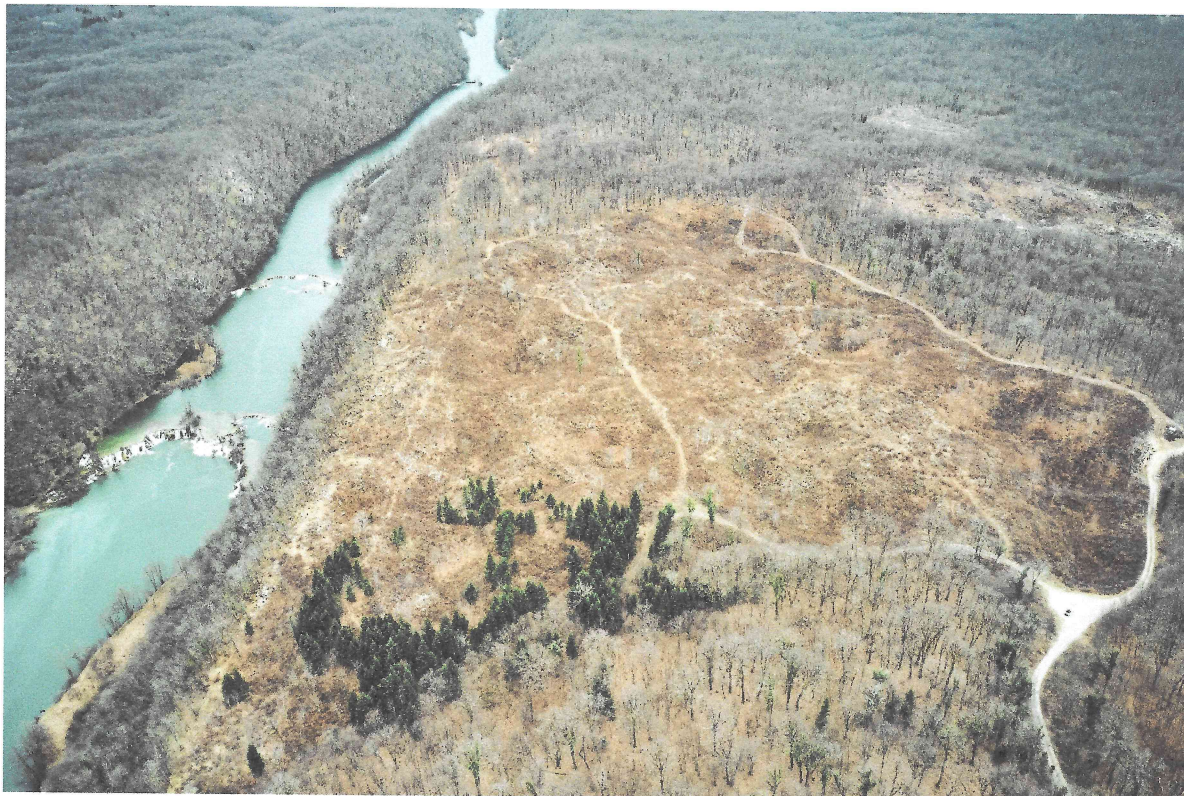


## Analiza uzroka povećanja otjecanja i mutnoće vode na sljevovima rijeka Mrežnice i Korane



Broj: 070 /2020

Predstojnik Zavoda za hidrogeologiju i  
inženjersku geologiju

Dr.sc. Josip Terzić, dipl.ing.geol.

Ravnatelj Hrvatskog geološkog instituta

Dr.sc. Slobodan Miko, dipl.ing.geol.

HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT  
1 ZAGREB - Bachsovc.

Zagreb, prosinac, 2020

## SADRŽAJ

<b>1. UVODNE NAPOMENE.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GEOGRAFSKE CJELINE NA PODRUČJU ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>7</b>
<b>3. HIDROLOŠKA ANALIZA SLJEVOVA RIJEKA UZVODNO OD KARLOVCA</b>	<b>11</b>
3.1 ANALIZA NA TEMELJU GODIŠNJIH VRIJEDNOSTI PROTOKA I KOLIČINE OBORINE .....	11
3.2 ANALIZA NA TEMELJU SATNIH VRIJEDNOSTI PROTOKA I KOLIČINE OBORINE .....	33
3.3 NAPOMENE .....	47
<b>4. ANALIZA DOSADAŠNJIH HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA I TRASIRANJA TOKOVA VODE U PODZEMLJU .....</b>	<b>49</b>
4.1 DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA .....	49
4.2 STRUKTURNI SKLOP I GEOLOŠKA GRAĐA.....	51
4.3 HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE .....	54
4.3.1 SLIJEV RIJEKE DOBRE .....	56
4.3.2 SLIJEV RIJEKE MREŽNICE.....	59
4.3.3 SLIJEV RIJEKE KORANE.....	68
4.3.4 SLIJEV RIJEKE KUPE.....	72
4.4 HIDROGEOLOŠKA RASČLAMBA PROSTORA ISTRAŽIVANJA .....	78
4.4.1 PODRUČJE KRŠA .....	78
4.4.2 NEKRŠKA PODRUČJA.....	81
4.5 TRASIRANJA TOKOVA VODE U PODZEMLJU.....	84
4.5.1 GORNJE SABIRNO PODRUČJE.....	86
4.5.2 DONJE SABIRNO PODRUČJE.....	91
4.5.3 SLIJEV RIJEKE KUPE.....	95
4.5.4 PLITKI KRŠ .....	96
<b>5. ANALIZA PROMJENA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA NA PREDMETNOM PODRUČJU .....</b>	<b>99</b>
5.1. OBUHVAT OBRADENIH PODRUČJA .....	99
5.1.1. METODE I PODACI.....	99
5.1.2. REZULTATI.....	99
5.2. ANALIZA SATELITSKIH SNIMAKA .....	102

5.2.1. METODE I PODACI.....	102
5.2.2. REZULTATI.....	103
5.3. ANALIZA RELJEFA .....	111
5.3.1. METODE I PODACI.....	111
5.3.2. REZULTATI.....	114
5.3.2.1. PODRUČJE KORANE - SLJEVOVI RADONJE I MULJAVE ....	114
5.3.2.2. PODRUČJE MREŽNICE.....	138
<b>6. ZAMUĆENJE KARLOVAČKIH RIJEKA 16.06.2019. GODINE.....</b>	<b>157</b>
6.1 DIONICE VODOTOKOVA RIJEKA NA KOJIMA SE POJAVILO EKSTREMNO ZAMUĆENJE 16.06.2019. GODINE .....	157
6.1.1 MEDIJSKA PRIOPĆENJA .....	158
6.1.2 ODLUKE STOŽERA CIVILNE ZAŠTITE KARLOVAČKE ŽUPANIJE. 160	
6.1.3 SNIŽENJE RAZINE VODE U AKUMULACIJI LEŠĆE .....	161
6.1.4 IZVID KPA VODOMAR DUŽ MREŽNICE OD KATIĆA DO DUGA RESE.....	162
6.1.5. ANALIZA RASPOLOŽIVIH PODATAKA KAKVOĆE VODE U RIJEKAMA .....	163
6.2 ISTRAŽIVANJE UZROKA EKSTREMNE MUTNOĆE RIJEKA 16.06.2019. GODINE.....	167
6.2.1 TERENSKI PREGLED PODRUČJA UZ MREŽNICU .....	167
6.3.2 TERENSKI PREGLED PODRUČJA UZ RADONJU .....	181
<b>7. IZDVAJANJE PODRUČJA ZA DETALJNE ANALIZE I PRIJEDLOG RADOVA U DRUGOJ FAZI ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>186</b>
<b>8. ZAKLJUČNE NAPOMENE .....</b>	<b>190</b>
<b>9. POPIS LITERATURE .....</b>	<b>193</b>
<b>Popis slika .....</b>	<b>200</b>
<b>Popis tablica.....</b>	<b>203</b>

## 1. UVODNE NAPOMENE

Za izradu predmetnog elaborata: **Analize uzroka povećanja otjecanja i mutnoće vode na sljevovima rijeka Mrežnice i Korane** bilo je potrebno provesti hidrogeološke, hidrološke, geomorfološke i morfometrijske istraživačke radove, obaviti višestruku analizu daljinskih satelitskih snimaka područja razmatranja nastalih tijekom zadnjih deset godina i posebno tijekom mjeseca lipnja 2019. godine, zatim na temelju raspoloživih postojećih podataka analizu kakvoće vode u sljevnim područjima rijeka uzvodno od Karlovca te načiniti sintezu prikupljenih podataka sa svrhom izdvajanja područja na kojima će se provesti detaljniji istraživački radovi.

Predmetni izvještaj izradila je Zajednica izvoditelja (Konzorcij) koji predstavljaju: Hrvatski geološki institut kao vodeći član (hidrogeološka istraživanja, trasiranja tokova vode u podzemlju, kakvoća vode u rijekama), Rudarsko-geološko-naftni fakultet (hidrološke obrade i analize) i Prirodoslovno matematički fakultet (prenamjene korištenja zemljišta, satelitske obrade i analize reljefa).

U skladu s Projektnim zadatkom kojeg su izradile Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10.000 Zagreb (evidencijski broj nabave: OP 2109/361, Slavonski Brod, listopad 2019. godine), **cilj istraživačkih radova bio je:** utvrditi uzroke ekstremnog zamućenja rijeka Korane i Mrežnice u lipnju 2019. godine i promjene vodnog režima u posljednje vrijeme na rijekama Korani, Mrežnici, Dobri i Kupi uzvodno od Karlovca.

Zbog složenosti projektnog zadatka programom je predviđeno da se istraživanja provedu u dvije faze. Prva faza radova obuhvaća:

- Hidrološku analizu sljevova rijeka Korane, Mrežnice, Dobre i Kupe uzvodno od Karlovca;
- Analizu i reinterpetaciju rezultata dosadašnjih hidrogeoloških istraživanja na predmetnom području uključujući i sva provedena trasiranja tokova vode u podzemlju;
- Analizu promjena korištenja zemljišta na predmetnom području;
- Izdvajanje područja na kojima bi bilo poželjno provesti detaljnije analize u drugoju fazi istraživanja.

**Sadržaj istraživanja obuhvaćao je slijedeće istraživačke radove:**

- Hidrološku analizu sljevova rijeka Korane, Mrežnice, Dobre i Kupe uzvodno od Karlovca:
  - Identificirati sve vodomjerne postaje na navedenim rijekama i njihovim pritokama koje imaju dovoljno duge homogene vremenske nizove hidroloških podataka za provedbu pouzdanih hidroloških analiza.
  - Iz podataka odabranih postaja provesti analiza trendova minimalnih, srednjih i maksimalnih godišnjih protoka za što duže vremensko razdoblje (cilj je bio najmanje 30 godina).
  - Za ekstremne protoke iznad 5%-tnog trajanja, prema postojećim dostupnim podacima izdvojiti satne hidrograme vodnih valova i prikupiti podatke o oborinama na pripadajućim



sljevovima koji su uzrokovali te vodne valove, sve kao podlogu za daljnju analizu unutar ovog projektnog zadatka.

Hidrološki podaci preuzeti su iz baze hidroloških podataka HIS 2000 Državnog hidrometeorološkog zavoda (isti dobiveni od Hrvatskih Voda – Karlovac).

- Analizu i reinterpetaciju rezultata dosadašnjih hidrogeoloških istraživanja na predmetnom području :
  - Proučiti sve raspoložive podatke o hidrogeološkim istraživanjima na predmetnom području s osobitim naglaskom na definiranje priljevniha područja pojedinih vodomjernih postaja.
  - Analizu rezultata svih do sada provedenih trasiranja tokova podzemne vode na predmetnom području zbog moguće odredbe područja s kojih je došlo do zamućenja rijeka.
  - Na temelju podataka o promjenama korištenja zemljišta u posljednje vrijeme - napraviti korelaciju navedenih prostora i hidrogeoloških značajki tog prostora u cilju utvrđivanja mogućeg zamućenja rijeka.
- Analizu promjena korištenja zemljišta na predmetnom području; za koju je trebalo načiniti:
  - Analizu dostupnih avionskih i satelitskih snimaka u posljednjih 10 godina sa svrhom izdvajanja područja na kojima je došlo do promjene korištenja zemljišta.
  - Terensku provjeru izdvojenih područja.
  - Analizu reljefa terena između izdvojenih područja i stalnih vodotoka.
- Izdvajanje područja na kojima će se provesti detaljnije analize u drugoj fazi istraživanja u okviru kojeg je bilo potrebno načiniti:
  - Terensku provjeru i izdvajanje dionica vodotoka na kojima se pojavilo zamućenje tijekom lipnja 2019. godine.
  - Terensku provjeru podataka o zamućenju rijeka tijekom posljednjih 10-tak godina.
  - Analizu raspoloživih podataka kakvoće vode u navedenim rijekama.
  - Analizu, korelaciju i reinterpetaciju podataka svih provedenih istraživanja.

Na kraju istraživačkih radova dan je zaključak i program daljnjih istraživanja.

U skladu s Projektnim zadatkom i pripadajućim Troškovnikom (sve iz Dokumentacije za nadmetanje koji su sastavni dio Ugovora o izvođenju radova) dana 16.01.2020. godine potpisan je Ugovor o izvršenju zadatka.

Dana 22.01.2020. godine u prostorijama Hrvatskih Voda u Zagrebu održan je koordinacijski sastanak na kojem su sudjelovali svi članovi Zajednice ponuditelja. Dogovoren je Dinamički plan istraživačkih radova i primopredaja hidroloških, meteoroloških i hidrogeoloških podataka potrebnih za odradu Projektnog zadatka. Konstatirano je kako Izvoditelj posjeduje svu potrebnu dokumentaciju za izvođenje radova - time su stečeni uvjeti da radovi započnu.

Izvanredno stanje zbog pandemije korona virusom Covid-19 koje je uvedeno u mjesecu ožujku 2020. godine (prvi zabilježen slučaj Covid-19 u Hrvatskoj je dana

25.02.2020.), a koje je donijelo znatna ograničenja, utjecala je na provedbi Projekta. Prije svega zbog ne mogućnosti obilaska terena tijekom mjeseca ožujka i travnja kada je prohodnije i bolje se vidi jer vegetacija još nije prolistala - terenski istraživački radovi bili su otežani. Osim korona virusa, 22. ožujka 2020. godine dogodio se potres u Zagrebu uslijed kojeg je, između ostalog, znatno oštećen Geografski odsjek PMF-a na Marulićevom trgu, do te mjere da se u njemu nije smjelo boraviti i raditi. Praktički se radilo od doma. Koordinacijski sastanci nisu bili mogući. Terenska istraživanja završila su 18.09.2020. godine ponovnim obilaskom Mrežnice čamcem uzvodno od mjesta Katići (izvor Bučak) do slapa Vitas – odakle je Mrežnica počela intenzivno mutiti (nedjelja na večer, 16.06.2020. - prema usmenoj predaji mještana Dobrenića i Katića).

Poznato je kako je rijeka Mrežnica u Domovinskom ratu bila zona razgraničenja dviju zaraćenih strana. Ploveći čamcem po Mrežnici i danas se s istočne strane rijeke mogu vidjeti crvene table s natpisom: MINIRANO. Zbog tih upozorenja nismo obilazili izvore s te strane rijeke, osim jednom prilikom s mjesnim vodičem iz Katića, ali i tada vrlo ograničeno.

**U projektnom zadatku od strane Investitora je utvrđeno:** Riječno čvorište grada Karlovca čine rijeke Kupa, Korana, Mrežnica i Dobra te mnoštvo manjih. Uz sve pogodnosti koje takva hidrografska situacija daje gradu na četiri rijeke, on je istovremeno opterećen svim mogućim vodoprivrednim problemima. Sve četiri rijeke u svom gornjem toku imaju bujični karakter te se u vrijeme pojave velikih voda naglo slijevaju u nizinu oko Karlovca. Kupa je najveći vodotok riječnog čvorišta Karlovca, izvire na padinama Risnjaka, ima ukupnu dužinu do ušća u Savu kod Siska 295 km, a do ušća Korane u Karlovcu 160 km. Na svom putu od izvora do ušća Kupa svladava visinsku razliku od 230 m. Korana je glavna pritoka Kupe i drugi najveći vodotok, sa slijevnom površinom od 2.350 km<sup>2</sup>. Korana izvire iz Plitvičkih jezera, dužina toka do ušća u Karlovcu je 142 km, a svladava visinsku razliku od 323 m. Mrežnica izvire u Slunjskom poligonu, ulijeva se u Koranu kod Karlovca, dužina njenog toka je 65 km, površina slijeva 995 km<sup>2</sup>, a do ušća svladava visinsku razliku od 150 m. Treća velika pritoka Kupe je Dobra. Izvor Dobre je kod Skrada u Gorskom Kotaru. Njen tok se može podijeliti u tri dionice, prva je od izvora do ponora u Ogulinu dužine 51 km, druga je podzemni tok od ponora u Ogulinu do ponovnog izvora kod Gojaka cca 5 km, a treća od Gojaka do ušća u Kupu dužine 52 km, tako da je ukupna dužina njenog toka 108 km. Površina slijeva Dobre iznosi 1.090 km<sup>2</sup> a tu je uključena i površina slijeva Zagorske Mrežnice koja je preko hidroenergetskog sustava elektrane Gojak postala pritoka Dobre.

Obzirom da gornji tokovi karlovačkih rijeka prolaze kroz krško područje, u prošlosti su dokazivane ponorske veze rijeka. Tako je dokazana veza slijeva rijeke Dretulje s pritokom Vrnjikom na području Plašćanske doline sa izvorištem rijeke Mrežnice na vojnom poligonu Eugen Kvaternik (Primišljanska Mrežnica). Premda je Zagorska Mrežnica izgradnjom HE Gojak preusmjerena iz akumulacije Sabljaci u akumulaciju Bukovnik na slivu Gornje Dobre, tijekom ljetnog remonta objekata hidroelektrane Gojak, kao i za vrijeme poplava, voda se na brani akumulacije Sabljaci prusmjerava u staro korito Zagorske Mrežnice, nakon nekoliko kilometara toka ponire u naselju Oštarije i podzemnim tokovima se pojavljuje na izvorištu Tounjčice kao lijeve pritoke rijeke Mrežnice (Primišljanska Mrežnica). Rijeka Korana je, preko

lijeve pritoke Slunjšice, podzemnom vezom povezana s dolinom Ličke Jesenice. Sve prethodno navedeno ukazuje na mogućnosti da uzroci povremenih neuobičajenih događaja na pojedinim rijekama ne moraju biti isključivo unutar slijeva te rijeke, već mogu biti i posljedica događanja na slijevu drugih vodotoka s kojima su povezane podzemnim tokovima.

Izgradnjom HE Lešće s pripadajućom akumulacijom pojavile su se pretpostavke da su aktivirane podzemne veze između akumulacije Lešće i rijeke Mrežnice zbog relativno male udaljenosti istih i velike razlike u visini vode. Na to ukazuju viši vodostaji rijeke Mrežnice u ljetnim mjesecima od uobičajenog prije izgradnje HE Lešće, kao i niža temperatura. Navedeno nije nedvojbeni dokaz gubitaka iz akumulacije jer se, uglavnom u srpnju, svake godine vrši remont elektroenergetskog sustava Gojak i tada se vode Zagorske Mrežnice iz akumulacije Sabljaki preusmjeravaju u staro korito gdje poniru i nakon toga se ponovno pojavljuju na izvoru Tounjšice i u konačnici završavaju u rijeci Mrežnici (Primišljanska Mrežnica). Svake godine nakon završetka remonta evidentno je snižavanje vodostaja nizvodno od ušća Tounjšice.

Rijeka Mrežnica je najbliža akumulaciji Lešće u naselju Dobrenići, gdje su se navodno u posljednje vrijeme pojavili novi izvori u koritu rijeke. Udaljenost rijeka na ovom mjestu je oko 4,5 km, a visinsku razliku preko 40 m. Imajući u vidu da se radi o krškom području, nije isključena njihova podzemna veza.

Sama pojava „žute vode“ u rijekama nije neobična, ali se ove godine u Mrežnici pojavila uoči početka sezone kupanja (druga polovica lipnja) te je stoga privukla daleko veći interes javnosti. Sličan događaj zabilježen je i 17.04.2018. godine kada se poklopio s tzv. „blatnom kišom“ uslijed ciklone koja je donijela neuobičajeno veliku količinu pijeska iz Sahare. Kada tome pridodamo da su u travnju još mnoge svježije obrađene poljoprivredne površine sklone ispiranju tla za kratkotrajnih intenzivnih oborina kao rezultat dobivamo zamucene (blatne) rijeke.

U lipnju 2019. godine Ogulin i okolice je pogodilo jako grmljavinsko nevrijeme. Obilježja nevremena bila su vrlo obilna kiša i olujni vjetar brzine do 72 km/h, a povremeno je padala i tuča. Tijekom sat vremena palo je čak 76 mm oborine, a zbog jačine i količine kiše brzo su nastajale bujice koje su poplavile podrumne nekih kuća i zgrada. Visina vode koja se nakupila na ravnoj površini dosegla je i 20 cm. Ovako velika količina oborine u kratkom vremenu u Ogulinu se ne pamti. Drugi olujni oblak koji se spojio iz pravca Slunja uzrokovao je intenzivne oborine na slijevu Korane i desne pritoke Radonje koje su izazvale i intenzivno zamucenje rijeke Korane.

Za nastajanje tako intenzivnih zamucenja rijeka potrebna su dva osnovna preduvjeta: intenzivne oborine od nekoliko desetaka mm/m<sup>2</sup> u kratkom periodu i otvorene zemljane površine slabe obraštenosti s kojih dolazi do intenzivnog ispiranja tla. I dok su u prošlosti takve otvorene zemljane površine bile uglavnom vezane uz obrađene poljoprivredne površine neposredno nakon zaoravanja, posljednjih se godina zapaža sve više dijelova šumskih površina na kojima se provodi tzv. čista sječa, nakon koje ostaju veće količine ogoljelih dijelova šuma sa kojih voda otječe puno brže.

U proteklih 5 godina zapažen je osjetno pojačan dotok vode iz slijeva Korane i Mrežnice na područje grada Karlovca ([Tablica 1-1](#)).

**Tablica 1-1.** Dotoci vode na hidrološkim postajama u blizini grada Karlovca u proteklih 5 godina

Poplava	Korana Velemerić	Mrežnica Mrzlo Polje	Kupa Brodarci	Kupa Karlovac
Studeni 2005. god.	296	321	499	808
Prosinac 2010. god.	377	337	477	809
Veljača 2014. god.	510	422	467	827
Rujan 2014. god.	567	440	480	844
Listopad 2014. god.	512	427	446	816
Listopad 2015. god.	545	470	488	855
Ožujak 2018. god. (I.)	473	365	380	774
Ožujak 2018. god. (II.)	457	378	376	779
Svibanj 2019. god.	533	423	359	778
Maksimalni vodostaj 1950 - 2013. god.	490 1974. god.	420 1974. god.	526 1966. god.	830 1966. god.
Maksimalni vodostaj 2014 - 2019. god.	567 2014. god.	470 2015. god.	488 2015. god.	855 2015. god.
Razlika u maksimalnom vodostaju (cm)	77	50	-38	25

**Napomena:** Razlika između maksimalnog vodostaja na AVP Brodarci na rijeci Kupi između maks. do 2014. godine (+526, 1966. g.) i maks. nakon 2014. g. (+488, 2015. g.) nije usporediva jer 1966. g. nije bio izgrađen kanal Kupa – Kupa koji dijelom rasterećuje protok na predmetnom mjernom mjestu. 2005. godine izmjereno +497 je najviši izmjereni vodostaj nakon izgradnje kanala, a ukupno 3. najviši vodostaj. Drugi najviši vodostaj ukupno, a prije izgradnje kanala je izmjeren 1968. godine +510.

Iz **Tablica 1-1** je vidljivo da su u posljednjih 5 godina rekordni maksimalni vodostaji na postajama Korana Velemerić i Mrežnica Mrzlo Polje povišeni za više od 50 cm u odnosu na period od 1950. godine do 2013. godine. Uz to, u posljednjih 5 godina nadmašeni su rekordi i na postajama Korana Slunj uzvodno, Korana Veljun i Mrežnica Juzbašići za više od 70 cm.

Uzroke tih promjena je potrebno detaljno istražiti jer su sljevovi Korane i Mrežnice relativno blizu slijevu Kupe uzvodno od Karlovca na kojem nisu evidentirana posebna povećanja dotoka za vrijeme poplava. Ukoliko se u budućnosti nastavi ovaj trend povećanja dotoka iz slijevova Korane i Mrežnice prema gradu Karlovcu, postoji opravdana bojazan da budući sustav obrane od poplave grada Karlovca neće biti dostatan da sačuva grad od poplava.

Bez obzira na primarni poticaj za izradu ovog projektnog zadatka uzrokovan ekstremnim zamućenjem rijeka Korane i Mrežnice u lipnju 2019. godine analizom je najpotrebnije istražiti uzroke povećanja otjecanja na predmetnim slivovima.

Uz izvještaj su dana četiri priloga: Hidrogeološka karta područja razmatranja u zadanom obimu (M 1:100.000, [Prilog 1](#)), Hidrogeološka karta područje uz Mrežnicu uzvodno od Zvečaja do ušća rijeke Tounjčice (M 1:25.000, [Prilog 2](#)) i Hidrogeološka karta vodotoka



Radonje do ušća u Koranu kod Tušilovića (M 1:25.000, [Prilog 3](#)), a priložen je i Shematski hidrogeološki profil: Akumulacija Lešće – Globornica – Mrežnica ([Prilog 4](#)).

Na kraju teksta priložen je Zapisnik sa sastanka Stožara civilne zaštite Karlovačke županije koji se sastao dana 22.06.2019. godine s temom dnevnog reda: Situacija sa zamućenjem rijeka Korane i Mrežnice, te Izveštaj o izvidu duž toka Mrežnice članova kluba podvodnih aktivnosti Vodomar iz Duga Rese obavljen dana 22.06.2019. godine.

Tijekom izrade izvještaja imali smo svestranu potporu djelatnika Hrvatskih voda, a posebno gospodina Zorana Pavlovića, dipl.ing.građ. iz ispostave Hrvatskih voda u Karlovcu. Potrebne izvještaje, podatke i fotografije ljubazno su nam ustupili djelatnici HEP proizvodnje iz Ogulina, Hrvatskih šuma iz Vojnića i Elektroprojekta iz Zagreba. Gradonačelnik i načelnici općina Duga Resa, Generalski Stol, Vojnić i Barilović, strpljivo su nas primili i s nama podijelili svoje spoznaje o mutnoći rijeka, na terenu nam pokazali zanimljive hidrogeološke pojave i objekte te nas spojili s lokalnim stanovnicima koji su imali nama potrebne informacije „iz prve ruke“. Gospodin Ivan Katić Fičko nas je u formi vodiča čamcem proveo po Mrežnici od izvora Bučak uzvodno. Ovom prigodom svima im se iskreno zahvaljujemo.

## 2. GEOGRAFSKE CJELINE NA PODRUČJU ISTRAŽIVANJA

Prostor istraživanja predstavlja slijevno područje rijeka Korane, Mrežnice, Dobre i Kupe uzvodno od Karlovca. Nalazi se na prijelazu panonske Središnje u Gorsku Hrvatsku što je vidljivo iz geografske i geološke raznolikosti terena i stijenske mase koja teren izgrađuje. Od nizinskog Karlovačkog Pokuplja na sjeveru do planinskih predjela Gorskog Kotara i Like na jugu, područje u potpunosti pripada Crnomorskom slijevu - slijevu rijeke Kupe s njenim izdašnim desnim krškim pritokama. Te rijeke predstavljaju glavne drenažne smjerove područja Vanjskih Dinarida, ulijevaju se u Kupu po ulasku u Karlovačku kotlinu, na kontaktu Unutrašnjih i Vanjskih Dinarida čija granica prolazi južnim rubom kotline.

Područje koje se obrađuje moguće je svrstati u nekoliko geografskih cjelina:

SREDIŠNJA HRVATSKA (CRIKVENČIĆ i ostali, 1975) kojoj pripadaju

- Karlovačko Pokuplje;
- Kordun s Petrovom gorom.

GORSKA HRVATSKA (BOGNAR i ostali, 1975) koja obuhvaća

- Gorski Kotar od Prezida na sjeveru do Mrkoplja na jugu;
- Planinsko područje Velike i Male Kapele s međuprostorom krških polja;
- Potkapelsku Ogulinsko - plaščansku udolinu.

SREDIŠNJOJ HRVATSKOJ na području razmatranja pripadaju Karlovačko pokuplje i Kordun s Petrovom gorom.

**Karlovačko Pokuplje** je zapadni dio niskog Pokuplja. Središte mu je ovalna Karlovačka kotlina, dužine oko 30 km i širine 25 km koja je njegov najniži dio. Nadmorska visina joj varira od 110 do 130 m.n.m. Najniži dijelovi kotline nalaze se sjeveroistočno od Karlovca na prostorima naplavnih i močvarnih ravnica Draganičke šume i Crne mlake. Žumberačko gorje omeđuje kotlinu sa sjeverozapada, s jugoistoka brežuljkasti ogranci Petrove gore, dok se južno od Kupe rubni dijelovi kotline uzdižu u Karlovačko nisko pobrđe. S tog rubnog gorskog vijenca prema Kupi slijevaju se brojni manji vodotoci koji u kotlinu doplavljuju sitnozrnati riječni materijal. Riječna mreža je vrlo bogata jer na malom prostoru Kupa prima brojne pritoke među kojima su i veliki desni iz krškog područja - uzvodno od Karlovca to je Dobra, a na južnom perifernom dijelu grada Korana s Mrežnicom.

**Kordun** se geografski prostire od Kapelsko-plješevičkog planinskog područja na jugu (Lika) do Karlovačkog Pokuplja na sjeveru te od granice s Bosnom i Hercegovinom na istoku do rijeke Mrežnice na zapadu. Kordunom i Petrovom gorom s desne strane Korane prostiru se općine Lasinja, Vojnić, Krnjak i Cetingrad, dok se s lijeve strane rijeke nalaze općine Barilović, Rakovica i Grad Slunj. Kordun predstavlja plitki krški ravnjak nadmorske visine od 200 do 300 m.n.m. Iz tih zaravni mjestimično se izdižu osamljena brda i humci (Polojska kosa 474 m.n.m, Broćanska kosa 539 m.n.m, Mašvina 577 m.n.m, Babina gora 398 m.n.m, Melnica 518

m.n.m, Zvjernjak 626 m.n.m i ostali) koji su istog geološkog sastava kao i podloga. Prema jugu takav razveden reljef je sve izrazitiji. Stijene su dominantno mezozojske karbonatne. Prevladavaju dobro prohodne, niske krške zaravni koje se izmjenjuju s manjim zonama plodnog tla, najčešće u vrtačama. Česte su površinske krške forme (vrtače, škrape, kanjonske doline i razvijena krška hidrografija), a prema jugu su sve razvijenije i podzemne forme (kaverne) u kojima pretežu horizontalne nad vertikalnima. Cijeli Kordun zapravo predstavlja veliku kršku erodiranu "ploču" išaranu brojnim kružnim udubljenjima - vrtačama zbog čega je kraj i dobio naziv "boginjavi krš".

Kordunske velike rijeke teku od juga prema sjeveru i to gotovo paralelno, prilagođavajući se nagibu terena. Korana i njene lijeve pritoke, Slunjčica i Mrežnica, usjekle su u vapnencima duboka kanjonska korita s brojnim sedrenim barijerama i slapovima. Korana je središnja, najdulja i najznačajnija rijeka Korduna (142 km). Od Barilovića prema ušću u Kupu kod Karlovca teče dolinom s naplavnim ravninama. Različita propusnost naslaga podloge istočno i zapadno od toka Korane uzrok je asimetričnosti riječne mreže Korduna. S desne strane svog porječja ona ima brojnije i veće pritoke te razvijenu hidrografsku mrežu nego na lijevoj strani. Veći desni pritoci Korane su Mutnica iz Bosne i Hercegovine i Radonja s pritokom Rijeka Budačka, koja se u nju ulijeva kod Tušilovića.

**Petrova gora**, površine oko 900 km<sup>2</sup>, postire se sjeveroistočno od središnjeg Korduna. Često je se ne uvrštava u prostor Korduna jer je morfološki i litostratigrafski od njega jasno odijeljena, već u prijelazni kraj prema brežuljkastoj Banovini. Petrova gora je medvedničkog ili balatonskog pravca pružanja (sjeveroistok - jugozapad). Najviši vrh je Petrovac (512 m.n.m). Ima izgled otočnog uzvišenja i zahvaća velik prostor koji se zvjezdolike širi na sve strane. Rubnim mladotercijarnim brežuljcima i ograncima dopire daleko na sjever do rijeke Kupe, u pravcu zapada do Korane, a na jug i istok do rijeke Gline. Reljef je razveden sa zaobljenim vrhovima, blagim ulegnućima i zaravnjenim uzvišenjima. Obronci su ispresjecani brojnim dolinama gorskih potoka. Sadrži mnoštvo izvora iznad 250 do 300 m.n.m - gornji izvori ljeti obično presuše. Jezgru Petrove gore grade paleozojske klastične naslage koje izbijaju na površinu u višim predjelima, sadrže manja nalazišta rudnih ležišta (željezna i baritna ruda) koja se iskorištavaju od davnina.

GORSKOJ HRVATSKOJ pripada potkapelska Ogulinsko-plašćanska udolina s Gradom Ogulinom i općinama Josipdol, Tounj, Plaški, Saborsko i Bosiljevo. Zapadni dio tog prostora pripada Gorskom Kotaru, a južni Lici. Kroz obje regije pruža se planinski masiv Velike i Male Kapele. Bjelolasica s 1.534 m visokim vrhom Kula najviše je uzvišenje ovog dijela Hrvatske. Kapela svojim planinskim grebenom predstavlja površinsku, topografsku razvodnicu između Crnomorskog i Jadranskog slijeva (hidrogeološka podzemna razvodnica pomaknuta je u smjeru jugozapada). To je područje tipičnog dubokog krša s krškim poljima i u njima rijekama ponornicama. Području istraživanja pripada i dio Gorskog Kotara koji obuhvaća visoku planinsku zonu od Prezida na sjeveru do Mrkoplja na jugu s vrhom Risnjak (1.528 m.n.m). Granični prostor Gorskog Kotara prema plitkom pokupskom kršu je Bosiljevsko-severinski kraj.

## Reljefno se razlikuju dva područja:

- Kapelski ulančani masiv kao jugozapadna visokogorska rubna zona "pravog" Gorskog Kotara s Drežničkim međuprostorom;
- Potkapelska Ogulinsko-plašćanska udolina.

**Kapelski ulančani masiv** reljefno predstavlja široki gorski masiv planina Velike i Male Kapele s naglašenim ulančanim strukturama dinaridskog pravca pružanja. Brojni su vrhovi između 1.100 i 1.500 m.n.m (Kula, Velika i Mala Javornica, Bitoraj, Crni Vrh). Još do nedavno izražena visina i reljefna razvedenost, krške značajke, teška prohodnost i zbog toga slaba povezanost - uvjetovali su izolaciju i prometnu zatvorenost ovog kraja (nazivao se "Gluha Kapela"). Planinski masiv Kapele sadrži nekoliko manjih krških polja: Jasenačko (650 m.n.m), Krakarsko, Drežnički lug, Drežničko (440 m.n.m), Crnačko, Stajničko (485 m.n.m), Dabarsko (540 m.n.m). Polja su prostorno mala, zatvorena, strmih strana, bez riječnih terasa i s malo akumulacijskog materijala. Otjecanje u poljima je podzemno (isključivo poniranjem), dominantno prema jugoistoku. Vode Jasenka, Krakara i Drežnice međusobno podzemno komuniciraju i dreniraju se zajedno s Crnačkim poljem prema Ogulinskom Zagorju (izvorište Zagorske Mrežnice), a Jasenačko polje dijelom i prema Ogulinskom polju (izvor Vitunjčice). Stajničko i Dabarsko polje otječe prema Plašćanskom polju (izvor Dretulje). U Drežničkom i Crnačkom polju redovite su sezonske poplave.

**Potkapelska Ogulinsko-plašćanska udolina:** Prema morfološkim i hipsometrijskim značajkama izrazit je primjer predgorske doline. Ova reljefna cjelina zapravo je stotinjak metara viša stepenica koja se izdiže iznad zone Karlovačkog niskog krša i Korduna na sjeveroistoku. Kao reljefno dobro izdvojena udolina dužine oko 35 km, dinaridskog pravca pružanja, nalazi se uzdužno između Gorskog Kotara i Like, a poprečno između planinskog lanca Velike i Male Kapele te niskog krša Pokuplja i Korduna.

Udolina se prostire od Vitunjsko-jelačkog proširenja sjeverozapadno od Ogulina, gdje preko Jelačkog polja graniči s dolinom Gornje ili Ogulinske Dobre pa sve do Plavče Drage jugoistočno od Plaškog s reljefno višim rubovima na jugozapadnoj i padinama na sjeveroistočnoj strani udoline. Obzirom na njenu izduženost i geografsku izdiferenciranost, izdvaja se nekoliko manjih morfoloških cjelina: Vitunjsko-jelačko proširenje, Ogulinsko-oštarijsko polje (323 m.n.m; površine 63 km<sup>2</sup>), Ogulinsko Zagorje, Carevo polje, brežuljkasti Vojnovački međuprostor i Plašćansko polje (380 m.n.m; površine 22 km<sup>2</sup>).

Reljef potkapelske Ogulinsko-plašćanske udoline je prije svega posljedica erozijskih procesa koji su uništili i savnili tektonikom razlomljenu izvornu geološku strukturu. To se jasno vidi na primjeru posve razorene Ogulinsko-plašćanske antiklinale. Osim okršavanja, na reljef udoline snažno su djelovali i fluviokrški procesi koji najviše ovise o petrološkoj osnovi - dolomitiziranim vapnencima i dolomitima na području većih riječnih dolina (Zagorske Mrežnice u Ogulinskom Zagorju, Vrnjike i Dretulje u Plašćanskom polju). Iako su procesi erozije, a time i mogućnost akumulacije, bili naglašeni, riječne akumulacijske terase u cjelini su vrlo slabo zastupljene. Posebno obilježje udoline je slabo propusna do nepropusna dolomitna osnova iz čega rezultira tipična valovitost terena i blago položene rubne strane udoline koje su ispresjecane brojnim kratkim, širokim i plitkim dolovima. U dnu, ali i na stranama polja nalaze se deluvijalne i proluvijalne taložine.



U općoj shemi krške cirkulacije vode, potkapelska Ogulinsko-plašćanska udolina predstavlja srednju stepenicu na koju se s jedne strane prelijevaju vode visokog kapelskog zaleđa, a s druge napajaju tokovi u sjevernom i sjeveroistočnom nižem peripanonskom (predpanonskom, rubnom) krškom prostoru. Najveći površinski tokovi su ponornice: Ogulinska Dobra, Zagorska Mrežnica, Dretulja i Lička Jesenica. Površinsko otjecanje usmjereno je uglavnom prema jugoistoku, dok su podzemne veze usmjerene prema sjeveroistoku i sjeveru. Ponorne vode Ličke Jesenice registrirane su na izvoru Slunjčice pa ona pripada slijevu Korane. Voda Zagorske Mrežnice izvire na izvoru Bistrac, desnom pritoku Gojačke Dobre, ali i na izvorima Tounjčice i Kukače čime se spajaju s vodama Primišljanske Mrežnice. Na izvor Primišljanske Mrežnice i njene prve lijeve pritoke Suvače podzemno dotječu ponorne vode Plašćanskog polja - Dretulja s Vrnjikom i Suvajom te jezero Sinjac s estavelom Begovac (Blate). Ogulinska Dobra, izvorno pritječući iz nepropusne zone Gorskog Kotara, u Ogulinskom polju dobiva izrazito krške značajke i ponire u 18 m dubok Đulin ponor u Ogulinu. Kao Gojačka Dobra izvire na površini oko 5 km dalje, kod sela Gojak gdje je 1959. godine izgrađena hidroelektrana.

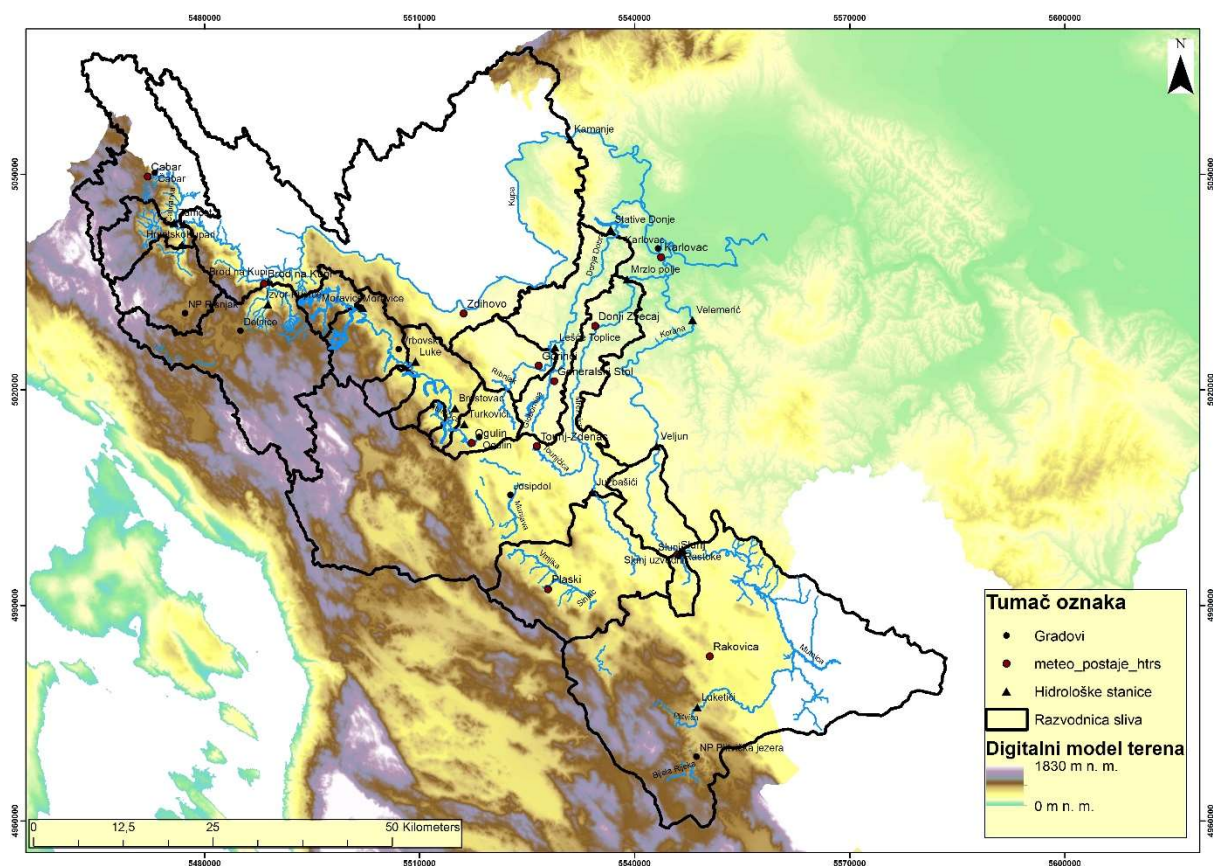
Gradnji HE Gojak prethodilo je stvaranje akumulacijskih jezera: Sabljaki na Zagorskoj Mrežnici u Ogulinskom Zagorju i Bukovnik na Dobri uzvodno od Ogulina. Nihovom izgradnjom poremetio se prirodni režim otjecanja vode u podzemlju Zagorske Mrežnice. Donji tok Zagorske Mrežnice, nizvodno od brane Sabljaki veći dio godine presuši (osim kod prelijevanja visokih voda iz akumulacije korisnog volumena  $33 \times 10^6 \text{ m}^3$  koji nije dovoljan za prihvrat velikih voda tijekom hidrološki kišnog dijela godine pa se znatan dio vode prelijeva preko brane te tijekom godišnjeg remonta hidroelektrane). Oba umjetna jezera povezana su tunelom kojim voda otječe do hidroelektrane.

## 3. HIDROLOŠKA ANALIZA SLJEVOVA RIJEKA UZVODNO OD KARLOVCA

Autor: doc.dr.sc. Krešimir Pavlić, dipl.ing.fiz.

### 3.1 ANALIZA NA TEMELJU GODIŠNJIH VRIJEDNOSTI PROTOKA I KOLIČINE OBORINE

U ovom poglavlju prikazana je hidrološka analiza na slijevovima rijeka Korane, Mrežnice, Dobre i Kupe uzvodno od Karlovca. Razmatrane 22 hidrološke postaje na rijekama Korane, Mrežnice, Dobre i Kupe uzvodno od Karlovca prikazane su na situaciji u [Slika 3-1](#)



*Slika 3-1 Hidrološke stanice*

Razdoblje hidrološke obrade podataka je od 1990. godine do 2018. godine. S obzirom da je područje sljeva Mrežnice i Korane tijekom 1990-ih godina bilo zahvaćeno Domovinskim ratom, na velikom broju hidroloških postaja postoje prekidi u radu. U [Tablica 3-1](#) prikazane su hidrološke postaje razmatranog područja s veličinama sljevova i razdobljima trajanja mjerenja.

Iz [Tablica 3-1](#) jasno je vidljivo da postoji vrlo mali broj hidroloških postaja na kojima nije bilo prekida u mjerenju unutar razdoblja obrade ove studije. Na području sljevova rijeka Mrežnice i Korane je to postaja Mrzlo polje na Mrežnici, dok tri izvora Zagorske Mrežnice koja također nemaju prekide u mjerenju zapravo pripadaju sljevju Donje Dobre, budući se voda iz tih izvora preko akumulacijskog jezera Sabljaki koristi za proizvodnju električne energije u

HE Gojak. Na sljevovima rijeka Kupe i Dobre postaje bez prekida u mjerenju su Kupari na Kupi, Zamost 2 na Čabranki, Moravice na Gornjoj Dobri i Stative donje na Donjoj Dobri.

**Tablica 3-1** Hidrološke postaje na razmatranim slijevovima rijeke Kupe, Dobre, Mrežnice i Korane uzvodno od Karlovca

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	$A$ (km <sup>2</sup> )	Razdoblje rada
1	2	3	4	5	6
1	Kupa	Kupa	Kupari	208	1951. - 2019.
2			Hrvatsko	375	1951. - 1955., 1998. - 2018.
3			Kamanje	2337	1957. - 1955., 1998. - 2018.
4		Čabranka	Zamost 2	106	1951. - 2019.
5		Kupica	Izvor	98.0	1986. - 1994., 1998., 2001. - 2018.
6			Brod na Kupi	240	1951. - 1998., 2002. - 2018.
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	46.4	1981. - 2019.
8			Luke	162	1951. - 1992., 1994., 1995., 1998. - 2018.
9			Turkovići	298	1963. - 1994., 1998. - 2018.
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	876	1979. - 2008., 2010. - 2018.
11			Stative Donje	1008	1951. - 2018.
12	Vitunjčica	Brestovac	89	1951. - 1977., 1979. - 2018.	
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	-	1985. - 2018.
14			Bistrec	0.4	1985. - 2018.
15			Pećina	-	1985. - 2018.
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	410	1951. - 1990., 1997. - 2018.
17			Mrzlo polje	997	1951. - 2018.
18	Korana	Korana	Luketići	202	1981. - 1990., 1996. - 2018.
19			Slunj uzvodni	464	1964. - 1990., 1996. - 2004., 2008. - 2018.
20			Veljun	1105	1951. - 1990., 1997. - 2018.
21			Velemerić	1486	1946. - 1990., 1996., 1997., 1999. - 2018.
22		Slunjčica	Rastoke	273	1984. - 1990., 1996. - 2018.
23		Radonja	Tušilović	224	1949. - 1990., 1997. - 2011., 2013. - 2017.

Prvi dio hidrološke analize odnosi se na srednje, maksimalne i minimalne protoke kompletnih vremenskih nizova svih hidroloških postaja cijelog slijeva Kupe, Dobre, Mrežnice i Korane do Karlovca. Nizovi su podijeljeni u dva niza, prvi od početka rada do 1989. godine a drugi od 1990. godine do kraja dostupnih mjerenja. Analiza uključuje izračune srednjih vrijednosti, standardne devijacije, maksimalne i minimalne vrijednosti te izračune koeficijentata asimetrije i varijacije. U **Tablicama 3-2, 3-3 i 3-4** prikazani su izračunati parametri za srednje, maksimalne i minimalne protoke.

**Tablica 3-2** Parametri srednjih godišnjih protoka kroz dva vremenska niza

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	A (km <sup>2</sup> )	Prvi niz (do 1989.)							Drugi niz (od 1990.)						
					Broj godina n	Q	$\sigma$	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>	Broj godina n	Q	$\sigma$	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>
						m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s				m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Kupa	Kupa	Kupari	208	39	13.6	2.24	17.9	9.56	-0.04	0.16	29	13.4	2.60	19.6	8.65	0.33	0.19
2			Hrvatsko	375	45	20.4	3.76	29.0	12.3	0.10	0.18	21	19.6	4.06	29.4	11.8	0.36	0.21
3			Kamanje	2337	39	74.2	13.5	102	48.1	-0.06	0.18	21	69.7	16.6	111	36.4	0.44	0.24
4		Čabranka	Zamost 2	106	39	3.81	0.82	6.74	2.45	1.05	0.22	29	3.49	0.65	5.43	2.10	0.45	0.19
5		Kupica	Izvor	98.0	9	5.07	0.57	5.87	4.31	0.14	0.11	18	5.88	1.41	9.15	3.42	0.43	0.24
6			Brod na Kupi	240	48	13.8	2.56	19.0	8.37	0.15	0.19	17	12.4	2.95	19.0	7.29	0.46	0.24
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	46.4	9	0.974	0.311	1.38	0.470	-0.34	0.32	29	1.18	0.318	2.13	0.561	0.83	0.27
8			Luke	162	42	7.12	1.42	9.73	4.58	0.13	0.20	25	6.87	1.56	11.4	3.87	0.87	0.23
9			Turkovići	298	32	10.1	1.79	13.3	6.69	0.05	0.18	21	11.5	2.81	17.8	6.96	0.17	0.24
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	876	30	31.0	5.30	39.6	21.6	-0.09	0.17	9	35.4	10.3	53.8	19.9	0.32	0.29
11			Stative Donje	1008	59	33.6	7.23	51.5	18.5	0.05	0.22	9	40.9	12.0	61.5	21.9	0.22	0.29
12		Vitunjčica	Brestovac	89.0	27	3.66	0.754	5.44	2.51	0.61	0.21	40	3.32	0.606	5.22	2.17	0.64	0.18
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	-	5	10.9	3.386	14.1	5.23	-1.01	0.31	29	14.7	3.37	21.2	8.61	-0.03	0.23
14			Bistrec	0.400	5	1.30	0.332	1.55	0.755	-1.02	0.25	29	1.59	0.345	2.25	0.940	-0.07	0.22
15			Pećina	-	5	0.18	0.124	0.316	0.037	0.09	0.69	29	0.40	0.282	1.12	0.000	0.78	0.71
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	410	40	12.8	3.30	21.9	7.71	0.72	0.26	22	12.6	3.74	21.8	5.18	0.36	0.30
17			Mrzlo polje	997	39	29.8	8.37	50.9	16.6	0.43	0.28	29	26.1	7.31	41.6	12.2	0.28	0.28
18		Korana	Korana	Luketići	202	10	2.48	0.647	3.70	1.190	-0.19	0.26	23	2.63	1.06	5.27	0.606	0.33
19	Slunj uzvodni			464	27	11.3	3.37	17.8	6.16	0.35	0.30	11	10.7	4.60	19.6	3.62	0.49	0.43
20	Veljun			1105	40	23.4	5.82	37.0	13.4	0.56	0.25	22	22.2	8.02	43.3	9.77	0.68	0.36
21	Velemerić			1486	45	28.8	7.52	46.4	15.7	0.55	0.26	20	28.1	10.1	52.4	11.8	0.40	0.36
22	Radonja		Tušilović	224.0	42	3.56	1.01	5.74	1.91	0.38	0.28	15	2.91	1.05	4.33	1.09	-0.12	0.36



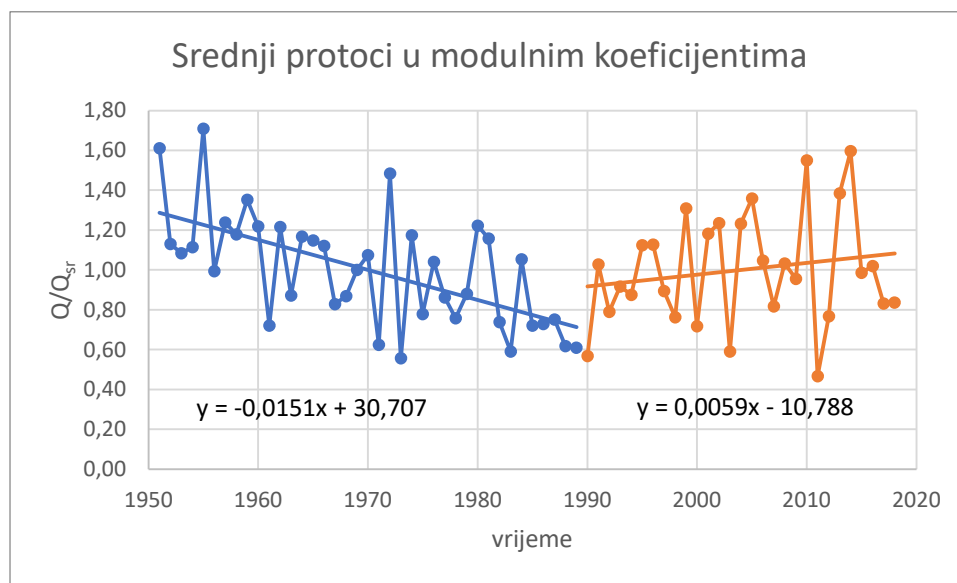
**Tablica 3-3** Parametri maksimalnih godišnjih protoka kroz dva vremenska niza

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	A (km <sup>2</sup> )	Prvi niz (do 1989.)						Drugi niz (od 1990.)							
					Broj godina n	Q <sub>Msr</sub>	σ	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>	Broj godina n	Q <sub>Msr</sub>	σ	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>
						m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s				m <sup>3</sup> /s					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Kupa	Kupa	Kupari	208	39	141	23.3	195	97.8	0.35	0.17	29	144	26.9	216	101	0.56	0.19
2			Hrvatsko	375	45	276	72.6	419	111	-0.01	0.26	21	251	62.4	349	151	-0.07	0.25
3			Kamanje	2337	39	832	131	1145	546	-0.16	0.16	21	786	169	1123	418	-0.46	0.21
4		Čabranka	Zamost 2	106	39	79.7	25.5	128	34.6	0.13	0.32	29	59.2	16.8	121	37.0	1.57	0.28
5		Kupica	Izvor	98.0	9	41.8	10.7	65.6	32.7	1.44	0.26	18	43.0	4.73	51.1	35.5	0.03	0.11
6			Brod na Kupi	240	48	146	46.9	357	79.9	1.99	0.32	17	133	35.5	198	74.4	-0.10	0.27
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	46.4	9	14.2	3.44	19.9	9.24	-0.02	0.24	29	17.0	6.45	32.7	6.39	0.91	0.38
8			Luke	162	42	112	22.7	166	61.2	0.28	0.20	25	106	30.6	196	47.1	0.66	0.29
9			Turkovići	298	32	129	27.7	179	80.4	0.11	0.22	21	157	41.7	253	72.9	0.06	0.27
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	876	31	171	20.7	206	128	0.09	0.12	9	169	22.1	202	141	0.28	0.13
11			Stative Donje	1008	59	237	57.9	405	128	0.68	0.24	9	238	56.3	340	154	0.43	0.24
12		Vitunjčica	Brestovac	89.0	27	29.6	5.04	39.4	20.7	0.09	0.17	40	34.5	4.78	49.7	25.7	0.78	0.14
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	-	5	37.6	2.17	40.5	34.7	0.00	0.06	29	40.9	3.54	47.0	36.0	0.08	0.09
14			Bistrec	0.400	5	12.8	3.45	18.6	9.7	1.11	0.27	29	11.7	2.69	17.4	6.98	0.16	0.23
15			Pećina	-	5	6.69	1.91	8.11	3.51	-1.04	0.29	29	7.27	2.92	14.0	0.000	0.21	0.40
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	410	40	94.5	24.1	166	48.5	0.57	0.25	22	94.9	42.1	198	27.2	0.76	0.44
17			Mrzlo polje	997	39	238	67.0	373	32.8	-0.58	0.28	29	244	67.7	373	58.1	-0.71	0.28
18		Korana	Korana	Luketići	202	10	20.0	7.82	31.6	9.25	0.30	0.39	23	19.3	8.25	39.0	5.67	0.45
19	Slunj uzvodni			464	27	138	49.1	271	68.0	0.99	0.36	11	112	43.6	171	34.9	-0.15	0.39
20	Veljun			1105	40	266	72.9	460	137	0.35	0.27	22	251	117	530	69.8	0.60	0.47
21	Velemerić			1486	45	323	91.4	571	163	0.54	0.28	20	294	131	609	66.8	0.59	0.45
22	Radonja		Tušilović	224.0	42	26.2	6.18	40.7	15.6	0.33	0.24	22	36.6	17.1	77.9	6.80	0.54	0.47

**Tablica 3-4 Parametri minimalnih godišnjih protoka kroz dva vremenska niza**

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	A (km <sup>2</sup> )	Prvi niz (do 1989.)						Drugi niz (od 1990.)							
					Broj godina n	Q <sub>msr</sub>	σ	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>	Broj godina n	Q <sub>msr</sub>	σ	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>
						m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s				m <sup>3</sup> /s					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Kupa	Kupa	Kupari	208	39	1.10	0.408	2.05	0.524	0.87	0.37	29	1.00	0.428	2.29	0.311	0.97	0.43
2			Hrvatsko	375	45	2.12	0.764	5.14	0.738	1.38	0.36	21	1.76	1.08	5.23	0.659	1.83	0.61
3			Kamanje	2337	39	8.72	2.84	14.7	4.07	0.22	0.33	21	8.67	2.72	15.9	5.08	1.46	0.31
4		Čabranka	Zamost 2	106	39	0.657	0.198	1.24	0.361	0.48	0.30	29	0.477	0.143	0.694	0.159	-0.38	0.30
5		Kupica	Izvor	98.0	9	0.194	0.155	0.468	0.051	1.05	0.80	18	0.466	0.414	1.63	0.099	1.36	0.89
6			Brod na Kupi	240	48	1.84	0.434	2.97	0.793	0.27	0.24	17	1.55	0.419	2.36	1.05	0.69	0.27
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	46.4	9	0.096	0.056	0.177	0.007	0.26	0.58	29	0.160	0.071	0.347	0.050	0.72	0.44
8			Luke	162	42	0.755	0.283	1.58	0.228	0.68	0.38	25	0.814	0.242	1.29	0.438	0.39	0.30
9			Turkovići	298	32	0.385	0.242	0.981	0.073	1.10	0.63	21	1.10	0.390	1.99	0.591	0.96	0.35
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	876	31	1.84	0.411	2.49	0.720	-0.77	0.22	9	1.70	0.484	2.34	0.958	0.00	0.29
11			Stative Donje	1008	59	2.55	0.898	6.67	0.923	1.62	0.35	9	3.41	0.726	4.59	2.40	-0.01	0.21
12		Vitunjčica	Brestovac	89	27	0.281	0.099	0.538	0.106	0.51	0.35	40	0.298	0.117	0.618	0.071	0.35	0.39
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	-	5	0.521	0.441	1.10	0.000	0.16	0.85	29	0.879	0.358	1.54	0.379	0.32	0.41
14			Bistrec	0.400	5	0.194	0.128	0.294	0.000	-0.71	0.66	29	0.200	0.147	0.659	0.016	1.41	0.74
15			Pečina	-	5	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	29	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	410	40	1.64	0.792	4.19	0.592	1.74	0.48	22	1.46	0.933	4.71	0.504	2.08	0.64
17			Mrzlo polje	997	39	2.54	1.79	10.3	0.357	2.52	0.70	29	2.83	1.65	9.49	0.222	2.27	0.58
18		Korana	Korana	Luketići	202	10	0.223	0.218	0.726	0.000	1.19	0.98	23	0.248	0.319	1.38	0.000	2.16
19	Slunj uzvodni			464	27	0.709	0.304	1.35	0.243	0.43	0.43	11	0.801	0.418	1.51	0.135	0.17	0.52
20	Veljun			1105	40	3.41	1.22	7.04	0.837	0.21	0.36	22	2.00	1.09	4.99	0.537	0.94	0.55
21	Velemerić			1486	45	3.40	1.87	9.87	0.174	1.39	0.55	20	3.77	1.70	8.12	2.06	1.29	0.45
22	Radonja		Tušilović	224.0	42	0.765	0.280	1.74	0.169	0.79	0.37	22	0.572	0.392	1.52	0.052	0.88	0.68

Analiza trendova srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka provedena je tako da se iz hidrograma srednjih, maksimalnih i minimalnih protoka nacrtao hidrogram u modulnim koeficijentima. Modulni koeficijenti izračunati su tako da se svaka godišnja vrijednost protoka podijelila srednjom vrijednošću tog razmatranog razdoblja. Na taj je način normiranjem hidrograma omogućeno jasnije uočiti promjenu trenda između dva razmatrana razdoblja na pojedinoj hidrološkoj postaji. Primjer hidrograma u modulnim koeficijentima za srednje godišnje protoke na hidrološkoj postaji Mrzlo polje na Mrežnici prikazan je na [Slici 3-2](#).



**Slika 3-2** Hidrogram srednjih godišnjih protoka u modulnim koeficijentima na hidrološkoj postaji Mrzlo polje na Mrežnici

Za ocjenu trenda određenog vremenskog niza predznak koeficijenta nagiba regresijskog pravca određuje radi li se o opadajućem ili rastućem trendu. Na temelju predznaka regresijskih pravaca hidrograma srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka u modulnim koeficijentima određeni su trendovi srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka. U [Tablici 3-5](#) prikazani su trendovi srednjih godišnjih protoka na razmatranim hidrološkim postajama u dva vremenska niza, prvi od početka rada do 1989. godine, a drugi od 1990. godine do kraja dostupnih mjerenja. U [Tablicama 3-6](#) i [3-7](#) prikazani su trendovi maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka. U posljednja dva reda tablica sumirane su vrijednosti pozitivnih i negativnih trendova po razdobljima obrade. Na nekim postajama nije bilo moguće izračunati trend zbog nedovoljno dugih nizova.

**Tablica 3-5** Trendovi srednjih godišnjih protoka u dva vremenska niza

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	Niz	
				Prvi	Drugi
1	2	3	4	5	6
1	Kupa	Kupa	Kupari	negativan	pozitivan
2			Hrvatsko	negativan	pozitivan
3			Kamanje	negativan	pozitivan
4		Čabranka	Zamost 2	negativan	-
5		Kupica	Izvor	-	pozitivan
6			Brod na Kupi	negativan	pozitivan
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	-	pozitivan
8			Luke	negativan	pozitivan
9			Turkovići	-	pozitivan
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	-	-
11			Stative Donje	pozitivan	negativan
12			Vitunjčica	Brestovac	negativan
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	-	pozitivan
14			Bistrec	-	negativan
15			Pećina	-	pozitivan
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	negativan	pozitivan
17			Mrzlo polje	negativan	pozitivan
18	Korana	Korana	Luketići	negativan	-
19			Slunj uzvodni	-	-
20			Veljun	negativan	pozitivan
21			Velemerić	negativan	pozitivan
22		Radonja	Tušilović	negativan	negativan
Pozitivan				1	15
Negativan				13	3

U prvom razdoblju, od početka mjerenja do 1989. godine samo je jedan pozitivan trend dok je broj negativnih trendova 13. U drugom razdoblju, od 1990. godine broj pozitivnih trendova je 15 a broj negativnih trendova je tri. Ovdje se vrlo jasno vidi značajan porast broja pozitivnih trendova i smanjenje negativnih trendova srednjih godišnjih protoka u drugom razdoblju, što je glavno razdoblje ove studije.



**Tablica 3-6** Trendovi maksimalnih godišnjih protoka u dva vremenska niza

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	Niz	
				Prvi	Drugi
1	2	3	4	5	6
1	Kupa	Kupa	Kupari	pozitivan	pozitivan
2			Hrvatsko	-	pozitivan
3			Kamanje	-	-
4		Čabranka	Zamost 2	pozitivan	negativan
5		Kupica	Izvor	-	pozitivan
6			Brod na Kupi	pozitivan	pozitivan
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	-	-
8			Luke	negativan	pozitivan
9			Turkovići	pozitivan	pozitivan
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	negativan	-
11			Stative Donje	pozitivan	negativan
12		Vitunjčica	Brestovac	pozitivan	pozitivan
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	-	negativan
14			Bistrec	-	negativan
15			Pećina	-	pozitivan
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	pozitivan	pozitivan
17			Mrzlo polje	pozitivan	negativan
18	Korana	Korana	Luketići	negativan	pozitivan
19			Slunj uzvodni	-	-
20			Veljun	negativan	pozitivan
21			Velemerić	negativan	pozitivan
22		Radonja	Tušilović	pozitivan	pozitivan
Pozitivan				9	13
Negativan				5	5

**Tablica 3-7** Trendovi minimalnih godišnjih protoka u dva vremenska niza

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	Niz		
				Prvi	Drugi	
1	2	3	4	5	6	
1	Kupa	Kupa	Kupari	negativan	negativan	
2			Hrvatsko	negativan	pozitivan	
3			Kamanje	negativan	negativan	
4		Čabranka	Zamost 2	pozitivan	negativan	
5		Kupica	Izvor	-	negativan	
6			Brod na Kupi	negativan	negativan	
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	-	-	
8			Luke	negativan	negativan	
9			Turkovići	pozitivan	pozitivan	
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	negativan	-	
11			Stative Donje	negativan	pozitivan	
12		Vitunjčica	Brestovac	pozitivan	negativan	
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	-	negativan	
14			Bistrec	-	pozitivan	
15			Pećina	-	-	
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	negativan	pozitivan	
17			Mrzlo polje	negativan	pozitivan	
18	Korana	Korana	Luketići	negativan	pozitivan	
19			Slunj uzvodni	-	-	
20			Veljun	negativan	pozitivan	
21			Velemerić	negativan	negativan	
22		Radonja	Tušilović	negativan	negativan	
				pozitivan	3	8
				negativan	13	10

Kod maksimalnih i minimalnih protoka broj pozitivnih trendova se povećao u drugom razdoblju (od 1990. godine.) dok je broj negativnih trendova kod maksimalnih protoka ostao nepromijenjen, a kod minimalnih protoka se smanjio u drugom razdoblju.

Povećanje broja pozitivnih trendova vremenskih nizova srednjih i maksimalnih godišnjih protoka u drugom razdoblju (od 1990. godine) upućuje na neupitnu promjenu u količini voda koja dotječe prema Karlovcu i raspodjeli ekstremnih dotoka unutar hidrološkog ciklusa.

Da bi se mogli razmatrati vremenski nizovi i prema tome uzimati u obzir nizovi s relevantnih hidroloških stanica, potrebno je provesti analizu homogenosti vremenskih nizova. U hidrološkoj praksi se za tu svrhu koristi *Wilcoxonov* neparametarski test (test rangova). Ovaj statistički test u svojoj suštini provjerava je li se razlikuju srednje vrijednosti dva razmatrana niza podataka, a glavna je pretpostavka da vremenski niz hidroloških podataka slijedi normalnu

razdiobu, uz razinu povjerenja  $\alpha = 0,05$  (5%). Pritom je uvjet da opaženo standardno jedinično odstupanje treba biti:

$$U_0 = \frac{S_0 - E(S)}{\sigma_S} \leq |1,96| \quad (1)$$

gdje je  $E(S)$  očekivana vrijednost sume rangova modificiranoga niza:

$$E(S) = \frac{n_2(n_1 + n_2 + 1)}{2} \quad (2)$$

$n_1$  je broj članova originalnoga niza, a  $n_2$  je broj članova modificiranoga niza. Standardno odstupanje sume rangova modificiranoga niza  $\sigma_S$  je:

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (3)$$

Suma rangova modificiranoga niza  $S_0$  je:

$$S_0 = \sum_{j=1}^{n_2} k_j \quad (4)$$

gdje je  $k_j$  rang člana modificiranoga niza kada se članovi modificiranog i originalnog niza poredaju po veličini.

Nulta hipoteza testa da je niz homogen, prihvaća se kada je zadovoljena jednakost (1) odnosno kada je  $p$  vrijednost testa veća od 0.05. Zbog lakše preglednosti, korištena je veličina  $U_0$ . Zbog velikog broja prekida vremenskih nizova na dostupnim hidrološkim stanicama, test homogenosti je proveden i na nizovima  $n_1$  i  $n_2$  koji između imaju prekide.

U [Tablicama 3-8, 3-9 i 3-10](#) prikazani su rezultati testa homogenosti za srednje, maksimalne i minimalne godišnje protoke.

**Tablica 3-8** Rezultati Wilcoxonovog testa homogenosti za srednje godišnje protoke

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	Prvi niz	Drugi niz	$U_0$	Homogenost
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kupa	Kupa	Kupari	1951-1989	1990-2018	0.48	homogen
2			Hrvatsko	1951-1995	1998-2018	0.82	homogen
3			Kamanje	1957-1995	1998-2018	1.33	homogen
4		Čabranka	Zamost 2	1951-1989	1990-2018	1.56	homogen
5		Kupica	Izvor	1986-1994	2001-2018	-	-
6			Brod na Kupi	1951-1998	2002-2018	2.02	nehomogen
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	1981-1989	1990-2018	1.31	homogen
8			Luke	1951-1992	1994-2018	0.69	homogen
9			Turkovići	1963-1994	1998-2018	2.03	nehomogen
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	1979-2008	2010-2018	1.22	homogen
11			Stative Donje	1951-2009	2010-2018	1.79	homogen
12		Vitunjčica	Brestovac	1951-1977	1979-2018	1.62	homogen
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	1985-1989	1990-2018	-	-
14			Bistrec	1985-1989	1990-2018	-	-
15			Pećina	1985-1989	1990-2018	-	-
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	1951-1990	1997-2018	0.28	homogen
17			Mrzlo polje	1951-1989	1990-2018	1.71	homogen
18	Korana	Korana	Luketići	1981-1990	1996-2018	0.39	homogen
19			Slunj uzvodni	1996-2004	2008-2018	-	-
20			Veljun	1951-1990	1997-2018	0.88	homogen
21			Velemerić	1946-1990	1999-2018	0.39	homogen
22		Radonja	Tušilović	1949-1990	1997-2011	1.93	homogen
						Homogen	15
						Nehomogen	2

Broj homogenih nizova srednjih godišnjih protoka od 1990-ih godina u odnosu na cijeli niz u [Tablici 3-8](#) je 15, a nehomogeni su samo nizovi na stanicama Brod na Kupi na Kupici i Turkovići na Gornjoj Dobri. Na pet stanica nije bilo moguće izračunati homogenost nizova zbog nedovoljne duljine nizova.

**Tablica 3-9** Rezultati Wilcoxonovog testa homogenosti za maksimalne godišnje protoke

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	Prvi niz	Drugi niz	$U_0$	Homogenost
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kupa	Kupa	Kupari	1951-1989	1990-2018	0.38	homogen
2			Hrvatsko	1951-1995	1998-2018	1.18	homogen
3			Kamanje	1957-1995	1998-2018	1.00	homogen
4		Čabranka	Zamost 2	1951-1989	1990-2018	3.32	nehomogen
5		Kupica	Izvor	1986-1994	2001-2018	-	-
6			Brod na Kupi	1951-1998	2002-2018	0.52	homogen
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	1981-1989	1990-2018	1.08	homogen
8			Luke	1951-1992	1994-2018	1.12	homogen
9			Turkovići	1963-1994	1998-2018	2.63	nehomogen
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	1979-2008	2010-2018	0.30	homogen
11			Stative Donje	1951-2009	2010-2018	0.06	homogen
12		Vitunjčica	Brestovac	1951-1979	1980-2018	3.43	nehomogen
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	1985-1989	1990-2018	-	-
14			Bistrec	1985-1989	1990-2018	-	-
15			Pećina	1985-1989	1990-2018	-	-
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	1951-1990	1997-2018	0.63	homogen
17			Mrzlo polje	1951-1989	1990-2018	0.71	homogen
18	Korana	Korana	Luketići	1981-1990	1996-2018	0.24	homogen
19			Slunj uzvodni	1996-2004	2008-2018	-	-
20			Veljun	1951-1990	1997-2018	0.89	homogen
21			Velemerić	1946-1990	1999-2018	1.19	homogen
22		Radonja	Tušilović	1949-1990	1997-2018	1.42	homogen
						Homogen	14
						Nehomogen	3

Broj homogenih nizova maksimalnih godišnjih protoka od 1990-ih godina u odnosu na cijeli niz u [Tablici 3-9](#) je 14 a nehomogeni nizovi su samo na Zamostu 2 na Čabranci, Turkovićima na Gornjoj Dobri i Brestovcu na Vitunjčici. Također kao i kod srednjih protoka, na pet stanica nije bilo moguće izračunati homogenost nizova.



**Tablica 3-10** Rezultati Wilcoxonovog testa homogenosti za minimalne godišnje protoke

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	Prvi niz	Drugi niz	$U_0$	Homogenost
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kupa	Kupa	Kupari	1951-1989	1990-2018	1.04	homogen
2			Hrvatsko	1951-1995	1998-2018	2.17	nehomogen
3			Kamanje	1957-1995	1998-2018	0.06	homogen
4		Čabranka	Zamost 2	1951-1989	1990-2018	3.59	nehomogen
5		Kupica	Izvor	1986-1994	2001-2018	-	-
6			Brod na Kupu	1951-1998	2002-2018	2.38	nehomogen
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	1981-1989	1990-2018	2.57	nehomogen
8			Luke	1951-1992	1994-2018	0.95	homogen
9			Turkovići	1963-1994	1998-2018	5.54	nehomogen
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	1979-2008	2010-2018	0.65	homogen
11			Stative Donje	1951-2009	2010-2018	3.01	nehomogen
12		Vitunjčica	Brestovac	1951-1979	1980-2018	0.65	homogen
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	1985-1989	1990-2018	-	-
14			Bistrec	1985-1989	1990-2018	-	-
15			Pećina	1985-1989	1990-2018	-	-
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	1951-1990	1997-2018	1.55	homogen
17			Mrzlo polje	1951-1989	1990-2018	1.44	homogen
18	Korana	Korana	Luketići	1981-1990	1996-2018	0.22	homogen
19			Slunj uzvodni	1996-2004	2008-2018	-	-
20			Veljun	1951-1990	1997-2018	4.07	nehomogen
21			Velemerić	1946-1990	1999-2018	0.64	homogen
22		Radonja	Tušilović	1949-1990	1997-2018	1.23	homogen
						Homogen	10
						Nehomogen	7

Broj homogenih nizova minimalnih godišnjih protoka od 1990-ih godina u odnosu na cijeli niz u [Tablici 3-10](#) je 10, dok je broj nehomogenih sedam, nešto više nego kod srednjih i maksimalnih protoka.

Duljine modificiranih nizova (od 1990.) provjerena je na osnovi Kricky-Menkelove formule za pogrešku koeficijenta varijacije  $\sigma_{cv}$ , uz uvjet da je  $\sigma_{cv} \leq 0.10$  (10%).

$$\sigma_{cv} = \frac{c_v}{\sqrt{2(n-1)}} \sqrt{1 + 3c_v^2} \quad (5)$$

U [Tablicama 3-11](#), [3-12](#) i [3-13](#) prikazane su vrijednosti koeficijenta varijacije  $c_v$  i pogreške koeficijenta varijacije  $\sigma_{cv}$  za srednje, maksimalne i minimalne godišnje protoke.

**Tablica 3-11** Vrijednosti koeficijenta varijacije  $c_v$  i pogreške koeficijenta varijacije  $\sigma_{c_v}$  modificiranih nizova za srednje godišnje protoke

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	Niz	Broj članova niza $n$	$c_v$	$\sigma_{c_v}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kupa	Kupa	Kupari	1990-2018	29	0.19	0.03
2			Hrvatsko	1998-2018	21	0.21	0.03
3			Kamanje	1998-2018	21	0.24	0.04
4		Čabranka	Zamost 2	1990-2018	29	0.19	0.03
5		Kupica	Izvor	2001-2018	18	0.24	0.04
6			Brod na Kupi	2002-2018	17	0.24	0.05
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	1990-2018	29	0.27	0.04
8			Luke	1994-2018	25	0.23	0.04
9			Turkovići	1998-2018	21	0.24	0.04
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	2010-2018	9	0.29	0.08
11			Stative Donje	2010-2018	9	0.29	0.08
12		Vitunjčica	Brestovac	1979-2018	40	0.18	0.02
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	1990-2018	29	0.23	0.03
14			Bistrec	1990-2018	29	0.22	0.03
15			Pećina	1990-2018	29	0.71	0.15*
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	1997-2018	22	0.30	0.05
17			Mrzlo polje	1990-2018	29	0.28	0.04
18	Korana	Korana	Luketići	1996-2018	23	0.40	0.07
19			Slunj uzvodni	2008-2018	11	0.43	0.12
20			Veljun	1997-2018	22	0.36	0.07
21			Velemerić	1999-2018	20	0.36	0.07
22		Radonja	Tušilović	1997-2011	15	0.36	0.08

**Tablica 3-12** Vrijednosti koeficijenta varijacije  $c_v$  i pogreške koeficijenta varijacije  $\sigma_{c_v}$  modificiranih nizova za maksimalne godišnje protoke

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	Niz	Broj članova niza $n$	$c_v$	$\sigma_{c_v}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kupa	Kupa	Kupari	1990-2018	29	0.19	0.03
2			Hrvatsko	1998-2018	21	0.25	0.04
3			Kamanje	1998-2018	21	0.21	0.04
4		Čabranka	Zamost 2	1990-2018	29	0.28	0.04
5		Kupica	Izvor	2001-2018	18	0.11	0.02
6			Brod na Kupi	2002-2018	17	0.27	0.05
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	1990-2018	29	0.38	0.06
8			Luke	1994-2018	25	0.29	0.05
9			Turkovići	1998-2018	21	0.27	0.05
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	2010-2018	9	0.13	0.03
11			Stative Donje	2010-2018	9	0.24	0.06
12		Vitunjčica	Brestovac	1979-2018	40	0.14	0.02
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	1990-2018	29	0.09	0.01
14			Bistrec	1990-2018	29	0.23	0.03
15			Pećina	1990-2018	29	0.40	0.07
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	1997-2018	22	0.44	0.09
17			Mrzlo polje	1990-2018	29	0.28	0.04
18	Korana	Korana	Luketići	1996-2018	23	0.43	0.08
19			Slunj uzvodni	2008-2018	11	0.35	0.09
20			Veljun	1997-2018	22	0.47	0.09
21			Velemerić	1999-2018	20	0.45	0.09
22		Radonja	Tušilović	1997-2018	22	0.47	0.09

**Tablica 3-13** Vrijednosti koeficijenta varijacije  $c_v$  i pogreške koeficijenta varijacije  $\sigma_{cv}$  modificiranih nizova za minimalne godišnje protoke

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	Niz	Broj članova niza $n$	$c_v$	$\sigma_{cv}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kupa	Kupa	Kupari	1990-2018	29	0.43	0.07
2			Hrvatsko	1998-2018	21	0.61	0.14*
3			Kamanje	1998-2018	21	0.31	0.06
4		Čabranka	Zamost 2	1990-2018	29	0.30	0.05
5		Kupica	Izvor	2001-2018	18	0.89	0.28
6			Brod na Kupu	2002-2018	17	0.27	0.05
7	Dobra	Gornja Dobra	Moravice	1990-2018	29	0.44	0.07
8			Luke	1994-2018	25	0.30	0.05
9			Turkovići	1998-2018	21	0.35	0.07
10		Donja Dobra	Lešće Toplice	2010-2018	9	0.29	0.08
11			Stative Donje	2010-2018	9	0.21	0.06
12		Vitunjčica	Brestovac	1979-2018	40	0.39	0.05
13	Mrežnica	Izvor	Z. Mrežnica	1990-2018	29	0.41	0.07
14			Bistrec	1990-2018	29	0.74	0.16*
15			Pećina	1990-2018	29	-	-
16		Donja Mrežnica	Juzbašići	1997-2018	22	0.64	0.15*
17			Mrzlo polje	1990-2018	29	0.58	0.11*
18	Korana	Korana	Luketići	1996-2018	23	1.28	0.47*
19			Slunj uzvodni	2008-2018	11	0.45	0.13*
20			Veljun	1997-2018	22	0.55	0.12*
21			Velemerić	1999-2018	20	0.45	0.09
22		Radonja	Tušilović	1997-2018	22	0.68	0.16*

Kod nizova srednjih i maksimalnih godišnjih protoka, jedino Izvor Pećina na Mrežnici ima vrijednost pogreške koeficijenta varijacije  $\sigma_{cv}$  za srednje godišnje protoke veću od 0.10, dok kod nizova minimalnih godišnjih protoka osam nizova ima vrijednost pogreške koeficijenta varijacije  $\sigma_{cv}$  veću od 0.10, odnosno prekratki su. To je i očekivano jer su vrijednosti koeficijenta varijacije kod minimalnih godišnjih protoka u prosjeku veće nego kod srednjih i maksimalnih godišnjih protoka.

Zanimljivo je obratiti pozornost na stanice Lešće Toplice i Stative Donje na Donjoj Dobra koje su od 2010. godine pod utjecajem promijenjenog režima otjecanja, budući je od tada počela s radom HE Lešće. Valja primijetiti da je na stanici Stative Donje trend srednjih i maksimalnih godišnjih protoka prije 2010. godine bio pozitivan, a poslije 2010. godine negativan. Kod minimalnih godišnjih protoka je pak suprotna situacija, prije 2010. godine trend je negativan, a poslije 2010. godine trend je pozitivan. Homogenost modificiranih nizova srednjih i maksimalnih godišnjih protoka na stanicama Lešće Toplice i Stative Donje na Donjoj

Dobri od 2010. do 2018. je pozitivna, a minimalnih godišnjih protoka na stanici Stative Donje na Donjoj Dobri je negativna, dok je na stanici Lešće Toplice homogenost pozitivna. Vrijednost pogreške koeficijenta varijacije  $\sigma_{cv}$  modificiranih nizova od 2010. godine srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka su manje od 0.10, pa su ti nizovi dovoljno dugi.

S obzirom na predmet istraživanja i područje koje ga obuhvaća, u detaljnoj analizi koja slijedi nisu obuhvaćene stanice s nedovoljno dugim nizovima ili nizovima koji imaju veće prekide u mjerenjima. Detaljna analiza obuhvaća razdoblje od 1990. do 2018. godine, s time da je to razdoblje podijeljeno u dva niza. Prvi niz obuhvaća razdoblje od 1990. do 2009. godine, a drugi niz od 2010. do 2018. godine. Niz je podijeljen na temelju uočenih pojavljivanja zamućenja a da opet svaki razmatrani niz bude dovoljno dugačak. U ovoj analizi uključen je i profil Rastoke na Slunjčici, koji u prvom dijelu analize nije bio uključen zbog prekida u mjerenju (Tablici 3-1).

U Tablici 3-14 prikazani su izračunati parametri za srednje godišnje protoke u razdoblju od 1990. do 2009. godine. Osim standardnih hidroloških parametara, izračunata je i srednja godišnja količina oborine, efektivna oborina na temelju srednjih godišnjih protoka na slijevu do svakog profila te na temelju ta dva podatka izračunat je i koeficijent otjecanja  $c$ :

$$c = \frac{P_e}{P} \quad (6)$$

Tablica 3-14 Parametri za srednje godišnje protoke u razdoblju od 1990. do 2009. godine.

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	A (km <sup>2</sup> )	1990.-2009.									
					Broj godina n	Q	$\sigma$	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>	P	P <sub>e</sub>	c
						m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s			mm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Kupa	Kupa	Kupari	208	20	12.9	1.70	16.3	8.97	-0.15	0.13	1817	1963	1.08
3	Dobra	Donja Dobra	Lešće Toplice	876	19	30.6	5.07	38.7	22.9	-0.08	0.17	1391	1102	0.79
4			Stative Donje	1008	20	34.0	5.61	43.1	24.5	-0.12	0.17	1274	1063	0.83
5		Vitunjčica	Brestovac	89	20	3.21	0.446	4.09	2.49	0.18	0.14	1511	1138	0.75
6	Mrežnica	Donja Mrežnica	Juzbašići	410	13	11.7	2.63	16.8	7.77	0.29	0.22	1424	898	0.63
7			Mrzlo polje	997	20	25.5	5.96	35.4	14.8	-0.13	0.23	1228	807	0.66
8	Korana	Korana	Luketići	202	14	2.54	0.803	4.19	1.46	0.39	0.32	1272	395	0.31
9			Slunj uzvodni	464	9	9.38	3.29	14.4	4.59	-0.26	0.35	1243	637	0.51
13			Veljun	1105	13	20.1	5.92	28.8	10.9	-0.06	0.30	1298	572	0.44
14			Velemerić	1486	11	25.4	7.91	36.4	13.5	-0.07	0.31	1218	539	0.44
15		Slunjčica	Rastoke	273	14	8.42	2.10	11.9	4.87	0.06	0.25	1221	973	0.80
16		Radonja	Tušilović	224	15	2.91	1.05	4.33	1.09	-0.12	0.36	1087	409	0.38

U Tablici 3-15 prikazani su izračunati parametri za srednje godišnje protoke u razdoblju od 2009. do 2018. godine, zajedno s podacima o srednjoj godišnjoj bruto i efektivnoj oborini i koeficijentom otjecanja.



**Tablica 3-15 Parametri za srednje godišnje protoke u razdoblju od 2010. do 2018. godine.**

Redn i broj	Slijev	Vodotok	Profil	A (km <sup>2</sup> )	2010.-2018.									
					Broj godina n	Q	$\sigma$	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>	P	P <sub>e</sub>	c
						m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s			mm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Kupa	Kupa	Kupari	208	9	14.5	3.87	19.6	8.65	-0.30	0.27	1852	2193	1.18
3	Dobra	Donja Dobra	Lešće Toplice	876	9	35.4	10.3	53.8	19.9	0.32	0.29	1482	1276	0.86
4			Stative Donje	1008	9	40.9	12.0	61.5	21.9	0.22	0.29	1390	1280	0.92
5		Vitunjić a	Brestovac	89	9	3.50	0.891	5.22	2.17	0.48	0.25	1641	1239	0.76
6	Mrežnica	Donja Mrežnica	Juzbašići	410	9	13.8	4.83	21.8	5.18	-0.20	0.35	1618	1063	0.66
7			Mrzlo polje	997	9	27.3	10.0	41.6	12.2	0.21	0.37	1385	865	0.62
8	Korana	Korana	Luketići	202	9	2.78	1.41	5.27	0.606	0.05	0.51	1464	434	0.30
9			Slunj uzvodni	464	11	10.7	4.60	19.6	3.62	0.49	0.43	1407	727	0.52
13			Veljun	1105	9	25.2	9.92	43.3	9.77	0.37	0.39	1467	720	0.49
14			Velemerić	1486	9	31.5	11.9	52.4	11.8	0.13	0.38	1399	668	0.48
15		Slunjčica	Rastoke	273	9	8.13	2.16	11.9	4.33	0.04	0.27	1351	939	0.70
16		Radonja	Tušilović	224	5	4.14	1.33	5.87	2.74	0.35	0.32	1206	582	0.48

Gledajući podatke iz [Tablice 3-14 i 3-15](#), odmah je vidljivo da su srednji godišnji protoci prosječno viši za 2.5% u razdoblju od 2010. do 2018. godine. Isto vrijedi i za standardnu devijaciju, koja je u novijem razdoblju veća prosječno 72%, a posljedično tome i veća vrijednost godišnjeg maksimuma srednjih godišnjih protoka ali i niže vrijednosti godišnjeg minimuma srednjih godišnjih protoka u novijem razdoblju, što je onda rezultiralo i povećanjem koeficijenta varijacije  $c_v$ . Uz sve to, prosječni koeficijent asimetrije  $c_s$  je u prvom razdoblju -0.01, što je vrlo blisko nuli te je normalna razdioba tih podataka skoro bez nagnjanja, a u drugom razdoblju je prosječni koeficijent asimetrije  $c_s = 0.18$ , pa se normalna razdioba već malo pomaknula prema većim vrijednostima od prosjeka. Isti obrazac vrijedi i za oborine na slijevu. U novijem razdoblju prosječna godišnja količina oborina na cijelom razmatranom području je 10% veća nego u starijem razdoblju. Prosječna godišnja količina oborina  $P$ , prikazana u stupcu 13 u [Tablicama 3-14 i 3-15](#) izračunata je kao aritmetička sredina s meteoroloških stanica na svakom slijevu ([Slika 3-1](#)). U [Tablicama 3-16 i 3-17](#) prikazane su vrijednosti godišnje količine oborina na razmatranim meteorološkim stanicama. Promjena godišnjeg otjecanja kao komponenta hidrološkog ciklusa, lako je objašnjiva promjenom druge komponente u hidrološkom ciklusu, a to je količina oborine. Povećanje protoka uslijed povećanja količine oborine je na razini ovog područja prirodna promjena. Međutim, promjena otjecanja ima još mnoge druge utjecaje, od kojih je i utjecaj slijeva. Utjecaj te komponente se može ocijeniti upravo preko koeficijenta otjecanja  $c$ , prikazanog u stupcu 15 u [Tablicama 3-14 i 3-15](#). Kako je on definiran u jednadžbi (6), on isključivo ovisi o bruto količini oborine  $P$  i srednjem godišnjem protoku, ovdje preračunat i prikazan preko efektivne oborine  $P_e$ .

**Tablica 3-16 Srednje godišnje količine oborine u razdoblju od 1990. do 2009. godine**

Godine	Parg	Ogulin	Karlovac	Gorinci	Tounj Zdenac	Plaški	Slunj	Rakovica
1990	1853	1358	897	-		-	-	-
1991	1806	1446	967	-	1233	-	-	-
1992	1894	1360	1002	-	1102	-	-	-
1993	1931	1401	1157	-	1301	-	-	-
1994	1561	1437	1055	-	1236	-	-	-
1995	2055	1725	1180	-	1429	-	-	-
1996	1993	1659	1188	-	1548	-	-	-
1997	1546	1356	1097	-	1213	-	1250	-
1998	2094	1429	1159	1034	1129	1070	1126	-
1999	1959	1774	1183	1289	1329	-	1413	-
2000	1871	1296	876	865	970	1269	896	908
2001	1733	1650	1192	1156	1385	-	1343	1407
2002	1744	1627	1340	1271	1413	1697	1493	1433
2003	1464	1158	755	887	919	1029	833	974
2004	2010	1662	1202	1422	-	1695	1358	1513
2005	1727	1758	1230	1461	1623	1947	1688	1662
2006	1628	1521	1011	1211	1300	1307	1065	1136
2007	1604	1655	1149	1369	1377	1452	1203	1289
2008	2113	1487	1096	1184	1238	1421	1107	1128
2009	1766	1461	1006	1138	-	1350	1105	1266
Prosjek	1817	1511	1087	1191	1279	1424	1221	1272

**Tablica 3-17 Srednje godišnje količine oborine u razdoblju od 2010. do 2018. godine.**

Godine	Parg	Ogulin	Karlovac	Gorinci	Tounj Zdenac	Plaški	Slunj	Rakovica
2010	2307	1845	1273	1464	-	1717	1606	1693
2011	1412	1141	742	842	872	1133	884	932
2012	1810	1448	1098	1194	1225	1364	1176	1279
2013	-	1855	1356	1571	1617	1794	1537	1610
2014	-	2256	1806	1920	1889	2225	1804	2095
2015	-	1414	1229	1231	1277	-	1332	1436
2016	2044	1816	1210	1411	1508	-	1371	1436
2017	1929	1632	1168	1324	1297	1577	1176	1400
2018	1634	1384	1017	1032	1243	1421	1208	1365
2019	1826	1614	1164	1249	1468	1717	1411	1392
Prosjek	1852	1641	1206	1324	1377	1618	1351	1464

Taj koeficijent, kao što je već spomenuto, na temelju srednjih godišnjih vrijednosti protoka i oborine opisuju koliki udio oborine koja padne na slijev površinski oteče, i ta

vrijednost bi uvijek trebala biti manja od jedan. Postoje slučajevi kada je ta vrijednost veća od jedan i to se upravo može vidjeti na stanici Kupari na Kupi. Razlog tomu je vjerojatno pogreška u određivanju slijevne površine, a na tom području su u prijašnjim istraživanjima profesora Juraka (Žugaj i sur., 1998-2006.) dokazane bifurkacije, zbog kojih onda postoji i ta promjenjivost slijevne površine.

Na većini hidroloških profila vrijednost koeficijenta otjecanja  $c$  se ne mijenja drastično. Međutim, na hidrološkom profilu Tušilović na Radonji primijećen je drastičan porast tog koeficijenta, s vrijednosti 0.38 u starijem razdoblju na vrijednost 0.48 u novijem razdoblju. Taj porast od 26% zasigurno je uzrokovan promjenama na samoj površini slijeva, a pošto se slijev koji obuhvaća taj hidrološki profil ne nalazi u krškom području, mogu se isključiti promjene u podzemlju kakve se mogu naći u krškim predjelima.

U [Tablicama 3-18 i 3-19](#) prikazani su izračunati parametri za maksimalne godišnje protoke u razdoblju od 1990. do 2009. godine i 2010. do 2018. godine.

**Tablica 3-18** Parametri za maksimalne godišnje protoke u razdoblju od 1990. do 2009. godine.

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	A (km <sup>2</sup> )	1990.-2009.						
					Broj godina n	$Q_{Msr}$	$\sigma$	$Q_M$	$Q_m$	$c_s$	$c_v$
						m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Kupa	Kupa	Kupari	208	20	138	24.8	190	101	0.41	0.18
3	Dobra	Donja Dobra	Lešće Toplice	876	20	172	24.1	206	128	-0.18	0.14
4			Stative Donje	1008	20	252	65.9	405	134	0.65	0.26
5		Vitunjčica	Brestovac	89	20	35.3	4.02	44.6	28.2	0.13	0.11
6	Mrežnica	Donja Mrežnica	Juzbašići	410	13	83.0	26.5	132	47.3	0.56	0.32
7			Mrzlo polje	997	20	243	58.1	354	102	-0.61	0.24
8	Korana	Korana	Luketići	202	14	17.6	6.51	27.2	8.39	0.15	0.37
9			Slunj uzvodni	464	9	112	43.6	171	34.9	-0.15	0.39
13			Veljun	1105	13	224	98.9	402	75.8	0.64	0.44
14			Velemerić	1486	11	262	103	485	97.0	0.60	0.39
15		Slunjčica	Rastoke	273	14	58.7	13.3	81.7	35.4	-0.06	0.23
16		Radonja	Tušilović	224	13	28.8	8.62	47.1	7.70	-0.39	0.30

**Tablica 3-19** Parametri za maksimalne godišnje protoke u razdoblju od 2010. do 2018. godine.

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	A (km <sup>2</sup> )	2010.-2018.						
					Broj godina n	Q <sub>Msr</sub>	σ	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>
						m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Kupa	Kupa	Kupari	208	9	156	28.5	216	114	0.72	0.18
3	Dobra	Donja Dobra	Lešće Toplice	876	9	169	22.1	202	141	0.28	0.13
4			Stative Donje	1008	9	238	56.3	340	154	0.43	0.24
5		Vitunjčica	Brestovac	89	9	37.8	5.26	49.7	31.5	1.26	0.14
6	Mrežnica	Donja Mrežnica	Juzbašići	410	9	112.2	55.0	198	27.2	0.06	0.49
7			Mrzlo polje	997	9	247	89.5	373	58.1	-0.76	0.36
8	Korana	Korana	Luketići	202	9	21.9	10.29	39.0	5.67	0.12	0.47
9			Slunj uzvodni	464	11	162	57.3	240	33.7	-0.77	0.35
13			Veljun	1105	9	291	136	530	69.8	0.24	0.47
14			Velemerić	1486	9	333	157	609	66.8	0.18	0.47
15		Slunjčica	Rastoke	273	9	71.1	12.6	85.7	51.7	-0.12	0.18
16		Radonja	Tušilović	224	9	47.8	20.5	77.9	6.80	-0.62	0.43

Promjena parametara kod maksimalnih godišnjih protoka je slična onima kod srednjih godišnjih protoka. Srednje vrijednosti maksimalnih protoka su se povećale u novijem razdoblju prosječno za 15%, kao i vrijednosti standardne devijacije i godišnjih maksimuma maksimalnih protoka dok su se godišnje vrijednosti minimuma maksimalnih protoka smanjile u novijem razdoblju. Vrijednosti koeficijenata asimetrije i varijacije su ostale približno jednake, s malim povećanjem koeficijenta varijacije u novijem razdoblju.

U [Tablicama 3-20 i 3-21](#) prikazani su izračunati parametri za minimalne godišnje protoke u razdoblju od 1990. do 2009. godine i 2010. do 2018. godine.

Promjena parametara kod minimalnih godišnjih protoka je slična onima kod maksimalnih godišnjih protoka. Srednje vrijednosti minimalnih protoka su se povećale u novijem razdoblju prosječno za 20%, kao i vrijednosti standardne devijacije, godišnjih maksimuma minimalnih protoka i godišnje minimuma minimalnih protoka. Vrijednosti koeficijenata asimetrije i varijacije su ostale približno jednake.

**Tablica 3-20** Parametri za minimalne godišnje protoke u razdoblju od 1990. do 2009. godine.

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	A (km <sup>2</sup> )	1990.-2009.						
					Broj godina n	Q <sub>msr</sub>	σ	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>
						m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Kupa	Kupa	Kupari	208	20	1.04	0.358	1.82	0.311	0.06	0.34
3		Donja Dobra	Lešće Toplice	876	20	1.73	0.395	2.21	0.720	-0.96	0.23
4	Dobra	Stative Donje	1008	20	2.53	0.790	3.86	0.923	-0.30	0.31	
5		Vitunjčica	Brestovac	89	20	0.312	0.120	0.618	0.098	0.54	0.38
6	Mrežnica	Donja Mrežnica	Juzbašići	410	13	1.41	0.593	2.89	0.643	1.05	0.42
7		Mrzlo polje	997	20	2.35	1.09	5.4	0.222	0.81	0.46	
8	Korana	Korana	Luketići	202	14	0.150	0.205	0.745	0.000	1.94	1.37
9			Slunj uzvodni	464	9	0.801	0.418	1.51	0.135	0.17	0.52
13			Veljun	1105	13	1.68	1.02	3.68	0.537	0.89	0.61
14			Velemerić	1486	11	3.71	1.81	8.12	2.280	1.51	0.49
15		Slunjčica	Rastoke	273	14	0.916	0.802	2.62	0.121	1.08	0.87
16		Radonja	Tušilović	224	13	0.710	0.441	1.52	0.052	0.28	0.62

**Tablica 3-21** Parametri za minimalne godišnje protoke u razdoblju od 2010. do 2018. godine.

Redni broj	Slijev	Vodotok	Profil	A (km <sup>2</sup> )	2010.-2018.						
					Broj godina n	Q <sub>msr</sub>	σ	Q <sub>M</sub>	Q <sub>m</sub>	c <sub>s</sub>	c <sub>v</sub>
						m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Kupa	Kupa	Kupari	208	9	0.91	0.570	2.29	0.454	1.75	0.62
3		Donja Dobra	Lešće Toplice	876	9	1.70	0.484	2.34	0.958	0.00	0.29
4	Dobra	Stative Donje	1008	9	3.41	0.726	4.59	2.40	-0.01	0.21	
5		Vitunjčica	Brestovac	89	9	0.264	0.108	0.489	0.137	0.86	0.41
6	Mrežnica	Donja Mrežnica	Juzbašići	410	9	1.53	1.323	4.71	0.504	1.71	0.87
7		Mrzlo polje	997	9	3.89	2.22	9.49	1.700	1.98	0.57	
8	Korana	Korana	Luketići	202	9	0.402	0.410	1.38	0.000	1.59	1.02
9			Slunj uzvodni	464	11	0.861	0.389	1.65	0.310	0.68	0.45
13			Veljun	1105	9	2.46	1.08	4.99	1.040	1.37	0.44
14			Velemerić	1486	9	3.84	1.66	6.86	2.06	0.95	0.43
15		Slunjčica	Rastoke	273	9	1.24	0.749	3.01	0.300	1.45	0.61
16		Radonja	Tušilović	224	9	0.373	0.191	0.81	0.136	1.20	0.51

Sve ove promjene kod srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka između dva razdoblja, 1990.-2009. i 2010.-2018. ukazuju na promjene uzrokovane klimatskim promjenama, koje su već primijećene i pokazane u znanstvenim studijama na ovom području. U doktorskoj disertaciji „Regionalna hidrološka analiza krškog porječja Kupe“ iz 2016. godine (Pavlič, 2016), pokazane su iste promjene, ali na puno dužem razdoblju obrade, gdje su uspoređivana dva razdoblja, 1950.-1980. i 1981.-2012. Uz to, korištenjem spektralne analize na dnevnim podacima, u drugom razdoblju te analize dokazano je pojavljivanje sekundarnih



maksimalnih protoka unutar godine koji su po iznosu puno bliži glavnom maksimumu. To zapravo znači da su se maksimalne vrijednosti protoka pojačale, ali su i češće nego što su to bile prije. Isti je zaključak i iz ove analize. Srednje vrijednosti godišnjih protoka rastu u vremenu, a minimumi i maksimumi tih srednjih protoka se sve više razmiču, tj. maksimumi su sve veći a minimumi sve manji.

