

# Recentne geomorfološke promjene korita rijeke Cetine

---

**Pavlek, Katarina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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:217:500723>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-18**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Katarina Pavlek**

# **Recentne geomorfološke promjene korita rijeke Cetine**

**Diplomski rad**

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

**Zagreb  
2019.**

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 prof. dr. sc. Sanje Faivre.

Sveučilište u Zagrebu  
 Prirodoslovno-matematički fakultet  
 Geografski odsjek

Diplomski rad

## Recentne geomorfološke promjene korita rijeke Cetine

Katarina Pavlek

**Izvadak:** Riječni su sustavi diljem Europe od kraja 19. stoljeća vidljivo izmijenjeni zbog antropogenih utjecaja i klimatskih promjena. Predmet su ovoga istraživanja geomorfološke promjene korita rijeke Cetine tijekom posljednjih 150 godina. Na temelju povijesnih karata, arhivskih aerofotogrametrijskih snimaka i suvremenih ortofoto-karata provedena je detaljna digitalizacija korita, sprudova i riječnih otoka. Rijeka je podijeljena na 15 segmenata u kojima je analizirana promjena širine aktivnog korita te pojavnost sprudova i otoka. Posebno su analizirane promjene složenih korita u izvorišnom području, obilježja doline koja je danas potopljena ispod Perućkog jezera i promjene ušća. U razdoblju do sredine 20. stoljeća zabilježeno je djelomično sužavanje korita uz isušivanje močvarnih zona u izvorišnom području, vjerojatno zbog smanjene vlažnosti nakon završetka malog ledenog doba, te povećanje površine sprudova i progradacija delte zbog pojačanog donosa sedimenta uslijed poljoprivredne intenzifikacije. U posljednjih pedeset godina na rijeci je izgrađeno pet hidroelektrana, čiji je rad dodatno uzrokovao sužavanje korita za oko 50% na trećini duljine rijeke. Smanjenje površine sprudova od 85%, osim uz izgradnju brana, povezano je i s antropogeno uzrokovanim promjenama u vegetacijskom pokrovu. Rezultati ovog rada dakele pokazuju utjecaj ljudskog djelovanja na degradaciju riječnog korita, ali predstavljaju i polazišnu točku u potencijalnom planu obnove rijeke.

61 stranica, 25 grafičkih priloga, 6 tablica, 93 bibliografske reference; izvornik na hrvatskom jeziku

**Ključne riječi:** Cetina, promjene korita, fluvijalna geomorfologija, antropogeni utjecaji, hidroelektrane, povijesne karte, aerofotogrametrijske snimke

Voditelj: prof. dr. sc. Sanja Faivre

Povjerenstvo: prof. dr. sc. Sanja Faivre  
 izv. prof. dr. sc. Danijel Orešić  
 doc. dr. sc. Mladen Pahernik

Tema prihvaćena: 10. 1. 2018.

Rad prihvaćen: 7. 2. 2019.

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

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geography

Master Thesis

## Recent geomorphological changes of the Cetina river channels

Katarina Pavlek

**Abstract:** Since the end of the 19th century, river systems across Europe have been noticeably modified by human impacts and climate change. The aim of this study is to investigate changes on river channel morphology of the Cetina River over the last 150 years. Based on historical maps, archival aerial images, and contemporary orthophoto maps, a detailed digitalisation of the river channel, fluvial bars, and islands was carried out. The river was divided into 15 segments in which we analysed the change of the active channel width and the incidence of the bars and islands. We also analysed changes of the multi-strand channels in the source area, characteristics of the part of the valley which is today submerged under the Peruća lake, and changes of the river mouth. In the period up to the mid-20th century, a partial narrowing of the channel along with the drying of the wetland zones in the source area was recorded, probably due to reduced humidity after the end of the Little Ice Age. Also, a noted growth in the area of the fluvial bars and a progradation of the river delta can be connected to the increased sediment flux due to agricultural intensification. In the last 50 years, five hydroelectric power plants were built on the river. Their operation caused the further channel narrowing by about 50% in the third of the river length. The reduction in the area of the fluvial bars by 85%, apart from the dam construction, can be related to changes in the vegetation cover which were caused by human disturbances. The results of this study thus show the impact of human activities on the river channel degradation. Moreover, they represent a starting point for the potential river restoration plans.

61 pages, 25 figures, 6 tables, 93 references; original in Croatian

Keywords: Cetina, channel changes, fluvial geomorphology, human impacts, hydropower plants, historical maps, aerial images

Supervisor: Sanja Faivre, PhD, Full Professor

Reviewers: Sanja Faivre, PhD, Full Professor  
Danijel Orešić, PhD, Associate Professor  
Mladen Pahernik, PhD, Assistant Professor

Thesis title accepted: 10/01/2018

Thesis accepted: 07/02/2019

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

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Područje istraživanja.....	5
2.1. Geološko-geomorfološka obilježja.....	5
2.2. Klimatska obilježja.....	11
2.3. Hidrološka obilježja.....	13
2.4. Društveno-geografska obilježja.....	16
3. Metodologija istraživanja.....	17
3.1. Izvori podataka.....	17
3.2. Digitalizacija fluvijalnih reljefnih oblika.....	19
3.3. Podjela rijeke na segmente.....	21
3.4. Analiza geomorfoloških promjena korita.....	26
4. Rezultati.....	29
4.1. Promjene širine aktivnog korita.....	29
4.2. Promjene u brojnosti i veličini sprudova i otoka.....	34
4.3. Promjene složenih korita u izvorišnom području.....	37
4.4. Obilježja nekadašnje doline ispod Perućkog jezera.....	40
4.5. Promjene korita u Sinjskom polju.....	42
4.6. Promjene ušća.....	44
5. Rasprava.....	46
5.1. Geomorfološke promjene korita i njihovi uzroci prije izgradnje hidroelektrana.....	46
5.2. Posljedice izgradnje hidroelektrana i društvenih promjena u posljednjih pedeset godina.....	49
5.3. Razlike u promjenama korita među određenim segmentima rijeke.....	52
6. Zaključak.....	53
Literatura.....	55
Izvori.....	60
Prilozi.....	VI

## 1. Uvod

Od sredine 19. stoljeća, utjecaj čovjeka na okoliš stalno se povećava naglim razvojem društva. Posebno je izražajan pritisak na riječne sustave zbog njihove vodoopskrbne i hidroenergetske funkcije. Na brojnim europskim rijekama zabilježene su značajne morfološke promjene korita, od Poljskih Karpata (Hajdukiewicz i Wyżga, 2019), zapadne Njemačke i Francuske (Arnaud i dr., 2015; David i dr., 2016) do južne Italije (Magliulo i dr., 2013, 2016; Scorpio i dr., 2015) i Španjolske (Boix-Fayos i dr., 2007; Martínez-Fernández i dr., 2017). Većina procesa uključuje usijecanje i sužavanje korita, uz promjenu riječnog ekosustava i gubitak staništa. Intenzivna degradacija korita ponajviše nastupa u posljednjih pedesetak godina kao posljedica brojnih oblika ljudskog djelovanja na riječne sustave. Kanaliziranje tekućica, izgradnja nasipa i brana, intenzivna urbanizacija, vađenje šljunka i pijeska iz korita ili antropogeno uvjetovane promjene zemljišnog pokrova, samo su neki od uzroka današnjeg stanja tekućica (Gregory, 2006).

Rijeke sredozemnog slijeva posebno su osjetljivi sustavi, a utjecaj čovjeka na ovom području seže daleko u prošlost. Sredozemlje je područje izrazito sezonskih obilježja klime (Šegota i Filipčić, 1996). Obilne padaline opskrbljuju vodonosnike zimi, no ljeti nerijetko dolazi do suša. Sredozemne rijeke su općenito kraćeg toka, a često teku na vodopropusnoj podlozi te su zato osjetljivije na sušu i degradaciju ljudskim djelovanjem (Margat, 2009). Paralelno s ljudskim aktivnostima na promjene u riječnim sustavima djeluju i prirodni procesi, prvenstveno promjene klime. Posljednjih desetljeća su temperature na Sredozemlju rastle brže od globalnog prosjeka te projekcije pokazuju nastavak zatopljenja i sušenja, s izglednim povećanjem vrućih valova i suša (Giorgi i Lionello, 2008; Lionello i dr., 2014). Međutim, promjene uzrokovane ljudskim djelovanjem puno su intenzivnije i brže od onih koje su inicirane prirodnim procesima (Gregory, 2006; Scorpio i dr., 2015). Iako je jedan od glavnih okolišnih problema Sredozemlja oduvijek bila pojačana erozija, uzrokovana deforestacijom koja seže daleko u prošlost, danas se zbog napuštanja poljoprivrede i zarastanja oranica javljaju suprotni procesi. Liébault i Piégay (2002) navode da sužavanje korita pojedinih rijeka u jugoistočnoj Francuskoj iznosi čak 55% u drugoj polovici 20. stoljeća, uz promjenu morfološkog tipa korita iz isprepletenog u meandrirajuće. Slične rezultate navode i Surian i Rinaldi (2003) za talijanske rijeke u posljednjih 100 godina. Uzroci promjena su prvenstveno izgradnja brana i nasipa, te reforestacija.

Izgradnja velikih hidrotehničkih objekata sredinom 20. stoljeća često se provodila bez ekološke svijesti i prevelike brige za moguće posljedice po okoliš i stanovništvo. Rezultat provedenih zahvata su nerijetko drastične promjene u morfologiji tekućica, nastale zbog kanaliziranja toka, smanjenja protoka te smanjenog prijenosa sedimenta. Naime, brane predstavljaju prekid u slobodnom toku sedimenta zbog čega se nizvodno javlja deficit, dok u uzvodnim akumulacijama dolazi do pojačane sedimentacije, te posljedično i eutrofikacije. Zbog promjena u morfologiji tekućice dolazi do devastacije prirodnih staništa i smanjenja bioraznolikosti, ponajprije riparijske vegetacije (Hooke, 2006). Od društveno-geografskih posljedica treba istaknuti iseljavanje stanovništva iz umjetno poplavljenih područja te smanjenje vodnih resursa u područjima iz kojih se voda crpi za potrebe hidroenergije ili vodoopskrbu drugih područja. Također, pretpostavlja se da zbog ljudskih utjecaja dolazi i do promjena u kretanju podzemne vode. Budući da je cirkulacija vode u krškim vodonosnicima izuzetno kompleksna, vrlo je teško utvrditi nastale posljedice, koje mogu biti vrlo opasne u vidu održivog gospodarenja vodnim resursima u kršu (Bonacci i dr., 2016).

No, u posljednje se vrijeme povećava svijest o važnosti morfološkog stanja tekućica te se radi na njihovoj obnovi i postupnom vraćanju u što prirodnije stanje (Belletti i dr., 2018; Brown i dr., 2018). Jedan od glavnih razloga jest porast ekološke svijesti u planiranju obrane od poplava. Naime, sredinom prošlog stoljeća, mjere obrane od poplave uglavnom su uključivale izgradnju brana i nasipa, tj. strogo kanaliziranje rijeke uz narušavanje prirodnog stanja. Smatralo se da riparijska vegetacija uzrokuje začepljenje korita te da šuma na naplavnoj ravnici smanjuje prihvatni kapacitet vode tijekom poplava. Naprotiv, danas mnogi stručnjaci zagovaraju širenje šumske vegetacije u polojima zbog njenog pozitivnog utjecaja na bioraznolikost, morfologiju tekućice, ali i potencijalni retencijski kapacitet za vrijeme poplava. Nasipi i brane se postupno uklanjaju, a rijeke se vraćaju u (relativno) prirodno stanje (Hooke, 2006).

Procjena morfološkog stanja danas je važan dio održivog i učinkovitog upravljanja tekućicama (Scorpio, 2015; Zaharia i dr., 2018), a predstavlja i ključan zahtjev Okvirne direktive o vodama. Taj dokument Europske Unije obvezuje države članice da pravilnim gospodarenjem i zaštitom postignu dobro stanje vodnih tijela. Uz biološke karakteristike i fizičko-kemijske pokazatelje kakvoće vode, tzv. hidromorfološki monitoring jedan je od tri osnovna dijela procjene ekološkog stanja tekućica. U okviru monitoringa istražuju se slijedeća obilježja: hidrološki režim, kontinuitet tekućice (longitudinalni i lateralni) te morfološki uvjeti koji predstavljaju obilježja prirodnog staništa, a definirani su oblikom,



širinom i dubinom korita, strukturom i sastavom dna korita, te strukturom riparijske zone (EU, 2000). Dakle, morfološki uvjeti kontroliraju biotičke elemente u tekućicama, koji pak utječu na biološku raznolikost i funkcije ekosustava, uključujući kruženje nutrijenata i organske tvari te primarnu produkciju. Osnovne odrednice kvalitetnog morfološkog stanja tekućice su prostorna kompleksnost staništa, dinamičnost hidroloških i geomorfoloških procesa te povezanost ekosustava. To znači da su migracije organizama i prijenos sedimenta neometani, da postoji barem sezonska horizontalna povezanost između vode u koritu i vodnih tijela u poplavnoj ravnici te vertikalna povezanost s podzemnom vodom (Kondolf i dr., 2006; Elošegi i dr., 2010).

Poznavanje temeljnih obilježja tekućica u prošlim razdobljima ključan je element u njihovom upravljanju i obnovi. Između ostalog, razumijevanje nekadašnjih stanja i procesa pomaže u određivanju prvotnog uzroka degradacije, ali i definiranju željenog referentnog stanja obnove (Beechie i dr., 2010). Stoga se veliki broj radova bavi istraživanjem geomorfoloških promjena riječnih korita uz pomoć povijesnih izvora podataka, pogotovo povijesnih karata, aerofotogrametrijskih te satelitskih snimaka (Swanson i dr., 2011; Magliulo i dr., 2013, 2016; Bizzi i dr., 2016; David i dr., 2016). U većini radova se promjene korita analiziraju mjerenjem određenih geomorfoloških parametara, primjerice širine korita, pojavnosti otoka i sprudova, zavojitosti rijeke, ili rasprostranjenosti određenih tipova korita (isprepletano, meandrirajuće, jednostavno) u istraživanom segmentu rijeke. Usporedbom rezultata iz različitih razdoblja računa se ukupna količina morfoloških promjena i definiraju se različite faze u evoluciji korita. Neka istraživanja uključuju i detaljno terensko istraživanje te analizu sedimentata i stope erozije, odnosno sedimentacije (Boix-Fayos i dr., 2007; Keesstra, 2007; Provansal i dr., 2014).

U domaćoj literaturi, geomorfološke promjene korita dosad su istraživane na Dravi (Bognar, 2008; Kiss i András, 2017) i Muri (Šafarek 2012; Tóth i dr., 2013), nizinskim rijekama koje su bitno izmijenjene zbog izgradnje hidroenergetskih i/ili hidrotehničkih objekata. U radovima su kao izvor podataka korištene povijesne topografske i katastarske karte te suvremene ortofoto-snimke, pomoću kojih je provedeno kartiranje i digitaliziranje korita i riječnih otoka. Bognar (2008) je osim geomorfoloških obilježja, detaljnije istražio stupanj razvijenosti meandara i promjene duljine korita. U ostalim radovima autori opisuju osnovna morfološka obilježja i dislokaciju korita (Šafarek 2012; Tóth i dr., 2013), ili mjere promjene širine korita i pojavnost otoka (Kiss i András, 2017). Također, posljedice izgradnje brojnih hidrotehničkih objekata na morfološko stanje tekućica u porječju Ilove istražili su Plantak i

dr. (2016). Evoluciju ušća Dragonje, Mirne i Raše u posljednjih dvjestotinjak godina uz pomoć povijesnih kartografskih izvora godina opisali su Benac i dr. (2017).

U porječju Cetine, najduže rijeke srednje Dalmacije, izgrađeno je čak pet hidroelektrana, koje su 2015. godine proizvele 34% od ukupne proizvodnje električne energije u Hrvatskoj (HEP, n.d.). Upravo zbog velikog potencijala za hidroenergetsko iskorištavanje, već sredinom 20. stoljeća obavljena su vrlo detaljna hidrogeološka i hidrološka istraživanja porječja (Srebrenović, 1963). Od relativno novijih radova koji proučavaju promjene u hidrološkom režimu treba izdvojiti radove Bonacci i Roje-Bonacci (2000, 2001, 2003) te Bonacci i dr. (2016). Geomorfološka i hidrološka obilježja porječja Cetine detaljno je opisao Baučić (1967). Osim pregleda reljefnih cjelina i oblika, autor je opisao i složeno kretanje vode u krškom podzemlju. Međutim, novijih geomorfoloških istraživanja na području porječja Cetine nema, barem prema dostupnoj literaturi. Iako je izgradnja hidroenergetskih objekata značajno izmijenila prirodno stanje, promjene korita rijeke Cetine dosad nisu bile predmet geomorfoloških istraživanja. Bonacci i Roje-Bonacci (2001) kao glavni razlog nepostojanja detaljne procjene ekoloških promjena u dolini Cetine navode nedostupnost izvora podataka prije izgradnje hidroelektrana. Naime, aerofotogrametrijske snimke iz pedesetih i šezdesetih godina prošlog stoljeća dugo su bile nedostupne javnosti te su tek nedavno digitalizirane.

Cilj je ovoga rada istražiti geomorfološke promjene korita rijeke Cetine od kraja 19. stoljeća do danas. Fluvijalni reljefni oblici digitalizirani su uz pomoć povijesnih topografskih karata, arhivskih aerofotogrametrijskih snimaka i suvremenih ortofoto-karata. Usporedbom njihove veličine i brojnosti utvrđena je količina i intenzitet nastalih promjena. Rezultati istraživanja razmotreni su u kontekstu prirodnih i antropogenih čimbenika promjena.

Iz navedenih ciljeva i na temelju dosadašnjeg poznavanja problematike, mogu se postaviti sljedeće hipoteze:

1. Geomorfološka obilježja korita rijeke Cetine vidljivo su se promijenila od kraja 19. stoljeća do danas.
2. Najveće promjene dogodile su se zbog izgradnje hidroenergetskih i hidrotehničkih zahvata nakon šezdesetih godina 20. stoljeća.
3. Različita geomorfološka i hidrološka obilježja riječne doline utječu na veličinu promjene u pojedinim segmentima rijeke.

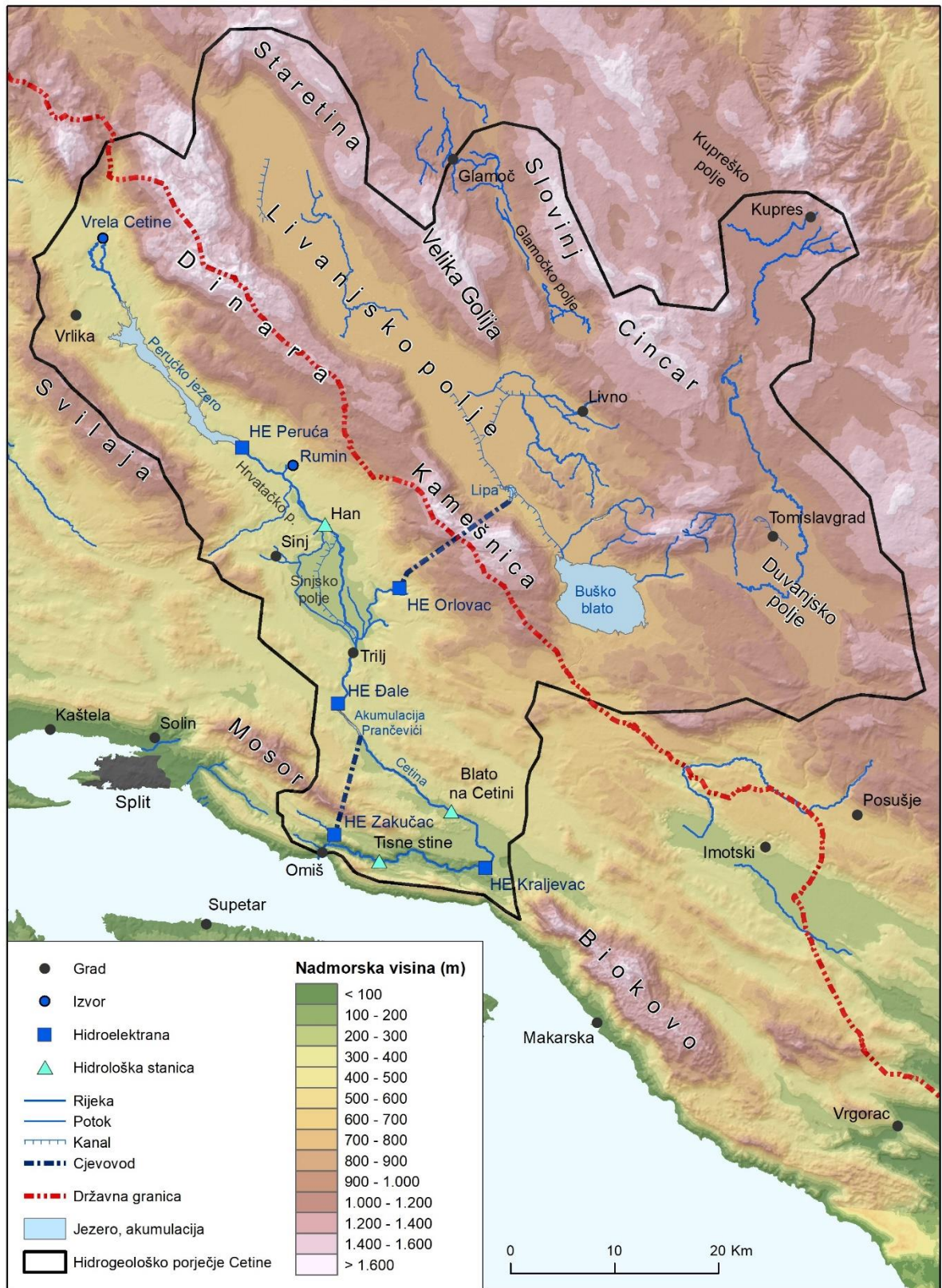
## **2. Područje istraživanja**

Rijeka Cetina tipična je tekućica dinarskog krša. Izvire u Cetinskom polju podno Dinare, a ulijeva se u Jadransko more kod Omiša. Ukupna duljina riječnog toka, izmjerena na temelju digitaliziranog korita u programu ArcMap 10.3.1. s ortofoto-karte iz 2017. godine, iznosi 105 kilometara. No, veličinu njenog porječja nije moguće u cijelosti pouzdano utvrditi usprkos brojnim dosadašnjim istraživanjima. Budući da se krški reljef razvija na vodopropusnim stijenama, jedna od njegovih glavnih karakteristika jest siromaštvo površinskih vodotoka i bogatstvo vode u podzemlju. Prema tome, za krška je područja tipično da se površinska (topografska) razvodnica ne poklapa s onom podzemnom (hidrogeološkom). Hidrogeološko porječje obuhvaća područje s kojega vode podzemno otječu prema vodenom toku. S druge strane, topografsko, ili orografsko porječje je uvjetovano morfologijom područja, odnosno linijom koja spaja točke najveće nadmorske visine i na taj način određuje drenažno područje nekog vodenog toka. Hidrogeološko porječje često je puno veće od topografskog te je njegovu veličinu gotovo nemoguće točno odrediti. Srećom, porječje Cetine je relativno detaljno istraženo jer je u njemu izgrađeno čak pet hidroelektrana. Korištenjem različitih metoda procijenjeno je da se veći dio porječja nalazi u Bosni i Hercegovini (sl. 1) te da njegova ukupna površina iznosi između 3700 i 4300 km<sup>2</sup> (Bonacci i Roje-Bonacci, 2000). Vodotoci Livanjskog i Duvanjskog te dijelom Glamočkog i Kupreškog polja podzemnim se putem odvodnjavaju prema Cetini. Dakle, kompleksnost kretanja vode u kršu glavna je odrednica hidroloških obilježja rijeke Cetine.

U ovome je radu u pregledu prirodnih obilježja ukratko opisano cjelokupno (hidrogeološko) porječje, no zbog njegove je veličine, a i užeg područja istraživanja koje obuhvaća dolinu rijeke Cetine, detaljnije obrađeno topografsko porječje koje se nalazi u Hrvatskoj.

### **2.1. Geološko-geomorfološka obilježja**

Porječje Cetine nalazi se u Dinarskom gorskom sustavu, koji je oblikovan Alpskom orogenezom. Kolizija Jadranske i Europske ploče počela je u kasnoj kredi te je dosegula vrhunac u oligocenu i miocenu, što je rezultiralo uzdizanjem planinskog lanca Dinarida (Velić i dr., 2006, prema Bognar i dr., 2012). Područje je većinom izgrađeno od karbonatih naslaga iz razdoblja trijasa, jure i krede. Djelomično se javljaju i klastične naslage trijasa i tercijara. Kvartarni sedimenti pokrivaju velike površine u poljima u kršu koja Cetina prirodno plavi (sl. 2).



Sl. 1. Hidrogeološko porječje Cetine određeno prema Provedbenom planu obrane od poplava (2014)

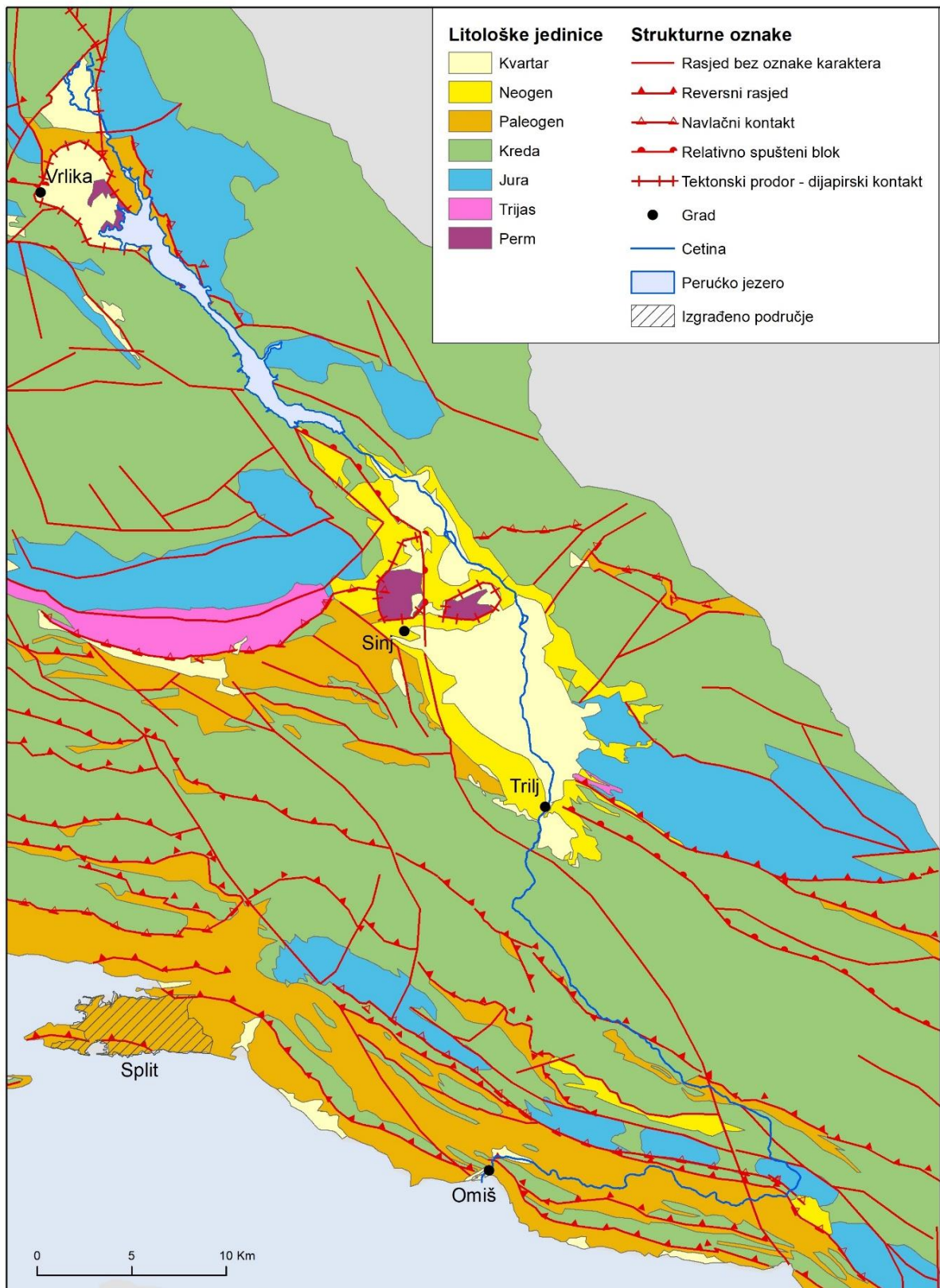
Izvor: prema OSM i EU-DEM

U istraživanju geoloških obilježja porječja, litološke karakteristike stijena važne su ponajprije u vidu vodopropusnosti. Vapnenačke naslage su vodopropusne, što znači da se voda difuzno ili putem pukotina procjeđuje u podzemlje. Budući da je najveći dio porječja građen od vapnenaca, na njemu nema površinskih tokova, osim povremenih bujica koje se javljaju nakon jakih pljuskova. Trijaski i jurski dolomiti predstavljaju nepotpune barijere u porječju, dok trijaski klastiti, eocenski fliš te neogenske i kvartarne naslage predstavljaju potpune barijere na kojima se razvijaju vodotoci.

