

# Određivanje slivnog područja rijeke Slunjčice

---

Gladović, Dado

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:525996>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-30**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

ODREĐIVANJE SLIVNOG PODRUČJA RIJEKE SLUNJČICE

Diplomski rad

Dado Gladović

GI 317

Zagreb, 2019.

*Ovim bih se putem iskreno želio zahvaliti svojoj mentorici, dr.sc. Jeleni Parlov koja je svojim strpljenjem, razumijevanjem, podrškom, stručnim savjetima i usmjeravanjem doprinijela izradi ovog diplomskog rada. Također bih se želio zahvaliti i dr.sc. Zoranu Kovaču i dr.sc. Dariu Perkoviću na savjetima pri izradi rada.*

*Želio bih se zahvaliti i kolegama s Hrvatskog Geološkog Instituta, Josipu Terziću i Vedrani Sučić na pristupu elaboratima koji su uvelike pomogli pri izradi rada.*

*Uz to, hvala i prijateljima i kolegama s Prirodoslovno-matematičkog i Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta koji su uljepšali studentske dane.*

*Najveće hvala mojoj obitelji kojoj ovaj rad i posvećujem.*

## ODREĐIVANJE SLIVNOG PODRUČJA RIJEKE SLUNJČICE

Dado Gladović

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Površinske i podzemne razvodnice u krškim područjima rijetko se poklapaju s topografskim razvodnicama što je slučaj u nekrškim područjima. Glavne razlike leže u složenom i specifičnom pukotinskom sustavu te samim uvjetima i pravcima procesa okršavanja. Razvodnice u krškim područjima određene su prostorno, litološkim i strukturno-tektonskim odnosima, te vremenski, hidrološkim stanjem i akumuliranom vodom u krškom sustavu. Zbog toga se pri određivanju razvodnica u krškim područjima koriste različite metode i istraživački pristupi. U ovome se radu, korištenjem različitih metoda, odredilo slivno područje rijeke Slunjčice.

Ključne riječi: Slunjčica, Lička Jesenica, razvodnica, krški vodonosnik, hidrokemijska analiza, hidrološka analiza

Diplomski rad sadrži: 107 stranica, 38 tablica, 54 slike, 7 priloga i 29 referenci

Jezik izvornik: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Voditelj: Dr.sc. Jelena Parlov, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Jelena Parlov, izvanredni profesor RGNF  
Dr.sc. Dario Perković, docent RGNF  
Dr.sc. Zoran Kovač, docent RGNF

Datum obrane: 8. srpnja 2019., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu



DELINEATION OF THE RIVER SLUNJČICA CATCHMENT AREA

Dado Gladović

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Geology and Geological Engineering  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Surface and underground catchment area boundaries in karstland rarely coincide with topographic boundaries which is case in non-karst area. The main difference between those two are complicated and specific system of fractures, so does conditions and direction of karstification. Catchment area boundaries in karstland are determined in space, with litology and its structural-tectonic relation, and in time, with hydrological state and accumulated water in karst system. Because of that, to delineate karst catchment area it is necessary to use several methods and research approaches. In this thesis, with the use of several methods, catchment area of Slunjčica river was delineated.

Keywords: Slunjčica, Lička Jesenica, catchment area boundary, karst aquifer, hydrochemical analysis, hydrological analysis

Thesis contains: 107 pages, 38 tables, 54 figures, 7 enclosures and 29 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Supervisor: PhD Jelena Parlov, Associate professor

Reviewers: PhD Jelena Parlov, Associate professor  
PhD Dario Perković, Assistant professor  
PhD Zoran Kovač, Assistant professor

Date of defense: 8<sup>th</sup> of July, 2019,  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	2
2.1. Vegetacijski pokrov na istraživanom području.....	5
2.2. Klimatološke značajke istraživanog područja .....	6
3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	13
4. GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	21
4.1. Prostorna gustoća vrtača na istraživanom području.....	23
4.2. Koeficijent okršavanja u odnosu na visinske razrede i geološka doba.....	25
5. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	30
5.1. Određivanje slivnog područja rijeke Slunjčice .....	30
5.1.1. Hidrogeološke značajke stijena .....	31
5.1.2. Hidrogeološke uloge dijelova područja istraživanja .....	34
5.1.3. Podzemne veze na istraživanom području .....	40
5.1.4. Hidrogeološka razvodnica sliva rijeke Slunjčice.....	45
5.2. Hidrokemijska istraživanja .....	48
5.2.1. Terenska mjerenja.....	48
5.2.2. Laboratorijska ispitivanja .....	53
5.2.2.1. Mjerenje pH-vrijednosti, električne vodljivosti i otopljenog kisika .....	53
5.2.2.2. Određivanje koncentracije osnovnih iona u uzorcima vode .....	55
5.2.3. Rezultati hidrokemijskih istraživanja .....	59
5.2.4. Interpretacija hidrokemijskih podataka .....	71
5.3. Hidrološke analize na slivu rijeke Slunjčice .....	74
5.3.1. Bilanca voda sliva rijeke Slunjčice.....	74
5.3.2. Proračun koeficijenta efektivne infiltracije i teoretske slivne površine .....	84
5.3.3. Usporedba protoka Ličke Jesenice i Slunjčice .....	93
5.3.3.1. Krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka Ličke Jesenice i Slunjčice ..	93
5.3.3.2. Usporedba srednjih dnevnih protoka Ličke Jesenice i Slunjčice .....	97
5.3.3.3. Krivulje recesije Ličke Jesenice i Slunjčice .....	100
6. ZAKLJUČAK .....	103
7. LITERATURA.....	105

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Geografski položaj rijeke Slunjčice .....	2
Slika 2.2. Hipsometrijska krivulja i srednja nadmorska visina sliva rijeke Slunjčice.....	4
Slika 2.3. Vegetacijski pokrov i površinske vode na istraživanom području.....	5
Slika 2.4. Prikaz prosječnih godišnjih temperatura zraka na klimatološkoj postaji Slunj u razdoblju 2007. – 2017. godine .....	6
Slika 2.5. Prikaz prosječnih mjesečnih srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura zraka na klimatološkoj postaji Slunj u razdoblju 2007. – 2017. godine.....	7
Slika 2.6. Godišnja količina oborina na klimatološkoj postaji Slunj i kišomjernim postajama Rakovica, Saborsko, Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar u razdoblju od 2007. do 2017. godine .....	9
Slika 2.7. Ovisnost prosječne godišnje količine oborina i nadmorske visine na kišomjernim postajama .....	10
Slika 2.8. Prosječna mjesečna količina oborina na klimatološkoj postaji Slunj i kišomjernim postajama Rakovica, Saborsko, Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar u razdoblju od 2007. do 2017. godine.....	11
Slika 2.9. Geografska raspodjela klimatskih tipova po W. Koppenu u Hrvatskoj u standardnom razdoblju 1961.-1990. (prema ŠEGOTA & FILIPČIĆ, 2003), uže područje istraživanja označeno je crnim pravokutnikom .....	12
Slika 3.1. Pojednostavljena geološka karta istraživanog područja M 1:200 000 (Tumač oznaka – Prilog 2a.) .....	13
Slika 4.1. Vrtače na području Lumbardenika .....	21
Slika 4.2. Vrtače uz tok rijeke Slunjčice na području Lumbardenika (M 1:10 000).....	22
Slika 4.3. Prostorna gustoća vrtača [km <sup>-2</sup> ] izrađena jednostavnom kernel metodom.....	24
Slika 4.4. Položaj vrtača na istraživanom području (Tumač visina - Prilog 1.) .....	25
Slika 4.5. Koeficijent okršavanja i broj vrtača na slivu rijeke Slunjčice podijeljen po visinskim razredima.....	26
Slika 4.6. Položaj vrtača u odnosu na geološke periode (Tumač oznaka - Prilog 2a).....	27
Slika 4.7. Koeficijent okršavanja i broj vrtača na slivu rijeke Slunjčice u odnosu na geološki period i litološki sastav.....	28
Slika 5.1. Hidrogeološke jedinice na istraživanom području (Tumač oznaka - Prilog 3a) .	32
Slika 5.2. Shematski prikaz hidrogeoloških uloga dijelova područja istraživanja (modificirano prema BAHUN, 1968).....	34
Slika 5.3. Rezultati trasiranja ponora Švica u blizini Rakovice (modificirano prema IVIČIĆ et al., 2003) .....	42

Slika 5.4. Rezultati trasiranja ponora na Kuselju (a.), piezometra u blizini Drežnik Grada (b.) i vrtače kod Rastovače (c.) (modificirano prema IVIČIĆ, 1999 i BIONDIĆ & MEAŠKI, 2016).....	44
Slika 5.5. Lokacije točaka opažanja za hidrokemijska istraživanja .....	48
Slika 5.6. a. tok Pećine i njen šljunčani nanos, b. lokacija uzorkovanja na Slunjčici nizvodno od ušća Pećine u Slunjčicu, c. izvor Točak, d. kaptirani izvor Vrelo	50
Slika 5.7. a. izvor Šušnjar nepodoban za uzorkovanje, b. korito koje usmjerava vodu iz izvora Šušnjar s vrlo malo vode.....	51
Slika 5.8. a. izvor Slunjčice, b. izvor kod Novog Sela .....	51
Slika 5.9. Uređaj WTW Multi 3630 IDS korišten u laboratorijskim ispitivanjima .....	54
Slika 5.10. Kraj titracije klorovodične kiseline u uzorak vode nakon promjene boje metiloranža iz svijetlo žute u narančastu boju.....	56
Slika 5.11. Ionski kromatograf ICS 90 tvrtke Dionex .....	58
Slika 5.12. Kationski kromatogram uzorka s izvora Vrelo .....	58
Slika 5.13. Rezultati mjerenja pH-vrijednosti, električne vodljivosti i sadržaja otopljenog kisika na isječku geološke karte u obliku kružnica proporcionalnih veličina ovisno o njihovim vrijednostima .....	61
Slika 5.14. Postotni udjeli kationa u ukupnim koncentracijama kationa u uzorku .....	65
Slika 5.15. Postotni udjeli aniona u ukupnim koncentracijama aniona u uzorku.....	66
Slika 5.16. Postotni udjeli aniona iz ukupne koncentracije aniona bez $\text{HCO}_3^-$ iona u uzorku (meq/l).....	67
Slika 5.17. Prikaz hidrokemijskih facijesa u Piperovom dijagramu (modificirano prema HALLE, 2004).....	72
Slika 5.18. Piperov dijagram za uzorke vode s lokacija opažanja.....	73
Slika 5.19. Utjecajne površine kišomjernih postaja za izračun srednje godišnje oborine (narančasto - Slunj, ljubičasto - Rakovica, zeleno - Saborsko, plavo - Dabar, smeđe - Vrhovine, crveno - Donji Babin Potok) .....	76
Slika 5.20. Vrijednosti srednjih količina oborina i evapotranspiracija na slivu rijeke Slunjčice za kalendarske godine .....	78
Slika 5.21. Vrijednosti srednjih količina oborina i evapotranspiracije na slivu rijeke Slunjčice za hidrološke godine .....	79
Slika 5.22. Srednji godišnji protoci na hidrometrijskoj postaji Rastoke (2007. - 2017.) ....	80
Slika 5.23. Srednji godišnji protoci na hidrometrijskoj postaji Rastoke za određene hidrološke godine.....	81
Slika 5.24. Korelacija između oborine pale na sliv i efektivne oborine za kalendarske godine .....	85

Slika 5.25. Korelacija između oborine pale na sliv i efektivne oborine za hidrološke godine .....	86
Slika 5.26. Shema raspodjele napajanja na slivu rijeke Slunjčice.....	87
Slika 5.27. Shematski prikaz napajanja krškog sliva rijeke Slunjčice s prikazanim zonama jačeg inteziteta okršavanja.....	92
Slika 5.28. Hidrogram Ličke Jesenice i Slunjčice za hidrološku godinu 1988./1989. ....	93
Slika 5.29. Krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka Ličke Jesenice i Slunjčice u razdoblju od 1.9.1983. do 31.8.1990. ....	94
Slika 5.30. Krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka Ličke Jesenice i Slunjčice u razdoblju od 1.9.1983. do 31.8.1990. u polulogaritamskom mjerilu .....	94
Slika 5.31. Krivulje trajanja protoka Ličke Jesenice i Slunjčice u modulnim koeficijentima za razdoblje od 1.9.1983. do 31.8.1990.....	96
Slika 5.32. Krivulje trajanja protoka Ličke Jesenice i Slunjčice u modulnim koeficijentima za razdoblje od 1.9.1983. do 31.8.1990. u polulogaritamskom mjerilu .....	96
Slika 5.33. Hidrogram Ličke Jesenice i Slunjčice, te razlika u protocima između njih u razdoblju od 1.9.1983. do 31.8.1990. godine .....	97
Slika 5.34. Razdoblja u kojima je srednji dnevni protok Ličke Jesenice veći od Slunjčice (polulogaritamsko mjerilo) .....	98
Slika 5.35. Razdoblja u kojima je srednji dnevni protok Slunjčice veći od prosječne razlike srednjih dnevnih protoka Slunjčice i Ličke Jesenice .....	99
Slika 5.36. Krivulja recesije za Ličku Jesenicu (1.9.1983. - 31.8.1990.).....	102
Slika 5.37. Krivulja recesije za Slunjčicu (1.9.1983.-31.8.1990.).....	102

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Udio kopnenih staništa na slivu rijeke Slunjčice.....	5
Tablica 2.2. Prosječna godišnja temperatura zraka na klimatološkoj postaji Slunj .....	6
Tablica 2.3. Prosječni mjesečni srednjaci, maksimumi i minimumi temperatura zraka na klimatološkoj postaji Slunj u razdoblju 2007. – 2017. godine .....	7
Tablica 2.4. Godišnja količina oborina na klimatološkoj postaji Slunj i kišomjernim postajama Rakovica, Saborsko, Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar u razdoblju od 2007. do 2017. godine .....	8
Tablica 2.5. Nadmorske visine postaja i prosječne godišnje količine oborine pale na njima u razdoblju od 2007. do 2017. godine .....	9
Tablica 2.6. Prosječna mjesečna količina oborina na klimatološkoj postaji Slunj i kišomjernim postajama Rakovica, Saborsko, Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar u razdoblju od 2007. do 2017. godine.....	11
Tablica 4.1. Koeficijent okršavanja na slivu rijeke Slunjčice podijeljen po visinskim razredima .....	26
Tablica 4.2. Koeficijent okršavanja na slivu rijeke Slunjčice po geološkim periodima i litološkom sastavu .....	28
Tablica 5.1. Određivanje vrste vode prema električnoj vodljivosti (HALLE, 2004).....	54
Tablica 5.2. Rezultati mjerenja temperature zraka i vode .....	59
Tablica 5.3. Rezultati mjerenja pH-vrijednosti, električne vodljivosti i sadržaja otopljenog kisika.....	59
Tablica 5.4. Utrošak HCl za neutralizaciju i dobivene masene koncentracije $\text{HCO}_3^-$ .....	62
Tablica 5.5. Koncentracije kationa (u mg/l) i njihova ukupna koncentracija u uzorcima... ..	62
Tablica 5.6. Koncentracije aniona (u mg/l) i njihova ukupna koncentracija u uzorcima vode s lokacija opažanja (uz pridodane vrijednosti hidrogenkarbonatnih iona) .....	63
Tablica 5.7. Koncentracije kationa (u meq/l) i njihova ukupna koncentracija u uzorcima vode s lokacija opažanja .....	63
Tablica 5.8. Koncentracije aniona (u meq/l) i njihova ukupna koncentracija u uzorcima vode (uz pridodane vrijednosti hidrogenkarbonatnih iona).....	64
Tablica 5.9. Postotni udjeli kationa u ukupnoj koncentraciji kationa [meq/l].....	65
Tablica 5.10. Postotni udjeli aniona u ukupnoj koncentraciji aniona [meq/l].....	66
Tablica 5.11. Postotni udjeli aniona iz ukupne koncentracije aniona bez $\text{HCO}_3^-$ iona (meq/l).....	67
Tablica 5.12. Provjera točnosti kemijskih analiza na uzorcima .....	69
Tablica 5.13. Vrijednosti ukupno otopljenih soli (mg/l) u uzorcima .....	69

Tablica 5.14. Podrijetlo podzemne vode prema sadržaju magnezija .....	72
Tablica 5.15. Udio magnezija (%) od ukupno otopljene tvari u uzorcima vode i podrijetlo podzemne vode .....	73
Tablica 5.16. Utjecajne površine kišomjernih postaja na slivu rijeke Slunjčice .....	75
Tablica 5.17. Vrijednosti srednjih količina oborina ( $P_{sr}$ ) i evapotranspiracije ( $E_T$ ) na slivu rijeke Slunjčice za kalendarske godine .....	78
Tablica 5.18. Vrijednosti srednjih količina oborina ( $P_{sr}$ ) i evapotranspiracije ( $E_T$ ) na slivu rijeke Slunjčice za hidrološke godine .....	79
Tablica 5.19. Srednji godišnji protok na hidrometrijskoj postaji Rastoke (2007. - 2017.) ..	80
Tablica 5.20. Srednji godišnji protoci na hidrometrijskoj postaji Rastoke za određene hidrološke godine.....	81
Tablica 5.21. Bilanca voda sliva rijeke Slunjčice za kalendarske godine (2007. - 2017.) ..	83
Tablica 5.22. Bilanca voda sliva rijeke Slunjčice za hidrološke godine .....	83
Tablica 5.23. Koeficijenti efektivne infiltracije na slivu rijeke Slunjčice za kalendarske godine .....	85
Tablica 5.24. Koeficijenti efektivne infiltracije na slivu rijeke Slunjčice za hidrološke godine .....	86
Tablica 5.25. Teoretske površine sliva rijeke Slunjčice za kalendarske godine.....	89
Tablica 5.26. Teoretske površine sliva rijeke Slunjčice za hidrološke godine.....	89
Tablica 5.27. Teoretski koeficijenti efektivne infiltracije za različiti litološki sastav i koeficijente okršavanja .....	90
Tablica 5.28. Teoretske površine sliva rijeke Slunjčice za kalendarske godine s različitim koeficijentima efektivne infiltracije.....	91
Tablica 5.29. Teoretske površine sliva rijeke Slunjčice za hidrološke godine s različitim koeficijentima efektivne infiltracije.....	91
Tablica 5.30. Koeficijenti recesije za Ličku Jesenicu i Slunjčicu .....	101

## POPIS PRILOGA

Prilog 1. Geografska karta šireg područja istraživanja M 1 : 225 000

Prilog 1a. Tumač geografske karte

Prilog 2. Geološka građa na slivu rijeke Slunjčice M 1 : 175 000

Prilog 2a. Tumač geološke građe na slivu rijeke Slunjčice

Prilog 3. Hidrogeološka karta sliva rijeke Slunjčice M 1 : 175 000

Prilog 3a. Tumač hidrogeološke karte sliva rijeke Slunjčice

Prilog 4. Godišnje krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka Ličke Jesenice i Slunjčice (hidrološke godine) i krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka za cijelo promatrano razdoblje u polulogaritamskom mjerilu



## 1. UVOD

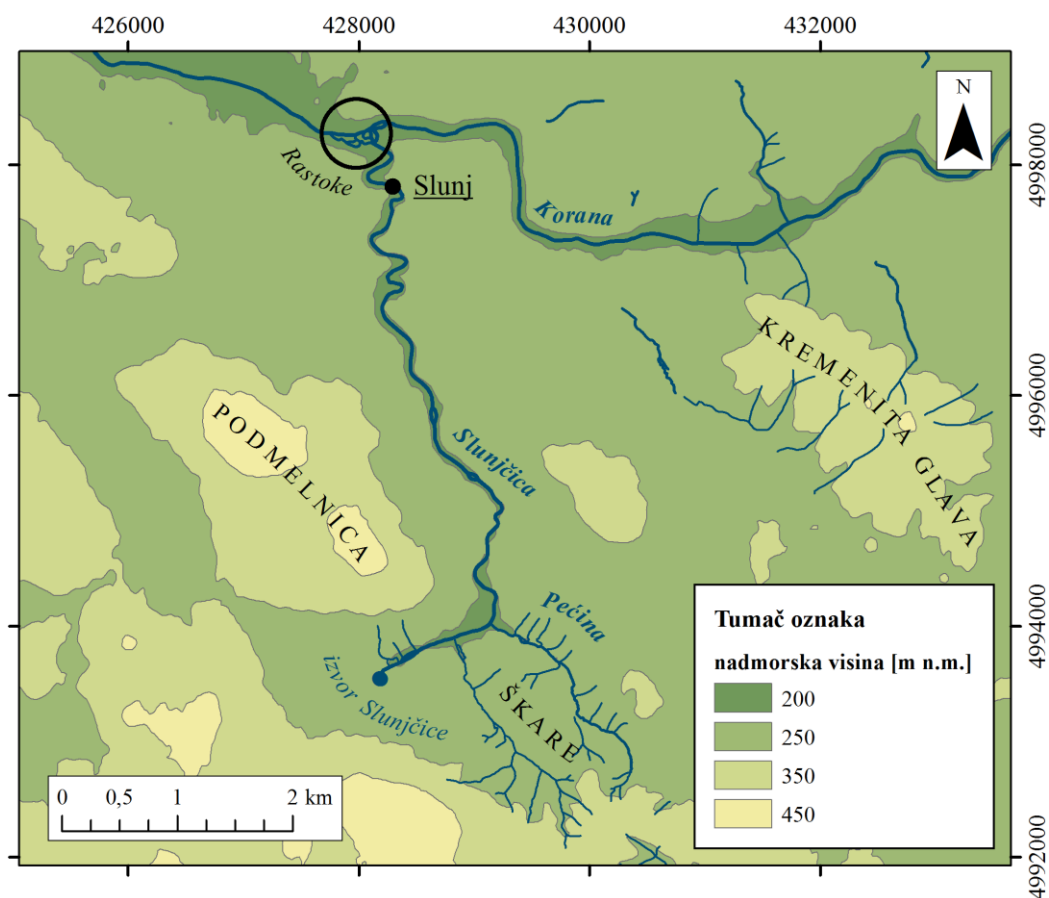
Slunjčica je krška rijeka, kratkog toka, svega šest kilometara, koja se preko slapišta u Rastokama ulijeva u Koranu. Slunjčica izvire na kontaktu vapnenaca donje krede i dolomita srednjeg trijasa. Izvor je velike izdašnosti i prema tipu pojavljivanja pripada uzlaznim krškim izvorima. Iako je rijeka Slunjčica kratkog toka, njezin sliv je kompleksan i velikih dimenzija. Gotovo cijelo područje istraživanja je u okršenim karbonatnim stijenama, a uz to se u okolici nalaze veliki krški izvori, primjerice, izvor Mrežnice.

Za razliku od nekrških područja, gdje se vode od područja napajanja prema području pražnjenja usmjeravaju topografskim razvodnicama, u kršu se razvodnice i na površini i u podzemlju rijetko poklapaju zbog vrlo složenog i specifičnog pukotinskog sustava. Zbog toga se pri određivanju razvodnica na krškim područjima mora koristiti cijeli niz različitih metoda i istraživačkih pristupa. Položaj razvodnica u kršu vezan je za uvjete i pravce napredovanja okršavanja, odnosno hidrogeološke uvjete. U krškim terenima koristi se pojam „hidrogeološka razvodnica” koja je određena litološkim i strukturno-tektonskim odnosima. Hidrogeološke razvodnice na površini terena i podzemne hidrogeološke razvodnice razlikuju se i u vremenu, tj. ovisno o hidrološkom stanju i akumuliranoj vodi u krškom vodonosniku. Istraživanja se sastoje od geomorfoloških, daljinskih, geoloških, geofizičkih, speleoloških radova, istraživačkog bušenja, trasiranja, hidroloških mjerenja i analize kakvoće podzemne vode.

Stoga se na temelju geoloških značajki stijena, strukturno-tektonskog sklopa, geomorfoloških značajki, rezultata trasiranja, hidrokemijskih analiza, hidroloških analiza (bilanca voda, koeficijenti efektivne infiltracije, krivulje trajanja i recesije) pokušalo odrediti slivno područje rijeke Slunjčice.

## 2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Rijeka Slunjčica izvire šest kilometara južno od grada Slunja u Karlovačkoj županiji. Izvor Slunjčice je uzlaznog karaktera i pojavljuje se u obliku jezera dubine oko 27 metara, na koti od 244 m n.m. Kilometar nizvodno od samog izvora Slunjčice, u nju se ulijeva stalni prtok Pećina i manji povremeni pritoci koji teku s područja Škare. Nakon njihovog ulijevanja u Slunjčicu ona teče prema sjeveru te se nakon šest kilometara dugog toka od izvora preko razgranatog slapišta u Rastokama ulijeva u Koranu na koti od 227 m n.m. Rastoke su ujedno i najniža točka na slivu rijeke Slunjčice (slika 2.1.).



Slika 2.1. Geografski položaj rijeke Slunjčice

Sliv rijeke Slunjčice pripada dvjema geografskim regijama: područje Male Kapele i Unsko-Koranska zaravan. Područje Male Kapele ističe se većom nadmorskom visinom nad područjem Unsko-Koranske zaravni. Područje Male Kapele (Mali Lisac, Veliki Lisac, Mali Javornik, Jurjeva Draga, Veliki Javornik, Preka kosa, Razdolje) prostire se na jugozapadnim dijelom sliva. U ovom prostoru nalazi se i najviša točka na slivu, Seliški vrh koji se nalazi na 1279 m n.m. Idući prema sjeveroistoku, u potkapelskom prostoru od

sjeverozapada prema jugoistoku, nalaze se potkapelska krška polja, depresije Begovca i Ličke Jesenice u nastavku, krška udolina Saborskog i produžetak do Kuselja do Plitvičkih jezera (JURAK, 1983). Sjeveroistočno od ovog prostora slijedi gorski prostor Pištenika, Velikog Stožera i Trovrha koji se jugozapadno spajaju s Plješivicom. Sjevernije od njih prostire se prostor Močila i Zvjernjaka, a prema istoku prostire se Unsko-koranska zaravan. Na širem prostoru istraživanja to su zaravnjena područja Drežnik Grada, Lipovače, Rakovice pa sve do Slunja (Slunjska zaravan s Rakovačkim pobrđem). Istočnije se nalazi područje Kršlje i pobrđa Mašvine. Na samom sjeveru područja istraživanja (sjevernije od izvora) sa zapada se nalazi pobrđe Podmelnica, a s istoka pobrđe Kremenita glava (slika 2.1.). Pregledna geografska karta s navedenim toponimima cijelog teksta prikazana je Prilogom 1 i pripadajućim tumačem oznaka – Prilog 1a.

Ova krška regija nije jedinstven prostor, razlikuju se dvije krške cjeline – duboki krš i plitki krš. Podjela je uvjetovana hipsometrijskim odnosom, razlici u razvijenosti krša, raznolikostima krških oblika, geološkim dubinskim odnosima i posebnostima hidrogeološkog sklopa područja. Granica dvaju morfogenetskih područja nije oštra linija, već se prati zona slijedeći značajnije hidrogeološke pojave. Granica plitkog i dubokog krša naznačena je u Prilogu 1. Plitki krš je predio međurječja Korane i Mrežnice. Prostor plitkog krša uključuje i fluoviokrški krajolik koji se odlikuje kombinacijom normalnih i krških fluvijalnih hidrografskih odnosa (JURAK, 1983). U ovome području hidrografska mreža je bogatija nego u dubokom kršu, a na istraživanom području ističu se tekućice Mrežnica, Korana, Slunjčica, Pećina, Furjašnica, Dobrenica, Kršlja, Suvaja, Rakovački potok. Također, osnovno obilježje plitkog krša je i velika gustoća vrtača. Prostor dubokog krša odlikuje se evolucijom krških fenomena u vertikalnom smjeru, tj. razvoju jama gdje se voda vertikalno infiltrira u podzemlje, dok se prostor plitkog krša odlikuje horizontalnim krškim fenomenima čija je značajka izlaz infiltrirane vode iz podzemlja.

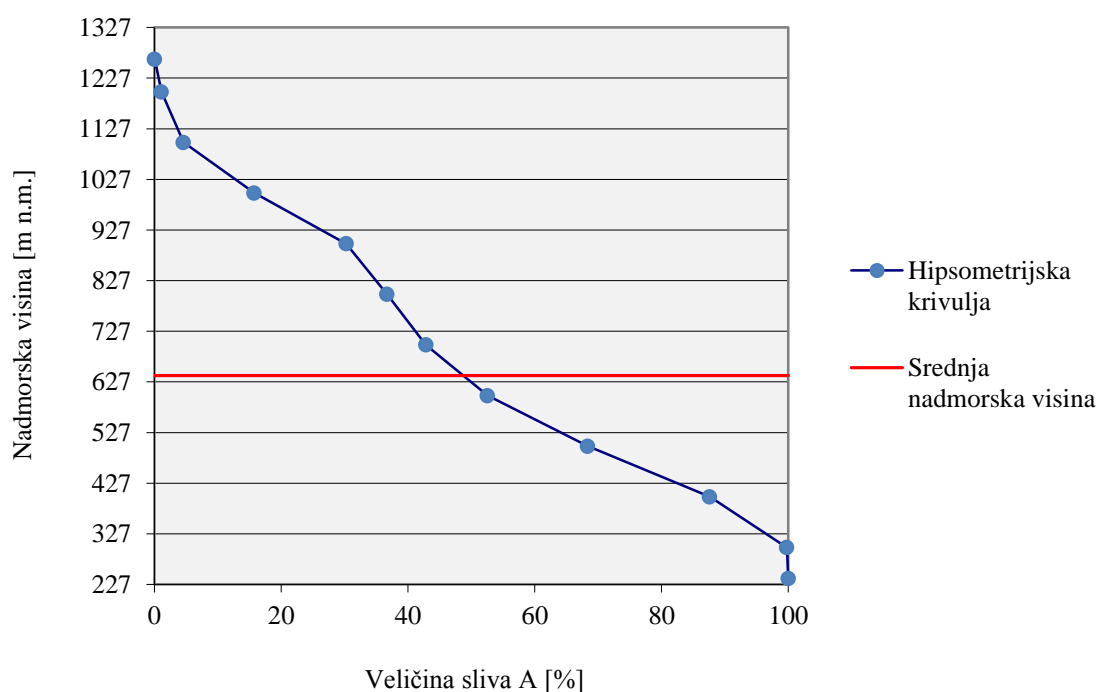
Srednja nadmorska visina ( $H_0$ ) sliva rijeke Slunjčice iznosi 639,6 m n.m. Srednja nadmorska visina dobivena je na temelju hipsometrijske krivulje. Hipsometrijska krivulja je krivulja koja pokazuje koji je dio područja riječnog sliva smješten do razmatranoga riječnog profila (u našem slučaju, hidrometrijska postaja Rastoke na Slunjčici), a srednja nadmorska visina je vodoravna crta koja siječe hipsometrijsku krivulju tako da su površine iznad i ispod hipsometrijske krivulje i te crte jednake (ŽUGAJ, 2015).

Srednja nadmorska visina  $H_0$  sliva do nekoga određenog protjecajnog profila vodotoka je:

$$H_0 = \frac{\sum H_i A_i}{A} \quad [\text{m n.m.}] \quad (2-1)$$

gdje su:  $H_i$  - srednja nadmorska visina između dviju slojnica na slivu [m n.m.],  $A_i$  - površina između dviju slojnica na slivu [km<sup>2</sup>],  $A$  - veličina sliva [km<sup>2</sup>].

Na slici 2.2. prikazana je hipsometrijska krivulja za sliv rijeke Slunjčice iz koje je vidljivo da je sliv najviše rasprostranjen između 400 i 600 m n.m. (35%) te između 900 i 1100 m n.m. (26%).



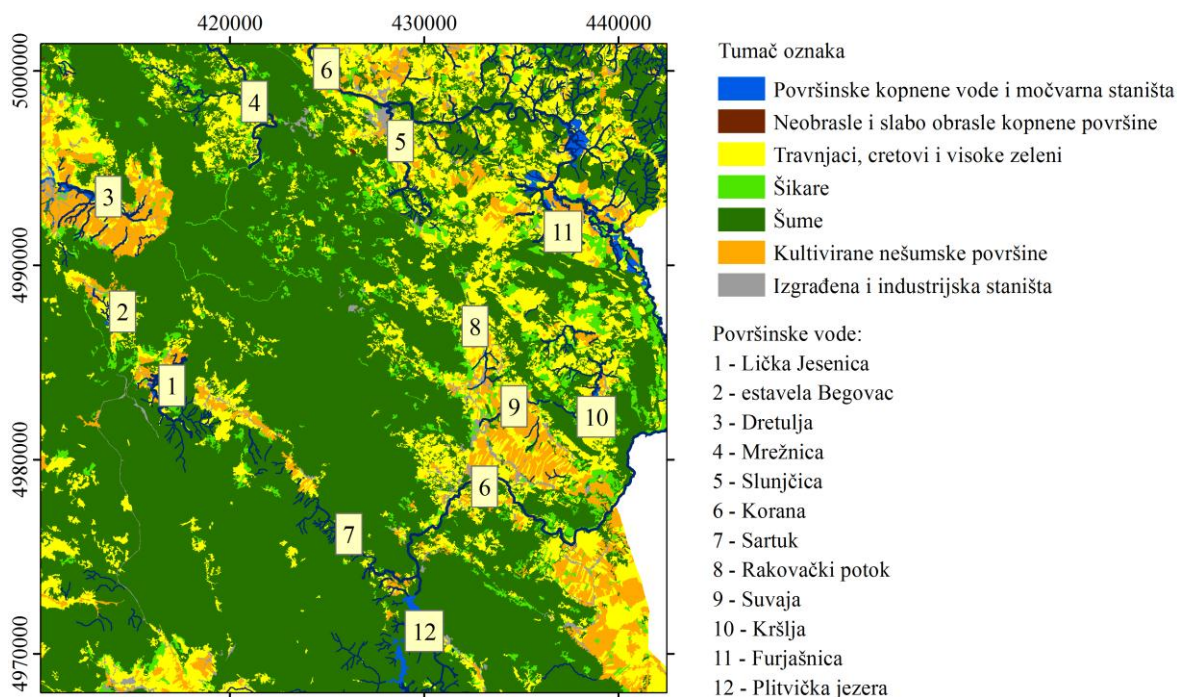
**Slika 2.2.** Hipsometrijska krivulja i srednja nadmorska visina sliva rijeke Slunjčice

## 2.1. Vegetacijski pokrov na istraživanom području

Podatci o vegetacijskom pokrovu i namjeni zemljišta preuzeti su s WMS GIS servisa Hrvatske agencije za okoliš i prirodu (HAOP), pod imenom „Pokrov i namjena korištenja zemljišta CORINE Land Cover“ (BARDI et al., 2016). Prema podacima, šume zauzimaju 80% istraživanog područja. Šume zauzimaju područja više nadmorske visine (područje Male Kapele). Prema nižim visinama, sve se više pojavljuju travnjaci i šikare, i to na području plitkog krša. Kultivirane nešumske površine i izgrađena staništa prekrivaju naseljene prostore uz rijeke (krška polja). Tablica 2.1. i slika 2.3. prikazuju udjele pojedinih kopnenih staništa u površini sliva rijeke Slunjčice i njihov prostorni smještaj.

**Tablica 2.1.** Udio kopnenih staništa na slivu rijeke Slunjčice

Kopneno stanište	Udio [%] na slivu
Površinske kopnene vode i močvarna staništa	0,34
Travnjaci, cretovi i visoke zeleni	11,47
Šikare	4,28
Šume	80,22
Kultivirane nešumske površine	2,43
Izgrađena i industrijska staništa	1,27



**Slika 2.3.** Vegetacijski pokrov i površinske vode na istraživanom području

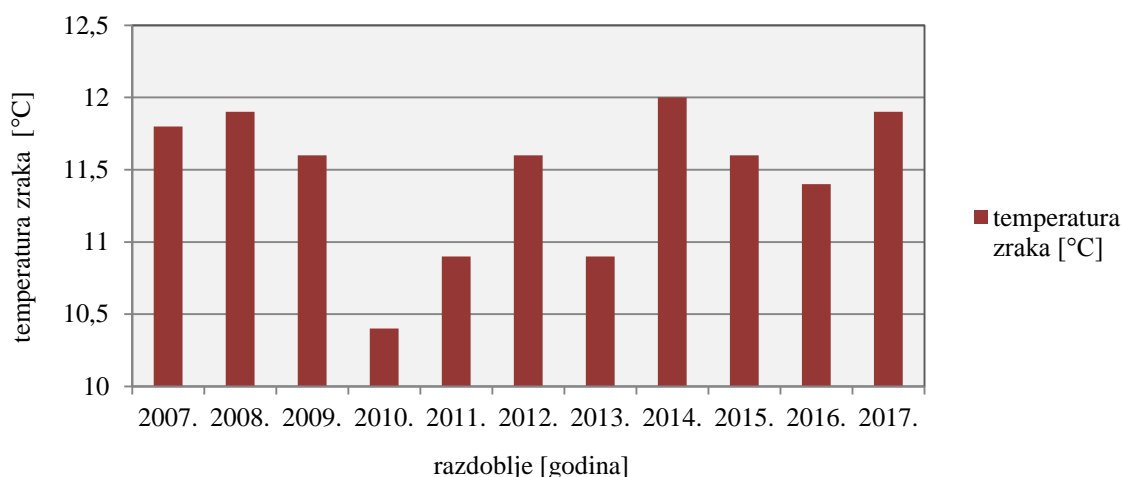
## 2.2. Klimatološke značajke istraživanog područja

Klimatološke značajke su važan faktor u evoluciji krških terena, a posebice temperatura zraka i količina oborina koje diktiraju kako će se mijenati krški teren, odnosno odvijati proces okršavanja. Pored navedenih faktora, na klimu pojedinog područja još utječu reljef, udaljenost od mora, geografska širina itd.

Temperatura zraka na istraživanom području mjeri se na klimatološkoj stanici Slunj. U tablici 2.2. i na slici 2.4. prikazane su prosječne godišnje temperature zraka (2007. -2017.) koje su u rasponu od 10,4°C do 12°C. Najtoplija godina, prema tome, bila je 2014. godina s prosjekom od 12°C, a najhladnija 2010. godina s prosjekom od 10,4°C. Treba uzeti u obzir da temperatura zraka i u prosječnim godinama u nekim razdobljima može biti ekstremno niska/visoka, no u radu je korištena prosječna godišnja temperatura zraka.

**Tablica 2.2.** Prosječna godišnja temperatura zraka na klimatološkoj postaji Slunj

Prosječna god. temp.zraka [°C]	Godina mjerenja										
	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
	11,8	11,9	11,6	10,4	10,9	11,6	10,9	12,0	11,6	11,4	11,9



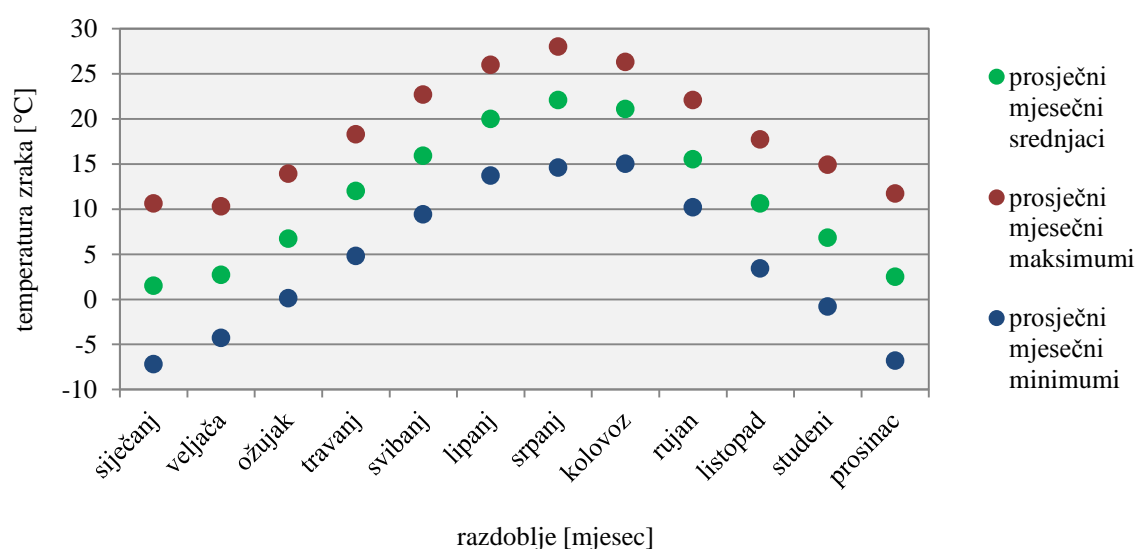
**Slika 2.4.** Prikaz prosječnih godišnjih temperatura zraka na klimatološkoj postaji Slunj u razdoblju 2007. – 2017. godine

Analizom prosječnih mjesečnih temperatura zraka u razdoblju od 2007. do 2017. godine kao najtopliji, izdvojeni su ljetni mjeseci (lipanj, srpanj i kolovoz) s temperaturama

između 20°C i 22,1 °C te kao najhladniji zimski mjeseci (prosinac, siječanj i veljača) s prosječnim temperaturama između 1,5°C i 2,7°C. U tablici 2.3. i na slici 2.5. prikazani su prosječni mjesečni srednjaci temperatura zraka, prosječni mjesečni maksimumi i prosječni mjesečni minimumi u razdoblju od 2007. do 2017. godine.

**Tablica 2.3.** Prosječni mjesečni srednjaci, maksimumi i minimumi temperatura zraka na klimatološkoj postaji Slunj u razdoblju 2007. – 2017. godine

Mjesec	Prosječni mjesečni srednjaci temperature zraka [°C]	Prosječni mjesečni maksimumi temperature zraka [°C]	Prosječni mjesečni minimumi temperature zraka [°C]
siječanj	1,5	10,6	-7,2
veljača	2,7	10,3	-4,3
ožujak	6,7	13,9	0,1
travanj	12	18,3	4,8
svibanj	15,9	22,7	9,4
lipanj	20	26	13,7
srpanj	22,1	28	14,6
kolovoz	21,1	26,3	15
rujan	15,5	22,1	10,2
listopad	10,6	17,7	3,4
studeni	6,8	14,9	-0,8
prosinac	2,5	11,7	-6,8



**Slika 2.5.** Prikaz prosječnih mjesečnih srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura zraka na klimatološkoj postaji Slunj u razdoblju 2007. – 2017. godine

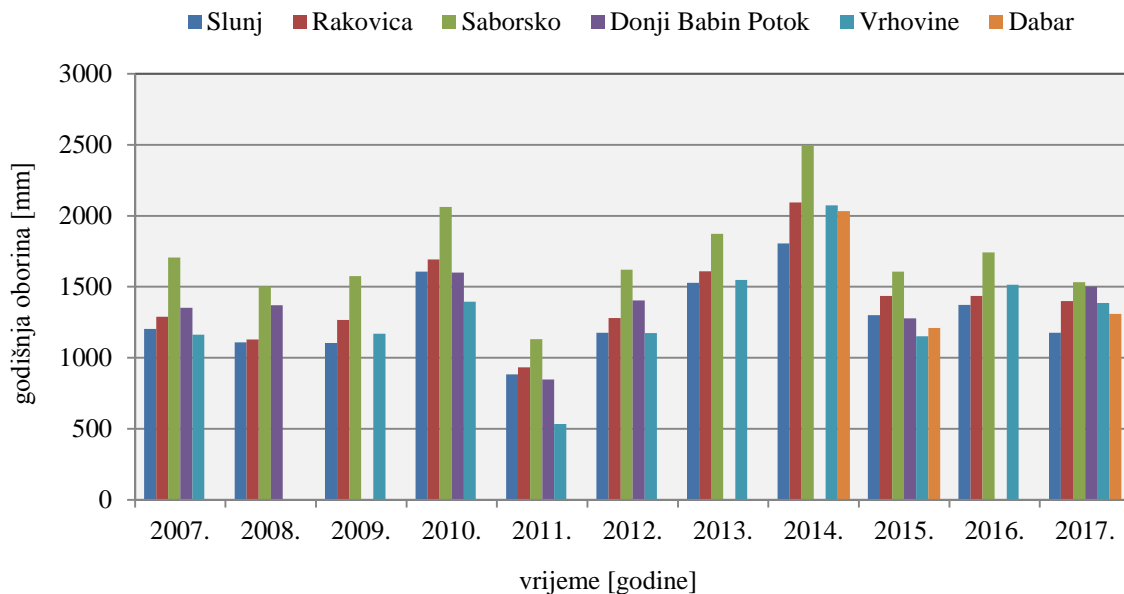
Oborina se na istraživanom području mjeri na klimatološkoj postaji Slunj i kišomjernim postajama: Rakovica, Saborsko, Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar.

Položaji kišomjernih postaja prikazani su na slici 5.19. Na postajama Slunj, Rakovica i Saborsko je u razdoblju od 2007. do 2017. godine kontinuirano mjerena dnevna količina oborina. Za kišomjernu postaju Donji Babin Potok nema podataka za godišnju količinu oborina za 2009. (poništen mjesec prosinac), 2013. (poništeni mjeseci lipanj, rujan, listopad), 2014. (poništeni mjeseci travanj i rujan) i 2016. (poništen mjesec siječanj) godinu. Za kišomjernu postaju Vrhovine nema podataka za količinu oborina u 2008. godini jer je poništen mjesec ožujak. Na kišomjernoj stanici Dabar nije se mjerila dnevna količina oborina do svibnja 2012. godine. Također, za godišnju količinu oborine na kišomjernoj stanici Dabar nema podataka za 2013. (poništeni mjeseci siječanj i veljača) i 2016. godinu (poništeni mjeseci siječanj i veljača). Oborine za pojedine mjesece su poništene zbog nesigurnosti točnosti mjerenja ili zbog prekida rada kišomjerne postaje. Godišnje količine oborina prikazane su u tablici 2.4. i na slici 2.6. Najviša količina oborina u svakoj godini pala je na kišomjernu postaju Saborsko (između 1130 mm i 2500 mm), a najniža količina oborina pala je na postajama Slunj (između 880 mm i 1800 mm) i Vrhovine (između 530 mm i 2070 mm). U tablici 2.4. su crvenom bojom označene godine u kojima nisu dostupna cjelogodišnja mjerenja dnevnih oborina.