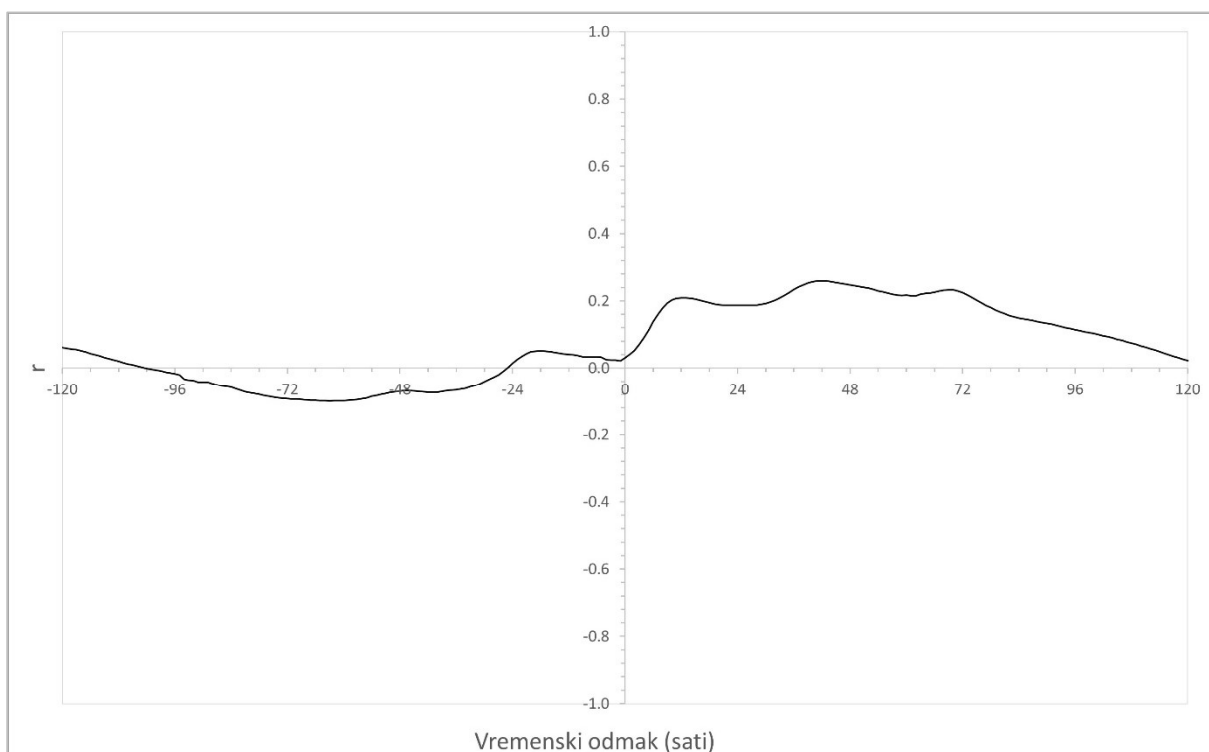
## 3.2 ANALIZA NA TEMELJU SATNIH VRIJEDNOSTI PROTOKA I KOLIČINE OBORINE

Satne vrijednosti protoka i količine oborine analizirane su kroskorelacijskim i spektralnim metodama, odnosno provedena je kroskorelacijska analiza između vremenskih nizova protoka i količine oborine. Proveden je odziv protoka na hidrološkim stanicama Mrzlo Polje i Juzbašići na Donjoj Mrežnici, Slunj uzvodni i Velemerić na Korani te Tušilović na Radonji na oborinu s kišomjernih stanica koje su na razmatranim sljevovima. Odabrani su hidrološki događaji koji su se dogodili u prvom vremenskom razdoblju od 1990. do 2009. godine i u drugom vremenskom razdoblju od 2010. do 2018. godine. Fourierovom transformacijom je izračunat frekvencijski spektar satnih vrijednosti protoka na hidrološkim stanicama Lešće Toplice na Donjoj Dobri, Juzbašići i Mrzlo polje na Mrežnici.

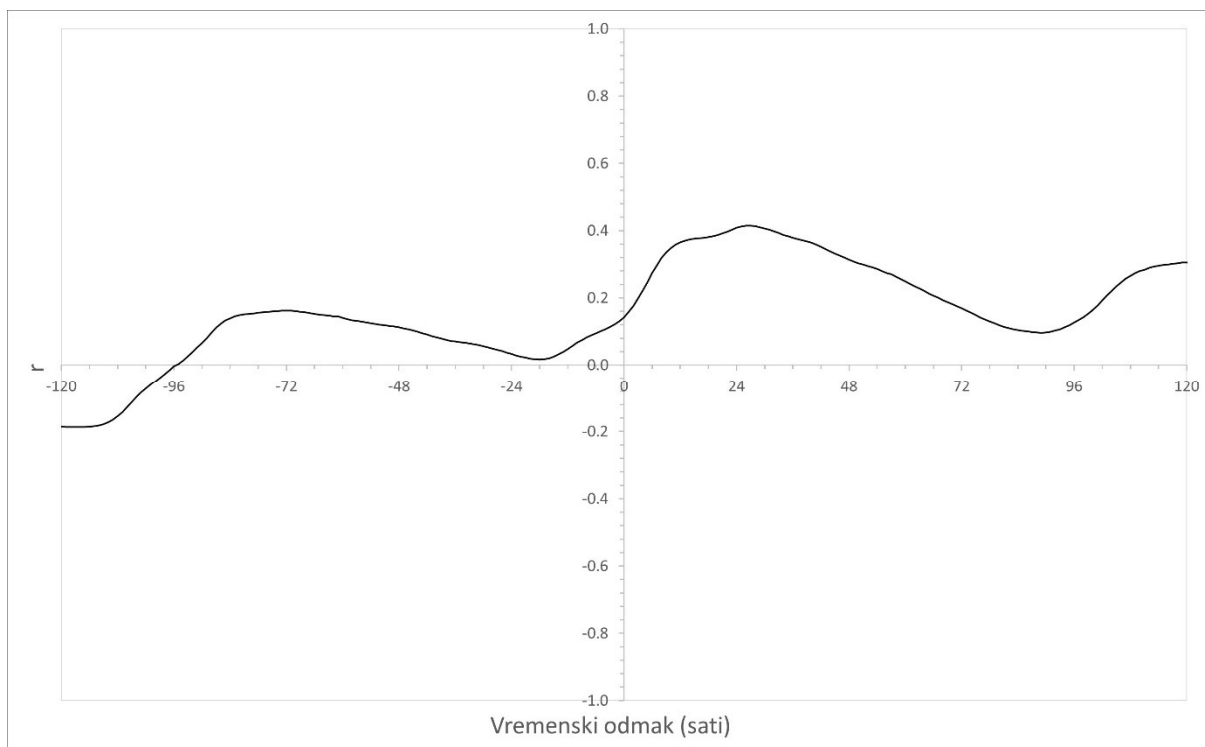
Budući da satni meteorološki podaci na ovom slijevu postoje samo na glavnoj meteorološkoj stanici (GMP) Karlovac i to tek od 2010. godine pa nadalje, kroskorelacijska analiza satnih podataka moguća je samo između GMP Karlovac i najnižvodnijih hidroloških stanica na Mrežnici i Korani te na Radonji, a na ostalim spomenutim stanicama provedena je kroskorelacijska analiza na razini dnevnih podataka.

Na [Slikama 3-3 i 3-4](#) prikazane su kroskorelacijske funkcije između GMP Karlovac i hidrološke stanice Mrzlo polje na Donjoj Mrežnici za vremenska razdoblja od 01.09.2014. 00:00 sati do 30.09.2014. 23:00 sati i 01.10.2015. 00:00 sati do 31.10.2015. 23:00 sati.

Na [Slici 3-3](#) maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.26 pri vremenskom odmaku od 42 sati, a na [Slici 3-4](#) maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.42 pri vremenskom odmaku od 26 sati. Oba hidrološka događaja imaju relativno niske vrijednosti koeficijenta korelacije, a vremenski odmaci pokazuju veliku razliku u brzini odziva najvećeg protoka na najintenzivniju oborinu.



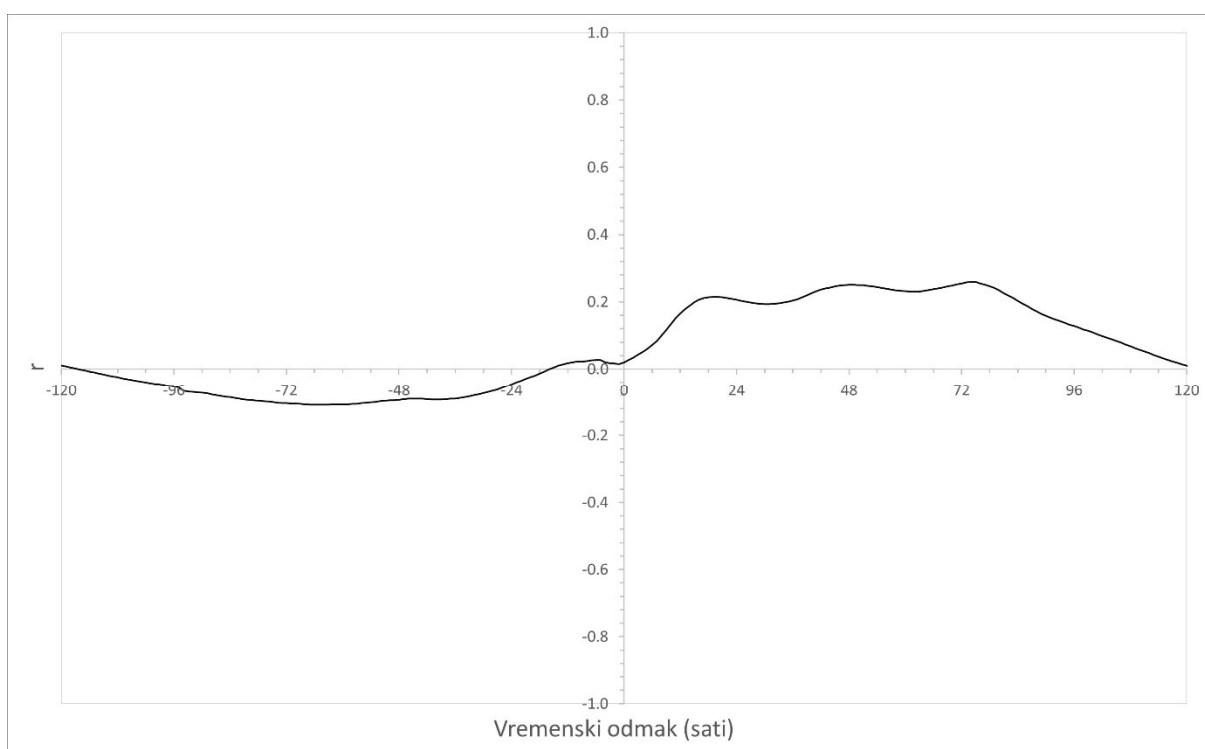
**Slika 3-3** Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Mrzlo polje na Donjoj Mrežnici za vremensko razdoblje od 1.9.2014. 00:00 sati do 30.9.2014. 23:00 sati



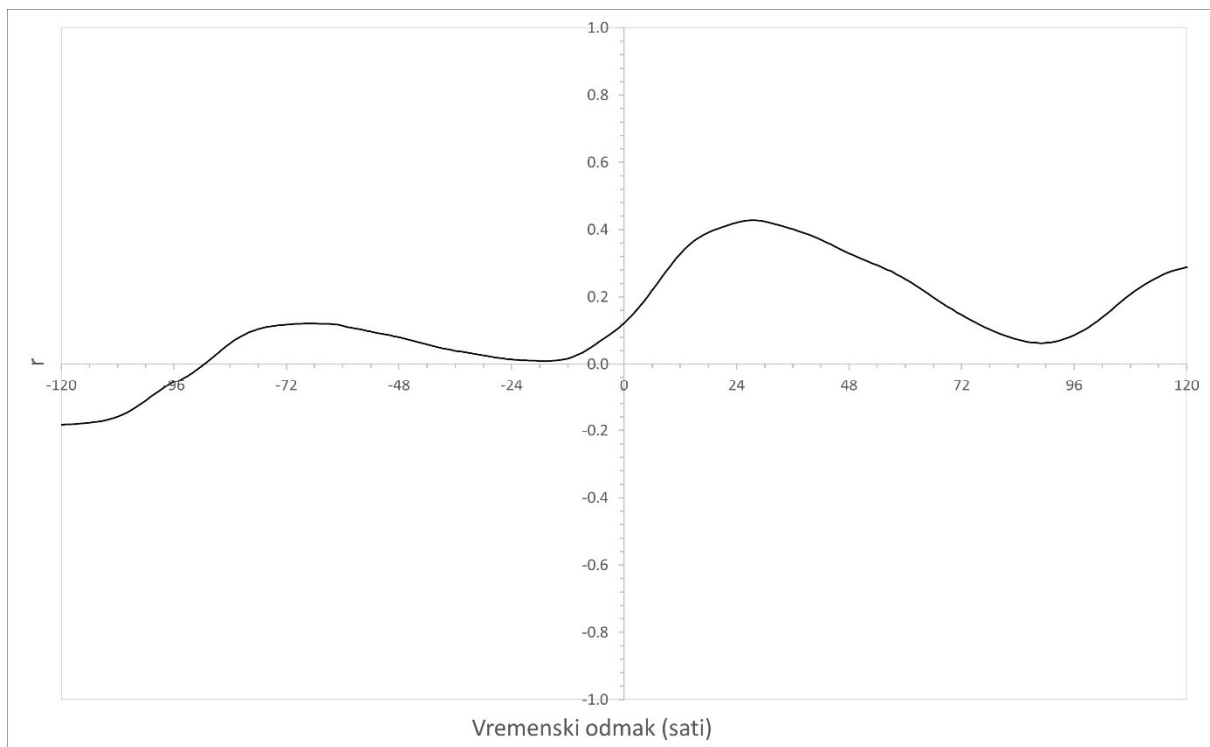
**Slika 3-4** Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Mrzlo polje na Donjoj Mrežnici za vremensko razdoblje od 1.10.2015. 00:00 sati do 31.10.2015. 23:00 sati

Na [Slikama 3-5 i 3-6](#) prikazane su kroskorelacijske funkcije između GMP Karlovac i hidrološke stanice Velemerić na Korani za vremenska razdoblja od 01.09.2014. 00:00 sati do 30.09.2014. 23:00 sati i 01.10.2015. 00:00 sati do 31.10.2015. 23:00 sati.

Na [Slici 3-5](#) maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.26 pri vremenskom odmaku od 74 sati, a na [Slici 3-6](#) maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.43 pri vremenskom odmaku od 27 sati. Oba hidrološka događaja imaju relativno niske vrijednosti koeficijenta korelacije, a vremenski odmaci pokazuju veliku razliku u brzini odziva najvećeg protoka na najintenzivniju oborinu.



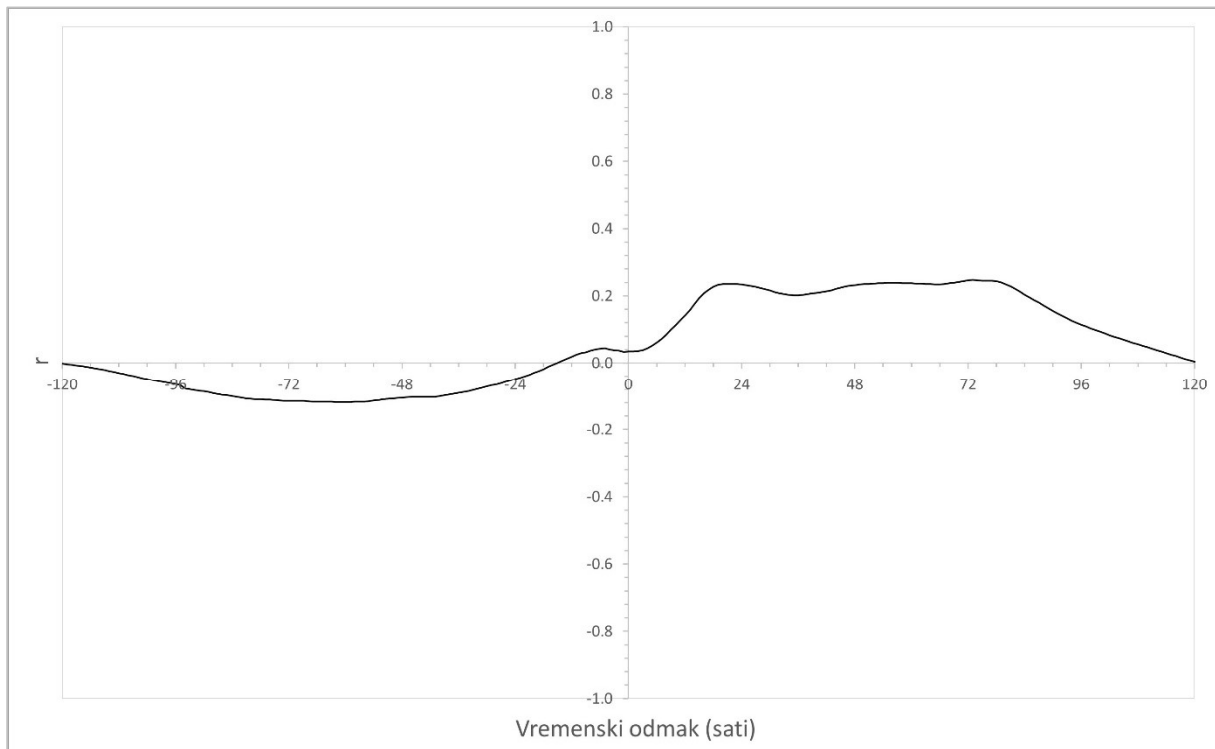
**Slika 3-5** Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Velemerić na Korani za vremensko razdoblje od 1.9.2014. 00:00 sati do 30.9.2014. 23:00 sati



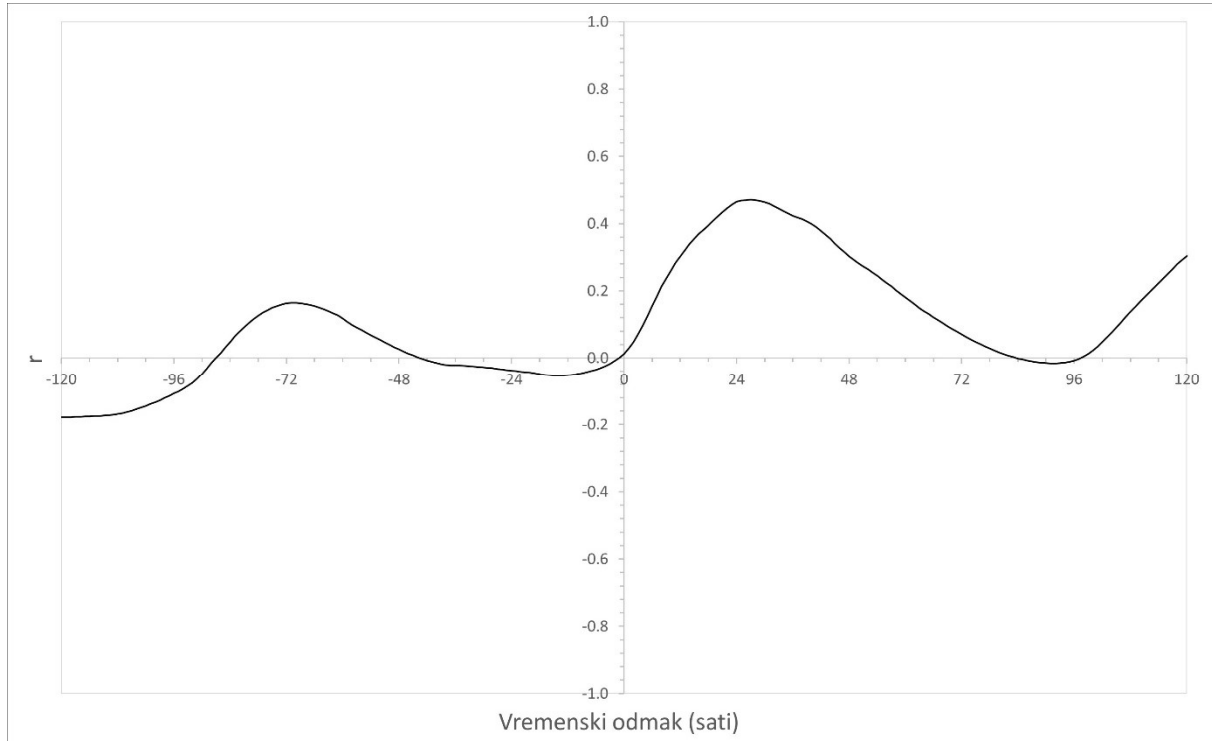
**Slika 3-6** Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Velemerić na Korani za vremensko razdoblje od 01.10.2015. 00:00 sati do 31.10.2015. 23:00 sati

Na [Slikama 3-7 i 3-8](#) prikazane su kroskorelacijske funkcije između GMP Karlovac i hidrološke stanice Tušilović na Radonji za vremenska razdoblja od 01.09.2014. 00:00 sati do 30.09.2014. 23:00 sati i 01.10.2015. 00:00 sati do 31.10.2015. 23:00 sati.

Na [Slici 3-7](#) maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.25 pri vremenskom odmaku od 73 sati, a na [Slici 3-8](#) maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.47 pri vremenskom odmaku od 27 sati. Oba hidrološka događaja imaju relativno niske vrijednosti koeficijenta korelacije, a vremenski odmaci pokazuju veliku razliku u brzini odziva najvećeg protoka na najintenzivniju oborinu.



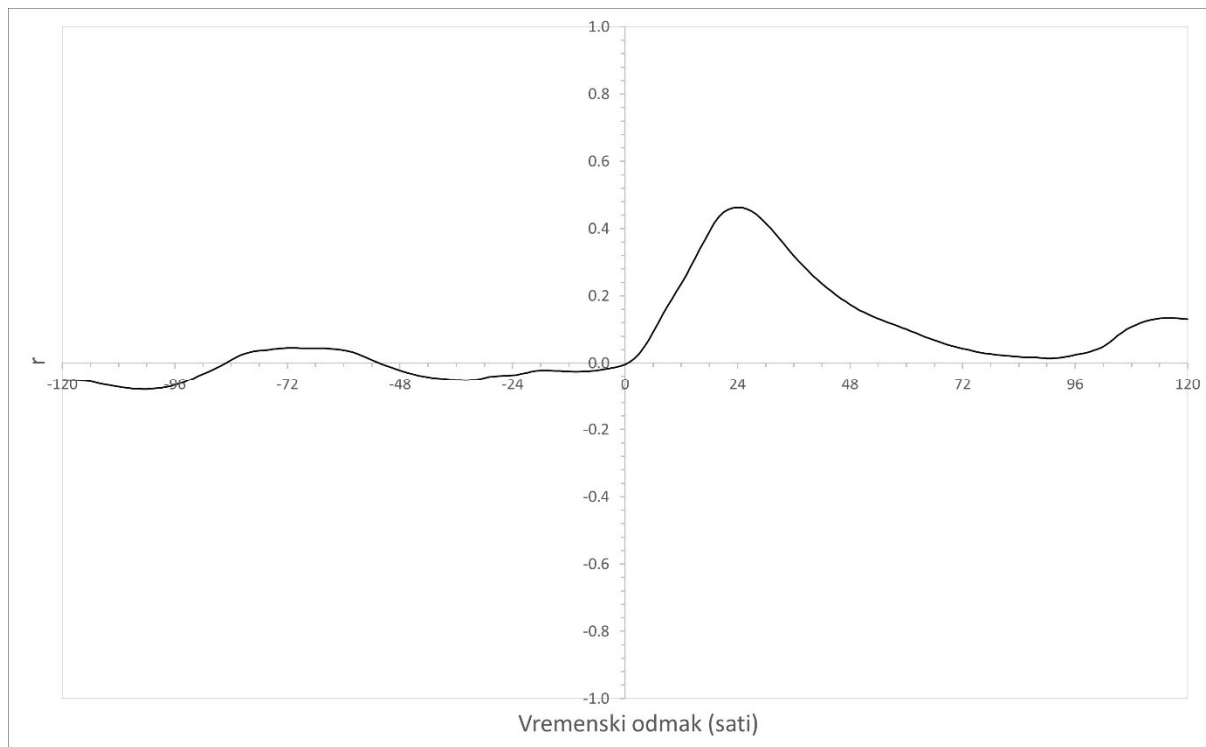
**Slika 3-7** Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Tušilović na Radonji za vremensko razdoblje od 1.9.2014. 00:00 sati do 30.9.2014. 23:00 sati



**Slika 3-8** Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Tušilović na Radonji za vremensko razdoblje od 1.10.2015. 00:00 sati do 31.10.2015. 23:00 sati



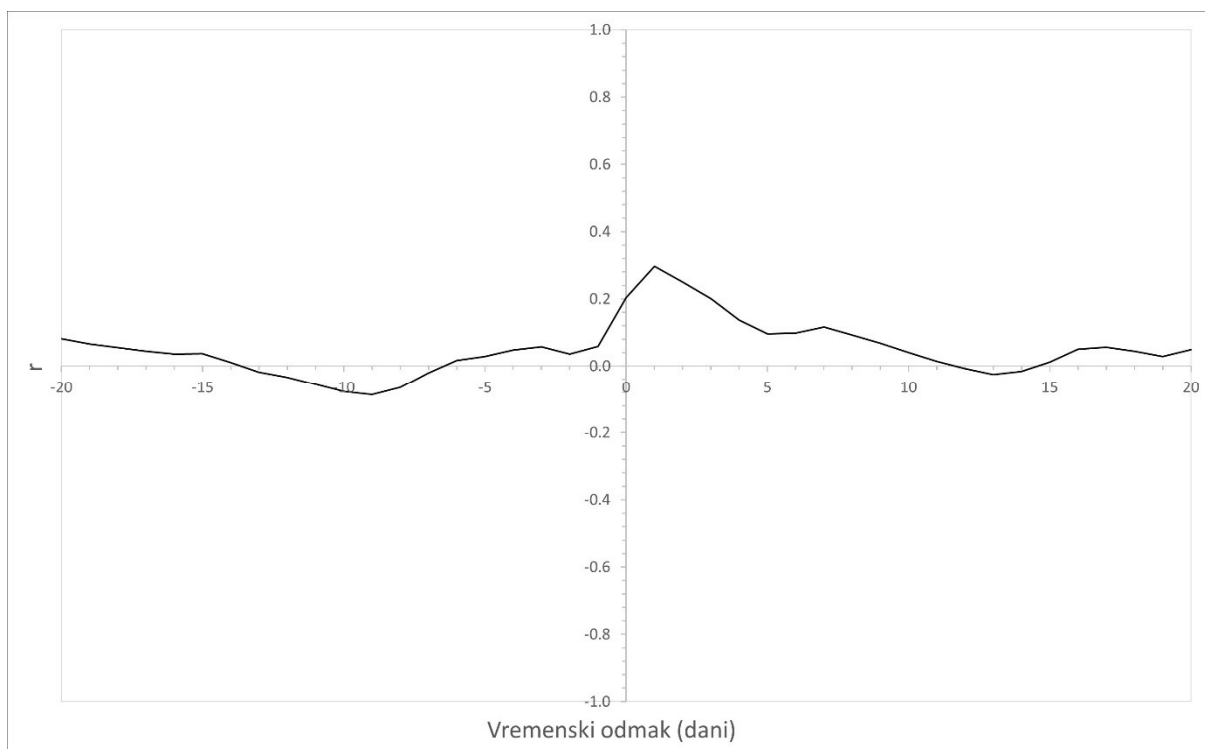
Na [Slici 3-9](#) prikazana je kroskorelacijska funkcija između automatske meteorološke stanice (AMP) Vojnić i hidrološke stanice Tušilović na Radonji za vremensko razdoblje od 01.11.2019. 00:00 sati do 31.12.2019. 23:00 sati. Maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.46 pri vremenskom odmaku od 24 sata, što pokazuje isti oblik kao i funkcija između GMP Karlovac i hidrološke stanice Tušilović na Radonji ([Slika 3-8](#)).



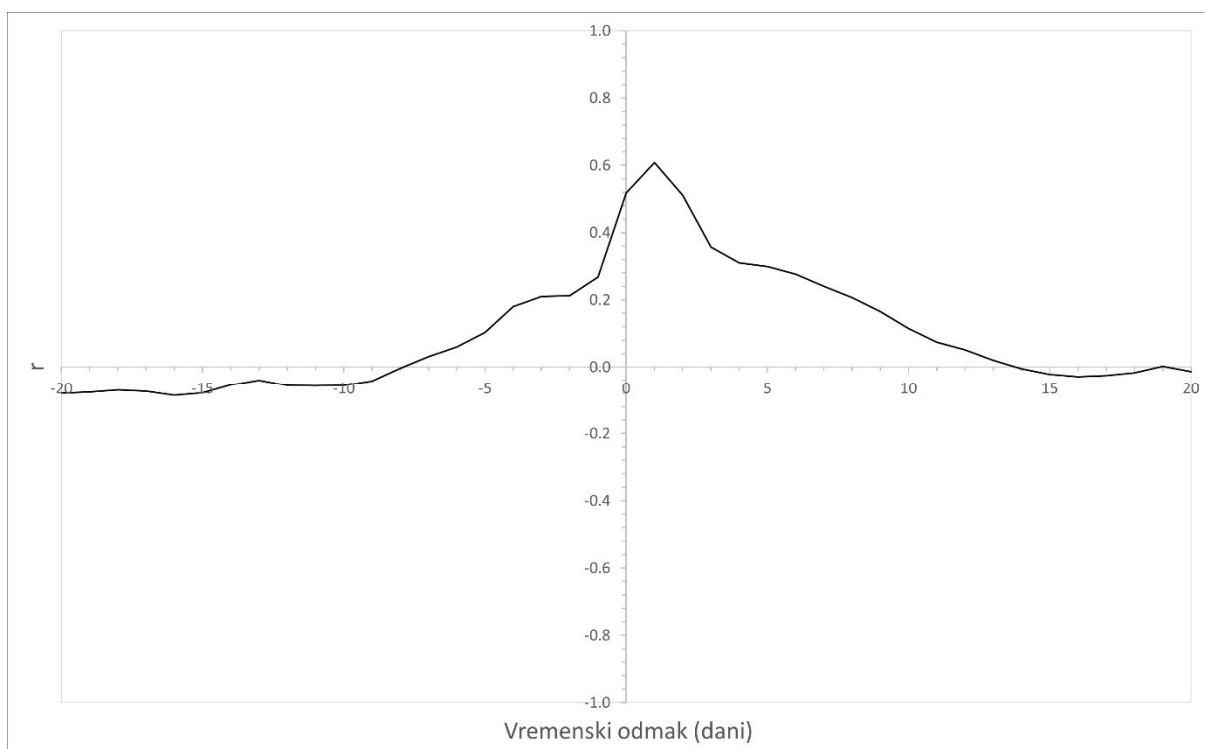
**Slika 3-9** Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka AMP Vojnić i hidrološke stanice Tušilović na Radonji za vremensko razdoblje od 01.11.2019. 00:00 sati do 31.12.2019. 23:00 sati

Na [Slikama 3-10 i 3-11](#) prikazane su kroskorelacijske funkcije između klimatološke postaje Plaški i hidrološke stanice Juzbašići na Donjoj Mrežnici za vremenska razdoblja od 01.01.2004. do 31.12.2004. i 01.01.2015. do 31.12.2015. na temelju dnevnih protoka i dnevnih količina oborine.

Na [Slici 3-10](#) maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.30 pri vremenskom odmaku od jednog dana, a na [Slici 3-11](#) maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.61 pri vremenskom odmaku od jednog dana. Oba hidrološka događaja imaju nešto više vrijednosti koeficijenta korelacije u odnosu na one sa satnim vrijednostima, a vremenski odmaci u brzini odziva najvećeg protoka na najintenzivniju oborinu imaju istu vrijednost.



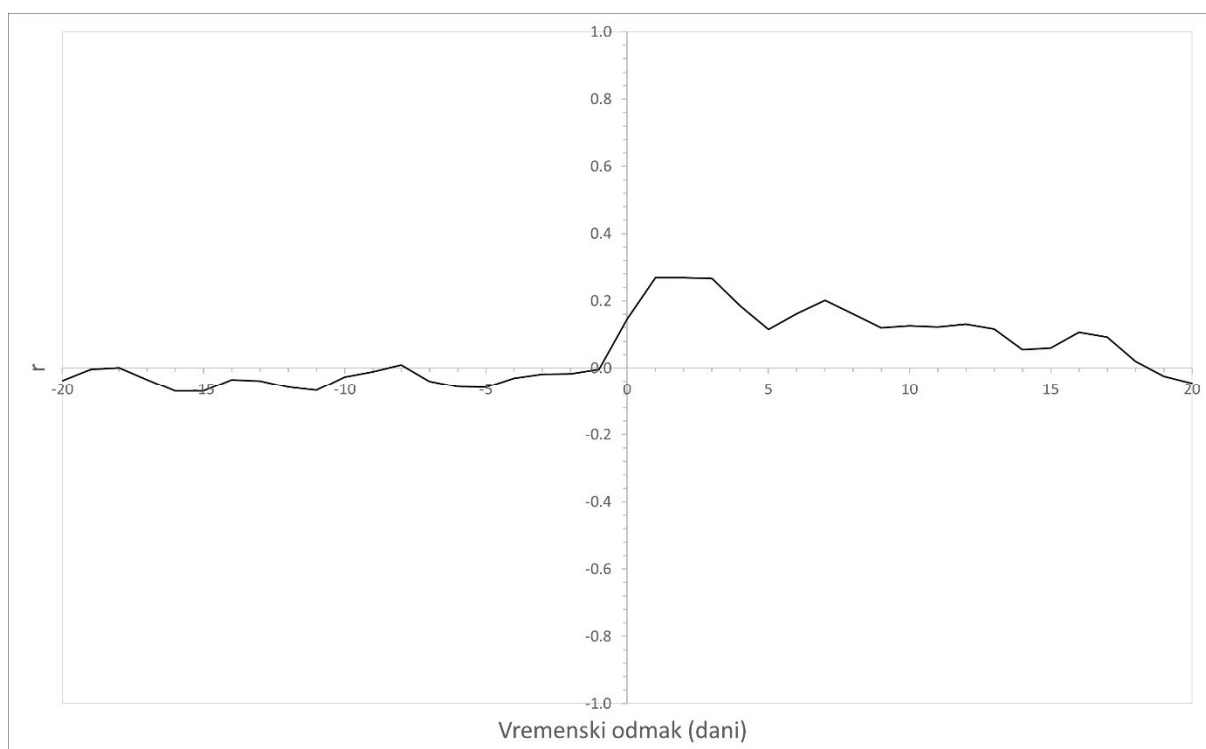
**Slika 3-10** Kroskorelacijska funkcija između dnevnih podataka KMP Plaški i hidrološke stanice Juzbašići na Donjoj Mrežnici za vremensko razdoblje od 01.01.2004. do 31.12.2004.



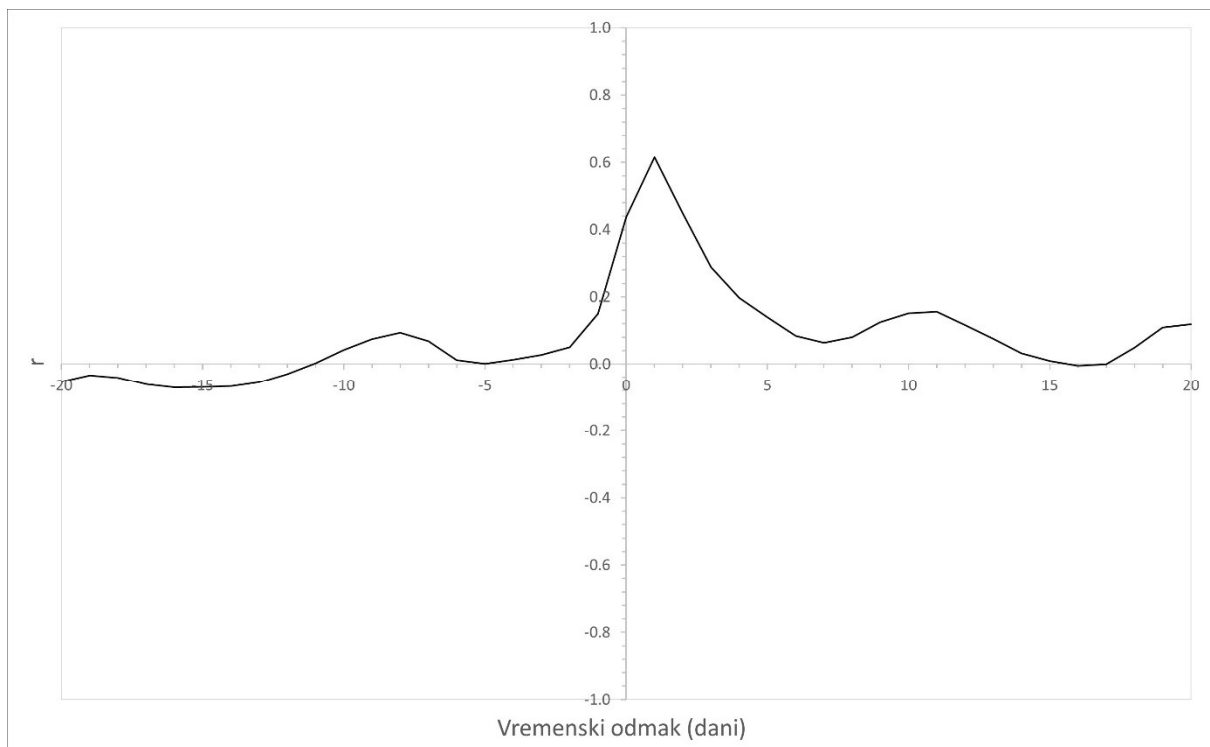
**Slika 3-11** Kroskorelacijska funkcija između dnevnih podataka KMP Plaški i hidrološke stanice Juzbašići na Donjoj Mrežnici za vremensko razdoblje od 01.01.2015. do 31.12.2015.

Na [Slikama 3-12 i 3-13](#) prikazane su kroskorelacijske funkcije između kišomjerne postaje Rakovica i klimatološke postaje Slunj te hidrološke stanice Slunj uzvodni na Korani za vremenska razdoblja od 01.01.2001. do 31.12.2001. i 01.01.2014. do 31.12.2015. na temelju dnevnih protoka i dnevnih količina oborine.

Na [Slici 3-12](#) maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.27 pri vremenskom odmaku od jednog dana, a na [Slici 3-13](#) maksimalna vrijednost kroskorelacijske funkcije iznosi 0.62 pri vremenskom odmaku od jednog dana. Oba hidrološka događaja imaju nešto više vrijednosti koeficijenta korelacije u odnosu na one sa satnim vrijednostima, a vremenski odmaci u brzini odziva najvećeg protoka na najintenzivniju oborinu imaju istu vrijednost.



**Slika 3-12** Kroskorelacijska funkcija između dnevnih podataka KMP Slunj, KŠP Rakovica i hidrološke stanice Slunj uzvodni na Korani za vremensko razdoblje od 01.01.2001. do 31.12.2001.



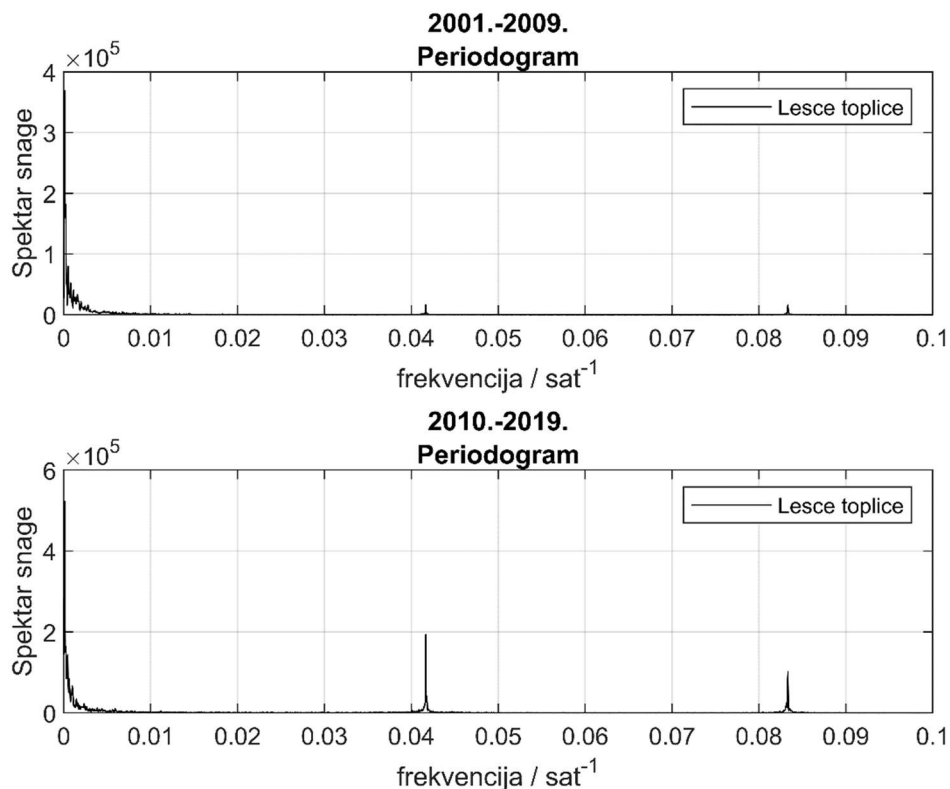
**Slika 3-13** Kroskorelacijska funkcija između dnevnih podataka KMP Slunj, KŠP Rakovica i hidrološke stanice Slunj uzvodni na Korani za vremensko razdoblje od 01.01.2014. do 31.12.2015.

Kroskorelacijska analiza satnih podataka pokazuje na promjenu u vremenu odmaka između najjačeg intenziteta oborine i maksimalnog protoka za dva razmatrana slučaja kod svih hidroloških profila. Međutim, vrijednosti kroskorelacijske funkcije pri tim vremenima su vrlo niske pa to upućuje na slabu povezanost i utjecaj oborine na taj protok. Također treba imati u vidu da su za kroskorelacijsku analizu tri hidrološke stanice, Mrzlo Polje na Donjoj Mrežnici, Velemerić na Korani i Tušilović na Radonji korišteni oborinski podaci s meteorološke stanice Karlovac, koja se nalazi nizvodno od sva tri razmatrana hidrološka profila te se samim time ne nalazi u njihovom slijevnom području.

Kroskorelacijska analiza dnevnih podataka pokazuje isti vremenski odmak u svim razmatranim slučajevima ali s ponešto boljim vrijednostima kroskorelacijske funkcije pri tim vremenima. Vremenski odmak u tim slučajevima je jedan dan, međutim zbog manje vremenske rezolucije ulaznih (dnevnih) podataka ne može se znati je li taj odmak 13 sati ili 35 sati. Međutim ni na jednoj stanici nije dobiven rezultat od tri dana, koliko je bilo dobivano kod analize satnih podataka (73 do 74 sata). Zbog toga što su dnevni oborinski podaci uzeti s meteoroloških postaja koje se nalaze na slijevnim područjima razmatranih hidroloških stanica, veću pouzdanost ovih rezultata treba dati analizi na temelju dnevnih podataka nego na temelju satnih podataka.

Fourierovom analizom se vremenski nizovi protoka transformiraju u frekvencijski spektar iz kojega se jasno mogu očitati maksimumi (*engl.*: peak) u spektru, koji zapravo ukazuju kolika je učestalost i snaga događaja određenih perioda. Primjerice, za očekivati je da će se na svim periodogramima jasno vidjeti glavni maksimum, koji odgovara periodu od jedne godine te sekundarni maksimumi koji odgovaraju periodima od šest mjeseci, a ponekad i od tri mjeseca. Na taj način se vrlo jednostavno mogu uočiti promjene u pojavljivanju ekstrema i u

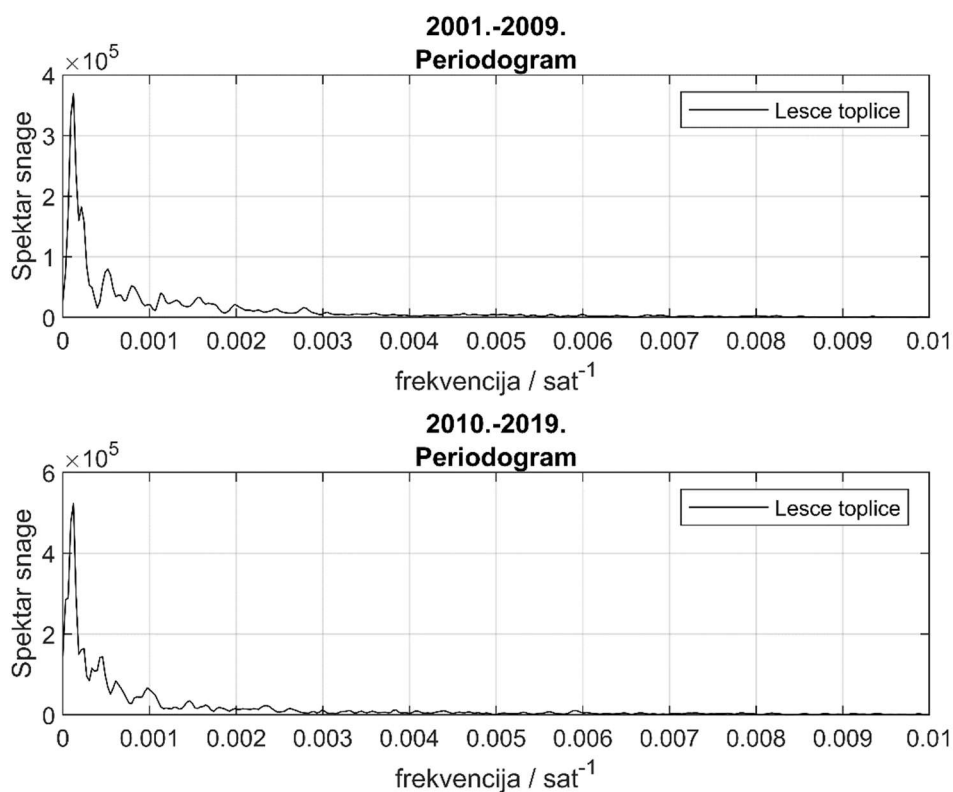
samim intenzitetima tih ekstrema, gledano relativno frekvencijski spektar jednog razdoblja na drugo razdoblje. U ovoj analizi je izračunat spektar snage na stanicama Lešće Toplice na Donjoj dobri, Juzbašići i Mrzlo polje na Mrežnici u dva razdoblja, 2001.-2009. i 2010.-2019. satnih vrijednosti protoka. Na ovaj način će se pokazati ima li kratko-periodičnog utjecaja HE Lešće na otjecanje na tim stanicama. Na [Slici 3-14](#) prikazani su periodogrami s hidrološke stanice Lešće Toplice do frekvencije  $0.1 \text{ dan}^{-1}$ , što odgovara periodu od 10 dana.



**Slika 3-14** Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Lešće Toplice na Donjoj Dobri do frekvencije  $0.1 \text{ dan}^{-1}$

Ono što je odmah uočljivo su dva maksimuma koji odgovaraju periodima od 24 i 12 sati na periodogramu razdoblja 2010.-2019., dok ih u razdoblju 2001.-2009. praktički nema istaknutih. Ovo pokazuje da se na stanici Lešće Toplice nakon 2010. godine javljaju jaki lokalni maksimumi svakih 12 sati i 24 sata, a uzrokovani su radom HE Lešće koja svakih 12 sati do 24 sata radi kao vršna hidroelektrana. Ovdje je jasno vidljivo da rad HE Lešće ima utjecaja na otjecanje na stanici Lešće Toplice. Ostatak snage spektra se nalazi u području vrlo niskih frekvencija, a to su periodi od jednog mjeseca pa prema 12 mjeseci.

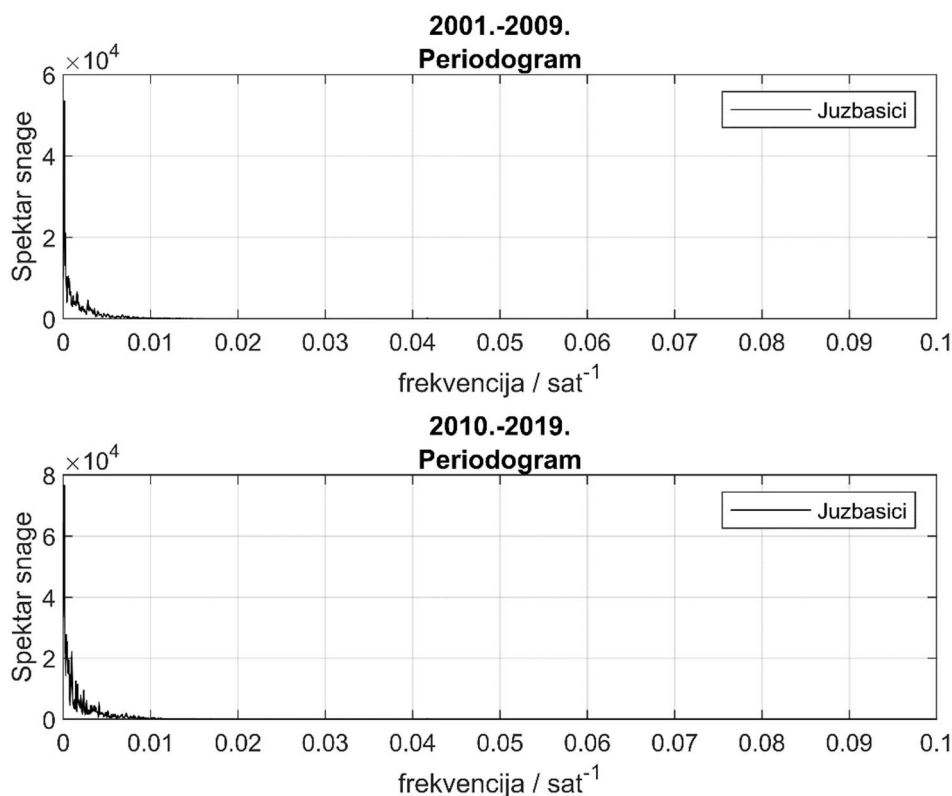
Na **Slici 3-15** prikazan je taj dio frekvencijskog spektra. Na oba spektra je jasno uočljiv široki glavni maksimum koji obuhvaća periode od jedne godine do šest mjeseci. Ostatak spektra u oba razdoblja opada prema višim frekvencijama, odnosno od perioda od tri mjeseca prema periodu od jednog mjeseca. Glavna razlika spektara ova dva razdoblja je samo u iznosu snage tih spektara, odnosno da se snaga spektra svih frekvencija povećala u novijem razdoblju, a to je objašnjivo povećanjima dotoka uzrokovanih klimatskim promjenama.



**Slika 3-15** Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Lešće Toplice na Donjoj Dobri do frekvencije  $0.01 \text{ dan}^{-1}$

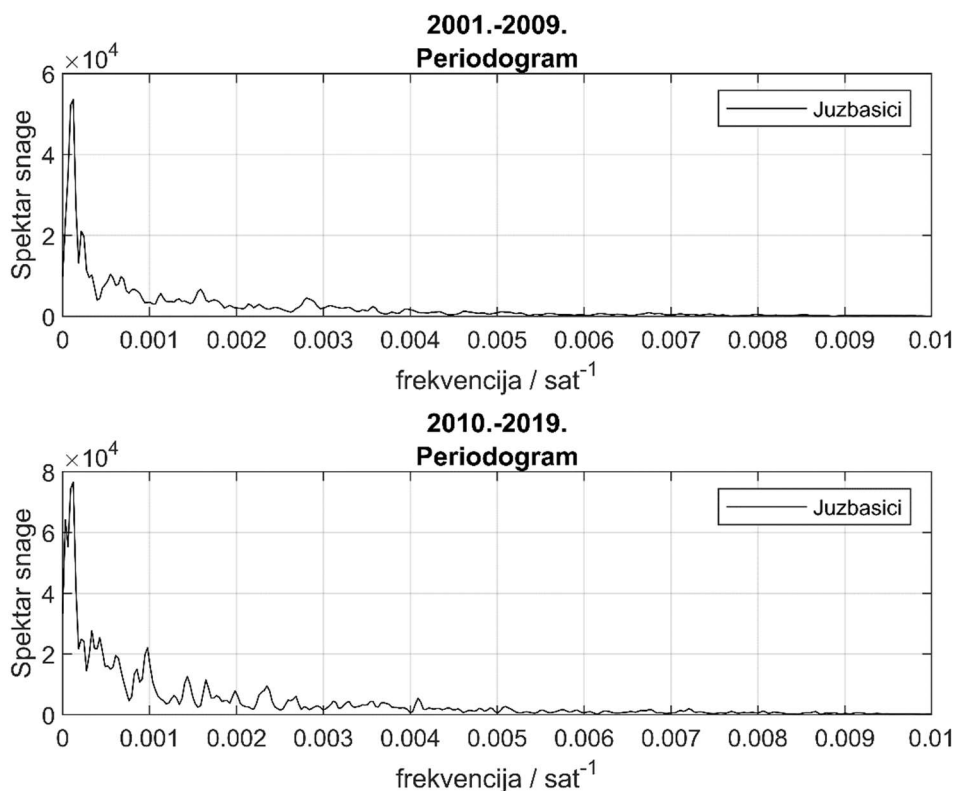


Na **Slici 3-16** prikazani su periodogrami s hidrološke stanice Juzbašići na Mrežnici do frekvencije  $0.1 \text{ dan}^{-1}$ . Odmah je vidljivo da se cijeli spektar snage nalazi u području niskih frekvencija, odnosno da nema lokalnih maksimuma kod perioda od 12 sati i 24 sata, kao što postoje na stanici Lešće Toplice na Donjoj Dobri. Iz ovoga je jasno da HE Lešće nema nikakvog utjecaja na otjecanje na stanici Juzbašići na Mrežnici u tom području frekvencija (od 12 sati do 24 sata).



**Slika 3-16** Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Juzbašići na Mrežnici do frekvencije  $0.1 \text{ dan}^{-1}$

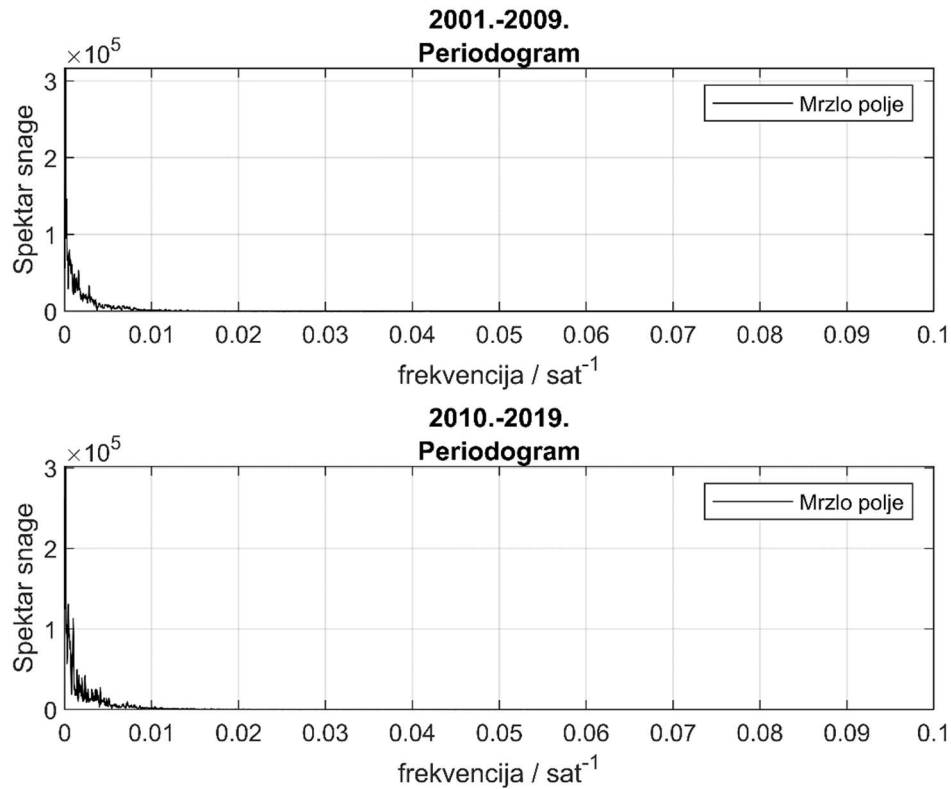
Na [Slici 3-17](#) prikazan je dio spektra do frekvencije  $0.01 \text{ dan}^{-1}$ .



**Slika 3-17** Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Juzbašići na Mrežnici do frekvencije  $0.01 \text{ dan}^{-1}$

Ovaj dio spektra ima sličnu raspodjelu spektra snage kao i na stanici Lešće Toplice na Donjoj Dobri. Javno je uočljiv široki glavni maksimum u oba razdoblja koji obuhvaća periode od godine dana do šest mjeseci i snaga spektra je veća u novijem razdoblju. Jedino po čemu se ovi periodogrami razlikuju je to što je u novijem razdoblju snaga spektra koja odgovara periodima od tri do mjesec dana puno veća nego u starijem razdoblju, što je i očekivano jer su na većini stanica uočena povećanja protoka zbog klimatskih promjena, a ovdje nema utjecaja hidroelektrane kao što je ima kod stanice Lešće Toplice na Donjoj Dobri da snagu tih perioda priguši.

Na **Slici 3-18** prikazani su periodogrami s hidrološke stanice Mrzlo polje na Mrežnici do frekvencije  $0.1 \text{ dan}^{-1}$ .

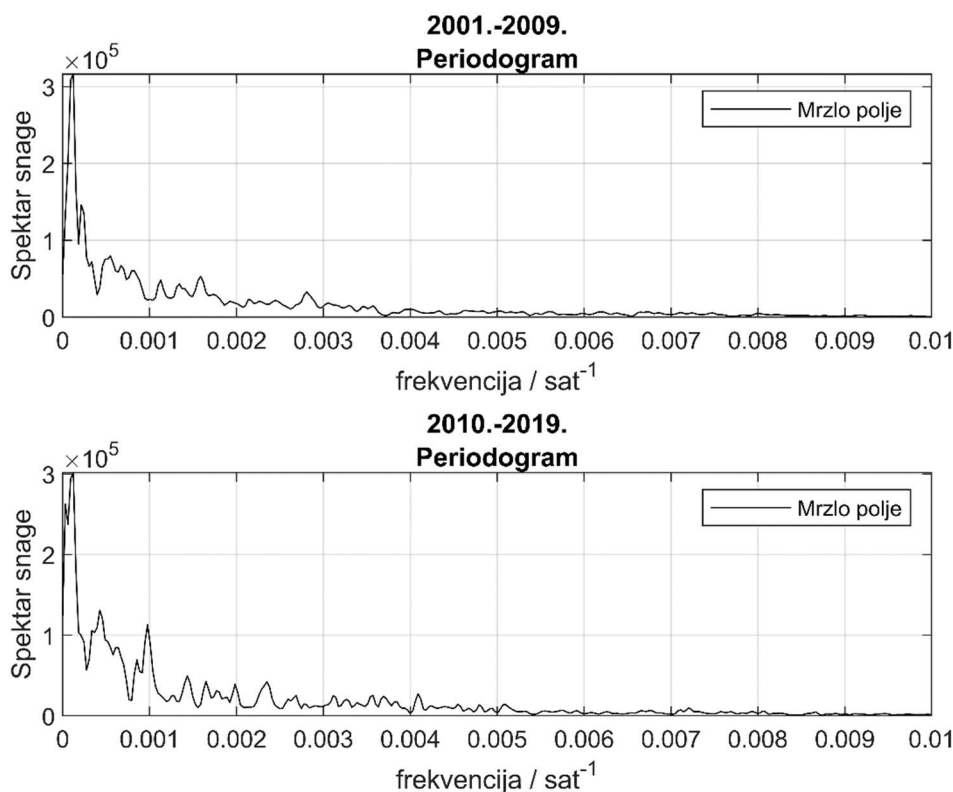


**Slika 3-18** Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Mrzlo polje na Mrežnici do frekvencije  $0.1 \text{ dan}^{-1}$

Kao i kod stanice Juzbašići, ni ovdje nije uočen utjecaj HE Lešće u području perioda od 12 sati do 24 sata.

Na [Slici 3-19](#) prikazan je dio spektra do frekvencije  $0.01 \text{ dan}^{-1}$ .

Jasno je uočljiv široki glavni maksimum u oba razdoblja koji obuhvaća periode od godine dana do šest mjeseci no snaga spektra je približno jednaka u oba razdoblja, s blago jačim spektrima snage kod perioda od jedan i tri mjeseca u novijem razdoblju.



**Slika 3-19** Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Mrzlo polje na Mrežnici do frekvencije  $0.01 \text{ dan}^{-1}$

Ovaj dio spektra ima sličnu raspodjelu spektra snage kao i na stanici Juzbašići na Mrežnici. Iz ove analize jasno je vidljivo da HE Lešće utječe jedino na otjecanje nizvodno na vodotoku Donje Dobre, dok na otjecanje Mrežnice oko stanica Juzbašići i Mrzlo polje nema nikakvog utjecaja.

### 3.3 NAPOMENE

- Trendovi srednjih godišnjih protoka su se promijenili iz jednog pozitivnog i 13 negativnih u razdoblju do 1989. godine u 15 pozitivnih i tri negativna u razdoblju od 1990. godine.
- Trendovi maksimalnih godišnjih protoka su se promijenili iz devet pozitivnih i pet negativnih u razdoblju do 1989. godine u 13 pozitivnih i pet negativnih u razdoblju od 1990. godine.

- Trendovi minimalnih godišnjih protoka su se promijenili iz tri pozitivna i 13 negativnih u razdoblju do 1989. godine u osam pozitivnih i 10 negativna u razdoblju od 1990. godine.
- Homogenih nizova srednjih godišnjih protoka je 15 a nehomogenih dva.
- Homogenih nizova maksimalnih godišnjih protoka je 14 a nehomogenih tri.
- Homogenih nizova minimalnih godišnjih protoka je 10 a nehomogenih sedam.
- Od 22 vremenska niza srednjih godišnjih protoka, jedan nije dovoljno dug.
- Od 22 vremenska niza maksimalnih godišnjih protoka, svi su dovoljno dugi.
- Od 21 vremenskog niza minimalnih godišnjih protoka, osam ih nije dovoljno dugo.
- Analizom karakterističnih hidroloških parametara na dva vremenska niza unutar razdoblja obrade (1990.-2009. i 2010.-2018.), uz promjene koje prate klimatske promjene, kao što su povećanje srednjih, maksimalnih i minimalnih vrijednosti protoka i njihove statističke deskriptore, koeficijent otjecanja se izrazito povećao na slivu Radonje do profila Tušilović, što upućuje na negativne promjene u korištenju zemljišta.
- Kroskorelacijskom analizom satnih vrijednosti hidroloških i meteoroloških podataka, pokazalo se različito zaostajanje maksimalnog protoka od maksimalne oborine, od 24 sata do 72 sata.
- Spektralna analiza satnih hidroloških podataka na stanicama Lešće Toplice na Donjoj Dobri, Juzbašići i Mrzlo polje na Mrežnici pokazala je da rad HE Lešće ne utječe na stanice na Mrežnici kod kratkoperiodičkih signala (12 i 24 sata), dok se dugoperiodički utjecaj ne vidi na te dvije stanice na Mrežnici.
- Spektralna analiza, je uz klasičnu analizu pokazala povećanje intenziteta maksimalnih protoka unutar godine ali i povećanje učestalosti tih maksimuma.

## 4. ANALIZA DOSADAŠNJIH HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA I TRASIRANJA TOKOVA VODE U PODZEMLJU

Autori: dr.sc. Renato Buljan, dipl.ing.geol., Ivana Boljat, dipl.ing.geol., dr.sc Josip Terzić, dipl.ing.geol.

### 4.1 DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Kod izrade predmetnog elaborata konzultirani su i korišteni dostupni fondovski izvještaji i objavljeni znanstveni radovi u kojima se nalazi glavina poznatih i registriranih hidrogeoloških, geomorfoloških i ostalih podataka o prostoru područja razmatranja. Kako je jedan od primarnih zadataka ovog projekta: „Proučiti sve raspoložive podatke o hidrogeološkim istraživanjima na predmetnom području s osobitim naglaskom na definiranje priljevnih područja pojedinih vodomjernih postaja“, daje se opsežniji prikaz dosadašnjih istraživanja.

Geološka istraživanja ovih prostora datiraju iz druge polovice 19. stoljeća i preglednog su karaktera. Rezultirala su izradom Pregledne geološke karte Austro-ugarske monarhije u mjerilu 1:576.000 koja je u redakciji F. HAUERA od 1867. do 1871. godine objavljivana u listovima karata i pokriva skoro čitavo područje razmatranja.

Početkom 20. stoljeća D. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1912) opisuje plitki krš u okolini Generalskog Stola temeljeći zaključke na brojnim izvorima koji izviru iznad razina Dobre, Mrežnice i Korane. Osvrće se na hidrogeološke pojave u okolini Lešća gdje postanak i smještaj termalnih vrela vezuje uz duboki tektonski diskontinuitet. U području Ogulina otkriva stari tok Ogulinske Dobre i pretpostavlja mlađi postanak Đulinog ponora (1914).

Detaljnim opisom periodičnog jezera Begovac ili Blata (J. POLJAK, 1922) započinje period intenzivnijih terenskih istraživanja koja s prekidima traju do danas.

Tijekom 1950-tih godina istraživački radovi se intenziviraju s idejom izgradnje hidroenergetskih objekata na karlovačkim rijekama. Obnavlja se i potiče interes za geološka, hidrogeološka i geomorfološka istraživanja Ogulinske i Gojačke Dobre te Zagorske i Primišljanske Mrežnice u čemu su uz J. POLJAKA angažirani M. HERAK (1947, 1954, 1956) i A. MAGDALENIĆ (1956, 1957, 1961, 1969).

S. BAHUN (1967, 1968, 1970) analizira hidrogeološke odnose krškog područja između Slunja i Vrbovskog koja se prostiru od sjeveroistočnih padina Kapele do jugozapadnih rubnih dijelova Karlovačkog niskog krša i Korduna. Naročitu pozornost posvećuje utjecaju tektonike na hidrogeološke značajke stijenske mase i ukazuje na različite hidrogeološke funkcije dolomita ovisno o njihovom strukturnom položaju. Prikazuje tokove voda u podzemlju i opisuje značajnije izvore i vodotoke. Na temelju hidrogeoloških funkcija stijenske mase unutar područja, o čijem međusobnom prostornom rasporedu ovise hidrogeološke pojave i objekti, vrši interpretaciju hidrogeoloških odnosa, a razmatrani teren dijeli na 4 osnovna područja: dva sabirna i dva usporna.

L. BOJANIĆ (1972) je dovršio studiju: "Regionalna hidrogeološka istraživanja područja sliva Kupe" s detaljnim katastrom hidrogeoloških objekata (čiji kartografski dio je na žalost zagubljen) i hidrogeološkom rasčlambom zastupljenih naslaga (dijeli ih na karbonatne, čvrste



klastične te nevezane i poluvezane klastične naslage, a karbonatne na još nekoliko hidrogeoloških skupina). Piše o načinu formiranja i cirkulaciji podzemne vode te značajkama površinske hidrografske mreže. Provodi regionalna trasiranja tokova vode u podzemlju na temelju kojih su detaljnije određena slijevna područja.

M. BERAKOVIĆ (1975) u radu "Klimatologija sliva rijeke Kupe" raspravlja o hidrogeološkim značajkama sljevova unutar kojih su izdvojene 3 različite hidrogeološke cjeline: krška, nekrška i područje vodotoka Karlovačke kotline.

V. JURAK (1983) razmatra otjecanje iz krških i nekrških površina. Na temelju 20-godišnjeg niza podataka o protocima na tri vodomjerna profila, analizira i uspoređuje hidrogeološke režime Kordunskih rijeka: Gline, Korane i Mrežnice. Razlike u otjecanju tumači geološkim (hidrogeološkim) odnosima u sljevovima rijeka. Zaključuje o oštroj diferencijaciji u pogledu hidrogeoloških definicija porječja: Mrežnica je krška, a Glina nekrška rijeka. Korana je prostorno i po ostalim značajkama interpolirana. Raspon osciliranja protoka najveći je kod Gline, a najmanji kod Mrežnice što pripisuje regulatorskoj ulozi krša koja se osjeća kroz period otjecanja malih voda.

B. BIONDIĆ (1981, 1986, 1989) obrađuju složene hidrogeološke odnose na jugozapadnoj strani Kapele, njoj pripadajućim dijelovima Like i južnom dijelu Hrvatskog Primorja. Na osnovi geološke građe terena, hidrogeoloških funkcija zastupljenih geoloških struktura i podataka o trasiranjima tokova vode u podzemlju određuje granicu sljevova Jadranskog i Crnog mora. Razvodnica je najvećim dijelom zonama. Krška polja Dabarsko, Stajničko, Crnačko i polja kod Drežnice, zajedno s Jasenačkim, pridružena su sljevu Kupe.

A. KOVAČEVIĆ (2005) je u radu: „Hidrogeološke značajke Karlovačke županije“ na temelju gore spomenutih istraživanja dala vrlo detaljan pregled geoloških, strukturno-tektonskih i hidrogeoloških odnosa područja razmatranja, uz prikaz potencijalnih lokacija za pridobivanje dodatnih količina pitke podzemne vode i način njene zaštite kroz zone sanitarne zaštite.

R. BULJAN i ostali (2013, 2018) su u sklopu istraživačkih radova za izradu Glavnog projekta retencije Drežničko polje, na temelju geoloških i hidrogeoloških parametara dali koncept dinamike toka podzemne vode iz prirodne retencije Drežničko polje do zone izviranja. Prikazan je način podzemnog otjecanja vode u sljevu do izvorišta Zagorska Mrežnica (uključuje Neposredan slijev i Gornje horizonte slijeva s dva podslijeva) i način punjenja i pražnjenja prirodne retencije Drežničko polje. Ideja projekta je kontrolirano zadržati poplavne vode u Drežničkom polju i produžiti dotoke vode na izvorištu Zagorska Mrežnica - time smanjiti preljev vode u susjedni slijev i ublažiti sezonske poplave na Ogulinsko-oštarijskom krškom ravnjaku.

U fondovima stručnih dokumenata znanstvenih i privrednih institucija kao što su Hrvatski geološki institut, Hrvatska elektroprivreda, Elektroprojekt, Hrvatske Vode, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Vodoprivreda Karlovac i ostali, nalaze se gore ne spomenuti brojni vrijedni elaborati i izvještaji koji obrađuju geološku, hidrogeološku, hidrološku, geomorfološku, speleološku i ostale problematike sa svrhom definiranja hidrogeoloških značajki ovog prostora. Međutim, dokumentacija je nepotpuna - djelomice zagubljena, što predstavlja problem.

Tijekom posljednjih četrdesetak godina obavljani su vodoistražni radovi kojima se nastojalo pronaći nove količine vode u svrhu vodoopskrbe - podmirenja rastućih potreba za pitkom vodom. Načinjeni su brojni izvještaji sa svrhom utvrđivanja hidrogeoloških odnosa i

utvrđivanja mikrolokacija za daljnje geotehničke istražne radove (bušenja i kopanja zdenaca), a zatim i uspostave zona zaštite pojedinih vodocrpilišta u čemu su velik doprinos dali D. DELIĆ (1988, 1991, 1992), I. DRAGIČEVIĆ i D. MAYER (1997, 1999, 2000) te R. BIONDIĆ (2003, 2014).

Tijekom izgradnje autocesta prema Rijeci i Splitu i u kontekstu njih zaštite vode u podzemlju, ovaj prostor ponovno dopijeva u središte zanimanja. Tehničke mogućnosti formiranja digitalnih baza podataka sa svrhom evidencije gospodarenja podzemnim vodama (EGPV, 2008) te GIS tehnologija i ovdje nalaze svoju primjenu kod pohrane i obrade starih i novo prikupljenih podataka, izrade hidroloških dijagrama, hidrogeoloških i morfometrijskih karata i srodnih specijalističkih kartografskih i grafičkih podloga.

Prilikom izrade izvještaja i priloženih grafičkih priloga obilno je konzultirana Hidrogeološka karta Republike Hrvatske (HGK RH), M 1:300.000, karta i tumač (BIONDIĆ, B., BRKIĆ, Ž., BIONDIĆ, R., 1998), a neizostavne i posebno korisne bile su osnovne geološke karte i pripadajući tumači karata: Osnovna geološka karta, list Ogulin (VELIĆ, I., BAHUN, S., SOKAČ, B., GALOVIĆ, I., 1982); Osnovna geološka karta, list Slunj (KOROLIJA, B., ŽIVALJEVIĆ, T., ŠIMUNIĆ, AN., 1981); Osnovna geološka karta, list Otočac (VELIĆ, I., SOKAČ, B., ŠČAVNIČAR, B., (1970); Osnovna geološka karta, list Bihać (POLŠAK, A., ŠPARICA, M., CRNKO, J., MIHOVIL, J., ŠIMUNIĆ, AN., ŠIMUNIĆ, AL., 1967); Osnovna geološka karta, list Črnomelj (BUKOVAC, J., POLJAK, M., ŠUŠNJAR, M., ČAKALO, M., 1984); Osnovna geološka karta, list Delnice (SAVIĆ, D., DOZET, S., 1985); Osnovna geološka karta, list Crikvenica (ŠUŠNJAR, M., BUKOVAC, J., NIKLER, L., CRNOLATAČ, I., MILAN, A., ŠIKIĆ, D., GRIMANI, I., VULIĆ, Ž., BLAŠKOVIĆ, I., 1973); Osnovna geološka karta, list Rab (MAMUŽIĆ, P., MILAN, A., KOROLIJA, B., BOROVIĆ, I., MAJCAN, Ž., 1973). Navedene osnovne geološke karte u mjerilu 1:100.000, s pripadajućim tumačima karata, predstavljaju najkompleksniji geološki prikaz šireg područja slijeva rijeka uzvodno od Karlovca. Na žalost, Osnovna geološka karta RH, list Karlovac nije objavljena.

## 4.2 STRUKTURNI SKLOP I GEOLOŠKA GRAĐA

Prema strukturno-tektonskoj rasčlambi (HERAK, 1991) razmatrano područje u potpunosti pripada strukturnom kompleksu Dinarida koji se dijele na Unutrašnje Dinaride (regionalna strukturna jedinica Supradinarik) i Vanjske Dinaride (regionalna strukturna jedinica Dinarik). Granica njihovog kontakta, s izraženim tangencijalnim formama (uslijed kompresije prostora reversno navlačni tektonski odnosi s vergencijom geoloških struktura prema jugozapadu), na terenu je obilježena senonsko-paleocenskim flišem i prostire se zapadnim i južnim rubom Karlovačke kotline te se južno od Petrove gore nastavlja dalje na jugoistok Cazinsko - kladuškim brdovitim prostorom. Generalno, Supradinarik je tektonski izdignut i nalazi se na Dinariku.

Tijekom geoloških razdoblja jure i krede to su bile dvije odvojene paleogeografske cjeline: Dinarik kao prostrano područje plitkog šelfa s karbonatnom sedimentacijom (poput današnjih Kariba) i Supradinarik kao pelagičko (dubokomorsko) područje s klastično - karbonatnom sedimentacijom uz pojave magmatskih stijena i piroklastita. Od šelfa prema dubljem bazenskom području odvijao se transport karbonatnog detritusa putem mutnih tokova (podmorska klizanja istaloženog materijala) iz kojih su taloženi turbiditni sedimenti - fliš.

Tektonski pokreti koji krajem krede nagovještavaju dezintegraciju karbonatne platforme intenziviraju se u geološkom razdoblju eocen kada počinje izdizanje Dinarida i stvaranje prvih boranih geoloških struktura (antiklinala i sinklinala), a produkti trošenja talože se kao karbonatni klastiti (fliševi) u novostvorenim intrašelfnim koritima duž krila struktura u izdizanju. Na području razmatranja najveća je rasprostranjenost senonsko-paleocenskog fliša u čijoj se podini nalaze stijene različite starosti i preko kojeg je izvršeno navlačenje iz labilnog područja Supradinarika na jurske i kredne naslage Dinarika.

Početak geološkog razdoblja miocen (stariji neogen) počinje otvaranje prostora na području današnjeg centralnog dijela Karlovačke kotline i stvaranje tektonske grabe u donjomiocenskoj ekstenziji (TOMLJENOVIĆ i CSONTOS, 2001). Karlovački sedimentacijski bazen predstavlja perifernu pojavu u Panonskog bazena - mali djelomično izolirani bazen smješten u sjeverozapadnom kutu velikog Savskog bazena. Slijedom tektonskih pokreta došlo je do izdizanja rubnih dijelova bazena, uz istovremeno spuštanje i zamočvarenje najnižeg središnjeg dijela u kojem se odlaže sitnoklastičan nanos površinskih tokova.

Do recentnog izgleda strukturnog sklopa Karlovačke kotline (pripada Unutrašnjim Dinaridima - Supradinariku) postupno dovodi tektonska aktivnost u geološkom razdoblju pliocen (mlađi neogen). U nizinskim dijelovima prevladava jezersko-močvarna sedimentacija (paludinske naslage), dok izdignut reljef postaje ishodišni materijal za široko rasprostranjene pliokvartarne slatkovodne sedimente koji su vodotocima snažani u nizinu. Danas su ti kvarcni pijesci, šljunci i gline nalaze u rubnim dijelovima Karlovačkog bazena (Belvedere klastiti kao erozijski ostaci nekad cjelovitog pokrova), dok u središnjem dominiraju kvartarne taložine: pleistocenski kopneni i barski les i holocenski organogeno - barski sedimenti, deluvij, proluvij i aluvijalni nanos rijeke Kupe i njenih pritoka. Sinsedimentacijska neotektonska aktivnost odrazila se i na heterogenost građe najmlađih aluvijalnih taložina rijeka – istovrsni litoški članovi nalaze se na različitim dubinama i u više slojeva. Općenito, trend je zadebljanja naslaga "pokrivača" od rubnih prema središnjim dijelima depresije.

Mlađe kvartarni sedimenti nalaze se i na karbonatnoj podlozi Dinarika. To su pleistocenske crvene boksitične gline (terra rossa) u vrtačama i krškim poljima, ali i deluvij, proluvij, organogeno-barski i aluvijalni sedimenti u dolinama, krškim poljima i uz korita vodotokova.

**Petrova gora**, kao i Karlovački bazen, je dio regionalne strukture jedinice Supradinarik. U Tumaču OGK Slunj izdvaja se kao zasebna strukturna jedinica kojoj pripada područje sjeveroistočno od čela navlake koja prelazi u luku od Veljuna i Cetingrada na Petigrad u susjednoj Bosni i Hercegovini (KOROLIJA i ostali, 1981). Jezgru Petrove gore čine permski škriljavci, šejlovi, grauvakni kvarcni pješčenjaci i konglomerati.

**Preostalo područje istraživanja** sljevova rijeka uzvodno od Karlovca **dio je regionalne strukturne jedinice Dinarik** i pripada Vanjskim Dinaridima. Izgrađuju ga debele naslage jurskih i krednih karbonata s mjestimičnim pojavama karbonatnih breča koje ukazuju na promjene sedimentacijskih uvjeta uslijed oplićavanja ili kratkotrajnih lokalnih emerzija (kopnena faza koja podrazumijeva eroziju). Breče ukazuju i na intenzivne tektonske pokrete koji su ispresijekali i dobrim dijelom uništili primarne geološke strukture. Prema ogromnoj količini jursko-krednih karbonata u prostoru istraživanja, prije spomenuti fliški neogenski

sedimenti predstavljaju tek sporadične pojave. Njima su podređene i klastične naslage trijaskе starosti.

Općenito, može se konstatirati kako područje istraživanja izgrađuje višestruko poremećen kompleks mezozojskih karbonatnih naslaga koje se danas nalaze u reversno-navlačnim tektonskim odnosima, a unutar kojeg je formirano više strukturnih jedinica dinaridskog pravca pružanja. U velikim, djelomično prebačenim ili navučenim borama koje su uzdužno pružanju ispresijecane dominantno reversnim, a poprečno i brojnim normalnim rasjedima, izmjenjuju se pretežito kredni vapnenci u sinklinalnim strukturama s jurskim vapnencima i dolomitima u antiklinalnim.

**Glavno strukturno obilježje ovog područja** je visok stupanj tektonske razlomljenosti uslijed kompresije prostora. Rezultati tektonske aktivnosti u geološkoj prošlosti su intenzivna boranja, a zatim - uslijed kompresije prostora - destrukcija primarnih antiklinalnih i sinklinalnih struktura (rasjedanja i navlačenja naslaga) čemu svjedoče brojne polegle i prebačene bore kao i rasjedi različitih karaktera koji su izvršili njihovu daljnju dezintegraciju u strukturne blokove i podblokove, a potom i blokovska izdizanja i/ili rotacija u prostoru. Rasjednute bore daju terenu izgled "luskave strukturne grade", a ljuske u terenu predstavljaju izdvojene geološke strukture. Brojni rasjedi različitih orijentacija ukazuju na intenzivnu tektonsku aktivnost koja traje i danas, a svjedoče joj brojni potresi.

Indeks boranja je malen. Kutevi nagiba u krilima bora skoro nikada ne prelaze  $30^\circ$ , a najčešće iznose oko  $20^\circ$ , bilo da je riječ o poremećenim borama ili ne (BAHUN, 1968). Karakteristično je tonjenje struktura prema jugoistoku s čestom undulacijom osi što za posljedicu ima pojavu sve mlađih naslaga u istom smjeru kao i njihovu valovitost. Dok u sjeverozapadnim područjima jezgre antiklinala izgrađuju trijaski sedimenti, a jezgre sinklinala vapnenaci donje krede, u jugoistočnim dijelovima jezgre antiklinala čine dolomiti malma, a sinklinala vapnenci gornje krede. To se uočava i na planinskom masivu Kapele koji u osnovi pokazuje sinklinalnu građu.

U strukturnom sklopu je važno zapaziti:

- **Od Ogulinskog Zagorja do Plaškog pruža se rasjednuta antiklinala koja predstavlja istoimenu Ogulinsko - plašćansku zavalu.**
- Ona se u smjeru sjeveroistoka (okomito na pružanje struktura) nastavlja u normalnu uspravnu, ali razlomljenu **sinklinalnu geološku strukturu Gojak – Tobolić**.
- Dalje, sjeveroistočno na nju nadovezuje se slabije izražena i neotektonski zamaskirana **antiklinalna geološka struktura Tounj**. U odnosu na prethodnu sinklinalu uzdužnim rasjedom je tektonski izdignuta.
- Opet dalje, gledano poprečno na geološke strukture, **sa sjeveroistočne strane prekida je reversni rasjed regionalnih značajki**. On odvaja strukturne jedinice Ogulin – Tobolić i Dubrava – Primišlje (Tumač OGK list Ogulin). **Rasjed je značajan s hidrogeološkog stanovišta jer uzrokuje brojne izdašne krške izvore, a podudaran je s prijelaznom zonom između područja visokog krša na jugozapadu i plitkog na sjeveroistoku**. U terenu, riječ je o regionalnoj dislokaciji dinaridskog pravca pružanja koja se na području istraživanja može pratiti kao sustav rasjeda (s promjenjivim nagibom rasjedne plohe) i

zdrobljenih zona od korita potoka Ribnjak na sjeverozapadu, preko Trošmarije, Tounja, izvora Rudnice, korita Primišljanske Mrežnice kod Juzbašića do Primišlja na jugoistoku od kuda se račva u više teško uočljivih rasjeda.

- Jedan krak od Primišlja brazdi prema Slunju i pruža se paralelno s cestom Primišlje-Slunj, a dovodi u kontakt malmske vapnence i dolomite u izdignutom sjeveroistočnom krilu s vapnencima donje krede u jugozapadnom.
- Druga značajna dislokacija pruža se od Gornjeg Primišlja prema izvoru Slunjčice i duž nje su gornjomalmski dolomiti izdignuti na neokomske vapnence. **Sjeveroistočno od ovog regionalnog rasjeda, prema Karlovačkoj kotlini, prostire se fluviokrško područje.**
- Krajnje jugoistočno područje istraživanja prema Plitvičkim jezerima, između Slunja, Ličke Jesenice i Drežnik Grada, ima karakter krednog sinklinorija s velikom strukturnom poremećenošću naslaga (HERAK i BAHUN, 1968). Ističe se orijentacija dislokacija većinom dinaridskog pravca, dok je manji broj na njih okomit ili dijagonalan.

### 4.3 HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Područje istraživanja u cijelosti pripada slijevu Kupe. Razvodnica prema sljevovima vodotokova Hrvatskog Primorja te Like i Podvelebita ujedno je razvodnica Jadranskog i Crnomorskog slijeva, a vezana je uz antiklinalne geološke strukturne forme i vodonepropusne klastične naslaga paleozojske starosti u području Dinarika. Pruža se između Snježnika i Risnjaka u Gorskom Kotaru, preko Velike Kapele na Malu Kapelu i dalje prema jugoistoku na teritorij Bosne i Hercegovine gdje odvaja sljevove rijeka Une i Zrmanje. Područjem istraživanja prostiru se 4 hidrogeološke cjeline koje su unutar slijeva Kupe diferencirane kao zasebni drenažni sustavi. To su sljevovi Korane, Mrežnice, Dobre i Kupe.

Najveći dio područja izgrađuju karbonarne stijene mezozojske starosti. U hidrogeološkom smislu u njima se izdvajaju dvije osnovne cjeline različitih značajki koje se generalno podudaraju s geološkim strukturama. To je visoko planinsko područje dubokog razvoja krša u Vanjskim Dinaridima i plitki krš ili fluviokrš na rubnim dijelovima Vanjskih Dinarida prema Unutrašnjim, odnosno na nižim dijelovima sljevova.

Voda Velike Kapele i dijela Male Kapele (uz Gorski Kotar predstavljaju glavno sabirno područje sljevova rijeka), prije nego doteku do izravnog površinskog slijeva Kupe kao njeni direktni pritoci, prolaze kroz još jednu ponornu etapu. Ta etapa je karakterizirana izviranjem vode i površinskim tokom duž potkapelske Ogulinsko-plašćanske udoline. Nakon što površinski protoku preko dolomita, poniru u vodopropusnim vapnencima prostrane kredne sinklinale na sjeveroistočnoj strani udoline, a zatim nakon 5 do 15 km ponovno izviru na stotinjak metara nižem horizontu relativno zaravnjenog krškog platoa kao niz izdašnih krških izvora čiji položaj obilježava prijelaz iz dubokog u plitki krš (Slike 4-1 i 4-2).

Plitki krš ili fluviokrš predstavljaju područja kordunskih vodotokova Korane i Mrežnice, zatim Gojačke Dobre te uži sljev Kupe od izvora do Ozlja. Općenito govoreći, fluviojkrško područje prostire se sjeveroistočno od linije izvora Kupe, Gojačke Dobre, Tounjčice, Primišljanske Mrežnice i Slunjčice i pripada mu čitav tok Kupe i svi njeni izravni



pritoci. Pored karbonatnih, u velikoj mjeri dobro propusnih stijena, mjestimice su razvijeni i klastični nepropusni do slabo propusni sedimenti.

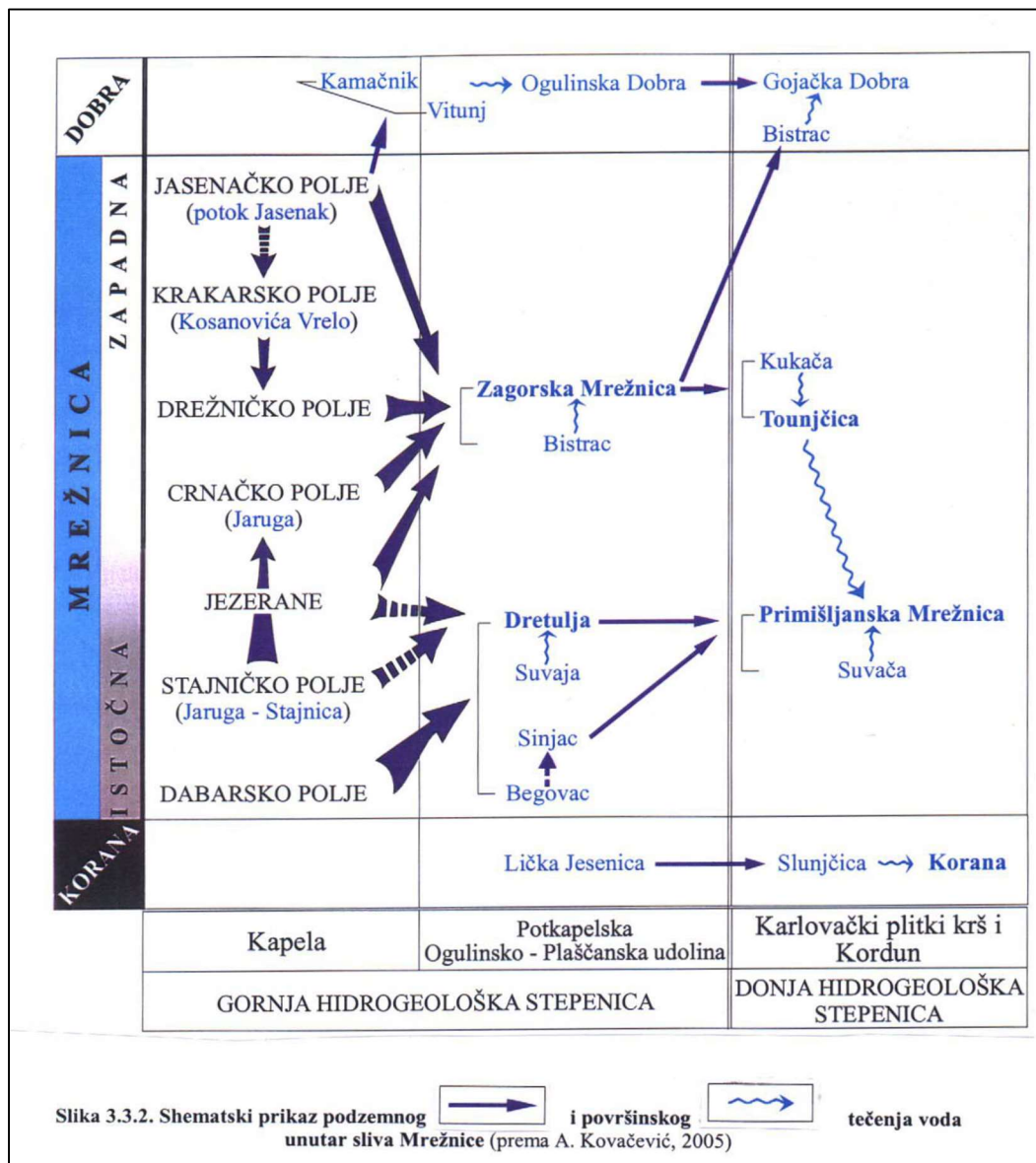
Uz prisustvo boranih i naknadno uzdužno rasjednutih primarnih geoloških struktura koje su većinom predtercijarne starosti, u području plitkog krša dominiraju brojni poprečni i ostali rasjedi koji su tektonski razorili primarne strukture i od njih stvorili naglašeno mozaičnu, blok strukturu područja. Oborinske vode područja ulaze u podzemlje i cirkuliraju pukotinama i kanalima prema sjeveru - generalno paralelno tokovima glavnih rijeka i prema njihovim duboko usječenim dolinama. Rijeke Korana, Mrežnica, Dobra i Kupa su glavni drenovi i određuju erozijsku bazu. U krškom podzemlju akumulira se podzemna voda, a njena količina ovisi o sekundarnoj oštećenosti prisutnih karbonatnih stijena, ali i vremenskoj i prostornoj distribuciji oborina na cijelokupnom području. Ta akumulirana voda omogućuje kontinuiran tok rijeka i u hidrološkim minimumima.

Nekrška područja odnose se na Karlovačku kotlinu s rubnim neogenskim pobrđem (opkol temeljnog gorja) i na alohtoni kompleks permsko-trijaske starosti Petrove gore koji pripada Supradinariku.



**Slika 4-1.** Shematizirani prikaz hidrogeoloških odnosa u prostoru Kapele, podkapelske Ogulinsko-plašćanskoj zaravni i Karlovačkom plitkom kršu (prema S. Bahun, 1967., modificirala A. Kovačević, 2005).





**Slika 4-2** Shematizirani prikaz površinskog i podzemnog toka vode unutar slijevova rijeka Dobre, Mrežnice i Korane (prema S. Bahun, 1967., modificirala A. Kovačević, 2005)

### 4.3.1 SLIJEV RIJEKE DOBRE

**Rijeka Dobra ima dva toka.** Ogulinska ili Gornja Dobra izvire u mjestu Skrad u Gorskom Kotaru, a ponirala je (prije antropogene intervencije – izgradnje hidrosustava Gojak) u Đulin ponor u Ogulinu. Nakon 5 km podzemnog toka prema sjeveroistoku, kod sela Gojak izvire Gojačka ili Donja Dobra koja se nakon 52 km toka ulijeva u Kupu kod Mahičnog kraj Karlovca. Važan utjecaj na slijev Dobre ima rijeka Zagorska Mrežnica koja je u prirodnim uvjetima toka Ogulinskim poljem, nakon poniranja napajala Gojačku Dobru (od ponora kod Otoka u Ogulinskom polju na izvor Bistrac, dokazano trasiranjem podzemnih tokova). Zagorska Mrežnica je poniranjem kod Oštarija i podno brda Krpela posredno preko izvora Tounjčice i Kukače napajala i Primišljansku Mrežnicu pa se može reći da pripada slijevu objiju rijeka.

**Slijev Ogulinske ili Gornje Dobre:** Gornja Dobre započinje tok u vodonepropusnim klastitima paleozoika u mjestu Skrad. Nastaje utokom Bukovske Dobre, Potoka Dobre te Donje Dobre koji sabiru vodu na padinama Skradinskog vrha (1.044 m) i slijevaju se kod naselja Donja Dobra u tok Ogulinsku Dobru. Na klastite se duž toka ubrzo nastavlja vodonepropusni slijed naslaga gornjotrijaskih dolomita. Takve značajke riječni tok zadržava do Vrbovskog. Teren oko Vrbovskog izgrađen je od klastičnih naslaga paleozoika, klastično-dolomitnog donjeg i gornjeg trijasa te lijaskih dolomita. Predstavlja potpunu barijeru, što potvrđuje površinsko otjecanje. Nizvodno od Vrbovskog rijeka prima vrlo izdašan desni pritok Kamačnik i u Gomirju pritok Ribnjak, koji se napajaju snažnim krškim izvorima. Utvrđena je povezanost ovih izvora s ponorima u Ravnoj Gori i Mrkoplju, što govori u prilog alohtonom položaju paleozojskih klastita.

**Kamačnik** je izdašan krški izvor s velikim oscilacijama kapaciteta, drenira veliki krški prostor Gorskog Kotara. Izdašnost u kišnim razdobljima doseže više desetaka m<sup>3</sup>/s, dok je u uvjetima minimalnog istjecanja izmjereno 759 l/s (DELIĆ, 1991). To je pukotinski uzlazni izvor u dolomitima lijasa koji 2 km dug kanjonski tok kroz lijasku vapnence i dolomite započinje malim jezercem nastalim oko 3 km jugozapadno od Vrbovskog. Sabirno područje predstavljaju vapnenci i dolomiti južno i jugoistočno od izvora. Prema geološkoj situaciji u okolini izvora vjerojatno je da voda koja na njemu izvire prethodno u podzemlje ne ulazi osjetno dublje od kote izvora, a ona je na 410 m.n.m (BAHUN, 1968).

Južno od Hambarišta rijeka Gornja Dobra ulazi u vodonepropusne lijasku dolomite i meandrirajući se približava rasjednom kontaktu lijasa i propusne donje krede. Paralelno sa spomenutim uzdužnim rasjedom rijeka teče prema jugoistoku po njegovom jugozapadnom podinskom krilu bez gubitaka vode iz korita sve do pred Gomirjem.

U Gomirju Dobra prima desni pritok **Ribnjak**, a zajedno s njim vode potoka **Draškovac** koji izvire u gornjomalmskim dolomitima. Minimalna izdašnost izvora Ribnjak je 30 l/s (HGK RH, 1998), a izvora Draškovac 5 l/s (DELIĆ, 1992). Draškovac je tipični krški uzlazni izvor s velikim oscilacijama izdašnosti, zahvaćen je za vodoopskrbu Gomirja (bunarski zahvat).

Nizvodno od Gomirja, Dobra prelazi u sjeveroistočno krilo spomenutog rasjeda koje izgrađuju vodopropusni karbonati donje krede. Dobivši mjestimično i kanjonski karakter, počinje gubiti značajne količine vode preko ponora u koritu, a gubici se mogu pratiti sve do Hreljina odakle, odmaknuvši se od vapnenačkog dijela donje krede, tok nastavlja u malmskim dolomitima bez značajnijih gubitaka (HERAK, 1954). Na potezu prema Hreljinu Dobra ulazi u struktumu jedinicu Ogulin - Tobolić (Tumač OGK Ogulin), a ponorne vode rijeke izgubljene u tom dijelu korita ponovo izvire na izvorima Gojačke Dobre (Gojak) i Ribnjak (sjeverno od Trošmarije).