Osim litologije, za kretanje vode u kršu iznimno su bitna i strukturna obilježja područja. Budući da je nastanak šireg područja vezan uz Alpsku orogenezu, cijelo je porječje bilo pod utjecajem snažnih tektonskih pokreta. Veliki rasjedi i pukotine protežu se u smjeru sjeverozapad-jugoistok, a postoje i manje pukotine okomite na glavni smjer pružanja (sl. 2). Sustav pukotina omogućuje kretanje vode u podzemlju i određuje hidrogeološko porječje Cetine (Bonacci i Roje-Bonacci, 2000).

Prema geomorfološkoj regionalizaciji Hrvatske (Bognar, 2001; Bognar i dr. 2012), istraživano područje pripada dvjema makrogeomorfološkim regijama: Gorskoj Hrvatskoj i Centralnoj Dalmaciji s arhipelagom. Na razini mezoregija, gornji dio porječja Cetine pripada Gorsko-zavalskom području Sjeverozapadne Dalmacije, srednji dio Brdsko-zaravansko-zavalskom području Centralne Dalmacije, a donji dio Gorskom hrbatu Mosora s podgorjem i gredama Kozjaka i Omiške Dinare s pobrdima.

Glavne reljefne cjeline u porječju Cetine prema Baučiću (1967) su krške planine, zaravni, polja u kršu te vododrživa pobrđa (flišne zone). Planinsko područje zauzima najveći dio porječja (58,4%). Planine su uglavnom građene od krednih i jurskih vapnenaca, rjeđe dolomita, te imaju karakterističan dinarski smjer pružanja sjeverozapad-jugoistok. U Hrvatskoj se izdvajaju Svilaja (1580 m), Dinara (1913 m) i Kamešnica (1856 m). Dinara dijeli porječje Cetine u dva osnovna dijela prema hipsometrijskim obilježjima: zapadno, koje se nalazi u Hrvatskoj (250-550 m) i ono istočno koje se nalazi u Bosni i Hercegovini (800-1200 m) (Bonacci i Roje-Bonacci, 2000). U Bosni i Hercegovini se izdvajaju Slovinj (1834 m), Cincar (2026 m), Velika Golija (1890 m) i Staretina (1633 m).



Sl. 2. Geološka karta šireg područja toka rijeke Cetine

Izvori: prema OGK 1:100.000; Marinčić i dr., 1971. (list Split), Marinčić i dr., 1976. (list Omiš), Ivanović i dr., 1977 (list Drniš), Papeš i dr., 1982 (list Sinj); GK 1:300.000, HGI; OSM

Navedene planine razdvajaju polja u kršu, koja zauzimaju 18,7% površine porječja Cetine (Baučić, 1967). Polja u kršu su poligenetski oblici u čijem formiranju važnu ulogu ima tektonika (Faivre, 2002). U porječju Cetine nalazi se nekoliko polja, a najveća su Livanjsko, Duvanjsko, Glamočko i Kupreško polje u Bosni i Hercegovini, te Sinjsko, Hrvatačko, Cetinsko-Paško i Vrličko polje u Hrvatskoj. Polja jugozapadne Bosne nalaze se u krškim sinklinalnim paleodepresijama, dok su polja gornjeg toka Cetine u rasjednoj antiklinalnoj strukturi. Dna polja su prekrivena vododrživim neogenskim laporima te kvartarnim aluvijalnim i barskim sedimentima. Prema krajevima polja i većim nadmorskim visinama te naslage prelaze u neogenske lapore, vapnence i konglomerate te paleogenske promina naslage. Podlogu kvartarnim sedimentima u južnim dijelovima Glamočkog i Kupreškog polja te Buškog blata čini krška zaravan. Najčešća tla su smeđa karbonatna tla, a u područjima povremenog plavljenja hidrogena tla (Baučić, 1967). Takvi pedološki uvjeti na kršu predstavljaju iznimnu važnost za poljoprivredno iskorištavanje.

Izvorišno područje Cetine formiralo se na kontaktu vodonepropusnih kvartarnih lapora i krednih vapnenaca uz rub Cetinskog polja podno Dinare (sl. 3, A). Od niza krških vrela najvažnija su tri: Veliko vrilo (Milaševo jezero ili Glavaš), Vukovića vrilo i Batića vrilo. Veliko vrilo nalazi se na 380 metara nadmorske visine te ustvari predstavlja potopljen speleološki objekt koji je dosad istražen do 150 metara dubine (Zwicker i dr., 2008). Zbog svoje iznimne ljepote i vrijednosti, vrela Cetine su zaštićena kao hidrološki spomenik prirode od 1972. godine.

Krške zaravni čine 15,6% porječja (Baučić, 1967). Većinom se nalaze na vapnencima te je na njima dobro razvijen krški reljef s mnogobrojnim oblicima. Okružene su planinama, a kontinuirani pojas zaravni otvoren je jedino u produžetku izvorišnih krakova Cetine (Kijevska zaravan) i ušća (Zadvarska zaravan). Korito Cetine usječeno je u zaravni, što znači da su zaravni starije od doline Cetine te da sadašnja dolina rijeke predstavlja najniži dio povezanog reljefnog udubljenja na zaravnima i poljima u vrijeme početka razvoja doline (Baučić, 1967).

Vododrživa pobrđa i padine, odnosno flišne zone, čine 7,3% porječja (Baučić, 1967). Najveća flišna zona nalazi se u donjem toku Cetine između Mosora, Zadvarske zaravni i Omiške Dinare. Unutar ovog jedinstvenog flišnog pojasa, koji je mjestimično širok i više od 3 km, izbija nekoliko odvojenih zona krednih i paleogenskih vapnenaca u obliku oštro izdvojenih bila.



Sl. 3. Geomorfološki različiti dijelovi doline Cetine: A) Veliko vrilo, B) Perućko jezero, C) Sinjsko polje, D) nizvodno od brane Prančevići, E) slapovi Velika i Mala Gubavica, F) probojnica i ušće kod Omiša

Izvori: A) youtube.com, B) panoramio.com, C) agroklub.com, D) wikipedia.org, E) tripadvisor.de, F) visitomis.hr

Na tim je mjestima Cetina usjekla kraće kanjone, dok su najširi dijelovi doline oblikovani u flišu i aluvijalnim naslagama. Flišne naslage nastale su u srednjem eocenu, a sastoje se od lapora, pješčenjaka i vapnenaca (Marinčić i dr., 1976). Njihovo glavno obilježje je vododrživost, iako je dokazano da i kroz flišne naslage mogu teći izdvojeni podzemni tokovi jer se koriste pukotinama u pješčenjacima, vapnencima ili brečama. Vode koje kroz vapnence teku razgranatom mrežom odvojenih pukotina dijelom izbijaju na površinu kad



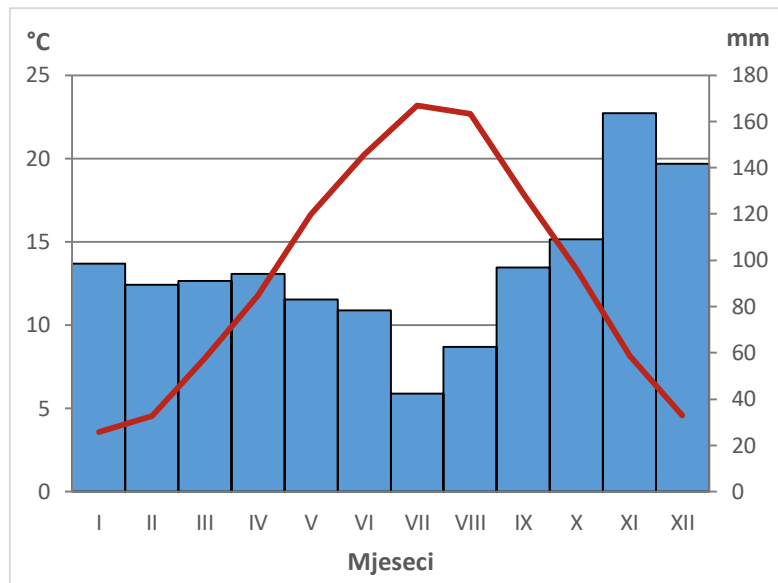
nađu na fliš, a dijelom podzemno otječu kroz flišne stijene (Baučić, 1967). Primjer su izvori Studenci koji se nalaze na kontaktu fliša i Zadvarske zaravni.

Važno obilježje toka Cetine su kanjoni. Najduži kanjoni se nalaze između Trilja i dolinskog proširenja kod Blata na Cetini (20 km), i od Blata na Cetini do Zadvarja (7,7 km). Prvi kanjon je usječen u kredne vapnence te se povremeno javljaju proširenja s bogatim akumulacijama. Drugi je kanjon usječen u kredne i jurske vapnence te je puno homogeniji i strmiji, a dubina iznosi preko pedeset metara. Rasjedne zone između slojeva uzrokovale su oštro laktasto skretanje toka. Na izlasku iz kanjona, na kontaktu između krednih vapnenaca i eocenskog fliša, nalaze se slapovi Velika Gubavica (49 m) i Mala Gubavica (7 m) (sl. 3, E).

U skladu s gore navedenim geomorfološkim obilježjima, Baučić (1967) dolinu Cetine dijeli na tri dijela: kompozitnu dolinu gornjeg toka koja prolazi kroz polja u kršu i kanjone oblikovane u karbonatima, kanjonski srednji tok koji je oblikovan u vapnencima te flišnu dolinu s tri kraća kanjonska segmenta u vapnencima.

## **2.2. Klimatska obilježja**

Porječje rijeke Cetine nalazi se pod utjecajem dvaju različitih tipova klime: sredozemne i kontinentalne. Iako se nalazi u neposrednoj blizini Jadranskog mora, porječje Cetine je od njega odvojeno planinama višim od 1500 m, koje zaustavljaju prodor toplog sredozemnog zraka dalje u unutrašnjost. Stoga je sredozemna klima (Csa) zastupljena samo uz uski obalni pojas, a karakteriziraju ju duga, vruća i suha ljeta te blage i vlažne zime. S druge strane, kontinentalnu klimu zaleđa karakteriziraju kratka i topla ljeta, hladnije zime, te vlažna razdoblja u proljeće i jesen. Prema Köppenovoj klasifikaciji, najveći dio hrvatskog porječja Cetine pripada Cfa tipu klime, odnosno umjereno toploj vlažnoj klimi s vrućim ljetima (Filipčić, 1998). Na meteorološkoj postaji Sinj, srednje srpanjske temperature redovito prelaze 22°C, a zimske temperature nisu niže od nule (sl. 4). Padalinski režim je maritimni, što znači da najviše padalina ima tijekom hladnog dijela godine. Prosječna godišnja količina padalina je u razdoblju od 1981. do 2010. godine iznosila 1150 mm, prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ). Ta vrijednost je iznad prosjeka za sredozemnu klimu. Prema tome, dalmatinsko zaleđe nije bitno hladnije od obale, ali je značajno vlažnije (Filipčić, 1998). Planine u zaleđu imaju Cfb klimu (umjereno toplu vlažnu klimu s toplim ljetima), zbog utjecaja nadmorske visine na porast vlažnosti i snižavanje temperature. Taj tip klime se proteže i u unutrašnjosti Bosne i Hercegovine na području hidrogeološkog porječja Cetine (Bonacci i Roje-Bonacci, 2000).



Sl. 4. Godišnji hod temperature i padalina u Sinju u razdoblju 1981.-2010.

Izvor: DHMZ

Vrlo bitan klimatski faktor porječja je njegov geografski položaj. Iako se porječje većinom nalazi u krškoj unutrašnjosti, udaljenost do mora nije velika, zbog čega često dolazi do miješanja maritimnih i kontinentalnih utjecaja. Sa zapada, a posebno s jugozapada često prodiru vlažne zračne mase koje donose obilne padaline. Izmjena vlažnih i suhih te toplih i hladnih zračnih masa utječe na složenost klimatskih obilježja ovog područja. Međutim, s povećanjem udaljenosti od mora slabi i njegov utjecaj. Istočni dijelovi porječja, koji se ujedno nalaze i na višoj nadmorskoj visini, imaju u prosjeku 5 do 6 °C nižu temperaturu od zapadnog, tj. hrvatskog dijela porječja (Bonacci i Roje-Bonacci, 2000).

Zbog velike raščlanjenosti reljefa, razlike u padalinskom režimu značajne su čak i na manjim udaljenostima. Metodom Thiessenovih poligona Bonacci i Roje-Bonacci (2000) izračunali su da prosječna godišnja količina padalina u cijelom porječju iznosi 1380 mm. Najveća količina padalina zabilježena je između listopada i prosinca (34%), a najmanja tijekom ljetnih mjeseci. Vlažne zime uzrokuju poplave u poljima u kršu, koje ponekad traju i do svibnja. Važno je napomenuti da na padalinski režim porječja utječe i snijeg koji često zimi prekriva područja iznad 1000 m nadmorske visine (Bonacci i Roje-Bonacci, 2000).

### 2.3. Hidrološka obilježja

Prirodni režim otjecanja rijeke Cetine bitno je izmijenjen izgradnjom hidroenergetskih objekata i akumulacija u drugoj polovici 20. stoljeća. Zbog toga je potrebno prvo opisati sve zahvate kako bi se mogle objasniti nastale hidrološke promjene.

Bogatstvo vode i veliki pad čine rijeku Cetinu izuzetno povoljnom za hidroenergetsko iskorištavanje. Prva, i danas najmanja hidroelektrana Kraljevac izgrađena je 1912. godine (tab. 1). Hidroelektrana koristi pad slapova Velike i Male Gubavice. Iako je prvotni instalirani protok iznosio 80 m<sup>3</sup>/s, zbog izgradnje ostalih hidroelektrana danas srednji protok iznosi samo 5 m<sup>3</sup>/s. Za potrebe HE Peruća, 1958. godine je potopljena riječna dolina u duljini od otprilike 20 km kako bi se stvorila akumulacija. Perućko jezero je danas treće najveće jezero u Hrvatskoj s površinom od 16,7 km<sup>2</sup> i zapremninom od 0,541 km<sup>3</sup>. Osim proizvodnje električne energije, HE Peruća je bitan faktor u obrani od poplava Hrvatačkog i Sinjskog polja. Najveće promjene izazvala je izgradnja HE Zakućac, najveće hrvatske hidroelektrane. Nizvodno od Trilja 1961. godine izgrađena je brana i stvorena akumulacija Prančevići, iz koje se voda podzemnim cjevovodima preusmjerava u postrojenje HE Zakućac (sl. 1). Nizvodno od brane bi se trebao ispuštati dogovoreni protok od najmanje 8 m<sup>3</sup>/s, što predstavlja biološki minimum<sup>1</sup>.

Tab.1. Osnovni podaci o hidroelektranama u porječju Cetine

Naziv hidroelektrane	Godina početka rada	Instalirani protok (m <sup>3</sup> /s)	Ukupna snaga (MW)	Prosječna proizvodnja energije (Gwh/god)	Korisna zapremnina akumulacije (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Kraljevac	1912.	55	46,4	40	0,1
Peruća	1960.	120	60	120	503
Zakućac	1962.*	120			
	1980.**	220	486	1640	4,4
Orlovac	1973.	70	237	440	782
Đale	1989.	220	40,8	157	2,6

\*prvi cjevovod, \*\* drugi cjevovod

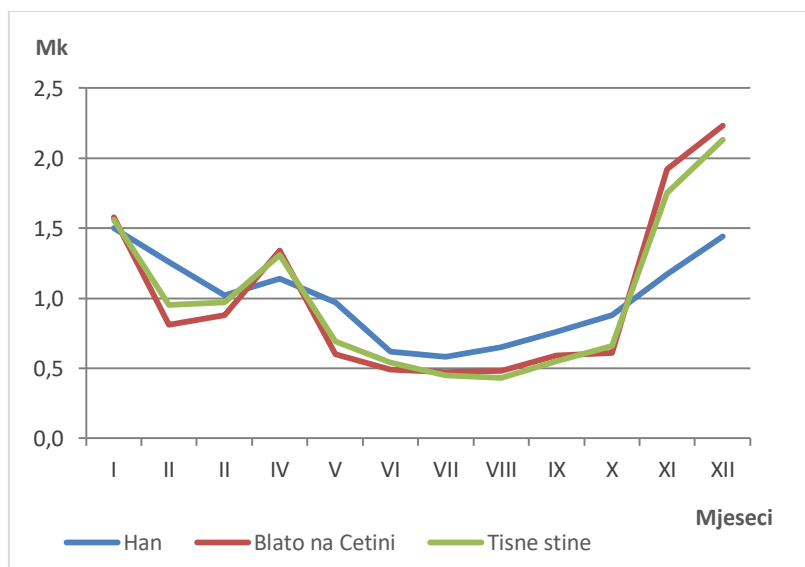
Izvori: HEP proizvodnja; Bonacci i Roje-Bonacci (2001)

Najveća umjetna akumulacija u porječju Cetine je Buško blato u susjednoj Bosni i Hercegovini. Voda se otvorenim kanalom dovodi do kompenzacijskog bazena Lipa, a zatim

<sup>1</sup> Biološki minimum je ona količina protoka koja se u tijeku godine mora ostaviti u vodotoku da bi se omogućio život organizama u rijeci (Štambuk-Giljanović, 2002).

podzemnim cjevovodom do HE Orlovac odakle pritokom Rudom otječe u Cetinu. Najmlađa hidroelektrana Đale izgrađena je 1989. godine, a uzvodno od nje i istoimena akumulacija. Također, voda rijeke Cetine koristi se za vodoopskrbu Omiša, Makarskog primorja i srednjodalmatinskih otoka.

Analizom hidroloških stanica Blato na Cetini i Tisne stine utvrđeno je da Cetina prirodno pripada sredozemnom kišno-snježnom režimu (Čanjevac, 2013). To je složeni protočni režim s pojavom dva maksimuma i dva minimuma tijekom godine (sl. 5). Primarni maksimum javlja se u prosincu, a sekundarni u travnju, dok se primarni minimum javlja ljeti, a sekundarni u rano proljeće. Takav režim posljedica je maritimnog utjecaja Csa i Cfa klima u dolini rijeke, te Cfb i D klima na području njenog prihranjivanja u gorskom prostoru Bosne i Hercegovine. Zbog hidrotehničkih zahvata hidrološki režim stanice Han je znatno izmijenjen te se Cetina u tom dijelu toka može smatrati *rijekom s antropogeno znatno izmijenjenim režimom* (Čanjevac, 2013).

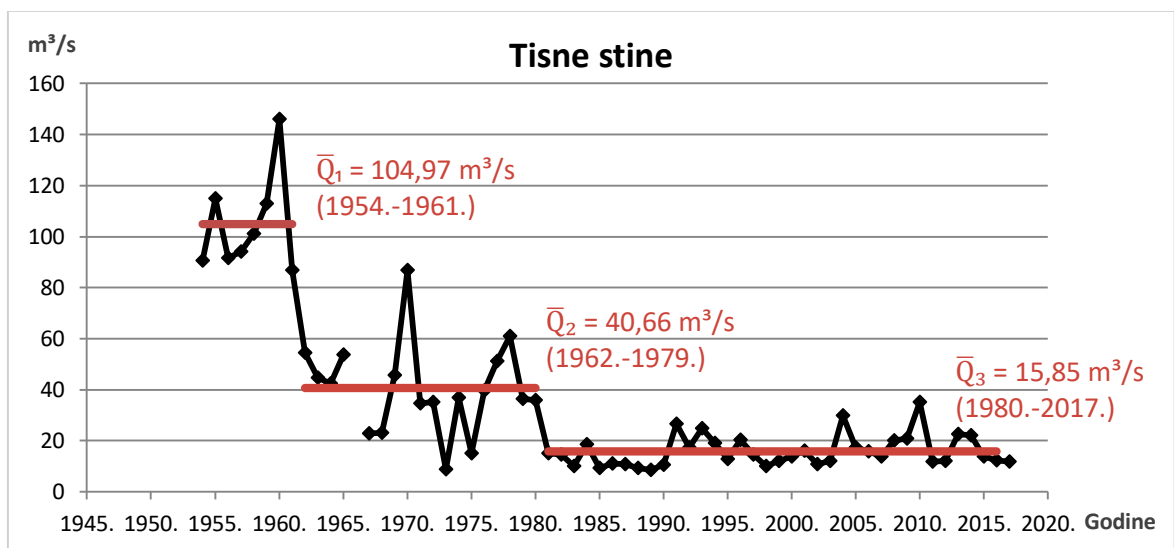
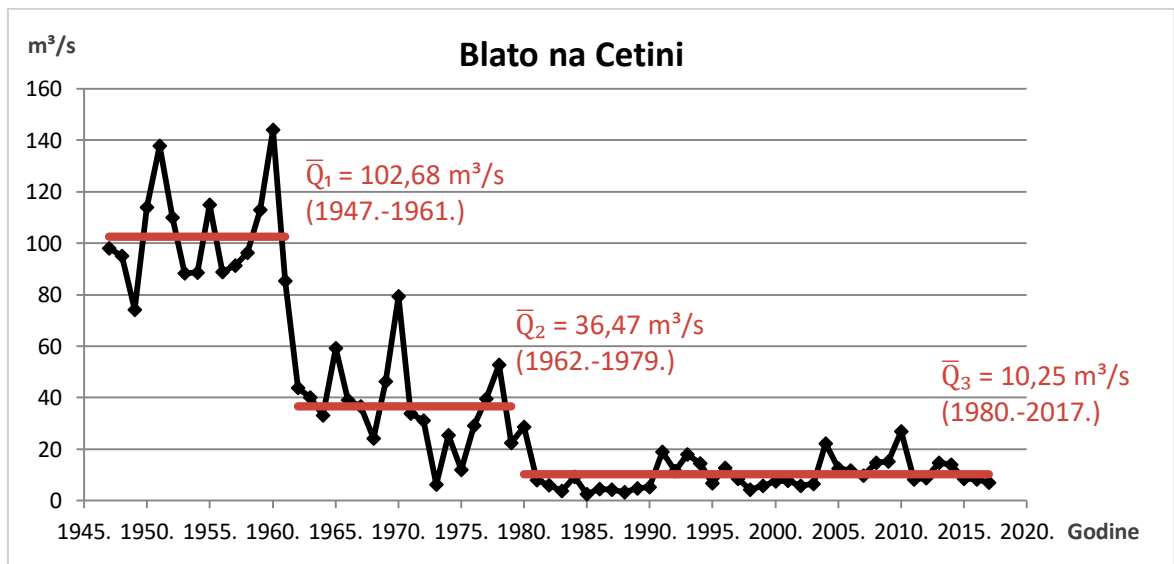
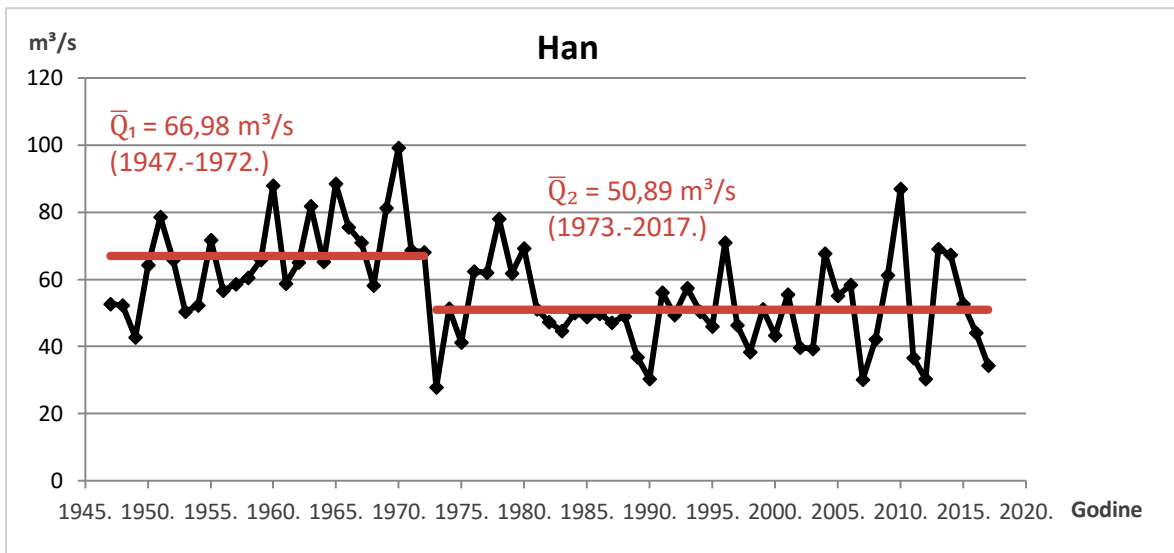


Sl. 5. Hidrološki režim Cetine na odabranim hidrološkim stanicama u razdoblju 1990.-2009.<sup>2</sup>

Izvor: prema podacima iz Čanjevac (2013)

Rad HE Peruća utjecao je na ujednačavanje vodnog režima tijekom godine na stanici Han, tj. povećanje ljetnih minimuma i smanjenje zimskih maksimuma protoka (sl. 5). Što se tiče srednjih godišnjih protoka, HE Peruća nije imala veći utjecaj. No, može se primijetiti smanjenje protoka nakon izgradnje akumulacije Buško blato i HE Orlovac (sl. 6).

