

# Utjecaj HE Lešće na hidrološka i geomorfološka obilježja rijeke Dobre

---

Kokić, Stjepko

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:217:595049>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**



Repository / Repozitorij:

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



**Stjepko Kokić**

**Utjecaj HE Lešće na hidrolška i geomorfolška obilježja  
rijeke Dobre**

**Diplomski rad**

**Zagreb  
2022.**



**Stjepko Kokić**

**Utjecaj HE Lešće na hidrološka i geomorfološka obilježja  
rijeka Dobre**

**Diplomski rad**

predan na ocjenu Geografskom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog zvanja  
magistra geografije

**Zagreb  
2022.**

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

Zahvala kolegi Marinu Mićunoviću, asistentu i doktorandu Zavoda za fizičku geografiju Geografskog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu na pomoći pruženoj u snimanju bespilotnom letjelicom na terenu te pomoći prilikom obrade prikupljenih podataka.

Zahvala kolegici Katarini Pavlek, stručnoj suradnici i doktorandici Zavoda za fizičku geografiju Geografskog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu na savjetima i pruženoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek

Diplomski rad

## Utjecaj HE Lešće na hidrološka i geomorfološka obilježja rijeke Dobre

Stjepko Kokić

**Izvadak:** Hidroelektrana Lešće prva je hidroelektrana izgrađena u samostalnoj Hrvatskoj državi, a od samog početka realizacije ovog projekta postoje rasprave o pozitivnim i negativnim utjecajima ove hidroelektrane na rijeku Dobru te turizam i gospodarstvo okolnog prostora. To je bio poticaj za detaljniju analizu utjecaja koje hidroelektrana Lešće ima na rijeku Dobru. U radu je provedena analiza hidroloških podataka te geomorfoloških obilježja rijeke Dobre te su na temelju dobivenih rezultata doneseni određeni zaključci. Analize su pokazale kako hidroelektrana tijekom svog rada ostvaruje utjecaj na hidrološka obilježja rijeke Dobre što se primarno manifestira kroz pojave velikih vodnih valova. Analize su također pokazale kako izmijenjena hidrološka obilježja utječu na geomorfološka obilježja rijeke Dobre kroz pojačano širenje korita rijeke.

42 stranice, 34 grafička priloga, 15 tablica, 23 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: Dobra, hidroelektrana, Lešće, hidrološka obilježja, geomorfološka obilježja

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: 11. 2. 2021.

Rad prihvaćen: 10. 2. 2022.

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geography

Master Thesis

**Lešće hydroelectric power plant and its impact on the hydrological and geomorphological characteristics of the Dobra River**

Stjepko Kokić

**Abstract:** Lešće hydroelectric power plant is the first hydroelectric power plant constructed in the independent Croatian state and from the very beginning of this project there are discussions about the positive and negative impacts of this hydroelectric power plant on the Dobra River and tourism and economy of the surrounding area. This was the incentive for a more detailed analysis of the impacts that the Lešće hydroelectric power plant has on the Dobra River. The paper analyzes the hydrological data and geomorphological characteristics of the Dobra River and based on the obtained results, certain conclusions are reached. Analyzes have shown that the hydropower plant has an impact on the hydrological characteristics of the Dobra river during its operation, which is primarily manifested through the occurrence of large water waves. Analyzes also showed that the changed hydrological characteristics affect the geomorphological characteristics of the Dobra River through the increased expansion of the riverbed.

42 pages, 34 figures, 15 tables, 23 references; original in Croatian

**Keywords:** Dobra, hydroelectric power plant, Lešće, hydrological characteristics, geomorphological characteristics

**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:** 11/02/2021

**Thesis accepted:** 10/02/2022

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



## Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	<b>1</b>
1.1. Ciljevi rada .....	1
1.2. Prostorni obuhvat istraživanja .....	2
1.3. Obilježja rijeke Dobre .....	2
1.4. Hidroenergetsko iskorištavanje Dobre .....	6
1.5. Obilježja HE Lešće.....	7
<b>2. Prethodna istraživanja</b> .....	<b>9</b>
<b>3. Metode istraživanja i podaci</b> .....	<b>12</b>
3.1. Metode istraživanja .....	12
3.2. Podaci .....	13
<b>4. Prikaz rezultata</b> .....	<b>14</b>
4.1. Hidrološka analiza rijeke Dobre .....	14
4.1.1. Postaja Lešće Toplice .....	14
4.1.2. Postaja Stative Donje.....	19
4.1.3. Analiza 15-minutnih podataka o vodostaju .....	24
4.2. Geomorfološka analiza korita rijeke nizvodno od HE Lešće .....	29
<b>5. Rasprava rezultata</b> .....	<b>37</b>
5.1. Rasprava rezultata hidrološke analize .....	37
5.2. Rasprava rezultata geomorfološke analize .....	40
<b>6. Zaključak</b> .....	<b>42</b>
<b>Literatura</b> .....	<b>43</b>
<b>Izvori</b> .....	<b>44</b>
<b>Prilozi</b> .....	<b>VI</b>

## 1. Uvod

Energija i energenti važan su dio svakodnevnog života svakog modernog društva pa tako i hrvatskih građana. U razdoblju od 1992. do 2019. godine ukupna potrošnja energije rasla je prosječnom godišnjom stopom od 0,9% dok je u istom razdoblju potrošnja električne energije rasla prosječnom godišnjom stopom od 1,8%. U proizvodnji električne energije u Hrvatskoj veliku ulogu imaju hidroelektrane koje su prema podatku iz 2019. godine u ukupnoj instaliranoj snazi elektrana u Hrvatskoj imale udio od 47% te su proizvele 5932,6 GWh električne energije (MINGOR, 2019). U aktualnim prilikama kada su klimatske promjene sve izraženije, a postizanje klimatske neutralnosti i zelene tranzicije sve važniji ciljevi, izuzetno je važno težiti sto postotnom zadovoljenju potreba za električnom energijom iz obnovljivih izvora. Hidroelektrana Lešće prva je hidroelektrana izgrađena nakon osamostaljenja Republike Hrvatske te je projektirana za rad tijekom vršnih potreba za električnom energijom. Priprema i izrada projekata započela je još 80-ih godina XX. stoljeća, a sama izgradnja elektrane je započela u rujnu 2005. godine (Nadilo, 2007). U rad je puštena u lipnju 2010. godine (Filipan i dr., 2012). Ubrzo nakon puštanja elektrane u rad počeli su se pojavljivati negativni utjecaji na koje su upozoravalo još prije i tijekom njezine izgradnje. Hidroelektrane se često percipiraju kao rješenje energetske problema i ovisnosti o fosilnim gorivima, ali sa sobom donose i određene negativne utjecaje koje se u ovom radu nastojalo detaljno analizirati i proširiti znanje o temi.

### 1.1. Ciljevi rada

Ciljevi ovog diplomskog rada su istražiti potencijalni utjecaj rada hidroelektrane Lešće na hidrološka i geomorfološka obilježja rijeke Dobre. Analizom dostupnih podataka cilj je utvrditi promjene koje su se dogodile zbog rada hidroelektrane i eksploatacije vodnih resursa rijeke Dobre te odrediti intenzitet tih promjena. Vremenski okvir istraživanja u hidrološkoj analizi malo je drugačiji od vremenskog okvira geomorfološke analize. Hidrološka analiza provedena je za dva odvojena razdoblja, prije (do 2005. godine) i poslije (nakon 2006. godine) početka izgradnje HE Lešće. U geomorfološkoj analizi izdvojena su tri razdoblja koja su prilagođena prema vremenski najbližim dostupnim digitalnim ortofoto kartama (DOF) za ključne događaje kao što su početak izgradnje HE Lešće te njezino puštanje u rad. Za analizu razdoblja prije početka izgradnje hidroelektrane korišteni su DOF-ovi iz 1968. i 2006./09. godine. Drugo razdoblje obuhvaća vrijeme izgradnje hidroelektrane te vrijeme nakon puštanja u rad. Treće analizirano razdoblje je ono nakon puštanja HE Lešće u rad i za tu analizu su korišteni DOF-ovi iz 2011. i 2018. godine.

## 1.2. Prostorni obuhvat istraživanja

Istraživanjem u ovom diplomskom radu obuhvaćeno je korito rijeke Dobre te uži pojas uz samu rijeku u kojem je moguće detektirati potencijalni utjecaj i promjene uslijed rada hidroelektrane Lešće. Konkretnije, istraživanjem je obuhvaćeno korito Donje Dobre na dionici koja se proteže od brane akumulacijskog jezera HE Lešće do ušća Donje Dobre u rijeku Kupu (sl. 1.). Istraživana dionica rijeke smještena je između  $45^{\circ}33'37''$  i  $45^{\circ}17'48''$  sjeverne geografske širine i  $15^{\circ}15'42''$  i  $15^{\circ}31'24''$  istočne geografske dužine. Ovaj prostor ujedno je i kontaktni prostor između Gorske i Nizinske Hrvatske.

## 1.3. Obilježja rijeke Dobre

Rijeka Dobra je krška rijeka čiji se tok može podijeliti na tri dijela: Gornju ili Ogulinsku Dobru, podzemni tok Dobre te Donju ili Gojačku Dobru (sl. 1.) (Bonacci i Andrić, 2010). Gornja Dobra nastaje kod istoimenog naselja u općini Skrad spajanjem dva vodotoka: potoka Dobre koji izvire u Skradu i Bukovske Dobre koja izvire podno sjevernih padina Javorove kose. Gornja Dobra ima i nekoliko važnijih pritoka koji se mogu izdvojiti, a nizvodnim redoslijedom to su: Sušica, Kamačnik, Ribnjak, Tičevo i Vitunjčica. Tok Gornje Dobre završava u Ogulinu gdje kroz Đulin ponor ulazi u podzemlje te ovdje započinje podzemni dio toka Dobre koji na površinu ponovno izlazi u blizini naselja Gojak. Točnu dužinu i smjerove kretanja podzemnog toka rijeke Dobre nije moguće potpuno precizno utvrditi jer se radi o krškom hidrološkom sustavu koji ima obilježja tzv. *grey box*-a, tj. radi se o poluprozirnom sustavu kod kojeg je moguće utvrditi ulaze i izlaze iz sustava, ali prolaz vode kroz sustav nije poznat ili je poznat u manjoj mjeri (Bočić, 2016). Kod naselja Gojak vodeni tok izlazi na površinu i u duljini od 52,1 km teče do svog ušća u rijeku Kupu. Ovaj dio toka nosi naziv Donja ili Gojačka Dobra, a mogu se izdvojiti njeni važniji pritoci: Bistrica, Ribnjak, Globornica i Tomašnica.



Sl.1. Smještaj rijeke Dobre u prostoru

Širi prostor istraživanja geološki je vrlo složen i raznolik te u njemu nalazimo stijene čija se starost proteže od najmlađih kvartarnih do najstarijih permskih naslaga. Strukturna obilježja također su vrlo složena zbog brojnih rasjeda koji se protežu u svim smjerovima na kontaktima različitih stijenskih masa ili unutar njih. Širi prostor istraživanja karakterizira i prisutnost različitih vrsta stijena pri čemu vapnenci i dolomiti zauzimaju najveći udio. Sami tok Donje Dobre, tj. istraživani dio toka od HE Lešće do ušća u rijeku Kupu na samom početku prolazi kroz podlogu građenu od vapnenačkih stijena dok se u ostatku toka izmjenjuju kompleksi vapnenačko-dolomitnih stijena, breča, pješčenjaka, silita i kalcitnih lapora, čistih dolomitnih stijena te šljunci, muljevi i gline u posljednjem dijelu toka do ušća Donje Dobre u Kupu (sl. 2.).

Geomorfološki položaj rijeke Dobre prema Bognaru (2001) određen je pripadnošću dvjema megamakrogeomorfološkim regijama: Panonskom bazenu i Dinarskom gorskom sustavu. Unutar Panonskog bazena, smještena je u makrogeomorfološkoj regiji Zavale SZ Hrvatske, mezogeomorfološkoj regiji Gorski masivi Petrove gore i Kremešnice te subgeomorfološkoj regiji Vojničko pobrđe. Unutar Dinarskog gorskog sustava, smještena je unutar makrogeomorfološke regije Gorska Hrvatska, mezogeomorfološkim regijama Pokupskog niza gorskih skupina i pobrđa s dolinom Kupe, Ogulinsko-plašćanske zavale sa SI gorsko-brdskim

okvirom te Unsko-koranske zaravni s pobrdima JZ Korduna. Unutar ovih mezogeomorfoloških regija, rijeka Dobra pripada i sljedećim subgeomorfološkim regijama: Gorska skupina Skradskog vrha, Ogulinsko-plašćanska zavalala, SZ dio gorsko-brdskog okvira zavale, Zaravan i pobrđe Dobre i Ozaljsko pobrđe (tab. 1.).

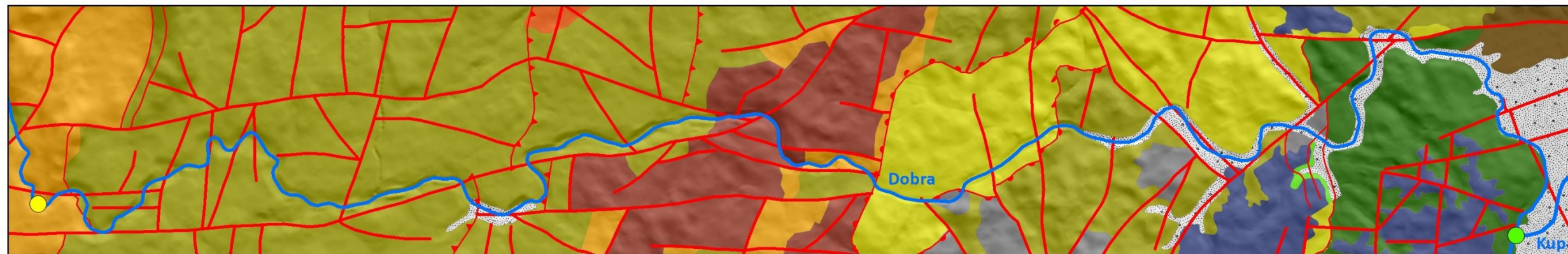
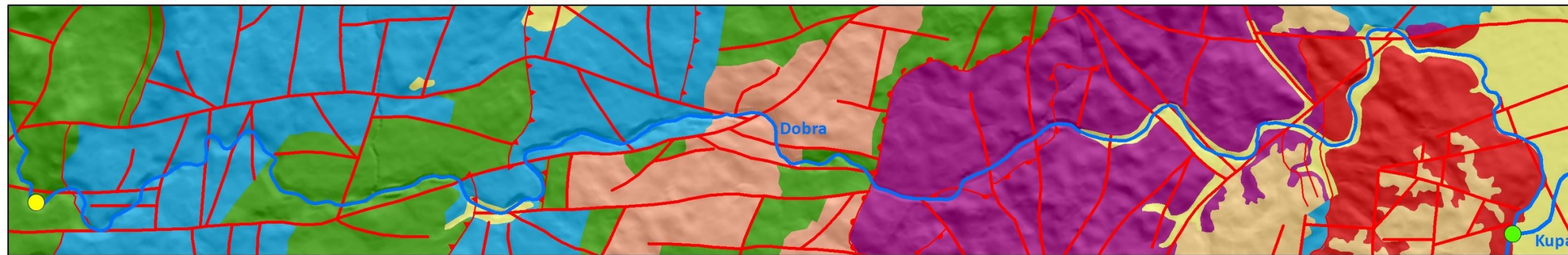
Tab.1. Geomorfološka regionalizacija istraživanih prostora

<b>Megamakrogeomorfološka regija</b>	Panonski bazen	Dinarski gorski sustav				
<b>Makrogeomorfološka regija</b>	Zavala SZ Hrvatske	Gorska Hrvatska				
<b>Mezogeomorfološka regija</b>	Gorski masivi Petrove gore i Kremešnice s okolnim pobrdima	Pokupski niz gorskih skupina i pobrđa s dolinom Kupe	Ogulinsko-plašćanska zavalala sa SI gorsko-brdskim okvirom	Unsko-koranska zaravan s pobrdima JZ Korduna		
<b>Subgeomorfološka regija</b>	Vojničko pobrđe	Gorska skupina Skradskog vrha	Ogulinsko-plašćanska zavalala	SZ dio gorsko-brdskog okvira zavale	Zaravan i pobrđe Dobre	Ozaljsko pobrđe

izvor: prema Bognaru, 2001.

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime cjelokupno područje koje rijeka Dobra odvodnjava ima Cfb tip klime, tj. umjereno toplu vlažnu klimu s toplim ljetom. U ovom tipu klime srednja temperatura najtoplijeg mjeseca kreće se između 20 i 22°C, a temperatura najhladnijeg mjeseca kreće se između 0 i -3°C (Šegota i Filipčić, 1996). Padaline su ravnomjerno raspoređene tijekom godine, ali postoji određena razlika u parametrima između prostora kojim protječu i koji odvodnjavaju Gornja i Donja Dobra. Gornja Dobra odvodnjava prostor sjeveroistočnog ruba Dinarida u Gorskom kotaru koji godišnje prima veliku količinu padalina (između 1500 i 2000 mm), a srednji godišnji broj dana s količinom padalina  $\geq 1$  mm iznosi između 100 i 140 dana (DHMZ, 2008). Kartografski prikazi srednjih količina padaline prema godišnjim dobima u klimatskom atlasu Hrvatske potvrđuju ravnomjernu raspodjelu padalina tijekom godine. Prostor koji odvodnjava Gornja Dobra tijekom proljeća, ljeta i jeseni prima između 400 i 500 mm padalina po sezoni, a tijekom zime između 300 i 400 mm. Donja Dobra, rijeka koja izvire i protječe u prostoru koji se nalazi istočnije i dublje prema kontinentalnom dijelu Hrvatske te odvodnjava taj prostor prima između 1000 i 1500 mm padalina godišnje. Količina se smanjuje od izvora prema ušću u rijeku Kupu. Srednji godišnji broj dana s količinom padalina  $\geq 1$  mm iznosi između 100 i 120 dana (DHMZ, 2008). Raspodjela količine padalina na prostoru koji odvodnjava Donja Dobra također je sezonski ravnomjerna te se kreće između 200 i 300 mm tijekom zime i proljeća, a tijekom ljeta i jeseni količina padalina je nešto viša, između 300 i 400 mm.