Kao stalni, jaki desni pritok Ogulinske Dobre ističe se potok **Vitunjčica**. Izvire pod sjevernim padinama Kleka kod sela Vitunj sjeverozapadno od Ogulina, na rasjednom kontaktu vapnenaca i dolomita donje krede s dolomitima gonjeg malma. Oko 3 km dugi vodotok do ušća u Dobru kod Turkovića protječe otvorenim dolinom kroz dolomite malma zbog čega nema gubitaka vode iz korita. Neposredno sabirno područje predstavljaju malmski i donjokredni dolomiti s ulošcima vapnenaca zapadno od izvora, no stalne i veće količine vode upućuju na

priljev voda iz daljnjeg zaleđa (podzemne veze s ponornim područjem krškog polja Jasenak) duž pukotina u dolomitima i kroz raspucale uloške vapnenaca. Izvorište se sastoji od dva pukotinska silazna izvora čija se visina izviranja (oko 359 m.n.m) pomiče i do jedan metar ovisno o količini oborina (BAHUN, 1968). Stotinjak metara nizvodno od mjesta izviranja izmjereni protok u uvjetima minimalnog istjecanja iznosio je 129 l/s (DELIĆ, 1991).

Važan je i stalan silazni krški izvor **Zdiška** u malmskim dolomitima kod Turkovića. Njegova izmjerena minimalna izdašnost iznosi 6,5 l/s (DELIĆ, 1991), a kaptiran je za vodoopskrbni sustav "Turkovići". Iako sjeveroistočne padine Kleka predstavljaju neposredno zaleđe i područje napajanja, analize vode izvora Zdiška pokazuju tendenciju pogoršanja kvalitete. Kvalitetna zaštitna zona ne može se uspostaviti zbog neposredne blizine naselja, ali i pretpostavljene podzemne veze s krškim poljem Jasenak.

Uzvodno od Ogulina u nepropusnim malmskim dolomitima na Dobri je izgrađena akumulacija "Bukovnik" iz koje se voda hidrotehničkim tunelom prelijeva do hidroelektrane Gojak. U Ogulinskom polju Dobra poprima izrazito krške značajke i na rasjednom kontaktu s dobro propusnim donjokrednim vapnencima u Ogulinu prije je ponirala u Đulin ponor.

**Veći izvori u slijevu rijeke Gornja Dobra** (preuzeto iz BIONDIĆ, R. i suradnici, 2003):

- Pećina kod Moravica (1-10 l/s)
- Mlako vrelo kod Tića (1-10 l/s)
- Studeno vrelo kod Tića (10-100 l/s)
- Pećina kod Radoševića (oko 1 l/s)
- Ribnjak u Gladima (10-100 l/s)
- Kamačnik (100-1000 l/s)
- Gomirje (10-100 l/s)
- Ljubosina (1-10 l/s)
- Vitunjčica (100-1000 l/s)
- Zdiška (10-100 l/s)

**Slijev Gojačke ili Donje Dobre:** Gojačka Dobra započinje tok zapadno od sela Gojak stalnim uzlaznim pećinskim izvorom u raspucalim i dobro uslojenim vapnencima donje krede. Dio vode izvora Gojak predstavlja voda ponornice Ogulinske Dobre nakon 5 km podzemnog toka. Ta podzemna veza potvrđena je ubacivanjem trasera u rijeku neposredno ispred Đulinog ponora davne 1948. godine. Nakon nepuna 24 sata boja se na izvoru pojavila s prividnom brzinom podzemnog toka 5,21 cm/s, a da nije registrirana na izvoru njenog prvog desnog pritoka Bistrac niti prvog lijevog pritoka Ribnjak (HERAK i BAHUN, 1968).

**Izvor Gojak** je uvjetovan rasjednim kontaktom vapnenaca barema i apta koji odvaja sjeveroistočno krilo sinklinale Gojak – Tobolić od jugozapadnog krila Tounjske antiklinale, a nalazi se u strukturnoj jedinici Ogulin – Tobolić (Tumač OGK Ogulin). Rasjed je u daljnjem pružanju na jugoistok markiran brojnim pećinama i izvorima (periodični Pećina i stalni Bistrac, ali i izvorima Tounjčice, Kukače i Ribnika u slijevu Mrežnice). Osim ponornih voda Ogulinske Dobre, vode izvora većim dijelom potječu iz sinklinalnog sabirnog područja okršenih

vapnenaca donje krede između Brdarica i Ogulina, zapadno i sjeverozapadno od Gojaka. To potvrđuje njegova skoro nepromijenjena izdašnost i nakon izgradnje hidroakumulacije "Bukovnik".

Kod mjesta Gojak 1959. godine puštena je u pogon hidroelektrana Gojak. U njoj se koriste vode Ogulinske Dobre (akumulacija "Bukovnik") i Zagorske Mrežnice (akumulacija „Sabljaki“ u Ogulinskom Zagorju). Vode se do HE Gojak dovode tlačnim cjevovodom kapaciteta 57 m<sup>3</sup>/s. Rad HE Gojak ima velik utjecaj na protok i vodostaj Gojačke Dobre jer njenim koritom otječu sve vode koje prođu turbinama hidroelektrane.

Kanjonom duboko usječenim u vapnenice rijeka dalje teče prema sjeveroistoku. Nakon 1 km toka prima **potok Bistrac** s desne, a kod Trošmarije **potok Ribnjak** s lijeve strane (Ribnjak pod usporom zbog akumulacije Lešće). Slijev Donje Dobre bitno se suzuje u odnosu na gornji visokokrški dio. Stiješnjen je između sljevova Kupe na zapadu i Mrežnice na istoku. Iako Donja Dobra zadržava drenažnu funkciju, nizvodno od Trošmarija nema više velikih krških izvora niti značajnijeg prinosa vode. Česti su periodični kraći potoci i manji izvori koji su najvećim dijelom uvjetovani razlikama u propusnosti samih karbatnih stijena. Vodotok **Globornica** je jedini veći pritok koji s desne strane utječe u Gojačku Dobru nizvodno od Lešća, a prema njoj se drenira i podzemno.

Velik dio donjeg toka kroz Karlovački niski krš Dobra prati uzdužni rasjed dolinom koji presijeca karbonatne strukturne jedinice Dinarika, a može se pratiti sve do u Pokupsku dolinu na sjeveroistoku. Uz taj tektonski diskontinuitet veže se izbijanje termalne vode kod Lešća - u zoni rasjednog sustava koji predstavlja komunikaciju s dubljim podzemljem u kojem se generiraju termalne vode (Tumač OGK Črnomelj). Termalna voda se nalazi na 5 pukotinskih vrela u Lešću uz lijevu obalu kanjona Dobre u dužini oko 2 km.

Nizvodno od Jarčeg Polja Dobra urezuje korito u nepropusni paleocensko-eocenski fliš. Debljina tog litološkog člana iznosi do 400 m (Tumač OGK Črnomelj). To je vodonepropusni kompleks naslaga - na ovoj dionici tok Dobre zaštićen je od bilo kakvih gubitaka vode. Vodonepropusne klastične naslage na površini terena sprječavaju poniranje oborina. Njihovo otjecanje odvija se uglavnom površinski, periodičnim potocima buičnog karaktera kojima se jače muti tok rijeke. Područje predstavlja potpunu barijeru cirkulaciji podzemnih voda.

Kod Novigrada na Dobri rijeka ulazi u područje gdje su krške značajke svedene na minimum jer na površinu izbijaju slabo propusne do nepropusne navlačne strukture trijasa i paleozoika, neki prostori pokriveni su i pliokvartarom. Taj čitav navlačni kompleks proteže se sve do ušća Dobre u Kupu, a preko njega je, pred ulaskom u Karlovačku kotlinu, istaložen relativno uski pojas aluvijalnih taložina neposredno uz tok rijeke.

### 4.3.2 SLIJEV RIJEKE MREŽNICE

U slijevu Mrežnice (kao i u slijevu Dobre) hidrogeološki se izdvajaju dve razine. Gornja hidrogeološka stepenica u zoni visokog krša koju predstavljaju sljevovi rijeka Zagorske Mrežnice i Dretulje koje su najveći površinski tokovi potkapelske Ogulinsko-plašćanske udoline. U slijevu rijeke Mrežnice ta udolina se, zajedno s ponornicama Zagorskom



Mrežnicom i Dretuljom, tretira kao prelazna „srednja“ stepenica (gornje usporno područje) preko koje komuniciraju podzemne vode Kapele sa stalnim vodotocima donje razine. Donju hidrogeološku stepenicu čine izvor Primišljanske Mrežnice i njene lijeve pritoke Tounjčice, a pozicija njihovih izvora obilježava granično područje visokog (dubokog) i niskog (plitkog) krša.

Osim spomenutog, slijev rijeke Mrežnice je na temelju međusobnih podzemnih veza nakon poniranja površinskih tokova moгуće podijeliti u dvije cjeline. U širem smislu to su Istočna Mrežnica s izdvojenim slijevom Dretulje i Primišljanske Mrežnice te Zapadna Mrežnica sa slijevom Zagorske Mrežnice i Tounčice. Njihovo glavno sabirno područje je visoki planinski prostor Male i Velike Kapele.

#### Ukratko i pojednostavljeno:

Istočna Mrežnica izvire u Dabarskom i Stajničkom polju (vodotok Jaruga) i ponire u Maloj Kapeli - pojavljuje se u Plaščanskim polju odakle teče kao ponornica Dretulja s Vrnjikom i Suvajom te ponire u Plavčoj Dragi - ponovni njeni pojavni oblici su krški izvori rijeke Primišljanske Mrežnice ispod Popović vrha i Suvače kod Tobolića koja se nakon kratkog toka ulijeva u nju. Dalje slijedi površinski tok do Karlovačke kotline.

Zapadna Mrežnica započinje tok podno Bjelolasice (Velika Kapela) kao Jasenački potok koji se nakon poniranja manjim dijelom pojavljuje na izvorima u Krakarskom polju koji nakon kratkog toka ponire pa ubrzo izvire kao izvor Pečine i tvori vodotok Jaruga duž Drežničkog polja, a zatim ponire - pojavljuje se u Ogulinskom Zagorju kao izvorište Zagorske Mrežnice. Zatim slijedi njen tok i poniranje kod Otoka, Oštarija ili podno Krpela - završno se na površini voda pojavljuje kao Tounjčica s Kukačom koja se podno jugozapadnih padina Polojske kose ulijeva u Primišljansku Mrežnicu.

Krajnji jugozapadni dio slijeva Mrežnice (Jasenačko, Krakarsko, Drežničko, Crnačko, Stajničko i Dabarsko krško polje), gdje je granica slijeva ujedno i razvodnica Crnomorskog i Jadranskog slijeva, utvrđen je trasiranjem u okviru regionalnih hidrogeoloških istraživanja slijeva Kupe (BOJANIĆ, 1972).

**Gornja hidrogeološka stepenica (masiv Kapele):** Odlikuje se jednolikom litološkom građom s prevladavajućim mezozojskim karbonatnom stijenskom masom u kojoj su razvijene brojne krške forme. Može se podijeliti u dvije manje: prvi, viši dio koji čini niz manjih, morfološki odvojenih, ali podzemno, putem ponornica povezanih visokih krških polja planinskog masiva Kapele i sam masiv Kapele koji predstavlja glavno područje napajanja izdašnih krških izvora drugog, nižeg dijela - potkapske Ogulinsko-plaščanske udoline.

Slijev Zagorske Mrežnice ima centralnu poziciju u planini Kapela. Lepezasto se širi od mjesta izviranja u Sabljakima u Ogulinskom Zagorju prema jugozapadno pozicioniranim visokim kriškim poljima s druge jugozapadne strane masiva Kapele: Krakarskom, i Drežničkom polju, a u koja podzemne vode dotječu iz Jasenačkog polja i Drežničkog luga, te prema jugoistočno pozicioniranim i hidrogeološki međusobno povezanim krškim poljima Crnačkom i Stajničkom.

Spomenuta polja pozicionirana su duž morfološki izražene izdužene zone depresija u masivu Kapele, dinaridskog pružanja koja se protežu od hipsometrijski najvišeg polja Jasenak

(650 m.n.m) na sjeverozapadu, preko Krakara, Drežničkog luga, Drežničkog (440 m.n.m), Crnačkog, Stajničkog (485 m.n.m) i Glibodola, pa i do izdvojenog Dabarskog polja polje (550 m.n.m) na jugoistoku. Pripadaju geološkoj strukturalnoj jedinici Smolnik - Kapela (Tumač OGG Ogulin). Riječ je o prostorno malim i zatvorenim krškim poljima s ponornicama, strmih strana, bez riječnih terasa i s malo akumuliranog materijala, dok su površine polja prekrivene slabopropusnim do nepropusnim pleistocenskim deluvijem i proluvijem. Obilne oborine i topljenje snijega periodički plave ova krška polja što uzrokuje sezonska površinska zadržavanja i ujezerenja vode. Površinsko otjecanje je većinom usmjereno prema jugoistoku. Vode Jasenka, Krakara, Drežničkog luga i Drežnice međusobno podzemno komuniciraju sistemom pukotinskih kanala duž brojnih uzdužnih i poprečnih rasjeda, a dreniraju se podzemno dominantno prema Ogulinskom Zagorju (izvori Zagorska Mrežnica, Bistrac i periodični izvor Pečine) te manjim dijelom prema Ogulinskom polju. U ranije izvedenim trasiranjima spominje se veza s izvorom Kamačnik, ali i izvorom Kosanovića vrelo u Krakarskom polju (BOJANIĆ, 1972). Bojanjem ponora u ponorskoj zoni Jasenačkog potoka pri niskom vodostaju potvrđena je veza s izvorom Zagorske Mrežnice i Bistracom (DELIĆ, 1987), no ne isključuje se mogućnost da dio vode s Jasenačkog polja podzemno otječe u slijev Dobre prema Vitunju i Zdiški. Trasiranjem tokova vode u podzemlju kroz ponor u Krakaru utvrđeno je podzemno otjecanje prema Zagorskoj Mrežnici, ali i prema niže položenom Drežničkom polju čije su površinske vode višestrukim trasiranjima (1954., 1972., 1981., 1985., 1992.), nakon poniranja u južnom dijelu polja, također registrirane samo na izvorištu Zagorska Mrežnica. Propusni dio krednih naslaga u jugoistočnom dijelu Krakar polja predstavlja ponornu zonu površinskih voda Krakarskog polja čije mjesto konačnog poniranja ovisi o količini otjecanja. Uz središnji i sjeverozapadni rub polja nastaje niz periodičnih izvora čija aktivnost i izdašnost ovisi o količini oborina. Kosanovića Vrelo na sjeverozapadu polja je najjači i stalni izvor koji čak i u dužim sušnim periodima daje 4-5 l/s. Bunarskim zahvatom njegove vode se koriste u vodoopskrbnom sustavu "Drežnica".

Krška ponornica Jaruga, koja teče Stajničkim poljem, nakon poniranja na području Jezerana podzemnim tokovima otječe ispod masiva Velike Kapele na izvorište Zagorska Mrežnica. Kod jakih kiša površinske vode Stajničkog polja preko ponora kod Jezerana u izrazito tektonski oštećenim i raspucalim vapnencima donje krede, ostvaruju podzemnu vezu s izvorom Obajdin pećina u Crnačkom polju, odnosno podzemnu vezu Jezerane – Crnačko polje - izvorište Zagorska Mrežnica što je također dokazano trasiranjem.

Kada Stajničko polje periodički poplavi ono tvori hidrogeološko - hidraulički sustav dokazano usmjeren ka izvoru Dretulja, a da kraća i logična veza s Vrnjikom nije potvrđena (JURAK, 1983; MIRIĆ, 1988). Stajničko polje se zajedno s Glibodolskim poljem nalazi u II zoni sanitame zaštite izvora Dretulja (DRAGIČEVIĆ i MAYER, 1999).

Slijev Dretulje se prostire od Plaščanskog polja prema Glibodolu, Stajničkom i Dabarskom polju. Povremeno plavljeno Dabarsko polje zauzima središnji položaj u planinskom sabirnom području Male Kapele i u širem smislu pripada slijevu Istočne Mrežnice. Dabarsko polje (550 m.n.m) predstavlja najvišu stepenicu na kojoj se skupljaju i poniru vode ovog slijeva. Nalazi se na rubnom jugozapadnom dijelu slijeva Mrežnice u slabo propusnim dolomitima donje krede. Smješteno je već daleko na ličkoj strani Kapele i pomalo dislocirano od zone depresija Jasenak - Glibodol. Ponorna zona na istočnoj strani polja je na rasjednom



kontakta s propusnijim cenomanskim karbonatima i njihovim brečama (Tumač OGK Otočac). Predstavlja hidrogeološko-hidraulički podsustav koji je preko Glibodola podzemno usmjeren popreko regionalnih struktura i kao takav pridružen frontalno smještenim hidrogeološkim pojavama na potezu od izvora Dretulje do periodičnog jezera Blata ili Begovca (JURAK, 1983). Bojanjem Fajfarovog ponora u Dabarskom polju (BOJANIĆ, 1972) utvrđene su prividne brzine podzemnog otjecanja prema izvoru Dretulje (2,1 cm/s), njenom pritoku Suvaji (2,3 cm/s) i jezeru Sinjac u Plavčoj Dragi (2,5 cm/s). Niti jednim bojanjem nije dokazana veza s izvorom Vrnjike, pa se njen slijev veže za sam masiv Male Kapele. Na osnovu postojećih poznatih hidrogeoloških odnosa u ovom visokom dijelu slijeva rijeke Mrežnice, može se konstatirati kako se razvodnica sljevova Dretulje i Zagorske Mrežnice, tj Istočne i Zapadne Mrežnice u širem smislu, nalazi u zoni Stajničkog polja.

**Potkapelska Ogulinsko - plaščanska udolina:** Vodotoci potkapelske Ogulinsko-plaščanske udoline pripadaju gornjoj hidrogeološkoj stepenici cjelokupnog slijeva Mrežnice iako, u općoj generaliziranoj shemi krške cirkulacije vode, ovoj udolini bolje odgovara funkcija srednje, prelazne stepenice jer s jugozapadne strane prima vode iz višeg kapelskog zaleđa, a sa sjeveroistočne napaja tokove donje hidrogeološke stepenice u nižem peripanonskom krškom prostoru. Zagorska Mrežnica i Dretulja (uz Ogulinsku Dobru i Ličku Jesenicu), ovdje su najznačajnije ponornice. One u prirodnim uvjetima, nakon poniranja u propusnim vapnencima sjeveroistočnog ruba zavale, napajaju vodom izvore „donje”, Mrežnice čiji površinski vodotoci dalje otječu kroz plitki krš.

Podzemne vode u sabirnom području Kapele podzemno cirkuliraju i teku generalno prema istoku i sjeveroistoku. Gravitiraju prema Ogulinsko-plaščanskoj udolini i u podnožju Kapele nailaze na vodonepropusnu barijeru - antiformu izgrađenu od trijaskih i jurskih dolomita kojima započinje strukturalna jedinica Ogulin - Tobolić (Tumač OGK Ogulin). Čelo ove ljske strukturalno pripada rasjednutoj antiklinali čija os blago tone u smjeru jugoistoka i koja je cijelom dužinom poremećena sustavom uzdužnih i dijagonalnih rasjeda (sjever – jug) koji su doveli do redukcije pojedinih stratigrafskih članova (BAHUN, 1967). Navučena je (tektonski izdignuta) jugozapadno na susjednu strukturalnu jedinicu Smolnik - Kapela i predstavlja vodonepropusnu barijeru. Glavni navlačni kontakt može se pratiti još od Gomirja i Vrbovskog (slijev Dobre), gdje se uz trijasku nalaze i permski klastiti, prema jugoistoku sve do Begovca i Ličke Jesenice (slijev Korane). Na prostoru slijeva Mrežnice reversni kontakt je obilježen markantnim hidrogeološkim pojavama: izvori Zagorske Mrežnice, Vrnjike, Dretulje, Suvaje, estavele Begovac, jezera Sinjac itd.

Pri reversnom rasjedanju i navlačenju između Ogulinskog Zagorja i Modruša na površinu su istisnuti dublji dijelovi antiklinale kao ljska Zagorje koja svojim donjotrijaskim klastitima i gornjotrijaskim dolomitima predstavlja najstarije naslage u "prelaznoj" stepenici slijeva Mrežnice i najnepropusniji dio barijere. Barijeru koja sprječava podzemnu cirkulaciju voda izgrađuju dominantni jurski dolomiti. U reversnom su rasjednom kontaktu s propusnim krednim vapnenačkim stijinama koje su glavni krški vodonosnici u ovom području. Nepropusne stijene su sa sjeveroistoka nagurane (tektonski istisnute, izdignute) na izrazito propusne i čine glavnu prepreku toka podzemnih voda iz vodonosnika na niže. Usporavaju kretanje podzemnih voda koje cirkuliraju i teku sa zapada i jugozapada kroz masiv Kapele te

ih prisiljavaju na izdizanje prema površini gdje se koncentrirano prelijevaju u obliku snažnih izvora. Na taj su način formirani stalni i izdašni uzlazni krški izvori.

Glavni vodotok SLIJEVA ZAPADNE MREŽNICE je Zagorska Mrežnica čiji se krški izvor nalazi u dolini Ogulinsko Zagorje, u podnožju Velike Kapele, oko 5 km južno od Ogulina. Najmanja izmjerena izdašnost od skoro 500 l/s izrazito kvalitetne vode je značajan vodni resurs. Izvorište je kaptirano (60-120 l/s) za vodoopskrbu Ogulina i područja od Oštarija do Tounja u okviru vodoopskrbnog sustava "Zagorje".

U okolici izvora Zagorske Mrežnice izražene su pukotine pravca sjever-jug koje su vrlo značajne s hidrogeološkog aspekta jer sijeku pružanje čitave strukture i otvaraju put kretanju podzemnih voda iz pozadine u masivu Kapele prema sjeveru (BAHUN, 1968). Ovdje barijeru podzemnim vodama ne čini samo dolomitna dogersko-malmska antiklinala Zagorje, već i reversno izdignute klastične dolomitne stijene donjeg i gornjeg trijasa. Na taj je način potpunost zaustave povećana do te mjere da su prilikom istražnog bušenja u području Sabljaka registrirane i pojave arteške vode (HERAK, 1954).

Podzemne vode ovdje izbijajućući na površinu formiraju dva jaka i stalna uzlazna izvora u obliku kružnih jezeraca: Zagorsku Mrežnicu i susjedni Bistrac čija je izdašnost u uvjetima minimalnog istjecanja tijekom 1990. godine procijenjena na 250 l/s (DELIC, 1991). Površinski tok Zagorske Mrežnice, koji je nekada otjecao prema sjeveru, danas je na vodonepropusnoj podlozi ujezeren u umjetno hidroakumulacijsko jezero "Sabljaki" iz kojeg se tunelom vodom opskrbljuje hidroelektrana Gojak. Prije izgradnje akumulacije, a i danas kod visokih voda prilikom preljevanja brane i ljeti kod remonta hidroelektrane, tok vode skreće prema istoku i ulazi u zonu rasjeda gdje su u kontaktu dogerski i malmski dolomiti s propusnijim i okršenijim malmskim i donjokrednim dolomitima i vapnencima. Do gubitaka vode dolazi u samom koritu, a naročito u ponorima kod Otoka u Ogulinskom polju do kojih teku kraći bočni lijevi tokovi. Izražena zona ponora nalazi se i kod kamenog mosta u Oštarijama te nizvodno prema željezničkom mostu. Završni glavni ponori Zagorske Mrežnice (špilja Krpeljača i pridruženi ponori s jugozapadne strane brda Krpele) nalaze se sjeveroistočno od Oštarija u propusnim vapnencima donje krede koji čine jugozapadno krilo sinklinale Gojak–Tobolić (Tumač OGG Ogulin). Taj, oko 2,5 km produžen površinski tok prema sjeveroistoku kroz propusne vapnence omogućila je kolmatacija pukotina u pripovršinskom dijelu vapnenačkog korita ilovinom i dolomitnim pijeskom (BAHUN, 1968). Vode Zagorske Mrežnice koje poniru kod Otoka usmjerene su dominantno na izvor Bistrac, desni pritok Gojačke Dobre te na izvore Tounjčice i Kukače. Ponorne vode istočno od Oštarija (sjevamo od Skradnika) ponovno izvire samo na izvorima Tounjčice i Kukače. Ti izvori (zajedno s izvorom Gojak) nalaze se na donjoj hidrogeološkoj stepenici slijeva Mrežnice.

Izgradnjom akumulacije "Sabljaki" i preusmjeravanjem vode na HE Gojak u slijev Dobre izmijenjeni su prirodni uvjeti otjecanja. Jako je poremećen prirodni režim podzemnog i nadzemnog otjecanja voda Zagorske Mrežnice prema drugim izvorima. Samo se visoki vodni valovi prelijevaju preko brane u ponornu zonu i podzemljem otječu na izvore Tounjčice i Kukače u slijev Mrežnice te prema Bistracu u slijev Dobre (manji dio vode i tijekom remonta HE Gojak). Donji tok Zagorske Mrežnice je praktički presušio, a s njime i neki niže položeni izvori.

Između Sabljaka i Josipdola nalazi se nekoliko manjih, stalnih i periodičnih potoka koji otječu u korito Zagorske Mrežnice južno od Oštarija. Za vodoopskrbu Josipdola i okolnih naselja do Tounja (vodoopskrbni sistem "Josipdol") značajan je uzlazni izvor Bocino Vrelo u Podveljunu, zapadno od Josipdola. Najniži izmjereni kapacitet izvora iznosi 16 l/s (DELIC, 1991).

U SLIJEVU ISTOČNE MREŽNICE središnji, prijelazni porožaj zauzima Plašćansko polje na 380 m.n.m, koje u užem smislu pripada slijevu Dretulje. Sa svojim hidrogeološkim pojavama krški izvori i vodotoci Dretulje, Vrnjike i Suvaje, izvor-jama-jezero Sinjac, estavele i ponori Begovca (Blata) te ponori Dretulje i Sinjca, značajni su za hidrološku cjelinu sveukupnog slijeva Mrežnice. Usporene podzemne vode iz masiva Male Kapere prelijevaju se na Plašćansko polje uslijed nailaska na već spominjanu vodonepropusnu barijeru u sklopu struktume jedinice Ogulin–Tobolić, Ovdje je potpuna zaustava postignuta reversno izdignutim gornjomalmskim dolomitima koji izgrađuju jugozapadno, djelomično prebačeno krilo rasjednute antiklinale koja se nastavlja sa sjeverozapada i tone u smjeru Plaškog. U samom polju koncentriraju se vode stalnim tokovima Vrnjike, Dretulje, Sinjca i njima pridruženim potocima s gorskih padina. Poniru u Plavčoj Dragi na kontaktu s propusnim donjokrednim vapnencima jugozapadnog krila sinklinale Gojak-Tobolić koja brago tone prema jugoistoku gdje je i jače izrasjedana. Ovisno o hidrološkom stanju - polje biva plavljeno (POLJAK, 1922). Putevi ponornih voda prema izvorima Suvače i Primišljanske Mrežnice rezultat su spuštanja hidrografske mreže u podzemlje na mjestima nekadašnje odvodnje poplavljenih zavala, čiji je današnji ostatak morfološki prolaz (preljev) prema izvorima Suvače (BAHUN, 1970).

Rijeka Dretulja izvire zapadno od Plaškog kao najjači krški izvor ovog područja. Izvorište se sastoji od dva izvora: Dretulja i Mala Dretulja. Izvor Dretulje predstavlja malo jezero. Najmanja izmjerena izdašnost iznosi 432 l/s, od čega je samo mali dio zahvaćen u vodoopskrbni sustav "Dretulja". Dretulja nastavlja prema sjeveroistoku oko 11 km dug površinski tok kroz široku dolinu dolomitne podloge prekrivene aluvijalnim nanosom rijeke. Nakon ušća pritoke Vrnjike u Plaškom skreće prema jugoistoku, prihvaća Suvaju i niz malih, stalnih i periodičnih, desnih pritoka iz gornjomalmskih dolomita završnog dijela potpune zaustave Sabljaci - Plaški (BAHUN, 1968). Na tom potezu, od Plaškog do Plavče Drage, poljem je istaložen slabopropustan deluvij - slabovezani klastični sediment čije je porijeklo vezano uz eroziju okolnih karbonarnih padina. Po primitku Suvaje, Dretulja se približava kontaktu dolomita malma s propusnim vapnencima donje krede, uz posljednju manjeg gubitka vode iz korita. Približivši se sasvim njihovom rasjednom kontaktu u Plavčoj Dragi, Dretulja ponire u dva ponora kod Latasa i u ponorima kod Mišljenovića na sjeveroistočnom rubu Plašćanskog polja, podno jugozapadnih obronaka Strmice (ponori nikada nisu trasirani kako bi se dobili egzaktni podaci o podzemnom toku). Dužina završnog toka Dretulje u propusnom vapnenačkom podzemlju ovisi o količini vode. Nakon približno 6 km dugog podzemnog toka u smjeru sjeveroistoka, ponorne vode Dretulje izbijaju na površinu na izvorima Primišljanske Mrežnice i njenog prvog lijevog pritoka Suvače.

Izvor Vrnjika, glavni pritok Dretulje, izvire kod Pešuta - kraj Kunić sela, podno Grabove kose (572 m.n.m) na reversnom rasjednom kontaktu donjokrednih vapnenaca i gornjomalmskih dolomita, odnosno kao i kod Dretulje na kontaktu područja pojačane retencije i potpune zaustave. Slijev izvora vezan je za karbonatni masiv Male Kapele, ali dosadašnjim

trasiranjima nije dokazana veza s ponorima krških polja u zaleđu. Izvor Vrnjike je stalan. Najmanja izmjerena izdašnost iznosi 67 l/s (DELIĆ, 1991). Strateški predstavlja pričuveni vodoopskrbni izvor za područje Plaškog. Po izlasku iz jezera, Vrnjika u velikom luku teče otvorenom plitkom dolomitnom dolinom kroz uski pojas istaloženog aluvija, primajući s obje strane nekoliko manjih potočića nastalih od pukotinskih silaznih periodičnih izvora u dolomitima. U zamočvarenom terenu ulijeva se u Dretulju kod Plaškog.

Periodično jezero Begovac i jezero Sinjac nalaze se u području manje nepotpune zaustave gdje je omogućena djelomična, lokalna ili povremena podzemna cirkulacija vode (BAHUN, 1968). Prekid potpune zaustave na ovom dijelu uzrokovan je strukturnim položajem gornjomalmskih dolomita tj. gubljenjem njihove antiklinarne forme, ali i njihovom jakom tektonskom poremećenošću i razlomljenošću čime su izmijenjene hidrogeološke značajke (kapaciteti podzemnih šupljina, razine podzemne vode) inače vodonepropusnih stijena susjednih potpunih barijera.

Periodično jezero Begovac nalazi se jugoistočno od Plaškog u malmskim dolomitima sjeveroistočnog krila rasjednute antiklinale. Brojne pukotine i rasjedi smjera sjever-jug i sjeverozapad-jugoistok doveli su do redukcije jugozapadnog krila i povećane vodopropusnosti dolomitne antiklinale. Smješteno je na 480 m.n.m. To je u biti malo krško polje čije je dno prekriveno kvartarnim naslagama debljine 1-3 m (zaglinjeni dolomitni pijesak i barski sedimenti), a predstavlja estavelu čije funkcioniranje ovisi o količini dotoka podzemnih voda i kapacitetu sustava pukotina rasjednutog karbonatnog kompleksa. Raspucani dolomiti dna jezera za vrijeme malih voda propuštaju podzemne vode iz vapnenačkog zaleđa uglavnom prema sjeveroistoku, ali i jugoistoku. Za vrijeme velikih voda kapaciteti podzemnih šupljina nisu dovoljni da bi propustili svu količinu pa dolazi do inundacije. Polje je periodički plavljeno, a trajanje jezera ovisi o količinama oborina i njihovom rasporedu tijekom godine, no obično traje do kolovoza, tek vrlo rijetko cijele godine. Dubina vode doseže i do 20 m.

Duž rasjedne linije koja spaja niz vrtača i morfološki predstavlja dolac, Begovac je spojen s jezerom Sinjac i od većeg je hidrografskog značenja. Omogućuje podzemno otjecanje iz Begovca tj. protjecanje kroz dno Begovca u sjeveroistočnom smjeru, prema 120 m nižem izvoru Sinjac, i onda kada jezero potpuno presuši.

Izvor - jama - jezero Sinjac smješteno je sjeverno od estavele Begovca u dolomitima gornjeg malma na rubu Plavča Drage. Radi se o speleološkom objektu stalni izvor – jama, dubine veće od 40 m i širine 25 m (GARAŠIĆ, 1986). Minimalni kapacitet izvora procijenjen je na 10 l/s (Elektroprojekt, 1989). To je uzlazno krško vrelo s vlastitom vodom temeljnicom koja se napaja izravno iz vapnenačkog masiva Male Kapele, ispod dna periodičnog jezera Begovac. Relativno kompaktniji i nepropusniji dolomiti sjeveroistočno od jezera ne dopuštaju potpuno podzemno otjecanje u tom smjeru, već preuzimaju ulogu barijere preko koje se voda prelijeva iz jezera i nakon oko 1 km dugog površinskog toka gubi u ponornom području na istočnom kraju Plavče Drage, odakle zajedno s vodama Dretulje teče podzemno prema sjeveroistoku do izvora Primišljanske Mrežnice.

**Donja hidrografska stepenica:** Izvori Tounjčice i izvori njenih desnih pritoka Kukače i Rudnice te izvori Suvače i Primišljanske Mrežnice označavaju početak donje hidrogeološke stepenice slijeva rijeke Mrežnice i donjeg uspornog područja Tounj-Slunj (BAHUN, 1968).



Izvori su nanizani duž sjeveroistočnog ruba strukturne jedinice Ogulin-Tobolić, iza kojeg slijedi struktura jedinica Dubrava-Primišlje koja je složene građe, a od prethodne više i jače razlomljena tangencijalnim neotektonskim pokretima. U ovom području prevladava rasjedna tektonika i gotovo da nema tragova postojanja nekadašnjih bora. Dominiraju dva najčešća sustava rasjeda - uzdužni i poprečni na dinaridske strukture, čijim je međusobnim presijecanjem formirana mozaična blok-struktura koja je posebno karakteristična upravo za ovu jedinicu. Normalnim rasjedanjem (što znači da je krovinsko krilo rasjeda spušteno u odnosu na podinsko) zahvaćen srednji miocen i gornji pliocen (od Trošmarije do Tounja) s različitim nivoima donje krede, ostavlja mogućnost za pretpostavke o njihovoj recentnoj tektonskoj aktivnosti (Tumač OGK Ogulin). Jugozapadna granica jedinice Dubrava-Primišlje zamaskirana je normalnim rasjedom u gotovo cijelom pružanju od Trošmarije do Primišlja. Čelo ljuške je površinski otkriveno jedino od izvora Rudnice do Južbašića kod Tržića Tounjskog i uz korito Mrežnice oko Primišlja gdje su gornjomalmski dolomiti s lećama vapnenaca jugozapadno navučeni na donjokredne vapnence strukturne jedinice Ogulin-Tobolić. Ova dislokacija ima regionalni karakter i može se pratiti kao sustav rasjeda i zdrobljenih zona od Trošmarije, u slijevu Dobre preko Tounja i Rudnice do Primišlja gdje se račva u više teško uočljivih rasjeda prema Slunju u slijev Korane. Rasjed je značajan morfološki, hidrografski i hidrogeološki jer uvjetuje pojavu jakih krških izvora: Gojačka Dobra i Bistrac u slijevu Dobre; Tounjčica, Kukača, Rudnica, Suvača i Primišljanska Mrežnica te izvor Slunjčice u slijevu Korane. Linijom koja spaja ove izvore započinje područje plitkog krša ili fluviokrša.

Izvori Tounjčice i Kukače istovremeno reagiraju na promjene količine podzemne vode pa se za njih pretpostavlja zajednička podzemna akumulacija sa sabirnim područjem u donjokrednim vapnencima sjeverozapadnog dijela sinklinale Gojak-Tobolić, između Ogulina i Brezovice.

Rijeka Primišljanska Mrežnica započinje tok pukotinskim krškim izvorom (254 m.n.m) na sjeveroistočnim padinama Strmice ispod Popović vrha (479 m.n.m) kao nastavak ponornice Dretulje koja ponire na istoku plašćanskog polja podno jugozapadnih obronaka istog brdskog masiva. Također je dokazana i posredna podzemna veza s periodičnim estavelama Begovca preko izvora-jezera Sinjac koji nakon kratkog površinskog toka ponire u Plavčoj Dragi (Elektroprojekt, 1989). Položaj periodičnih izvora Suvače kod Tobolića je u osi kredne sinklinale Gojak-Tobolić s jezgrom od vapnenaca cenomana i turona. Zanimljivost izvorišta Suvače je da podzemne vode izlaze na površinu u propusnim vapnencima u osi sinklinale uslijed čega su česta poniranja i izviranja na kratkim udaljenostima (JURAK, 1983). Izvor Mrežnice, kao i 13 km izvorišnog dijela toka, nalazi se unutar granica Vojnog vježbališta "Eugen Kvaternik". Ukupna dužina toka Mrežnice je 65 km. Osim lijevog pritoka periodične Suvače u najvišem izvorišnom dijelu toka i desnog Rončevića potoka kod Primišlja, s obje strane Primišljanske Mrežnice postoje stalni i povremeni izvori. Ispred Juzbašića uz korito se nalaze jaka špiljska uzlazna vrela, a gubici vode iz korita nisu registrirani. Korito je tipično kanjonsko, urezano u krš i doboko između 15 i 60 m. Rub kanjona je od Juzbašića pa skoro do Generalskog Stola obilježen izohipsom 200 m.n.m.

Od ostalih vodotoka plitkog krša, Mrežnica se razlikuje postojanjem izrazito jakih krških pukotinskih uzlaznih vrela u koritu i dnu doline te brojnim slapovima preko sedrenih barijera (ukupno 93 travertinska slapa), posebno na dionici od izvora do mosta kod Juzbašića.

Slapovi su česti i u nižim predjelima kod Dobrenića (Katića), Zvečaja i Belavića. Oni su u nejednakom rasteru duž toka ispresijecali rijeku stvorivši među sobom ujezerene dijelove toka.

Primišljanska Mrežnica kao glavni vodotok Istočne Mrežnice u širem smislu podno jugozapadnih padina Polojske kose prima svoj desni i najveći pritok – Zapadnu Mrežnicu u formi Tounjčice. Do ušća u Koranu teče dalje kao jedinstvena rijeka Mrežnica i nema više niti jedan značajniji pritok. Za potrebe opskrbe pitkom vodom Generalskog Stola i okolnih naselja u selu Mlinci kod Generalskog stola (svojevremeno i za parne lokomotive) zahvaćeno je oko 15 l/s vode - u plitkom aluviju Mrežnice istaloženom na vapnencima donje krede.

Dinamika vode vezana je za kanjon rijeke usječen, slično kao i kod Dobre, u prevladavajuće malmske i donjokredne karbonate plitkog krša. Tektonski su vrlo poremećeni i naknadno okršeni erozivnim procesima. Rasjedanje i navlačenje stijenske mase je dinaridskog pružanja, dok je generalni smjer vodotoka prema sjeveru i sjeveroistoku uvjetovan mlađim poprečnim i dijagonalnim rasjedima uglavnom normalnog karaktera.

U nižim predjelima toka, nizvodno od Donjeg Zvečaja, bočna erozija prevladava nad vertikalnom - posljedica je šira i plića riječna dolina asimetričnih strana ovisno o litološkoj građi bokova (uslijed manje otpornosti prema mehaničkoj eroziji u dolomitima dolazi do bržeg snižavanja reljefa nego u vapnencima). Naplavne ravnice nizvodno od Belavića, na karbonatnoj podlozi jure i navučenog trijasa većinom su prekrivene klastičnim sedimentima holocenske starosti.

Mrežnica nizvodno od Duga Rese kao prava ravničarska rijeka u širokom meandru zaobilazi brdo Vinicu (321 m.n.m) i skrenuvši na istok protječe urbaniziranim karlovačkim predgrađem. Kod naselja Turanj u Karlovcu, ulijeva se u rijeku Koranu. Mrežnica je njen najveći pritok i obogaćuje ju s dodatnih 45 m<sup>3</sup>/s koliko iznosi srednji godišnji protok na ušću (Zemljopisni atlas Republike Hrvatske, 1993), ali s velikim amplitudama protoka ovisno o hidrološkim razdobljima. Vrelo Mrežnice nalazi se na 270 m.n.m, a ušće na 112 m.n.m što znači da je visinska razlika od izvora do ušća 148 m. Obzirom da ukupna dužina toka Mrežnice od izvora do ušća iznosi 64 km, prosječan pad toka rijeke po jednom kilometru iznosi 2,3 m.

**Izvori uz vodotok Mrežnice i Tounjčice** (preuzeto iz V. Hršak, i suradnici, 2010. Redoslijed evidentiranih pojava izvora označen je od sjevera prema jugu te lociran prema najbližem toponimu ili topografskoj oznaci: naselje, selo, zaselak ili visina kote):

- Mlaka - desna obala - Mrežnički Brig
- izvor - lijeva obala - jugoistočno od zaseoka Gorica iznad Mrežnice uz željezničku prugu
- izvor - lijeva obala - uz cestu Luka - željeznička pruga kod Mrežničke Poljice
- izvor - povremeni - lijeva obala - ispod kote 156 - utječe u lokvu ispod sela između kuća i obale Mrežnice
- izvor u zavoju ceste - lijeva obala – ispod Belavića
- izvor kod slapa - lijeva obala ispod Galović sela
- izvor - desna obala - jugoistočno od željezničke stanice Zvečaj u blizini prelaza skelom
- izvor Jezero - desna obala -južno od Radinovića
- izvor - lijeva obala - kod slapa ispod zavoja staze - istočno od Gornjeg Zvečaja
- izvor - desna obala - zapadno od Katića - ispod zavoja ceste

- izvor - lijeva obala - zaseok Mlinci, istočno od kote 196
- izvor - desna obala - naplavna zaravan, zapadno od kote 208 (južno od Žunića)
- izvor Bučak - lijeva obala - u kanjonu, južno od zaseoka Janjaći
- izvor - desna obala - južno od kote 222 Mravi br. (istočno od Ključarica)
- izvor - lijeva obala - ispod strmine Gradina na naplavnoj ravnicu uz slapove u blizini ušća Tounjčice

#### Tounjčica od izvora prema ušću u Mrežnicu

- izvor - desna obala - jugozapadno od kote 237 i zapadno od Dizdara
- izvor - desna obala - ispod kote 237. kod Šušnjara
- izvor Gojak - lijeva obala - ispod kote 237 ili sjeveroistočno od kote 257 Orljački Cerik
- Lisičino vrelo - desna obala - zapadno od zaseoka Lisice ili istočno od zaseoka Orljak
- izvor u kanjonu - lijeva obala - jugoistočno od zaseoka Orljak
- izvor uz slap i mlin - lijeva obala - južno od naselja Orljak
- izvor Mutva - desna obala - sjeverno od kote 265. Klarića glavica
- izvori Rudnice - tri izvora - desna obala - špiljska izvorišta Rudnica (zaseok Ožanići)
- izvor - lijeva obala - ispod kote 248
- izvor Kukača (pritoka Tounjčice!) - desna obala - zapadno od Skočića i kote 250,5
- izvori Tounjčice - naznačeni i kao speleološke pojave!

#### Nastavak vodotoka Mrežnice (iza ušća Tounjčice) prema izvoru

- izvor ispod pećine - lijeva obala - sjeverozapadno od mosta u Juzbašićima
- izvor kod Smoljanovog mlina - desna obala – Karajlovići - Čujića vrelo - lijeva obala - istočno od Čujići i kote 255.127
- Dva vrela - lijeva obala - istočno od Milkovića
- izvor u koritu - desna obala - zapadno od Rončevića i kote 257
- izvor - lijeva obala - kanjon, lokalitet Popovići, istočno od kote 290°
- Batalesko vrelo - desna obala - sjeverno od Čuruvijinog mosta

#### Povremeni vodotok pritoka Suvača

- izvor ispod pećine kod Milkovića

#### Vodotok Mrežnice

- izvor uređen - desna obala - ispod prilaznog puta od kote 280 prema glavnom vrelu
- izvor - Vrelo Mrežnice - uzlazno krško vrelo, sjeverno ispod cestovnog zavoja

### **4.3.3 SLIJEV RIJEKE KORANE**

Rijeka Korana je središnji, najvažniji i najduži vodotok Korduna i najveći pritek Kupe. Dužina toka od Sastavaka na Plitvicama do ušća u Kupu iznosi 142 km s ukupnim padom od 323 m. Obzirom da duž toka Korane s istočne strane prevladavaju manje propusne trijaske i kredne karbonatne stijene i slabopropusni sedimenti kredno-paleocenskog fliša i tercijara,



Korana ovdje ima brojne pritoke te razvijeniju i razgranatiju hidrografsku mrežu nego na zapadnoj strani svog porječja gdje dominiraju jako okršene karbonatne stijene jurske i kredne starosti. Takav raspored podloge je uzrok asimetrične riječne mreže Korduna. Veći desni pritoci su rijeke Toplica i Mutnica uzvodno od Slunja, koje dreniraju Cazinsko-Tržačko područje te vodotok Radonja koja drenira sjeverozapadni dio Petrove gore. Od lijevih, u Slunju se u Koranu ulijeva Slunjčica, a kod Turnja pred Karlovcem njen najveći prtok Mrežnica.

Najstarije naslage registrirane u slijevu su klastiti paleozojske i trijaske starosti na području Petrove gore i manja pojava istih na području Kremenite glave uzvodno od Slunja gdje inače prevladava karbonatni razvoj jure i krede i pravi krški reljef. Pojave klastičnih sedimenata neogenske i pliokvartame starosti vezane su uz paleodepresije formirane duž Korane uzvodno od Slunja, naročito na desnoj obali rijeke istočno prema Cazinu.

Izvorišno područje rijeke Korane su Plitvička jezera. Voda se preljeva preko hidrogeološkog praga izgrađenog od gornjotrijaskih dolomita i razlijeva se u formi jezera po nepropusnoj podlozi. Jezera su nastala taloženjem vapnenačke sedre na podvodnoj vegetaciji u geološkom razdoblju holocen (u zadnjih 10.000 godina). Na preljevnim mjestima nastaju ustave od sedrenih barijera kojima je pregrađena usječena riječna dolina i preinačena u niz od 16 stubasto poredanih bazena s protočnim jezerima. Gornja jezera stvarana su u gornjotrijaskim dolomitima, a donja u rudistnim vapnencima senona. Svih 16 jezera smjestilo se između Male Kapele i Plješevice. Najveća su Proščansko i Kozjak. Plitvički slap u Sastavcima, visine 72 m, ušće je lijevog pritoka Plitvičkih jezera - potoka Plitvice i početak riječnog toka Korane. Potok Plitvica izvire iz lijaskih vapnenaca, a njegovo slijevno područje se prostire prema Ličkoj Jesenici, prema kojoj se isto drenira dio vode tog prostora.

Na jezeru Kozjak napravljen je površinski zahvat vode (70 l/s) za potrebe vodoopskrbnog sustava „Plitvice – Rakovica“. Zahvaćanjem vode remeti se režim tečenja na najvećem slapu i time s vremenom usporava proces stvaranja sedrenih barijera - oduzimanje vode umanjuje vrijednost slapa i narušava prirodni ambijent nacionalnog parka.

Već iza donjih jezera Korana usijeca usku kanjonsku dolinu u rudistnim vapnencima senona i zadržava kanjonski tok sve do Tržačkih Raštela. U vodopropusnim gornjokrednim vapnencima gubi se velik dio vode. Poniranje Korane u krško podzemlje započinje uzvodno od mosta prema Plitvicama, a gubici se zapažaju duž ove cijele dionice. Između sela Plitvice i Drežnika korito rijeke je tijekom sušnih razdoblja potpuno suho. Trasiranja tokova vode u podzemlju su pokazala da veći dio vode otječe u slijev rijeke Une prema izvorištu Klokot kod Bihaća, a manji dio vode ponovno izvire u koritu rijeke kod Drežnik Grada. Izviranjem u koritu već se nizvodno od Sadilovca formira stalni tok i prije ulaza u Tržačko polje Korana je prava rijeka.

Prijelaz Korane iz dubokog u plitki krš obilježen je ulaskom rijeke u markantnu Unsko – koransku zaravan kod Tržačkih Raštela i prijelazom kanjanskog profila doline u prošireni (JURAK, 1983). Nizvodno od Tržačkih Raštela rijeka teče granicom krškog i nekrškog područja. Kako protječe između krednih vapnenaca na zapadu i mekih klastičnih naslaga srednjeg miocena koje na istoku zapunjuju sjeverni dio Cazinskog bazena, Korana je zbog meandrirajućeg riječnog toka izradila široku dolinu ispunjenu aluvijalnim taložinama. Dolina se pruža sjeverozapadno sve do Trnova, nedaleko Slunja. Značajniji desni pritoci Korane su

Toplica kod Tržačkih Raštela i Mutnica u Tršcu. One dreniraju neogenski bazen Cazin - Tržac i sjeverozapadni dio Bihačkog bazena. Toplica i Mutnica su u Republici Bosni i Hercegovini razvile bogate hidrografske mreže normalnih (nekrških) karakteristika zahvaljujući geološkoj građi istočnog pobočja Korane: gornjojuski i jurski dolomiti te kredno-paleocenski fliš u podini transgresivnog i vodonepropusnog neogena (mioocenski klastiti, tufitični lapori i laporoviti vapnenaci s interkalacijama tufova i ugljena). Lijevo, zapadno pobočje Korane uglavnom je krških značajki (plitki krš). Vode se dreniraju podzemno i istječu na manjim izvorima u blizini glavnog recipijenta, rijeke Korane koja predstavlja erozijsku bazu za podzemne vode.

Nizvodno od Trnova Korana napušta nekrško područje i ponovno ulazi u karbonate usjekavši do Slunja korito u malmskim i donjokrednim naslagama plitkog krša. Karbonatnu monotoniju krajolika narušavaju jedino vodonepropusni permski klastiti uzvodno od Slunja koji su zajedno s klastično-dolomitnim kompleksom srednjeg trijasa reversno natisnuti na sinklinalne dijelove jure i krede (Ijuska Kremenita glava, Tumač OGK Slunj). Nekrška razvodnica Korane sa slijevom rijeke Gline definirana je najvećim dijelom kao topografska (orografska) površinska u pojasu vodonepropusnog kredno-paleocenskog fliša koji je transgresivan na platformske karbonate jurske i kredne starosti.

U Slunju je ušće rijeke Slunjčice. Ona je lijevi pritok Korane, a utječe u Koranu slapovima Rastoke. Uzvodno na Slunjčici izveden je površinski zahvat za vodoopskrbu Slunja i okolice (vodoopskrbni sustav "Slunj" kapaciteta 50 l/s). Slunjčica izvire jakim krškim izvorom minimalne izdašnosti oko 400 l/s. Slijev izvora je prostrano karbonatno područje koje zalazi u zonu visokog krša - jugozapadno prema Ličkoj Jesenici i istoimenoj ponornici te jugoistočno prema Rakovici, a ne isključuje se niti veza s ponornom zonom Korane nizvodno od Plitvičkih jezera. Trasiranjem je dokazana direktna podzemna veza izvora Slunjčice s ponorom u Rakovici te ponornih voda rijeke Ličke Jesenice u istoimenom mjestu. Ispod mosta u samom mjestu Lička Jasenica istoimena rijeka se postupno gubi u ponorima, da bi se tekući petnaestak kilometara zračne linije pod zemljom, ponovno ukazala na izvoru Slunjčice.

Nakon Slunjčice, sve do ušća Radonje, Korana nema pritoka čime je još izražajnije njeno kanjonsko usijecanje u krški ravnjak (jurski i kredni karbonati plitkog krša). Od Slunja do Veljuna, slijev Korane se suzuje na koridor širine oko 5 km koji je stiješnjen između sljevova praktički paralelnih tokova Mrežnice na zapadu i Gline na istoku. Rijeka zadržava funkciju drena što potvrđuju brojni izvori uz njeno korito u bokovima kanjona. Nizvodno od Veljuna slijev Korane se širi prema istoku u nepropusno područje sjeverozapadnih padina Petrove gore koje drenira rijeka Radonja i njeni bujični pritoci. Pretežu paleozojski klastiti i dolomitno - klastični kompleks stijena trijasko starosti (strukturna jedinica alohton Petrove gore).

Za lokalni vodovod "Veljun" kaptirana su sjeverno od Veljuna dva, međusobno 100 m udaljena krška, silazna pukotinska izvora Velika i Mala Vrebuša u dogerskim dolomitima s lećama vapnenaca. To su stalni izvori minimalne izdašnosti 0,5 i 2,5 l/s. Predstavljaju izdanke plitke podzemne vode s velikim oscilacijama kapaciteta, intenzivne i brze reakcije na oborine.

Nizvodno od Barilovića Korana ulazi u teren gotovo bez krških značajki (strukturna jedinica Petrova gora). Zastupljeni su paleozojski i trijaski klastiti, trijaski dolomiti i terciarni sedimenti (pretežito pliokvartarne i kvartarne riječne i barske taložine). Tok je polaganiji, obale

pliće, a dolina šira sve do ušća u Kupu kod Karlovca. Neposredno prije ulaska Korane u Karlovačku kotlinu, rijeka kod Tušilovića prima Radonju, svoj posljednji desni pritok.

Rijeka Radonja je naglašeno bujična rijeka koja se prvenstveno napaja vodama s naslaga paleozoika Petrove gore. Prije ušća prima Budačku Rijeku koja započinje jakim špiljskim izvorom Vrelce i čija riječna dolina brazdi graničnom zonom zapadnog krškog i istočnog nekrškog predjela, tako da njeni lijevi pritoci dreniraju plitki krš šireg područja Krnjaka, a desni nepropusne brdovite terene zapadnog gorskog vijenca Petrove gore.

Izvorište Radonje sastoji se od velikog broja potoka s manjim procjednim, djelomično periodičnim izvorima, koji se u dolini skupljaju slijevanjem po nepropusnoj do slabopropusnoj podlozi. Radonja je glavni recipijent svih stalnih i povremenih gorskih vodotoka sjevernih i sjeverozapadnih padina Petrove gore te dijela Karlovačkog pobrđa čija je izdašnost izvora vrlo mala. Ovo područje izgrađeno je od nepropusnih paleozojskih i donjotrijaskih klastita i paleozojskih škriljavaca koji dozvoljavaju samo površinsko otjecanje vode uz manja istjecanja iz pripovršinskih rastrošenih zona. Predstavlja potpunu hidrogeološku barijeru prema Karlovačkoj kotlini. Brojni su manji izvori na visinama iznad 250 do 300 m.n.m, ali oni ljeti obično presuše. U dolinama vodotoka, uz korito, istaložene su gline, lapori, pijesci i šljunci pliocenske i kvartarne starosti. Na zapadnim obroncima Petrove gore, jugozapadno od Kuplenskog, zahvaćen je silazni izvor Vrlesina. Riječ je o stalnom izvoru u dolomitima kapaciteta 4 l/s koji pripada slijevu Radonje.

Korana je od izuzetne važnosti za napajanje aluvijalnih vodonosnika kod Karlovca s kojima je u direktnoj hidrauličkoj vezi. Vodocrpilišta Gaza i Mekušje, uključena u vodoopskrbi sustav "Karlovac", kaptiraju podzemne vode plitkog aluvijalnog vodonosnika koji se prihranjuje vodama rijeke. Izgradnjom ustave na Koraninom ušću u Kupu usporavaju se vode rijeke u koritu čime je postignuta njihova pojačana infiltracija u vodonosnik, a time su povećani i eksploatacijski kapaciteti na vodocrpilištima Gaze. Smjer toka i razina podzemnih voda na području Gažanskog polja pod neposrednim su utjecajem površinskih tokova Korane i Kupe i mijenjaju se u skladu s njihovim vodostajima.

Vodocrpilišta Gaza I i III nalazi se na ušću Korane u Kupu. Sadrži pokrovni sloj gline i donji, podinski sloj praha i gline. Šljunčano pjeskoviti vodonosni sloj je deo 78 m (bušotina Ks-2). Vodonosnik je u uskoj hidrauličkoj vezi s rijekom Koranom; ona se tlačno infiltrira kroz vodonosnik, prilikom čega prolazi kroz proces autopurifikacije.

Vodocrpilište Švarača nalazi se u naselju Grabrik (Karlovac) na lijevoj obali Korane i pod snažnim je urbanističkim utjecajem okoline – brojne zgrade i lokalne prometnice u neposrednoj blizini. Ispod površinskog sloja humusa i sloja gline promjenjive debljine (u prosjeku oko 3,5 m), nalazi se pijesak i šljunak do dubine 6,5 m. Slijedi sloj krupnozrnatog šljunka debljine 2-4 m koji predstavlja glavni vodonosni sloj, a nepropusnu podinu čine mu naslage glinovitog praha. Vodocrpilište radi s jednim bunarom kapaciteta 60 l/s, nema hidrauličku vezu s Koranom već se kompletno prihranjuje iz zaleđa, sa Švarče. (TRGOVČIĆ, 1999).

Vodocrpilište Mekušje kapaciteta 60 l/s, sastoji se od četiri betonska zdenca dubine od 9 do 12 m i dva bušena bunara dubine 16 m. Udaljeno je 70 m od desne obale Korane i kaptira podzemnu vodu iz prvog šljunčano-pjeskovitog vodonosnog sloja debljine 3,5 do 4 m na

približno 4,5 m dubine koja je u direktnoj vezi s Koranom. Slijedi sitnozrnati pijesak pa prah koji je ujedno nepropusna podina. Vodocrpilište ima značajnu prihranu iz zaleda (kao i vodocrpilište Švarča), ali je pod snažnim hidrauličkim utjecajem Korane i postoji opasnost od onečišćenja, naročito pri višem vodostaju.

Na svom ušću Korana obogaćuje Kupu s dodatnih 86 m<sup>3</sup>/s vode - u ovom iznosu udio rijeke Mrežnice, koja se u Koranu ulijeva s lijeve strane neposredno pred Karlovcem, iznosi visokih 45 m<sup>3</sup>/s ili 52 % (Zemljopisni atlas Republike Hrvatske, 1993). Iz Plitvičkih jezera Korana ljeti dobiva tek oko 1 m<sup>3</sup>/s, a u kišnim razdobljima i stotinjak m<sup>3</sup>/s vode. Dimenzije prave rijeke poprima nizvodno od Slunja. Prosječni protok rijeke je 20,3 m<sup>3</sup>/s, maksimalni protoci su oko 220 m<sup>3</sup>/s, a minimalni 4,5 m<sup>3</sup>/s (HGK RH, 1998).

#### 4.3.4 SLIJEV RIJEKE KUPE

Duljinom toka od 295 km, a do ušća Korane u Karlovcu 160 km, Kupa je, nakon Dunava, Save i Drave, po veličini četvrta rijeka u Hrvatskoj. U Savu godišnje unosi oko 9 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> vode što odgovara prosječnom godišnjem protoku od 283 m<sup>3</sup>/s (Zemljopisni atlas Republike Hrvatske, 1993). Velikim dijelom je granična rijeka s Republikom Slovenijom. Izvori uz desnu, hrvatsku obalu rijeke daju najveći dio njenog protoka. U Karlovačkoj kotlini u nju se ulijevaju veliki pritoci s juga, Dobra i Korana s Mrežnicom, koji su glavni drenažni smjerovi dijela Dinarskog krša koji pripada slijevu Kupe. Svojim tokom od izvora do Ozlja gdje ulazi u Karlovačku kotlinu, Kupa cijelim tokom protječe područjem plitkog krša. Uži slijev rijeke Kupe dijeli se na gornji tok i donji nizinski tok od Karlovca do Siska (EGPV). Cijelokupni slijev rijeke Kupe je na području Republike Hrvatske omeđen na zapadu državnom granicom s Republikom Slovenijom, na jugu razvodnicom sljevova Jadranskog i Crnog mora, na istoku razvodnicom sa slijevom Une, a na sjeveru razvodnicom sa slijevom Save.

**Slijev gornjeg toka Kupe:** Pokriva veći dio Gorskog Kotara gdje obuhvaća visoku planinsku zonu od Prezida na sjeveru do Mrkoplja na jugu, ukupne površine 949 km<sup>2</sup> (EGPV). Visoke vode karakteristične su za jesen i proljeće, dok su mali vodostaji zabilježeni u ljetnim i zimskim mjesecima. Područje pripada karbonarnoj platformi Vanjskih Dinarida, Dinariku (HERAK, 1991).

Najstariji naslage su klastiti paleozojske starosti, vrlo rasprostranjene u Gorskom Kotaru. Zatim slijedi dominantno zastupljen karbonatni kompleks mezozojskih stijena raspona starosti od donjeg trijasa do završne krede. Prema Karlovačkoj kotlini česte su pojave pliocena i kvartara (Metličko polje). Na području Gorskog Kotara trasiranjima su utvrđeni tokovi podzemne vode u podlozi vodonepropusnih klastita paleozojske starosti (ispod klastita) čime je dokazan njihov alohton položaj (klastiti su tektonski izdignuti i navučeni na karbonate). Posebno su u tom smislu očigledni primjeri izvorišta Kupice i Zelenog Vira koji su sa svih strana okruženi nepropusnim klastitima (HGK RH, 1998). U tim zonama pojave mladih karbonatnih stijena predstavljaju tektonska okna.

**U strukturnom smislu** u gornjem toku razlikuju se dvije cjeline:

- Gornji dio slijeva na području Gorskog Kotara do Broda na Kupi s alohtonim položajem paleozojskog klastičnog kompleksa na karbonatnoj podlozi kroz koju slobodno cirkuliraju podzemne vode;

- Donji dio slijeva do Karlovačke kotline s naljuskanim karbonatnim kompleksom u kojem se izmjenjuju stijene jurske i kredne starosti u djelomično prebačenim i navučenim borama.

Nizvodno od Broda na Kupi slijevno područje se sužava na račun izvorišnog dijela slijeva Dobre i više nema velikih krških izvora, iako rijeka zadržava drenažne značajke. Od Severina na Kupi rijeka protječe kroz nisku vapnenačko-dolomitnu kršku zaravan. Kanjonska dolina dubine 50 do 60 m proširuje se jedino u Otočkom i Metličkom polju. Nizvodno od Ozlja Kupa ulazi u Karlovačku kotlinu čime započinje donji, nizinski tok i protjecanje kroz tercijarne i kvartarne naslage (CRKVENČIĆ i ostali, 1975).

GORNJI DIO SLIJEVA GORNJEG TOKA KUPE (do Broda na Kupi): Rijeka Kupa izvire na 321 m.n.m kao jaki uzlazni krški izvor (jezerce) iz jame duboke oko 80 m. Izdašnost izvora čak i u ljetnim sušnim razdobljima iznosi 1,2 m<sup>3</sup>/s (HGK RH, 1998). Izvire na sjeveroistočnim padinama planine Risnjak (Nacionalni park), u alohtonom terenu u kojem dobropropusni jurski karbonati predstavljaju kolektorsku stijensku masu u podini, a trijaski dolomiti i klastične naslage perma alohtone pokrovne elemente. Pokrovne naslage u krovini nemaju bitan utjecaj na dubinska kretanja vode u izvorištu.

Kupa poprima formu rijeke kod Osilnice gdje prima lijevi pritok Čabranku. U minimumu istjecanja izvor Čabranke daje 250 l/s (HGK RH, 1998). Kupa i Čabranka duž cijelog toka predstavljaju erozijsku bazu istjecanja vode u slijevu s pojavama vrlo jakih krških izvora na desnoj obali sve do Broda na Kupi. Razlog tome je što se u zaleđu nalazi prostrano sljevno područje s brojnim krškim poljima i rijekama ponornicama (Lokve, Mrkopalj, Delnice, Ravna gora). Trasiranja podzemnih tokova pokazala su da se izvorišta Čabranke i Kupe napajaju iz područja Risnjaka i Gerovskog kraja, a izvori uz desnu obalu iz centralnog dijela Gorskog Kotara (Lokve, Delnice, Ravna Gora).

U Brodu na Kupi, rijeka Kupa prima veći desni pritok Kupicu koja izvire 3 km južnije (255 m.n.m) iz lijaskih vapnenaca kao preljevni krški izvor minimalne izdašnosti 1,2 m<sup>3</sup>/s (HGK RH, 1998). Za vodoopskrbu Delnica i Mrkoplja zahvaća se 100 l/s. Dokazana je izravna podzemna veza izvora Kupice i Zelenog Vira s ponorima Lokvarke, što znači da se područje napajanja nalazi između Lokava i Delnica u karbonatnim stijenama mezozoika. Voda do izvora teče podzemnim tokovima kroz vodopropusni karbonatni kompleks u podini navučenih vodonepropusnih klastita paleozoika. Od brojnih izvora i potoka koji se pridružuju Kupici, najveći je Zeleni Vir minimalne izdašnosti 315 l/s. Izvire sjeverno od Skrada na 368 m.n.m iz markantne špilje u tankouslojenim vapnencima. Voda pritječe s juga kroz jurske karbonate, također ispod paleozojskih klastita (HERAK i BAHUN, 1968). Za vodoopskrbu Gorskog Kotara koristi se samo mali dio od količina istjecanja na izvorima Čabranke, Kupice, Glogodevca, Mrzlice i nekih drugih manjih izvora, dok ostale količine vrlo kvalitetne vode otječu slobodno Kupom prema Karlovačkoj kotlini. Mjerenja pokazuju da je to u minimumu oko 9 m<sup>3</sup>/s i to su strateške zalihe pitke vode. Dio krških polja u području Lokava, Delnica i Mrkoplja komunicira s izvorima uz desnu obalu Kupe i velikim krškim izvorima u slijevu rijeke Dobre.



DONJI DIO SLIJEVA GORNJEG TOKA KUPE (od Broda na Kupi): Nizvodno od Broda na Kupi rijeka napušta najviši planinski dio slijeva i tok koji je u strukturnom smislu obilježen alohtonijom Supradinarika na Dinarik što za posljedicu ima rasprostranjeno nalijeganje paleozojskih klastita i trijaskih dolomita na jurske karbonate. U daljnjem napredovanju prema istoku Kupa protječe krivudavom kanjonskom dolinom usječenom u malmske i donjokredne karbonate plitkog krša. U dolomitnoj podlozi riječna dolina se mjestimično proširuje i omogućuje lokalna odlaganja plitkih aluvijalnih taložina (Radenci, Pribanjci, Prilišće). Slijev Kupe se suzuje s južne strane i nema više velikih krških izvora, ali brojni izvori na obje strane riječne doline jasno pokazuju da ona služi kao dren šireg pojasa lijevog i desnog pobočja.

Zbog niskog hipsometrijskog položaja i relativne usporne hidrogeološke funkcije čestih dolomita, u koritu rijeke lokalno su zapažena manja poniranja vode koja se ubrzo ponovo vraća (izvire) u istoj dolini. U samoj dolini Kupe, od Dola do Radenaca, može se pratiti poprečnim rasjedima razlomljena antiklinala s vapnenačko-dolomitnim naslagama gornjeg malma u tjemenu strukture. Dalje, nizvodno od Radenaca, u navlačnoj ljustici (geološkoj strukturi) Koprivnik - Koločaj - Ponikve, tok rijeke do Severina na Kupi prati tjeme u početku normalne, a prema jugoistoku prebačene malmske antiklinale Radenci-Jadrč. Kod Severina na Kupi u blizini desne obale Kupe izvire stalni krški izvor Umolac. Procijenjena minimalna izdašnost je 30 l/s od čega je 5 l/s kaptirano za lokalni vodovod "Severin na Kupi" koji vodom opskrbljuje naselja od Severina do Zdihova.

Nizvodno od Severina na Kupi rijeka ponovo skreće na istok i prelazi u vapnence donje krede gdje, sve do Božakova i Kamanja, nastavlja protjecanje plitkokrškom zaravni nekadašnje karbonatne platforme. Unutar tog kompleksa naslaga formirano je više strukturnih jedinica dinaridskog pružanja koje su kao ljustice navučene jedna na drugu u smjeru jugozapada (vergencije prema sjeveroistoku). U velikim, djelomično prebačenim i navučenim borama koje su uzdužno ispresjecane uglavnom reversnim, a poprečno i brojnim normalnim rasjedima, izmijenjuju se dobropropusni vapnenci donjokredne starosti u sinklinalnim strukturama i malmski vapnenci sa slabije propusnim okršenim dolomitima u antiklinalnim strukturnim formama. Razvijene su brojne vrtače (tzv. "boginjavi" krš) koje ukazuju na intenzivno i brzo otjecanje površinskih voda u podzemlje. Obzirom na male visine terena i male gradijente, rijeka Kupa predstavlja erozijsku bazu za podzemne vode koje ju napajaju preko niza izvora u bokovima korita. Ti bazni dotoci su od posebne važnosti za opstanak vodotoka kod niskih vodostaja, odnosno hidroloških minimuma.

Brdski masiv Lipnik određuje južni rub prostranog Metličkog polja. Južni dio polja je djelomično pokriva terra rossa, no poljem dominiraju aluvijalne taložine Kupe i pliokvartarni klastiti transgresivni na vapnenačku podlogu. U Metlici izvire stalni krški izvor Obrh na rasjednom kontaktu malmskih vapnenaca s gornjotrijaskim i lijaskim dolomitima. Potok Obrh nakon kratkog toka kroz aluvij Kupe je u Metličkom polju njen posljednji pritok.

Napuštajući Metličko polje i strukturnu jedinicu navlaka Črnomelj-Bosiljevo, Kupa prelazi u navlaku Zvečaj-Metlika koja je na prostoru užeg slijeva Kupe, zastupljena jurskim karbonatima i na njih transgresivnim senonskim i pliokvartarnim klastitima. Sjeveroistočno od Ozlja, brežuljkasti reljef sjeverno od Kupe postupno se uzdiže sve do najvišeg vrha Žumberačke Gore, Svete Gere na 1.181 m.n.m, dok je južno od rijeke teren niži i nadvisuje

dolinu Kupe s najvišim vrhom Vodenica (538 m.n.m) kojim prolazi orografska razvodnica sa susjednim slijevom rijeke Dobre. Već kod Božakova uz Kupu se prate senonski klastiti ("vivodinski fliš") koji se od Kamanja do Ozlja kontinuirano nastavljaju i na desnu obalu rijeke. U hidrogeološkom pogledu oni predstavljaju vodonepropusni kompleks naslaga, no njihovu podinu čine propusne vapnenačke stijene. Naime, senonski klastiti (vapnenačke breče, konglomerati, pješčenjaci, siltozni i pjeskoviti lapori) u diskordantnom su odnosu s malmskim vapnencima podloge na koju su istaloženi kao fliševi na rubnim padinama karbonatne platforme Dinarika. Nizvodno od Ozlja Kupa meandrirajući skreće na jug i ulazi u Karlovačku kotlinu ispunjenu neogensko-kvartarnim taložinama.

Sjeverozapadno od Karlovca na obroncima brežuljaka desne obale Dobre izdvojeni su klastiti gornjeg paleozoika. Mlađe naslage uglavnom su transgresivne na paleozoik, a dijelom su utvrđeni i rasjedni kontakti. Probivši korito kroz vodonepropusni paleozojski kompleks, velika krška rijeka Dobra se kod Mahičnog ulijeva u Kupu. Meandrirajući prema jugu duž zapadnog ruba Karlovačke kotline, Kupa protječe rubom aluvijalne ravnice koja površinski prekriva složene strukturne odnose u podzemlju istočno od rijeke. Naime, tok Kupe uglavnom prati tektonski kontakt permskih klastita strukturne jedinice navlake Zadoborje s trijaskim klastitima i dolomitima navlake Stative - Grandić Breg i Zagradci. Zajedno čine bazensku osnovu Karlovačke depresije (temeljnu stijensku masu) i pripadaju Supradinariku. Djelomično prekriveni, a dijelom i u rasjednom kontaktu s diskordantnim kongerijskim laporima (Rhomboida naslage gornjeg pontaa), transgresivnim pliokvartarom (gornjopliocensko-donjopleistocenski Belvedere šareni kvarcni i vapnenački pijesci i zaglinjeni šljunci) i diluvijem izdižu se na površinu kao brdoviti teren na desnoj obali Kupe.

U sjeverozapadnom predgrađu Karlovca na vodocrpilistu Borlin dva bunara zahvaćaju 44 l/s arteške vode iz dolomitnog kršja trijasko starosti na dubini od dvadesetak metara. U krovini se nalaze laporovite gline (Rhomboida) i pliokvartarni (Belvedere) prašinski šljunci, pijesci i gline.

**Slijev donjeg toka Kupe:** Donji nizinski tok Kupe proteže se od ušća Korane u Karlovcu do ušća Petrinjčice pred Siskom. U Karlovačkoj depresiji to je velika nizinska rijeka. Na plovnom dijelu nizvodno od Karlovca široka je od 100 do 130 m, a dubina varira od 1 do 10 m. U nizini je otjecanje voda često usporeno čemu doprinosi i povišen vodostaj Kupe u proljeće i jesen uvjetovan jakim dotokom vode iz planinskog dijela slijeva u Gorskom Kotaru, ali i mali kapacitet protjecanja u suženju između ogranaka Petrove gore i Vukomeričkih gorica. Kupa između Karlovca i Siska ima izmijenjeni snježno – kišni režim (CRKVENČIĆ i ostali, 1975). Najveći vodostaji su u svibnju. Sekundarni maksimum je u listopadu, ali kod Siska - zbog visokih savskih voda, može biti u studenome pa čak i u prosincu. Malo vode ima u ljetnim i zimskim mjesecima (KOVAČEVIĆ, 2005).

U Karlovačkoj kotlini je hidrografsko čvorište. Ovdje Kupa prima najviše pritoka. Osim velikih desnih, u najnižim predjelima sjeveroistočno od Karlovca skupljaju se i brojni manji, lijevi pritoci Kupe (njih 36) sa Žumberačko - plješivičkog prigorja (sljevovi Kupčine i Blatnice) i Vukomeričkih gorica. Porječje Kupe u Karlovačkom Pokuplju je asimetrično budući da Kupa teče podnožjem sjevernih obronaka Petrove i Zrinske gore pa je najveći dio Karlovačke kotline smješten od nje sjeverno, šireći se lepezasto uz lijeve pritoke. Južno od rijeke, između ušća Dobre i Gline, prostire se nisko pobrđe prekriveno uglavnom neogenom i



pliokvartarom kroz kojeg put do Kupe nalaze vodotoci Karlovačkog niskog krša, Korduna i dijela Banovine. Desni pritoci su duži i bogatiji vodom od lijevih. Zbog većeg pada teku brže i ulijevaju se u Kupu gotovo okomito. Lijevi pritoci su kraći, ali brojniji. Donose sitni mulj koji se poplavama taloži kao nepropusni površinski polojni sloj. U donjem toku prolaze niskom ravnicom te teku sporo i gotovo paralelno s Kupom. Pad im nije dovoljan za probijanje šljunkovite više zone na lijevoj obali Kupe i izravno ulijevanje. Glavni desni pritoci Dobra i Korana s Mrežnicom, za razliku od lijevih ne utječu na položaj korita Kupe tj. ne potiskuju rijeku jer ne donose mnogo naplavina. To su pritoci iz krškog kraja u kojem je spiranje nezatno, a vode se filtriraju kroz jezera iza sedrenih barijera. (CRKVENČIĆ et al, 1975).

Najstarije stijene sljevnog područja donjeg toka Kupe na prostoru Karlovačke kotline pripadaju paleozoiku, klastično razvijenom na području Petrove gore, istočno od Tušiloviča (slijev Trebinje i Utinje). Paleozojski klastiti i šejlovi (navlaka Zadoborje) zajedno s trijaskim klastitima (navlaka Zagranci) i dolomitima (navlaka Stative-Grandić Breg) djelomično su prekriveni mlađim sedimentima tercijara i obrubljuju Karlovačku kotlinu s jugozapadne i južne strane (Tumač OGK Črnomelj). Nastavljaju se prema jugoistoku u alohton masiv Petrove gore, a predstavljaju rubne dijelove Supradinarika. Ujedno izgrađujući najdublje utonulu i dezintegriranu bazensku osnovu Karlovačke kotline. Centralni dio bazena zapunjavaju kvartarne taložine dok u rubnim dijelovima prevladavaju naslage neogena uz znatnu prisutnost sedimenata mezozoika i mlađeg paleozoika.

Centralni dio Karlovačke depresije prekrivaju debele taložine kvartara. Ukupna debljina dokazana bušenjem u području Crne Mlake iznosi oko 150 m, a smanjuje se prema rubovima sedimentacijskog bazena. Tako su na ušću Korane u Kupu (vodocrpilište Gaza) 102 m dubokom strukturnom bušotinom Ks-2 do dubine 81 m probušeni uglavnom pijesci, mjestimično prašnasti i zaglinjeni, kojima podinu čine laporovite gline gornjopliocenske starosti. Debljine holocenskih naslaga variraju od prosječnih 10 m do maksimalno 20 m.

Karlovačka depresija u morfološkom, hidrogeološkom i hidrološkom smislu čini cjelinu. Njeno spuštanje je relativno mlado, neogensko, a današnji oblik postignut je u pliocensko - pleistocenskom periodu. Predstavlja više manje zaravnjeni prostor lagano nagnut prema središnjem, najnižem dijelu depresije u kojem se prostire zamočvareno područje Crne Mlake na 107 m.n.m. Južni dio depresije, brežuljkasti pojas s desne strane Kupe, nalaze se na 108 do 118 m.n.m. Ova visinska razlika posljedica je spuštanja centralnog dijela i izdizanja perifernih dijelova bazena pod utjecajem najmlađih tektonskih pokreta.

Prema hidrogeološkim značajkama (BARILIĆ, 1998) sedimenti Karlovačke kotline mogu se generalno podijeliti na:

1. vodonepropusne sedimente: klastiti mezozoika i paleozoika, lapori tercijarne starosti i prašnaste gline kvartara;
2. slabo vodopropusne sedimente: karbonatne stijene mezozoika i neogena te pijesci tercijara i kvartara;
3. dobro vodopropusne sedimente: šljunci i pjeskoviti šljunci, tercijarne i kvartarne starosti.

---

Među njima razlikuju se dvije grupe vodonosnika:

- klastične stijene primarne međuzrnske poroznosti koje ispunjuju Karlovačku kotlinu;
- karbonatne stijene sekundarne pukotinske poroznosti koje izgrađuju rubna gorja (Žumberačko gorje i Petrova gora) i periferne dijelove Karlovačke kotline.

Strateškim zalihama na ovom području smatraju se podzemne vode Karlovačke kotline u dijelu gdje je moguće osigurati prihranjivanje aluvijalnog vodonosnog sloja vodama Kupe i njenih pritoka. Njihova kvaliteta ovisna je o uspješnosti očuvanja kvalitete voda rijeke Kupe i pritoka. Podzemna voda u karbonatnim vodonosnicima je odlične kakvoće, ali je njena ugroženost velika u području trijaskih dolomita (izvori), naročito u naseljenim dijelovima (EGPV).

## 4.4 HIDROGEOLOŠKA RASČLAMBA PROSTORA ISTRAŽIVANJA

Na području istraživanja hidrogeološki se razlikuju dva područja: krško i nekrško. Podjela je uvjetovana rasporedom struktura Dinarida. Granica Unutrašnjih i Vanjskih Dinarida općenito je obilježena flišem i navlačnim tektonskim kontaktom, a prolazi jugozapadnim Žumberkom, južnim rubom Karlovačke kotline te uz alohtoni masiv Petrove gore nastavlja se prema jugoistoku.

Južno se prostiru Vanjski Dinaridi, prostor nekadašnje karbonatne platforme Dinarika, gdje dominiraju okršene karbonatne stijene mezozojske starosti unutar kojih su formirani značajni vodonosnici koji se prazne preko jakih i stalnih krških izvora. Sjeverno su Unutrašnji Dinaridi tj. Supradinarik - nekadašnji dubokomorski bazenski prostor čiji je postanak vezan uz oceanski pojas Tethysa. Ovdje u osnovnim, podinskim strukturama koje čine podlogu mlađim naslagama prevladavaju klastične, metamorfne i eruptivne stijene, a najvažniji vodonosnici su mlađe naslage kvartarne starosti, formirani u aluviju rijeke Kupe unutar Karlovačkog neogenskog sedimentacijskog bazena.

### 4.4.1 PODRUČJE KRŠA

Područje krša nije jedinstvena cjelina. U hidrogeološkom pogledu dijeli se na područje dubokog i područje plitkog krša. Iako je osnova njihove diferencijacije hidrogeološki kriterij, ove dvije prirodne cjeline također se jasno razlikuju u hidrografskom i morfološkom smislu što je posljedica različitog stupnja razvijenosti krša uslijed razlika u evoluciji reljefa uvjetovanih različitim geološko-strukturnim dubinskim odnosima (KOVAČEVIĆ, 2005). Na primjer, u dubokom kršu prevladavaju speleološki objekti vertikalnog usmjerenja i veće dubine, dok su za plitki krš tipični horizontalni podzemni objekti. Područja dubokog i plitkog krša morfološki su kontrastne cjeline različitih visinskih odnosa pa je njihov prijelaz obilježen stanovitom denivelacijom. Duljim potezom uglavnom prati izohipsu od 400 m.n.m pa je tako i reljefno markiran (JURAK, 1983). Kako su nazivi duboki i plitki krš neizostavno povezani s hipsometrijom, često se upotrebljavaju sinonimi visoki i niski krš.

Granica dviju cjelina nije oštra linija, već, prijelazna zona obilježena pojavama brojnih jakih krških izvora. Značajniji su: Ribnjak, Gojačka Dobra, Bistrac, Tounjčica, Kukača, Rudnica, Primišljanska Mrežnica i Sljunjčica. Izvori su nastali u zoni graničnog područja između dubokog i plitkog krša koji se međusobno razlikuju po dubini erozijske baze. Žumberak, Kordun i Banovina dio su unutrašnjeg krškog pojasa u kojem je okršavanje plitko - između 50 i 150 m. Gorski Kotar i Lika pripadaju središnjem krškom pojasu gdje su dubine okršavanja veće i dosežu od 150 do 450 m.

Zona regionalnog razgraničenja dubokog i plitkog krša velikim dijelom ima tektonsku osnovu. Predodređena je rasjedima. Regionalnom tektonskom linijom Tounj-Primišlje-Slunj oštro su odijeljeni krški prostori različitih strukturnih obilježja. Jugozapadno od nje nalazi se duboki krš. Strukture imaju dinarski pravac pružanja i protežu se linearno s paralelnim (uzdužnim) redanjem. Sjeveroistočno se prostire područje plitkog krša u kojem je dominantna rasjedna tektonika gotovo uništila tragove nekadašnjih bora. Mrežom rasjeda područje je

dezintegrirano u blokove poput mozaika, tako da struktumi elementi više nisu povezane cjeline. Posljedica je disperzija podzemnih voda i raštrkani razmještaj hidrogeoloških objekata.

**DUBOKI KRŠ:** Prostire se u zaleđu spomenutih velikih krških izvora. Prema „Hidrogeološkoj rajonizaciji Dinarskog krša“ (HERAK, BAHUN i MAGDALENIĆ, 1969) toj zoni krša pripisuje se središnji hidrogeološki pojas kojem pripada gorsko područje Kapele i Plješevice, uključujući i izvor Slunjčice. Osnovna strukturna obilježja tog prostora su: dinaridski pravac pružanja bora i rasjeda, mali indeks boranja, tonjenje struktura prema jugoistoku s mjestimičnom undulacijom osi bora (valovitog pružanja u prostoru) te intenzivna rasjedna tektonika u sinklinalnim dijelovima područja.

Morfološke i hidrogeološke značajke upućuju na najviši stupanj razvijenosti krša. Velika debljina karbonatnih naslaga zastupljenih pretežito tektonski razlomljenim vapnencima s velikom pukotinskom poroznošću, pogodovala je razvoju krških fenomena čija se evolucija razvijala naglašeno u vertikalnom smjeru. Erozijom su zahvaćeni dublji slojevi, a zbog velike dubine okršavanja (duboko smještene erozijske baze) uobičajne su pojave dubokih podzemnih voda. Bogata podzemna hidrografska mreža doseže veće dubine, a složeni i teško predvidivi smjerovi tokova podzemne vode doprinose znatnom odstupanju površinskih (topografskih) razvodnica od podzemnih.

Krška obilježja su najizraženija u područjima koja izgrađuju propusne vapnenačke naslage. Pomanjkanje većih i stalnih površinskih tokova svjedoči o brzom poniranju kroz vodopropusni medij i na intenzivnu infiltraciju oborina u podzemlje gdje se tektonski predisponiranim putovima cirkulacija vode nastavlja često u obliku koncentriranih podzemnih tokova. Na taj način velike količine vode teku podzemno do nailaska na vodonepropusnu barijeru preko koje se prelijevaju na izvorima uzlaznog tipa. Za razliku od plitkog krša, u dubokom kršu su horizontalne i vertikalne udaljenosti između ponora i izvora veće. Značajka dubokog krša također su pojave stalnih izdašnih krških izvora. Oni su mjesta pražnjenja putem kojih se podzemne vode prelijevaju iz podzemne retencije ostvarene u propusnom vapnenačkom zaleđu iza nepropusne barijere.

Masiv Kapele predstavlja veliko prirodno sabirno područje voda, tzv. Gornje sabirno područje (BAHUN, 1968) pa na njenim vodopropusnim vapnenačkim padinama nema većih površinskih tokova. Pojava izvora podno Kapele, kojima započinju vodotoci potkapske Ogulinsko-plašćanske udoline, uvjetovana je položajem trijaskih i jurskih dolomita koji zbog litološkog sastava i strukturnog položaja čine barijeru tokovima vode u podzemlju (tzv. Gornje usporno područje). Najznačajniji stalni uzlazni izvori su Vitunj, Zagorska Mrežnica, Bistrac, Vrnjika, Dretulja i vrela Ličke Jesenice.

**PLITKI KRŠ:** Ponovnim izviranjem vode na površini u zoni izvora od Gojaka preko Tounjčice i Primišljanske Mrežnice do Slunjčice prestaje koncentriran podzemni tok vode na nižu stepenicu (tzv. Donje sabirno područje). Dalje prema sjeveroistoku (u širem smislu Karlovačka zaravan i Kordun) postoje stalni površinski tokovi i stalne, djelomično povezane podzemne vode. To je tzv. Donje usporno područje (BAHUN, 1968). Područje plitkog krša pripada unutrašnjem hidrogeološkom pojasu (HERAK, BAHUN, MAGDALENIĆ, 1969). Vrlo složena geološka i strukturna građa imaju presudan utjecaj na formiranje vodonosnika i

hidrauličkog mehanizma tečenja i istjecanja podzemne vode koje imaju sve specifičnosti regije plitkog krša.

Temeljno obilježje plitkog krša je fluviokrški reljef koji se odlikuje kombinacijom krških i normalnih hidrogeoloških odnosa (fluviokrš). To je prostranstvo dominantnih mezozojskih karbonatnih stijena, ali podređeno i tercijskih klastičnih naslaga među kojima su najzastupljeniji fliševi paleogenskog raspona starosti. U odnosu na duboki krš mogućnost sabiranja voda je manja zbog veće prisutnosti nepropusnih površina, ali i općenito manjih prosječnih godišnjih količina padalina. Područja plitkog krša okarakterizirana su znatnim nadzemnim tokovima i manjom debljinom karbonatnih naslaga u usporedbi s dubokim kršem. Razvijene plitke krške pojave prekinute su probojima starijih slabopropusnih do nepropusnih naslaga koje značajno utječu na podzemnu cirkulaciju i uvjetuju relativno plitke tokove. Dubina krške cirkulacije nije velika. Vodno lice je plitko što pokazuju česta oka u dolinskom kvartaru. Brojni i često periodični izvori male izdašnosti, dispergiranoš vode, isprekidanost tokova i opetovano poniranje na kratkim udaljenostima upućuju na postojanje plitke nepropusne podloge. Uslijed njenog svijanja i denivelacije ne postoji hidraulička veza između vodotoka, uprkos propusnim terenima međurječja što je u skladu s osnovnim tipom strukture ovih prostora - dezintegracija u blokove. Te dublje, a opet u odnosu na duboki krš relativno plitko smještene naslage, onemogućavaju otjecanje vode izvan granica slijeva pa razvodnice slijede morfologiju terena i podudarne su s topografijom.

U geografskom smislu područje pripada Kordunu i Karlovačkom niskom kršu koji su tipični po velikoj gustoći vrtača (boginjavi krš). Mnogobrojne vrtače ukazuju na laku karstifikaciju i svjedoče o intenzivnom i brzom otjecanju površinskih voda u podzemlje. Kvartarne boksitične gline (terra rossa) ispunjavaju ta morfološka udubljena čineći slabopropusni (nepropusni) zaštitni pokrivač intenzivno okršenoj i na vanjske utjecaje osjetljivoj karbonatnoj podlozi. Kvartarne naslage nalaze se i u riječnim dolinama. Zastupljene su većim udjelom ilovače, pijeska i gline, rjeđe šljunka. Slabo su propusne i ne sadrže znatnije količine podzemne vode.

Sljevovi rijeka Kupe, Korane, a naročito Dobre i Mrežnice, izrazito su suženi i međusobno stiješnjeni u odnosu na svoje gornje visokokrške dijelove toka. Rijeke često teku kanjonskim dolinama duboko usječenim u karbonatnu podlogu. Zbog relativno niskog hipsometrijskog položaja korita i obzirom na male visine terena i male hidrauličke gradijente, ove rijeke predstavljaju erozijsku bazu za podzemne vode. Osim što primaju kraće povremene i stalne pritoke, rijeke dreniraju priljevna karbonatna pobočja prekrivena deluvijalnim nanosom promjenjive debljine, napajajući se tako podzemnom vodom preko niza stalnih izvora smještenih u bokovima riječnih korita. Navedene rijeke zapravo su izdanci (vodna lica) podzemne vode koja sama izlazi na površinu. Ti bačni dotoci od posebne su važnosti za opstanak vodotoka kod niskih vodostaja - kod hidroloških minimuma, na što ukazuje relativno obilje voda ovih rijeka i u najsušnijim razdobljima.

Mjesta izviranja dobrim dijelom su uvjetovana razlikama u stupnju propusnosti između samih karbonatnih stijena, a raspored im je prilično razbijen u blokove. Učestale, gotovo mozaične izmjene vapnenačkih propusnih stijena sekundarne pukotinsko-disolucijske poroznosti s nepropusnim do slabo propusnim dolomitnim i klastičnim kompleksima naslaga, posljedica su brojnih rasjeda. Zajedničko obilježje izvora je mala izdašnost u sušnim, a velika



u kišnim razdobljima, no brojni su i oni periodičnog karaktera. Generalni smjer cirkulacije i toka podzemne vode je prema sjeveru i sjeveroistoku, jednako kao što teku njihovi glavni drenovi, rijeke Kupa, Dobra, Mrežnica i Korana. Ovisno o hidrološkim i hidrogeološkim uvjetima nije isključena mogućnost podzemnog povezivanja ili prelijevanja voda između dva susjedna porječja, no do danas podzemne veze između vodotoka nisu utvrđene.

Unatoč poniranju u području plitkog krša nema podzemnih gubitaka vode iz sljevova jer se ona događaju u okviru užeg slijeva pojedinog vodotoka. Ponirana vode pojavljuju se na kratkim relacijama - voda najčešće izvire na nižem nivou iste doline pa su gubici samo relativni tj. lokalna nestajanja vode iz korita kompenzirana su ponovnom pojavom iste na nižoj koti. Stalnost tokova, kratkotrajno poniranje i ponovno pojavljivanje voda u koritu, veći broj izvora na razini površinskog toka, relativno mala brzina toka itd. upućuju na prisustvo oblika podzemnih voda koje po mnogim značajkama odgovaraju vodi temeljnici. Vodno lice sigurno nije jedinstveno jer njegova rasprostranjenost ovisi o hidrogeološkim značajkama stijenske mase koje izgrađuju ovo područje. Podzemna voda sigurno ispunjava šupljine u jurskim i krednim vapnencima do razine koja odgovara nivou najbližih površinskih tokova, dok je to teže za očekivati u mezozojskim dolomitima, a posebno ne u vodonepropusnim paleozojskim i trijaskim klastitima.

#### 4.4.2 NEKRŠKA PODRUČJA

U nekrškim područjima s hidrogeološkog stajališta izdvajaju se dva potpuno različita prostora. Prvi pripada slijevu donjeg toka rijeke Kupe i odnosi se na Karlovačku kotlinu s aluvijalnim vodonosnicima u kojima su akumulirane velike količine podzemne vode. Drugi pripada istočnom, desnom dijelu slijeva Korane koji predstavlja vodonepropusne terene, područja bez podzemne vode.

KARLOVAČKA KOTLINA je periferni dio Panonskog bazena na kontaktu Unutrašnjih i Vanjskih Dinarida. Ističe se kao jedino nekrško područje s akumuliranim većim količinama podzemne vode i to u više nivoa, pri čemu gornja razina ponegdje dopire do površine terena kao pojedina jezera i mlake. Površinu tog djelomično izoliranog neogenskog bazena prekrivaju pliokvartarni i kvartarni riječni i barski sedimenti. Debele taložine kvartara ispunjavaju njegov središnji dio. Prostori heterogenog aluvija su akumulacijski s razvijenim pjeskovito - šljunkovitim vodonosnicima primarne međuzrnske poroznosti.

Dva su značajnija vodonosna horizonta od kojih se plići uglavnom napaja vodama rijeka Korane i Kupe s kojima je u direktnoj hidrauličkoj vezi. Od velikog je značaja za vodoopskrbu jer se njegova podzemna voda eksploatira na nekoliko karlovačkih vodocrpilišta.

KARLOVAČKO NISKO POBRĐE I BANIJSKO VIŠOČJE uzdiže se južno od rijeke Kupe. Obrubljuje Karlovačku depresiju poput krnjeg vijenca koji ju odvaja od krških terena, ali i preostalog ne-krškog područja. Brežuljke izgrađuju sedimenti neogena kojima su podina, u pravilu, navlačne strukture stijena bazenske osnove Karlovačke kotline, a krovinu im čine transgresivni klastiti pliokvartara čije taložine uglavnom prekrivaju površinu terena. Na tom području razvodnice su topografske. Nepropusna do slabopropusna podloga omogućila je odlaganje kvartarnog nanosa (aluvij i deluvij) u proširenim riječnim dolinama gdje je slobodna podzemna voda u izravnoj vezi s površinskim tokovima.



Donekle vodopropusni pliokvartarni sedimenti zastupljeni su prašinastim pijescima i šljuncima i sadrže podzemnu vodu slobodne površine, a uslijed proslojaka gline i lapora pojavljuju se i zone napajanja dubljih arteških horizonata. No, u cjelini gledajući predstavljaju slabopropusan do nepropusan pokrivač koji dopušta plitko procjeđivanje vode koja ubrzo izlazi na površinu, najčešće difuzno ili kao silazni izvori.

VODONEPROPUSNA PODRUČJA BEZ VODONOSNIKA zastupljena su klastičnim naslagama vrlo slabe propusnosti i nepropusnim stijenama, a odlikuju se površinskim otjecanjem putem razvijene hidrografske mreže stalnih i povremenih vodotoka bujičnog karaktera i općenito hidrogeološkom funkcijom barijere podzemnom tečenju vode. Područja prekrivena flišem pripadaju prvoj skupini, a drugoj ona izgrađena od permskih i trijaskih uglavnom klastičnih naslaga. Njima, unutar Korduna prolazi razvodnica sljevova rijeka Korane i Gline koja je na tom području površinska - topografska.

U cjelini gledajući flišni sedimenti su vodonepropusni kompleks naslaga koji priječi poniranje oborina. Zbog njihove minimalne infiltracije otjecanje se odvija površinski preko razgranate hidrografske mreže koja nakon jakih oborina pronosi znatne količine vode s dosta muljevitog taloga.

Izdvajaju se dva područja s naslagama fliša:

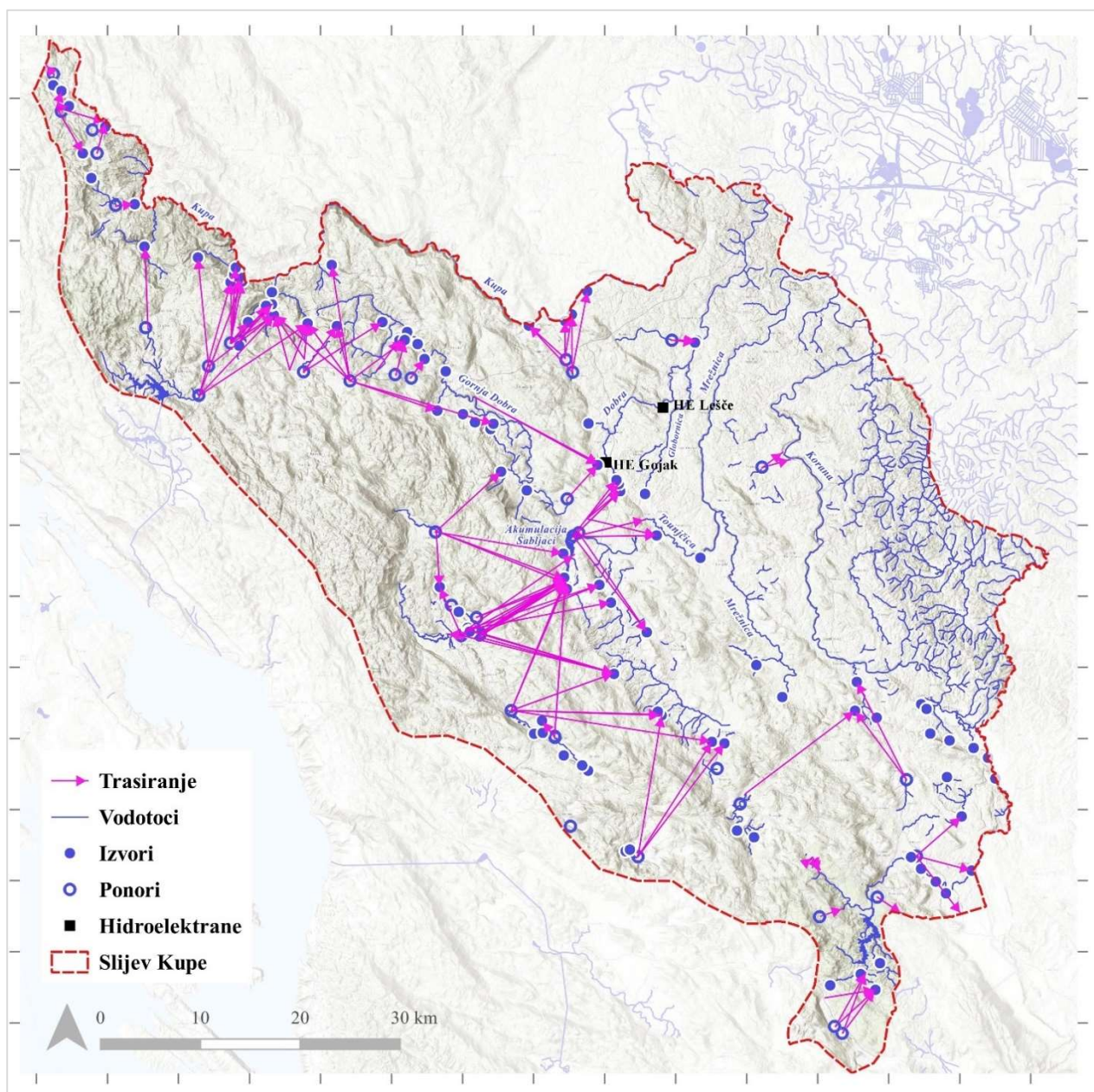
1. Zapadnim i jugozapadnim Žumberkom u užem slijevu donjeg toka Kupe rasprostranjen je fliš gornjeg senona - tzv. vivodinski fliš. Naslage pripadaju turbiditnom facijesu i nalaze se transgresivno preko grebenskih vapnenaca gornjeg malma s kojima su u diskordantnom odnosu. Senonski klastiti (vapnenačke breče, konglomerati, pješčenjaci, siltozni i pjeskoviti lapori, laporoviti vapnenci) su uslijed kasnijih tektonskih poremećaja, danas uglavnom u rasjednom kontaktu s propusnim vapnenačkim stijenama podine.
2. Pojas senonsko-paleocenskog fliša prostire se područjem razvodnice sljevova rijeka Korane i Gline. U velikom luku proteže se od Krnjaka na sjeverozapadu preko Cetingrada i Pećigrada do Cazina na jugoistoku. Transgresivan je na jurske i kredne karbonate koji pripadaju šelfnoj padini karbonatne platforme Dinarika (strukturna jedinica Veljun-Slunj-Pećigrad, Tumač OGK Slunj). Sedimentacija se odvijala u distalnom području flišnog bazena i naslage pokazuju turbiditske značajke. To je područje navlačnog kontakta Unutrašnjih (arohton Petrova gora) na Vanjske Dinaride. Fliš je intenzivno boran i izrasjedan što omogućava kratka i lokalna plitka poniranja brojnih stalnih i periodičnih potoka koji su svoje izvorišne doline usjekli u ovom klastično - karbonatnom kompleksu. Krajem eocena izvršeno je preko spomenutog fliša navlačenje iz pojasa Supradinarika na jurske i kredne naslage rubnog pojasa šelfa karbonatne platforme Dinarika. Generalni smjer pružanja ove regionalne dislokacije je sjeverozapad - jugoistok.