<sup>2</sup> Mk – modulni koeficijent, računa se kao kvocijent srednjeg mjesečnog protoka i srednjeg godišnjeg protoka



Sl. 6. Nizovi srednjih godišnjih protoka na odabranim hidrološkim stanicama na Cetini

Izvori: DHMZ; Bonacci i Roje-Bonacci (2001)

Pretpostavlja se da je upravo izgradnja tih hidroenergetskih objekata promijenila odnose i kretanja vode u podzemlju. Primjerice, na izvorima Veliki i Mali Rumin, važnim pritokama Cetine, izmjereni su smanjeni godišnji protoci (Bonacci i dr., 2016). Međutim, taj pad vjerojatno treba pripisati i relativno sušnom razdoblju koje je zabilježeno na širem području od 1980. do 1990. godine (Bonacci i Roje-Bonacci, 2001). Velike promjene u vrijednostima srednjih godišnjih protoka zabilježene su na hidrološkim stanicama nizvodno od brane Prančevići (sl. 6). Ako se usporede razdoblja prije te nakon izgradnje prvog i drugog cjevovoda HE Zakučac, protok se na stanici Blato na Cetini prvo smanjio za 64%, a potom za 90%. Na stanici Tisne stine, protok se nakon otvaranja prvog cjevovoda smanjio za 61%, a nakon otvaranja drugog za 85%. Također je važno naglasiti da se ugovoreni biološki minimum nimalo ne poštuje. Na stanici Blato na Cetini, srednji mjesečni protok je u razdoblju između 1980. i 1997. godine 81% vremena iznosio manje od ugovorenih 8 m<sup>3</sup>/s (Bonacci i Roje-Bonacci, 2001).

#### **2.4. Društveno-geografska obilježja**

Voda predstavlja vrlo važan faktor naseljavanja, pogotovo u vodom siromašnim, krškim područjima. Stoga dolina Cetine predstavlja jezgru naseljenosti Dalmatinske zagore još od prapovijesti. Bogata arheološka nalazišta, srednjovjekovne utvrde i crkvice te brojni mlinovi govore nam o dugoj povijesti ljudskog djelovanja (Borković, 1982).

Međutim, Dalmatinska zagora je oduvijek bila rijetko naseljen i gospodarski slabije razvijen kraj zbog primarno nepovoljnih prirodno-geografskih obilježja. Nedostatak vode i neplodnost tla u kršu onemogućavala je razvoj brojnih djelatnosti pa se stoga na višim područjima primarno razvilo stočarstvo, koje je ostalo dominantna djelatnost do sredine 20. stoljeća. Povoljna klima je pospješila razvoj relativno bujne listopadne vegetacije čija je drvena građa u prošlosti intenzivno iscrpljivana za ogrjev. Šume su se sjekle i zbog širenja pašnjaka pa je veći dio Dalmatinske zagore već u 19. stoljeću postao preopterećen i „škrt“ te se razvio tip ogoljelog krša. S druge strane, plodna polja u kršu oduvijek privlače stanovništvo te se u njima razvilo ratarstvo, povrtlarstvo i voćarstvo, a nakon 50-ih godina i industrija (Šimunović, 2011). Veća naselja u dolini Cetine razvila su se upravo u Sinjskom polju, a to su Sinj (24.826) i Trilj (9.109). Na ušću Cetine razvio se grad Omiš (14.936), koji je sredinom 20. stoljeća bio jak gospodarski centar, a danas se sve više okreće turizmu.

Iako je pad broja stanovnika bilježen i u ranijim razdobljima, nakon 2. svjetskog rata područje Zagore zahvaćaju snažni negativni demografski trendovi koji traju i danas (Matas,

2003). Najveću depopulaciju bilježe općine koje se nalaze daleko od većih gradova, poput Cijljana i Vrlike. Teško pogođeno ratnim zbivanjima u devedesetima, područje gornje doline Cetine danas je gotovo potpuno ispražnjeno. Također, poljoprivredna djelatnost se u Dalmaciji smanjuje od početka 20. stoljeća, a najznačajniji pad zabilježen je nakon 2. svjetskog rata. Napredovanje industrije te razvoj turizma doveli su do masovne deagrarizacije (Glamuzina i Glamuzina, 1996; Pavlek i dr., 2017). Prirodne posljedice depopulacije i deagrarizacije prvenstveno su zarastanje poljoprivrednih površina te širenje makije i šumske vegetacije (Furst-Bjeliš i dr., 2011). Vegetacijski pokrov važan je faktor u fluvijalnoj geomorfologiji jer utječe na intenzitet erozije i količinu sedimenta u jarugama i rijekama (Faivre i dr. 2011a, 2011b; Faivre i Mićunović, 2017; Faivre i dr. u tisku).

### **3. Metodologija istraživanja**

#### **3.1. Izvori podataka**

U ovome radu korišteni su slijedeći izvori podataka:

1. topografska karta treće vojne izmjere Austro-Ugarske Monarhije iz druge polovice 19. stoljeća, koja predstavlja relativno prirodno stanje korita Cetine,
2. aerofotogrametrijske snimke iz pedesetih i šezdesetih godina 20. stoljeća, koje prikazuju stanje korita prije izgradnje većine hidroenergetskih objekata,
3. suvremene ortofoto-karte, koje prikazuju današnje stanje.

Korištene karte treće vojne izmjere Austro-Ugarske Monarhije izrađene su u razdoblju od 1869. do 1887. godine u mjerilu od 1:25 000. Karte za područje cijele Monarhije slobodno se mogu pregledavati na portalu Mapire gdje su georeferencirane u koordinatnom sustavu WGS84. Međutim, na portalu nije moguće pronaći detaljnije informacije o metodi georeferenciranja i njihovoj točnosti. Karte su preuzete u TIF (Tagged Image File) formatu bez podataka o koordinatnom sustavu, te su potom georeferencirane u HTRS96 TM sustav pomoću 40 kontrolnih točaka metodom Thin Plate Spline (TPS), koja je ponudila najbolje rezultate. TPS metoda uzima kontrolne točke kao konačne, a prostor između njih je podložan višestrukim deformacijama. Kao referentni sloj je korištena suvremena topografska karta u mjerilu 1:25 000 (TK25). Georeferenciranje je provedeno pomoću programa QGIS 2.18. Točnost je ispitana izračunom srednjeg kvadratnog odstupanja geografskih koordinata kontrolnih točaka (root mean square error, RMSE), metodom koja se često koristi u dostupnoj literaturi (David i dr., 2016; Gašparović i dr., 2018; Hajdukiewicz i Wyzga, 2019).

RMSE se računa prema formuli:

$$\Delta_i = \sqrt{(x_{TK25,i} - x_{AUS,i})^2 + (y_{TK25,i} - y_{AUS,i})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2}{n}} \quad (2)$$

gdje  $x$  i  $y$  označavaju geografske koordinate točke  $i$  izmjerene na TK25 i austro-ugarskoj karti (AUS),  $\Delta_i$  je njihova razlika, a  $n$  označava ukupan broj točaka.

Vrijednost RMSE koju program automatski izračuna za metodu TPS je vrlo mala i nerealna jer se u analizi koriste iste kontrolne točke koje su prethodno korištene u georeferenciranju. Zbog toga je bilo potrebno izabrati novih 40 kontrolnih točaka na kojima je provedena analiza. Izmjerena prosječna greška georeferenciranih karata iznosi 21,3 metara što je prihvatljiva vrijednost s obzirom na vrijeme izrade i kvalitetu izvora. Slične vrijednosti RMSE za karte iz 19. stoljeća navode i drugi radovi koji se bave promjenama riječnog korita (Scorpio i dr., 2015; Zanoni i dr., 2008). Prostorna rezolucija, tj. veličina piksela iznosi približno 2,5 m.

Aerofotogrametrijske snimke iz 1950-ih i 1960-ih godina preuzete su od Državne geodetske uprave (DGU) u TIF formatu i već georeferencirane u HTRS96 TM sustavu. Budući da u tom razdoblju nije postojalo ciklično snimanje prostora cijele države, nije moguće nabaviti snimke za cijelo područje istraživanja iz iste godine. Snimke korištene za analizu promjena korita nastale su 1951., 1952., 1958. i 1960. godine, a u analizi ušća je dodatno korištena snimka iz 1966. godine. Prostorna rezolucija snimaka iznosi od 0,3 do 1 m, a moguća odstupanja iznose između 5 i 10 m, prema navodima DGU-a.

Ortofoto-karte iz 2011., 2014.-2016. i 2017. godine preuzete su preko WMS servisa DGU-a. Digitalizacija korita i fluvijalnih oblika provedena je prvenstveno prema ortofotu iz 2017. godine, dok su ostale dvije karte služile kao nadopuna i provjera. Prostorna rezolucija karata iznosi 0,5 m, a moguća odstupanja iznose do 5 m.

Prema navedenim izvorima određena su tri vremenska razdoblja u istraživanju: prvo od 1869. do 1887. godine, drugo od 1951. do 1960. godine, i treće od 2011. do 2017. godine. Budući da informacije o točnom datumu nastanka aerofotogrametrijskih snimki nisu dostupne, nije ih bilo moguće usporediti s podacima o vodostaju. Međutim, budući da su za veliku većinu istraživanog područja bile dostupne snimke iz više uzastopnih godina, koje su



očito bile snimljene u vrijeme drugačijih vodostaja, smatramo da konačan produkt digitaliziranja vjerodostojno predstavlja prosječno stanje korita u određenim razdobljima.

Za provjeru točnosti digitaliziranja dodatno su korištene Hrvatska osnovna karta (1:5000) i topografska karta (1:25 000) preko WMS servisa DGU-a, te katastarske karte iz 19. stoljeća preko web preglednika Mapire. Hidrološki i meteorološki podaci preuzeti su od Državnog hidrometeorološkog zavoda, a podaci o stanovništvu od Državnog zavoda za statistiku. Za morfometrijske analize i izradu kartografskih prikaza korišten je digitalni model reljefa Europske agencije za okoliš (otvorena licenca), prostorne rezolucije 25 m. U izradi kartografskih priloga također su korišteni prostorni podaci Open Street Map-a (otvorena licenca).

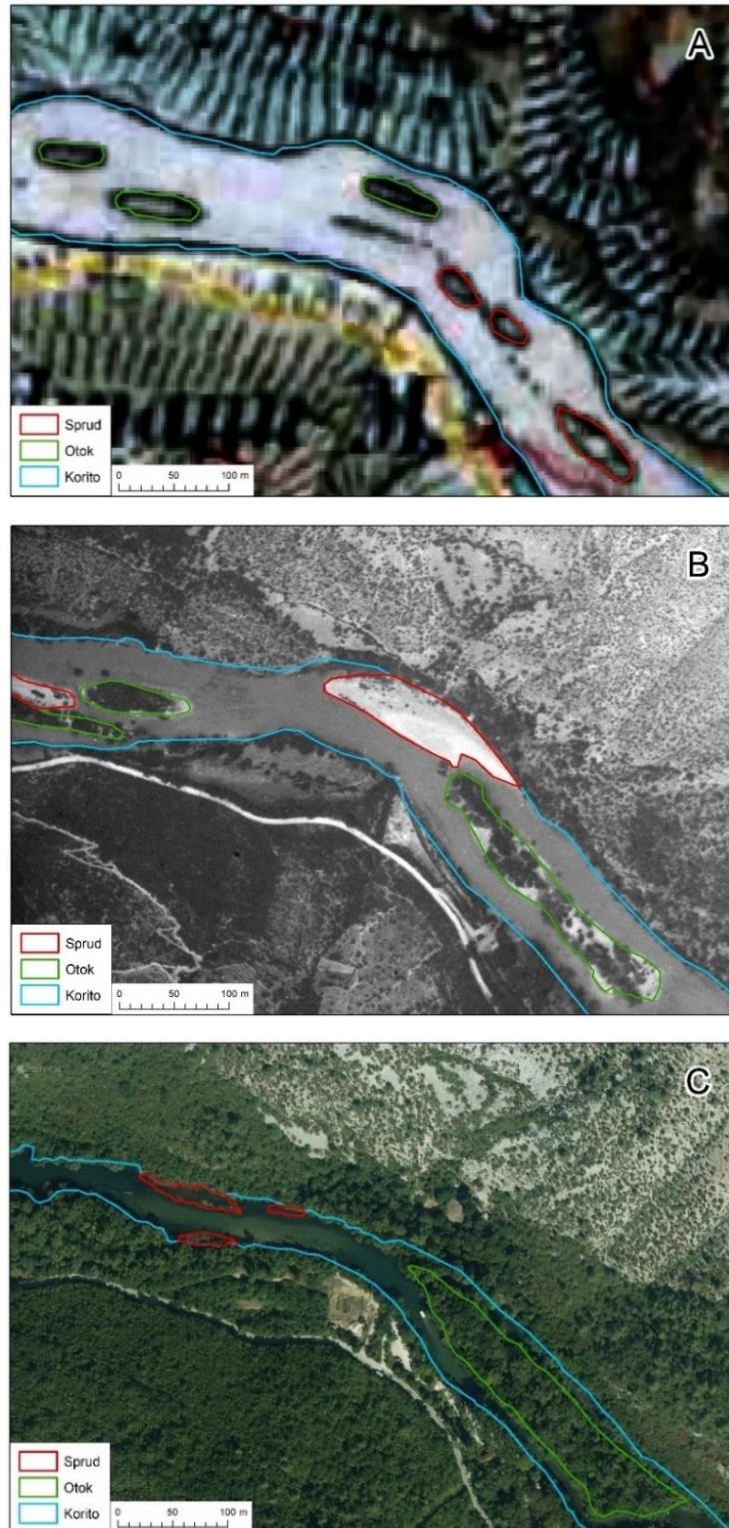
### **3.2. Digitalizacija fluvijalnih reljefnih oblika**

Na temelju gore navedenih izvora podataka izvršena je detaljna digitalizacija korita rijeke Cetine od izvora do ušća u programu ArcMap 10.3.1., u koordinatnom sustavu HTRS96 TM (sl. 7). Digitalizirani su slijedeći fluvijalni oblici:

1. Cjelokupno korito, koje obuhvaća područje između dvije obale rijeke, uključujući sprudove i otoke.
2. Dužobalni i središnji sprudovi, koji predstavljaju svaku akumulaciju sedimenta unutar korita koja nije prekrivena vegetacijom.
3. Otoci, odnosno suhi dijelovi korita okruženi vodom s više od 50% vegetacijskog pokriva. Većinom su akumulacijskog postanka, no u pojedinim dijelovima toka javljaju se i otoci razvijeni na čvrstoj podlozi korita, koji su nastali zbog drastičnog snižavanja vodostaja u vrlo kratkom razdoblju.
4. Mrtvaje, stari dijelovi korita nastali odvajanjem meandara od novog riječnog toka.
5. Sekundarna korita, koja su odijeljena od glavnog korita naplavnom ravnicom ili otocima erozijskog postanka.

U izvorišnom području su dodatno digitalizirana močvarna tj. poplavna područja, a na ušću akumulacija delte zajedno s rukavcima i naplavnom ravnicom. Izuzimanjem otoka iz poligona cjelokupnog korita, dobiven je poligon aktivnog korita rijeke. Aktivno korito dakle obuhvaća dio korita koje je pod vodom zajedno sa sprudovima. U tom su dijelu korita aktivni geomorfološki procesi erozije i taloženja. Naime, pojavnost sprudova predstavlja najjasniju sliku dinamike sedimenata u tekućici (Magliulo i dr., 2013). S druge strane, vegetacijom

prekriveni otoci su ustvari stabilizirani sprudovi. Promjena širine aktivnog korita vrlo je važan pokazatelj u analizama promjena riječnog korita (Swanson i dr., 2011; Magliulo i dr., 2013, 2016; Provansal i dr., 2014).



Sl. 7. Primjeri digitalizacije korita, sprudova i otoka na temelju: A) austro-ugarske karte iz 1869.-1887. godine, B) aerofotogrametrijskog snimka iz 1951. godine, C) ortofoto-karte iz 2017. godine

Digitalizacija austro-ugarskih karata obavljena je u mjerilu 1:3000, a aerofotogrametrijskih snimaka i ortofoto karata u mjerilu 1:1000. Mjerilo je jedna od osnovnih odrednica točnosti digitalizacije, a što je mjerilo krupnije, digitalizacija je detaljnija i točnija (Liro, 2015). Cjelokupno korito je digitalizirano s austro-ugarskih karata bez većih nedoumica u interpretaciji. Međutim, ponekad su postojale nedoumice u distinkciji između otoka s vegetacijom i središnjeg spruda (sl. 7). U tim slučajevima su kao dodatan izvor podataka poslužile katastarske karte na kojima je jasnije prikazan vegetacijski pokrov. S druge strane, iako aerofotogrametrijske snimke i ortofoto-karte predstavljaju puno detaljniji prikaz istraživanog područja, probleme u digitalizaciji su ponekad stvarale sjene i krošnje drveća.

### **3.3. Podjela rijeke na segmente**

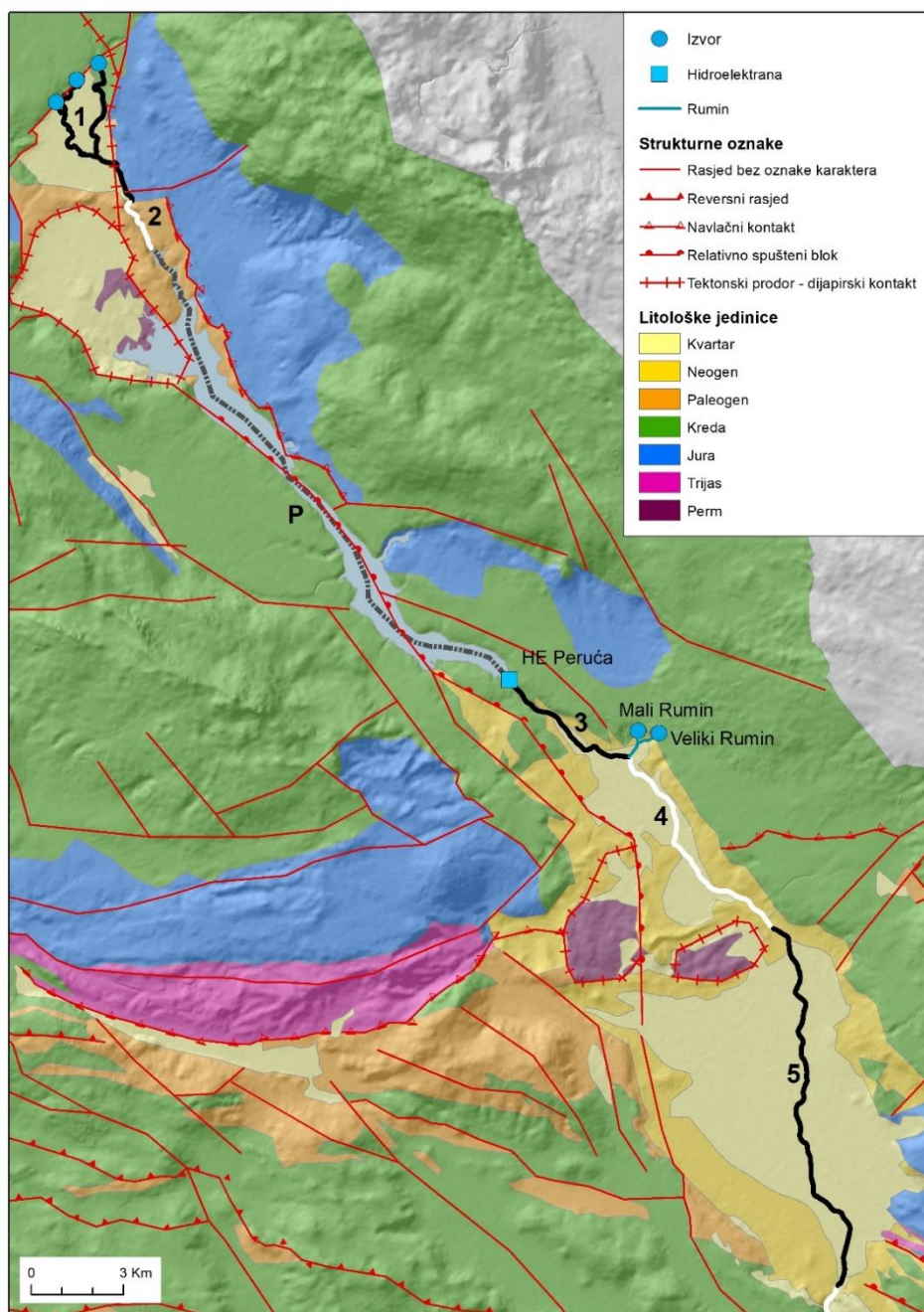
Zbog lakšeg provođenja analize promjena korita, rijeka Cetina je podijeljena na 15 segmenata (sl. 8 i 9). Glavni kriteriji podjele bila su prvenstveno geomorfološka obilježja korita, koja su usko vezana uz geološka obilježja, te hidrološki kriteriji poput pritoka ili izvora.

Prvi segment obuhvaća izvorišno područje rijeke oblikovano u kvartarnim sedimentima podno Dinare. Dva izvorišna kraka paralelno protječu Cetinskim poljem te se nakon otprilike 4 km spajaju u Paškom polju. Tip korita dvaju krakova je jednostavan, no na mjestima njihovog spajanja stvaraju se složena korita anastomotičnog tipa i močvarne zone. Iz Paškog polja rijeka ulazi u kratki kanjon oblikovan u eocenskim promina naslagama te nakon 2 km utječe u Perućko jezero. Taj kratki kanjonski tok čini drugi segment.

Perućko jezero je izdvojeno kao zaseban segment (P) jer predstavlja veliku promjenu u toku Cetine, koja je nastala antropogenim djelovanjem. Obilježja nekadašnje riječne doline i korita opisana su na temelju austro-ugarske karte. Segment je na temelju tih obilježja dodatno podijeljen na kraće podsegmente. Međutim, daljnje analize i usporedbe s kasnijim razdobljima nije bilo moguće provesti zbog nedostupnosti aerofotogrametrijskih snimaka prije izgradnje akumulacije.

Nizvodno od brane Peruća, Cetina dolazi do najvećih proširenja u svom toku: Hrvatačkog i Sinjskog polja. Treći segment se proteže od brane do utoka Rumina, kratkog, ali bogatog vodotoka koji se prihranjuje izvorskim vodama Velikog i Malog Rumina. Četvrti segment se pruža od utoka Rumina do početka Sinjskog polja, nizvodno od Hana. Treći i četvrti segment su morfološki slični jer se oba nalaze u Hrvatačkom polju (sl. 8.). Međutim, korito

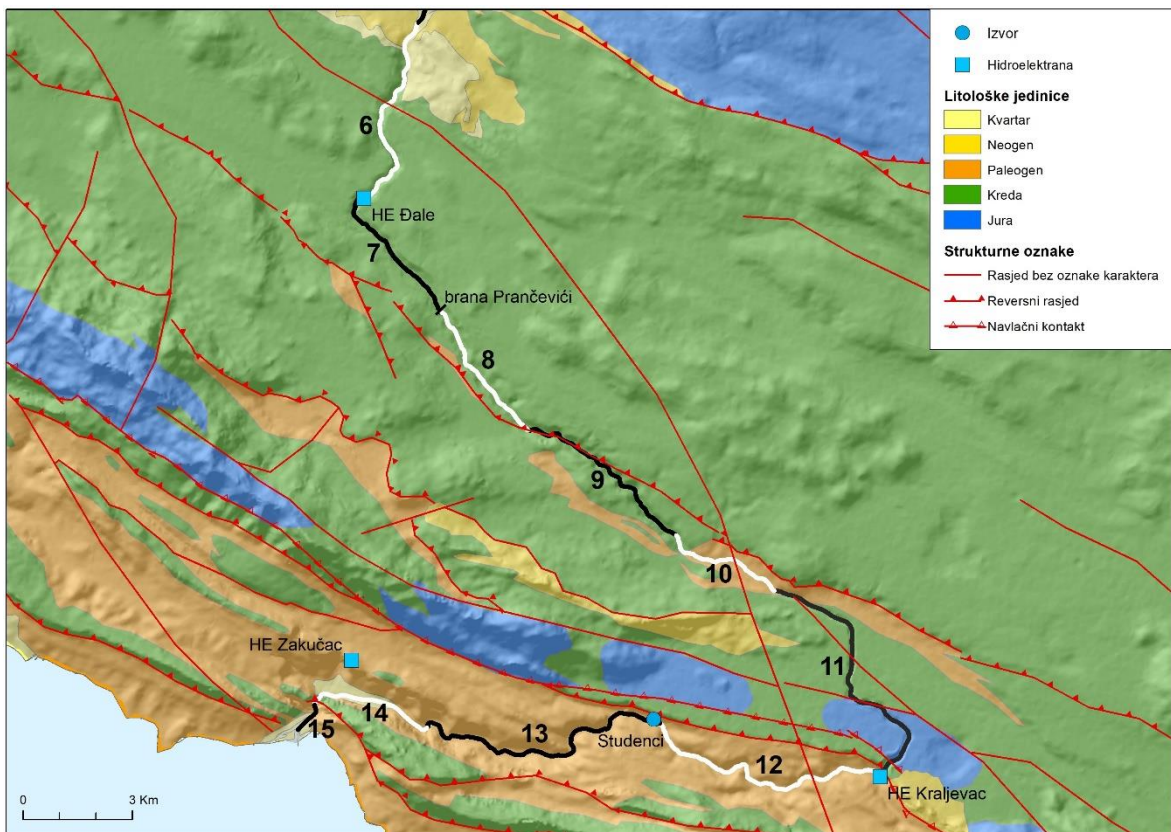
je u trećem segmentu nešto uže jer se nalazi u gornjem, užem dijelu polja, a i zahvaća kraće suženje nizvodno od brane. Nizvodno od Rumina, korito se širi te dolazi do stvaranja sekundarnih korita između otoka erozijskog postanka, odnosno korito iz jednostavnog prelazi u anastomotični tip. Rijeka također prima i dva desna pritoka, Vojskovu i Karakašicu. Peti segment je najdulji, a pruža se cijelom duljinom Sinjskog polja. U tom dijelu toka Cetina poprima obilježja tipične nizinske rijeke s meandrirajućim koritom.



Sl. 8. Podjela rijeke Cetine na segmente (gornji dio toka)

Izvori: prema OGK 1:100.000; Ivanović i dr., 1977 (list Drniš), Marinčić i dr., 1976. (list Omiš), Papeš i dr., 1982 (list Sinj); GK 1:300.000, HGI; EU-DEM

Nakon Trilja Cetina ulazi u kanjonski dio toka oblikovan u krednim vapnencima. Budući da su vapnenci vodopropusni, rijeka u tom dijelu toka ustvari gubi vodu (Bonacci i Roje-Bonacci, 2001). Korito nizvodno od Trilja danas je znatno prošireno zbog stvaranja dviju akumulacija. Šesti segment proteže se do HE Đale, a sedmi do brane Prančevići, koja predstavlja drugi oštar presjek u povezanosti cjelokupnog toka (sl. 9.). Nizvodno od brane rijeka nastavlja teći kanjonom u krednim vapnencima. Korito je u ovom dijelu toka heterogeno. Iako je prvenstveno kanjonskog tipa sa strmim stranama, povremeno se javljaju proširenja s aluvijalnim sedimentima. Granica između osmog i devetog segmenta određena je položajem rasjeda. Iako su segmenti međusobno slični, osmi je segment pravocrtnog pružanja, dok je deveti meandrirajući, što se vjerojatno može povezati s njegovim djelomičnim pružanjem uz rasjednu zonu.