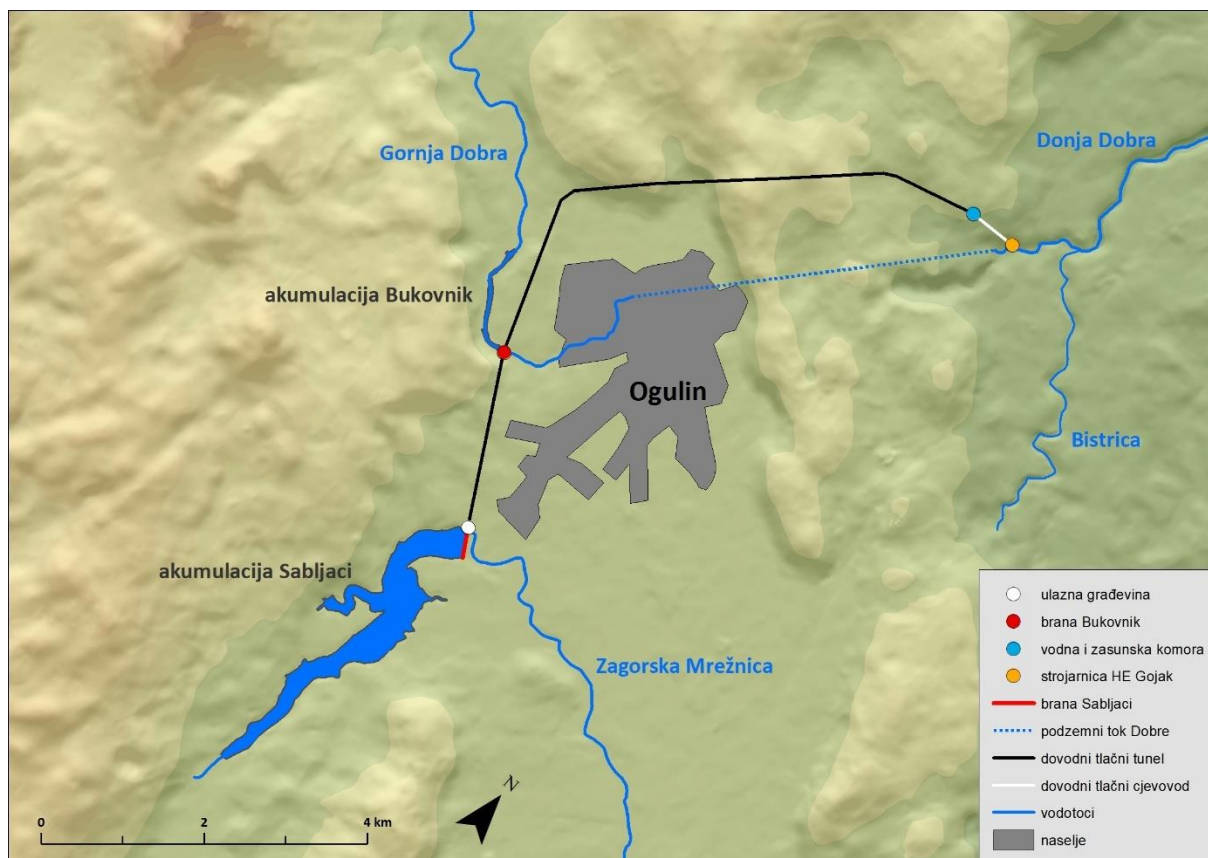
Sl.2. Pojednostavljena geološka karta – prikaz starosti i vrste stijena te strukturnih obilježja prostora istraživanja

Izvor: prema OGK SFRJ 1:100 000, Bukovac i dr., 1983. (list Črnomelj), Savezni geološki institut Beograd, 1983. i OGK 1:100 000, Benček i dr., 1990. (list Karlovac), HGI, 2014.

Prema Čanjevcu (2013) Gornja Dobra ima dinarski kišno-snježni protočni režim s dva minimuma i dva maksimuma. Maksimumi se javljaju u studenom ili prosincu i travnju, prvi kao posljedica otapanja snijega, a drugi kao posljedica jesenskih kiša. Minimumi se javljaju u kolovozu i veljači. Donja Dobra pripada sredozemnom kišno-snježnom protočnom režimu gdje se primarni maksimum javlja najčešće u prosincu, a sekundarni u travnju. Primarni minimum ovog protočnog režima javlja se u srpnju ili kolovozu, a sekundarni u veljači ili ožujku. Treba naglasiti kako su protoci u toku Donje Dobre već otprije antropogeno izmijenjeni zbog HE Gojak koja za svoj rad koristi i vode Zagorske Mrežnice koja se prirodno ne ulijeva u Dobru.

#### 1.4. Hidroenergetsko iskorištavanje Dobre

Dobra je hidroenergetski najiskorištenija rijeka poriječja Kupe. Iskorištavanje hidroenergetskog potencijala rijeke Dobre započelo je još 1959. godine kada je u pogon puštena HE Gojak koja je građena između 1954. i 1959. godine. Za rad HE Gojak koriste se vode Gornje ili Ogulinske Dobre i Zagorske Mrežnice zbog čega su na spomenutim rijekama izvršeni hidrotehnički zahvati koji su u velikoj mjeri utjecali na hidrološka obilježja spomenutih rijeka (sl. 3.). Obje rijeke pregrađene su branama pri čemu nastaju akumulacije Bukovnik na Gornjoj Dobri i Sabljaci na Zagorskoj Mrežnici. Voda Zagorske Mrežnice se iz akumulacije Sabljaci tunelom dovodi do akumulacije Bukovnik gdje se spaja s vodom Gornje Dobre i dalje se tunelom odvode do HE Gojak. HE Gojak čini prvu energetska stepenicu iskorištavanja Dobre. Opremljena je s tri turbine od kojih svaka ima instalirani protok od  $19 \text{ m}^3/\text{s}$ , a ukupni proizvodni kapacitet HE Gojak iznosi 56 MW (HEP, n.d.). Drugu energetska stepenicu iskorištavanja Dobre čini HE Lešće puštena u rad 2010. godine.



Sl.3. Hidroenergetski sustav hidroelektrane Gojak

Izvor: Sedamdeset godina Elektroprojekta, nepotpisani prilog u časopisu Građevinar, 71(3)

### 1.5. Obilježja HE Lešće

Hidroelektrane su specijalna postrojenja namijenjena proizvodnji električne energije korištenjem potencijalne energije vode koja se u vodnoj turbini pretvara u mehaničku energiju, a mehanička energija se vrtnjom generatora koji je spojen na vodnu turbinu pretvara u električnu energiju (Hrvatska enciklopedija, n.d.). Hidroelektrane mogu biti višenamjenska postrojenja jer osim primarne funkcije proizvodnje električne energije mogu ispunjavati funkcije opskrbe vodom, obrane od poplava, zaštite zemljišta od erozije, navodnjavanja, odvodnje i prometa (HEP, n.d.). Korištenje energije vode svrstava se u obnovljive izvore energije pa s tog aspekta ne ostavljaju ugljični otisak, ali u posljednje vrijeme sve se više istražuje njihov doprinos emisiji stakleničkih plinova zbog biokemijskih procesa razlaganja organske tvari koja se nalazi u akumulacijama. Pri tome se misli na organsku tvar koju je u akumulaciju donijela rijeka, koja je izrasla u akumulaciji kao produkt fotosinteze te na ostatke drvene mase koja dospije u akumulaciju (Scherer i Pfister, 2016). Hidroelektrane se mogu razlikovati prema nekoliko kriterija, ali najosnovniji su prema *načinu korištenja vode* i *načinu proizvodnje* električne energije. Prema načinu korištenja vode, hidroelektrane mogu biti *akumulacijske*, *protočne*, *reverzibilne* ili *crpne*. Akumulacijske hidroelektrane podrazumijevaju



akumulacije velikih zapremnina u koje se sprema voda za kasnije korištenje, tj. kada voda za rad elektrane bude najpotrebnija. Protočne hidroelektrane ne posjeduju akumulacije nego se voda izravno upućuje na turbinu ili posjeduju vrlo male akumulacije dostatne za nekoliko sati rada elektrane. Kod reverzibilnih hidroelektrana voda se za vrijeme najmanje potrošnje električne energije (uglavnom noću) pumpa iz nižeg akumulacijskog jezera u više te se ta voda koristi za proizvodnju električne energije tijekom dana pri povećanoj potražnji. Crpnim hidroelektranama glavni zadatak je sakupljanje vode u više akumulacije koja se koristi za potrebe rada klasične hidroelektrane. Prema *načinu proizvodnje* električne energije razlikuju se *pribranske* i *derivacijske*. Kod pribranskih hidroelektrana, strojarnica u kojoj se nalaze generatori nalazi se u blizini brane ili je integrirana u branu akumulacije, a kod derivacijskih hidroelektrana strojarnica je izmještena te se do nje voda dovodi kanalima ili cjevovodima (Hrvatske vode, 2019). Hidroelektrana Lešće je akumulacijsko pribransko postrojenje koje se nalazi nizvodno od HE Gojak te predstavlja drugu energetska stepenicu u iskorištavanju vode Donje Dobre. Planovi za njezinu izgradnju sežu još u 80.-e godine prošlog stoljeća, a sva potrebna dokumentacija izdana je na temelju studije utjecaja na okoliš iz 1986. godine za koju se upozoravalo da je zastarjela (Zelena akcija, 2017). Izgradnja je trajala od 2005. do 2010. godine, a u rad je puštena u lipnju 2010. godine (Filipan i dr., 2012). Opremljena je s dvije glavne proizvodne jedinice, svaka instalirane snage 20,6 MW te protoka od 60 m<sup>3</sup>/s. HE Lešće je opremljena i agregatom biološkog minimuma snage 1,09 MW te protoka od 2,7 m<sup>3</sup>/s. Ukupna instalirana snaga hidroelektrane je 42,3 MW, a ukupni instalirani protok iznosi 122,7 m<sup>3</sup>/s. HE Lešće organizacijski pripada PP HE Zapad (Proizvodno područje Zapad) i Glavnoj hidroelektrani Gojak iz koje se vrši daljinsko upravljanje HE Lešće (HEP, n.d.). S obzirom na prevladavajući režim rada, HE Lešće je hidroelektrana za vršna opterećenja, tj. proizvodi električnu energiju kada je potražnja za istom u elektroenergetskom sustavu povećana, a takav režim rada za posljedicu ima velike fluktuacije u protoku nizvodno od elektrane (Filipan i dr., 2012).

## **2. Prethodna istraživanja**

Od prethodnih istraživanja tematski vezanih za rijeku Dobru i HE Lešće mogu se izdvojiti sljedeći radovi.

Hudec i Lukić (1989) opisuju istraživanja speleoloških objekata u području buduće akumulacije HE Lešće čiji je cilj bio pronaći i istražiti sve speleološke objekte na zadanom području te iz daljnjeg istraživanja isključiti one za koje se pretpostavlja da nemaju utjecaja na buduću akumulaciju. U radu je ukazano na mogućnost potapanja određenog broja speleoloških objekata te gubitak vode iz akumulacije.

Vrbanac (2003) u diplomskom radu istražuje geomorfološke značajke doline rijeke Dobre od Gojaka do ušća u Kupu.

Kunosić (2008) u diplomskom radu analizira godišnje i mjesečne protoke rijeke Dobre.

Bonacci i Andrić (2010) obrađuju hidrološke parametre rijeke Dobre i ukazuju na promjene u njezinom prirodnom režimu kao posljedice izgradnje HE Gojak te navode kako je puštanjem HE Gojak u rad došlo do povećanja prosječnih srednjih protoka na Donjoj Dobri za više od 50%.

Opala i Ožanić (2010) rade hidrološku analizu poriječja rijeke Dobre pri čemu analiziraju hidrološke parametre sa sedam mjernih postaja na Gornjoj i Donjoj Dobri.

Tomašković (2010) opisuje nekoliko speleoloških objekata koji su 2009. godine topografski snimani za potrebe projekta „Vrednovanje i zaštita podzemne faune i špiljskih vrsta šišmiša šireg područja kanjona rijeke Dobre“ koji je provodilo Hrvatsko biospeleološko društvo, a temelj ovog istraživanja je prethodno spomenuto istraživanje speleoloških objekata koje su opisali Hudec i Lukić, 1989.

Filipan i dr. (2012) za Hrvatske vode kao naručitelja izrađuju hidrološko-hidrauličku studiju s ciljevima analize promjene vodnog režima Dobre pod utjecajem rada HE Lešće, analize utjecaja tih promjena na nizvodni tok Dobre te analize mogućih mjera sanacije i sprečavanja daljnjih negativnih utjecaja rada elektrane na tok rijeke Dobre. Studija je utvrdila kako je uslijed rada HE Lešće došlo do značajnog utjecaja na režim protoka te bi u slučaju korištenja elektrane za vršni i temeljni rad moglo doći do značajnog povećanja učestalosti maksimalnih protoka. Također je utvrđena pojava naglih promjena protoka s minimalnih na instalirane koje se pojavljuju najmanje jednom dnevno. Studija predviđa i znatno češća plavljenja određenih

dionica rijeke zbog učestalijih visokih vodostaja. Utjecaj HE Lešće na Donju Dobru s hidrološkog, hidrauličkog i geomorfološkog aspekta ocijenjen je kao značajan.

Žganec (2012) istražuje utjecaj preusmjeravanja vode za potrebe hidroenergetskog iskorištavanja u HE Gojak i klimatskih promjena na dugoročne promjene u hidrološkom i temperaturnom režimu u Gornjoj i Donjoj Dobri, Zagorskoj Mrežnici, Tounjčici i Mrežnici. Istraživanjem su utvrđene promjene, tj. povećanja u srednjim mjesečnim i godišnjim protocima na Donjoj Dobri u rasponu od 52% u donjem dijelu toka do 115% u gornjem dijelu toka Donje Dobre. Također je istaknuto kako je došlo do pojave velikih oscilacija protoka na dnevnoj bazi te promjena u protočnom režimu Donje Dobre. Nadalje, pregrađivanje Zagorske Mrežnice za potrebe hidroenergetskog sustava Gojak uzrokovalo je smanjenje srednjih mjesečnih i godišnjih protoka rijeke Tounjčice za 33%, a posljedično i rijeke Mrežnice za 27%. Analizom temperatura vode na Gornjoj i Donjoj Dobri te Mrežnici zabilježen je utjecaj klimatskih promjena.

Višnić (2013) u diplomskom radu istražuje utjecaj akumulacijskog jezera hidroelektrane Lešće na poriječje Donje Dobre pri čemu analizira mikroklimatska i hidrološka obilježja. Analizom utvrđuje kako je došlo do smanjenja temperaturnih amplituda u toplom i hladnom dijelu godine te smanjenja broja dana s maglom. Hidrološka analiza pokazala je smanjenje minimalnih i srednjih protoka te povećanje maksimalnih, a utvrđeno je i da nema većih promjena u protočnom režimu rijeke.

Čanjevac (2013) radi opsežnu tipologiju protočnih režima hrvatskih rijeka za razdoblje 1990.-2009. godine u koju su uključene i Gornja i Donja Dobra. Opširnom analizom izdvojeno je sedam tipova protočnih režima hrvatskih rijeka: alpski snježno-kišni režim, dinarski kišno-snježni režim, peripanonski kišno-snježni režim, panonski kišno-snježni režim, panonski kišni režim, sredozemni kišno-snježni režim i sredozemni kišni režim.

Gatarić (2015) piše o istraživanju zajednice puževa na izvorima Donje Dobre te pritoka Bistrice i Ribnjaka 2008. i 2009. kako bi se utvrdilo referentno stanje tih zajednica prije puštanja hidroelektrane u rad. Analizira 13 pronađenih vrsta puževa te njihovu prostornu raspodjelu i gustoću populacije na istraživanim izvorima.

Zrinščak (2015) u diplomskom radu istražuje sastav i strukturu zajednice makroskopskih beskralješnjaka u Donjoj Dobri nakon izgradnje HE Lešće.

Kulaš (2016) u diplomskom radu analizira utjecaj hidroelektrana na okoliš na primjeru HE Lešće, a analizu temelji na komparativnoj analizi podataka o izgradnji HE Lešće i sličnih hidroelektrana u inozemstvu. U radu se također analizira medijski diskurs vezan za izgradnju HE Lešće.

Od istraživanja koja nisu tematski direktno vezana za rijeku Dobru i HE Lešće, ali jesu za tematiku hidroloških i geomorfoloških promjena tekućica u Hrvatskoj te utjecaja hidroelektrana i njihovih brana na tekućice i okoliš izdvojeni su sljedeći radovi.

Grđan i Kovačev-Marinčić (1992) u svom radu analizirali su utjecaj HE Čakovec, tj. njene akumulacije na razine podzemne vode u prostoru uzvodno i nizvodno od brane te dolaze do zaključka kako je punjenjem akumulacije došlo do trajnog izdizanja podzemne vode u okolnom području te smanjenja razine podzemne vode u području nizvodno od strojarnice HE i odvodnog kanala.

Trojko (2001) analizira utjecaje koje hidroelektrane ostavljaju na ekosustav rijeke Drave.

Bognar (2008) je istražio geomorfološka obilježja i razvoj korita rijeke Drave, a pritom je razmatrao utjecaj regulacijskih i melioracijskih zahvata na procese erozije i akumulacije te oblikovanje profila vodotoka.

Hajdinjak (2016) istražuje utjecaj hidroelektrana na rijeci Dravi na Regionalni park Mura-Drava.

Pavlek (2019) istražuje recentne geomorfološke promjene korita rijeke Cetine unatrag 150 godina pri čemu analizira i utjecaj niza hidroelektrana, brana i akumulacija izgrađenih na Cetini na te geomorfološke promjene. Utjecaj hidrotehničkih zahvata se može okarakterizirati kao značajan jer je kako Pavlek navodi došlo do smanjenja širine aktivnog korita za 50% na gotovo trećini duljine rijeke. Također je zabilježeno i veliko smanjenje površina sprudova od gotovo 85%.

### 3. Metode istraživanja i podaci

#### 3.1. Metode istraživanja

Kabinetske metode istraživanja uključivale su pretragu i sintezu dostupnih izvora i literature, obradu hidroloških podataka te digitalizaciju korita rijeke na različitim kartografskim podlogama izrađenih u različitim vremenskim razdobljima. Nadalje, dobiveni rezultati hidrološke analize uspoređeni su s analizama koje se izradili autori u nekim prethodnim istraživanjima.

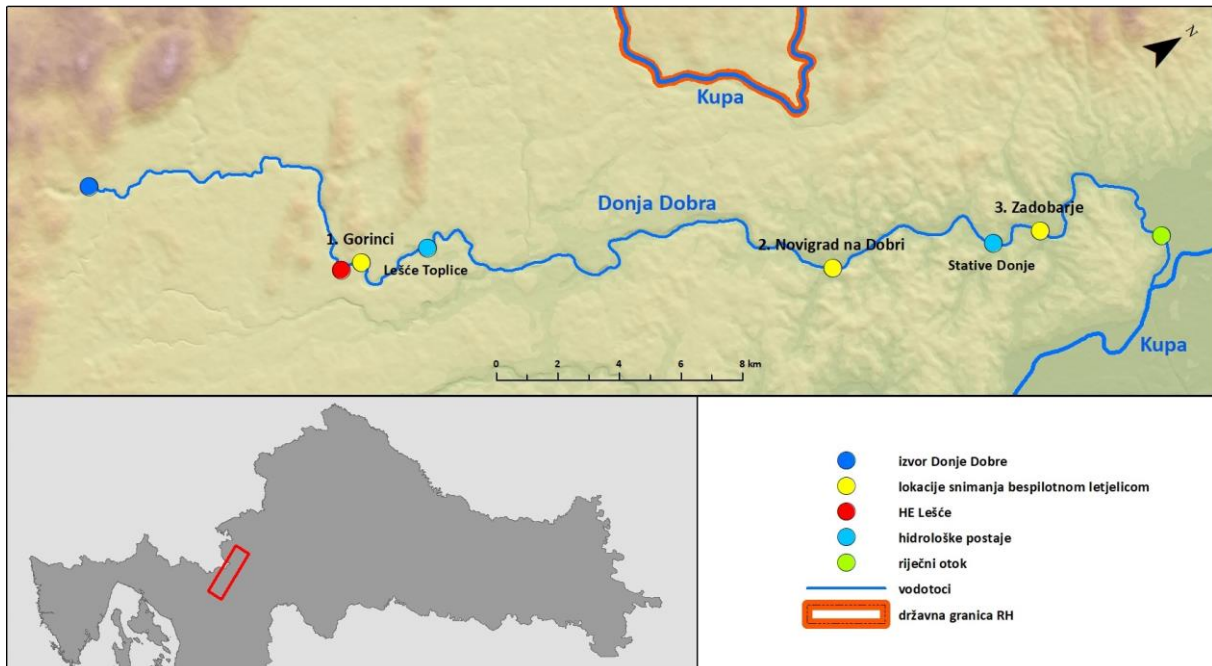
Za obradu i prikaz hidroloških podataka korišten je računalni program Microsoft Excel iz programskog paketa Microsoft Office.