PETROVA GORA je alohtona tektonska jedinica. Prostire se sjeveroistočno od čela navlake koja u luku prelazi od Veljuna i Cetingrada na Pećigrad u susjednoj BiH. U procesu sažimanja prostora (kompresije) učestvuju pretežno permski i donjotrijaski klastiti, a znatno manje karbonatne stijene srednjeg trijasa. Osnovu Petrove gore izgrađuju permski škriljavci, šejlovi, grauvakni kvarcni pješčenjaci i konglomerati te donjotrijaski klastiti (kampilski i sajski slojevi).

Bujična Radonja i njeni gorski pritoci (slijev Korane) preko razgranate mreže odljevnih jaraka drenira vodonepropusno područje visokih dijelova Petrove gore sa sjeverozapadne strane, dok južne i jugoistočne obronke dreniraju lijevi pritoci rijeke Gline. Zbog nepropusnih stijena koje dozvoljavaju samo površinsko otjecanje vode uz manja istjecanja iz pripovršinskih rastrošenih zona, područje Petrove gore obiluje mrežom manjih tekućica koje su erozijom produbile doline između bregova. Akumulacija podzemne vode je donekle moguća duž rubnih padina Petrove gore u srednjotrijaskim karbonatima, uglavnom dolomitima, i dolomitima gornjeg trijasa, ograničenih kolektorskih svojstava. U njima su za vodoopskrbu zahvaćeni Vrelo Utinje te izvori Vrlesina, Kamenice i Živo Vrelo.

## 4.5 TRASIRANJA TOKOVA VODE U PODZEMLJU

Prikazani su postojeći poznati i dostupni podaci o provedenim hidrogeološkim istraživanjima trasiranjem tokova vode u podzemlju na prostoru sljevova Dobre, Mrežnice, Korane i Kupe do Karlovca (ukupno 29 dostupnih izvještaja, [Tablica 4-1](#), [Slika 4-3](#)). Prikazani su u skladu s hidrogeološkom funkcijom zastupljene stijenske mase - za prve tri spomenute rijeke imamo 2 sabirna i 2 usporna hidrogeološka slijevna područja, dok je rijeka Kupa tokom od izvora do Ozlja u području niskog krša ili fluviokrša - ima jedno sabirno i jedno usporno hidrogeološko područje slijeva. Trasiranja su tijekom zadnjih sedamdesetak godina provedena dominantno u sabirnim područjima ili na prelazu sabirnog u usporno područje (zone ponora). Rađena su s ciljem odredbe podzemnih veza između ponora i izvora te brzine podzemnih tokova na temelju čega su određene podzemne razvodnice, definirani slijevovi i zone sanitarne zaštite vodocrpilišta.



*Slika 4-3 Provedena trasiranja na području istraživanja*

---

### Provedena trasiranja je moguće podijeliti u 2 grupe:

1. kojima se određuje smjer toka vode u podzemlju unutar planinskih predjela Kapele i Gorskog Kotara (iz dubokog krša) radi odredbe slijevnog područja izdašnih izvora kojima započinju vodotoci duž Ogulinsko - plašćanska zavale (tok unutar gornjeg sabirnog područja) i tok rijeke Kupe;
2. kojima se određuje smjer toka vode u podzemlju koja ponire nakon površinskog toka duž Ogulinsko-plašćanska zavale (tok unutar donjeg sabirnog područja).

Trasiranja tokova vode u podzemlju duž donjeg uspornog područja (niski krš ili fluviokrš u Karlovačkoj zaravni i krškom dijelu Korduna) do nedavno nisu provođena jer za tim praktički nije bilo potrebe. Izvedeno je tek nekoliko trasiranja na kratke udaljenosti (manje od kilometra do nekoliko kilometara) za potrebe zaštite vode u podzemlju od onečišćenja s autoceste i za potrebe projektiranja vododrživosti bokova akumulaciji Lešće.

Područja plitkog krša okarakterizirana su isključivo nadzemnim tokovima. Razlog tome je u geološkoj građi i manjoj debljini karbonatnih naslaga u usporedbi s dubokim kršem. Uslijed izražene tektonske destrukcije primarnih geoloških struktura u blokove (tzv. mozaik struktura), razvijene plitke krške morfološke forme rasjednute su, često prekinute probojima starijih slabopropusnih do nepropusnih naslaga iz podine koje značajno utječu na podzemnu cirkulaciju. Zbog niskog hipsometrijskog položaja korita rijeka i obzirom na male visine terena i male hidrauličke gradijente dubina krške cirkulacije nije velika (vodno lice je plitko), a tokovi rijeka predstavljaju erozijsku bazu i osnovni drenažni prostor za sve vode iz pripadajućeg slijeva. Osim toga, stalnost tokova, brojni i često periodični izvori male izdašnosti na razini površinskog toka, kratkotrajno poniranje i ponovno pojavljivanje voda u istom koritu, relativno mala brzina toka itd. upućuju na prisustvo podzemnih voda koje po svojim značajkama odgovaraju vodi temeljnici te upućuju na postojanje plitke nepropusne podloge. Mjesta izviranja dobrim dijelom su uvjetovana razlikama u stupnju propusnosti između samih karbonatnih stijena. Generalni smjer cirkulacije i toka podzemne vode je prema sjeveru i sjeveroistoku, jednako kao što teku njihovi glavni drenovi, rijeke Korana, Mrežnica, Dobra i Kupa.



**Tablica 4-1: Korišteni Izvještaji o trasiranjima podzemnih tokova vode**

Redni broj	Izvoditelj trasiranja i godina izvođenja radova	Trasirani hidrogeološki objekti
1.	Inženjerski projektni zavod, Zagreb (IPZ, 1948)	Bosiljevački potok
2.	Inženjerski projektni zavod, Zagreb (IPZ, 1948)	Đulin ponor, Ogulin
3.	Inženjerski projektni zavod, Zagreb (IPZ, 1948)	Ponor u Ličkoj Jesenici
4.	Inženjerski projektni zavod, Zagreb (IPZ, 1948)	Estavela Begovac (Blata), Plaški
5.	Inženjerski projektni zavod, Zagreb (IPZ, 1948)	Zagorska Mrežnica kod Sabljaka 1
6.	Inženjerski projektni zavod, Zagreb (IPZ, 1948)	Zagorska Mrežnica kod Sabljaka 2
7.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1972)	Ponor u Dabarskom polju
8.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1972)	Ponor kod Jasenka
9.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1972)	Ponor Kolovoz u Drežničkom polju
10.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1972)	Ponor u Crnac polju
11.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1972)	Ponor u Kupjaku
12.	Industroprojekt, Zagreb (INZ, 1976):	Ponori u Lokvama i Ravnoj Gori
13.	Rudarsko-geološko-naftni fakultet (RGNF 1976)	Ponor u Delnicama
14.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1981)	Ponor Potočak u Drežničkom polju
15.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1981)	Zrnića ponor u Drežničkom polju
16.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1985)	Ponori u Crnac polje
17.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1985)	Pražića jaruga u Drežničkom polju
18.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1986)	Ponor u Jasenku
19.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1987)	Bušotina DG-2, Akumulacija Lešće
20.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1987)	Ponor u Lukama (Gornja Dobra)
21.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1988)	Ponori u Stajničkom polju
22.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1993)	Stara Sušica u Ravnoj Gori
23.	Hrvatski geološki institut (HGI, 1994)	Ponor u Galgama (Otok Ogulinski)
24.	Hrvatski geološki institut (HGI, 2001):	Ponor u Jezeranama
25.	Speleološki klub Željezničar (SKŽ, 2002)	Rokina Bezdan kraj Jezerana
26.	Hrvatski geološki institut (HGI, 2003)	Ponor Švica kod Rakovice
27.	Geotehnički fakultet Varaždin (GFV, 2005)	Vrtača u selu Rastovača
28.	Geotehnički fakultet Varaždin (GFV, 2008)	Piezometar u Drežnik Grad
29.	Hrvatski geološki institut (HGI, 2012)	Bosnića ponor u Drežničkom polju

#### 4.5.1 GORNJE SABIRNO PODRUČJE

Gornje sabirno područje predstavlja duboki krš planinskih predjela Kapele i Gorskog Kotara u kojem su formirana velika slijevna područja izdašnih izvora: Kupe, Čabranke, Kupčice, Zelenog vira, Gornje Dobre, Kamačnika, Ribnjaka, Draškovca, Vitunjčice, Zdiške, Zagorske Mrežnice, Bistraca, Bocinog vrela, Vrnjike, Dretulje, Suvaje, periodičnog jezera Begovac (Blata) i jezera Sinjac, Ličke Jesenice, Slunjčice i ostalih manjih.

Morfološke i hidrogeološke značajke upućuju na najviši stupanj razvijenosti krša. Velika debljina karbonatnih naslaga zastupljenih pretežito tektonski razlomljenim vapnencima s velikom pukotinskom poroznošću, pogodovala je razvoju krških formi čija se evolucija razvijala naglašeno u vertikalnom smjeru. Erozijom su zahvaćeni dublji slojevi, a zbog velike dubine okršavanja (duboko smještene erozijske baze) uobičajene su pojave dubokih podzemnih voda. Pomanjkanje većih i stalnih površinskih tokova ukazuje na intenzivnu infiltraciju oborina u podzemlje i zatim na brzo poniranje vode kroz propusni medij gdje se tektonski predisponiranim putovima cirkulacija vode nastavlja često u obliku koncentriranih podzemnih tokova. Na taj način velike količine vode teku podzemno do nailaska na vodonepropusnu barijeru preko koje se koncentrirano prelijevaju na izvorima uzlaznog tipa iz podzemne retencije ostvarene u propusnom vapnenačkom zaleđu.

#### 4.5.1.1 SLIJEV RIJEKE GORNJE DOBRE

Na području slijeva Gornje Dobre izvedeno je više trasiranja podzemnih tokova prikazanih u [Tablici 4-1](#).

Prva su izvedena neposredno nakon Drugog svjetskog rata (1948), ona definiraju povezanost Gornje Dobre i Gojačke Dobre (trasiranje Đulinog panora 21.04.1948.) te ponornih zona Zagorske Mrežnice prema Bistracu (izvor Bistrice koja se ulijeva u Gojačku Dobru) i prema izvorima u okolici Tounja (12.05.1948).

U trasiranju vodotoka u Jasenačkom polju (HGI, 1972) navodi se podzemna vodna veza s izvorima Kamačnik i Vitunj u slijevu Gornje Dobre, ali i izvorom Kosanovića vrelo u Krakarskom polju, što se zbog tehnologije određivanja trasera u to doba (kvarc lampom) ne može smatrati sigurnim podatkom.

Trasiranje ponora Kolovoz u južnom dijelu Drežničkog polja (HGI, 1972), izvedeno je s 50 kg uranina (Na-fluoresceina). Opažani su izvori: Bistrac i Pećina na Zagorskoj Mrežnici te izvor Vitunjčica u slijevu Gornje Dobre. Nakon 146 sati traser se pojavio na izvoru Pećina, a 16 sati kasnije i na Bistracu (Izvori izvorišta Zagorska Mrežnica). Na Vitunjčici se pojavio u tragovima (? - kvarc lampa). Prividne brzine toka podzemne vode bile su 1.6-1.9 cm/s.

Za potrebe izrade projekata HE Gojak i Retencija Drežničko polje izvedeno je više trasiranja u širem slijevnom području Zagorske Mrežnice. Trasiranje Znić ponora u Drežničkom polju izvedeno je 1981. godine (HGI, 1981). U sustav opažanja uključeni su izvori: Vitunjčica, Zdiška, Zagorska Mrežnica, Bistrac, Pećina, Rupečica, Šmitovo jezero, Bocino vrelo i Vrnjika. Nakon 80 sati traser se pojavio samo na izvoru Zagorske Mrežnice s prividnom brzinom toka podzemne vode 3.4 cm/s.

Također, za potrebe HE Gojak, 12.08.1980. godine trasiran je ponor Potočak uz vodotok Jaruga u Drežničkom polju (HGI, 1981). Ubačeno je 55 kg uranina, a u sustav opažanja uključeni su: Vitunjčica, Zdiška, Zagorska Mrežnica, Bistrac, Šmitovo jezero, Rupečica, Bocino vrelo, Bilići i Vrnjika. Nakon 167 sati traser se pojavio samo na izvoru Zagorske Mrežnica s prividnom brzinom podzemnog toka 1.73 cm/s.

Dana 28.11.1986. godine trasiran je ponor u Jasenačkom polju (HGI, 1986). Opažani su izvori Ribnjak u Gladima, Kamačnik, Ribnjak u Vražjem ždrijelu, Draškovac, Vitunjčica, Zdiška, Zagorska Mrežnica, Bistrac u Desmericama, Vrnjika u Pešutima te Veliko vrelo u



Krakeru. Traser je nakon 488 i 456 sati registriran na izvorima Zagorska Mrežnica i Bistrac u Desmericama s prividnim brzinama podzemnog toka 0,86 cm/s i 0,85 cm/s.

Na području Stare Sušice u Ravnoj Gori, 08.07.1993. godine izvedeno je trasiranje povremenog ponora s 27 kg uranina u sklopu hidrogeoloških radova za potrebe autoceste Zagreb-Rijeka, dionice Kupjak –Bosiljevo (HGI, 1993). U sustav opažanja uključeni su izvori u dolini rijeke Gornja Dobra: Pećina (G. Vučkovići), Žakulski Studenac, Mlako Vrelo, Studeno Vrelo, Pećina (Radoševići) i Ribnjak u Gladima. Pojava boje utvrđena je samo na izvoru Studeno Vrelo 18.07.1993. kraj Tića što je bilo moguće potvrditi i vizualno. Prividna brzina podzemnog toka je bila 0.4 cm/s.

Trasiranje u zaleđu izvora Ribnjak u Gladima 05.11.2003. godine u 11:00 sati (HGI, 2003) izvedeno je u okolici Jablana u Ravnoj Gori, južno od autoceste kod tunela Čardak na 720 m.n.m. U ponor je ubačeno 15 kg koncentrata Na-fluoresceina. Očekivana mjesta pojave trasera bila su na 380 – 400 m.n.m. na izvorima: Ribnjak u Gladima, Mlako vrelo u Tićima, Studeno vrelo u Tićima (Čogljino jezero), Izvor uz željezničku prugu u Vrbovskom, Kamačnik. Traser se pojavio tijekom vrlo jake kiše dana 18.11.2003. godine u 06:00 sati jedino na izvoru Ribnjak s prividnom brzinom toka vode u podzemlju od 0,23 cm/s.

Izvedena trasiranja ukazuje na postojanje razvodnice između hidrogeoloških sustava Jasenačkog i Drežničkog polja (slijev zagorske Mrežnice) s jedne i područja napajanja izvora slijeva Gornje Dobre s druge strane, jer se kod sigurne detekcije fluorescentnim spektrometrom niti jednim trasiranjem boja nije pojavila na izvorima uz Gornju Dobru.

**Tablica 4-2** *Trasiranja koja su pokazala podzemnu vodnu vezu sa slijevom Gornje Dobre*

Datum trasiranja	Mjesto ubacivanja trasera	Mjesto pojave trasera	Prividna brzina toka (cm/s)
21.04.1948.	Đulin ponor	Gojačka Dobra	5,21
12.05.1948.	Ponor Zagorske Mrežnice	Izvor Bistrice, Izvor Tounjčice	
10.06.1972.	Ponor Jasenačko polje	Kamačnik, Vitunj, Krakar,	2,40; 1,60; ?
1972.	Drežničko polje	Bistrac, Pećina (Zag. Mrežnica)	1,60 – 1,90
1980.	Ponor Potočak (Drežničko polje)	Zagorska Mrežnica	1,73
1980.	Ponor Pećine	Drežničko polje	0,55
1981.	Zrnića ponor (Drežničko polje)	Zagorska Mrežnica	3,40
1986.	Ponor Jasenačko polje	Zagorska Mrežnica, Bistrac	0, 86; 0,85
08.07.1993.	Stara Sušica	Studeno vrelo (Gornja Dobra)	0,40
05.11.2003.	Ponor u Jablanu, Ravna Gora	Ribnjak u Gladima	0,23

**REZIME ZA GORNJU DOBRU:** Utvrđena je povezanost ponora u Ravnoj Gori s izvorima uz Gornju Dobru; Utvrđena je (ali i upitna - detekcija kvarc lampom) podzemna vodna veza ponornog područja krškog polja Jasenak s izvorima Kamačnik i Vitunj.

#### 4.5.1.2 SLIJEV RIJEKE MREŽNICE

Slijev Mrežnice, iz kojeg su izvršena brojna trasiranja (Tablica 4-3), je na temelju međusobnih podzemnih veza nakon poniranja površinskih tokova u planini Kapela moгуće podijeliti u dvije cjeline. U širem smislu to su Istočna Mrežnica s izdvojenim slijevom Dretulje i Primišljanske Mrežnice te Zapadna Mrežnica sa slijevom Zagorske Mrežnice i Tounčice.

Krajnji jugozapadni dio slijeva Mrežnice (Jasenačko, Krakarsko, Drežničko, Crnačko, Stajničko i Dabarsko krško polje), gdje je granica slijeva ujedno i razvodnica Crnomorskog i Jadranskog slijeva, utvrđen je trasiranjem u okviru regionalnih hidrogeoloških istraživanja slijeva Kupe (HGI, 1972). Detekcija trasera obavljena je kvarc lampom pa su dobiveni rezultati kad je koncentracija boje bila mala upitni.

Vode Jasenka, Krakara, Drežničkog luga i Drežničkog polja međusobno podzemno komuniciraju sistemom pukotinskih kanala duž brojnih uzdužnih i poprečnih rasjeda, a dreniraju se podzemno dominantno prema Ogulinskom zagorju (izvori Zagorska Mrežnica i Bistrac).

Trasiranjem ponora u Krakaru i Drežničkom lugu (TURNER, 1954) utvrđeno je podzemno otjecanje prema niže položenom Drežničkom polju, ali i ispod polja prema izvorištu Zagorska Mrežnica.

Površinski tok Jaruge u Drežničkom polju (440 m.n.m) je višestrukim trasiranjima, nakon poniranja u južnom dijelu polja, također registriran samo na izvorima Zagorska Mrežnica i Bistrac (TURNER, 1954; HGI, 1972; 1981; 1986.) s prividnim brzinama toka vode u podzemlju od 1,73 cm/s do visokih 3,4 cm/s, ovisno o hidrološkim uvjetima u podzemlju.

Sljedeće krško polje u nizu sa zatvorenim tipom odvodnje (isključivo poniranjem) je Crnačko polje na 450 m.n.m. Najizdašniji izvor u Crnac polju je periodični izvor Obajdin pećina kod mjesta Obajdin nedaleko od Jezerana. U kišnom razdoblju iz pećine izvire velike količine vode (i do 4 m<sup>3</sup>) pa u takvim uvjetima Crnačko polje plavi – pretvara se u jezero, a ponorne zone na sjeverozapadnoj strani polja su pod usporom. Trasiranje u sklopu regionalnih hidrogeoloških trasiranja slijeva rijeke Kupe (HGI, 1972) pokazalo je pojavu trasera jedino na izvoru Dretulje i na izvorištu Jadranske Žrnovnice kraj Novog Vinodolskog na Jadranskoj obali. Zbog vrlo malih koncentracija boje u uzetim uzorcima vode u staklenim epruvetama i detekcije trasera kvarc lampom te spoznaje su vrlo upitne. Kasnijim trasiranjima gdje je za detekciju trasera korišten fluorescentni spektrometar - nisu potvrđene.

Zbog prije spomenutog začuđujućeg rezultata, trasiranje u Crnac polju je u sklopu radova za HEP ponovljeno (HGI, 1986). Opažani su izvori: Zagorska Mrežnica, Bistrac, Vrnjika, Mala Dretulja, Dretulja i Suvaja. Pojava trasera registrirana je nakon 6 dana na izvoru Zagorska Mrežnica i na izvoru Bistrac s prividnim brzinama podzemnog toka od 2,3 cm/s i 2,16 cm/s. Na ostalim opažanim izvorima nije bilo nalaza trasera.

Krška ponornica Jaruga, koja nakon izviranja na Žižića vrelu teče Stajničkim poljem (485 m.n.m), nakon poniranja na kraju svog površinskog toka kod Jezerana podzemnim tokovima otječe ispod masiva Velike Kapele na izvorište Zagorske Mrežnice. Kod jakih kiša površinske vode Stajničkog polja preko ponora kod Jezerana u izrazito tektonski oštećenim i raspucalim vapnencima donje krede, ostvaruju podzemnu vezu s izvorom u Crnačkom polju

(Obajdin pećina), odnosno podzemnu vezu Jezerane - Crnačko polje - izvorište Zagorska Mrežnica što je također dokazano trasiranjem (HGI, 1989; 2001). Kod trasiranja 22.04.1988. godine motreni su izvori: Zagorska Mrežnica, Bistrac, Bocino vrelo, Vrnjika, Mala Dretulja i Suvaja. Traser je nakon 12 dana podzemnog toka registriran na izvoru Zagorska Mrežnica i na izvoru Bistrac s prividnim brzinama podzemnog toka 1,36 cm/s i 1,21 cm/s. U vrijeme trasiranja nije bilo izviranja u Obajdin pećini u Crnac polju.

Kod trasiranja 08.12. 2000. godine (HGI, 2001) motreni su izvori: Zagorska Mrežnica, Bistrac, Bocino vrelo, Vrnjika, Mala Dretulja i Suvaja. U Rokinu bezdan je ugrađen aktivni ugljen radi identifikacije pojave trasera, ali bez kvantitativnih i vremenskih zapisa. Aktivni ugljen je u Rokinoj bezdani bio tjedan dana i u tom razdoblju je val s trasiranom vodom sigurno protekao podzemnim kanalima. Traser je nakon 12 dana podzemnog toka registriran na izvoru Zagorska Mrežnica i nakon 13 dana na izvoru Bistrac s prividnim brzinama podzemnog toka 1,53 cm/s i 1,38 cm/s, vrlo slično kao i kod trasiranja iz 1988 godine. U vrijeme trasiranja nije bilo izviranja u Obajdin pećini u Crnac polju.

Kada Stajničko polje periodički poplavi ono tvori hidrogeološko - hidraulički sustav dokazano usmjeren prema izvoru Dretulja, a da kraća i logična veza s Vrnjikom trasiranjem još nije potvrđena (JURAK, 1983; MIRIĆ, 1988). Stajničko polje se zajedno s Glibodolskim poljem nalazi u II zoni sanitame zaštite izvora Dretulja (DRAGIČEVIĆ i MAYER, 1999).

Trasiranjem vodotoka prije poniranja u ponor na Smolčića mlinu u Dabarskom polju (HGI, 1972) utvrđene su prividne brzine podzemnog otjecanja prema izvoru Dretulje (2,1 cm/s), njenom pritoku Suvaji (2,8 cm/s) i jezeru Sinjac u Plavčoj Dragi (2,5 cm/s).

Na temelju postojećih poznatih hidrogeoloških odnosa u ovom visokom dijelu slijeva rijeke Mrežnice, može se konstatirati kako se razvodnica sljevova Dretulje i Zagorske Mrežnice, tj Istočne i Zapadne Mrežnice u širem smislu, nalazi u zoni Stajničkog polja.

Izvor Vrnjika, glavni prtok Dretulje, izvire kod Pešuta - kraj Kunić sela, podno Grabove kose (572 m.n.m) Slijev izvora vezan je za karbonatni masiv Male Kapele, ali dosadašnjim trasiranjima nije dokazana veza s ponorima krških polja u zaleđu.

**Tablica 4-3** *Trasiranja koja su pokazala podzemnu vodnu vezu sa slijevom Mrežnice*

Datum trasiranja	Mjesto ubacivanja trasera	Mjesto pojave trasera	Prividna brzina toka (cm/s)
1954.	Krakar, Drežnički lug, Drež. polje	Zagorska Mrežnica, Bistrac	
13.05.1972.	Ponor Kolovoz, Drežničko polje	Zagorska Mrežnica, Bistrac	
12.08.1981.	Ponor Potočak, Drežničko polje	Zagorska Mrežnica	1,73
16.04.1981.	Ponor Zrnić, Drežničko polje	Zagorska Mrežnica	3,40
13.05.1985.	Pražića jaruga, Drežničko polje	Zagorska Mrežnica, Bistrac	2, 90; 2,90
29.06.1992.	Drežničko polje	Zagorska Mrežnica	3,40
28.06.1972.	Ponor u Crnac polju	Dretulja	
12.04.1985.	Ponor u Crnac polju	Zagorska Mrežnica, Bistrac	2,30; 2,16
22.04.1989.	Ponor u Jezeranama	Zagorska Mrežnica, Bistrac	1,36; 1,21
08.12.2001.	Ponor u Jezeranama	Zagorska Mrežnica, Bistrac	1,53; 1,38
09.06.1972.	Smolčića mlin u Dabarskom polju	Dretulja, jezero Sinjac, Suvaja	2.10; 2,50; 2,80

**REZIME ZA MREŽNICU:** Utvrđena je povezanost ponora u Krakarskom polju, Drežničkom lugu i Drežničkom polju s izvorima Zagorska Mrežnica i Bistrac; Utvrđena je povezanost ponora iz Crnac polja s izvorima Zagorska Mrežnica i Bistrac, a s izvorom Dretulja je upitna (detekcija kvare lampom); Utvrđena je povezanost ponora u Jezeranama (vodotok Jaruga iz Stajničkog polja) s izvorima Zagorska Mrežnica i Bistrac; Utvrđena je podzemna vodna veza ponora u Dabarskom polju s izvorima Dretulja i Suvaja te jezerom Sinjac u Plaškom polju.

#### 4.5.2 DONJE SABIRNO PODRUČJE

Donje sabirno područje zahvaća dobro vodopropusno područje dubokog krša sjeveroistočno od Ogulinsko-plaščanske zavale. Hidrogeološki je značajno jer nakon toka po vodonepropusnoj klastičnoj i dolomitnoj stijenskoj masi zavale izdašni vodotoci Ogulinska Dobra, Zagorska Mrežnica, Dretulja i Lička Jesenica poniru u propusnim vapnencima sjeveroistočnog ruba zavale, a nakon podzemnog toka od 5 do 15 km iste vode napajaju izvore Gojačku Dobru i Bistrac u slijevu Donje Dobre, Tounjčicu, Kukaču, Rudnicu, Primišljansku Mrežnicu i Suvaču u slijevu rijeke Mrežnice te izvor Slunjčice u slijevu rijeke Korane. Linijom koja spaja ove izvore započinje područje plitkog krša ili fluviokrša. Unutar njega izvršeno je više trasiranja tokova vode u podzemlju (Tablica 4-4).

Đulin ponor trasiran je dana 21.04.1948. godine u 7:10 sati (IPZ, 1948). Opažani su izvori: Gojak, Bistrac, Ribnjak, Globornica, Tounjčica, Kukača i Rudnica, a kontrolna mjesta motrenja na Donjoj Dobri bila su: Sastavci s Bistricom, Trošmarija i Lešće. Boja se pojavila samo na izvoru Gojak slijedeći dan, 22.04.1948. u 6:45, nakon 23:35 sata s prividnom brzinom podzemnog toka 5,21 cm/s.

Ponor kraj mjesta Luke uz Gornju Dobru, oko 3 km nizvodno od Vrbovskog, trasiran je dana 22.10.1986. godine s 50 kg uranina (HGI, 1987). To je najuzvodnije registrirano mjesto gdje rijeka ponire. Nalazi se oko 250 m nizvodno od cestovnog mosta uz lijevu obalu Dobre. Ponor je stalan. Željelo se odrediti je li voda koja ponire u koritu Gornje Dobre uzvodno od Ljubošine otječe u Kupu i/ili na izvore koji pripadaju slijevu Donje Dobre. Motreni izvori uz Kupu su bili: Umolac (Severin), Prikrajnik, Jezero i Potok. Motreni izvori u slijevu Donje Dobre su bili: Gojak, Ribnjak i Bistrac. Traser se pojavio nakon 56 sati podzemnog toka na izvoru Gojak s prividnom brzinom toka 3,8 cm/s i nakon 132 sata na izvoru Ribnjak u Trošmarijama s prividnom brzinom toka vode u podzemlju 2,6 cm/s. Time je dokazana veza Gornje Dobre i njenog donjeg horizonta Gojačke Dobre te ne povezanost podzemnih tokova prema slijevu rijeke Kupe.

Važan utjecaj na slijev Gojačke Dobre ima rijeka Zagorska Mrežnica koja je u prirodnim uvjetima toka Ogulinskim poljem, nakon poniranja dobrim dijelom napajala Gojačku Dobru. (od ponora kod Otoka u Ogulinskom polju na izvor Bistrac, dokazano trasiranjem podzemnih tokova). Zagorska Mrežnica je poniranjem kod Oštarija i podno brda Krpela posredno preko izvora Tounjčice i Kukače napajala i Primišljansku Mrežnicu pa se može reći da pripada slijevu obiju rijeka (IPZ, 1948). Zagorska Mrežnica je trasirana kod vodokaza u Sabljacima u 2 navrata kod različitih količina protoka vode.

Prvo trasiranje Zagorske Mrežnice kod Sabljaka izvršeno je 12.05.1948. s 20 kg uranina kod protoka od 9,37 m<sup>3</sup>/s. Motreni su vodotok Bistrica: Škrila, Kromarova pećina i Jezero kod mosta; zatim izvori Tounjčica, Kukača, Rudnica, Gojak i Globornica. Traser je vodnim valom tekao površinski do ponora kraj Otoka i do vodokaza u Oštarijama, a uz put obojena voda je postupno ponirala u ponore u bokovima vodotoka Zagorske Mrežnice. Traser je prvo registriran na izvoru Bistraca u Kramerovoj pećini s velikom koncentracijom boje (od ponora kod Otoka), a zatim izvori Tounjčica, Kukača i Škrila (od ponora kraj Oštarija).

Drugo trasiranje Zagorske Mrežnice kod Sabljaka izvršeno je 26.06.1948. s 32 kg uranina kod protoka od 13,2 m<sup>3</sup>/s. Motreni su isti izvori kao i kod prvog trasiranja Zagorske Mrežnice - vodotok Bistrica: Škrila, Kromarova pećina i Jezero kod mosta; zatim izvori Tounjčica, Kukača, Rudnica, Gojak i Globornica. Traser se pojavio na istim mjestima i istim redoslijedom kao i kod prvog trasiranja: prvo je registriran na izvoru Bistraca u Kramerovoj pećini s velikom koncentracijom boje (od ponora kod Otoka), a zatim izvori Tounjčica, Kukača i Škrila (od ponora kraj Oštarija).

Trasiranje za potrebe projektiranja i izgradnju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Ogulina izvedeno je 16.11.1994. iz ponora u Galgama (Otok, Ogulinsko polje) s 12 kg uranina. Motreni su Gojačka Dobra, Pećina uz tok Bistrice, Bistrac i Kukača. Boja se pojavila na izvoru Pećine, Bistrac i Kukača s prividnim brzinama toka u podzemlju 1,2 – 2,7 cm/s.



Rijeka Primišljanska Mrežnica započinje tok pukotinskim krškim izvorom (254 m.n.m) na sjeveroistočnim padinama Strmice ispod Popović vrha (479 m.n.m) kao nastavak ponornice Dretulje koja ponire na istoku Plaščanskog polja podno jugozapadnih obronaka istog brdskog masiva. Ponori Dretulje u Plavčoj Dragi nikada nisu bili trasirani uraninom jer za to nije bilo potrebe. Tvornica celuloze u Plaškom je svojevremeno predstavljala antropogeni traser (onečišćivač vode Dretulje) pa nije bilo dvojbe kako je Primišljanska Mrežnica površinski nastavak ponirujućeg vodotoka Dretulje.

Trasiranjem je dokazana posredna podzemna veza izvora Primišljanske Mrežnice s periodičnim estavelama Begovca preko izvora-jezera Sinjac koji nakon kratkog površinskog toka ponire u Plavčoj Dragi (Elektroprojekt 1989). Trasiranje estavele Begovac (Blata) izvršeno je i davnog 27.05.1948., ali zbog hidroloških uvjeta i načina detekcije traser nije detektiran ni na jednom izvoru.

Slunjčica izvire jakim krškim izvorom minimalne izdašnosti oko 400 l/s. Slijev izvora je prostrano karbonatno područje koje zalazi u zonu visokog krša - jugozapadno prema Ličkoj Jesenici i istoimenoj ponornici te jugoistočno prema Rakovici, a ne isključuje se niti veza s ponornom zonom Korane nizvodno od Plitvičkih jezera.

Trasiranje ponornih voda rijeke Ličke Jesenice u istoimenom mjestu izvršeno je 07.06.1948. godine u 17:40 sati nizvodno od vodokaza u selu Dragići (IPZ, 1948). Motreni su izvori Jezero i Suvaja u Plavčoj Dragi, Primišljanska Mrežnica, Slunjčica i Rudača. Traser je detektiran dana 15.06.1948. u 14:00 sati na izvoru Slunjčice, 188 sati nakon ubacivanja u vrlo razrijeđenoj koncentraciji.

Trasiranjem je dokazana direktna podzemna veza izvora Slunjčice i ponora u Rakovici (HGI, 2003). Dana 24.03.2003 trasiran je ponor Švica u Rakovici s 24 kg oplemenjenog uranina. Motreni su izvori Slunjčica, Crpilište Slunjčice, Pećina, Šajferi, Crna jaruga, Furjašnica, Dragovića, Dobrenica, Perlinac, Zečovac i Crno vrilo. Traser je detektiran na izvoru Slunjčice i na Crpilištu Slunjčica s prividnim brzinama toka vode u podzemlju od 0,60 cm/s i 0.59 cm/s.

Između sela Plitvice i Drežnika korito rijeke Korane je tijekom sušnih razdoblja potpuno suho. Prema geološkim strukturama može se zaključiti da veći dio vode otječe u slijev rijeke Une prema izvorištu Klokot kod Bihaća. Trasiranja kako bi se egzaktno odredio smjer otjecanja vode koja ponire u kanjonu rijeke Korane nizvodno od Plitvičkih jezera obavljena su tijekom 2005. i 2007. godine.

Prvo trasiranje je izvedeno na lokaciji otvorene vrtače u selu Rastovača na 515 m.n.m, koja ujedno služi za ispušt otpadnih voda iz Plitvica bez pročišćavanja direktno u krško podzemlje (GFV, 2005). Trasiranje je provedeno 21.04.2005. godine s 30 kg Na-flouresceina. Mreža opažanja pojave trasera organizirana je na tri mjesta duž vodotoka rijeke Korane (od sela Korana do sela Vaganac) na mjestima gdje su prijašnjim istraživanjima registrirani povremeni izvori, zatim na povremenom izvoru Barića pećini u selu Željava, povremenom izvoru Kukuruzović u selu Gornji Vaganac i na izvoru Klokot u susjednoj Bosni i Hercegovini. Pojava trasera registrirana je jedino na izvoru Klokot dana 09.05.2005. godine nakon 428 sati od ubacivanja trasera u vrtaču u Rastovači. Udaljenost od mjesta ubacivanja trasera do izvora



Klokot je 17,6 km. S obzirom na vrijeme i udaljenost, dobivena prividna brzina podzemne vode je 1,14 cm/s. Izvor Klokot je glavni izvor za vodoopskrbu grada Bihaća i okolnog područja.

Drugo trasiranje je izvedeno iz piezometra PB-1 izbušenog za potrebe trasiranja u blizini Drežnik Grada, vrlo blizu kanjona rijeke Korane (GFV, 2008). Trasiranje podzemnih tokova izvedeno je 25.09.2007. godine u 12 sati. Ubačeno je 25 kg Na-fluoresceina. Mreža opažanja obuhvatila je izvorišta: Gavranića vrelo kod Donjeg Vaganca, izvor Klokot kod Bihaća u BiH i Baračevo vrelo koje se nalazi uz Baračeve pećine. Prva pojava trasera je zabilježena na izvoru Klokot 12.10.2007. godine u 7 sati, nakon 443 sata od ubacivanja boje u piezometar, ali izuzetno male koncentracije (27,39 ng/l). Glavnina trasera je istekla direktno u korito Korane u neposrednoj blizini mjesta injektiranja nakon kiša i podizanja razine podzemne vode. Tek nakon aktiviranja rijeke Korane zabilježena je pojava trasera 19.10.2007. na Gavranića vrelu i 23.10.2007. na Baračevom vrelu. To dokazuje da tijekom sušnih razdoblje mali dio vode podzemno otječe prema izvorištu Klokot, ali glavnina se zadržava u vodonosniku u neposrednoj blizini. Očito je da u podzemlju postoji barijera podzemnim tokovima koja omogućava prelijevanje dijela podzemnih voda prema izvorištu Klokot, dok preostali dio vode ostaje sa sjeverozapadne strane te barijere i usmjerava tok prema Gavranića vrelu. Gavranića vrelo se nalazi 6,3 km od piezometarske bušotine PB-1, Baračevo vrelo 6,2 km, a izvor Klokot 18 km. S obzirom na udaljenosti i vrijeme pojave trasera dobivene brzine podzemnih tokova su 1,13 cm/s na Klokotu, 0,31 cm/s na Gavranića vrelu i 0,26 cm/s na Baračevom Vrelu.

**Tablica 4-4** *Trasiranja koja su pokazala podzemnu vodnu vezu s donjim sabirnim područjem*

Datum trasiranja	Mjesto ubacivanja trasera	Mjesto pojave trasera	Prividna brzina toka (cm/s)
21.04.1948.	Đulin ponor	Gojačka Dobra	5,21
22.10.1986.	Ponor Luke	Gojačka Dobra, Ribnjak	3,8; 2,6
12.05.1948.	Zagorska Mrežnica kod Sabljaka	Bistrac, Tounjčica, Kukača, Škrila	
26.06.1948.	Zagorska Mrežnica kod Sabljaka	Bistrac, Tounjčica, Kukača, Škrila	2,5; 1,4; 1,0; 1,8
16.11.1994.	Ponor u Galgama (Ogulinsko polje)	Pećine uz Bisticu, Bistrac, Kukača	1,20 – 2,70
07.06.1948.	Ponor u Jezeranama	Izvor Slunjčice	
24.03.2003.	Ponor Švica kod Rakovice	Izvor Slunjčice, Crpilište Slunjčica	0,60; 0,59
21.04.2005.	Vrtača u selu Rastovača	Klokot kraj Bihaća, Gavranića vrelo, Baračevo vrelo,	1,13; 0,31; 0,26
25.09.2007.	Piezometar u Drežnik Gradu	Gavranića i Baračevo vrelo, Klokot	0,31; 0,25; 1,10

**REZIME ZA DONJE SABIRNO PODRUČJE:** Poniruće vode rijeke Gornje Dobre između Gomirja i Hreljina ponovno izvire na izvorima Gojak i Ribnjak (sjeverno od Trošmarije); Utvrđena je povezanost Đulinog ponora u koji je prirodnim tokom uvirala Gornja Dobra s izvorom Gojak, mjestom izviranja Donje Dobre; Ponori duž toka Zagorske Mrežnice (kod Otoka i Oštarija) kao i krajnja zona poniranja Zagorske Mrežnice podno brda Krpela imaju podzemnu vezu s vodotokom Bistrica i njegovim bočnim pritokama koji su dio slijeva Donje Dobre te izvorima Tounjčice i Krpeljače koji su dio slijeva rijeke Mrežnice; Ponorne vode vodotoka Dretulja, estavele Begovac i jezera Sinjac koje poniru u Plaščanskoj dragi izvire kao Primišljanska Mrežnica i periodičan izvor Suvača koji je pritok Mrežnice; Ponori u Ličkoj Jesenici vodom napajaju izvor Slunjčice; voda iz ponora Švica u Rakovici izvire na izvoru Slunjčice; Iz područja Rastovača voda podzemno otječe na izvor Klokot kraj Bihaća u BiH; Podzemne vode u okolici Drežnika dominantno istječu uz korito Korane, no dio ih istječe na Klokot.

### 4.5.3 SLIJEV RIJEKE KUPE

U brdskom masivu Gorskog Kotara nalazi se prostrano sljevno područje s brojnim krškim poljima i rijekama ponornicama (Mrkopalj, Ravna gora, Lokve, Delnice) čiji je krajnji recipijent rijeka Kupa i manjim dijelom Gornja Dobra. Trasiranjem njihovim ponornih zona (Tablica 4-5) utvrđeni su tokovi podzemne vode u podlozi vodonepropusnih klastita paleozojske starosti (ispod klastita) čime je dokazan njihov alohton položaj (tektonski su izdignuti – navučeni na karbonatne naslage). Posebno su u tom smislu očigledni primjeri izvorišta Kupice i Zelenog Vira koji su sa svih strana okruženi nepropusnim klastitima (tzv. tektonska okna).

Voda Delničkog potoka poslije poniranja kod Donje Žege pojavila se na izvoru potoka Lešnica i u samom potoku Lešnica (trasiranje izvedeno oko 1962. godine, posredan podatak).

Trasiranje ponora u Delnicama izvršeno je 13.11.1976. s 30 kg uranina (RGNF, 1976). Traser je registriran u Delničkom i Lešničkom potoku, izvoru Kupice, Maloj Belici, Grbaelu i Kuželju. Nalaz boje na izvoru Kupica potvrđuje kako su klastiti paleozoika navučeni na karbonatne naslage mezozoika u prostoru istočno od Delničkog potoka.

Dana 20.05.1976. u ponor kod Kupjaka ubačeno je 50 kg uranina (HGI, 1976). Motreni su izvori u Delnicama, Donje Lešće na Kupici, Zeleni vir, Divjake i Pećina u Moravicama. Traser je registriran na svim motrenim izvorima s prividnim brzinama podzemnog toka: Delnice 2,78 cm/s; Kupica 0,39 cm /s; Zeleni Vir 3,19 cm/s; Divjake 2,35 cm/s; Pećina 1,60 cm/s.

Voda koja je ponirala u ponoru Lokve obilježena je 17.04.1976. ubacivanjem 3600 milikirija (mC) radioizotopa Cr-51-EDTA (INZ, 1976). Pregledom uzoraka vode: izvori Kupica, Mala Belica i izvor Grče u selu Grčac pokazali su prisustvo radioaktivnosti. Ostali motreni izvori: Zeleni Vir, Delnice i Guće selo-vodovod nisu pokazali radioaktivnost.

Trasiranje tokova vode u podzemlju iz Ravne Gore izvršeno je 20.05.1976. kada je u ponor koji se nalazi oko 150 m od groblja u vodu ubačeno 3500 milikirija (mC) radioizotopa Cr-51-EDTA (INZ, 1976). Jasnu sliku radioaktivnog vala dali su izvori: Divjake, Kamačnik, Gomirje, Šepci i Jezero u Moravicama. Samo pojave radioaktivnog

vala dali su izvori: Pećina u Moravicama, Severin na Kupi i Zeleni Vir. Međutim, svi spomenuti izvori ukazali su na smjer toka vode u podzemlju.

**Tablica 4-5** *Trasiranja koja su pokazala podzemnu vodnu vezu sa slijevom Kupe*

Datum trasiranja	Mjesto ubacivanja trasera	Mjesto pojave Trasera	Prividna brzina toka (cm/s)
	Delnički potok	Izvor i potok Lešnica	
13.11.1976.	Ponor u Delnicama	Kupica, Mala Belica, Delnički i Lešnički potok, Grbaela, Kuželj	
20.05.1976.	Ponor kod Kupjaka	Delnice, kupica, Zeleni Vir, Divjeke, Pećina	2,78; 0,39; 3,19; 2,35; 1,60
17.04.1976.	Ponor u Lokvama	Kupica, Mala Belica, Grće u selu Grčac	Trasirano radioizotopom
20.05.1976.	Ponor kod groblja u Ravnoj Gori	Divjake, Kamačnik, Gomirje, Šepci, Jezero u Moravicama	Trasirano radioizotopom

**REZIME ZA KUPU:** Trasiranja podzemnih tokova pokazala su da se izvorišta Čabranke i Kupe napajaju iz područja Risnjaka i Gerovskog kraja; Dokazana je izravna podzemna veza ponorne zone Lokvarke s izvorima Kupica i Zeleni Vir, što znači da se područje napajanja nalazi između Lokava i Delnica u karbonatnim stijenama mezozoika; Krška polja u području Delnica, Ravne Gore i Mrkoplja (centralni dio Gorskog Kotara) komuniciraju s izvorima uz desno priobalje Kupe i krškim izvorima u slijevu rijeke Gornja Dobra.

#### 4.5.4 PLITKI KRŠ

Geomorfološki i hidrogeološki granično područje plitkog krša predstavlja zona izvora od Gojaka, Zagorske Mrežnice preko Tounjčice i Primišljanske Mrežnice do Slunjčice. Njemu pripada i tok Kupe od izvora do nizvodno od Ozlja. Generalni smjer cirkulacije i toka podzemne vode je prema sjeveru i sjeveroistoku - jednako kao što teku njihovi glavni drenovi, rijeke Kupa, Dobra, Mrežnica i Korana. Trasiranja podzemnih tokova u plitkom kršu su vrlo rijetka (Tablica 4-6). Unatoč poniranju, u području plitkog krša nema podzemnih gubitaka vode iz sljevova jer se ona događaju u okviru užeg slijeva pojedinog vodotoka. Ponirana vode pojavljuju se na kratkim relacijama - voda najčešće izvire na nižem nivou iste doline pa su gubici samo relativni tj. lokalna nestajanja vode iz korita kompenzirana su ponovnom pojavom iste na nižoj koti.

Trasiranjem Bosiljevskog potoka 26.05.1948. ubacivanjem u ponor kod Svetog Duha 0,283 kg uranina (IPZ, 1948) nastojalo se ustanoviti jesu li 2 izvora udaljena oko 1 km uzvodno od mosta kod Lipe na Gojačkoj Dobri nastavak toka tog potoka. Boja ubačena u ponor pojavila se na oba izvora.

Trasiranje piezometarske bušotine DG-2 uzvodno od pregradnog mjesta akumulacije HE Lešće u desnom boka profila injekcijske zavjese izvedeno je dana 15.06.1987. godine s 12 kg uranina (HGI, 1988). Trasirano je s namjerom da se utvrdi smjer tečenja podzemne vode u području između Dobre i Globornice te razina vode u podzemlju. Pregledom korita Dobre i vodotoka Globornica izdvojena su tri izvora za opažanje na desnoj strani Dobre i dva na lijevoj strani Globornice. Motreni su izvori Stencica, pod Glavicom i Gračac uz Dobru te Bocalo i Medvode uz Globornicu. Motrena je i piezometarska bušotina DG-1. Boja nije registrirana ni na jednom mjestu opažanja. Iz podataka mjerenja razina podzemne vode vidljivo je da su u opažanom periodu (do 20.07.1987. – ukupno 35 dana) i minimalne i maksimalne vode u bušotini DG-2 visoke. Vjerojatno se radi o „zatvorenoj“ sredini (izoliranom sifonu) iz koje se vode kaskadno spuštaju - prelijevaju se preko lokalnih barijera u podzemlju prema nižim drenažnim horizontima.

Trasiranje iz ponora Međari i ponora Osojnik južno od autoceste spominje se u niz elaborata, ali autor i vrijeme trasiranja nisu poznati (dostupan je samo grafički prikaz trasiranja – smjer toka vode u podzemlju). Traser je registriran na četiri izvora uz ili u okolici toka Kupe, od Severina na Kupi (izvor Umolac), preko Zdihova do mosta kod Pribanjaca (granični prelaz prema Republici Sloveniji).

**Tablica 4-6** Trasiranja koja su pokazala podzemnu vodnu vezu u prostoru plitkog krša.

Datum trasiranja	Mjesto ubacivanja traser	Mjesto pojave traser	Prividna brzina toka (cm/s)
26.05.1948.	Bosiljevski potok (ponor Sv. Duh)	2 izvora kod Lipe (blizu mosta)	
15.06.1987.	Bušotina DG-2, akumulacija Lešće	-	
1986.	Ponor Međari, ponor Osojnik	Uz Kupu ( Severin – Pribanjaci)	

**REZIME ZA PLITKI KRŠ:** Podzemni tok je istog smjera kao i površinski tokovi rijeka. Ovisno o hidrološkim i hidrogeološkim uvjetima nije isključena mogućnost podzemnog povezivanja ili prelijevanja voda između dva susjedna porječja, no do danas podzemne veze između vodotoka nisu utvrđene.

Sustavna analiza svih do sada znanih i dostupnih trasiranja tokova podzemne vode na razmatranom području (njih 29) - nije ukazala na područja s kojih je moglo doći do ekstremnog zamućenja krških rijeka uzvodno od Karlovca.

Trasiranja tokova vode u podzemlju su temeljna i vrlo važna za hidrogeološka istraživanja u kršu. Rezultati trasiranja ovisni su o hidrogeološkim i hidrološkim uvjetima u podzemlju, vezani su za protoke vode u koje se traser upušta i stanje vodonosnika glede zasićenosti vode. Ako se trasira iz bušotina ili jama bez toka – traser se u podzemlju do temeljnog toka otplavljuje upuštanjem nekoliko desetaka m<sup>3</sup> vode dovezene u cisternama (često i s desetak cisterni, obično uz pomoć obližnjeg vatrogasnog društva). Analizirajući

izvještaje o provedenim trasiranjima i gledajući gdje su sve autori izvještaja očekivali moguću podzemnu vodnu vezu (motreni hidrogeološki objekti kod trasiraja), a gdje je traser registriran, te razmatrajući provedena trasiranja u kontekstu zamućenja rijeka uzvodno od Karlovca – nije uočena poveznica važnijih znanih (pa zbog toga i trasiranih) tokova vode u podzemlju s pojačanom mutnoćom, prije svih Mrežnice kod Dobrenića, ali i Korane (ona pojačano muti i uzvodno od Slunja, ali to je vezano za litološku građu dijela njenog slijeva uzvodno).

U kontekstu gore navedenog pretpostavka iz ovog Projektnog zadatka od strane Investitora: „Mogućnost da uzroci povremenih neuobičajenih događaja (ekstremnih zamućenja) na pojedinim rijekama ne moraju biti isključivo unutar slijeva te rijeke, već mogu biti i posljedica događanja na slijevu drugih vodotoka s kojima su eventualno povezane podzemnim tokovima“ – nije potvrđena.

Mutnoća Mrežnice, zbog krških značajki slijeva rijeke sigurno ima veze s podzemnim tokovima koji gravitiraju prema osnovnom drenažnom prostoru i snažnim ispiranjem doplavljenog i istaloženog prahovitog nanosa u podzemlju. Međutim, to je lokalnog značenja - nastalo uslijed ekstremne kiše (63,8 mm ili 63,8 litara vode/m<sup>2</sup> na obližnjim Gorincima podno HE Lešće) koja je u kratkom vremenskom razdoblju sprala površinu terena i pripadajuće krško podzemlje. U takvim hidrološkim uvjetima aktivirani su i oni podzemni krški kanali koji se rijetko aktiviraju tijekom otjecanja voda do korita rijeka, do krajnjeg recipijenta koji se nalaze na razini erozijske baze za sve vode dotičnih slijevova (važna značaka niskog ili plitkog krša).

Slijevno područje rijeke Radonje ima drugačije hidrogeološke karakteristike zbog litoloških značajki slijeda naslaga koji gradi Petrovu goru – Radonja se formira i teče po nekrškom terenu izgrađenom od dominantno sitnozrnatih klastičnih naslagana po kojima se tok odvija isključivo površinski.

Budući je slijevno područje rijeka Korane, Mrežnice, Dobre i Krke veliko, i hidrogeološki relativno slabo istraženo (postojeća trasiranja uglavnom **izvedena davno starim tehnologijama detekcije** i zbog toga dvojbeno), smatramo kako u nadolazećem razdoblju u cijelom slijevnom području treba izvesti veći broj trasiranja podzemnih tokova u različitim hidrološkim uvjetima, dvama traserima simultano i laboratorijski niskim granicama laboratorijske detekcije trasera.

## 5. ANALIZA PROMJENA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA NA PREDMETNOM PODRUČJU

Autori: Izv.prof.dr.sc. Neven Bočić, dipl.ing.geog., Doc.dr.sc. Luka Valožić, dipl.ing.geog.,  
Doc.dr.sc. Ivan Čanjevac, dipl.ing.geog.

### 5.1. OBUHVAT OBRAĐENIH PODRUČJA

#### 5.1.1. METODE I PODACI

Na temelju prikupljenih podataka o mjestu pojave mutnoća na rijekama Korani i Mrežnici te na temelju preliminarnih rezultata analize korištenja zemljišta odabrana su područja za geomorfološku analizu.

S obzirom na to da je kod rijeke Korane kao glavni izvor mutnoće detektirano površinsko dotjecanje rijekom Radonjom područje istraživanja određeno je površinskom delineacijom drenažnog bazena (slijeva) rijeke Radonje. Određivanje slijeva izvršeno je na temelju digitalnog modela reljefa (DMR) rezolucije 5x5 m koji je izrađen na temelju visinskih podataka Državne geodetske uprave. Ova, kao i sve ostale morfometrijske analize izražene su korištenjem programskog paketa ArcGIS 10.3. Kod područja slijeva Radonje uz određivanje cjelovitog slijeva (na točki ušća u Koranu) određen je i slijev limnigrafa Radonja-Tušilović (4092) koji se nalazi oko 2,6 km linijske odnosno 5,65 km riječne udaljenosti uzvodno od ušća. Za slučaj Mrežnice istraživano područje određeno je na temelju sljedećih kriterija: (i) sjeverna granica istraživanog područja mora biti značajno nizvodno od pojava mutnoće, (ii) južna granica istraživanog područja mora biti značajno uzvodno od pojava mutnoće, (iii) zapadno i istočno granica istraživanog područja mora obuhvatiti dvije susjedne tekućice (Dobru i Koranu).

#### 5.1.2. REZULTATI

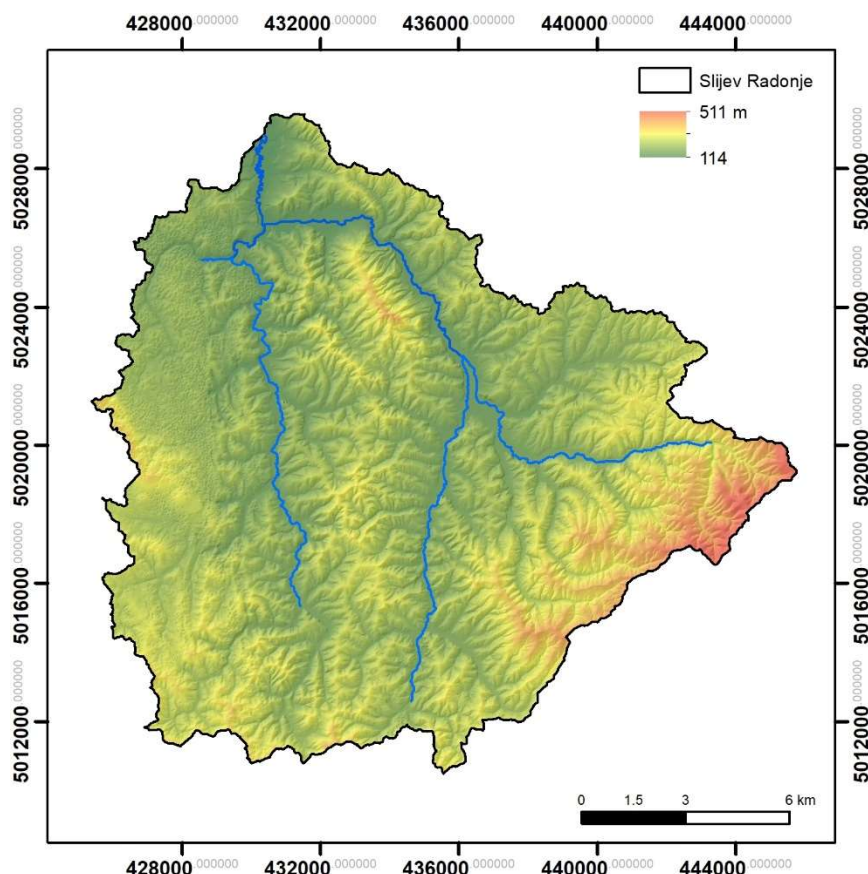
##### 5.1.2.1. PODRUČJE KORANE

Za predmetno područje Korane odabran je slijev Radonje (Slika 5-1) Radonja je lijevi pritok rijeke Korane duljine oko 31 km. Ušće Radonje u Koranu ima koordinate E 430347 i N 5028980 (HTRS96), a nalazi se na oko 115 m.n.m. Slijev Radonje obuhvaća površinu od 231,8 km<sup>2</sup>, a najviša točka nalazi se na visini od 512 m.n.m. Slijev Radonje možemo podijeliti na dva veća dijela. Zapadni dio slijeva odvodnjava tekućica Rijeka, lijevi pritok Radonje (Slika 5-1) Sama Radonja odvodnjava istočni dio slijeva, uključujući i njegov najviši dio, sjeverozapadne obronke Petrove gore. Krajnji zapadni dio slijeva Radonje izgrađen je od jurskih i krednih karbonatnih stijena (uglavnom vapnenaca) i izrazito je okršen. Ovdje prevladava podzemno otjecanje te je površinska razvodnica prema susjednoj Korani ovdje nesigurno određena. Središnji pojas je izgrađen od trijaskih dolomita i klastita te se ovdje izmjenjuju nepropusne i



slabije propusne stijene, a na površini je razvijen fluviokrški reljef. Uz prevladavajuće površinsko sporadično je prisutno i podzemno otjecanje. Istočni dio slijeva nalazi se na podlozi od gornjopaleozojskih nepropusnih klastita, otjecanje je pretežno površinsko te je ovdje razvijen fluviudenudacijski reljef.

Radi usporedbe s hidrološkim podacima određen je i slijev Radonje na točki limnigrafa Tušilović koji se nalazi na E 430362 i N 5026377 te na 116 m.n.m. Ovako definiran slijev ima površinu od 224 km<sup>2</sup>.

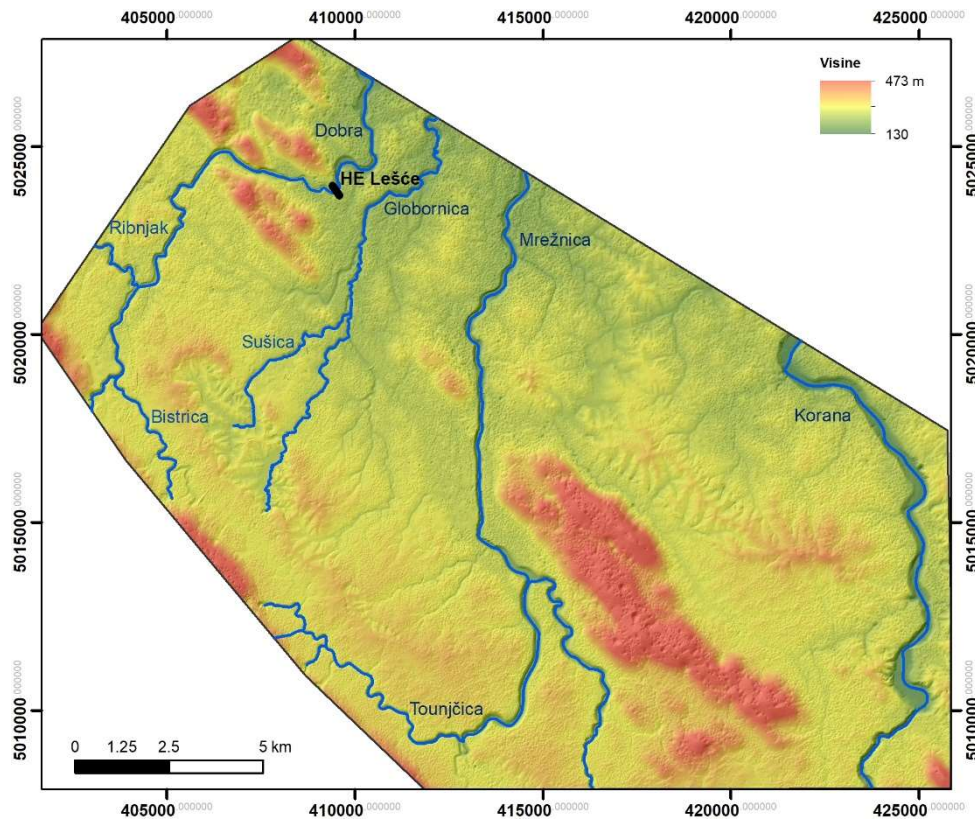


*Slika 5-1 Obuhvat slijeva rijeke Radonje*

### 5.1.2.2. PODRUČJE MREŽNICE

Za istraživanje na području Mrežnice (Slika 5-2) izdvojeno je područje koje obuhvaća kanjon Mrežnice od Tržića Tounjskog do Donjeg Zvečaja. Prema sjeverozapadu područje obuhvaća dolinu Dobre (na segmentu od izvora Gojak do Toplica Lešće), a prema jugoistoku dolinu Korane na segmentu od Blagaja do Donje Perjasice. Prema geomorfološkoj regionalizaciji Hrvatske ovo područje pripada Unsko-koranskoj krškoj zaravni (Bognar, 1999). Područje se prostire između N 412382 na jugu i N 414634 na sjeveru te između E 5020137 na zapadu te E 5016039 na istoku. Obradeno područje ima površinu 317 km<sup>2</sup>, a prostire su u rasponu visina od najniže na 130 m (dolina Korane) do najviše 473 m (vrh Gradina, Perjasička kosa). U geološkoj građi prevladavaju kredne, te nešto manje zastupljene jurske, karbonatne stijene.

Uglavnom ih čine vapnenci, a sporadično i dolomiti. Područje je zbog toga dobro okršeno s velikim brojem ponikava i s vrlo malo površinskih tokova. Iznimke čine Dobra, Mrežnica i Korana koje, osim nekoliko iznimki (Bistrica, Globornica, Tounjčica) nemaju razvijenu mrežu površinskih pritoka. Manji dio područja izgrađen je od nepropusnih, uglavnom miocenskih i pliokvartarnih sedimenata. Na njima je razvijen fluviodenudacijski reljef s mrežom jaruga i dolina.



*Slika 5-2 Obuhvat istraživanog područja uz rijeku Mrežnicu*

## 5.2. ANALIZA SATELITSKIH SNIMAKA

### 5.2.1. METODE I PODACI

Za obradu i analizu podataka o pokrovu i namjeni odnosno korištenju zemljišta u području istraživanja upotrijebljeno je nekoliko različitih javno dostupnih izvora geoprostornih podataka: CORINE slojevi podataka promjena pokrova i sloj promjene gustoće pokrova drveća te multispektralne satelitske snimke programa Landsat. Podaci CORINE *Land Cover Change* i *Tree Cover Density Change* Europske agencije za okoliš (EEA) dostupni su putem programa Copernicus Europske unije (Europske komisije) (Tablica 5-1). Promjene pokrova prema CORINE-u odnose se za razdoblja: 2000.-2006., 2006.-2012., 2012.-2018., a u sloju gustoće pokrova drveća zabilježene su promjene u razdoblju 2012.-2015.

Tablica 5-1 Podaci Europske komisije upotrijebljeni u istraživanju

Točan naziv upotrijebljenih slojeva iz programa Copernicus:
Land Cover Change (LCC) 2000-2006, Version 2020_20u1
Land Cover Change (LCC) 2006-2012, Version 2020_20u1
Corine Land Cover Change (CHA) 2012 - 2018, Version 2020_20u1
High Resolution Layer: Tree Cover Density Change (TCDC) 2012 – 2015

Provedena je dodatna obrada satelitskih snimaka radi detaljnijeg pregleda promjene šumskog pokrova u definiranom području istraživanja i usporedbe s podacima iz prethodno navedenih slojeva. Posebna pozornost usmjerena je na šumski pokrov zbog njegovog znanstveno dokazanog značaja za površinsko otjecanje, posebice tijekom ekstremnih vremenskih prilika, odnosno intenzivnih padalina (oborina) te zbog povezanosti procesa deforestacije s procesima denudacije. Izvršena je nadzirana klasifikacija multispektralnih satelitskih snimaka Landsat pomoću metode najveće vjerodostojnosti (engl. *maximum likelihood classification*). Upotrijebljene su snimke misije Landsat 5 za klasifikaciju šumskog pokrova 2009. te Landsat 8 za 2014. i 2019. godinu (Tablica 5-2).

Tablica 5-2 Satelitske snimke Landsat (USGS) upotrijebljene u istraživanju

Točan naziv upotrijebljenih satelitskih snimaka:
LT05_L1TP_189029_20090819_20161022_01_T1
LC08_L1TP_190028_20140707_20170421_01_T1
LC08_L1TP_189029_20190628_20190706_01_T1

Osim usporedbe i izračuna promjena u pokrovnosti i korištenju zemljišta izračunat je i uobičajeni koeficijent pošumljenosti za analizirana razdoblja. Naime, važnu ulogu u otjecanju i formiranju poplavnih valova imao je šumskih površina u slijevu (Riđanović, 1993, Žugaj, 2015). On se izražava koeficijentom pošumljenosti koji se izračunava jednostavnom formulom:

$$K_{\xi} = \frac{A_{\xi}}{A} \quad [1]$$

gdje je  $K_{\xi}$  koeficijent pošumljenosti,  $A_{\xi}$  je površina slijeva pod šumskom vegetacijom, a  $A$  je površina slijeva.

## 5.2.2. REZULTATI

### 5.2.2.1. Područje Korane (Radonja)

Uvidom u slojeve promjena pokrova i namjene korištenja zemljišta CORINE za područje Korane (Radonje) utvrđeni su sljedeći podaci. Tijekom razdoblja od 2000. do 2006. godine, promjene pokrova zabilježene su na 453 ha zemljišta, a među promjenama dominira s 305 ha ona iz bjelogorične (CLC 311) i mješovite šume (CLC 313) u klasu sukcesije šume ili zemljišta u zarastanju (CLC 324), odnosno stanovitu prijelaznu klasu grmolikih šuma. Također se ističe značajna promjena pokrova iz klase pašnjaka (CLC 231) u poljoprivredne površine (CLC 242 i 243) s 136 ha.

Razdoblje od 2006. do 2012. karakterizira promjena klase zemljišta u zarastanju (CLC 324) u bjelogoričnu šumu (CLC 311) na 207 ha te istovremena deforestacija (iz CLC 311 u 324) na drugim područjima, ali u manjoj mjeri, na gotovo 60 ha.

U posljednjem dostupnom razdoblju CLC podataka, od 2012. do 2018. godine, u promjenama na ukupno 329 ha, ponovno je dominirala deforestacija iz bjelogorične šume (CLC 311) u grmoliku šumsku vegetaciju (CLC 324) s 305,7 ha. U ostatku je zabilježena obnova bjelogoričnog šumskog pokrova (iz CLC 324 u 311).

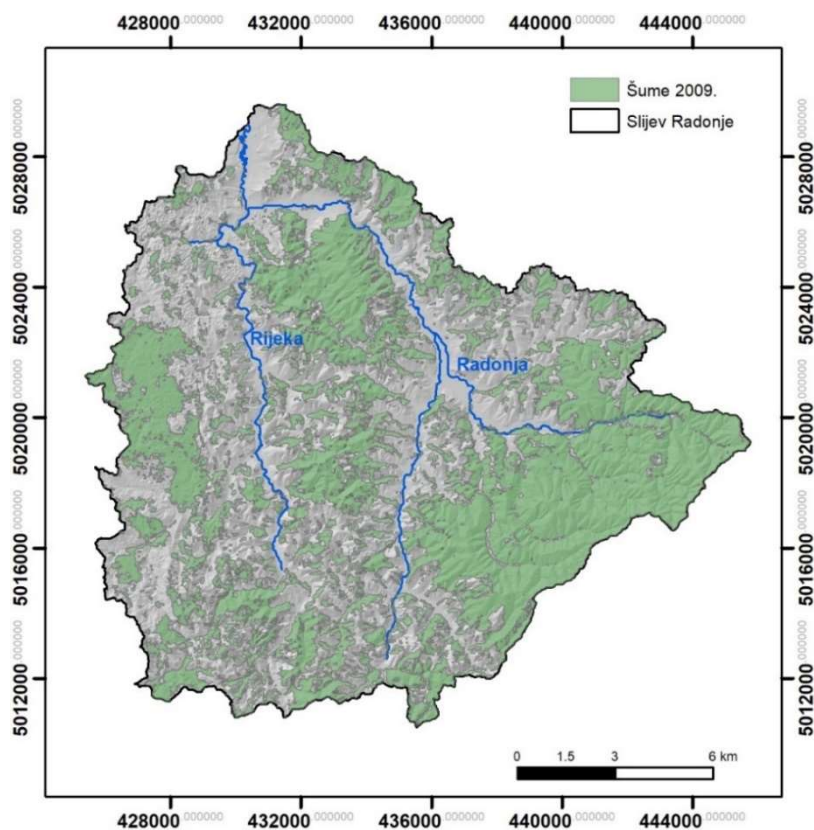
Nadziranom klasifikacijom Landsat satelitskih snimaka iz 2009., 2014. i 2019. godine (Slike 5-3, 5-4, 5-5), za područje Korane (Radonje) dobivene su sljedeće vrijednosti površina pod šumskim pokrovom (Tablica 5-3):

**Tablica 5-3** Šumski pokrov u slijevu Radonje

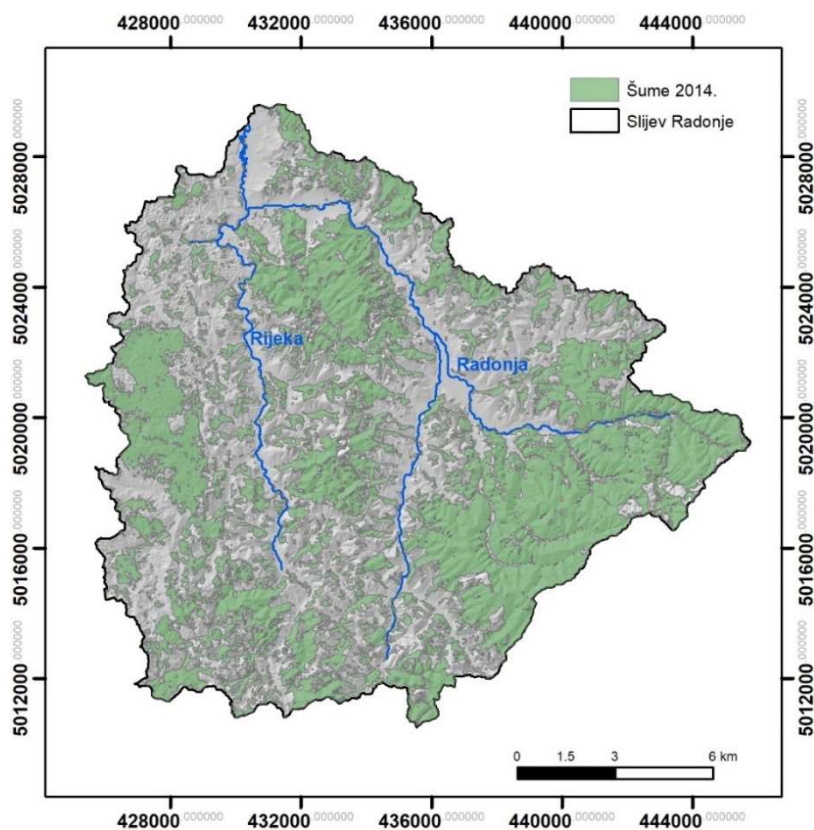
Godina	2009.	2014.	2019.
Površina šume	11.070 ha	10.838 ha	11.117 ha
Koeficijent pošumljenosti $K_{\xi}$	0,478	0,468	0,480

Iz dobivenih podataka, vidljive su fluktuacije, odnosno smanjenja i povećanja ukupnih površina pod šumskim pokrovom. No, valja naglasiti da je prostorni raspored područja na kojima su zabilježeni gubici šumskog pokrova, kao i njihov smještaj s obzirom na visinske razrede i nagibe terena, bitniji za ovo istraživanje od ukupne bilance navedenog pokrova u promatranom razdoblju. Ta mjerenja nalaze se u poglavlju 5.3.1.



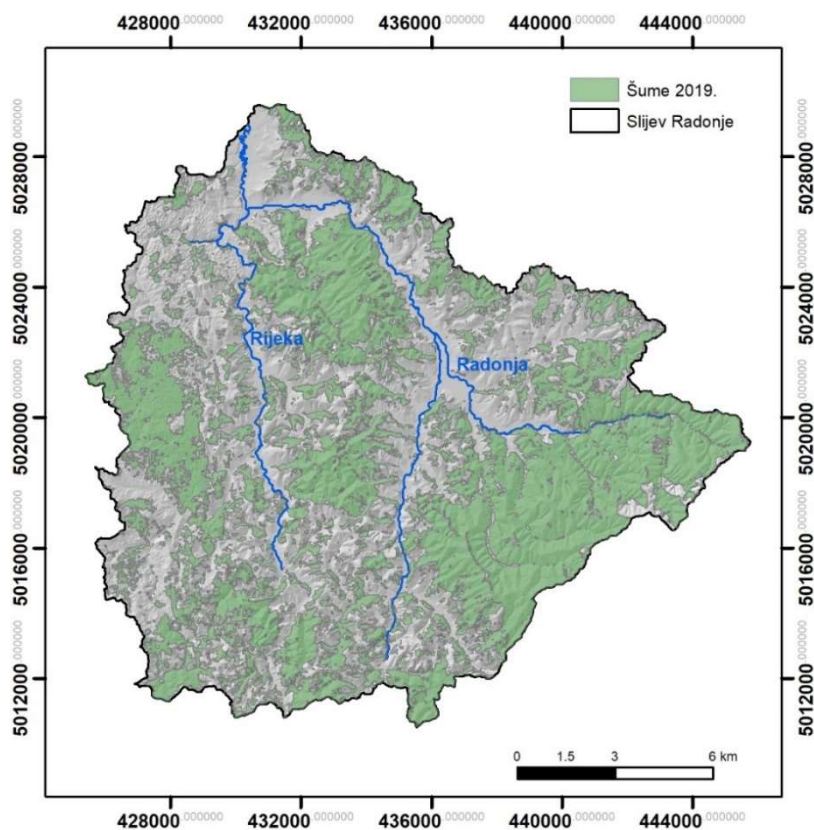


*Slika 5-3: Prostorni raspored površine pod šumom na području slijeva Radonje u 2009. godini na temelju Landsat podataka*



*Slika 5-4 Prostorni raspored površine pod šumom na području slijeva Radonje u 2014. godini na temelju Landsat podataka*



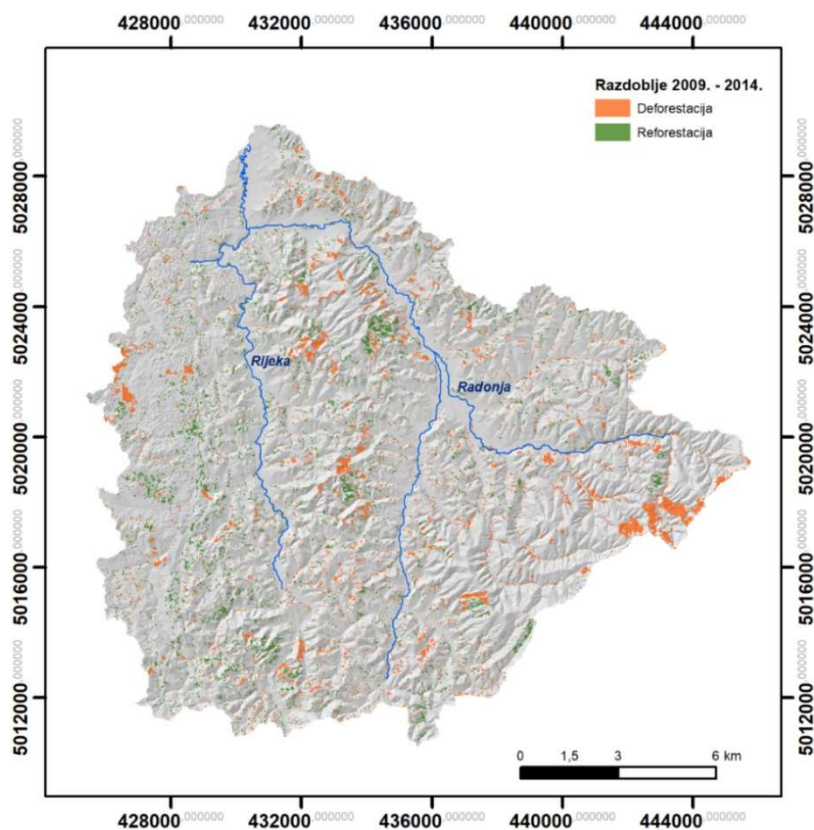


*Slika 5-5 Prostorni raspored površine pod šumom na području slijeva Radonje u 2019. godini na temelju Landsat podataka*

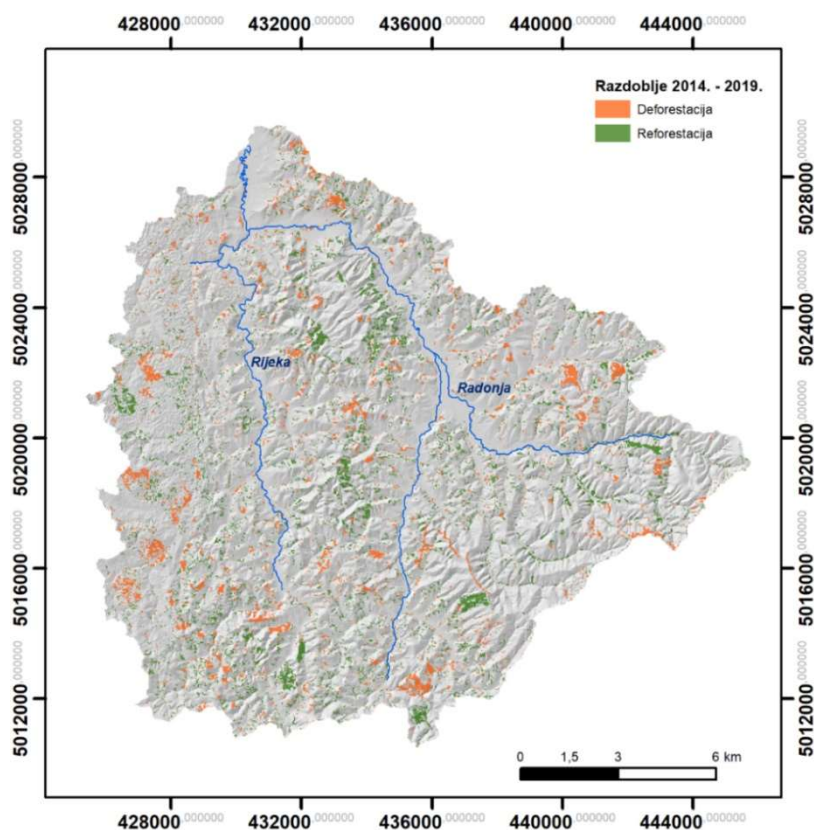
Dodatna pozornost usmjerena je na područja na kojima je detektirana deforestacija. Područja koja možemo okarakterizirati kao deforestirana ustanovljena su preklapanjem i uspoređivanjem šumskih i nešumskih područja s prije navedenih Landsat snimaka (Slike 5-6, 5-7). Gubici šumskog pokrova, odnosno deforestacija (Tablica 5-4) izračunata je za dva razdoblja: 2009. – 2014. i 2014. – 2019.

*Tablica 5-4 Deforestacija u slijevu Radonje*

Razdoblje	2009. – 2014.	2014. – 2019.
Deforestacija	1095 ha	983 ha



*Slika 5-6 Promjene šumskog pokrova na području slijeva Radonje 2009. – 2014. na temelju Landsat podataka*



*Slika 5-7 Promjene šumskog pokrova na području slijeva Radonje 2014. – 2019. na temelju Landsat podataka*

### 5.2.2.2. PODRUČJE MREŽNICE

Na predmetnom području Mrežnice promjene su raznovrsnije. Tijekom razdoblja 2000.-2006., također prevladava deforestacija iz bjelogorične i crnogorične šume u sukcesiju šuma ili grmolike šume (CLC 311/312 u 324) s više od 83 ha te se usporedno zbiva izgradnja mreže prometnica (CLC 122) nauštrb pretežno poljoprivrednih površina (CLC 243) na 35 ha, bjelogorične šume (CLC 311) na približno 21 ha te prijelaznog područja šuma (CLC 324) na 29 ha. Osim toga, zabilježena je promjena posljednje navedene klase u mjesta eksploatacije mineralnih sirovina (CLC 131).

Od 2006. do 2012. zbivaju se jednostavnije promjene pokrova: deforestacija ili degradacija iz bjelogoričnih, crnogoričnih i mješovitih šuma (CLC 311/312/313) u područja prijelaznih ili grmolikih šuma (CLC 324) na gotovo 164 ha te obrnuti procesi na 112 ha (iz CLC 324 u 311/313).

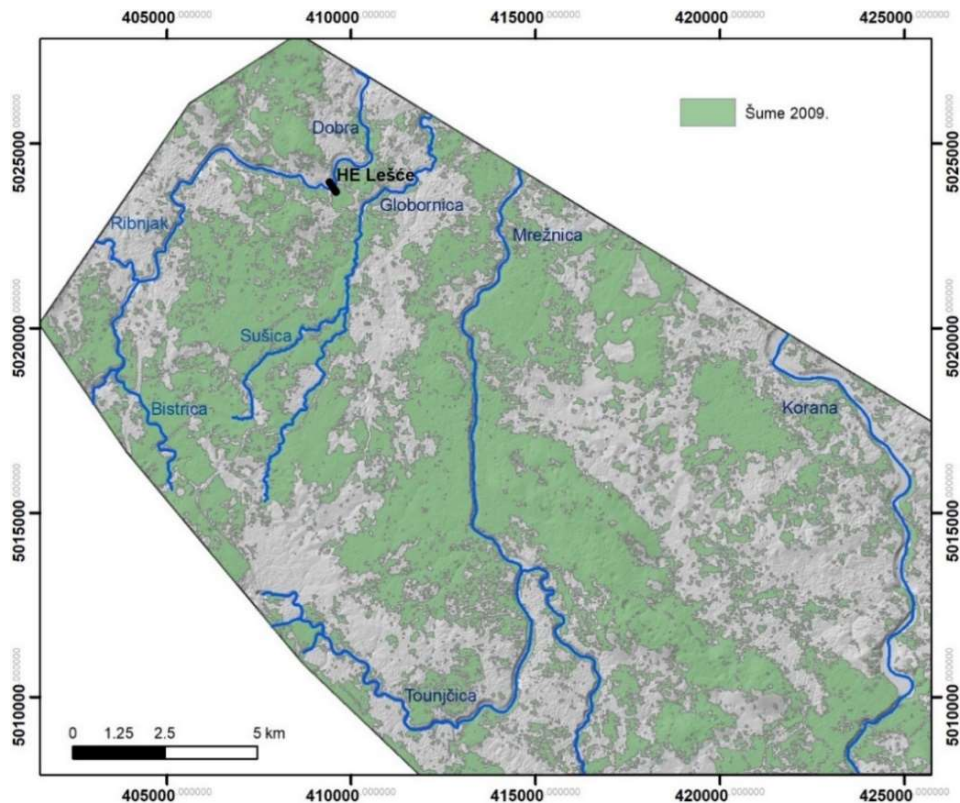
Tijekom posljednjeg razdoblja 2012. - 2018., na odabranom području Mrežnice, od preko 520 ha promjena pokrova većinu, odnosno 346 ha čini pretvorba šumskog pokrova u degradiranu grmoliku klasu (CLC 324), a na 47 ha zabilježena je izmjena upravo te klase u gradilišta (CLC 133). U gradilišta je također promijenjeno 127 ha pretežno poljoprivrednih zemljišta (CLC 243).

Nadziranom klasifikacijom satelitskih snimaka Landsat iz 2009., 2014. i 2019. godine (Slike 5-8, 5-9, 5-10), za područje Mrežnice dobivene su sljedeće vrijednosti površina pod šumskim pokrovom (Tablica 5-5).

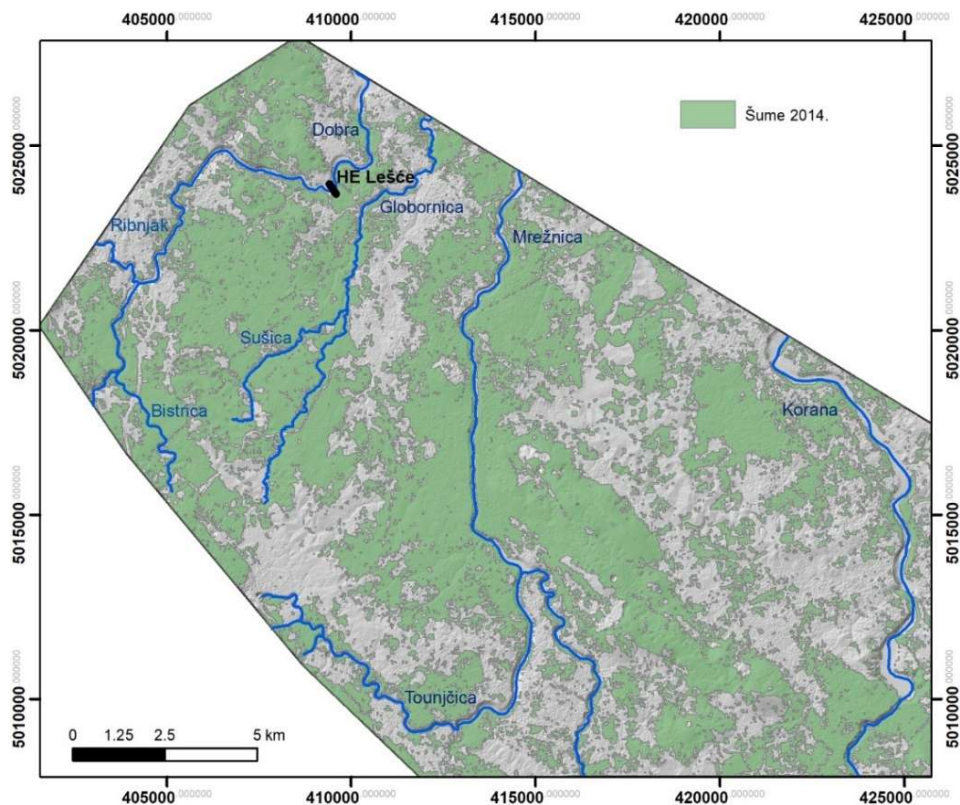
**Tablica 5-5** Šumski pokrov u predmetnom području Mrežnica

Godina	2009.	2014.	2019.
Površina	15.788 ha	16.967 ha	18.407 ha

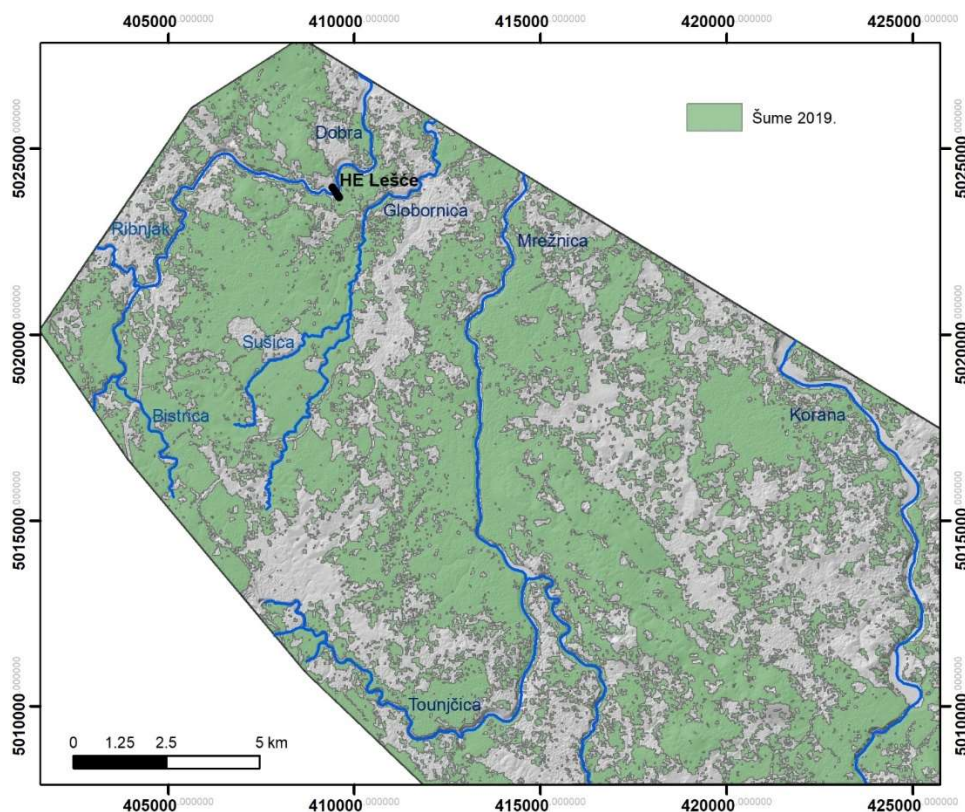




*Slika 5-8 Prostorni raspored površine pod šumom na području Mrežnice u 2009. godini na temelju Landsat podataka*



*Slika 5-9 Prostorni raspored površine pod šumom na području Mrežnice u 2014. godini na temelju Landsat podataka*



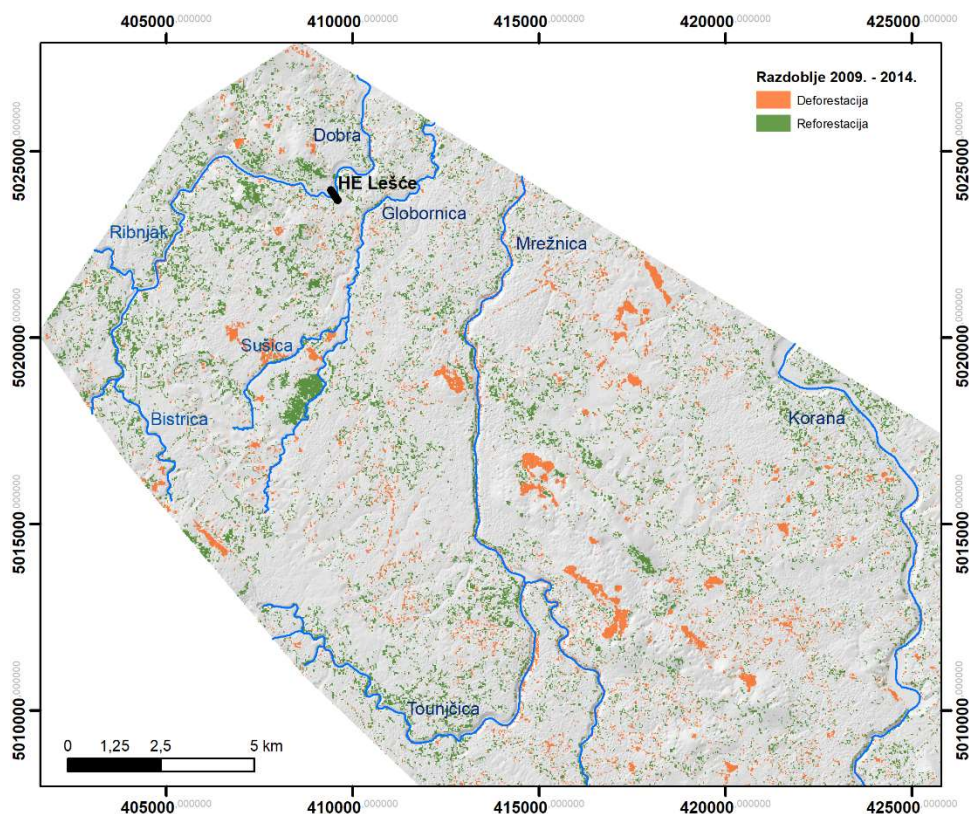
**Slika 5-10:** Prostorni raspored površine pod šumom na području Mrežnice u 2019. godini na temelju Landsat podataka

Gubici šumskog pokrova (Slike 5-11, 5-12), odnosno deforestacija (Tablica 5-6) izračunata za područje Mrežnice, prema istoj metodologiji kao i za predmetno područje Korane (Radonja).

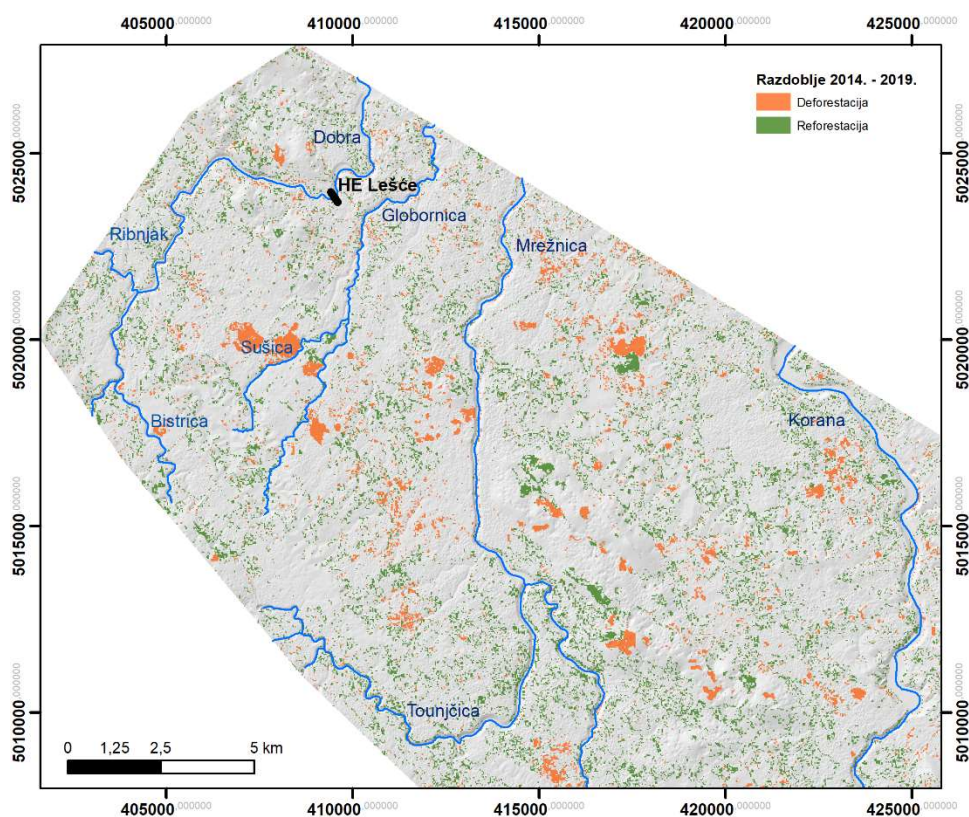
**Tablica 5-6** Deforestacija u predmetnom području Mrežnica

Razdoblje	2009. – 2014.	2014. – 2019.
Deforestacija	1302 ha	1210 ha





*Slika 5-11 Promjene šumskog pokrova na području Mrežnice 2009. – 2014. na temelju Landsat podataka*



*Slika 5-12 Promjene šumskog pokrova na području Mrežnice 2014. – 2019. na temelju Landsat podataka*

## 5.3. ANALIZA RELJEFA

### 5.3.1. METODE I PODACI

#### Morfometrijska analiza

##### Opća morfometrija

Metode opće geomorfometrije obuhvaćaju kvantitativnu analizu reljefa cijelog istraživanog prostora. Glavni cilj ove analize je dobiti pokazatelje obilježja reljefa posebno onih vezanih za načine otjecanja (površinsko otjecanje i erozija, podzemno otjecanje u kršu). Sve analize izrađene su korištenjem digitalnog modela reljefa (DMR) rezolucije 5x5 m koji je izrađen na temelju visinskih podataka Državne geodetske uprave.

Hipsometrija je metoda kojom se analiziraju visinski odnosi. Visine područja podijeljene su u visinske razrede te je izračunata njihova površina i udio. Kod analize drenažnog bazena može se primijeniti izrada hipsometrijske krivulje koja prikazuje udio visina prema udjelu površina samog bazena. Također, za slijev Radonje, ali i slijev Muljave je izračunat hipsometrijski integral, pokazatelj razvijenosti drenažnog bazena, a posredno i potencijalne erozije. Hipsometrijski integral se računa po formuli:

$$Hi = \frac{Hsr - Hmin}{Hmax - Hmin} \quad [2]$$

gdje je Hsr – srednja visina slijeva, Hmin – najniža visina slijeva i Hmax – najviša visina slijeva.

Za potrebe sagledavanja visinskih odnosa izrađeni su morfološki profili terena na odabranim pravcima, a za područje Radonje i duž korita.

Vertikalna raščlanjenost reljefa je pokazatelj potencijalne energije u svakoj točki reljefa, a izračunava se kao visinska razlika najviše i najniže točke u svakoj jediničnoj površini. Kao jedinična površina uzet je krug radijusa 564 m (tj. površine 1km<sup>2</sup>). Računa se kao:

$$Vr = \frac{Hmax - Hmin}{a} \quad [3]$$

gdje je *a* površina jedinične površine, Hmin – najniža vrijednost visine unutar jedinične površine i Hmax – najviša vrijednost visine unutar jedinične površine. Vrijednosti vertikalne raščlanjenosti kategoriziraju se prema standardnim vrijednostima prikazanim u Lozić (1995). Za istraživani prostor vrijednosti su kategorizirane i u prilagođene kategorije raspona 30 m/km<sup>2</sup>

Nagib padina predstavlja kut između padine u određenoj točki i horizontalne ravnine, a izračunava se prema principu:

$$a = \arctan (h/i) \quad [4]$$

gdje je *a* kut nagiba u (°), *h* visinska razlika dviju točaka, te *i* njihova tlocrtna udaljenost. Prilikom digitalne analize reljefa koristi se metoda 3x3 kvadrata kod koje se određuje maksimalna visinska razlika središnje i okružujućih ćelija DMR-a. nagibi se kategoriziraju prema standardnim geomorfološkim kategorijama nagiba (Demek, 1972; Lozić, 1996).

Ekspozicija padina pokazuje njihovu orijentiranost prema stranama svijeta grupirano u 8+1 kategoriju. Osam kategorija s po 22,5° raspona te jedna koja obuhvaća horizontalne površine.

Osim navedenih metoda koje su primijenjene na oba područja, zbog njihove geomorfološke specifičnosti za svako su područje primijenjene dodatne metode opće morfometrije.