**Tablica 2.4.** Godišnja količina oborina na klimatološkoj postaji Slunj i kišomjernim postajama Rakovica, Saborsko, Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar u razdoblju od 2007. do 2017. godine

GODIŠNJA KOLIČINA OBORINA [mm]						
Godina	Slunj	Rakovica	Saborsko	Donji Babin Potok	Vrhovine	Dabar
2007.	1202,5	1288,6	1706,4	1352,7	1161,6	-
2008.	1107,4	1128,4	1504,0	1369,5	-	-
2009.	1104,5	1265,8	1575,3	-	1170,2	-
2010.	1606,4	1693,2	2062,4	1600,1	1394,3	-
2011.	883,8	932,1	1130,9	847,2	533,5	-
2012.	1176,4	1279,2	1620,4	1403,4	1174,3	-
2013.	1527,1	1610,0	1873,8	-	1547	-
2014.	1804,4	2094,6	2494,3	-	2073,3	2032,5
2015.	1299,9	1435,6	1606,3	1278,4	1152	1209,5
2016.	1371,2	1435,5	1740,9	-	1513,9	-
2017.	1175,9	1400,0	1531,2	1499,8	1385,5	1310,1



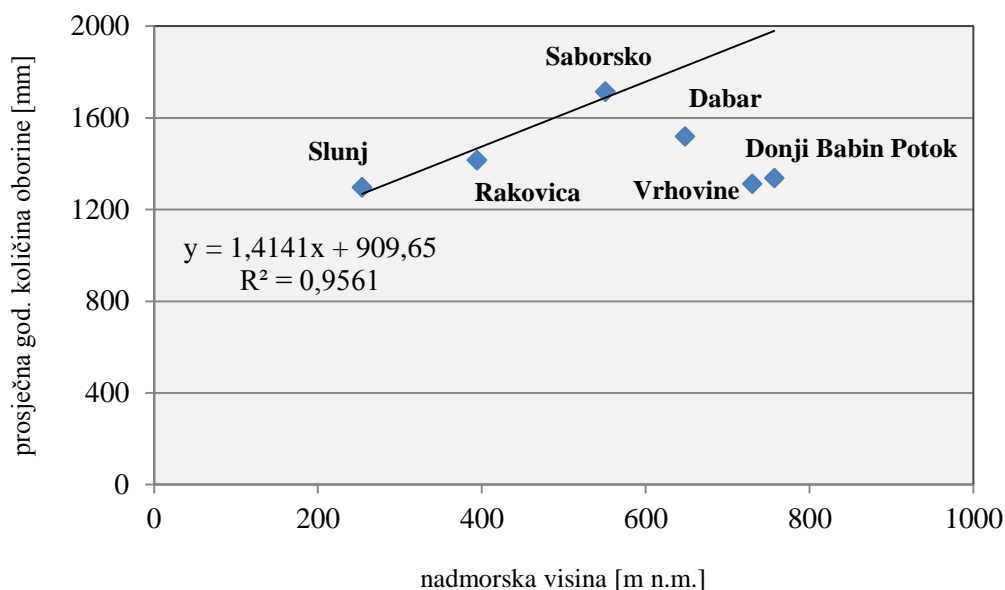


**Slika 2.6.** Godišnja količina oborina na klimatološkoj postaji Slunj i kišomjernim postajama Rakovica, Saborsko, Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar u razdoblju od 2007. do 2017. godine

U tablici 2.5. i na slici 2.7. nalaze se podatci o nadmorskim visinama postaja i prosječnoj godišnjoj količini oborina na postajama u razdoblju od 2007. do 2017. godine. Napomena, za pojedine postaje nisu dostupna cjelogodišnja mjerenja za pojedine godine, pa su zbog toga prosjeci za postaje Dabar i Donji Babin Potok mjereni za manje razdoblje, za razliku od kišomjernih postaja na kojima je kontinuirano mjerena dnevna količina oborine.

**Tablica 2.5.** Nadmorske visine postaja i prosječne godišnje količine oborine pale na njima u razdoblju od 2007. do 2017. godine

Kišomjerna postaja	Nadmorska visina postaje [m n.m.]	Prosječna godišnja količina oborine [mm]
Slunj	254	1296,3
Rakovica	394	1414,8
Saborsko	551	1713,3
Donji Babin Potok	757	1335,9
Vrhovine	730	1310,6
Dabar	648	1517,3



**Slika 2.7.** Ovisnost prosječne godišnje količine oborina i nadmorske visine na kišomjernim postajama

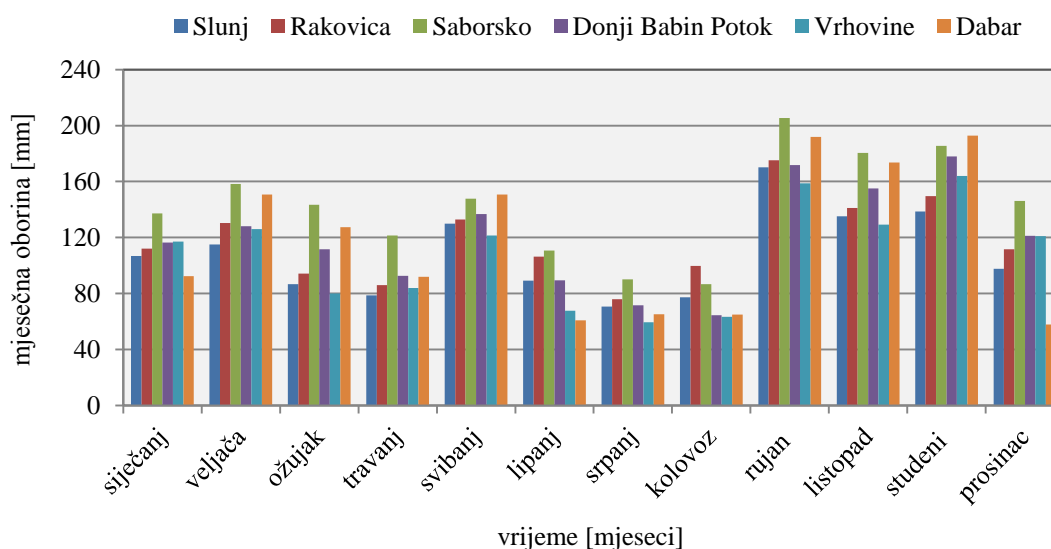
Na slici 2.7. vidi se kako postaje koje su sa sjeveroistočne strane Male Kapele pokazuju gotovo linearan trend (Slunj, Rakovica, Saborsko) povećanja prosječne godišnje količine oborine i nadmorske visine. Ali, može se zaključiti da nadmorska visina nema presudni utjecaj na količinu oborina, budući da je kišomjerna postaja Vrhovine na višoj nadmorskoj visini, a na nju padnu manje količine oborina od postaje Saborsko koja ima prosječno najviše količine oborine. Na postaju Vrhovine padne slična količina oborine kao na postaji Slunj, koja je općenito na najnižem dijelu istraživanog područja. U tome presudni utjecaj ima položaj Male Kapele, a kišomjerna postaja Saborsko nalazi u potkapelskoj strani Male Kapele gdje pada više oborina za razliku od postaje Vrhovine. Iz tablice 2.4. detaljnije se može uočiti da svake godine padne najviše oborina na kišomjernoj postaji Saborsko u odnosu na ostale postaje.

Izračunate su i prosječne mjesečne količine oborina u razdoblju od 2007. do 2017. godine. Najviše oborine (130-200 mm) padne u jesenskim mjesecima (rujan, listopad, studeni), dok najmanje oborine padne (60-110 mm) u ljetnim mjesecima koji su i najtopliji (lipanj, srpanj, kolovoz). Time se može zaključiti da hidrološka godina počinje u rujnu zbog naglog povećanja količine oborina. Nadalje, u svim mjesecima najviše oborine registrirano je na kišomjernoj postaji Saborsko, osim u kolovozu kada je najviše oborine registrirano na kišomjernoj postaji Rakovica. U zimskom i proljetnom razdoblju (od studenog do travnja) prosječno je najmanja količina oborina registrirana na klimatološkoj postaji Slunj, dok je najmanja prosječna količina oborina od kasnog proljeća do kasne

jeseni (od svibnja do listopada) registrirana na kišomjernoj postaji Vrhovine. Vrijednosti prosječnih mjesečnih količina oborina na kišomjernoj postaji Dabar mogu se izuzeti jer se na njoj mjeri samo u trogodišnjem razdoblju, za razliku od ostalih postaja. Prosječne mjesečne količine oborina u tablici 2.6. i slici 2.8.

**Tablica 2.6.** Prosječna mjesečna količina oborina na klimatološkoj postaji Slunj i kišomjernim postajama Rakovica, Saborsko, Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar u razdoblju od 2007. do 2017. godine

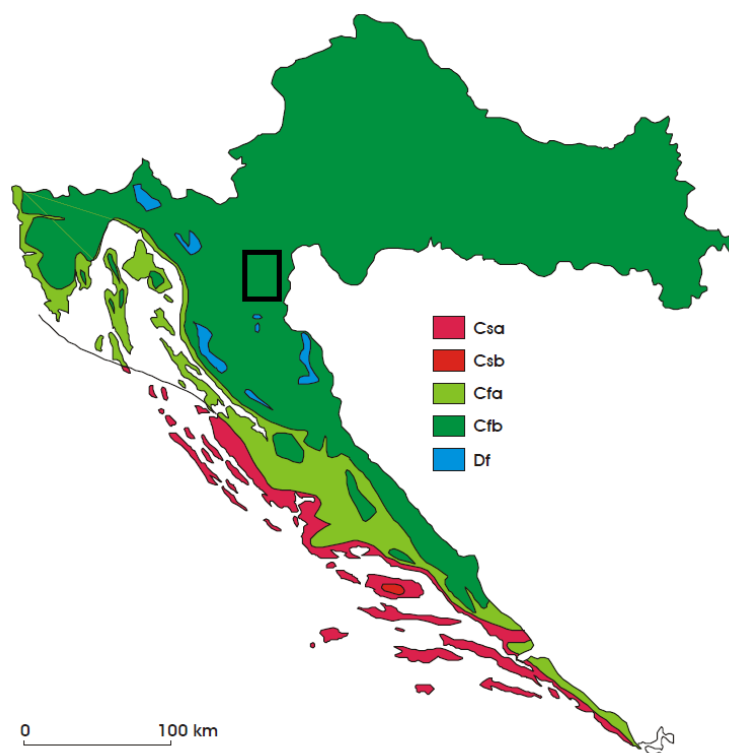
PROSJEČNA MJESEČNA KOLIČINA OBORINA [mm]						
mjesec	Slunj	Rakovica	Saborsko	Babin Potok Donji	Vrhovine	Dabar
siječanj	106,9	112,0	137,2	116,3	117,2	92,3
veljača	115,0	130,3	158,3	128,1	126,1	150,7
ožujak	86,6	94,3	143,4	111,6	80,0	127,5
travanj	78,6	85,9	121,5	92,6	84,0	91,9
svibanj	129,9	132,9	147,8	136,7	121,4	150,8
lipanj	89,3	106,3	110,8	89,4	67,6	60,9
srpanj	70,7	75,9	90,2	71,5	59,4	65,1
kolovoz	77,4	99,7	86,7	64,6	63,3	64,9
rujan	170,2	175,3	205,4	171,8	158,7	192,0
listopad	135,2	141,1	180,4	155,1	129,3	173,7
studeni	138,5	149,5	185,6	178,0	164,1	192,8
prosinac	97,7	111,6	146,1	121,3	121,0	57,8



**Slika 2.8.** Prosječna mjesečna količina oborina na klimatološkoj postaji Slunj i kišomjernim postajama Rakovica, Saborsko, Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar u razdoblju od 2007. do 2017. godine

Prema Köppenovoj podjeli klima (prema kojoj je Hrvatska klimatski regionalizirana za razdoblje od 1961. do 1990. godine) područje istraživanja pripada C razredu klima (umjereno topla kišna klima), tj. tip Cf, umjereno topla vlažna klima (slika 2.9.). Klime razreda C, dijele se na podtipove s vrućim ili toplim ljetom. Oznake su: a – vruće ljetno, srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca je  $\geq 22^{\circ}\text{C}$ , b – toplo ljetno, srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca niža je od  $22^{\circ}\text{C}$  (ŠEGOTA & FILIPČIĆ, 2003). Na slici 2.9. označeni su podtipovi klima: *Cfa* – umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom, *Cfb* – umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom, *Csa* – sredozemna klima s vrućim ljetom, *Csb* – sredozemna klima s toplim ljetom i *Df* – vlažna borealna klima.

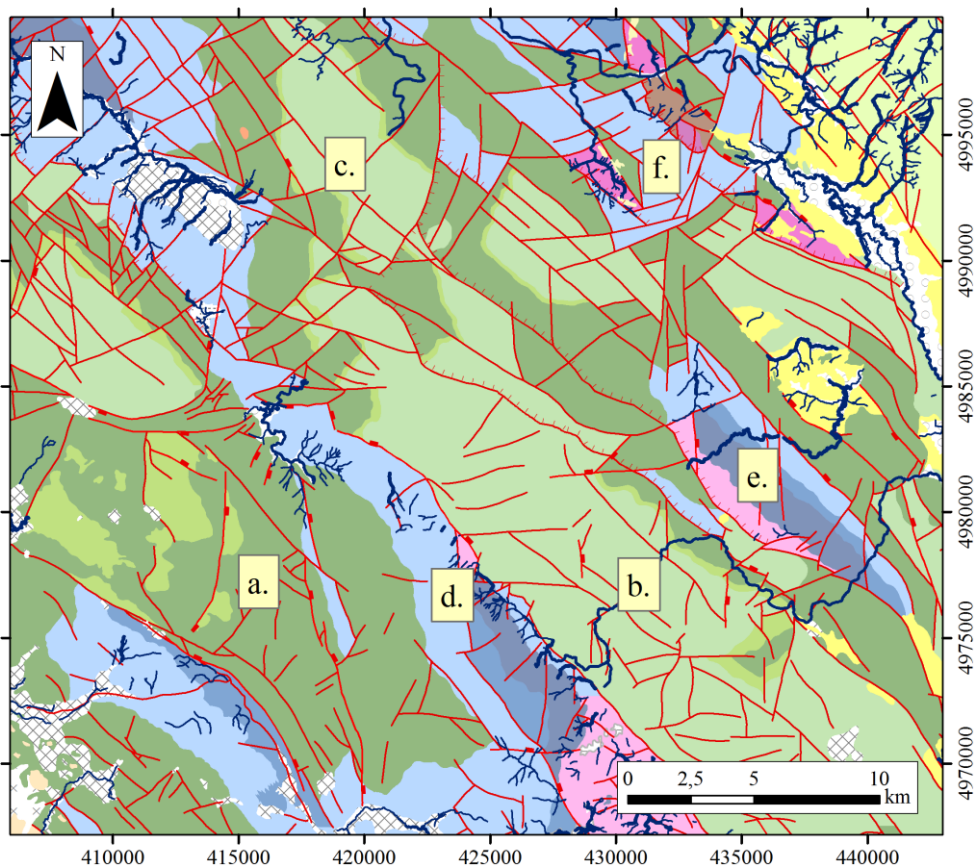
Prema prikazanim podacima o temperaturi zraka i količini oborine, područje istraživanja pripada tipu klime *Cfb*, umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom. Zanimljivo mali dio istraživanog (područja iznad 1200 m n.m.) ima snježno-šumsku klimu, klimu razreda D i to tip *Df*, vlažnu borealnu klimu.



**Slika 2.9.** Geografska raspodjela klimatskih tipova po W. Köppenu u Hrvatskoj u standardnom razdoblju 1961.-1990. (prema ŠEGOTA & FILIPČIĆ, 2003), uže područje istraživanja označeno je crnim pravokutnikom

### 3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Geološka građa istraživanog područja opisana je pomoću četiriju Osnovnih geoloških karata SFRJ, list Slunj (KOROLIJA et al., 1972), Ogulin (VELIĆ & SOKAČ, 1980), Otočac (VELIĆ et al., 1970) i Bihać (POLŠAK et al., 1967), M 1:100 000 i pripadajućih tumača lista Slunj (KOROLIJA et al., 1972), Ogulin (VELIĆ et al., 1980), Otočac (SOKAČ et al., 1970) i Bihać (POLŠAK et al., 1967). Budući da su geološke karte izrađene u različitim detaljnostima u smislu podjela kronostratigrafskih jedinica na pojedine katove, izrađena je pojednostavljena karta time što su sve jedinice podijeljene na geološke serije (epohe). Uz to je korištena i digitalna geološka karta sa stranica Hrvatskog geološkog instituta. Za naslage srednjeg trijasa na samom području rijeke Slunjske korišten je opis iz rada o hidrogeološkim značajkama zaštićenog područja prirode Slunjsica (TRPČIĆ & PLETIKOSIĆ, 2010), a za detaljniji opis kvartarnih naslaga korišten je elaborat za uspostavu regionalnog vodocrpilišta Lička Jesenica (PAVIČIĆ et al., 2007). Geološke značajke istraživanog područja prikazane su na slici 3.1. u mjerilu 1:200 000, Prilogom 2. i pripadajućim tumačem oznaka (Prilog 2a.).



**Slika 3.1.** Pojednostavljena geološka karta istraživanog područja M 1:200 000 (Tumač oznaka – Prilog 2a.)

Najstarije naslage na širem istraživanom području pripadaju permskim naslagama, dok najmlađe pripadaju kvartarnim naslagama aluvija.

Najstarije stijene istraživanog područja pripadaju klastitima **perma (P)**, a nalaze se na Kremenitoj glavi. Predstavljene su kontinuiranom serijom klastita u kojem se ritmički izmjenjuju šejlovi, siltiti, pješčenjaci i rjeđe sitnozrni konglomerati. Nije primjećeno prisutstvo karbonatnih stijena.

Naslage **donjeg trijasa (T<sub>1</sub>)** u normalnoj superpoziciji prate razvoj perma te ih se nalazi samo na Kremenitoj glavi. Čine ih klastiti s lećama dolomita iz sajasa (tanko uslojeni tinjčasti škriljavi pješčenjaci s elementima intrabazenskih karbonatnih stijena), te klastita i karbonata iz kampila u kojem količina terigene komponente opada, a postupno prevladava karbonatna sedimentacija.

**Srednji trijas (T<sub>2</sub>)** izgrađuju stijene pretežno od karbonatnih naslaga u kojima dominiraju dolomiti. Dolomiti, na području južno od Slunja, su po mikroskopskoj strukturi sitnozrni ranodijagenski dolomitizirani vapnenci. Najčešće su to sivi, gromadasti i drobljivi dolomiti. Naslage srednjeg trijasa nalazimo južno od Slunja u kontaktu s donjokrednim naslagama, a naslage srednjeg trijasa na području Furjana u kontaktu s gornjokrednim naslagama.

U zoni između Brajdića (jugozapadno od Rakovice) i Drežnik Grada razvijeni su svijetlosivi, sitnozrni, pretežno dobro uslojeni dolomiti **gornjeg trijasa (T<sub>3</sub>)**. Dolomiti gornjeg trijasa također se nalaze u okolici Kuselja i na širom području Plitvičkih jezera. Debljina slojeva iznosi najčešće 0,5 metara, rjeđi su slojevi od 0,2-0,3 metra i preko jednog metra. Dolomiti vjerojatno nisu primarni nego su nastali dolomitizacijom primarnih vapnenaca, a sadržaj dolomitne komponente iznosi 90-100%. Debljina ovih naslaga iznosi 400 do 600 metara.

Naslage **donje jure (J<sub>1</sub>)** prostiru se od jugoistočno Rakovice i sjeveroistočno od Drežnik Grada (područje Lipovače), zatim na padinama Razdolja i Preke Kose. U ovim područjima karakteristična je dominacija dolomitnih naslaga. Dolomit je u pravilu tanko uslojen. Sjeverozapadno od Plitvičkih jezera u donjem dijelu donje jure prevladavaju sivi, tamnosivi i smeđi uslojeni vapnenački dolomiti s rijetkim ulošcima pločastog i laminiranog vapnenca. Gornji dio donje jure sastoji se uglavnom od sivog i smeđeg odlično uslojenog

vapnenca koji se izmjenjuje sa sivim i smeđim kristaliničnim dolomitom. Debljina donjojurskih naslaga iznosi 400 do 600 metara.

Sjeveroistočno od Vrhovina između Petrinić polja i Babinog potoka prostire se veliko područje izgrađeno od dolomita **srednje jure (J<sub>2</sub>)**. Na tom se području, s obzirom na veliku debljinu dolomita, kao i na nalaske gornjojurskih fosila u središnjim dijelovima kompleksa, pretpostavlja da najniži nivo dolomitnih naslaga odgovara srednjoj juri. Naslage čine dolomiti i vapnenački dolomiti koji su najčešće slabo uslojeni, a slojevitost im je često maskirana pijeskom koji je nastao trošenjem dolomita.

Naslage srednje jure nalazimo u pojasu od Rakovice preko Lipovače i u područjima Razdolja i Preke kose, sjeverozapadno od Plitvičkih jezera. Naslage srednje jure sastoje se pretežno od vapnenaca, a u manjoj mjeri dolomita.

Dolomiti **gornje jure (J<sub>3</sub>)** izgrađuju teren sjeveroistočno od Vrhovina između Petrinić polja i Vrhovinskog polja, preko Rudopolja i Donjeg Babinog Potoka te od Ličke Jesenice prema jugoistoku. U središnjim dijelovima ovih dolomita česte su pojave leća vapnenaca, debljina 10-150 metara. Dolomitni dio naslaga tvore jednolični dolomiti i vapnenački dolomiti, krupnokristalinični, nepravilnog loma i slabe slojevitosti. Pretežno dolomitni razvoj gornje jure je i sjeverozapadno od Ličke Jesenice prema jezeru Begovac (Blato), rijeci Dretulji i gradu Plaškom, te uz gornji tok Mrežnice u kojem vapnenci čine leće ili su tek ponegdje u malom intervalu u izmjeni s dolomitima koji su redovito vrlo trošni. Za debljinu dolomita pretpostavlja se da je između 800 i 1000 metara.

Gornjojurske naslage otkrivene su u području Rakovice, zatim jugoistočno od Rakovice te u uskom pojasu sjeverozapadno od Drežnik Grada. Također, pojas gornjojurskih naslaga pruža se od Velike Titre prema Čorkovoj uvali, zatim jugoistočnim padinama Velikog Javornika da bi se u smjeru juga naglo proširio zauzimajući prostranstvo u području Babinog Potoka. U oksfordu-kimeridžu prevladaju vapnenci i dolomiti koji se često vertikalno i lateralno izmjenjuju. Vapnenci su debelo uslojeni. Naslage kimeridž-portlanda se najčešće sastoje gotovo isključivo od dolomita, a naslage vapnenaca se javljaju kao deblje ili tanje leće u dolomitu. Dolomit je debelo uslojen. Vapnenci dolaze u većoj količini najčešće u donjem dijelu ove jedinice. U području Lipovače vapnenac se izmjenjuje s dolomitom, a u području sjeverozapadno od Drežnik Grada vapnenac prevladava, dok se u ostalim područjima javlja u obliku rijetkih leća i uložaka u dolomitu. Stijena je pretežno debelo uslojena.

Na širem slunjskom području, u nižim dijelovima gornje jure naslage su karakterizirane lateralnom i vertikalnom izmjenom dolomita s vapnencima. Uslojenost je bolje izražena u vapnencima debljine slojeva 25-80 centimetara. Idući prema mlađim dijelovima gornje jure, postupno prevladavaju vapnenci, dok su dolomiti i dolomitični vapnenci rjeđi. Debljina gornje jure iznosi oko 500 metara na slunjskom području.

Na području od Ličke Jesenice do Saborskog, u Jurjevoj dragi, u Vrhovinskom polju i u Rudopolju, uz gornjojurske dolomite je izdvojen dio dolomita koji zbog superpozicijskog odnosa s krovinskim vapnencima donje krede sugerira da dio ovih dolomita ulazi u **donju kredu (K<sub>1</sub>)**. Granica između jure i krede postavljena je aproksimativno. U litološkom pogledu radi se o dolomitima, vapnenačkim dolomitima i dolomitičnim vapnencima.

Sjeveroistočno od Ličke Jesenice na području Velikog Pištenika na najstariji donjokredni član nastavlja se kontinuirana sedimentacija na prijelazu jure u kredu koja je markirana razvojem dolomita i dolomitnih breča. Slijedi izmjena dolomitičnih vapnenaca i vapnenaca mikritne grupe koji označavaju neposredan prijelaz u vapnenački neokom koji sudjeluje u građi sinklinalnih krila. U baremu se nastavlja sedimentacija pretežno mikritnih vapnenaca. Naslage apta i alba zastupane su isključivo vapnencima. Gornja granica alba obilježena je razvojem pojasa dolomita na prijelazu u gornju kredu. Debljina donje krede u ovom području iznosi od 1200 do 1400 metara.

Naslage donje krede otkrivene su i jugozapadno od Rakovice, na području između Lipovače i Kršlje i u području Velikog Javornika. Donja kreda sastoji se isključivo od vapnenaca i dolomita. Vapnenci i dolomiti se često lateralno i vertikalno izmjenjuju. Dolomit se javlja u većoj količini u najgornjem dijelu donje krede uz granicu s cenomanom gdje je usko povezan s dolomitno-vapnenačkim brečama prijelaza iz donje u gornju kredu. Vapnenac je odlično uslojen. Debljina donje krede varira od 700 do 1000 metara. Uz završni dio donje krede vezana je pojava dolomitno-vapnenačkih breča koje su slabo sortirane.

Naslage donje krede imaju najveće rasprostranjenje u široj okolini Slunja. Neprekinut pojas pruža se pravcem sjeverozapad-jugoistok prostorom južno od Korane i grada Slunja, između Močila i Rakovice, izgrađujući sinklinalne dijelove bora ili njihova krila. Predstavljene su vapnencima koji su redovito dobro uslojeni s debljinom slojeva 15-20 centimetara. Debljina donje krede iznosi oko 800 metara.



Između Ličke Jesenice i Dabra (na Velikom i Malom Liscu) nalaze se naslage dolomita i dolomitnih breča koje su u ovom radu postavljene u **prijelaz iz donje u gornju kredu (K<sub>1,2</sub>)**. Superpozicijski leže između donjokrednih vapnenaca ili breča i gornjokrednih rudistnih vapnenaca cenomansko-turonske starosti, transgresivnog položaja prema donjokrednim naslagama. U litološkom pogledu to su krupnokristalinični vapnenački dolomiti, dolomitne i vapnenačke breče.

Sjeveroistočno od Ličke Jesenice, u kontinuiranom slijedu između završnog dijela dokumentirane donje krede i vapnenaca donjeg cenomana razvijen je uski pojas (120-150 metara) dolomita. Nalazimo ih na više međusobno odvojenih lokaliteta na području Pištenika. Litološki u sastavu ovog člana nalazimo različite vrste karbonatnih stijena, prvenstveno dolomite, pa dolomitne breče i rijetko različitim stupnjem dolomitizacije zahvaćene vapnence. Dolomiti su sitnozrnati do krupnozrnati i redovito su trošni.

Kontinuirano na donjokredne vapnence taloženi su dolomiti i dolomitne breče i na području Močila, između donjokrednih i gornjokrednih vapnenaca izgrađujući krila bora. Dolomiti su mjestimično vrlo trošni i neuslojeni. Dolomitne breče sastoje se od dolomitnih fragmenata s dolomitnim cementom. Debljina ovih naslaga varira od 150 do 200 metara.

Na dolomitima i dolomitnim brečama prijelaznog nivoa nastavlja se razvoj isključivo vapnenačkih naslaga **gornje krede (K<sub>2</sub>)**. Najvećim dijelom izgrađuje gornjokredne karbonatne komplekse u Maloj Kapeli (između Begovca i Glibodola), jezgru sinklinale koja se prostire na jugoistok. Uz to područje izgrađuju sinklinalne naslage od Strmice prema jugoistoku, tj. Pišteniku. Dominantno vapnenački razvoj je u većem dijelu terena zastupan vapnencima najčešće sparitnim varijetetima prevladavajućim u nižim dijelovima, a rjeđe mikritima. Debljina koju je zbog čestog rasjedanja teško definirati pretpostavlja se na oko 900 metara.

Gornjokredne naslage otkrivene su od Saborskog prema istoku i jugoistoku gdje izgrađuju masiv Trovrha i Gole Plješivice. Naslage cenomana i turona sastoje se od pretežno uslojenog vapnenca s povremenim ulošcima dolomita. Debljina slojeva varira, a najčešća debljina im je između 0,5-1 metra, a povremeno se javlja i tanje uslojeni pločasti vapnenac. Senonske naslage sastoje se isključivo od vapnenaca koji često sadrže brojne rudiste. Nedostatak dolomita litološki odvaja senonske naslage od cenomansko-turonskih. Debljina senonskih naslaga na tom području iznosi između 600 i 800 metara.

Naslage cenomana i turona otkrivene su i u području Močila gdje izgrađuju sinklinalne dijelove bora. Također su otkrivene i na području Mašvine. Na području Mašvine ove se naslage nalaze u rasjednom kontaktu s vapnencima donje krede ili srednjeg trijasa. Predstavljene su pretežno slabo uslojenim vapnencima. Dolomiti su rijetki i javljaju se u formi tanjih leća. Debljina cenomana i turona na tom području utvrđena je na predjelu Velikog Stožera, od 800 do 850 metara. Na njih se nastavljaju rudistni vapnenci senona koji su debljine oko 400 metara.

Sjeveroistočno od rijeke Korane nalazi se neprekinut pojas **kredno-paleocenskih klastita (K, Pc)** koji se mogu naći još i u obliku erozionih ostataka u području Mašvine. U njihovom sastavu dominiraju laporci s tanjim ulošcima sitnozrnih pješčenjaka.

Uz rijeku Koranu, u obliku erozijskih ostataka te na području Kršlje, nalaze se sedimenti **srednjeg miocena (M<sub>2</sub>)**. Primarno su transgresivni na sve starije stijene. Prevladavaju sitnozrni, ponekad slabo zaobljeni šljunci i pijesci s lećama tufitične gline. Najčešće se izmjenjuju s laporima. Debljina ovih naslaga je pretpostavljena na 250-300 metara.

Male površine sjeverno od samog izvora Slunjčice (uz prtok Pećine) pripadaju naslagama **pliocena i kvartara (Pl,Q)** kojeg čine naslage pijesaka i šljunaka.

**Proluvijalni nanos (Q)** se nalazi u rubnim dijelovima Vrhovinskog polja i Rudopolja. Sastoje se od slabo sortiranih šljunaka, pjeskovitih šljunaka, pijesaka i glinovitih pijesaka izmiješanih s pjeskovitim glinama i glinovitim prahovima u različitim udjelima. Nanos je ispiran i odnošen vodom s viših dijelova terena u polja, uvale i dolove. Proluvijalni nanos nalazi se i uz dolinu rijeke Dretulje, Dabarskom polju te između Malog i Velikog Lisca.

**Barski sedimenti (Q)** su rašireni u poljima i riječnim dolinama koja budu plavljena. Tim naslagama je prekriveno područje uz estavelu Begovac i u Dabarskom polju.

Kvartarne naslage **aluvija (Q)** nađene su na području ponornice Ličke Jesenice i na širem području uz Koranu i Dretulju. Na području Ličke Jesenice aluvij se sastoji od mješavine valutica šljunaka i pijesaka s prahom. Sadržani su svi granulometrijski prijelazi od sitnozrnate do krupnozrnate komponente. Ishodišni materijal su vapnenci i dolomiti.

Debljina nanosa ima veliku promjenjivost, može biti i preko desetak metara u pojedinim dijelovima doline Ličke Jesenice.

U tektonskom se pogledu, jugoistočni dio terena može rekonstruirati kao sjeveroistočno krilo veće sinklinale koja se nastavlja prema jugozapadu u Ličko Sredogorje (na slici 3.1. slovo a.). Ovo područje je poremećeno rasjedima. Gornjojurske i donjokredne dolomitne naslage više puta izbijaju na površinu zbog brojnih uzdužnih rasjeda kojima su jugozapadna krila relativno uzdignuta (Jurjeva draga – Lička Jesenica, Brezovac – Rudopolje). Manje značajni rasjedni poremećaji, registrirani donjokrednim naslagama, nisu znatnije poremetili inače relativno blage bore, već su samo prividno zadebljali donjokredne naslage. U sastav ove sinklinale ulaze gornjojurske naslage koje se na potezu Velika Titra – Veliki Javornik pružaju u dinarskom pravcu, a na potezu Kameniti Vrh – Babin Potok kreću prema zapadu zatvarajući tako jugoistočno čelo ove sinklinale. Centralni dio sinklinalne strukture zauzimaju naslage donje krede. Naslage su gotovo u cijelom području blago sekundarno borane i poremećene s nekoliko vertikalnih rasjeda. Opisana sinklinalna struktura je prema sjeveroistoku odijeljena jakim rasjedom od trijasko-jurskog prodora Plitvičkih jezera.

Tektonska jedinica Trovrh – Gola Plješivica (na slici 3.1., slovo b.) izgrađena je od isključivo krednih naslaga. Ona u cjelini predstavlja prostorni sinklinorij dinarskog pravca koji se nastavlja na sjeverozapadnu tektonsku jedinicu Gojak – Tobolić (na slici 3.1., slovo c.). Najmlađe naslage u jezgri sinklinorija su rudistni vapnenci senona. Ove su, kao i starije kredne naslage, često sekundarno borane. Bore su blage i nagibi slojeva iznose najčešće 10-30°. Sa sjeveroistočne i jugozapadne strane sinklinorij je omeđen jakim rasjednim zonama. Tako ga sjeveroistočno od strukturnog područja Čatrnja-Lipovača dijeli strmi reversni rasjed. S jugozapada sinklinorij je spušten uz rasjed od Saborskog prema Plitvičkim jezerima do Prijeboja koji ujedno čini granicu prema trijasko-jurskom prodoru kod Plitvičkih jezera.

Strukturno područje od Plitvičkih jezera prema Koreničkom polju obuhvaća tektonski prodor trijasko-jurskih naslaga (na slici 3.1., slovo d.). Taj prodor je sa sjeveroistoka omeđen vrlo jakim rasjedom koji se dinarskom pravcu pruža od Saborskog do Koreničkog polja. Prema sjeverozapadu ovaj rasjed se preteže do Ličke Jesenice pa mu ukupna duljina iznosi oko 30 km. To je normalni rasjed s paraklazom pretežno nagnutom prema sjeveroistoku. S jugozapada je trijasko-jurski prodor ograničen, također, jakim

rasjedom dinarskog pravca koji se proteže od Kuselja na Plitvički Ljeskovac i dalje do Korenice. Prema sjeverozapadu ovaj se prostor u obliku antiforme, s jezgrom od gornjokjurskih dolomita, nastavlja prema Ličkoj Jesenici, Begovcu i Plaškom.

U strukturnom području Lipovače (na slici 3.1. slovo e.) osobito je značajan prodor trijasko-jurskih naslaga koji se pruža u dinarskom pravcu. Naslage ulaze u djelomično sačuvanu antiklinalu koja je prebačena prema jugozapadu. U tom smjeru (na potezu Drežnik Grad – Brajdići) dolomiti gornjeg trijasa naliježu uz strmi reversni rasjed na donjokredne naslage. Prema sjeveroistoku na trijaski dolomit nastavlja se kompletni slijed jure i dio najdonje krede. Sve su ove naslage nagnute prema sjeveroistoku s prosječnim nagibom 40-60°.

Na širem slunjskom području najvažniji strukturni tip je ljuskava građa, koja rezultira iz neposrednog utjecaja navlake Petrove gore. Primjer se nalazi u širem području Slunja gdje je reversno natisnut paleozoik i srednji trijas na sinklinalne dijelove gornje jure (na slici 3.1. slovo f.), odnosno donje krede. Rasjedna ploha savijena je lučno s maksimalnom amplitudom navlačenja u području čela ljuske (Kremenita glava) gdje su najdublje otvorene naslage paleozoika. Jugozapadno od Kremenite glave se nalazi slična struktura čiji je intezitet slabije izražen i gdje je srednjetrijaska antiklinala reversno natisnuta tektonski reduciranim jugozapadnim krilom na donju kredu. Jačina sažimanja slabi tako da se jugozapadnije (na području Močila) nalazi više bora koje su odsječene lomovima sekundarnog značenja.

#### 4. GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Geomorfološke pojave i oblici koji se mogu uočiti na površini su prvi pokazatelj okršenosti nekog područja. Te pojave i oblici definiraju krški reljef, a posljedica su geomorfoloških procesa i često neotektonskih pokreta. Geomorfološke analize imaju zadaću utvrđivanja uvjeta za infiltraciju površinskih (oborinskih) voda koje napajaju krški vodonosnik. Napajanje vodonosnika odvija se infiltracijom kroz nekonsolidirani materijal koji pokriva okršene stijene, izravnim ulazom vode u raspucanu i okršenu stijensku masu cijelom površinom (difuzno napajanje) ili poniranjem površinskih tokova (koncentrirano napajanje).

Zbog toga se izrađuju karte inteziteta okršenosti kojima se prikazuje prostorni raspored vrijednosti koeficijenta okršavanja. Koeficijent okršavanja predstavlja broj vrtača po jedinici površine. Vrtache (ponikve, doci) su depresije (slika 4.1.) koje omogućuju izravan put površinskoj vodi da se drenira u podzemlje, tj. koncentrirano napaja krški vodonosnik. Za sva područja na pojedinom slivu treba izraditi geomorfološku kartu na kojoj se izdvajaju i prikazuju neokršeni dijelovi sliva, okršeni dijelovi sliva u nekoliko kategorija s obzirom na intenzitet okršenosti, vrtače, ponori i ponorne zone.

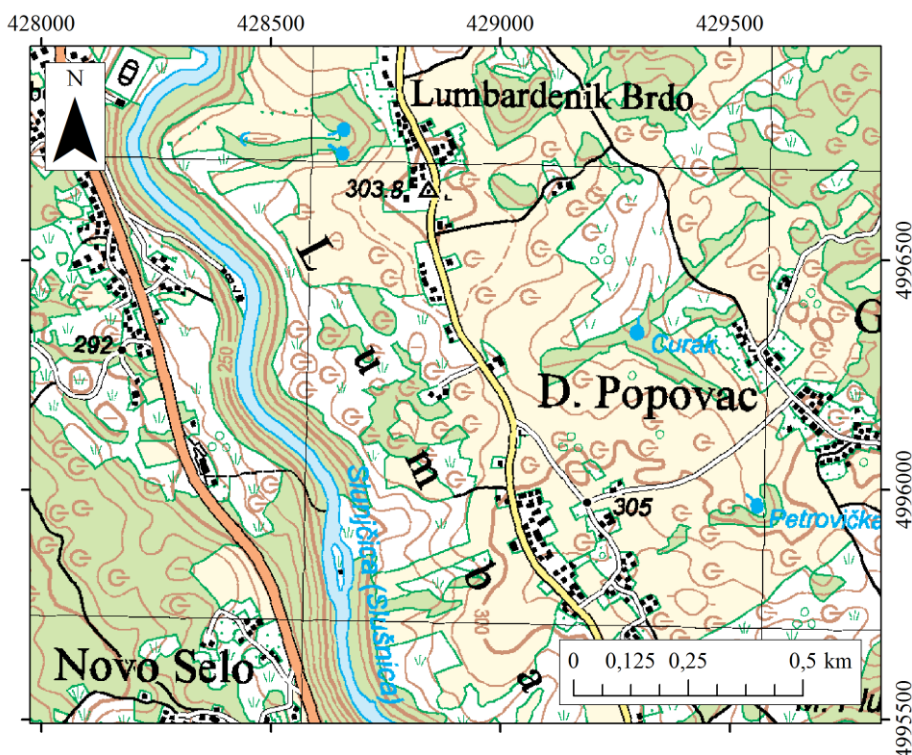


**Slika 4.1.** Vrtache na području Lumbardenika

BOČIĆ et al., (2010) pri istraživanju geomorfoloških obilježja Slunjske zaravni prosječne visine 353 m n.m. (za razliku od sliva rijeke Slunjčice – 639 m n.m.), utvrdili su 14 314 vrtača s prosječnom gustoćom od 42,5 vrtača/km<sup>2</sup> što je dokaz da je ovo područje izrazito okršeno. Više od 60% vrtača na tom prostoru nalazi se na karbonatnim stijenama gornjojurske starosti, a najveća gustoća vrtača nalazi se u području visinskog razreda od 300 do 350 m n.m. Tek dio Slunjske zaravni pripada slivu rijeke Slunjčice, a također veliki dio sliva ne pripada zaravnjenom području, već gorskom području Male Kapele.

Pri izradi karte inteziteta okršenosti koristila se topografska karta mjerila 1:25 000, Hrvatske geodetske uprave na kojoj su se utvrđivale pozicije dna vrtača. Na slivu rijeke Slunjčice time je utvrđeno 6406 vrtača, a u širem području preko 20 000 vrtača. Na isječku topografske karte na slici 4.2. prikazani su položaji vrtača uz srednji dio toka rijeke Slunjčice.

U ovom radu određeni su koeficijenti okršavanja isključivo za sliv rijeke Slunjčice u odnosu na nadmorsku visinu i geološka periode, a za šire područje istraživanja rađena je prostorna gustoća vrtača te su utvrđene zone najveće okršenosti.



Slika 4.2. Vrtače uz tok rijeke Slunjčice na području Lumbardenika (M 1:10 000)

#### 4.1. Prostorna gustoća vrtača na istraživanom području

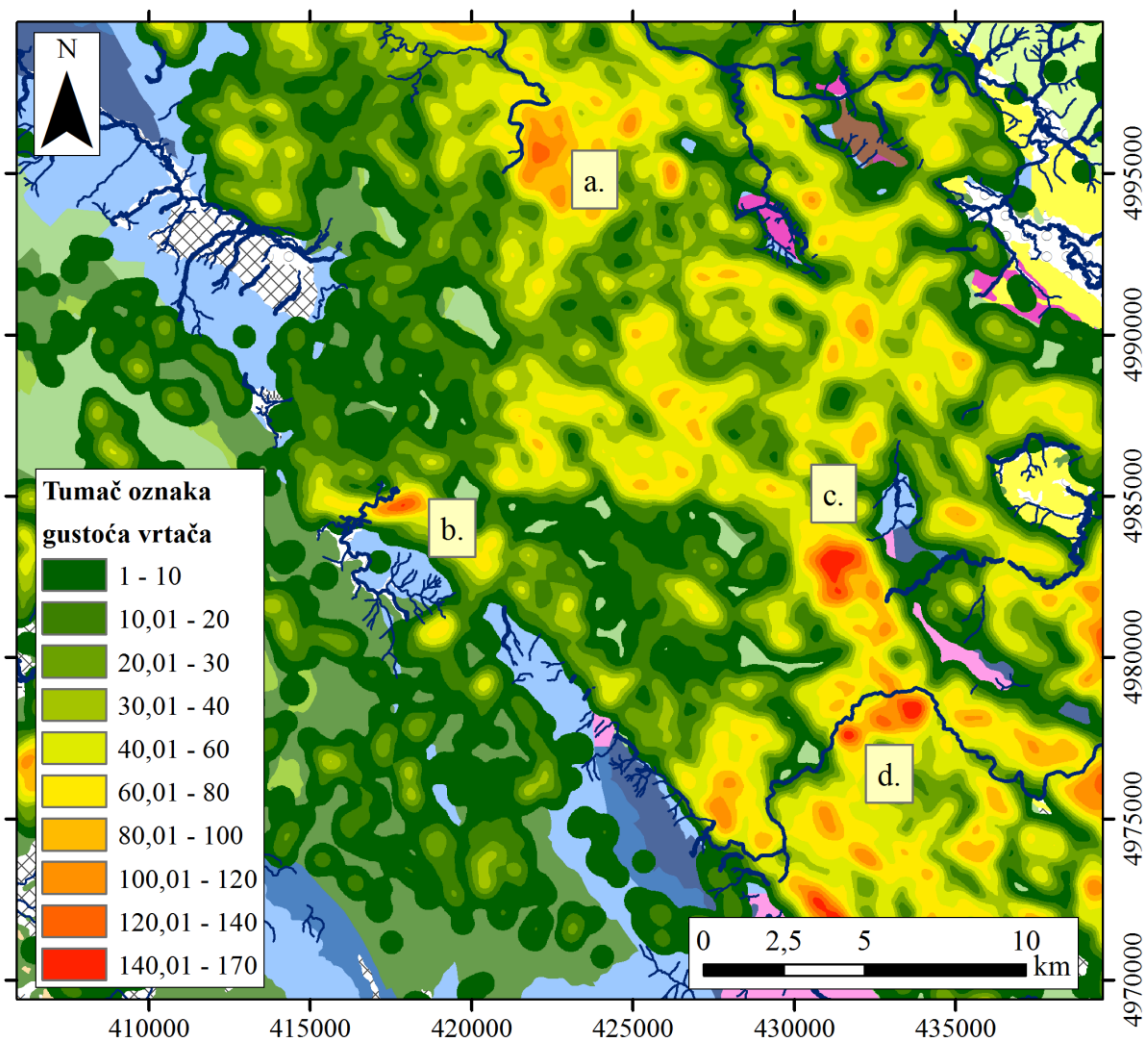
Metode prostorne gustoće točkastog uzorka (vrtača) dijele se na dvije skupine. Prva se temelji na broju pojave unutar određene jedinične površine, a druga je vezana uz kernel metode proračuna gustoće (PAHERNIK, 2012). U ovom radu korištena je jednostavna kernel metoda proračuna gustoće. Temeljna je zamisao metode da točkasti uzorak (vrtače) ima određenu gustoću na bilo kojoj lokaciji unutar sebe, a ne samo na onoj gdje se pojedina pojava nalazi. Jednostavnom kernel metodom gustoća pojave vrtača predstavlja vrijednost broja pojave vrtača unutar kruga radijusa  $r$  čije se središte nalazi na lokaciji vrtača  $t$ , a ta vrijednost se dijeli s površinom kruga istog radijusa. Dobiveni rezultati prikazuju se u rasterskom obliku jer su i same lokacije vrtača  $t$  definirane ćelijama pravilne rasterske mreže unutar istraživanog područja. Gustoća pojave vrtača  $\lambda_t$  na lokaciji  $t$  određena je izrazom:

$$\lambda_t = \frac{\text{br. } [S \in K(t,r)]}{\pi r^2} \quad (4-1)$$

gdje su: *br.* broj točaka (dna vrtača) koji čine skup  $S$  i pripadaju krugu  $K(t,r)$  radijusa  $r$ , sa središtem na lokaciji  $t$ . Nakon proračuna broja pojave vrtača unutar kruga  $K(t,r)$  slijedi pomak na sljedeću lokaciju  $t+1$  i tako redom dok se ne dobije vrijednost gustoće vrtača unutar prostornog uzorka za sve ćelije rasterske mreže (PAHERNIK, 2012). Određivanje vrijednosti radijusa  $r$  najvažnije je za proračun prostorne gustoće vrtača. Kod male vrijednosti radijusa  $r$  gustoća uzorka bit će vezana uz pojedinu pojavu uzorka, a ne gustoće u njegovu okružju, dok kod velike vrijednosti radijusa  $r$  izračunata vrijednost gustoće pojave unutar promatranog uzorka bit će svugdje podjednaka i približavat će se vrijednosti prosječne gustoće u danom uzorku. U ovom je slučaju za određivanje prostorne gustoće vrtača na istraživanom području uzeta površina kruga  $1 \text{ km}^2$ , koja odgovara radijusu od 564 metara. Prostorna gustoća vrtača izračunata je u softveru ARCGIS Desktop 10.1, pomoću alata *Kernel density* (Spatial analyst tools). Najveća gustoća vrtača na samom slivu rijeke Slunjčice iznosi  $160,66 \text{ vrtača/km}^2$ , aritmetička sredina iznosi  $20,31 \text{ vrtača/km}^2$ , a standardna devijacija  $23,16 \text{ vrtača/km}^2$ . Pri izračunu prostorne gustoće vrtača korištene su i vrtače koje se nalaze izvan sliva tako da na rubovima sliva budu realne vrijednosti gustoća vrtača. Prostorna gustoća vrtača na širem području prikazana je na slici 4.3. Prostorni maksimumi gustoća vrtača (preko  $100 \text{ vrtača/km}^2$ ) nalaze se na nekoliko područja. Na području između gornjojurskih vapnenaca i dolomita i donjokrednih



vapnenaca na području istočno od samog izvora Mrežnice (slika 4.3. slovo a.) prostorna gustoća vrtača prelazi 100 vrtača/km<sup>2</sup>. Na kontaktu donjokrednih vapnenaca i gornjojurskih dolomita na području Ličke Jesenice (slika 4.3., slovo b.) prostorna gustoća vrtača iznosi do 140 vrtača/km<sup>2</sup>. U rasjednom kontaktu između gornjotrijaskih dolomita i donjokrednih vapnenaca u blizini Rakovice (slika 4.3. slovo c.) prostorna gustoća vrtača prelazi 160 vrtača/km<sup>2</sup>. U ponornoj je zoni Korane zabilježena najveća prostorna gustoća vrtača od 166 vrtača/km<sup>2</sup> (slika 4.3. slovo d.). Minimumi vrijednosti prostorne gustoće vrtača (manje od 1 vrtače/km<sup>2</sup>) su na gornjojurskim dolomitima od Ličke Jesenice prema Kuselju te Plitvičkim jezerima, gornjojurskim dolomitima i proluviju Dretulje i estavele Begovac, na srednjotrijaskim dolomitima južno od Slunja, na permskim naslagama Kremenite glave, gornjojurskim i gornjotrijaskim dolomitima južno od Rakovice (područje Lipovače) te u miocenskim naslagama na području Kršlje.