Sl. 9. Podjela rijeke Cetine na segmente (donji dio toka)

Izvori: prema OGK 1:100.000; Marinčić i dr., 1976. (list Omiš); GK 1:300.000, HGI; EU-DEM

Otprilike 10 km nizvodno od brane, Cetina ulazi u dolinsko proširenje oblikovano u eocenskom flišu, koje je određeno kao deseti segment. Korito se širi te se javljaju veće akumulacije sedimenta. Uz rijeku se nalazi naselje Blato na Cetini, čiji toponim slikovito govori o prirodnim obilježjima toga dijela toka. Nakon 3,5 kilometara rijeka ponovno ulazi u strmi kanjon oblikovan u jurskim i krednim vapnencima, koji predstavlja jedanaesti segment. Ovaj kanjonski dio toka je dosta homogen; uzak, strm te dubok preko pedeset metara.

Po izlasku iz kanjona pa do ušća, Cetina stvara dolinu u vodonepropusnom eocenskom flišu. Taj dio toka podijeljen je na dva segmenta, a granicu čine izdašni izvori Studenci. Prema Bonacci i Roje-Bonacci (2001), upravo se iz tih izvora Cetini vraća voda koju je podzemnim putem izgubila u kanjonskom dijelu toka nizvodno od Trilja. Iako su dvanaesti i trinaesti segment morfološki slični, Studenci su izabrani kao granica jer pridonose osjetnom povećanju protoka, a time i različitom intenzitetu geomorfoloških procesa i promjena. Četrnaesti segment nalazi se u dolinskom proširenju oblikovanom u kvartarnim proluvijalnim sedimentima. Rijeka se u ovom dijelu toka dodatno širi te prima vodu iz otpusnog kanala HE Zakučac. Prije samog ušća, Cetina prolazi kroz probojnicu između Mosora i Omiške Dinare. Granica između posljednja dva segmenta određena je položajem plavine potoka Lisičine koji se ulijeva u Cetinu nakon njenog prolaska kroz probojnicu. Petnaesti segment dakle obuhvaća plavinu Lisičine i ušće Cetine.

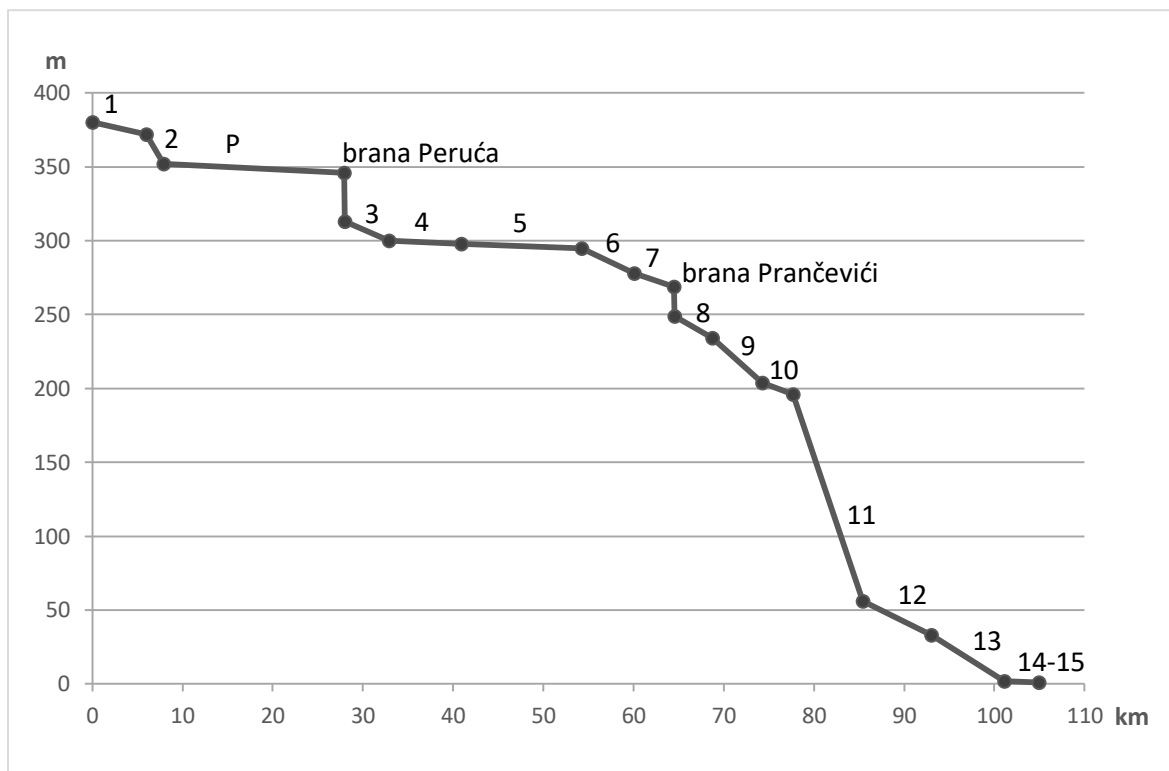
Za sve segmente je izračunata njihova duljina 2017. godine, maksimalna i minimalna nadmorska visina, razlika u nadmorskoj visini te srednji i maksimalni nagib (tab. 2). Najveća razlika u nadmorskoj visini, a time i najveći pad, zabilježeni su u kanjonskom segmentu 11. Više od trećine vrijednosti toga pada može se pripisati slapu Velika Gubavica čija visina iznosi 49 m.

Tab. 2. Morfometrijska obilježja segmenata rijeke Cetine

Segment	Duljina 2017.g. (m)	Maksimalna nadmorska visina (m)	Minimalna nadmorska visina (m)	Razlika u nadmorskoj visini (m)	Srednji nagib (%)	Maksimalni nagib (%)
1	9167	380	372	8	0,80	46,19
2	1870	372	352	20	1,76	58,17
P	19.716	352	346	6	0,19	***
3	4974	313	300	3	0,66	17,49
4	8047	300	298	2	0,10	11,92
5	13.337	298	295	3	0,13	19,01
6	5866	295	278	17	0,43	72,35
7	4432	278	269	13	0,49	84,83
8	4227	249	234	15	1,45	22,83
9	5473	234	204	30	1,05	14,91
10	3469	204	196	8	1,55	76,10
11	7734	196	56	140	8,08	128,14
12	7583	56	33	23	1,56	29,78
13	8108	33	2	31	1,78	63,25
14	3792	2	0	2	0,05	***
15	1280	0	0	0	0,00	0,00

\*\*\* nije moguće izračunati

Budući da je dolina Cetine već ranije okarakterizirana kao heterogena jer prolazi kroz različite reljefne cjeline poput polja u kršu i kanjona, njen uzdužni profil je također složen (sl. 10). Segmenti s najvećim nagibima su upravo oni kanjonski, poput segmenata 2 ili 11. Najmanje nagibe očekivano imaju segmenti 4 i 5 koji prolaze kroz velika polja u kršu (Sinjsko i Hrvatačko). Brane Peruća i Prančevići predstavljaju oštre prekide u kontinuitetu uzdužnog profila.



Sl. 10. Uzdužni profil rijeke Cetine prema određenim segmentima

### 3.4. Analiza geomorfoloških promjena korita

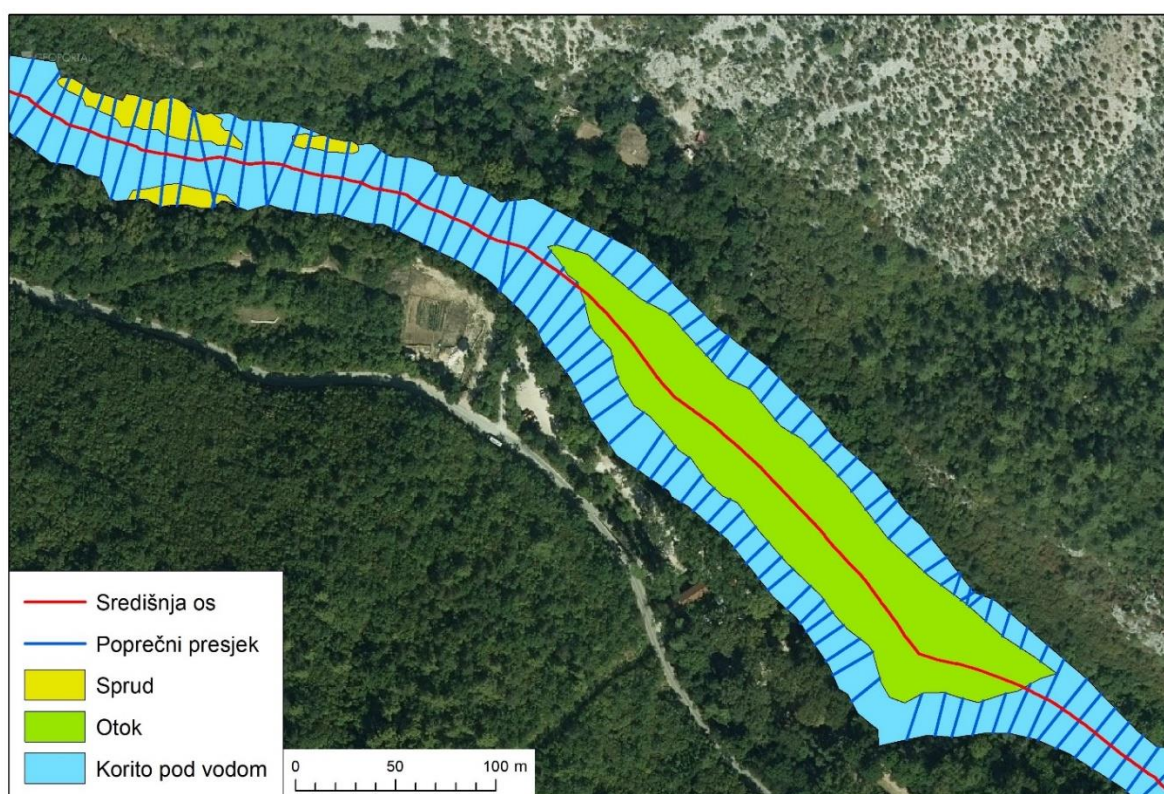
Promjene korita rijeke Cetine između navedenih triju razdoblja istražene su analizom promjene širine aktivnog korita te analizom promjene broja i površina sprudova i otoka po gore navedenim segmentima. Sve analize provedene su pomoću programa ArcMap 10.3.1.

Prema dostupnoj literaturi, prosječna širina korita može se izračunati na dva osnovna načina. Prvi način je jednostavniji, a podrazumijeva dijeljenje površine segmenta, odnosno površine korita, s duljinom njegove središnje osi (Magliulo i dr., 2013, 2016; Martínez-Fernández i dr., 2017; Hajdukiewicz i Wyźga, 2019). Prema drugoj metodi, širina korita se mjeri pomoću poprečnih presjeka koji se povlače okomito na središnju os segmenta u određenim intervalima (Swanson i dr., 2011; Magliulo i dr., 2013; David i dr., 2016; Fortugno i dr., 2017). Prosječna širina se potom izračuna kao aritmetička sredina izmjerenih duljina presjeka. Prednost ove metode je što omogućuje izračun maksimalne i minimalne širine, standardne devijacije te standardne pogreške prosjeka.

U ovom radu korištene su obje metode te su uspoređeni njihovi rezultati. Središnja os segmenta izračunata je pomoću alata *Polygon to Centerline Tool for ArcGIS*, koji je preuzet od Dilts (2015). Navedeni alat računa središnju os metodom Thiessenovih poligona koji se



grade na temelju točaka izvan ulaznog poligona. U postavkama je moguće odrediti udaljenost između tih točaka, a ona je u analizi za potrebe ovog rada postavljena na 1 m. Okomiti poprečni presjeci u intervalu od 10 m izračunati su pomoću skupa alata *Linear Referencing Tools*. Kao ulazni poligon za izračun središnje osi segmenta korišten je poligon cjelokupnog korita. Međutim, u izračunu širine aktivnog korita, kao površina segmenta je korištena površina poligona aktivnog korita (sl. 11). U segmentima gdje postoje sekundarna korita, odnosno javlja se anastomotični tip korita (primjeri su Hrvatačko i Sinjsko polje), za analizu promjene širine uzeto je samo glavno korito.



Sl. 11. Izračun širine aktivnog korita pomoću metode poprečnih presjeka

Kartografska podloga: Digitalna ortofoto-karta iz 2017. godine, Geoportal, DGU

Dakle, za svaki su segment dobivene dvije vrijednosti prosječne širine aktivnog korita, koje su dobivene dvjema različitim metodama. Pomoću metode poprečnih presjeka također je izračunata vrijednost maksimuma, minimuma i standardne devijacije, odnosno varijabilnosti širine aktivnog korita u određenom segmentu, te vrijednost standardne pogreške prosjeka<sup>3</sup>. Osim toga, izračunate su i relativne promjene prosjeka između tri promatrana razdoblja.

<sup>3</sup> Prilog 4.

Promjene u pojavnosti akumulacijskih fluvijalnih oblika, odnosno sprudova i otoka, analizirane su usporedbom njihove veličine i brojnosti u trima istraživanim razdobljima. Međutim, zbog sitnijeg mjerila i veće generalizacije austro-ugarskih karata treće vojne izmjere, treba naglasiti da su prikazani podaci o ukupnoj veličini i brojnosti sprudova i otoka u tom razdoblju vrlo vjerojatno manji nego što su u stvarnosti bili jer su na kartama prikazani samo oni sprudovi i otoci koji su veći od 500 m<sup>2</sup>. Ti podaci su uključeni u analizu, no opisana ograničenja treba uzeti u obzir pri donošenju zaključaka. Iz analize je isključen segment 1 zbog preslabe rezolucije i poteškoća u interpretaciji kartografskih i aerofotogrametrijskih izvora. Za ostale segmente je izračunata ukupna površina i broj sprudova i otoka, te njihov udio u ukupnoj površini korita (koja uključuje otoke).

Treba naglasiti da segment 15, koji se proteže područjem ušća, nije uključen u gore opisane analize. Promjene u delti Cetine analizirane su usporedbom njene površine (naplavne ravnice i rukavaca) u trima istraživanim razdobljima. Nadalje, posebno su izdvojene i analizirane dvije močvarne zone u izvorišnom segmentu 1. Budući da zbog poteškoća u interpretaciji izvora (prvenstveno aerofotogrametrijskih snimaka iz 1958. godine) nije bilo moguće jasno odrediti dijelove tih zona, npr. dio pod vodom, močvarnom vegetacijom, akumulacije sedimenta i sl., te su zone digitalizirane kao jedinstvena područja. Promjene su analizirane usporedbom njihovih površina u istraživanim razdobljima. Također, detaljnije su analizirane promjene korita u Sinjskom polju, gdje je mnogim hidrotehničkim zahvatima bitno izmijenjeno prirodno stanje rijeke.

## 4. Rezultati

### 4.1. Promjene širine aktivnog korita

Pomoću metode dijeljenja površine aktivnog korita s njegovom središnjom osi, i metode poprečnih presjeka, izračunate su vrijednosti prosječne širine aktivnog korita rijeke Cetine za 14 segmenata u trima istraživanim razdobljima: 1869.-1887., 1951.-1960. i 2011.-2017. (tab. 3).

Tab. 3. Usporedba izračunatih vrijednosti prosječne širine aktivnog korita Cetine (m)

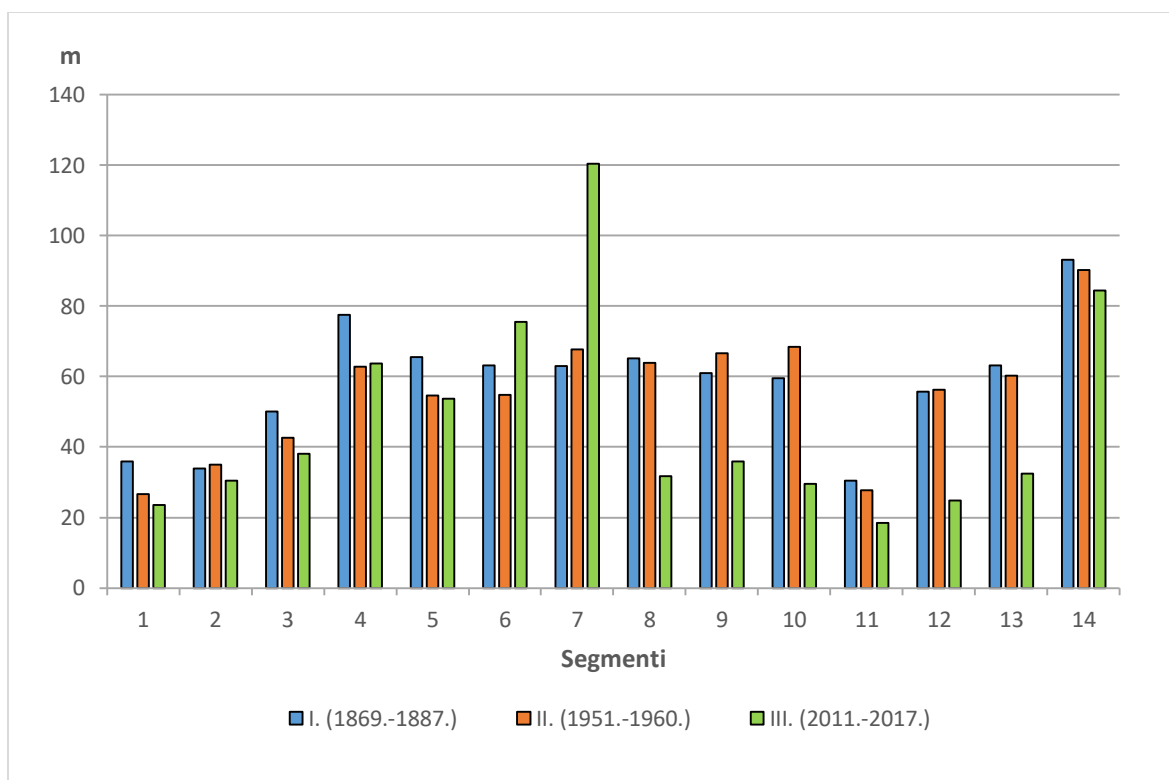
Segment	Metoda površina/sred. os (M1)			Metoda poprečnih presjeka (M2)			Razlika u metodama (M2-M1)		
	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.
1	35,75	26,87	23,55	35,90	26,65	23,51	0,15	-0,22	-0,04
2	33,86	35,01	30,45	33,91	34,99	30,43	0,05	-0,01	-0,02
3	50,13	42,71	38,04	50,14	42,65	38,07	0,01	-0,06	0,03
4	77,08	62,38	63,40	77,51	62,76	63,71	0,43	0,38	0,31
5	65,08	54,57	53,62	65,56	54,66	53,76	0,48	0,09	0,14
6	63,09	54,22	74,83	63,16	54,79	75,43	0,07	0,57	0,60
7	62,87	67,52	120,22	63,05	67,67	120,49	0,18	0,16	0,28
8	65,12	63,66	31,31	65,21	63,97	31,67	0,09	0,31	0,36
9	60,96	66,47	35,58	60,99	66,66	35,83	0,03	0,19	0,24
10	59,49	68,31	29,22	59,59	68,41	29,49	0,11	0,11	0,27
11	30,41	27,76	18,16	30,47	27,78	18,39	0,06	0,02	0,22
12	55,62	55,97	24,64	55,66	56,31	24,83	0,04	0,34	0,19
13	63,07	59,35	31,76	63,20	60,17	32,39	0,13	0,81	0,64
14	92,86	89,95	84,48	93,12	90,17	84,34	0,26	0,22	-0,15

Razlike u rezultatima dobivenim pomoću navedenih dviju metoda vrlo su malene. Najveća razlika je izmjerena u segmentu 13 u razdoblju 1951.-1960. te iznosi 0,81 metra, što je 1,3% srednje širine aktivnog korita u tom segmentu. Budući da su pogreške u lokacijskoj točnosti izvora, a i u samom procesu digitalizacije veće od ove izmjerene razlike, zaključeno je da je ona zanemariva. Također, treba dodati i da su standardne greške presjeka izračunatih prema metodi poprečnih presjeka veće od gore izmjerenih razlika, a kreću se od 0,16 do 2,60 m<sup>4</sup>. Prema tome, možemo zaključiti da obje navedene metode predstavljaju jednako dobar način izračuna prosječne širine korita. Međutim, budući da metoda poprečnih presjeka omogućuje

<sup>4</sup> Prilog 4.

izračun dodatnih parametara (maksimum, minimum, standardna devijacija), u nastavku rada korišteni su rezultati prosjeka koji su dobiveni tom metodom.

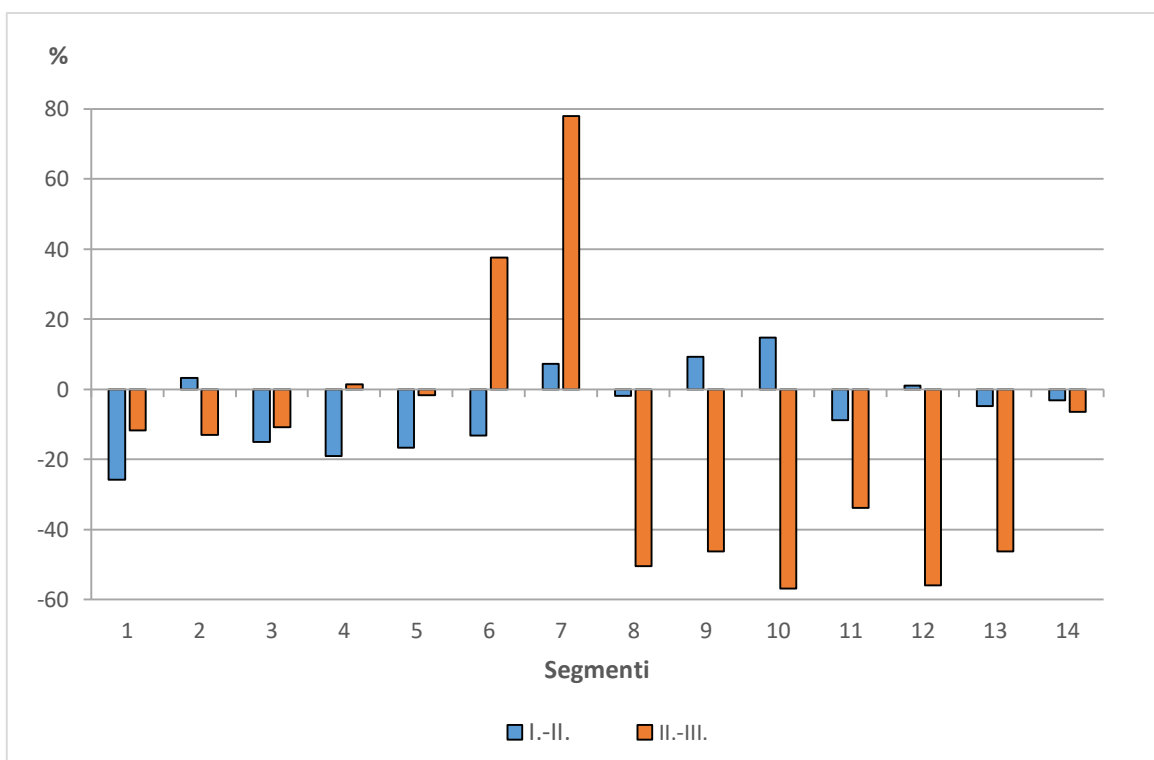
U tri navedena razdoblja istraživanja zabilježene su osjetne razlike u prosječnoj širini aktivnog korita Cetine (sl. 12). U prvom istraživanom razdoblju, tj. krajem 19. stoljeća, Cetina je bila najšira u segmentu 14 (93,1 m), prije samog ušća, i u segmentu 4 (77,5 m), koji se proteže Hrvatačkim poljem. Najmanje vrijednosti izmjerene su u segmentima 11 (30,5 m) i 2 (33,9 m), koji se nalaze u kanjonskom dijelu toka. Sredinom 20. stoljeća, najveće vrijednosti ponovno su izmjerene u najnižvodnijem segmentu 14 (90,2 m), ali i u segmentu 10 (68,4 m), koji se proteže dolinskim proširenjem u flišu. Najmanje vrijednosti zabilježene su u izvorišnom području (26,7 m) i u kanjonskom dijelu toka (27,8 m). U posljednjem razdoblju izmjerene su općenito najveće i najmanje vrijednosti: u segmentu 7 srednja širina aktivnog korita iznosila je 120,5 m, a u segmentu 11 samo 18,4 m.



Sl. 12. Prosječna širina aktivnog korita u segmentima rijeke Cetine u navedenim razdobljima

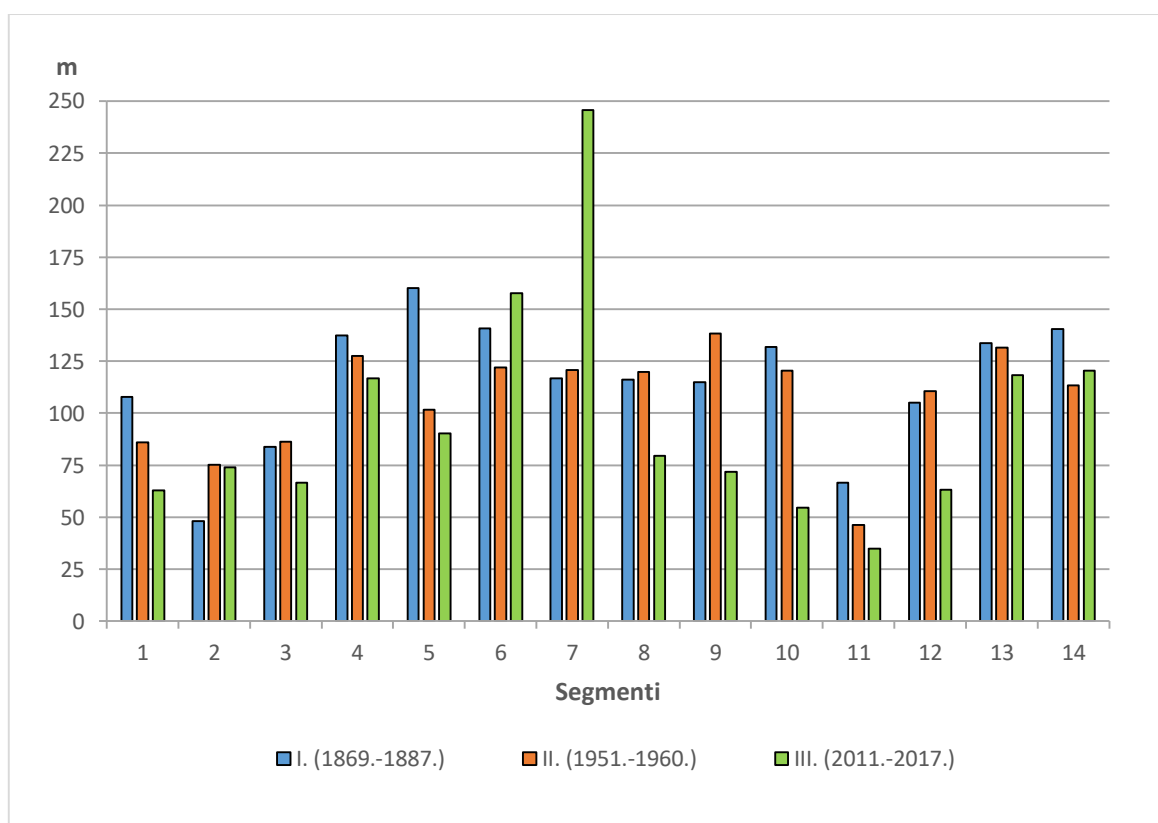
Promjene prosječne širine aktivnog korita između prva dva razdoblja najznačajnije su u izvorišnom području, gdje sužavanje iznosi preko 25% (sl. 13). U segmentima 4 i 5, koji prolaze krškim poljima, također dolazi do sužavanja od 15 do 20%. Od nizvodnijih promjena treba istaknuti povećanje širine u segmentu 10 koje iznosi 15%, dok ostale promjene iznose

manje od 10%. Najveće promjene prosječne širine aktivnog korita zabilježene u drugoj polovici 20. i početkom 21. stoljeća. Pozitivne promjene dogodile su se u segmentima 6 i 7, danas akumulacijama Đale i Prančevići, gdje povećanje iznosi značajnih 38% i 78%. S druge strane, u svim nizvodnim segmentima došlo je do sužavanja korita. U segmentu 10, prosječna širina aktivnog korita se u posljednjem se razdoblju smanjila za gotovo 40 m, odnosno čak 57% u usporedbi s prethodnim. I u segmentima 8, 9, 12 i 13 suženje korita iznosi oko 50%. Promjene u segmentima 4 i 5 su gotovo zanemarive, dok u izvorišnom područje te nizvodnim segmentima smanjenje širine iznosi malo više od 10%.



