesu je očuvanja nacionalnog parka, ekosustava i ljudi da se takvi zahvati saniraju, te da se postigne dogovor o količini vode i načinu na koji se ona crpi iz korita ili vraća u njega u obliku otpadnih voda.

9 LITERATURA

Biondić, B., Biondić, R., Meaški H., 2010: The conceptual hydrogeological model of the Plitvice Lakes, *Geologia Croatica* 63 (2), 195–206.

Biondić, B., Meaški, H., Biondić, R., 2016: Hydrogeology of the sinking zone of the Korana River downstream of the Plitvice Lakes; Croatia, *Acta Carstologica* 45 (1), 43-56.

Bočić, N., 2009: Plitvička jezera – tamo gdje voda prkosi kršu, <https://geografija.hr/plitvicka-jezera-tamo-gdje-voda-prkosi-kršu/> (28.9.2022.)

Bonacci, O., 2003: Ekohidrologija vodnih resursa i otvorenih vodotoka, Građevinskoarhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu i IGH, Split.

Čanjevac, I., Bočić, N., Martinić, I., Alegro, A., Rimac, A., 2021: Hidromorfološka studija potoka Plitvica (elaborat/studija).

Čanjevac, I., Vučković, I., 2018: Metodološki pristupi određivanju ekološki prihvatljivih protoka, u: Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda te smanjenja poplavnih rizika - suvremeni trendovi i pristupi (ur. Rubinić, J., Ivanković, I., Bušelić, G.), Hrvatsko hidrološko društvo, Rijeka, 189-191.

DHMZ, 2020: Hidrološki radovi mjerenja protoka u svrhu utvrđivanja gubitaka na području NP Plitvička jezera u 2020. godini (izvješće).

ESHA, 2014: Reserved flow – Short critical review of the methods of calculation.

Europska komisija, 2015: Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive, Guidance document no 31, 106.

JU NP Plitvička jezera, 2019: Plan upravljanja Nacionalnim parkom Plitvička jezera 2019. – 2028.

King, J.M., Tharme, R.E., de Villiers, M.S., 2000: Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology (report).

Magaš, D., 2013: Geografija Hrvatske, Meridijani, Zadar.

Meaški, H., Marciuš, M., Ptiček Siročić, A., 2016: Hidrogeološke značajke vodotoka Plitvica na području Plitvičkih jezera; Hrvatska, *Environmental Engineering - Inženjerstvo okoliša* 3 (2), 21-32.

MICRO projekt d.o.o., 2019: Strategija razvoja općine Plitvička jezera 2018.-2022.

Oikon d.o.o. 2013: Definiranje ekološki prihvatljivih protoka Rječine (stručna studija).
Pravilnik o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka, Službene novine FBiH
4/2013

Sabol, G., 2016: Ekološki prihvatljivi protoci rijeka, Zbornik radova Međimurskog
veleučilišta u Čakovcu 7 (2), 91-97.

Sekulić, B., 1999: Geografija jučer, danas, sutra, Acta Geographica Croatica 34 (1), 157-
171.

Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko
sprejemljivega pretoka, Uradni list RS 79/2009

Vučijak, B., Smolar-Žvanut, N. i sur. 2009: Projekt Živjeti Neretvu - Procjena ekološki
prihvatljivog protoka za rijeke Trebižat i Vrbanja.

Zakon o vodama (NN 66/19, 84/21)

Žugaj, R., 2000: Hidrologija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet,
Zagreb.

10 IZVORI

Nacionalni parkovi / Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja,
[https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-zastitu-prirode-
1180/zasticena-podrucja/nacionalni-parkovi/1194](https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-zastitu-prirode-1180/zasticena-podrucja/nacionalni-parkovi/1194) (5.1.2023.)

Veliki slap, 2020: <https://np-plitvicka-jezera.hr/voda-rasprseno-u-tisuce-kapljica/> (7.1.2023)

11 PRILOZI

PRILOG A

Popis slika

Sl. 1. Veliki slap i Sastavci _____	4
Sl. 2. Podjela slijeva Plitvičkih jezera na manje podslijebove _____	5
Sl. 3. Geografski položaj NP Plitvičkih jezera unutar RH _____	7
Sl. 4. Geografski smještaj potoka Plitvice i potoka Sartuka unutar NP Plitvička jezera __	8
Sl. 5. Topografsko i hidrogeološko poriječje u odnosu na geološku podlogu _____	10
Sl. 6. Hidrogeološka karta Plitvičkih jezera i uzvodnog dijela rijeke Korane _____	11
Sl. 7. Klimadijagram meteorološke postaje Plitvička jezera (1986.-2021.) _____	14
Sl. 8. Hidrološke postaje na potoku Plitvici i potoku Sartuku _____	16
Sl. 9. Hidrogram godišnjih maksimuma protoka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici (1980.-2021.) _____	21
Sl. 10. Hidrogram godišnjih maksimuma protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku (1982.-2021.) _____	22
Sl. 11. Hidrogram godišnjih srednjaka protoka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici (1980.-2021.) _____	23
Sl. 12. Hidrogram godišnjih srednjaka protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku (1982.-2021.) _____	24
Sl. 13. Hidrogram godišnjih minimuma protoka na hidrološkoj postaji Plitvice na potoku Plitvici (1980.-2021.) _____	25
Sl. 14. Hidrogram godišnjih minimuma protoka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana na potoku Sartuku (1982.-2021.) _____	26
Sl. 15. Glavni tipovi vegetacije u koritu i neposrednom obalnom pojasu potoka Plitvice	28
Sl. 16. Brana na izvoru potoka Plitvice zbog potrebe vodoopskrbe _____	30
Sl. 17. Krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka za hidrološku postaju Plitvice na Plitvici (1980.-2021.) _____	33
Sl. 18. Krivulja trajanja minimalnih mjesečnih protoka za hidrološku postaju Plitvice na Plitvici (1980.-2021.) _____	33
Sl. 19. Krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka za hidrološku postaju Rodić Poljana na Sartuku (1980.-2021.) _____	34

Sl. 20. Krivulja trajanja minimalnih mjesečnih protoka za hidrološku postaju Rodić Poljana na Sartuku (1980.-2021.)	34
Sl. 21. Krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka za hidrološku postaju Izvor Plitvice na Plitvici (2018.-2021.)	35
Sl. 22. Krivulja trajanja minimalnih mjesečnih protoka za postaju Izvor Plitvice na Plitvici (2018.-2021.)	35
Sl. 23. Ponorne zone potoka Plitvice	51
Sl. 24. Pukotina na desnoj obali nizvodno od Hajdukovića mlina	51

PRILOG B

Popis tablica

Tab. 1. Mjesečni i godišnji srednjaci protoka Plitvice na hidrološkoj postaji Plitvice (1980.-2021.)	17
Tab. 2. Mjesečni i godišnji srednjaci protoka Sartuka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana (1980.-2021.)	18
Tab. 3. Mjesečni i godišnji minimumi protoka Plitvice na hidrološkoj postaji Plitvice (1980.-2021.)	19
Tab. 4. Mjesečni i godišnji minimumi protoka Sartuka na hidrološkoj postaji Rodić Poljana (1980.-2021.)	20
Tab. 5. Podloge potrebne za izračun EPP-a hidrološkim metodama	32
Tab. 6. Vrijednosti podloga za izračun EPP-a	32
Tab. 7. Tennantova metoda za računanje EPP-a	39
Tab. 8. Baxterova metoda za računanje EPP-a	40
Tab. 9. Rezultati izračuna EPP-a za hidrološke postaje Plitvice na Plitvici i Rodić Poljana na Sartuku prema različitim metodama	47