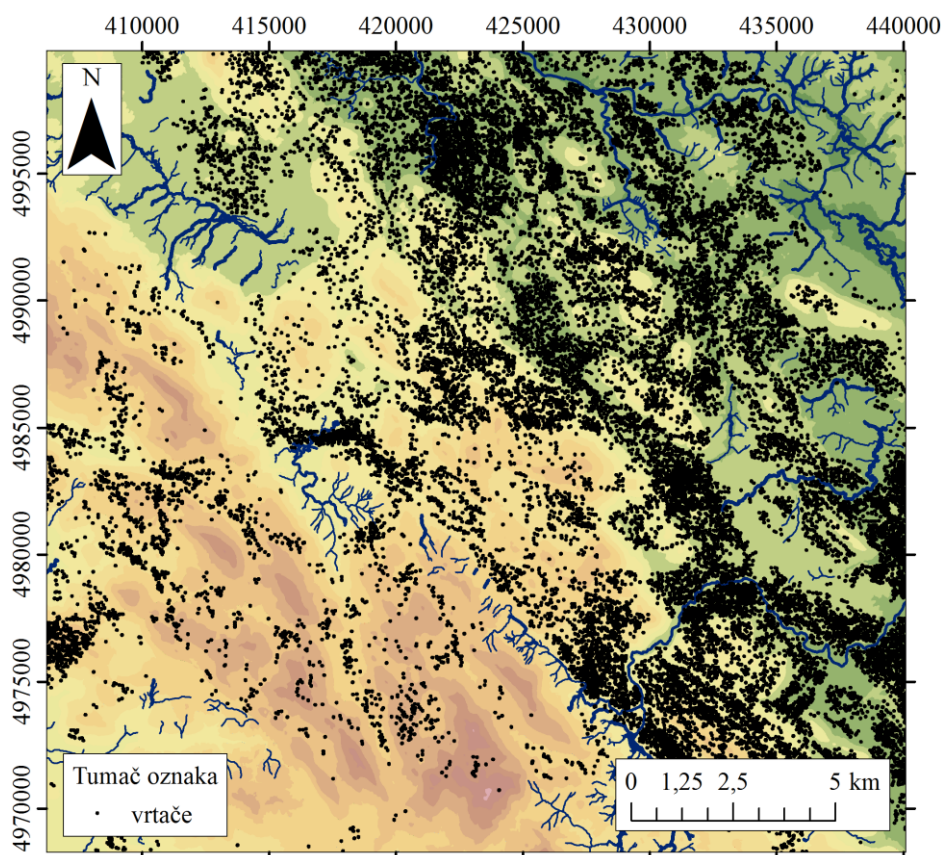


Slika 4.3. Prostorna gustoća vrtača [km<sup>-2</sup>] izrađena jednostavnim kernel metodom



## 4.2. Koeficijent okršavanja u odnosu na visinske razrede i geološka doba

Kako su pojave vrtača vezane i za nagib terena, prikaz koeficijenta okršavanja koristan je samo pri istraživanju visoravni i sličnih zaravnjenih površina. Općenito na zaravnjenim terenima postoji veći broj manjih vrtača, dok se na brežuljkastom reljefu obično nalazi samo nekoliko većih vrtača. Položaji vrtača na širem istraživanom području prikazani su na slici 4.4.



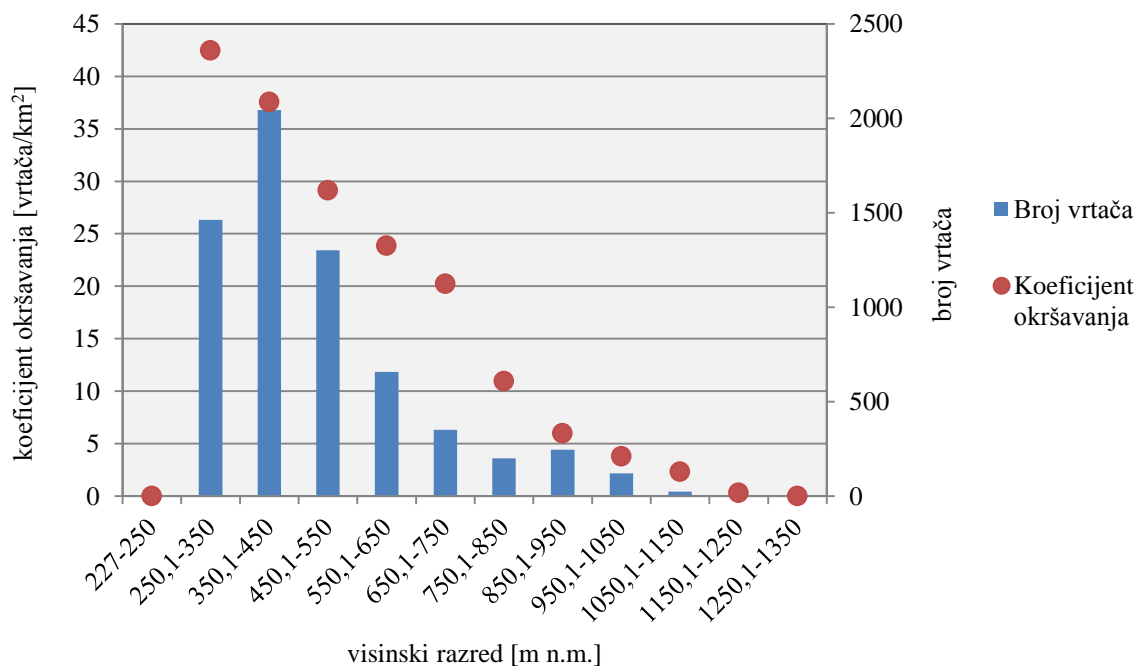
Slika 4.4. Položaj vrtača na istraživanom području (Tumač visina - Prilog 1.)

Budući da je sliv rijeke Slunjčice hipsometrijski razveden (od 250 m n.m. do preko 1250 m n.m., prosječne visine od 639 m n.m.), utvrđen je broj vrtača po visinskim razredima podijeljenima po 100 metara (tablica 4.1.). Prosječni koeficijent okršavanja na slivu rijeke Slunjčice iznosi 22,66 vrtače/km<sup>2</sup>. Vrijednosti koeficijenta okršavanja najveće su u visinskom razredu od 250,1-350 m n.m. s vrijednosti od 42,47 vrtača/km<sup>2</sup>, a najviše vrtača (2044) nalazi se u visinskom razredu od 350,1-450 m n.m. Vrijednost koeficijenta okršavanja koji je iznad prosjeka utvrđen je u visinskim razredima sve do visinskog razreda 650,1-750 m n.m. Iz tablice 4.1. vidi se da koeficijent okršavanja opada s nadmorskom visinom (ne uključujući najniži visinski razred koji je jako male površine).

Na slici 4.5. grafički su označeni visinski razredi u odnosu na broj vrtača i koeficijent okršavanja.

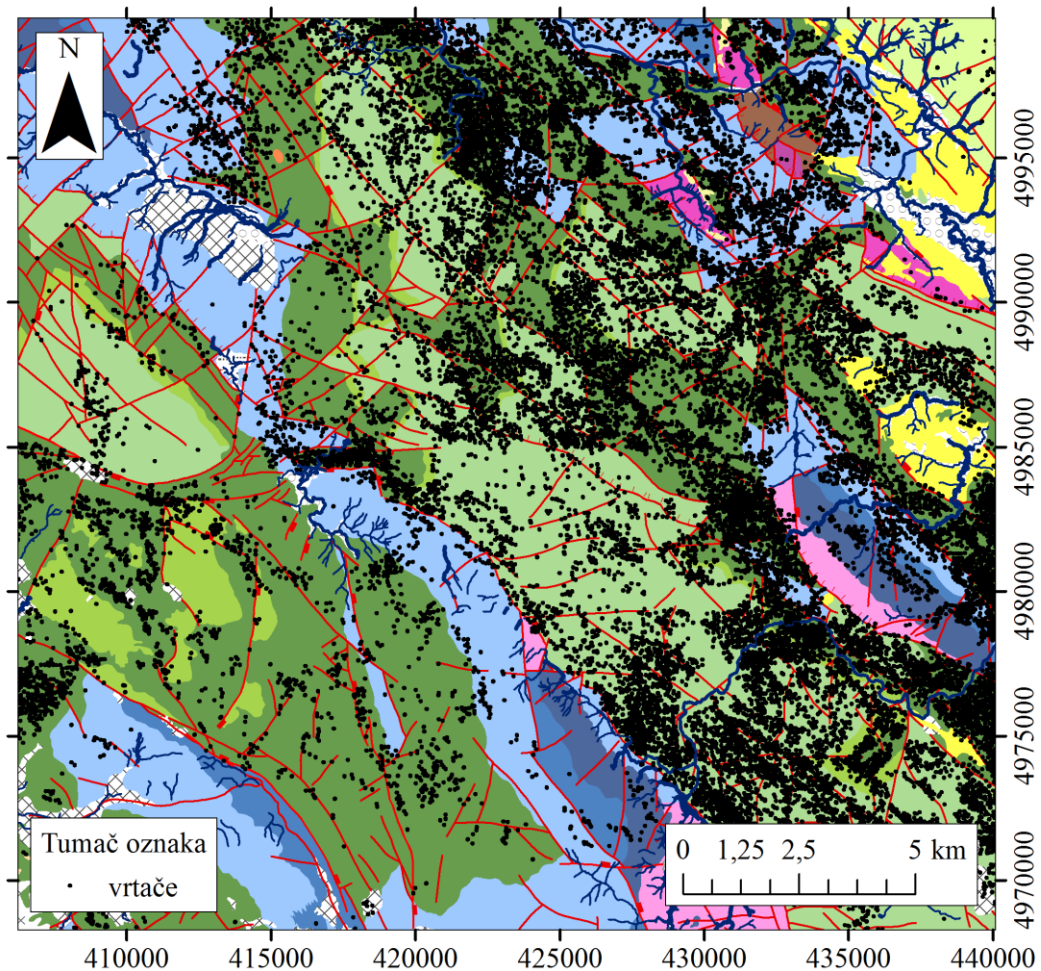
**Tablica 4.1.** Koeficijent okršavanja na slivu rijeke Slunjčice podijeljen po visinskim razredima

Visinski razred [m n.m.]	Površina visinskog razreda [km <sup>2</sup> ]	Broj vrtača	Koeficijent okršavanja [vrtča/km <sup>2</sup> ]
227-250	0,65	0	0,00
250,1-350	34,45	1463	42,47
350,1-450	54,39	2044	37,58
450,1-550	44,65	1301	29,14
550,1-650	27,52	657	23,87
650,1-750	17,35	351	20,23
750,1-850	18,21	200	10,98
850,1-950	41,03	246	6,00
950,1-1050	31,54	120	3,80
1050,1-1150	9,87	23	2,33
1150,1-1250	3	1	0,33
1250,1-1350	0,09	0	0,00
<b>UKUPNO</b>	<b>282,74</b>	<b>6406</b>	<b>prosjeak = 22,66</b>



**Slika 4.5.** Koeficijent okršavanja i broj vrtača na slivu rijeke Slunjčice podijeljen po visinskim razredima

Učinjena je i prostorna analiza vrtača u odnosu na geološka periode (kronostratigrafske jedinice), tj. litološki sastav stijena budući da intenzitet okršenosti ovisi i o sastavu stijena i položaju stijena unutar stijenske mase. Litologiju možemo smatrati primarnim čimbenikom razvoja vrtača jer bez karbonatnih naslaga, na površini i blizu nje, nema ni formiranja krških oblika (PAHERNIK, 2012). Opisi litološkog sastava stijena dani su u poglavlju Geološke značajke istraživanog područja. Položaji dna vrtača u odnosu na geološke periode prikazani su slikom 4.6.

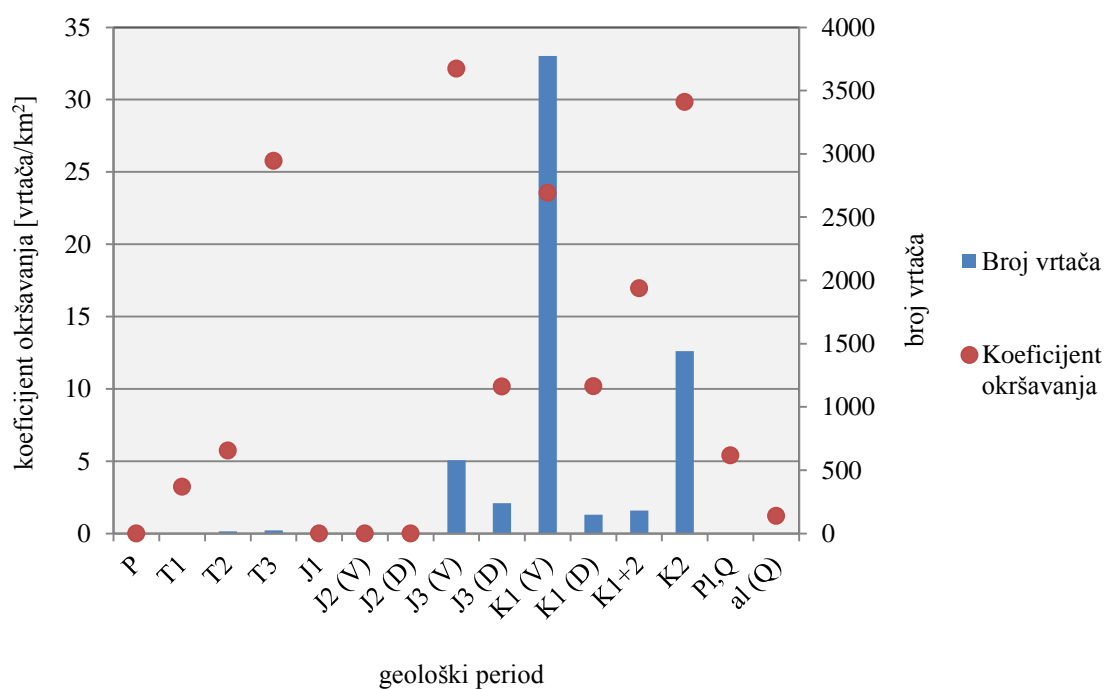


**Slika 4.6.** Položaj vrtača u odnosu na geološke periode (Tumač oznaka - Prilog 2a)

U tablici 4.2. i slici 4.7. prikazani su koeficijenti okršavanja i broj vrtača u odnosu na pojedine geološke periode na istraživanom području. Pojedini geološki periodi podijeljeni su po litološkom sastavu budući da u pojedinim dijelovima sliva litološki sastav nije isti za taj geološki period.

**Tablica 4.2.** Koeficijent okršavanja na slivu rijeke Slunjšice po geološkim periodima i litološkom sastavu

Geološki period	Površina [km <sup>2</sup> ]	Broj vrtača	Koeficijent okršavanja [vrtača/km <sup>2</sup> ]
P	0,61	0	0,00
T <sub>1</sub>	0,31	1	3,23
T <sub>2</sub>	2,96	17	5,74
T <sub>3</sub>	0,97	25	25,77
J <sub>1</sub>	0,6	0	0,00
J <sub>2</sub> (vapnenci)	0,02	0	0,00
J <sub>2</sub> (dolomiti)	0,15	0	0,00
J <sub>3</sub> (vapnenci)	17,95	577	32,14
J <sub>3</sub> (dolomiti)	23,5	239	10,17
K <sub>1</sub> (vapnenci)	160,14	3773	23,56
K <sub>1</sub> (dolomiti)	14,54	148	10,18
K <sub>1,2</sub>	10,73	182	16,96
K <sub>2</sub>	48,25	1440	29,84
Pl,Q	0,37	2	5,41
al (Q)	1,64	2	1,22
<b>UKUPNO</b>	<b>282,74</b>	<b>6406</b>	<b>prosjek = 22,66</b>



**Slika 4.7.** Koeficijent okršavanja i broj vrtača na slivu rijeke Slunjšice u odnosu na geološki period i litološki sastav

Geološki periodi u kojima su koeficijenti okršavanja najveći su gornja jura u kojoj prevladavaju vapnenci, sjeverno od izvora Slunjčice, vapnenci donje krede i vapnenci gornje krede u rasponu od 23 do 32 vrtača/km<sup>2</sup>. Vrijednosti iznad prosječnog koeficijenta okršavanja pokazuje i gornji trijas kojeg čine dolomiti, no to je zbog jako male površine gornjeg trijasa na slivu rijeke Slunjčice. Šire prostorno gledano, na slici 4.6., vidi se da naslage gornjeg trijasa nemaju mnogo vrtača po svom rasprostranjenju tako da ih se ne može smatrati jako okršenim naslagama. Najviše vrtača (3215) razvijeno je u vapnencima donje krede koji zauzimaju i najveći udio površine na slivu rijeke Slunjčice, a preko 92% vrtača nalazi se na prethodno navedenim jako okršenim naslagama. Dolomitne naslage (donji trijas, srednji trijas, srednja jura, gornja jura, donja kreda) pokazuju manje vrijednosti koeficijenta okršavanja. Stupanj okršenosti dolomita uz položaj unutar stijenske mase uvjetuje njegovu hidrogeološku ulogu (potpuna barijera, nepotpuna barijera ili propusno područje).

## **5. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA**

### **5.1. Određivanje slivnog područja rijeke Slunjčice**

Za nastanak krškog vodonosnika potrebno je prisutstvo nekoliko osnovnih čimbenika: stijenska masa topiva vodom (karbonati, evaporiti), minimalna količina oborina (više od 250-300 mm/god oborine) i mehanička oštećenost stijenske mase, što je ujedno i preduvjet za proces okršavanja stijenske mase. Osim toga, potreban je sustav međusobno povezanih podzemnih kanala za prolaz vode, izražen reljef, te područje ulaza vode ili napajanja krškog vodonosnika i sama točka istjecanja podzemne vode iz krškog vodonosnika. Ako jedan od tih čimbenika nije zadovoljen, stijenska masa je hidrološki inertna i ne može funkcionirati kao vodonosnik (PARLOV, 2017).

U slučaju sliva rijeke Slunjčice svi su uvjeti zadovoljeni, veći do sliva izgrađen je od vapnenaca, prosječna godišnja količina oborine je iznad 1000 mm, vapnenci su izrazito tektonski poremećeni i okršeni, što je uvjetovalo nastanak sustava podzemnih kanala i posljedično, i vodonosnika.

Za određivanje razvodnice krškog slivnog područja najvažnije su hidrogeološke značajke stijena šireg područja, njihov strukturno-tektonski položaj, hidrogeološke uloge područja. Na temelju toga, krško slivno područje Slunjčice određeno je hidrogeološkim značajkama područja te se određuje razvodnica sa susjednim krškim slivovima. Uz te značajke, na slivu rijeke Slunjčice obavljene su hidrokemijske analize vode s izvora i hidrološke analize.

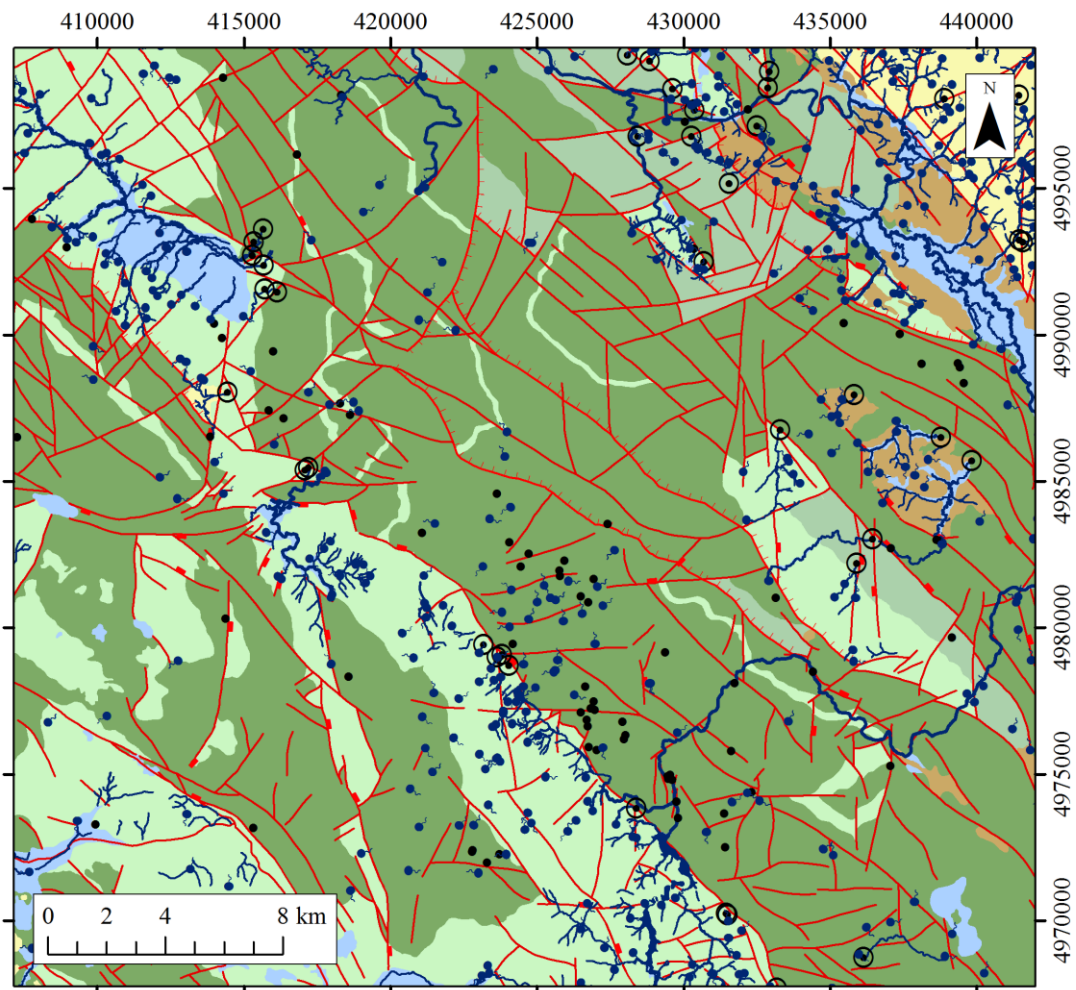
### 5.1.1. Hidrogeološke značajke stijena

Na širem istraživanom području izdvajaju se stijene s dva tipa poroznosti, pukotinskom i međuzrnskom. Stijene s pukotinskom poroznošću su karbonatne stijene, vapnenci i dolomiti koje prevladavaju na istraživanom području, a stijene s međuzrnskom su klastične naslage i naslage aluvija.

Stijene s **pukotinskom poroznošću** s obzirom na litološki sastav i stupanj okršenosti podijeljene su u tri kategorije: vrlo dobra propusnost, dobra propusnost i slaba propusnost. **Vrlo dobro propusne stijene** s pukotinskom poroznošću su donjokredni i gornjokredni vapnenci koji su intenzivno tektonski oštećeni i okršeni. **Dobro propusne stijene** s pukotinskom poroznošću su gornjojurski vapnenci nizvodno od izvora Slunjčice (prema Slunju) te gornjojurski i srednjejurski vapnenci na području Lipovače i gornjejurski vapnenci sjeverozapadno od Drežnik Grada. **Slabo propusne stijene** s pukotinskom poroznošću su srednjetrijaski dolomiti, srednjejurski dolomiti, gornjojurski dolomiti, dolomiti i dolomitne breče iz prijelaza iz donje krede u gornju kredu. Dolomite se ne može smatrati vodonepropusnima ukoliko su tektonski oštećeni pa zbog prisutnosti pukotinske poroznosti te procesa okršavanja, koji se također odvija i u dolomitima, mogu javljati svi tipični krški fenomeni (poput vrtača) i omogućiti podzemnu cirkulaciju vode.

Stijene s **međuzrnskom poroznošću** podijeljene su u četiri kategorije s obzirom na granulaciju materijala koje ih čine: promjenjiva propusnost, umjerena propusnost, slaba propusnost i nepropusne naslage. **Promjenjivo propusne naslage** čine kvartarne naslage aluvija Ličke Jesenice, Dretulje, Kršlje, Korane i kvartarne naslage proluvija koje se sastoje od čestica širokog granulometrijskog sastava (od šljunaka koji je dobro vodopropusan do glina koje su praktički nepropusne). **Umjereno propusne naslage** čine pliocensko, kvartarne naslage pijesaka koje se lokalizirano nalaze na karbonatnim stijenama nizvodno od izvora Slunjčice. **Slabo propusne naslage** su klastične naslage fliša krede i paleocena na sjeveroistoku i kvartarni barski sedimenti na području Dabarskog polja i estavele Begovac. **Nepropusne naslage** čine klastiti perma i donjeg trijasa na Kremenitoj glavi te srednjemiocenski klastiti na području Kršlje. Hidrogeološke značajke stijena na širem istraživanom području prikazane su slikom 5.1 i pripadajućim tumačem oznaka (Prilog 3a).





**Slika 5.1.** Hidrogeološke jedinice na istraživanom području (Tumač oznaka - Prilog 3a)

Na jugozapadnom dijelu istraživanog područja (područje Male Kapele) najvažnija struktura je sinklinala u čijim su krilima i čelu slabo propusni dolomiti gornje i srednje jure te dolomiti donje krede (pojas od Plaškog prema Ličkoj Jesenici i Kuselju, do Babinog Potoka i Rudopolja i od Brezovca do Dabra) dok se u jezgri nalaze vrlo dobro propusne vapnenci donje krede i slabo propusne dolomiti i dolomitne breče iz prijelaza iz donje u gornju kedu. Sinklinala je poremećena brojnim rasjedima. Na jugozapadu, rasjed s hidrogeološkim posljedicama je dijagonalni rasjed duž kojeg su od Ličke Jesenice, Jurjevom Dragom pa do Rudopolja relativno uzdignuti slabo propusni gornjojurski i donjokredni dolomiti čime je vapnenačka masa donje krede podijeljena na dva dijela, (BAHUN, 1989) zbog kojeg se dio podzemne vode usmjerava prema Malom Vrelu, a dio prema Velikom Vrelu Ličke Jesenice. Na području između Dabra i Ličke Jesenice transgresivnim kontaktom su taloženi slabo propusni dolomiti i dolomitne breče prijelaza iz donje u gornju kedu i vrlo dobro propusni donjokredni vapnenci. Jugoistočno od Ličke



Jesenice, u neporemećenom slijedu naslaga antiformalnog oblika, nalaze se slabo propusni dolomiti gornje jure, srednje i donje jure te gornjotrijaske dolomitne naslage na području Kuselja po kojima teče potok Sartuk. Južnije od potoka Sartuk nalazi se veće slabo propusno dolomitno područje na kojima se nalaze Plitvička jezera i njegovi pritoci (Plitvica, Bijela rijeka).

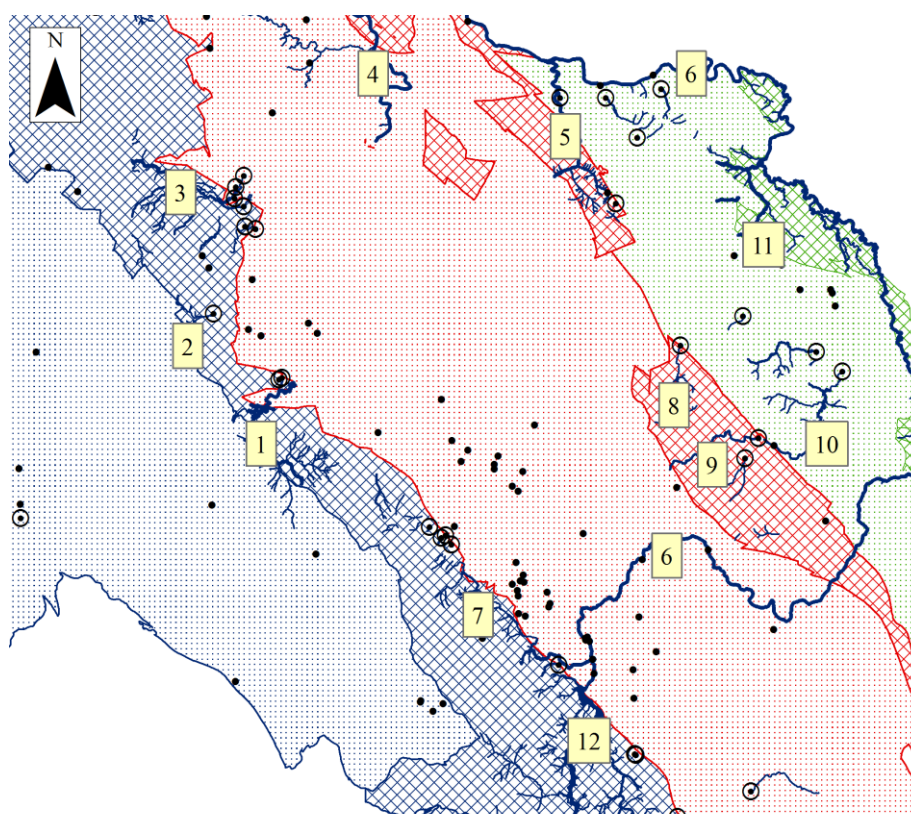
Rasjednim kontaktom između slabo propusnih gornjojurskih dolomita i vrlo dobro propusnih donjokrednih vapnenaca (na sjeverozapadu), te gornjotrijaskih dolomita, gornjojurskih dolomita i ponovno gornjotrijaskih dolomita (prema jugozapadu, od Kuselja prema Plitvičkim jezerima) i gornjokrednih vapnenaca slijedi zona vrlo dobro propusnih krednih naslaga koje izgrađuju sinklinalne dijelove bora ili njihova krila dinarskog smjera pružanja. Povremeno isklinjavanu slabije propusne naslage iz prijelaza iz donje u gornju kedu (dolomiti i dolomitne breče) na području Močila i Pištenika.

Na istoku istraživanog područja, na području Rakovice prema jugoistoku, hidrogeološki važan je reversni rasjed od Brajdića do Drežnik Grada koji stavlja u kontakt slabo propusne dolomite gornjeg trijasa i vrlo dobro propusne donjokredne vapnence. U tom je području najizraženije okršavanje (gustoća vrtača preko 160 km<sup>-2</sup>). Jugoistočnije od Rakovice, na rasjednom kontaktu slabo propusnih gornjotrijaskih dolomitnih stijena i vrlo dobro propusnih donjokrednih vapnenaca izvire rijeka Suvaja (izvor Grabovac). Istočno od ovog područja prostiru se nepropusne naslage srednjeg miocena po kojima teče rijeka Kršlja koja zatim ponire u vrlo dobro propusne donjokredne i gornjokredne vapnence na Mašvini. Na sjeveroistoku istraživanog područja teče rijeka Korana po naslagama promjenjive vodopropusnosti u koje se ulijevaju pritoci Dobrenica i Furjašnica, koje izvire na rasjednom kontaktu vrlo dobro propusnih gornjokrednih vapnenaca i slabo propusnih srednjotrijaskih dolomita.

Na sjeveru istraživanog područja, hidrogeološki važna struktura je ljuskava građa. Reversno su natisnute nepropusne klastične naslage perma i srednjeg trijasa (Kremenita glava) na sinklinalne dijelove dobro propusnih vapnenaca gornje jure, odnosno vrlo dobro propusnih vapnenaca donje krede. Slična struktura slabijeg inteziteta je južno od Slunja gdje su slabo propusne dolomitne naslage srednjeg trijasa reversno natisnute tektonski reduciranim jugozapadnim krilom na vrlo dobro propusne vapnence donje krede, u čijem kontaktu nastaje izvor rijeke Slunjčice.

### 5.1.2. Hidrogeološke uloge dijelova područja istraživanja







Odnosi između hidrogeoloških značajki stijena, tektonike, prostornog i hipsometrijskog položaja geoloških tijela, morfologije, količine i rasporeda oborina uvjetuju hidrogeološku ulogu pojedinih dijelova terena tako da se mogu razlikovati: potpune barijere, nepotpune barijere i propusna područja (BAHUN, 1989). Ona po svojoj ulozi dijele krški teren na sabirna područja (krške vodonosnike) i usporna područja (područje istjecanja vode iz vodonosnika) koja su prikazana na slici 5.2.



#### Tumač oznaka

- speleološki objekti
- ⊙ ponori

#### sabirna i usporna područja

-  gornje sabirno područje
-  gornje usporno područje
-  srednje sabirno područje
-  srednje usporno područje
-  donje sabirno područje
-  donje usporno područje

površinske vode

- 1 - Lička Jesenica
- 2 - estavela Begovac
- 3 - Dretulja
- 4 - Mrežnica
- 5 - Slunjčica
- 6 - Korana
- 7 - Sartuk
- 8 - Rakovački potok
- 9 - Suvaja
- 10 - Kršlja
- 11 - Furjašnica
- 12 - Plitvička jezera

**Slika 5.2.** Shematski prikaz hidrogeoloških uloga dijelova područja istraživanja (modificirano prema BAHUN, 1968)

**Potpune barijere** prekidaju i sprječavaju dublju podzemnu cirkulaciju voda, otjecanje je površinsko, a slabija infiltracija oborinskih voda u pripovršinske dijelove uvjetuje pojave manjih povremenih izvora. Po potpunim barijerama teče najveći dio površinskih tokova koji na kontaktu s propusnim područjima poniru.

**Nepotpune barijere** ne sprječavaju u potpunosti podzemna otjecanja, ali, ovisno o geološkim uvjetima, reguliraju ih i usmjeravaju, pa otjecanja mogu biti zaobilazna, ispod ili usporeno kroz takva područja. Formiranje nepotpunih barijera može biti uvjetovano tektonikom, litološkim sastavom (izmjena vapnenaca i dolomita), hidrogeološkim značajkama (protočnost podzemnih šupljina, visina nivoa podzemnih voda i njihovih količina), morfologija, debljina kvartarnog nanosa itd.

**Propusna područja** (krški vodonosnici) bez značajnih ograničenja propuštaju sve oborinske vode u podzemlje i omogućuju podzemno otjecanje, posebno u tektonski oštećenim zonama. Radi se o izrazito okršenim terenima bez površinskih tokova, nedostatkom izvora, a s druge strane, bogatim krškim morfološkim oblicima.

**Gornje sabirno područje** obuhvaća jugozapadno područje istraživanja (od Dabarskog polja, Brezovca i Babinog Potoka Donjeg), od propusnih donjokrednih vapnenaca koji napajaju izvore Ličke Jesenice, Dretulje, Sinjac jezera i estavele Begovac. U kontaktu s dolomitima gornje jure, koji imaju manju propusnu moć dolazi do djelomičnog, povremenog i lokalnog usporavanja podzemnih voda gdje se na kontaktu s potpunom hidrogeološkom barijerom formiraju jaka i stalna krška vrela, primjerice izvori Ličke Jesenice: Paskaši, Malo i Veliko Vrelo. Dolomiti gornje jure ovdje čine potpunu barijeru podzemnim vodama, i označavaju početak **gornjeg uspornog područja**. Njihova velika rasprostranjenost i u osnovi antiformni položaj uvjetuje da funkcioniraju kao potpune hidrogeološke barijere, i to u čitavom dolomitnom području obaju krila i čela sinklinale od Plaškog prema Ličkoj Jesenici preko Babinog Potoka do Brezovca (BAHUN, 1989). Od posebnog je značenja morfologija ovog dijela terena jer je za pojavljivanje podzemnih voda na površini, a da ne dođe do podzemnih tokova paralelnih potpunoj barijeri, potreban odnos nadmorskih visina sabirnog područja i uspornog područja (BAHUN, 1968). Primjerice, u slučaju Ličke Jesenice taj uvjet je zadovoljen, jer gornje sabirno područje doseže visine i do 1200 m n.m., a visina uspornog područja je između 500 i 550 m n. m. Izvori Malo i Veliko vrelo izvire na visinama od 480 m n.m i stalni su.

U **gornjem sabirnom području** postoje nepotpune hidrogeološke barijere, a to su područja Jurjeve Drage izgrađene od gornjojurskih dolomita i donjokrednih dolomita, dolomiti i dolomitne breče prijelaza iz donje u gornju kredu u području Velikog Lisca između Dabra i Ličke Jesenice. Zbog sinformnog položaja i njihovih sekundarnih oštećenja ne predstavljaju značajnije prepreke kretanju podzemnih voda. Manji lokalni uspori, ali samo za oborinske vode koje se kreću unutar krovinskih gornjokrednih vapnenaca, primjećeni su u obliku slabih povremenih izvora, povremenih površinskih tokova ili lokvi u kontaktnom nivou između spomenutih naslaga i vapnenaca (BAHUN, 1968).

**Gornjem uspornom području** pripada prostor potpune barijere na dijelu terena od Plaškog (u čijem zaleđu izvire Dretulja) prema Ličkoj Jesenici i jugoistočno Plitvičkim jezerima koje se pretežno sastoji od dolomita gornje jure, a prema Plitvičkim jezerima i dolomita gornjeg trijasa u antiformalnom položaju. Na području između Dretulje i Ličke Jesenice područje je nepotpune barijere gdje je nastala estavela Begovac. Estavela Begovac nastala je zbog velike izlomljenosti malmskih dolomita prouzrokovane brojnim lomovima pretežno smjera S-J, SZ-JI i redukcije nekadašnje antiklinale, koja je dovela do povećane propusnosti u osnovi nepropusne dolomitne forme (BAHUN, 1968). Zbog toga u ovisnosti o količini podzemnih voda uz postojeću protočnost podzemnih šupljina, dolazi do povremenog plavljenja polja. Podzemne vode dolaze iz smjera jugozapad pa se u ovisnosti od količina kreću ispod dna ili poplavljuju polje. Sjeveroistočnije se nalazi Sinjac jezero, u dolomitima gornje jure na rubu Plavče Drage, koje izvire uzlazno s vlastitom vodom temljenicom koja se sabire izravno iz vapnenačkog područja Male Kapele, a ispod dna estavele Begovac. Nakon plavljenja Begovca reaguju i vode u Sinjcu, ali sa zakašnjenjem od nekoliko dana

Paskaši, Gudura i Malo Vrelo (koje je od njih najveće) izvire na kontaktu vrlo dobro propusnih vapnenaca donje krede i slabo propusnih dolomita gornje jure u kojima dolomiti predstavljaju uspor. Malo Vrelo je stalni preljevni krški izvor. Izviranje podzemne vode je uzlazno, približno na 485 m n.m. Mehanizmu istjecanja doprinosi jaki dijagonalni rasjed i prateći sustav pukotina pružanja sjever-jug za koji su vezani koncentrirani podzemni vodeni tokovi. Ovaj je rasjed predodredio i razvoj podzemnog drenažnog sustava unutar raspucalih i okršenih karbonatnih stijena iste vodonosne sredine iz koje se prihranjuje i Veliko Vrelo (PAVIČIĆ et al., 2007). Veliko Vrelo je također uzlazni izvor prema tipu pojavljivanja i također se pojavljuje na kontaktu vrlo dobro propusnih vapnenaca donje krede i slabo propusnih dolomita gornje jure u podlozi. Međusobna

povezanost sustava Malog i Velikog Vrela vidi se u sličnoj dinamici istjecanja vode s izvora i gotovo identičnim fizičkim i kemijskim svojstvima vode s izvora. TERZIĆ et al., (2012) ukazuju da je zbog kontinuiranog povećanja električne vodljivosti tijekom recesijskog razdoblja na izvoru Veliko Vrelo, veće dreniranje prema izvoru Veliko Vrelo nego prema izvoru Malo Vrelo kod kojeg se vrijednosti električne vodljivosti stabiliziraju ranije. Zbog toga Veliko Vrelo ima veću izdašnost tijekom razdoblja niskih voda, ali i visokih voda u odnosu na Malo Vrelo. Razlog što Veliko Vrelo bolje drenira krški vodonosnik je i njegov položaj koji je više prema središtu sustava krškog vodonosnika, za razliku od Malog Vrela (TERZIĆ et al., 2012). Malo Vrelo ima veće sabirno područje od Velikog Vrela, a to može značiti da iz njega izbija samo trenutačni višak vode, dok veći dio odlazi prema sjeverozapadu i uz put opskrbljuje izvore kod Momčilovića i Paskaša (GALOVIĆ et al., 1998).

**Srednje sabirno područje** slijedi sjeveroistočno od gornjeg uspornog područja i napaja same izvore Slunjčice i Mrežnice, te jugoistočnije Suvaje i uzvodnog dijela Korane. Ova sabirna cijelina odlikuje se u cjelini sinformnim položajem s nepropusnom ili djelomično propusnom dolomitnom podinom. Propusni vapnenci (krški vodonosnik) prema tome, leže u „koritu” nepropusnih dolomita što ograničava kretanje u vertikalnom smjeru, dok velika razlomljenost i okršenost vapnenaca predisponira kretanje voda u horizontalnom smjeru (BAHUN, 1968). Ovo područje je velike površine i bogato vodama budući da izvorima na sjeveroistoku daje velike količine vode.

**Srednje usporno područje** počinje potpunom barijerom od izvora Slunjčice do Bročanca gdje dolomiti srednjeg trijasa čine potpunu barijeru istjecanju podzemne vode. Nastavak na to usporno područje predstavljaju malmski dolomiti i vapnenci na području Zbjega, koji kao nastavak potpune barijere od Bročanca do izvora Slunjčice svojim antiformalnim položajem uzrokuju kretanje Mrežnice prema sjeveru. Mrežnica izvire zapadno od Slunja na kontaktu vrlo dobro propusnih vapnenaca donje krede i slabo propusnih dolomita i dolomitnih breča s prijelaza iz donje u gornju kedu (BAHUN, 1968). Mrežnica izvire na 254 m n.m., a njeno sabirno područje su vapnenci gornje krede s dotokom voda Dretulje. Geološki faktori koji bi neposredno uvjetovali pojavljivanje izvora nisu ustanovljeni jer niti litološke značajke kao i tektonski položaj (krilo sinklinale) ne bi mogli usporiti podzemni tok vode. Djelomični uspor u širem području prema istoku predstavlja antiforma s dolomitima i vapnencima gornje jure u području Zbjega, tako da se može pretpostaviti da podzemne vode već ovdje, u tipičnom krškom području, formiraju

svoj nivo. Slunjčica izvire kao uzlazni izvor na rasjednom kontaktu vrlo dobro propusnih vapnenaca donje krede i slabo propusnih dolomita srednjeg trijasa na visini od 244 m n.m. Izvor je u obliku jezerca promjera 50x30 metara u vapnencima donje krede. Iz njega istječe veliki dio voda srednjeg sabirnog područja. Morfološke predispozicije ovog dijela terena također omogućuju pojavljivanje podzemnih voda na površini. Nadmorske visine izvorišta srednjeg uspornog područja su oko 250 m n.m. (Mrežnica, Slunjčica), a nadmorske visine srednjeg sabirnog područja su preko 500 m n.m.

Na istoku **srednjeg uspornog područja** je također potpuna hidrogeološka barijera do koje dolazi reversnim rasjedanjem s gornjotrijaskim dolomitima u krovini, (koja bi bila nastavak na potpunu barijeru između Bročanca i izvora Slunjčice i nastavak srednjeg uspornog područja) antiformalnog položaja. Sjevernije od samog rasjednog kontakta, u gornjojurskim dolomitima, formiraju se izvori Rakovačkog potoka. Izvori s najvećom izdašnosti su Jezerce (2-3 l/s), Rakovica vrelo (0,3-0,6 l/s), Badanj (0,3 l/s), Čavlinovac i dr. koji izvire na nadmorskim visinama od 350 do 375 m n.m. Pretpostavljeni tip postanka im je većinom silazno-preljevni i silazni (CRNKO, 1999), izvori brzo reagiraju na oborine, te većinom presuše (osim Jezerca i Badanja). No, Rakovački potok nedaleko ponire u vapnence donje krede koji čine donje sabirno područje te se može prozvati **prostorom usmjeravanja podzemnih voda**. Srednje usporno područje nastavlja se prema jugoistoku na područje Drežnik Grada i Lipovače gdje na kontaktu donjokrednih vapnenaca i gornjotrijaskih dolomita izvire potok Suvaja koji teče prema sjeveroistoku. Glavni izvor Suvaje, izvor Grabovac izvire uz strmi reversni rasjed u donjokrednim vapnencima na nadmorskoj visini od 356 m n m., izdašnosti je 10-15 l/s i ne presušuje. Na području Drežnik Grada nalaze se izvori Zminjak, Jezerina, Poljakov bunar, Bićanski jarak i drugi (CRNKO, 1999). Zbog ove hidrogeološke barijere rijeka Korana usmjeruje svoj tok prema jugoistoku i zaobilazi je. Antiformni položaj dolomitnih stijena ne dopušta podzemnim vodama kretanje u smjeru okomitom na pružanje osi, pa time usporavaju ili skreću površinske (npr. Korana na području Vaganca) i podzemne tokove koji dolaze iz tog pravca.

**Donje sabirno područje** prostire se nizvodno od izvora Slunjčice. Čine ga nepropusni klastiti perma i donjeg trijasa Kremenite glave (nisu potpuna barijera budući da se s njih površinska voda gravitacijski slijeva u propusno područje vapnenaca gornje jure) te propusna područja vapnenaca gornje jure i donje krede. Nizvodno od izvora Slunjčice, ulijeva se potok Pećina i povremeni pritoci koji teku po potpunoj barijeri dolomita srednjeg

trijasa. Uz sam tok Slunjčice postoje izvori manje izdašnosti (Petrovička, Curak) koji dreniraju vode iz dobro propusnih vapnenaca gornje krede. Prema jugoistoku, ovaj se dio nalazi između dva dijela srednjeg uspornog područja. Jugoistočni dio donjeg sabirnog područja nastavlja se po području Mašvine koje se sastoji od propusnog područja donje i gornje krede na koje je transgresivno istaloženo područje nepropusnih srednjemiocenskih klastita po kojima teče rijeka Kršlja i povremeni potok Perlinac koji poniru u kontaktu s vapnencima donje krede (Kršlja ponire u špilju Muškinja, a Perlinac u Panjkov ponor; Muškinja i Panjkov ponor čine zajednički špiljski sustav Panjkov ponor – Muškinja koji se podzemno rasprostire prema Crnom vrelu rijeke Korane).

**Donje usporno područje** počinje na kontaktu potpune hidrogeološke barijere od srednjetrijskih dolomita i propusnog područja gornjokrednih vapnenaca Mašvine. U kontaktu nastaju izvorišne zone Dobrenice, Furjašnice i izvora uz samo korito Korane (Zečovac, Crno vrelo) koja dalje teče prema sjeverozapadu. Izvorišna zona se nalazi na nadmorskoj visini od oko 265 m n.m.

### 5.1.3. Podzemne veze na istraživanom području

U širem istraživanom području postoji mnogo ponornih zona, izvorišnih zona i površinskih tokova čija se međusobna povezanost najtočnije može dokazati trasiranjem podzemnih voda. Od jugozapada prema sjeveroistoku nalaze se izvorišna i ponorska zona u Dabarskom polju (gornje sabirno područje), zatim izvori i ponori Dretulje, estavela Begovac i izvori i ponori Ličke Jesenice, ponori i izvori na području Kuselja, izvori potoka Sartuk, izvorište Plitvičkih jezera i Korane (gornje usporo područje), ponorna zona Korane i površinski bezvodna područja između Ličke Jesenice i Dretulje, te Slunjčice i Mrežnice (srednje sabirno područje), zatim izvori Rakovačkog potoka, Suvaje i Kršlje te na samom sjeverozapadu izvori Mrežnice i Slunjčice (srednje usporo područje), ponorne zone Kršlje i Perlinca, izvori Pećine i povremeni površinski tokovi na Kremenitoj glavi (donje sabirno područje) te izvori Furjšanice, Dobrenice i izvori uz rijeku Koranu (donje usporo područje).