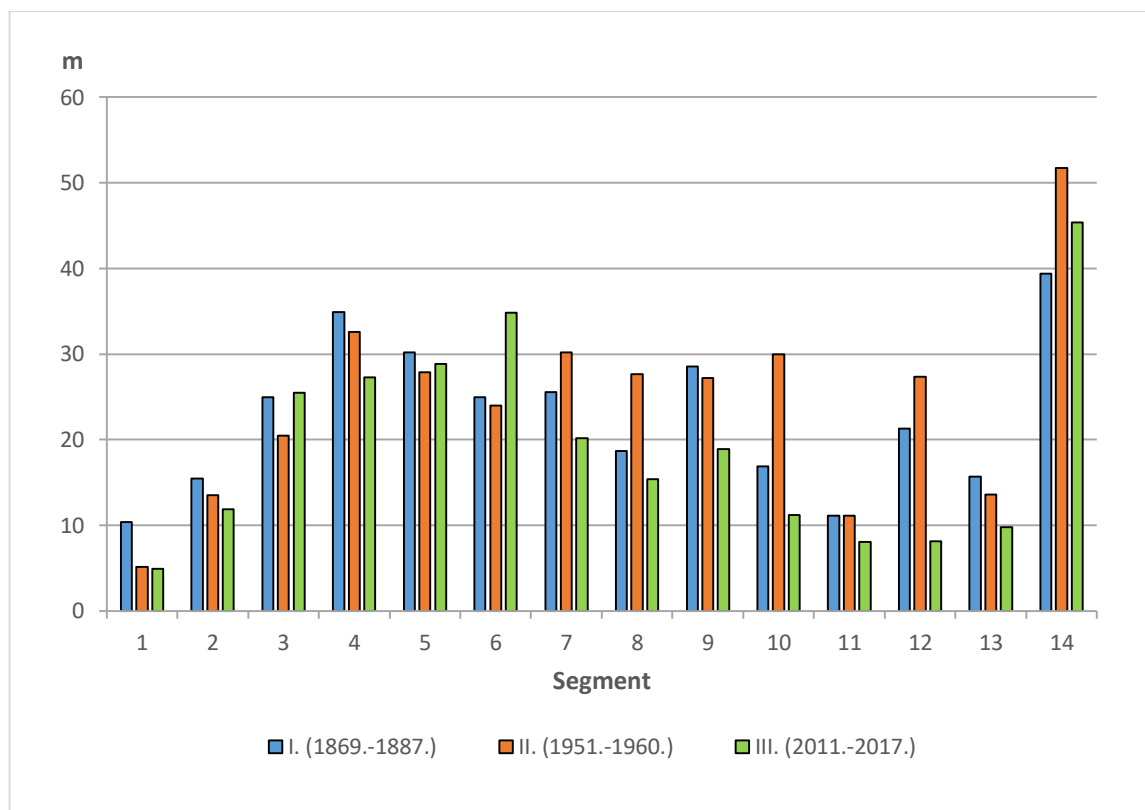
Sl. 13. Relativne promjene prosječne širine aktivnog korita u segmentima rijeke Cetine između navedenih razdoblja

Detaljniji uvid u vrijednosti širine aktivnog korita Cetine u navedenim razdobljima može se dobiti analizom maksimuma i minimuma (sl. 14 i 15). Zanimljivo je primijetiti značajno veće vrijednosti maksimuma u segmentima 1 i 5 u prvom u odnosu na ostala razdoblja. U segmentu 5 smanjenje maksimuma između prva dva razdoblja iznosi više od 36%. Nizvodno od segmenta 7, proporcionalno sa smanjenjem prosjeka u posljednjem razdoblju dolazi i do smanjenja maksimuma. Najmanja apsolutna vrijednost zabilježena je u kanjonskom segmentu 11 (35,0 m), a najveća negativna relativna promjena u segmentu 10 (55%). Najveća vrijednost širine aktivnog korita Cetine iznosi 245,8 m, a izmjerena je u segmentu 7 u posljednjem razdoblju.



Sl. 14. Maksimumi širine aktivnog korita u segmentima rijeke Cetine u navedenim razdobljima

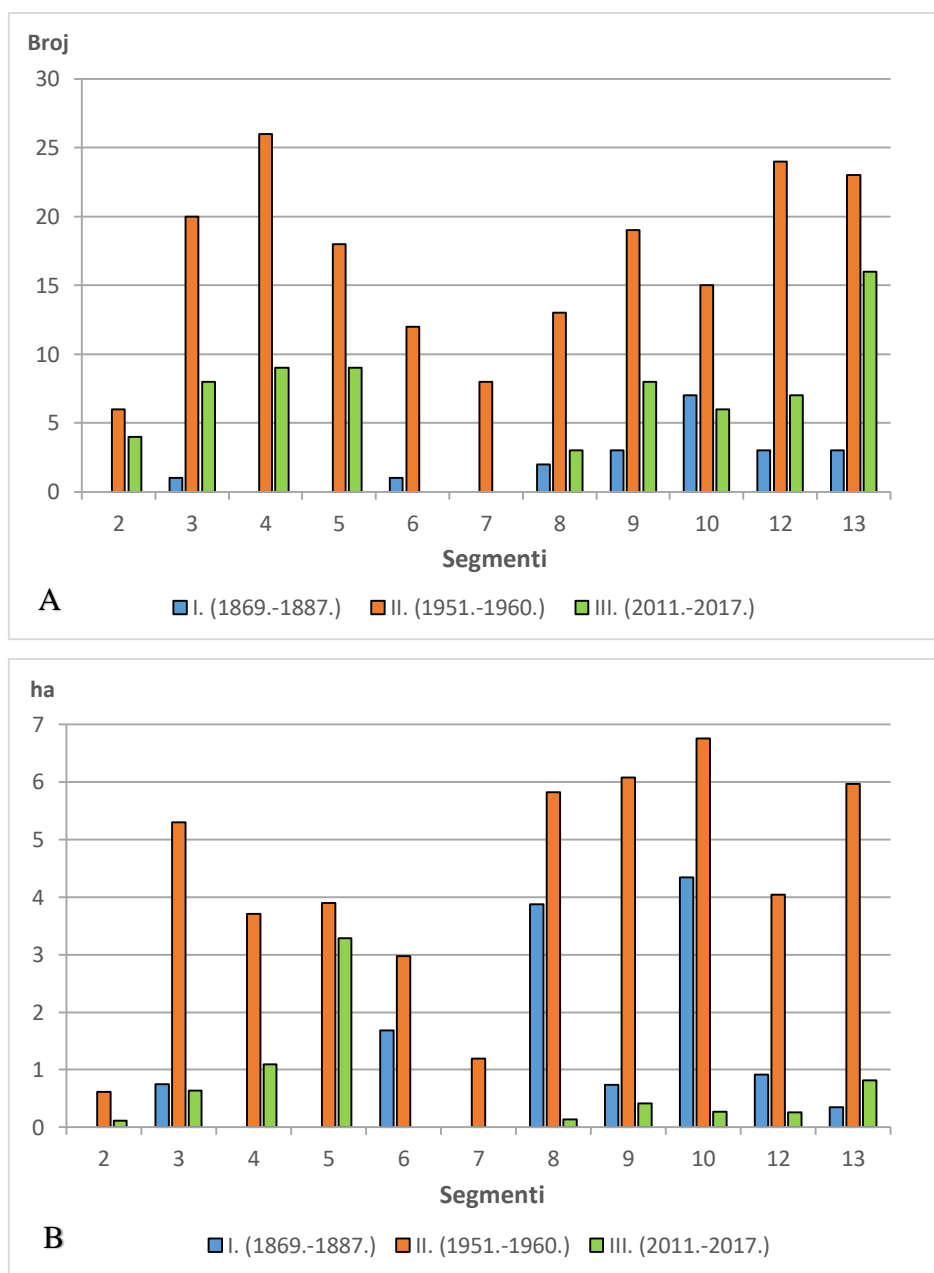
Najveće vrijednosti minimuma zabilježene su u segmentu 14, u kojem rijeka općenito ima prirodno najšire korito (sl. 15). Najmanje vrijednosti izmjerene su u izvorišnom području (5 m), te u segmentu 11 u posljednjem razdoblju (8,1 m). Najznačajnije smanjenje minimuma širine aktivnog korita zabilježeno je u segmentu 12 u posljednjem razdoblju, te iznosi čak 63%.



Sl. 15. Minimumi širine aktivnog korita u segmentima rijeke Cetine u navedenim razdobljima

## 4.2. Promjene u brojnosti i veličini sprudova i otoka

Kao što je već napomenuto u metodologiji, segment 1 je u početku izbačen iz analize zbog preslabe razlučivosti izvora. U segmentima 11 i 14 nije bilo pojavnosti ni sprudova ni otoka u niti jednom istraživanom razdoblju. S druge strane, u prvom razdoblju, najviše sprudova se javlja u segmentu 10. Oni ujedno zauzimaju i najveću površinu (sl. 16). Također, veliki sprudovi javljaju se i u segmentu 8. Zanimljivo je da oni gotovo potpuno nestaju u posljednjem razdoblju.



Sl. 16. Ukupan broj (A) i ukupna površina (B) sprudova u segmentima rijeke Cetine u navedenim razdobljima



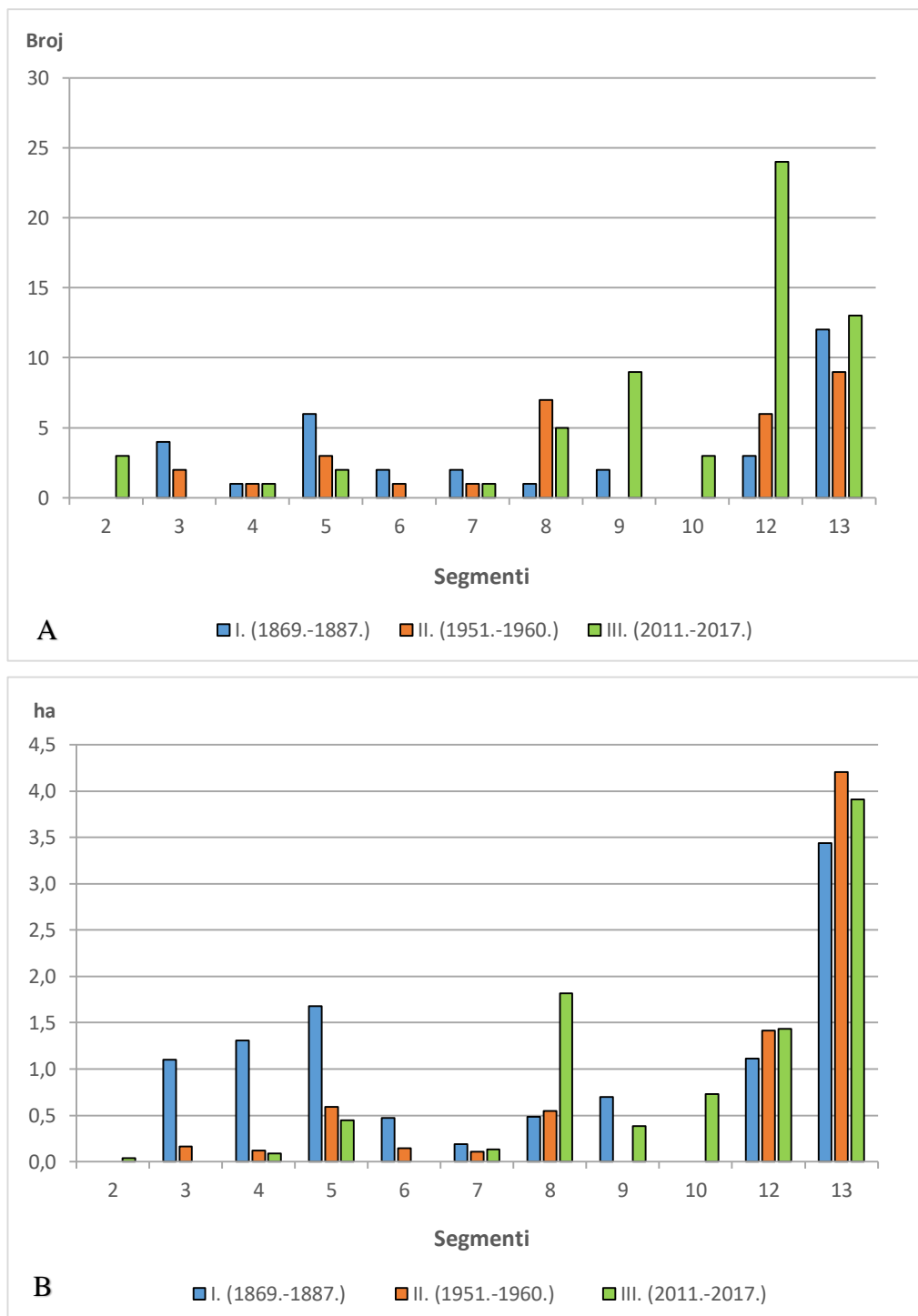
Iako nije zabilježena njihova pojavnost, ne treba isključiti postojanje sprudova u segmentima 4 i 5 u prvom razdoblju. Razlog njihova izostanka vjerojatno je veća razina generalizacije izvora podataka. Sredinom 20. stoljeća, najveći broj sprudova zabilježen je u segmentima 4, 12 i 13, a sprudovi najveće veličine javljaju se u segmentima 9, 10 i 13. Općenito, njihova najveća pojavnost je tijekom prva dva razdoblja zabilježena u flišnim zonama i u kanjonu nizvodno od današnje brane Prančevići. S druge strane, u posljednjem razdoblju dolazi do značajnog smanjenja pojavnosti sprudova u svim segmentima rijeke. Najveći broj sprudova početkom 21. stoljeća javlja se u segmentu 13, no oni su površinom ustvari vrlo maleni. Najveći sprudovi u posljednjem razdoblju javljaju se u segmentu 5, odnosno Sinjskom polju.

Pojavnost otoka općenito je manja nego pojavnost sprudova u većini segmenata rijeke Cetine (sl. 17). U prvom razdoblju, najveći broj otoka javlja se u segmentu 13. Njihov broj se u idućem razdoblju povećava, pa onda opet smanjuje. Površina otoka je također najveća u segmentu 13 u svim razdobljima, iako joj vrijednost malo varira. U prvom razdoblju, značajan se broj otoka veće površine javlja i u segmentu 5, a u drugom razdoblju u segmentima 8 i 12. Općenito, najveći broj otoka iznosi 24 te se javlja u posljednjem razdoblju, i to u segmentu 12. No, ako usporedimo njihov broj s njihovom površinom, možemo zaključiti da se radi o otocima vrlo male površine.

Ako usporedimo ukupnu pojavnost sprudova i otoka duž cijelog toka Cetine (tab. 4), možemo zamijetiti da je najveći broj i najveća površina sprudova zabilježena u drugom razdoblju. U posljednjem su razdoblju sprudovi zauzimali čak 85% manju površinu nego pedeset godina ranije. Njihova brojnost bila je najmanja u prvom razdoblju (iako ovdje treba imati na umu napomenu o većem stupnju generalizacije austro-ugarskih karata). Otoci su bili najbrojniji u posljednjem razdoblju, iako je njihova površina bila najveća u prvom.

Tab. 4. Pojavnost sprudova i otoka u cijelom toku Cetine u navedenim razdobljima

Razdoblje	Ukupan broj sprudova	Ukupna površina sprudova (ha)	Ukupan broj otoka	Ukupna površina otoka (ha)
1869.-1887.	20	12,63	33	10,48
1951.-1960.	184	46,38	30	7,30
2011.-2017.	70	7,03	61	8,97



Sl. 17. Ukupan broj (A) i ukupna površina (B) otoka u segmentima rijeke Cetine u navedenim razdobljima

### 4.3. Promjene složenih korita u izvorišnom području

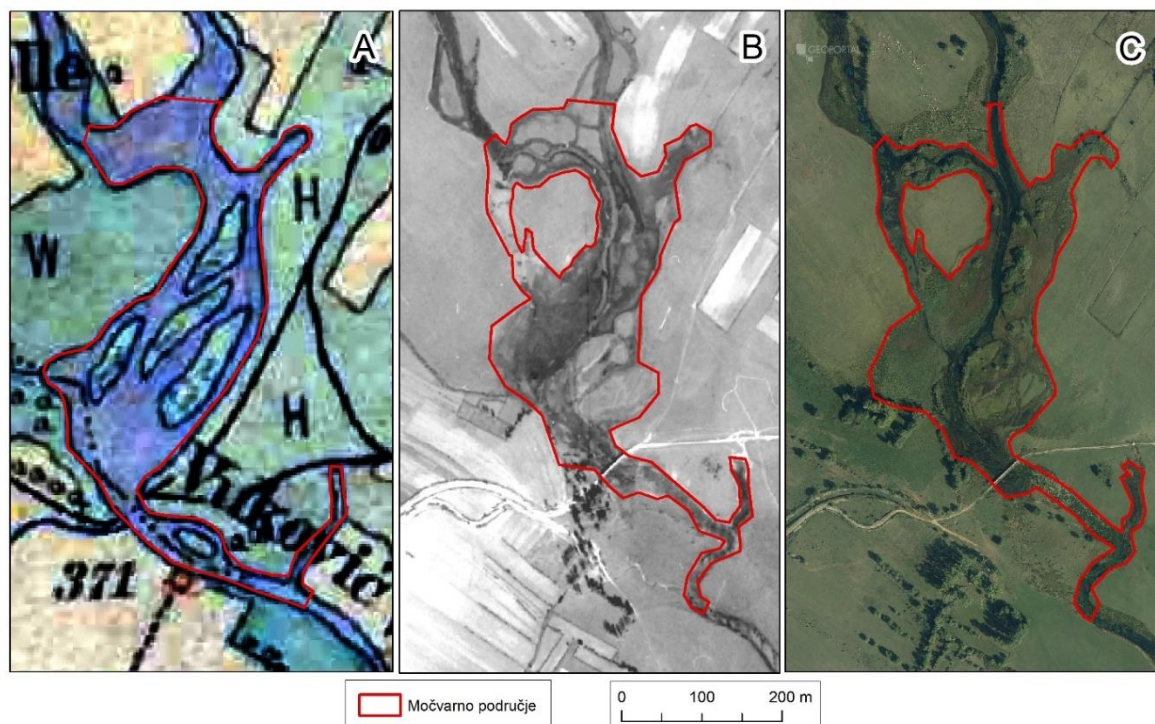
Dvije močvarne zone u izvorišnom području posebno su izdvojene radi detaljnije analize promjena između tri navedena razdoblja istraživanja. Prva zona (1a) nalazi se u desnom izvorišnom kraku, na mjestu spajanja toka iz Batića vrila i Vukovića vrila. Druga zona (1b) nalazi se nizvodnije, na mjestu spajanju lijevog i desnog izvorišnog kraka u Paškom polju. U navedenim zonama formiraju se složena korita u kojima su česte promjene (sl. 18).



Sl. 18. Močvarna zona 1a i pogled na Cetinsko-Paško polje

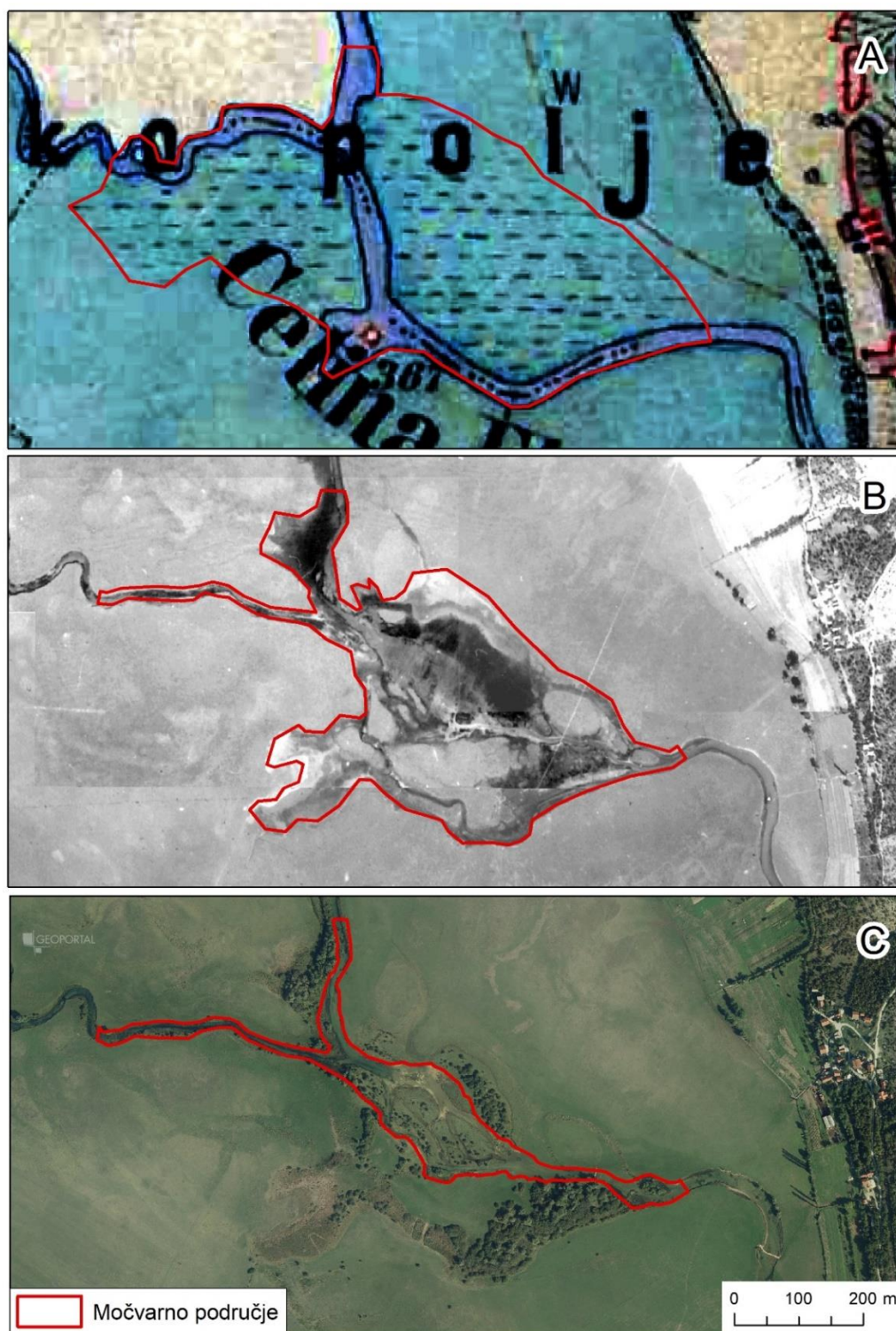
Izvor: snimljeno u kolovozu 2010.

U prvom razdoblju, zona 1a je zauzimala površinu od 8,42 ha. Prema karti, cijela se zona nalazila pod vodom, a u proširenju u sredini toka zabilježena su četiri otoka. Cijela se zona može morfološki opisati kao anastomotični tip korita (sl 19, A). Na snimci iz 1958. godine vidljiva je pojava novog rukavca na zapadnoj strani zone te lagana dislokacija donjeg dijela složenog korita prema istoku. U sredini je izdvojeno područje koje nije dio močvarne zone. Zbog slabe razlučivosti aerofotogrametrijskih snimki nije moguće ući u detaljniju analizu, tj. nije moguće točno razaznati dijelove korita pod vodom, močvarnom vegetacijom ili moguće akumulacije sedimenta (sl. 19, B). Površina močvarnog područja iznosila je 7,66 ha. Na snimci iz 2017. godine može se zamijetiti isušivanje sjevernog dijela zone te pojava visoke vegetacije uz korito (sl. 19, C). Površina cijele zone se malo smanjila te iznosi 7,59 ha.