Za područja drenažnog bazena Radonje primijenjene su metode indeksa topografskog vlaženja (TWI topographic wetness index) te indeksa snage toka (SPI stream power index) (Moore i dr., 1991). TWI je pokazatelj raspodjele vlage u tlu na koju utječe morfologija terena. Izračunava se kao:

$$TWI = \ln(a/\tan(a)) \quad [5]$$

gdje je  $a$  područje koje se odvodnja prema određenoj ćeliji rastera, dok je  $a$  kut nagiba padina u toj ćeliji (Beven i Kirkby, 1979). TWI se smatra jako dobrim pokazateljem vlažnosti, bolji i od nekih često korištenih bioindikatora (Radulaa i dr., 2018).

Indeks snage toka (SPI) srodan je TWI-ju, a predstavlja indikator potencijalne erozije u pojedinoj točki. Izračunat je prema formuli:

$$SPI = a * \tan(a) \quad [6]$$

gdje je  $a$  područje koje se odvodnjava prema određenoj ćeliji rastera, dok je  $a$  kut nagiba padina u toj ćeliji (Wilson i Gallant, 2000).

### ***Specifična morfometrija***

Metode specifične morfometrije obuhvaćaju kvantitativnu analizu pojedinih izdvojenih elemenata reljefa. Najčešće se izdvajaju oni oblici koji su indikatori pojedinih uvjeta i procesa oblikovanja reljefa.

Za područje slijeva Korane (tj. Radonje) kao indikator erozije korištena je analiza oblika slijeva i karakteristika drenažne mreže.

Oblik slijeva važan je element koji izravno utječe na oblik hidrograma (Musy i Higy, 2011; Žugaj, 2015). Izduženiji oblici su povoljniji s aspekta izostanka poplavnih valova jer velika količina vode koja padne na slijev ne dolazi na ušće istovremeno. Graveliusov koeficijent koncentriranosti slijeva najčešće je korišten te se izračunava formulom:

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \quad [7]$$

gdje je  $K_G$  Graveliusov koeficijent koncentriranosti slijeva,  $P$  je opseg slijeva a  $A$  je površina slijeva.

Na temelju DMR-a generirana je drenažna mreža te su izračunati njeni parametri poput Strahlerove klasifikacije tokova, gustoće drenažne mreže. Generiranjem drenažne mreže definiran je i drenažni bazen (slijev) za koji su tada izračunati parametri poput hipsometrijskog integrala.

Specifično otjecanje ili specifični dotok ( $q$ ) pogodan je pokazatelj koji opisuje vodnost nekoga područja (Riđanović, 1993, Žugaj, 2015). Izračunat je za područje slijeva Radonje. Izračunava se formulom:

$$q = \frac{Q}{A} \quad [8]$$

gdje je  $q$  specifično otjecanje (u L/s/km<sup>2</sup>),  $Q$  je protok na izlaznom profilu slijeva (u L/s) a  $A$  je površina slijeva (u km<sup>2</sup>).

Za područje oko kanjona Mrežnice korištena je analiza gustoće ponikava, metoda ekstrakcije krških depresija na način da je od rastera DMR-a oduzet raster DMR-a s ispunama depresija te analiza paleodrenažne mreže.

### Morfogenetska analiza

Za oba područja određeni su morfogenetski tipovi reljefa prema metodologiji Gamsa i dr., 1985, prilagođeno. Na području slijeva Radonje izdvojeni su slijedeći morfogenetski tipovi: fluvijalni, fluviodenudacijski, fluviokrški i krški. S obzirom na prostorno neujednačenu morfologiju, fluviokrški tip je dodatno podijeljen na onaj u kojem dominiraju fluviodenudacijski oblici i procesi te onaj u kojem dominiraju krški oblici i procesi. Na obrađenom području oko rijeke Mrežnice izdvojeni su morfogenetski tipovi: fluviodenudacijski, krški s elementima fluviokrša i fluviokrški reljef na dolomitima.

### Korištenje zemljišta i reljef

Da bi se utvrdio odnos korištenja zemljišta tj. šumskog pokrova i značajnih morfometrijskih parametara reljefaza oba područja parametri korištenja zemljišta uspoređeni su s kategorijama visina i nagiba padina dok su za područje Mrežnice uspoređeni i s prostornim rasporedom ponikva kao dobrim indikatorom okrštenosti reljefa.



## 5.3.2. REZULTATI

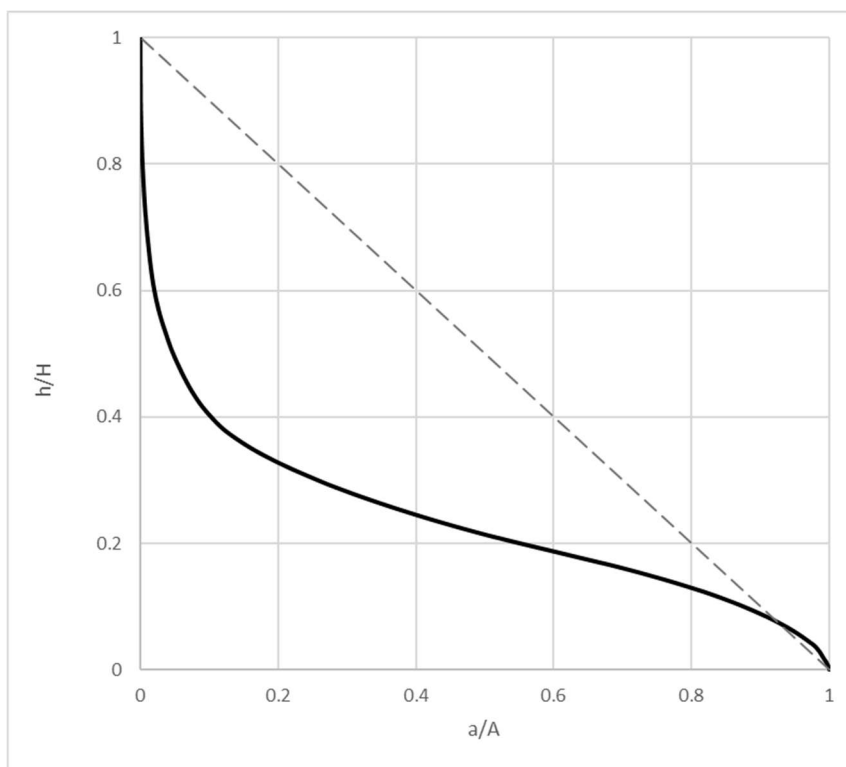
### 5.3.2.1. PODRUČJE KORANE - SLJEVOVI RADONJE I MULJAVE

#### Morfometrijska analiza

Raspon visina (Slika 5-13) unutar slijeva rijeke Radonje je od minimalnih 114 m.n.m (ušće Radonje u Koranu) do maksimalnih 512 m.n.m (vrh Veliki Petrovac) što je ukupni raspon od 398 m. Srednja visina slijeva Radonje je 209,92 m (Tablica 5-7).

Tablica 5-7 Osnovni podaci slijeva Radonje

Parametar (mjer. jedinica)	Vrijednost
Površina (km <sup>2</sup> )	231.80
Opseg (km)	88.50
Hmin (m)	114.00
Hmax (m)	512.00
dH (m)	398.00
Hsred (m)	209.92
Hipsometrijski integral	0.24
Duljina (km)	18.89
Gradijent slijeva (m/km)	21.07

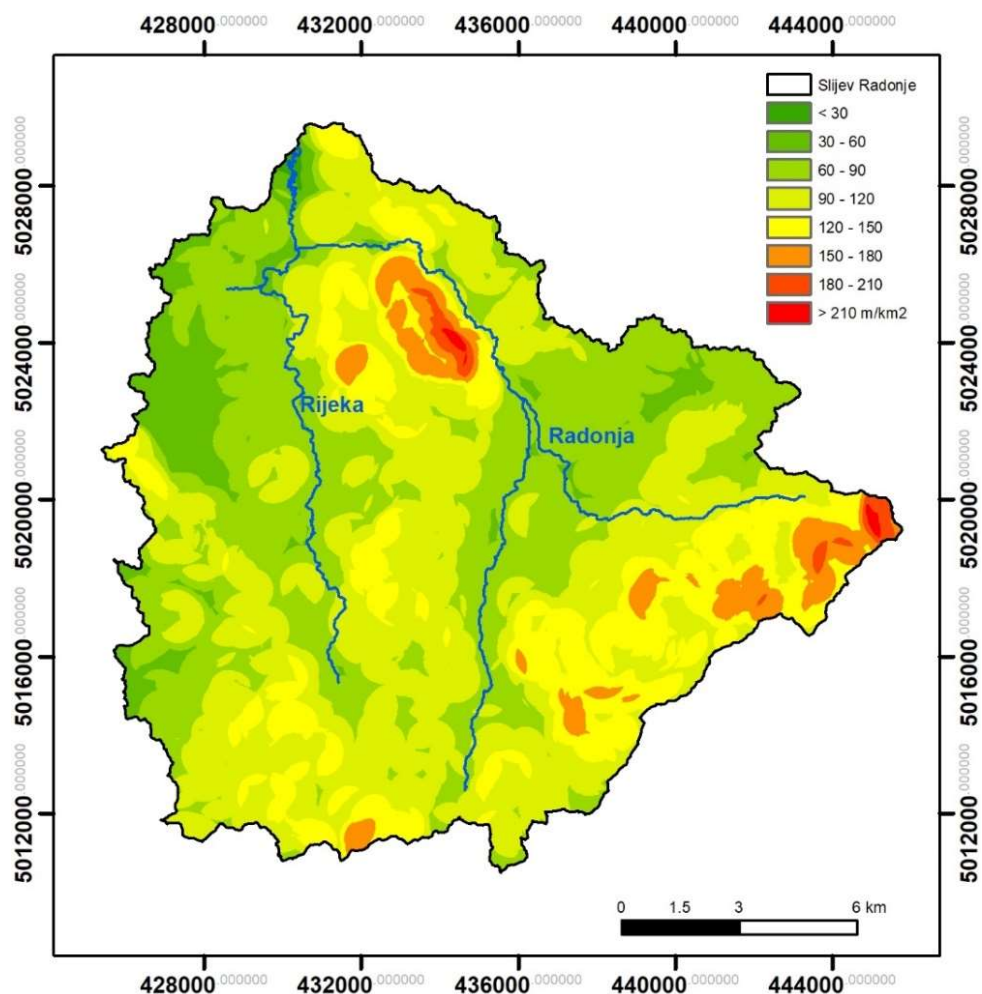


Slika 5-13 Hipsografska krivulja slijeva Radonje

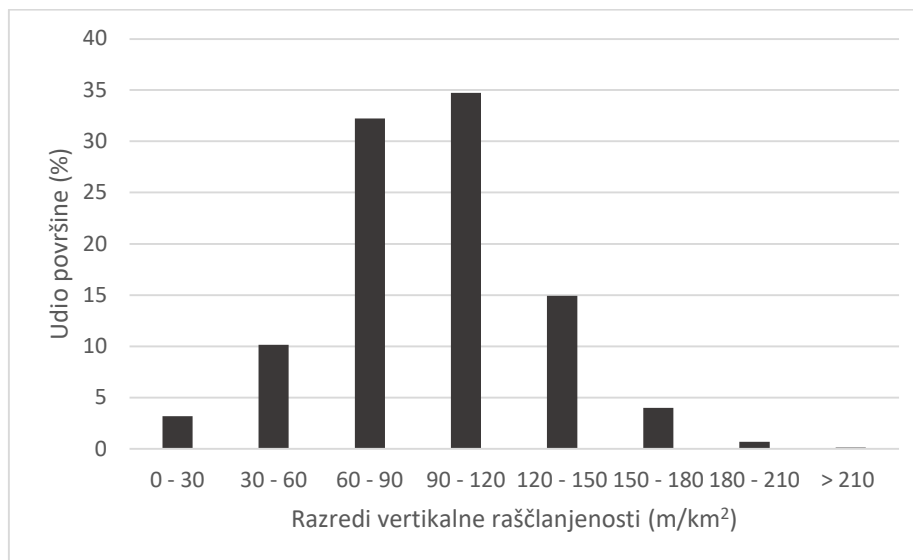


Hipsometrijski integral (0,24) i hipsografska krivulja (Slika 5-13) ukazuju da se većina površine slijeva nalazi u donjoj četvrtini raspona visina. Općenito to ukazuje na razmjerno zreli drenažni bazen s manjim erozijskim potencijalom. Međutim, s obzirom na to da se radi o najviše raščlanjenom terenu u okolici ovi podaci ukazuju upravo da se radi o terenu s povećanom erozijom u odnosu na okolicu posebno ako se uzme u obzir da je to teren uglavnom izgrađen od nepropusnih klastičnih stijena okruženih karbonatnim okršenim stijenama na nižim dijelovima.

Analiza vertikalne raščlanjenosti pokazala je njen neravnomjeran prostorni raspored (Slika 5-14). Prosječna raščlanjenost je relativno niska  $93,3 \text{ m/km}^2$  i pripada kategoriji slabo raščlanjenog reljefa (ali uz samu granicu prema kategoriji umjerene raščlanjenosti). Međutim, na istom prostoru imamo raspon od gotovo 0 pa do maksimuma od  $222,5 \text{ m/km}^2$  koji pripada kategoriji umjerene raščlanjenosti i to u njenoj gornjoj polovici, bliže kategoriji izrazite raščlanjenosti. Za istraživani prostor vrijednosti su kategorizirane i u prilagođene kategorije raspona  $30 \text{ m/km}^2$  (Slika 5-14, 5-15). Prevladavaju kategorije 60-90 i 90-120  $\text{m/km}^2$  koje ukupno zauzimaju preko 65 % površine. Kategorije s najvišim vrijednostima zauzimaju istočni dio slijeva (područje Petrove gore), a sekundarni maksimum je vidljiv na području Loskunje.



Slika 5-14 Karta vertikalne raščlanjenosti slijeva Radonje

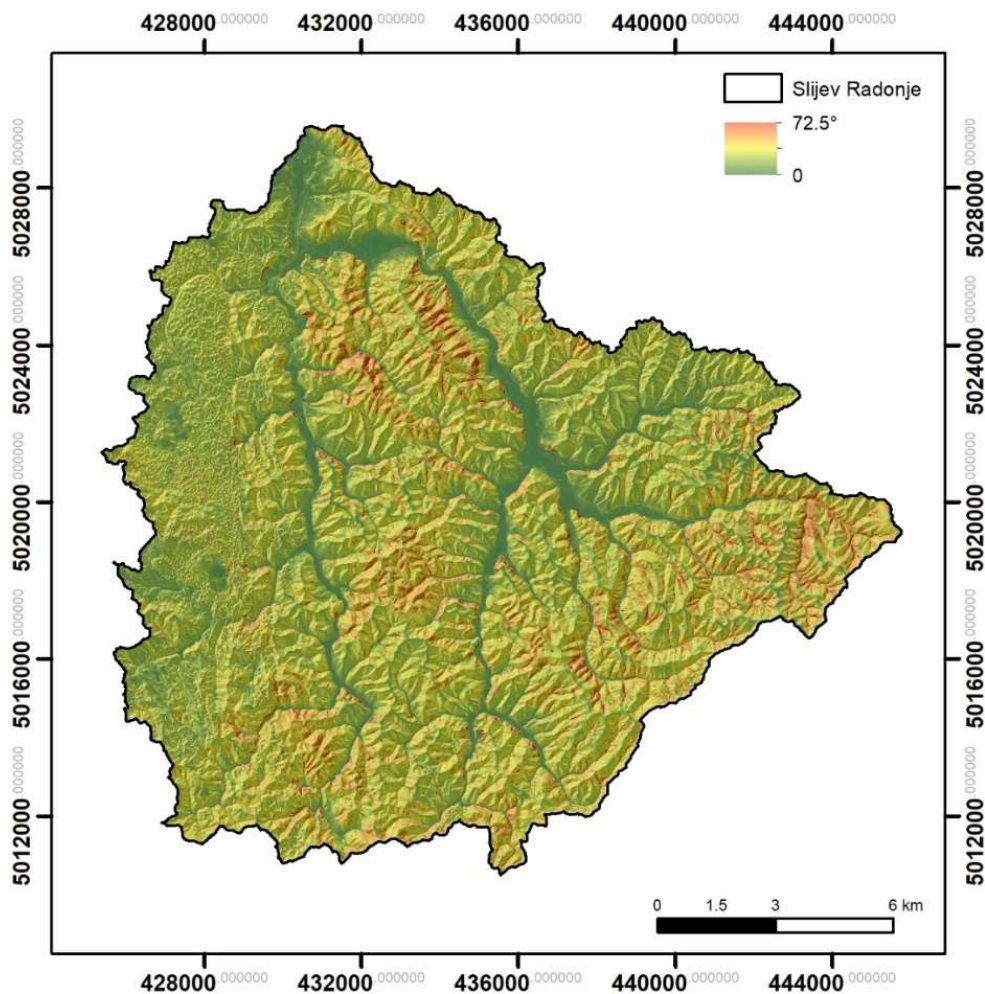


**Slika 5-15** Površinski udjeli prilagođenih klasa vertikalne raščlanjenosti reljefa slijeva Radonje

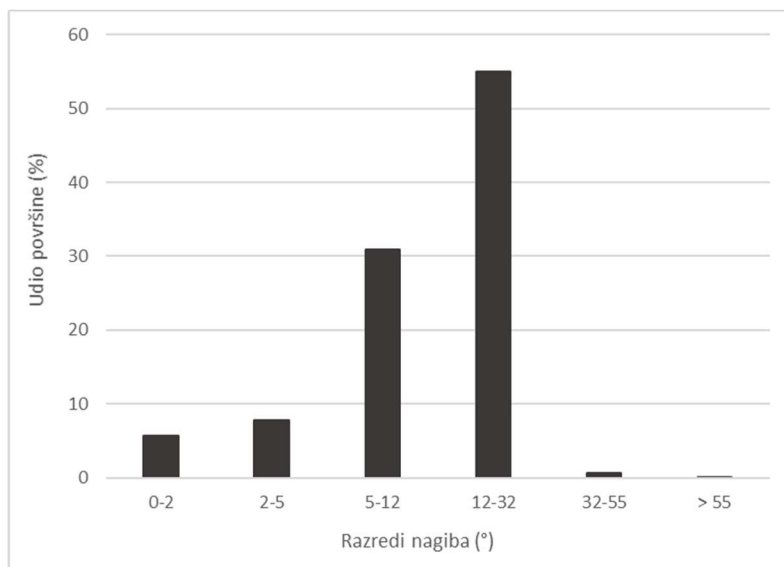
Nagibi padina na istraživanom području su također prostorno raznoliki, a protežu se u rasponu od 0 do 72,5° (Slike 5-16, 5-17, 5-18). Prosječni nagib cijelog prostora je 13,1° što već ulazi u 4. kategoriju nagiba koja podrazumijeva pojavu spiranja te izrazitu eroziju i kretanje masa (Tablica 5-8). Kada se pogleda prostorni raspored standardnih geomorfoloških kategorija nagiba (Tablica 5-8) vidljivo je da s 55 % udjela prevladava 4. kategorija (12-32°). Nadalje, kategorija nagiba od 3. na više, dakle one, podložne eroziji i spiranju, zauzimaju površinu od čak 86,6 %. 5. kategorija rasprostire se na području najvećih nadmorskih visina i vertikalne raščlanjenosti (Petrova gora i Loskunja). To su ujedno i područja najznačajnije promjene u pokrivenosti šumskim pokrivačem. Najviša, 6. kategorija vrlo je slabo rasprostranjena i uglavnom je vezana za antropogeno oblikovane strmce (u kamenolomima).

**Tablica 5-8** Geomorfološka klasifikacija nagiba padina (Gams i dr., 1985)

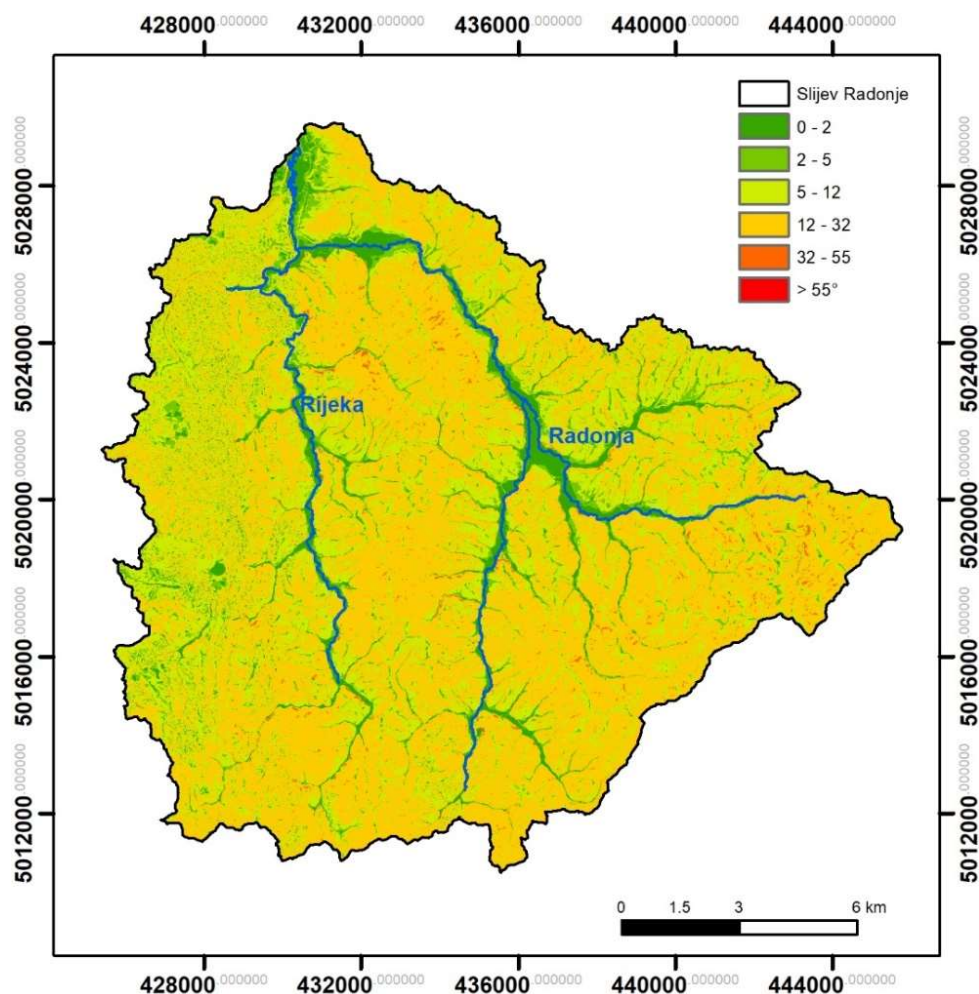
Kategorije	Nagib (°)	Opis
1.	0-2	Ravnice; kretanje masa se ne opaža
2.	2-5	Blago nagnuti teren; blago spiranje
3.	5-12	Nagnuti teren; pojačano spiranje i kretanje masa
4.	12-32	Jako nagnuti teren; snažna erozija, spiranje i izrazito kretanje masa
5.	32-55	Vrlo strm teren; dominira destrukcija
6.	>55	Strmci (litice, eskarpmani); urušavanje



*Slika 5-16: Karta nagiba padina slijeva Radonje na podlozi sjenčanog reljefa (kontinuirani prikaz podataka)*



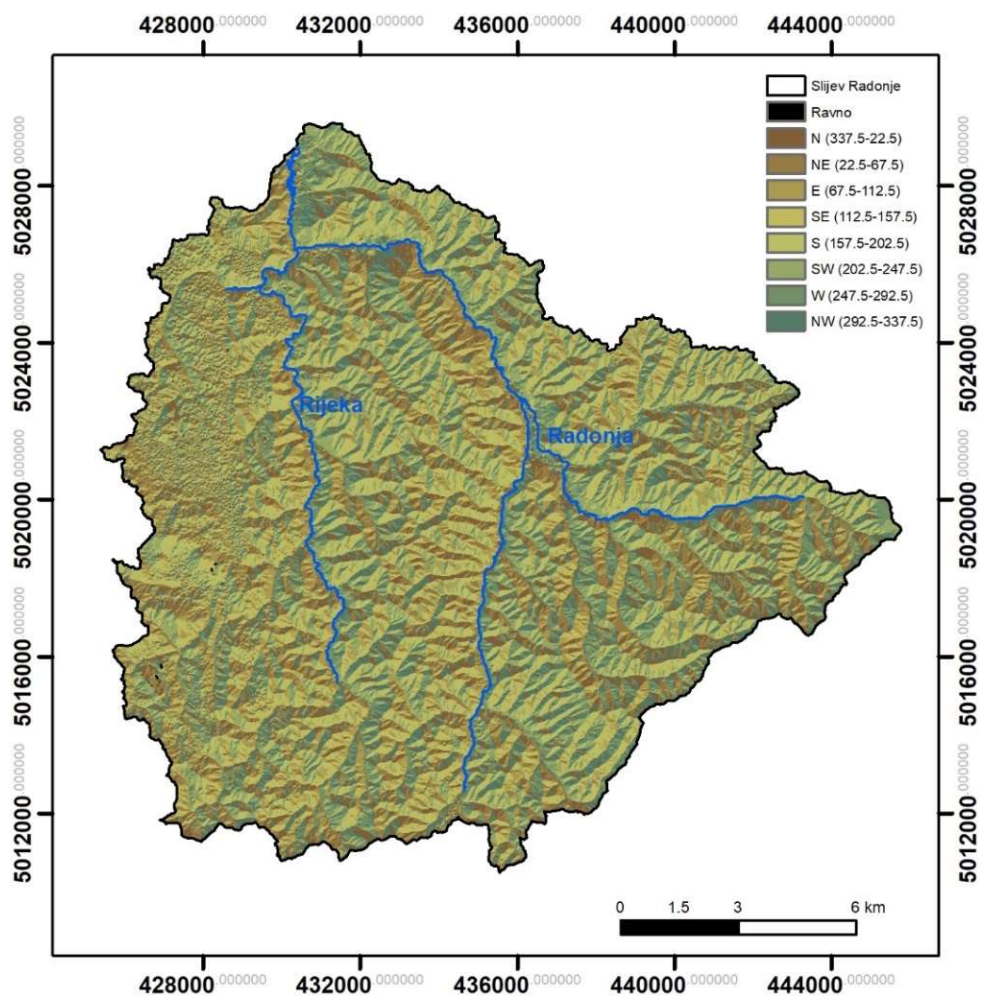
*Slika 5-17 Površinski udjeli geomorfoloških klasa nagiba padina slijeva Radonje*



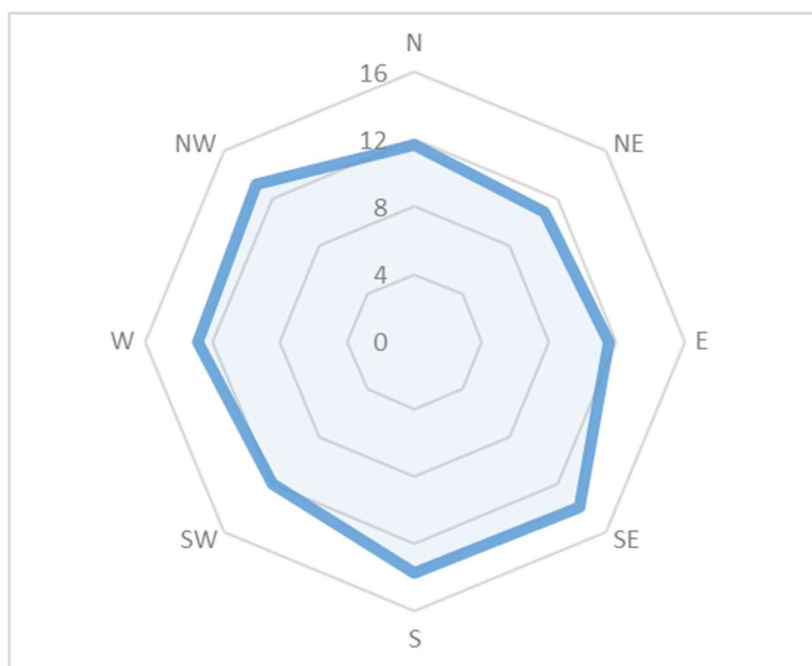
*Slika 5-18 Karta geomorfoloških klasa nagiba padina slijeva Radonje*

Karta ekspozicije padina (Slika 5-19) ukazuje na razmjerno veće nagnute plohe padina različite orijentacije. Izuzetak čini sjeverozapadni dio s okršenim reljefom gdje su zbog mikrorasčlanjenosti plohe padina znatno manje. Na veliku dinamiku reljefa ukazuju činjenice da (i) ravnih padina gotovo da i nema (osim manje površine u krškom dijelu terena) i (ii) nema prevladavajuće orijentacije padine već su svi smjerovi zastupljeni podjednako, u rasponu od 11-14 % površine (Slika 5-20).





*Slika 5-19 Karta ekspozicija padina slijeva Radonje*

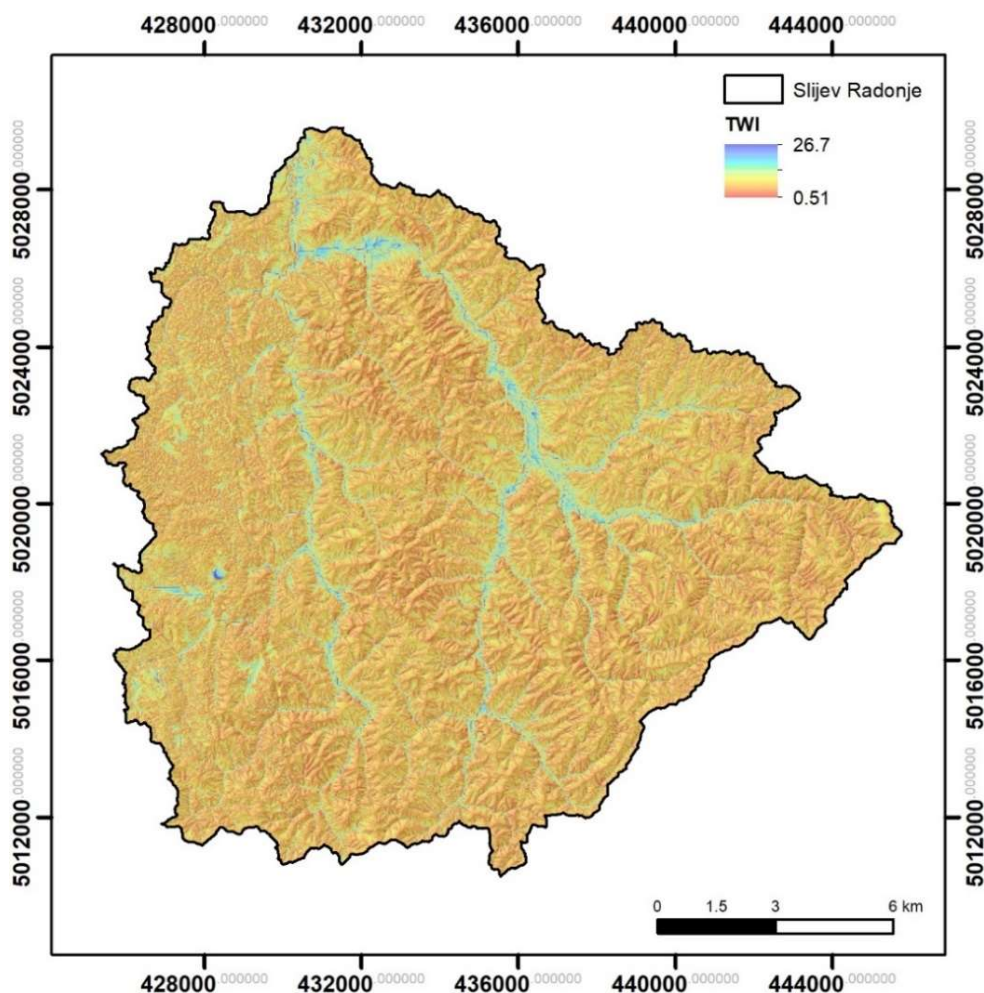


*Slika 5-20 Površinski udjeli ekspozicija padina slijeva Radonje (u %)*

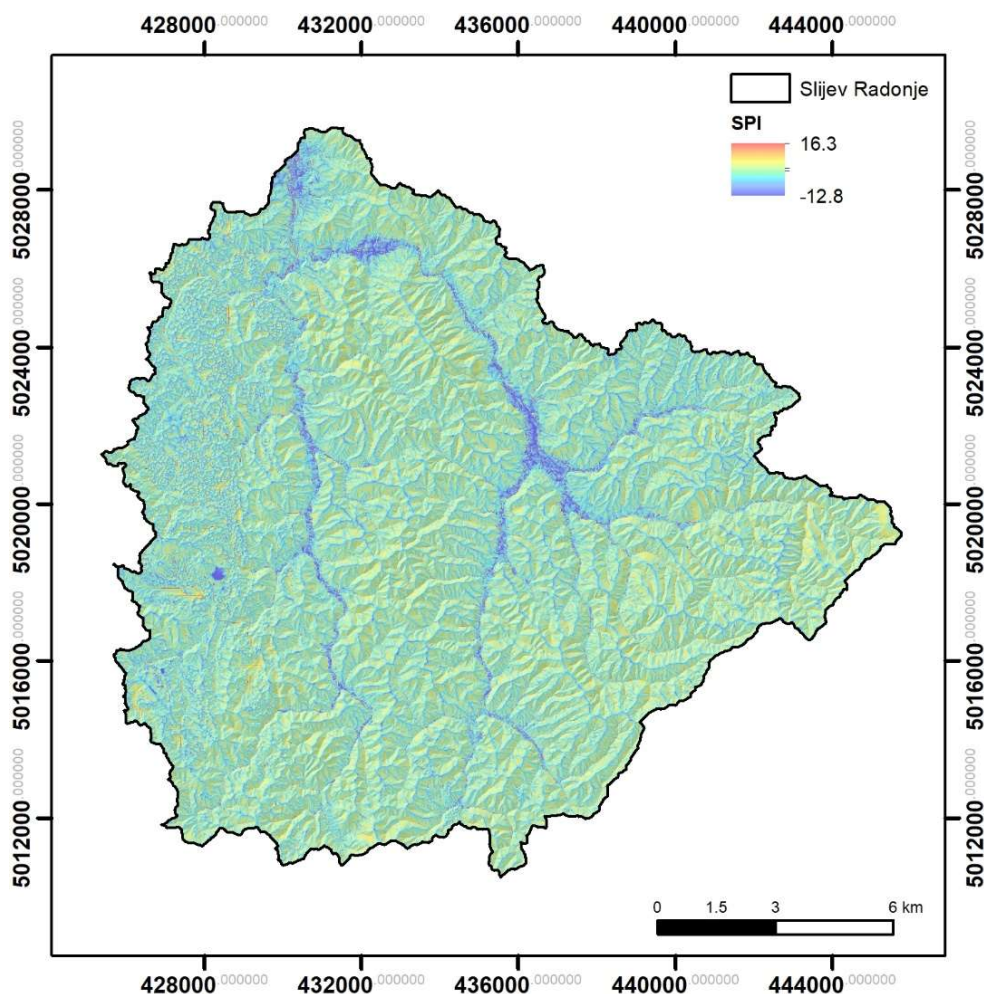


Indeks topografske vlažnosti jedan je od važnih pokazatelja potencijalne vlažnosti tla, ali i indikator mogućnosti pojave bujičnih poplava (Pourali i dr., 2014). Na istraživanom području TWI pokazuje veliki raspon (0,26-26,7) s prosjekom od 5,38 (Slika 5-21) što ukazuje na povećanu mogućnost bujičnih poplava. Posebno su izložena područja s velikim nagibima i raščlanjenošću reljefa gdje dolazi do nagle promjene TWI-a što je ovdje izraženo u središnjem i posebno istočnom dijelu.

Sličan je pokazatelji Indeks snage toka (SPI) koji je indikator zona erozije i akumulacije (Wilson i Gallant, 2000). U području drenažnog bazena Radonje SPI se kreće od -12,8 (zone akumulacije) do 16,3 (zone erozije) (Slika 5-22). Zone erozije prevladavaju i to posebno u središnjem i istočnom dijelu slijeva. Zone akumulacije odnose se prije svega na doline Radonje i Rijeke. To ukazuje da se ovdje nalaze zone prirodne retencije za poplavne valove te su to ujedno zone akumuliranja erodiranog materijala iz višeg zaleđa.



*Slika 5-21 Indeks topografske vlažnosti (TWI) slijeva Radonje*



*Slika 5-22 Indeks snage toka (SPI) slijeva Radonje*

Izračunati Graveliusov koeficijent koncentriranosti slijeva -  $K_G$  za slijev Radonje iznosi 1,64 a za slijev Muljave 1,3. Prema teorijskim postavkama niti jedan od navedenih sljevova nema izrazito povoljan oblik za stvaranje poplavnih valova (Musy i Higy, 2011). Oblik slijeva Muljave ima nešto povoljnije uvjete odnosno predispozicije za stvaranje poplavnih valova.

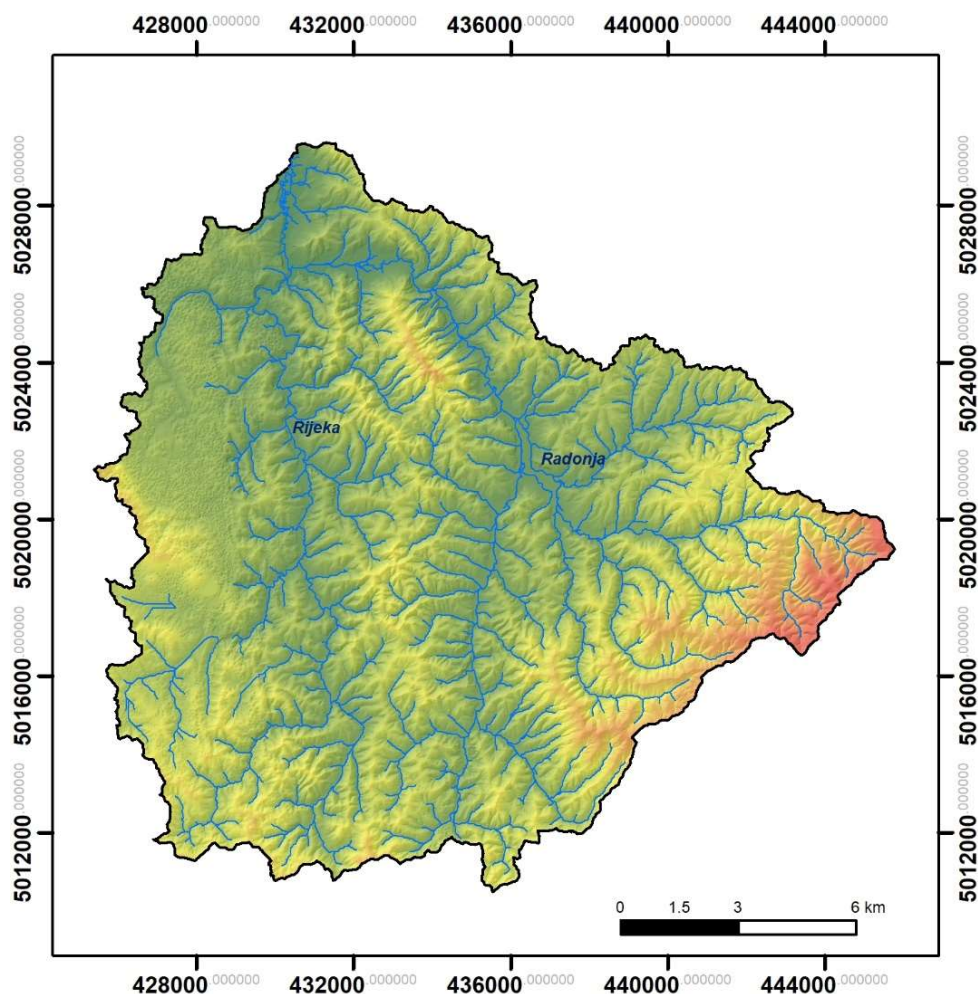
Specifično otjecanje za slijev Radonje do limnigrafa Tušilović za dva promatrana razdoblja 1990.-2009. i 2010.-2018. prikazano je u [Tablici 5-9](#). Izračunati su srednji specifični dotoci ( $M_q$ ; korištenjem srednjih vrijednosti protoka) te ekstremni, odnosno maksimalni ( $H_q$ ) i minimalni ( $N_q$ ) korištenjem odgovarajućih vrijednosti protoka.

*Tablica 5-9 Specifično otjecanje slijeva Radonje do limnigrafa Tušilović ( $L/s/km^2$ )*

	1990.-2009.	2010.-2018.	razlika	%
$M_q$	12,99	18,48	+5,49	+42,27
$H_q$	19,33	26,21	+6,88	+35,57
$N_q$	4,87	12,23	+7,37	+151,38

Primjetan je relativno veliki porast vrijednosti specifičnoga otjecanja slijeva Radonje do limnigrafa Tušilović u novijem razdoblju za cijeli raspon vrijednosti. Za naglasiti je povećanje maksimalnih specifičnih dotoka (korištene su srednje maksimalne vrijednosti) u novom razdoblju za oko 35%. Navedeni rezultati ukazuju na povećanje vodnosti područja (nakon 2010. godine) odnosno da s jedinice površine slijeva Radonje do limnigrafa Tušilović u prosjeku dotječe više vode nego u prethodnom razdoblju. Te podatke potvrđuju i ostale hidrološke analize, posebice povećanje koeficijenta otjecanja od oko 26% za isti limnigraf Tušilović (vidi poglavlje 3. Hidrološka analiza).

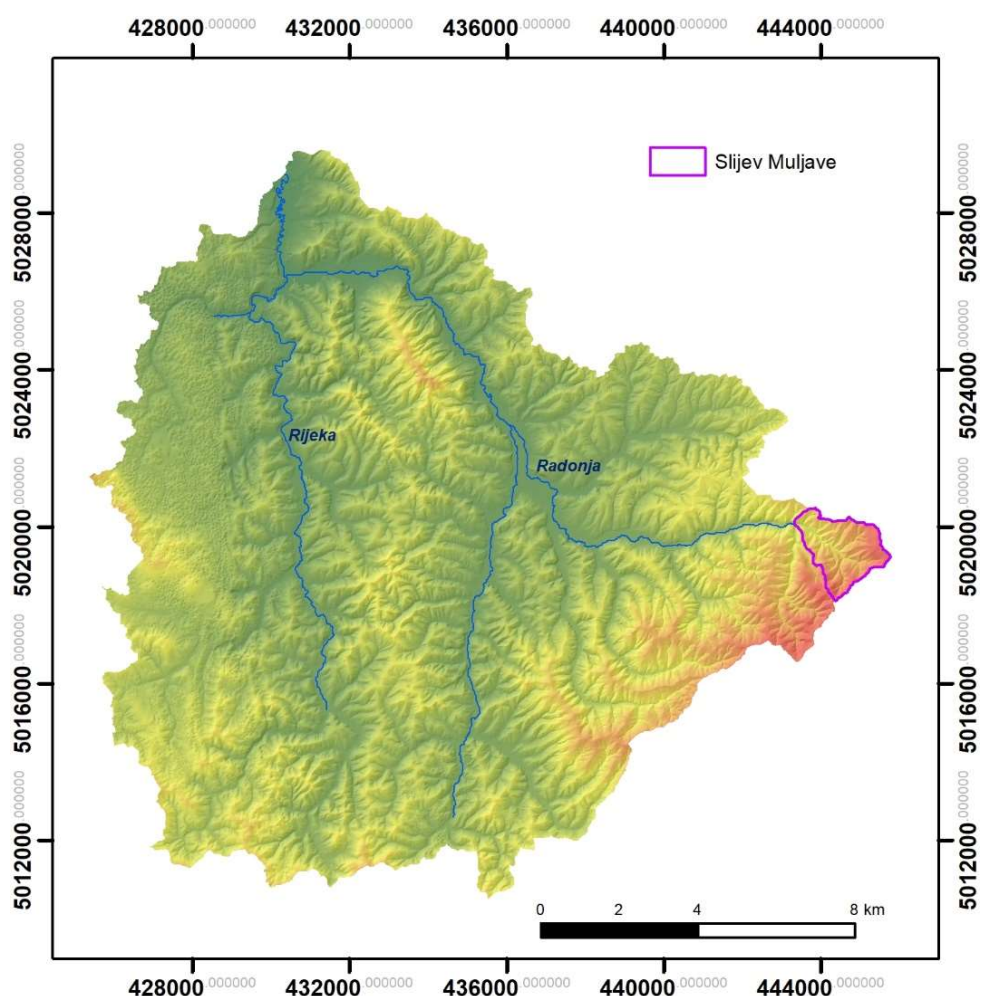
Drenažna mreža je za ovo područje automatski generirana na temelju digitalnog modela reljefa (Slika 5-23). Pri tom su u „*flow accumulation*“ funkciji filtrirane one ćelije DMR-a koje odvodnjavaju minimalno 1000 ćelija tj. 25000 m<sup>2</sup> (2,5 ha). Tako generirana drenažna mreža ima ukupnu duljinu od 413,5 km što na površini od 231,8 km<sup>2</sup> daje gustoću od 1,78 km/km<sup>2</sup>. Ako se uzme površina bez krškog dijela tj. ona na kojoj je drenažna mreža i razvijena (211,1 km<sup>2</sup>) njena gustoća je 1,96 km/km<sup>2</sup>. Ovi podaci ukazuju na dobro razvijenu drenažnu mrežu s izraženim potencijalom površinske erozije. Ova se značajka posebno ističe u istočnim, najvišim i najrašćlanjenijim dijelovima slijeva.



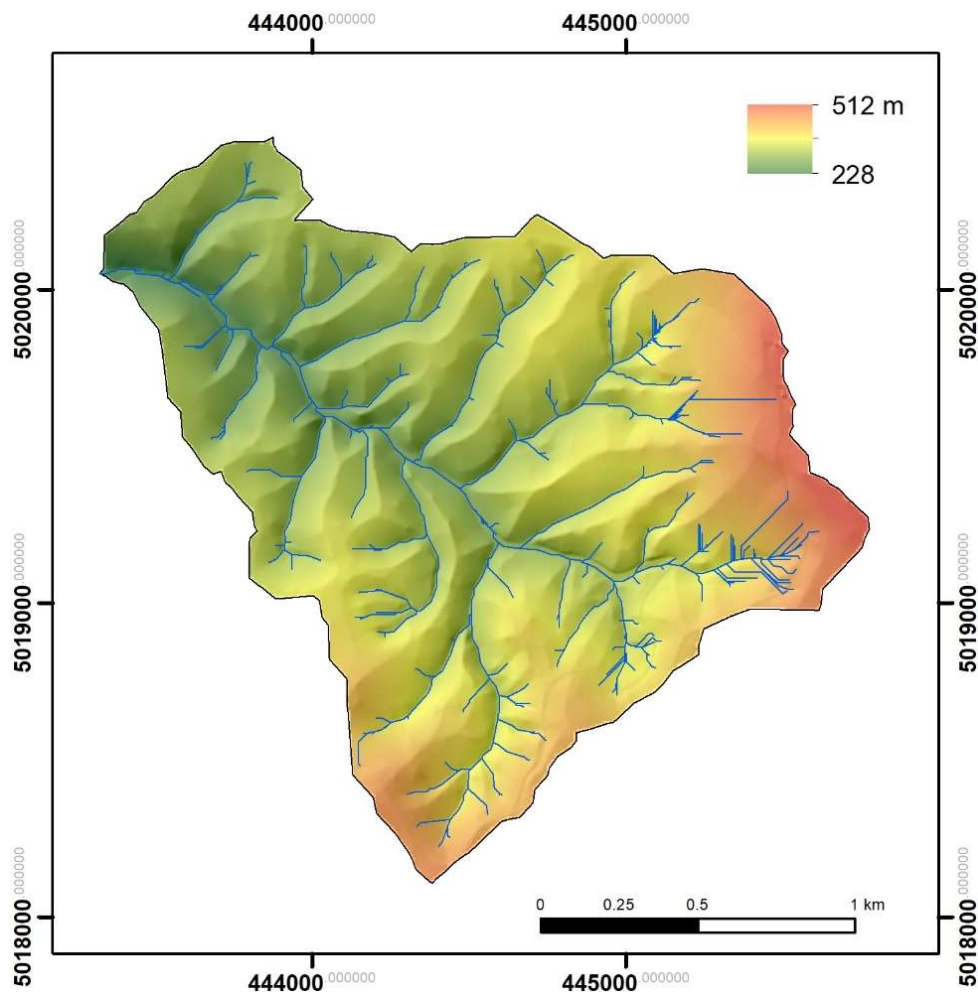
**Slika 5-23** Automatski generirana drenažna mreža porječja Radonje. Uključuje tokove koji odvodnjavaju površinu od minimalno 25000 m<sup>2</sup> (2,5 ha). Ručno pročišćeno za područje krša.



Najzapadniji i najviši dio slijeva Radonje je slijev Muljave (Slike 5-23, 5-24). Ovdje je posebno izdvojen je predstavlja područje značajno izloženo potencijalnoj eroziji. Radi se o području koje ima svega 1,3 % površine slijeva Radonje, a obuhvaća čak 284 m visinske razlike, što je gornjih 71,4 % ukupne visinske razlike slijeva Radonje (Tablice 5-7, 5-10). Također, za razliku od cijelog slijeva Radonje čiji gradijent iznosi svega 21,07 m/km, gradijent slijeva Muljave iznosi čak 110,21 m/km. Važne podatke o obilježjima drenažnog bazena Muljave pokazuju vrijednost hipsometrijskog integrala i hipsografska krivulja (Slika 5-26). Slijev Muljave ima razmjerno veliki iznos hipsometrijskog integrala (0,45) što znači da se polovica površine nalazi u donjih 45 % visine slijeva (Hi Radonje iznosi 0,24). Ova vrijednost označava ravnotežnu (zrelu) fazu razvoje drenažnog bazena, za razliku od Radonje čije drenažni bazen je već u starijoj fazi razvoja (Hi Radonje iznosi 0,24) (Strahler, 1952).



*Slika 5-24 Položaj slijeva Muljave u okviru slijeva Radonje*

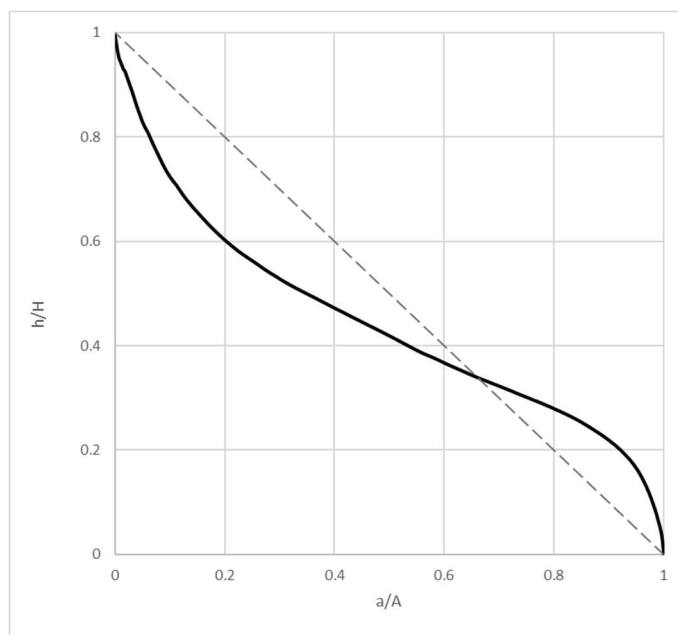


*Slika 5-25* Visinska karta slijeva Muljave s generiranom drenažnom mrežom čiji elementi odvodnjavaju površinu od minimalno 2500 m<sup>2</sup> (0,25 ha).

*Tablica 5-10* Osnovni podaci slijeva Muljave

Parametar (mjer. jedinica)	Vrijednost
Površina (km <sup>2</sup> )	3.03
Opseg (km)	8.09
Hmin (m)	228
Hmax (m)	512
dH (m)	284
Hsred (m)	354.8
Hipsometrijski integral	0.45
Duljina (km)	2.58
Gradijent slijeva (m/km)	110.21

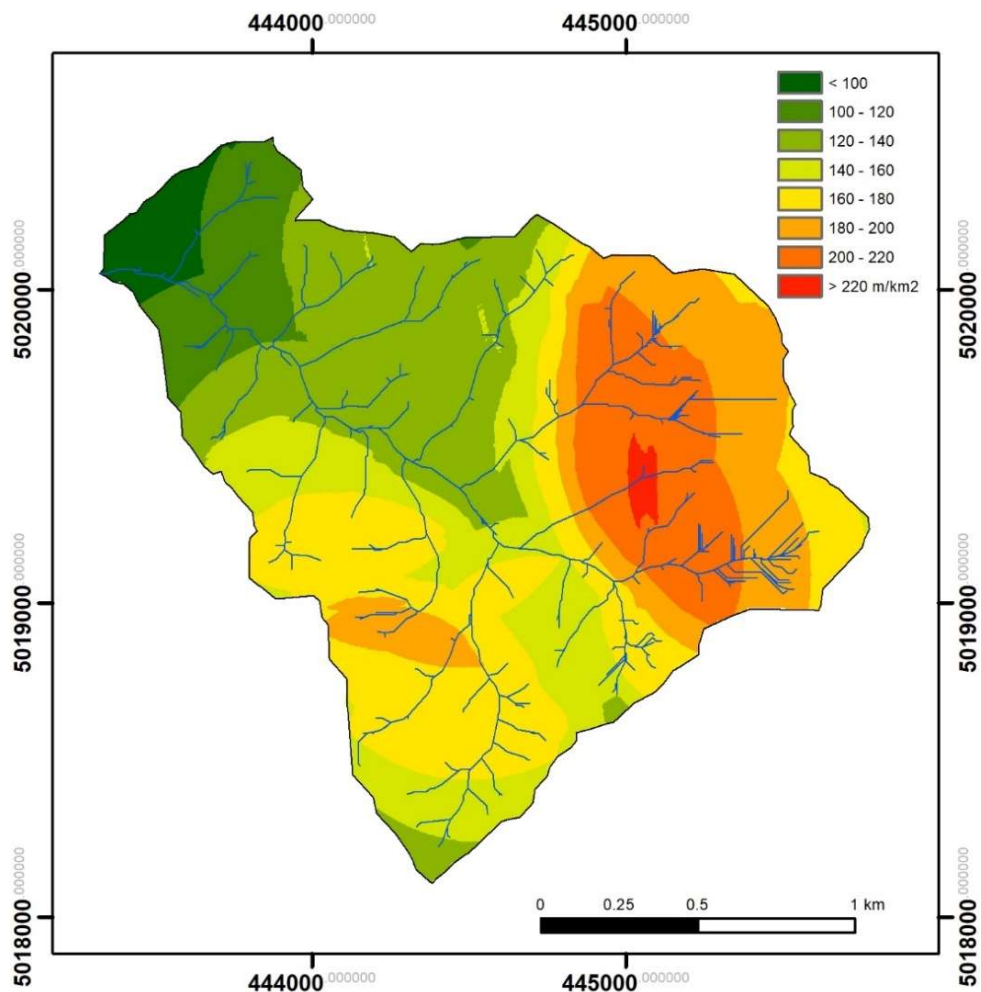




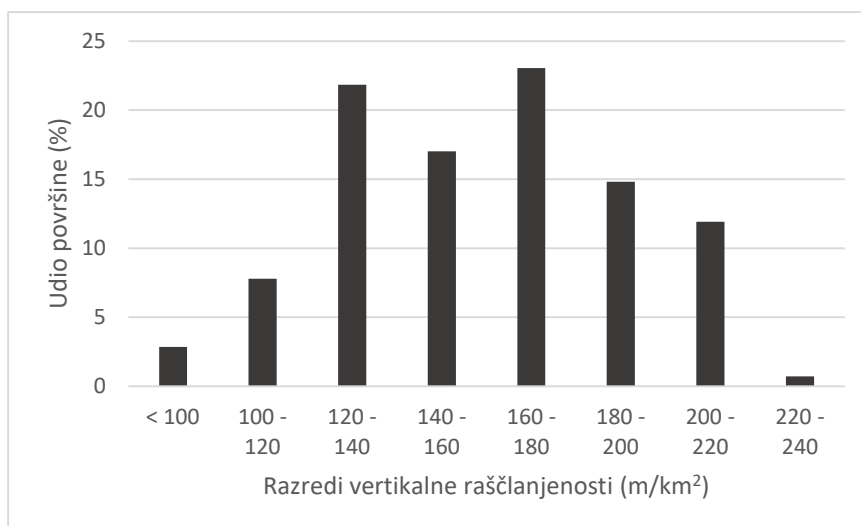
**Slika 5-26** Hipsografska krivulja slijeva Muljave

Vertikalna raščlanjenost slijeva Muljave (Slike 5-27, 5-28) kreće se u rasponu od 98,5 do 222,5 m/km<sup>2</sup> dok je prosječna raščlanjenost relativno visokih 159,3 m/km<sup>2</sup>. To je najrašćlanjeniji prostor slijeva Radonje (Slika 5-14). Gotovo 90 % slijeva ima raščlanjenost od preko 120 m/km<sup>2</sup>.

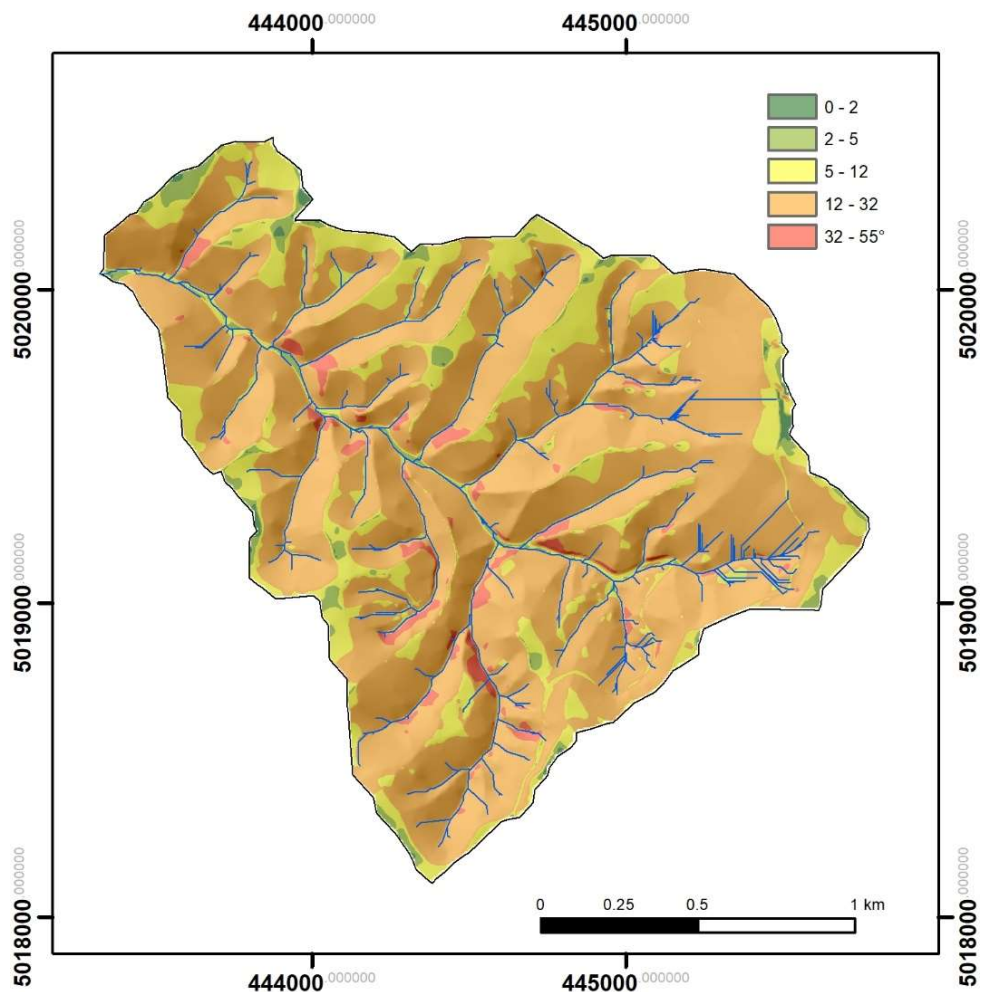
Slijev Muljave karakteriziraju i veliki nagibi padina (Slike 5-29, 5-30). Najveći nagibi dosežu 47,8° dok je prosječan nagib cijelog slijeva prilično visokih 18,3°. Više od 80 % površine terena otpada na 4. i 5. kategoriju nagiba (> 12°) što su kategorije s izuzetno razvijenim padinskim procesima (Tablica 5-8) dok su 1. i 2. kategorija (<5°) zastupljene s nepunih 3 %.



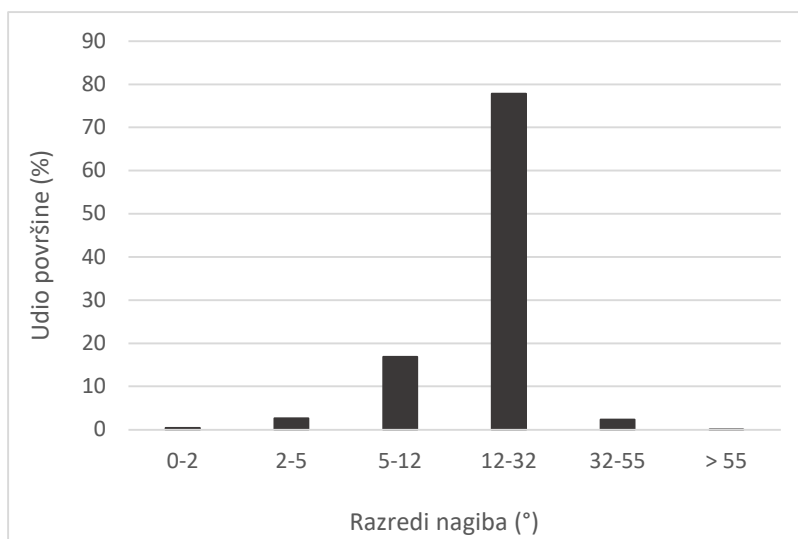
*Slika 5-27 Karta vertikalne raščlanjenost reljefa slijeva Muljave*



*Slika 5-28 Prostorni udjeli kategorija vertikalne raščlanjenost reljefa slijeva Muljave*



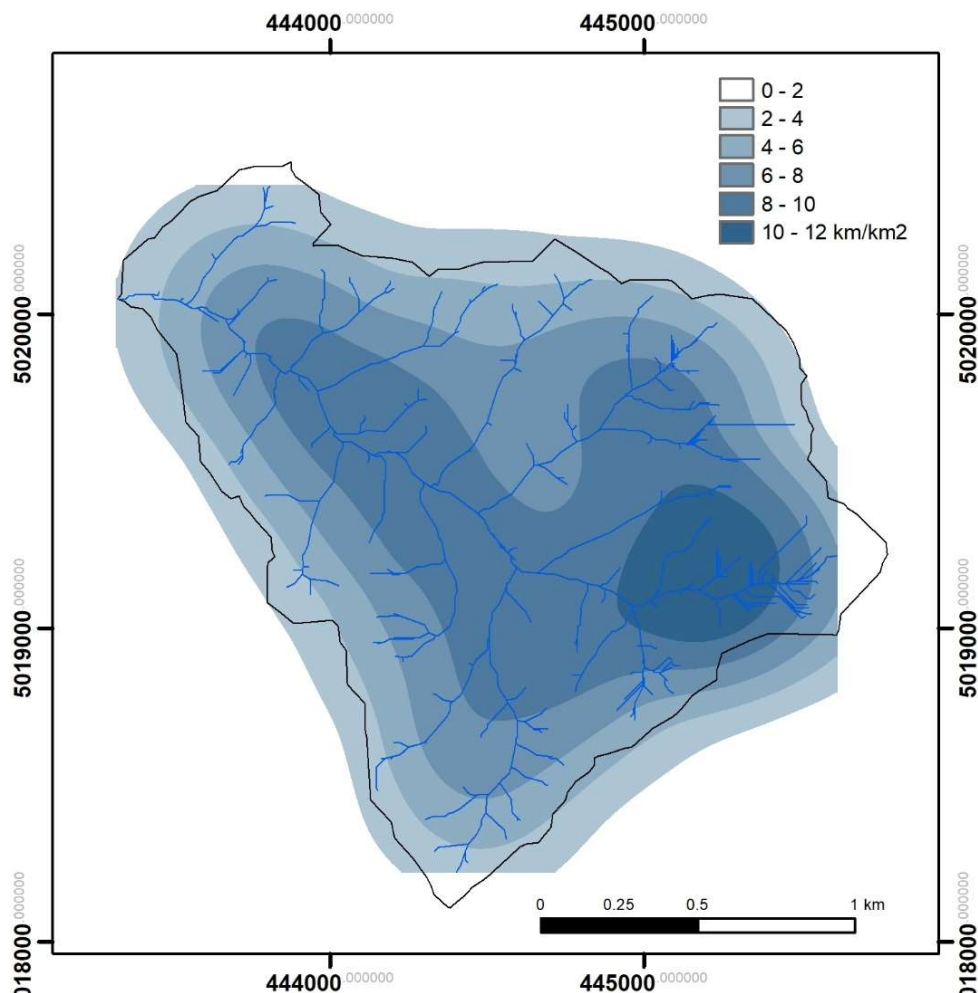
*Slika 5-29* Karta kategoriziranih nagiba padina slijeva Muljave



*Slika 5-30* Prostorni udjeli nagiba padina slijeva Muljave

Na temelju digitalnog modela reljefa automatski je generirana drenažna mreža ([Slika 5-31](#)). U ovom slučaju su „*flow accumulation*“ funkcijom filtrirane one ćelije DMR-a koje odvodnjavaju minimalno 100 ćelija tj. 2500 m<sup>2</sup> (0,25 ha). Tako generirana mreža ima ukupno

24,5 km korita što je na površini od 3,03 km<sup>2</sup> gustoća od nemalih 8,1 km/km<sup>2</sup>. Maksimalna gustoća od 12,1 km/km<sup>2</sup> zastupljena je u najrašćanjenijoj zoni pri vršnom dijelu drenažnog bazena. Najveći dio područja ima gustoću veću od 6 km/km<sup>2</sup> što je približna vrijednost prosječne gustoće drenažne mreže Istarskog flišnog pogrđa (6,1 km/km<sup>2</sup>; Mihljević, 1996) koja se odlikuje snažnom erozijom.



*Slika 5-31* Karta gustoće elementa drenažne mreže slijeva Muljave koji odvodnjavaju površinu od minimalno 2500 m<sup>2</sup> (0,25 ha).

### Morfogenetska analiza

Morfogenetska analiza slijeva Radonje pokazala je da su na ovom području razvijeni sljedeći morfogenetski tipovi reljefa ([Slike 5-32](#), [5-33](#); [Tablica 5-11](#)):

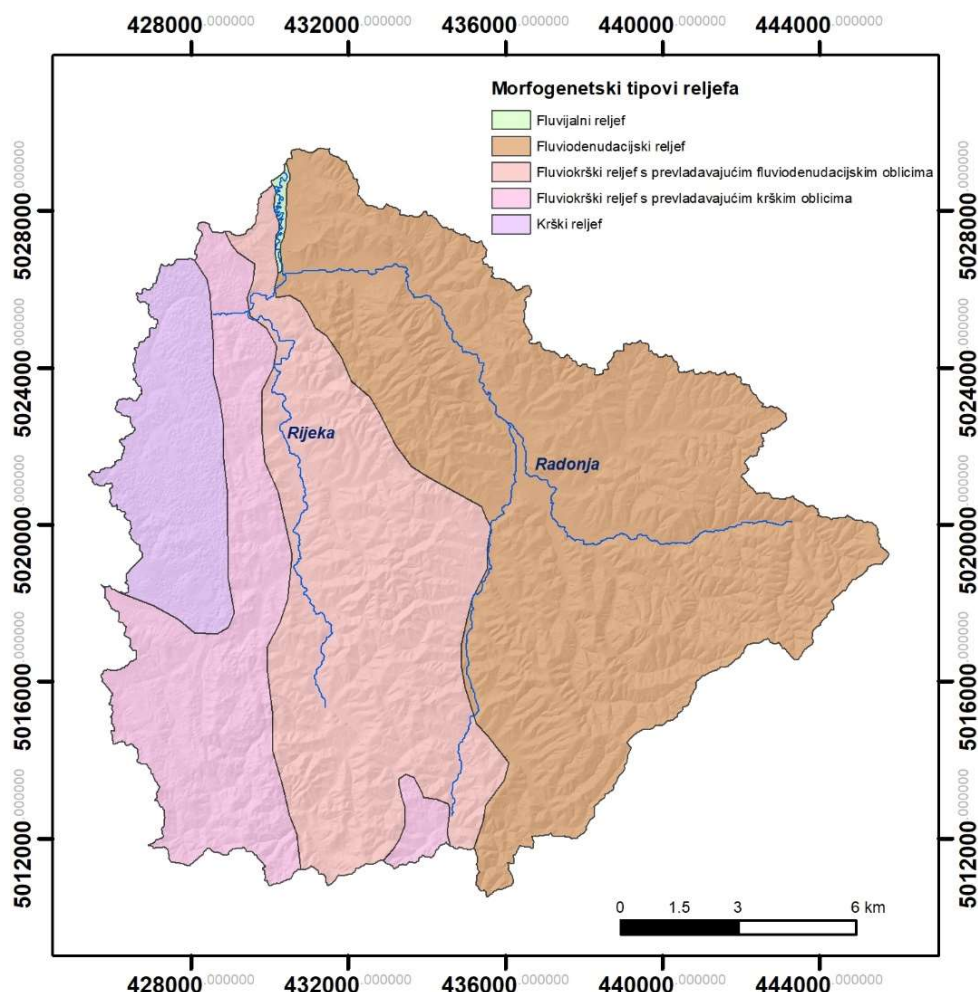
1. Fluvijalni reljef je površinski najmanje zastupljen. Razvijen je na kartografski vidljivoj površini samo u donjem dijelu toka Radonje kod Tušilovića. Sporadično se javlja i u manjim pojasevima duž tokova Radonje (npr. oko Vojnića) te u vrlo krupnom mjerilu duž toka Rijeke (npr. kod Krnjaka). Karakterizira ga akumulacija materijala, mogućnost plavljenja te izrazito meandriranje toka.

2. Fluviodenudacijski reljef je površinski najzastupljeniji tip u ovom području. Razvijen je pretežito na podlozi vodonepropusnih permskih i donjotrijaskih klastita. Glavna morfološka karakteristika je pojava brojnih jaruga i V dolina s uskim i relativno oštrim grebenima (kosama) između njih. Mnoge završavaju deluvijalnim ili proluvijalnim plavinama (lepezama) koje mogu biti erodirane glavnim tokom. To je područje izrazito izloženo eroziji i izvorište je većine transportiranog materijala.
3. Fluviokrški reljef obuhvaća preko 40 % površine ovog drenažnog bazena, a karakterizira ga izmjena fluviodenudacijskih i krških oblika i procesa. Na temelju prevladavajućih značajki možemo odvojiti:
  - 3.1. Fluviokrški reljef s prevladavajućim fluviodenudacijskim oblicima koji se nastavlja na pojas fluviodenudacijskog reljefa. Najvećim dijelom je razvijen na terenu izgrađenom od trijaskih dolomita i klastita. Prevladava površinsko otjecanje i erozija te razvoj jaruga i dolina.
  - 3.2. Fluviokrški reljef s prevladavajućim krškim oblicima je razvijen na karbonatnoj podlozi (pretežito dolomitima) trijasko i jurske starosti koji su mjestimično prekriveni erozijskim ostacima krednih tufitičnih klastita, kredno-paleocenskog fliša i pliokvartarnih lakustrijskih naslaga. Otjecanje je miješano površinsko i podzemno. Gustoća površinske mreže je smanjena, a pojavljuju se i ponornice. Izražena je pojava ponikava, a jaruge i doline su blaže usječene s manje naglašenim i blagim grebenima.
4. Krški reljef obuhvaća manje od 10 % površine slijeva na njegovom krajnjem sjeverozapadnim dijelu. Razvijen je na vapnencima kredne starosti. Prevladavaju ponikve, a mjestimično i suhe doline. Otjecanje je gotovo u potpunosti podzemno. Razvodnica prema rijeci Korani ovdje je nesigurna jer je topografski određena.

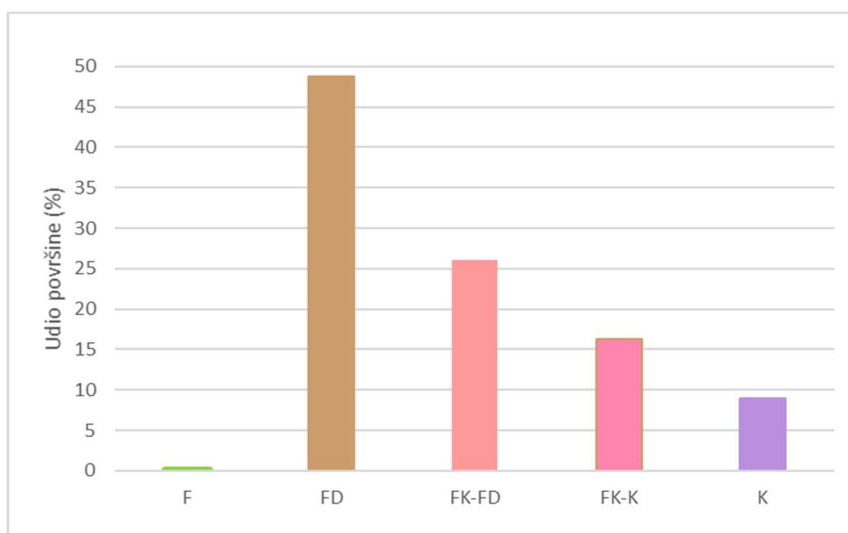
**Tablica 5-11** Površine i udjeli morfogenetskih tipova reljefa slijeva Radonje

Morfogenetski tip reljefa	Površina (km <sup>2</sup> )	Udio (%)
Fluvijalni reljef	0.6	0.3
Fluviodenudacijski reljef	112.7	48.6
Fluviokrški reljef s prevladavajućim fluviodenudacijskim oblicima	60.2	26.0
Fluviokrški reljef s prevladavajućim krškim oblicima	37.6	16.1
Krški reljef	20.6	8.9





*Slika 5-32 Karta morfogenetskih tipova reljefa slijeva Radonje*



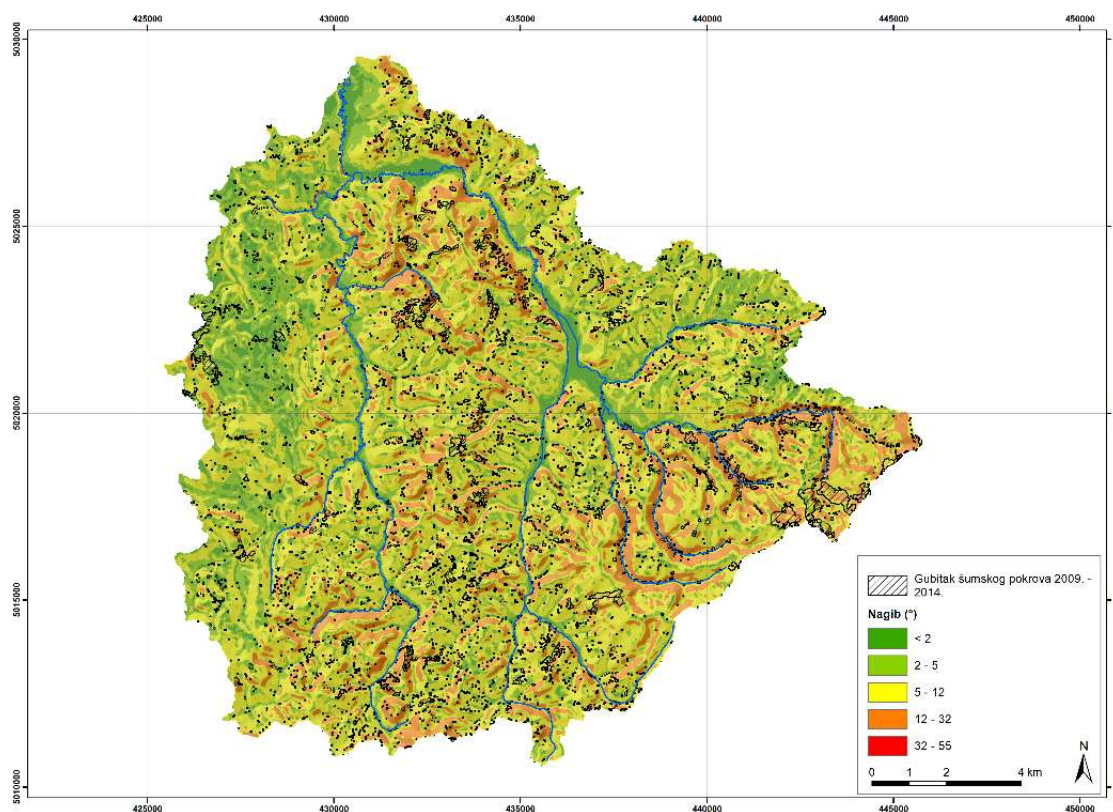
*Slika 5-33 Prostorni udjeli morfogenetskih tipova reljefa slijeva Radonje (F – fluvijalni reljef, FD - fluviodenudacijski reljef, FK-FD - Fluviokrški reljef s prevladavajućim fluviodenudacijskim oblicima, FK-K - Fluviokrški reljef s prevladavajućim krškim oblicima, K – Krški reljef)*

## Korištenje zemljišta i reljef

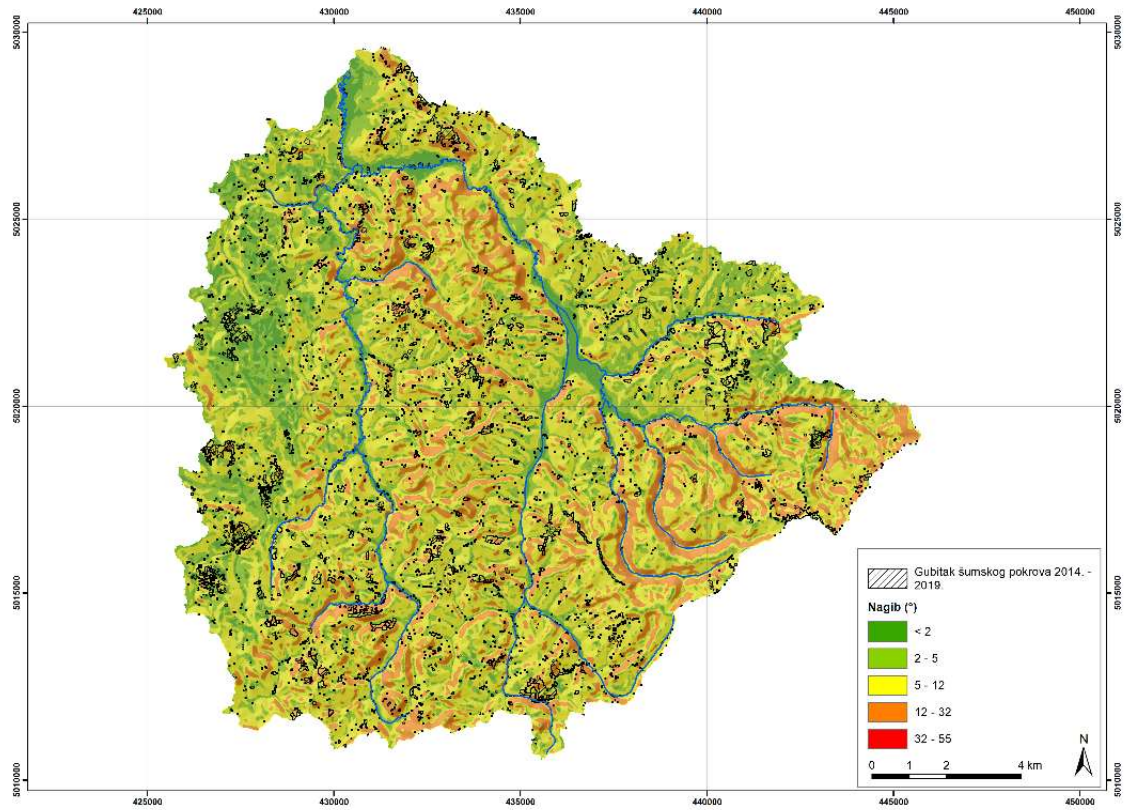
Detaljnija analiza podataka o deforestaciji na području Korane (Radonja) dobivenih klasifikacijom satelitskih snimaka Landsat, prema odabranim svojstvima reljefa, nadmorskim visinama i nagibima, dovela je do sljedećih rezultata koji su prikazani pomoću relativnih vrijednosti (Tablica 5-12). Prostorni odnosi vidljivi su na priloženim kartama (Slike 5-34, 5-35, 5-36, 5-37).

**Tablica 5-12** Relativni udjeli deforestiranih površina predmetnog područja Korana (Radonja) prema nadmorskim visinama i nagibima (podaci Landsat)

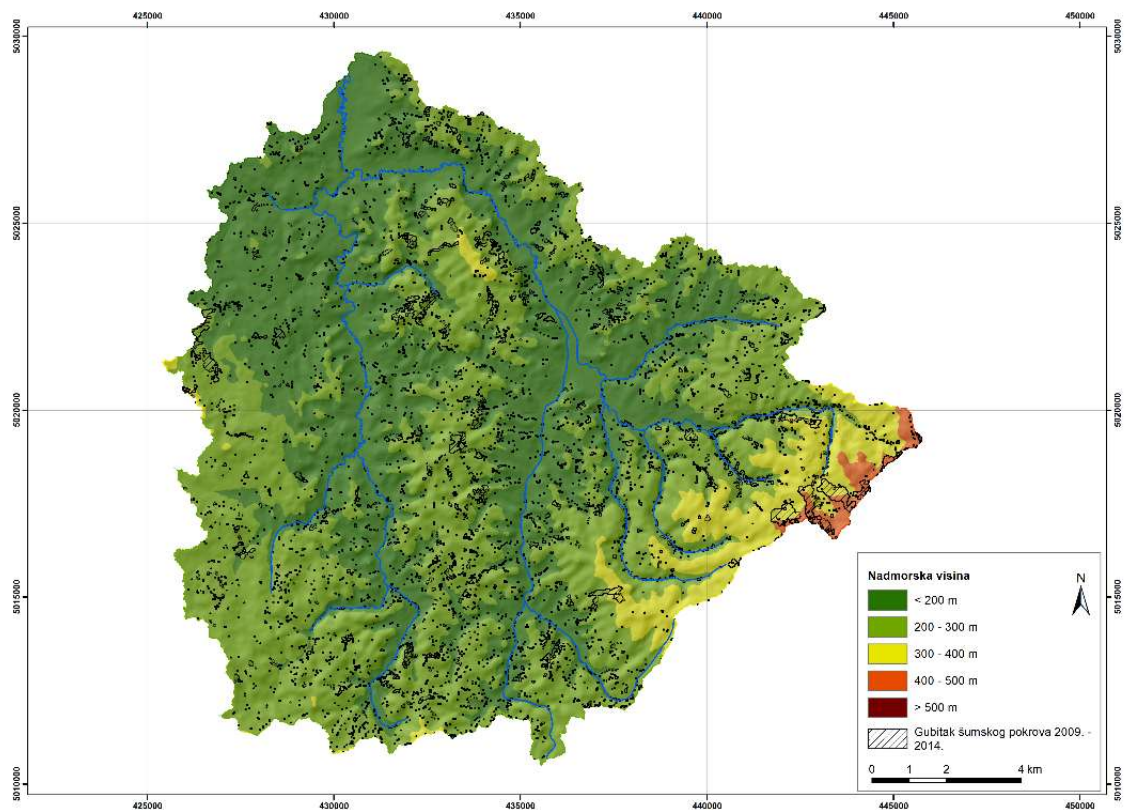
Korana (Radonja)		Udio površina (%) 2009. – 2014.	Udio površina (%) 2014. – 2019.
Nagib (°)	< 2	5,70	7,63
	2 – 5	17,63	21,51
	5 – 12	51,02	52,97
	12 – 32	25,64	17,89
	32 – 55	0,01	0,00
Visine (m)	100 – 200	32,92	36,29
	200 – 300	51,83	56,71
	300 – 400	9,67	4,99
	400 – 500	5,44	2,01
	> 500	0,13	0,00



**Slika 5-34** Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2009. – 2014. (Landsat) i nagibi padina slijeva Radonje

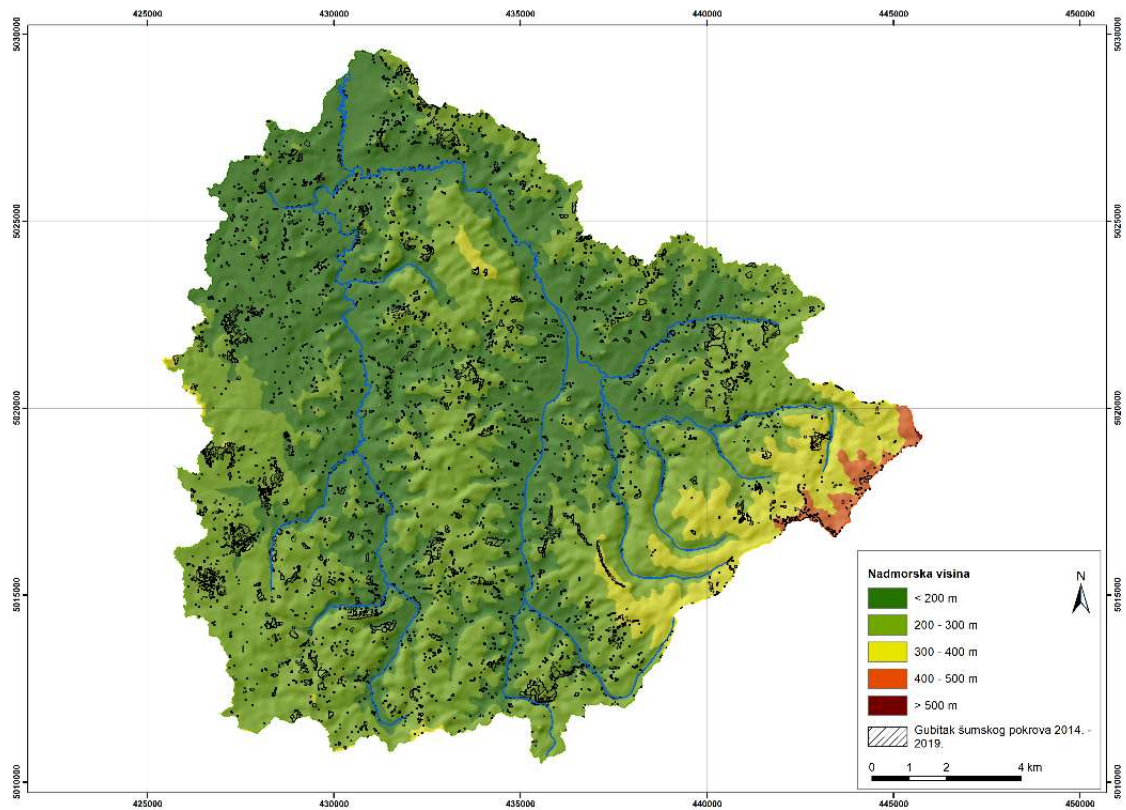


**Slika 5-35:** Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2014. – 2019. (Landsat) i nagibi padina slijeva Radonje



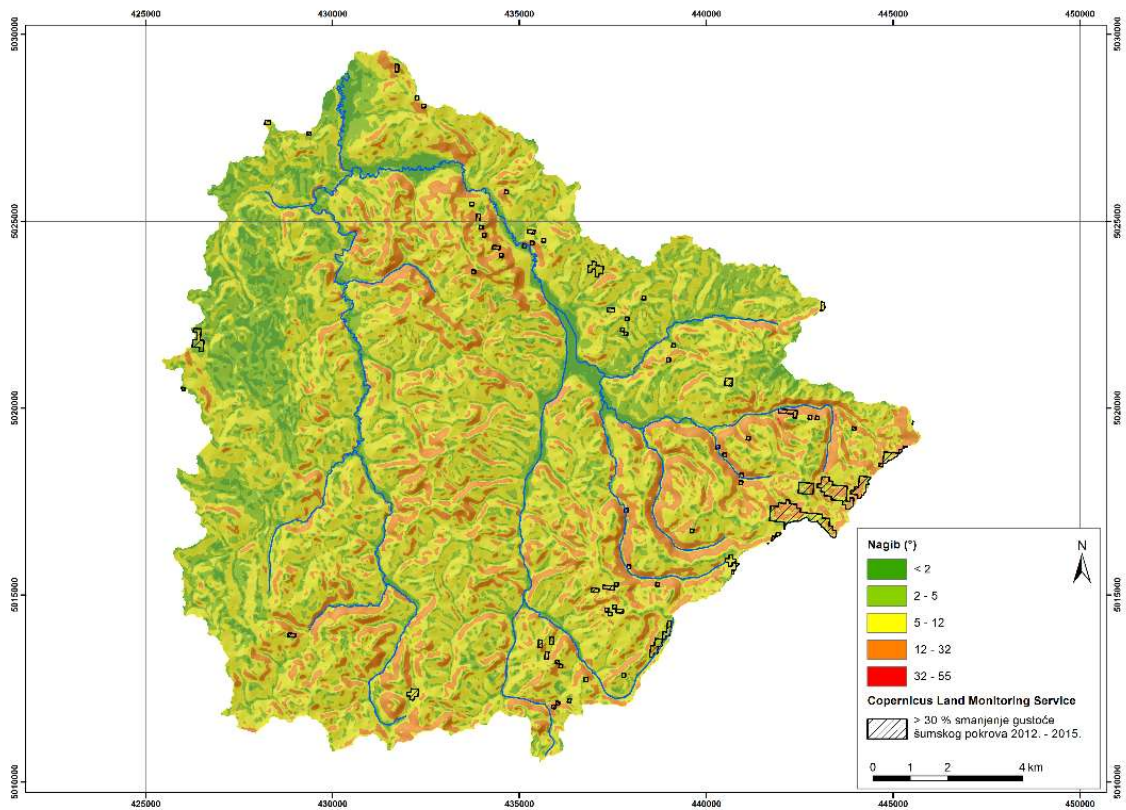
**Slika 5-36** Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2009. – 2014. (Landsat) i visinski razredi slijeva Radonje



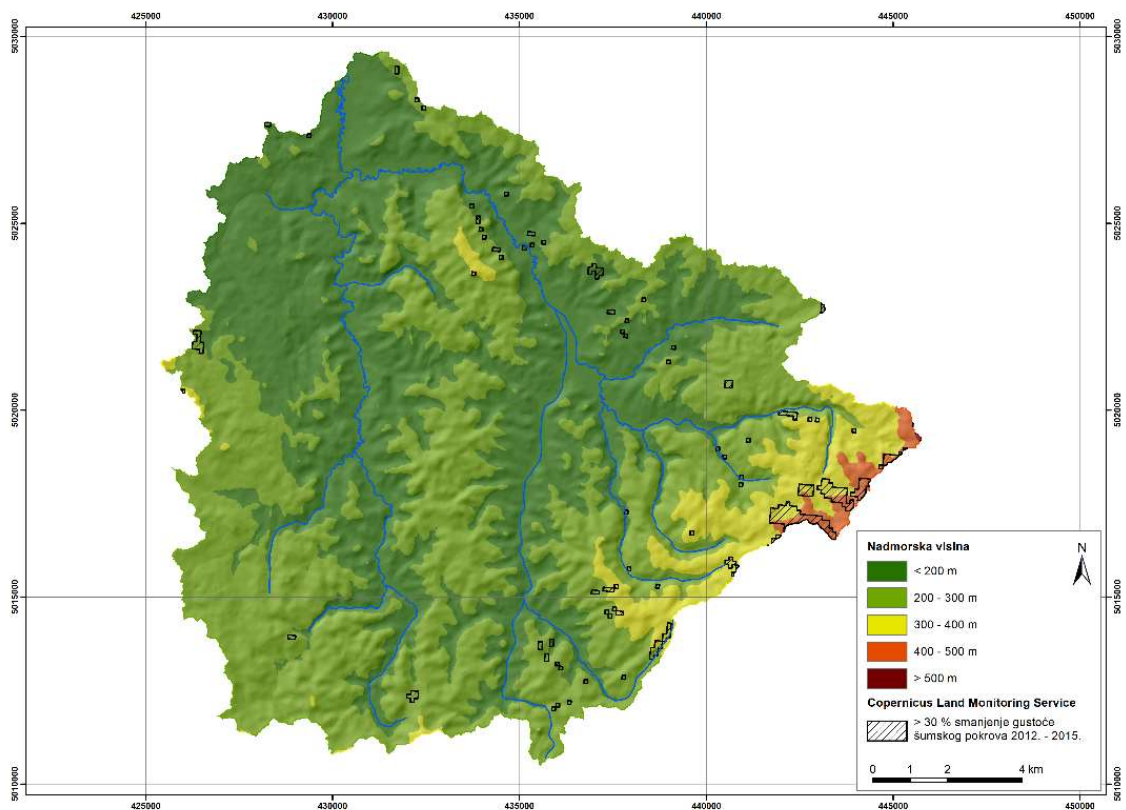


**Slika 5-37** Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2014. – 2019. (Landsat) i visinski razredi slijeva Radonje

Za usporedbu je napravljena prostorna analiza preklapanja sloja promjene gustoće šumskog pokrova (engl. *Tree Cover Density Change*) za razdoblje 2012. – 2015. (Slike 5-38, 5-39) U tom su sloju zabilježena sva smanjenja šumskog pokrova veća od 30 % unutar ćelija od 1 ha (Tablica 5-13).



*Slika 5-38 Područja smanjenja gustoće šumskog pokrova u razdoblju 2012. – 2015. (Copernicus) i nagibi padina slijeva Radonje*



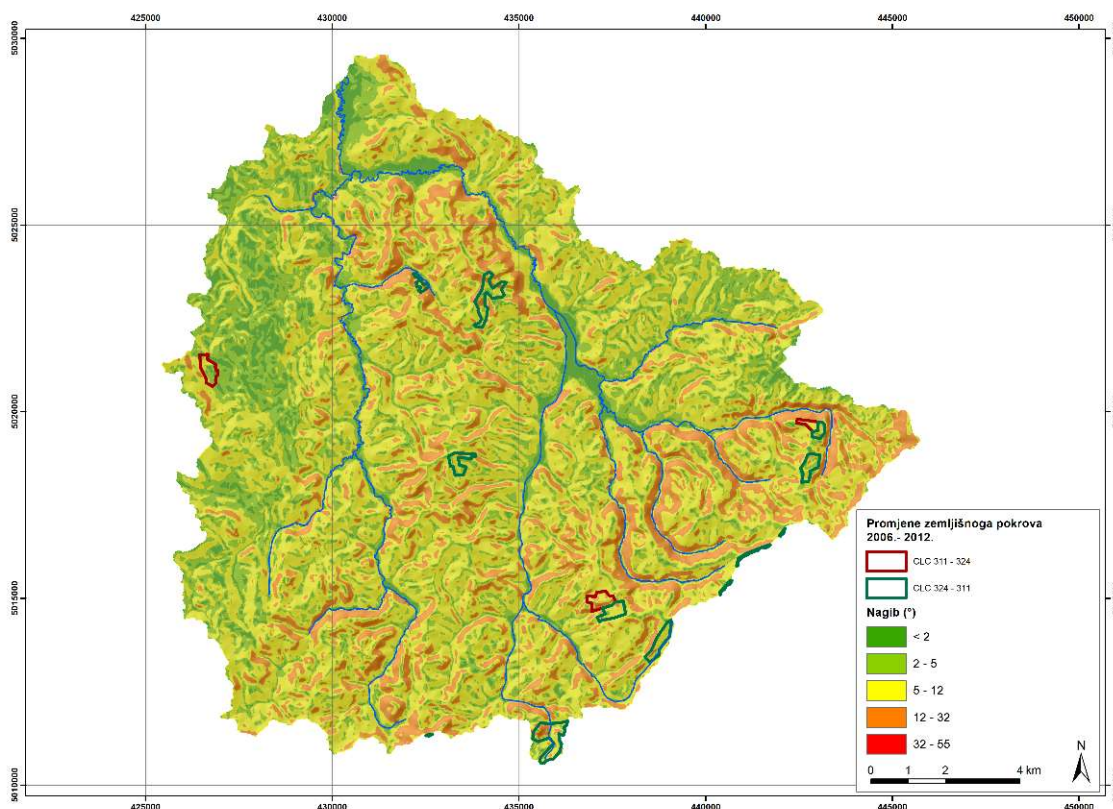
*Slika 5-39 Područja smanjenja gustoće šumskog pokrova u razdoblju 2012. – 2015. (Copernicus) i visinski razredi slijeva Radonje*



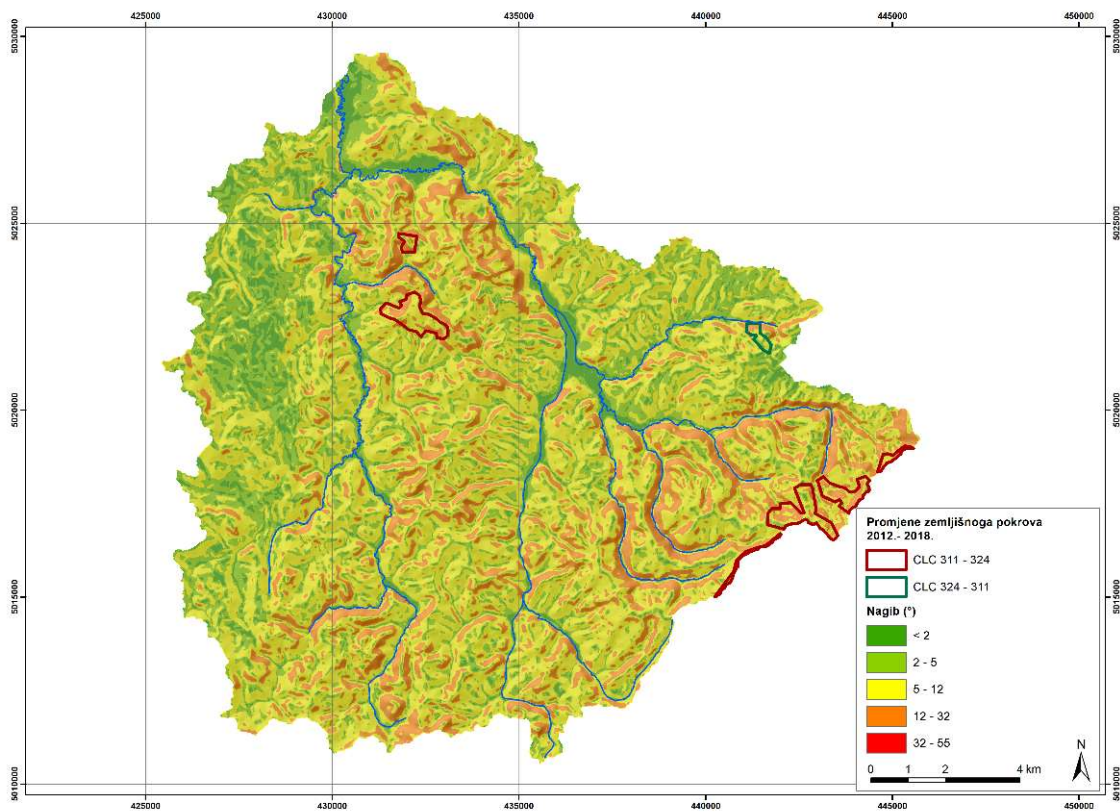
**Tablica 5-13** Relativni udjeli deforestiranih površina predmetnog područja Korana (Radonja) prema nadmorskim visinama i nagibima (podaci Copernicus)

Korana (Radonja)		Udio površina (%) 2012. – 2015.
Nagib (°)	< 2	2,25
	2 – 5	12,16
	5 – 12	53,03
	12 – 32	32,55
Visine (m)	100 – 200	10,42
	200 – 300	27,54
	300 – 400	35,31
	400 – 500	26,73

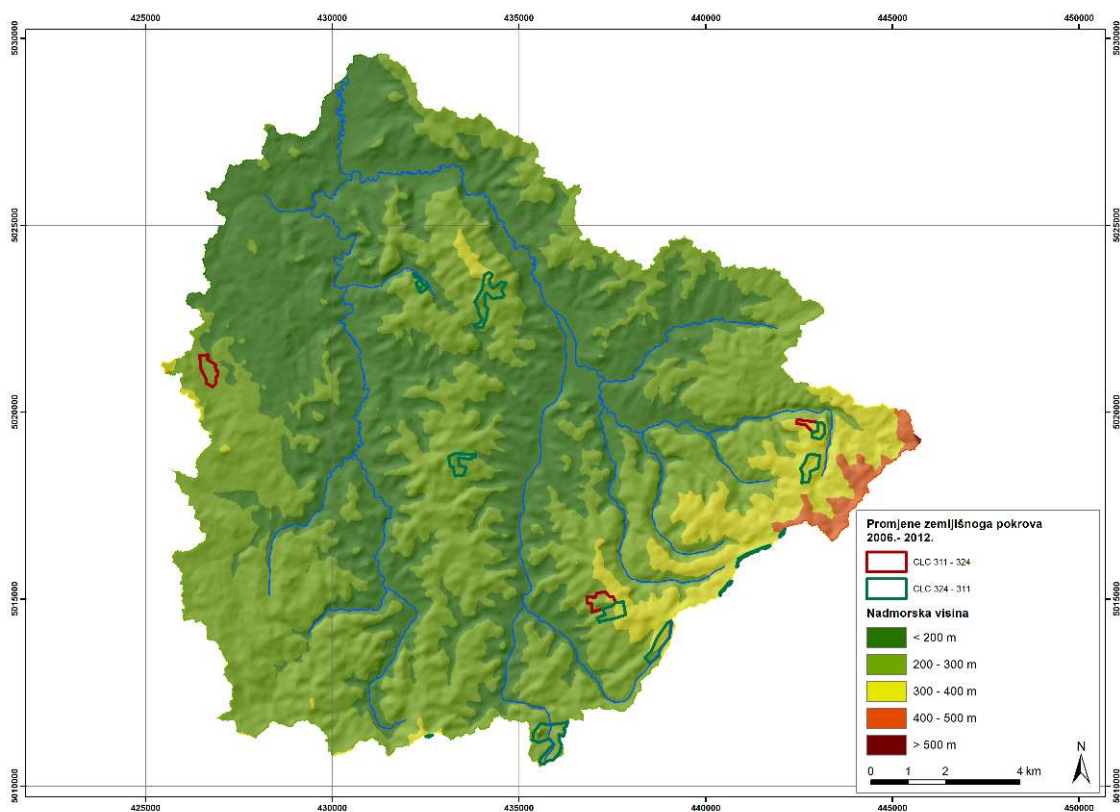
Promjene zemljišnog pokrova koje su dostupne u CORINE slojevima podataka, a opisane su u poglavlju 5.2.2., dodatno su analizirane (Slike 5-40, 5-41, 5-42, 5-43) s obzirom na značajke reljefa: nadmorske visine i nagibe u predmetnom području Korane (Radonja). Pozornost je usmjerena na dva razdoblja promjena: 2006. – 2012. i 2012. – 2018. (Tablica 5-14).