Dokazane podzemne veze za koje nisu prikupljeni detaljniji podatci su: Dabarski ponori – izvor Dretulje (i sjevernije Vrnjike), Dabarski ponori – Sinjac jezero, ponori Dretulje – izvor Mrežnice i , estavela Begovac – Sinjac jezero, ponori Ličke Jesenice – izvor Slunjčice (JURAK, 1983), Crno jezero (Čorkova uvala) – izvor Plitvice (PAVIČIĆ et al., 2007). Pri tome nema podataka je li prilikom trasiranja vršen monitoring na više izvora (npr. utvrđivanje veze ponora Ličke Jesenice – izvor Mrežnice itd.). Postoji podatak (BAHUN, 1968) da se na izvoru Slunjčice pojavilo 39% ubačene boje s ponora Ličke Jesenice.

Moguće podzemne veze su: Dabarski ponori – estavela Begovac, estavela Begovac – izvor Slunjčice, ponori Ličke Jesenice – izvor Mrežnice, ponori Kuselja – izvor Slunjčice, izvor Velikog Vrela, izvori Sartuka i izvori Suvaje (JURAK, 1983), ponorna zona Korane – izvor Slunjčice (TRPČIĆ & PLETIKOSIĆ, 2010), ponor Rakovačkog potoka – izvor Slunjčice, ponori Suvaje i Kršlje – izvor Slunjčice, izvori uz Koranu, tj. mnogo nerazjašnjenih veza.

Podzemna veza između ponora u Dabarskom polju i izvora Malog Vrela (Lička Jesenica) moguća je zbog toga što slabo propusne naslage dolomita i dolomitnih breča iz prijelaza iz donje u gornju kredu čine „kapu” na vapnencima i budući da su sa zapadne strane prekinute uzdužnim rasjedima ne zaliježu duboko pa se tečenje podzemnih voda

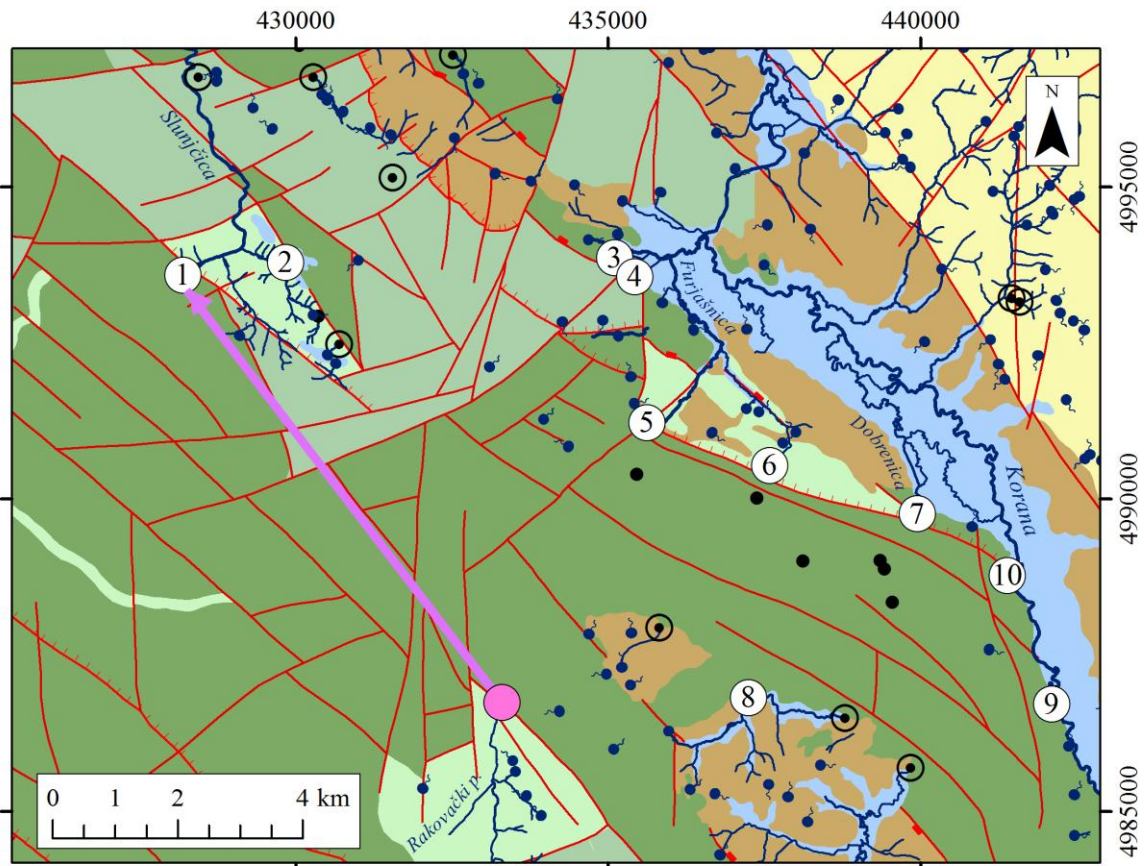


odvija na većoj dubini unutar vapnenaca tako da ovi dolomiti ne bi trebali utjecati na tečenje podzemnih voda iz smjera Dabra. Trasiranjem ponora u Dabarskom polju nije utvrđena podzemna veza s izvorima Ličke Jesenice (PAVIČIĆ et al., 2007). Također postoji mogućnost podzemne veze između estavele Begovac i izvora Ličke Jesenice zbog blizine položaja, te s izvorima Mrežnice i Slunjčice, te ponora Ličke Jesenice i izvora Mrežnice, budući da je dokazana veza između ponora Ličke Jesenice i Slunjčice koja je gotovo 14 km zračne udaljenosti.

Za utvrđivanje ostalih podzemnih veza izvršena su trasiranja za koje postoje detaljniji podatci.

Rezultati trasiranja ponora Rakovačkog potoka, Švica, na visini od 326 m n.m. (IVIČIĆ et al., 2003) prikazani su na slici 5.3. Boja se opažala na sljedećim izvorima: izvor Slunjčice (na slici 5.2. broj 1), izvor Pećine (2), izvor Šajfari (3), izvor Crna Jaruga (4), izvor Furjašnice (5), izvor Dragovića vrelo (6), izvor Dobrenice (7), izvor Perlinac (8), izvor Crno vrelo (9), izvor Zečovac (10). Svi izvori su na udaljenosti manjoj od 10 km od ponora. Ubacivanje boje (24 kg “oplemenjenog” Na-fluorescina razmućenog s 8 kg “sode”) je izvršeno 24. ožujka 2003. godine od 12 h i 15 minuta do 13 h. Traser je izliven u korito neposredno prije ponorne zone i glavnog ponora u koji je utjecalo 12,4 l/s (mjereno na profilu 6 metara uzvodno od ponora). Pojava boje kontrolirana je pripremljenim aktivnim ugljenom uz povremeno uzimanje uzoraka za laboratorijske analize. Boja se pojavila jedino na izvoru Slunjčice, a prva pojava boje zabilježena je 10. travnja u 6 sati, tj. za 450 sati (18 dana i 18 sati) u koncentraciji od 0,0023 mg/l Na-fluorescina, a najviša koncentracija iznosila je 0,048 mg/l, 12. travnja u ponoć. Prividna brzina kretanja podzemne vode iznosi 0,6 cm/s (IVIČIĆ et al., 2003).

Trasiranjem istraživačko-eksploatacijske bušotine u zaleđu izvora Kuselj (IVIČIĆ, 1999) htjela se potvrditi podzemna veza s izvorima Plitvice (Mliništa, Sartuk) koja je 1978. godine utvrđena trasiranjem ponora Belac i Pepelarnica kod Kuselja. Trasiranje je provedeno 9. rujna 1999. godine s 20 kg Na-fluorescina prethodno otopljenog s 8 kg lužine i 200 l vode. Nakon toga je u bušotinu (slovo a. na slici 5.4.) upumpana količina po 2,5 l/s do ukupno 30 m<sup>3</sup> vode. Traser se opažao na više mjesta: Grabovac (na slici 5.3., broj 3) Veliko Vrelo (4), Mlinište – jači izvor (5), Mlinište – slabiji izvor (6), potok Sartuk na mostu (7), izvor Lučica (8), izvor Plitvice (9), vrelo Litica (10), izvor Slunjčice (11) i izvor Kuselj (12).



#### Tumač oznaka

- ponor Švica
- ➔ podzemna veza
- mjesta opažanja
- izvori
- ⊙ ponor
- speleološki objekti
- riječna mreža (stalnost toka)
  - povremeni
  - stalni
  - stalni manji

#### tip rasjeda

- rasjed bez oznake karaktera
- relativno spušten blok (vertikalni)
- reversni rasjed

#### propusnost

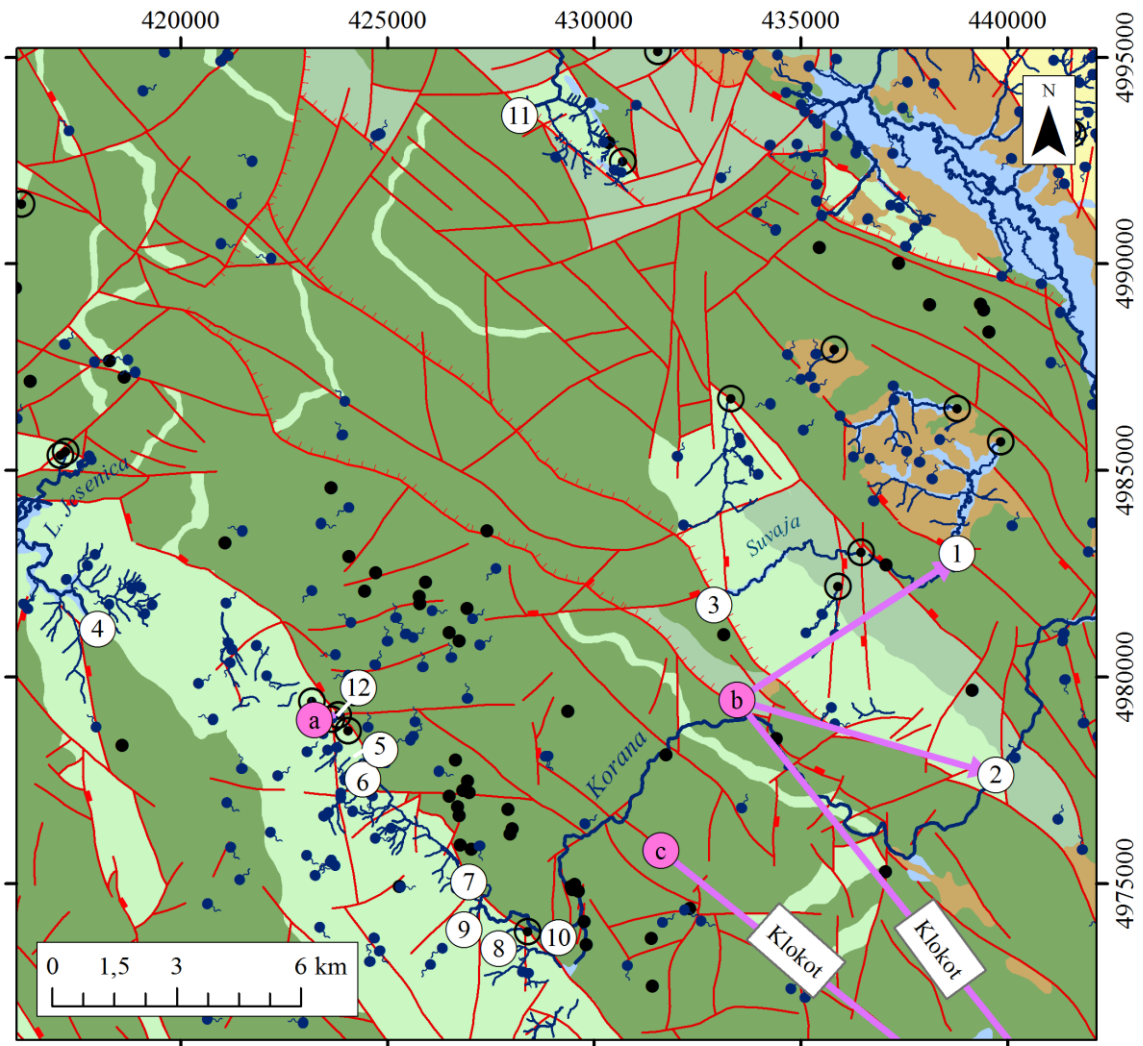
- promjenjiva propusnost (međuzrnska)
- slaba propusnost (međuzrnska)
- nepropusno (međuzrnska)
- slaba propusnost (pukotinska)
- dobra propusnost (pukotinska)
- vrlo dobra propusnost (pukotinska)

**Slika 5.3.** Rezultati trasiranja ponora Švica u blizini Rakovice (modificirano prema IVIČIĆ et al., 2003)

Traser se jedino pojavio na izvoru Kuselj (broj 12 na slici 5.4.) u vremenu od 15 minuta nakon ubacivanja traseru te je postupno obojao svu vodu u predponorskom retencijskom prostoru. Obojena voda tekla je prema središtu vrtače te je u ponorni dio vrtače počela utjecati nakon 30 minuta. Boja je izuzetno polako ponirala, u vrtači se vidjela i šesti dan nakon ubacivanja traseru. Na mjestima opažanja uzorkovanje je trajalo mjesec

dana. Traser nije registriran na ostalim mjestima opažanja zbog: dugotrajnog zadržavanja vode u podzemlju, polaganom poniranju vode i razrijeđenju traseru, saturiranom podzemlju i mogućem otjecanju prema izvoru Slunjčice. No, ni nakon dodatnih mjesec dana i nakon dva visoka vodna vala, traser nije zabilježen niti na Velikom Vrelu niti na izvoru Slunjčice.

Ponorna zona Korane nizvodno od Plitvičkih jezera trasirana je 21. travnja 2005. godine ubacivanjem boje u vrtaču u selu Rastovača (na slici 5.4., slovo c.) koja se nalazi u sinklinalnoj strukturi Ličke Plješivice jugoistočno od ponorne zone Korane (BIONDIĆ & MEAŠKI, 2016). U vrtaču je ubačeno 30 kg Na-fluorescina s 60 m<sup>3</sup> injektirane vode. Cilj trasiranja bio je utvrđivanje podzemnih veza s nizvodnim dijelovima korita Korane, izvorima Une i nekoliko izvora u širem području. Opažanja su se vršila na tri profila uz Koranu, dva povremena izvora na sjeveru Ličke Plješivice, stalnim izvorom nizvodno u koritu Korane (Gavranića vrelo) i izvorom Klokot kod Bihaća. Traser se pojavio samo na izvoru Klokot, i to nakon 428 sati nakon ubacivanja traseru. Na izvoru Klokot pojavilo se 57% ubačenog traseru. Prividna brzina kretanja podzemnih voda iznosi 1,14 cm/s (preuzeto iz MLINARIĆ, 2012). Drugo trasiranje na tom području obavljeno je blizu Drežnik Grada gdje je 25. rujna 2007. godine ubačeno 25 kg Na-fluorescina s 25 m<sup>3</sup> injektirane vode u piezometar (slovo b. na slici 5.4.). U vrijeme trasiranja korito Korane bilo je suho, što znači da je postojalo samo podzemno otjecanje traseru iz zone injektiranja. Mjesta opažanja uključivala su: izvor Klokot, Gavranića vrelo (na slici 5.4., broj 2) nizvodno u koritu Korane i izvor kod Baračevih špilja (na slici 5.4., broj 3). Traser se pojavio na svim lokacijama. Traser je prvo registriran na izvoru Klokot nakon 432 sata (12. listopada 2007.) i istjecao je do 20. studenog nakon intenzivnih kiša. Samo 2% količine ubačenog traseru isteklo je na izvoru Klokot. Najveća količina traseru istekla je na Gavranića vrelu, a zanimljivo je da se traser pojavio i na izvoru kod Baračevih špilja koji je od mjesta injektiranja odvojen hidrogeološkom barijerom od slabo propusnih gornjotrijaskih dolomita. Prividna brzina podzemne vode prema izvoru Klokot iznosi 1,128 cm/s, prema Gavranića vrelu iznosi 0,306 cm/s, a prema izvoru kod Baračevih špilja iznosi 0,254 cm/s (preuzeto iz MLINARIĆ, 2012). U monitoring nije uključen izvor Slunjčice, ali je razjašnjena situacija kretanja podzemnih voda u ponornoj zoni Korane.



### Tumač oznaka

- mjesto ubacivanja trasera
- mjesta opažanja
- ➔ podzemna veza
- izvori
- ponor
- speleološki objekti

### riječna mreža (stalnost toka)

- povremeni
- stalni
- stalni manji

### tip rasjeda

- rasjed bez oznake karaktera
- relativno spušten blok (vertikalni)
- - - reversni rasjed

### propusnost

- promjenjiva propusnost (međuznska)
- slaba propusnost (međuznska)
- nepropusno (međuznska)
- slaba propusnost (pukotinska)
- dobra propusnost (pukotinska)
- vrlo dobra propusnost (pukotinska)

**Slika 5.4.** Rezultati trasiranja ponora na Kuselju (a.), piezometra u blizini Drežnik Grada (b.) i vrtače kod Rastovače (c.) (modificirano prema IVIČIĆ, 1999 i BIONDIĆ & MEAŠKI, 2016)

#### 5.1.4. Hidrogeološka razvodnica sliva rijeke Slunjčice

Prikupljenim podacima (litologija i strukturno-tektonski odnosi, hidrogeološke značajke stijena, hidrogeološke funkcije područja, rezultati trasiranja) i njihovom obradom određeno je slivno područje rijeke Slunjčice površine 282,74 km<sup>2</sup>. Smještaj slivnog područja rijeke Slunjčice prikazan je Prilogom 1. (geografski smještaj), Prilogom 2. (smještaj u geološkoj građi istraživanog područja) i Prilogom 3. (hidrogeološka karta).

Slivno područje rijeke Slunjčice može se podijeliti na cjeline: podsliv rijeke Ličke Jesenice, podsliv Rakovačkog potoka, podsliv izvora Slunjčice, podsliv pritoka Pećine te neposredni sliv toka rijeke Slunjčice nizvodno od samog izvora.

Jugozapadni dio sliva rijeke Slunjčice čini podsliv rijeke Ličke Jesenice koje pripada gornjem sabirnom području podzemnih voda. Južna i jugozapadna razvodnica podsliva Ličke Jesenice je ujedno i razvodnica crnomorskog i jadranskog sliva. Proteže se na kontaktu vrlo dobro propusnih donjokrednih vapnenaca sa slabo propusnim srednjejurskim, gornjojurskim i donjokrednim dolomitima, te je razvodnica hidrogeološka. Na jugozapadu taj kontakt predstavlja relativno spušten blok koji se proteže od Rudopolja – Brezovca – Petrinić polja. Slabije propusne dolomitne naslage imaju nagib slojeva prema jugozapadu, a i samom terenu opada nadmorska visina prema jugozapadu tako da se povremeni tokovi koji se formiraju teku prema jugozapadu, a ne prema sjeveroistoku i prema Ličkoj Jesenici. Na jugu, (istočno od Rudopolja) nadmorska visina opada, po slabo propusnim donjokrednim i gornjojurskim dolomitima, također prema jugu i jugoistoku, te povremeni tokovi teku prema jugu prema Babinom Potoku koji pripada jadranskom slivu, ali i prema jugoistoku koji pripadaju slivu Plitvičkih Jezera. Na istoku podsliva Ličke Jesenice je razvodnica između vrlo dobro propusnih donjokrednih vapnenaca i gornjojurskih dolomita. Razvodnica ovdje nije topografska, već hidrogeološka budući da nadmorska visina u slabo propusnim gornjojurskim dolomitima opada prema istoku prema jaruzi (pružanja sjeverozapad – jugoistok) gdje se nalazi Čorkova uvala na čijem je jugozapadnom dijelu trasiranjem Crnog jezera dokazana veza s izvorom Plitvice (PAVIČIĆ et al., 2007). Sjeveroistočno od jaruge nadmorska visina se povećava (Razdolje, Preka kosa) i odvaja ovo područje od sliva rijeke Sartuk i Plitvice. Prema sjeveroistoku na području Velike Titre je granica topografska, odvaja podsliv od izvora na Kuselju (Kuselj, Pišćevka, Pepelarnica) jer trasiranjem na tom području nije dokazana podzemna veza niti s izvorom Veliko Vrelo niti s izvorom Slunjčice, budući da se teren nalazi na slabo

propusnoj podlozi od gornjojurskih dolomita koje pripada gornjem uspornom području. Topografska razvodnica slijedi, zbog istih čimbenika, područje Male Titre, gdje razdvaja povremene pritoke koje teku prema jugozapadu, tj. prema Ravnom Lugu u dobro propusne donjokredne vapnence podsliva Ličke Jesenice, s povremenim pritocima koji teku prema sjeveroistoku prema dobro propusnim gornjokrednim vapnencima (jugoistočno od Saborskog). Na zapadu podsliva Ličke Jesenice, razvodnice ide od Brezovca na Božičevića vrh i zaobilazi sa zapadne strane depresiju Živica. Razvodnica zatim ide prema sjeveru na Veliki Lisac (PAVIČIĆ et al., 2007) na kojem se nalaze slabo propusne naslage dolomita i dolomitnih breča prijelaza donje u gornju kredu. Razvodnica zatim prolazi područjem Korača na kojem se nalaze dobro propusne donjokredne naslage vapnenaca. U zapadnom je dijelu podsliva Ličke Jesenice razvodnica je pretežno topografska i predstavlja razvodnicu sa slivom izvora Dretulje i estavele Begovac. Razvodnica podsliva Ličke Jesenice ide prema sjeveru na područje Perinovca gdje ulazi u slabo propusne gornjojurske dolomite. Podsliv rijeke Ličke Jesenice u najvećem dijelu napajaju slivovi izvora Malog i Velikog Vrela čiji su slivovi odvojeni u bliskom zaleđu izvora (TERZIĆ et al., 2012).

Nakon poniranja Ličke Jesenice podzemna voda teče prema sjeveroistoku prema izvoru Slunjčice čija je veza dokazana trasiranjem ponora. Sjeverozapadni dio razvodnice sliva rijeke Slunjčice je razvodnica između sliva izvora Mrežnice i sliva izvora Slunjčice. U ovom području nema značajnih hidrogeoloških barijera i ovo je dio srednjeg sabirnog područja koji je sinformnog oblika. Sjeverozapadni dio granice počinje na slabo propusnim dolomitima gornje jure sjeverozapadno od Ličke Jesenice, ulazi u donjokredne i gornjokredne vapnence na području Pištenika koji su vrlo dobre propusnosti. Dio razvodnice zbog toga prolazi na kontaktima između slabo propusnih dolomita i dolomitnih breča prijelaza iz donje u gornju kredu i navedenih dobro propusnih naslaga. Oni ne funkcioniraju kao potpuna barijera, već kao djelomična koja usporava i moguće usmjerava podzemne vode (BAHUN, 1989), zato, u nekim dijelovima, po njima ide razvodnica sa slivom izvora Mrežnice. Razvodnica se dalje nalazi po reversnom rasjednom kontaktu (od Ljupča) gdje na području Zbjega isklinjavaju gornjojurski vapnenci i dolomiti. Razvodnica se dalje prema sjeveroistoku kreće po dobro propusnim donjokrednim vapnencima te gornjojurskim vapnencima Podmelnice uz rijeku Slunjčicu bez značajnih hidrogeoloških barijera.

Topografska razvodnica na slabo propusnim dolomitima gornje jure na sjeveroistoku podsliva rijeke Ličke Jesenice ide prema sjeveroistoku (područje Saborskog)

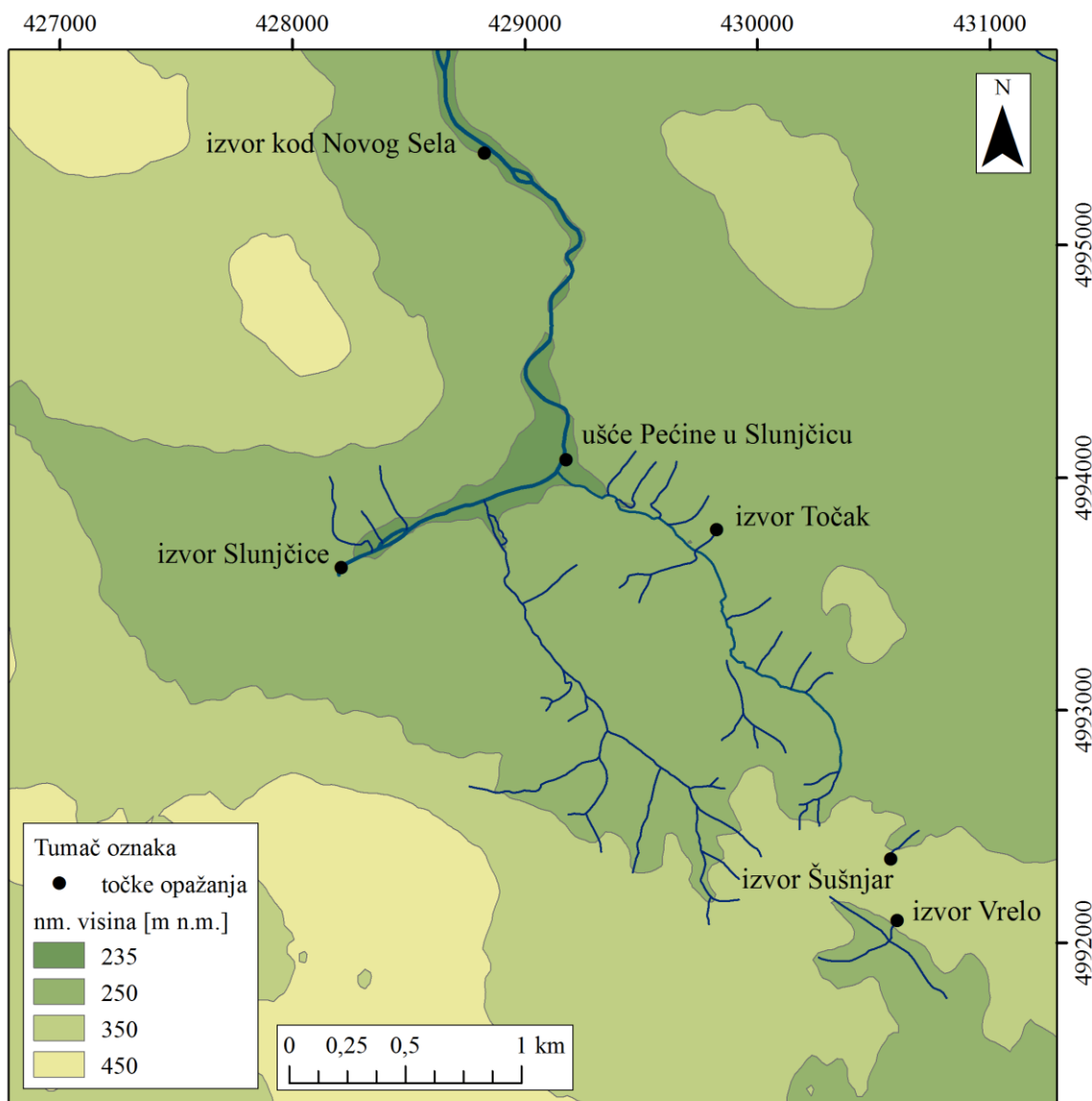
i ulazi u srednje sabirno područje koje je strukturno, sinformnog oblika. Kao što je slučaju sa sjeverozapadnim dijelom razvodnice sliva rijeke Slunjčice i ovaj se dio razvodnice u početku prostire granicom između slabo propusnih dolomita i dolomitnih breča prijelaza iz donje u gornju kredu i gornjokrednih vapnenaca (istočno od Malog Sivnika). Također, i u ovom slučaju to se smatra kao nepotpuna hidrogeološka barijera. Razvodnica skreće blago prema jugoistoku (od Velikog Stožera) na rasjednom kontaktu, reversnog karaktera (ucrtan na interaktivnoj geološkoj karti HGI-a) pružanja sjeverozapad-jugoistok koji na samom jugoistoku dovodi u nenormalan kontakt gornjojurske i donjokredne vapnence. Razvodnica slijedi pružanje tog rasjeda (područje Pištenice) i u područje sliva rijeke Slunjčice ne ulaze povremeni izvori, između Velikog Stožer i Pištenice te Trovrha, u gornjokrednim vapnencima. Razvodnica potom slijedi rasjedni kontakt gdje je spuštено krovinsko krilo s donjokrednim vapnencima naspram gornjojurskih vapnenaca i donjokrednih vapnenaca. Na rakovačkom području, razvodnica dolazi do rasjednog kontakta reversnog tipa, u kojem je podinsko krilo od dobro propusnih donjokrednih vapnenaca, a krovinsko krilo od slabo propusnih gornjotrijaskih dolomita koji stvaraju potpunu hidrogeološku barijeru podzemnoj vodi i čine početak srednjeg uspornog područja. Područje podsliva Rakovačkog potoka obuhvaća područje na gornjojurskim dolomitima te kao i sam potok, razvodnica skreće topografski prema sjeveroistoku, razdvajajući ga od rijeke Suvaje koja izvire kod Grabovca. Poniranjem voda Rakovačkog potoka u dobro propusne donjokredne vapnence, razvodnica skreće prema blago prema sjeverozapadu (IVIČIĆ et al., 2003) do potpune hidrogeološke barijere, srednjeg uspornog područja, gdje se u reversnom rasjednom kontaktu nalaze slabo propusni srednjotrijaski dolomiti u krovinskom krilu rasjeda. Na toj hidrogeološkoj barijeri nastaje izvor Slunjčice i ovdje završava sliv izvora Slunjčice. Prema sjeveroistoku razvodnica sliva rijeke Slunjčice prolazi donjim sabirnim područjem po gornjojurskim vapnencima bez značajnijih hidrogeoloških barijera, a na samom sjeveroistoku razvodnica je topografska. S Kremenite glave s nepropusnim permskim klastitima voda se gravitacijski prema jugoistoku slijeva u gornjojurske vapnence te ponovno izvire kao izvori Pećine u kontaktu s potpunom hidrogeološkom barijerom od srednjotrijaskih dolomita. Sa sjeverozapadne strane Kremenite glave površinske se vode gravitacijski slijevaju u donjokredne vapnence prema Korani. Podsliv Pećine i povremenih pritoka sa srednjotrijaskih dolomita počinje pripadati slivu rijeke Slunjčice kada se tok Pećine ulije u Slunjčicu kilometar nizvodno od samog izvora. Na samom sjeveru sliva razvodnica dijeli podzemne vode koje izviru uz Koranu od one koje se ulijevaju u Slunjčicu (izvori Curak i Petrovička).



## 5.2. Hidrokemijska istraživanja

### 5.2.1. Terenska mjerenja

Terenska mjerenja provedena su 12. lipnja 2018. godine. Opažanja su provedena na šest lokacija koje su prikazane na slici 5.5. In-situ se mjerila temperatura zraka i temperatura vode na ušću i izvorima te protok metodom posude na jednoj lokaciji. Na ušću i izvorima uzeti su uzorci vode za laboratorijska ispitivanja. S pojedine lokacije uzeta je litra vode podijeljena u dvije boce za pohranjivanje uzoraka. Pri svakom uzorkovanju vode, nakon otvaranja boce za uzorkovanje, boca je oprana dva puta u vodi s lokacije te se tek nakon toga punila boca vodom koja je laboratorijski ispitivana.



Slika 5.5. Lokacije točaka opažanja za hidrokemijska istraživanja



Kilometar nizvodno od izvora Slunjčice, u rijeku se sa jugoistoka ulijeva stalni pritok Pećina (slika 5.6.a.). Pritok Pećina teče po dolomitnim stijenama srednjeg trijasa i nanosi krupni šljunak dolomitnog sastava nizvodno. Uzorak vode uzet je na lokaciji (slika 5.6.b.) desetak metara nizvodno od samog ušća Pećine u Slunjčicu (s desne obale) kako bi se utvrdio postoji li značajniji utjecaj na kemizam vode rijeke Slunjčice, tj. postoji li razlika u odnosu na kemizam izvora. Uzorak je uzet na 241 m n.m na **ušću Pećine u Slunjčicu** (429178, 4994079 HTRS TM/96).

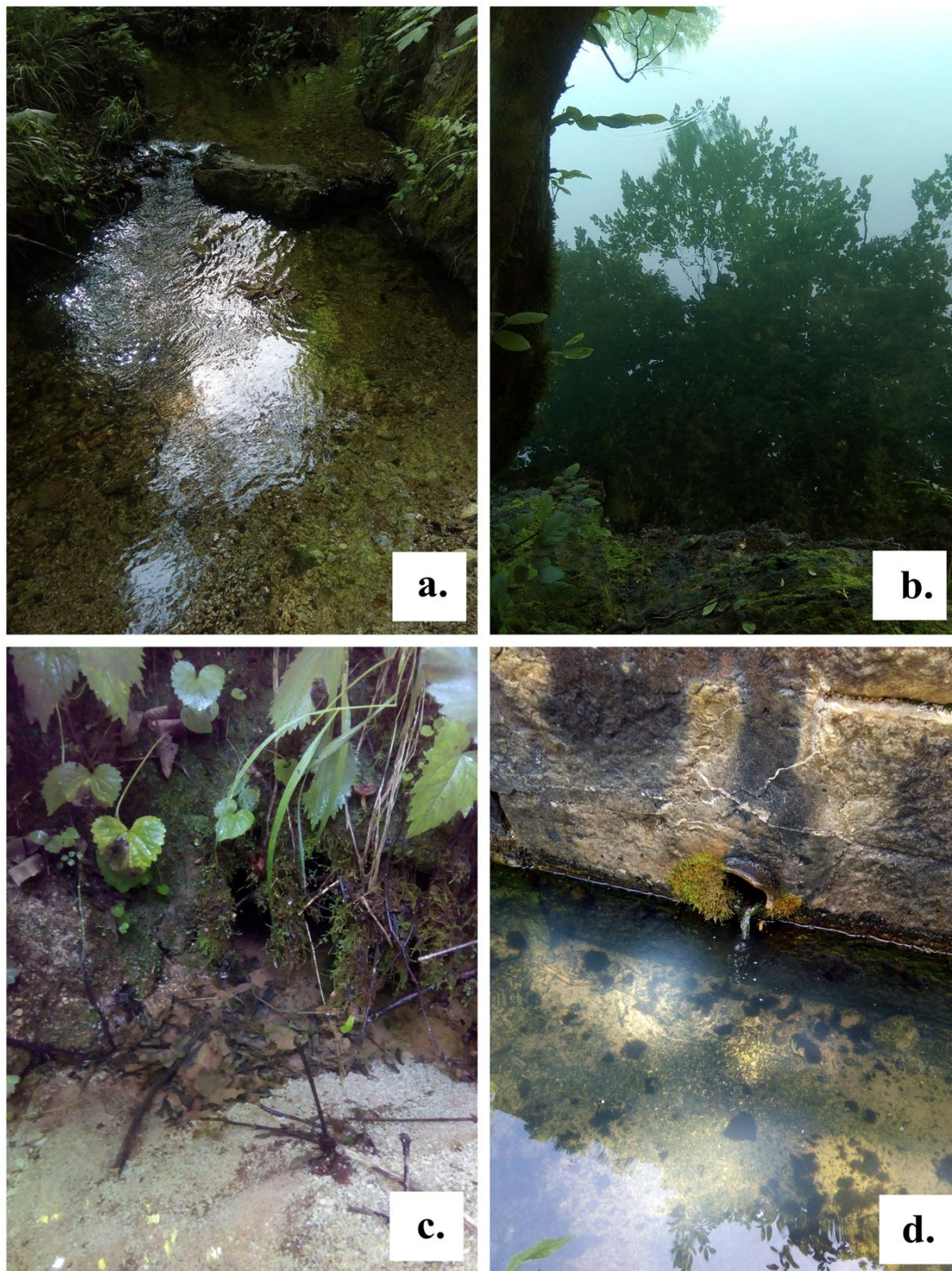
**Izvor Točak** (slika 5.6.c.) izvire iz pukotine u dolomitnim stijenama srednjeg trijasa. Nizvodno od izvora voda teče po nanosu od sitnijeg uglatog šljunka dolomitnog sastava. Iz njega se voda slijeva prema jugozapadu u pritok Pećinu koja je već uzvodno stalni tok. Teren oko izvora je jako obrastao šikarom i bukovom šumom. Izvor se nalazi na 284 m n.m. (429826, 4993778 HTRS TM/96), a sjeveroistočnije i na višim nadmorskim visinama nalaze se izvori manje izdašnosti koji izvire iz pukotina u dolomitima.

**Izvor Vrelo** (slika 5.6.d.) je kaptirani izvor. Budući da je kaptiran, na njemu se jedino mogao mjeriti protok i to volumetrijskom metodom (metodom posude) zbog male izdašnosti. Protok je mjereno posudom za uzorkovanje od 0,5 litara. Protok kaptiranog izvora 12. lipnja 2018. godine iznosio je 0,06 l/s. Izvor Vrelo nalazi se na 347 m n.m (430603, 4992097 HTRS/TM 96).

Na **izvoru Šušnjar** (slika 5.7.a.) voda izvire iz pukotine u dolomitnim stijenama srednjeg trijasa. Put do izvora je obrastao visokom šikarom. Par metara nizvodnije, površinski je tok kanaliziran (slika 5.7.b.), no vodu s izvora nije bilo moguće uzeti zbog njegove male izdašnosti i zakrčenosti blatom, lišćem i granjem. Površinski tok nizvodnije ponire, no zbog visoke šikare i slabe izdašnosti nije bilo moguće naći ponor. U blizini izvora nalazi se zgrada vodocrpilišta Šušnjar koje nije u funkciji. Izvor Šušnjar nalazi se na 350 m n.m (430565, 4992375 HTRS TM/96).

**Izvor Slunjčice** (slika 5.8.a.) pojavljuje se na rasjednom kontaktu vapnenaca donje krede i dolomita srednjeg trijasa u kojem dolomiti u krovinskom krilu reversnog rasjeda čine potpunu hidrogeološku barijeru podzemnoj vodi. Izvor Slunjčice prema tipu pojavljivanja pripada uzlaznim izvorima, a zbog svoje velike izdašnosti spada u velike krške izvore (na samom izvoru ne mjeri izdašnost, već samo protok nizvodno u Slunju). Uzorak je uzet s ruba izvora na 244 m n.m. (428211, 4993815 HTRS/TM 96).

**Izvor kod Novog Sela** (slika 5.8.b.) izvire iz pukotine iz vapnenaca gornje jure. Izvor se nalazi uz lijevu obalu rijeke Slunjšice i nakon nekoliko metara površinskog toka ulijeva se u nju. Izvor se nalazi na visini od 237 m n.m. (428828, 4995397 HTRS TM/96) .

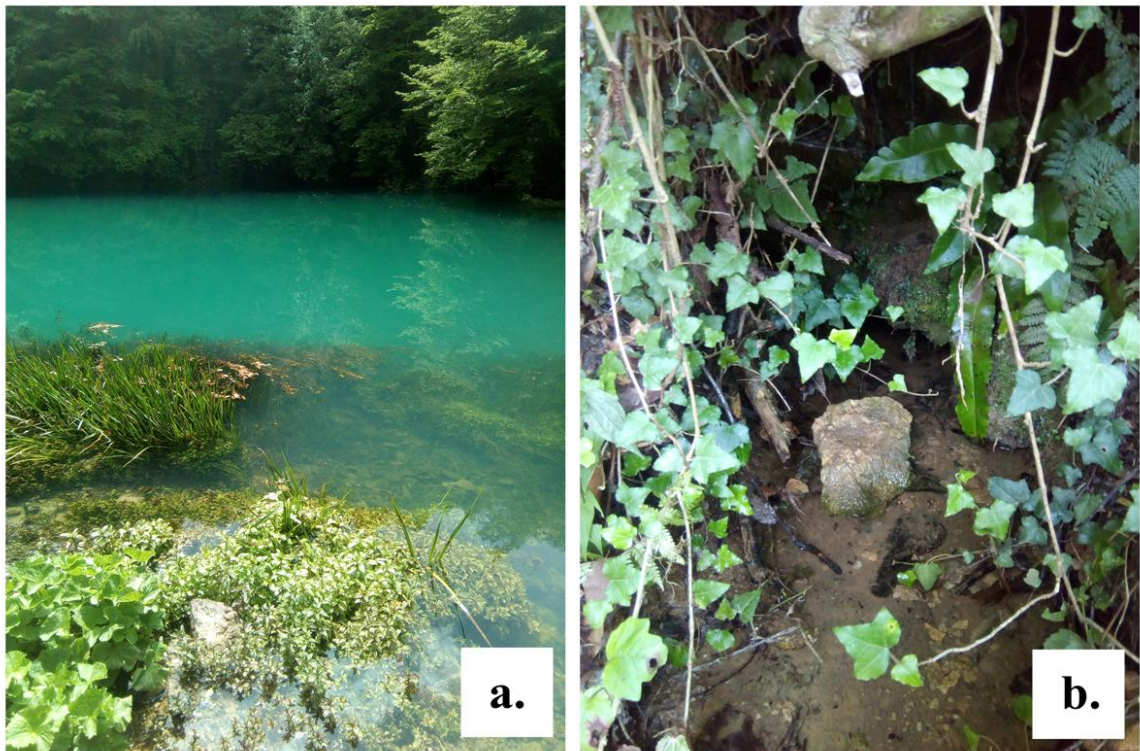


**Slika 5.6.** a. tok Pećine i njen šljunčani nanos, b. lokacija uzorkovanja na Slunjšici nizvodno od ušća Pećine u Slunjšicu, c. izvor Točak, d. kaptirani izvor Vrelo





**Slika 5.7. a.** izvor Šušnjar nepodoban za uzorkovanje, **b.** korito koje usmjerava vodu iz izvora Šušnjar s vrlo malo vode



**Slika 5.8. a.** izvor Slunjčice, **b.** izvor kod Novog Sela

Temperatura zraka i vode na ušću i izvorima mjerena je živinim termometrom. Na nekoliko minuta nakon dolaska, na lokaciji je izmjerena temperatura zraka, a zatim se na izvorima mjerila temperatura vode. Temperatura nije kemijska nego termodinamička značajka sustava, no mnoga kemijska svojstva (topljivost minerala, plinova, električna vodljivost) osjetljiva su na temperaturu (HALLE, 2004). Stoga za interpretaciju rezultata kemijske analize treba točno odrediti temperaturu vode in situ jer o njoj ovise mnoge reakcije između vode, krutina i otopljenih tvari. Parametri vode (pH-vrijednost, električna vodljivost i sadržaj otopljenog kisika) mjereni su naknadno u laboratoriju.

## 5.2.2. Laboratorijska ispitivanja

Laboratorijska ispitivanja provedena su 27. lipnja 2018. godine. Ispitivanja su provedena na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Laboratoriju za analizu geoloških materijala. Na uzorcima su ispitivane pH-vrijednost, električna vodljivost i sadržaj otopljenog kisika. Također su određene koncentracije osnovnih iona u uzorcima vode za potrebe određivanja hidrokemijskog facijesa.

### 5.2.2.1. Mjerenje pH-vrijednosti, električne vodljivosti i otopljenog kisika

Mjera aktiviteta vodikovih iona, tj. kiselost otopine naziva se **pH-vrijednost**. Mjerenje pH-vrijednosti podzemne i površinske vode važno je jer mnogi procesi u otopini (npr. interakcija između vode i stijene, topljivost minerala, svojstva adsorpcije, topljivost plinova i biokemijske reakcije) ovise o njoj (HALLE, 2004). pH otopine uglavnom određuju karbonati i koncentracija karbonata u podzemnoj vodi ovisi o kiselosti otopine. On se može osjetno promijeniti izlaganjem površinskim uvjetima i uravnoteženjem s atmosferskim tlakom CO<sub>2</sub>. Osim promjene količine otopljenog CO<sub>2</sub>, na pH uzorka vode mogu utjecati i druge reakcije, kao što su oksidacija, redukcija. Zbog toga vrijednost pH koja je mjerena u laboratoriju često odstupa od vrijednosti koje bi bile mjerene na licu mjesta.

Otapanjem elektrolita u vodi ona postaje provodna za električnu struju, ta sposobnost naziva se **električna vodljivost**. Pravi i potencijalni elektroliti otopljeni u vodi provode električnu struju (jer su nositelji naboja u otopini), dok neelektroliti koji se ne otapaju, ne provode električnu struju (jer ne disociraju na ione). Električna vodljivost ovisi o vrsti iona, njegovoj veličini o kojoj ovisi mobilnost iona, stupnju hidratacije, naboju, o njihovoj ukupnoj koncentraciji te temperaturi na kojoj se ona mjeri (HALLE, 2004). Jedinica mjere električne vodljivosti je mikrosimens po centimetru (μS/cm). Destilirana voda slabo disocira pa je njena električna vodljivost vrlo mala, ali vrlo velike količine otopljenih soli jako povećavaju električnu vodljivost vode pa se već na temelju električne vodljivosti može zaključiti o sadržaju otopljenih elektrolita u vodi. Električnom vodljivosti se može procijeniti stupanj mineralizacije vode i odrediti o kojoj je vrsti vode riječ (tablica 5.1.) Budući da električna vodljivost vode ovisi o temperaturi, zabilježene su temperature na kojima je mjerena električna vodljivost.



**Tablica 5.1.** Određivanje vrste vode prema električnoj vodljivosti (HALLE, 2004)

VRSTA VODE	ELEKTRIČNA VODLJIVOST [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]
kemijski čista (destilirana)	0,5 – 3
Kišnica	5 – 30
slatka voda	30 – 2000
mineralna voda	10 000 – 20 000
morska voda	45 000 – 55 000

**Otopljeni kisik** je jedini plin koji se rutinski mjeri u uzorcima vode. Sadržaj kisika u vodi mjeri se zbog njegovog utjecaja na redoks reakcije, zbog upotrebe kao kvalitativnog indikatora redoks potencijala i dr. U temperaturnom području između  $0^{\circ}\text{C}$  i  $35^{\circ}\text{C}$  voda u dodiru sa zrakom ima masenu koncentraciju otopljenog kisika između 7 mg/l i 14 mg/l. Otopljeni kisik određuje se na terenu metodom pomoću elektroda. Kako je kisik iz zraka svuda prisutan, valja određivati sadržaj kisika s izvora uz minimalni dodir uzorka i zraka na površini (HALLE, 2004). Vrijednosti otopljenog kisika mjereni su u laboratoriju uz miješanje vode pomoću elektrode kako bi se pokušao imitirati tok vode s izvora za što preciznije rezultate. Uređaj kojim su se ovi parametri ispitivali je WTW Multi 3630 IDS (slika 5.9.) koji se koristi u in-situ i laboratorijskim ispitivanjima u hidrogeološkim istraživanjima.



**Slika 5.9.** Uređaj WTW Multi 3630 IDS korišten u laboratorijskim ispitivanjima

### 5.2.2.2. Određivanje koncentracije osnovnih iona u uzorcima vode

Za određivanje osnovnog ionskog sastava uzoraka vode s lokacija opažanja primijenjene su dvije metode: titracija i ionska kromatografija.

Titracijom kiselinom uz pH-indikatore određuje se alkalitet vode. Alkalitet vode je mjera za kapacitet neutralizacije neke otopine. Za prirodne vode uzima se kao mjera koncentracija hidroksida, hidrogenkarbonata i karbonata u vodi, a može uključivati i ostale baze u vodi (PUSTAJ & KAPOR, 2016). Razlikujemo phenolphtalein alkalitet (p-vrijednost) i metil narančasto alkalitet (m-alkalitet). Rezultati dobiveni određivanjem phenolphtalein alkaliteta i ukupnog alkaliteta ukazuju na tri moguća oblika alkaliteta prisutna u vodi: alkalitet hidrogenkarbonata, alkalitet karbonata i alkalitet hidroksida, uz pretpostavku da u vodi nema drugih anorganskih ili organskih kiselina. Pri računanju alkaliteta hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata u vodi pretpostavlja se da hidroksidi i hidrogenkarbonati ne mogu biti prisutni u vodi u isto vrijeme.