Sl. 19. Promjene u površini močvarnog područja u zoni 1a, A) austro-ugarska karta iz 1869.-1887. godine, B) aerofotogrametrijski snimak iz 1958. godine, C) ortofoto-karta iz 2017. godine

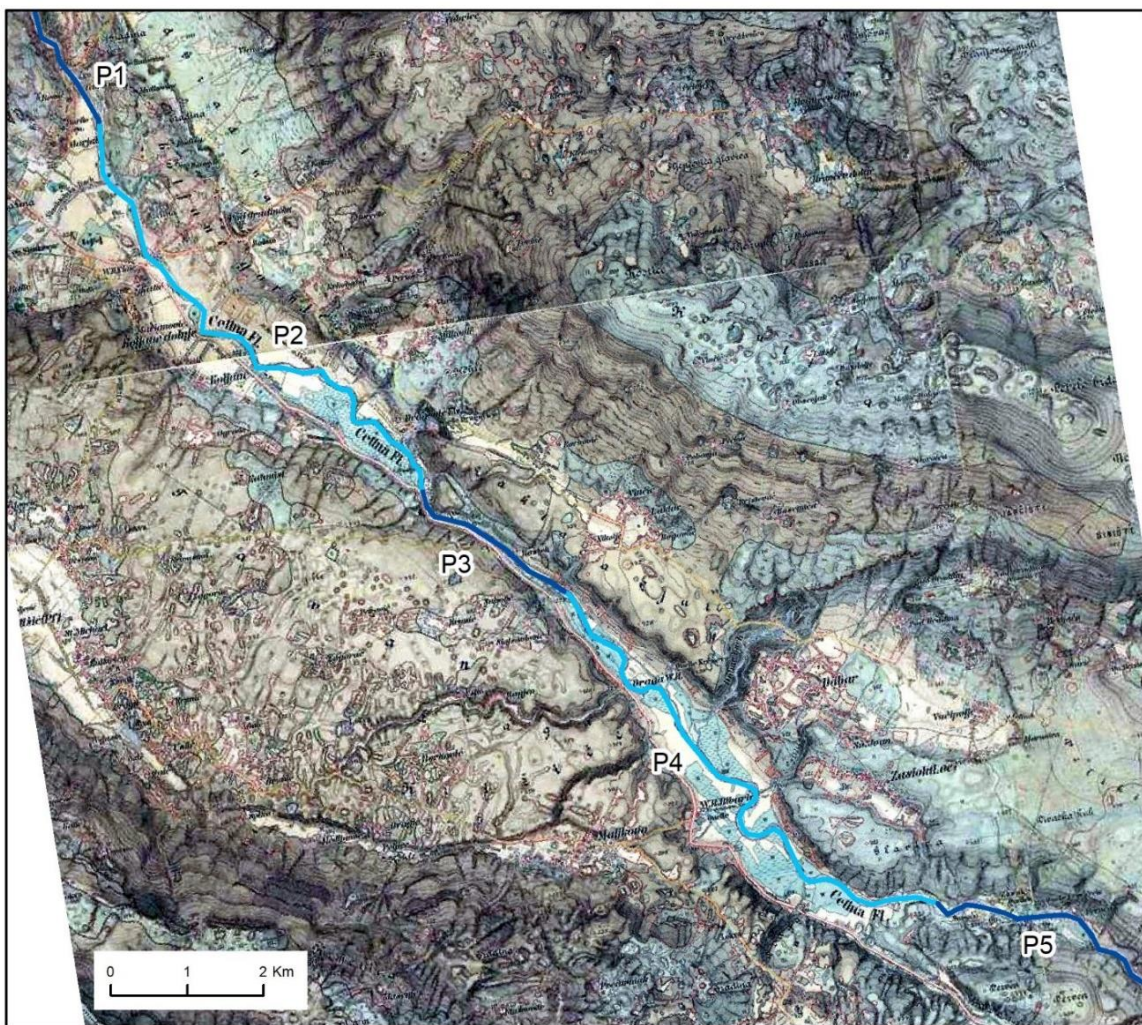
Druga močvarna zona prikazana je na austro-ugarskoj karti drugačijim simbolom (-), iz čega možemo pretpostaviti da su ti dijelovi bili puno močvarniji od zone 1a (sl. 20, A). Glavni tok protezao se središnjim i južnim dijelom zone, a ukupna površina je iznosila 28,25 ha. Sredinom 20. stoljeća dolazi do isušivanja zapadnog dijela močvare, ali se intenzivira razvoj korita u njenom istočnom dijelu. Južnim dijelom zone još uvijek protječe voda, ali je korito znatno uže (sl, 20, B). Površina močvarnog područja iznosila je 16,77 ha. Kao i u slučaju 1a, zbog slabe razlučivosti snimaka nije bilo moguće ući u detaljniju analizu. Prema snimci iz 2017. godine, područje složenog korita smanjilo se za više od 70% te njegova izračunata površina iznosi 4,82 ha. Iako se još jasno vide ostaci nekadašnjeg korita, južnim dijelom zone više ne protječe voda te se razvila visoka vegetacija. Općenito, na cijelom području raste bujnija vegetacija nego na snimci iz prethodnog razdoblja.



Sl. 20. Promjene u površini močvarnog područja u zoni 1 b, A) austro-ugarska karta iz 1869.-1887. godine, B) aerofotogrametrijski snimak iz 1958. godine, C) ortofoto-karta iz 2017. godine

#### 4.4. Obilježja nekadašnje doline ispod Perućkog jezera

Izgradnjom brane na Perući i stvaranjem istoimene akumulacije za potrebe hidroelektrane 1958. godine, potopljena je dolina Cetine u ukupnoj duljini toka od 21,7 km. Nakon kanjona u promina naslagama (P1), rijeka je nekad protjecala Koljanskim poljem (P2). Kraći kanjonski segment (P3) predstavljao je granicu do Ribaričkog polja, najveće potopljene reljefne cjeline (P4). Posljednji dio danas potopljenog toka prolazio je dolinskim suženjem i kratkim kanjonom u krednim vapnencima (P5), na sredini kojeg je danas izgrađena brana (sl. 21).



Sl. 21. Nekadašnja dolina Cetine na austro-ugarskoj karti iz 1869.-1887. godine, danas potopljena pod akumulacijom Peruća

Izvor: mapire.eu

Prema gore navedenim dijelovima doline, tok u ranije određenom segmentu P je podijeljen na dodatnih 5 podsegmentata (tab. 5). Zanimljivo je da je najveća širina korita izmjerena u prvom, kanjonskom dijelu toka. Naime, u tom segmentu je postojalo više proširenja u kojima su ucrtani i slapovi. Najveće takvo proširenje nalazilo se upravo na početku današnjeg Peručkog jezera. U segmentima P2 i P4, koji se nalaze u poljima u kršu, rijeka je blago meandrirala te je postojalo nekoliko otoka. Prema karti nije moguće prosuditi jesu li oni bili akumulacijskog ili erozijskog nastanka. U oba polja označena su široka močvarna područja uz korito, koja su se koristila kao pašnjaci. Međutim, treba napomenuti da su uz većinu korita u poljskim segmentima ucrtani nasipi. Najmanje vrijednosti širine korita očekivano su zabilježene u kraćem kanjonskom segmentu koji povezuje dva polja u kršu.

U danas potopljenoj dolini nalazi se više krških izvora. Prema austro-ugarskoj karti njihova imena su slijedeća: Radonino vrelo, Burilo, Batić i Dragović vrelo u Koljanskom polju, te Kreševo, Dabar, Zasiok i Crno vrelo u Ribarićkom polju. Navedeni izvori zasigurno i danas prihranjuju Peručko jezero, ali je njihovu aktivnost gotovo nemoguće pratiti.

Tab. 5. Obilježja potopljene doline Cetine (današnje Peručko jezero)

Segment	Duljina (m)	Širina aktivnog korita (m)			Broj otoka	Ukupna površina otoka (ha)
		Prosjek	Maksimum	Minimum		
P1	2752,84	61,32	168,58	21,73	1	0,64
P2	6748,99	48,67	141,82	23,31	6	1,94
P3	1928,71	35,26	56,64	19,23	0	0,00
P4	6944,16	41,08	105,28	21,34	4	1,48
P5	3369,81	51,62	79,80	33,51	2	0,11
P	21.744,51	48,85	168,58	19,23	13	4,17

#### 4.5. Promjene korita u Sinjskom polju

Sinjsko polje najveće je polje u kršu u dolini Cetine. Prema austro-ugarskoj karti, tijekom druge polovice 19. stoljeća većina je polja bila močvarno područje, a sušniji dijelovi su se koristili kao pašnjaci. Korito Cetine u tom se razdoblju morfološki može opisati kao anastomotično jer se sastojalo od više korita koja su bila odijeljena naplavnom ravnicom. Od polovice polja s lijeve strane glavnog toka nalazilo se najveće sekundarno korito (prema današnjim kartama imena Matica), čija je širina na austro-ugarskoj karti gotovo jednaka širini glavnog korita (65 m). Također, u svim koritima javljaju se meandri kao karakteristično obilježje tekućica nizinskog toka. Zanimljivo je primijetiti da u Sinjskom polju tijekom 19. stoljeća nisu postojali nasipi, tj. nisu ucrtani na karti. S druge strane, u uzvodnijem Hrvatačkom polju, oni su bili izgrađeni uz gotovo cijelu duljinu toka.

Zbog vododržive geološke podloge i plodnog tla, Sinjsko polje ima velik potencijal za poljoprivredno iskorištavanje. Razvoj poljoprivrede u prošlosti su kočile česte poplave i močvarnost tla, no ti su problemi riješeni 1950-ih izgradnjom brane na Perući te brojnim hidrotehničkim zahvatima u polju. Cetina od tada vrlo rijetko plavi, a prirodno stanje korita je bitno izmijenjeno (Provedbeni plan obrane od poplava, 2014). Izgrađeni su nasipi duž cijelog vodotoka te je presječeno pet meandara. Nasipima su od glavnog korita rijeke ograđena sekundarna korita, koja su danas posljedično u fazi zamočvarivanja (sl. 22).

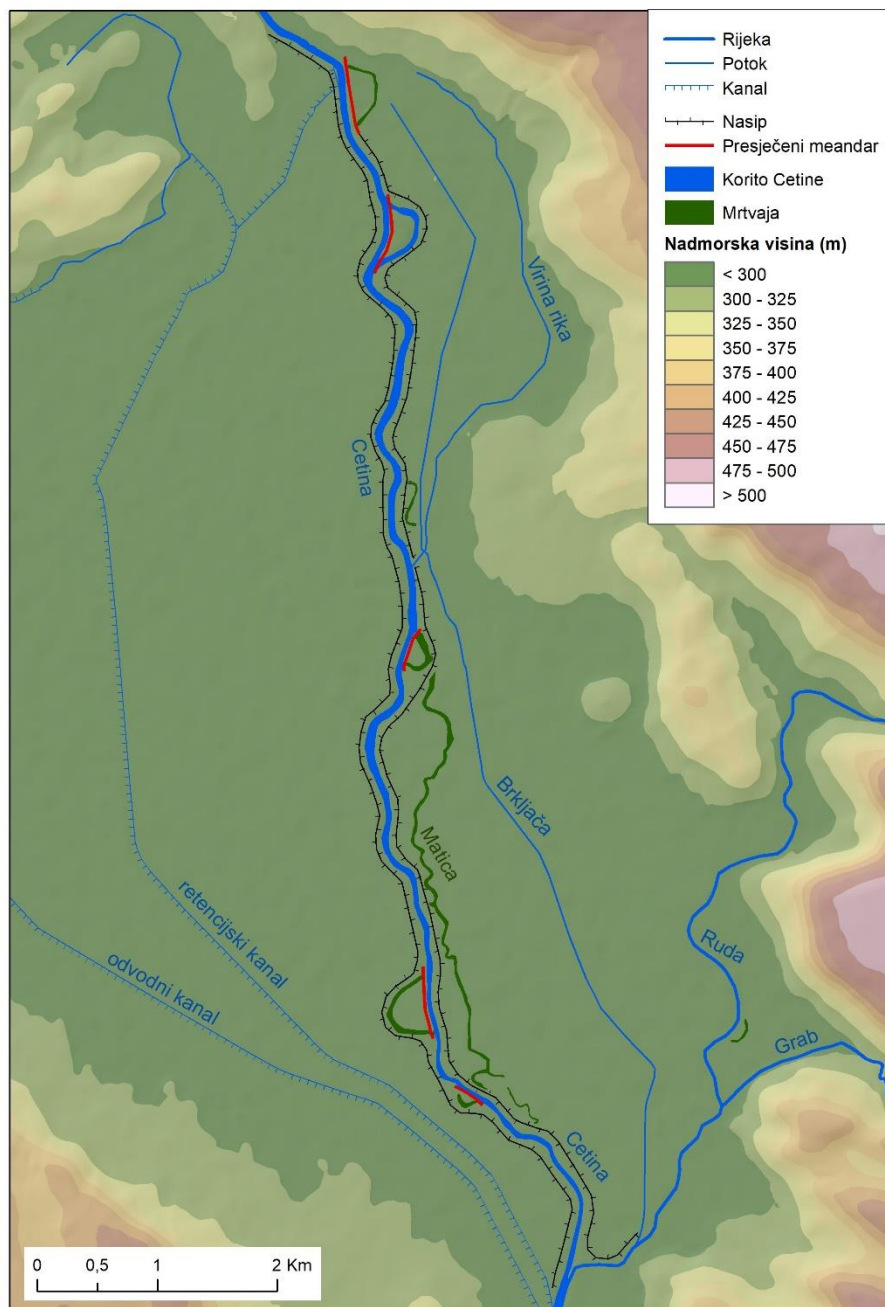
Navedene promjene analizirane su usporedbom duljine glavnog i sekundarnih korita tijekom triju razdoblja istraživanja (tab. 6). Promjena u duljini glavnog korita između prva dva razdoblja nije velika te je vjerojatno posljedica greške u georeferenciranju izvora. Međutim zbog gore opisanih hidrotehničkih zahvata, sredinom 20. stoljeća duljina sekundarnih korita smanjila se za čak 78%. Broj sekundarnih korita u drugom razdoblju ustvari predstavlja presječene meandre jer su ostala sekundarna korita nasipima odijeljena od rijeke. Većina tih korita danas je već gotovo zatrpana ili zamočvarena, a najbolji primjer je Matica.

Tab. 6. Obilježja korita Cetine u Sinjskom polju u navedenim razdobljima

Razdoblje	Duljina glavnog korita (m)	Broj sekundarnih korita	Duljina sekundarnih korita (m)	Ukupna duljina korita (m)
1869.-1887.	14.607	8	10.567	25.174
1951.-1960.	14.531	5	2346	16.177
2011.-2017.	13.337	1	871	14.208



Međutim, iako su meandri glavnog korita presječeni već 1950-ih, posljedice tih zahvata vidljive su tek u posljednjem razdoblju. Danas glavnina vode protječe umjetnim kanalima, a stari meandri se zamočvaruju. Od pet presječenih meandara, danas još samo jedan pripada aktivnom dijelu korita, dok su preostala četiri postala mrtvaje. Dakle, od kraja 19. stoljeća do danas, ukupna duljina korita Cetine u Sinjskom polju smanjila se za 44%, prvenstveno zbog izgradnje nasipa kojima su sekundarna korita odijeljena od glavnog te zbog presijecanja meandara.



Sl. 22. Dolina Cetine u Sinjskom polju

Izvori: prema rezultatima istraživanja, OSM i EU-DEM

#### 4.6. Promjene ušća

Nakon prolaska kroz probojnicu između Mosora i Omiške Dinare, rijeka Cetina ulijeva se u Jadransko more. Tip ušća se morfološki može klasificirati kao delta, iako su njene karakteristike danas gotovo neprimjetne. Na lijevoj obali rijeke nalazi se središte grada Omiša. Desna strana delte doživjela je značajne promjene u posljednjih 150 godina zbog čega je detaljnije analizirana.

Na desnoj obali nalazi se akumulacija na kojoj su se krajem 19. stoljeća prostirale travnate površine (oznaka W na karti – njem. Wiese, što znači livada) te nekoliko sela (sl. 23, A). Površina akumulacije izračunata prema austro-ugarskoj karti iznosila je 17,2 ha, a dužina 870 m. U samom ušću na karti je označeno pet otočića zelene boje, što indicira da je na njima bila razvijena vegetacija. S druge strane, južno od žala kod Omiša ucrtana su tri pješčana otoka.

Sredinom 20. stoljeća, akumulacija se znatno proširila prema jugozapadu (sl. 23, B). Prema aerofotogrametrijskom snimku iz 1951. godine, njena površina iznosila je 30,1 ha, a dužina 1370 m. Dakle, između prva dva razdoblja dolazi do prirodne evolucije, tj. širenja delte Cetine. Na gornjem, starijem dijelu akumulacije 1950-ih i 1960-ih godina prostirale su se oranice, dok je donji dio bio močvaran. Jasno se ističe nekoliko riječnih rukavaca, od kojih je najveći oštro omeđen. Nije poznato je li uzrok prirodna sedimentacija ili antropogeno zatrpavanje korita. Na južnom dijelu delte, na kontaktu s morem razvila su se žala širine od 10 do 20 m. Na snimku delte iz 1966. godine ne primjećuju se znatnije razlike osim pomicanja žala prema jugoistoku za otprilike 20 m. Na nekadašnja žala širi se vegetacija.

Na ortofoto-karti iz 2017. godine delta Cetine je znatno izmijenjena (sl. 23, C). Zbog širenja grada Omiša, cijela desna akumulacija je umjetno nasipana te su na njoj izgrađeni stambeni, sportski i poslovni objekti. Zbog nasipavanja područja južno od delte, koje je u ranijem razdoblju bilo pod morem, površina akumulacije se povećala te danas iznosi 34,8 ha. Duljina se nije znatno promijenila jer nije došlo do širenja prema jugozapadu. Također, nasipana su žala južno od grada Omiša te je izgrađen dugačak lukobran s lijeve strane ušća Cetine u more kako bi se spriječila abrazija. Žala su nasipana i na zapadnoj strani ušća te se redovito dohranjuju (Plan upravljanja pomorskim dobrom, 2018). Dakle, u posljednjem razdoblju više nisu vidljive prirodne promjene ušća. Područje nekadašnje delte je stabilizirano, a izgradnjom većeg broja lukobrana se nastoje što više kontrolirati prirodni procesi.



Sl. 23. Promjene ušća rijeke Cetine: A) austro-ugarska karta iz 1869.-1887. godine, B) aerofotogrametrijski snimak iz 1951. godine, C) ortofoto-karta iz 2017. godine

## **5. Rasprava**

### **5.1. Geomorfološke promjene korita i njihovi uzroci prije izgradnje hidroelektrana**

Od druge polovice 19. do sredine 20. stoljeća, u segmentima rijeke uzvodno od Trilja zabilježeno je značajno sužavanje aktivnog korita koje iznosi između 15% i 25%. S druge strane, značajno proširivanje korita od 15% zabilježeno je u flišnoj zoni kod Blata na Cetini. Općenito, u cijelom koritu zabilježeno je povećanje broja i površine sprudova, dok je broj otoka ostao podjednak uz smanjenje površine. Uzroke tih promjena nije moguće točno odrediti zbog nedostatka meteoroloških i hidroloških podataka. Međutim, poznavanje općenitog stanja okoliša i klime te glavnih demografskih trendova na Sredozemlju u tom razdoblju može pomoći u objašnjavanju zapaženih procesa.

Općenito, u izvorišnom dijelu rijeke zabilježeno je najveće suženje korita od 25%. Također je primijećeno smanjenje, odnosno djelomično isušivanje močvarnih zona na sutoku izvorišnih krakova. Iako u obzir treba uzeti grešku u georeferenciranju kartografskog izvora, ona se prvenstveno odnosi na lokacijsku, a ne veličinsku točnost. Dakle, iz dobivenih rezultata može se zaključiti da su u drugoj polovici 19. stoljeća u gornjem porječju Cetine vladali vlažniji uvjeti, koji su vjerojatno utjecali na povećani protok i češće poplave u izvorišnom dijelu rijeke. Naime, tijekom 19. stoljeća klima Sredozemlja bila je obilježena nižim temperaturama i većom vlažnosti. To je kraj razdoblja malog ledenog doba, koje je u Europi trajalo od 14. stoljeća (Grove, 2001), iako su u drugoj polovici 19. stoljeća temperature još uvijek bile niže, a poplave češće i obilnije nego sredinom 20. stoljeća. Promjene korita europskih rijeka u razdoblju prije Drugog svjetskog rata često se objašnjavaju promjenama u pojavnosti poplava i prijenosa sedimenta zbog prelaska iz malog ledenog doba u razdoblje globalnog zatopljenja (Provansal i dr., 2014; Scorpio i dr., 2015; David i dr., 2016). Tako su primjerice promjene u vegetacijskom pokrovu i vlažnija klima tijekom malog ledenog doba utjecale na aktiviranje povremenog toka na otoku Visu (Favre i dr., u tisku).

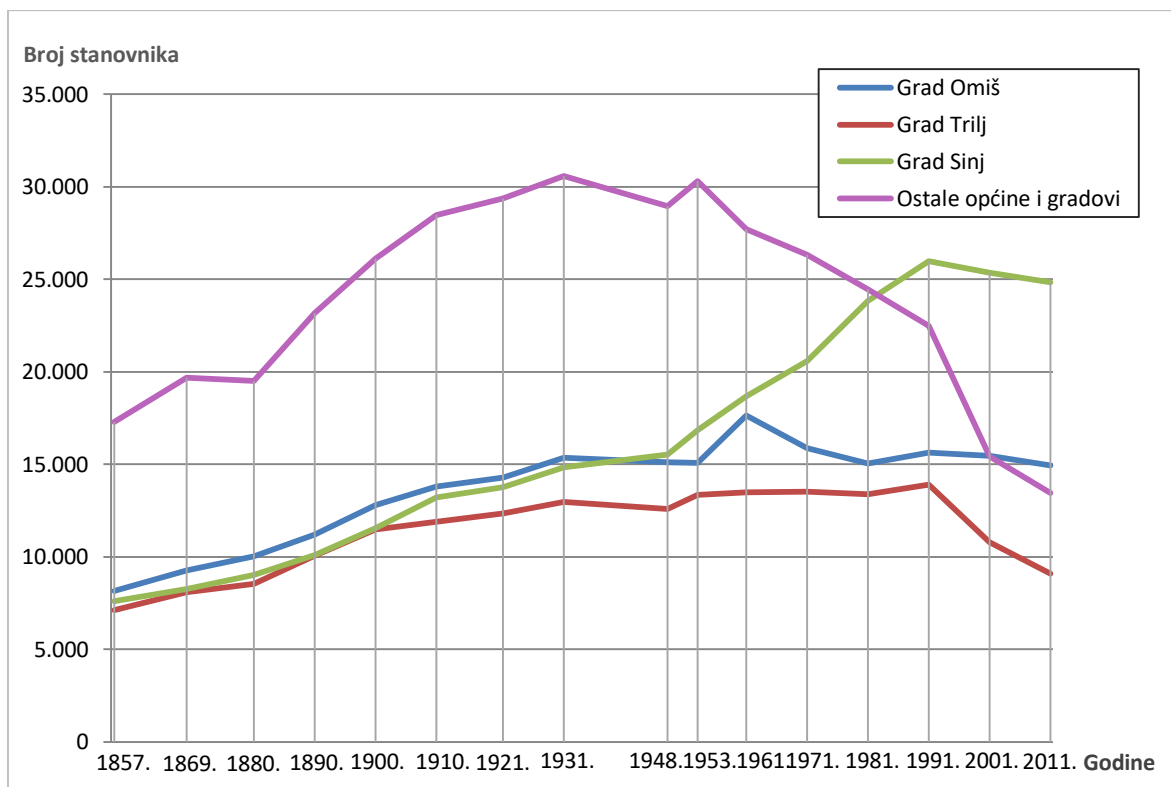
Sužavanje korita u Hrvatačkom polju između 15% i 20% prvenstveno je vezano uz pripajanje otoka obali i nestajanje nekadašnjih rukavaca. Najbolji primjer se nalazi 1 km nizvodno od brane Peruća, te se postavlja pitanje koliki je utjecaj na tu promjenu imala izgradnja brane budući da je aerofotogrametrijska snimka prema kojoj je izvršena analiza snimljena iste godine kada je i izgrađena sama brana, odnosno 1958. godine. Prema tome, može se pretpostaviti da su procesi koji su uvjetovali suženje korita trajali puno duže,

vjerojatno od početka 20. stoljeća. Pretpostavljeni procesi uključuju smanjeni protok i prijenos sedimenta, koji bi mogao biti vezan uz slabiju poljoprivrednu aktivnost i reforestaciju u uzvodnom području. Međutim, zbog nedostatka podataka ništa se ne može sa sigurnošću utvrditi. S druge strane, u Sinjskom je polju najveći utjecaj zasigurno imao ljudski faktor. Razlog sužavanju aktivnog korita vrlo vjerojatno leži u kanaliziranju glavnog toka rijeke te odvajanju sekundarnih korita. Navedeni zahvati uzrokovali su i nestanak većih otoka iz segmenta Sinjskog polja.

Međutim, velika pozitivna promjena u količini sprudova u Sinjskom i Hrvatačkom polju ne odgovara teoriji završetka malog ledenog doba, prema kojoj bi se u 20. stoljeću trebala smanjivati količina akumulacija u tekućicama zbog manjih količina padalina, slabije erozije i rjeđe pojave poplava (Grove, 2001). No, prvo treba naglasiti da su sprudovi na austro-ugarskim kartama generalizirani zbog mjerila, a u Sinjskom polju vjerojatno nisu ni posebno ucrtani jer je većina područja označena kao močvara. Nadalje, broj stanovnika u većini naselja u dolini Cetine rastao je od sredine 19. do sredine 20. stoljeća (sl. 24). Prema tome, usporedno s povećanjem broja stanovnika, ali i razvojem mehanizacije, rasla je i poljoprivredna aktivnost. Osnovna okolišna posljedica poljoprivredne intenzifikacije je deforestacija, koja dovodi do pojačane erozije i količine sedimenta u tekućici. Brojni se radovi bave obilježjima erozije i dezertifikacije na Sredozemlju, problemima koji sežu daleko u prošlost ovog područja. Dokazano je da je intenzitet erozije puno veći na poljoprivrednim površinama u usporedbi s prirodnim travnjacima, šikarom ili šumom (Wainwright i Thornes, 2004; Faivre i dr., u tisku). Mnogi smatraju da je široko rasprostranjena deforestacija glavni razlog povećane erozije tla i posljedičnog proširivanja riječnih dolina na europskom Sredozemlju (Hooke, 2006). Dakle, pojačana poljoprivredna aktivnost u dolini Cetine vjerojatno je uzrokovala veću količinu sedimenta u rijeci, zbog čega je sredinom 20. stoljeća općenito zabilježena gotovo četiri puta veća površina akumulacija u koritu. Proširivanje aktivnog korita u segmentima uzvodno od flišnog dolinskog proširenja i u samom proširenju (segmenti 9 i 10), može se objasniti upravo većom pojavnosti dužobalnih sprudova sredinom 20. stoljeća.

Slični procesi zabilježeni su i na drugim sredozemnim rijekama. Primjerice, na rijeci Tammaro u južnoj Italiji, između 1870. i 1955. godine površina sprudova povećala se gotovo sedam puta (Magliulo i dr. 2016). Osim povećane poljoprivredne aktivnosti, autori kao mogući razlog navode smanjenje u količini padalina i vrijednosti protoka, što može dovesti do smanjenog transportnog kapaciteta rijeke i do povećane akumulacije sedimenta.

Međutim, na nekim rijekama zabilježeni su i suprotni procesi. Na rijeci Arno između 1811. i 1954. godine zabilježeno je veliko smanjenje u površini riječnih akumulacija (Rinaldi i Simon, 1998), dok je na Garonni već prije Drugog svjetskog rata zabilježeno zarastanje sprudova i spajanje otoka s obalom, odnosno povećanje erozijskih i smanjenje akumulacijskih procesa (David i dr., 2016). Međutim, na navedenim su rijekama već krajem 19. stoljeća izvedeni mnogi hidrotehnički zahvati koji su smanjili donos sedimenta u korito.