Digitaliziranje korita provedeno je u ArcMap 10.8 aplikaciji ArcGIS softvera. Originalni poligonski *shapefile* korita napravljen je digitalizacijom HOK podloge preko WMS-a, a digitaliziranje korita iz ostalih razdoblja provedeno je modifikacijom originalnog *shapefile*-a, tj. pomicanjem njegovih *vertex*-a u skladu sa stanjem korita u određenom razdoblju. Ova metoda za cilj ima smanjivanje pogrešaka prilikom digitalizacije dionica korita na kojima su rubovi prekriveni gustom vegetacijom te nije moguće sa sigurnošću utvrditi granicu korita. Ista metoda korištena je i za digitalizaciju jedinog riječnog otoka u Donjoj Dobri. Konačne površine digitaliziranih poligona korita dobivene su izrezivanjem poligona otoka iz poligona korita za svako pojedino razdoblje upotrebom *Erase* alata iz *Overlay* podskupine unutar *Analysis tools* skupine alata. Površina digitaliziranih poligona iz određenog razdoblja potom je dijeljena s dužinom digitalizirane dionice kako bi se dobila prosječna širina korita u tom razdoblju.

Terenske metode istraživanja uključivale su dva izlaska na teren. Prvi terenski izlazak poslužio je kao upoznavanje s prostorom istraživanja pri čemu se pristupilo i opažanju geomorfoloških promjena u koritu te opažanju općeg stanja rijeke za vrijeme trajanja vodnog vala iz HE Lešće. Tijekom terenskog izlaska opažene promjene i stanje rijeke fotografski su zabilježene, a lokacije su kartirane pomoću pripremljenih kartografskih podloga.

Na drugom terenskom izlasku pomoću bespilotne letjelice DJI Phantom 4 iz projekta Relativna promjena morske razine i klimatske promjene duž istočne obale Jadrana, izvršeno je snimanje korita rijeke na 3 prethodno odabrane lokacije (sl. 4.) koje su izdvojene na temelju opažanja stanja korita i količine vegetacije na rubovima korita tijekom prvog terenskog izlaska te naknadnim pregledavanjem DOF karata. Bespilotnom letjelicom napravljen je velik broj snimaka na svakoj lokaciji pri čemu su snimke međusobno imale velik postotak preklapanja

kako bi se osigurala dobra preciznost cjelovite snimke nakon obrade. Snimke su analizirane u Agisoft Metashape Professional softveru te je izrađena digitalna ortofoto karta.



Sl.4. Prostorni obuhvat istraživanja s lokacijama hidroloških postaja, lokacija snimanja bespilotnom letjelicom, lokacijom HE Lešće i izvorom Donje Dobre

### 3.2. Podaci

Za potrebe hidrološke analize korišteni su podaci DHMZ-a o srednjim mjesečnim protocima, srednjim dnevnim protocima te 15-minutnim vodostajima na hidrološkim postajama Lešće Toplice i Stative Donje.

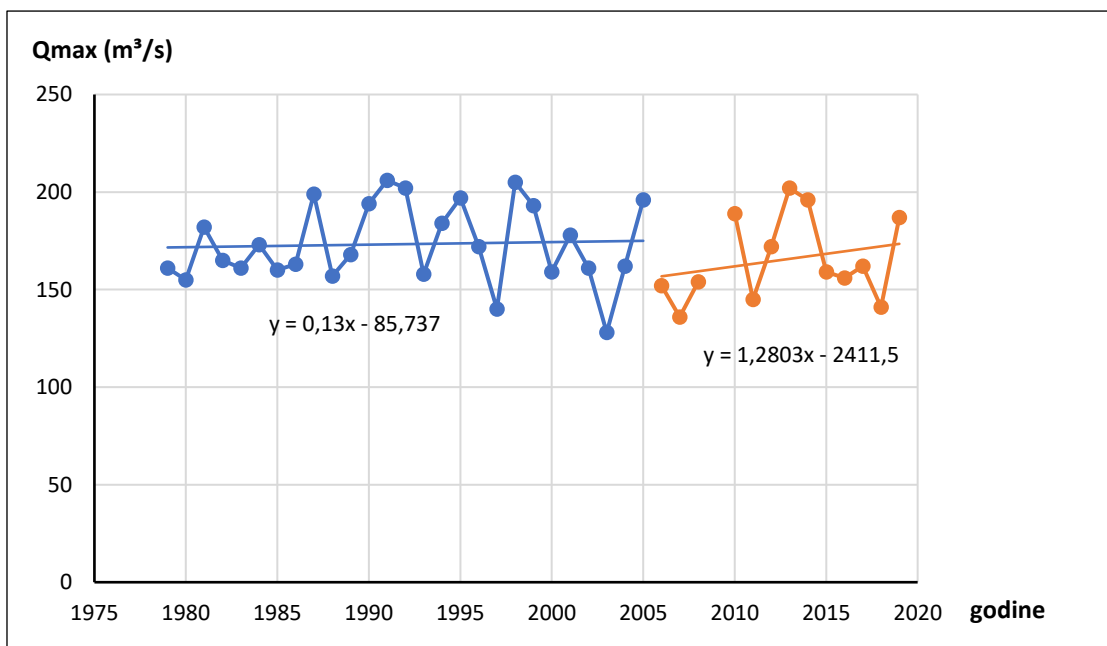
Za potrebe geomorfološke analize i digitalizacije korita korišteni su rasterski oblici podataka: Hrvatska osnovna karta (HOK) u mjerilu 1:5000, rezolucije 1 metar te digitalne ortofoto karte (DOF) rezolucije 0,5 metara iz 2011. i 2018. godine koje su dostupne preko *web map service*-a (WMS) Državne geodetske uprave. Dodatno su od DGU-a zatražene i DOF snimke iz 1968. i 2006.-2009. godine koje nisu dostupne preko WMS-a, a bile su potrebne za utvrđivanje stanja korita prije izgradnje HE Lešće. Rezolucija ovih snimki također iznosi 0,5 metara. Korištene su i snimke napravljene bespilotnom letjelicom tijekom terenskog izlaska na tri odabrane lokacije, a njihova rezolucija iznosi 2 centimetra.

## 4. Prikaz rezultata

### 4.1. Hidrološka analiza rijeke Dobre

#### 4.1.1. Postaja Lešće Toplice

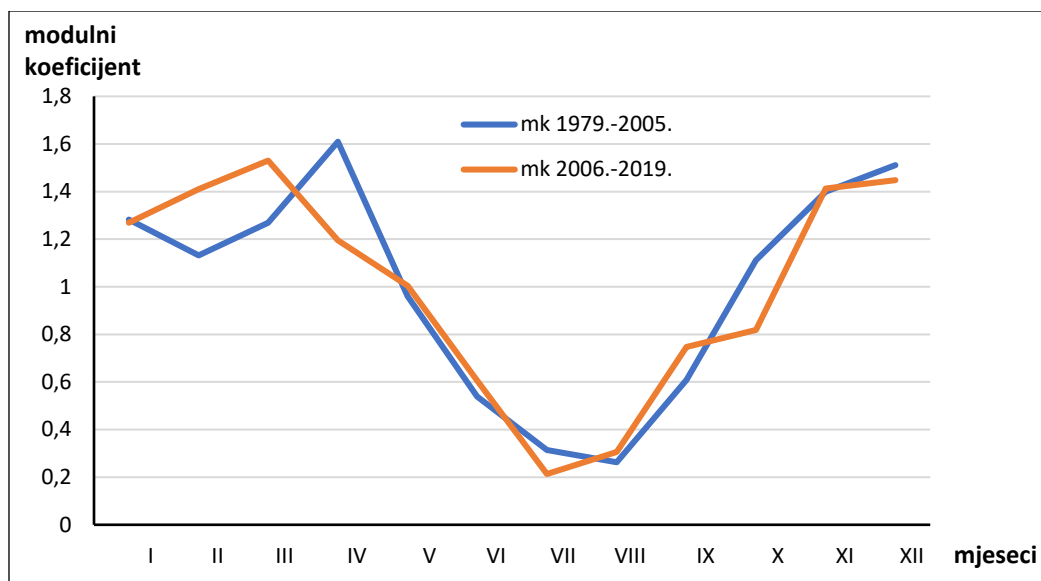
Podaci s postaje Lešće Toplice dostupni su od 1946. godine kada su započela mjerenja koja su trajala do 1974. godine i ukidanja postaje. Postaja je ponovno stavljena u funkciju 1979. godine te se mjerenja od tada neprekidno obavljaju do danas. Zbog nepostojanja podataka u trajanju od 5 godina između 1974. i 1979. godine te zbog načina mjerenja prije 1979. godine za potrebe istraživanja i obrade hidroloških podataka u ovome radu korišteni su samo podaci nakon 1979. godine. Pošto je izgradnja započela 2005. godine, a hidroelektrana službeno puštena u rad 2010. godine, period izgradnje hidroelektrane je pribrojen razdoblju nakon puštanja elektrane u rad jer se ne može sa sigurnošću utvrditi kako je proces izgradnje utjecao na vodostaje i protok u rijeci. Usporedbom godišnjih maksimuma protoka za dva promatrana razdoblja može se zaključiti kako je u razdoblju nakon puštanja elektrane u rad zabilježen trend rasta maksimalnih protoka (sl. 5.).



Sl.5. Godišnji maksimumi protoka rijeke Donje Dobre na stanici Lešće Toplice za razdoblje 1979.-2019.

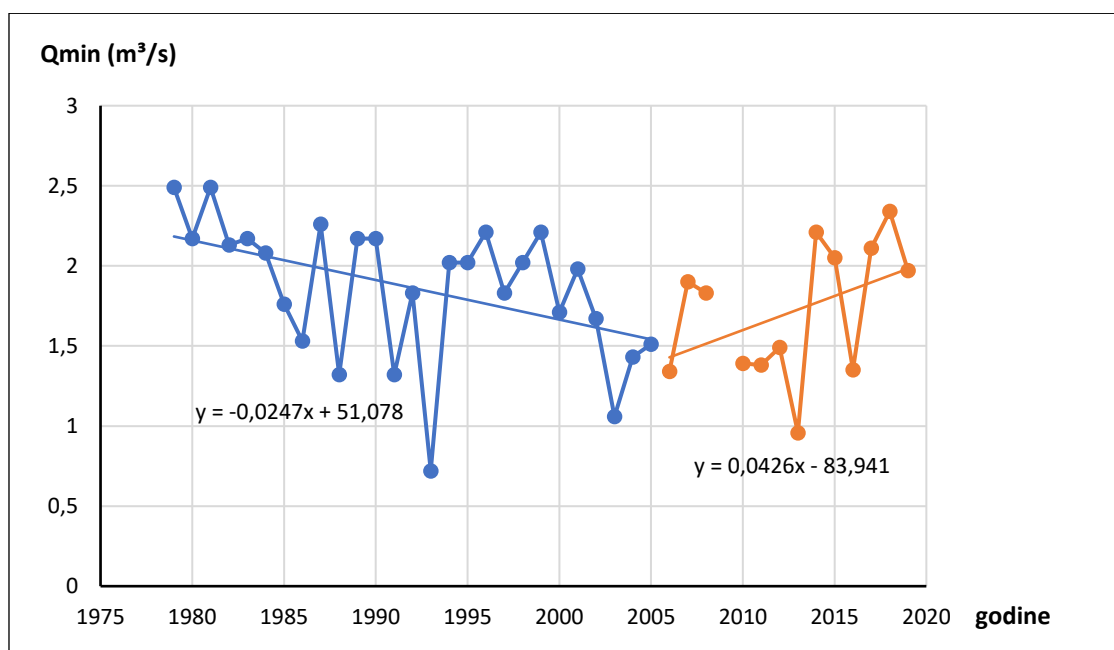
Za razdoblja prije i poslije puštanja HE Lešće u rad izračunati su modulni koeficijenti protoka na temelju srednjih mjesečnih srednjaka protoka kako bi se usporedila obilježja protočnih režima u promatranim razdobljima. U razdoblju prije izgradnje HE Lešće (1979.-2005.) vrijednosti protoka se poklapaju s obilježjima protočnog režima kojem Donja Dobra pripada uz razliku što su se primarni i sekundarni maksimum zamijenili, tj. primarni dolazi u travnju, a

sekundarni u prosincu. U razdoblju nakon izgradnje HE Lešće (2006.-2019.) došlo je do javljanja primarnog maksimuma (travanj) i sekundarnog minimuma (veljača) mjesec dana ranije, tj. u ožujku i siječnju (sl. 6.).



Sl.6. Protočni režimi Donje Dobre na stanici Lešće Toplice za razdoblja 1979.-2005. i 2006.-2019.

Usporedbom godišnjih minimuma protoka može se zaključiti kako silazni trend vrijednosti minimalnih protoka u razdoblju prije puštanja HE Lešće u rad prelazi u značajniji uzlazni trend vrijednosti minimalnih protoka u razdoblju nakon puštanja HE Lešće u rad (sl. 7.).



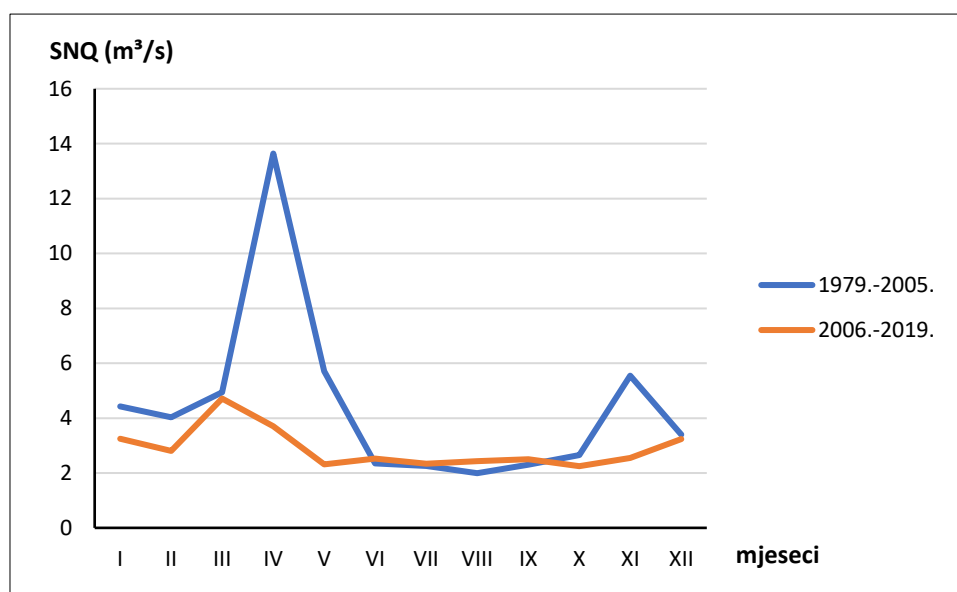
Sl.7. Godišnji minimumi protoka rijeke Donje Dobre na stanici Lešće Toplice za razdoblje 1979.-2019.



Tab.2. Vrijednosti prosječnih maksimalnih, srednjih i minimalnih mjesečnih protoka te njihova razlika na postaji Lešće Toplice za razdoblje 1979.-2005. i 2006.-2019.

Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
SVQ 1979.-2005.	100,7	89,6	102,9	103,8	97,0	78,9	63,8	64,8	92,5	120,1	123,2	121,6	173,3
SVQ 2006.-2019.	130,0	132,4	124,6	120,9	127,1	106,1	59,5	72,5	113,4	112,0	131,4	135,2	165,5
Razlika	29,3	42,8	21,7	17,1	30,1	27,2	-4,3	7,6	20,9	-8,2	8,3	13,6	-7,8
SSQ 1979.-2005.	39,5	34,9	39,1	49,7	29,6	16,6	9,7	8,1	18,8	34,3	43,2	46,6	30,8
SSQ 2006.-2019.	43,8	48,6	52,8	41,2	34,6	20,9	7,4	10,6	25,8	28,2	48,7	50,0	34,5
Razlika	4,2	13,7	13,6	-8,4	5,0	4,2	-2,3	2,4	7,0	-6,1	5,6	3,3	3,6
SNQ 1979.-2005.	4,4	4,0	4,9	13,6	5,7	2,4	2,3	2,0	2,3	2,7	5,5	3,4	1,9
SNQ 2006.-2019.	3,2	2,8	4,7	3,7	2,3	2,5	2,3	2,4	2,5	2,2	2,5	3,2	1,7
Razlika	-1,2	-1,2	-0,2	-9,9	-3,4	0,2	0,1	0,4	0,2	-0,4	-3,0	-0,2	-0,1

Srednje mjesečne vrijednosti maksimalnih, srednjih i minimalnih protoka zajedno su s izračunatim razlikama između dva promatrana razdoblja detaljno prikazane u tablici (tab. 2.) te grafičkim prikazima. Nakon puštanja HE Lešće u rad došlo je do smanjenja vrijednosti minimalnih protoka u gotovo svim mjesecima. Do blažeg porasta došlo je u lipnju, srpnju, kolovozu i rujnu, a ti porasti variraju između 0,1 i 0,4 m<sup>3</sup>/s (sl. 8.).



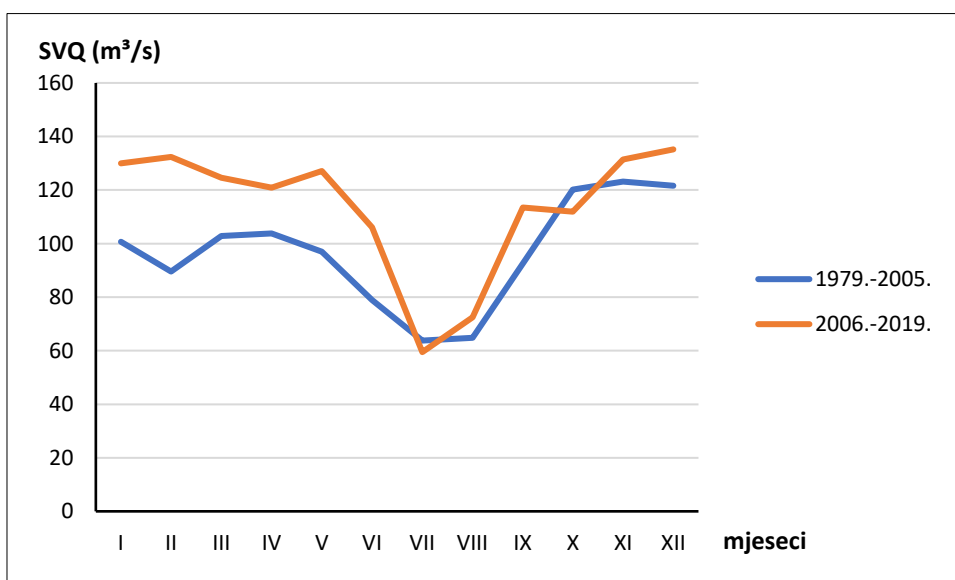
Sl.8. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti minimalnih protoka na postaji Lešće Toplice u razdoblju 1979.-2005. i 2006.-2019.

Osim toga, nakon puštanja HE Lešće u rad došlo je do blagog porasta vrijednosti srednjih protoka u većini mjeseci pri čemu taj porast varira između 2,4 i 13,7 m<sup>3</sup>/s. Pad vrijednosti protoka zabilježen je u travnju, srpnju i listopadu te varira između 2,3 i 8,4 m<sup>3</sup>/s (sl. 9.).



Sl.9. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti srednjih protoka na postaji Lešće Toplice u razdoblju 1979.-2005. i 2006.-2019.