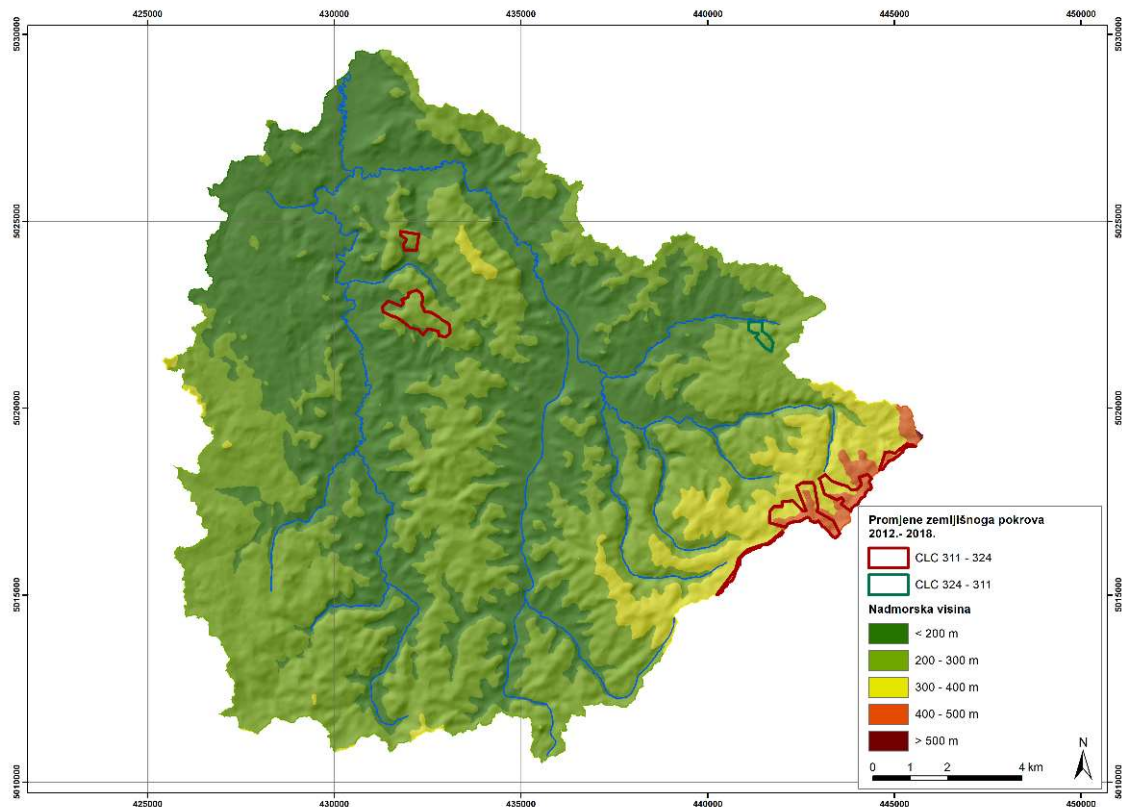
**Slika 5-40** Promjene CLC klasa u razdoblju 2006. – 2012. i nagib padina za slijev Radonje



*Slika 5-41 Promjene CLC klasa u razdoblju 2012. – 2018. i nagib padina za slijev Radonje*



*Slika 5-42 Promjene CLC klasa u razdoblju 2006 – 2012. i visinski razredi za slijev Radonje*



**Slika 5-43** Promjene CLC klasa u razdoblju 2012 – 2018. i visinski razredi za slijev Radonje

**Tablica 5-14** Udjeli promjena CLC klasa prema nagibu i nadmorskoj visini za razdoblja 2006. – 2012. i 2012. – 2018. za područje Korane (Radonja)

Korana (Radonja)		Udio površina (%) 2006. – 2012.		Udio površina (%) 2012. – 2018.	
		311-324	324-311	311-324	324-311
Promjene CORINE klasa zemljišnih pokrova					
Nagib (°)	< 2	7,80	3,47	1,83	5,61
	2 – 5	21,20	20,96	10,97	16,89
	5 – 12	53,47	59,61	51,98	53,53
	12 – 32	17,53	15,96	35,22	23,96
Visine (m)	100 – 200	0,39	2,13	6,30	10,58
	200 – 300	75,95	63,68	31,67	89,42
	300 – 400	23,65	33,90	28,64	-
	400 – 500	-	0,28	33,38	-
	> 500	-	-	-	-

Slijev, odnosno drenažni bazen Radonje geomorfološki je vrlo kompleksan. Ipak, iako je dijelom krških karakteristika (kao i okolno područje) ovdje prevladava površinsko otjecanje.



Morfometrijski parametri, posebno u istočnom dijelu slijeva, ukazuju na mogućnost pojačane erozije posebno uslijed ekstremnih meteoroloških događaja. Promjena vegetacijskog pokriva, posebno na područjima povećane raščlanjenosti i nagiba dodatno može doprinijeti pojačanoj eroziji i ispiranju te posljedično zamućenju rijeke Radonje i Korane.

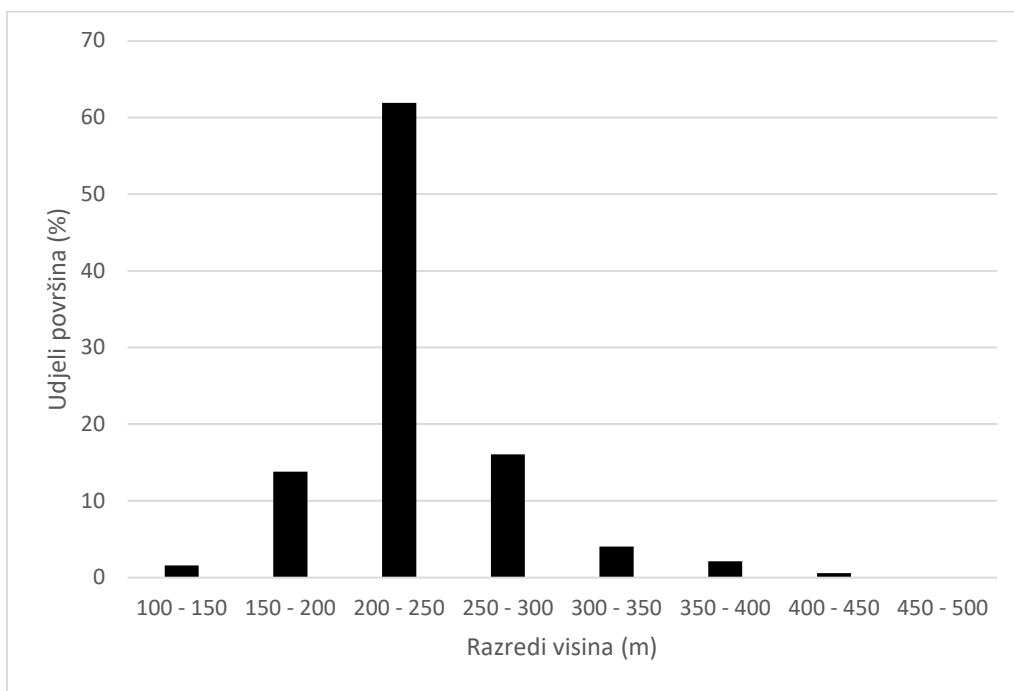
### 5.3.2.2. PODRUČJE MREŽNICE

#### Morfometrijska analiza

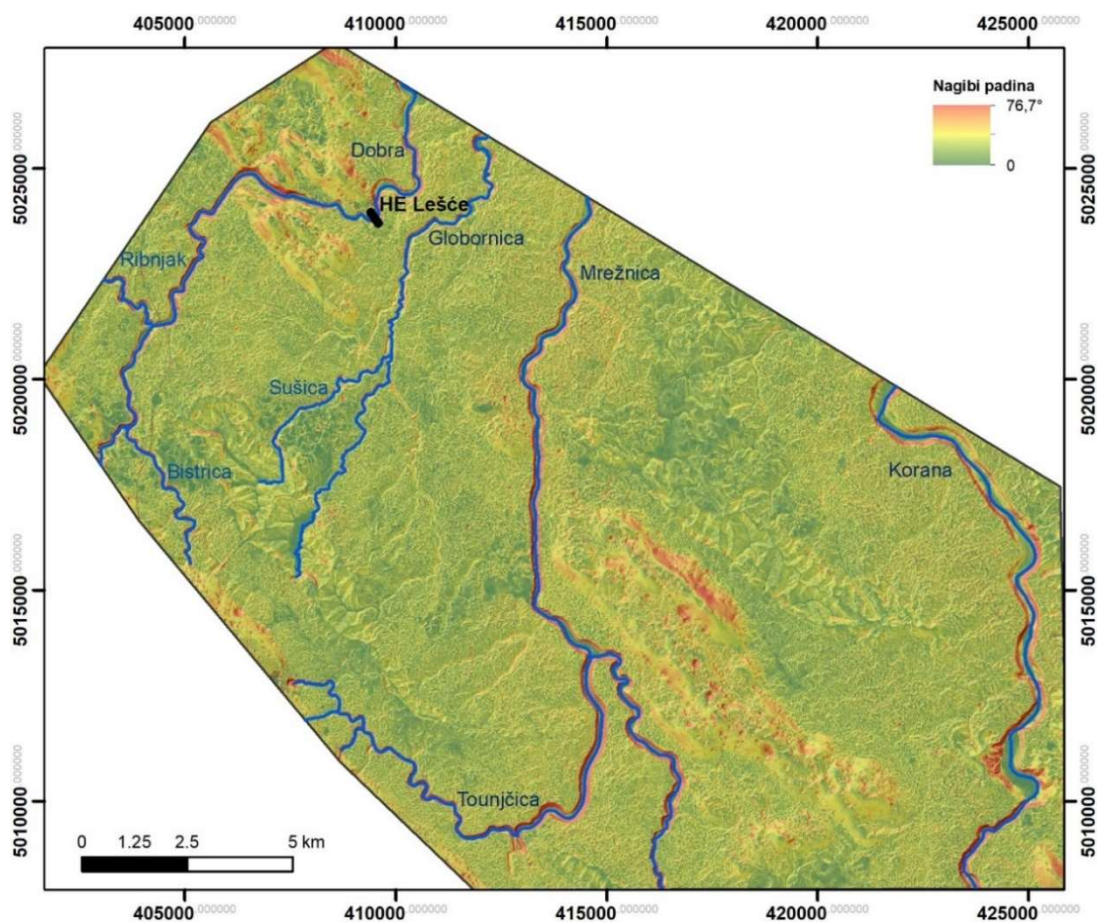
Analiza visinskih podatka pokazala je da se predmetno područje rasprostire u rasponu visina od 130 do 473 m (Slike 5-2, 5-44). Prosječna visina cijelog područja površine 317 km<sup>2</sup> je 233,8 m. Radi se pretežito o niskom području gdje je više od 77,2 % površine terena niže od 250 m, a čak 93,3 % terena je niže od 300 m. Najzastupljenije visinska kategorija je ona 200-250 m (61,9 %). To ukazuje da je najveći dio terena na relativno maloj visinskoj razlici (cca 50-150 m) u odnosu na lokalne erozijske baze (korita rijeka).

Slične karakteristike pokazuju i nagibi padina ovog područja (Slike 5-45, 5-46) koje se kreću u rasponu od 0° do 76,7°. Prosječni nagib područja je niskih 10,7°. Područje većih nagiba odnosi se prvenstveno na padine nekoliko izoliranih uzvišenja. Bez njih, prosječni nagib većine područja je još manji. Najzastupljenija kategorija je 5-12°s čak 50,4 %. Područja nagiba manjeg od 32° zauzimaju čak 98,9 % površine, a ona manje od 12° nemalih 63,5 %. Ovakva reljefna struktura na karbonatnoj podlozi omogućuje jako procjeđivanje vode u podzemlje umjesto površinskog otjecanja što je i glavna značajka dobro okršenog terena.

Kao indikator okršavanja analiziran je broj i prostorni raspored ponikava, gustoća ponikava te prostorni raspored krških depresija. Na temelju topografske karte 1:25:000 utvrđena je pojava 22898 ponikava. S obzirom na generalizaciju karata stvarno stanje u prostoru bi pokazalo i veći broj. Utvrđeni broj na predmetnoj površini čini gustoću od 77 ponikva/km<sup>2</sup> što pripada u kategoriju velike gustoće (Pahernik, 2012). Glavni čimbenici koji utječu na prostorni raspored je litologija, nagib padina i udaljenost od riječnih tokova (Bočić i dr., 2015). Na zaravnjenom vapnenačkom prostoru najveća koncentracija ponikava je uz kanjone rijeka (Slike 5-46, 5-47). To ukazuje na pretežito procjeđivanje i podzemnu cirkulaciju usmjerenu prema glavnim rijekama. Analiza prostorne gustoće ponikava pokazuje da se ona kreće u rasponu od 0 do 168 ponikava/km<sup>2</sup> što pripada u kategoriju vrlo velike gustoće ponikava. Od izdvojenih kategorija gustoće ponikava najzastupljenije su tri kategorije u rasponu od 34 do 114 ponikava/km<sup>2</sup> (Slike 5-49). Istraživani teren pripada među područja s najvećom gustoćom ponikava u Hrvatskoj (Pahernik, 2012).

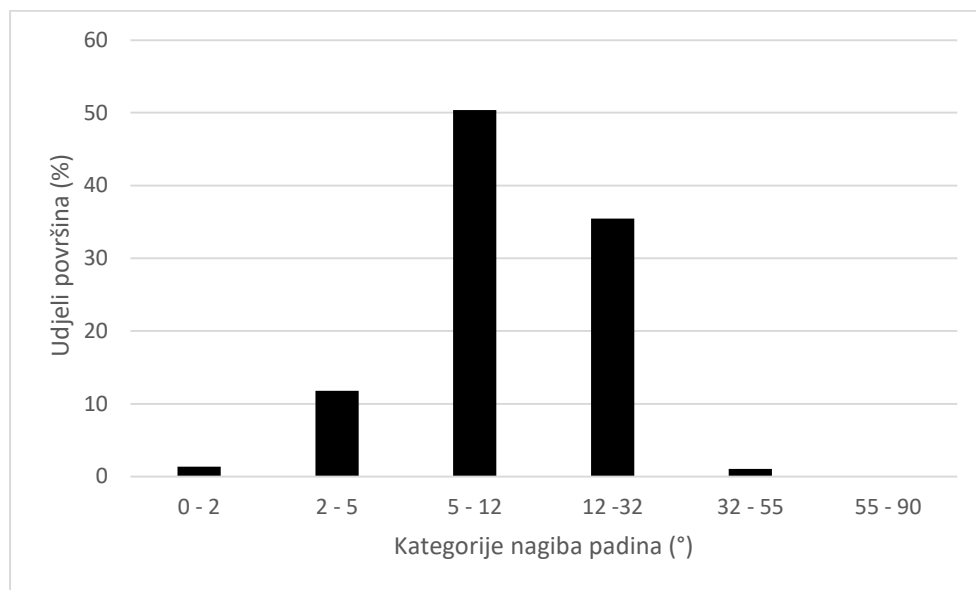


*Slika 5-44 Udjeli površina visinskih kategorija područja uz rijeku Mrežnicu*

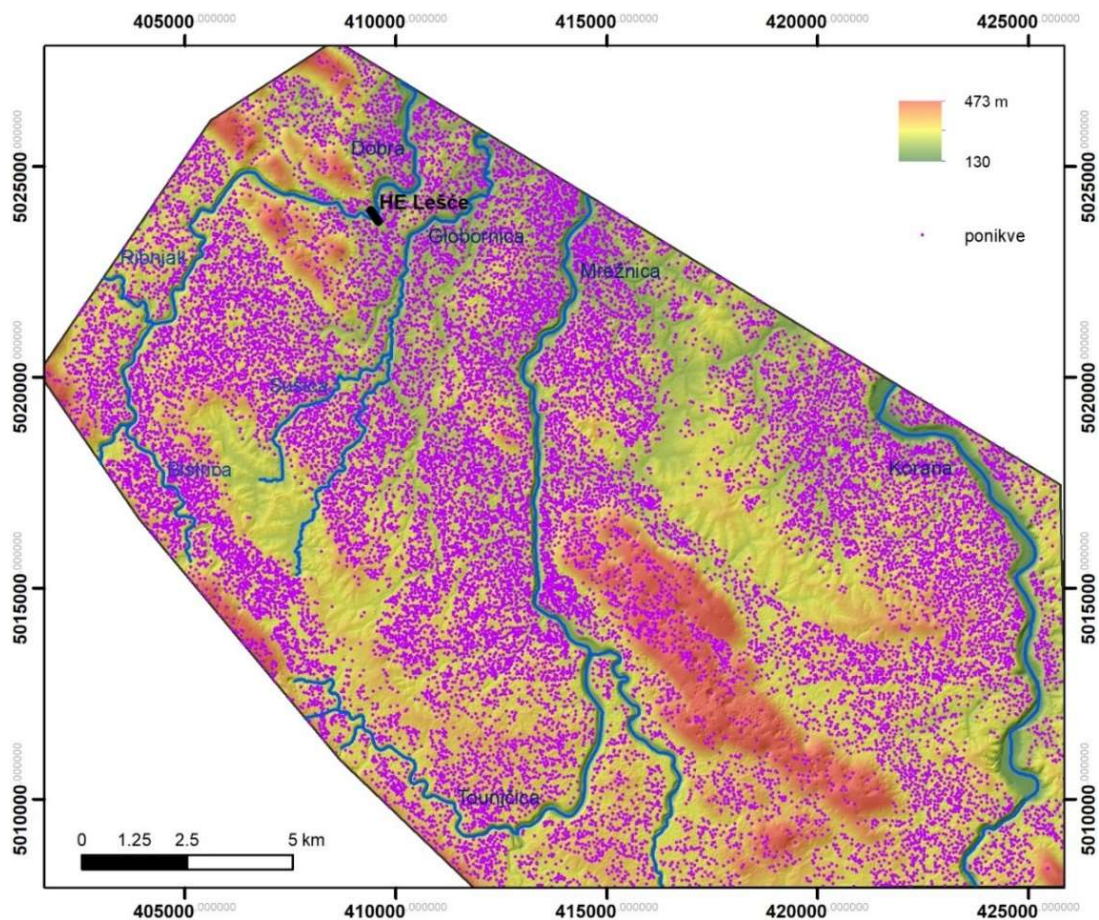


*Slika 5-45 Karta nagiba padina područja uz Mrežnicu na podlozi sjenčanog reljefa.*

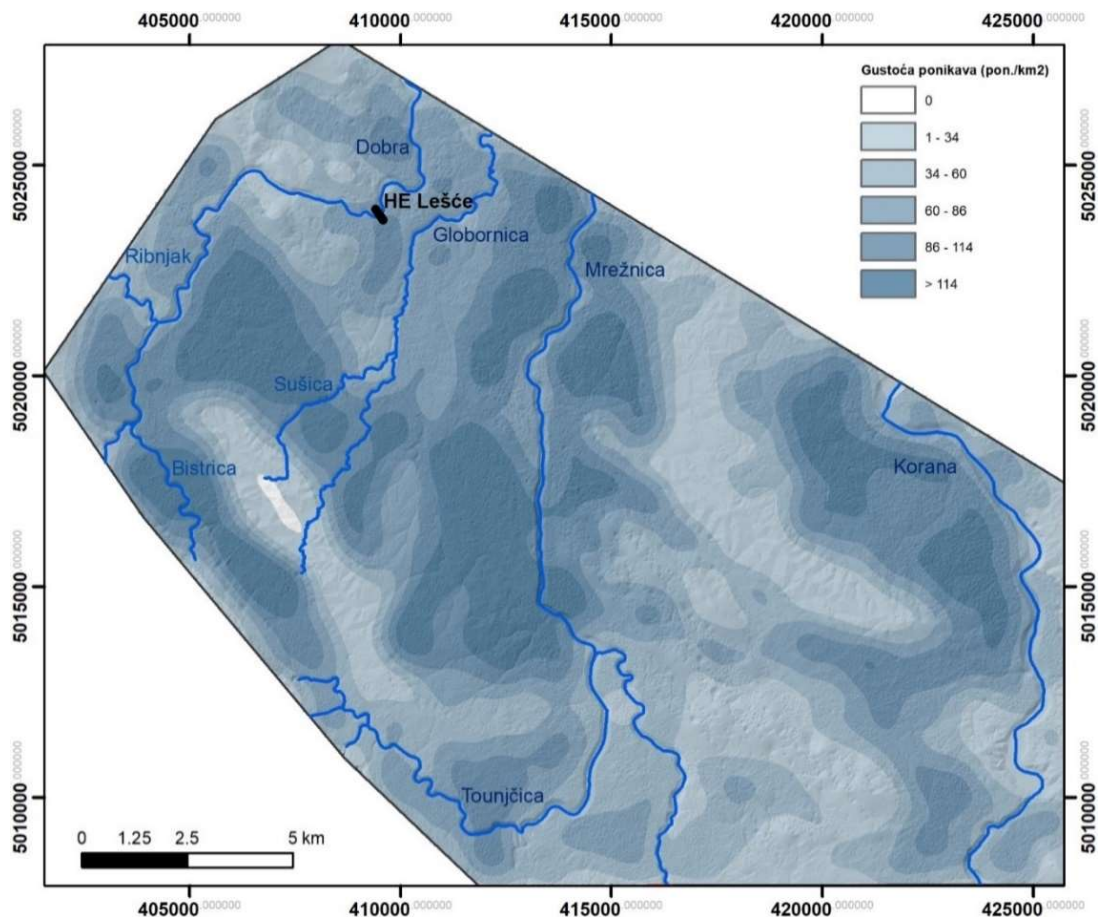




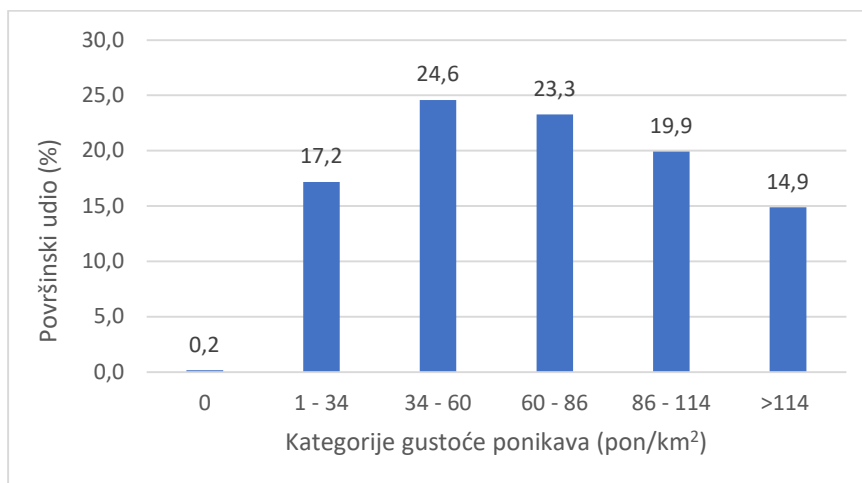
*Slika 5-46 Nagiba padina područja uz Mrežnicu*



*Slika 5-47 Karta pojave ponikava područja uz Mrežnicu. U podlozi karta visina.*



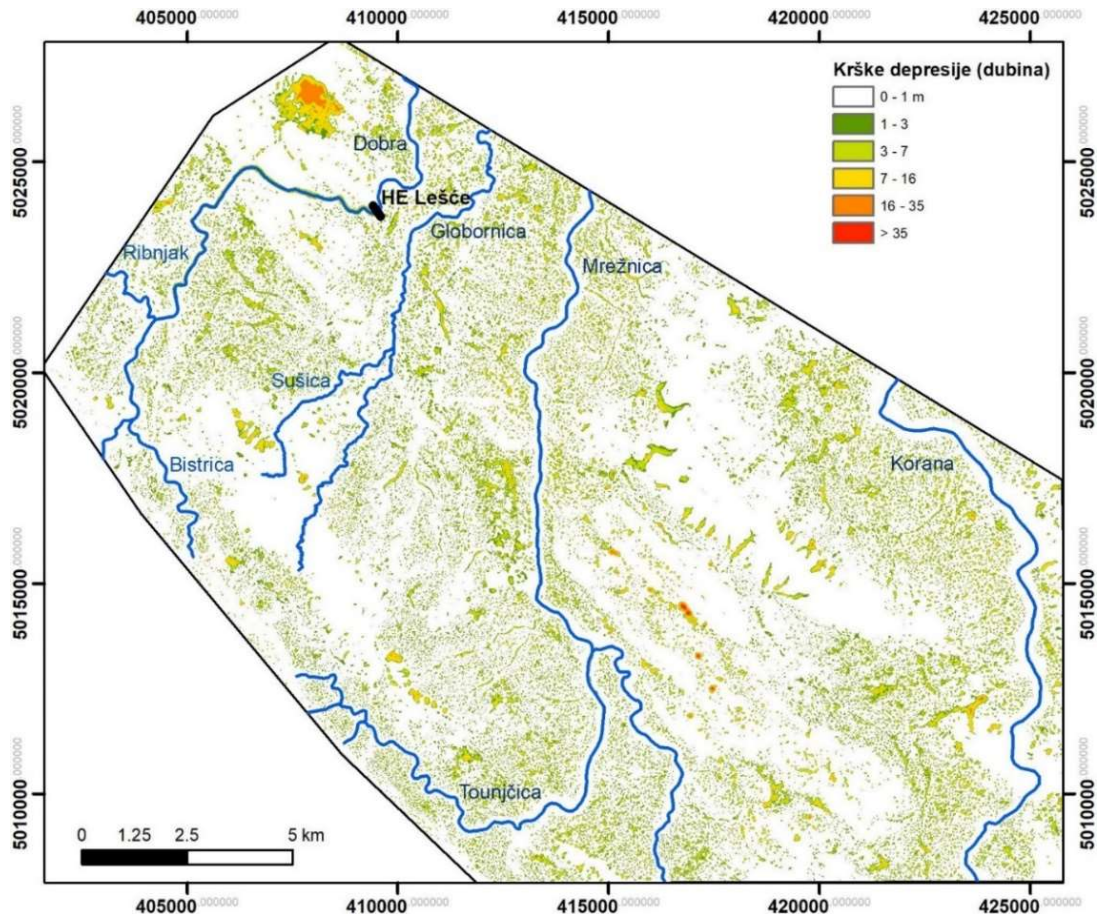
*Slika 5-48 Karta gustoće ponikava područja uz Mrežnicu.*



*Slika 5-49 Prostorna zastupljenost kategorija gustoća ponikava područja uz Mrežnicu.*



U okviru analize krških depresija izolirane su sve zatvorene reljefne depresije od kojih je najveći broj ponikava, ali tu ulaze i veće složene ponikve, krške uvale te suhe i slijepo doline (Slika 5-50). Vrijednost dubina svih depresija kreće se do maksimalnih 53 m. Depresije dublje od 1 m zauzimaju oko 30 % površine ovog područja. Prostorni raspored depresija vrlo je sličan prostornom rasporedu ponikava (tj. njihovim središtima), ali se može primijetiti da maksimalne dubine depresija nisu u maksimumima gustoće ponikava. Depresije većih dubina vezana se za hipsometrijski viša područja kakva izostaju u području između Mrežnice i Dobre.

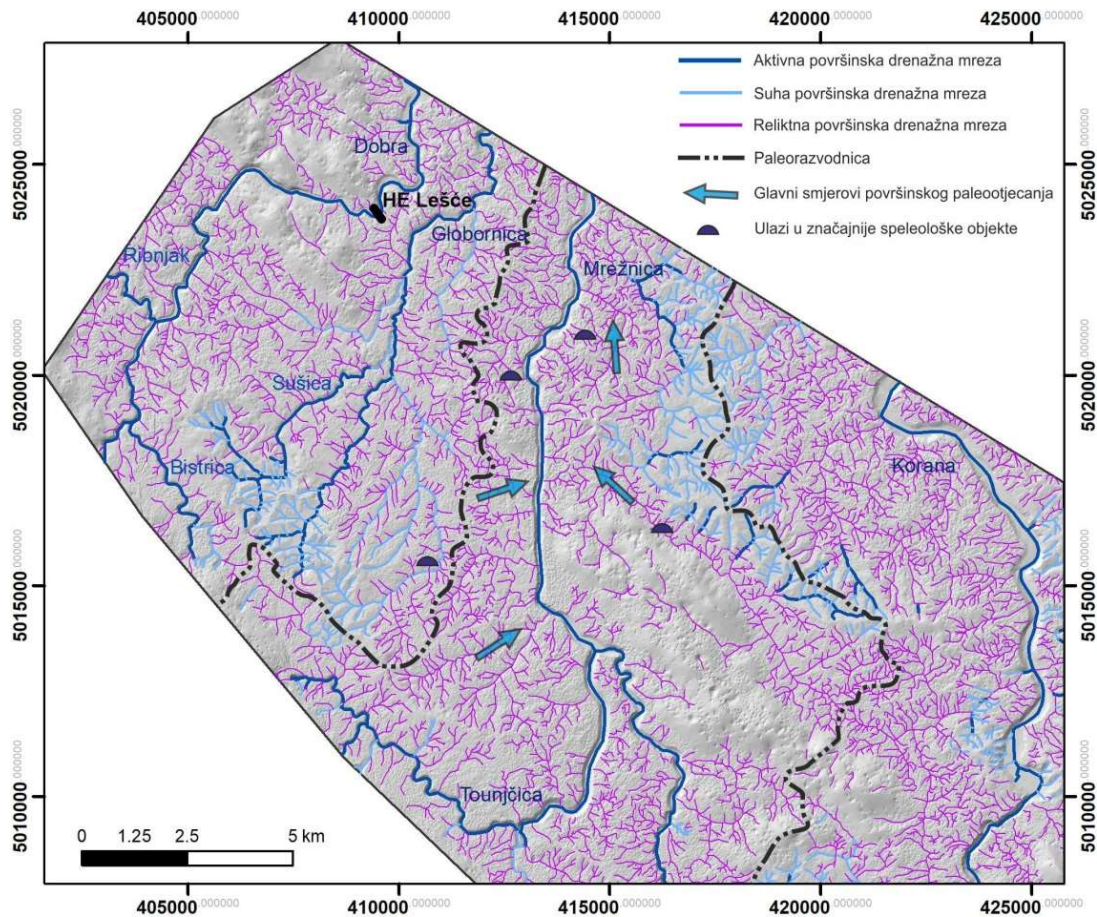


*Slika 5-50 Karta krških depresija područja uz Mrežnicu.*

Iako se radi o izuzetno okršenom području, vidljivi su geomorfološki tragovi površinskog paleootjecanja. Rekonstrukcijom paleodolinske mreže dobiveni su podaci o njenim značajkama. Cijela drenažna mreža podijeljena je u kategoriju aktivne, suhe i reliktno doline (Bočić i dr. 2015). Aktivni su oni dijelovi mreža kojima danas stalno ili sezonski teče vodeni tok. Suhi elementi su svi oni koji nemaju vodenog toka, ali još imaju zadržanu dolinsku morfologiju. Oni oblici koji imaju očuvane samo pojedine elemente dolinske morfologije, a većim dijelom su preoblikovani okršavanjem svrstani su u kategoriju reliktno mreže (Slika 72, Tablica 5-15). Reliktna drenažna mreža ukazuje na smjerove površinskog paleootjecanja. Prilikom okršavanja dolazi do dezintegracije površinske drenažne mreže te do njene reorganizacije u podzemlju. Na zaravnjenim, geološki relativno homogenim terenima

podzemna drenažna mreža uglavnom zadržava postojeće smjerove prema lokalnoj erozijskog bazi.

Udio reliktna u odnosu na ukupnu duljinu drenažne mreže ukazuje na intenzivno okršavanje (Tablica 5-15), posebno u zonama uz same tekućice (na slično ukazuje i prostorni raspored gustoće ponikava, Slika 5-48).

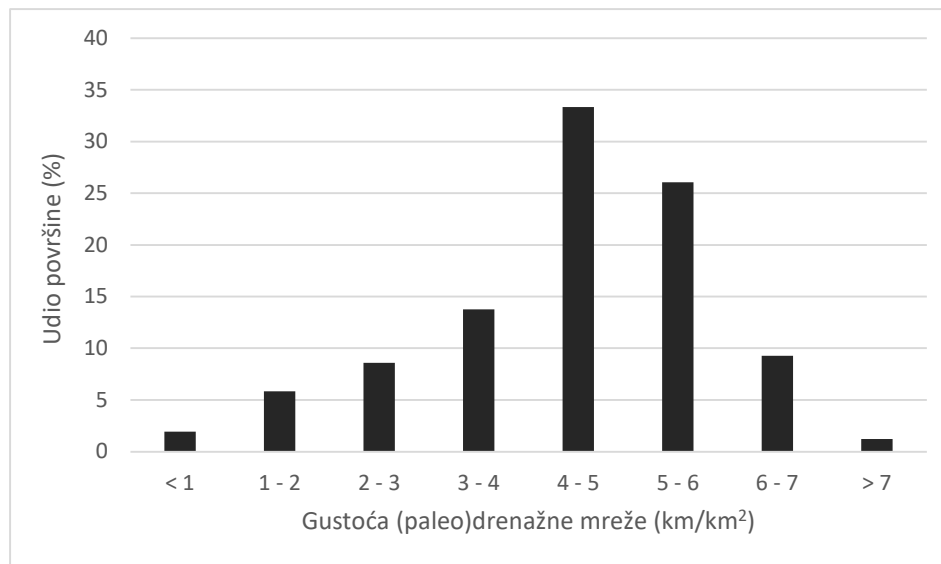


**Slika 5-51** Karta paleodrenažne mreže područja uz Mrežnicu na podlozi sjenčanog reljefa.

Gustoća paleodrenažne mreže se kreće do maksimalnih  $7,7 \text{ km/km}^2$ , dok je prosjek za cijelo područje  $4,4 \text{ km/km}^2$ . Na cijelom području s preko 60 % prevladavaju kategorije 4-5 i 5-6  $\text{km/km}^2$  (Slika 5-52). Ove vrijednosti slične su kao i u neokršanim područjima te pokazuju da je površinska drenažna mreža bila dobro razvijena prije nego je uslijed okršavanja reorganizirana u podzemlju.

**Tablica 5-15** Karakteristike paleodrenažne mreže područja Mrežnice

Tip doline	Duljine (km)	Udjeli (%)	Gustoća (km/km <sup>2</sup> )
Aktivna	123.2	8.4	0.39
Suha	162.7	11.1	0.51
Reliktna	1179.1	80.5	3.7



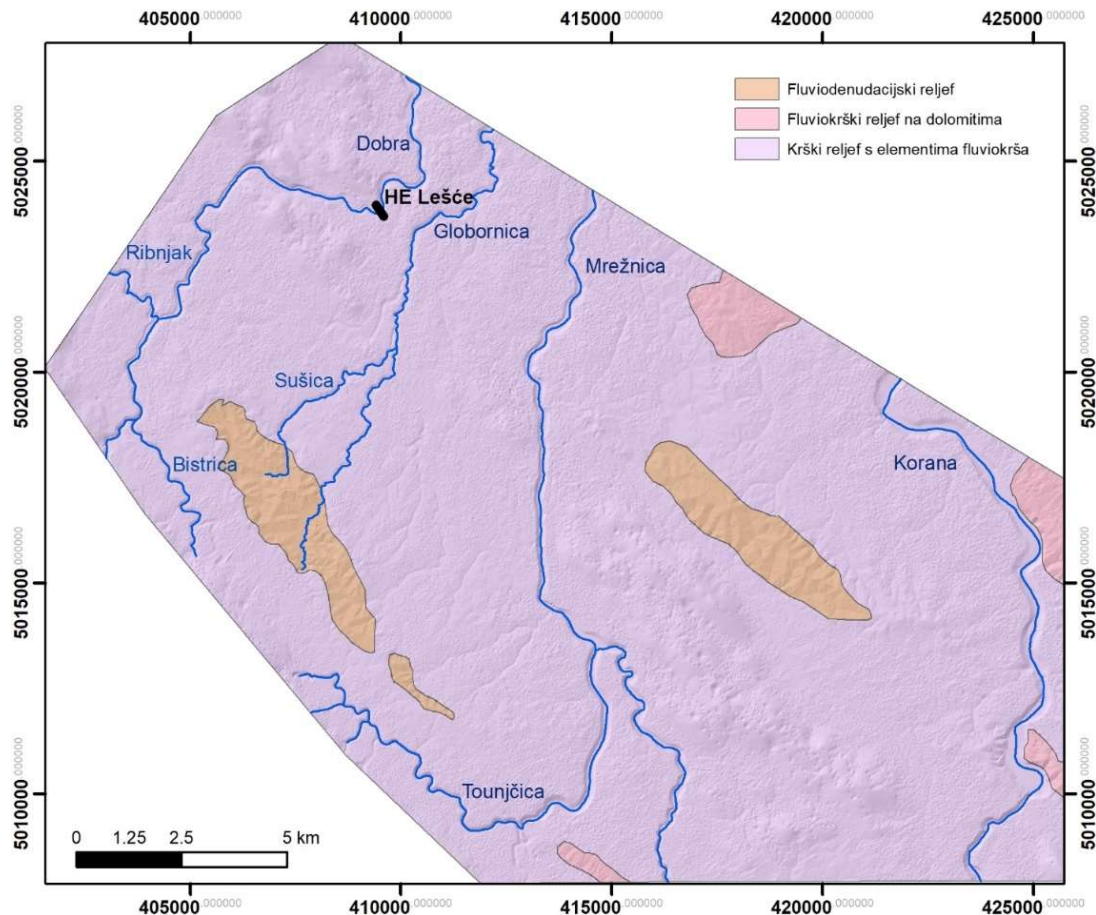
**Slika 5-52** Udjeli površina kategorija gustoće paleodrenažne mreže područja uz Mrežnicu

### Morfogenetska analiza

Na istraživanom području zabilježena su tri morfogenetska tipa: fluviudenudacijski reljef (4,6 % površine), fluviokrški reljef na dolomitima (2,4 % površine) te najrasprostranjeniji krški reljef s elementima fluviokrša (93 % površine; [Slike 5-53, 5-54](#)).

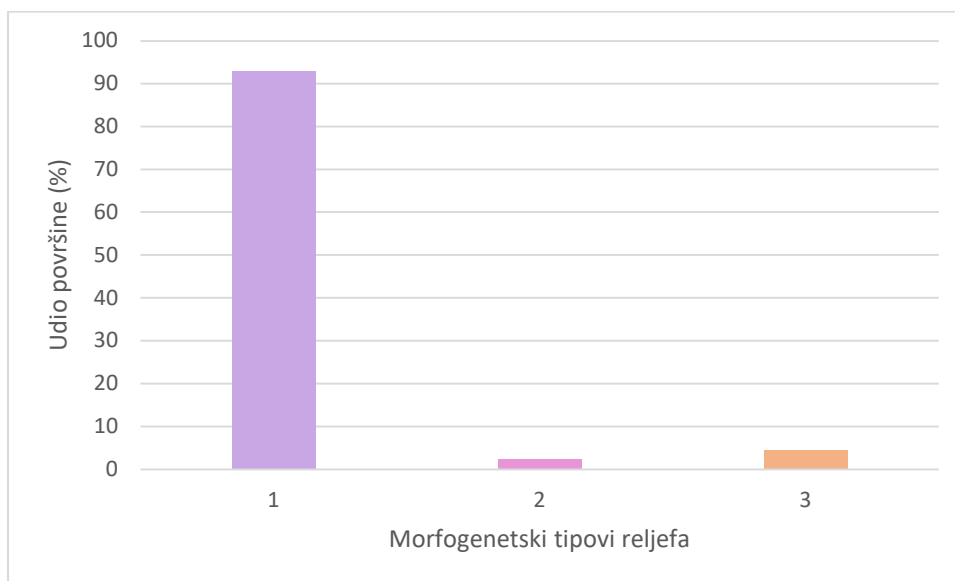
1. Krški reljef s elementima fluviokrša razvijen je na vapnencima. Karakterizira ga pojava ponikava, uglavnom veće gustoće, te reliktna okršene doline. Oborinske vode infiltriraju se izravno u podzemlje te podzemnim provodnicima otječu prema tekućicama. Aktivne tekućice uglavnom su unutar duboko usječenih kanjona. U podzemlju je razvijen veći broj speleoloških objekata (špilja i jama). U pojedinim špiljama (npr. Jazbina u Donjim Dubravama) zabilježene se veće količine sitnozrnatih sedimenata. Njihovo ispiranje za vrijeme povišene razine podzemnih voda mogao bi biti uzrokom zamućenja rijeke Mrežnice. Od fluviokrških pojava najizraženiji su kanjoni aktivnih tekućica te ponorske/slijepe doline u kontaktnim zonama s fluviudenudacijskim reljefom.





*Slika 5-53 Morfogenetski tipovi reljefa istraživanih područja Mrežnice*

2. Fluvio-krški reljef na dolomitima čine slabije okršeni tereni s manjim brojem ponikava i pojavom manjih aktivnih i suhih dolina. Na takvim se područjima voda uglavnom površinski skuplja te otječe do kontakta s krškim reljefom gdje ponire. Značaj mu je manji zbog malog rasprostranja.
3. Fluvio-denudacijski reljef se razvio na podlozi od miocenskih i pliokvartarnih klastita. Odlikuje se površinskim otjecanjem te razvojem mreže jaruga i dolina. U odnosu na fluvio-denudacijski reljef slijeva Radonje ovdje je on manje izražen i slabije diseciran. Glavni značaj mu je u prikupljanju površinskih voda. Neke od njih nastavljaju površinsko otjecanje dalje (Šušica i Globornica) dok većina ponire na kontaktu s karbonatnom podlogom. S obzirom na to da se radi o erodibilnom materijalu u podlozi, može se pretpostaviti njegova erozija, fluvijalni transport i nakupljanje u podzemlju nakon kontakta s krškim reljefom (npr. u zoni Točak Perjasički). Takav materijal potencijalno može biti izvor zamućenja bilo radi izravnog transporta ili prilikom sekundarne erozije unutar podzemnih kanala pa zatim transporta do korita Mrežnice.



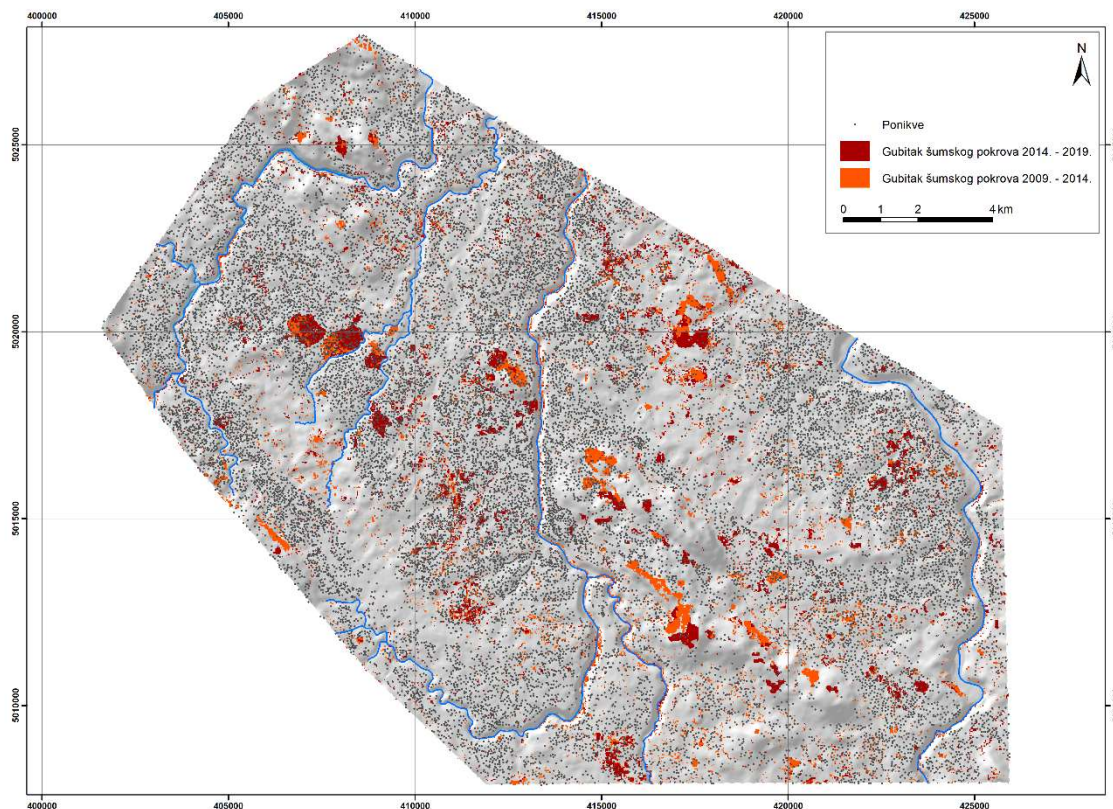
**Slika 5-54** Površinski udjeli morfoloških tipova reljefa istraživanog područja Mrežnice (1 - krški reljef s elementima fluviokrša, 2 – fluviookrški reljef na dolomitima, 3 - fluviudenudacijski reljef)

### Korištenje zemljišta i reljef

Preklapanjem slojeva podataka s lokacijama ponikvi i područja na kojima su detektirani i izmjereni procesi deforestacije, ustanovljen je ukupan broj ponikvi (Tablica 5-16) za definirana razdoblja 2009. – 2014. i 2014. – 2019. Njihove lokacije i preklapanje s deforestiranim područjima vidljive su na priloženim kartama (Slika 5-55). Dobiveni podaci upućuju na pojačanu deforestaciju na okršenom području.

**Tablica 5-16** Broj ponikvi u predmetnom području Mrežnica koje se nalaze unutar deforestiranih područja

Razdoblja	2009. – 2014.	2014. – 2019.
Ponikve u deforestiranom području	784	962



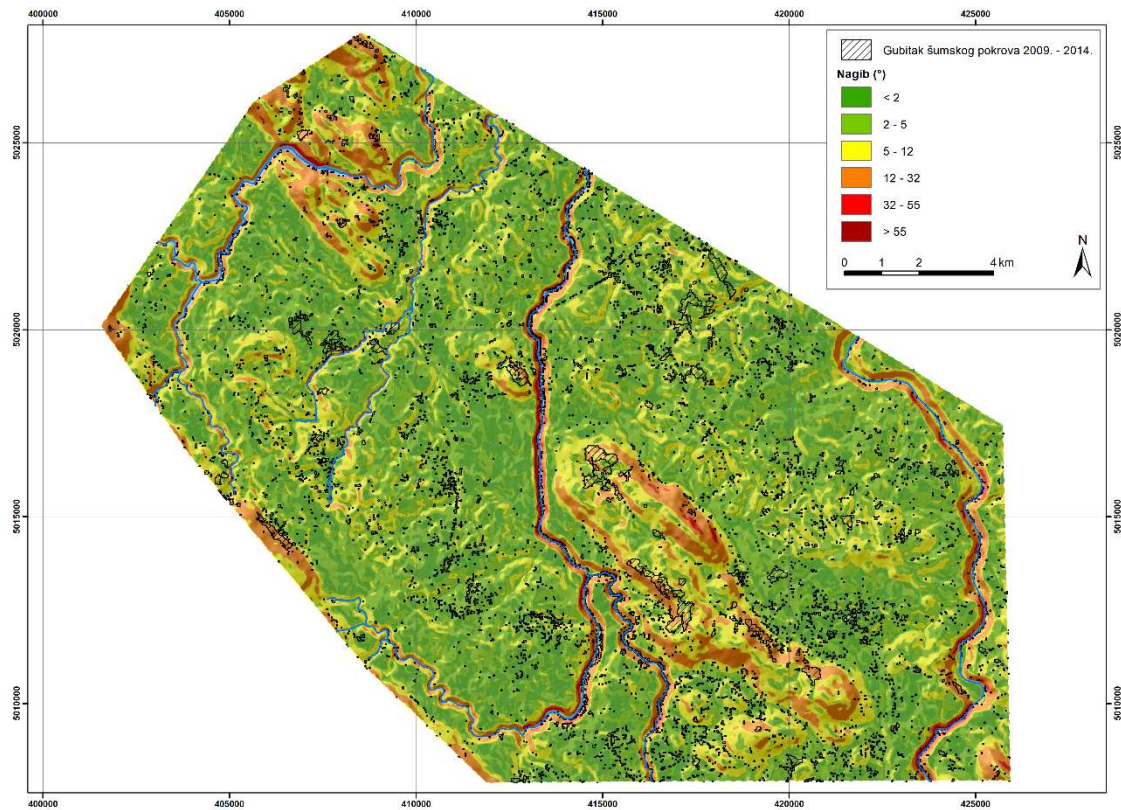
*Slika 5-55 Ponikve i područja gubitka šumskog pokrova za razdoblja 2009 – 2014. i 2014. – 2019.*

Također je provedena analiza udjela površina na kojima je zabilježen gubitak šumskog pokrova (Slike 5-56, 5-57, 5-58, 5-59) s nadmorskim visinama i nagibima (Tablica 5-17)

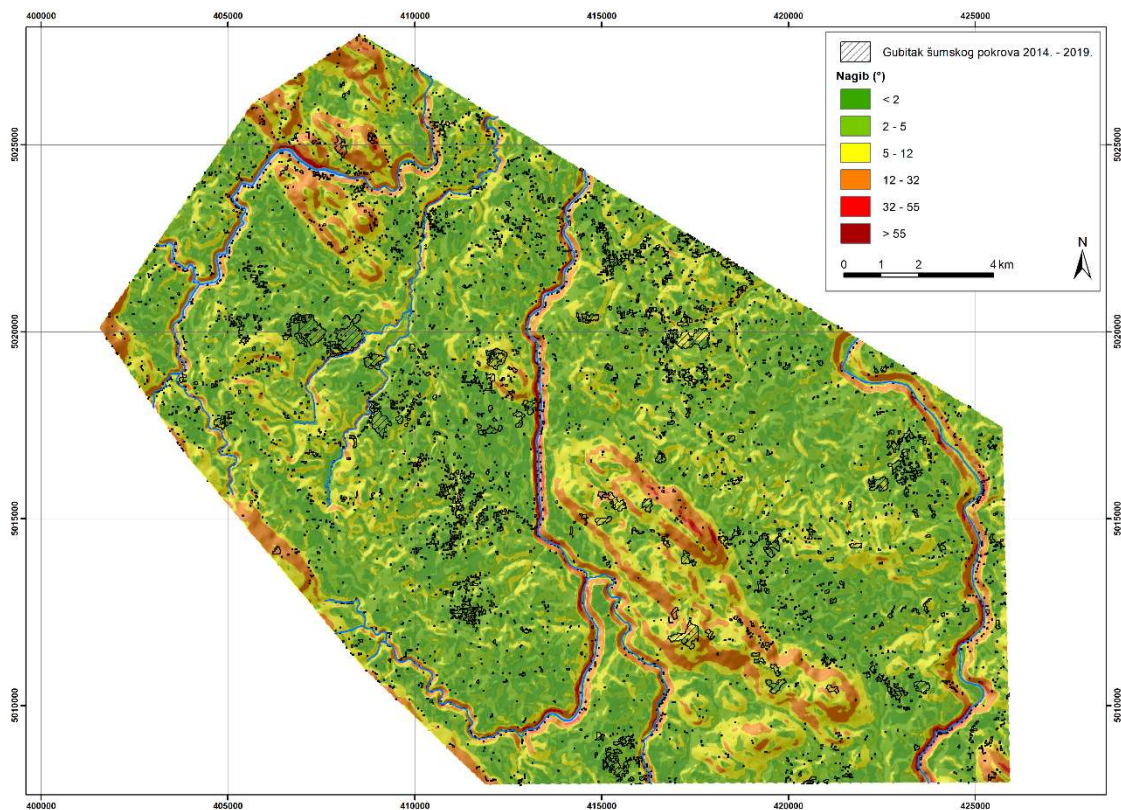
*Tablica 5-17 Relativni udjeli deforestiranih površina predmetnog područja Mrežnica prema nadmorskim visinama i nagibima (podaci Landsat)*

		Udio površina (%) 2009. – 2014.	Udio površina (%) 2014. – 2019.
Nagib (°)	< 2	19,71	24,89
	2 – 5	35,49	42,26
	5 – 12	27,52	23,59
	12 – 32	16,45	8,55
	32 – 55	0,83	0,71
Visine (m)	100 – 200	17,42	11,39
	200 – 300	70,78	79,04
	300 – 400	10,38	7,58
	400 – 500	1,42	1,99



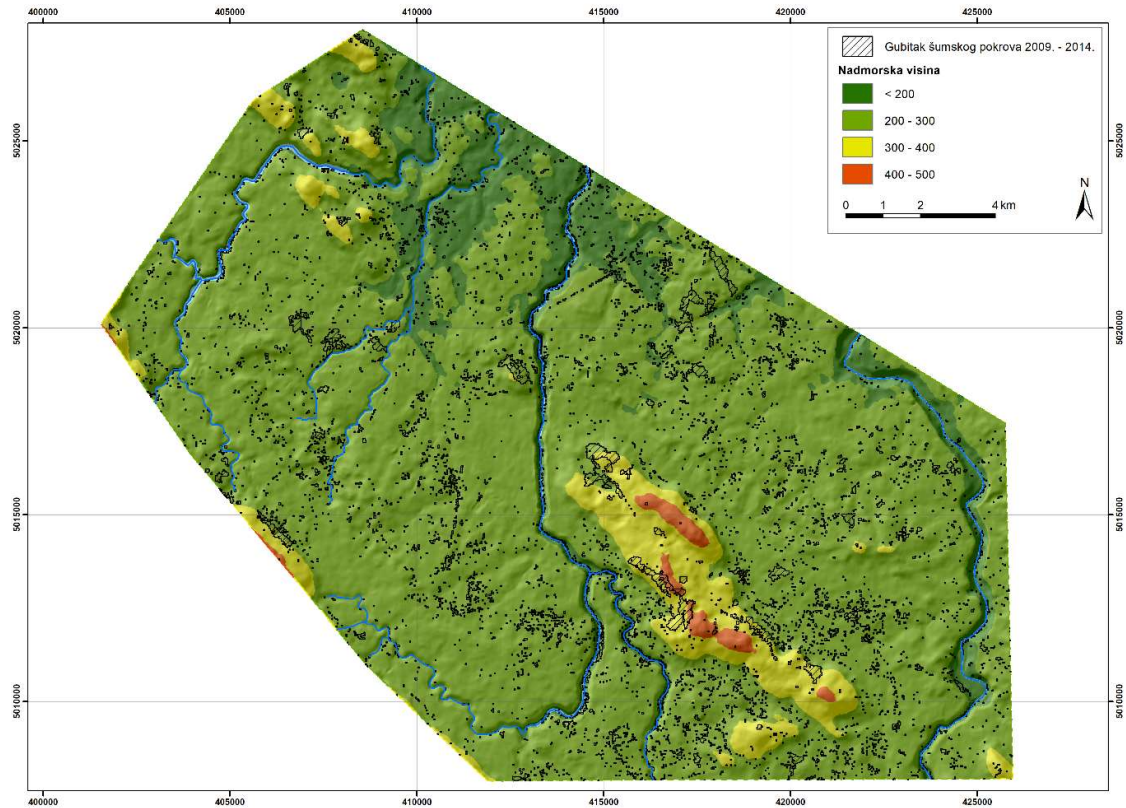


*Slika 5-56 Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2009. – 2014. (Landsat) i nagibi padina područja Mrežnice*

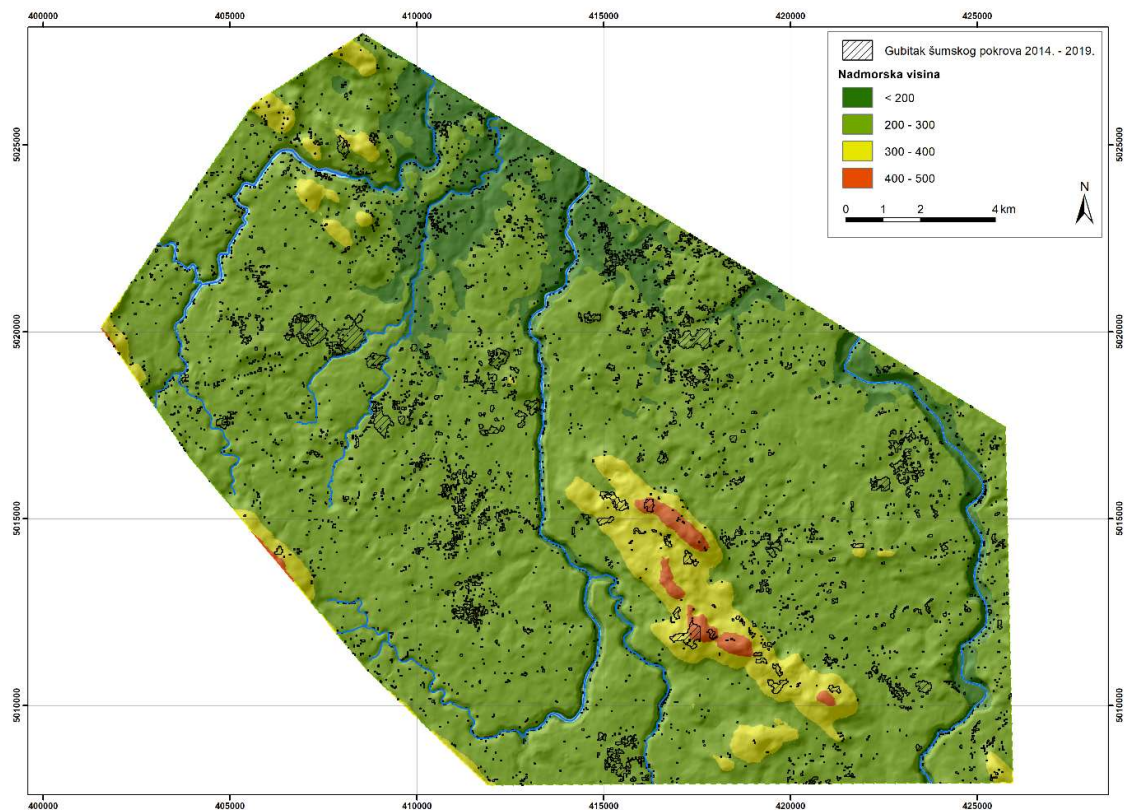


*Slika 5-57 Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2014. – 2019. (Landsat) i nagibi padina područja Mrežnice*





*Slika 5-58 Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2009. – 2014. (Landsat) i visinski razredi područja Mrežnice*



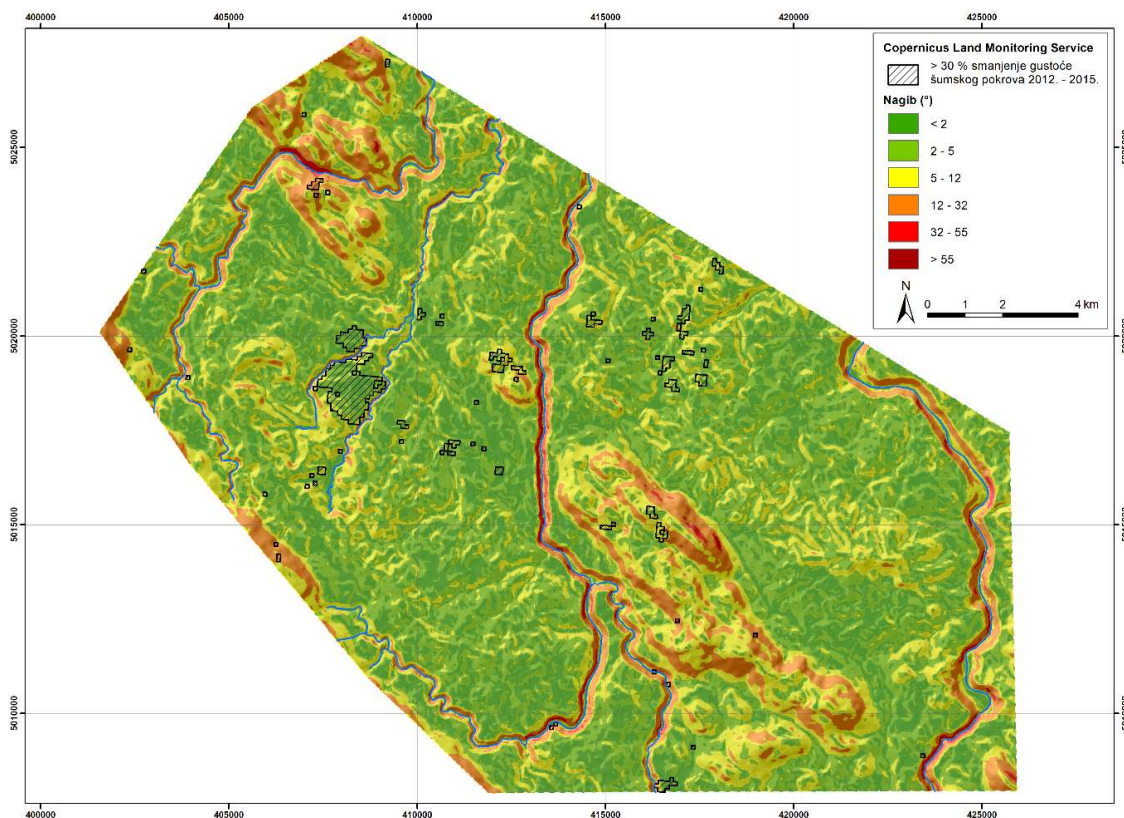
*Slika 5-59 Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2014. – 2019. (Landsat) i visinski razredi područja Mrežnice*



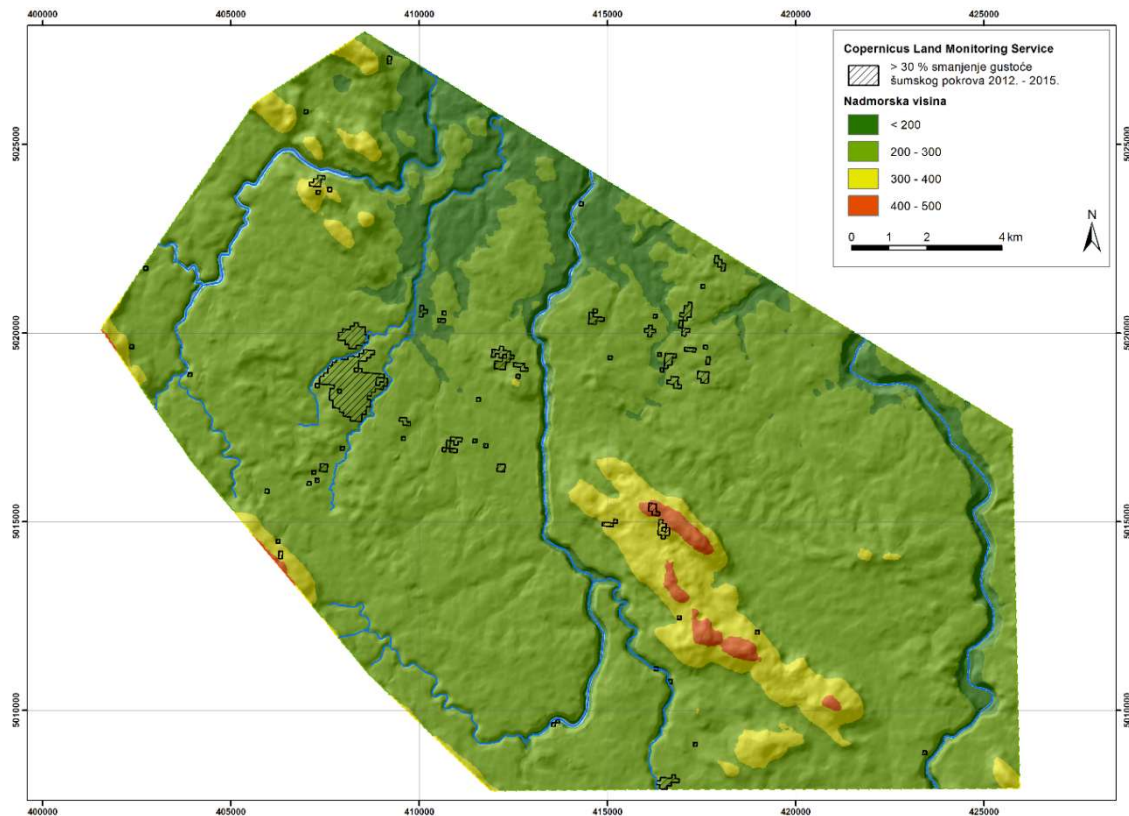
Analizom preklapanja sloja promjene gustoće šumskog pokrova za razdoblje 2012. – 2015. dobivene su sljedeće vrijednosti (Tablica 5-18), a prostorni obuhvat promjena vidljiv je na kartama (Slike 5-60, 5-61).

**Tablica 5-18** Relativni udjeli deforestiranih površina predmetnog područja Mrežnica prema nadmorskim visinama i nagibima (podaci Copernicus)

		Udio površina (%) 2012. – 2015.
Nagib (°)	< 2	28,85
	2 – 5	43,35
	5 – 12	22,33
	12 – 32	5,45
	32 – 55	0,02
Visine (m)	100 – 200	3,24
	200 – 300	89,60
	300 – 400	5,61
	400 – 500	1,54



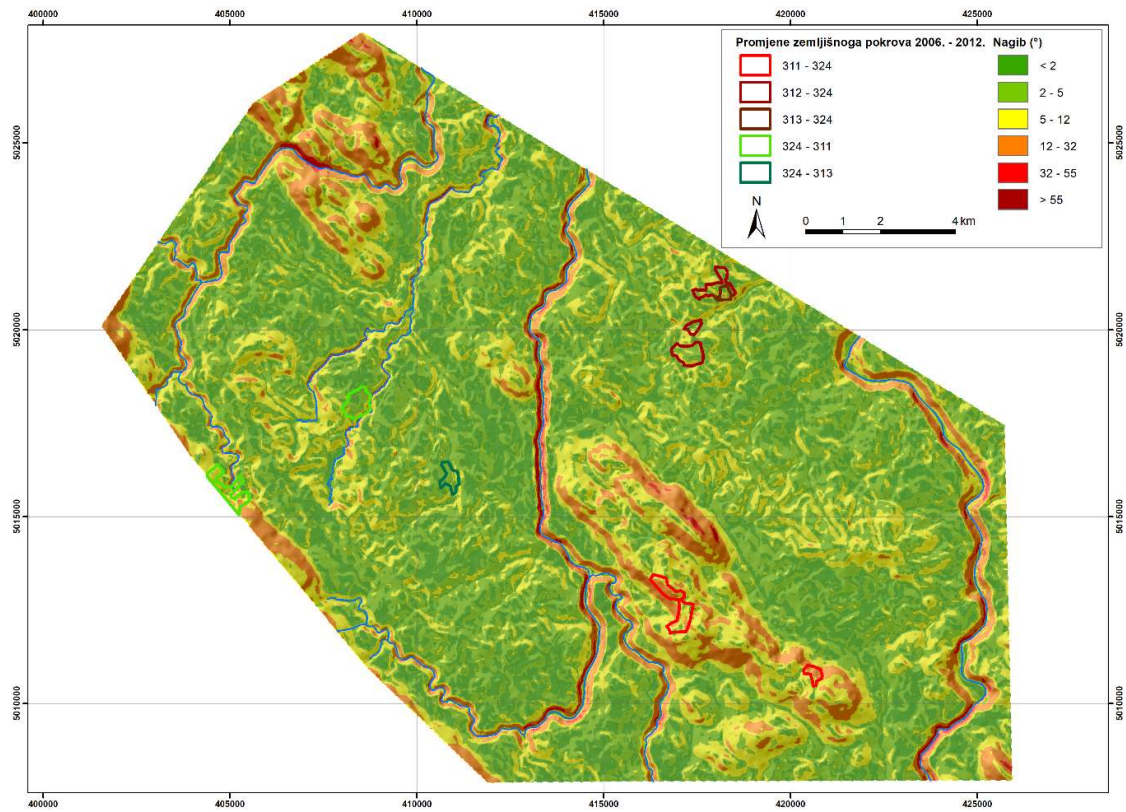
**Slika 5-60** Područja smanjenja gustoće šumskog pokrova u razdoblju 2012. – 2015. (Copernicus) i nagibi padina područja Mrežnice



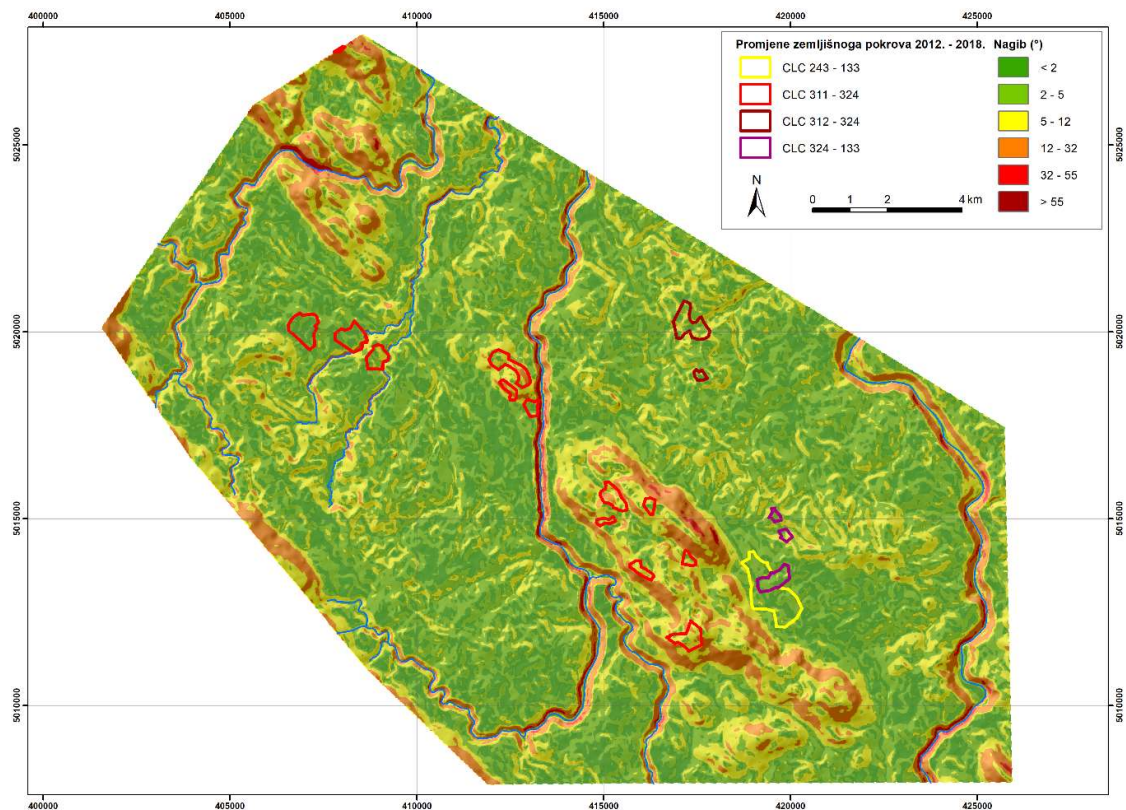
*Slika 5-61 Područja smanjenja gustoće šumskog pokrova u razdoblju 2012. – 2015. (Copernicus) i visinski razredi područja Mrežnice*

Analizirane su promjene CORINE zemljišnog pokrova s obzirom na nadmorske visine i nagibe u predmetnom području Mrežnice (Slike 5-62, 5-63, 5-64, 5-65), a vrijednosti su prikazane kao relativni udjeli po navedenim razredima. U poglavlju 3.2.2.2, detaljnije se navodi i tumači o kojim je sve promjenama pokrova riječ (Tablica 5-19).

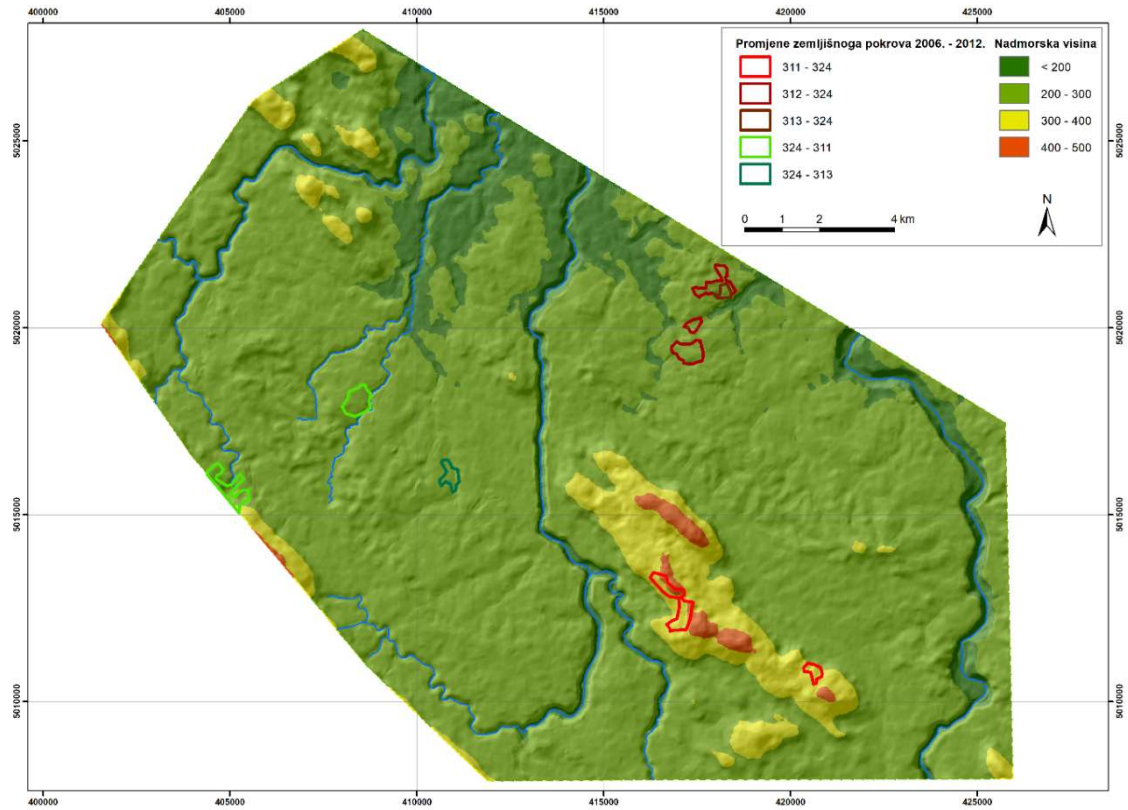




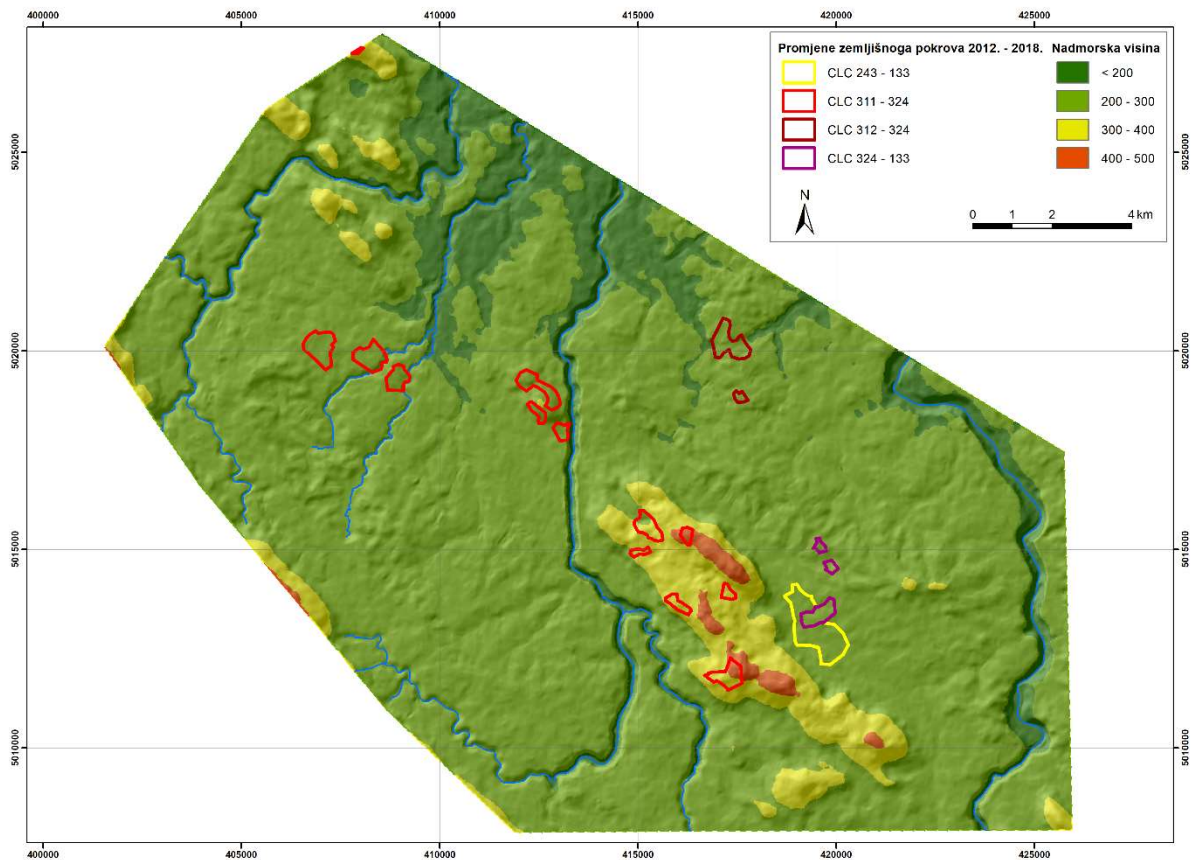
*Slika 5-62 Promjene CLC klasa u razdoblju 2006. – 2012. i nagib padina za područje Mrežnice*



*Slika 5-63 Promjene CLC klasa u razdoblju 2012. – 2018. i nagib padina za područje Mrežnice*



*Slika 5-64 Promjene CLC klasa u razdoblju 2006. – 2012. i visinski razredi za područje Mrežnice*



*Slika 5-65 Promjene CLC klasa u razdoblju 2012. – 2018. i visinski razredi za područje Mrežnice*



**Tablica 5-19** Udjeli promjena CLC klasa prema nagibu i nadmorskoj visini za razdoblja 2006. – 2012. i 2012. – 2018. za područje Mrežnice

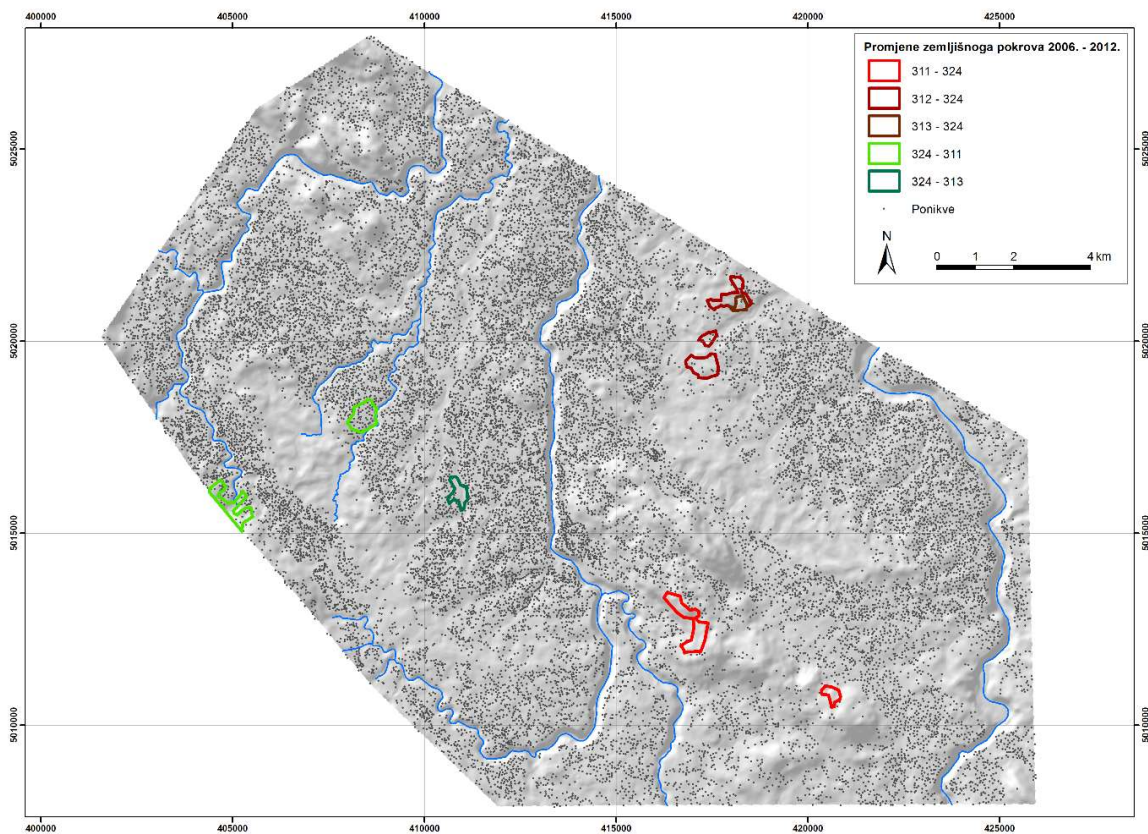
		Udio površina (%) 2006. – 2012.					Udio površina (%) 2012. – 2018.			
Promjene CORINE klasa zemljišnih pokrova		311	312	313	324	324	243	311	312	324
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
		324	324	324	311	313	133	324	324	133
Nagib (°)	< 2	1,9 4	15, 61	25, 88	12, 40	14, 51	35,1 1	21, 49	18, 94	33, 34
	2 – 5	10, 67	54, 55	33, 98	35, 79	71, 72	61,7 9	28, 92	45, 04	56, 99
	5 – 12	41, 12	29, 83	36, 37	40, 95	13, 77	3,10	35, 95	34, 76	9,6 6
	12 – 32	46, 28	-	3,7 8	10, 86	-	-	13, 59	1,2 6	-
	32 – 55	-	-	-	-	-	-	0,0 5	-	-
Visine (m)	100 – 200	-	-	-	-	-	-	0,5 5	2,2 1	-
	200 – 300	2,0 7	100	100	97, 90	100	100	65, 66	97, 79	100
	300 – 400	74, 58	-	-	2,1 0	-	-	25, 96	-	-
	400 – 500	23, 35	-	-	-	-	-	7,8 4	-	-

Preklapanjem slojeva ponikvi sa slojevima promjena CORINE zemljišnog pokrova ustanovljen je njihov broj za odabrana razdoblja (Tablica 5-20) te su izrađene karte (Slike 5-66, 5-67).

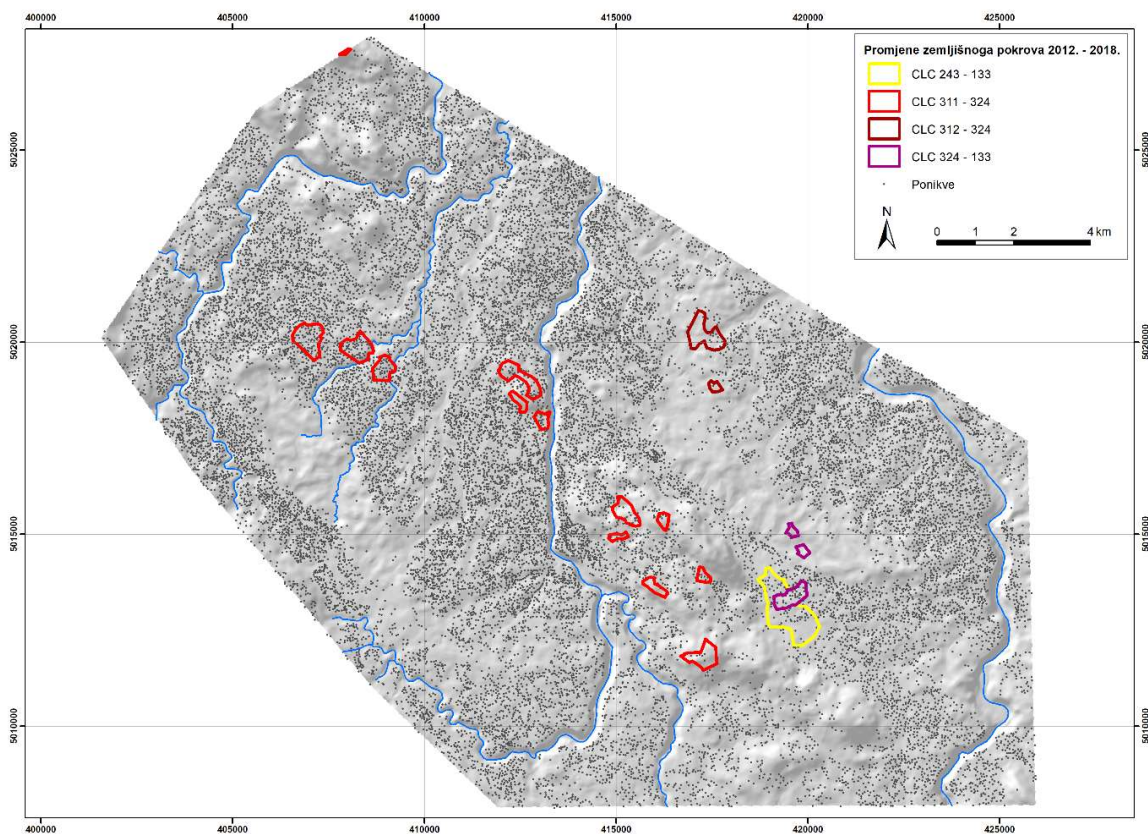
**Tablica 5-20** Broj ponikvi na područjima promjena CLC 2006. – 2012. i 2012. – 2018.

	2006. – 2012.					2012. – 2018.			
Promjene CORINE klasa zemljišnih pokrova	311	312	313	324	324	243	311	312	324
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	324	324	324	311	313	133	324	324	133
Broj ponikvi	3	26	3	76	16	63	258	14	34





*Slika 5-66 Ponikve i promjene CLC klasa u razdoblju 2006. – 2012.*



*Slika 5-67 Ponikve i promjene CLC klasa u razdoblju 2012. – 2018.*

Područje Mrežnice geomorfološki je u prostornom smislu relativno homogeno, ali je morfoevolucijski vrlo kompleksno te njegovo potpuno razumijevanje trenutno nije moguće. Svi morfometrijski parametri ukazuju na autogenu infiltraciju vode u podzemlje što dovodi do nakupljanja rezidualnog i rastrošenog materijala u podzemnom prostoru. Pojačana infiltracija uslijed mjestimičnog gubitka šumskog pokrova na najokrnjenijim područjima te pojačana erozija podzemno akumuliranog materijala uslijed naglih povećanja razine podzemne vode mogući je splet uzroka pojave mutnoće u rijeci Mrežnici.



## 6. ZAMUĆENJE KARLOVAČKIH RIJEKA 16.06.2019. GODINE

### 6.1 DIONICE VODOTOKOVA RIJEKA NA KOJIMA SE POJAVILO EKSTREMNO ZAMUĆENJE 16.06.2019. GODINE

Neposredan povod za provedbu predmetnih istraživanja bila je ekstremna mutnoća dijelova tokova rijeka koju je prouzročila ekstremna hidrološka pojava - obilna kiša u večernjim satima dana 16.06.2019. godine kada je u kratkom vremenskom periodu palo: 55 mm vode na mjernoj postaji Tounj-Zdenac, 76,1 mm u Ogulinu, 63,8 mm na Gorincima i 25,3 mm na Donjem Zvečaju. Kiša je u Ogulinu i okolici izazvala manju elementarnu nepogodu jer se na pločniku formirao stupac vode od 20-tak cm i mjestimice prouzročio poplave.

Ekstremno mutne bile su Mrežnica nizvodno od Vitasovog slapa (uzvodno od sela Katići, treći slap uzvodno od izvora Bučak) i Korana nakon što je primila vodotok Radonju u Tušiloviću. Rijeke Dobra i Kupa bile su uobičajeno mutne za opisane vremenske prilike (obilne padaline). Jasno, Kupa je jako zamutila, nakon što je primila Koranu zajedno s Mrežnicom.

Mutnoća rijeka uzvodno od Karlovca tijekom kišnih perioda je normalna pojava. No, navedena hidrološka pojava dogodila se tijekom sezone kupanja na gradskim i mjesnim kupalištima uz rijeke, bila je ekstremnija glede mutnoće (mogao se čuti i u medijima pročitati izraz: blatna rijeka), a i izazvala je direktnu materijalnu štetu turističkim objektima ([Slika 6-1](#)).



**Slika 6-1** Rijeka Mrežnica neprepoznatljivo mutna (Foto: Mirela Blažanović, Agrokлуб.com, 24.06.2019.)

## 6.1.1 MEDIJSKA PRIOPĆENJA

O mutnoći rijeka ažurno su priopćavali informativni radijski, televizijski i tiskovni mediji te hrvatski web portali. Konzultirajući dostupne medijske objave nastojali smo saznati više, nadopuniti naše spoznaje o toj hidrološkoj pojavi (ekstremnoj oborini), njenim posljedicama i tijeku bistenja rijeka Mrežnice i Korane. Kod objava web portala interesantni su bili i komentari čitatelja. Spomenut će se neki, a početak će se s objavom od približno mjesec dana prije ekstremne oborine 16.06.2019.

Dana 14. 05. 2019. u 17:41, HINA prenosi: „Župan Karlovačke županije je dao izjavu kako je 21 cesta u županiji zatvorena za promet, da je današnja razina Korane na slunjskom području rekordna, kao i razina Mrežnice u Mrzлом polju, a prošlih su godina bile rekordne razine Kupe i Korane. Mrežnica bilježi najveći vodostaj od 1959. godine.“

Dana 17.06.2019. u 22:20, Toni Lovnički, Pljusak. com, Neverin. hr prenose: „U nedjelju navečer (16.6.2019.) uz vrlo obilnu kišu bilo je i tuče te olujnog vjetrova. Tijekom sat vremena palo je čak 76 mm oborine, a zbog jačine i količine kiše brzo su nastajale bujice koje su poplavile podrumne nekih kuća i zgrada. Visina vode u Ogulinu koja se nakupila na ravnoj površini dosezala je i 20 cm. U nekim je dijelovima gradske okolice tuča počinila materijalnu štetu na automobilima, a ima štete i na poljoprivrednim kulturama u okolnim naseljima. Razlog ovakvog nevremena je sudar dvaju olujnih oblaka kumulonimbusa, jednog koji se spuštao iz Slovenije prema Ogulinu i drugog koji se kretao prema Ogulinu iz smjera Slunja. Tada je nastala „superćelija“ koja se protezala od Ogulina do Karlovca te je oborina na tom dijelu bila najjača i najintenzivnija. To je već treće izraženo nevrijeme na području Hrvatske tijekom jučerašnjeg dana.“

Dana 22. 6. 2019. u 21:49, Dnevnik. hr prenosi: „Snimkama dronom utvrđeno je da do zamućenja dolazi na području Mrežnice u Generalskom Stolu: "To je područje od Katića do Dobrenića gdje ima sedam do osam vrulja koje na tom mjestu izlaze van, podvodno i tu dolazi do blaćenja rijeke Mrežnice. Vidite da to nisu male količine blata, to je blato koje nekoliko dana izvire unutar korita, dolazi do centra Duge Rese i do Karlovca gdje se ulijeva u Koranu".

„Nije apsolutno nikakva tajna da od početka rada HE Lešće i svakodnevnih oscilacija rijeke Dobre, dolazi do oscilacije temperature Mrežnice, ali i neobjašnjivog rasta razine ove rijeke. Mnogi to objašnjavaju mogućnošću da su se rijeke negdje "podzemno" povezale što dotad nije bio slučaj.“

Dana 22.06.2019. u 23:18, HINA prenosi: „Na mjestu gdje su se prošle godine pojavile hladne vrulje sada se pojavilo zamućenje. Zavod za javno zdravstvo Karlovačke županije nastavlja s mjerenjima kakvoće riječne vode u općini Generalski Stol, u Dugoj Resi i u Karlovcu. Hrvatske vode će davati dnevna izvješća o bistenju vode.“

Hrvatske vode su izvijestile: “Uslijed spomenutog, došlo je do promjene boje vodotoka i stvaranja velikih količina pjene koja se zadržala u podnožju pontonskog mosta u Karlovcu. Radi se o prirodnoj pojavi, odnosno o tzv. izvanrednom onečišćenju vode uzrokovanom manjom elementarnom nepogodom, tj. visokim oborinama karakterističnima za ovo doba godine.“



Dana 24.06.2019 u 14:42, Radio Mrežnica izvještava: Hrvatske Vode kažu „Na običenoj dionici rijeke u dužini od 25 kilometara može se utvrditi: Bistrenje rijeke primijećeno je na četiri lokacije. Zamućenje je tako minimalno u Keićima u Generalskom Stolu. U Zvečaju kod pontonca prevladava autentična boja Mrežnice, u Belavićima i Brigu na pola puta je do potpune bistrine dok je kod mosta na kupalištu u Dugoj Resi i dalje jako zamućena.“

U Stožaru CZ Karlovačke županije tvrde „Možemo zaključiti da je jasno vidljivo postupno bistrenje rijeke Mrežnice, posebno u gornjem toku. Rijeka Korana je pak uzvodno od ušća Mrežnice do ušća potoka Radonja u Tušiloviću i danas zamućena.“

„Ronioći KPA Vodomar Duga Resa tijekom vikenda obišli su četiri velika izvora rijeke Mrežnice: u zaseoku Erdelj, Leskar, Mateško Selo i Zvečaj te utvrdili kako isti nisu uzrok zamućenja.“

„Prema prošlotjednom izvješću Hrvatskih voda ustanovljeno je da su velike količine oborina na slijevu rijeke Korane, kod podsljiva rijeke Radonje, uzrokovale bujična ispiranja iz kanala prometnica, pristupnih cesta kamenoloma, ostataka od sječe drveća, građevinske šute i tek zasađenih poljoprivrednih kultura.“

Dana 24.06.2019. Dnevnik.hr prenosi: Enigma zamućenja rijeke Mrežnice zabilježenog od Generalskog Stola nizvodno prema Dugoj Resi i Karlovcu i dalje čeka odgovore. U međuvremenu, stanje u Generalskom Stolu se poboljšava, dok je nizvodno Mrežnica još uvijek zamućena, a mi smo o mogućim uzrocima porazgovarali i sa stručnjakinjom prof.dr.sc. Nevenkom Ožanić s Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci:

**PITANJE:** „Za zamućenje Mrežnice u Generalskom Stolu proteklih dana najviše se spominjala HE Lešće na rijeci Dobri, iako za to ne postoje konkretni dokazi - Stožer Civilne zaštite Karlovačke županije je izvijestio da akumulacija ne bilježi gubitke vode.“

**ODGOVOR:** „Nitko u tom kontekstu nije spomenuo stanje riječice Globornice, koja se nalazi između HE Lešće i Mrežnice, netom prije Generalskog Stola. Globornica je pritoka Dobre, koja teče zapadno od Generalskog stola i u Dobru se ulijeva nekoliko kilometara niže od HE Lešće kod zaselka Crno Kamanje. Obzirom na prethodne informacije o tome da akumulacija Lešće ne gubi vodu, jedino se može zaključiti da se s Globornicom nije ništa dogodilo. Tim slijedom moguće je da HE Lešće zapravo nema veze sa zamućenjem Mrežnice.“

Ožanić kaže: „Odgovore trebaju dati detaljne analize čitavog područja, koje su svakako potrebne da bi se omogućila kvalitetnija prevencija budućih sličnih događaja - treba proučiti hidrogeološku kartu, geološku kartu, lokaciju i intenzitet oborine i zasićenost tla vodom. Što se tiče same HE Lešće i mjesta gdje je izgrađena, na to je mjesto sigurno nisu postavili niti je tamo preporučili strukovni diletanti. Postoje i prevencije. Sigurna sam da je netko tko je radio branu (za HE Lešće) to učinio uz detaljnu analizu. Povezanost slijevnih područja može se utvrditi mjerenjem temperatura vode i puštanjem ekološki neštetnih tvari fluorescentnog odsjaja, koje se pusti na jednom mjestu pa ih se onda može uočiti na mjestima od interesa. Kad je krško područje u pitanju, ne može se uzeti nikakva špranca. Sve ono što vrijedi za jedan vodotok, ne vrijedi i za drugi. Svaka situacija je specifična, jedinstvena.“

### Spomenut ćemo i dva komentara čitatelja:

KOMENTAR čitatelja, Agroklub, 24.06.2019.: „Mislim, izgleda da je sad tako posvuda. Bili smo na Sabljacima - mutno. Sava u Zagrebu, malo ispod nivoa inundacije - mutna.“

KOMENTAR čitatelja, Večernji list, 24.06.2019.: “Baš je fora da djeca s asfalta komentiraju jake kiše... kad u sat-dva padne 50 litara po kvadratu, nema druge nego da sve pliva. Došlo doba kad se tijekom jače kiše na cesti ne smije pojaviti ni kap, a kamoli sloj vode.”