Sl. 24. Kretanje broja stanovnika u općinama i gradovima u dolini Cetine

Izvori: Naselja i stanovništvo Republike Hrvatske 1857.-2001.; Popis stanovništva 2011., DZS

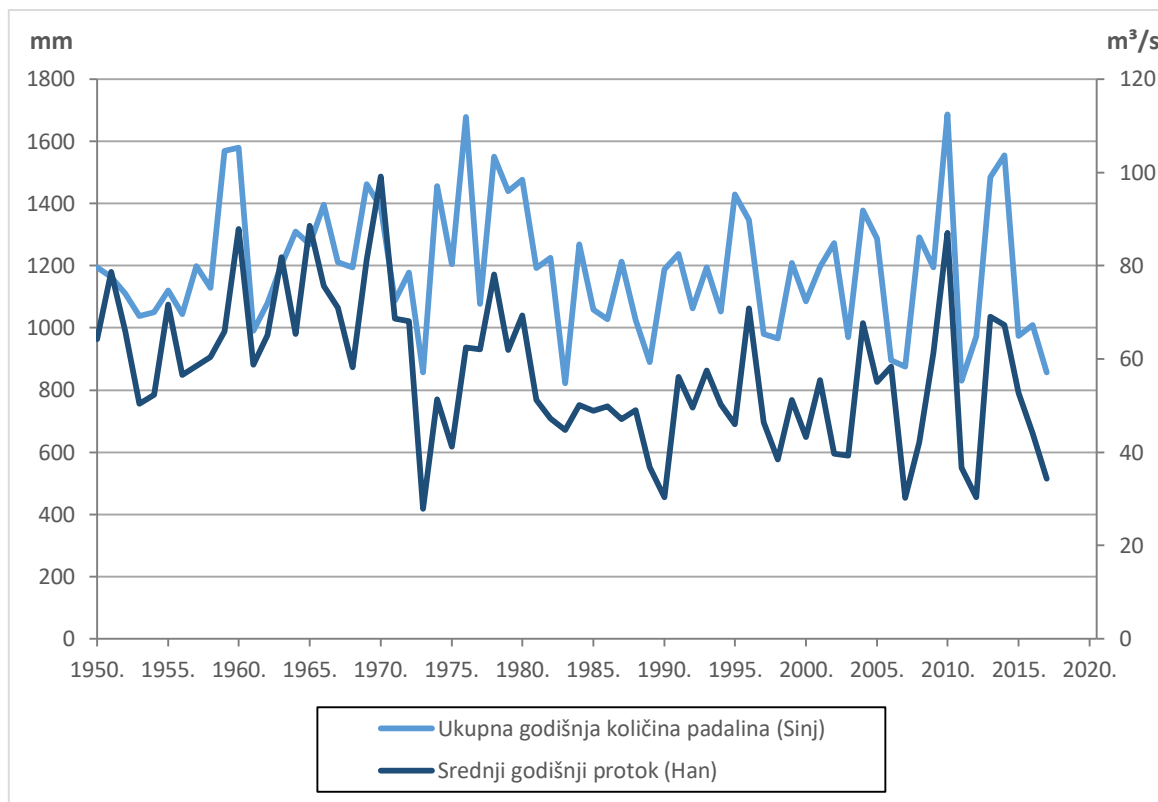
Dakle, brojni čimbenici mogu utjecati na promjene u širini korita i količini akumulacijskih oblika. Glavni faktori koji određuju intenzitet erozijskih i akumulacijskih procesa su protok, količina i vrsta sedimenta, nagib te vrsta podloge u koritu. Budući da se posljednje dvije vrijednosti nisu (značajno) mijenjale u segmentima tijekom istraživanog razdoblja, najvažniji faktori ostaju protok te količina i vrsta sedimenta. No, treba istaknuti da promjene širine aktivnog korita u nekim morfološki sličnim segmentima nisu istosmjerne i nužno povezane s količinom akumulacija (npr. segmenti 6 i 7 te 12 i 13). Prvo objašnjenje je da postoje pogreške u povijesnim austro-ugarskim kartama, a drugo je pretpostavka da su promjene u nekim segmentima bile pod utjecajem lokalnih uvjeta koji su definirali obilježja korita, vrijednost protoka i prijenos sedimenta.

Međutim, jasne promjene vidljive su na ušću Cetine. Od 1870-ih do 1960-ih godina zabilježeno je značajno širenje delte. Naime, desna akumulacija delte povećala se za 75%, a duljina toka do ušća produljila se za 250 m u navedenom razdoblju. I na Istarskom poluotoku zabilježena je progresija ušća Mirne od 350 m u posljednjih 200 godina, i ušća Raše od 4 km u posljednjih 240 godina (Benac i dr., 2017). Formiranje manjih deltastih oblika javlja se i kod znatno manjih tekućica na Istarskom poluotoku, a tijekom malog ledenog doba zabilježene su visoke stope sedimentacije (Faivre i dr. 2011a). Kao uzroke progresije autori (Faivre i dr. 2011a; Benac i dr. 2017) navode pojačanu eroziju flišnog zaleđa zbog klimatskih varijacija i antropogeno uvjetovane deforestacije. Naime, povećanje ljudske aktivnosti smatra se jednim od glavnih uzroka progradacije ušća sredozemnih rijeka. Povećani donos sedimenta uslijed razvoja poljoprivrede tijekom razdoblja Rimskog Carstva inicirao je razvoj novih i ubrzao rast postojećih delti. S druge strane, tijekom malog ledenog doba, snažan rast ruralnog stanovništva, povećanje protoka, napredak tehnologije i urbanizacija dodatno su potaknuli rast delti (Anthony i dr., 2014). Dakle, progradacija delte Cetine u navedenom razdoblju vrlo vjerojatno je posljedica povećanog donosa sedimenta zbog intenzivnih ljudskih aktivnosti u porječju.

## **5.2. Posljedice izgradnje hidroelektrana i društvenih promjena u posljednjih pedeset godina**

Od sredine 20. stoljeća do danas, zabilježene su značajne promjene korita rijeke Cetine, prvenstveno zbog antropogenih utjecaja. Sužavanje korita u izvorišnom području rijeke od 12% popraćeno je daljnjim isušivanjem močvarnih zona na sutoku izvorišnih krakova. Budući da jedino taj segment rijeke nije pod utjecajem izgradnje hidroenergetskih objekata, zabilježene promjene mogu se čvršće povezati s varijacijama u količini padalina. Naime, Bonacci i Roje-Bonacci (2001) ističu da je 1980-ih i 1990-ih godina zabilježeno relativno sušno razdoblje na širem području porječja Cetine. Navedeno sušnije razdoblje može se zamijetiti u nizu podataka meteorološke postaje Sinj (sl. 25). Za detaljniju analizu trebalo bi prvenstveno analizirati podatke meteoroloških stanica koje se nalaze na području hidrogeološkog porječja u Bosni i Hercegovini. No, to istraživanje izlazi iz okvira ovoga rada. S druge strane, treba istaknuti važnost utjecaja suvremenih demografskih procesa. Naime, općine gornjeg toka Cetine zabilježile su velik pad u broju stanovnika nakon Domovinskog rata (sl. 24). Najbolji primjer je općina Civljane u Cetinsko-Paškom polju, koja je zabilježila pad od čak 90%. Poljoprivredna aktivnost je gotovo zamrla te su

poljoprivredne površine u procesu zarastanja. Prema tome, sužavanju korita u izvorišnom segmentu vjerojatno su pridonijeli i pojačani erozijski procesi zbog smanjenog donosa sedimenta.



Sl. 25. Kretanje ukupne godišnje količine padalina na stanici Sinj i srednjeg godišnjeg protoka na stanici Han u razdoblju 1950.-2017.

Izvor: DHMZ

Sužavanje korita u segmentu 3 nizvodno od brane Peruča, koje iznosi 10%, može se objasniti pojačanom erozijom i smanjenim donosom sedimenta jer se on većinom zadržava u akumulaciji iznad brane. Negativna promjena srednjih godišnjih protoka postoji (sl. 25), ali nije toliko drastična, te još uvijek nije do kraja razjašnjena hidrološka veza između protoka, padalina i postojanja akumulacije Buško blato (Bonacci i dr., 2016). Međutim, treba naglasiti da apsolutne promjene u širini korita u segmentima 1, 2 i 3 iznose manje od 5 m, što je manje od lokacijske točnosti samih izvora, zbog čega navedene rezultate treba uzeti s određenom zadržkom.

Promjene u širini aktivnog korita u donjem dijelu Hrvatačkog polja i u cijelom Sinjskom polju su zanemarive. Budući da je rijeka kanalizirana 1950-ih godina, veličina potencijalne promjene vrlo je ograničena. S druge strane, nizvodno od Trilja, antropogeni utjecaj na



promjenu korita Cetine dosegao je svoj vrhunac. Izgradnjom akumulacija Đale i Prančevići, kanjonski tok rijeke potopljen je u dužini od 10 km, zbog čega se korito proširilo za 38 do 78%. Međutim, zbog ispuštanja samo 10% od prirodnog protoka nizvodno od brane Prančevići, aktivno korito se u svim nizvodnim segmentima, osim kanjanskog segmenta 11, suzilo za gotovo ili više od 50%. Pojavnost sprudova u suvremenom se razdoblju općenito smanjila za 85%. Sprudovi su većinom stabilizirani uz širenje vegetacijskog pokrova te posljedično spojeni s obalom ili pretvoreni u otoke (sl. 7). Zbog tih procesa, ali i općenitog snižavanja vodostaja, površina otoka se povećala za 23%, a njihov se broj udvostručio.

Navedene promjene zabilježene su i na mnogim drugim sredozemnim rijekama u posljednjih pedesetak godina. Zbog izgradnje hidroelektrana i brana, smanjuju se srednje i maksimalne vrijednosti protoka te prijenos sedimenta, što uzrokuje nizvodno sužavanje i usijecanje korita te smanjenje pojavnosti akumulacijskih oblika (Surian i Rinaldi, 2003; Scorpio i dr., 2015; Martínez-Fernández i dr., 2017). Primjerice, rijeka Calore u južnoj Italiji se u razdoblju između 1957. i 1998. godine suzila za prosječno 66%, što iznosi između 100 i 34 metara, ovisno o dijelovima rijeke. Također, pojavnost sprudova smanjila se za čak 94%. Osim kanaliziranja i izgradnje brana na pritokama, važan utjecaj na navedene procese imalo je i vađenje sedimenta iz korita te smanjenje protoka zbog crpljenja vode (Magliulo i dr., 2013).

Važan faktor površinskog otjecanja i stope erozije je vegetacijski pokrov, koji se na području Sredozemlja znatno promijenio od sredine 20. stoljeća. Naime, razvoj turizma i drugih uslužnih djelatnosti uzrokuje iseljavanje stanovništva iz ruralnih krajeva što dovodi do slabljenja poljoprivredne aktivnosti. Napuštanje poljoprivrednih zemljišta uzrokuje pojačanu reforestaciju, koja smanjuje stopu erozije i donos sedimenta u porječju (Boix-Fayos i dr., 2007; Keesstra, 2007; Fortugno i dr., 2017). Ruralne općine u dolini Cetine bilježe pad broja stanovnika od sredine 20. stoljeća, koji iznosi više od 50%. Jedino područje Grada Sinja bilježi rast, dok Omiš i Trilj bilježe stagnaciju ili pad broja stanovnika (sl. 24). Iako ne postoji sveobuhvatna analiza promjene zemljišnog pokrova za područje Dalmatinske zagore za razdoblje od posljednjih pedeset godina, radovi koji su istražili manja područja dokazali su uznapredovalo napuštanje poljoprivrednih površina uz povećanje udjela pod šumom i šikarom, odnosno makijom (Fuerst-Bjeliš i dr., 2011; 2016). Također, prema Corine Land Cover bazi podataka, na širem području srednje Dalmacije je u periodu od 1980. do 2010. godine zabilježeno povećanje površina pod makijom za 7% (Pavlek i dr., 2017). Zarastanje poljoprivrednih površina u užem području riječne doline zamijećeno je tijekom digitalizacije korita, međutim nije detaljno analizirano u ovome radu.

Utjecaj meteoroloških faktora, prvenstveno količine padalina, na navedene promjene korita teško je odrediti jer se protok nizvodno od brane Prančevići umjetno regulira, iako količina padalina zasigurno utječe na njegovu vrijednost.

Budući da je delta Cetine bitno izmijenjena umjetnim nasipavanjem i izgradnjom od 1970-ih godina do danas, u njoj više nije moguće pratiti prirodne procese erozije i akumulacije. U protivnom slučaju, bilo bi zanimljivo analizirati utjecaj svih uzvodnih promjena na promjene u morfologiji delte. Većina sredozemnih delti u posljednje se vrijeme nalazi u opasnosti od degradacije zbog smanjenog donosa sedimenta. Uzroci su već gore opisani ljudski utjecaji poput izgradnje brana, kanaliziranja rijeka i promjena zemljišnog pokrova (Anthony i dr., 2014).

### **5.3. Razlike u promjenama korita među određenim segmentima rijeke**

Osim uzroka promjena na razini cijele riječne doline, poput izgradnje hidroelektrana i napuštanja poljoprivrednih površina, razlike u stopi promjene između određenih segmenata rijeke mogu se objasniti razlikama u morfologiji, litologiji, ali i hidrologiji. Primjerice, najveće sužavanje aktivnog korita u posljednjih pedeset godina zabilježeno je u segmentima 10 i 12, koji se nalaze u flišnim zonama u kojima je rijeka oblikovala dolinska proširenja. U tim dijelovima toka korito je prirodno šire te se u njemu sredinom 20. stoljeća nalazilo mnogo sprudova. Njihovom stabilizacijom i spajanjem s obalom, korito se suzilo za 30 do 40 m, odnosno više od 55% prvotne širine. Međutim, iako je segment 13 morfološki vrlo sličan segmentu 12, u njemu je stopa negativne promjene širine manja zbog povećanog protoka rijeke zahvaljujući izvorima Studencima.

S druge strane, nizvodno od brane Prančevići, najmanja stopa promjene očekivano je zabilježena u kanjonskom segmentu 11, u kojem je korito prirodno dva puta uže nego u flišnim segmentima. U njemu nije zabilježena pojavnost sprudova, pa razlika u njihovoj pojavnosti nije mogla utjecati na promjene u širini korita. Nadalje, iako su segmenti 8 i 9 također kanjanskog tipa, njihovo je korito znatno šire te su već u drugoj polovici 19. stoljeća u njima bile razvijene akumulacije, koje u posljednjem razdoblju zarastaju. Dakle, možemo zaključiti da su u posljednjem razdoblju važni faktori koji određuju veličinu stope promjene širine aktivnog korita pojavnost sprudova i prvotna širina korita.

## 6. Zaključak

Predstavljeni rezultati istraživanja pokazali su da su se geomorfološka obilježja rijeke Cetine vidno promijenila od kraja 19. stoljeća do danas. Tijekom prvog razdoblja, od druge polovice 19. do sredine 20. stoljeća, zabilježeno je sužavanje korita uzvodno od Trilja, te mjestimično proširivanje i sužavanje nizvodno od Trilja uz povećanje količine akumulacijskih oblika. Zbog nejednakog smjera promjena i nedostatka meteoroloških i hidroloških podataka, nije moguće sa sigurnošću utvrditi uzroke. Međutim, sužavanje korita može se pripisati sušnijim uvjetima nakon kraja malog ledenog doba i hidrotehničkim zahvatima u Sinjskom polju. S druge strane, povećana količina sprudova najvjerojatnije je uzrokovana povećanim donosom sedimenta zbog razvoja poljoprivredne aktivnosti i deforestacije u razdoblju do Drugog svjetskog rata. Najjasnija posljedica tih procesa je značajna progradacija delte. Međutim, najznačajnije promjene korita zabilježene su u razdoblju od sredine 20. stoljeća do danas. Izgradnja pet hidroelektrana u porječju rijeke uzrokovala je velike promjene u vrijednostima protoka i prijenosu sedimenta. Nizvodno od brane Prančevići, protok je mjestimice smanjen za čak 90%. Posljedice su drastične: aktivno korito je na gotovo trećini duljine toka suženo za oko 50%, a površina sprudova se u cijelom toku smanjila za 85%. Smanjenju pojavnosti akumulacijskih oblika pridonijele su i promjene u dotoku sedimenta uslijed napuštanja poljoprivrednih zemljišta i reforestacije. Također, dokazano je da je stopa promjene korita uvjetovana morfološkim i hidrološkim obilježjima. Najveće stope promjene vezane su uz flišne zone u kojima su nekad aktivne riječne akumulacije danas stabilizirane i/ili spojene s obalom. Nažalost, utjecaj navedenih društvenih promjena nije moguće pratiti u razvoju delte jer je ona danas umjetno izmijenjena nasipavanjem i izgradnjom.

Rezultati ovog rada mogu se proširiti terenskim istraživanjem i analizom sedimenata, koji omogućuju detaljniji uvid u morfološku evoluciju korita i riječne doline. Preliminarno istraživanje provedeno u Sinjskom polju pokazuje obećavajući potencijal za sedimentološke analize (Smith i dr., 2006). Također, daljnji napredak u cilju poboljšanja točnosti georeferenciranja povijesnih karata i aerofotogrametrijskih snimaka osigurat će manje greške u digitalizaciji.

U svakom slučaju, zabilježene promjene korita u zadnjih pedesetak godina bitno su smanjile kvalitetu morfološkog stanja Cetine. Brane Peruča i Prančevići predstavljaju oštar prekid u longitudinalnom kontinuitetu rijeke, što osim prijenosa sedimenta ograničava i povezanost ekosustava. Nadalje, kanaliziranje rijeke, antropogeno uvjetovano zamočvarivanje i

sedimentacija mrtvaja, drastično sužavanje korita te nestanak sprudova koji predstavljaju bitna staništa, morfološke su promjene koje negativno utječu na bioraznolikost i funkcioniranje riječnog ekosustava (Šafarek, 2012; Hajdukiewicz i Wyżga, 2019). Naime, samopročišćavanje tekućice ključan je čimbenik u očuvanju kvalitete pitke vode, a ovisi upravo o količini protoka i prirodnim procesima u ekosustavu, zbog čega je potrebno poštivati vrijednost biološkog minimuma (Štambuk-Giljanović, 2002).

Iako u okviru ovog rada nije planirano ulaziti u široke ekološke rasprave, rezultati predstavljenog istraživanja jasno pokazuju stupanj degradacije riječnog korita koji je nastupio zbog antropogenih utjecaja, pri čemu je briga za okoliš izostala. Naime, nepovoljna vrijednost biološkog minimuma definirana je još 1960-ih godina, no upravljanje Cetinom ni danas se nije bitnije promijenilo (Bonacci i Roje-Bonacci, 2001). U okviru modela klimatskih promjena, koji prognoziraju daljnje isušivanje i zatopljenje Sredozemlja u ljetnim mjesecima (Giorgi i Lionello, 2008), postavlja se pitanje održivosti sadašnjeg stanja. Potencijalno poboljšanje moguće je prvenstveno povećanjem i poštivanjem vrijednosti biološkog minimuma protoka, koja treba biti donesena na temelju znanstveno-stručne rasprave bez uplitanja politike. Također, rezultati ovog istraživanja mogu se upotrijebiti u potencijalnim planovima obnove rijeke i održivog upravljanja, koji se trebaju temeljiti na usklađivanju potreba stanovništva i riječnog ekosustava.

## Literatura:

1. Anthony, E. J., Marriner, N., Morhange, C., 2014: Human influence and the changing geomorphology of Mediterranean deltas and coasts over the last 6000 years: From progradation to destruction phase?, *Earth-Science Reviews*, 139, 336–361. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.10.003>
2. Arnaud, F., Piégay, H., Schmitt, L., Rollet, A. J., Ferrier, V., Béal, D., 2015: Historical geomorphic analysis (1932–2011) of a by-passed river reach in process-based restoration perspectives: The Old Rhine downstream of the Kembs diversion dam (France, Germany), *Geomorphology*, 236, 163–177. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.02.009>
3. Baučić, I., 1967: Cetina – razvoj reljefa i cirkulacija vode u kršu, *Radovi Geografskog instituta Sveučilišta u Zagrebu*, 6(1), 5–167.
4. Beechie, T. J., Sear, D. A., Olden, J. D., Pess, G. R., Buffington, J. M., Moir, H., ... Pollock, M. M., 2010: Process-based Principles for Restoring River Ecosystems, *BioScience*, 60(3), 209–222. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.3.7>
5. Belletti, B., Nardi, L., Rinaldi, M., Poppe, M., Brabec, K., Bussetini, M., ... Surian, N., 2018: Assessing Restoration Effects on River Hydromorphology Using the Process-based Morphological Quality Index in Eight European River Reaches, *Environmental Management*, 61(1), 69–84. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0961-x>
6. Benac, Č., Rubinić, J., Radišić, M., 2017: Geomorfološka evolucija riječnih dolina i ušća na istarskom poluotoku, *Hrvatske vode*, 25(100), 71–80.
7. Bizzi, S., Demarchi, L., Grabowski, R. C., Weissteiner, C. J., Van de Bund, W., 2016: The use of remote sensing to characterise hydromorphological properties of European rivers, *Aquatic sciences*, 78(1), 57–70.
8. Bogнар, A., 2001: Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 34(1), 7–26.
9. Bogнар, A., 2008: Geomorfološka obilježja korita rijeke Drave i njenog poloja u širem području naselja Križnica, *Hrvatski geografski glasnik*, 70(2.), 49–71.
10. Bogнар, A., Faivre, S., Buzjak, N., Pahernik, M., Bočić, N., 2012: Recent Landform Evolution in the Dinaric and Pannonian Regions of Croatia, u: *Recent Landform Evolution, The Carpatho-Balkan-Dinaric Region*, (ur. Lóczy, D., Stankoviansky, M., & Kotarba, A.). Springer Netherlands, Dordrecht, 313–344. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2448-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2448-8_12)
11. Boix-Fayos, C., Barberá, G. G., López-Bermúdez, F., Castillo, V. M., 2007: Effects of check dams, reforestation and land-use changes on river channel morphology: Case study of the Rogativa catchment (Murcia, Spain), *Geomorphology*, 91(1–2), 103–123. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.02.003>
12. Bonacci, O., Buzjak, N., Roje-Bonacci, T., 2016: Changes in hydrological regime caused by human intervention in karst: the case of the Rumin Springs, *Hydrological Sciences Journal*, 61(13), 2387–2398. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1111518>
13. Bonacci, O., Roje-Bonacci, T., 2000: 2. The basic natural characteristic of the Cetina river basin and its adjacent coastal area; 2.1. Natural characteristics of the river basin and the coast; 2.2 Hydrogeology and hydrogeology, u: *River Cetina Watershed and the*

- Adjacent Coastal Area, Environmental and Socioeconomic Profile* (ur. Madiraca, M., Bubić, G., Margeta, J., Barić, A., Nakamura, T.), UNEP/MAP/PAP, 10-23.
14. Bonacci, O., Roje-Bonacci, T., 2001: Hidrološke promjene duž toka rijeke Cetine, *Hrvatske vode*, 9(37), 395-408.
  15. Bonacci, Ognjen, Roje-Bonacci, T., 2003: The influence of hydroelectrical development on the flow regime of the karstic river Cetina, *Hydrological Processes*, 17(1), 1–15. <https://doi.org/10.1002/hyp.1190>
  16. Borković, V., 1982: Historijsko-geografske osnove naseljavanja Cetine, *Hrvatski geografski glasnik*, 44(1), 69-84.
  17. Brown, A. G., Lespez, L., Sear, D. A., Macaire, J.-J., Houben, P., Klimek, K., ... Pears, B., 2018: Natural vs anthropogenic streams in Europe: History, ecology and implications for restoration, river-rewilding and riverine ecosystem services, *Earth-Science Reviews*, 180, 185–205. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.02.001>
  18. Čanjevac, I., 2013: Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj, *Hrvatski geografski glasnik*, 75(1), 23-42.
  19. David, M., Labenne, A., Carozza, J.-M., Valette, P., 2016: Evolutionary trajectory of channel planforms in the middle Garonne River (Toulouse, SW France) over a 130-year period: Contribution of mixed multiple factor analysis (MFAMix), *Geomorphology*, 258, 21–39. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.01.012>
  20. Elozegi, A., Díez, J., Mutz, M., 2010: Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems, *Hydrobiologia*, 657(1), 199–215. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-0083-4>
  21. EU (European Union), 2000: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, *Official Journal of European Communities*, 327, 1-72.
  22. Faivre, S., 2002: Structuro-geomorphological settings of the Velebit mountain range and its surroundings, u: *Geomorphology of the Dinaric mountain belt in Croatia (Some examples)*, (ur. Bognar, A. Faivre, S., Zagoda, I.), Excursion guide-book for the Carpatho-Balkan workshop on Environmental change impacts in the Carpatho-Balkan Region. Zagreb, Croatia.
  23. Faivre, S., Fouache, E., Ghilardi, M, Antonioli, F, Furlani, S., Kovačić, V., 2011a: Relative sea level change in Istria (Croatia) during the last millenia, *Quaternary International*, 232, 132-143.
  24. Faivre, S., Pahernik, M., Maradin, M., 2011b: The Gully of Potovošća on the Island of Krk - The effects of a short-term event, *Geologia Croatica*, 64/1, 64-76.
  25. Faivre, S., Mićunović, M., 2017: Rekonstrukcija recentnih morfoloških promjena žala uz pomoć metode ponovljene fotografije – primjer žala Zogon na otoku Hvaru (Srednji Jadran), *Geoadria*, 22(2), 165-192.
  26. Faivre, S., Galović, L., Sümegi, P., Cvitanović, M., Náfrádi, K., Horvatinčić, N., 2019: Palaeoenvironmental reconstruction of the Milna Valley on the Island of Vis (Central Adriatic) during the late Holocene, *Quaternary International*, [doi.org/10.1016/j.quaint.2018.11.017](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.11.017), u tisku.

27. Filipčić, A., 1998: Klimatska regionalizacija Hrvatske po W. Köppenu za standardno razdoblje 1961.–1990. u odnosu na razdoblje 1931.–1960., *Acta geographica Croatica*, 33(1.), 7-14.
28. Fortugno, D., Boix-Fayos, C., Bombino, G., Denisi, P., Quiñonero Rubio, J. M., Tamburino, V., Zema, D. A., 2017: Adjustments in channel morphology due to land-use changes and check dam installation in mountain torrents of Calabria (southern Italy), *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(14), 2469–2483. <https://doi.org/10.1002/esp.4197>
29. Fuerst-Bjeliš, B., Cvitanović, M., Durbešić, A., 2016: Fire risk incidence over the last 200 years: case study in the Mediterranean Croatia, u: *The Overarching Issues of the European Space: Rethinking Socioeconomic and Environmental Problems, Repositioning Territorial Development Policies* (ur. Pina, H., Remoaldo, P., Ramos, C.). Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Milena Press, 161-172.
30. Fuerst-Bjeliš, B., Lozić, S., Cvitanović, M., Durbešić, A., 2011: Promjene okoliša središnjeg dijela Dalmatinske zagore od 18. stoljeća, u: *Zagora između stočarsko-ratarske tradicije te procesa litoralizacije i globalizacije: Zbornik radova*, (ur. Matas, M., Faričić, J.). Zadar - Dugopolje, 19.-21. listopada 2010., Sveučilište u Zadru, Kulturni sabor Zagore, Ogranak Matice hrvatske Split, 117-129.
31. Gašparović, M., Dobrinić, D., Medak, D., 2018: Spatial Accuracy Analysis of Aerial and Satellite Imagery of Zagreb, *Geodetski list*, 72(1), 1-14.
32. Giorgi, F., Lionello, P., 2008: Climate change projections for the Mediterranean region, *Global and Planetary Change*, 63(2–3), 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
33. Glamuzina, M., Glamuzina, N., 1996: Promjene u biološkoj i ekonomskoj strukturi stanovništva Južne Hrvatske (Dalmacije) od 1948. do 1991. godine, *Geoadria*, 1(1), 17-34.
34. Gregory, K. J., 2006: The human role in changing river channels, *Geomorphology*, 79(3–4), 172–191. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.018>
35. Grove, A. T., 2001: The " Little Ice Age" and its geomorphological consequences in Mediterranean Europe, *Climatic Change*, 48(1), 121-136.
36. Hajdukiewicz, H., Wyżga, B., 2019: Aerial photo-based analysis of the hydromorphological changes of a mountain river over the last six decades: The Czarny Dunajec, Polish Carpathians, *Science of The Total Environment*, 648, 1598–1613. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.234>
37. Hooke, J. M., 2006: Human impacts on fluvial systems in the Mediterranean region, *Geomorphology*, 79(3–4), 311–335. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.036>
38. Ivanović, A., Sikirica, V., Marković, S., Sakač, K., 1977: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100,000, list Drniš K33–9*, Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967–1972), Savezni geološki zavod, Beograd.
39. Keesstra, S. D., 2007: Impact of natural reforestation on floodplain sedimentation in the Dragonja basin, SW Slovenia, *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(1), 49–65. <https://doi.org/10.1002/esp.1360>
40. Kiss, T., Andrási, G., 2017: Hydro-morphological Responses of the Dráva River on various Engineering Works, *Ekonomska i ekohistorija: časopis za gospodarsku povijest i povijest okoliša*, 13(1), 14-24.