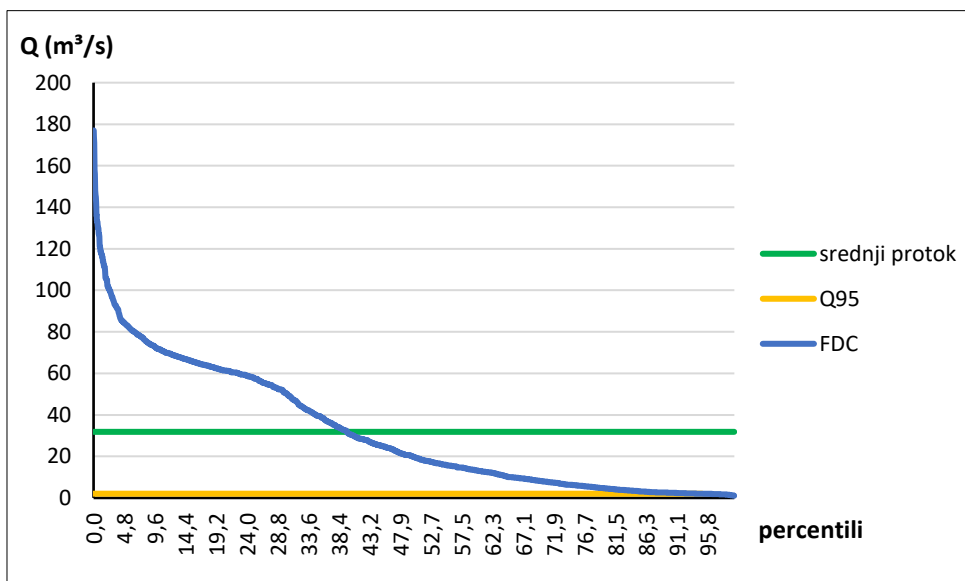
Nakon puštanja HE Lešće u rad došlo je do znatnog povećanja vrijednosti maksimalnih protoka u većini mjeseci. Najveći porasti zabilježen je u zimskim i proljetnim mjesecima. Porast vrijednosti maksimalnih protoka varira od 7,6 do 42,8 m<sup>3</sup>/s. Razmjerno mali pad vrijednosti maksimalnih protoka prisutan je u srpnju i listopadu (sl. 10.).



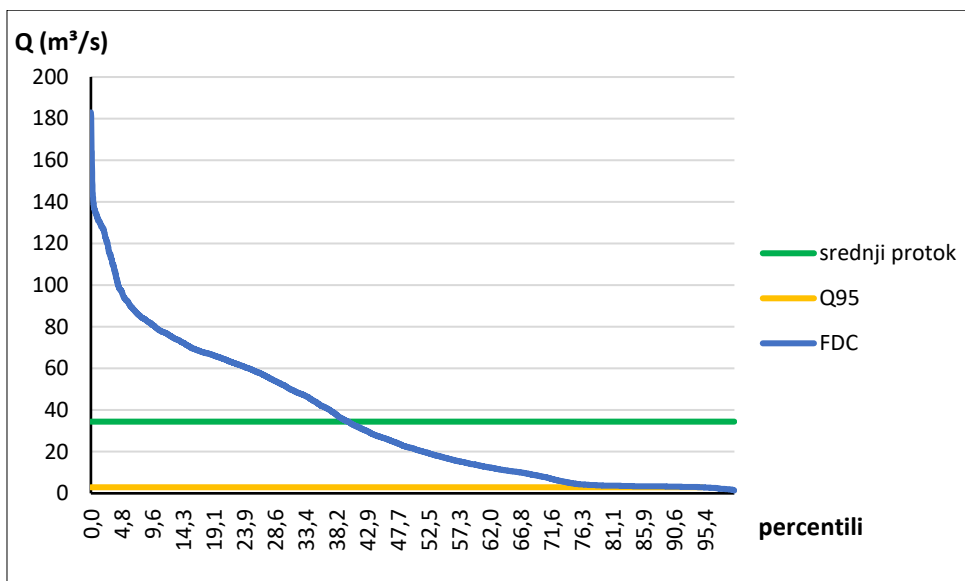
Sl.10. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti maksimalnih protoka na postaji Lešće Toplice u razdoblju 1979.-2005. i 2006.-2019.

Krivulje trajanja protoka izrađene su na temelju podataka o srednjem dnevnom protoku na postaji Lešće Toplice, a podaci su dostupni samo od 01. siječnja 2000. naovamo. Krivulje trajanja protoka za razdoblje prije (sl. 11.) i poslije (sl. 12.) puštanja HE Lešće u rad pokazuju kako su se nakon početka rada hidroelektrane povećali udjeli trajanja visokih i niskih protoka.

Protok prisutan 95% vremena znatnije se povećao s 2,04 m<sup>3</sup>/s na 2,90 m<sup>3</sup>/s, odnosno relativno gledajući 42,2% dok je protok prisutan minimalno 300 dana godišnje doživio manji pad s 3,90 m<sup>3</sup>/s na 3,60 m<sup>3</sup>/s (tab. 3.).



Sl.11. Krivulja trajanja protoka rijeke Donje Dobre na postaji Lešće Toplice za razdoblje od 2000. do 2005.



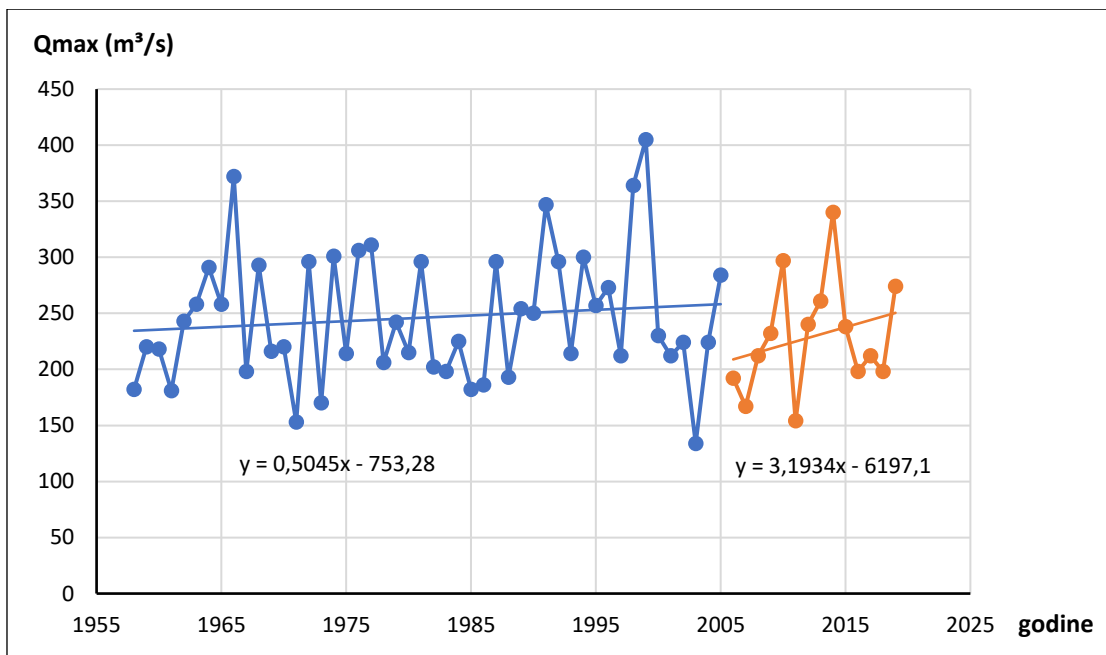
Sl.12. Krivulja trajanja protoka rijeke Donje Dobre na postaji Lešće Toplice za razdoblje od 2006. do 2019.

Tab.3. Podaci krivulje trajanja protoka na postaji Lešće Toplice za razdoblja prije i poslije puštanja HE Lešće u rad

	Razdoblje	2000.-2005.	2006.-2019.	Razlika	Razlika (%)
Q (m <sup>3</sup> /s)	Srednji Q	31,80	34,40	2,60	8,2
	Q max	177,00	183,00	6,00	3,4
	Q min	1,07	1,37	0,30	28,0
	Q 300	3,90	3,60	-0,30	-7,7
	Q 95	2,04	2,90	0,86	42,2

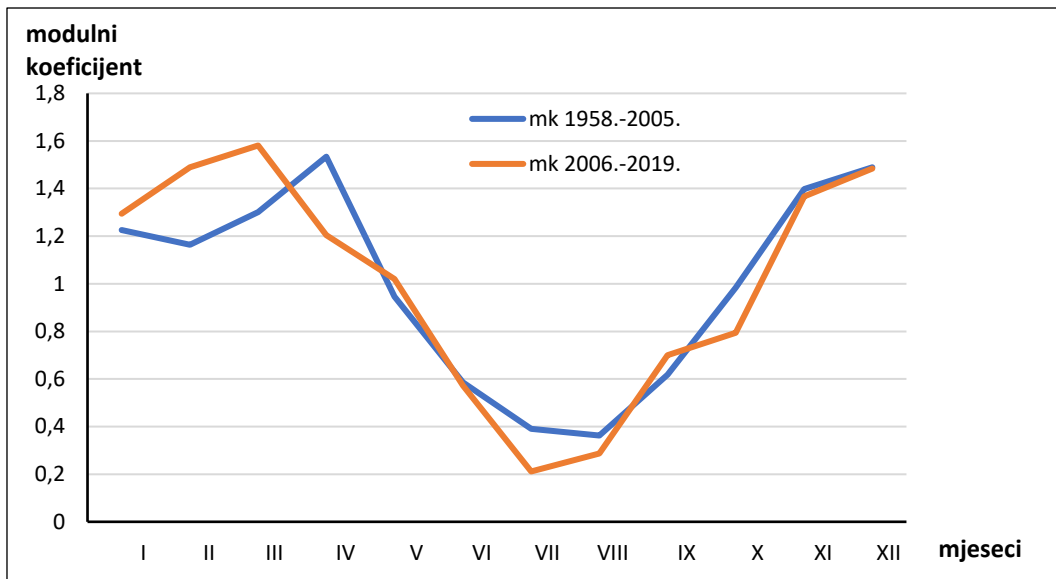
#### 4.1.2. Postaja Stative Donje

Hidrološki podaci s postaje Stative Donje dostupni su kontinuirano od 1945. godine, a limnigraf je instaliran 1957. godine (DHMZ, historijat). Zbog toga, a i zbog činjenice da je 1959. godine puštena u rad HE Gojak, u analizi su korišteni podaci od 1958. do 2019. godine. Kao i kod postaje Lešće Toplice, u razdoblje nakon puštanja HE Lešće u rad su ubrojene i godine tijekom kojih je trajala izgradnja hidroelektrane. Analizom dijagrama (sl. 13.) može se zaključiti kako je nakon puštanja elektrane u rad došlo do uzlaznog trenda vrijednosti godišnjih maksimuma protoka.



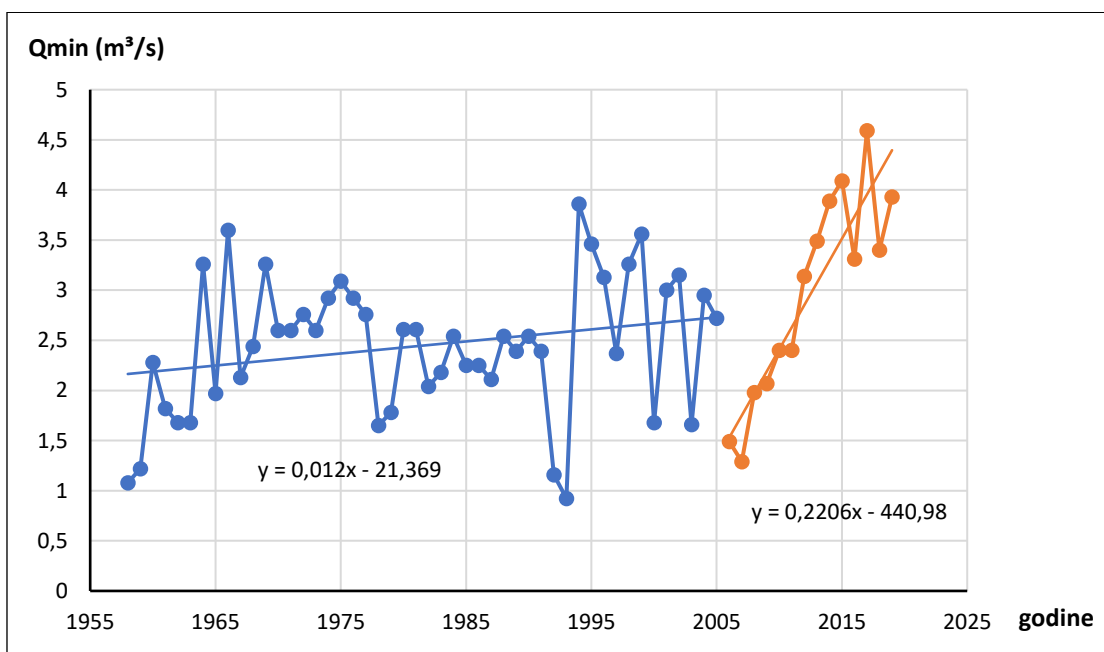
Sl.13. Godišnji maksimumi protoka rijeke Donje Dobre na postaji Stative Donje za razdoblje 1958.-2019.

Protočni režim rijeke poklapa se s obilježjima protočnog režima kojem Donja Dobra pripada, osim što se primarni maksimum javlja u travnju, a ne u prosincu. Nakon puštanja hidroelektrane u rad, primarni maksimum protoka te primarni i sekundarni minimum protoka javljaju se mjesec dana ranije. Primarni maksimum u ožujku umjesto u travnju, a primarni i sekundarni minimum u srpnju i siječnju umjesto u kolovozu i veljači (sl. 14.).



Sl.14. Protočni režimi Donje Dobre na stanici Stative Donje za razdoblja 1958.-2005. i 2006.-2019.

Zabilježen je i znatan rast minimalnih protoka u razdoblju nakon puštanja HE Lešće u rad (sl. 15.).



Sl.15. Godišnji minimumi protoka rijeke Donje Dobre na stanici Stative Donje za razdoblje 1958.-2019.

Analizom podataka za razdoblje prije i poslije puštanja HE Lešće u rad može se primijetiti kako je nakon puštanja hidroelektrane u rad došlo do povećanja vrijednosti visokih i srednjih protoka te do pada vrijednosti niskih protoka (tab. 4.).

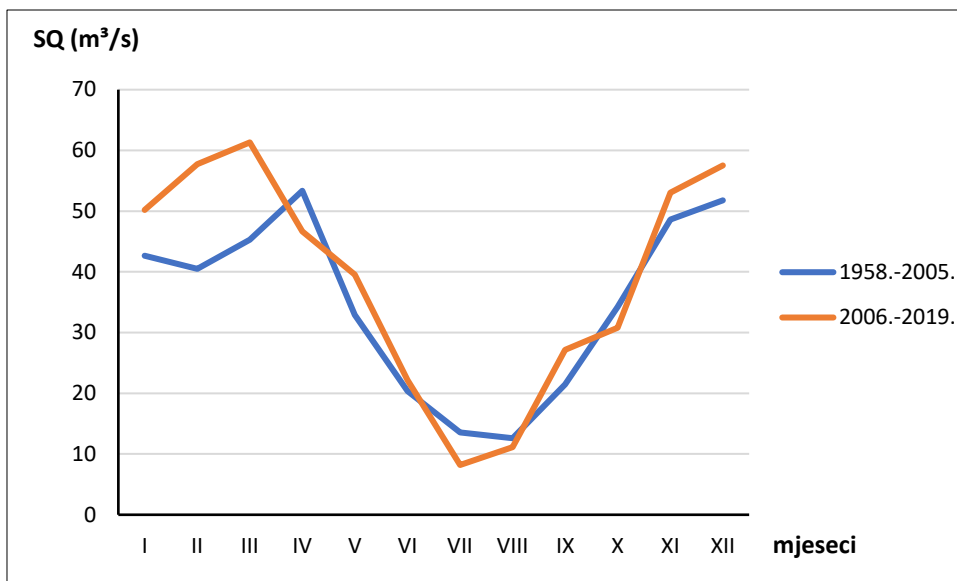
Tab.4. Vrijednosti prosječnih maksimalnih, srednjih i minimalnih mjesečnih protoka te njihova razlika na postaji Stative Donje za razdoblje 1958.-2005. i 2006.-2019.

Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
SVQ 1958.-2005. (m <sup>3</sup> /s)	114,1	112,4	120,5	126,5	126,3	91,8	76,9	74,0	100,0	140,2	153,0	155,5	246,3
SVQ 2006.-2019. (m <sup>3</sup> /s)	146,9	158,8	138,7	137,0	153,4	109,2	57,1	66,2	121,1	126,5	154,1	160,7	229,6
Razlika (m <sup>3</sup> /s)	32,7	46,4	18,2	10,5	27,1	17,4	-19,8	-7,8	21,1	-13,7	1,1	5,1	-16,6
SSQ 1958.-2005. (m <sup>3</sup> /s)	42,6	40,5	45,3	53,4	32,9	20,4	13,6	12,6	21,5	34,2	48,6	51,8	34,8
SSQ 2006.-2019. (m <sup>3</sup> /s)	50,2	57,8	61,3	46,7	39,5	22,2	8,2	11,1	27,1	30,8	53,0	57,5	38,8
Razlika (m <sup>3</sup> /s)	7,6	17,3	16,0	-6,7	6,6	1,8	-5,4	-1,5	5,7	-3,4	4,4	5,7	4,0
SNQ 1958.-2005. (m <sup>3</sup> /s)	7,9	8,2	9,7	14,7	6,6	3,6	3,4	3,0	3,3	5,5	8,9	9,8	2,4
SNQ 2006.-2019. (m <sup>3</sup> /s)	5,8	6,2	8,8	7,5	4,7	4,4	3,6	3,4	3,5	3,6	4,6	6,5	3,0
Razlika (m <sup>3</sup> /s)	-2,0	-2,0	-0,9	-7,2	-1,9	0,8	0,2	0,4	0,2	-1,9	-4,3	-3,3	0,5

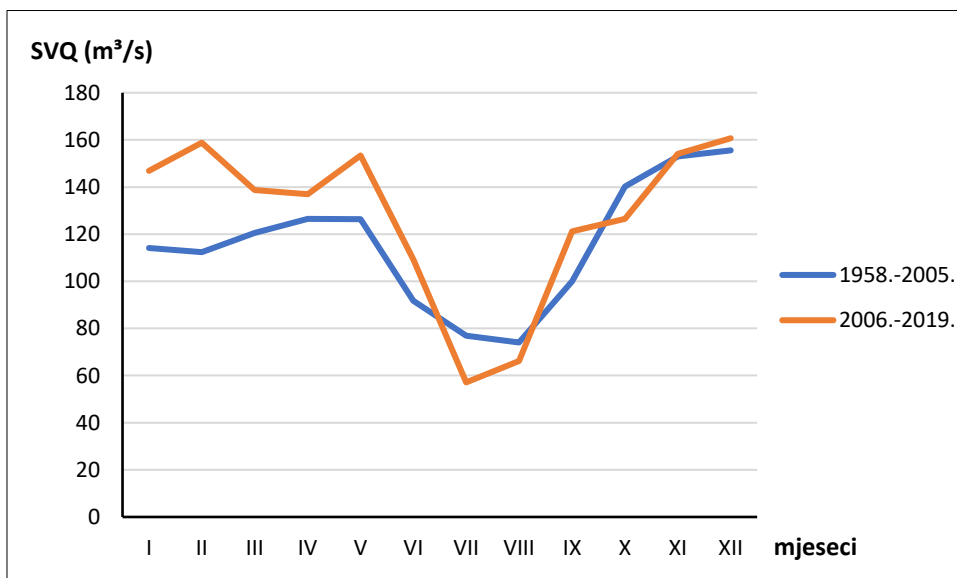
Detaljnije su uspoređene i prosječne mjesečne vrijednosti minimalnih (sl. 16.), srednjih (sl. 17.) i maksimalnih protoka (sl. 18.) prije i poslije puštanja HE Lešće u rad. U razdoblju nakon puštanja elektrane u rad prisutan je pad prosječnih mjesečnih vrijednosti minimalnih protoka u svim mjesecima osim u lipnju, srpnju, kolovozu i rujnu kada se bilježi porast vrijednosti u odnosu na razdoblje prije elektrane. Prosječne mjesečne vrijednosti srednjih protoka bilježe porast u većini mjeseci osim u travnju, srpnju, kolovozu i listopadu. Prosječne mjesečne vrijednosti maksimalnih protoka bilježe znatan porast u većini mjeseci osim u srpnju, kolovozu i listopadu.