Phenolphtalein alkalitet (p-vrijednost) je kvantitativna mjera za alkalitet od pH-vrijednosti 8,3. Pri ovoj titraciji, kiselina (najčešće klorovodična kiselina množinske koncentracije  $0,1 \text{ mol/dm}^3$ ) reagira s hidroksidnim i karbonatnim ionima, tj. alkalitet potječe od hidroksidnih i karbonatnih iona, pri čemu samo karbonati prelaze u hidrogenkarbonate. Kraj reakcije karakteriziran je promjenom boje indikatora phenolphtaleina iz ljubičaste u bezbojnu (mijenja boju u rasponu pH od 8,0 do 9,8).

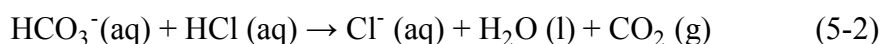
Ukupni alkalitet vode određuje se uz indikator metil narančasto koji indicira promjenu pri pH-vrijednosti 4,3. Pri određivanju ukupnog alkaliteta vode s kiselinom reagiraju svi hidroksidi, karbonati i hidrogenkarbonati, pri čemu i karbonati prelaze u  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ . Kada je pH-vrijednost vode između 4,5 do 8,3 alkalitet potječe od hidrogenkarbonata, a phenolphtalein alkalitet je jednak nuli.

Pri određivanju alkaliteta vode korišten je volumen od 0,1 litre uzorka vode s točaka opažanja koji je pipetiran u Erlenmeyerovu tikvicu u koju se zatim doda par kapi metil narančasto indikatora. Za neutralizaciju tog volumena vode u njega je titrirana otopina klorovodične kiseline množinske koncentracije  $0,1 \text{ mol/dm}^3$ . Pri titriranju klorovodične kiseline iz birete, kružno se vrti Erlenmeyerova tikvica sve do prve promjene boje iz svijetlo žute u narančastu boju (slika 5.10.) te se zaustavlja titracija i bilježi volumen klorovodične kiseline koji je titriran.

Prava koncentracija ( $c$ ) klorovodične kiseline je nešto manja ili veća od od njene realne koncentracije ( $c_{\text{realna}}$ ) jer je pripremanje otopine s točno određenom koncentracijom zahtjevno. Zbog toga je standard otopine klorovodične kiseline  $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol/dm}^3$  pomnožen s faktorom otopine ( $f$ ) kako bi se dobila realna koncentracije otopine:

$$c_{\text{realna}}(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot f = 0,1 \text{ mol/dm}^3 \cdot 1,02297 = 0,102297 \text{ mol/dm}^3 \quad (5-1)$$

Iz kemijske reakcije hidrogenkarbonata i klorovodične kiseline izvodi se jednadžba (5-2) za izračunavanje masene koncentracije  $\gamma$  (kemijske jednadžbe od 5-3 do 5-5) hidrogenkarbonata (hidrogenkarbonat čini alkalitet vode jer je pH vrijednost uzoraka u vrijednosti 4,5 do 8,3) u ispitivanim uzorcima:

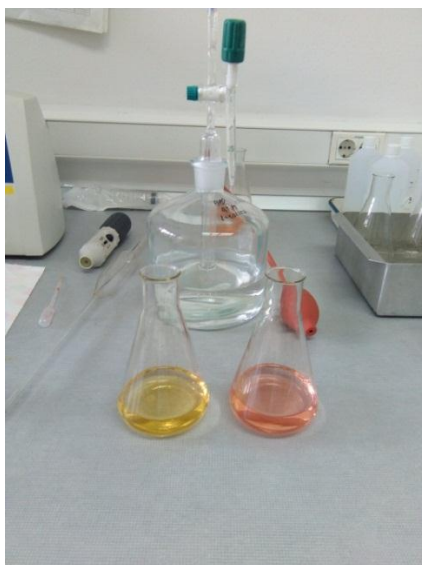


$$n(\text{HCO}_3^-) = n(\text{HCl}) = c_{\text{realna}}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \quad (5-3)$$

$$m(\text{HCO}_3^-) = n(\text{HCO}_3^-) \cdot M(\text{HCO}_3^-) \quad (5-4)$$

$$\gamma(\text{HCO}_3^-) = \frac{m(\text{HCO}_3^-)}{V(\text{uzorak})} \quad (5-5)$$

pri čemu su:  $n$  - množina tvari [mol],  $c$  - množinska koncentracija tvari [mol/dm<sup>3</sup>],  $m$  - masa tvari [mg],  $M$  - molekulska masa kemijskog spoja [g/mol],  $\gamma$  - masena koncentracija [mg/dm<sup>3</sup>],  $V$  - volumen uzorka [dm<sup>3</sup>]



**Slika 5.10.** Kraj titracije klorovodične kiseline u uzorak vode nakon promjene boje metiloranža iz svijetlo žute u narančastu boju



Ionskom kromatografijom utvrđuje se koncentracija kationa ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) i koncentracija aniona ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )

Ionska kromatografija je tekućinska kromatografija u koloni kojoj se separacijski mehanizam temelji na ionskoj izmjeni na nepokretnoj fazi (predkolona i kolona) s aktivnim pozitivno ili negativno nabijenim funkcionalnim grupama.

Ionski kromatograf ICS – 90 tvrtke Dionex (slika 5.11.) sastoji se od pumpe za pokretanje mobilne faze, nepokretne faze, injektora, supresora, detektora i računala za vođenje analize i obrade podataka.

Prije paljenja provjerava se ima li eluenta i reagensa u bocama, a tlak na bocama treba biti oko 6 Psi. Zatim se instrument pali, kao i računalo te se pokreće program Cromeleon. Pumpa se pali, a nakon toga tlak na anionskom izmjenjivaču mora iznositi oko 1800 psi, a kationskom 1100 psi, i električna vodljivost na anionskom izmjenjivaču oko 1-2, maksimalno 4-5  $\mu\text{S}$ , a na kationskom 18-23  $\mu\text{S}$ .

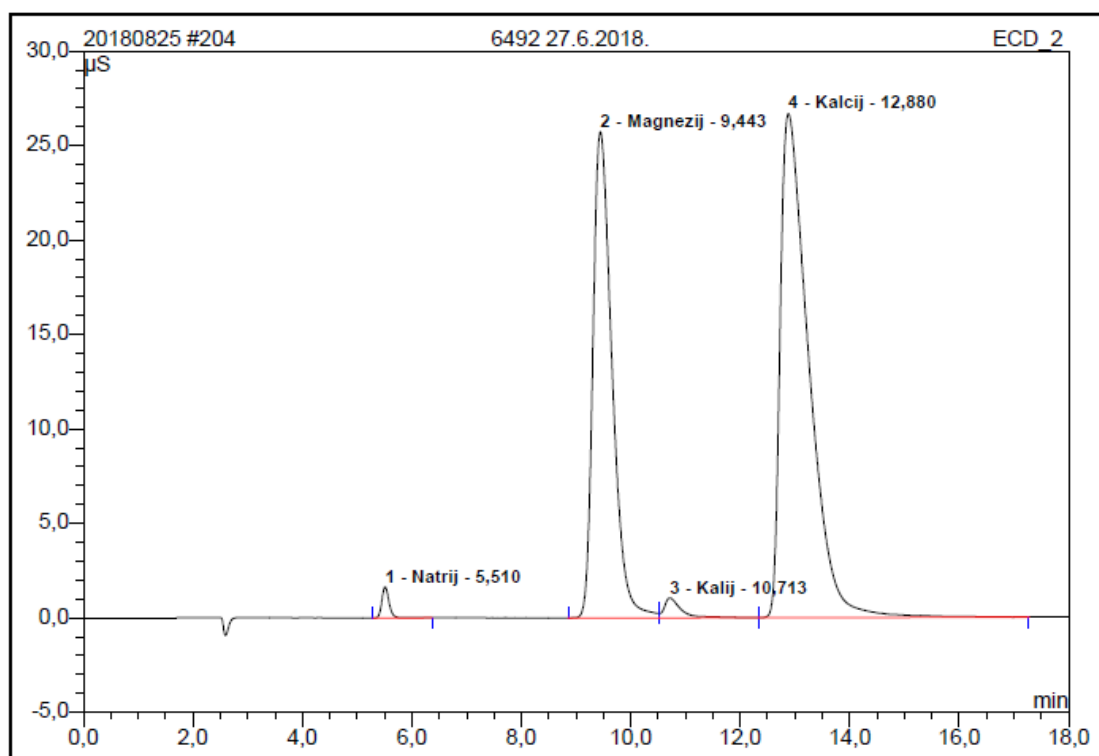
Uzorak vode ubrizga se u injektor špricom od 1 ml te se ispitivanje pokreće računalnim programom Cromeleon. Nakon dvadesetak minuta ispitivanje uzorka je gotovo. Zatim se nakon ispitivanja u injektor ubrizgava destilirana voda te se novom špricom ponovno ubrizguje novi uzorak vode.

Detektira se električna vodljivost iona koja se prikazuje na kromatogramu (slika 5.12.) u ovisnosti o vremenu ispitivanja. Anioni/ kationi se detektiraju vremenom zadržavanja u koloni odnosno usporedbom vremena zadržavanja aniona/kationa u uzorku s vremenom zadržavanja odgovarajućih ion standarda (npr. sulfati u vremenu otprilike 15,7 minuta).

Iz površina ispod dijagrama računa se koncentracija aniona/kationa u mg/l.



Slika 5.11. Ionski kromatograf ICS 90 tvrtke Dionex



No.	Ret.Time min	Peak Name	Height µS	Area µS*min	Rel.Area %	Amount	Type
1	5,51	Natrij	1,648	0,251	0,93	1,471	BMB
2	9,44	Magnezij	25,743	10,384	38,29	33,822	BM
3	10,71	Kalij	1,048	0,369	1,36	3,353	M
4	12,88	Kalcij	26,687	16,116	59,42	74,222	MB
<b>Total:</b>			55,125	27,121	100,00	112,869	

Slika 5.12. Kationski kromatogram uzorka s izvora Vrelo

### 5.2.3. Rezultati hidrokemijskih istraživanja

Rezultati mjerenja temperature zraka i temperature vode na izvorima dana 12. lipnja 2018. godine prikazani su u tablici 5.2.

**Tablica 5.2.** Rezultati mjerenja temperature zraka i vode

Lokacija	Temperatura zraka (°C)	Temperatura vode (°C)
ušće Pećine u Slunjčicu	23,3	10,8
izvor Točak	25,4	11,2
izvor Vrelo	27,1	11,6
izvor Slunjčice	29,5	13,1
izvor kod Novog Sela	30,3	12,8

Temperature vode na točkama opažanja u rasponu su od 10,8°C – 13,1°C. Povećanje temperature zraka tijekom dana pratilo je i povećanje temperature uzoraka vode. Temperatura vode na izvoru Slunjčice mjerena je uz kameni preljev koji je izložen sunčevom osvjetljenju, te je ta temperatura i najviša i nije reprezentativna za sam izvor, čija je voda sigurno niža od te. Sva ostala mjesta opažanja su u sjenovitom zaklonu.

Rezultati mjerenja pH-vrijednosti, električne vodljivosti i sadržaja otopljenog kisika prikazani su u tablici 5.3. Pored toga, mjerena je i temperatura vode uzoraka prilikom određivanja navedenih parametara zbog njihove ovisnosti o temperaturi.

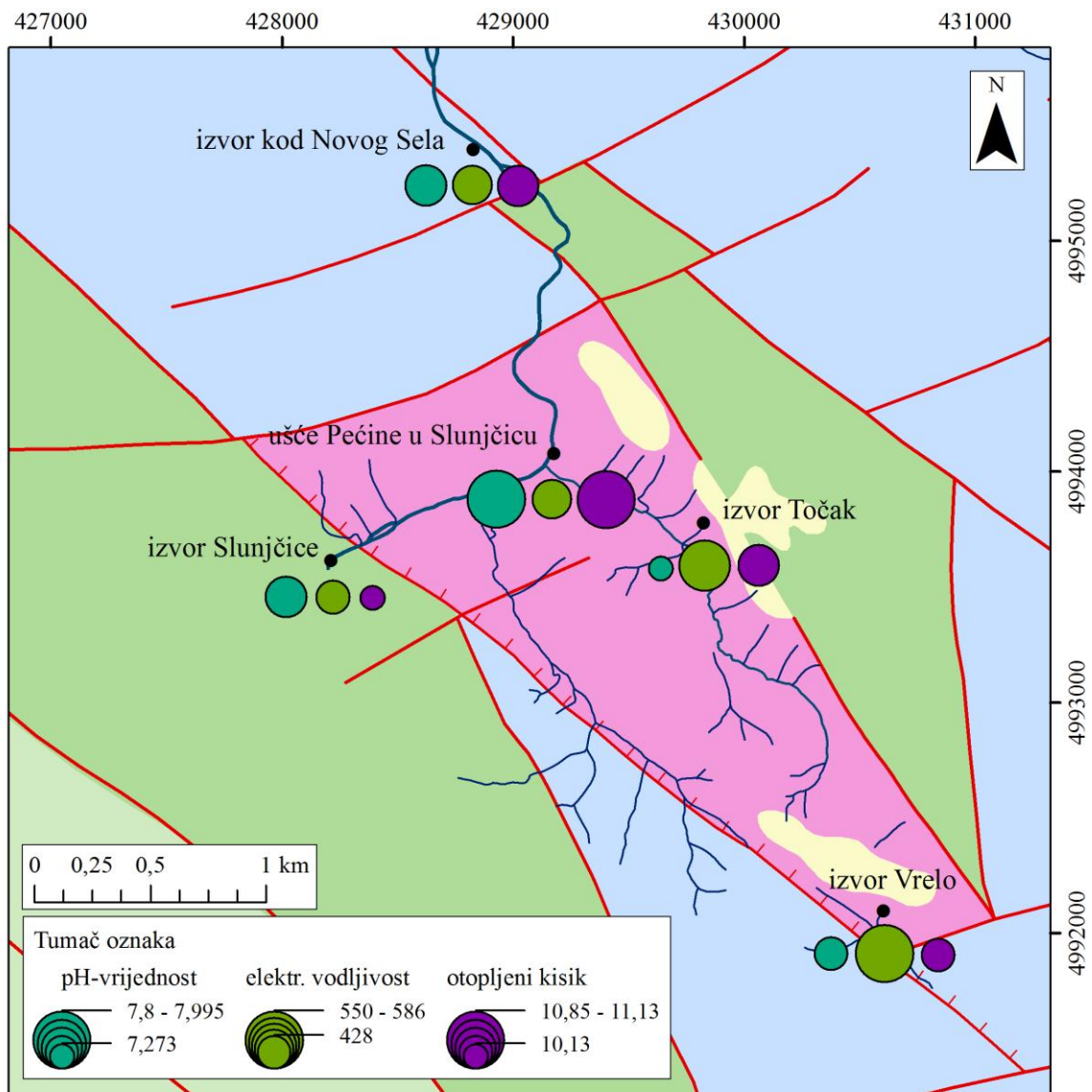
**Tablica 5.3.** Rezultati mjerenja pH-vrijednosti, električne vodljivosti i sadržaja otopljenog kisika

Lokacija	pH-vrijednost	Elek. vodljivost [μS/cm]	Otopljeni kisik [mg/l]	Temperatura vode [°C]
ušće Pećine u Slunjčicu	7,995	429	11,13	15,4
izvor Točak	7,273	528	10,49	15,5
izvor Vrelo	7,307	586	10,16	15,3
izvor Slunjčice	7,494	428	10,13	15,5
izvor kod Novog Sela	7,424	448	10,37	16,1

pH-vrijednost u uzorcima vode s lokacija opažanja su u rasponu od 7,273 (izvor Točak) do 7,494 (izvor Slunjčice). Najniže pH-vrijednosti izmjerene su na izvoru Točak i izvoru Vrelo (7,307). Odstupanje od tih vrijednosti pokazuje uzorak vode s ušća Pećine u Slunjčicu s vrijednosti od 7,995. To je opravdana vrijednost, jer je sama voda s mjesta opažanja u izravnom kontaktu sa svježim zrakom i atmosferskim utjecajima, za razliku od izvora. Sukladno tome, najveći sadržaj otopljenog kisika u vodi bilježi se na ušću Pećine u Slunjčicu (11,13 mg/l), a ostale vrijednosti kreću se od 10,13 mg/l do 10,49 mg/l na izvoru Točak.

Vrijednosti električne vodljivosti u uzorcima s lokacija opažanja u rasponu su od 428  $\mu\text{S}/\text{cm}$  do 586  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Vrijednosti od 428  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (izvor Slunjčice) do 448  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (izvor kod Novog Sela) izmjerene su uz Slunjčicu. Vrijednost električne vodljivosti na ušću Pećine u Slunjčicu gotovo je ista (429  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) s izvorom Slunjčice. Za razliku od toga vrijednosti od 528  $\mu\text{S}/\text{cm}$  izmjerene su na izvoru Točak, a na izvoru Vrelo 586  $\mu\text{S}/\text{cm}$  i time se razlikuju od ostalih mjesta opažanja.

Rezultati ovih mjerenja prikazani su u prostoru na isječku geološke karte područja istraživanja (slika 5.13.), radi uočavanja razlika ili sličnosti parametara na navedenim lokacijama i dovođenje u vezu s litološkim značajkama područja. Isječak geološke karte je u mjerilu 1:25 000.



**Slika 5.13.** Rezultati mjerenja pH-vrijednosti, električne vodljivosti i sadržaja otopljenog kisika na isječku geološke karte u obliku kružnica proporcionalnih veličina ovisno o njihovim vrijednostima

Na slici 5.13. ružičastom su bojom označeni dolomiti srednjeg trijasa, svijetlo plavom bojom označeni su vapnenci gornje jure, tamnijom bojom zelene označeni su vapnenci donje krede, a svijetlom bojom zelene vapnenci gornje krede. Žutom nijansom prikazani su pijesci i šljunci pliocensko-kvartarne starosti.

Alkalitet vode, u ovom slučaju masena koncentracija hidrogenkarbonatnih iona, dobiven je na temelju kemijske jednadžbe (5-2) i izraza (5-3 do 5-5). Dobivene masene koncentracije hidrogenkarbonatnih iona prikazane su u tablici 5.4.

**Tablica 5.4.** Utrošak HCl za neutralizaciju i dobivene masene koncentracije  $\text{HCO}_3^-$

Lokacija	Utrošak HCl [ml]	Masena koncentracija $\text{HCO}_3^-$ [mg/l]
ušće Pećine u Slunjčicu	4,6	287,1
izvor Vrelo	6,4	399,5
izvor Slunjčice	4,55	284,0
izvor Točak	5,95	371,4
izvor kod Novog Sela	4,45	277,7

Najviše vrijednosti masenih koncentracija hidrogenkarbonatnih iona zabilježene su na lokaciji izvor Vrelo i izvor Točak, vrijednosti su u rasponu od 371 mg/l do 400 mg/l. Za ostale lokacije opažanja zabilježene su niže vrijednosti masenih koncentracija hidrogenkarbonatnih iona, malog raspona od 278 mg/l do 287 mg/l.

Ionskom kromatografijom dobivene su masene koncentracije kationa (litij, natrij, magnezij, kalij i kalciji) i aniona (fluorid, klorid, nitrat, fosfat i sulfat). Masene koncentracije kationa u mg/l prikazane su u tablici 5.5., a aniona u tablici 5.6.

**Tablica 5.5.** Koncentracije kationa (u mg/l) i njihova ukupna koncentracija u uzorcima

KATION [mg/l]	ušće Pećine u Slunjčicu	izvor Vrelo	izvor Slunjčice	izvor Točak	izvor kod Novog Sela
litij ( $\text{Li}^+$ )	0,155	-	-	-	-
natrij ( $\text{Na}^+$ )	1,557	1,471	1,524	0,842	2,058
magnezij ( $\text{Mg}^{2+}$ )	13,569	33,822	12,464	31,137	14,012
kalij ( $\text{K}^+$ )	0,696	3,353	0,702	0,831	2,233
kalcij ( $\text{Ca}^{2+}$ )	68,496	74,222	66,824	68,362	70,021
<b>UKUPNO [mg/l]</b>	<b>84,473</b>	<b>113,048</b>	<b>81,514</b>	<b>101,172</b>	<b>88,324</b>

**Tablica 5.6.** Koncentracije aniona (u mg/l) i njihova ukupna koncentracija u uzorcima vode s lokacija opažanja (uz pridodane vrijednosti hidrogenkarbonatnih iona)

ANION [mg/l]	ušće Pećine u Slunjčicu	izvor Vrelo	izvor Slunjčice	izvor Točak	izvor kod Novog Sela
fluorid (F <sup>-</sup> )	0,066	0,120	0,063	0,047	0,090
klorid (Cl <sup>-</sup> )	1,453	0,967	1,465	0,476	2,323
nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	2,426	1,436	2,562	-	13,909
fosfat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	1,559	2,871	1,797	2,317	1,639
sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	3,711	10,481	3,798	2,068	8,628
hidrogenkarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	287,116	399,472	283,999	371,384	277,758
<b>UKUPNO (mg/l)</b>	<b>296,331</b>	<b>415,347</b>	<b>293,684</b>	<b>376,292</b>	<b>304,347</b>

Budući da su za određivanje hidrokemijskog facijesa potrebne koncentracije izražene u meq/l u tablici 5.7. prikazane su masene koncentracije kationa u meq/l, a aniona u tablici 5.8. Za određivanje hidrokemijskih facijesa koncentracije kationa i aniona u meq/l pretvorene su u postotne udjele iz ukupnih koncentracija kationa i aniona. Postotni udjeli kationa i aniona prikazani su u tablicama 5.9. i 5.10. Izrađene su karte s kružnim dijagramima postotnih udjela kationa i aniona, na isječku geološke karte kako bi se uvidjelo kako litološki sastav stijena utječe na udjele iona. Prikaz s postotnim udjelima kationa prikazana je na slici 5.14., a prikaz s postotnim udjelom aniona na slici 5.15.

**Tablica 5.7.** Koncentracije kationa (u meq/l) i njihova ukupna koncentracija u uzorcima vode s lokacija opažanja

KATION [meq/l]	ušće Pećine u Slunjčicu	izvor Vrelo	izvor Slunjčice	izvor Točak	izvor kod Novog Sela
litij (Li <sup>+</sup> )	0,022	-	-	-	-
natrij (Na <sup>+</sup> )	0,068	0,064	0,066	0,037	0,090
magnezij (Mg <sup>2+</sup> )	1,117	2,783	1,026	2,562	1,153
kalij (K <sup>+</sup> )	0,018	0,086	0,018	0,021	0,057
kalcij (Ca <sup>2+</sup> )	3,418	3,704	3,335	3,411	3,494
<b>UKUPNO [meq/l]</b>	<b>4,643</b>	<b>6,637</b>	<b>4,445</b>	<b>6,031</b>	<b>4,794</b>

**Tablica 5.8.** Koncentracije aniona (u meq/l) i njihova ukupna koncentracija u uzorcima vode (uz pridodane vrijednosti hidrogenkarbonatnih iona)

ANION [meq/l]	ušće Pećine u Slunjčicu	izvor Vrelo	izvor Slunjčice	izvor Točak	izvor kod Novog Sela
fluorid (F <sup>-</sup> )	0,003	0,006	0,003	0,002	0,005
klorid (Cl <sup>-</sup> )	0,041	0,027	0,041	0,013	0,066
nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,039	0,023	0,041	-	0,224
fosfat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0,049	0,091	0,057	0,073	0,017
sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	0,077	0,218	0,079	0,043	0,090
hidrogenkarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	4,706	6,547	4,655	6,087	4,553
<b>UKUPNO [meq/l]</b>	<b>4,915</b>	<b>6,912</b>	<b>4,876</b>	<b>6,218</b>	<b>4,955</b>

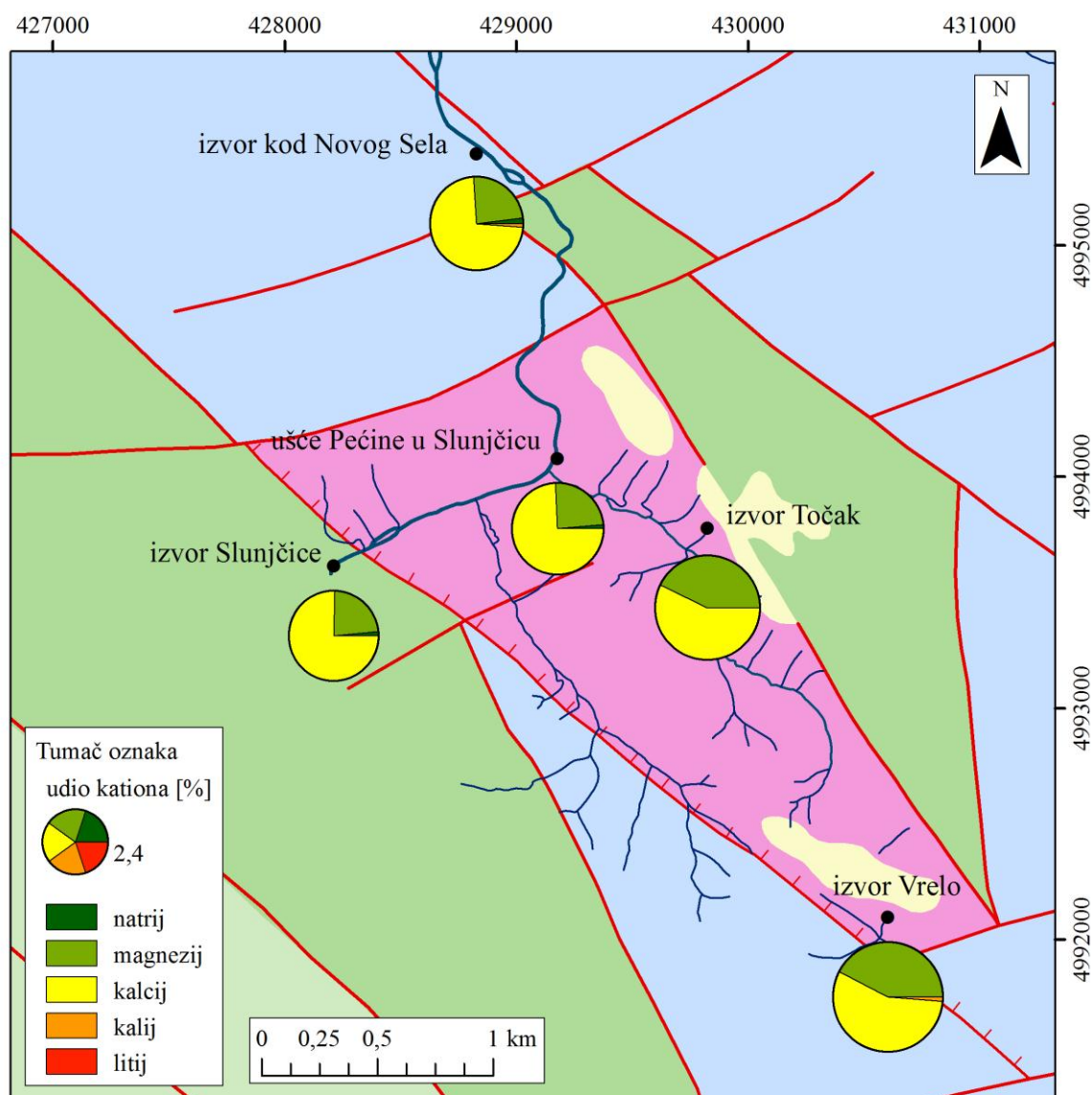
Budući da hidrogenkarbonati u svakom uzorku čine više od 90% aniona, izračunati su udjeli aniona u ukupnoj koncentraciji aniona bez hidrogenkarbonata da bi se što zornije prikazala njihova prostorna raspodjela. Ti rezultati prikazani su tablicom 5.11. i slikom 5.16.

Veličina kružnih dijagrama proporcionalna je ukupnoj koncentraciji iona u miliekvivalentima po litri, tj. što je veći kružni dijagram, veća je ukupna koncentracija iona u uzorku. Svaki kation/anion obojan je vlastitom bojom koja je navedena u tumaču oznaka.



**Tablica 5.9.** Postotni udjeli kationa u ukupnoj koncentraciji kationa [meq/l]

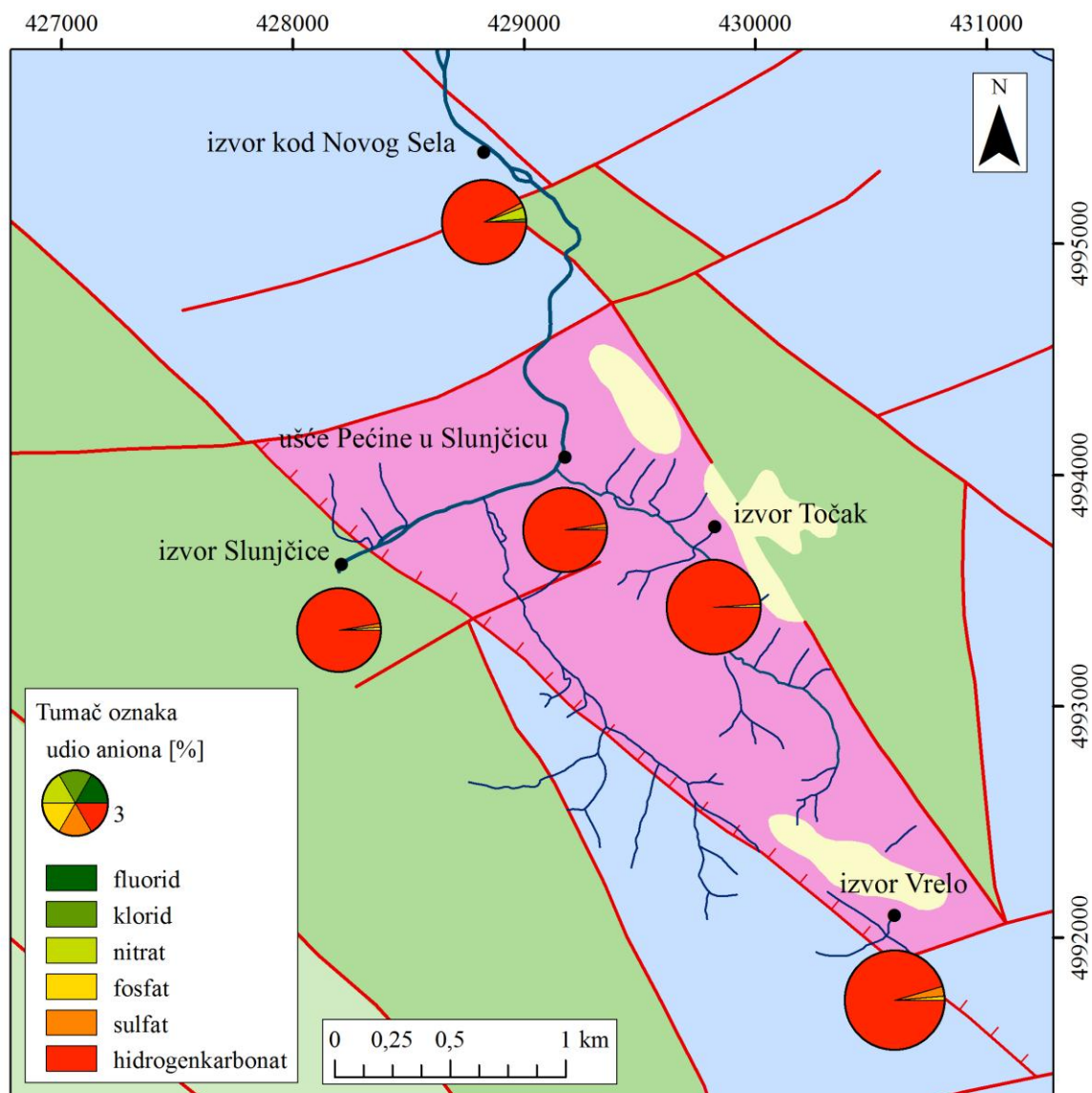
UDIO KATIONA [%]	ušće Pećine u Slunjčicu	izvor Vrelo	izvor Slunjčice	izvor Točak	izvor kod Novog Sela
litij (Li <sup>+</sup> )	0,481	-	-	-	-
natrij (Na <sup>+</sup> )	1,459	0,964	1,491	0,607	1,867
magnezij (Mg <sup>2+</sup> )	24,051	41,935	23,076	42,480	24,052
kalij (K <sup>+</sup> )	0,383	1,292	0,404	0,352	1,191
kalcij (Ca <sup>2+</sup> )	73,626	55,809	75,028	56,560	72,890



**Slika 5.14.** Postotni udjeli kationa u ukupnim koncentracijama kationa u uzorku

**Tablica 5.10.** Postotni udjeli aniona u ukupnoj koncentraciji aniona [meq/l]

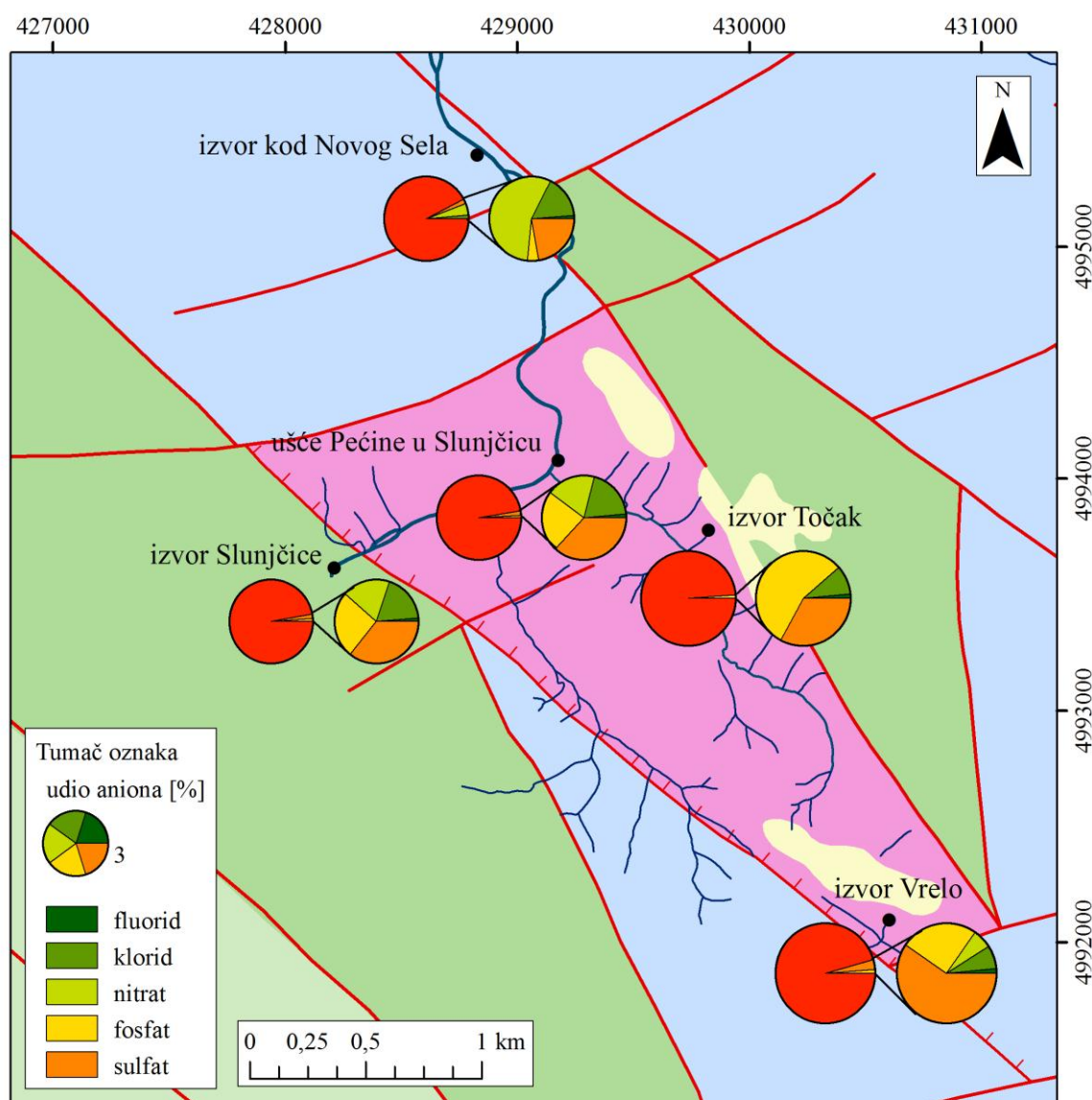
UDIO ANIONA [%]	ušće Pećine u Slunjčicu	izvor Vrelo	izvor Slunjčice	izvor Točak	izvor kod Novog Sela
fluorid (F <sup>-</sup> )	0,071	0,091	0,068	0,040	0,096
klorid (Cl <sup>-</sup> )	0,834	0,395	0,847	0,216	1,323
nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,796	0,335	0,847	-	4,528
fosfat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	1,002	1,312	1,164	1,177	0,348
sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1,572	3,157	1,621	0,692	1,813
hidrogenkarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	95,726	94,711	95,452	97,875	91,892



**Slika 5.15.** Postotni udjeli aniona u ukupnim koncentracijama aniona u uzorku

**Tablica 5.11.** Postotni udjeli aniona iz ukupne koncentracije aniona bez  $\text{HCO}_3^-$  iona (meq/l)

UDIO ANIONA [%]	ušće Pećine u Slunjčicu	izvor Vrelo	izvor Slunjčice	izvor Točak	izvor kod Novog Sela
fluorid ( $\text{F}^-$ )	1,654	1,727	1,495	1,872	1,179
klorid ( $\text{Cl}^-$ )	19,507	7,459	18,631	10,16	16,313
nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	18,623	6,334	18,630	-	55,849
fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	23,44	24,802	25,593	55,386	4,297
sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	36,775	59,677	36,651	32,582	22,631



**Slika 5.16.** Postotni udjeli aniona iz ukupne koncentracije aniona bez  $\text{HCO}_3^-$  iona u uzorku (meq/l)

Utvrđivanjem koncentracije iona (tiracijom i ionskom kromatografijom) utvrđeno je da izvor Točak (izvor Pećine) i kaptiran izvor Vrelo po udjelima kationa u uzorcima vode odstupaju od ostalih točaka opažanja. Udjeli magnezija i kalcija u uzorcima vode najviše odstupaju što bi kao uzrok bila različita stijenska masa kroz koju podzemna voda prolazi. Na izvoru Vrelo i izvoru Točak udio magnezija u udjelu kationa u uzorcima vode je oko 42%, dok je na ostalim točkama uz Slunjčicu oko 23-24%. Sukladno tome, udjeli kalcija u udjelu kationa u uzorcima vode najniži su na izvoru Vrelo i izvoru Točak, oko 56%, a na ostalim lokacijama opažanja od 73 do 76% u udjelu kationa. Ostali udjeli koncentracija kationa (natrij, kalij) na svim uzorcima su u sličnim razmjerima. Hidrogenkarbonatni anion ima najveći udio u udjelu aniona u svim uzorcima, u vrijednostima od 91,9 do 95,7%. Najmanji udio hidrogenkarbonatnih iona ima uzorak vode s izvora kod Novog Sela. Izuzimanjem hidrogenkarbonatnog aniona, odnos aniona je drukčiji. Izvor kod Novog Sela ima najveći udio nitrata u udjelu koncentracija aniona u uzorcima vode bez hidrogenkarbonatnog aniona i to 55,9% (4,5% u udjelu s hidrogenkarbonatnim ionom), dok na izvoru Točak nitrati nisu prisutni, a malo ih je i na izvoru Vrelo, tj. 6,3% u udjelu koncentracija aniona u uzorcima vode bez hidrogenkarbonatnog aniona. Posljedica povišenih koncentracija nitrata može biti blizina naselja Novo Selo i državne prometnice D-1. Suprotno tome, najviša koncentracija fosfata u udjelu aniona u uzorcima vode bez hidrogenkarbonatnog aniona je na izvoru Točak, u udjelu od 55,4% (1,18% u udjelu s hidrogenkarbonatnim ionom), a najniža na izvoru kod Novog Sela u udjelu od 4,3%. U ostalim uzorcima vode s točaka opažanja vrijednosti nitrata, fosfata su slične. Vrijednosti klorida i fluorida ne odstupaju značajno u uzorcima. Na izvoru Vrelo najveći je udio sulfata u udjelu aniona u uzorcima vode bez hidrogenkarbonatnog aniona, i to 59,7% dok se na ostalim lokacijama opažanja kreće od 22% do 36%.

Pri tome, udjeli aniona i kationa u uzorcima vode, s ušća Pećine u Slunjčicu i samog izvora Slunjčice pokazuju gotovo identične vrijednosti za svaki pojedini anion i kation, osim što su na ušću Pećine detektirane niske koncentracije litija. Time proizlazi zaključak da pritek Pećina nema značajniji utjecaj na kemizam rijeke Slunjčice.

Prije interpretacije podataka, mora se provjeriti točnost rezultata kemijske analize pomoću kontrole ekvivalencije kationa i aniona. Odstupanje se računa po relaciji:

$$[\%] \text{ razlike} = 100 \cdot \frac{\sum \text{kationa} - \sum \text{aniona}}{\sum \text{kationa} + \sum \text{aniona}} \quad (5-6)$$

Odstupanje razlike između koncentracije kationa i koncentracije aniona ne bi smjela biti veća od 5%. Provjera točnosti kemijske analize prikazana je u tablici 5.12.

**Tablica 5.12.** Provjera točnosti kemijskih analiza na uzorcima

LOKACIJA	ZBROJ ANIONA [meq/l]	ZBROJ KATIONA [meq/l]	ODSTUPANJE [%]
ušće Pećine u Slunjčicu	4,916	4,643	2,856
izvor Vrelo	6,913	6,637	2,037
izvor Slunjčice	4,877	4,445	4,634
izvor Točak	6,219	6,032	1,526
izvor kod Novog Sela	4,954	4,794	1,641

Osim po sastavu otopljenih soli, voda se može podijeliti i prema količini otopljene soli. Voda je slatka ako je količina otopljene soli manja od 1 gram po litri vode. Mjerna jedinica je miligram po litri (mg/l). Iznos otopljene soli ovisi o trajanju zadržavanja vode u vodonosniku, a glavna područja napajanja u danom sustavu obilježena su vodom u kojoj je niži sadržaj otopljenih soli nego u područjima neznatnog napajanja (DUIĆ, 2017).

Izračunate su vrijednosti ukupno otopljenih soli u (zbroj kationa i aniona) mg/l i meq/l za svaki pojedini uzorak vode, vrijednosti se nalaze u tablici 5.13.

**Tablica 5.13.** Vrijednosti ukupno otopljenih soli (mg/l) u uzorcima

LOKACIJA	UKUPNO OTOPLJENIH SOLI [mg/l]	UKUPNO OTOPLJENIH SOLI [meq/l]
ušće Pećine u Slunjčicu	380,8	9,559
izvor Vrelo	528,2	13,55
izvor Slunjčice	375,2	9,321
izvor Točak	477,4	12,25
izvor kod Novog Sela	392,6	9,748

Udjeli ukupno otopljenih soli u vodama s lokacija opažanja kreću se od 375 mg/l do 528 mg/l, tj. od 9,3 meq/l do 13,5 meq/l. Uzorci s izvora Slunjčice, izvora kod Novog Sela i s ušća Pećine u Slunjčicu pokazuju slične vrijednosti (od 375 mg/l – izvor Slunjčice do 392,6 mg/l). Više otopljenih soli u uzorcima su s izvora Vrelo (528 mg/l) i izvor Točak (477 mg/l). Više otopljenih soli u podzemnoj vodi povećava vrijednosti električne vodljivosti, a to je u ovom primjeru i dokazano.

Zbog odstupanja nekoliko vrijednosti (električna vodljivost, udio magnezija, ukupna otopljena sol) na izvorima Vrelo i Točak, razvodnica sliva s istočne strane hidrogeološke barijere od srednjetrojaskih dolomita je zatvorenija u odnosu na zapadnu stranu. Izvor Točak i izvor Vrelo pripadaju podslivu Pećine i neposrednog toka Slunjčice nizvodno od izvora i ne napajaju se istom podzemnom vodom kao izvor Slunjčice i izvor kod Novog Sela. Sukladno s time, trasiranjem ponora Švice, s izvorom Pećina (izvor istoimenog pritoka) nije dokazana podzemna veza kao što je u slučaju s izvorom Slunjčice.

#### 5.2.4. Interpretacija hidrokemijskih podataka

Čimbenici koji određuju kemijski karakter podzemne vode su: litološki sastav, propusnost vodonosnika te topografija hidrogeološkog sustava. U tumačenju geneze kemijskog sastava podzemne vode ne smije se ispustiti ni jedan od navedenih čimbenika. Prema kemijskom sastavu i količini otopljene tvari podzemna se voda može razvrstati u određene grupe. One odražavaju učinke kemijskih procesa u vodonosniku, odnosno litološkom okružju kroz koje je voda prolazila. Mineralni sastav stijena određuje koji će se hidrokemijski facijesi razviti, a tok vode u vertikalnom i horizontalnom smjeru odredit će raspodjelu hidrokemijskog facijesa (HALLE, 2004). Osim smjera toka vode bitnija je sama brzina njezinog tečenja.

U hidrogeologiji se za prikazivanje sastava vode najčešće rabi Piperov dijagram (slika 5.17.). U lijevi trokut nanose se postotni udjeli ekvivalenata po litri kationa ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+, \text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}$ ), a u desni trokut aniona ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^-$ ). Sastav uzorka vode određuju dvije točke, jedna u trokutu kationa, druga u trokutu aniona koje određuju anionski i kationski facijes vode. Od svake te točke povlači se pravac prema rombu paralelan s vanjskom stranicom kationskog/anionskog trokuta. Sjecište dvaju pravaca u rombu označuje ukupan sastav vode i hidrokemijski facijes (HALLE, 2004). Piperovi dijagrami osim brzog određivanja hidrokemijskih facijesa omogućuju brz i jasan uvid u procese koji su se zbivali u vodonosniku (npr. oslađivanje ili zaslanjivanje vodonosnika).

Tečenjem kroz podzemlje voda reagira sa stijenama s kojima dolazi u dodir i poprima odgovarajuće fizikalno-kemijske značajke. Ako se prikupi dovoljan broj podataka o fizikalno-kemijskim značajkama vode i ako se u dovoljnoj mjeri poznaje litološka građa krškog podzemlja može se doći do zaključaka o kretanju vode kroz određene litološke članove, odnosno o dominantnim vodonosnicima unutar krškog sliva. Primjerice, klasifikacija po Fourmarieru klasificira krške vode po sadržaju magnezija (tablica 5.14.) u vodonosnoj sredini (PARLOV, 2017).