Osim citiranih, o ekstremnom nevremenu i njegovim posljedicama priopćavali su: Večernji list, 24. lipnja 2019.; KA portal. hr, 24.06.2019 u 19:06; Hrvatska danas, 22.06.2019.; HINA, 24.06.2019. u 14:32; Direktno, 23.06.2019. u 11:19; Agroklub, 24.06.2019. u 12:45; Večernji list, 24.06.2019. u 10:51; Net. hr, 22.06.2019. u 23:18.

Tijekom istraživanja nastojalo se provjeriti medijske objave poput ovih: Područje od Katića do Dobrenića gdje ima sedam do osam vrulja; Od početka rada HE Lešće i svakodnevnih oscilacija rijeke Dobre, dolazi do oscilacije temperature Mrežnice, ali i neobjašnjivog rasta razine ove rijeke; Na mjestu gdje su se prošle godine pojavile hladne vrulje sada se pojavilo zamućenje.

## **6.1.2 ODLUKE STOŽERA CIVILNE ZAŠTITE KARLOVAČKE ŽUPANIJE**

Stožer civilne zaštite Karlovačke županije sastao se dana 22.06.2019. s temom dnevnog reda: Situacija sa zamućenjem rijeka Korane i Mrežnice. (Zapisnik sa sastanka Stožara priložen je na kraju izvještaja). Konstatirano je: „Stanovnici Županije su zabrinuti jer se spominje nekoliko uzroka zamućenja, a to je nekontrolirana sječa šuma, posebno privatnih te promjene na rijekama Dobri i Mrežnici koje su uočene u posljednjih 8 godina rada HE Lešće.“ Dalje je nadodano: „samo u ovoj godini svjedoci smo četiri rekordna nikad zabilježena povijesna vodostaja – dva na Korani i dva na Mrežnici, a ono što se sigurno može zaključiti - uzrok tome je, između ostalog, u globalnim klimatskim poremećajima.“

### Dalje u razgovoru je spominjano i naglašeno:

- „Na mjestu gdje danas dolazi do zamućenja prošle godine su bile vrulje hladne vode“ (mislilo se na Mrežnicu).
- „U nedjelju 16.06.2019. pala je velika količina te su u 2 sata prve kuće potopljene od oborinske vode“ (odnosi se na grad Vojnić uz Radonju).
- Iz Hrvatskih šuma napominju: “Sa šumama se dobro gospodari, ne sječe se više nego se zanaavlja. Radi se po propisima“.
- Za Petrovu goru (slijev Radonje) se konstatira: „Siječa šuma nije uzrok jer je najveći problem bio tamo gdje nema sječe. Tamo gdje je šuma posječena vodotoci su bili mali“.
- Pojašnjava se: „Kvaliteta vode u vodocrpilištima nije upitna. Razina vode na vodocrpilištima Gaza 1 i Gaza 3 je pod kontrolom. Apelira se da se što prije sanira kamena brana na ušću Korane u Kupu kako bi opskrba vodom bila sigurna“. Grad je zbog sanacije

kamene brane u kontaktu s Hrvatskim vodama koje imaju radni nalog, ali čekaju da se stvore uvjeti za radove jer vodostaj je previsok.

- Konstatira se kako na području uz rijeke postoji puno neriješenih problema ljudske naravi: „Mini hidroelektrana kod Pamučne je veliki problem. Od četiri zapornice dvije su oštećene i to dovodi do povišenog vodostaja na gradskom kupalištu u Dugoj Resi, a može se dogoditi da zapornice puknu kad najmanje treba“.
- Duž toka Radonje u okolici Vojnića postoji problem s dabrovima koji rade brane. Sanacija je vrlo skupa jer se neke brane moraju rušiti strojno.

Članovi stožera civilne zaštite i ostali nazočni donijeli su sljedeće zaključke:

1. U tijeku je spuštanje za dva metra voda akumulacijskog jezera HE Lešće – u akumulaciji nisu zabilježeni gubici vode, ali je iz preventivnog razloga odlučeno da se razina spusti.
2. Angažirat će se profesionalni ronionci sa zadatkom zarona u Mrežnicu u općini Generalski Stol na potezu Katići – Dobrenići, na mjestu gdje su se prošle godine pojavile hladne vrulje i gdje se sada pojavilo zamućenje.
3. Zavod za javno zdravstvo Karlovačke županije nastavlja s mjerenjima kakvoće riječne vode u općini Generalski Stol, u gradu Dugoj Resi i gradu Karlovcu.
4. Angažirat će se snimanje dronom, posebno na lokaciji gdje dolazi do povećane sječe privatnih šuma.
5. Hrvatske vode će davati dnevna izvješća o bistrinju vode.
6. Nakon normalizacije, planiraju se istraživački radovi zbog utvrđivanja stanja, npr. puštanje boje, meteo stanice, telemetrijski uređaji.
7. Vodoopskrba u Karlovačkoj županiji nije upitna, a za opskrbu pitkom vodom stanovnika dijela općine Generalski Stol spremna je cisterna.
8. U pripremi je sanacija kamenog nabačaja na ušću Korane u Kupu.
9. Stožer civilne zaštite Karlovačke županije najavljuje da će krajem kolovoza ili početkom rujna proglasiti uzbunu, vježbu u kontekstu sustava obrane od poplava s preventivnim ispuštanjem Dobre u HE Lešće i Mrežnice u MHE Pamučna industrija. Nalaže se izvješće vlasnika o stanju zapornica.
10. Stožer civilne zaštite Karlovačke županije će inzistirati da u djelokrugu rada povjerenstva koje je imenovala Vlada RH za praćenje utjecaja rada HE Lešće na nizvodni tok rijeke Dobre bude i promatranje utjecaja na ostale rijeke, a posebno na Mrežnicu.

Zapisnik je potpisao gosp. Josip Ribar, Načelnik Stožera CZ Karlovačke županije.

### **Prema zaključcima stožera obavljani su potrebni radovi**

## **6.1.3 SNIŽENJE RAZINE VODE U AKUMULACIJI LEŠĆE**

HE Lešće je započela snižavati razinu vode u akumulaciji u ponedjeljak 17.06.2019. ujutro između 7:00 i 8:00 sati (nakon nevremena koje se dogodilo večer prije). Snižavanje je trajalo do iza ponoći ponedjeljak na utorak, 17. na 18.06.2019. (podaci o protocima s AVP Lešće toplice, oko 4 km nizvodno od HE Lešće).

## 6.1.4 IZVID KPA VODOMAR DUŽ MREŽNICE OD KATIĆA DO DUGA RESE

Nakon sastanka Stožara civilne zaštite Karlovačke županije, isto popodne 22.06.2019. obavljen je sastanak sa članovima kluba podvodnih aktivnosti Vodomar iz Duga Rese, a sat i pol kasnije (u 15:48 sati) članovi kluba su izašli na teren i započeli s izvidom koji je trajao do 20:35 sati (nisu ronili zbog mutnoće, ali kako oni najbolje znaju gdje se nalaze hidrogeološki objekti uz i u toku Mrežnice (izvori, vrulje) zabilježili su svoja zapažanja). O izvidu je izrađen izvještaj u kojem je konstatirano: “Izvidom je obuhvaćen pregled terena toka rijeke Mrežnice od dalekovoda koji se nalazi na potezu između Vitasovog i Erdeljsko - Gačeškog slapa uzvodno pa sve do Kosovog Slapa u Zvečaju, što je 14 kilometara toka rijeke Mrežnice. Zadaća je bila vizualna detekcija zamućenja korita rijeke mjerenje temperature te detekcija izvora zamućenja” (Izvještaj o izvidu priložen je na kraju elaborate). U tom dijelu običena su i 4 velika izvora kao potencijalni uzročnici zamućenja. Dalje se navodi: “Zamućenje vode karakterizirano je skalom od 1 do 10, gdje je 1 kompletno bistra i normalna boja vode, a 10 je veoma mutna voda puna otopljenih suspendiranih čestica, žute ili smeđe boje”.

- Izvid je započeo kod izvora „Bučak“ u zaseoku Erdelj. Zaključak: izvor je normalne boje i nema nikakvog zamućenja, također tok rijeke je relativno bistar.
- Erdeljsko - Gačeški slap također bez zamućenja.
- Nadalje su izvršeni izvidi na svim dostupnim slapovima gdje Mrežnica nizvodnije postaje sve zamućenija od zaseoka Leskar na nizvodno sve do Zvečaja gdje je na Kosovom mlinu u skali mutnoće: 6.
- Temperatura vode: - uzvodno mjerenje iznosi 15 stupnjeva, a nizvodno iznosi 16 stupnjeva.
- Sva 4 običena izvora su bez zamućenja, a oni se nalaze u zaseoku Erdelj, Leskar, Mateško Selo te Zvečaj. Oni nisu uzrok zamućivanja.
- Nikakve kritične točke zamućenja nisu nađene, odnosno nije nađeno mjesto gdje rijeka iz Bistrog prelazi u mutno, već se zamućenost povećava kako se tok kreće nizvodno, te se ono sve više povlači.
- Dana 23.06. 2019. Napravljen je novi Izvid na Mostu u Keićima, gdje je u manje od 24 sata vidljivo iznimno poboljšanje. Nakon toga običen je Puškarićev slap gdje je u tom trenutku voda zamućena kako je bilo jučer u Keićima.

Zaključak: Zamućenje vode povlači se s tokom, ali tok rijeke je dosta spor pa se potpuno izbistrenje niti ne može očekivati brzo. U protekla 2 dana također je pala određena količina kiše koja ne pridonosi bistrenju. Talog se ne sedimentira jer ga svaki slap ponovno promiješa.

Izvještaj sastavio i s 23.06.2019. godine potpisao gospodin Nikica Spudić, predsjednik KPA Vodomar iz Duga Rese.



## 6.1.5. ANALIZA RASPOLOŽIVIH PODATAKA KAKVOĆE VODE U RIJEKAMA

### 6.2.5.1 ANALIZA KAKVOĆE VODE

Kakvoća vode analizirana je prema podacima prikupljenim u sklopu nadzornog i operativnog monitoringa stanja površinskih voda koji provode Hrvatske vode prema Zakona o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13 i 14/14 i 66/19). Ocjene stanja površinskih voda prikazane u ovom elaboratu rađene su prema kriterijima propisanim Uredbom o standardu kakvoće voda (NN 96/19). Potrebni podaci preuzeti su iz Izvješća Hrvatskih voda o stanju površinskih voda u Republici Hrvatskoj u 2013., 2014., 2015., 2016., 2017., 2018. i 2019. godini.

Ekološko stanje tijela površinske vode određuje se na temelju rezultata monitoringa bioloških elemenata kakvoće te hidromorfoloških, osnovnih fizikalno-kemijskih i kemijskih elemenata, koji prate biološke elemente. Ocjena kategorije ekološkog stanja određuje se prema najlošijem stanju. Ocjena stanja bioloških elemenata kakvoće, ocjena stanja s obzirom na prateće fizikalno – kemijskim elemente kakvoće i specifične onečišćujuće tvari uobičajeno se prikazuju odgovarajućim bojama ([Tablica 6-1](#)).

U skladu s Uredbom o standardu kakvoće voda (NN 96/19), ocjena kemijskog stanja tijela površinske vode određuje se najlošijom od vrijednosti rezultata analiza tvari koje se nalaze na popisu prioriternih tvari i drugih onečišćujućih tvari za površinske vode prema Prilogu 5. navedene Uredbe. Kategorija kemijskog stanja raspodjeljuje se u dvije klase: dobro kemijsko stanje i nije postignuto dobro kemijsko stanje ([Tablica 6-2](#)). Ocjena kemijskog stanja ocjenjuje se u odnosu na propisanu dozvoljenu prosječnu i maksimalnu godišnju koncentraciju tvari u vodi.

**Tablica 6-1** Kategorije ekološkog stanja

Kategorija ekološkog stanja	Boja
vrlo dobro	plava
dobro	zelena
umjereno	žuta
loše	narančasta
vrlo loše	crvena

**Tablica 6-2** Kategorija kemijskog stanja

Kategorija kemijskog stanja	Boja
dobro kemijsko stanje	plava
nije postignuto dobro kemijsko stanje	crvena

Plan monitoringa obuhvaća uzorkovanje i *in situ* ispitivanja površinskih voda na pokazatelje koji su potrebni za određivanje ekološkog (biološki i prateći fizikalno – kemijski elementi kakvoće te specifične onečišćujuće tvari) i kemijskog stanja (elementi obuhvaćeni prioriternim tvarima) površinskih voda. U [Tablici 6-3](#) prikazane su ocjene pratećih fizikalno-kemijskih elemenata, specifične onečišćujuće tvari i kemijskog stanja za površinske vode na mjernim postajama rijeka Mrežnice, Korane, Radonje i Slunjčice u razdoblju od 2013. do 2019.

**Tablica 6-3** Ocjene stanja mjernih postaja na vodotocima Korane, Radonje, Slunjčice i Mrežnice u razdoblju od 2013. do 2019. godine

Rijeka	tip rijeke	mjerna postaja	2013				2014				2015				2016				2017				2018				2019			
			BK	FK	ST	KS	BK	FK	ST	KS	BK	FK	ST	KS	BK	FK	ST	KS	BK	FK	ST	KS	BK	FK	ST	KS	BK	FK	ST	KS
Korana	HR-R 8	Gaza	Yellow	Green		Blue		Green	Blue																					
Korana	HR-R 8	Velemerić	Yellow	Green	Blue			Green	Blue					Yellow	Green	Blue							Green	Blue	Blue		Green	Blue	Blue	
Korana	HR-R 8	Veljun	Green	Green	Blue			Green	Blue					Green	Green	Blue							Green	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Blue	
Korana	HR-R 7	Slunj	Orange	Green	Blue			Green	Blue					Red	Green	Blue							Green	Blue	Blue	Orange	Green	Blue	Blue	
Korana	HR-R 7	Bogovolja	Green	Yellow	Blue									Yellow	Green	Blue				Yellow			Blue							
Korana	HR-R 7	selo Korana	Yellow	Green				Green	Blue					Green	Green	Blue							Green	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	
Slunjčica	HR-R 7	izvorište		Green				Green		Blue				Green	Green	Blue							Green	Blue			Green	Blue	Blue	
Slunjčica	HR-R 7	crpilište	Green	Green				Green					Yellow									Blue	Green							
Radonja	HR-R 4	Tušilović		Green				Green						Green	Green	Blue						Blue	Green	Blue			Green	Blue	Blue	
Mrežnica	HR-R 8	Mostanje	Yellow	Green	Blue	Blue		Green	Blue					Yellow	Green	Blue						Green	Blue	Blue	Orange	Green	Blue	Blue	Blue	
Mrežnica	HR-R 8	Mlinci	Green	Blue	Blue								Yellow		Blue	Yellow							Green	Yellow			Green	Yellow	Blue	
Mrežnica	HR-R 8	Juzbašići	Green	Green				Green	Blue					Green	Blue	Blue							Green	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	

BK - biološki elementi kakvoće (fitoplankton, fitobentos, makrofita, makrozoobentos, ribe)

FK - prateći fizikalno-kemijskih elemenati kakvoće (pH, BPK5, KPK-Mn, amonij, nitrati, ukupni dušik, ortofosfati, ukupni fosfor)

ST - specifične onečišćujuće tvari (arsen, bakar, cink, krom, fluoridid PGL, fluoridi MGK, AOX, PCB)

KS - kemijsko stanje (elementi obuhvaćeni prioritetnim tvarima, Prilog 5 Uredbe o standardu kakvoće voda)

U okviru nacionalnog monitoringa, kakvoća vode u rijeci Korani analizirana je na ukupno 6 mjernih postaja u razdoblju od 2013. do 2019. godine. Mjerna postaja Gaza, neposredno prije ušća u Kupu analizirana je kroz 2013. i 2014. godinu, mjerna postaja Bogovolja analizirana je kroz 2013., 2015. i 2016. godinu dok su ostale četiri mjerne postaje (Velemerić, Veljun, Slunj i selo Korana) analizirane kroz cijelo navedeno razdoblje. U 2013. godini s obzirom na biološke elemente kakvoće dobro stanje ocjenjeno je na mjernim postajama Veljun i Bogovolja, umjereno stanje na mjernim postajama Gaza, Velemerić i selo Korana, te je loše stanje utvrđeno na mjernoj postaji Slunj zbog lošeg stanja makrozoobentosa. Makrozobentos na mjernoj postaji Slunj upućuje na vrlo loše stanje u 2016. godini te umjereno stanje u 2019. godini. Najbolje biološko stanje utvrđeno je 2018. godine na mjernoj postaji Bogovolja, gdje je samo godinu ranije utvrđeno umjereno stanje. U 2019. vrlo loše stanje bioloških elemenata kakvoće utvrđeno je i na mjernoj postaji selo Korana zbog nedostatka vode čime su izostale ribe.

Obzirom na prateće fizikalno-kemijske elemente kakvoće vode na svim mjernim postajama rijeke Korane kakvoća vode ocjenjena je s dobrim stanjem, uz iznimku na lokaciji Bogovolje 2013. i 2015. godine gdje je ocjenjeno umjereno stanje. 2016. godine lokacija Bogovolja zadovoljila je dobro stanje. Kako 2017., 2018. i 2019. godine mjerna postaja nije bila obuhvaćena Planom monitoringa ne može se govoriti o trendu umjerenog stanja. Također, obzirom na dobro stanje nizvodnih lokacija umjereno stanje može se smatrati lokalnom pojavom. Praćenje specifičnih onečišćujućih tvari ocjenjeno je s vrlo dobrim stanjem kao i utvrđeno dobro kemijsko stanje svih lokacija na rijeci Korani što ukazuje na zadovoljavajuće stanje vodnog tijela.

Dvije najveće pritoke rijeke Korane, Slunjčica i Radonja s obzirom na prateće fizikalno – kemijske elemente kakvoće ocjenjene su s dobrim stanjem kroz cijelo razdoblje od 2013. do 2019. godine. Specifične onečišćene tvari u pritokama analizirane su u razdoblju od 2015. do 2019. godine i ocjenjene su s vrlo dobrim stanjem. Kemijsko stanje rijeke Slunjčice praćeno je 2014. i 2019. godine, dok je stanje Radonje neposredno prije ušća u Koranu praćeno samo 2019. godine. Sve analize ocjenjene su s dobrim kemijskim stanjem. Biološki elementi kakvoće praćeni su samo u rijeci Slunjčici na mjernoj postaji uzvodno od crpilišta te su 2013. i 2016. godine potvrdili dobro stanja, dok je 2018. godine zadovoljeno vrlo dobro stanje.

Primišljanska Mrežnica obuhvaćena je Planom monitoringa kroz tri mjerne postaje u razdoblju od 2013. do 2019. godine. Najuzvodnija mjerna postaja Juzbašići 2016. i 2019. godine ocjenjena je vrlo dobrim stanjem s obzirom na fizikalno – kemijske elemente kakvoće, ostalih godina ocjenjena je s dobrim stanjem. U razdoblju od 2014. do 2019. godine na mjernoj postaji Juzbašići praćene su specifične onečišćujuće tvari koje su ocjenjene s vrlo dobrim stanjem. Prioritetne tvari analizirane su 2018. i 2019. godine čime je postignuto dobro kemijsko stanje. Biološki elementi potvrdili su dobro stanje ocjenjeno 2019. godine.

2013. godine rijeka Mrežnica uzorkovana je oko 1500 metra nizvodno od mjerne postaje Mlinci na rijeci Mrežnici odnosno kod mosta na cesti Generalski stol – Perjasica. Tim uzorkovanjem postignute su najviše ocjene stanja obzirom na prateće fizikalno – kemijske elemente kakvoće i specifične onečišćujuće tvari. Obzirom na prateće fizikalno – kemijske elemente kakvoće 2015. godine na mjernoj postaji Mlinci stanje je ocjenjeno kao umjereno, 2016. godine kao vrlo dobro, dok je 2017., 2018. i 2019. godine ocjenjeno kao dobro. Specifične onečišćujuće tvari analizirane su od 2016. do 2019. godine te je postignuto umjereno stanje. Prioritetne tvari analizirane su 2019. godine što je rezultiralo dobrim stanjem.

Mjerna postaja Mostanje kroz cijelo razdoblje ocjenjena je dobrim stanjem obzirom na fizikalno – kemijske elemente kakvoće, vrlo dobrim stanjem s obzirom na specifične onečišćujuće tvari te dobrim kemijskim stanjem u 2013., 2018. i 2019. godini. Biološki elementi kakvoće ocjenjeni su 2013. i 2016. godine s umjerenim stanje na što su upućivali elementi miktofita i makrozoobentosa, te 2019. godine s lošim stanjem zbog nedostatka riba.

Uredbom o standardu kakvoće voda (NN 96/19) kojom se propisuje standard kakvoće voda odnosno elementi za ocjenjivanje i monitoringa stanja voda za površinske, priobalne i podzemne vode te vode teritorijalnog mora nije propisan standard mjerenja mutnoće vode. Bez sustavnog mjerenja mutnoće teško se mogu donositi zaključci o dinamici sve češćih pojava mutnoće površinskih i podzemnih voda koje su predmet ovog elaborata.

### 6.1.5.2 ANALIZA KAKVOĆE VODE ZA VRIJEME ZAMUĆENJA U LIPNJU 2020.

U skladu sa zaključcima Stožera CZ Karlovačke županije, u periodu od 22. do 28.06.2019. godine obavljani su svakodnevni obilasci dionica rijeka Mrežnice i Korane te vodotoka Radonje. Obilazak Mrežnice obavljan je od mosta u Keićima u općini Generalski Stol do Mostanja u Karlovcu (u dužini 25 km). Motreno je 6 lokacija: Keići (rkm 25+000), Gornji Zvečaj (rkm 20+500), Zvečaj (rkm 18+500), Mrežnički Brig (rkm 12+500), Duga Resa (rkm 7+850), Mostanje (rkm 0+000).

Nakon obilazaka je utvrđeno: Zamućenje na dionici od Keića do Mrežničkog Briga je prestalo u roku 4-5 dana i voda je u koritu rijeke poprimila uobičajenu tirkiznu boju za Mrežnicu. U Duga Resi zamućenje je trajalo duže, ali je 28.6.2019. uočeno tek neznatno zamućenje. Rijeka Korana uzvodno od ušća Mrežnice (rkm 7+950) do ušća vodotoka Radonje (rkm 21+300) u Tušiloviću, u promatranom periodu bila je manje zamućena uslijed nanosa koji je dolazio iz Radonje. Stanje u koritu rijeke Korane se normaliziralo.

Zavod za javno zdravstvo Karlovačke županije prema zaključcima Stožera CZ određivao je parametre u površinskim vodama u općini Generalski Stol, u Duga Resi i gradu Karlovcu. Rezultati mjerenja fizikalno-kemijskih pokazatelja prikazani su u [Tablici 6-4](#).



**Tablica 6-4** Rezultati mjerenja fizikalno-kemijskih pokazatelja izmjerenih u sklopu izvanrednog monitoringa površinskih voda

	Granične vrijednosti	18. lipnja 2019.	23. lipnja 2019.		
		Korana Foginovo	Mrežnica Mlinci	Mrežnica Duga Resa	Korana Foginovo
pH	7.0-9.0	7.8	7.8	7.8	7.9
temperatura vode (°C)		21.3	23.2	23.6	23.4
el. vodljivost (μS/cm)	-	313	386	304	339
mutnoća (NTU)			2.5	38	16
Otopljeni kisik (mg/l)	-	8.77	9.69	8.88	8.78
KPK (Mn)	4	4.5	1.1	2.8	2.4
Amonijak mgN/l	0.12	0.177	0.064	0.173	0.204
Suspendirana krutina (mg/l)			12	36	16

Prema rezultatima mjerenja fizikalno-kemijskih parametara na lokaciji Korana Foginovo u gradu Karlovcu dana 18.06.2019. godine koncentracije četiri parametra (amonijak, KPK-Mn, ortofosfati i ukupan fosfor) ukazivale su na loše stanje površinskih voda. Stanje se do 23.06.2019. godine postupno popopravilo, samo je koncentracija amonijaka ukazivala na loše stanje (bila je iznad MDK).

Rijeka Mrežnica je dana 23. lipnja 2019. godine uzvodno bila u dobrom stanju, a nizvodno u Duga Resi samo je amonijak bio povišen te time nije zadovoljeno dobro stanje.

## 6.2 ISTRAŽIVANJE UZROKA EKSTREMNE MUTNOĆE RIJEKA 16.06.2019. GODINE

Zajednica izvoditelja radova (HGI, RGN, PMF) preuzela je obavezu istražiti uzroke ekstremne mutnoće Mrežnice i Korane u danima nakon 16.06.2019. godine.

Glede mutnoće u području sljevova rijeka uzvodno od Karlovca (u zadanom obimu prikazanom u [Prilogu 1](#)), zbog stanja na terenu (usmenih i pisanih priopćenja) te pregledom geoloških i hidrogeoloških karata izdvojena su dva uža područja koja su detaljnije istražena i grafički prikazana:

1. Područje uz Mrežnicu uzvodno od Zvečaja do ušća rijeke Tounjčice u Mrežnicu ([Prilog 2](#));
2. Područje vodotoka Radonje do ušća u Koranu kod Tušilovića koje se nalazi na sjeverozapadnoj strani Petrove gora ([Prilog 3](#)).

### 6.2.1 TERENSKI PREGLED PODRUČJA UZ MREŽNICU

Prostor uz Mrežnicu uzvodno od Zvečaja pa do ušća Tounjčice u nju podno jugozapadnih padina Polojske kose pripada Karlovačkom plitkom ili niskom kršu znanom po velikoj gustoći vrtača koje ukazuju na intenzivno i brzo otjecanje površinske vode u podzemlje.

Taj je prostor izgrađen dominantno od mezozojskih karbonatnih stijena i podređeno tercijarnih i kvartarnih klastičnih naslaga. Karbonati su u odnosu na duboki krš manje debljine što se odrazilo na tip razvijenih krških formi, a koje utječu na cirkulaciju vode u podzemlju - subhorizontalna je. U podini im se nalaze slabopropusne do nepropusne klastične naslaga koje uvjetuju relativno plitku razinu vode u podzemlju – vodno lice je plitko. Važna značajka plitkog krša su stalni izdašni površinski tokovi (rijeke uzvodno od Karlovca) čija korita predstavljaju erozijsku bazu, samim tim i glavni drenažni prostor za oborine koje padnu na slijev. Rijeke dobrim dijelom toka protječu kanjonima duboko usječenim u karbonatne stijene (i do 60 m dubine) i pri tome dreniraju priljevna karbonatna pobočja prekrivena deluvijalnim nanosom promjenjive debljine. Na taj način napajaju se s podzemnom vodom preko stalnih i periodičnih izvora smještenih u bokovima riječnih korita ili u samom koritu (važno za protoke u hidrološkim minimumima). Mjesta izviranja dobrim dijelom su uvjetovana razlikama u stupnju propusnosti između samih karbonatnih stijena, a raspored im je razbijen u blokove. Generalni smjer cirkulacije podzemne vode je isti njihovim glavnim drenovima – rijekama u koje se ulijevaju. Veći broj izvora na razini površinskog toka i relativno mala brzina toka značajke su vode temeljnice.

Terenskim pregledom područja uz Mrežnicu uzvodno od mosta u Keićima na strani Generalskog stola, područje Donjih Dubrava koje je podvrgnuto neselektivnoj, tzv. čistoj sječi šume (vidljivo na satelitskim snimcima, katastarske čestice su u vlasništvu Hrvatskih šuma) je zapaženo: Evidentna je potpuna sječa šuma obavljena prije dvije godine (gruba procjena na temelju izrasta mladica). Sadašnje stanje – goleti su obrasle niskim raslinjem i travom. Dominira trnovito grmlje (kupine), paprati i rijetko koja mladica drveta visine do maksimalno 5 m (Slike 6-2 i 6-3).



*Slika 6-2 Ogoline kod Generalskog stola uz tok rijeke Mrežnice*



Teren je teško prohodan. Plošna erozija nije vidljiva. U kanjonu Mrežnice (gledano iz čamaca) nisu vidljivi tragovi jaruga (pa ni novonastalih) od bujičnih tokova – otjecanje s terena nije površinsko. Taj teren je bogat vrtačama, a dna vrtača su prekrivena tlom (slabije propusnim, ali zbog male debljine ipak propusnim). Nekoliko kilometara dalje vidljive su površine na kojima je čista sječa izvršena ranije – mladice drveća su veće. Teren sadrži više malih i dvije ogromne i duboke vrtače koje svojim oblim formama poput lijevka ili amfiteatra prikupljaju vodu. U jednoj od njih u stjenovitom dijelu nalazi se vododerina kojom voda otječe prema dnu vrtače, a koje zbog strmih rubova i grmovitog raslinja nije vidljivo (Slika 6-3). Ta vrtača prima vodu koja dalje okršenim podzemljem teče u smjeru kanalskog drenažnog prostora u razini erozijske baze za sve vode iz karbonatnog prostora, a to je tok Mrežnice (hipsometrijski se nalazi manje od stotinjak metara niže). Slično stanje nakon čiste sječe šuma glede vegetacije, erozije i odvodnje oborina je i s druge strane Mrežnice, uzvodno od Gačackog sela na strani Perjasice.



*Slika 6-3 Grmovito raslinje uz rub ogoline nakon čiste sječe kod Generalskog stola*

Izvor Bučak uz lijevu obalu Mrežnice uzvodno od Katića je najpoznatiji aktivni hidrogeološki objekt ovog dijela toka rijeke (Slika 6-4). Jednostavno je kaptiran betonskim zagatom, a njegova voda je služila stanovništvu za piće. U neposrednom zaleđu izvora nalaze se dvije markantne špilje koje imaju markaciju PD Željezničar (01-753 i 01-754). Stotinjak metara uzvodno u karbonatnom zaleđu Bučka nalazi se špilja Jazbina. Prema usmenoj predaji to je vrlo blatna špilja (reklo bi se izrazito blatna, jako blatna) s vodenim tokom (prof.dr. Neven Bočić). U razgovoru s roniocem i predsjednikom kluba podvodnih aktivnosti Vodomar, gospodinom Nikicim Spudićem (koji je među ostalima sudjelovao u obilasku Mrežnice 22.06.2019.) doznalo se: Taj dan izvor Bučak nije bio izvor zamućenja. Zamućenje je nastalo uzvodnije. Također konstatira da je prilikom prijašnjih ronjenja zapaženo kako u koritu Mrežnice postoji niz vrulja. Svojevremeno su vrulje detektirane mjerenjem temperature vode na dnu rijeke (vrulja je hladnija), ali ta mjerenja nisu opisana i geodetski zabilježena. Dojam



vrsnog ronioca i dobrog poznavatelja toka Mrežnice je: „zamućenje nije išlo samo iz jedne točke.“



*Slika 6-4 Izvor Bučak*

Na terenu se pokušalo razgovarati s mještanima i vikendašima o mutnoći 16.06.2019., ali i o mutnoćama zadnjih desetak godina. Za tu potrebu kreiran je prikladan formular s pitanjima, no razgovori nisu dali željeni rezultat. Mještani se slabo ili površno sjećaju ili se ne sjećaju detalja o mutnoći, ili ih ne znaju (dan kada je Mrežnica jako zamutila, gdje je taj dan intenzivno mutilo, koliko prosječno traje zamućenje, koliko se prosječno zamućenja dogodi tijekom godine, koliko ih se dogodi tijekom ljeta, a koliko tijekom zime, jesu li danas aktivni izvori i vrulje bili aktivni prije 5 ili 10 godina i slično). Iz tih razgovora nije se doznalo ništa konkretno, ali s načelnikom Generalskog Stola i kasnije na načelnikovu preporuku s gospodinom Fičkom je.

S načelnikom općine Generalski Stol, gospodinom Alanom Halerom običen je teren uz Mrežnicu, između ostalog i vodocrpilište u Mlincima koje dana 16.06.2019. zbog mutnoće nije crpilo vodu. Uz vodiča iz sela Katići, gospodina Ivana Katića Fička, koji je odrastao uz rijeku, doznalo se o mutnoći iz prve ruke. Fičko je o mutnoći razgovarao sa sumještanima (tema dana u mjestima uz Mrežnicu), a tog dana je i obišao područje uzvodno uz rijeku.

Dana 16.06.2019. intenzivna mutnoća u Mrežnici započela je podno Vitasovog slapa uz desnu obalu Mrežnice (prema Perjasici) iz tri mala oka vode - tri priobalna jezerca. Vitasov slap je treći slap uzvodno od izvora Bučak, rijekom udaljen oko 2 km. Ispod drugog slapa uzvodno od Bučka (prvi slap nizvodno od Vitasovog), u desnom boku rijeke nalazi se špilja koja je isto intenzivno mutila ([Slike 6-5, 6-6](#)). Ispod nje nalazi se oko vode - jezerce koje obično muti. Gačačko jezero uz Mrežnicu s druge strane Bučka isto muti. Ispod Bučka su dva mala izvora koja mute. Još nizvodnije, iz markatne stijene ispod dalekovoda (oko 200 m od Bučka) je izvor koji u vrijeme padalina intenzivno muti. Gospodin Fičko konstatira: Ključno je gdje



padne kiša – zna zamutiti samo s jedne strane Mrežnice. Inače, rijeka zamuti kod svake jače ili dugotrajnije kiše, to je uobičajena pojava.



*Slika 6-5 Špilja i ispred nje oko vode – jezerce uz Mrežnicu iz kojig tijekom kiše obično istječe mutna voda*



*Slika 6-6 Jezerce vode uz tok Mrežnice iz kojeg tijekom kiše obično istječe mutna voda*

**Generalno se može konstatirati** kako je uzrok jakog zamućenja Mrežnice do razine blatne rijeke u hidrološkoj pojavi - ekstremnoj oborini dana 16.06.2019. godine u večernjim satima. Na prostoru od Slunja i Petrove gore do Ogulina i Duga Rese te dalje prema Republici Sloveniji formirala se kišna fronta uz obilnu kišu, mjestimice i tuču. U kratkom vremenskom periodu palo je: 55 mm vode (55 litara vode/ m<sup>2</sup>) na mjernoj postaji Tounj-Zdenac, 76,1 mm u Ogulinu, 63,8 mm na Gorincima podno HE Lešće i 25,3 mm na Donjem Zvečaju. Ekstremna



kiša je sprala površinu terena i pripadajuće krško podzemlje. U takvim ekstremnim hidrološkim uvjetima aktivirani su i oni podzemni krški kanali koji se rijetko aktiviraju tijekom otjecanja voda do korita rijeka. Intenzivna, prepoznatljiva mutnoća u Mrežnici započela je podno Vitasovog slapa (*Slika 6-7*) uz istočnu, desnu obalu Mrežnice (prema Perjasici) iz tri mala oka vode (iz tri priobalna jezerca koja se nalaze oko 2 km uzvodno od izvora Bučak). Nizvodno od Vitasovog slapa je iz priobalnih izvora s obje strane korita rijeke dodatno mutilo, sve dok se voda obilne padaline nije izdrenirala. Ronioci iz Vodomara na inicijativu Stožara CZ Karlovačke županije obišli su 22.06.2019. godine u popodnevnim satima Mrežnicu u okolini Katića, ali tada (nepunih 6 dana od intenzivnog zamutnjenja do razine blatne rijeke) ona je bila uobičajeno mutna, kakva je obično nakon jače ili dugotrajnije kiše. Podzemlje zasićeno vodom od ekstremne kiše se u tih 6 dana izdreniralo otplavivši sav istaloženi prahoviti materijal (ekstremna mutnoća je u tih 6 dana prošla). Mrežnica je bila mutna sve do 28.06.2019. kada je postupno poprimila uobičajenu tirkiznu boju. Možemo se nadati kako je sada okršeno podzemlje dobro isprano od prahovitog taloga doplavljenog s površine terena i deponiranog u speleološkim objektima (blatne špilje i ostali manji provodnici vode) pa ovako ekstremnog zamućenja skoro neće biti. Čista sječa šuma nije izazvala izraženiju eroziju do razine nastanka goleti terena (slično goletima u npr. Istri), intenzivnija površinska erozija (popraćena bujičnim tokovima) nije uočena jer je odvodnja padalinske vode isključivo podzemna kroz okršenu karbonatnu stijensku masu. Ipak, ogoline su utjecale negativno glede mutnoće. Površinske aktivnosti teškom mehanizacijom tijekom krčenja gotovo sve vegetacije kod čiste sječe šuma dodatno su razrhlile površinu terena i dobrono pospješile devastaciju pokrovnih naslaga, a one se nakon toga kod jačih kiša lako s površine terena speru i otplave u okršeno podzemlje i dalje do izvora uz vodotok i u vodotok Mrežnice.



*Slika 6-7 Vitasov slap i nizvodno od njega mjesto gdje je intenzivno zamutilo Mrežnicu*



### 6.2.2.1 HIDROGEOLOŠKI ODNOSA U PODRUČJU AKUMULACIJE LEŠĆE - VODOTOK GLOBORNICA – RIJEKA MREŽNICA

Zbog sumnje kako je akumulacija Lešće (Slika 6-8) utjecala i pospješila intenzivnu mutnoću u Mrežnici, prikupili smo i proučili postojeću dostupnu hidrogeološku i inženjerskogeološku dokumentaciju izrađenu za potrebe Idejnog i Glavnog projekta HE Lešće, brane i pribranske akumulacije te dostupne podatke o monitoringu mreže od 31-nog piezometra uz pregradnu branu i bokove akumulacije.



*Slika 6-8 Hidroelektrana Lešće s pripadajućom akumulacijom (Foto: HEP proizvodnja)*

Hidrogeološka istraživanja za potrebu izrade projekta HE Lešće (IVIČIĆ i suradnici, 1985, 1988) polučila su nove spoznaje o hidrogeološkim odnosima područja između Dobre, vodotoka Globornice i Mrežnice. Između ostalog, sadržavala su ocjenu vododrživosti bokova akumulacije Lešće, određivanje optimalnog položaja injekcijske zavjese radi osiguranja otješnjenja u pregradnom području brane i razjašnjenje hidrogeoloških odnosa u području Dobra – Globornica. U sklopu radova napravljena je hidrogeološka karta u M 1:25.000 šireg akumulacijskog prostora i detaljna HG karta u M 1:5.000 pregradnog mjesta i nizvodnog područja oba boka akumulacije. U dijelu terena od Dobre prema Globornici izvedene su 3 namjenske istražne piezometarske bušotine koje su s još tri od ranije imale primarnu zadaću odredbe smjera toka vode u podzemlju radi definiranja granice njihovih sljevova, ali i gubitaka vode iz akumulacije. Iz srednje od njih izvršeno je trasiranje tokova vode u podzemlju.

Gotovo cijeli prostor akumulacije Lešće i mjesto pregrade pripada geološkoj strukturalnoj jedinici Dubrava-Primišlje. Složene je građe s izraženom posttangencijalnom tektonikom koja maskira osnovne navlačne strukturne forme (zbog subvertikalnog rasjedanja u blokovsku – mozaik strukturu). Na desnoj strani Dobre pretežno su zasupljeni vapnenci s ulošcima dolomita u normalnom superpozicijskom slijedu naslaga donje i gornje krede. Dobro su uslojeni, debljine slojeva do 25 cm, površinski jako okršeni, a u dubljim dijelovima mjestimice jače

okršeni (podaci iz bušotina). Naslage generalno imaju dinarski pravac pružanja i smjer nagiba prema sjeveroistoku. Nizvodno od pregradnog profila, između akumulacije Lešće i sela Gorinci, nalazi se rasjedna zona duž koje je na strukturnu jedinicu Dubrava - Primišlje tektonski izdignuta, navučena strukturna jedinica Perjasica. U hidrogeološkoj karti M 1:5.000 ističu se uzdužne tektonske zone čija se gustoća povećava približavanjem kontaktnom područje prema navučenoj strukturnoj jedinici Perjasica, a time i prema pregradnom profilu akumulacije uzvodno od Gorenaca (i prema razvodnici akumulacije na Dobri i vodotoku Globornice). Poprečna i dijagonalna raspucalost zastupljene karbonatne stijenske mase nije jako izražena, što je dobro za osiguranje vododrživosti.

Radom HE Gojak (vršna elektrana) količina vode u Dobri se znatno povećava. To je važno za manje izvore koji u prirodnim uvjetima egzistiraju neposredno uz korito, a dodatnom vodom iz HE Gojak su potopljeni i dolaze pod uspor. Tek za vrijeme većih i dugotrajnijih oborina javlja se i istjecanje s viših dijelova karbonatnih bokova kanjona Dobre. Na području projektirane akumulacije rijeka Dobra ima hidrogeološku funkciju drena podzemne vode iz neposrednog slijeva oba boka. U elaboratu za idejni projekt HE Lešće (IVIČIĆ, 1985) istaknuta je važnost i značaj neposrednog slijeva za projektiranu akumulaciju, s posebnim osvrtom na vodotok Globornica. Ona je pritoka Dobre, ali ušće joj se nalazi nizvodno od pregradnog profila brane pa eventualna otjecanja prema Globornici predstavljaju za hidroelektranu direktne gubitke. Maksimalna udaljenost između ova dva vodotoka je u gornjem dijelu projektirane akumulacije (od Bartolovići na istok do Rebića), iznosi oko 5 km. U tom dijelu terena razvodnica između Dobre i Globornice vezana je za naslage klastita miocenske starosti (južno od D. Dubrave). Iako se radi o paleodepresiji ispunjenoj laporima i pijescima, njeno dubinsko rasprostranjenje predstavlja barijeru toku podzemnih voda.

Površinsku vodu s tog područja prikuplja vodotok Sušica koji otječe prema sjeveroistoku i ponire kod Rebića. Obzirom na smjer, hipsometrijske razlike i hidrogeološke značajke okolice, te vode ponovno izvire u dolini Globornice. Prelaskom korita Globornice iz područja strukturne jedinice Dubrava-Primišlje u na nju navučenu strukturnu jedinicu Perjasica, nizvodno od Podjakšića nalazi se ponorna zona koja vjerojatno omogućava podzemnu vezu s koritom Dobre nizvodno od pregradnog profila (nije trasirano).

Od Gornje Dubrave razvodnica je pretpostavljena preko antiklinale Bartolović-Lužnjak prema Podjakšiću do mjesta gdje se Dobra i Globornica približuju na manje od 1 km. Ovdje se gubi funkcija razvodnice i ostavljena je mogućnost komuniciranja između dva vodotoka. U tom području postoje od ranije tri piezometra, od kojih su dva (D-3 i D-2) praktično na sredini između ova dva vodotoka i paralelno s njima, dok je treći (D-1) na rubu doline uz Dobru. Analizom nivograma opažanja u tim piezometrima moguće je konstatirati: „Generalno uzevši, nivo vode je nagnut prema rijeci Dobri s visinskom razlikom kod minimalnih voda između D-1 i D-3 od 8,66 m, a kod maksimalnih voda od 12,22 m“. Može se pretpostaviti kako se ovdje ne može govoriti o jednolično rasprostranjenom vodnom licu u podzemlju, već se radi o kaskadnim preljevima uvjetovanim litološko-strukturnim značajkama u podzemlju - izmjenom sredina s različitim drenažnim sposobnostima koje su odvojene lokalnim barijerama. Kod visokih voda slika je ujednačenija i tada u dolini Dobre na povremenim izvorima dolazi do izviranja.



**Istražno bušenje na profilu Dobra – Globornica:** Za dobivanje podataka o stanju stijenske mase, razinama podzemne vode i smjeru toka vode u podzemlju između Dobre i Globornice, izbušene su tri piezometarske bušotine (DG-1, DG-2 i DG-3). Bušotine su locirane duž profila Dobra-Glavica-Špehari u smjeru SZ-JI, prateći morfološko udubljenje između uzvisina (brda) Kučer i Glavica, zatim Kolić brda i Jakšića do zaseoka Špehari. S namjerom da se utvrdi smjer tečenja podzemne vode, dana 15.06.1987. godine, odmah nakon završetka bušenja i ugradnje piezometarske cijevi, izvršeno je bojanje bušotine DG-2 s 12 kg Na-fluoresceina (HGI, Zagreb). Monitoring izvora određen je nakon detaljnog pregleda korita Dobre i Globornice gdje su izdvojena tri izvora za opažanje na desnoj strani Dobre i dva na Globornici. Ostala mjesta povremenog izviranja bila su suha. Izvori na Dobri su od mjesta ubacivanja boje udaljeni manje od 1 km (880 m - izvor pod Glavicom, 900 m izvor Stenčica i 950 m izvor Gračac). Sva tri izvora uz korito Dobre su povremeni i malog kapaciteta (~ 0,5 l/s), a za vrijeme rada HE Gojak dolaze pod uspor vode u rijeci. Izvori na Globornici su udaljeniji od mjesta ubacivanja boje: izvor Medvode 2.250 m i izvor Bacalo 2.350 m. Izvor Bacalo je stalno vrelo minimalnog kapaciteta 0,25 l/s (varira i do nekoliko l/s), a izvor Medvode je povremen. Motrena je i bušotina DG-1.

Tijekom opažanja do 20.07.1987. godine (u tajanju 35 dana), traser nije registriran ni na jednom mjestu motrenja. Ovim bojenjem se nije uspjelo ustanoviti smjer i brzinu kretanja podzemne vode u predjelu Duge Gore između bušotine DG-2 i opažanih izvora uz korito Dobre i Globornice. Iz podataka mjerenja razina vode u podzemlju bilo je vidljivo da su u opažanom periodu u bušotini DG-2 i minimalne i maksimalne razine vode visoke. Vjerojatno se radi o "zatvorenoj" sredini (sistem flaše, sifona) iz koje se voda kaskadno spušta prema nižim drenažnim horizontima. Nakon trasiranja razina vode se u bušotini lagano spuštala sve do 185,75 m (19.06.1987.), a onda je porasla za 70-tak cm reagirajući na oborine u periodu 18.06. - 22.06.1987. U slijedećih 10-tak dana razina vode je varirala između 186,40 i 186,60 metara.

Na potezu akumulacija Lešće (bušotine DG-1, DG-2, DG-3) – vodotok Globornica – Mrežnica (izvor Bučak) napravljen je Shematski hidrogeološki profil (Prilog 4). Profil ima smjer pružanja sličan pružanju geoloških struktura, a smjer nagiba slojeva je gotovo okomit na njegovo pružanje. Uslijed toga, ako smjer nagiba slojeva jako odstupa od pravca pružanja profila - ucrtavanje kuta nagiba slojeva se umanjuje (prema tablici prikrate), nagib slojevitosti se drastično ublažuje i dobivaju se subhorizontalni kutovi, a to se u Prilogu 4 dogodilo. Iz profila se vide hidrogeološke značajke naslaga – zastupljeni su dominantno vodopropusni vapnenci i na dva mjesta dolomiti i vapnenci u izmjeni. Tektonski stijenska masa nije jako poremećena. Rasjedi su subvertikalni i duž njih je stijenske mase blokovski smicana i izdizana. Granica slijeva između Dobre i Mrežnice određena je Orografski prema morfološkom kriteriju (nije zbog litoloških ili strukturno-tektonskih značajki). Erozijska baza za podzemne vode su korita rijeka, koja su hipsometrijski pedesetak metara niža od površine terena (Mrežnica na 150 m.n.m) i razine vode u akumulaciji Lešće (186 m.n.m). Zbog toga je u ovakvom profilu teško ucrtati vodno lice (razinu vode u podzemlju), a generalni smjer toka vode u podzemlju jednostavno.

**Hidrogeološka istraživanja u području injekcijske zavjese HE Lešće:** U fazi istraživanja za idejni projekt HE Lešće po predloženoj trasi injekcijske zavjese na desnom boku izbušeno je 6 bušotina, a u sklopu istražnih radova za glavni projekt još dodatne četiri (ukupno

10). Nakon izvedenog bušenja organizirano je opažanje razina podzemne vode u svim (prohodnim) bušotinama. Prema podacima dobivenim ispitivanjima u njima - predloženo je dodatno istražno bušenje zbog testiranja mogućnosti otješnjenja pregradnog područja i osiguranja vododrživosti ovog (desnog) boka kraćom trasom zavjese. Stoga su izbušene bušotine GD-12 (završetak prve izabrane trase) i GD-13, GD-14 i GD-15 (nova trasa zavjese).

Temeljem dobivenih podataka napravljen je hidrogeološki profil (M 1:2.000) u koji su ucrtane bušotine s grafičkim i numeričkim prikazom dobivenih vrijednosti ispitivanja vodopropusnosti, a na svakoj bušotini zabilježena je razina podzemne vode za dan 16.07.1987. godine. Litologija je prikazana shematizirano uz opis osnovnih značajki (uslojenost, okršenost, tektonska oštećenost), a stratigrafska pripadnost simbolom. Na profilu je označena i linija razina vode u Dobri na pregradnom mjestu, kao i linija predviđene kote uspora (186,00 m.n.m.). Na temelju podataka o VDP-u iz bušotina ucrtana je pretpostavljena granica između zona s jačom i slabijom vodopropusnošću.

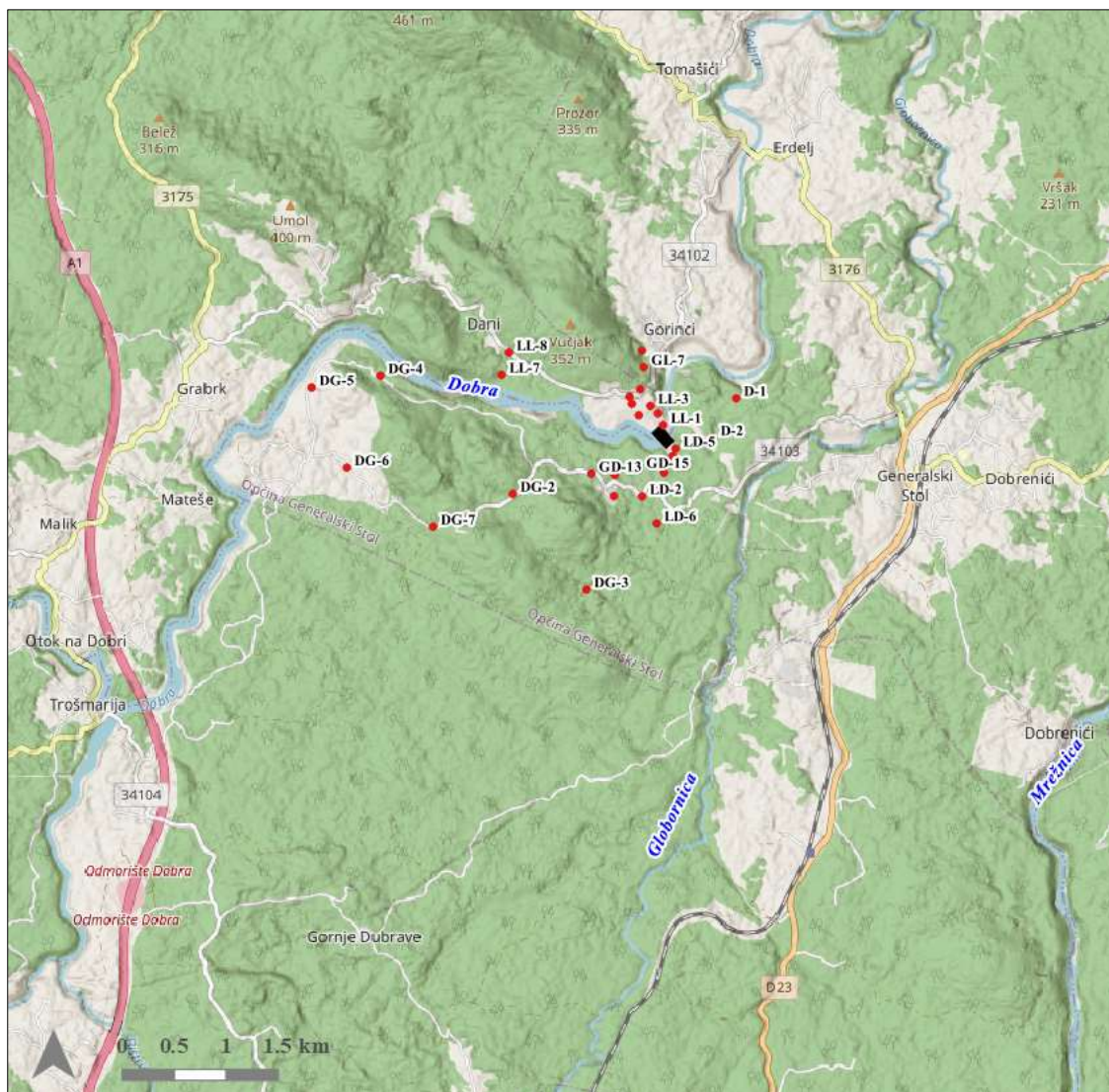
Iz dobivenih podataka o okršenosti stijenske mase i razinama podzemne vode vidi se da je slična situacija duž trase piezometarskih bušotina u oba boka akumulacije. Okršenost seže uglavnom do niva današnjeg korita rijeke, iznimno malo ispod, a razine vode su generalno uzevši i kod maksimalnih i kod minimalnih voda nagnuti prema Dobri i nizvodno. Na desnom boku dubina povećane vodopropusnosti generalno raste s približavanjem rijeci. Kod maksimalnog vodostaja najudaljenija bušotina (GD-12) ima i najviši nivo (163,12 m). Znatno niži nivoi vode su u piezometrima GD-7 i GD-15 (157,8 odnosno 154,0 m). Kod minimalnih voda radi se o "razbijenom" sistemu gdje se bilježe i razine vode ispod razine Dobre (npr. nivo vode u piezometru GL-7 spusta i ispod nivoa rijeke). Radi se o silaznom sifonskom hidrogeološkom sustavu koji se postupno drenira prema koritu rijeke Dobre, uzrokovanom promjenom baze okršavanja (razine jače okršenosti) kanjona Dobre. Mjestimice veće razlike u vodostajima između pojedinih bušotina koje su na relativno maloj udaljenosti, upućuju na nepovezani sistem podzemne vode. To je "kaskadno" spuštanje podzemne vode prema drenažnoj zoni korita rijeke uvjetovano promjenljivim hidrogeološkim sredinama s brojnim lokalnim barijerama. Ovo je posebno izraženo kod niskih vodostaja, gdje se uočavaju drenažne depresije, ali i tzv. „viseća voda“. Kod visokih vodostaja anomalije (neujednačenosti) su manje izražene, ali i dalje ostaje konstatacija o prelijevanju vode iz podzemnog „bazena“ u podzemni „bazen“ preko lokalnih barijera u podzemlju. U protivnom bi u dolini Dobre imali velika istjecanja sa znatnim pritiscima obzirom na velike gradijente dobivene prema izmjerenim visokim vodostajima u zaleđu i bokovima rijeke (veće razlike u potencijalu vode na maloj udaljenosti).

**Generalno gledajući**, istražena hidrogeološka situacija je takva da je omogućila formiranje akumulacijskog jezera bez dodatnih brtvljenja osim na pregradnom području, gdje je u oba boka trebalo do označene dubine vododrživost osigurati injekcijskom zavjesom. Uspor projektirane akumulacije je do visine 186 m.n.m. Povoljna je okolnost bila što se nisu očekivali duboki uzlazni tokovi koji u krškim akumulacijama stvaraju najveće gubitke.

U sklopu istraživačkih radova za izgradnju HE Lešće, 2007. godine izrađen je program za uspostavu stalne mreže opažanja podzemne vode na utjecajno područje HE Lešće prema kojem je iste godine dodatno izvedeno 20 novih piezometara i revitalizirano 5 starih. U opažačku mrežu uključeno je i 7 od 9 postojećih piezometara čime je uspostavljena opažačka

mreža od 31 piezometra u lijevom i desnom zaobalju HE Lešće koja egzistira i danas (Slika 6-9).

Akumulacija Lešće prema svim spoznajama, nema značajnije gubitke vode. Pogotovo nema gubitke vode koji bi se odrazili u susjednom slijevnom području – u rijeci Mrežnici. Gubici ako i postoje su reda veličine do nekoliko stotina litara (slično je na drugim hidroelektranama u kršu) i nastaju u zoni injekcijske zavjese u bočnom nastavku brane akumulacije i pribranske hidroelektrane. Na temelju geološke građe terena i dubine okršavanja pretpostavka je da voda laminarnim tokom gravitacijski teče paralelno s tokom rijeke Dobre i u konačnici se drenira u nju. Iz Globornice voda nadzemno i podzemno (ponori kod Rebića) otječe u Dobru, a ne u Mrežnicu. U promatranom periodu ekstremne oborine 16.06.2019. (ali i prije i poslije) uz satni monitoring razine vode u akumulaciji Lešće, te razine i protoka na Globornici (profil Generalski Stol) - prema priopćenju od HEP-a nagle promjene razine u akumulaciji nije bilo. Razvodnica s rijekom Mrežnicom je jugoistočno, desno od toka Globornice (Prilog 4, preuzeta iz HGK RH, 1998) određena je orografski, temeljem morfološke razvedenosti terena koja nije izražena.



**Slika 6-9** Prostorna raspodjela piezometara u zoni utjecaja pregradnog mjesta HE Lešće



Razvodnica je određena prije izgradnje brane i akumulacije Lešće, punjenjem akumulacije formiran je uspor u dužini od 12,5 km (doseže skoro do HE Gojak) što je uzrokovalo saturaciju podzemlja i podizanje razina podzemne vode uzvodno od pregradnog mjesta. Podizanje razine podzemne vode evidentirano je deskriptivno prema medijskim navodima i priopćenjem iz HEP-a.

Tijekom jako izražene mutnoće Mrežnice od 16.06.2019. u večernjim satima pa tijekom sljedećih nekoliko dana, vodotok Globornice je bio uobičajne mutnoće i protoka vode za kišne dane (usmena predaja mještana i monitoring HEP). Voda u akumulaciji Lešće je bila bistra. Eventualni gubici vode iz akumulacije Lešće (iako nisu uočeni ni zabilježeni) prema dosadašnjim istraživanjima ne utječu na mutnoću rijeke Mrežnice.

### Utjecaj HE Lešće na temperaturu površinske vode rijeke Mrežnice

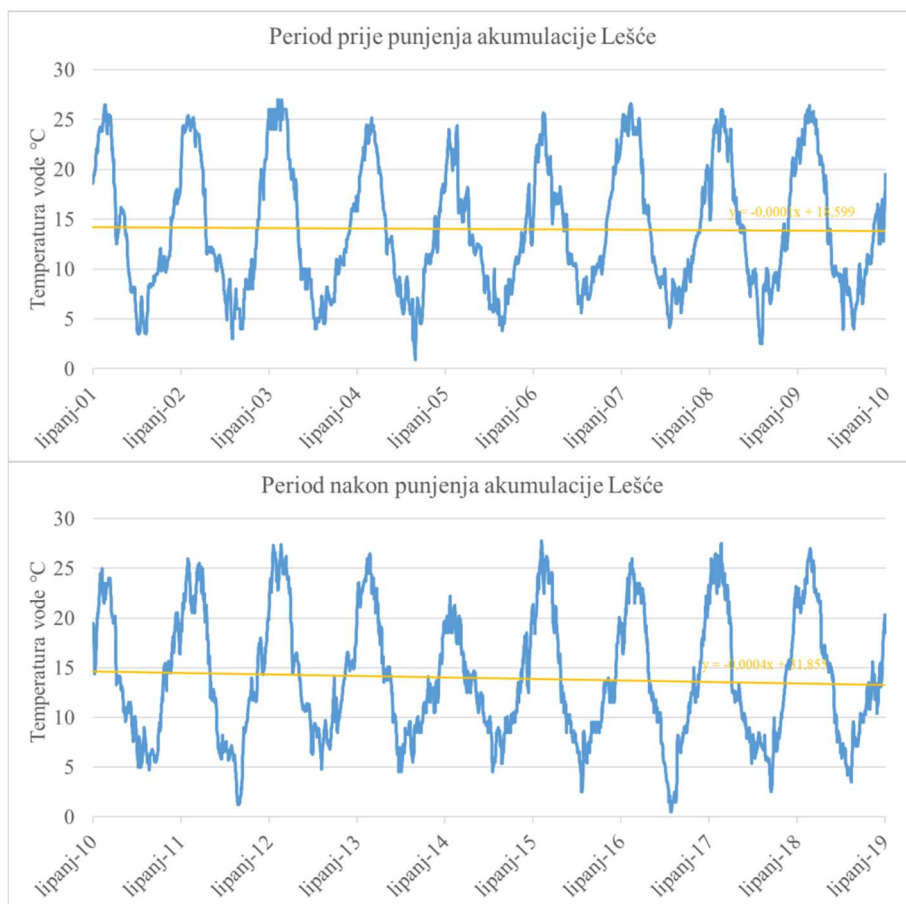
U projektnom zadatku od strane Investitora navodi se pretpostavka o utjecaju akumulacije HE Lešće na promjenu temperature rijeke Mrežnice.

U toku rijeke Mrežnice temperatura površinske vode bilježi se automatskim mjernim uređajima na hidrološkim postajama i *in situ* kroz nadzorni i operativni monitoring praćenja kakvoće površinskih voda. Podaci prikupljeni u sklopu nadzornog i operativnog monitoringa sadrže jedan mjesečni podatak o temperaturi površinske vode na mjernim postajama prikazanim u [Tablici 6-3](#). Iako je mjerna postaja Mlinci najbliža akumulaciji Lešće na temelju jednog mjesečnog podatka ne može se sa sigurnošću govoriti o trendovima promijene temperature. Stoga su se u svrhu promatranja trendova promijene temperature vode rijeke Mrežnice prije i nakon izgradnje HE Lešće, analizirali podaci o dnevnim vrijednostima temperature vode na najbližoj hidrološkoj postaji za koju su bili dostupni kontinuirani podaci, Mrzlo polje kod Duga Rese. Zračna udaljenosti hidrološke postaje od HE Lešće je oko 18 km nizvodno.

Podaci su promatrani unutar jednakog vremenskog perioda prije i nakon prvog punjenja akumulacije Lešće koje je započelo dana 5.6.2010. godine. Prvo promatrano razdoblje započinje 15.06.2001. i završava s 15.06.2010, nakon čega počinje drugo promatrano razdoblje i završava s 15.06.2019. Srednja devetogodišnja temperatura vode, za razdoblje prije punjenja akumulacije iznosi 14,0°C, a za razdoblje nakon 13,9°C. Razlika u godišnjim temperaturama je zanemariva. Na [Slici 6-10](#) prikazan je hod dnevne temperature vode u navedenim razdobljima.

Srednje mjesečne temperatura vode za period od lipnja 2001. do lipnja 2010. te od lipnja 2010. do lipnja 2019. prikazane su u [Tablici 6-5](#) i [Slici 6-11](#). U razdoblju prije punjenja akumulacije Lešće temperatura je viša za 2,5% u sedam mjeseci dok je u pet mjeseci niža za 2,9%. Treba napomenuti da na temperaturu vode prvenstveno utječe temperatura zraka i da ove varijacije nastaju zbog varijacija u klimi. Promatramo li prosječnu temperaturu za srpanj kada je hidroelektrana Lešće u remontu također nećemo uočiti znatne promijene u temperaturi rijeke Mrežnice. Zaključno, hidroelektrana Lešće nema utjecaj na temperaturu koja se bilježi na hidrološkoj postaji Mrzlo polje kod Duga Rese. Promijene temperature vjerojatno nema ni uzvodnije.

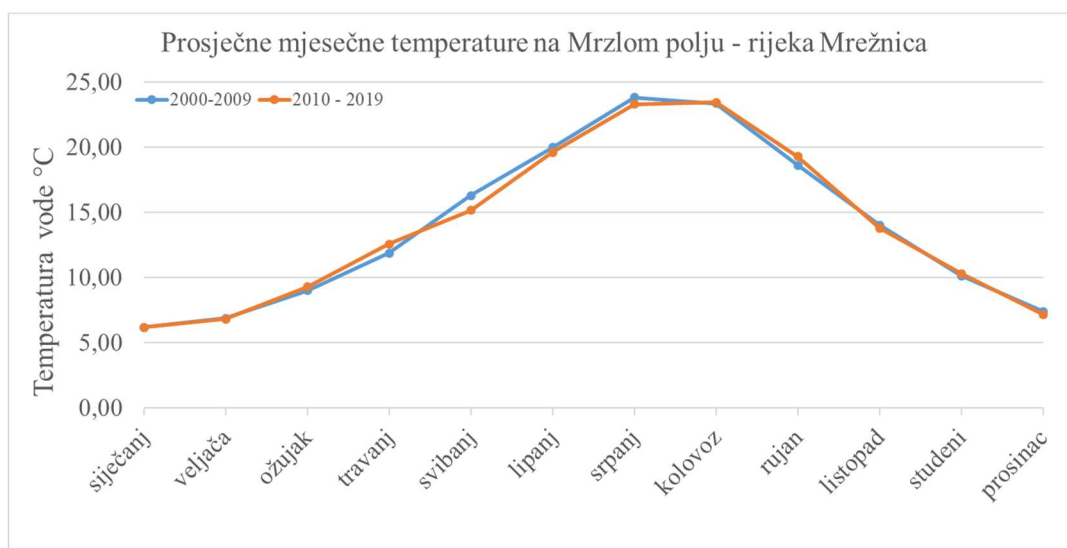




**Slika 6-10** Dnevne temperature površinske vode rijeke Mrežnice na hidrološkoj postaji Mrzlo polje

**Tablica 6-5.** Usporedba prosječnih mjesečnih temperatura za devetogodišnje razdoblje rijeke Mrežnice u periodu prije i nakon punjenja akumulacije Lešće

	I	II	II	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII
06/2001-06/2010	6,17	6,87	8,97	11,85	16,27	19,98	23,81	23,35	18,59	14,00	10,12	7,37
06/2010-06/2019	6,15	6,79	9,27	12,56	15,16	19,59	23,28	23,42	19,27	13,78	10,30	7,14



**Slika 6-11.** Usporedba prosječnih mjesečnih temperatura perioda prije i nakon punjenja akumulacije Lešće

### 6.3.3.2 STANJE MUTNOĆE U VOJNOM POLIGONU EUGEN KVATERNIK KRAJ SLUNJA

Tijekom ekstremne mutnoće rijeke Mrežnice nizvodno od Vitasovog slapa (selo Katići, 2 km uzvodno od izvora Bučak) i intenzivne mutnoće Korane nizvodno od Tušilovića (od pritoke Radonje), izvorišna zona Mrežnice i njen tok kroz vojni poligon Eugen Kvaternik kraj Slunja (prvih 13 km toka rijeke) bili su uobičajno mutni za tadašnje vremenske prilike u široj okolini (obilna kiša). U medijima i/ili na web portalima nije se moglo čuti ili pročitati o ekstremnom zamućenju Mrežnice u gornjem toku. Njen tok je bio uobičajeno mutan sve do Vitasovog slapa podno kojeg se rijeka ekstremno zamutila.

### 6.3.3.3 PROMJENE NA RIJECI MREŽNICI

Nizvodno od vojnog poligona rijeka Mrežnica prelazi u svoj najuži dio toka. Atraktivnost kanjona uslijed stijenovite bijele obale, 26 markantnih sederenih barijera i bujne vegetacije privlači posjetitelje na obilazak čamcima. Zbog toga nekoliko turističkih agencija organizira spust u predijelu od Čičinog mosta do Tržičkog mosta dug oko 5 km.

Prema usmenim navodima turističkih djelatnika, za spust kroz taj dio kanjona na vodomjernoj letvi na Južbašića mostu nužno je očitavanje razine vode u minimalnom iznosu od 85 cm. Vodiči raftinga tvrde kako su se u posljednje tri godine dogodile promijene u vodnom režimu uzvodnijeg dijela toka rijeke. Na startnoj poziciji (Čičin most) u odnosu na ranije nedostaje nekoliko kubika vode. Tvrde da se „nestali kubici“ pojavljuju na dva vrele, prvo kod Dvoslapa (45.18714; 15.439783), a drugo 200-tinjak metara uzvodno od mosta u Južbašićima, unutar koncesijskog prostora Momento Demento Festivala (45.193186; 15.433285).

Vrelo kod Dvoslapa i od prije je poznato po svojoj izdašnosti te kroz ljetne periode snižava temperaturu Mrežnice za 6-7° C (HRŠAK, 2010), a što su potvrdili i turistički vodiči. Drugo vrelo na kojem je zapažena povećana izdašnost, sada i u vrijeme niskih voda formira vodotok – malu lijevu pritoku od nekoliko desetaka metara toka što prije amomalije nije bio slučaj (Slika 6-12). Konačna količina vode na vodomjernoj postaji Južbašići jednaka je kao i prije pojave ove promjene.



*Slika 6-12* Novoformirana pritoka unutar Momento Demento Festivala

Nizvodno od ušća rijeke Tounjčice u Mrežnicu uočena je povremena aktivnost priobalnih izvora koji nisu bili aktivna desetljećima (usmena predaja). Spominje se pojava sedam do osam novih vrulja u koritu rijeke. Aktivnost izvora i vrulja često se ne može povezati uz hidrološke pojave (oborine ili topljenje snjega). Lokalno stanovništvo smatra kako je uzrok tome akumulacija Lešće koja je uzrokovala saturaciju podzemlja i podizanje razine vode u podzemlju uzvodno od pregradnog profila. U nizvodnom toku rijeke Mrežnice konstatirano je progresivno močvarenje rijeke Mrežnice zbog taloženja riječnog nanosa ispred brane u Duga Resi (Slika 6-13). Prema navodu gradonačelnika Duga Rese, mulj na tom području nije čišćen 30-tak godina što ima za posljedicu oplićavanje riječnog korita i močvarenje rijeke, a neposredno uzrokuje i poplavnu ugrozu za stambene i gospodarske objekte i zemljišta uz rijeku za vrijeme visokih voda.



*Slika 6-13 Brana u gradu Duga Resi*

Periodičko čišćenje riječnog korita, što od vegetacije što od riječnog mulja stopirale su zakonske prepreke. Povoljnija hidrološka slika donjeg roka rijeke Mrežnice, te pozitivan učinak na ciljeve očuvanja i cjelovitosti područja ekološke mreže očekuje se kao rezultat zahvata „Održavanje korita rijeke Mrežnice u Donjem Mrzlom Polju“ nositelja zahvata Vodnogospodarstvene ispostave Hrvatskih voda na mali sliv „Kupa“ Karlovac iz 2019. godine.

### **6.3.2 TERENSKI PREGLED PODRUČJA UZ RADONJU**

Rijeka Radonja je naglašeno bujična rijeka koja se prvenstveno napaja padalinama s vodonepropusnih klastičnih naslaga Petrove gore. Prije ušća, u nju se uljeva pritoka Budačka Rijeka čija riječna dolina brazdi graničnom zonom zapadnog krškog i istočnog nekrškog predjela tako da njeni lijevi pritoci dreniraju plitki krš šireg područja Krnjaka, a desni nepropusne brdovite terene zapadnog dijela Petrove gore.



Izvorište Radonje sastoji se od velikog broja potoka s manjim procjednim, djelomično periodičnim izvorima, koji se u dolini skupljaju slijevanjem po nepropusnoj do slabopropusnoj podlozi. Radonja je glavni recipijent svih stalnih i povremenih gorskih vodotoka sjevernih i sjeverozapadnih padina Petrove gore te dijela Karlovačkog pogrđa čija je izdašnost izvora vrlo mala. Ovo područje izgrađeno je od nepropusnih paleozojskih i donjotrijaskih klastita i paleozojskih škriljavaca koji dozvoljavaju samo površinsko otjecanje vode uz manja istjecanja iz pripovršinskih rastrošenih zona. Predstavlja potpunu hidrogeološku barijeru prema Karlovačkoj kotlini. Brojni su manji izvori na visinama iznad 250 do 300 m.n.m, ali oni ljeti obično presuše. Akumulacija podzemne vode je donekle moguća duž rubnih padina Petrove gore u srednjotrijaskim karbonatima, uglavnom dolomitima, i dolomitima gornjeg trijasa, ograničenih kolektorskih mogućnosti. U njima su za vodoopskrbu zahvaćeni Vrelo Utinje te izvori Vrlesina, Kamenice i Živo Vrelo. U dolinama vodotoka, uz korito su istaložene gline, lapori, pijesci i šljunci pliocenske i kvartarne starosti. Radonja se kod Tušilovića ulijeva u Koranu.

U nedjelju 16.06.2019. u Vojniću i okolici pala je jaka kiša te u 2 sata poplavila prve kuće (usmena predaja od načelnika općine Vojnić). Obilna kiša duž Petrove gore prouzročila je snažne bujične tokove koji su između ostalog potopili i sam Lovački dom Muljava, podno vrha Petrovca ([Slike 6-14, 6-15](#)). Uzvodno od Lovačkog doma Muljava bujice su dizale asfalt sa ceste, a na zavojima stvorile vododerine uslijed kojih se cesta urušavala. Dio spomenutih vododerina moguće je vidjeti i danas ([Slika 6-16](#)).



*Slika 6-14 Lovački dom Muljava nakon nevremena 16.06.2019.*





*Slika 6-15 Prilazna cesta kod Lovačkog doma Muljava nakon nevremena 16.06.2019.*



*Slika 6-16 Urušenje asfalta kao posljedica buičnih vodotoka*



I na Petrovoj gori se nalaze ogoline od čiste sječe šume, većim dijelom na jugoistočnoj strani, ali pripadaju slijevu Radonje. Ogoline su obrasle papratima, trnovitim i zeljastim raslinjem visine do 1,5 m (Slika 6-16). Plošna erozija na Petrovoj gori nije glavni uzročnik mutnoće, već bujična erozija jaraka (vlakla) koji služe za strojno izvlačenje drvenih trupaca iz šume do šumskih cesta do kojih je moguć pristup kamionima za daljnji odvoz sirovinske drvene mase. Spomenuti pristupni putovi su uslijed prometovanja njima sa šumskim vozilima (traktori i specijalna šumarska vozila) koja na pogonskim kotačima imaju lance, pretvoreni u duboke glibove rahlog prahovitog materijala kojeg vodena bujica lako spire (Slika 6-17). Osim toga, tijekom proljeća 2019. godine u donjem dijelu toka Radonje (uzvodno od Vojnića) mehanizacijom je uređivano korito rijeke, a iskopani materijal je odlagan na obližnjem terenu neposredno u zaobalju što je tijekom jake kiše pogodovalo njegovom spiranju natrag u vodotok i dalje do Korane i nizvodnije. U slijevnom području Radonje nalazi se kamenolom Loskunja iz kojeg je, zajedno s pristupnom cestom, ekstremna kiša isto tako bujičnim tokom sprala prahovitu frakciju materijala u tok Radonje. U okolici se nalaze se i novo zasađeni voćnjaci koji se još nisu zatravili, zatim oranice (kojih ima manje od očekivanog) i ostali tereni pogodni za plošno spiranje sitnog materijala i njegov transport vodenim tokom nizvodno.



*Slika 6-17 Površina potpuno posječene šume*

Možemo konstatirati kako je sprega: tip naslaga koji gradi slijevno područje bujičnog vodotoka Radonje, ekstremna kiša i sve spomenute okolnosti i radnje unutar slijeva Radonje - dovele su do ekstremnog zamućenja vodotoka sve do Karlovačkog gradskog kupališta, gradskih vodocrpilišta uz Koranu i nizvodnije. Mutnoća Radonje i Korane su uobičajne sezonske pojave, ali taj put je ekstremna kiša uobičajenu pojavu načinila ekstremnom.



*Slika 6-18 Šumski putevi na Petrovoj gori erodirani strojnim izvlačenjem trupaca*



## 7. IZDVAJANJE PODRUČJA ZA DETALJNE ANALIZE I PRIJEDLOG RADOVA U DRUGOJ FAZI ISTRAŽIVANJA

Temeljem provedbe predmetnih istraživanja, izdvojena su dva područja duž kojih rijeke obično jače zamute: Mrežnica uzvodno od Zvečaja do ušća Tounjčice i cijeli tok Radonje do ušća u Koranu. Za njih su izrađene detaljnije hidrogeološke karte u M 1:25.000 (*Prilozi 2 i 3*).

Smatramo kako ove zone treba detaljnije istražiti: prvo daljinskim metodama (bespilotnim letjelicama s klasičnom (RGB) i termalnim kamerama u različitim hidrološkim uvjetima kako bi se detektirali možebitni izvori u samim koritima rijeka. Izdvojene zone treba hidrogeološki iskartirati u krupnom mjerilu (1:5000). Općenito je u sljevovima potrebno progustiti mrežu meteoroloških i hidroloških postaja, te uz opažanja hidroloških parametara uvrstiti monitoring temperature i mutnoće vode koja se izražava u nefelometrijskim *jedinicama* zamućenosti (u NTU jedinicama).

Budući prognoze većine klimatskih modela do konca ovog stoljeća predviđaju sve veći broj ekstremnih hidroloških događaja, potrebno je napraviti klimatološke modele oborina i temperature zraka u širem području istraživanja, te ih periodički verificirati.

U području sljevova treba uvesti stalan hidrokemijski monitoring svih važnijih krških izvora (kao i voda samih rijeka na više mjesta) uz praćenje količine protoka, s mjesečnom rezolucijom uzorkovanja. Tek kroz više godina ovakvih analiza moguće je odrediti zakonitost antropogenog utjecaja i utjecaja klimatskih promjena. Uz osnovne fizikalno kemijske parametre u monitoring treba uvrstiti i stabilne izotopa kisika i vodika u uzorkovanim vodama i kišnici, kao i sve kemijske sastojke koji mogu upućivati na antropogeno onečišćenje.

U oba područja zamućenja su vezana za hidrološke pojave – jake kiše u kratkom vremenu ili dugotrajne obilne kiše. Dobra okolnost je što do sada uz pojavu zamućenja nisu nastajale i znatnije materijalne štete.

Da bi se mogli donijeti dodatni konkretniji zaključci i preporuke, za drugu fazu istražnih radova predlaže se dodatno istražiti izdvojeni vodotok rijeke Mrežnice od ušća Tounjčice do Duga Rese. Na veliko se priča i piše (i sa službenih pozicija) o povećanju izdašnosti izvora, nastanku brojnih novih izvora zajedno s vruljama i sniženju temperature vode u Mrežnici od kad postoji akumulacija Lešće, ali egzaktno izmjereni podaci o tome ne postoje.

### **Duž spomenutog izdvojenog dijela slijeva rijeke Mrežnice je potrebno:**

- Inicijalno, tok Mrežnice i bližu okolicu snimiti bespilotnom letjelicom u termalnom dijelu spektra (infracrveni spektar) kako bi registrirati i locirati sve postojeće vodne objekte.
- Uspostaviti monitoring koji će obuhvatiti sve vodne objekte: priobalne izvore, izvore iz speleoloških objekata uz rijeku, jezerca uz rijeku iz kojih muti, vrulje u koritu rijeke. Potrebno je motriti njihovu izdašnost, temperaturu i mutnoću (fizikalno-kemijske i hidrološke parametre) tijekom hidrološki niskih i visokih razina voda. Time će se uspostaviti nulto stanje, a daljnjim opažanjima registrirat će se promjene, koje će ukazati na eventualan utjecaj akumulacije Lešće na rijeku Mrežnicu. Ukazat će i na nastanak dodatnih novih izvora unutar i uz korito, ili nestanak postojećih registriranih.



- U zonama sljevova važnijih izvora i izdvojenih zona od interesa za istraživanje potrebno je izraditi katastar speleoloških i krških objekata, kao i zemljovide gustoća ponikava. Trasiranjem podzemnih tokova vode iz najvažnijih obližnjih krških objekata treba odrediti povezanost s izvorima uz Mrežnicu, koja bi bila korisna kod odredbe zamućenja, ali i zaštite od antropogenih onečišćenja (npr. klaonički otpad i sl.).
- Nakon snimanja bespilotnom letjelicom u termalnom spektru i površinskog lociranja hidrogeoloških objekata, za utvrđivanje točnih podvodnih lokacija speleoloških objekata i postojećih sedrenih barijera, ali i generalne morfologije toka rijeke Mrežnice od Duga Rese do ušća Tounjčice (i uzvodnije sve do vojnog poligona), potrebno je izvesti detaljno snimanje panoramskim dubinomjerom (side-scan sonar) i višesnopnim dubinomjerom (multibeam echosounder), te postojeće potopljene sedrene barijere snimiti podvodnom kamerom i ROV-om.
- Pregledati postojeće speleološke objekte za koje se procjeni da imaju utjecaj na mutnoću Mrežnice i zabilježiti postojeće stanje glede naplavljenog prahovitog materijala u njima. Monitoring takvih speleoloških objekata ukazat će na izvor zamućenja u rijeci.
- Upostaviti mjerenja intenziteta krške korozije te ispiranja rezidualnog materijala u krško podzemlje kako bi se dobili stvarni podaci o dinamici stvaranja i akumuliranja materijala u podzemlju čijom erozijom može doći do zamućenja rijeke Mrežnice.
- Tijekom godišnjeg remonta HE Gojak kada se iz akumulacijskog jezera Sabljaki voda ispušta u suhi tok Zagorske Mrežnice iz kojeg kod Otoka dijelom ponire prema izvoru Bistrac (slijev Dobre), a kod Oštarija ponire preostali dio vode i izvire na Tounjčici ili Kukači koje su pritoke Primišljanske Mrežnice – uspostaviti monitoring koji će konstatirati je li Mrežnica tih dva do tri tjedna hladnija i ima li veći protok vode. Time bi se konstatiralo koliko voda iz Zagorske Mrežnice tih dana utječe na Primišljansku Mrežnicu, a posredno bi se potvrdile ili otklonile sumnje o utjecaju akumulacije Lešće na Mrežnicu glede temperature vode.
- Uzorkovati sedimente dna duž toka rijeke Mrežnice, kao i njenih pritoka grabilom, gravitacijskim jezgrilom ili klipnim jezgrilom. Tijekom remonta HE Gojak uzorkovati sediment ispražnjenog jezera Sabljaki. Izraditi granulometrijske i geokemijske analize uzorkovanih sedimenata radi utvrđivanja područja podrijetla sedimenta i (mogućeg) antropogenog utjecaja.
- Uz vodomjerne postaje postaviti automatske mjerne (logere) koji mjere više parametara, od kojih su ovdje najvažniji mutnoća vode i temperatura vode, koji će dati konkretne podatke o kvantitativnoj mutnoći rijeka kakvih za sada nema, te ukazati na područja iz kojih muti što se može korelirati s padalinama i saznati više o slijevnim područjima Karlovačkih rijeka. U prvoj fazi moguće je brzo i učinkovito takve logere ugraditi na sve hidrološke stanice u razmatranim sljevovima, a s vremenom mrežu automatskog (i po mogućnosti telemetrijskog) opažanja temperature i mutnoće vode treba progustiti, prvenstveno u izdvojenim zonama (po mogućnosti i većeg broja parametara – prije svega elektrovodljivosti).
- U vrijeme zamućenja sakupljati uzorke suspendiranih čestica i vode u toku Mrežnice i pritoka radi utvrđivanja podrijetla sedimenta pomoću sonde za prikupljanje vode i suspendiranih čestica.

- Izvršiti trasiranje iz ponorne zone vodotoka Dretulja i jezera Sinjac kako bi se dobili egzaktni podaci kuda sve ta voda podzemno otječe (Dretulja nije nikad trasirana, Sinjac je trasiran, ali traser nije registriran na mjestima opažanja). Ovo trasiranje treba obaviti dvama traserima simultano uz niske granice laboratorijske detekcije trasera.
- U području za koje se pretpostavlja mogućnost utjecaja HE Lešće na Mrežnicu potrebno je obaviti trasiranje dvama traserima simultano – iz jedne od bušotina u blizini pregradnog mjesta, te jedne u blizini Trošmarije (prethodno ispitati upojnost i u slučaju potrebe izvesti nove bušotine nakon hidrogeoloških i geofizičkih istraživanja).
- Da bi se ustvrdile promjene nastale u krškom podzemlju punjenjem akumulacije Lešće i donijeli nedvojbeni zaključci potrebno je detaljno istražiti šire područje uspornog područja rijeke Dobre od Trošmarije do pregradnog mjesta.
- Na utjecajnom području pregradnog mjesta akumulacije HE Lešće potrebno je obraditi do sad prikupljene podatke o razinama podzemnih voda i hidrometeoroloških parametara.
- Trasiranja trokova vode u podzemlju su u dobrom dijelu izvedena davno starim tehnologijama detekcije i zbog toga su dvojbeni. Ta trasiranja je svakako potrebno ponoviti, izvesti u različitim hidrološkim uvjetima, dvama traserima simultano i laboratorijski niskim granicama laboratorijske detekcije trasera

### **Duž slijeva Radonje do ušća u Koranu je potrebno:**

- Zbog zapaženih promjena na slijevu Radonje do profila Tušilović, koje su se manifestirale povećanjem otjecajnog koeficijenta, a zbog nedostatnih oborinskih podataka – potrebna je instalacija automatskih meteoroloških postaja kojima će se, uz ostale metode, moći točnije pratiti hidrološke promjene na tom slijevu.
- Uspostava in situ stalnog mjerenja oborine na dvije do pet lokacija u slijevu Radonje, posebice u dijelu Muljave i Male Radonje. Time bi se dobile vrijednost padalina u stvarnom vremenu za promatrano područje jer su u izračunima u ovome istraživanju korišteni podaci najbliže meteorološke stanice Karlovac koja se nalazi izvan slijeva. Podaci o vrijednostima i intenzitetu oborine (15-minutne, satne vrijednosti) presudni su u preciznijoj procjeni otjecanja, posebice njegovih ekstremnih vrijednosti.
- Uspostava limnigrafa na Radonji uzvodno od sutoka Radonje i Budačke rijeke, možda u Vojniću i/ili uzvodnije nakon sutoka Muljave i Male Radonje (nizvodno od Lovačkoga doma Muljava). Trenutno je jedini limnigraf onaj u Tušiloviću koji se nalazi previše nizvodno da bi se mogli preciznije odrediti dijelovi slijeva koji presudno utječu na količine i intenzitet protoka unutar slijeva Radonje.
- Na području slijeva Radonje uspostaviti trajno mjerenje i monitoring intenziteta erozije te pronosa u tekućicama kako bi se dobili točni podaci o intenzitetu površinskog trošenja i transporta materijala uslijed čije erozije dolazi do zamućenja rijeke Korane.
- Na području slijeva Radonje provesti detaljnije terensko hidromorfološko istraživanje glavnih tekućica sustava sukladno Okvirnoj direktivi o vodama Europske unije s ciljem kvalitetnog upravljanja slijevom.

## Preporuke za smanjenje prekomjerne erozije i mutnoće u rijekama

Radi smanjenja utjecaja pojave prekomjerne erozije i mutnoće u rijekama preporučuje se sljedeće:

- provoditi monitoring fizikalno-kemijskih i hidroloških parametara (uključujući suspendirani materijal i mutnoću) na tokovima Korane i Mrežnice na više lokacija duž toka
- očistiti taložnicu na Muljavi kako bi ista mogla primiti nove količine erodiranog materijala iz sljevova Muljave i Male Muljave
- Radonju i druge veće tokove u slijevu u pojedinim zonama ostaviti u što je moguće više prirodnom stanju kako bi ti dijelovi doline mogli obavljati retencijsku funkciju, a time biti i zone akumulacije erodiranog materijala
- intenzivnu sječu šume izmjestiti iz viših i strmih terena u niže i blaže raščlanjene terene te udaljiti od korita povremenih i stalnih tekućica
- sve sljedeće zahvate (ceste, vlake, mostiće i dr.) planirati prema novonastalim uvjetima čestih intenzivnih oborina i s mogućnostima pojave češćih i intenzivnijih bujičnih poplava
- u širem području Mrežnice zone intenzivne sječe šume planirati u područjima s manje ponikava i krških depresija, dalje od korita rijeka.

## 8. ZAKLJUČNE NAPOMENE

- Granica krških i nekrških predjela uglavnom je podudarna s kontaktnom zonom Vanjskih Dinarida (Dinarik) i Unutarnjih Dinarida (Supradinarik). U skladu s litološkim (hidrogeološkim) značajkama dijelova sljevova, način otjecanja određuje njihovu podjelu na nekrške s prevladavajućim normalnim, površinskim otjecanjem preko razvijene hidrografske mreže i na dijelove sljevove s dominantnim krškim podzemnim otjecanjem:
  - Slijev gornjeg toka Kupe prostire se plitkim kršem i općenito je fluviokrških značajki koje u potpunosti iščezavaju u donjem toku nizvodno od Ozlja ulaskom rijeke u Karlovačku kotlinu prekrivenu kvartarnim taložinama.
  - Slijev Korane zapadno od toka rijeke zauzima fluviokrški prostor s pripadajućim krškim značajkama, a istočno od rijeke pretežito je nekrški (Cazinsko-Tržački neogenski bazen uzvodno od Slunja, Petrova gora u slijevu Radonje i aluvij Karlovačkog bazena).
  - Sljevovi rijeka Dobre i Mrežnice očituju se kao izrazito krški zalazeći duboko u područje visokog krša, a zatim nizvodno od izvora Primišljanske Mrežnice i Gojačke Dobre poprimaju sve značajke plitkog krša. Nekrški dijelovi sljevova prisutna su samo u perifernim dijelovima Karlovačke kotline.
- Analizom izvještaja o provedenim trasiranjima podzemnih tokova (njih 29), te razmatrajući provedena trasiranja u kontekstu zamućenja rijeka uzvodno od Karlovca – nije uočena poveznica važnijih znanih (pa zbog toga i trasiranih) tokova vode u podzemlju s pojačanom mutnoćom, prije svih Mrežnice nizvodno od Dobrenića, ali i Korane (ona pojačano muti i uzvodno od Slunja). U kontekstu gore navedenog pretpostavka iz Projektnog zadatka: „Mogućnost da uzroci povremenih neuobičajenih događaja (ekstremnih zamućenja) na pojedinim rijekama ne moraju biti isključivo unutar slijeva te rijeke, već mogu biti i posljedica događanja na slijevu drugih vodotoka s kojima su eventualno povezane podzemnim tokovima“ – nije potvrđena.
- Reljefne karakteristike prostora razmatranja izgrađenog od karbonata upućuju na pojačano procjeđivanje i podzemnu kršku cirkulaciju vode. Pojava ekstremnih oborina utječe na ekstremno podizanje razine podzemne vode te ispiranje akumuliranih taložina u speleološkim objektima.
- Uzrok jakog zamućenja Mrežnice do razine blatne rijeke je hidrološka pojava - ekstremna oborina dana 16.06.2019. godine u večernjim satima. Ekstremna kiša je sprala površinu terena i pripadajuće krško podzemlje. U takvim ekstremnim hidrološkim uvjetima aktivirani su i oni podzemni krški kanali koji se rijetko aktiviraju tijekom otjecanja voda do korita rijeka.
- Intenzivna, prepoznatljiva mutnoća u Mrežnici započela je podno Vitasovog slapa uz desnu obalu Mrežnice (prema Perjasici) iz tri mala oka vode - iz tri priobalna jezercica koja se nalaze oko 2 km uzvodno od izvora Bučak. Nizvodno od Vitasovog slapa je iz priobalnih izvora s obje strane korita rijeke dodatno mutilo, sve dok se voda obilne padaline nije izdrenirala. Rijeke su 12-tak dana nakon zamućenja, 28.06.2019. godine postupno poprimila uobičajnu tirkiznu boju.
- Pojačanom procjeđivanju, a time i ispiranju trošine i rezidualnog materijala s površine pogoduje sječa šuma na područjima povećane gustoće ponikava.



- Akumulacija Lešće, prema svim spoznajama, nema značajne gubitke vode. Pogotovo nema gubitke vode koji bi se odrazili u susjednom slijevnom području – u rijeci Mrežnici. Gubici ako i postoje su reda veličine do nekoliko stotina litara (slično je na drugim hidroelektranama u kršu) i nastaju u zoni injekcijske zavjese u bočnom nastavku brane akumulacije i pribranske hidroelektrane. Ta voda laminarnim tokom gravitacijski teče paralelno s tokom rijeke Dobre i u konačnici se drenira u nju.
- Hidroelektrana Lešće nema utjecaj na temperaturu koja se bilježi na hidrološkoj postaji Mrzlo polje kod Duga Rese, promijene temperature vjerojatno nema ni uzvodnije.
- Tijekom ekstremne mutnoće rijeke Mrežnice nizvodno od Vitasovog slapa (selo Katići kod izvora Bučak) i intenzivne mutnoće Korane nizvodno od Tušilovića (od pritoke Radonje), izvorišna zona Mrežnice i njen tok kroz vojni poligon Eugen Kvaternik kraj Slunja bili su uobičajno mutni za tadašnje vremenske prilike u široj okolini (obilna kiša).
- U slijevu Radonje postoje reljefne (morfometrijske i morfogenetske) predispozicije za pojačanu eroziju te posljedično pojavu mutnoće u rijeci Korani. Reljefne predispozicije su dodatno pojačane sječom šuma na višim, raščlanjenim i strmim dijelovima terena.
- Sprega okolnosti: tip naslaga koji gradi slijevno područje buičnog vodotoka Radonje, ekstremna kiša uz okolnosti i radnje unutar slijeva Radonje (vlake u Petrovoj gori od izvlačenja trupaca, uređenje vodotoka Radonje mehanizacijom, oranice i još ne zatravljeni voćnjaci, kamenolom Loskunja s pristupnom cestom) dovele su do ekstremnog zamućenja vodotoka sve do Karlovačkog gradskog kupališta, gradskih vodocrpilišta uz Koranu i nizvodnije.
- Zbog promjena u hidrološkom režimu mogu se očekivati intenzivnije i češće pojave pojačane erozije.
- Za drugu fazu istražnih radova predlaže se dodatno istražiti izdvojeni vodotok rijeke Mrežnice od Duga Rese do ušća Tounjčice. Potrebno je pomoću drona termalnim spektrom registrirati sve hidrogeološke pojave, a zatim uspostaviti monitoring kojim bi se opažali priobalni izvori i vrulje u koritu rijeke te njihovi fizikalno-kemijski i hidrološki parametri. Za generalnu morfologiju toka rijeke i postojećih sedrenih barijera izvesti detaljno snimanje korita Mrežnice panoramskim dubinomjerom (side-scan sonar) i višesnopnim dubinomjerom (multibeam echosounder). Time bi se uspostavilo nulto stanje, a daljnjim opažanjima će se vidjeti promjene mjerenih podataka i nastanak novih izvora i vrulja, koje će ukazati između ostalog i na eventualan utjecaj akumulacije Lešće na rijeku Mrežnicu.
- Uz vodomjerne postaje postaviti automatske mjerače mutnoće vode (logere) koji će dati konkretne podatke o kvantitativnoj mutnoći rijeka, te ukazati na područje iz kojeg muti što se može korelirati s padalinama i saznati više o slijevnim područjima Karlovačkih rijeka.
- Kompletan prijedlog detaljnih istraživanja u drugoj fazi istražnih radova prikazan je u poglavlju 7.
- Trendovi srednjih godišnjih protoka su se promijenili iz 1 pozitivnog i 13 negativnih u razdoblju do 1989. godine u 15 pozitivnih i 3 negativna u razdoblju od 1990. godine.
- Trendovi maksimalnih godišnjih protoka su se promijenili iz 9 pozitivnih i pet negativnih u razdoblju do 1989. godine u 13 pozitivnih i pet negativnih u razdoblju od 1990. godine.

- Trendovi minimalnih godišnjih protoka su se promijenili iz tri pozitivna i 13 negativnih u razdoblju do 1989. godine u 8 pozitivnih i 10 negativna u razdoblju od 1990. godine.
- Analizom karakterističnih hidroloških parametara na dva vremenska niza unutar razdoblja obrade (1990. - 2009. i 2010. - 2018.), uz promjene koje prate klimatske promjene, kao što su povećanje srednjih, maksimalnih i minimalnih vrijednosti protoka i njihove statističke deskriptore, koeficijent otjecanja se izrazito povećao na slijevu Radonje do profila Tušilović, što upućuje na negativne promjene u korištenju zemljišta.
- Kroskorelacijskom analizom satnih vrijednosti hidroloških i meteoroloških podataka, pokazalo se različito zaostajanje maksimalnog protoka od maksimalne oborine, od 24 sata do 72 sata.
- Spektralna analiza satnih hidroloških podataka na stanicama Lešće Toplice na Donjoj Dobri, Juzbašići i Mrzlo polje na Mrežnici pokazala je da rad HE Lešće ne utječe na stanice na Mrežnici kod kratkoperiodičkih signala (12 i 24 sata), dok se dugoperiodički utjecaj ne vidi na te dvije stanice na Mrežnici.
- Spektralna analiza, je uz klasičnu analizu pokazala povećanje intenziteta maksimalnih protoka unutar godine ali i povećanje učestalosti tih maksimuma.
- Zbog zapaženih hidroloških promjena na slijevu Radonje do profila Tušilović, koje su se manifestirale povećanjem otjecajnog koeficijenta, a zbog nedostatnih oborinskih podataka, predlaže se instalacija automatskih meteoroloških postaja kojima će se, uz ostale metode, moći točnije pratiti promjene na tom slijevu.

## 9. POPIS LITERATURE

### Objavljeni radovi:

1. **Bahun, S. (1967):** Geološka osnova krškog područja između Slunja i Vrbovskog. Disertacija, Prirodoslovno matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
2. **Bahun, S. (1968):** Geološka osnova hidrogeoloških odnosa krškog područja između Slunja i Vrbovskog. Geološki vjesnik, 21, str. 19-82. Zagreb.
3. **Bahun, S. (1970):** Geološka osnova krške zavale Ogulin - Plaški. Krš Jugoslavije, JAZU 7/1, str. 1 - 20, Zagreb.
4. **Benček, Đ. (1980):** Izvještaj o geološkom kartiranju za osnovnu geološku kartu SFRJ na listu Karlovac u 1977. godini. Geološki vjesnik, 31, str. 343-348, Zagreb.
5. **Bertić, I., Bertović, S., Bognar, A. (1993):** Zemljopisni atlas Republike Hrvatske. Školska knjiga, str. 46, Zagreb.
6. **Beven, K., Kirkby, M. (1979).** A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Journal, 24(1), 43–69.
7. **Biondić, B., Brkić, Ž., Biondić, R. (1998):** Hidrogeološka karta Republike Hrvatske, M 1:300.000 - karta i tumač. Institut za geološka istraživanja, str. 58, Zagreb.
8. **Bočić, N., Pahernik, M., Mihevc, A. (2015).** Geomorphological significance of the palaeodrainage network on a karst plateau: The Una–Korana plateau, Dinaric karst, Croatia. Geomorphology 247, 55-65.
9. **Bognar, A. (1999).** Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. Acta Geographica Croatica, 34, 7-26.
10. **Bognar, A. (1999).** Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. Acta Geographica Croatica, 34, 7-26.
11. **Bognar, A., Pavić, R., Ridanović, J., Rogić, V., Segota, T. (1975):** Geografija SR Hrvatske, knjiga IV: Gorska Hrvatska. Školska knjiga, str. 196, Zagreb.
12. **Bojanić, L., Ivičić D. (1973):** Hydrogeologic characteristics of the Karlovac Depression. Bull. Scient. Cons. Acad. Yugosl. ( A ), 18 / 4-6, Zagreb.
13. **Brockett, C. D., Gottfried, R. R. (2002).** State policies and the preservation of forest cover: lessons from contrasting public-policy regimes in Costa Rica. Latin American Research Review, 7-40.
14. **Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjar, M., Čakalo, M. (1984):** Osnovna geološka karta SFRJ, M 1:100000, list Črnomelj - karta i tumač, str. 63, L33-91. Geološki zavod - Zagreb, Geološki zavod - Ljubljana, Savezni geološki zavod, Beograd.
15. **Buljan, R., Pavlić, K., Terzić, J., Perković, D. (2019):** A Conceptual Model of Groundwater Dynamics in the Catchment Area of the Zagorska Mrežnica Spring, the Karst Massif of Kapela Mountain. Water (2073-4441) 11 (2019), 10; 1983, 18.
16. **Crkvenčić, I., Dugaški, Z., Jelen, I., Malić, A., Ridanović, J., Roglić, J., Šegota, T., Žuljić, S. (1975):** Geografija SR Hrvatske, Knjiga 1: Središnja Hrvatska. Školska knjiga, str. 216, Zagreb.
17. **Crkvenčić, I., Dugački, Z., Jelen, I., Kurtek, P., Malić, A., Šašek, M. (1975):** Geografija SR Hrvatske, Knjiga 2: Središnja Hrvatska. Školska knjiga, str. 221, Zagreb.