Sl.16. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti minimalnih protoka na postaji Stative Donje u razdoblju 1958.-2005. i 2006.-2019.

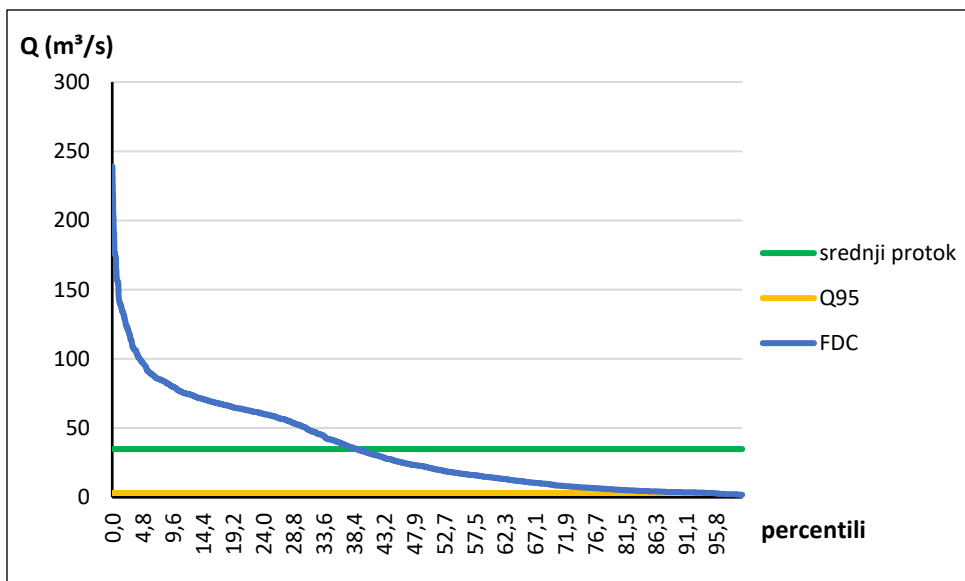


Sl.17. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti srednjih protoka na postaji Stative Donje u razdoblju 1958.-2005. i 2006.-2019.

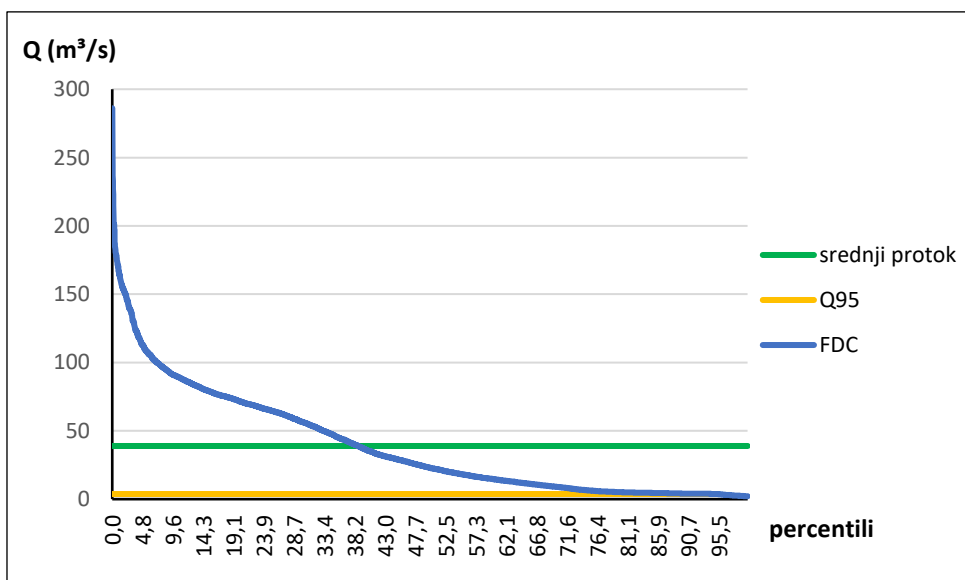


Sl.18. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti maksimalnih protoka na postaji Stative Donje u razdoblju 1958.-2005. i 2006.-2019.

Prikazane su i krivulje trajanja protoka za razdoblje prije (sl. 19.) i poslije (sl. 20.) puštanja HE Lešće u rad pri čemu krivulja iz kasnijeg razdoblja pokazuje porast udjela trajanja visokih i srednjih protoka te stagnaciju niskih protoka, a podaci su detaljno prikazani i u tablici (tab. 5).



Sl.19. Krivulja trajanja protoka rijeke Donje Dobre na postaji Stative Donje za razdoblje od 2000. do 2005.



Sl.20. Krivulja trajanja protoka rijeke Donje Dobre na postaji Stative Donje za razdoblje od 2006. do 2019.

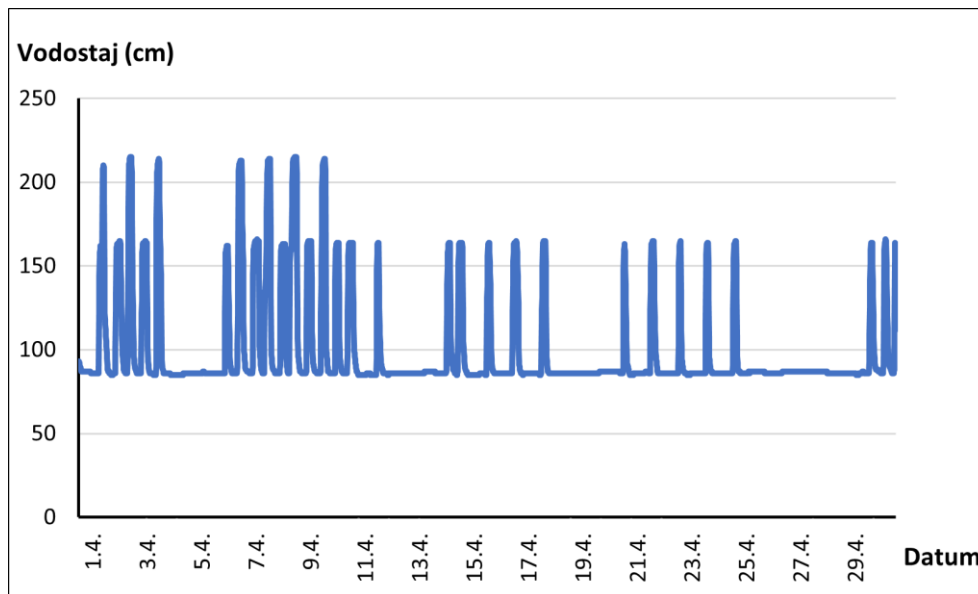
Tab.5. Podaci krivulje trajanja protoka na postaji Stative Donje za razdoblja prije i poslije puštanja HE Lešće u rad

	Razdoblje	2000.-2005.	2006.-2019.	Razlika	Razlika (%)
(m³/s)	Srednji Q	34,84	38,8	3,96	11,4
	Q max	239	286	47,00	19,7
	Q min	1,8	2,07	0,27	15,0
	Q 300	5,01	4,82	-0,19	-3,8
	Q 95	3,1	3,69	0,59	19,0



#### 4.1.3. Analiza 15-minutnih podataka o vodostaju

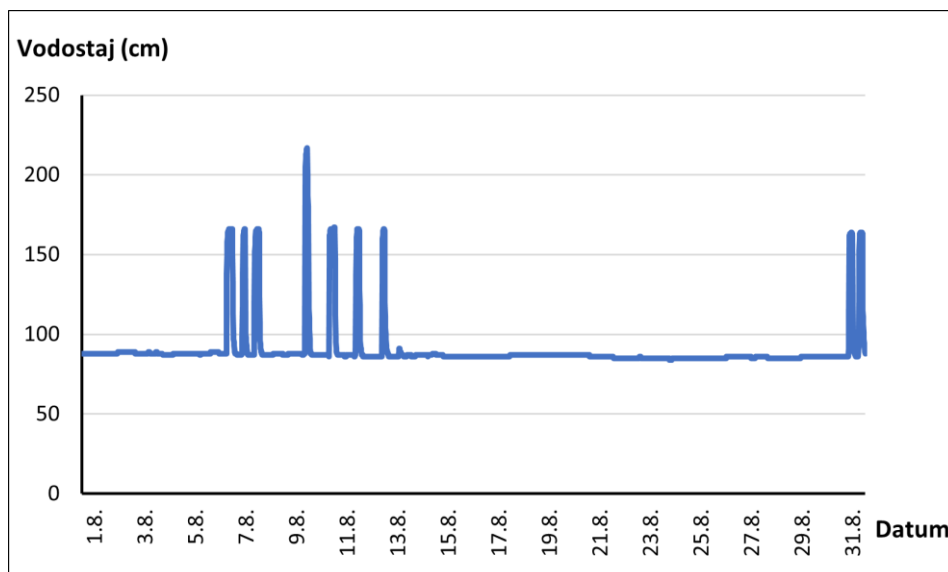
Analizirane su vrijednosti vodostaja bilježene svakih petnaest minuta, a cilj ove analize je prikazati tzv. *hydropeaking*, pojavu koju nije moguće uočiti niti prikazati analizom srednjih dnevnih ili mjesečnih protoka. *Hydropeaking* (sl. 22.) je stručni termin koji se odnosi na pojavu umjetno izazvanih promjena vodostaja i protoka kao posljedica diskontinuiranog ispuštanja vode iz akumulacije tijekom perioda veće potražnje za električnom energijom (Greimel, 2018). *Hydropeaking* je karakteristična pojava kod hidroelektrana za vršna opterećenja kakva je i HE Lešće, a broj ovih pojava tijekom određene jedinice vremena uvjetovan je specifičnim čimbenicima na pojedinim rijekama i hidroelektranama (Greimel, 2018). Analizom podataka na postajama Lešće Toplice i Stative Donje utvrđeno je kako se tijekom 24 sata *hydropeaking* najčešće pojavljuje dvaput. Analizirani su podaci na postaji Lešće Toplice u travnju i kolovozu 2020. godine, a ti mjeseci su odabrani jer im prethode mjeseci primarnog maksimuma i minimuma protoka. U travnju se može primijetiti velik broj dana s oscilacijama vodostaja koje iznose i preko 100 cm (sl. 21.). U kolovozu je primjetan znatno manji broj dana s naglim oscilacijama vodostaja, a i oscilacije imaju manju amplitudu (sl. 23.).



Sl.21. Vrijednosti vodostaja u razmaku od 15 minuta na postaji Lešće Toplice u travnju 2020. godine

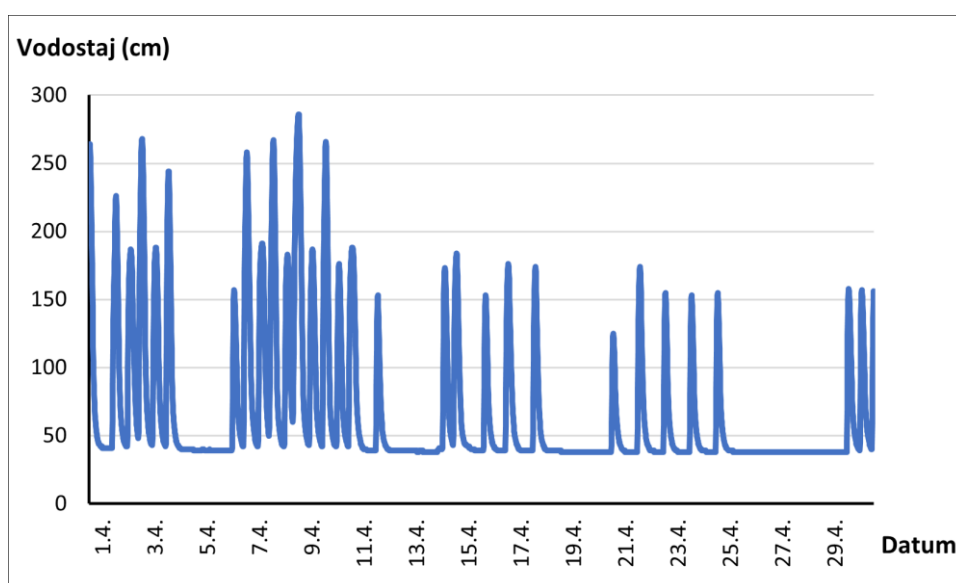


Sl.22. Donja Dobra tijekom *hydropeaking*-a (slika gore) i tijekom smirivanja vodnog vala (slika dole)



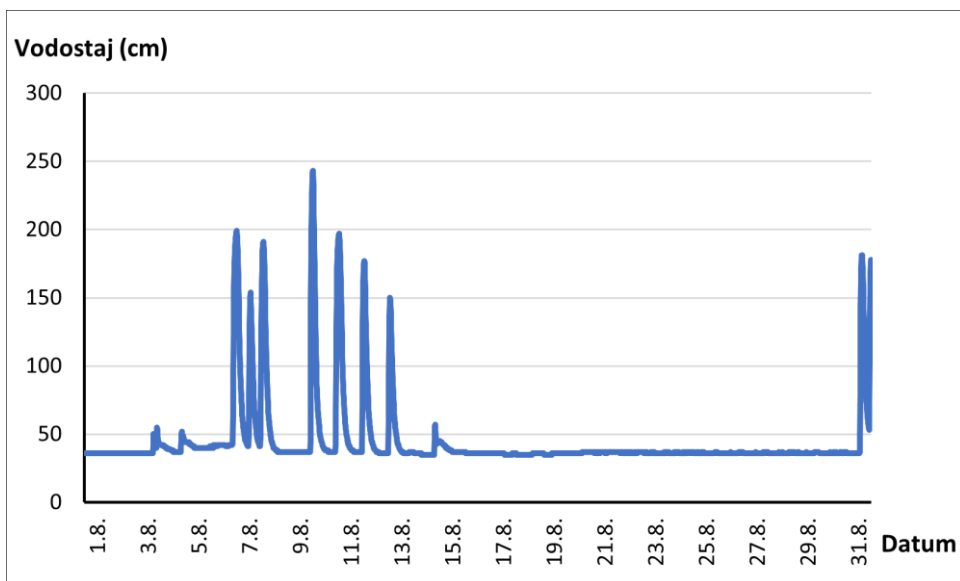
Sl.23. Vrijednosti vodostaja u razmaku od 15 minuta na postaji Lešće Toplice u kolovozu 2020. godine

Prikazane su i vrijednosti vodostaja bilježene svakih petnaest minuta na postaji Stative Donje, također za travanj (sl. 24.) i kolovoz (sl. 25.) 2020. godine. Podaci s ove postaje pokazuju kako je broj dana s oscilacijama vodostaja jednak kao i na postaji Lešće Toplice, ali je amplituda oscilacija znatno veća nego na postaji Lešće Toplice te ona može iznositi i više od 200 cm. Usporedbom poprečnog presjeka korita na postaji Lešće Toplice (sl. 26.) i postaji Stative Donje (sl. 27.) vidljiva je razlika u širini korita i nagibu padine obala što je najvjerojatnije uzrok znatne razlike u visini amplitude oscilacije vodostaja. Aktivni dio korita na postaji Stative Donje uži je za oko 20 metara i ima strme okomite obale što stvara kanalizirajući učinak te se korito nadolazećom vodom popunjava u visinu. Vremenski raspored oscilacija u vodostaju poklapa se s onima od uzvodno smještene postaje Lešće Toplice.

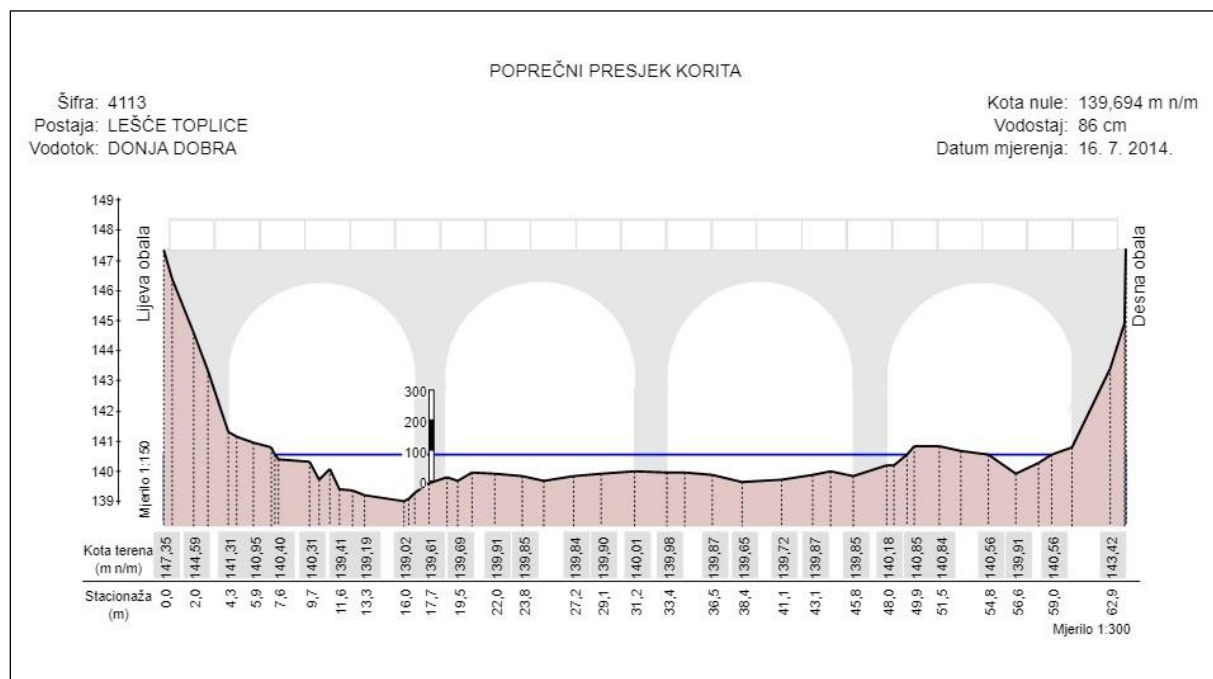


Sl.24. Vrijednosti vodostaja u razmaku od 15 minuta na postaji Stative Donje u travnju 2020. godine