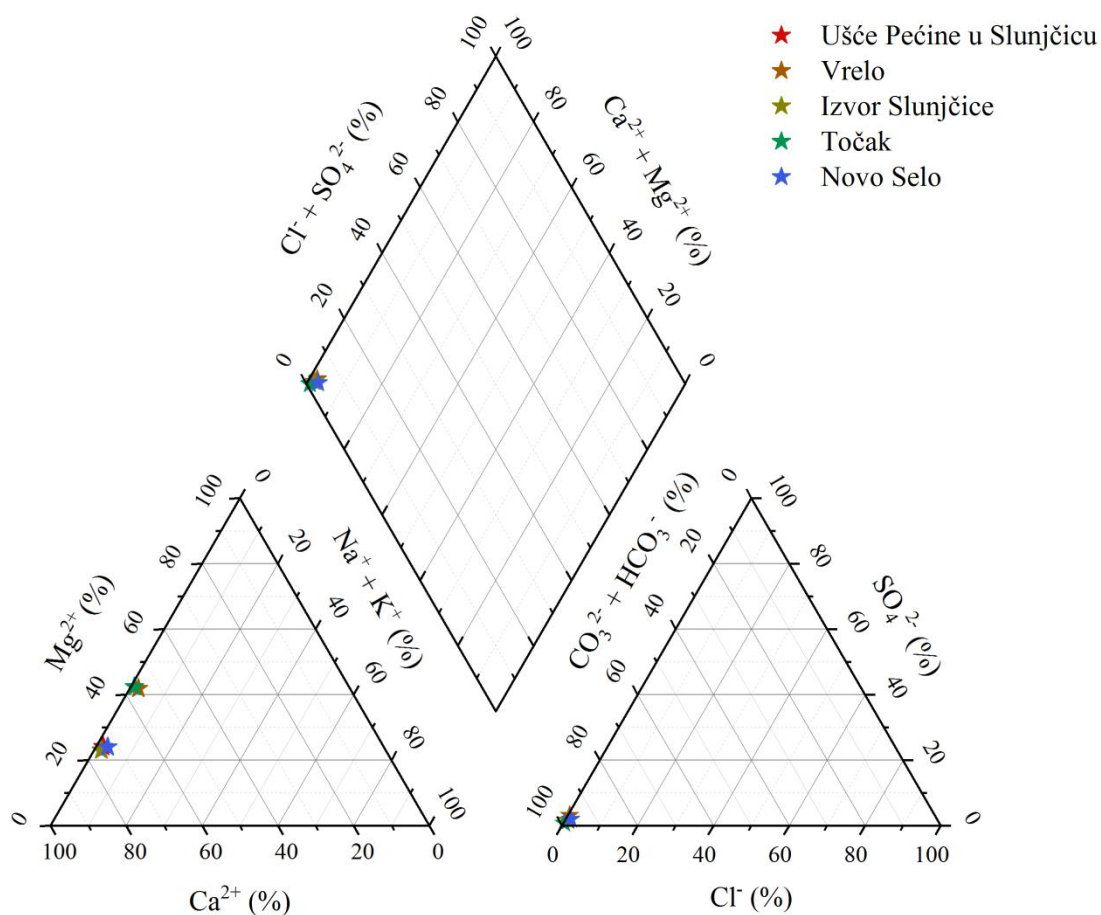
Slika 5.17. Prikaz hidrokemijskih facijesa u Piperovom dijagramu (modificirano prema HALLE, 2004)

Tablica 5.14. Podrijetlo podzemne vode prema sadržaju magnezija

Skupina	Sadržaj magnezija u % ukupno otopljene tvari	Podrijetlo podzemne vode
I.	0 – 7,5	čisti vapnenac
II.	7,5 – 12,5	magnezijski vapnenac
III.	12,5 – 25	dolomitični vapnenac
IV.	25 – 37,5	vapnenački dolomit
V.	37,5 – 42,5	kalcijski dolomit
VI.	42,5 – 50	čisti dolomit



Hidrokemijski facijesi uzoraka vode s lokacija opažanja prikazani su na Piperovom dijagramu na slici 5.18. Svi uzorci pripadaju Ca-HCO<sub>3</sub> hidrokemijskom facijesu. Udio magnezija (%) u ukupno otopljenoj tvari i podrijetlo podzemne vode uzoraka prikazan je u tablici 5.15.



**Slika 5.18.** Piperov dijagram za uzorke vode s lokacija opažanja

**Tablica 5.15.** Udio magnezija (%) od ukupno otopljene tvari u uzorcima vode i podrijetlo podzemne vode

Lokacija	Udio Mg <sup>2+</sup> [%] od ukupno otopljene tvari	Podrijetlo podzemne vode
ušće Pećine u Slunjčicu	11,69	magnezijski vapnenac
izvor Vrelo	20,54	dolomitični vapnenac
izvor Slunjčice	11,01	magnezijski vapnenac
izvor Točak	20,93	dolomitični vapnenac
izvor kod Novog Sela	11,83	magnezijski vapnenac

### **5.3. Hidrološke analize na slivu rijeke Slunjčice**

Za hidrološke analize, kroz određeno vremensko razdoblje i za određeni krški sliv, potrebno je prikupiti podatke o ulaznim i izlaznim količinama vode koje su potrebne za bilanciranje podzemnih voda. Iz Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) prikupljeni su podatci o dnevnim količinama oborina na klimatološkoj postaji Slunj i kišomjernim postajama Rakovica, Saborsko, Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar u razdoblju od 2007. do 2017. godine te podatci o srednjim dnevnim temperaturama zraka na klimatološkoj postaji Slunj. Ti su podatci korišteni kao ulazni podatci za bilanciranje podzemnih voda. Minimalni ciklus za koji se određuje količina oborina trebala bi biti hidrološka godina. Za izlazne podatke korišteni su podatci o protoku na hidrometrijskoj postaji Rastoke budući da se na samom izvoru Slunjčice ne mjeri njegova izdašnost. Na temelju tih podataka u sljedećim potpoglavljima prikazane su vrijednosti srednje količine oborina i evapotranspiracije na slivu za pojedine kalendarske i hidrološke godine, bilanca vode sliva rijeke Slunjčice, koeficijent efektivne infiltracije i proračun teoretske površine sliva rijeke Slunjčice. Uz sve navedeno, u vezi hidroloških analiza konstruirane su i krivulje trajanja Ličke Jesenice i Slunjčice, budući da je dokazana podzemna veza između ponora Ličke Jesenice i izvora Slunjčice. Krivulje trajanja odnose se na razdoblje od 1.9.1983. do 31.8.1990. godine, budući da je to najduže razdoblje u kojem se mjerio protok na oba hidrometrijska profila. Mjerenje protoka na hidrometrijskoj postaji Lička Jesenica ukinuto je 2000. godine, dok su mjerenja protoka na hidrometrijskoj postaji Rastoke počela 1983. godine te traju i danas. Za razdoblje od 1.9.1983. do 31.8.1990. godine također su konstruirane krivulje recesije rijeke Ličke Jesenice i Slunjčice kako bi se što bolje uvidjele retencijske sposobnosti vodonosnika i njihovo pražnjenje.

#### **5.3.1. Bilanca voda sliva rijeke Slunjčice**

Za izračun bilance voda krškog sliva potrebne su ulazne i izlazne količine vode. Podatci o ulaznim količinama vode su dnevne količine oborine i srednje dnevne temperature zraka. Pri tome se podatci svode na godišnja razdoblja kako bi se izračunala godišnja bilanca voda.

Za određivanje srednje godišnje količine oborina na slivu rijeke Slunjčice koristila se Thiessenova metoda. U Thiessenovoj se metodi za svaku kišomjernu postaju odredi utjecajno područje (poligon) u slivu tako da se stranice poligona definiraju kao simetrale

spojnica pojedinih postaja. S obzirom na hidrogeološke podatke koristila se površina sliva rijeke Slunjčice od 282,74 km<sup>2</sup>. Takvim se postupkom određuju utjecajna područja svih postaja na slivu. Kišomjerne postaje Saborsko i Rakovica te klimatološka postaja Slunj nalaze se unutar sliva, dok se kišomjerne postaje Donji Babin Potok, Vrhovine i Dabar nalaze izvan granica sliva rijeke Slunjčice. Za definiranje poligona stanica na rubnim dijelovima sliva uključene su kišomjerne stanice unutar i izvan sliva. Za  $n$  stanica na slivu srednja oborina  $P$  na slivu površine  $A$  je:

$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_iA_i}{A} \quad (5-7)$$

gdje su  $P_i$  i  $A_i$  količina oborine i površina utjecajnog područja  $i$ -te kišomjerne postaje (ŽUGAJ, 2015).

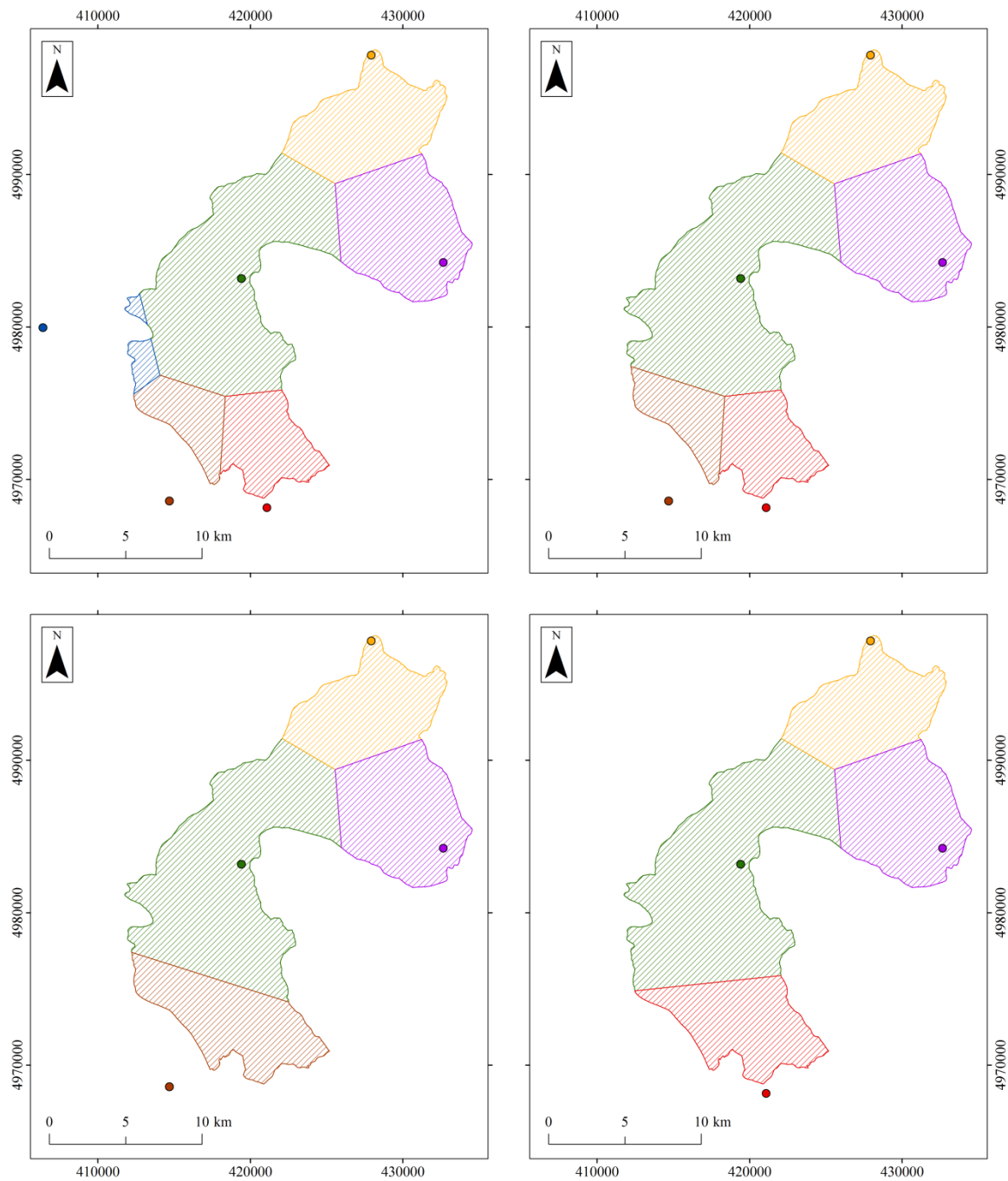
Za određivanje srednje godišnje količine oborina na slivu rijeke Slunjčice korištene su dnevne količine oborina na prethodno navedenim kišomjernim postajama. Budući da na pojedinim postajama za pojedine godine ne postoje kontinuirana mjerenja (primjerice, za postaju Dabar od 2007. – 2013. godine), one su označene crvenom bojom u tablici 5.16. Za te godine te su postaje izuzete iz analize. U tablici 5.16. prikazane su utjecajne površine pojedinih stanica za kalendarske godine. Na slici 5.19. ucrtane su lokacije svih kišomjernih postaja i njihove utjecajne površine s obzirom na dostupnost podataka.

**Tablica 5.16.** Utjecajne površine kišomjernih postaja na slivu rijeke Slunjčice

UTJECAJNE POVRŠINE KIŠOMJERNIH POSTAJA [km <sup>2</sup> ]						
Godina	Slunj	Saborsko	Rakovica	Donji Babin Potok	Vrhovine	Dabar
2015., 2017.	51,02	113,09	59,98	31,47	21,15	6,03
2007., 2010.-2012.	51,01	117,74	59,87	31,43	22,68	-
2009., 2013., 2014., 2016.	50,97	121,2	59,95	-	50,63	-
2008.	50,95	125,12	59,86	46,82	-	-

U tablici 5.17. i na slici 5.20. nalaze se vrijednosti srednjih količina oborina na slivu za kalendarske godine, a u tablici 5.18. i slici 5.21. prikazane vrijednosti za hidrološke

godine (s početkom u rujnu). Srednje količine godišnjih oborina za kalendarske godine na slivu rijeke Slunjščice kreću se između 1300 mm i 1850 mm, osim za 2014. godinu u kojoj je palo više od 2200 mm te 2011. godinu kad je palo manje od 1000 mm. Srednje količine godišnjih oborina za hidrološke godine na slivu rijeke Slunjščice kreću se od 1300 mm i 1850 mm, izuzev hidrološke godine 2013./2014. kada je palo oko 2000 mm i hidroloških godina 2011./2012. i 2016./2017., kada je palo manje od 1100 mm oborine.



**Slika 5.19.** Utjecajne površine kišomjernih postaja za izračun srednje godišnje oborine (narančasto - Slunj, ljubičasto - Rakovica, zeleno - Saborsko, plavo - Dabar, smeđe - Vrhovine, crveno - Donji Babin Potok)

Izračunate su i vrijednosti evapotranspiracije za kalendarske i hidrološke godine koje su potrebne za kasnije bilanciranje voda sliva rijeke Slunjčice. Evapotranspiracija podrazumijeva ukupno isparavanje s promatranog područja, a obuhvaća isparavanje s vodene površine, s površine tla i transpiraciju biljaka. Veličina evapotranspiracije izražava se u milimetrima stupca vode. Ona ovisi o velikom broju čimbenika, a najvažniji su temperatura, brzina vjetra, atmosferski tlak, vlažnost zraka, odnosno deficit vlažnosti, oblik i priroda površine tla, pokrivenost tla vegetacijom i mineralizacija vode (BAČANI, 2006).

Evapotranspiracija je izračunata pomoću empirijske Turcove formule kojom se određuje srednja godišnja stvarna evapotranspiracija:

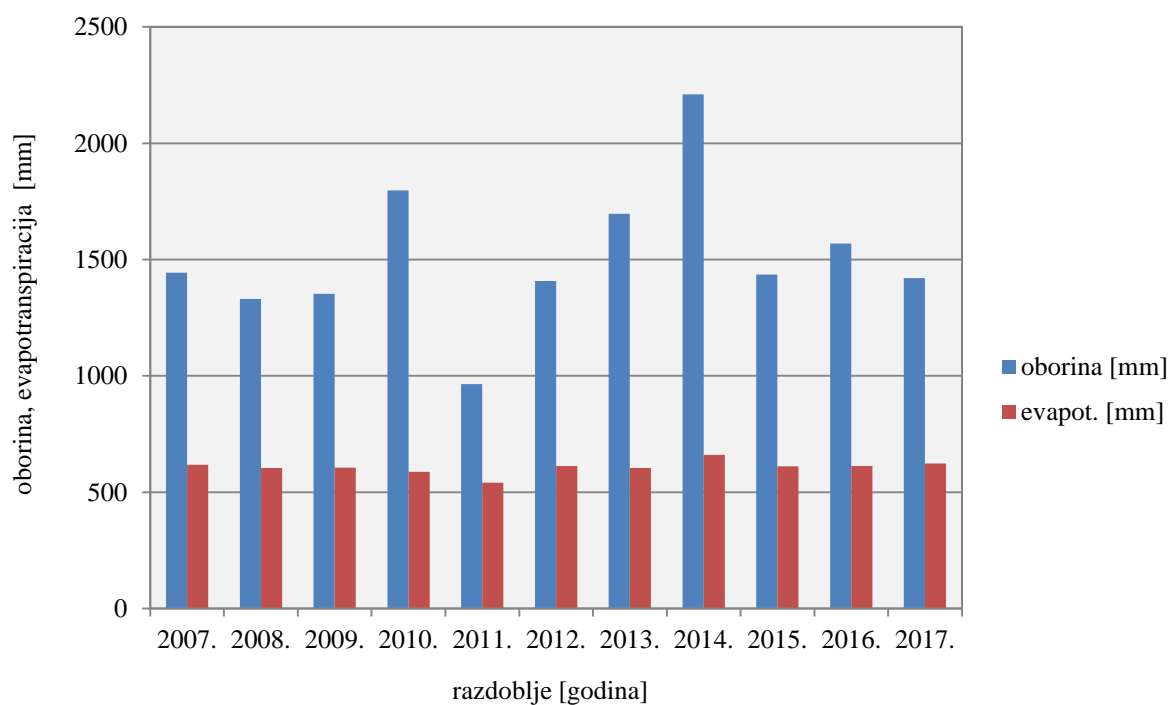
$$E_T = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (5-8)$$

gdje su: P – visina srednjih godišnjih oborina [mm],  $L = 300 + 25T + 0,05T^2$ , T – srednja godišnja temperatura zraka [°C]

Srednja godišnja temperatura zraka izračunata je iz podataka o temperaturi zraka mjerenih na klimatološkoj postaji Slunj koja se nalazi u najnižem dijelu sliva, tako da se može pretpostaviti da su stvarne vrijednosti evapotranspiracije vjerojatno manje od izračunatih. Izračunate vrijednosti evapotranspiracije za kalendarske godine prikazane su u tablici 5.17. i slici 5.20., a vrijednosti evapotranspiracije za hidrološke godine u tablici 5.18. i slici 5.21., zajedno s vrijednostima srednje količine oborine na slivu rijeke Slunjčice. Vrijednosti evapotranspiracije kreću se od 530 mm do 660 mm i u kalendarskim i u hidrološkim godinama. Najviša vrijednost evapotranspiracije dobivena je za 2014. godinu koja je bila i najtoplija, ali i godina s najviše oborina. Suprotno tome, najniža vrijednost evapotranspiracije dobivena je 2011. godine koja nije bila najhladnija, no bila je godina s najnižom količinom oborina. Empirijski dobivene vrijednosti evapotranspiracije u promatranom razdoblju vrlo su slične i nemaju velike oscilacije (za razliku od oborina). Kako se temperatura mjeri samo na najnižem dijelu sliva, a s obzirom na površinu sliva, vrlo vjerojatno nije reprezentativna za cijeli sliv. Pri tome se može uvidjeti kako Turcova formula nedovoljno dobro opisuje stvarnu evapotranspiraciju.

**Tablica 5.17.** Vrijednosti srednjih količina oborina ( $P_{sr}$ ) i evapotranspiracije ( $E_T$ ) na slivu rijeke Slunjčice za kalendarske godine

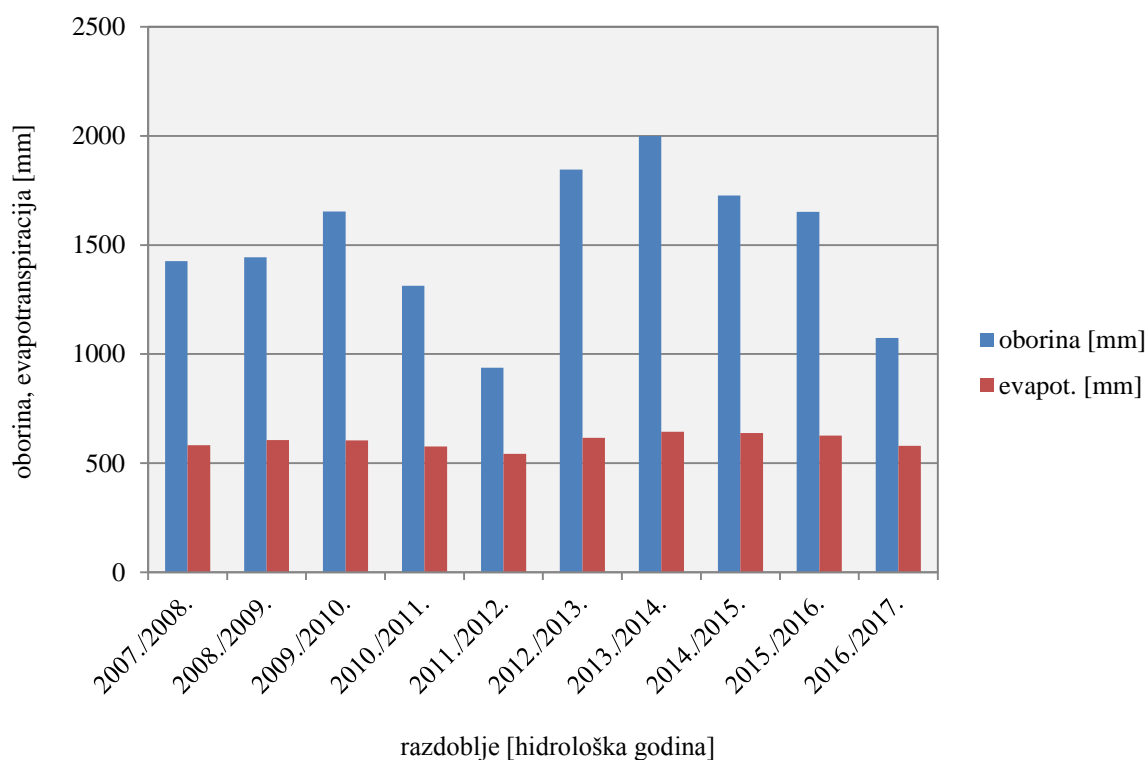
KALENDARSKA GODINA	$P_{sr}$ NA SLIVU [mm]	$E_T$ [mm]	KIŠOMJERNE POSTAJE
2007.	1444,0	618,3	bez Dabra
2008.	1330,8	604,8	bez Dabra i Vrhovina
2009.	1352,3	605,6	bez Dabra i Donjeg Babinog Potoka
2010.	1797,0	587,8	bez Dabra
2011.	964,8	541,3	bez Dabra
2012.	1408,1	611,9	bez Dabra
2013.	1696,9	603,9	bez Dabra i Donjeg Babinog Potoka
2014.	2209,8	660,0	bez Dabra i Donjeg Babinog Potoka
2015.	1435,9	610,5	Sve
2016.	1568,9	612,3	bez Dabra i Donjeg Babinog Potoka
2017.	1420,1	623,6	Sve



**Slika 5.20.** Vrijednosti srednjih količina oborina i evapotranspiracija na slivu rijeke Slunjčice za kalendarske godine

**Tablica 5.18.** Vrijednosti srednjih količina oborina ( $P_{sr}$ ) i evapotranspiracije ( $E_T$ ) na slivu rijeke Slunjčice za hidrološke godine

HIDROLOŠKA GODINA	$P_{sr}$ NA SLIVU [mm]	$E_T$ [mm]	KIŠOMJERNE POSTAJE
2007./2008.	1426,6	582,7	bez Dabra i Vrhovina
2008./2009.	1443,2	605,5	bez Dabra
2009./2010.	1653,2	603,5	bez Dabra i Donjeg Babinog Potoka
2010./2011.	1312,5	576,2	bez Dabra
2011./2012.	937,7	543,0	bez Dabra
2012./2013.	1846,4	616,4	bez Dabra i Donjeg Babinog Potoka
2013./2014.	2000,0	643,9	bez Dabra i Donjeg Babinog Potoka
2014./2015.	1727,3	638,5	bez Dabra i Donjeg Babinog Potoka
2015./2016.	1651,8	625,6	bez Dabra i Donjeg Babinog Potoka
2016./2017.	1073,3	579,7	Sve

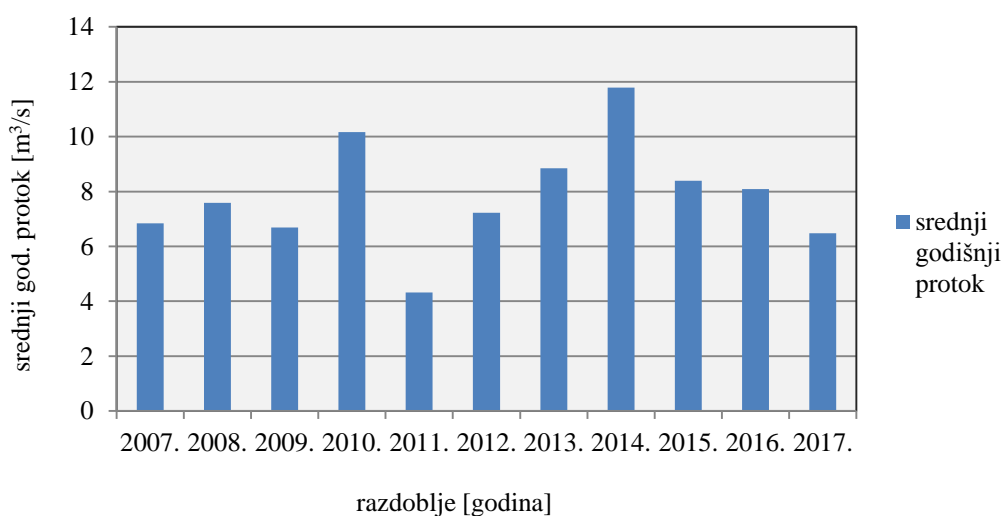


**Slika 5.21.** Vrijednosti srednjih količina oborina i evapotranspiracije na slivu rijeke Slunjčice za hidrološke godine

Uz navedene ulazne podatke, za izračun bilance vode za krški sliv potrebne su količine vode koje istječu iz sliva. U slučaju sliva rijeke Slunjčice izlazne količine voda mjere se na hidrometrijskom profilu Rastoke, a ne kao izdašnost na izvoru. Kako su Rastoke točka utjecanja Slunjčice u rijeku Koranu, bilanca voda odnosi se za cijeli sliv rijeke Slunjčice, a ne na sami izvor. U tablici 5.19. i slici 5.22. nalaze se podatci o srednjim godišnjim protocima na hidrometrijskom profilu Rastoke u vremenskom razdoblju od 2007. do 2017. za kalendarske godine, a u tablici 5.20. i slici 5.23. za hidrološke godine.

**Tablica 5.19.** Srednji godišnji protok na hidrometrijskoj postaji Rastoke (2007. - 2017.)

KALENDARSKA GODINA	SREDNJI GOD. PROTOK [m <sup>3</sup> /s]
2007.	6,846
2008.	7,591
2009.	6,692
2010.	10,16
2011.	4,317
2012.	7,22
2013.	8,847
2014.	11,79
2015.	8,395
2016.	8,087
2017.	6,475

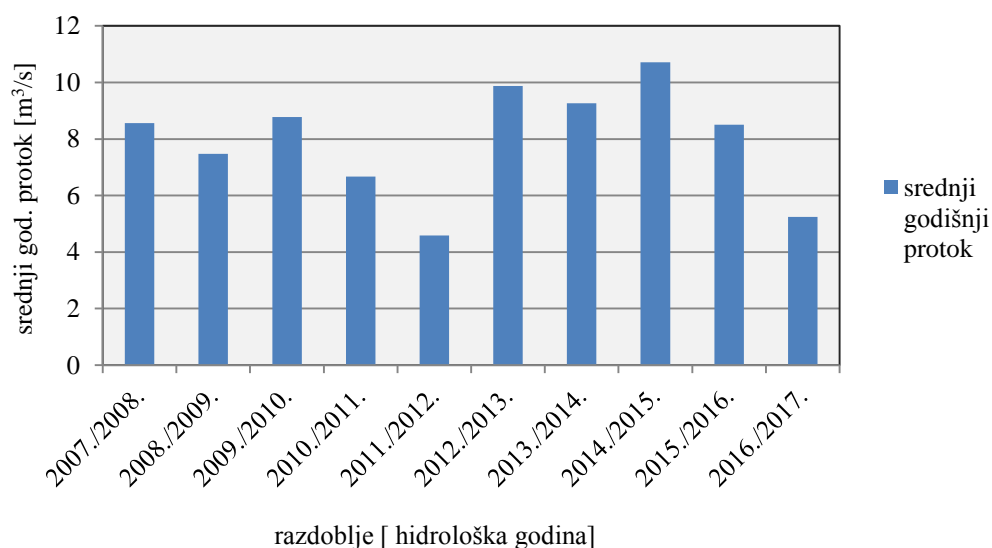


**Slika 5.22.** Srednji godišnji protoci na hidrometrijskoj postaji Rastoke (2007. - 2017.)



**Tablica 5.20.** Srednji godišnji protoci na hidrometrijskoj postaji Rastoke za određene hidrološke godine

HIDROLOŠKA GODINA	SREDNJI GOD. PROTOK [m <sup>3</sup> /s]
2007./2008.	8,562
2008./2009.	7,472
2009./2010.	8,774
2010./2011.	6,673
2011./2012.	4,589
2012./2013.	9,875
2013./2014.	9,268
2014./2015.	10,72
2015./2016.	8,511
2016./2017.	5,246



**Slika 5.23.** Srednji godišnji protoci na hidrometrijskoj postaji Rastoke za određene hidrološke godine

Logično, najmanje vrijednosti srednjih godišnjih protoka su za najsuše godine (2011. godine), a najveće vrijednosti srednjih godišnjih protoka su za najvlažnije godine (2014. godine). U skladu s time ponašaju se protoci hidroloških godina.

Bilanca voda je važan faktor u određivanju slivnog područja budući da se iz nje može zaključiti postoje li dodatne točke istjecanja vode iz krškog sustava, koje nisu obuhvaćene mjerenjima ili je li slivna površina dobro definirana.

Za bilancu voda sliva rijeke Slunjčice prikupljeni su potrebni podatci. Opća bilanca vodne bilance glasi:

$$U - I = \pm \Delta W \quad (5-9)$$

pri čemu su:  $U$  – ulaz vode u podzemlje (podatci o srednjim godišnjim oborinama umanjeno za vrijednosti evapotranspiracije) [ $m^3/s$ ],  $I$  – izlaz vode iz podzemlje (podzemno i površinsko otjecanje iz sliva) [ $m^3/s$ ],  $\Delta W$  – bilanca voda [ $m^3/s$ ]

Kako bi se dobila ukupna količina vode (u  $m^3/s$ ) srednja godišnja količina oborina na slivu, umanjena za vrijednost evapotranspiracije, množi se površinom sliva rijeke Slunjčice ( $282,74 \text{ km}^2$ ) i dijeli s vremenskim razdobljem od godine dana pretvorenim u sekunde (366 dana ako je prijestupna godina). Pa se jednadžba (5-9) proširuje u oblik:

$$\left[ \frac{(P_{sr} - E_T) \cdot A}{T} \right] - Q = \pm \Delta W \quad (5-10)$$

gdje su:  $P_{sr}$  – srednja godišnja količina oborine na slivu [ $m$ ],  $E_T$  – srednja godišnja evapotranspiracija na slivu [ $m$ ],  $A$  – površina sliva rijeke Slunjčice [ $m^2$ ],  $T$  – vrijeme [ $s$ ],  $Q$  – srednji godišnji protok na hidrometrijskoj postaji Rastoke [ $m^3/s$ ],  $\Delta W$  – bilanca voda [ $m^3/s$ ].

Tim izračunom dobivene su razlike između ulaznih i izlaznih količina voda sliva rijeke Slunjčice. Rezultati se nalaze u tablici 5.21 za kalendarske godine, a za hidrološke godine u tablici 5.22. Kalendarske godine u kojima je najveći izlaz voda iz sliva u odnosu na ulaz voda u sliv (oduzimanjem ulaznih od izlaznih vrijednosti) su 2008. godina ( $-1,100 \text{ m}^3/s$ ) te 2015. godina ( $-0,995 \text{ m}^3/s$ ). Kalendarske godine u kojima je najveći ulaz vode u sliv u odnosu na izlaz su 2013. godina ( $0,953 \text{ m}^3/s$ ) i 2014. godina ( $2,105 \text{ m}^3/s$ ). Hidrološke godine u kojima je najveći izlaz voda iz sliva u odnosu na ulaz vode u sliv su 2011./2012. ( $-1,060 \text{ m}^3/s$ ), 2007./2008. ( $-1,017 \text{ m}^3/s$ ) i 2014./2015. ( $-0,958 \text{ m}^3/s$ ). Hidrološke godine u kojima je najveći ulaz voda u sliv u odnosu na izlaz vode iz sliva su 2012./2013. ( $1,153 \text{ m}^3/s$ ) i 2014./2015. ( $2,890 \text{ m}^3/s$ ). Višegodišnji prosjek godišnjih bilanci sliva ( $\Delta W_{sr}$ ) govori da je za kalendarske godine veći ulaz voda u sliv u odnosu na izlaz vode iz sliva u vrijednosti od  $0,247 \text{ m}^3/s$ , a za hidrološke godine  $0,146 \text{ m}^3/s$ . U odnosu na prosječni višegodišnji izlaz vode iz krškog sustava za kalendarske godine ( $Q_{sr} = 7,857 \text{ m}^3/s$ ), to je 3%, a za hidrološke godine ( $Q_{sr} = 7,969 \text{ m}^3/s$ ) je 1,8%.

**Tablica 5.21.** Bilanca voda sliva rijeke Slunjčice za kalendarske godine (2007. - 2017.)

KALEND. GODINA	ULAZ [m <sup>3</sup> /s]	IZLAZ [m <sup>3</sup> /s]	BILANCA VODE SLIVA [m <sup>3</sup> /s]
2007.	7,403	6,846	0,557
2008.	6,491	7,591	-1,100
2009.	6,695	6,692	0,003
2010.	10,841	10,164	0,677
2011.	3,797	4,317	-0,520
2012.	7,119	7,220	-0,101
2013.	9,800	8,847	0,953
2014.	13,895	11,79	2,105
2015.	7,400	8,395	-0,995
2016.	8,553	8,087	0,466
2017.	7,142	6,475	0,667
<b>VIŠEGODIŠNJI PROSJEK BILANCE SLIVA <math>\Delta W_{sr}</math></b>			<b>0,247</b>

**Tablica 5.22.** Bilanca voda sliva rijeke Slunjčice za hidrološke godine

HIDROL. GODINA	ULAZ [m <sup>3</sup> /s]	IZLAZ [m <sup>3</sup> /s]	BILANCA VODE SLIVA [m <sup>3</sup> /s]
2007./2008.	7,545	8,562	-1,017
2008./2009.	7,512	7,472	0,040
2009./2010.	9,412	8,774	0,638
2010./2011.	6,601	6,673	-0,072
2011./2012.	3,529	4,589	-1,060
2012./2013.	11,028	9,875	1,153
2013./2014.	12,158	9,268	2,890
2014./2015.	9,762	10,72	-0,958
2015./2016.	9,176	8,511	0,665
2016./2017.	4,427	5,246	-0,819
<b>VIŠEGODIŠNJI PROSJEK BILANCE SLIVA <math>\Delta W_{sr}</math></b>			<b>0,146</b>

### 5.3.2. Proračun koeficijenta efektivne infiltracije i teoretske slivne površine

Krški vodonosnici napajaju se oborinskom vodom procesom infiltracije. Infiltracijom se voda s površine terena uvodi u podzemlje kroz tlo (nekonsolidirani materijal na karbonatnim naslagama) ili kroz plitke udubine i jame na karbonatnoj površini. Krški vodonosnici napajaju se na dva načina, difuznim i koncentriranim napajanjem. Difuzno napajanje krškog vodonosnika odvija se infiltriranjem oborina palih izravno na njega kroz pukotine na njegovoj površini, a koncentrirano napajanje krškog vodonosnika odvija se poniranjem površinskih tokova u podzemlje u razvijenim ponornim zonama. Voda infiltrirana u krški vodonosnik na točkama istjecanja (izvorima) izlazi iz podzemlja.

Odnos između količine istjecanja na izvoru (u našem slučaju istjecanje s cijelog sliva) i oborine koja je pala na sliv naziva se koeficijent efektivne infiltracije  $c_i$ . Izraz za izračun koeficijenta efektivne infiltracije glasi:

$$c_i = \frac{P_e}{P} \quad (5-11)$$

gdje su:  $P_e$  – neto (efektivna) oborina u hidrogeološkom smislu [mm], tj. količina oborine koja sudjeluje u napajanju krškog vodonosnika,  $P$  – bruto oborina koja je pala na krški sliv [mm],  $c_i$  – koeficijent efektivne infiltracije [-]

Neto (efektivna) oborina u hidrogeološkom smislu predstavlja količinu oborine koja se infiltrirala u podzemlje i napaja krški vodonosnik, tj. količinu istjecanja podzemne vode iz vodonosnika na izvorima (u našem slučaju nizvodno od izvora). Srednji dnevni protoci (u  $m^3/s$ ) na hidrometrijskoj postaji Rastoke podijeljeni su površinom sliva rijeke Slunjčice (u  $m^2$ ), zatim pomnoženi vremenom od godine dana (u sekundama) te pomnoženi s tisuću (da je mjerna jedinica iz metara pretvorena u milimetre neto oborine).

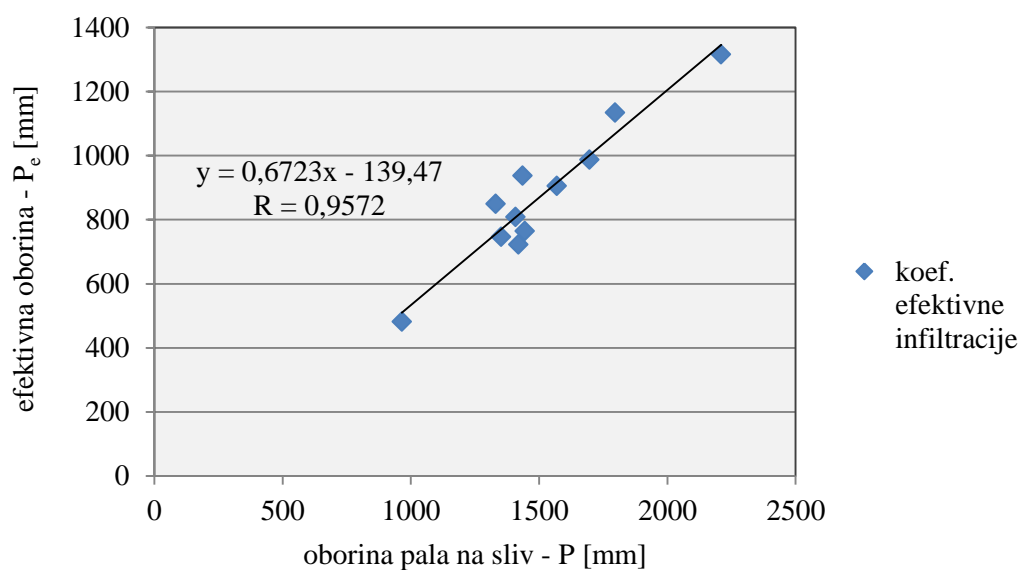
Koeficijenti efektivne infiltracije koriste se za proračune napajanja krškog vodonosnika. Stoga veći koeficijent efektivne infiltracije ukazuje na veću propusnost površinskih naslaga. Teoretski koeficijenti efektivne infiltracije mogu imati vrijednosti između 0 i 1, no u stvarnosti rijetko dosežu vrijednost od 0,8 (ŠIROL, 2018).

Računati su koeficijenti efektivne infiltracije za kalendarske (tablica 5.23., slika 5.24.) i hidrološke godine (tablica 5.24., slika 5.25.) u razdoblju od 2007. do 2017. godine.

U oba slučaja dobivena je čvrsta koleracija između oborine pale na sliv i efektivne oborine. Koeficijent korelacije (R) za kalendarske godine je 0,957, a za hidrološke godine je 0,914. Za kalendarske godine koeficijenti efektivne infiltracije kreću se od 0,499 do 0,638, s višegodišnjim prosjekom od 0,576. Za hidrološke godine koeficijenti efektivne infiltracije kreću se od 0,517 do 0,692, s višegodišnjim prosjekom od 0,588.

**Tablica 5.23.** Koeficijenti efektivne infiltracije na slivu rijeke Slunjčice za kalendarske godine

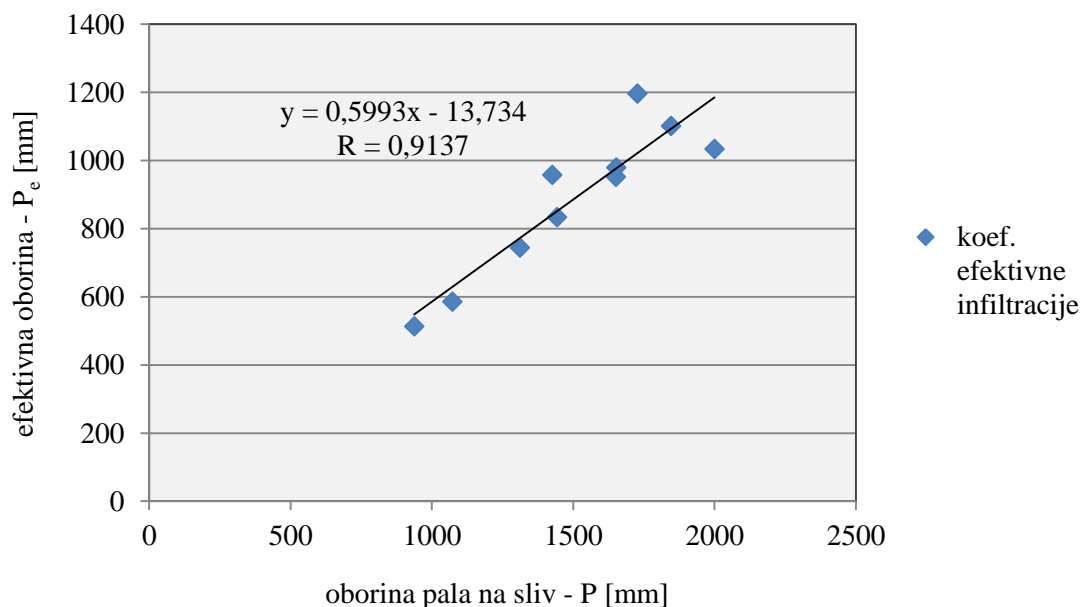
KALENDARSKA GODINA	BRUTO OBORINA - P [mm]	NETO OBORINA - P <sub>e</sub> [mm]	KOEFICIJENT EFEKTIVNE INFILTRACIJE - c <sub>i</sub> [-]
2007.	1444,0	763,6	0,529
2008.	1330,8	848,8	0,638
2009.	1352,3	746,4	0,552
2010.	1797,0	1133,6	0,631
2011.	964,8	481,5	0,499
2012.	1408,1	807,5	0,573
2013.	1696,9	986,7	0,582
2014.	2209,8	1315,0	0,595
2015.	1435,9	936,3	0,622
2016.	1568,9	904,4	0,577
2017.	1420,1	722,2	0,509
<b>VIŠEGODIŠNJI PROSJEK C<sub>i</sub>, srednji</b>			<b>0,576</b>



**Slika 5.24.** Korelacija između oborine pale na sliv i efektivne oborine za kalendarske godine

**Tablica 5.24.** Koeficijenti efektivne infiltracije na slivu rijeke Slunjčice za hidrološke godine

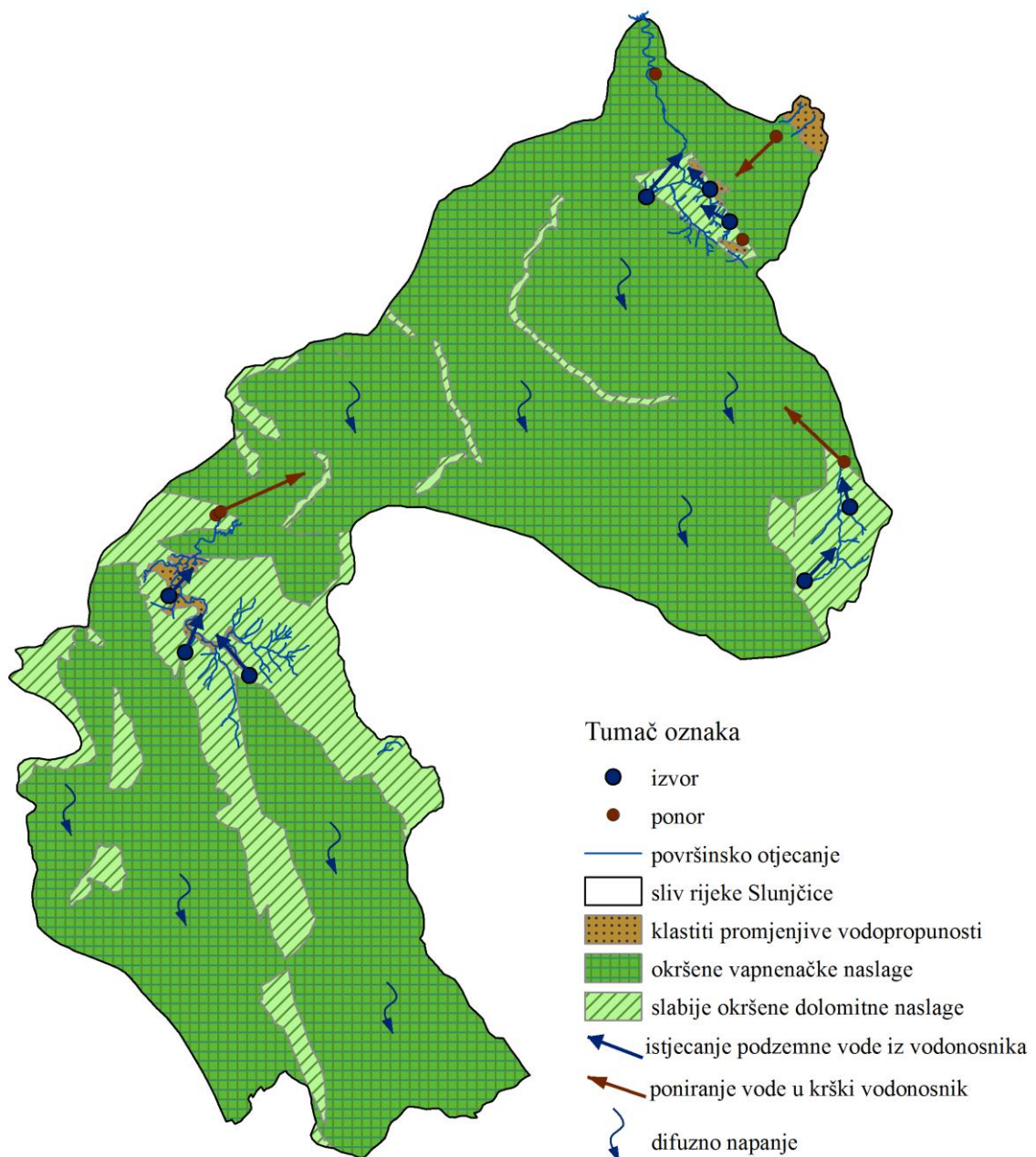
HIDROLOŠKA GODINA	BRUTO OBORINA - P [mm]	NETO OBORINA - P <sub>e</sub> [mm]	KOEFICIJENT EFEKTIVNE INFILTRACIJE - c <sub>i</sub> [-]
2007./2008.	1426,6	957,6	0,671
2008./2009.	1443,2	833,4	0,577
2009./2010.	1653,2	978,6	0,592
2010./2011.	1312,5	744,3	0,567
2011./2012.	937,7	513,2	0,547
2012./2013.	1846,4	1101,4	0,597
2013./2014.	2000,0	1033,7	0,517
2014./2015.	1727,3	1195,6	0,692
2015./2016.	1651,8	951,9	0,576
2016./2017.	1073,3	585,1	0,545
<b>VIŠEGODIŠNJI PROSJEK C<sub>i</sub>, srednji</b>			<b>0,588</b>



**Slika 5.25.** Korelacija između oborine pale na sliv i efektivne oborine za hidrološke godine

Na slivu rijeke Slunjčice površine 282,74 km<sup>2</sup>, karbonatne naslage pokrivaju 279,81 km<sup>2</sup> površine, dok preostalih 2,93 km<sup>2</sup> prekrivaju klastične naslage promjenjive vodopropusnosti (klastiti perma koji su nepropusni za razliku od naslaga aluvija promjenjive vodopropusnosti). No, karbonatne naslage na slivu rijeke Slunjčice podijeljene su po njihovoj propusnosti na temelju litoloških i geomorfoloških značajki. Prema tome

vrlo dobro propusne vapnenačke naslage na slivu rijeke Slunjčice pokrivaju 241,03 km<sup>2</sup> površine sliva, a slabije propusne dolomitne naslage i dolomitne breče pokrivaju 38,78 km<sup>2</sup> površine sliva. Najveći koeficijent okršavanja imaju upravo dobro propusne vapnenačke naslage te zbog toga pružaju najbolje infiltriranje površinske vode u krški vodonosnik i time napajanje krškog vodonosnika rijeke Slunjčice. Manji koeficijent okršavanja na slabo propusnim dolomitnim naslagama omogućuje nastanak izvora i površinskih tokova (Lička Jesenica, Rakovački potok) koje na kontaktu s dobro propusnim vapnenačkim naslagama poniru te tako koncentrirano napajaju sliv u tim točkama (slika 5.26.).