18. **Cvijić, J. (1926):** Geomorfologija, knjiga 2. Državna štamparija Kraljevine SHS. Beograd.
19. **Gams, I., Zeremski, M., Marković, M., Lisenko, S., Bognar, A. (1985).** Uputstvo za izradu detaljne geomorfološke karte SFRJ 1: 100 000. Beograd.
20. **Garašić, M. (1977):** Neki speleološki objekti s vodom u kršu. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
21. **Garašić, M. (1986):** Hidrogeologija i morfogeneza speleoloških objekata u kršu SR Hrvatske. Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet i Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 155, Zagreb.
22. **Gorjanović-Kramberger, D. (1912):** Plitki krš oko Generalskog Stola u Hrvatskoj. Vijesti geol. povjerenstva, 2, str. 67-86, Zagreb.
23. **Gorjanović-Kramberger, D. (1914):** Nekadašnji otvoreni tok Dobre i krški ravnjak u Ogulinu. Vijesti geol. povjerenstva, 3, 4, str. 101-106, Zagreb.
24. **Herak, M. (1956):** O nekim hidrogeološkim problemima Male Kapele (s hidrogeološkom i geološkom kartom). Geološki vjesnik, 8- 9, str. 19-37, Zagreb.
25. **Herak, M., Bahun, S., Magdalenić, A. (1969):** Pozitivni i negativni utjecaji na razvoj krša u Hrvatskoj. Krš Jugoslavije, 6, 45-78. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti. Zagreb.
26. **Herak, M. (1991):** Dinaridi. Mobilistički osvrt na genezu i strukturu. Acta Geologica, 21/2, str. 35-117, Zagreb.
27. **Institut za geološka istraživanja (2001):** Geološka monografija termalnih i mineralnih voda Republike Hrvatske, Zagreb.
28. **Jurak, V. (1983):** Komparativna analiza hidroloških režima rijeka Gline, Korane i D. Mrežnice s aspekta hidrogeoloških značajki porječja. Disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, str. 181, Beograd.
29. **Korolija, B., Živaljević, T., Šimunić, An. (1981):** Osnovna geološka karta SFRJ, M 1:100000, list Slunj - karta i tumač, str. 47, L 33-104. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Geološki zavod - Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
30. **Kovačević, A. (2005):** Hidrogeološke značajke karlovačke županije. Magisterski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 127, Zagreb.
31. **Lozić, S. (1995).** Vertikalna raščlanjenost reljefa kopnenog dijela Republike Hrvatske, Acta Geographica Croatica 30, 17-26.
32. **Lozić, S. (1996).** Nagibi padina kopnenog dijela Republike Hrvatske. Acta Geographica Croatica 31, 41-50.
33. **Mamužić, P., Milan, A., Korolija, B., Borović, I., Majcan, Ž., (1973):** Osnovna geološka karta SFRJ, M 1:100000, list rAB - karta i tumač, str. 39, L 33-114. Geološki zavod - Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
34. **Matteo, M., Randhir, T., & Bloniarz, D. (2006).** Watershed-scale impacts of forest buffers on water quality and runoff in urbanizing environment. Journal of Water Resources Planning and Management, 132(3), 144-152.
35. **Mihljević, D. (1996).** Procesi prekomjerne denudacije i njihove posljedice u Istarskom pobrđu. 1. Hrvatski geografski kongres 12.-13.10.1995, Zbornik radova, Zagreb, 188-203.



36. **Mirić, J. (1988):** Porječje rijeke Mrežnice. Diplomski rad, Prirodoslovno – matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 38, Zagreb.
37. **Mlinar, Ž. (2002):** Inženjersko-geološka istraživanja trase primorsko - goranske autoceste Karlovac - Bosiljevo. Vijesti Hrvatskog geološkog društva, 38/2, str. 47-54, Zagreb. 29.
38. **Moore, I. D., Grayson, R.B., Ladson, A.R. (1991).** Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrol Process 5:3–30.
39. **Musy, A., Higy, C. (2011).** Hydrology: A Science of Nature, Taylor and Francis Group, 316. str.
40. **Pahernik, M. (2012).** Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske. Hrvatski geografski glasnik, 74/2, 5-26.
41. **Pavlić, K., (2016.):** Regionalna hidrološka analiza krškog porječja Kupe, 2016., doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
42. **Polšak, A., Šparica, M., Crnko, J., Mihovil, J., Šimunić, An., Šimunić, Al. (1967):** Osnovna geološka karta SFRJ, M 1:100000, list Bihać - karta i tumač, str. 52, L 33-116.
43. **Poljak, J. (1922):** Periodičko jezero Blata. Glasnik, naučni časopis za prirodne nauke, 34/1, str. 71-78, Hrvatsko prirodoslovno društvo, Zagreb.
44. **Posavec, K. (2008):** EGPV – evidencija i gospodarenje podzemnim vodama Hrvatske. Festival znanosti. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
45. **Pourali, S. H., Arrowsmith, C., Chrisman, N., Matkan, A. A., & Mitchell, D. (2014).** Topography Wetness Index Application in Flood-Risk-Based Land Use Planning. Applied Spatial Analysis and Policy, 9(1), 39–54. doi:10.1007/s12061-014-9130-2
46. **Radulaa, M.W., Szymuraa, T.H., Szymurab, M.S. (2018).** Topographic wetness index explains soil moisture better than bioindication with Ellenberg's indicator values. Ecological Indicators 85, 172-179.
47. **Riđanović, J. (1993).** Hidrogeografija, Školska knjiga, Zagreb, 215 str.
48. **Savić, D., Dozet, S., (1985):** Osnovna geološka karta SFRJ, M 1:100000, list Delnice – karta i tumač, str. 66, L33-90, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
49. **Strahler, A. (1952).** Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. Bulletin of the Geological Society Of America, 63, 1117-1142.
50. **Šušnjar, M., Bukovac, J., Nikler, L., Crnolatac, I., Milan, A., Šikić, D., Grimani, I., Vulić, Ž., Blašković, I., (1973):** Osnovna geološka karta SFRJ, M 1:100000, list Crikvenica - karta i tumač, str. 47, L 33-102. Geološki zavod - Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
51. **Terzić, J., Stroj, A., Frangen, T. (2012):** Hydrogeological investigation of karst system properties by common use of diverse methods: A case study of Lička Jesenica springs in Dinaric karst of Croatia. Hydrol. Process. 26, 3302–3311.
52. **Tomljenović, B., Csontos, L. (2001):** Neogene - Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia). International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch), 90, str.560-578.
53. **Trgovčić, V. (1999):** Geološki i hidrogeološki odnosi na području karlovačkih vodocrpilišta s posebnim osvrtom na vodocrpilište Borlin. Diplomski rad, Rudarsko geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 31, Zagreb.

54. **Uredba o standardu kakvoće voda** (NN 96/19)
55. **Valožić, L., Cvitanović, M. (2011).** Mapping the Forest Change: Using Landsat Imagery in Forest Transition Analysis within the Medvednica Protected Area, Hrvatski geografski glasnik, 73.(1.), str. 245-255.
56. **Velić, I., Sokač, B., Ščavničar, B. (1970):** Osnovna geološka karla SFRJ, M 1:100000, list Otočac - karta i tumač, str. 44, L 33-115. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
57. **Velić, I., Bahun, S., Sokač, B., Galović, I. (1982):** Osnovna geološka karla SFRJ, M 1:100000, list Ogulin - karta i tumač, str. 46, L 33-103. Geološki zavod - Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
58. **Wilson, J. P., Gallant, J. C. (ur.) (2000).** Terrain analysis: principles and applications, John Wiley & Sons, New York.
59. **Županić, J. (1981):** Nekarbonatni detritus arenitnih sedimenata mastrihtskog fliša Vivodine (Žumberak, zapadni Dinaridi). Geološki vjesnik, 109-120, Zagreb.
60. **Žugaj, R. (2000):** Hidrologija. Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Rudarsko geološko naftni fakultet, Zagreb.
61. **Žugaj, R., Jurak, V., Plantić, K., Galović, I., Koščal, S., (1998.-2006.):** Znanstveno istraživački projekt: Regionalna analiza slivova Kupe i pritoka u kršu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

#### Neobjavljeni radovi (studije, elaborati, izvještaji):

1. **Bahun, S., Herak, M. (1987):** Hidrogeološke prilike zaleđa izvora Obrh (Općina Ozalj). Prirodoslovno matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
2. **Beraković, M. (1975):** Klimatologija sliva rijeke Kupe. Republički fond voda, Direkcija za Savu Zagreb, OOUR "Karlovac", Karlovac.
3. **Biondić, B. & Goatti, V. (1976):** Regionalna hidrogeološka istraživanja Like i Hrvatskog primorja - Arhiv Hrvatski geološki institut, Zagreb.
4. **Biondić, R., Marković, T., Kapelj, S., Žugaj, R. (2003):** Hidrogeološka istraživanja za zaštitu izvorišta pitke vode na području Vrbovskog. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
5. **Biondić, R. (2014):** Zone sanitarne zaštite izvorišta na području grada Ogulina. Geotehnički fakultet, Varaždin.
6. **Bojanić, L. (1972):** Regionalna hidrogeološka istraživanja područja sliva Kupe. Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, br. 5275, Zagreb.
7. **Bojanić, L., Ivičić, D. (1981):** Hidrogeološka istraživanja područja Drežnice, Krakara, Jasenka, Vitunjčice, Ribnjaka i Gojačke Dobre. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.
8. **Buljan, R., Gulam, V., Frangen, T., Terzić, J., Blagus, Z. (2013):** Retencija Drežničko polje – prva faza istražnih radova za Glavni projekt, inženjerskogeološka i hidrogeološka istraživanja. Hrvatski geološki institute, Zagreb.

9. **Buljan, R. (2018):** Izrada glavnog i izvedbenog projekta za retenciju Drežničko polje, hidrogeološka i inženjerskogeološka istraživanja. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
10. **Delić, D. (1987):** Izvještaj o bojanju ponora u Jasenačkom polju. Karlovac.
11. **Delić, D. (1991):** Izvještaj o provedenim radovima na katastru hidrogeoloških objekata sliva Kupe u 1990. godini. Vodoprivredna radna organizacija za vodno područje sliva Save, OOUR "Vodoprivreda Karlovac", Karlovac.
12. **Delić, D., Vrbanac, B. (1973):** Prikaz geologije i hidrogeologije područja Plaški. Direkcija za Savu - odjeljak Karlovac.
13. **Dragičević, I., Blašković, I., Mayer, D., Žugaj, R., Tomljenović, B. (1996):** Gorski i prigrorski vodonosnici Sjeverne Hrvatske, Izvješće o radovima. Rudarsko-geološko-naftni Fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
14. **Dragičević, I., Mayer, D. (1999):** Hidrogeološki odnosi i zone zaštite za izvor Dretulja kod Plaškog. GEOECO - ING d.o.o, Zagreb.
15. **Dragičević, I., Mayer, D., Kovačević, A., Delić, D., Trgovčić, V. (2000):** Strategija vodoopskrbe Karlovačke županije (područje županije osim ravničarskog dijela uz Kupu), I faza. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu i vodoprivreda Karlovac.
16. **Elektroprojekt (1989):** Kompleksno uređenje sliva Kupe. Projekt KUK 02, knjige KUK.02.02. i KUK.02.05., Zagreb.
17. **Herak, M. (1953):** HE Gojak, O trasi tunela i smještaj građevinskih objekata. Fond str. dok. Elektroprojekt, Zagreb.
18. **Herak, M. (1954):** Geološka analiza istražnih bušotina u području Zagorske Mrežnice i Ogulinske Dobre. Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, br . 2367, Zagreb.
19. **Herak, M. (1954):** Geološki prikaz ponornih zona Ogulinske Dobre. Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, br.2405, Zagreb.
20. **Herak, M., Bahun, S. (1968):** Hidrogeološka studija sliva rijeke Kupe. Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, br. 276/1968, Zagreb.
21. **Hršak, V. (2010):** Stručna podloga za zaštitu porječja rijeke Mrežnice. Državni zavod za zaštitu prirode, 147 str. Zagreb:
21. **IPZ, Odjel hidroelektrane (1948):** Osnovni projekt Dobra - Mrežnica, hidrogeološke podloge, Bojadisanje ponora u koritu Zagorske Mrežnice kod Sabljaka.
22. **Ivičić, D. (1985):** Hidrogeološka istraživanja za idejni projekt akumulacije HE "Lešće" na Dobri. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.
23. **Ivičić, D. (1987):** Izvještaj o bojanju ponora na Jasenačkom polju. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.
24. **Ivičić, D., Biondić, B., Viljevac, Ž. (1988):** Hidrogeološka istraživanja za glavni projekt akumulacije HE Lešće. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.

25. **Ivičić, D., Viljevac, Ž. (1988):** HE Lešće, Inženjerskogeološki istražni radovi na pregradnom mjestu, Glavni projekt. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.
26. **Ivičić, D., Viljevac, Ž., Goatti, V., Biondić, B. i Crnogaj, S. (1989):** Hidrogeološka istraživanja u visokom području sliva Zagorske Mrežnice. Druga faza radova. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.
27. **Viljevac, Ž., Ivičić, D. (1990):** HE Lešće. Istražni radovi za glavni project. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.
28. **Ivičić, D., Kuhta, M. i Marković, T. (2001):** Trasiranje ponora u Jezeranama i speleološki radovi u jami Rokina Bezdán. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.
29. **Kuhta, M. (2004 a):** Speleološka istraživanja u istočnom rubu Drežničkog polja. Speleološki klub "Željezničar". Zagreb.
30. **Kuhta, M. (2004 b):** Speleološka istraživanja u istočnom rubu Drežničkog polja. Speleološki klub "Željezničar". Zagreb.
31. **Magdalenić, A. (1956):** HE Gojak, Geološki profil dovodnog tunela dionica Drenovac-Gojak. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.
32. **Magdalenić, A. (1957):** HE Gojak, Geološki profil dovodnog tunela dionica Sabljaci-Drenovac. Fond str. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.
33. **Malinar, H. (1988):** Izvještaj o speleološkim istraživanjima u području Drežničkog, Crnačkog i Stajničkog polja i Gojaka u 1988. godini. Speleološki odsjek planinarskog društva sveučilišta "Velebit". Zagreb.
34. **Poljak, J. i Herak, M. (1947):** HE Gojak, Glavni projekt, Geološki odnosi područja Zagorske Mrežnice i donjeg toka Ogulinske Dobre. Fond str. dok. Elektroprojekt, Zagreb.
35. **Posavec, K., (2008):** EGPV, Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama Hrvatske. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
36. **Prelogović, E., Dragičević, I., Mayer, D. i Buljan, R. (2005):** Retencija Drežničko polje, Podloge i novelacije idejnog rješenja - geološki i hidrogeološki dio. Fond str. dok. Elektroprojekt, Zagreb.
37. **Prelogović, E., Pribičević, B., Dragičević, I., Buljan, R., Tomljenović, B. (2001):** Recentni strukturni sklop prostora Dinarida. Arh. INA Naftaplina, Zagreb, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
38. **Raljević, B. (1980):** HE Gojak, Geološko istraživanje užeg područja trase tunela Sabljaci-Bukovnik.
39. **Rončević, Ž. (2004):** Retencija Drežničko polje, Izvješće o geološkim i geotehničkim istražnim radovima. Crosco d.o.o., sektor Geoservisi.
40. **Urumović, K. (1975):** Hidrogeološka istraživanja za vodoopskrbu partizanske Drežnice. Fond stručne dokumentacije Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
41. **Urumović, K., Sokač A., Velić, J. (1975):** Geološka i hidrogeološka istraživanja za vodoopskrbu Jasenka. Fond stručne dokumentacije Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.



42. **Elektroprojekt (1989):** Kompleksno uređenje sliva Kupe, Projekt KUK. 02., Zagreb.
43. **Geotecnika (1981):** Izvještaj o izvedbi dviju strukturnih bušotina i probno-eksploatacijskog bunara na lokaciji vrelo Utinje (Vojnić), Zagreb.
44. **Žugaj, R., Jurak, V., Plantić, K., Galović, I., Koščal, S., (1998.-2006.):** Znanstveno istraživački projekt: Regionalna analiza slivova Kupe i pritoka u kršu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
45. **Žugaj, R., Pavlić, K., Buljan, R., Štefanek, Ž., Turčinović Mikulec, A., Bačani, L., Žrvnar, V. (2017):** Retencija Drežničko polje, Glavni projekt, Model otjecanja. Hidroinženjering, Zagreb.

## Popis slika

<b>Slika 3-1</b> Hidrološke stanice .....	11
<b>Slika 3-2</b> Hidrogram srednjih godišnjih protoka u modulnim koeficijentima na hidrološkoj postaji Mrzlo polje na Mrežnici .....	16
<b>Slika 3-3</b> Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Mrzlo polje na Donjoj Mrežnici za vremensko razdoblje od 1.9.2014. 00:00 sati do 30.9.2014. 23:00 sati .....	34
<b>Slika 3-4</b> Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Mrzlo polje na Donjoj Mrežnici za vremensko razdoblje od 1.10.2015. 00:00 sati do 31.10.2015. 23:00 sati.....	34
<b>Slika 3-5</b> Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Velemerić na Korani za vremensko razdoblje od 1.9.2014. 00:00 sati do 30.9.2014. 23:00 sati.....	35
<b>Slika 3-6</b> Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Velemerić na Korani za vremensko razdoblje od 01.10.2015. 00:00 sati do 31.10.2015. 23:00 sati.....	36
<b>Slika 3-7</b> Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Tušilović na Radonji za vremensko razdoblje od 1.9.2014. 00:00 sati do 30.9.2014. 23:00 sati .....	37
<b>Slika 3-8</b> Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka GMP Karlovac i hidrološke stanice Tušilović na Radonji za vremensko razdoblje od 1.10.2015. 00:00 sati do 31.10.2015. 23:00 sati .....	37
<b>Slika 3-9</b> Kroskorelacijska funkcija između satnih podataka AMP Vojnić i hidrološke stanice Tušilović na Radonji za vremensko razdoblje od 01.11.2019. 00:00 sati do 31.12.2019. 23:00 sati .....	38
<b>Slika 3-10</b> Kroskorelacijska funkcija između dnevnih podataka KMP Plaški i hidrološke stanice Juzbašići na Donjoj Mrežnici za vremensko razdoblje od 01.01.2004. do 31.12.2004.....	39
<b>Slika 3-11</b> Kroskorelacijska funkcija između dnevnih podataka KMP Plaški i hidrološke stanice Juzbašići na Donjoj Mrežnici za vremensko razdoblje od 01.01.2015. do 31.12.2015.....	39
<b>Slika 3-12</b> Kroskorelacijska funkcija između dnevnih podataka KMP Slunj, KŠP Rakovica i hidrološke stanice Slunj uzvodni na Korani za vremensko razdoblje od 01.01.2001. do 31.12.2001. ....	40
<b>Slika 3-13</b> Kroskorelacijska funkcija između dnevnih podataka KMP Slunj, KŠP Rakovica i hidrološke stanice Slunj uzvodni na Korani za vremensko razdoblje od 01.01.2014. do 31.12.2015. ....	41
<b>Slika 3-14</b> Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Lešće Toplice na Donjoj Dobri do frekvencije 0.1 dan <sup>-1</sup> .....	42
<b>Slika 3-15</b> Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Lešće Toplice na Donjoj Dobri do frekvencije 0.01 dan <sup>-1</sup> .....	43
<b>Slika 3-16</b> Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Juzbašići na Mrežnici do frekvencije 0.1 dan <sup>-1</sup> ..	44
<b>Slika 3-17</b> Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Juzbašići na Mrežnici do frekvencije 0.01 dan <sup>-1</sup>	45
<b>Slika 3-18</b> Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Mrzlo polje na Mrežnici do frekvencije 0.1 dan <sup>-1</sup> .....	46
<b>Slika 3-19</b> Periodogrami satnih protoka na hidrološkoj stanici Mrzlo polje na Mrežnici do frekvencije 0.01 dan <sup>-1</sup> .....	47
<b>Slika 4-1.</b> Shematizirani prikaz hidrogeoloških odnosa u prostoru Kapele, podkapelske Ogulinsko-plašćanskoj zaravni i Karlovačkom plitkom kršu (prema S. Bahun, 1967., modificirala A. Kovačević, 2005)...	55
<b>Slika 4-2</b> Shematizirani prikaz površinskog i podzemnog toka vode unutar slijevova rijeka Dobre, Mrežnice i Korane (prema S. Bahun, 1967., modificirala A. Kovačević, 2005) .....	56
<b>Slika 4-3</b> Provedena trasiranja na području istraživanja .....	84
<b>Slika 5-1</b> Obuhvat slijeva rijeke Radonje.....	100
<b>Slika 5-2</b> Obuhvat istraživanog područja uz rijeku Mrežnicu .....	101
<b>Slika 5-3:</b> Prostorni raspored površine pod šumom na području slijeva Radonje u 2009. godini na temelju Landsat podataka .....	104
<b>Slika 5-4</b> Prostorni raspored površine pod šumom na području slijeva Radonje u 2014. godini na temelju Landsat podataka .....	104
<b>Slika 5-5</b> Prostorni raspored površine pod šumom na području slijeva Radonje u 2019. godini na temelju Landsat podataka .....	105
<b>Slika 5-6</b> Promjene šumskog pokrova na području slijeva Radonje 2009. – 2014. na temelju Landsat podataka .....	106
<b>Slika 5-7</b> Promjene šumskog pokrova na području slijeva Radonje 2014. – 2019. na temelju Landsat podataka .....	106

<b>Slika 5-8</b> Prostorni raspored površine pod šumom na području Mrežnice u 2009. godini na temelju Landsat podataka.....	108
<b>Slika 5-9</b> Prostorni raspored površine pod šumom na području Mrežnice u 2014. godini na temelju Landsat podataka.....	108
<b>Slika 5-10:</b> Prostorni raspored površine pod šumom na području Mrežnice u 2019. godini na temelju Landsat podataka.....	109
<b>Slika 5-11</b> Promjene šumskog pokrova na području Mrežnice 2009. – 2014. na temelju Landsat podataka.....	110
<b>Slika 5-12</b> Promjene šumskog pokrova na području Mrežnice 2014. – 2019. na temelju Landsat podataka.....	110
<b>Slika 5-13</b> Hipsografska krivulja slijeva Radonje .....	114
<b>Slika 5-14</b> Karta vertikalne raščlanjenosti slijeva Radonje .....	115
<b>Slika 5-15</b> Površinski udjeli prilagođenih klasa vertikalne raščlanjenosti reljefa slijeva Radonje.....	116
<b>Slika 5-16:</b> Karta nagiba padina slijeva Radonje na podlozi sjenčanog reljefa (kontinuirani prikaz podataka). 117	117
<b>Slika 5-17</b> Površinski udjeli geomorfoloških klasa nagiba padina slijeva Radonje .....	117
<b>Slika 5-18</b> Karta geomorfoloških klasa nagiba padina slijeva Radonje .....	118
<b>Slika 5-19</b> Karta ekspozicija padina slijeva Radonje .....	119
<b>Slika 5-20</b> Površinski udjeli ekspozicija padina slijeva Radonje (u %) .....	119
<b>Slika 5-21</b> Indeks topografske vlažnosti (TWI) slijeva Radonje.....	120
<b>Slika 5-22</b> Indeks snage toka (SPI) slijeva Radonje.....	121
<b>Slika 5-23</b> Automatski generirana drenažna mreža porječja Radonje. Uključuje tokove koji odvodnjavanju površinu od minimalno 25000 m <sup>2</sup> (2,5 ha). Ručno pročišćeno za područje krša. ....	122
<b>Slika 5-24</b> Položaj slijeva Muljave u okviru slijeva Radonje.....	123
<b>Slika 5-25</b> Visinska karta slijeva Muljave s generiranom drenažnom mrežom čiji elementi odvodnjavanju površinu od minimalno 2500 m <sup>2</sup> (0,25 ha).....	124
<b>Slika 5-26</b> Hipsografska krivulja slijeva Muljave .....	125
<b>Slika 5-27</b> Karta vertikalne raščlanjenost reljefa slijeva Muljave .....	126
<b>Slika 5-28</b> Prostorni udjeli kategorija vertikalne raščlanjenost reljefa slijeva Muljave .....	126
<b>Slika 5-29</b> Karta kategoriziranih nagiba padina slijeva Muljave.....	127
<b>Slika 5-30</b> Prostorni udjeli nagiba padina slijeva Muljave.....	127
<b>Slika 5-31</b> Karta gustoće elementa drenažne mreže slijeva Muljave koji odvodnjavanju površinu od minimalno 2500 m <sup>2</sup> (0,25 ha).....	128
<b>Slika 5-32</b> Karta morfogenetskih tipova reljefa slijeva Radonje.....	130
<b>Slika 5-33</b> Prostorni udjeli morfogenetskih tipova reljefa slijeva Radonje (F – fluvijalni reljef, FD - fluviodenudacijski reljef, FK-FD - Fluviokrški reljef s prevladavajućim fluviodenudacijskim oblicima, FK-K - Fluviokrški reljef s prevladavajućim krškim oblicima, K – Krški reljef).....	130
<b>Slika 5-34</b> Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2009. – 2014. (Landsat) i nagibi padina slijeva Radonje ....	131
<b>Slika 5-35:</b> Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2014. – 2019. (Landsat) i nagibi padina slijeva Radonje ...	132
<b>Slika 5-36</b> Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2009. – 2014. (Landsat) i visinski razredi slijeva Radonje .	132
<b>Slika 5-37</b> Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2014. – 2019. (Landsat) i visinski razredi slijeva Radonje .	133
<b>Slika 5-38</b> Područja smanjenja gustoće šumskog pokrova u razdoblju 2012. – 2015. (Copernicus) i nagibi padina slijeva Radonje .....	134
<b>Slika 5-39</b> Područja smanjenja gustoće šumskog pokrova u razdoblju 2012. – 2015. (Copernicus) i visinski razredi slijeva Radonje.....	134
<b>Slika 5-40</b> Promjene CLC klasa u razdoblju 2006. – 2012. i nagib padina za slijev Radonje .....	135
<b>Slika 5-41</b> Promjene CLC klasa u razdoblju 2012. – 2018. i nagib padina za slijev Radonje .....	136
<b>Slika 5-42</b> Promjene CLC klasa u razdoblju 2006 – 2012. i visinski razredi za slijev Radonje .....	136
<b>Slika 5-43</b> Promjene CLC klasa u razdoblju 2012 – 2018. i visinski razredi za slijev Radonje .....	137
<b>Slika 5-44</b> Udjeli površina visinskih kategorija područja uz rijeku Mrežnicu .....	139
<b>Slika 5-45</b> Karta nagiba padina područja uz Mrežnicu na podlozi sjenčanog reljefa.....	139
<b>Slika 5-46</b> Nagiba padina područja uz Mrežnicu .....	140
<b>Slika 5-47</b> Karta pojave ponikava područja uz Mrežnicu. U podlozi karta visina. ....	140
<b>Slika 5-48</b> Karta gustoće ponikava područja uz Mrežnicu.....	141
<b>Slika 5-49</b> Prostorna zastupljenost kategorija gustoća ponikava područja uz Mrežnicu.....	141
<b>Slika 5-50</b> Karta krških depresija područja uz Mrežnicu. ....	142
<b>Slika 5-51</b> Karta paleodrenažne mreže područja uz Mrežnicu na podlozi sjenčanog reljefa. ....	143
<b>Slika 5-52</b> Udjeli površina kategorija gustoće paleodrenažne mreže područja uz Mrežnicu .....	144
<b>Slika 5-53</b> Morfogenetski tipovi reljefa istraživanog područja Mrežnice .....	145

<b>Slika 5-54</b> Površinski udjeli morfogogenetskih tipova reljefa istraživanog područja Mrežnice (1 - krški reljef s elementima fluviokrša, 2 – fluviokrški reljef na dolomitima, 3 - fluviodenudacijski reljef) .....	146
<b>Slika 5-55</b> Ponikve i područja gubitka šumskog pokrova za razdoblja 2009 – 2014. i 2014. – 2019. ....	147
<b>Slika 5-56</b> Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2009. – 2014. (Landsat) i nagibi padina područja Mrežnice .....	148
<b>Slika 5-57</b> Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2014. – 2019. (Landsat) i nagibi padina područja Mrežnice .....	148
<b>Slika 5-58</b> Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2009. – 2014. (Landsat) i visinski razredi područja Mrežnice .....	149
<b>Slika 5-59</b> Gubitak šumskog pokrova u razdoblju 2014. – 2019. (Landsat) i visinski razredi područja Mrežnice .....	149
<b>Slika 5-60</b> Područja smanjenja gustoće šumskog pokrova u razdoblju 2012. – 2015. (Copernicus) i nagibi padina područja Mrežnice.....	150
<b>Slika 5-61</b> Područja smanjenja gustoće šumskog pokrova u razdoblju 2012. – 2015. (Copernicus) i visinski razredi područja Mrežnice .....	151
<b>Slika 5-62</b> Promjene CLC klasa u razdoblju 2006. – 2012. i nagib padina za područje Mrežnice .....	152
<b>Slika 5-63</b> Promjene CLC klasa u razdoblju 2012. – 2018. i nagib padina za područje Mrežnice .....	152
<b>Slika 5-64</b> Promjene CLC klasa u razdoblju 2006. – 2012. i visinski razredi za područje Mrežnice .....	153
<b>Slika 5-65</b> Promjene CLC klasa u razdoblju 2012. – 2018. i visinski razredi za područje Mrežnice .....	153
<b>Slika 5-66</b> Ponikve i promjene CLC klasa u razdoblju 2006. – 2012. ....	155
<b>Slika 5-67</b> Ponikve i promjene CLC klasa u razdoblju 2012. – 2018. ....	155
<b>Slika 6-1</b> Rijeka Mrežnica neprepoznatljivo mutna (Foto: Mirela Blažanović, Agroklub.com, 24.06.2019.)...	157
<b>Slika 6-2</b> Ogoline kod Generalskog stola uz tok rijeke Mrežnice .....	168
<b>Slika 6-3</b> Grmovito raslinje uz rub ogoline nakon čiste sječe kod Generalskog stola.....	169
<b>Slika 6-4</b> Izvor Bučak.....	170
<b>Slika 6-5</b> Špilja i ispred nje oko vode – jezerce uz Mrežnicu iz kojig tijekom kiše obično istječe mutna voda	171
<b>Slika 6-6</b> Jezerce vode uz tok Mrežnice iz kojeg tijekom kiše obično istječe mutna voda .....	171
<b>Slika 6-7</b> Vitasov slap i nizvodno od njega mjesto gdje je intenzivno zamutilo Mrežnicu.....	172
<b>Slika 6-8</b> Hidroelektrana Lešće s pripadajućom akumulacijom (Foto: HEP proizvodnja).....	173
<b>Slika 6-9</b> Prostorna raspodjela piezometara u zoni utjecaja pregradnog mjesta HE Lešće .....	177
<b>Slika 6-10</b> Dnevne temperature površinske vode rijeke Mrežnice na hidrološkoj postaji Mrzlo polje.....	179
<b>Slika 6-11.</b> Usporedba prosječnih mjesečnih temperatura perioda prije i nakon punjenja akumulacije Lešće ..	179
<b>Slika 6-12</b> Novoformirana pritoka unutar Momento Demento Festivala.....	180
<b>Slika 6-13</b> Brana u gradu Duga Resi .....	181
<b>Slika 6-14</b> Lovački dom Muljava nakon nevremena 16.06.2019.....	182
<b>Slika 6-15</b> Prilazna cesta kod Lovačkog doma Muljava nakon nevremena 16.06.2019. ....	183
<b>Slika 6-16</b> Urušenje asfalta kao posljedica buičnih vodotoka .....	183
<b>Slika 6-17</b> Površina potpuno posječene šume .....	184
<b>Slika 6-18</b> Šumski putevi na Petrovoj gori erodirani strojnim izvlačenjem trupaca .....	185



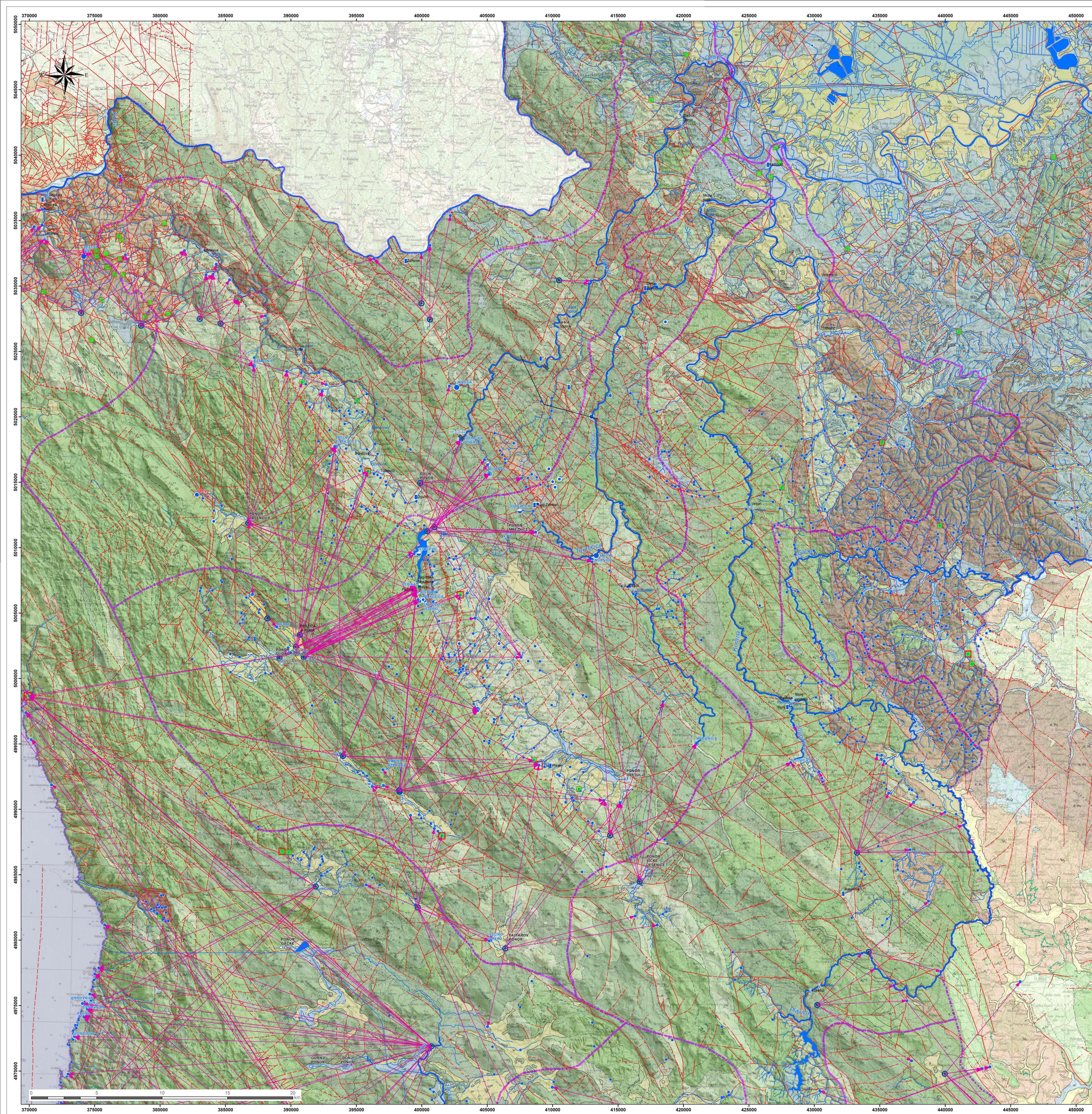
## Popis tablica

<b>Tablica 1-1.</b> Dotoci vode na hidrološkim postajama u blizini grada Karlovca u proteklih 5 godina.....	5
<b>Tablica 3-1</b> Hidrološke postaje na razmatranim slijevovima rijeke Kupe, Dobre, Mrežnice i Korane uzvodno od Karlovca.....	12
<b>Tablica 3-2</b> Parametri srednjih godišnjih protoka kroz dva vremenska niza .....	13
<b>Tablica 3-3</b> Parametri maksimalnih godišnjih protoka kroz dva vremenska niza.....	14
<b>Tablica 3-4</b> Parametri minimalnih godišnjih protoka kroz dva vremenska niza.....	15
<b>Tablica 3-5</b> Trendovi srednjih godišnjih protoka u dva vremenska niza .....	17
<b>Tablica 3-6</b> Trendovi maksimalnih godišnjih protoka u dva vremenska niza .....	18
<b>Tablica 3-7</b> Trendovi minimalnih godišnjih protoka u dva vremenska niza.....	19
<b>Tablica 3-8</b> Rezultati Wilcoxonovog testa homogenosti za srednje godišnje protoke.....	21
<b>Tablica 3-9</b> Rezultati Wilcoxonovog testa homogenosti za maksimalne godišnje protoke .....	22
<b>Tablica 3-10</b> Rezultati Wilcoxonovog testa homogenosti za minimalne godišnje protoke .....	23
<b>Tablica 3-11</b> Vrijednosti koeficijenta varijacije $c_v$ i pogreške koeficijenta varijacije $\sigma_{c_v}$ modificiranih nizova za srednje godišnje protoke .....	24
<b>Tablica 3-12</b> Vrijednosti koeficijenta varijacije $c_v$ i pogreške koeficijenta varijacije $\sigma_{c_v}$ modificiranih nizova za maksimalne godišnje protoke.....	25
<b>Tablica 3-13</b> Vrijednosti koeficijenta varijacije $c_v$ i pogreške koeficijenta varijacije $\sigma_{c_v}$ modificiranih nizova za minimalne godišnje protoke.....	26
<b>Tablica 3-14</b> Parametri za srednje godišnje protoke u razdoblju od 1990. do 2009. godine. ....	27
<b>Tablica 3-15</b> Parametri za srednje godišnje protoke u razdoblju od 2010. do 2018. godine. ....	28
<b>Tablica 3-16</b> Srednje godišnje količine oborine u razdoblju od 1990. do 2009. godine.....	29
<b>Tablica 3-17</b> Srednje godišnje količine oborine u razdoblju od 2010. do 2018. godine.....	29
<b>Tablica 3-18</b> Parametri za maksimalne godišnje protoke u razdoblju od 1990. do 2009. godine.....	30
<b>Tablica 3-19</b> Parametri za maksimalne godišnje protoke u razdoblju od 2010. do 2018. godine.....	31
<b>Tablica 3-20</b> Parametri za minimalne godišnje protoke u razdoblju od 1990. do 2009. godine.....	32
<b>Tablica 3-21</b> Parametri za minimalne godišnje protoke u razdoblju od 2010. do 2018. godine.....	32
<b>Tablica 4-1:</b> Korišteni Izvještaji o trasiranjima podzemnih tokova vode .....	86
<b>Tablica 4-2</b> Trasiranja koja su pokazala podzemnu vodnu vezu sa slijevom Gornje Dobre.....	88
<b>Tablica 4-3</b> Trasiranja koja su pokazala podzemnu vodnu vezu sa slijevom Mrežnice.....	91
<b>Tablica 4-4</b> Trasiranja koja su pokazala podzemnu vodnu vezu s donjim sabirnim područjem.....	94
<b>Tablica 4-5</b> Trasiranja koja su pokazala podzemnu vodnu vezu sa slijevom Kupe.....	96
<b>Tablica 4-6</b> Trasiranja koja su pokazala podzemnu vodnu vezu u prostoru plitkog krša. ....	97
<b>Tablica 5-1</b> Podaci Europske komisije upotrijebljeni u istraživanju.....	102
<b>Tablica 5-2</b> Satelitske snimke Landsat (USGS) upotrijebljene u istraživanju .....	102
<b>Tablica 5-3</b> Šumski pokrov u slijevu Radonje .....	103
<b>Tablica 5-4</b> Deforestacija u slijevu Radonje .....	105
<b>Tablica 5-5</b> Šumski pokrov u predmetnom području Mrežnica.....	107
<b>Tablica 5-6</b> Deforestacija u predmetnom području Mrežnica.....	109
<b>Tablica 5-7</b> Osnovni podaci slijeva Radonje .....	114
<b>Tablica 5-8</b> Geomorfološka klasifikacija nagiba padina (Gams i dr., 1985).....	116
<b>Tablica 5-9</b> Specifično otjecanje slijeva Radonje do limnigrafa Tušilović ( $L/s/km^2$ ) .....	121
<b>Tablica 5-10</b> Osnovni podaci slijeva Muljave .....	124
<b>Tablica 5-11</b> Površine i udjeli morfofenetskih tipova reljefa slijeva Radonje .....	129
<b>Tablica 5-12</b> Relativni udjeli deforestiranih površina predmetnog područja Korana (Radonja) prema nadmorskim visinama i nagibima (podaci Landsat) .....	131
<b>Tablica 5-13</b> Relativni udjeli deforestiranih površina predmetnog područja Korana (Radonja) prema nadmorskim visinama i nagibima (podaci Copernicus).....	135
<b>Tablica 5-14</b> Udjeli promjena CLC klasa prema nagibu i nadmorskoj visini za razdoblja 2006. – 2012. i 2012. – 2018. za područje Korane (Radonja) .....	137
<b>Tablica 5-15</b> Karakteristike paleodrenažne mreže područja Mrežnice .....	144
<b>Tablica 5-16</b> Broj ponikvi u predmetnom području Mrežnica koje se nalaze unutar deforestiranih područja ..	146
<b>Tablica 5-17</b> Relativni udjeli deforestiranih površina predmetnog područja Mrežnica prema nadmorskim visinama i nagibima (podaci Landsat) .....	147
<b>Tablica 5-18</b> Relativni udjeli deforestiranih površina predmetnog područja Mrežnica prema nadmorskim visinama i nagibima (podaci Copernicus).....	150

---

<b>Tablica 5-19</b> Udjeli promjena CLC klasa prema nagibu i nadmorskoj visini za razdoblja 2006. – 2012. i 2012. – 2018. za područje Mrežnice .....	154
<b>Tablica 5-20</b> Broj ponikvi na područjima promjena CLC 2006. – 2012. i 2012. – 2018.....	154
<b>Tablica 6-1</b> Rezultati mjerenja fizikalno-kemijskih pokazatelja izmjerenih u sklopu izvanrednog monitoringa površinskih voda.....	167
<b>Tablica 6-2.</b> Usporedba prosječnih mjesečnih temperatura za devetogodišnje razdoblje rijeke Mrežnice u periodu prije i nakon punjenja akumulacije Lešće.....	179



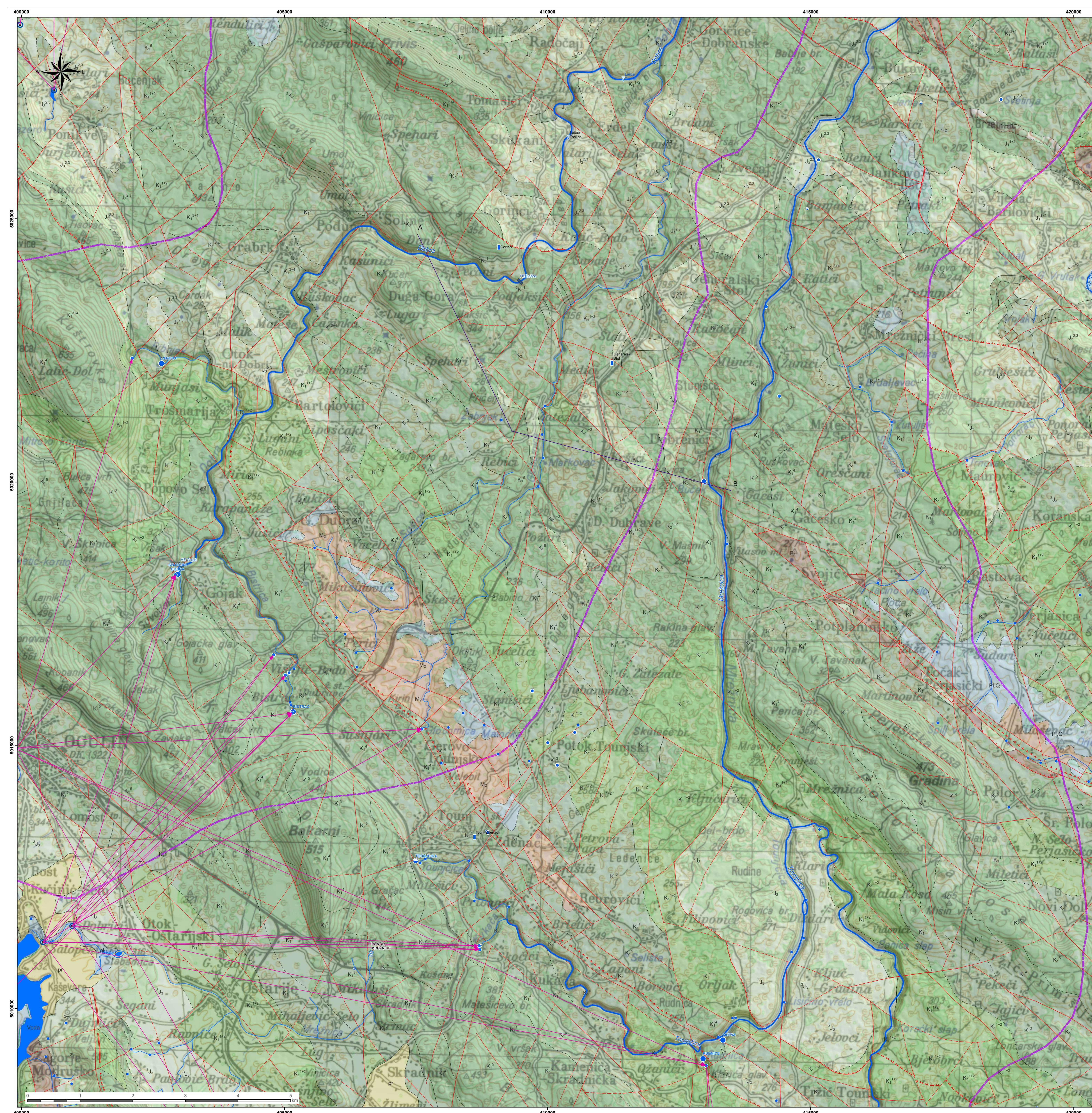


- Legenda:**
- POVREMENI IZVOR, MIN 1-10 l/s
  - SKUPINA POVREMENIH IZVORA, MIN 1-10 l/s
  - POVREMENI IZVOR, MIN >1000 l/s
  - STALANI IZVOR, MIN <1 l/s
  - STALANI IZVOR, MIN 1-10 l/s
  - STALANI IZVOR, MIN 10-100 l/s
  - STALANI IZVOR, MIN 100-1000 l/s
  - KOPANI ZDENAC, MIN POJED. 5-25 l/s
  - CRPILIŠTE JAVNOG VODOVODA
  - POVREMENI PONOR
  - SKUPINA POVREMENIH PONORA
  - STALANI PONOR
  - SKUPINA STALNIH PONORA
  - PONIKVA (VRTAČA)
  - METEOROLOŠKA POSTAJA
  - VODOZAHVATI
  - ▼ HIDROLOŠKA POSTAJA
  - RAZVODNICA
  - PODZEMNO VODNA VEZA S BRZINOM PRVOG NAILASKA (cm/s)
  - GEOLOŠKA GRANICA
  - PRETPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
  - TRANSGRESIVNA GRANICA
  - PRETPOSTAVLJENA TRANSGRESIVNA GRANICA
  - RASJED
  - PRETPOSTAVLJENI RASJED
  - RASJEDNA ZONA
  - REVERSNII RASJED
  - PRETPOSTAVLJENI REVERSNII RASJED
  - ČELO NAVLAKE
  - PRETPOSTAVLJENO ČELO NAVLAKE
  - FOTOGEOLOŠKI UTVRĐEN RASJED
  - HIDROELEKTRANA
  - PROFIL

OZNAKA NA KARTI	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	NAZIV I OPIS	VODOPROPUSNOST	OPIS
	a, al, Pl, Q	Aluvijalni i pliokvatarni sedimenti (šljunci, pijesci, prah, gлина)	O srednja, nazamjenčna	Međuzemska poroznost
	Q; b, d, j, pr	Organogeno-bazalt, deluvijalni, proluvijalni i jezerski sedimenti (prah, gline, mješovito vaprnačko kršje)	Slaba	
	E, OI, K <sub>1</sub> <sup>1-4</sup> , K <sub>2</sub> <sup>1-4</sup> , K <sub>3</sub> <sup>1-4</sup> , K <sub>4</sub> <sup>1-4</sup> , K <sub>5</sub> <sup>1-4</sup> , K <sub>6</sub> <sup>1-4</sup> , K <sub>7</sub> <sup>1-4</sup> , K <sub>8</sub> <sup>1-4</sup> , K <sub>9</sub> <sup>1-4</sup> , K <sub>10</sub> <sup>1-4</sup> , J <sub>1</sub> , J <sub>2</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>4</sub> , J <sub>5</sub> , J <sub>6</sub> , J <sub>7</sub> , J <sub>8</sub> , J <sub>9</sub> , J <sub>10</sub> , T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub> , T <sub>7</sub> , T <sub>8</sub> , T <sub>9</sub> , T <sub>10</sub>	Vapneni, foraminiferni vapneni, foraminiferno-algarni i gipsbenani vapneni, vapneničke breče i konglomerati, bioakumulirani vapneni, dolomiti	Dobra	Kavernožno - pukotinska poroznost otkrivenost vodonosnika
	P <sub>1</sub> , K <sub>1</sub> <sup>1-4</sup> , J <sub>1</sub> , J <sub>2</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>4</sub> , J <sub>5</sub> , J <sub>6</sub> , J <sub>7</sub> , J <sub>8</sub> , J <sub>9</sub> , J <sub>10</sub> , T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub> , T <sub>7</sub> , T <sub>8</sub> , T <sub>9</sub> , T <sub>10</sub>	Breče, konglomerati i bioakumulirani vapneni, algalno-foraminiferni vapneni, algarni vapneni, dolomiti s tećama vapnenica, vapneni i dolomiti	O srednja	
	K <sub>1</sub> <sup>1-4</sup> , J <sub>1</sub> , J <sub>2</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>4</sub> , J <sub>5</sub> , J <sub>6</sub> , J <sub>7</sub> , J <sub>8</sub> , J <sub>9</sub> , J <sub>10</sub> , T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub> , T <sub>7</sub> , T <sub>8</sub> , T <sub>9</sub> , T <sub>10</sub>	Dolomiti, dolomitna breče, dolomitizirani vapneni, pločasti mrijasti vapneni s dolomitima	Slaba	
	M <sub>1</sub>	Lapori, pijesci i proslojci ugljena	Slaba	Izmjena klastičnih ili klastičnih i karbonatnih stijena vrlo slabe transmissivnosti i uzdatnosti
	E <sub>1</sub> , T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub>	Flis: pješčenjaci i lapori, trnjašti siltiti, pješčenjaci i dolomiti, karbonatni pešci i pješčenjaci	Vito slaba	

<b>HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT - Zagreb</b> Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju		Datum: prosinac, 2020.	
Odgovorni geolog: Dr.sc. Renato Buljan dipl.ing.geol.	Elaborač: Analiza uzroka povećanja otežanja i mutnoće vode na sjevovimna rijeka Mrežnice i Korane	Mjerilo: 1:100000	
Autori: Dr.sc. Renato Buljan dipl.ing.geol. Ivana Boljat dipl.ing.geol. Dr.sc. Jošip Terzić dipl.ing.geol.	Naslov priložice: Hidrogeološki karta područja razmatranja	Prilog broj: 1	
Informatička obrada: Hrinjo Burić, geol. teh.			





- Legenda:**
- POVREMENI IZVOR, MIN 1-10 l/s
  - SKUPINA POVREMENIH IZVORA, MIN 1-10 l/s
  - POVREMENI IZVOR, MIN >1000 l/s
  - STALAN IZVOR, MIN <1 l/s
  - STALAN IZVOR, MIN 1-10 l/s
  - SKUPINA STALNIH IZVORA, MIN 1-10 l/s
  - STALAN IZVOR, MIN 10-100 l/s
  - STALAN IZVOR, MIN 100-1000 l/s
  - KOPANI ZDENAC, MIN POJED. 5-25 l/s
  - CRPILIŠTE JAVNOG VODOVODA
  - POVREMENI PONOR
  - SKUPINA POVREMENIH PONORA
  - STALAN PONOR
  - SKUPINA STALNIH PONORA
  - PONIKVA (VRTAČA)
  - METEOROLOŠKA POSTAJA
  - VODOZAHVATI
  - ▽ HIDROLOŠKA POSTAJA
  - RAZVODNICA
  - PODZEMNO VODNA VEZA S BRZINOM PRVOG NAILASKA (cm/s)
  - GEOLOŠKA GRANICA
  - PRETPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
  - TRANSGRESIVNA GRANICA
  - PRETPOSTAVLJENA TRANSGRESIVNA GRANICA
  - RASJED
  - PRETPOSTAVLJENI RASJED
  - RASJEDNA ZONA
  - REVERSNII RASJED
  - PRETPOSTAVLJENI REVERSNII RASJED
  - ČELO NAVLAKE
  - PRETPOSTAVLJENO ČELO NAVLAKE
  - FOTOGEOLOŠKI UTVRĐEN RASJED
  - HIDROELEKTRANA
  - PROFIL

OZNAKA NA KARTI	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	NAZIV I OPIS	VODOPROPUSNOST	OPIS
a, al, Pl,Q	Aluvijalni i pliokvantarni sedimenti (šljunak, pjesak, prah, gлина)		O srednja, razmjerno	Međuzemska poroznost
Q; b, d, pr	Organo-genobarski, deluvijalni, proluvijalni i jezerski sedimenti (grah, gline, mjestimice vapnenačke krtje)		Slaba	
E, O1, K <sub>1</sub> <sup>2</sup> , K <sub>1</sub> <sup>12</sup> , K <sub>1</sub> <sup>4</sup> , K <sub>1</sub> <sup>1</sup> , K <sub>1</sub> <sup>12</sup> , J <sub>3</sub>	Vapnenici, foraminiferijski vapnenici, foraminiferioskalini i progredijski vapnenici, vapnenačke breče i konglomerati, biokumulirani vapnenici, dolomiti		Dobra	Kavernozno - pukotinska poroznost ovisno od vodonsatosti
Pc, K <sub>1</sub> <sup>12</sup> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub>	Breče, konglomerati i biokumulirani vapnenici, algalno-foraminiferijski vapnenici, algalni vapnenici, dolomiti s lećama vapnenca, vapnenici i dolomiti		O srednja	
K <sub>1</sub> <sup>12</sup> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>3</sub>	Dolomiti, dolomitne breče, dolomitizirani vapnenici, pločasti mrljasti vapnenici i dolomiti		Slaba	
M <sub>2</sub>	Lapori, pijesci i prosjoci ugljena		Slaba	Izmjena klastičnih ili klastičnih i karbonatnih stijena vrlo slabe transmisivnosti i izolirnosti
E <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>1</sub>	Fliš: pjesčenjaci i lapori, ličnjasti sljivi, pjesčenjaci i slonjasti, karbonatni pešci i pjesčenjaci		Vrlo slaba	

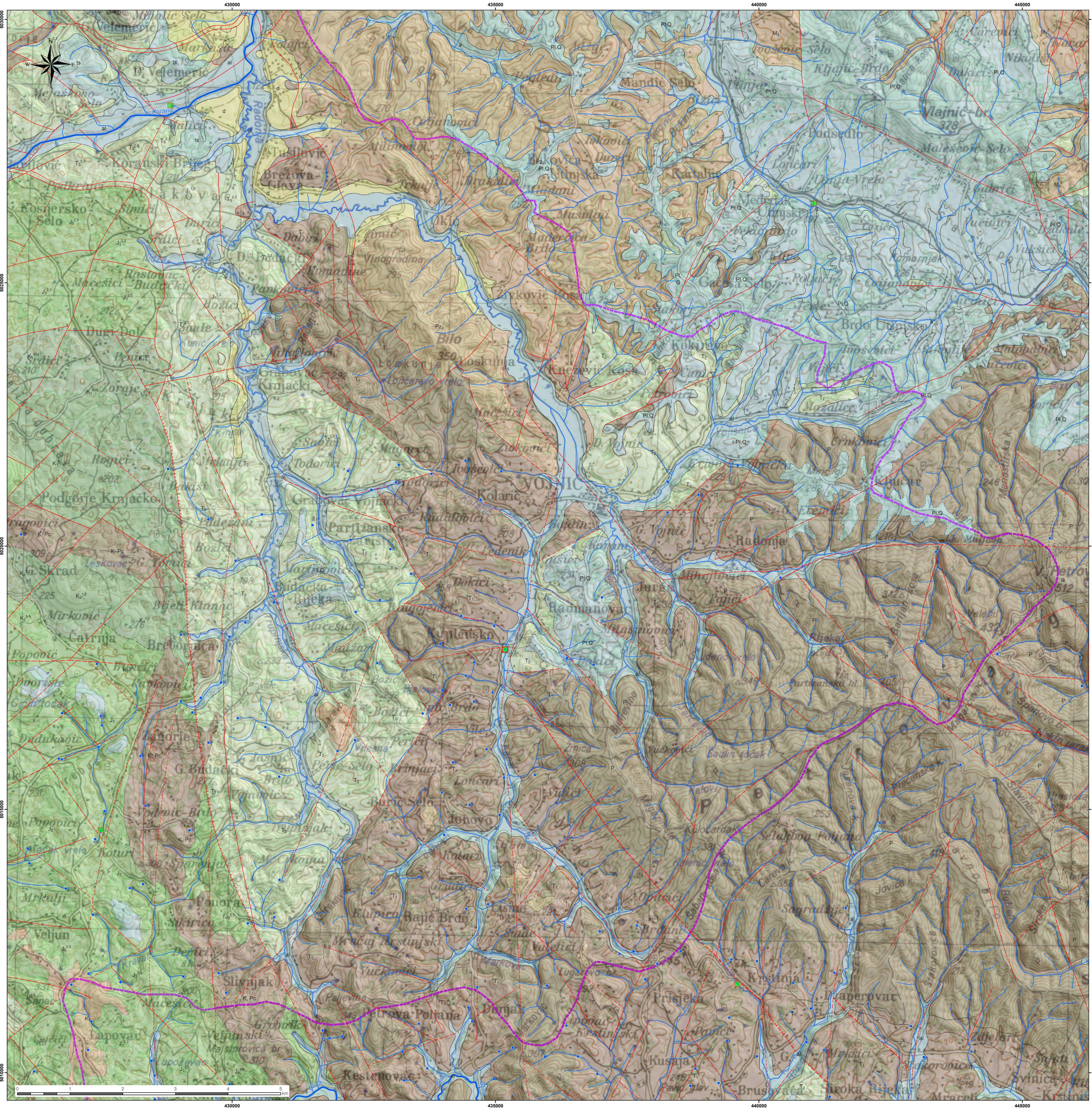
**HGI** HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT - Zagreb  
Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju

Odgovorni geolog: Dr.sc. Renato Buljan dipl.ing.geol.  
Autori: Dr.sc. Renato Buljan dipl.ing.geol., Ivana Šolaj dipl.ing.geol., Dr.sc. Josip Terzić dipl.ing.geol.  
Informacijska obrada: Hrvoje Burić, geol. teh.

Elaborat: Analiza uzroka povećanja oštećenja i mutnoće vode na sjevovimna rijeka Mrežnica i Korane  
Nastov priloga: Hidrogeološka karta uz Mrežnicu uzvodno od Zveštaja do ulča Tourjžiće

Datum: prosinac, 2020.  
Mjerilo: 1:25000  
Prilog broj: 2



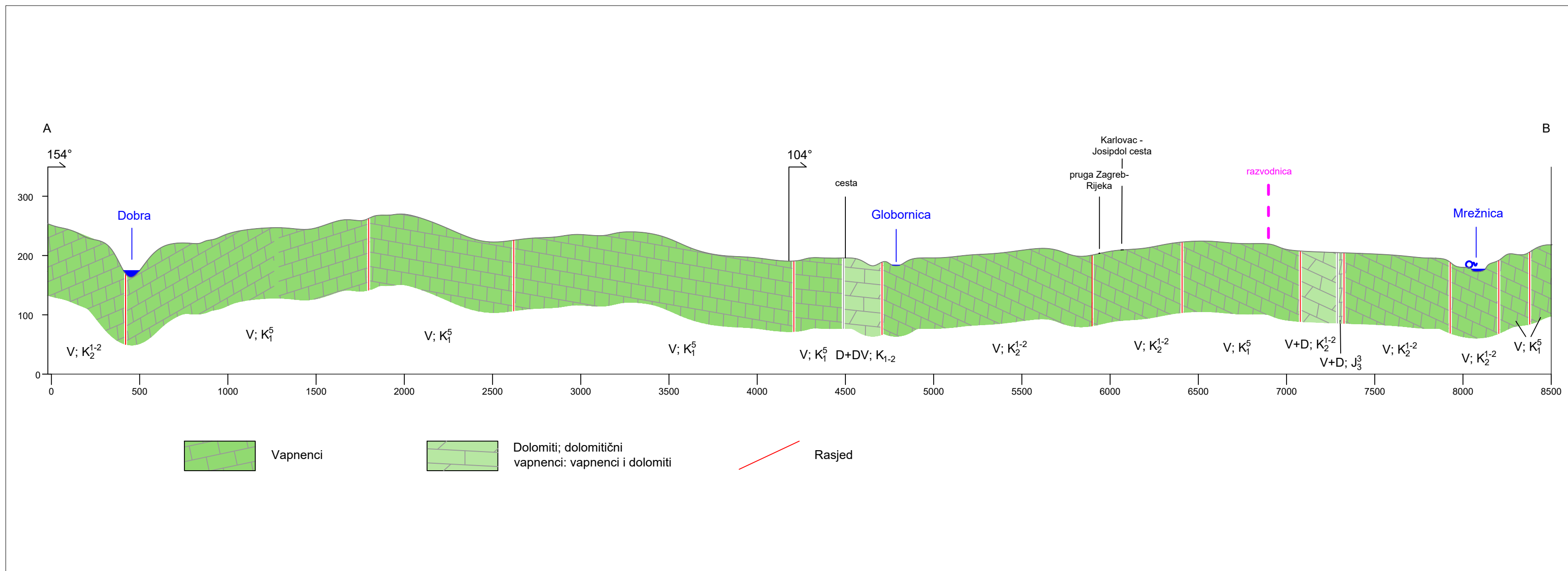



- Legenda:**
- POVREMENI IZVOR, MIN 1-10 l/s
  - SKUPINA POVREMENIH IZVORA, MIN 1-10 l/s
  - POVREMENI IZVOR, MIN >1000 l/s
  - STALANI IZVOR, MIN <1 l/s
  - STALANI IZVOR, MIN 1-10 l/s
  - SKUPINA STALNIH IZVORA, MIN 1-10 l/s
  - STALANI IZVOR, MIN 10-100 l/s
  - STALANI IZVOR, MIN 100-1000 l/s
  - KOPANI ZDENAC, MIN POJED. 5-25 l/s
  - CRPILIŠTE JAVNOG VODOVODA
  - POVREMENI PONOR
  - SKUPINA POVREMENIH PONORA
  - STALANI PONOR
  - SKUPINA STALNIH PONORA
  - PONIKVA (VRTAČA)
  - METEOROLOŠKA POSTAJA
  - VODOZAHVATI
  - ▼ HIDROLOŠKA POSTAJA
  - RAZVODNICA
  - PODZEMNO VODNA VEZA S BRZINOM PRVOG NAILASKA (cm/s)
  - GEOLOŠKA GRANICA
  - PRETPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
  - TRANSGRESIVNA GRANICA
  - PRETPOSTAVLJENA TRANSGRESIVNA GRANICA
  - RASJED
  - PRETPOSTAVLJENI RASJED
  - RASJEDNA ZONA
  - REVERSNII RASJED
  - PRETPOSTAVLJENI REVERSNII RASJED
  - ČELO NAVLAKE
  - PRETPOSTAVLJENO ČELO NAVLAKE
  - FOTOGEOLOŠKI UTVRĐEN RASJED
  - HIDROELEKTRANA

OZNAKA NA KARTI	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	NAZIVI I OPIS	VODOPROPUSNOST	OPIS
a, al, Pl, Q		Aluvijalni i plitkovatni sedimenti (šljunci, pjesci, prah, gline)	Osnovna, nazemna	Međuzemska poroznost
Q, b, d, j, pr		Organogeno-barski, deluvijalni, proluvijalni i jezerni sedimenti (grah, gline, mjestično vapnenačko krilje)	Slaba	
E, OI, K <sub>1</sub> <sup>1</sup> , K <sub>1</sub> <sup>2</sup> , K <sub>1</sub> <sup>3</sup> , K <sub>1</sub> <sup>4</sup> , K <sub>1</sub> <sup>5</sup> , K <sub>1</sub> <sup>6</sup> , K <sub>1</sub> <sup>7</sup> , K <sub>1</sub> <sup>8</sup> , K <sub>1</sub> <sup>9</sup> , K <sub>1</sub> <sup>10</sup> , K <sub>1</sub> <sup>11</sup> , K <sub>1</sub> <sup>12</sup> , K <sub>1</sub> <sup>13</sup> , K <sub>1</sub> <sup>14</sup> , K <sub>1</sub> <sup>15</sup> , K <sub>1</sub> <sup>16</sup> , K <sub>1</sub> <sup>17</sup> , K <sub>1</sub> <sup>18</sup> , K <sub>1</sub> <sup>19</sup> , K <sub>1</sub> <sup>20</sup> , K <sub>1</sub> <sup>21</sup> , K <sub>1</sub> <sup>22</sup> , K <sub>1</sub> <sup>23</sup> , K <sub>1</sub> <sup>24</sup> , K <sub>1</sub> <sup>25</sup> , K <sub>1</sub> <sup>26</sup> , K <sub>1</sub> <sup>27</sup> , K <sub>1</sub> <sup>28</sup> , K <sub>1</sub> <sup>29</sup> , K <sub>1</sub> <sup>30</sup> , K <sub>1</sub> <sup>31</sup> , K <sub>1</sub> <sup>32</sup> , K <sub>1</sub> <sup>33</sup> , K <sub>1</sub> <sup>34</sup> , K <sub>1</sub> <sup>35</sup> , K <sub>1</sub> <sup>36</sup> , K <sub>1</sub> <sup>37</sup> , K <sub>1</sub> <sup>38</sup> , K <sub>1</sub> <sup>39</sup> , K <sub>1</sub> <sup>40</sup> , K <sub>1</sub> <sup>41</sup> , K <sub>1</sub> <sup>42</sup> , K <sub>1</sub> <sup>43</sup> , K <sub>1</sub> <sup>44</sup> , K <sub>1</sub> <sup>45</sup> , K <sub>1</sub> <sup>46</sup> , K <sub>1</sub> <sup>47</sup> , K <sub>1</sub> <sup>48</sup> , K <sub>1</sub> <sup>49</sup> , K <sub>1</sub> <sup>50</sup> , K <sub>1</sub> <sup>51</sup> , K <sub>1</sub> <sup>52</sup> , K <sub>1</sub> <sup>53</sup> , K <sub>1</sub> <sup>54</sup> , K <sub>1</sub> <sup>55</sup> , K <sub>1</sub> <sup>56</sup> , K <sub>1</sub> <sup>57</sup> , K <sub>1</sub> <sup>58</sup> , K <sub>1</sub> <sup>59</sup> , K <sub>1</sub> <sup>60</sup> , K <sub>1</sub> <sup>61</sup> , K <sub>1</sub> <sup>62</sup> , K <sub>1</sub> <sup>63</sup> , K <sub>1</sub> <sup>64</sup> , K <sub>1</sub> <sup>65</sup> , K <sub>1</sub> <sup>66</sup> , K <sub>1</sub> <sup>67</sup> , K <sub>1</sub> <sup>68</sup> , K <sub>1</sub> <sup>69</sup> , K <sub>1</sub> <sup>70</sup> , K <sub>1</sub> <sup>71</sup> , K <sub>1</sub> <sup>72</sup> , K <sub>1</sub> <sup>73</sup> , K <sub>1</sub> <sup>74</sup> , K <sub>1</sub> <sup>75</sup> , K <sub>1</sub> <sup>76</sup> , K <sub>1</sub> <sup>77</sup> , K <sub>1</sub> <sup>78</sup> , K <sub>1</sub> <sup>79</sup> , K <sub>1</sub> <sup>80</sup> , K <sub>1</sub> <sup>81</sup> , K <sub>1</sub> <sup>82</sup> , K <sub>1</sub> <sup>83</sup> , K <sub>1</sub> <sup>84</sup> , K <sub>1</sub> <sup>85</sup> , K <sub>1</sub> <sup>86</sup> , K <sub>1</sub> <sup>87</sup> , K <sub>1</sub> <sup>88</sup> , K <sub>1</sub> <sup>89</sup> , K <sub>1</sub> <sup>90</sup> , K <sub>1</sub> <sup>91</sup> , K <sub>1</sub> <sup>92</sup> , K <sub>1</sub> <sup>93</sup> , K <sub>1</sub> <sup>94</sup> , K <sub>1</sub> <sup>95</sup> , K <sub>1</sub> <sup>96</sup> , K <sub>1</sub> <sup>97</sup> , K <sub>1</sub> <sup>98</sup> , K <sub>1</sub> <sup>99</sup> , K <sub>1</sub> <sup>100</sup>	Vapnenici, foraminiferski vapnenici, foraminifersko-algalni i prigrebenski vapnenici, vapnenačko breče i konglomerati, biokumulirani vapnenici, dolomiti	Dobra	Kaverno - mikroinska poroznost i otklonost vodoncnika	
Pc, K <sub>1</sub> <sup>101</sup> , K <sub>1</sub> <sup>102</sup> , K <sub>1</sub> <sup>103</sup> , K <sub>1</sub> <sup>104</sup> , K <sub>1</sub> <sup>105</sup> , K <sub>1</sub> <sup>106</sup> , K <sub>1</sub> <sup>107</sup> , K <sub>1</sub> <sup>108</sup> , K <sub>1</sub> <sup>109</sup> , K <sub>1</sub> <sup>110</sup> , K <sub>1</sub> <sup>111</sup> , K <sub>1</sub> <sup>112</sup> , K <sub>1</sub> <sup>113</sup> , K <sub>1</sub> <sup>114</sup> , K <sub>1</sub> <sup>115</sup> , K <sub>1</sub> <sup>116</sup> , K <sub>1</sub> <sup>117</sup> , K <sub>1</sub> <sup>118</sup> , K <sub>1</sub> <sup>119</sup> , K <sub>1</sub> <sup>120</sup> , K <sub>1</sub> <sup>121</sup> , K <sub>1</sub> <sup>122</sup> , K <sub>1</sub> <sup>123</sup> , K <sub>1</sub> <sup>124</sup> , K <sub>1</sub> <sup>125</sup> , K <sub>1</sub> <sup>126</sup> , K <sub>1</sub> <sup>127</sup> , K <sub>1</sub> <sup>128</sup> , K <sub>1</sub> <sup>129</sup> , K <sub>1</sub> <sup>130</sup> , K <sub>1</sub> <sup>131</sup> , K <sub>1</sub> <sup>132</sup> , K <sub>1</sub> <sup>133</sup> , K <sub>1</sub> <sup>134</sup> , K <sub>1</sub> <sup>135</sup> , K <sub>1</sub> <sup>136</sup> , K <sub>1</sub> <sup>137</sup> , K <sub>1</sub> <sup>138</sup> , K <sub>1</sub> <sup>139</sup> , K <sub>1</sub> <sup>140</sup> , K <sub>1</sub> <sup>141</sup> , K <sub>1</sub> <sup>142</sup> , K <sub>1</sub> <sup>143</sup> , K <sub>1</sub> <sup>144</sup> , K <sub>1</sub> <sup>145</sup> , K <sub>1</sub> <sup>146</sup> , K <sub>1</sub> <sup>147</sup> , K <sub>1</sub> <sup>148</sup> , K <sub>1</sub> <sup>149</sup> , K <sub>1</sub> <sup>150</sup> , K <sub>1</sub> <sup>151</sup> , K <sub>1</sub> <sup>152</sup> , K <sub>1</sub> <sup>153</sup> , K <sub>1</sub> <sup>154</sup> , K <sub>1</sub> <sup>155</sup> , K <sub>1</sub> <sup>156</sup> , K <sub>1</sub> <sup>157</sup> , K <sub>1</sub> <sup>158</sup> , K <sub>1</sub> <sup>159</sup> , K <sub>1</sub> <sup>160</sup> , K <sub>1</sub> <sup>161</sup> , K <sub>1</sub> <sup>162</sup> , K <sub>1</sub> <sup>163</sup> , K <sub>1</sub> <sup>164</sup> , K <sub>1</sub> <sup>165</sup> , K <sub>1</sub> <sup>166</sup> , K <sub>1</sub> <sup>167</sup> , K <sub>1</sub> <sup>168</sup> , K <sub>1</sub> <sup>169</sup> , K <sub>1</sub> <sup>170</sup> , K <sub>1</sub> <sup>171</sup> , K <sub>1</sub> <sup>172</sup> , K <sub>1</sub> <sup>173</sup> , K <sub>1</sub> <sup>174</sup> , K <sub>1</sub> <sup>175</sup> , K <sub>1</sub> <sup>176</sup> , K <sub>1</sub> <sup>177</sup> , K <sub>1</sub> <sup>178</sup> , K <sub>1</sub> <sup>179</sup> , K <sub>1</sub> <sup>180</sup> , K <sub>1</sub> <sup>181</sup> , K <sub>1</sub> <sup>182</sup> , K <sub>1</sub> <sup>183</sup> , K <sub>1</sub> <sup>184</sup> , K <sub>1</sub> <sup>185</sup> , K <sub>1</sub> <sup>186</sup> , K <sub>1</sub> <sup>187</sup> , K <sub>1</sub> <sup>188</sup> , K <sub>1</sub> <sup>189</sup> , K <sub>1</sub> <sup>190</sup> , K <sub>1</sub> <sup>191</sup> , K <sub>1</sub> <sup>192</sup> , K <sub>1</sub> <sup>193</sup> , K <sub>1</sub> <sup>194</sup> , K <sub>1</sub> <sup>195</sup> , K <sub>1</sub> <sup>196</sup> , K <sub>1</sub> <sup>197</sup> , K <sub>1</sub> <sup>198</sup> , K <sub>1</sub> <sup>199</sup> , K <sub>1</sub> <sup>200</sup>	Breče, konglomerati i biokumulirani vapnenici, algalno-foraminiferski vapnenici, dolomiti s lećama vapnenca, vapnenici i dolomiti	Osnovna		
K <sub>1</sub> <sup>201</sup> , K <sub>1</sub> <sup>202</sup> , K <sub>1</sub> <sup>203</sup> , K <sub>1</sub> <sup>204</sup> , K <sub>1</sub> <sup>205</sup> , K <sub>1</sub> <sup>206</sup> , K <sub>1</sub> <sup>207</sup> , K <sub>1</sub> <sup>208</sup> , K <sub>1</sub> <sup>209</sup> , K <sub>1</sub> <sup>210</sup> , K <sub>1</sub> <sup>211</sup> , K <sub>1</sub> <sup>212</sup> , K <sub>1</sub> <sup>213</sup> , K <sub>1</sub> <sup>214</sup> , K <sub>1</sub> <sup>215</sup> , K <sub>1</sub> <sup>216</sup> , K <sub>1</sub> <sup>217</sup> , K <sub>1</sub> <sup>218</sup> , K <sub>1</sub> <sup>219</sup> , K <sub>1</sub> <sup>220</sup> , K <sub>1</sub> <sup>221</sup> , K <sub>1</sub> <sup>222</sup> , K <sub>1</sub> <sup>223</sup> , K <sub>1</sub> <sup>224</sup> , K <sub>1</sub> <sup>225</sup> , K <sub>1</sub> <sup>226</sup> , K <sub>1</sub> <sup>227</sup> , K <sub>1</sub> <sup>228</sup> , K <sub>1</sub> <sup>229</sup> , K <sub>1</sub> <sup>230</sup> , K <sub>1</sub> <sup>231</sup> , K <sub>1</sub> <sup>232</sup> , K <sub>1</sub> <sup>233</sup> , K <sub>1</sub> <sup>234</sup> , K <sub>1</sub> <sup>235</sup> , K <sub>1</sub> <sup>236</sup> , K <sub>1</sub> <sup>237</sup> , K <sub>1</sub> <sup>238</sup> , K <sub>1</sub> <sup>239</sup> , K <sub>1</sub> <sup>240</sup> , K <sub>1</sub> <sup>241</sup> , K <sub>1</sub> <sup>242</sup> , K <sub>1</sub> <sup>243</sup> , K <sub>1</sub> <sup>244</sup> , K <sub>1</sub> <sup>245</sup> , K <sub>1</sub> <sup>246</sup> , K <sub>1</sub> <sup>247</sup> , K <sub>1</sub> <sup>248</sup> , K <sub>1</sub> <sup>249</sup> , K <sub>1</sub> <sup>250</sup> , K <sub>1</sub> <sup>251</sup> , K <sub>1</sub> <sup>252</sup> , K <sub>1</sub> <sup>253</sup> , K <sub>1</sub> <sup>254</sup> , K <sub>1</sub> <sup>255</sup> , K <sub>1</sub> <sup>256</sup> , K <sub>1</sub> <sup>257</sup> , K <sub>1</sub> <sup>258</sup> , K <sub>1</sub> <sup>259</sup> , K <sub>1</sub> <sup>260</sup> , K <sub>1</sub> <sup>261</sup> , K <sub>1</sub> <sup>262</sup> , K <sub>1</sub> <sup>263</sup> , K <sub>1</sub> <sup>264</sup> , K <sub>1</sub> <sup>265</sup> , K <sub>1</sub> <sup>266</sup> , K <sub>1</sub> <sup>267</sup> , K <sub>1</sub> <sup>268</sup> , K <sub>1</sub> <sup>269</sup> , K <sub>1</sub> <sup>270</sup> , K <sub>1</sub> <sup>271</sup> , K <sub>1</sub> <sup>272</sup> , K <sub>1</sub> <sup>273</sup> , K <sub>1</sub> <sup>274</sup> , K <sub>1</sub> <sup>275</sup> , K <sub>1</sub> <sup>276</sup> , K <sub>1</sub> <sup>277</sup> , K <sub>1</sub> <sup>278</sup> , K <sub>1</sub> <sup>279</sup> , K <sub>1</sub> <sup>280</sup> , K <sub>1</sub> <sup>281</sup> , K <sub>1</sub> <sup>282</sup> , K <sub>1</sub> <sup>283</sup> , K <sub>1</sub> <sup>284</sup> , K <sub>1</sub> <sup>285</sup> , K <sub>1</sub> <sup>286</sup> , K <sub>1</sub> <sup>287</sup> , K <sub>1</sub> <sup>288</sup> , K <sub>1</sub> <sup>289</sup> , K <sub>1</sub> <sup>290</sup> , K <sub>1</sub> <sup>291</sup> , K <sub>1</sub> <sup>292</sup> , K <sub>1</sub> <sup>293</sup> , K <sub>1</sub> <sup>294</sup> , K <sub>1</sub> <sup>295</sup> , K <sub>1</sub> <sup>296</sup> , K <sub>1</sub> <sup>297</sup> , K <sub>1</sub> <sup>298</sup> , K <sub>1</sub> <sup>299</sup> , K <sub>1</sub> <sup>300</sup>	Dolomiti, dolomitne breče, dolomitirani vapnenici, pločasti mrijesti vapnenca i dolomita	Slaba		
M <sub>2</sub>		Lapori, pijesci i prostoci ugljena	Slaba	Izmena klastičnih ili klastičnih i karbonatnih stijena vrlo slabe transmisivnosti i izdašnosti
E <sub>2</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>1</sub>		Fliš: gješčenjaci i lapori, trnjčasti siliti, gješčenjaci i dolomiti, karbonatni petli i gješčenjaci	Wlo slaba	

<b>HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT - Zagreb</b> Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju		Datum: prosinac, 2020.	
Odgovorni geolog: Dr.sc. Renato Buljan dipl.ing.geol.	Elabora:	Mjerilo: 1:25000	
Autori: Dr.sc. Renato Buljan dipl.ing.geol. Ivana Božić dipl.ing.geol. Dr.sc. Josip Terzić dipl.ing.geol.	Analiza uzroka povećanja otečanja i mutnoće vode na sjeverovim rijeka Mrežnice i Korane	Prilog broj: 3	
Informašička obrada: Hinoje Burić, geol. teh.	Nastavak priloga:	Hidrogeološka karta Radonje do ulice u Korani	





 <b>HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT - Zagreb</b> Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju		
Odgovorni geolog: Dr.sc. Renato Buljan dipl.ing.geol.	Elaborat: Analiza uzroka povećanja otjecanja i mutnoće vode na sljevovima rijeka Mrežnice i Korane	Datum: prosinac, 2020
Autori: Dr.sc. Renato Buljan dipl.ing.geol. Ivana Boljat dipl.ing.geol. Dr.sc. Josip Terzić dipl.ing.geol.		Mjerilo: 1:5000
Informatička obrada: Hrvoje Burić, geol. teh.	Naslov priloga: Shematski hidrogeološki profil: akumulacija Lešće - Globornica - Mrežnica	Prilog broj: 4



## Prilog 5.

# ZAPISNIK SA IZVANREDNE SJEDNICE STOŽERA CZ KARLOVAČKE ŽUPANIJE



REPUBLIKA HRVATSKA



KARLOVAČKA ŽUPANIJA



OPŠTINA KARLOVAC

**Stožer civilne zaštite Karlovačke županije**

KLASA: 810-01/19-01/11

URBROJ: 2133/1-01-01/02-19-02

Karlovac, 24. lipnja 2019.

**Predmet: Zapisnik sa izvanredne sjednice Stožera CZ Karlovačke županije**

**Datum:** 22. lipnja 2019. godine

**Početak:** 11.00 sati

**Mjesto:** Vatrogasni centar Karlovac, Gažanski trg 11, Karlovac

**Nazočni:** župan Karlovačke županije Damir Jelić, županijski vatrogasni zapovjednik Goran Franković, Martin Barić (Služba civilne zaštite Karlovac), Biljana Željeznjak (Hrvatske vode, VGI Kupa Karlovac), gradonačelnik Karlovca Damir Mandić, gradonačelnik Duge Rese Tomislav Boljar, načelnik općine Vojnić Nebojša Andrić i zamjenik načelnika općine Generalski Stol Damir Kolić, Josip Kekić (HEP – ODS Elektra Karlovac), Marinko Matešić (Hrvatske šume, UŠP Karlovac) i Nikola Rogoz (Vodovod i kanalizacija d.o.o.)

**Zapisničar:** Ivana Marić, tajnica Stožera CZ Karlovačke županije

**Župan Damir Jelić** otvara izvanrednu sjednicu Stožera CZ Karlovačke županije situacije sa zamućenosti rijeka Korane i Mrežnice. Upoznaje nazočne sa trenutnim stanjem te napominje kako su stanovnici županije zabrinuti jer spominju nekoliko uzroka zamućenja, a to nekontrolirana sječa šuma, posebno privatnih te promjene na rijeci Dobri i Mrežnici koje su uočene u posljednjih osam godina rada HE Lešće. Dodaje i da smo samo u ovoj godini svjedoci četiri rekordna nikad zabilježena povijesna vodostaja – dva na Korani i dva na Mrežnici, a ono što se sigurno može zaključiti da je između ostalog, uzrok u globalnim klimatskim poremećajima.

**Gradonačelnik Tomislav Boljar** pojašnjava kako su prošle godine na mjestu gdje danas dolazi do zamućenja bile vrulje hladne vode te smatra da se izgradnjom HE Lešća nešto dogodilo i da je potrebno naći uzrok pa rješenje.

**Gradonačelnik Damir Mandić** ističe problem probijanja kamena na Korani. Govori da treba sanirati nabačaj, Grad je u kontaktu s Hrvatskim vodama. Dodaje da u Korani ima jako puno stakla i da nekoga treba zadužiti da to očisti.

**Načelnik Nebojša Andrić** ističe da je nedjelju pala velika količina te da su u roku dva sata prve kuće potopljene od oborinskih voda.

**Zamjenik načelnika Damir Kolić** naglašava kako zamućenje počinje na vodocrpilištu i to je problem budući da se dio ljudi snabdijeva tom vodom.

**Marinko Matešić (Hrv. Šume)** napominje da se šumama dobro gospodari, ne siječe se više nego se znavlja te da se radi po propisima.

**Nebojša Andrić** smatra da sječa šuma nije uzrok jer je najveći problem bio gdje nema sječe. Tamo gdje je je šuma posječena, vodotoci su bili mali.

**Nikola Rogoz** pojašnjava da kvaliteta vode nije upitna. Uočeno je da su dvije trećine kamenog nabačaja urušene. Dodaje da je razina vode na vodocrpilištima Gaza 1 i Gaza 3 pod kontrolom te apelira da se što prije sanira nabačaj kako bi opskrba vodom bila sigurna.





**Goran Franković** poručuje da je potrebno brže uspostaviti kontakt i da čelnici JLS moraju obavijest dati brže putem broja 112. Dodaje da ne treba dizati paniku, ali treba ranije dati informacije.

**Biljana Željeznjak** ističe da postoji puno neriješenih problema ljudske naravi. Mini hidroelektrana kod Pamučne je veliki problem, pojašnjava da su prošle tri godine od kada su Hrvatske vode predale prijavu inspekciji prijavu, ali se ništa ne događa. Od četiri zapornice, dvije su oštećene i to dovodi do povišenog vodostaja na gradskom kupalištu u Dugoj Resi, a može se dogoditi da zapornice puknu kada najmanje treba. Dodaje da ima nalog da se sanira kameni navoz u Karlovcu, ali kada se stvore uvjeti jer je vodostaj previsok. Što se tiče Vojnića, pojašnjava da je puno puta tražila da se riješi problem s dabrovima koji rade "nasipe" jer su Hrvatske vode prošle godine utrošile oko 200 tisuća kuna na uklanjanje brana koje dabrovi rade, a postoje brane koje stroj mora rušiti jer čovjek ne može.

Članovi Stožera CZ i ostali nazočni donijeli su sljedeće zaključke:

1. U tijeku je spuštanje za dva metra razine vode akumulacijskog jezera HE Lešće – u akumulaciji nisu zabilježeni gubici vode, ali je iz preventivnih razloga odlučeno da se razina spusti;
2. Angažirat će se profesionalni ronionci sa zadatkom zarona u Mrežnicu u općini Generalski Stol na potezu Katići – Dobrenići, na mjestu gdje su se prošle godine pojavile hladne vrulje i gdje se sada pojavilo zamućenje;
3. Zavod za javno zdravstvo Karlovačke županije nastavlja s mjerenjima kakvoće riječne vode u općini Generalski Stol, u gradu Dugoj Resi i gradu Karlovcu;
4. Angažirat će se snimanje dronom posebno na lokacijama gdje dolazi do povećane sječe privatnih šuma;
5. Hrvatske vode će davati dnevna izvješća o bistrenju vode;
6. Nakon normalizacije, planiraju se istraživački radovi zbog utvrđivanja stanja, npr. puštanje boje, meteo stanice, telemetrijski uređaji;
7. Vodoopskrba u Karlovačkoj županiji nije upitna, a za opskrbu pitkom vodom stanovnika dijela općine Generalski Stol spremna je cisterna;
8. U pripremi je sanacija kamenog nabačaja na ušću Korane u Kupu;
9. Stožer Civilne zaštite Karlovačke županije najavljuje da će krajem kolovoza ili početkom rujna proglasiti uzbunu, vježbu u kontekstu sustava obrane od poplava s preventivnim ispuštanjem Dobre u HE Lešće i Mrežnice u MHE Pamučna industrija. Nalaže se izvješće vlasniku o stanju zapornica;
10. Stožer Civilne zaštite Karlovačke županije će inzistirati da u djelokrugu rada povjerenstva koje je imenovala Vlada RH za praćenje utjecaja rada HE Lešće na nizvodni tok rijeke Dobre, bude i promatranje utjecaja na ostale rijeke, a posebno na Mrežnicu.

Zapisničar:  
Ivana Marić, mag.nov.

Načelnik Stožera CZ Karlovačke županije  
Josip Ribar



## Prilog 6.

# IZVJEŠTAJ KPA „VODOMAR“ DUGA RESA





# KPA „VODOMAR“ DUGA RESA

Park dr. Franje Tuđmana 2 pp1

OIB: 29239879868

IBAN HR02 2400 0081 1901 4705 0

WEB: www.kpa-vodomar.hr

STOŽER CIVILNE ZAŠTITE  
KARLOVAČKE ŽUPANIJE  
A. Vraniczanya 2, 47 000 Karlovac  
n/p načelnik stožera Josip Ribar

## IZVJEŠTAJ

22. lipnja. 2019.

- 13:57 sati poziv iz centra 112 te preusmjerenje na stožer CZ
- 14:26 sati sastanak sa zapovjednikom u prostorijama JVP Karlovac
- 15:48 sati početak izvida i izlaz na teren.
- 20:35 završio izvid

Izvidom je obuhvaćen pregled terena toka rijeke Mrežnice od dalekovoda koji se nalazi na potezu između Vitasovog i Erdeljsko – Gačeškog slapa uzvodno pa sve do Kosovog Slapa u Zvečaju. Što je 14 kilometara toka rijeke Mrežnice. Zadaća je bila vizualna detekcija zamućenja korita rijeke mjerenje temperature te detekcija izvora zamućenja.

U tom dijelu obidena su i 4 velika izvora kao potencijalni uzročnici zamućenja.

Zamućenje vode karakterizirati ćemo skalom od 1 – 10, gdje je 1 kompletno bistra i normalna boja vode, a 10 je veoma mutna voda puna otopljenih suspendiranih čestica, žute ili smeđe boje.

- Izvid je započeo kod izvora „Bučak“ u zaseoku Erdelj. Zaključak, izvor je normalne boje i nema nikakvog zamućenja, također tok rijeke je relativno bistar.
  - Erdeljsko - Gačeški slap također bez zamućenja - skala: 2 (Slika 1.)



Slika 1.

- Katića slap u selu Dobrenići – Skala: 2 (slika 2)



Slika 2.

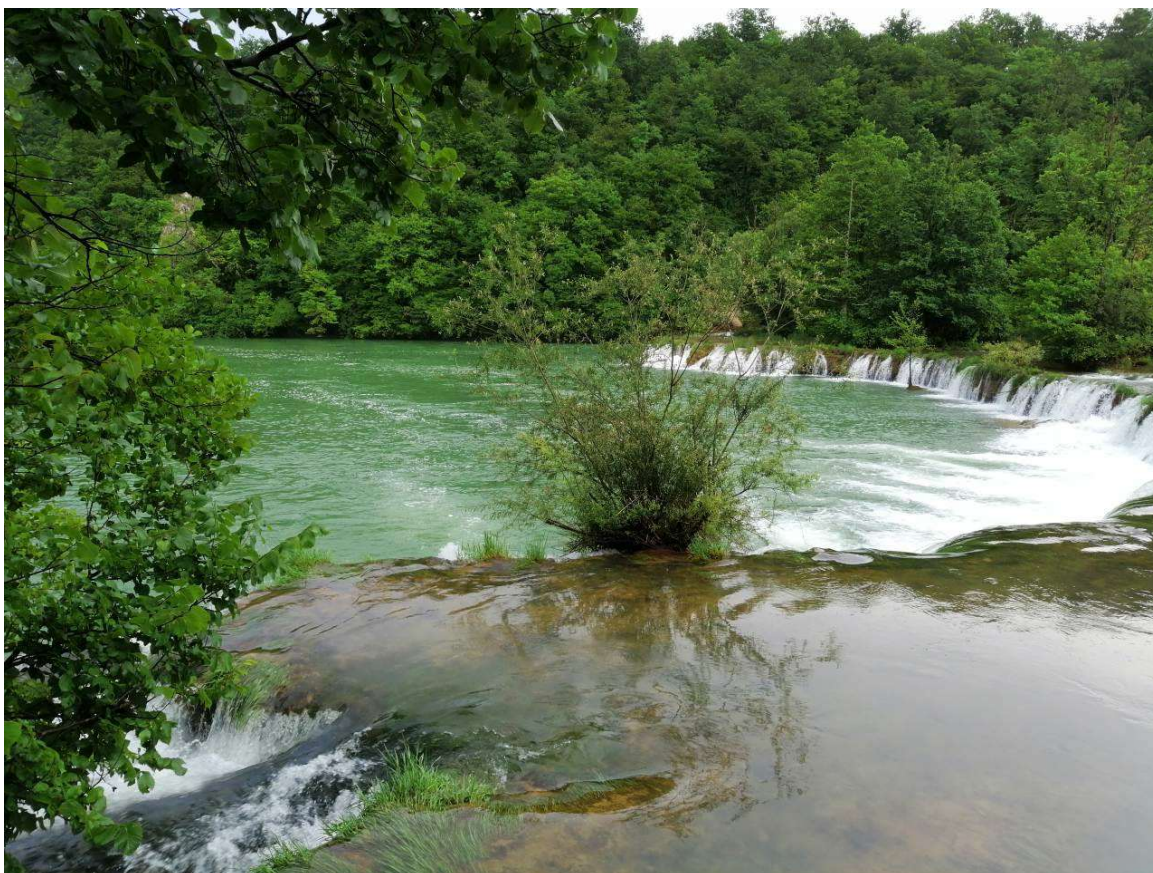
- Mlinaca slap u selu Mlinci i Žunići gdje se nalazi vodocrpilište za Generalski stol – Skala:2 (Slika 3.)





Slika 3

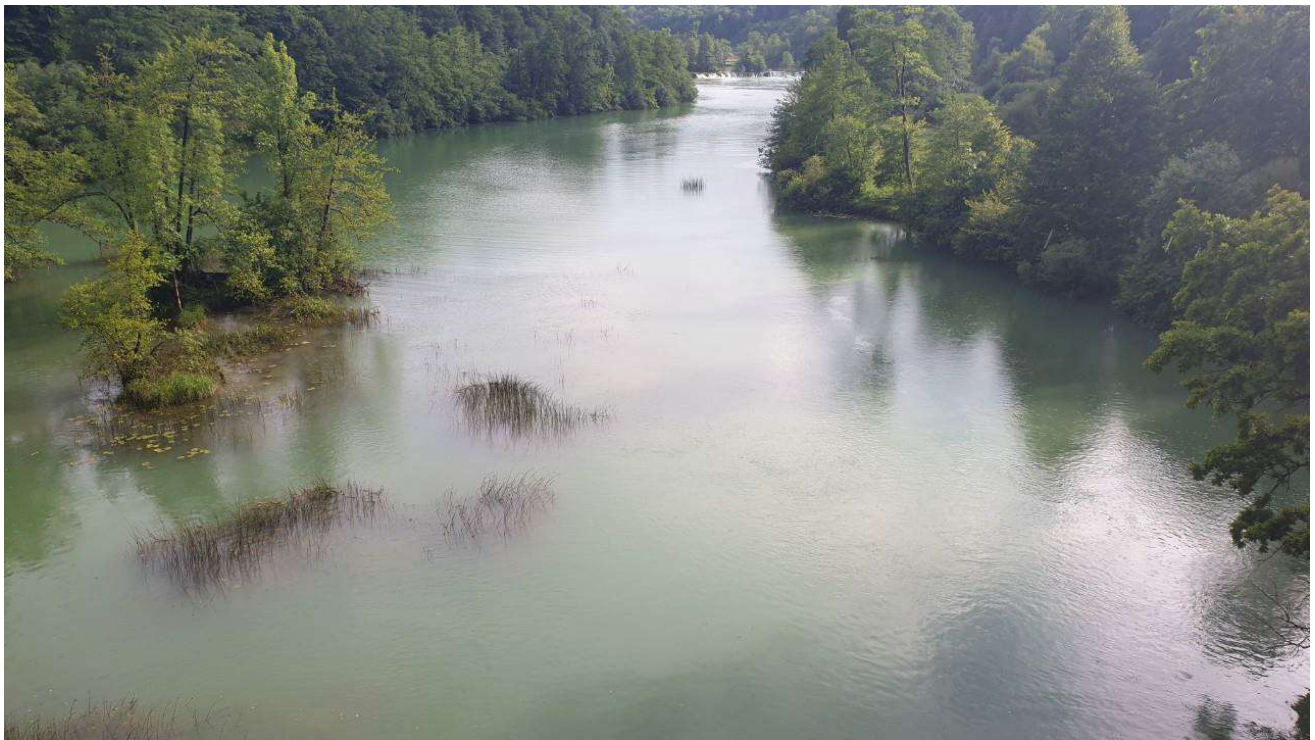
- Dobrenića slap, prvi slap uzvodno od mosta u Keićima – Skala:3 (Slika 4.)



Slika 4.

- Most u Keićima Skala:3,5 (Slika 5.)





Slika 5.

- Most u Keićima slikano 18.06. Skala:9 (Slika 5a.) – Usporedba



Slika 5a (Slikano prije 4 dana)

- Nadalje su izvršeni izvidi na svim dostupnim slapovima gdje Mrežnica nizvodnije postaje sve замуćenije od zaseoka Leskar na nizvodno sve do Zvečaja gdje je na Kosovom mlinu u skali:6. (Slika 6)





Slika 6

- Temperatura vode uzvodno mjerenje iznosi 15 stupnjeva, dok je nizvodno ona iznosi 16 stupnjeva.
- Sva 4 obična izvora su bez zamućenja, a oni se nalaze u zaseoku Erdelj, Leskar, Mateško Selo te Zvečaj, te oni nisu uzrok zamućivanja.
- Nikakve kritične točke zamućenja nisu nađene, odnosno nije nađeno mjesto gdje rijeka iz Bistrog prelazi u mutno, već se zamućenost povećava kako se tok kreće nizvodno, te se ono sve više povlači.

23.06. 2019.

Izvid je napravljen na Mostu u Keićima, gdje je u manje od 24 sata iznimno poboljšanje. Nakon toga Puškarićev slap gdje je u ovom trenutku voda zamućena kako je bilo jučer u Keićima.

Zaključak:

Zamućenje vode povlači se sa tokom, ali tok rije je dosta spor pa se potpuno izbistrenje niti ne može očekivati brzo. U protekla 2 dana također je pala određena količina kiše koja ne pridonosi bistrini. Talog se ne sedimentira jer ga svaki slap ponovno promiješa.

Izvještaj sastavio: Nikica Spudić

*Predsjednik Kpa Vodomar:  
Eduard Dol*

Dostaviti:

- Naslovu,
- Pismohrana KPA Vodomar.



*Duga Resa, 23. lipanj 2019. god.*