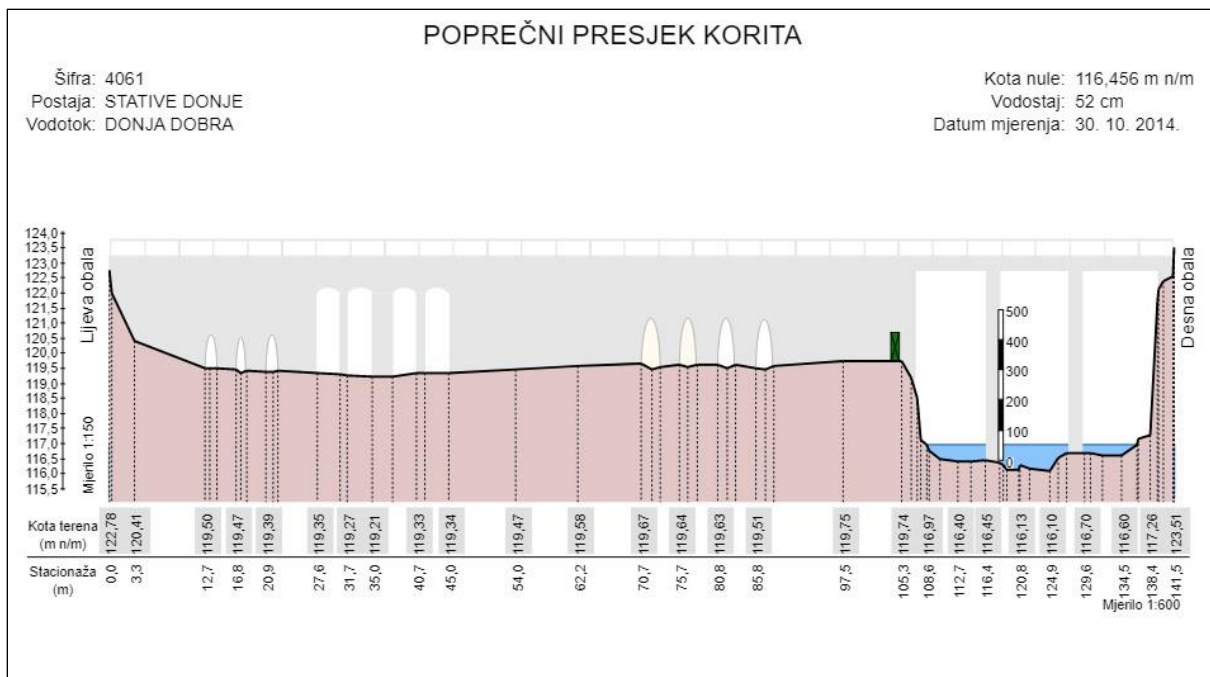




Sl.25. Vrijednosti vodostaja u razmaku od 15 minuta na postaji Stative Donje u kolovozu 2020. godine

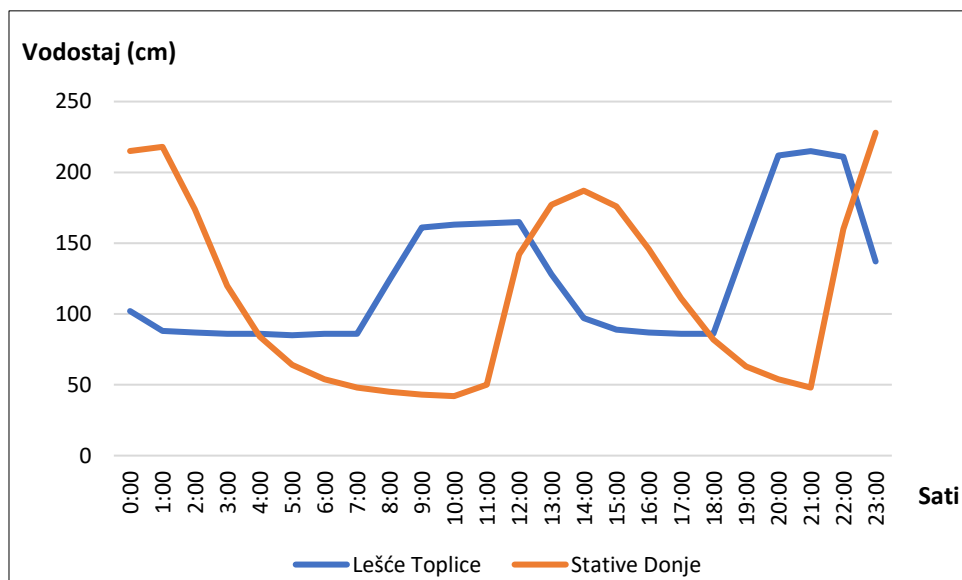


Sl.26. Poprečni presjek korita rijeke Donje Dobre na postaji Lešće Toplice na dan 16.07.2014. Izvor: DHMZ, 2014



Sl.27. Poprečni presjek korita rijeke Donje Dobre na postaji Stative Donje na dan 30.10.2014. Izvor: DHMZ, 2014

Usporedbom promjene vodostaja na postajama Lešće Toplice i Stative Donje na datum 02.04.2020. razvidno je kako vodni val od postaje Lešće Toplice do postaje Stative Donje putuje oko 3 sata (sl. 28.). Udaljenost dvaju stanica je 24 km. Prema ovim podacima, brzina vodnog vala je oko 8 km/h.



Sl.28. Usporedba satnih vrijednosti vodostaja na postajama Lešće Toplice i Stative Donje na datum 02.04.2020.

#### 4.2. Geomorfološka analiza korita rijeke nizvodno od HE Lešće

Za istraživanu dionicu Dobre nizvodno od HE Lešće, dužine 39199 metara, analizirane su promjene širine korita te površine riječnog otoka. Nakon digitalizacije korita te riječnog otoka za svako odabrano razdoblje, tj. godinu, dobivenim poligonima izračunata je površina koja je podijeljena duljinom istraživane dionice kako bi se utvrdila promjena u širini korita. Promjene na riječnom otoku analizirane su kroz promjene površina u različitim razdobljima. Analiza je pokazala kako je došlo do ukupnog povećanja prosječne širine korita od 1968. do 2018. godine (tab. 6.). Rast širine korita prisutan je u svim analiziranim razdobljima, izuzev perioda 2006.-2011. godine kada je zabilježen manji pad širine korita, za 0,08 m. Analizom razdoblja prije (1968. – 2006./09.) i nakon početka izgradnje HE Lešće (2006./09.-2018.) vidljiv je pozitivan trend rasta prosječne širine korita. U razdoblju prije, zabilježen je rast prosječne širine korita s 35,19 m na 35,94 m, odnosno za 0,75 m. U razdoblju poslije, zabilježen je rast prosječne širine korita s 35,94 m na 36,16 m, odnosno za 0,22 m.

Tab.6. Površina i prosječna širina korita Donje Dobre s različitim kartografskih podloga

Podloga	Površina (m <sup>2</sup> )	Površina (km <sup>2</sup> )	Širina (m) (P/duljina)
HOK_1968-1986	1329353,54	1,329	33,91
DOF_1968	1379571,15	1,380	35,19
DOF_2006_2009	1408874,78	1,409	35,94
DOF_2011	1405574,44	1,406	35,86
DOF_2018	1417353,59	1,417	36,16

Kako bi se nastale promjene detaljnije prikazale izračunate su vrijednosti prosječnih godišnjih promjena širine korita za tri različita razdoblja (tab. 7.). Prvo razdoblje (1968.-2006.) odnosi se na vrijeme do početka izgradnje<sup>1</sup> HE Lešće i u tom razdoblju je došlo do povećanja prosječne širine korita za 0,75 m, odnosno za 0,019 m na godišnjoj razini. Drugo razdoblje (2007.-2018.) se odnosi na vremenski period u koji je uključen i proces izgradnje hidroelektrane te period nakon puštanja hidroelektrane u rad. U ovom razdoblju zabilježeno je povećanje prosječne širine korita za 0,22 m, a na godišnjoj razini to iznosi 0,018 m što znači da je došlo do blagog pada intenziteta širenja korita u usporedbi s prethodnim razdobljem i nije potpuno jasno što je razlog ovoj promjeni. Dodatno je analizirano i razdoblje 2011.-2018., tj. nakon puštanja hidroelektrane u rad<sup>2</sup> u kojem je došlo do povećanja prosječne širine korita za 0,30 m što na godišnjoj razini iznosi 0,038 m. Ovaj podatak pokazuje kako se širenje korita u razdoblju nakon puštanja HE Lešće u rad dodatno intenziviralo.

<sup>1</sup> izgradnja je započela još 2005. godine, ali vremenski najbliža dostupna DOF karta datira iz 2006. godine

<sup>2</sup> HE Lešće službeno je puštena u rad u lipnju 2010. godine

Tab.7. Apsolutne i prosječne promjene površine korita i riječnog otoka Donje Dobre u razdoblju prije i poslije puštanja HE Lešće u rad

Razdoblje	Broj godina	Površina korita		Širina korita	
		Promjena (m <sup>2</sup> )	Godišnji prosjek (m <sup>2</sup> )	Promjena (m)	Godišnji prosjek (m)
1968.-2006./09.	39	29303,63	751,38	0,75	0,019
2007.-2018.	12	8478,81	706,57	0,22	0,018
2011.-2018.	8	11779,15	1472,39	0,30	0,038

Zbog veličine prostora istraživanja, grafički prikazi izrađeni su samo za tri lokacije gdje je izvršeno snimanje stanja korita bespilotnom letjelicom (sl. 4.).

Na prvoj lokaciji, kod naselja Gorinci, oko 700 metara nizvodno od HE Lešće na desnoj obali rijeke zabilježeno je najveće širenje korita (sl. 29.). Istraživana dionica rijeke na ovoj lokaciji duga je 506 m. Prosječna širina korita povećala se između 1968. i 2018. godine za ukupno 3,84 m, s 30,14 m na 33,97 m (tab. 8.). U razdoblju do početka izgradnje HE Lešće prosječna širina korita se povećala za 3,02 m, a u razdoblju nakon puštanja HE Lešće u rad povećanje iznosi 2,29 m. Treba napomenuti kako je na ovoj dionici također prisutno smanjenje prosječne širine korita od 2006. do 2011. godine kao što je to i u slučaju cijele dionice rijeke od hidroelektrane do ušća. Analizom razdoblja nakon puštanja elektrane u rad vidljivo je znatno povećanje intenziteta širenja korita koje u ovom razdoblju iznosi 0,29 m godišnje (tab. 9.). U razdoblju do početka izgradnje HE Lešće (1968.-2006.) najveće proširenje korita iznosi 12,5 m na desnoj obali. U razdoblju nakon početka izgradnje elektrane (2007.-2018.), najveće proširenje korita je zabilježeno na desnoj obali, a iznosi 9,5 m. U razdoblju nakon puštanja HE Lešće u rad (2011.-2018.) zabilježena su maksimalna proširenja korita od 2,8 m na lijevoj te 7,7 m na desnoj obali.

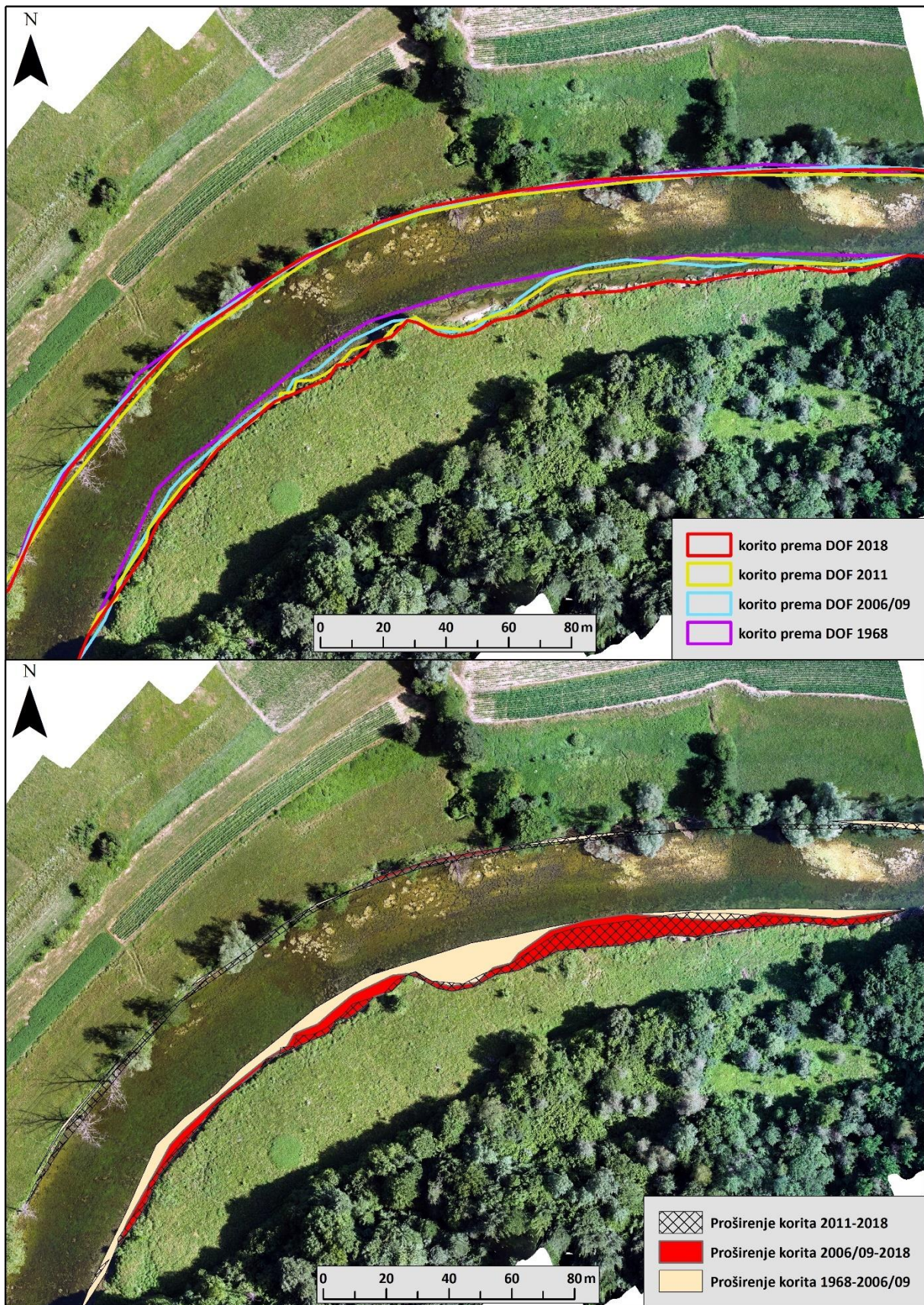
Tab.8. Prosječne širine korita na lokaciji 1 – Gorinci u istraživanim razdobljima

	Prosječna širina korita (m)
<b>DOF_1968.</b>	30,14
<b>DOF_2006_09.</b>	33,16
<b>DOF_2011.</b>	31,68
<b>DOF_2018.</b>	33,97

Tab.9. Proširenje korita i godišnji prosjeci promjene u određenim razdobljima na lokaciji 1 - Gorinci

Razdoblje	Broj godina	Porast prosječne širine korita (m)	Godišnji prosjek (m)
1968.-2006./09.	39	3,02	0,08
2007.-2018.	12	0,81	0,07
2011.-2018.	8	2,29	0,29





Sl.29. Kombinirani prikaz površine i širenja korita u različitim razdobljima na lokaciji 1 – Gorinci



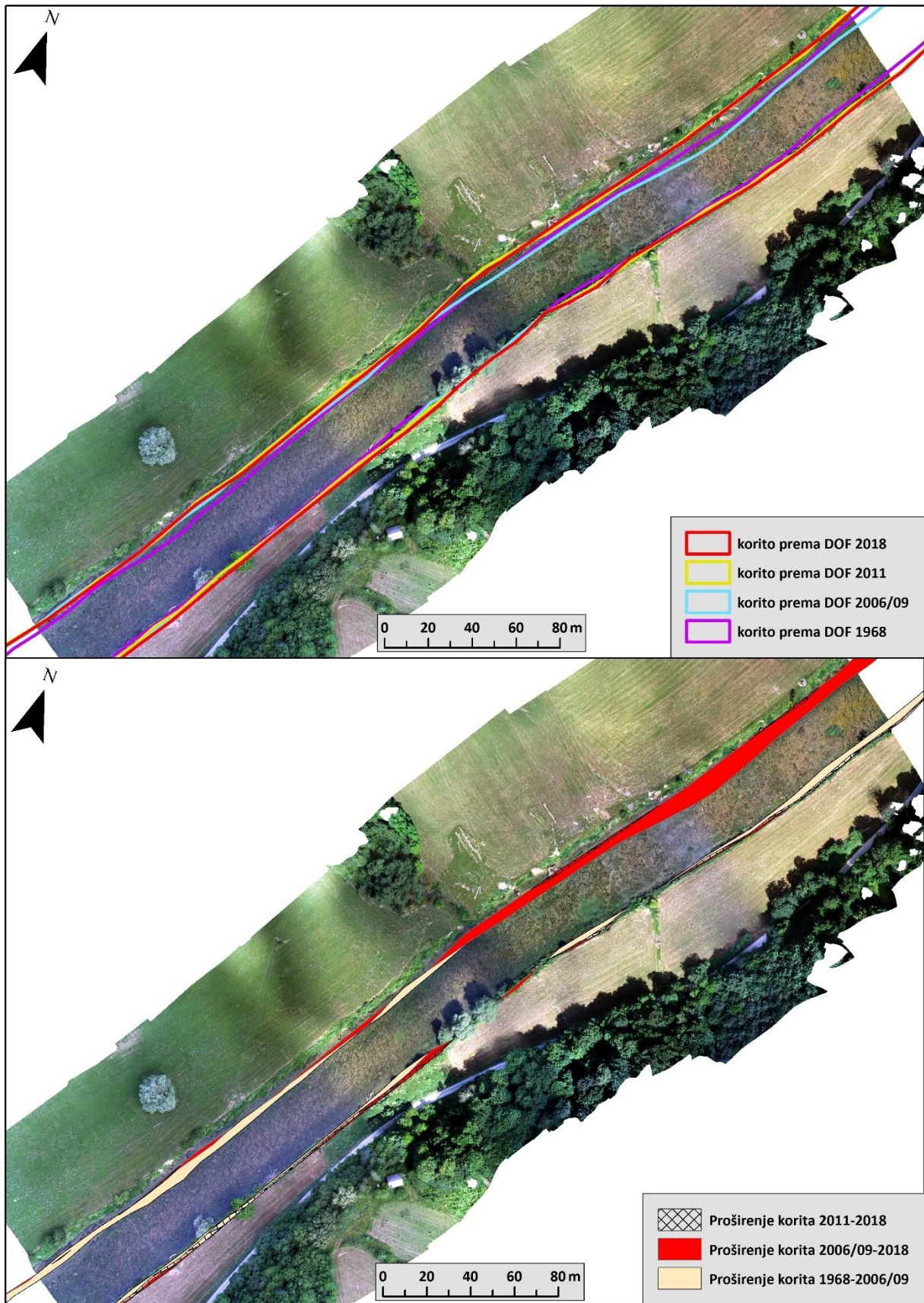
Na drugoj lokaciji snimanja (sl. 30.), oko 500 metara uzvodno od mosta u Novigradu na Dobri, na dionici duljine 462 m prosječna širina korita kontinuirano se povećavala od 1968. do 2018. godine s 27,46 na 33,10 m te ukupan porast prosječne širine iznosi 5,65 m (tab. 10.). Najveći porast prosječne širine korita te najveći intenzitet promjene zabilježeni su u razdoblju nakon početka izgradnje HE Lešće kada je prosječna širina porasla za 3,55 m, odnosno 0,30 m na godišnjoj razini (tab. 11.). U razdoblju nakon puštanja hidroelektrane u rad (2011.-2018.) prosječna širina korita je porasla za 0,60 m, odnosno 0,08 m na godišnjoj razini. Najveće promjene širine korita prisutne su na lijevoj obali rijeke pri čemu je najizraženija promjena u razdoblju nakon početka izgradnje hidroelektrane (2007.-2018.) te je korito prošireno do 9,3 metara na lijevoj obali (sl. 30.). U razdoblju prije početka izgradnje hidroelektrane najveće promjene širine korita također su zabilježene na lijevoj obali, a iznose do 5 m. U razdoblju nakon puštanja HE Lešće u rad (2011.-2018.) najveće promjene su zabilježene na desnoj obali, a iznose do 2,5 m.