41. Kondolf, G. M., Boulton, A. J., O'Daniel, S., Poole, G. C., Rahel, F. J., Stanley, E. H., ... Huber, H., 2006: Process-based ecological river restoration: visualizing three-dimensional connectivity and dynamic vectors to recover lost linkages, *Ecology and society*, 11(2):5.
42. Liébault, F., Piégay, H., 2002: Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France, *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(4), 425–444. <https://doi.org/10.1002/esp.328>
43. Lionello, P., Abrantes, F., Gacic, M., Planton, S., Trigo, R., Ulbrich, U., 2014: The climate of the Mediterranean region: research progress and climate change impacts, *Regional Environmental Change*, 14(5), 1679–1684. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0666-0>
44. Liro, M., 2015: Estimation of the impact of the aerialphoto scale and the measurement scale on the error in digitization of a river bank, *Zeitschrift Für Geomorphologie*, 59(4), 443–453. <https://doi.org/10.1127/zfg/2014/0164>
45. Magliulo, P., Bozzi, F., Pignone, M., 2016: Assessing the planform changes of the Tammaro River (southern Italy) from 1870 to 1955 using a GIS-aided historical map analysis, *Environmental Earth Sciences*, 75(4). <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5266-5>
46. Magliulo, P., Valente, A., Cartoian, E., 2013: Recent geomorphological changes of the middle and lower Calore River (Campania, Southern Italy), *Environmental Earth Sciences*, 70(6), 2785–2805. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2337-8>
47. Margat, J., 2009: Water resources, u: *The Physical Geography of the Mediterranean*, (ur. Woodward, J. C.), Oxford University Press, Oxford, 583-597.
48. Marinčić, S., Korolija, B., Majcen, Ž., 1976: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100,000, list Omiš K33–22*, Institut za geološka istraživanja Zagreb (1968–1969), Savezni geološki zavod, Beograd.
49. Marinčić, S., Magaš, N., Borović, I., 1971: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100,000, list Split K33–21*, Institut za geološka istraživanja Zagreb (1968–1969), Savezni geološki zavod, Beograd.
50. Martínez-Fernández, V., González del Tánago, M., Maroto, J., García de Jalón, D., 2017: Fluvial Corridor Changes Over Time in Regulated and Non-Regulated Rivers (Upper Esla River, NW Spain): Corridor changes over time in NW Spain, *River Research and Applications*, 33(2), 214–223. <https://doi.org/10.1002/rra.3032>
51. Matas, M., 2003: O Zagori i njezinim demografskim problemima, u: *III. Hrvatski geografski kongres: zbornik radova*, (ur. Toskić, A.), Zadar, 24. - 27. rujna 2003., Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 309-324.
52. Papeš, J., Marinković, R., Raić, V., Magaš, N., Sikirica, V., 1982: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100,000, list Sinj K33–10*, „Geoinženjering“ – Institut za geologiju, Sarajevo (1968-1980), Geološki zavod – OOUR za geologiju i paleontologiju, Zagreb (1971–1976), Savezni geološki zavod, Beograd.
53. Pavlek, K., Bišćević, F., Furčić, P., Grđan, A., Gugić, V., Malešić, N., ... Cvitanović, M., 2017: Spatial patterns and drivers of fire occurrence in a Mediterranean environment: a case study of southern Croatia, *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 117(1), 22-35. <https://doi.org/10.1080/00167223.2016.1266272>



54. Plantak, M., Čanjevac, I., Vidaković, I., 2016: Morfološko stanje tekućica u poriječju Ilove, *Hrvatski geografski glasnik*, 78(1), 5-24.
55. Provansal, M., Dufour, S., Sabatier, F., Anthony, E. J., Raccasi, G., Robresco, S., 2014: The geomorphic evolution and sediment balance of the lower Rhône River (southern France) over the last 130 years: Hydropower dams versus other control factors, *Geomorphology*, 219, 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.033>
56. Rinaldi, M., Simon, A., 1998: Bed-level adjustments in the Arno River, central Italy, *Geomorphology*, 22(1), 57–71. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(97\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(97)00054-8)
57. Scorpio, V., Aucelli, P. P. C., Giano, S. I., Pisano, L., Robustelli, G., Roskopf, C. M., Schiattarella, M., 2015: River channel adjustments in Southern Italy over the past 150 years and implications for channel recovery, *Geomorphology*, 251, 77–90. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.008>
58. Smith, D., Gaffney, V., Grossman, D., Howard, A. J., Milošević, A., Ostir, K., ... Tinsley, H., 2006: Assessing the later prehistoric environmental archaeology and landscape development of the Cetina Valley, Croatia, *Environmental Archaeology*, 11(2), 171–186. <https://doi.org/10.1179/174963106x123197>
59. Srebrenović, D., 1963: *Hidrologija Cetine*, Projekt, Zagreb.
60. Surian, N., Rinaldi, M., 2003: Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy, *Geomorphology*, 50(4), 307–326. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00219-2](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00219-2)
61. Swanson, B. J., Meyer, G. A., Coonrod, J. E., 2011: Historical channel narrowing along the Rio Grande near Albuquerque, New Mexico in response to peak discharge reductions and engineering: magnitude and uncertainty of change from air photo measurements, *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(7), 885–900. <https://doi.org/10.1002/esp.2119>
62. Šafarek, G., 2012: Recentne hidromorfološke promjene na širem području ušća Mure u Dravu, *Ekonomska i ekohistorija: časopis za gospodarsku povijest i povijest okoliša*, 8(1), 5-13.
63. Šegota, T., Filipčić, A., 1996: *Klimatologija za geografe*, Školska knjiga, Zagreb.
64. Šimunović, I., 2011: Naselja Zagore između planinske, dolinske i obalne ekonomije, u: *Zagora između stočarsko-ratarske tradicije te procesa litoralizacije i globalizacije: zbornik radova* (ur: Matas, M., Faričić, J.), Zadar - Dugopolje, 19.-21. listopada 2010., Sveučilište Zadar, Kulturni sabor Zagore Split, Matica Hrvatska Split, 75-87.
65. Štambuk-Giljanović, N., 2002: *Vode Cetine i njezina poriječja*, Zavod za javno zdravstvo Županije splitsko-dalmatinske, Split.
66. Tóth, G., Engi, Z., Majdán, J., Ákos Fábíán, S., 2013: Historijsko-morfološka rekonstrukcija inundacije rijeke Mure, *Ekonomska i ekohistorija: časopis za gospodarsku povijest i povijest okoliša*, 9(1), 28-34.
67. Wainwright, J., Thornes, J. B., 2004: *Environmental issues in the Mediterranean: processes and perspectives from the past and present*, Routledge, London, New York.
68. Zaharia, L., Ioana-Toroimac, G., Moroşanu, G.-A., Gălie, A.-C., Moldoveanu, M., Čanjevac, I., ... Ciobotaru, N., 2018: Review of national methodologies for rivers' hydromorphological assessment: A comparative approach in France, Romania, and

Croatia, *Journal of Environmental Management*, 217, 735–746.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.017>

69. Zaroni, L., Gurnell, A., Drake, N., Surian, N., 2008: Island dynamics in a braided river from analysis of historical maps and air photographs, *River Research and Applications*, 24(8), 1141–1159. <https://doi.org/10.1002/rra.1086>
70. Zwicker, G., Žeger Pleše, I., Zupan, I., 2008: *Zaštićena geobaština Republike Hrvatske*, Džavni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.

#### Izvori:

1. *Agroklub*, <https://www.agroklub.com/agrogalerija/natjecanje-dalmatinskih-oraca-2902/#gallery-5>, (3. 1. 2019.)
2. *Digitalni ortofoto u mjerilu 1:5000, 2011. godina – WMS*, Državna geodetska uprava, <http://geoportal.dgu.hr/services/dof/wms?SERVICE=WMS&REQUEST=GetCapabilities>, (18. 10. 2018.)
3. *Digitalni ortofoto u mjerilu 1:5000, 2014/16. godina – WMS*, Državna geodetska uprava, [http://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto\\_2014-2016/wms?SERVICE=WMS&REQUEST=GetCapabilities](http://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2014-2016/wms?SERVICE=WMS&REQUEST=GetCapabilities), (18. 10. 2018.)
4. *Digitalni ortofoto u mjerilu 1:5000, 2017. godina – WMS*, Državna geodetska uprava, [https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto\\_2017/wms?request=GetCapabilities&service=WMS](https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms?request=GetCapabilities&service=WMS), (18. 10. 2018.)
5. Dilts, T.E., 2015: *Polygon to Centerline Tool for ArcGIS*. University of Nevada Reno, <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=bc642731870740aabf48134f90aa6165> (11. 11. 2018.)
6. *Državna geodetska uprava (DGU)*, aerofotogrametrijske snimke (niz/snimak): Peruča 1958 (19/3404, 21/3465, 21/3473), Srednja Dalmacija 1960 (x/6434, 1317/5449, 1319/5404, 1323/6941, 58/6939, 59/5313, 60/5323), Split Cetina 1952 (179/6289, 179/6303, 179/6314, 179/6328), Obala Dubrovnik Split 1951 (228/1285, 228/1292, 228/1293, 228/1295, 228/1296, 228/1298, 229/1300), Reambulacija VGI Sarajevo Primorje 1966 (1/2267).
7. *Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ)*, srednje mjesečne i godišnje temperature zraka (°C) i srednje mjesečne i godišnje količine oborina (mm) za postaju Sinj (1950.-2017.), srednji godišnji protok (m<sup>3</sup>/s) na stanicama Han (1947.-2017.), Blato na Cetini (1947.-2017.) i Tisne Stine 1 (1967.-2017.)
8. *EU-DEM*, European Environmental Agency, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem#tab-european-data> (15. 10. 2018.)
9. *Geološka karta Republike Hrvatske 1:300.000*, Hrvatski geološki institut, [https://www.hgi-cgs.hr/geoloska\\_karta\\_Hrvatske\\_1-300\\_000.htm](https://www.hgi-cgs.hr/geoloska_karta_Hrvatske_1-300_000.htm), (10. 12. 2018.)
10. *Habsburg Empire (1869-1887) - Third Military Survey (1:25000)*, Mapire, <https://mapire.eu> (2. 10. 2018.)
11. *HEP proizvodnja*, <http://proizvodnja.hep.hr/proizvodnja/osnovni/hidroelektrane/jug>, (20. 12. 2018.)

12. *Hrvatska osnovna karta u mjerilu 1:5000 – WMS*, Državna geodetska uprava, <http://geoportal.dgu.hr/services/hok/wms?SERVICE=WMS&REQUEST=GetCapabilities>, (18. 10. 2018.)
13. *Naselja i stanovništvo Republike Hrvatske 1857. - 2001.*, Državni zavod za statistiku, [www.dzs.hr](http://www.dzs.hr) (3. 1. 2019.)
14. *Open Street Map* (OSM), <https://www.openstreetmap.org>, (10. 12. 2018.)
15. *Panoramio*, <http://www.panoramio.com/photo/18990186>, (3. 1. 2019.)
16. *Plan upravljanja pomorskim dobrom na području Grada Omiša za 2018. godinu*, <http://www.omis.hr/2018pdf/PlanUpravljanja-2018.pdf>, (2. 2. 2019.)
17. *Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011., Stanovništvo prema starosti i spolu po naseljima*, Državni zavod za statistiku, [www.dzs.hr](http://www.dzs.hr) (3. 1. 2019.)
18. *Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja, sektor F – južni Jadran, branjeno područje 28: područje malog sliva Cetina*, Hrvatske vode, 2014.
19. *Topografska karta u mjerilu 1:25000 – WMS*, Državna geodetska uprava, <http://geoportal.dgu.hr/wms?layers=TK25>, (18. 10. 2018.)
20. *TripAdvisor*, [https://www.tripadvisor.de/LocationPhotoDirectLink-g295370-d1955691-i229815717-Split\\_Adventure-Split\\_Split\\_Dalmatia\\_County\\_Dalmatia.html](https://www.tripadvisor.de/LocationPhotoDirectLink-g295370-d1955691-i229815717-Split_Adventure-Split_Split_Dalmatia_County_Dalmatia.html), (3. 1. 2019.)
21. *Visit Omiš*, <https://www.visitomis.hr/hr/fotogalerija>, (3. 1. 2019.)
22. *Wikipedia*, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Cetina#/media/File:Cetina\\_dam.JPG](https://hr.wikipedia.org/wiki/Cetina#/media/File:Cetina_dam.JPG), (3. 1. 2019.)
23. *Youtube*, [https://www.youtube.com/watch?v=G4eiec\\_N7eY](https://www.youtube.com/watch?v=G4eiec_N7eY), (3. 1. 2019.)

## Prilozi

### Prilog 1. Popis slika

- Sl. 1. Hidrogeološko porječje Cetine određeno prema Provedbenom planu obrane od poplava (2014)
- Sl. 2. Geološka karta šireg područja toka rijeke Cetine
- Sl. 3. Geomorfološki različiti dijelovi doline Cetine: A) Veliko vrilo, B) Perućko jezero, C) Sinjsko polje, D) nizvodno od brane Prančevići, E) slapovi Velika i Mala Gubavica, F) probojnica i ušće kod Omiša
- Sl. 4. Godišnji hod temperature i padalina u Sinju u razdoblju 1981.-2010.
- Sl. 5. Hidrološki režim Cetine na odabranim hidrološkim stanicama u razdoblju 1990.-2009.
- Sl. 6. Nizovi srednjih godišnjih protoka na odabranim hidrološkim stanicama na Cetini
- Sl. 7. Primjeri digitalizacije korita, sprudova i otoka na temelju: A) austro-ugarske karte iz 1869.-1887. godine, B) aerofotogrametrijskog snimka iz 1951. godine, C) ortofoto-karte iz 2017. godine
- Sl. 8. Podjela rijeke Cetine na segmente (gornji dio toka)
- Sl. 9. Podjela rijeke Cetine na segmente (donji dio toka)
- Sl. 10. Uzdužni profil rijeke Cetine prema određenim segmentima
- Sl. 11. Izračun širine aktivnog korita pomoću metode poprečnih presjeka
- Sl. 12. Prosječna širina aktivnog korita u segmentima rijeke Cetine u navedenim razdobljima
- Sl. 13. Relativne promjene prosječne širine aktivnog korita u segmentima rijeke Cetine između navedenih razdoblja
- Sl. 14. Maksimumi širine aktivnog korita u segmentima rijeke Cetine u navedenim razdobljima
- Sl. 15. Minimumi širine aktivnog korita u segmentima rijeke Cetine u navedenim razdobljima
- Sl. 16. Ukupan broj (A) i ukupna površina (B) sprudova u segmentima rijeke Cetine u navedenim razdobljima
- Sl. 17. Ukupan broj (A) i ukupna površina (B) otoka u segmentima rijeke Cetine u navedenim razdobljima
- Sl. 18. Močvarna zona 1a i pogled na Cetinsko-Paško polje
- Sl. 19. Promjene u površini močvarnog područja u zoni 1a, A) austro-ugarska karta iz 1869.-1887. godine, B) aerofotogrametrijski snimak iz 1958. godine, C) ortofoto-karta iz 2017. godine
- Sl. 20. Promjene u površini močvarnog područja u zoni 1b, A) austro-ugarska karta iz 1869.-1887. godine, B) aerofotogrametrijski snimak iz 1958. godine, C) ortofoto-karta iz 2017. godine
- Sl. 21. Nekadašnja dolina Cetine na austro-ugarskoj karti iz 1869.-1887. godine, danas potopljena pod akumulacijom Peruća

- Sl. 22. Dolina Cetine u Sinjskom polju
- Sl. 23. Promjene ušća rijeke Cetine: A) austro-ugarska karta iz 1869.-1887. godine, B) aerofotogrametrijski snimak iz 1951. godine, C) ortofoto-karta iz 2017. godine
- Sl. 24. Kretanje broja stanovnika u općinama i gradovima u dolini Cetine
- Sl. 25. Kretanje ukupne godišnje količine padalina na stanici Sinj i srednjeg godišnjeg protoka na stanici Han u razdoblju 1950.-2017.

## Prilog 2. Popis tablica

- Tab.1. Osnovni podaci o hidroelektranama u porječju Cetine
- Tab. 2. Morfometrijska obilježja segmenata rijeke Cetine
- Tab. 3. Usporedba izračunatih vrijednosti prosječne širine aktivnog korita Cetine (m)
- Tab. 4. Pojavnost sprudova i otoka u cijelom toku Cetine u navedenim razdobljima
- Tab. 5. Obilježja potopljene doline Cetine (današnje Perućko jezero)
- Tab. 6. Obilježja korita Cetine u Sinjskom polju u navedenim razdobljima

Prilog 3. Rezultati izračuna prosječne širine aktivnog korita Cetine dobiveni dijeljenjem površine segmenta njegovom duljinom

Segment	Površina segmenta (ha)			Duljina segmenta (m)			Prosječna širina segmenta (m)			Apsolutna razlika (m)		Relativna razlika (%)	
	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.	1869.-1960.	1951.-2017.	1869.-1960.	1951.-2017.
1	30,67	24,57	21,59	8580,75	9144,81	9166,69	35,75	26,87	23,55	-8,88	-3,32	-24,84	-12,35
2	6,19	6,51	5,69	1828,08	1858,93	1870,09	33,86	35,01	30,45	1,15	-4,56	3,38	-13,03
3	24,84	21,20	18,92	4954,41	4962,71	4974,12	50,13	42,71	38,04	-7,42	-4,68	-14,80	-10,95
4	62,33	50,25	51,02	8085,87	8056,32	8046,75	77,08	62,38	63,40	-14,70	1,02	-19,07	1,64
5	95,06	79,30	71,52	14.607,10	14.530,55	13336,88	65,08	54,57	53,62	-10,51	-0,95	-16,15	-1,74
6	36,20	31,97	43,89	5738,58	5896,06	5865,51	63,09	54,22	74,83	-8,86	20,61	-14,05	38,01
7	27,79	29,97	53,29	4420,87	4438,62	4432,49	62,87	67,52	120,22	4,65	52,70	7,40	78,05
8	27,16	26,79	13,23	4170,51	4208,39	4226,53	65,12	63,66	31,31	-1,46	-32,35	-2,25	-50,81
9	32,96	36,29	19,47	5406,95	5460,59	5472,74	60,96	66,47	35,58	5,51	-30,89	9,03	-46,47
10	20,17	23,24	10,14	3391,28	3402,65	3469,39	59,49	68,31	29,22	8,82	-39,08	14,82	-57,22
11	23,24	21,33	14,05	7642,67	7681,01	7733,96	30,41	27,76	18,16	-2,65	-9,60	-8,71	-34,57
12	41,52	41,65	18,69	7464,06	7441,89	7583,23	55,62	55,97	24,64	0,35	-31,33	0,63	-55,98
13	50,45	47,72	25,75	7999,14	8039,65	8108,47	63,07	59,35	31,76	-3,72	-27,60	-5,89	-46,50
14	33,23	32,07	30,10	3578,46	3565,57	3563,19	92,86	89,95	84,48	-2,91	-5,46	-3,13	-6,07

Prilog 4. Vrijednosti prosječne širine aktivnog korita Cetine, standardne devijacije i pogreške prosjeka, izračunate metodom poprečnih presjeka

Segment	Broj poprečnih presjeka (m)			Prosječna širina (m)			Standardna devijacija prosjeka (m)			Standardna pogreška prosjeka (m)		
	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.
1	861	925	925	35,90	26,65	23,51	18,52	14,19	10,90	0,63	0,47	0,36
2	183	183	188	33,91	34,99	30,43	7,10	13,40	11,26	0,52	0,99	0,82
3	499	497	497	50,14	42,65	38,07	10,98	13,85	7,45	0,49	0,62	0,33
4	809	805	806	77,51	62,76	63,71	20,50	17,29	17,33	0,72	0,61	0,61
5	1461	1451	1335	65,56	54,66	53,76	25,49	15,09	12,78	0,67	0,40	0,35
6	574	586	582	63,16	54,79	75,43	25,85	18,95	22,82	1,08	0,78	0,95
7	443	444	448	63,05	67,67	120,49	17,43	22,55	54,94	0,83	1,07	2,60
8	418	421	422	65,21	63,97	31,67	28,83	24,13	10,91	1,41	1,18	0,53
9	541	547	548	60,99	66,66	35,83	18,14	23,66	9,73	0,78	1,01	0,42
10	339	341	347	59,59	68,41	29,49	21,51	19,65	9,35	1,17	1,06	0,50
11	765	769	773	30,47	27,78	18,39	14,41	5,75	4,57	0,52	0,21	0,16
12	747	744	758	55,66	56,31	24,83	16,31	14,88	8,46	0,60	0,55	0,31
13	801	800	809	63,20	60,17	32,39	24,96	23,05	17,01	0,88	0,81	0,60
14	358	357	356	93,12	90,17	84,34	24,61	13,45	15,57	1,30	0,71	0,83

Prilog 5. Vrijednosti maksimalne i minimalne širine aktivnog korita Cetine izračunate metodom poprečnih presjeka

Segment	Broj poprečnih presjeka (m)			Maksimalna širina (m)			Minimalna širina (m)		
	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.
1	861	925	925	107,85	86,00	62,86	10,38	5,16	4,89
2	183	183	188	48,13	75,06	73,85	15,45	13,55	11,90
3	499	497	497	83,76	86,37	66,47	24,92	20,45	25,51
4	809	805	806	137,34	127,44	116,87	34,94	32,59	27,31
5	1461	1451	1335	160,02	101,60	90,26	30,23	27,85	28,82
6	574	586	582	140,77	121,87	157,76	24,95	23,95	34,86
7	443	444	448	116,68	120,87	245,78	25,59	30,17	20,20
8	418	421	422	116,14	119,78	79,37	18,68	27,63	15,41
9	541	547	548	114,84	138,36	71,86	28,58	27,18	18,87
10	339	341	347	131,70	120,45	54,65	16,87	29,97	11,21
11	765	769	773	66,61	46,24	35,00	11,11	11,15	8,07
12	747	744	758	104,99	110,46	63,13	21,32	27,34	8,11
13	801	800	809	133,73	131,51	118,37	15,69	13,63	9,74
14	358	357	356	140,56	113,31	120,33	39,42	51,75	45,34



Prilog 6. Obilježja pojavnosti sprudova u navedenim razdobljima po segmentima Cetine

Segment	Površina segmenta (ha)			Površina sprudova (ha)			Broj sprudova			Prosječna površina sprudova (ha)			Udio sprudova u površini segmenta (%)		
	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.	1869.- 1887.	1951.- 1960.	2011.- 2017.
2	6,19	6,51	5,73	0,00	0,61	0,11	0	6	4	0,00	0,10	0,03	0,00	9,38	1,96
3	25,94	21,36	18,92	0,75	5,30	0,64	1	20	8	0,75	0,27	0,08	2,87	24,83	3,37
4	68,95	50,28	56,48	0,00	3,71	1,09	0	26	9	0,00	0,14	0,12	0,00	7,37	1,93
5	96,20	79,89	75,91	0,00	3,90	3,29	0	18	9	0,00	0,22	0,37	0,00	4,88	4,33
6	36,67	32,12	43,89	1,68	2,98	0,00	1	12	0	1,68	0,25	0,00	4,58	9,27	0,00
7	27,98	30,08	53,42	0,00	1,19	0,00	0	8	0	0,00	0,15	0,00	0,00	3,97	0,00
8	27,64	27,34	15,05	3,88	5,82	0,14	2	13	3	1,94	0,45	0,05	14,03	21,29	0,91
9	33,66	36,29	19,86	0,73	6,08	0,42	3	19	8	0,24	0,32	0,05	2,18	16,75	2,10
10	20,17	23,24	11,42	4,34	6,76	0,27	7	15	6	0,62	0,45	0,04	21,50	29,09	2,35
11	23,24	21,33	14,05	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	42,63	43,07	20,17	0,91	4,05	0,26	3	24	7	0,30	0,17	0,04	2,14	9,40	1,28
13	53,89	51,98	29,66	0,35	5,97	0,82	3	23	16	0,12	0,26	0,05	0,64	11,49	2,75
14	33,23	32,07	30,10	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ukupno	496,40	455,55	394,66	12,63	46,38	7,03	20	184	70	0,63	0,25	0,10	2,55	10,18	1,78

Prilog 7. Obilježja pojavnosti otoka u navedenim razdobljima po segmentima Cetine

Segment	Površina segmenta (ha)			Površina otoka (ha)			Broj otoka			Prosječna površina otoka (ha)			Udio otoka u površini segmenta (%)		
	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.	1869.-1887.	1951.-1960.	2011.-2017.
2	6,19	6,51	5,73	0,00	0,00	0,04	0	0	3	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,67
3	25,94	21,36	18,92	1,10	0,17	0,00	4	2	0	0,28	0,08	0,00	4,25	0,78	0,00
4	68,95	50,28	56,48	1,31	0,12	0,09	1	1	1	1,31	0,12	0,09	1,90	0,24	0,16
5	96,20	79,89	75,91	1,68	0,59	0,45	6	3	2	0,28	0,20	0,22	1,74	0,74	0,59
6	36,67	32,12	43,89	0,47	0,15	0,00	2	1	0	0,23	0,15	0,00	1,28	0,46	0,00
7	27,98	30,08	53,42	0,19	0,11	0,13	2	1	1	0,09	0,11	0,13	0,67	0,36	0,25
8	27,64	27,34	15,05	0,48	0,55	1,81	1	7	5	0,48	0,08	0,36	1,75	2,01	12,06
9	33,66	36,29	19,86	0,70	0,00	0,38	2	0	9	0,35	0,00	0,04	0,00	0,00	1,93
10	20,17	23,24	11,42	0,00	0,00	0,73	0	0	3	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	6,37
11	23,24	21,33	14,05	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	42,63	43,07	20,17	1,11	1,41	1,43	3	6	24	0,37	0,24	0,06	2,61	3,29	7,10
13	53,89	51,98	29,66	3,44	4,21	3,91	12	9	13	0,29	0,47	0,30	6,38	8,09	13,18
14	33,23	32,07	30,10	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ukupno	496,40	455,55	394,66	10,48	7,30	8,97	33	30	61	0,28	0,11	0,11	1,58	1,23	3,25