**Slika 5.26.** Shema raspodjele napajanja na slivu rijeke Slunjčice

Prema Magdalenić et al., (1995) teoretski prosječni koeficijent efektivne infiltracije za fliške terene je između 0,3, i 0,4, a za okršena područja između 0,5 i 0,7. Na području sliva rijeke Slunjčice flišoliki tereni izostaju, a za klastične naslage aluvija i perma uzet je teoretski koeficijent efektivne infiltracije od 0,3. Budući da su vrlo dobro propusne vapnenačke naslage jako okršene za njih je korišten teoretski koeficijent efektivne infiltracije od 0,6. Slabije propusne dolomitne naslage nisu jako okršene za razliku od prethodnih, pa je zbog toga u proračun teoretskog koeficijenta efektivne infiltracije za njih korišten teoretski koeficijent efektivne infiltracije od 0,4. Udio na površini sliva rijeke Slunjčice koji zauzimaju klastične naslage iznosi 1,04%, vapnenačke naslage 85,25%, a dolomitne naslage 13,71%. Iz toga proizlazi teoretski koeficijent efektivne infiltracije:

$$c_{\text{teor}} = 0,3 \cdot 0,0104 + 0,6 \cdot 0,8525 + 0,4 \cdot 0,1371 = 0,569 \quad (5-12)$$

Teoretski koeficijent efektivne infiltracije neznatno se razlikuje od srednjih koeficijenata efektivnih infiltracija za kalendarske ( $c_i = 0,576$ ) i hidrološke godine ( $c_i = 0,588$ ). Pomoću teoretskog koeficijenta efektivne infiltracije potom su računane teoretske površine sliva u vremenskom razdoblju od 2007. – 2017. godine. Izračun teoretske površine sliva rijeke Slunjčice glasi:

$$A_{\text{teor}} = \frac{Q T}{c_{\text{teor}} P} \quad (5-13)$$

pri čemu su:  $A_{\text{teor}}$  – teoretska površina sliva rijeke Slunjčice [ $\text{km}^2$ ],  $Q$  – srednji godišnji protok na hidrometrijskoj postaji Rastoke [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $T$  – vrijeme u trajanju godine dana [s],  $c_{\text{teor}}$  – teoretski koeficijent efektivne infiltracije [-],  $P$  – srednja godišnja količina oborine pale na sliv [m]

Navedena formula izlazi iz formule za izračun koeficijenta otjecanja, no u hidrologiji koeficijent otjecanja predstavlja postotak oborine koja sudjeluje u površinskom otjecanju, tj. postotak oborine koji se nije infiltrirao u podzemlje, a srednji protok se odnosi na količinu koja protječe kroz neki poprečni profil vodotoka (ŠIROL, 2018), dok u se u hidrogeologiji umjesto koeficijenta otjecanja koristi koeficijent efektivne infiltracije, tj. postotak oborine koja se infiltrirala u krški vodonosnik i istječe na izvoru. U ovom se slučaju mjerenje protoka ne vrši na izvoru Slunjčice, nego nizvodno na njenom površinskom toku, ali to je zanemareno zbog velike površine sliva naspram samog površinskog toka, i još važnije, jer Slunjčica nema značajnijih pritoka osim Pećine.



U tablici 5.25. nalaze se rezultati izračuna teoretskih površina ( $A_{\text{teor}}$ ) sliva za kalendarske godine, a u tablici 5.27. rezultati izračuna teoretskih površina sliva rijeke Slunjčice za hidrološke godine.

**Tablica 5.25.** Teoretske površine sliva rijeke Slunjčice za kalendarske godine

KALENDARSKA GODINA	$Q_{\text{sr}}$ [m <sup>3</sup> /s]	P [m]	$A_{\text{teor}}$ [km <sup>2</sup> ]
2007.	6,846	1,444	262,55
2008.	7,591	1,331	316,76
2009.	6,692	1,352	274,05
2010.	10,164	1,797	313,23
2011.	4,317	0,965	247,80
2012.	7,220	1,408	284,73
2013.	8,847	1,697	288,73
2014.	11,79	2,210	295,46
2015.	8,395	1,436	323,78
2016.	8,087	1,569	286,24
2017.	6,475	1,420	252,49
<b>VIŠEGODIŠNJI PROSJEK <math>A_{\text{teor, srednji}}</math></b>			<b>285,99</b>

**Tablica 5.26.** Teoretske površine sliva rijeke Slunjčice za hidrološke godine

HIDROLOŠKA GODINA	$Q_{\text{sr}}$ [m <sup>3</sup> /s]	P [m]	$A_{\text{teor}}$ [km <sup>2</sup> ]
2007./2008.	8,562	1,427	333,27
2008./2009.	7,472	1,443	286,71
2009./2010.	8,774	1,653	293,91
2010./2011.	6,673	1,312	281,56
2011./2012.	4,589	0,938	271,77
2012./2013.	9,875	1,846	296,19
2013./2014.	9,268	2,000	256,63
2014./2015.	10,72	1,727	343,69
2015./2016.	8,511	1,652	286,12
2016./2017.	5,246	1,073	270,68
<b>VIŠEGODIŠNJI PROSJEK <math>A_{\text{teor, srednji}}</math></b>			<b>292,05</b>

Za kalendarske godine dobiven je veliki raspon u teoretskim površinama sliva od 247,80 km<sup>2</sup> (2009. godine) do 323,78 km<sup>2</sup>. (2015. godine), što je apsolutna razlika od 76,98 km<sup>2</sup>. Također, za hidrološke je godine dobiven veliki raspon u teoretskim površinama sliva rijeke Slunjčice od 256,63 km<sup>2</sup> (hidrološka godina 2013./2014.) do 343,69 km<sup>2</sup> (hidrološka godina 2014./2015.) što je apsolutna razlika od 87,06 km<sup>2</sup>. Višegodišnji prosjek teoretske površine sliva rijeke Slunjčice za kalendarske godine je 285,99 km<sup>2</sup>, a za hidrološke godine je 292,05 km<sup>2</sup> što vrlo dobro odgovara površini sliva određenoj prema hidrogeološkim značajkama od 282,74 km<sup>2</sup>.

Po uzoru na ŠIROL (2018) o ulozi vrtača u napajanju krškom vodonosnika izvora Gradole, kod izračuna teoretskog koeficijenta efektivne infiltracije povećao se koeficijent efektivne infiltracije za izrazito okršena područja zbog boljeg napajanja podzemlja kroz dna vrtača. Za područja koja imaju koeficijent okršavanja (k.o.) preko 50 vrtača/km<sup>2</sup> povećao se teoretski koeficijent efektivne infiltracije za 0,1. Za područja koja imaju koeficijent okršavanja preko 100 vrtača/km<sup>2</sup> povećao se teoretski koeficijent efektivne infiltracije za 0,2. U tablici 5.27. nalaze se površine i udjeli površina litoloških naslaga na slivu rijeke Slunjčice i njihovi teoretski koeficijenti efektivne infiltracije. Na slici 5.26. shematski su prikazane zone najjačeg intenziteta okršavanja.

**Tablica 5.27.** Teoretski koeficijenti efektivne infiltracije za različiti litološki sastav i koeficijente okršavanja

LITOLOGIJA	Površina [km <sup>2</sup> ]	Udio u površini [-]	c <sub>i</sub>
dolomiti i dolomitne breče (k.o. < 50 km <sup>2</sup> )	37,54	0,133	0,4
dolomiti i dolomitne breče (k.o. > 50 km <sup>2</sup> )	1,24	0,004	0,5
vapnenci (k.o. < 50 km <sup>2</sup> )	200,76	0,710	0,6
vapnenci (k.o. > 50 km <sup>2</sup> )	37,12	0,131	0,7
vapnenci (k.o. > 100 km <sup>2</sup> )	3,15	0,011	0,8
klastiti, aluvijalne naslage	2,93	0,010	0,3

Izračun pojačanog teoretskog koeficijenta infiltracije na slivu rijeke Slunjčice glasi:

$$c_{\text{teor}} = 0,133 \cdot 0,4 + 0,004 \cdot 0,5 + 0,710 \cdot 0,6 + 0,131 \cdot 0,7 + 0,011 \cdot 0,8 + 0,010 \cdot 0,3 = 0,585$$

Ovakvim pristupom, u kojem se pojačava infiltracija u krški vodonosnik zbog okršenosti površine, koeficijent efektivne infiltracije povećan je za 0,016, što nije značajna razlika. Ovim koeficijentom efektivne infiltracije uz prethodnu formulu (5-13) ponovno se izračunala teoretska površina sliva (tablica 5.28. za kalendarske, tablica 5.29. za hidrološke

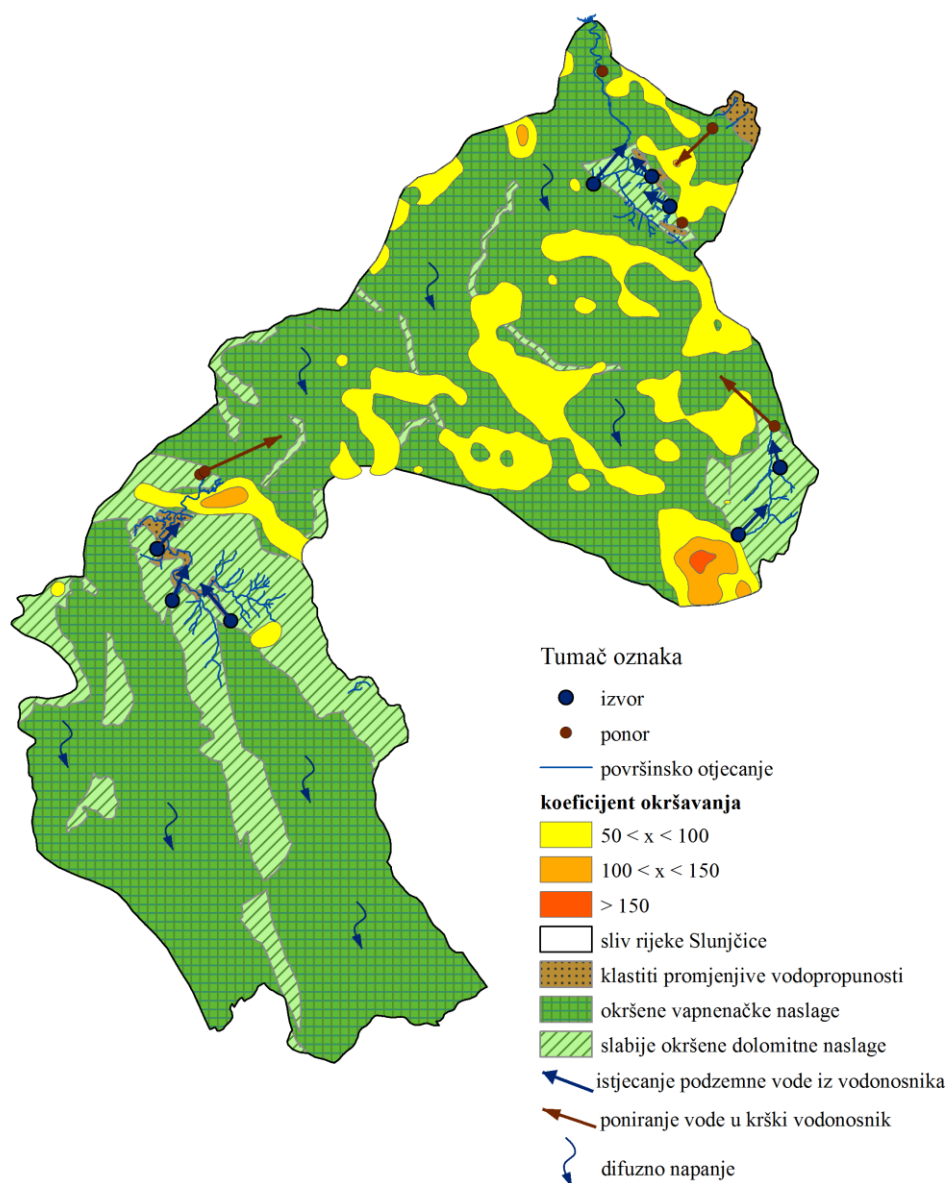
godine) i usporedila s teoretskim površinama sliva rijeke Slunjčice izračunata preko manjeg koeficijenta efektivne infiltracije.

**Tablica 5.28.** Teoretske površine sliva rijeke Slunjčice za kalendarske godine s različitim koeficijentima efektivne infiltracije

KALENDARSKA GODINA	$A_{\text{teor}} [\text{km}^2], c_{\text{teor}} = 0,569$	$A_{\text{teor}} [\text{km}^2], c_{\text{teor}} = 0,585$
2007.	262,55	255,47
2008.	316,76	308,21
2009.	274,05	266,66
2010.	313,23	304,78
2011.	247,80	241,11
2012.	284,73	277,04
2013.	288,73	280,94
2014.	295,46	287,94
2015.	323,78	315,04
2016.	286,24	278,52
2017.	252,49	245,68
<b><math>A_{\text{teor. srednji}}[\text{km}^2]</math></b>	<b>285,99</b>	<b>278,27</b>

**Tablica 5.29.** Teoretske površine sliva rijeke Slunjčice za hidrološke godine s različitim koeficijentima efektivne infiltracije

HIDROLOŠKA GODINA	$A_{\text{teor}} [\text{km}^2], c_{\text{teor}} = 0,569$	$A_{\text{teor}} [\text{km}^2], c_{\text{teor}} = 0,585$
2007./2008.	333,27	324,28
2008./2009.	286,71	278,97
2009./2010.	293,91	285,97
2010./2011.	281,56	273,96
2011./2012.	271,77	264,44
2012./2013.	296,19	288,19
2013./2014.	256,63	249,70
2014./2015.	343,69	334,42
2015./2016.	286,12	278,40
2016./2017.	270,68	263,37
<b><math>A_{\text{teor. srednji}}[\text{km}^2]</math></b>	<b>292,05</b>	<b>284,17</b>

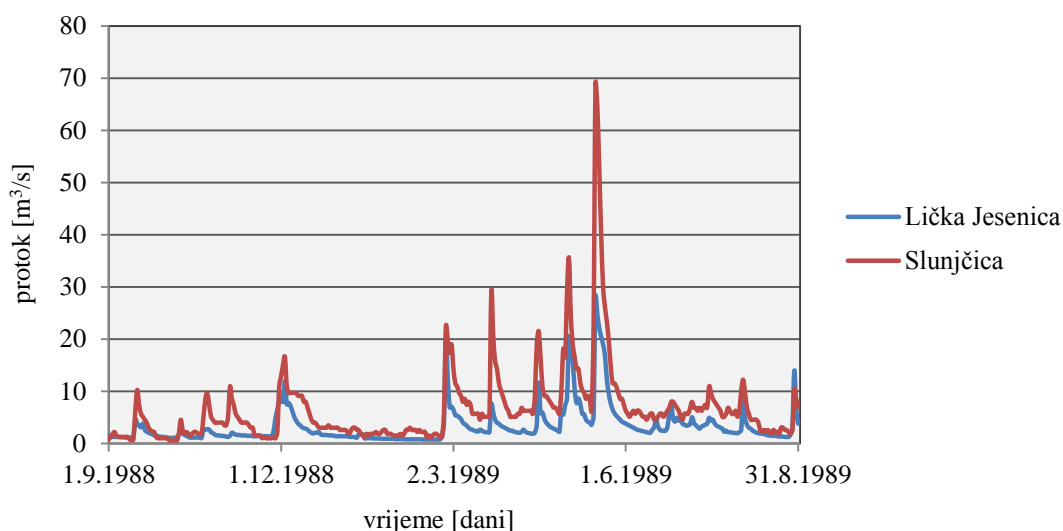


**Slika 5.27.** Shematski prikaz napajanja krškog sliva rijeke Slunjsčice s prikazanim zonama jačeg inteziteta okršavanja

Korištenjem teoretskog koeficijenta efektivne infiltracije povećanog zbog zona jačeg okršavanja ( $c_i = 0,585$ ) umanjene su teoretske površine sliva rijeke Slunjsčice, u odnosu na početni teoretski koeficijent efektivne infiltracije, i višegodišnji prosjek još bolje odgovara površini sliva rijeke Slunjsčice određenoj isključivo na temelju hidrogeoloških značajki ( $282,74 \text{ km}^2$ ). Srednje teoretske površine sliva za teoretski koeficijent efektivne infiltracije od  $c_i = 0,585$  za kalendarske godine iznosi  $278,27 \text{ km}^2$ , a za hidrološke godine  $284,17 \text{ km}^2$ . Uz to su i apsolutne razlike, između najveće i najmanje teoretske površine sliva rijeke Slunjsčice umanjene na  $73,93 \text{ km}^2$  za kalendarske godine (najveća površina – 2014. godine, najmanja površina – 2011.), a za hidrološke godine na  $85,72 \text{ km}^2$  (najveća površina – hidrološka godina 2014./2015., najmanja površina 2013./2014.).

### 5.3.3. Usporedba protoka Ličke Jesenice i Slunjčice

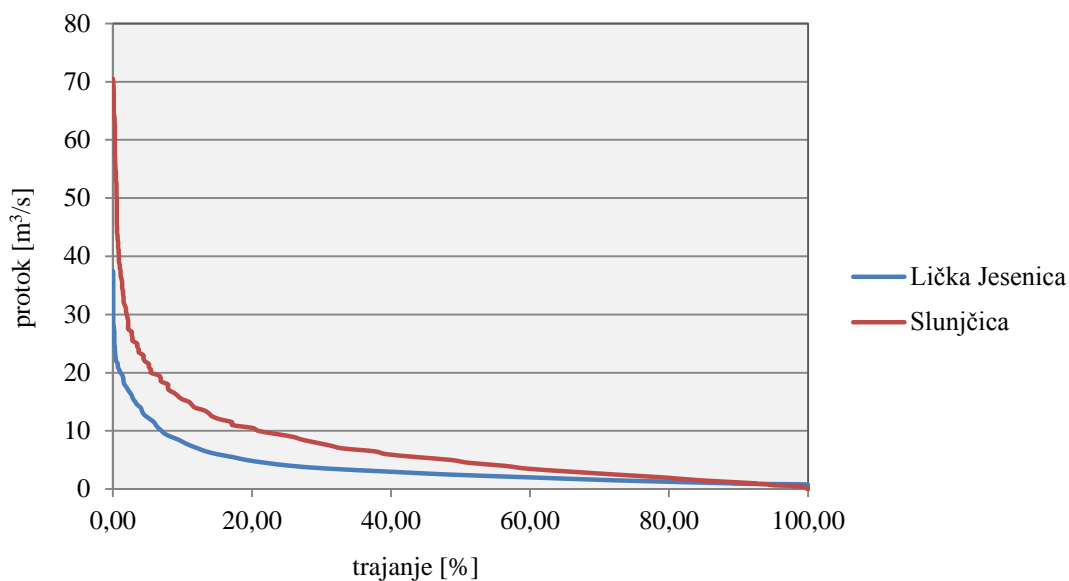
Sliv rijeke Slunjčice je kompleksni krški sliv, a veliki dio njega čini podsliv rijeke Ličke Jesenice. Time podsliv rijeke Ličke Jesenice pripada području napajanja samog sliva rijeke Slunjčice. Zbog toga su uspoređeni protoci Ličke Jesenice i Slunjčice u razdoblju od 1.9.1983. do 31.8.1990. godine. Na prvi se pogled protoci Ličke Jesenice i Slunjčice ponašaju jako slično (slika 5.28.) Iz hidrograma za hidrološku godinu 1988./1989., kao primjer, vidi se kako se za ista vremenska razdoblja protoci povećavaju ili smanjuju. U sljedećim potpoglavljima detaljnije će se o tome govoriti.



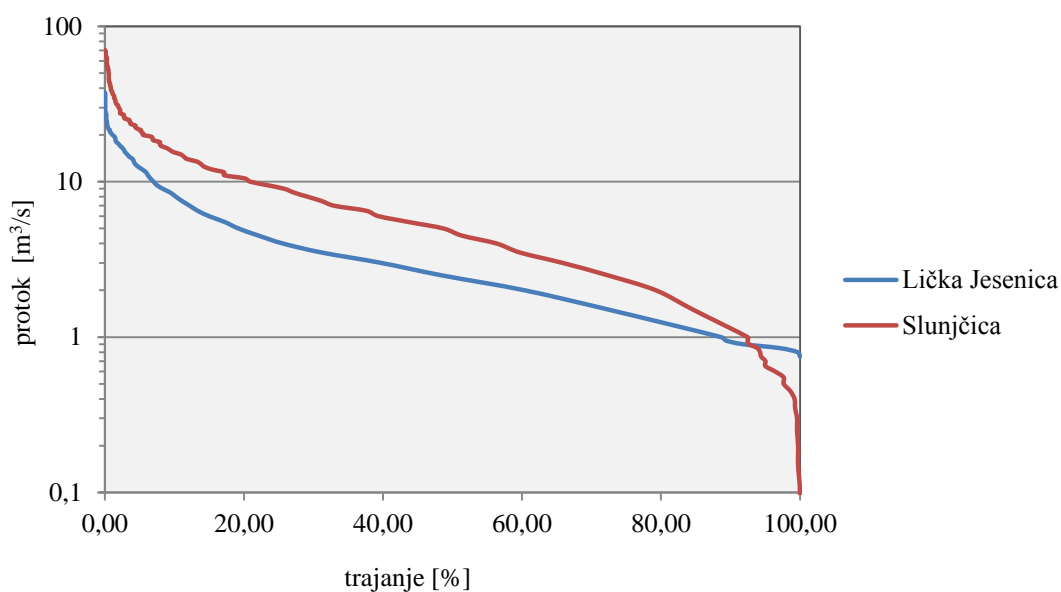
**Slika 5.28.** Hidrogram Ličke Jesenice i Slunjčice za hidrološku godinu 1988./1989.

#### 5.3.3.1. Krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka Ličke Jesenice i Slunjčice

Krivulja trajanja je krivulja koja pokazuje postotak vremena ili broj dana u godini tijekom kojih je vodostaj ili protok jednak danim količinama ili veći od njih bez obzira na kronološki slijed (ŽUGAJ, 2015). U slučaju Ličke Jesenice (hidrometrijska postaja Lička Jesenica) i Slunjčice (hidrometrijska postaja Rastoke) izrađene su krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka u razdoblju od 1.9.1983. do 31.8. 1990. Krivulja trajanja cijelog razdoblja prikazana je na slici 5.29. Na krivulji trajanja, Slunjčica ima dulje trajanje srednjih dnevnih protoka za veće vrijednosti protoka (iznad  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), a u nižim vrijednostima protoka, trajanje srednjih dnevnih protoka poistovjećuje se s Ličkom Jesenicom. Radi boljeg uvida u trajanje srednjih dnevnih protoka izrađena je krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka u polulogaritamskom mjerilu, gdje su vrijednosti protoka u log-mjerilu (slika 5.30.)



**Slika 5.29.** Krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka Ličke Jesenice i Slunjšćice u razdoblju od 1.9.1983. do 31.8.1990.



**Slika 5.30.** Krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka Ličke Jesenice i Slunjšćice u razdoblju od 1.9.1983. do 31.8.1990. u polulogaritamskom mjerilu

Iz krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka u polulogaritamskom mjerilu vidi se kako rijeka Slunjšćica u ovom vremenskom razdoblju ima preko 90% vremena dulje trajanje vrijednosti većih protoka od rijeke Ličke Jesenice, no Lička Jesenica ima dulje trajanje vrijednosti manjih protoka, te postiže najnižu vrijednost protoka od  $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$ , a Slunjšćica postiže ovu vrijednost nakon 94,2% trajanja. Vrijednost protoka rijeke Ličke Jesenice na 50% trajanja iznose između  $2 - 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , a vrijednost protoka rijeke Slunjšćice između  $4,5 - 5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

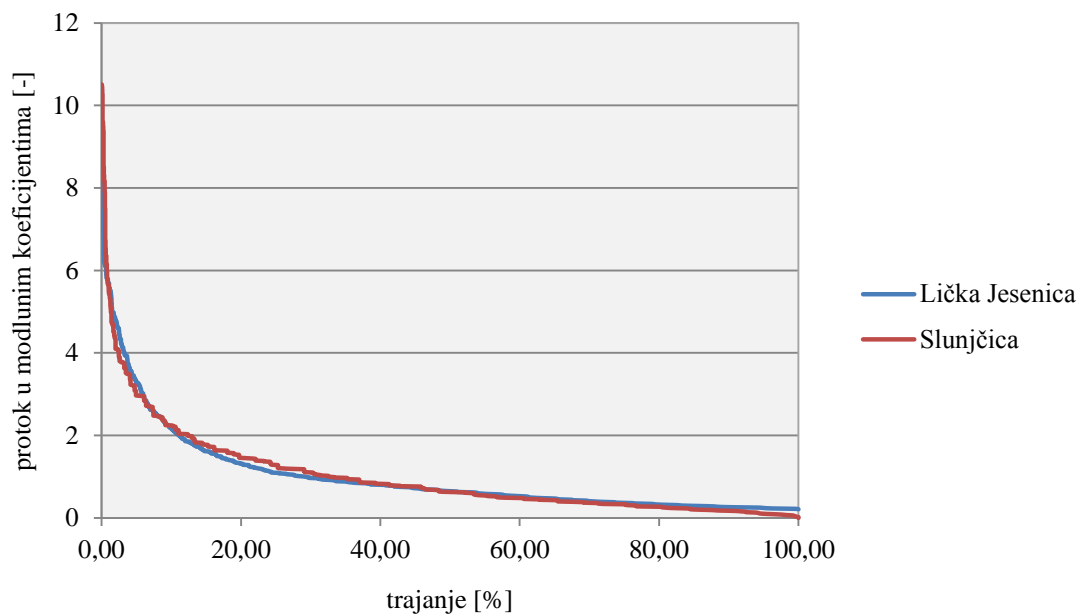
Krivulje trajanja protoka na različitim hidrometrijskim profilima moguće je uspoređivati ako se protoci svedu na modulne koeficijente (ŽUGAJ, 2015). Protoci u hidrometrijskim profilima pretvaraju se u modulne koeficijente tako da se njihove vrijednosti podijele s prosjekom razdoblja, pa je u tom slučaju prosjek jednak jedinici. Ovako se mogu ocjeniti mogućnosti za upotrebu vode u zahvatima pojedinih profila na različitim vodotocima. Prosjek srednjih dnevnih protoka u navedenom razdoblju za rijeku Ličku Jesenicu je  $Q_{sr} = 3,565 \text{ m}^3/\text{s}$ , a za rijeku Slunjčicu je  $Q_{sr} = 6,701 \text{ m}^3/\text{s}$ . Na slici 5.31. prikazane su krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka rijeka Ličke Jesenice i Slunjčice tako da su protoci prikazani u modulnim koeficijentima, a na slici 5.32. prikazano je isto samo u polulogaritamskom mjerilu kao kod prethodne krivulje trajanja.

Na krivuljama trajanja može se uvidjeti kako rijeke Lička Jesenica i Slunjčica imaju slične vrijednosti trajanja protoka u modulnim koeficijentima. Lička Jesenica u vrijednostima protoka od 5,69 do 2,71 izaženim u modulnim koeficijentima ima dulje trajanje, a zatim Slunjčica ima dulje trajanje vrijednosti protoka do 2,6 u modulnim koeficijentima. Lička Jesenica, zatim, ima dulje trajanje vrijednosti protoka do 2,38 protoka u modulnim koeficijentima, a zatim opet Slunjčica do vrijednosti od 0,7 protoka u modulnim koeficijentima. Nakon toga Lička Jesenica ima dulje trajanje vrijednosti protoka u modulnim koeficijentima.

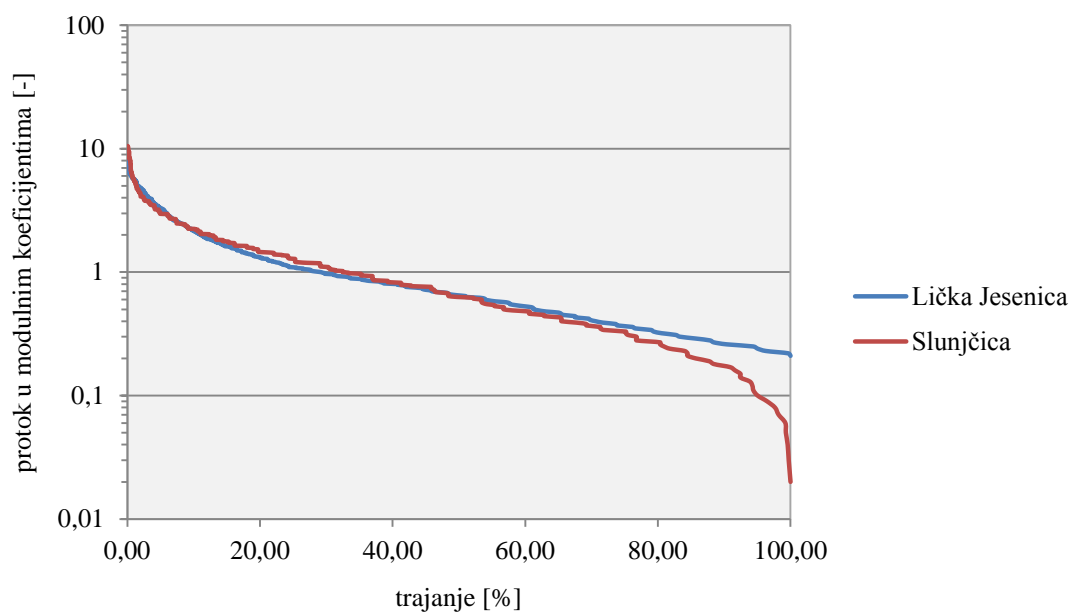
To se mnogo jasnije vidi kada su protoci u modulnim koeficijentima prikazani u logaritamskom mjerilu. Na toj krivulji, vrijednosti protoka rijeke Ličke Jesenice između 0,219 (najmanji protok) od 0,7 u modulnim koeficijentima imaju dulje trajanje od onih na rijeci Slunjčici, i to od 47% do 100% trajanja. Najniža vrijednost protoka rijeke Slunjčice u modulnim koeficijentima dosiže vrijednost od 0,021.

Prema tome, vrijednosti protoka Ličke Jesenice koje su veće od 1 u modulnim koeficijentima traju u vremenu od 29,2%, a Slunjčice od 32,5%. Vrijednosti protoka Ličke Jesenice veće od 0,5 u modulnim koeficijentima traju 61,3%, a Slunjčice 56,8%. Vrijednosti protoka veće od 0,219 na Ličkoj Jesenici traju 100% vremena (najniža vrijednost), a za Slunjčicu oni traju 84,5% vremena. Vrijednosti protoka na Slunjčici veće od 0,1 u modulnim koeficijentima traju 95% vremena. Navedenim se vidi kako Slunjčica u nekim razdobljima mora imati manje protjecajne količine za razliku od Ličke Jesenice koja ju napaja. Krivulje protoka to ne mogu pokazati budući da ne prikazuju količine protoka u određenom vremenu (prirodnom slijedu dana u godini) i to je njihova mana. S druge strane

stvarnu sliku protoka u prirodnome slijedu daje hidrogram protoka. Zbog kratkog razdoblja trajanja od 7 godina teško je odrediti karakteristične godine, poput sušne, prosječno vlažne i kišne godine, jer je za to potrebno dulje vrijeme promatranja. Pojedinačne krivulje trajanja protoka za hidrološke godine prikazane su u Prilogu 4. u polulogaritamskom mjerilu.



**Slika 5.31.** Krivulje trajanja protoka Ličke Jesenice i Slunjčice u modulnim koeficijentima za razdoblje od 1.9.1983. do 31.8.1990.

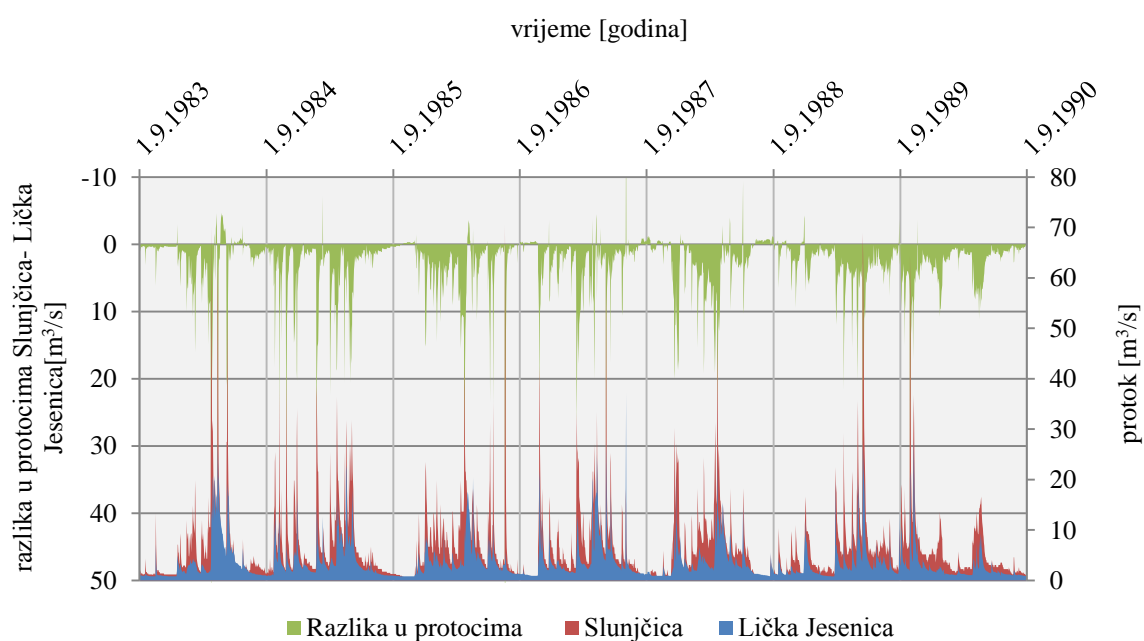


**Slika 5.32.** Krivulje trajanja protoka Ličke Jesenice i Slunjčice u modulnim koeficijentima za razdoblje od 1.9.1983. do 31.8.1990. u polulogaritamskom mjerilu



### 5.3.3.2. Usporedba srednjih dnevnih protoka Ličke Jesenice i Slunjčice

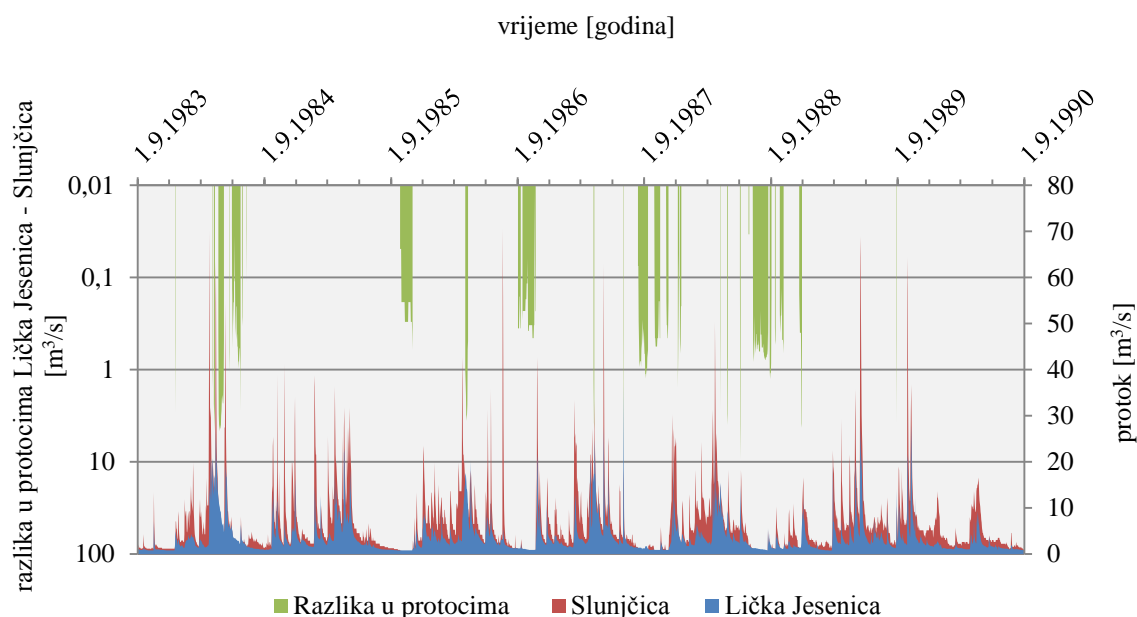
Budući da krivulje trajanja protoka ne pokazuju stvarnu sliku protoka u prirodnome slijedu, to nam omogućuje hidrogram. Na slici 5.33. prikazan je hidrogram Ličke Jesenice i Slunjčice u vremenu od 1.9.1983. do 31.8.1990. godine i razlika vrijednosti protoka Slunjčice oduzete vrijednostima protoka Ličke Jesenice. Slunjčica na hidrometrijskom profilu Rastoke postiže maksimalnu vrijednost protoka od 70,41 m<sup>3</sup>/s, dana 20. srpnja 1986., a minimalnu od 0,144 m<sup>3</sup>/s u razdoblju od 15.-21.8.1988. godine. Usporedbe radi, odnos između maksimalne vrijednosti, srednje vrijednosti i minimalne vrijednosti protoka je 1:10,5:488,9. Lička Jesenica na hidrometrijskom profilu Lička Jesenica postiže maksimalnu vrijednost od 37,03 m<sup>3</sup>/s dana 4. srpnja 1987. godine, a minimalnu od 0,78 m<sup>3</sup>/s 22. veljače 1989. godine. Njezin odnos između maksimalne, srednje i minimalne vrijednosti protoka je 1:10,4:47,5. Dakle, u promatranom razdoblju imaju sličan odnos između maksimalne i srednje vrijednosti srednjih dnevnih protoka, dok je odnos između maksimalnih i minimalnih vrijednosti protoka deset puta veći u slučaju Slunjčice. Budući da u nekim razdobljima Lička Jesenica ima veće protoke od Slunjčice htjelo se testirati u kojim se to razdobljima događa. Druga usporedba između protoka Ličke Jesenice i Slunjčice je traženje razdoblja u kojem je protok Slunjčice veći od razlike prosječnih vrijednosti srednjih dnevnih protoka u navedenom razdoblju ( $Q_{\text{razlika}} = 3,136 \text{ m}^3/\text{s}$ ).



Slika 5.33. Hidrogram Ličke Jesenice i Slunjčice, te razlika u protocima između njih u razdoblju od 1.9.1983. do 31.8.1990. godine

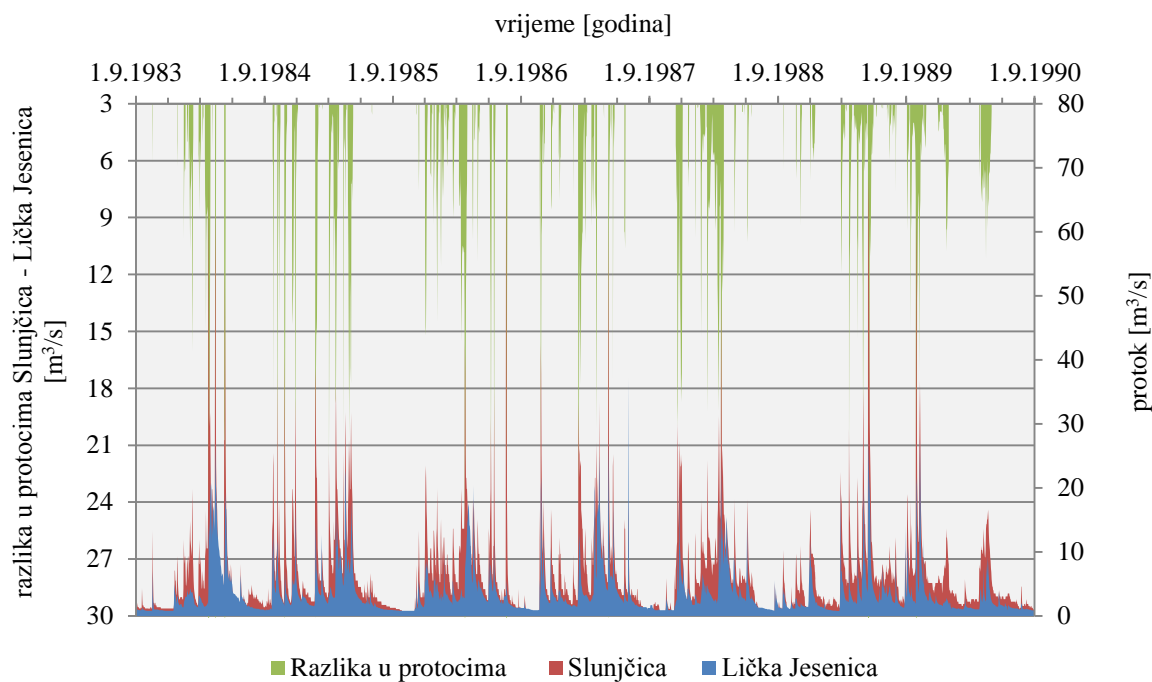
Na slici 5.34. uz srednje dnevne protoke prikazane su razlike kada se oduzmu srednji dnevni protoci rijeke Ličke Jesenice od rijeke Slunjčice (koji su prikazani u logaritamskom mjerilu). Osim pojedinih kratkotrajnih razdoblja od jedan-dva dana, može se uočiti kako gotovo redovito svake godine dolaze razdoblja (osim 1990. godine) kada su protoci Ličke Jesenice veći od protoka Slunjčice. To su povremena razdoblja između lipnja i studenoga. U 1984. i 1986. godini postoje kraća razdoblja (tjedan dana) u travnju i svibnju kada Lička Jesenica ima veće protoke od Slunjčice, no u ovom slučaju protoci su veći od prosječnih, u vrijednostima od 12,3 – 4,8 m<sup>3</sup>/s na Ličkoj Jesenici, a od 11,9 – 4,3 m<sup>3</sup>/s na Slunjčici. Dok u lipnju iste godine, za manjih protoka, u recesijskom razdoblju rijeka Lička Jesenica ponovno ima veći protok od rijeke Slunjčice (5,54 – 2,6 m<sup>3</sup>/s na Ličkoj Jesenici, a na Slunjčici 5,52 – 1,7 m<sup>3</sup>/s). U 1987. godini postoji razdoblje u prosincu gdje su srednji dnevni protoci bili na Ličkoj Jesenici bili od 8,8 - 2,68 m<sup>3</sup>/s, a na Slunjčici 7,27 - 2,48 m<sup>3</sup>/s.

Sve ostala duža razdoblja u kojima Lička Jesenica ima veće protoke od Slunjčice su recesijska razdoblja između srpnja i listopada, tj. prije početka hidrološke godine i povećanja protoka obaju rijeka. U tim razdobljima vrijednosti protoka obje rijeke padnu ispod 1 m<sup>3</sup>/s (najgornja granica 1,5 m<sup>3</sup>/s). Godine 1988. bilo je najduže razdoblje kada je srednji dnevni protok Ličke Jesenice bio veći od srednjeg dnevnog protoka Slunjčice (7.7.1988.-21.8.1988.). Protok na Ličkoj Jesenici bio je 1,288 - 0,828 m<sup>3</sup>/s, a na Slunjčici, 1,278 - 0,144 m<sup>3</sup>/s. Posebno se u tom razdoblju vidi razlika u recesijskim razdobljima.



**Slika 5.34.** Razdoblja u kojima je srednji dnevni protok Ličke Jesenice veći od Slunjčice (polulogaritamsko mjerilo)

Drugom usporedbom promatrana su razdoblja u kojima je razlika između srednjih dnevnih protoka rijeka Slunjšice i Ličke Jesenice veća od njihove prosječne razlike. Prosječni srednji dnevni protoci na Slunjšici su  $Q_{sr} = 6,701 \text{ m}^3/\text{s}$ , a na Ličkoj Jesenici  $Q_{sr} = 3,565 \text{ m}^3/\text{s}$ , time je razlika između protoka  $Q_{razlika} = 3,136 \text{ m}^3/\text{s}$ . Općenito, tijekom 86,5% vremena promatranog razdoblja (istog dana) je srednji dnevni protok na Slunjšici veći od onog na Ličkoj Jesenici, a 31,6% vremena je srednji dnevni protok Slunjšice (istog dana) veći za njihovu prosječnu razliku protoka. Sa slike 5.35. se vidi da u ljetnom razdoblju (od početka lipnja do početka rujna) ne postoje takva razdoblja, osim kraćih razdoblja u ljetu 1986. i 1989. godine. Najveće razlike su pretežno u zimskim i proljetnim mjesecima, te kada počne hidrološka godina (npr. 1989. godina). Najduža takva razdoblja bila su od 9. siječnja 1988. do 31. ožujka 1988. gdje je prosječna razlika u tom razdoblju iznosila  $7,565 \text{ m}^3/\text{s}$ . I drugo takvo razdoblje (s kraćim prekidima) od 1. prosinca 1985. do 1. travnja 1986. godine s prosječnom razlikom od  $6,335 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Slika 5.35.** Razdoblja u kojima je srednji dnevni protok Slunjšice veći od prosječne razlike srednjih dnevnih protoka Slunjšice i Ličke Jesenice

### 5.3.3.3. Krivulje recesije Ličke Jesenice i Slunjšice

Analizom recesijske grane hidrograma pruža se uvid u režim pražnjenja vodonosnika. Hidrogram istjecanja na izvoru je rezultanta djelovanje više faktora – prošlih oborina, sadašnjih oborina i pražnjenja vodonosnika, tj. prethodno akumulirane vode u ocjeditim šupljinama stijenske mase (PARLOV, 2017). Na osnovi uspostavljanja matematičke povezanosti protoka i vremena, moguće je prognozirati izdašnost izvora nakon dužeg razdoblja bez oborina, te odrediti volumen (prethodno uskladištene) istekle vode. Za pojedine krške hidrogeološke sustave ista količina oborina ne izaziva isti odziv u vidu hidrograma pražnjenja, jer oblik krivulje recesije ovisi o nizu čimbenika: šupljikavost, pukotinski sustav i nagib struktura, početni položaj podzemne vode, zasićenost zone iznad izvora. Recesijska analiza proučava otjecanje u funkciji vremena  $Q = Q(t)$ . Prema Maillet-ovoj eksponencijalnoj zavisnosti pražnjenja podzemnih voda u bazni tok rijeke kada on nije pod utjecajem oborine, ovisnost protoka u nekom trenutku  $t$  je:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad (5-14)$$

gdje su:  $Q_0$  – količina istjecanja na početku vremena  $t$  tijekom recesije [ $m^3/s$ ],  $Q_t$  – količina istjecanja nakon vremena  $t$  [ $m^3/s$ ],  $t$  – vrijeme proteklo između  $Q_0$  i  $Q_t$  [dan],  $e$  – baza prirodnog logaritma,  $\alpha$  – koeficijent recesije [ $dan^{-1}$ ]

Blaži nagib recesijske krivulje imaju hidrogeološki sustavi s većom mogućnošću zadržavanja podzemnih voda te njezinog postupnog otpuštanja, dok hidrogeološki sustavi s velikom sprovodnom moći imaju strmiji nagib recesijske krivulje.