Tab.10. Prosječne širine korita na lokaciji 2 – Novigrad na Dobri u istraživanim razdobljima

	Prosječna širina korita (m)
<b>DOF_1968.</b>	27,46
<b>DOF_2006._09.</b>	29,55
<b>DOF_2011.</b>	32,50
<b>DOF_2018.</b>	33,10

Tab.11. Proširenje korita i godišnji prosjeci promjene u određenim razdobljima na lokaciji 2 – Novigrad na Dobri

Razdoblje	Broj godina	Porast prosječne širine korita (m)	Godišnji prosjek (m)
1968.-2006./09.	39	2,10	0,05
2007.-2018.	12	3,55	0,30
2011.-2018.	8	0,60	0,08



Sl.30. Kombinirani prikaz površine i širenja korita u različitim razdobljima na lokaciji 2 – Novigrad na Dobri

Na trećoj lokaciji snimanja, na dionici duljine 368 m kod mosta u Zadobarju (sl. 31.) također je zabilježeno kontinuirano povećanje širine korita u sva tri analizirana razdoblja. Ukupno povećanje prosječne širine korita od 1968. do 2018. iznosi 1,24 m, s 31,13 m na 32,38 m (tab. 12.). U razdoblju nakon početka izgradnje elektrane (2007.-2018.) zabilježen je najveći rast prosječne širine korita te iznosi 0,95 m, a prosječna godišnja promjena širine korita iznosi 0,08 m pa je u ovom razdoblju intenzitet širenja korita najjači (tab. 13.). Širenje korita zabilježeno je i u razdoblju nakon puštanja elektrane u rad (2011.-2018.), ali slabijim intenzitetom. U ovom razdoblju prosječna širina korita porasla je za 0,30 m, odnosno 0,04 m na godišnjoj razini. Apsolutne promjene širine korita su veće u razdoblju prije početka rada hidroelektrane nego nakon, a prisutne su na obje obale rijeke te iznose do 5 m na lijevoj i do 10 m na desnoj obali. Razdoblje nakon početka izgradnje hidroelektrane (2006.-2018.) obilježavaju promjene u širini korita samo na desnoj obali te iznose do 4,5 m. U razdoblju nakon puštanja hidroelektrane u rad (2011.-2018.) zabilježene su promjene na desnoj obali, a iznose maksimalno do 3,3 m.

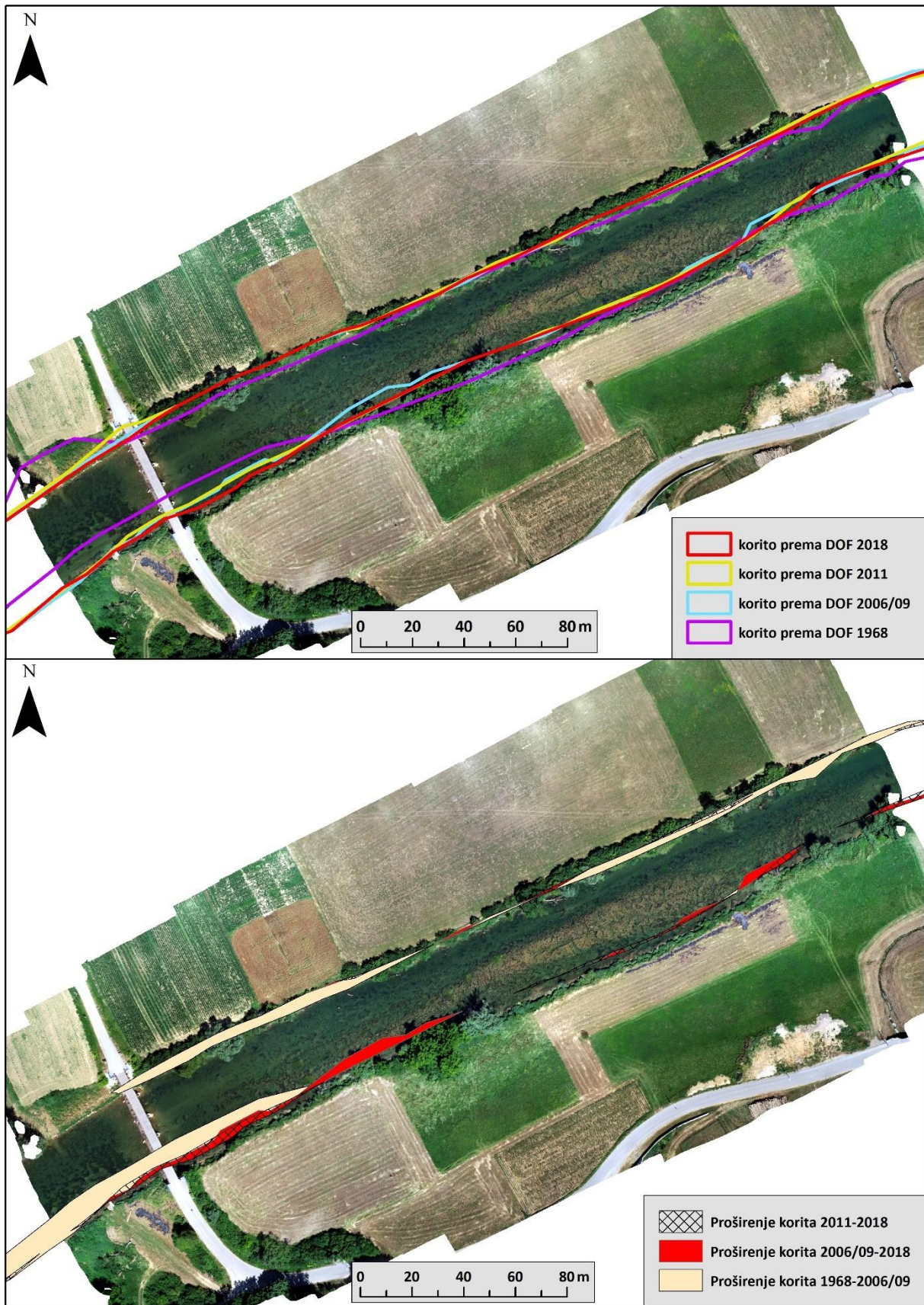
Tab.12. Prosječne širine korita na lokaciji 3 – Zadobarje u istraživanim razdobljima

	<b>Širina korita (m)</b>
<b>DOF_1968.</b>	31,13
<b>DOF_2006._09.</b>	31,42
<b>DOF_2011.</b>	32,08
<b>DOF_2018.</b>	32,38

Tab.13. Proširenje korita i godišnji prosjeci promjene u određenim razdobljima na lokaciji 2 – Novigrad na Dobri

<b>Razdoblje</b>	<b>Broj godina</b>	<b>Porast prosječne širine korita (m)</b>	<b>Godišnji prosjek (m)</b>
1968.-2006./09.	39	0,29	0,01
2007.-2018.	12	0,95	0,08
2011.-2018.	8	0,30	0,04





Sl.31. Kombinirani prikaz površine i širenja korita u različitim razdobljima na lokaciji 3 – Zadobarje



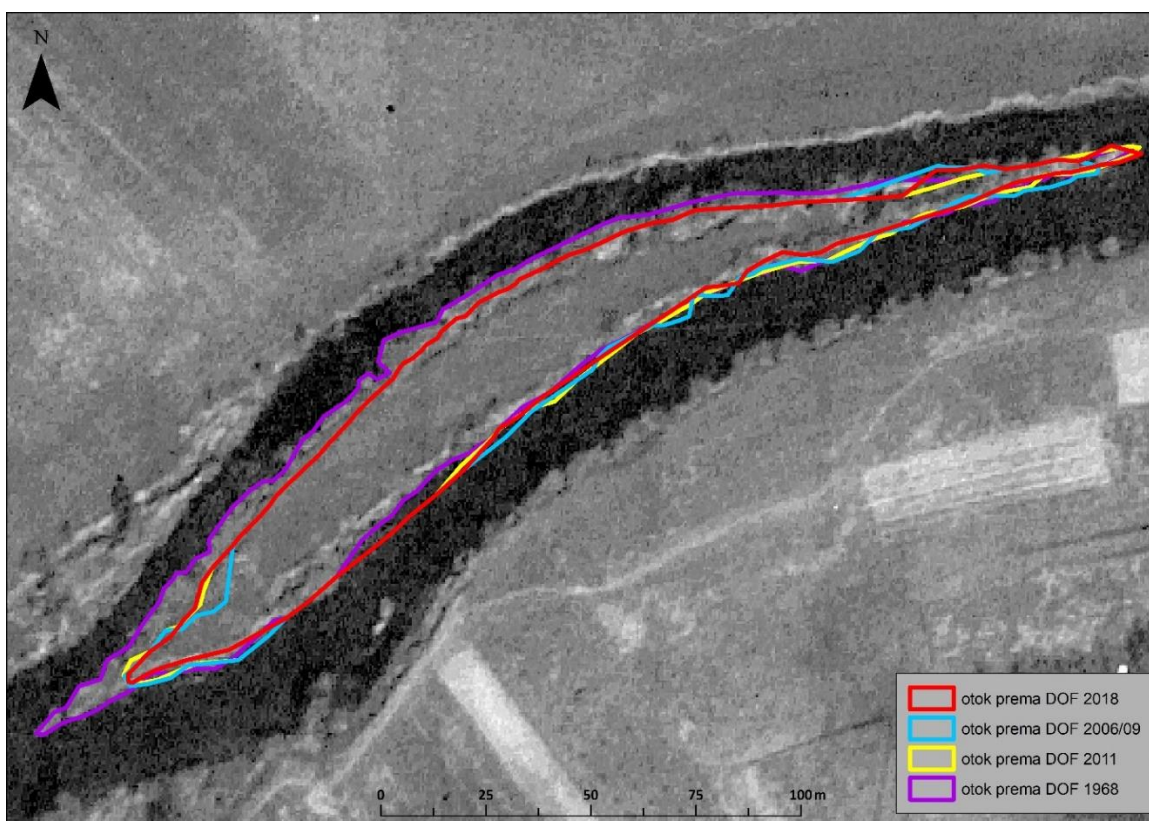
Površina riječnog otoka na Donjoj Dobri ima trend smanjenja u razdoblju od 1968. do 2018. godine (tab. 14.). Od 1968. do 2018. godine površina riječnog otoka smanjila se s 5675,42 m<sup>2</sup> na 4623,1 m<sup>2</sup>, tj. za 1052,32 m<sup>2</sup> što je oko 18,5 %. Analiziranjem poligona riječnog otoka iz različitih razdoblja može se zapaziti njegova migraciju u smjeru jugoistoka unutar toka Donje Dobre. Najveći dio njegove površine izgubljen je na njegovom krajnjem uzvodnom dijelu te na njegovoj lijevoj obali (desna obala lijevog kraka rijeke) (sl. 32.). Iznos prosječne godišnje promjene površine povećao se u razdoblju nakon puštanja HE Lešće u rad (2011.-2018.) (tab. 15.).

Tab.14. Površine riječnog otoka u Donjoj Dobri u različitim razdobljima

	Otok
Podloga	Površina (m <sup>2</sup> )
DOF_1968	5675,42
DOF_2006_2009	4859,94
DOF_2011	4800,92
DOF_2018	4623,10

Tab.15. Apsolutna i prosječna godišnja promjena površine riječnog otoka u Donjoj Dobri u različitim razdobljima

Razdoblje	Broj godina	Promjena (m <sup>2</sup> )	Godišnji prosjek (m <sup>2</sup> )
1968.-2006./09.	39	-815,48	-20,91
2007.-2018.	12	-236,84	-19,74
2011.-2018.	8	-177,82	-22,23



Sl.32. Granice riječnog otoka u Donjoj Dobri u različitim analiziranim godinama

## 5. Rasprava rezultata

### 5.1. Rasprava rezultata hidrološke analize

Rezultati hidrološke analize podataka s postaja Lešće Toplice i Stative Donje međusobno se poklapaju, tj. pojave i promjene na postaji Lešće Toplice sukladne su onima na postaji Stative Donje. Protočni režim rijeke nije se bitnije izmijenio u smislu povećanja ili smanjenja broja maksimuma ili minimuma, ali je došlo do manje promjene u njihovom vremenskom rasporedu. Donja Dobra klasificirana je u složene sredozemne kišno-snježne protočne režime s dva maksimuma i dva minimuma. U tom protočnom režimu primarni maksimum se najčešće javlja u prosincu, a sekundarni u travnju. Primarni minimum javlja se u srpnju ili kolovozu, a sekundarni u veljači ili ožujku (Čanjevac, 2013). Činjenica da je protočni režim Dobre svrstan u sredozemne režime implicira utjecaj maritimnog pluviometrijskog režima (više padalina u hladnijem dijelu godine). Osim toga protočni režim Donje Dobre sličan je Dinarskom kišnom-snježnom režimu koji ima gornji tok Kupe i neki drugi njeni pritoci. U razdoblju prije izgradnje HE Lešće (1979.-2005.) vrijednosti protoka na obje postaje poklapaju se s obilježjima tog protočnog režima uz razliku što su se primarni i sekundarni maksimum zamijenili, tj. primarni se javlja u travnju, a sekundarni u prosincu. Ova promjena protočnog režima Donje Dobre mogla bi biti posljedica promjena klime i posljedično protočnog režima. Drugi razlog bi mogla biti izgradnja HE Gojak te akumulacija Bukovnik i Sabljaci pri čemu se za rad HE Gojak koriste i vode Zagorske Mrežnice. Ovaj zahvat za rezultat je imao povećane količine vode u Donjoj Dobri s obzirom na to da Zagorska Mrežnica nije prirodni pritok ni Gornje ni Donje Dobre. U razdoblju nakon izgradnje HE Lešće (2006.-2019.) došlo je do javljanja primarnog maksimuma (travanj), primarnog minimuma (kolovoz) i sekundarnog minimuma (veljača) mjesec dana ranije, u ožujku, srpnju i siječnju i to na obje istraživane postaje. Količina vode koja dotječe do HE Lešće ostala je ista, ali je došlo do promjene u protoku te vode nizvodno od HE Lešće. Razlog ranijeg javljanja primarnog maksimuma mogao bi se objasniti većom količinom padalina u obliku kiše, a manje u obliku snijega što bi se moglo objasniti promjenama klime. Nadalje, nakon izgradnje HE Lešće na obje postaje došlo je do pada minimalnih protoka (osim u razdoblju od lipnja do rujna) te povećanja srednjih i znatnog povećanja maksimalnih protoka. To bi se moglo objasniti vrstom i načinom rada elektrane. Naime, HE Lešće nije u pogonu konstantno već povremeno ili periodično ovisno o potrebama za električnom energijom u elektroenergetskom sustavu zbog čega protok nizvodno od elektrane varira od zakonski propisanog biološkog minimuma koji u slučaju HE Lešće iznosi  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$  do  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  kada hidroelektrana radi punim kapacitetom. To je često dva puta dnevno, u prijepodnevnim i večernjim satima kada su potrebe u elektroenergetskoj mreži u pravilu najveće. Vrijednosti

minimalnih protoka su pale, ali i uravnotežile se te nema znatnijih oscilacija, a to je posljedica čuvanja vode u akumulaciji za rad hidroelektrane te se u periodu kada ona nije u pogonu konstantno propušta minimalna moguća količina vode iz akumulacije, tj. biološki minimum. Znatn porast vrijednosti maksimalnih protoka najvjerojatnije je posljedica rada HE Lešće koja ima dvostruko veći instalirani protok ( $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ) u usporedbi s HE Gojak ( $57 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Analizom krivulje trajanja protoka moguće je uočiti produljenje trajanja maksimalnih i srednjih protoka u razdoblju nakon puštanja HE Lešće u rad, a to je u skladu s načinom rada HE Lešće te propuštanjem velike količine vode znatno češće nego što bi se to događalo u prirodnom protočnom režimu rijeke. Analizom podataka o vodostaju koji se bilježe svakih 15 minuta na postajama Lešće Toplice i Stative Donje ustanovljene su značajne oscilacije u vodostaju te posljedično i protoku koji se javljaju tijekom rada HE Lešće, a koje se ne mogu detektirati u podacima o srednjim mjesečnim ili dnevnim protocima koji su analizirani u prethodnim poglavljima. Prikazane su vrijednosti vodostaja na obje postaje u travnju i kolovozu 2020. godine te se na obje postaje mogu primijetiti brojne oscilacije vodostaja tijekom travnja, ali i znatno manji broj oscilacija vodostaja u kolovozu. To bi se moglo objasniti rjeđim radom hidroelektrane zbog smanjenog dotoka vode uslijed prirodnog protočnog režima rijeke, ali i planskog ograničavanja rada samo jedne turbine hidroelektrane u ovom razdoblju godine. Takav način rada provodi se i zbog turističkih i rekreativnih aktivnosti prisutnih na Donjoj Dobri nizvodno od hidroelektrane kako bi se stvarao manji vodni val koji predstavlja i manju opasnost za kupaće i ostale korisnike (Ogulinski portal, 2021). Usporedbom oscilacija vodostaja na postajama Lešće Toplice i Stative Donje tijekom rada hidroelektrane primjetna je velika razlika u veličini promjene vodostaja između dvije promatrane postaje, a to je posljedica različitih poprečnih presjeka korita, odnosno širine korita. Oscilacije vodostaja se kreću od 150 cm na postaji Lešće Toplice do više od 200 cm na postaji Stative Donje. Napravljena je i usporedba promjene vodostaja na obje postaje u istom vremenskom razdoblju, tj. za datum 2. travnja 2020. iz koje je vidljiva razlika u minimalnim vodostajima i promjeni vodostaja uslijed dolaska vodnog vala na postaju tijekom rada hidroelektrane. Razmjer ovih oscilacija vodostaja potvrđen je tijekom terenskih izlazaka te je fotografski zabilježen u naselju Protulipa (sl. 33.). Promatrajući vrijeme početka dvaju vodnih valova na postaji Lešće Toplice i njihovo pojavljivanje na postaji Stative Donje moguće je procijeniti kako je vodnom valu za put između te dvije postaje potrebno oko tri sata.





Sl.33. Vodostaj Donje Dobre na lokaciji Protulipa tijekom vodnog vala iz HE Lešće (slika gore), tijekom smanjivanja vodnog vala (slika u sredini) i tijekom perioda kada hidroelektrana pušta biološki minimum (slika dole)



## 5.2. Rasprava rezultata geomorfološke analize

Kako bi se utvrdila prisutnost i intenzitet geomorfoloških promjena na istraživanoj dionici Donje Dobre, provedena je geomorfološka analiza terenskim radom i korištenjem digitalnih ortofoto snimaka. Nažalost ne postoje ili nisu javno dostupni drugačiji oblici podataka poput detaljnih digitalnih modela reljefa užeg područja rijeke ili batimetrijske snimke korita kako bi se mogle provesti analize promjene volumena korita ili promjene u obliku dna korita. Takve analize bi bile izuzetno korisne za utvrđivanje procesa usijecanja, popunjavanja ili stagnacije korita rijeke. S obzirom na dostupne podatke analizirana je promjena širine korita u različitim vremenskim razdobljima, tj. referentnim godinama. Digitalizaciju korita znatno su otežavala dva glavna problema: loša kvaliteta snimaka i gusta vegetacija na rubovima korita duž brojnih dionica rijeke. Lošija kvaliteta snimki prvenstveno se odnosi na DOF-ove iz 1968. i 2006. godine i očituje se kroz mutnoću, zrnatost te jednolične boje što je samo za sebe ili sve zajedno u kombinaciji na brojnim dijelovima istraživanog prostora za posljedicu imalo znatne teškoće u lociranju ruba korita. Snimka iz 1968. godine donijela je još problema u obliku nekoliko potpuno poplavljenih lokacija duž prostora istraživanja koji su fotografirani za vrijeme izrazito visokih vodostaja kada se rijeka izlila iz korita i poplavila cijelu širinu svoje doline zbog čega je na tim dijelovima snimke također bilo nemoguće odrediti lokacije rubova korita. Gusta vegetacija na rubovima korita na brojnim dionicama rijeke djelomično je ili u potpunosti onemogućavala lociranje ruba korita. S ciljem rješavanja ovih problema prvotno je provedena digitalizacija korita prema Hrvatskoj osnovnoj karti kako bi se prilikom digitalizacije korita u ostalim razdobljima na dijelovima gdje nije moguće dovoljno precizno utvrditi rub korita zadržala pozicija ruba korita iz HOK-a. Dobiveni rezultati pokazuju kako je rast širine korita kontinuiran od 1968. do 2018. godine iz čega se može zaključiti da je erozija dominantan geomorfološki proces u rijeci. Ciljano su promatrana tri razdoblja: jedno prije početka radova na izgradnji HE Lešće (1968.-2006.), jedno koje je obuhvaćalo vrijeme izvođenja radova te vrijeme nakon puštanja HE Lešće u rad (2007.-2018.) te jedno koje obuhvaća vrijeme nakon puštanja HE Lešće u rad (2011.-2018.). Analiziranje širine korita za sva tri razdoblja bitno je kako bi se ustanovilo je li uistinu došlo do promjena u širini te koliki je intenzitet tih promjena u analiziranim razdobljima. Podaci o prosječnoj širini korita za cijelu dionicu rijeke od hidroelektrane do ušća pokazuju trend rasta u svim referentnim godinama kada je rađena digitalizacija korita osim u 2011. godini kada je zabilježen pad vrijednosti. Nije potpuno jasno je li uzrok tog pada greška prilikom digitalizacije poligona, utjecaj izgradnje hidroelektrane ili nešto treće. Razdoblje nakon puštanja hidroelektrane u rad obilježeno je pojačanim intenzitetom širenja korita što implicira utjecaj hidroelektrane na geomorfološka obilježja rijeke. Na tri

lokacije na kojima je provedeno snimanje bespilotnom letjelicom također su zabilježena povećanja prosječne širine korita. Najmanja promjena je zabilježena na trećoj lokaciji u Zadobarju što bi se moglo objasniti dosta nizvodnim položajem na toku Donje Dobre te gušćom vegetacijom na rubovima korita od ostale dvije lokacije. Na prvoj lokaciji u Gorincima, vrlo blizu HE Lešće, zabilježen je pojačan intenzitet širenja korita u razdoblju nakon puštanja hidroelektrane u rad. Na preostale dvije lokacije također je zabilježen pojačan intenzitet širenja korita nakon puštanja hidroelektrane u rad, ali je zanimljivo da je razdoblje u koje je uključeno i vrijeme od početka izgradnje hidroelektrane zabilježilo još veći intenzitet širenja korita. Površina riječnog otoka u Donjoj Dobri također se kontinuirano smanjuje od 1968. do 2018. godine, a podaci o prosječnoj godišnjoj promjeni površine ukazuju na intenzifikaciju smanjenja njegove površine u razdoblju nakon puštanja elektrane u rad što upućuje na pojačavanje erozivnih procesa u rijeci i utjecaj HE Lešće sve do ušća u Kupu (sl. 34.). Rezultate geomorfološke analize bi svakako trebalo promatrati s određenim oprezom jer je kvaliteta podataka na kojima je analiza temeljena zasigurno utjecala na kvalitetu izlaznih podataka i dobivenih rezultata.



Sl.34. Promjene na desnoj obali uzvodno od mosta u Protulipi (slikano s mosta)

## 6. Zaključak

Nakon provedene hidrološke analize kao jedne komponente ovog istraživanja može se zaključiti kako postoji utjecaj rada HE Lešće na Donju Dobru. Taj utjecaj nije doveo do promjene tipa protočnog režima, ali je zabilježeno ranije pojavljivanje primarnog maksimuma i sekundarnog minimuma protoka na obje postaje. Najveće su promjene nastupile u vrijednostima protoka i njihovom trajanju. Na postaji Lešće Toplice došlo je do smanjenja srednjih vrijednosti minimalnih protoka i produljena njihova trajanja te do značajnog rasta srednjih maksimalnih protoka i produljenja njihovih trajanja. Iste promjene dogodile su se i na postaji Stative Donje izuzev porasta trajanja srednjih niskih protoka. Analizom podataka o vodostaju s obje postaje koji se bilježe svakih 15 minuta, dokazane su i znatne oscilacije vodostaja, a time i protoka rijeke. Iz podataka je vidljivo kako te oscilacije na postaji Lešće Toplice dosežu preko 100 centimetara, a na postaji Stative Donje i preko 200 centimetara. Iz tih podataka je također jasno vidljivo kako su te oscilacije rjeđe u ljetnim mjesecima kada HE Lešće radi smanjenim intenzitetom zbog štednje vode uslijed smanjenog dotoka zbog tipa riječnog režima u kojem se nalazi, ali i upravljanog rada hidroelektrane zbog većeg prisustva turističkih i rekreativnih aktivnosti na rijeci. Analiziranjem promjene prosječne širine korita rijeke nepobitno je utvrđeno kako promjene postoje i to u smjeru povećanja površine korita, kako na cjelokupnoj dionici rijeke od hidroelektrane do ušća, tako i na tri odvojene lokacije koje su analizirane. Prosječna širina korita kontinuirano se povećava od 1968. do 2018. godine (iznimno je 2011. godine zabilježen pad), ali kada se ovaj period podjeli na razdoblja prije i poslije puštanja hidroelektrane u rad dolazi se do spoznaje kako je intenzitet širenja korita u razdoblju nakon izgradnje HE Lešće ojačao. Treba uzeti u obzir lošiju kvalitetu podataka i otežavajuće faktore koji su mogli znatno utjecati na konačne rezultate geomorfološke analize. Promjene uočene na pojedinim lokacijama u koritu rijeke su značajne, a hidrološki uvjeti u rijeci nakon početka rada hidroelektrane stvaraju preduvjete za pojačanu eroziju i širenje korita.

## Literatura

Bočić, N., 2016: Osnove speleologije: Nastavni materijal za predmet „Osnove speleologije“, Geografski odsjek PMF.

Bognar, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 34, 7-29.

Bognar, A., 2008: Geomorfološka obilježja korita rijeke Drave i njenog poloja u širem području naselja Križnica, *Hrvatski geografski glasnik* 70 (2), 49 – 71.

Bonacci, O., Andrić, I., 2010: Hidrološka analiza krške rijeke Dobre, *Hrvatske vode* 18 (72), 127-138.

Čanjevac, I., 2013: Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj, *Hrvatski geografski glasnik* 75 (1), 23-42.

Gatarić, K., 2015: Zajednica puževa (Mollusca, Gastropoda) izvora rijeke Gojačke Dobre: stanje prije izgradnje HE Lešće, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu.

Grđan, D., Kovačev-Marinčić B., 1992: Effects of the Čakovec hydroelectric power plant on ground water system, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, (4), 37-45.

Greimel, F., Schülting, L., Graf, W., Bondar-Kunze, E., Auer, S., Zeiringer, B., Hauer, C., 2018: Hydropeaking impacts and mitigation, u: *Riverine Ecosystem Management* (ur. Schmutz, S. i Sendzimir, J.), Springer, Cham, 91-110.

Hajdinjak, I., 2016: Utjecaj izgradnje hidroelektrana na Regionalni park Mura-Drava u Međimurskoj županiji, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu

Hudec, S., Lukić, O., 1989: Preliminarna speleološka istraživanja područja rijeke Dobre za potrebe gradnje HE Lešće, *Speleolog* 36-37(1), 48-52.

Kulaš, N., 2016: Utjecaj i posljedice djelovanja hidroelektrana na okoliš na primjeru hidroelektrane Lešće, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu.

Kunosić, I., 2008: Hidrološka analiza rijeke Dobre, diplomski rad, Građevinsko arhitektonski fakultet, Split.

Nadilo, B., 2007: HE Lešće – prva hidroelektrana u samostalnoj Hrvatskoj, *Građevinar*, 59 (12), 1089-1099.

Opala, I., Ožanić, N., 2010: Hidrološka analiza sliva rijeke Dobre, u: ZBORNIK RADOVA KNJIGA XIII (ur. Jelenić, G.), Rijeka, prosinac 2010., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 11-32.

Pavlek, K., 2019: Recentne geomorfološke promjene korita rijeke Cetine, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu

Scherer, L., Pfister, S., 2016: Hydropower's Biogenic Carbon Footprint, *PLoS ONE*, 11(9),

Šegota, T., Filipčić, A., 1996: *Klimatologija za geografe*, III. prerađeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb.

Tomašković, D., 2010: Speleološka istraživanja u kanjonu rijeke Dobre, *Subterranea Croatica*, 8(12), 11-14.

Trojko, K., 2001: Utjecaji hidroelektrana na ekološki sustav rijeke Drave, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu

Višnić, S., 2013: Gis analiza hidrogeografskih obilježja poriječja Dobre nakon izgradnje HE Lešće, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu.

Vrbanac, V., 2003: Geomorfološke značajke doline rijeke Dobre od Gojaka do ušća u Kupu, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu.

Zrinščak, I., 2015: Sastav i struktura beskralješnjaka u rijeci Dobri nakon početka rada hidroelektrane Lešće, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu.

Žganec, K., 2012: The effects of water diversion and climate change on hydrological alteration and temperature regime of karst rivers in central Croatia, *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 5705–5723.

## **Izvori**

DHMZ, historijat hidrološke postaje

DHMZ, hidrološki podaci postaja

Državni hidrometeorološki zavod, 2008: Klimatski atlas Hrvatske, [www.meteo.hr](http://www.meteo.hr) (27.08.2019.)

Filipan Vdović, S., Babić, M., Obarčanin, E., Sušac, A., Anđelić, M., 2012: UTJECAJ RADA HE LEŠĆE NA NIZVODNI TOK RIJEKE DOBRE, hidrološko-hidraulička studija, Institut IGH d.d. i Hrvatske vode.

Građevinar, 71(3): Sedamdeset godina Elektroprojekta

Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=17558> (08.07.2021.)

HEP Proizvodnja, n.d.: Hidroelektrane, <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528> (08.07.2021.)

HEP Proizvodnja, n.d.: HE Lešće, <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-lesce/1543>

HEP Proizvodnja, n.d.: HE Gojak, <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-gojak/1542>

Hrvatske vode, 2019: Pregled hidroenergetskog korištenja voda za potrebe izrade Plana upravljanja vodnim područjima, [https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/pregled\\_hidroenergetskog\\_koristenja\\_voda\\_za\\_potrebe\\_izrade\\_plana\\_upravljanja\\_vodnim\\_podrucjima.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/pregled_hidroenergetskog_koristenja_voda_za_potrebe_izrade_plana_upravljanja_vodnim_podrucjima.pdf) (08.07.2021.)

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2019: Energija u Hrvatskoj, [https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Energija\\_u\\_Hrvatskoj/Energija\\_u\\_Hrvatskoj\\_2019-2.pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Energija_u_Hrvatskoj/Energija_u_Hrvatskoj_2019-2.pdf), (14.02.2022.)

Osnovna geološka karta SFRJ, L33-91 Črnomelj, 1:100 000, Savezni geološki zavod Beograd, 1983., <https://www.hgi-cgs.hr/osnovna-geoloska-karta-republike-hrvatske-1100-000/>

Osnovna geološka karta republike Hrvatske, L33-92 Karlovac, 1:100 000, Hrvatski geološki institut, Zagreb 2014., <https://www.hgi-cgs.hr/osnovna-geoloska-karta-republike-hrvatske-1100-000/>

Ogulinski portal, 2021: Pročitajte što o vodnom valu kaže Milan Sabljak, direktor HE Lešće, <https://ogportal.com/2021/08/02/procitajte-sto-o-vodnom-valu-kaze-milan-sabljak-direktor-he-lesce/>, (03.08.2021.)

Zelena akcija, 2017: Zaštita i održivo upravljanje rijekama i hidroelektrane: Mišljenje Zelene akcije o hidroelektranama, [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/zelena-akcija.production/zelena\\_akcija/document\\_translations/1070/doc\\_files/original/ZA-hidroelektrane.pdf?1497952284](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/zelena-akcija.production/zelena_akcija/document_translations/1070/doc_files/original/ZA-hidroelektrane.pdf?1497952284), (12.07.2021.)

## **Prilozi**

### **Prilog 1. Popis slika**

Sl.1. Smještaj rijeke Dobre u prostoru.....	3
Sl.2. Pojednostavljena geološka karta – prikaz starosti i vrste stijena te strukturnih obilježja prostora istraživanja.....	5
Sl.3. Hidroenergetski sustav hidroelektrane Gojak.....	7
Sl.4. Prostorni obuhvat istraživanja s lokacijama hidroloških postaja, lokacija snimanja bespilotnom letjelicom, lokacijom HE Lešće i izvorom Donje Dobre.....	13
Sl.5. Godišnji maksimumi protoka rijeke Donje Dobre na stanici Lešće Toplice za razdoblje 1979.-2019. ....	14
Sl.6. Protočni režimi Donje Dobre na stanici Lešće Toplice za razdoblja 1979.-2005. i 2006.-2019. ....	15
Sl.7. Godišnji minimumi protoka rijeke Donje Dobre na stanici Lešće Toplice za razdoblje 1979.-2019. ....	15
Sl.8. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti minimalnih protoka na postaji Lešće Toplice u razdoblju 1979.-2005. i 2006.-2019. ....	16
Sl.9. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti srednjih protoka na postaji Lešće Toplice u razdoblju 1979.-2005. i 2006.-2019. ....	17
Sl.10. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti maksimalnih protoka na postaji Lešće Toplice u razdoblju 1979.-2005. i 2006.-2019. ....	17
Sl.11. Krivulja trajanja protoka rijeke Donje Dobre na postaji Lešće Toplice za razdoblje od 2000. do 2005. ....	18
Sl.12. Krivulja trajanja protoka rijeke Donje Dobre na postaji Lešće Toplice za razdoblje od 2006. do 2019. ....	18
Sl.13. Godišnji maksimumi protoka rijeke Donje Dobre na postaji Stative Donje za razdoblje 1958.-2019. ....	19
Sl.14. Protočni režimi Donje Dobre na stanici Stative Donje za razdoblja 1958.-2005. i 2006.-2019. ....	20
Sl.15. Godišnji minimumi protoka rijeke Donje Dobre na stanici Stative Donje za razdoblje 1958.-2019. ....	20
Sl.16. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti minimalnih protoka na postaji Stative Donje u razdoblju 1958.-2005. i 2006.-2019. ....	21
Sl.17. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti srednjih protoka na postaji Stative Donje u razdoblju 1958.-2005. i 2006.-2019. ....	22
Sl.18. Usporedba prosječnih mjesečnih vrijednosti maksimalnih protoka na postaji Stative Donje u razdoblju 1958.-2005. i 2006.-2019. ....	22



Sl.19. Krivulja trajanja protoka rijeke Donje Dobre na postaji Stative Donje za razdoblje od 2000. do 2005. ....	23
Sl.20. Krivulja trajanja protoka rijeke Donje Dobre na postaji Stative Donje za razdoblje od 2006. do 2019. ....	23
Sl.21. Vrijednosti vodostaja u razmaku od 15 minuta na postaji Lešće Toplice u travnju 2020. godine .....	24
Sl.22. Donja Dobra tijekom hydropeaking-a (slika gore) i tijekom smirivanja vodnog vala (slika dole) .....	25
Sl.23. Vrijednosti vodostaja u razmaku od 15 minuta na postaji Lešće Toplice u kolovozu 2020. godine .....	26
Sl.24. Vrijednosti vodostaja u razmaku od 15 minuta na postaji Stative Donje u travnju 2020. godine .....	26
Sl.25. Vrijednosti vodostaja u razmaku od 15 minuta na postaji Stative Donje u kolovozu 2020. godine .....	27
Sl.26. Poprečni presjek korita rijeke Donje Dobre na postaji Lešće Toplice na dan 16.07.2014. ....	27
Sl.27. Poprečni presjek korita rijeke Donje Dobre na postaji Stative Donje na dan 30.10.2014. ....	28
Sl.28. Usporedba satnih vrijednosti vodostaja na postajama Lešće Toplice i Stative Donje na datum 02.04.2020. ....	28
Sl.29. Kombinirani prikaz površine i širenja korita u različitim razdobljima na lokaciji 1 – Gorinci .....	31
Sl.30. Kombinirani prikaz površine i širenja korita u različitim razdobljima na lokaciji 2 – Novigrad na Dobri .....	33
Sl.31. Kombinirani prikaz površine i širenja korita u različitim razdobljima na lokaciji 3 – Zadobarje .....	35
Sl.32. Granice riječnog otoka u Donjoj Dobri u različitim analiziranim godinama .....	36
Sl.33. Vodostaj Donje Dobre na lokaciji Protulipa tijekom vodnog vala iz HE Lešće (slika gore), tijekom smanjivanja vodnog vala (slika u sredini) i tijekom perioda kada hidroelektrana pušta biološki minimum (slika dole) .....	39
Sl.34. Promjene na desnoj obali uzvodno od mosta u Protulipi (slikano s mosta) .....	41
Prilog 2. Popis tablica	
Tab.1. Geomorfološka regionalizacija istraživanog prostora .....	4
Tab.2. Vrijednosti prosječnih maksimalnih, srednjih i minimalnih mjesečnih protoka te njihova razlika na postaji Lešće Toplice za razdoblje 1979.-2005. i 2006.-2019. ....	16

Tab.3. Podaci krivulje trajanja protoka na postaji Lešće Toplice za razdoblja prije i poslije puštanja HE Lešće u rad .....	18
Tab.4. Vrijednosti prosječnih maksimalnih, srednjih i minimalnih mjesečnih protoka te njihova razlika na postaji Stative Donje za razdoblje 1958.-2005. i 2006.-2019. ....	21
Tab.5. Podaci krivulje trajanja protoka na postaji Stative Donje za razdoblja prije i poslije puštanja HE Lešće u rad .....	23
Tab.6. Površina i prosječna širina korita Donje Dobre s različitih kartografskih podloga .....	29
Tab.7. Apsolutne i prosječne promjene površine korita i riječnog otoka Donje Dobre u razdoblju prije i poslije puštanja HE Lešće u rad .....	30
Tab.8. Prosječne širine korita na lokaciji 1 – Gorinci u istraživanim razdobljima .....	30
Tab.9. Proširenje korita i godišnji prosjeci promjene u određenim razdobljima na lokaciji 1 – Gorinci .....	30
Tab.10. Prosječne širine korita na lokaciji 2 – Novigrad na Dobri u istraživanim razdobljima .....	32
Tab.11. Proširenje korita i godišnji prosjeci promjene u određenim razdobljima na lokaciji 2 – Novigrad na Dobri .....	32
Tab.12. Prosječne širine korita na lokaciji 3 – Zadobarje u istraživanim razdobljima .....	34
Tab.13. Proširenje korita i godišnji prosjeci promjene u određenim razdobljima na lokaciji 2 – Novigrad na Dobri .....	34
Tab.14. Površine riječnog otoka u Donjoj Dobri u različitim razdobljima .....	36
Tab.15. Apsolutna i prosječna godišnja promjena površine riječnog otoka u Donjoj Dobri u različitim razdobljima .....	36