Kada se protok u vremenu prikaže u polulogaritamskom mjerilu (protok u logaritamskom) dobije se linearni odnos, tj. pravac čiji nagib predstavlja koeficijent recesije  $\alpha$ . Silazni dio hidrograma nacrtan u polulogaritamskom mjerilu može imati nekoliko segmenata različitog nagiba, tj. različitih koeficijenata recesije što upućuje na različite mikrorežime istjecanja, tj. različite hidrogeološke značajke vodonosnika. U početku recesije, koeficijenti recesije su veći, a razlog tome je brže otjecanje vode iz većih kaverni i pukotina (kanalski tok). U kasnijem su dijelu recesije koeficijenti recesije manji, što je razlog istjecanje iz manjih pukotina i pora. U slučaju više mikrorežima istjecanja, izraz (5-14) se proširuje u:

$$Q_t = Q_{01}e^{-\alpha_1 t} + Q_{02}e^{-\alpha_2 t} + \dots + Q_{0n}e^{-\alpha_n t} \quad (5-15)$$

gdje su:  $Q_{01}$ ,  $Q_{02}$ ,  $Q_{0n}$  količine istjecanja za prvi, drugi, n-ti mikrorežim pražnjenja za vrijeme  $t = 0$  [ $m^3/s$ ],  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_n$  – koeficijent recesije prve, druge, n-te krivulje recesije [ $dan^{-1}$ ]

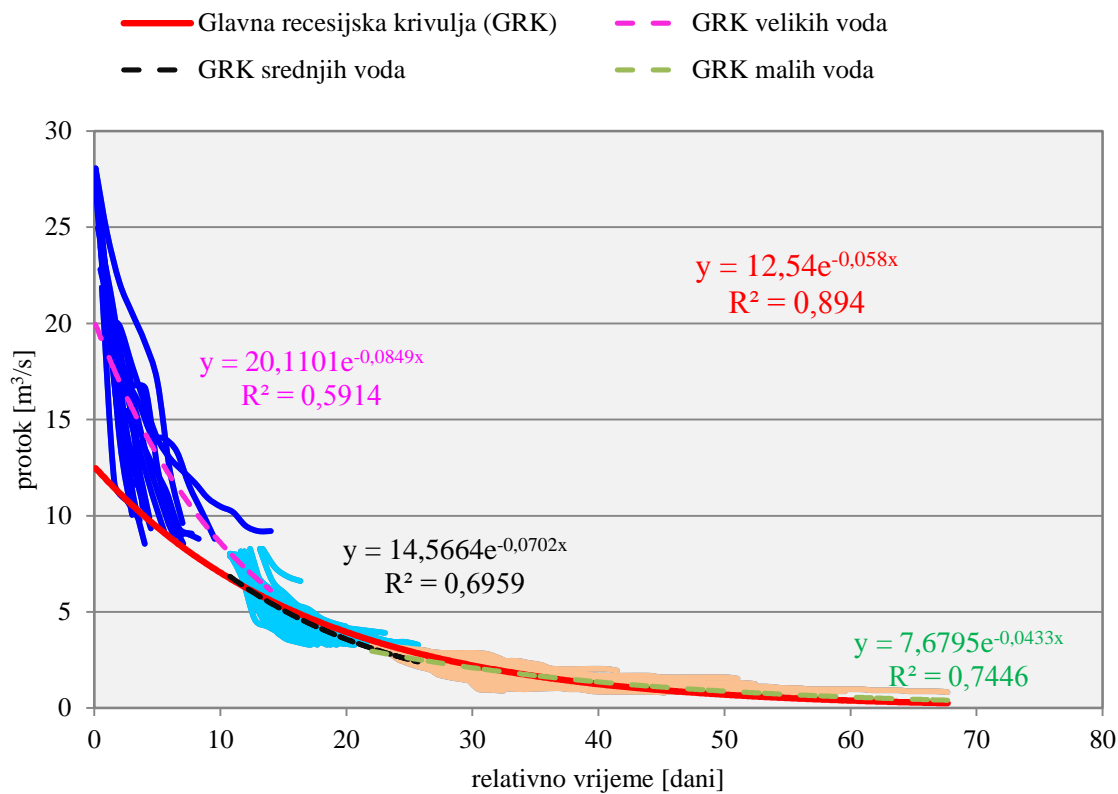
Kako za vrijeme dužih sušnih razdoblja (tj. razdoblja recesije) srednji dnevni protoci rijeke Slunjčice poprimaju vrijednosti manje od srednjih dnevnih protoka rijeke Ličke Jesenice, napravljene su krivulje recesije za obje rijeke (budući da se izdašnost na njihovim izvorima ne mjeri). Na slici 5.36. prikazana je glavna recesijska krivulja rijeke Ličke Jesenice, a na slici 5.37. glavna recesijska krivulja rijeke Slunjčice.

U tablici 5.30. prikazani su koeficijenti recesije za glavnu recesijsku krivulju ( $\alpha_{GRK}$ ) za Ličku Jesenicu i Slunjčicu, koja je podijeljena u tri dijela s tri koeficijenta recesije ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ) koja predstavljaju tri mikrorežima pražnjenja vodonosnika.

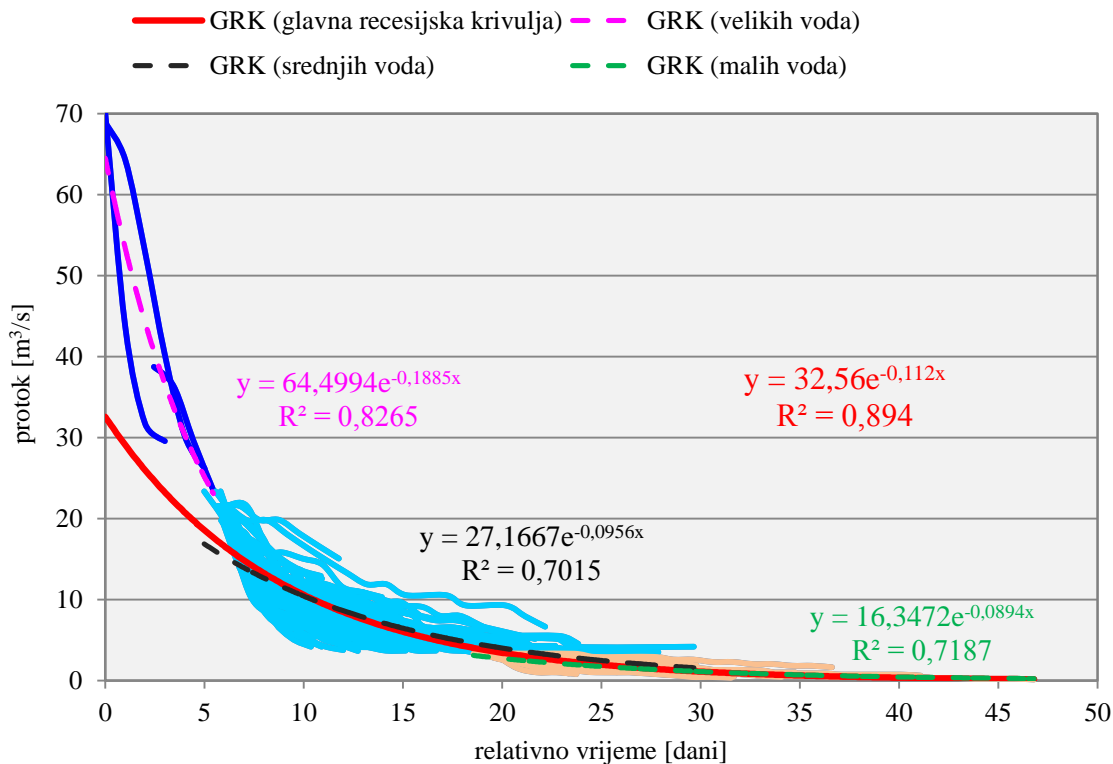
**Tablica 5.30.** Koeficijenti recesije za Ličku Jesenicu i Slunjčicu

Koeficijenti recesije [ $dan^{-1}$ ]	Lička Jesenica	Slunjčica
$\alpha_{GRK}$	0,058	0,112
$\alpha_1$	0,0849	0,1885
$\alpha_2$	0,0702	0,0956
$\alpha_3$	0,0433	0,0894

Iz tablice, ali i iz grafičkih prikaza moguće je zaključiti kako Lička Jesenica ima značajno manje koeficijente recesije od Slunjčice. Iz toga proizlazi zaključak da krški vodonosnik koji napaja Ličku Jesenicu ima bolje retencijske mogućnosti od onog što napaja Slunjčicu te da postoje sitnije pukotine i klastična ispuna koja sporije otpušta vodu (dio Ličke Jesenice prolazi po aluvijalnim naslagama promjenjive vodopropusnosti). Koeficijenti recesije Slunjčice upućuju da su krupniji krški kanali i šupljine dominantniji u vodonosniku te je reakcija na oborine vrlo brza uz višestruko povećanje istjecanja (odnos između maksimalnog i minimalnog protoka – 1 : 488,9 u promatranom razdoblju) Kod koeficijenata recesije  $\alpha_2$  i  $\alpha_3$  rijeke Slunjčice, može se vidjeti mala razlika među njima, što može upućivati na jaču okršenost krškog vodonosnika rijeke Slunjčice te da su sitnije pukotine i klastična ispuna mnogo manje zastupljene nego u slučaju Ličke Jesenice. O jačini okršenosti govori nam sama prostorna gustoća vrtača čiji maksimumi prelaze i 100 vrtača/ $km^2$  na području sliva rijeke Slunjčice bez podsliva Ličke Jesenice. Na samom je podslivu rijeke Ličke Jesenice intenzitet okršavanja slabiji.



Slika 5.36. Krivulja recesije za Ličku Jesenicu (1.9.1983. - 31.8.1990.)



Slika 5.37. Krivulja recesije za Slunjčicu (1.9.1983.-31.8.1990.)

## 6. ZAKLJUČAK

Nakon izvršenih analiza koje su uključivale: geomorfološke analize, utvrđivanje hidrogeoloških uloga i podzemnih veza na širem području istraživanja, hidrokemijskih i hidroloških analiza zaključeno je sljedeće:

1. Sliv rijeke Slunjčice kompleksan je krški sliv koji se sastoji od podsliva rijeke Ličke Jesenice, podsliva Rakovačkog potoka, podsliva izvora Slunjčice, podsliva Pećine te neposrednog sliva toka rijeke Slunjčice nizvodno od samog izvora.
2. Sliv rijeke Slunjčice (do hidrometrijske postaje Rastoke) određen temeljem hidrogeoloških značajki područja i dokazanih podzemnih veza s ponorima Ličke Jesenice i Rakovačkog potoka obuhvaća površinu od 282,74 km<sup>2</sup>.
3. Sliv rijeke Slunjčice izrazito je okršen, s prosječnom gustoćom vrtača od 22,66 vrtača/km<sup>2</sup>, s prostornim maksimumima i preko 100 vrtača/km<sup>2</sup> u kontaktima slabije propusnih dolomitnih naslaga s vrlo dobro propusnim vapnenačkim naslagama.
4. Vode s izvorišta Slunjčice i Pećine pripadaju Ca-HCO<sub>3</sub> hidrokemijskom facijesu.
5. Na temelju hidrokemijskih analiza, izvori Točak (izvor Pećine) i izvor Vrelo se ne prihranjuju iz istog krškog vodonosnika kao izvor Slunjčice te je zbog toga sliv rijeke Slunjčice s istočne strane hidrogeološke barijere od srednjetrojaskih dolomita uži nego sa zapadne strane barijere.
6. Izradom višegodišnje bilance voda sliva rijeke Slunjčice dobiven je veći ulaz vode u sliv rijeke Slunjčice u odnosu na izlaz vode iz sliva u vrijednosti od 0,247 m<sup>3</sup>/s za kalendarske godine, a za hidrološke od 0,146 m<sup>3</sup>/s.
7. Teoretski koeficijent efektivne infiltracije ( $c_{\text{teor}} = 0,569$ ) i teoretski koeficijent efektivne infiltracije pojačan utjecajem jako okršenih područja ( $c_{\text{teor}} = 0,585$ ) odgovaraju višegodišnjem prosjeku računate efektivne infiltracije za kalendarske godine ( $c_i = 0,576$ ) i hidrološke godine ( $c_i = 0,588$ ).

8. Izračunati višegodišnji prosjek teoretskih površina sliva rijeke Slunjčice pomoću teoretskog koeficijenta efektivne infiltracije koji je pojačan utjecajem jako okršених područja ( $c_{teor} = 0,585$ ) iznosi  $278,27 \text{ km}^2$  za kalendarske godine te  $284,17 \text{ km}^2$  za hidrološke godine, i u potpunosti odgovaraju površini sliva rijeke Slunjčice određenoj na temelju hidrogeoloških značajki
9. Na temelju krivulja trajanja i usporedbe dnevnih protoka, rijeka Slunjčica u recesijskim razdobljima ima niže vrijednosti protoka u odnosu na rijeku Ličku Jesenicu koja prihranjuje sliv rijeke Slunjčice, uz to su primjećena manja variranja protoka rijeke Ličke Jesenice za razliku rijeke od Slunjčice u promatranom vremenu.
10. Na temelju koeficijenata recesije, podsliv Ličke Jesenice ima bolje retencijske sposobnosti u odnosu na sliv rijeke Slunjčice, što se može obrazložiti izrazito okršеним područjem sliva rijeke Slunjčice za razliku od samog podsliva Ličke Jesenice.

Sliv rijeke Slunjčice značajan je krški sliv u ovom dijelu Hrvatske. Napaja se preko velike površine koju treba valjano zaštititi kako bi podzemne vode sliva rijeke Slunjčice ostale dobre kakvoće. Nakon valjane odredbe samog slivnog područja moguće je valjano zaštititi podzemne vode uvođenjem sanitarnih zona zaštite izvorišta. Pri tome je u ovakvom krškom slivu bitno pravilno zaštititi i ostale izvorišne zone na slivu, kao izvore Ličke Jesenice i Rakovačkog potoka, te međustalom i ponorne zone.

Također, u sušnim razdobljima treba pripaziti na same retencijske sposobnosti krškog vodonosnika, a time i njegovo korištenje, tj. crpljenje, jer je dokazano da sam sliv rijeke Slunjčice ima slabije retencijske sposobnosti nego podsliv rijeke Ličke Jesenice.

Kako bi se što bolje utvrdila obilježja samog izvora Slunjčice na njemu je potrebno vršiti kontinuirano mjerenje izdašnosti izvora i praćenje kakvoće podzemnih voda budući da to na samom izvoru trenutno ne postoji.



## 7. LITERATURA

- BAČANI, A. (2006.): Hidrogeologija I, udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološki-naftni fakultet, str. 40,42
- BAHUN, S. (1968.): Geološka osnova hidrogeoloških odnosa krškog područja između Slunja i Vrbovskog, *Geološki vjesnik*, 21, str. 19-82
- BAHUN, S. (1989.): Geološka osnova zaštite podzemnih voda u kršu, *Geološki vjesnik*, 42, str. 201-211
- BARDI, A.,PAPINI, P.,QUAGLINO, E.,BIONDI, E.,TOPIĆ, J.,MILOVIĆ, M.,PANDŽA, M.,KALIGARIĆ, M.,ORIOLO, G.,ROLAND, V.,BATINA, A.,KIRIN, T. (2016): Karta prirodnih i poluprirodnih ne-šumskih kopnenih i slatkovodnih staništa Republike Hrvatske. AGRISTUDIO s.r.l., TEMI S.r.l., TIMESIS S.r.l., HAOP.
- BIONDIĆ, R., MEAŠKI, H. (2016.): Hydrogeology of the sinking zone of the Korana River downstream of the Plitvice Lakes, Croatia, *Acta Carsologica*, 45-1, str. 43-56
- BOČIĆ, N., PAHERNIK, M., BOGNAR, A. (2010.): Geomorfološka obilježja Slunjske zaravni, *Hrvatski geografski glasnik*, 72/2, str. 5 – 26
- CRNKO, J. (1999.): Izvještaj o preliminarnom istraživanju na širem području Rakovice i Drežnik Grada – Općina Rakovica, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Zavod za geologiju
- DUIĆ, Ž. (2017.): Skripta iz predmeta Hidrogeologija 2, Kemija podzemnih voda, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
- GALOVIĆ, I., BAHUN, S., BUKOVAC, J., PRTOLJAN, B., CRNKO, J. (1998.): Izvješće o izvedenim vodoistražnim radovima na području Ličke Jesenice, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Zavod za geologiju
- HALLE R. (2004): Kemizam i obradba vode, udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str. 23-25, 199-200, 206, 219-220, 224
- IVIČIĆ, D. (1999.): Izvještaj o trasiranju podzemne vode u Kuselju, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju

- IVIČIĆ, D., MARKOVIĆ, T., DOLIĆ, S., SINGER, D., MIKLIN, Ž. (2003.): Istraživanje podzemnih veza u zaleđu izvorišta Slunjčica - Trasiranje ponora Švice sjeverno od Rakovice, Institut za geološka istraživanja, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju
- JURAK, V. (1983.): Komparativna analiza hidroloških režima rijeka Gline, Korane i D. Mrežnice s aspekta hidrogeoloških značajki porječja, disertacija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, OOUR Grupa za hidrogeologiju
- KOROLIJA, B., ŽIVALJEVIĆ, T., ŠIMUNIĆ, A. (1972.): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Slunj L 33-104, Institut za geološka istraživanja, Zagreb
- MAGDALENIĆ, A., VAZDAR, T., HLEVNJAK, B. (1995.): Hydrogeology of Gradole Spring Drainage Area in Central Istria, *Geologica Croatica*, Zagreb, 48/1, str. 97-106
- MLINARIĆ, M. (2012.): Projektiranje trasiranja podzemnih tokova, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet
- PAHERNIK, M. (2012.): Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske, *Hrvatski geografski glasnik* 74/2, str. 5-26
- PARLOV, J. (2017.): Skripta iz predmeta Hidrogeologija krša, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
- PAVIČIĆ, A., TERZIĆ, J., MARKOVIĆ, T., DUKARIĆ, F. (2007.): Elaborat za uspostavu regionalnog vodocrpilišta Lička Jesenice, Hrvatski geološki institut – Zagreb, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju
- POLŠAK, A., ŠPARICA, M., CRNKO, J., JURIŠA, M. (1967.): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Bihać L 33-116, Institut za geološka istraživanja, Zagreb
- PUSTAJ, G., KAPOR, F. (2016.): Skripta iz kolegija Kemizam i obradba vode, Rudarsko-geološki-naftni fakultet
- ŠEGOTA, T., FILIPČIĆ A. (2003.): Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje, *Geoadria*, 8/1, str. 17-37
- ŠIROL, A. (2018.): Uloga vrtača u napajanju krškog vodonosnika, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

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, *Hydrological Processes*, 26, str. 3302-3311

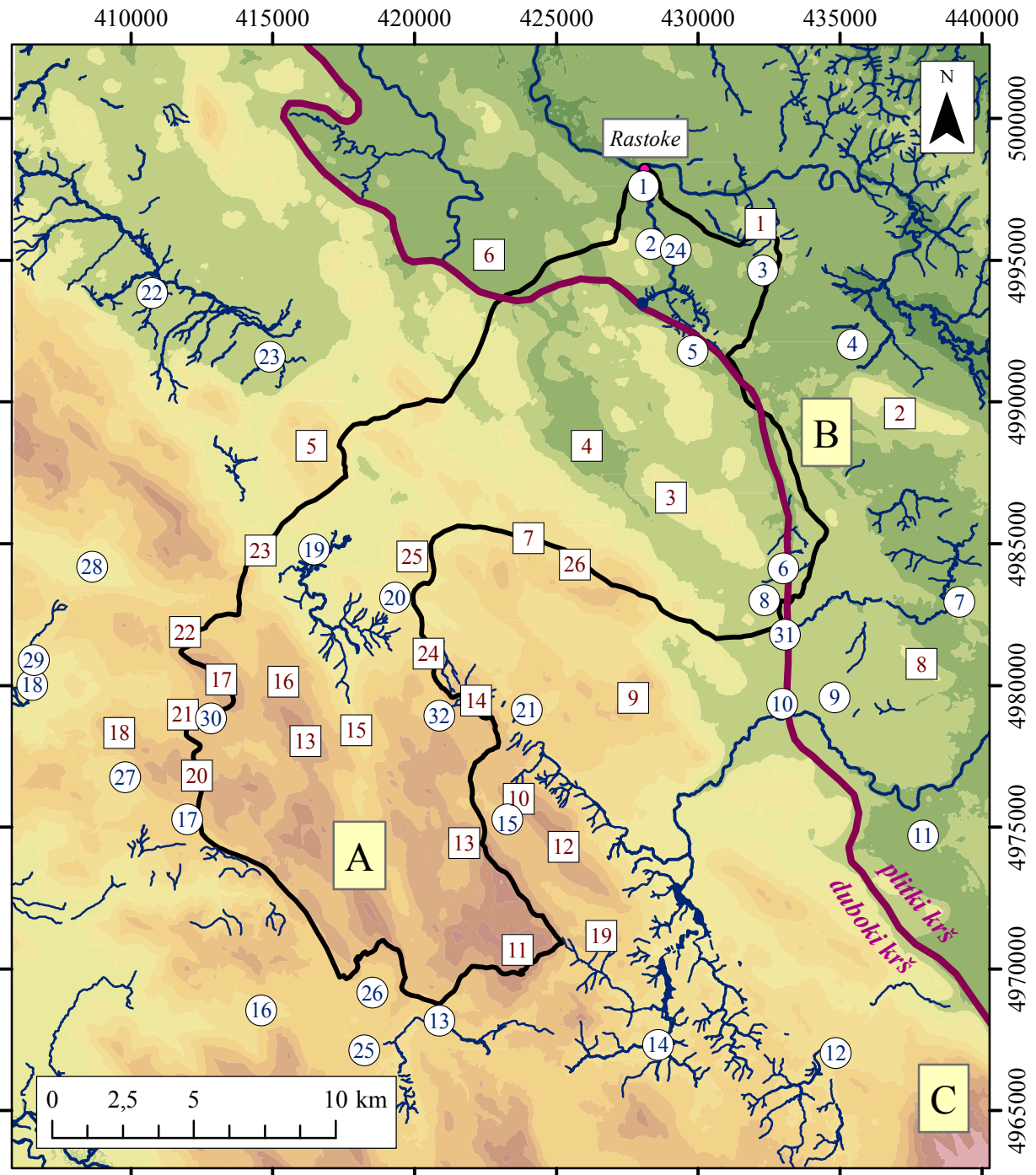
TRPČIĆ, M., PLETIKOSIĆ, N. (2010.): Hidrogeološke značajke zaštićenog područja prirode Slunjčica i mogućnosti zaštite riječnih staništa, 4. Hrvatski geološki kongres

VELIĆ, I., BAHUN, S., SOKAČ, B., GALOVIĆ, I. (1970.): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Otočac K 33-115, Institut za geološka istraživanja, Zagreb

VELIĆ, I., SOKAČ B. (1980.): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Ogulin L 33-103, Geološki zavod, Zagreb

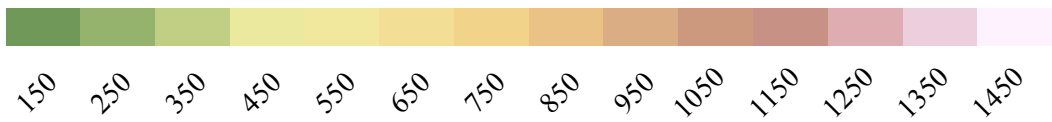
ŽUGAJ R. (2015.): Hidrologija, udžbenik, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str. 168, 232-233, 332-338

WMS SERVISI, Državna geodetska uprava Republike Hrvatske  
(URL: <http://geoportal.dgu.hr/wms?>, 20. lipnja 2019.)









Tumač oznaka

nadmorska visina [m n.m.]



Prilog 1. Geografska karta šireg područja istraživanja  
M 1 : 225 000

## Tumač oznaka

-  naselja
-  oronimi
-  hidrometrijska postaja Rastoke
-  izvor Slunjšice
-  sliv rijeke Slunjšice
-  granica krških cjelina

### Geografske regije:

- A - Mala Kapela
- B - Unsko-Koranska zaravan
- C - Lička Plješivica

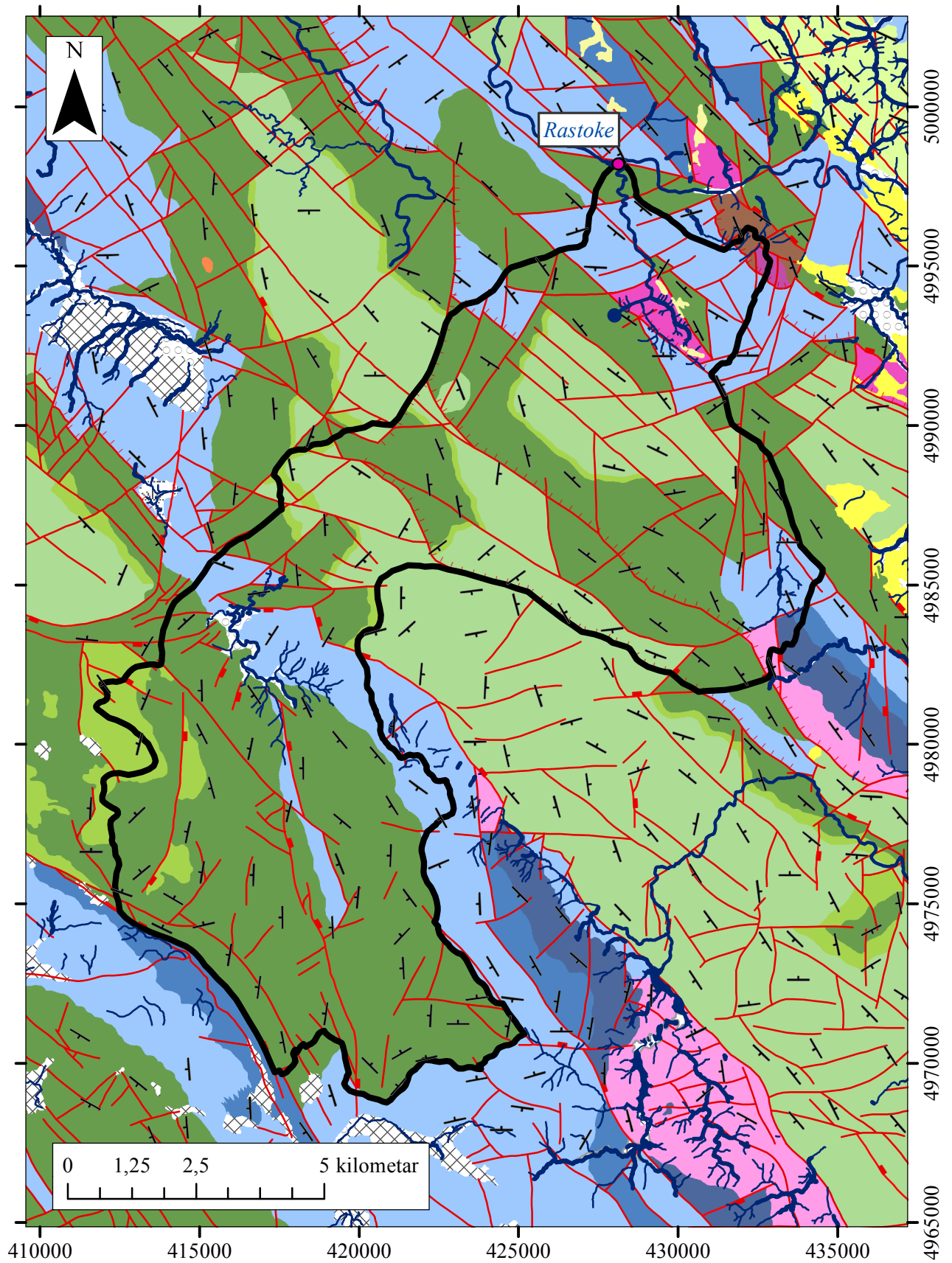
### Oronimi:

- 1 - Kremenita glava
- 2 - Mašvina
- 3 - Zvjernjak
- 4 - Močila
- 5 - Pištenik
- 6 - Zbjeg
- 7 - Veliki Stožer
- 8 - Lipovača
- 9 - Trovrh
- 10 - Preka kosa
- 11 - Seliški vrh
- 12 - Razdolje
- 13 - Veliki Javornik
- 14 - Velika Titra
- 15 - Jurjeva Draga
- 16 - Mali Javornik
- 17 - Veliki Lisac
- 18 - Mali Lisac
- 19 - Kameniti vrh
- 20 - Božičevića vrh
- 21 - Vrščić
- 22 - Korač
- 23 - Perinovac

- 24 - Mala Titra
- 25 - Mali Sivnik
- 26 - Pištenica





























### Naselja i krška polja:

- 1 - Slunj
- 2 - Novo Selo
- 3 - (Donji) Ladevac
- 4 - Furjan
- 5 - Bročanac
- 6 - Rakovica
- 7 - (Nova) Kršlja
- 8 - Brajdići
- 9 - Drežnik Grad
- 10 - Čatrnja
- 11 - (Gornji) Vaganac
- 12 - Prijeboj
- 13 - Donji Babin Potok
- 14 - Plitvički Ljeskovac
- 15 - Čorkova uvala
- 16 - Vrhovine
- 17 - Brezovac
- 18 - Dabar
- 19 - Lička Jesenica
- 20 - Saborsko
- 21 - Kuselj
- 22 - Plaški
- 23 - Plavča Draga
- 24 - Lumbardenik
- 25 - Vrhovinsko polje
- 26 - Rudopolje
- 27 - Petrinić polje
- 28 - Glibodol
- 29 - Dabarsko polje
- 30 - Živica
- 31 - Grabovac
- 32 - Ravni Lug

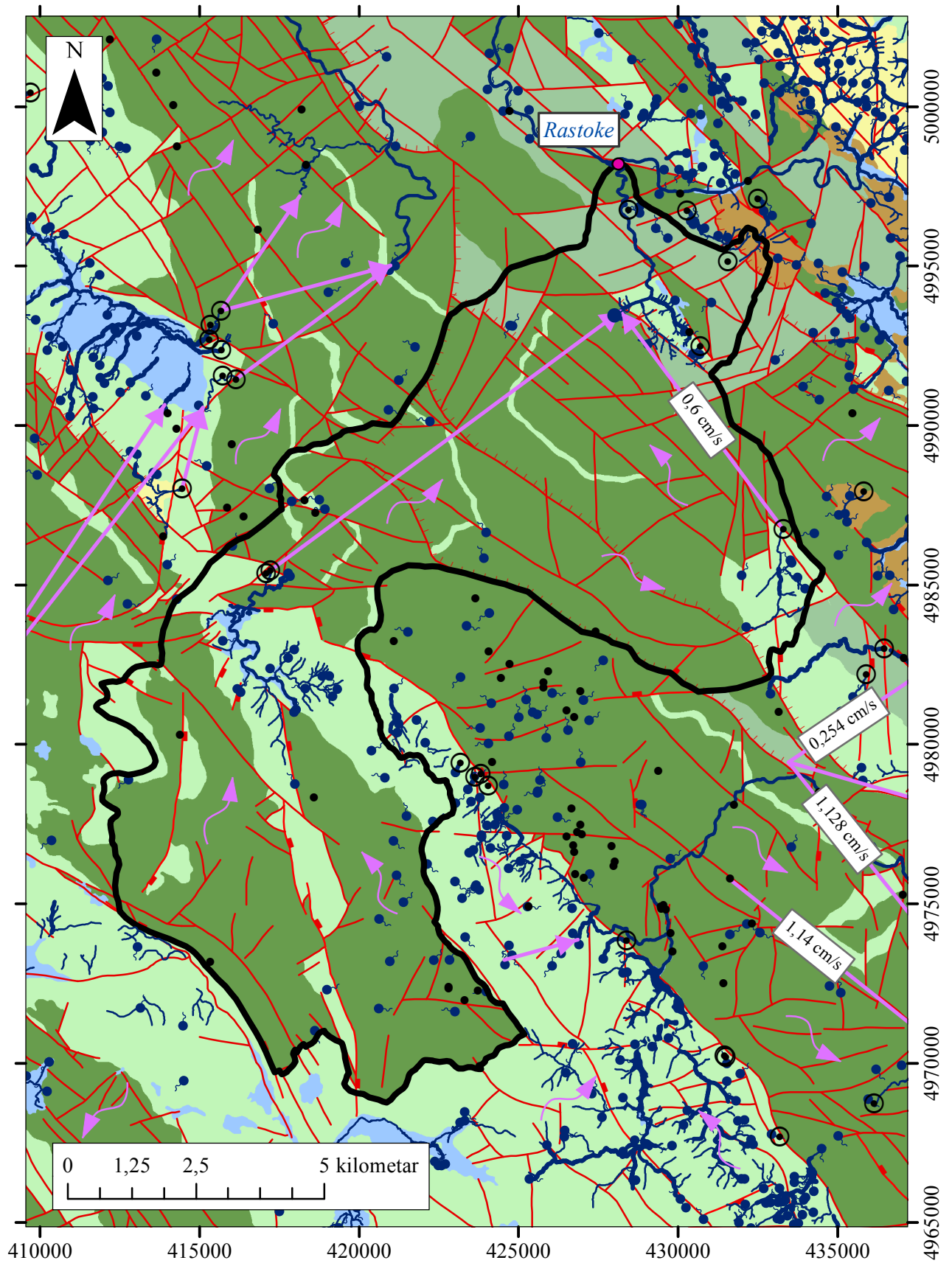


Prilog 2. Geološka građa na slivu rijeke Slunjčice  
M 1 : 175 000

## Tumač oznaka

-  izvor Slunčice
-  hidrometrijska postaja Rastoke
-  sliv rijeke Slunčice
- riječna mreža (stalnost toka)**
-  povremeni
-  stalni
-  stalni manji
- tip rasjeda**
-  rasjed bez oznake karaktera
-  relativno spušten blok (vertikalni)
-  reversni rasjed
- geološki period**
-  aluvij (Q)
-  barski sedimenti (Q)
-  vapnenačka sedra (Q)
-  proluvij (Q)
-  pliocen, kvartar (P1,Q)
-  srednji miocen (M2)
-  paleocen (Pc)
-  kreda, paleocen (K,Pc)
-  gornja kreda (K2)
-  prijelaz iz donje u gornju kredu (K1,2)
-  donja kreda (K1)
-  gornja jura (J3)
-  srednja jura (J2)
-  donja jura (J1)
-  gornji trijas (T3)
-  srednji trijas (T2)
-  donji trijas (T1)
-  perm (P)
-  položaji slojeva










Prilog 3. Hidrogeološka karta sliva rijeke Slunjčice  
M 1 : 175 000






## Tumač oznaka




-  izvor Slunjčice
-  hidrometrijska postaja Rastoke
-  speleološki objekti
-  ponori
-  izvori

 sliv rijeke Slunjčice

### riječna mreža (stalnost toka)

-  povremeni
-  stalni
-  stalni manji








### tip rasjeda


-  rasjed bez oznake karaktera
-  relativno spušten blok (vertikalni)
-  reversni rasjed

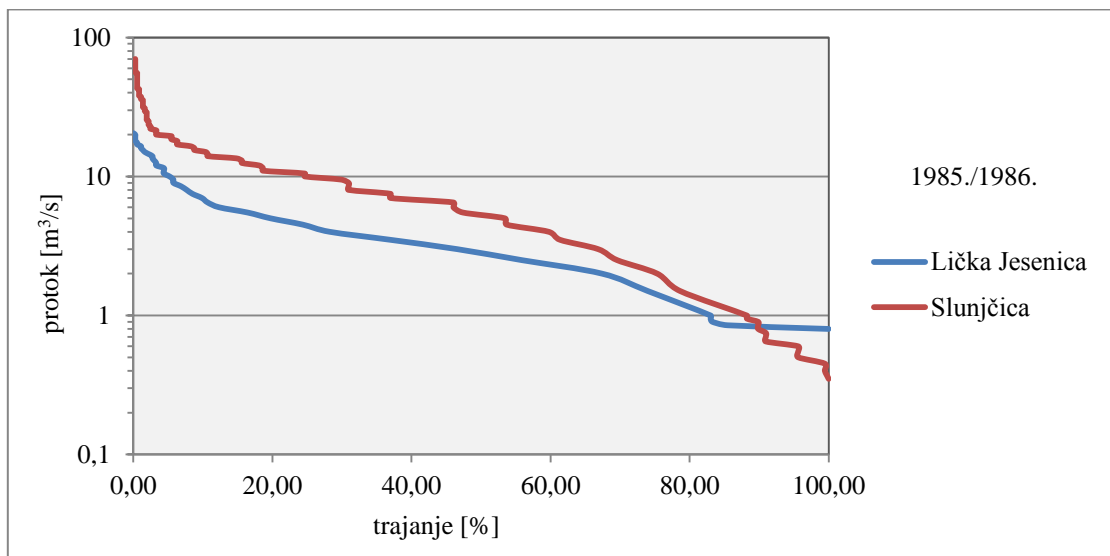
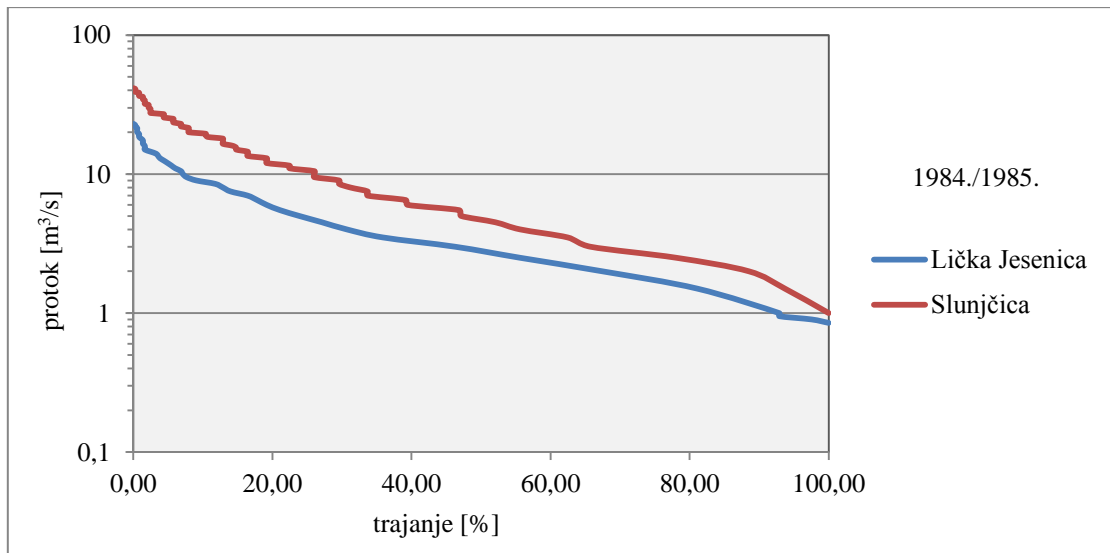
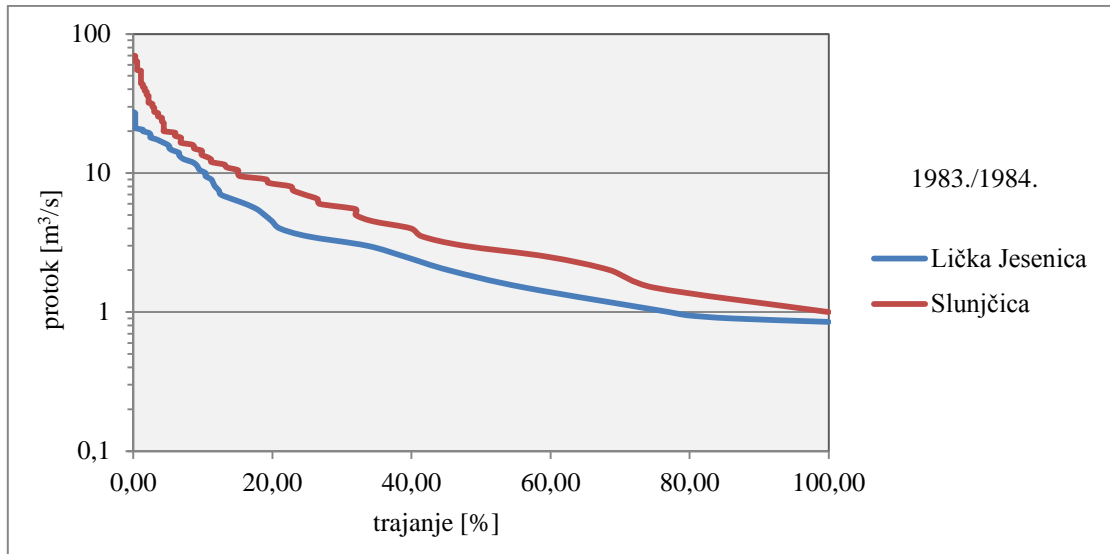
### podzemna veza

-  utvrđena veza

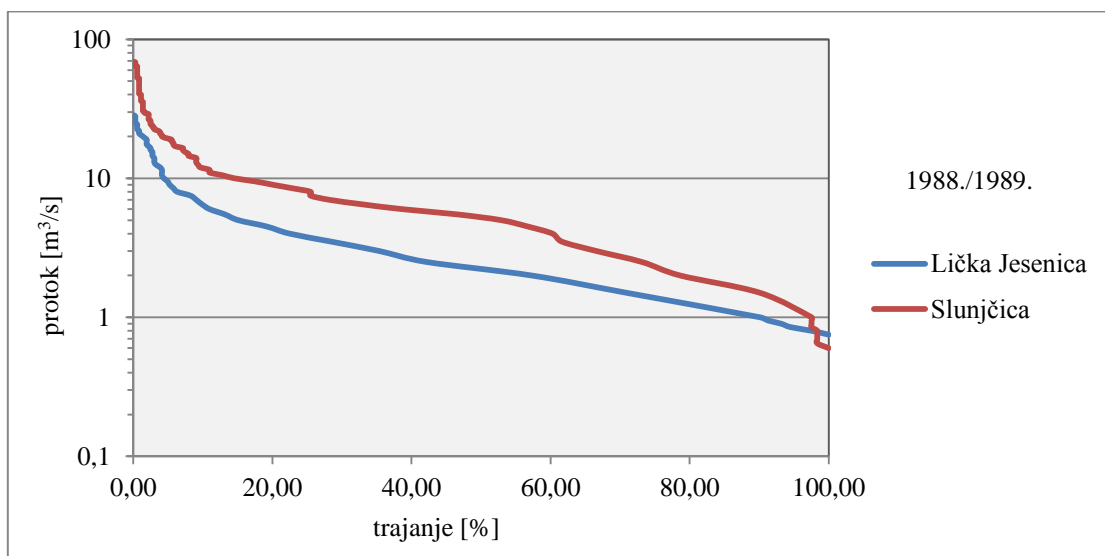
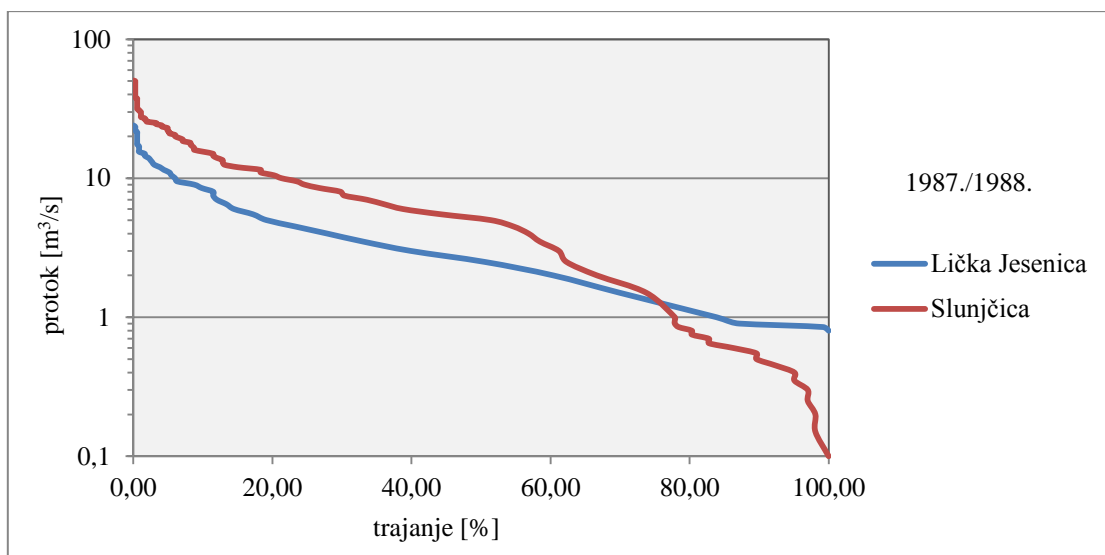
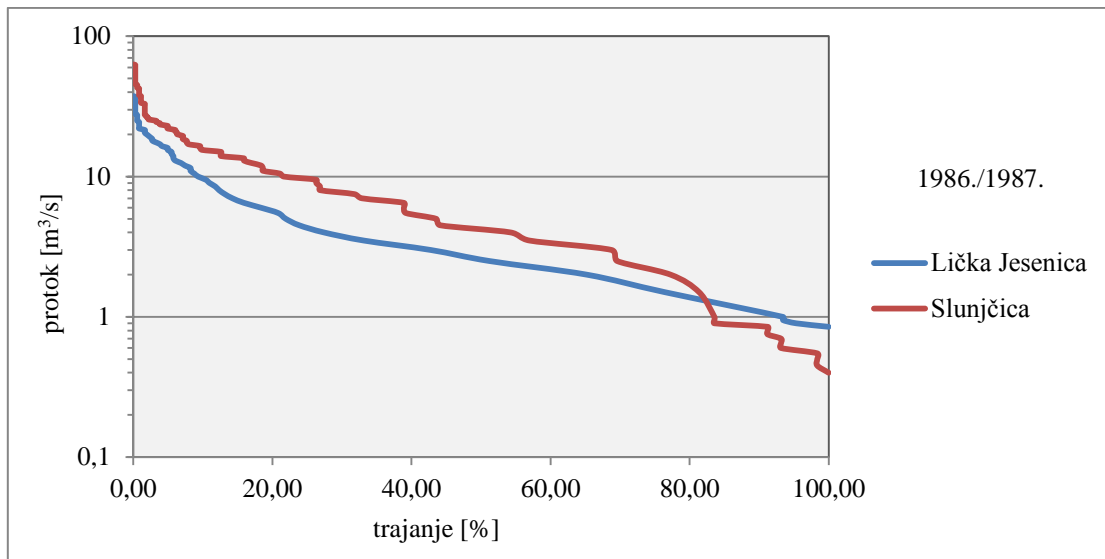
### vodopropusnost

-  promjenjiva propusnost (međuzrnska)
-  nepropusno (međuzrnska)
-  slaba propusnost (međuzrnska)
-  umjerena propusnost (međuzrnska)
-  slaba propusnost (pukotinska)
-  dobra propusnost (pukotinska)
-  vrlo dobra propusnost (pukotinska)

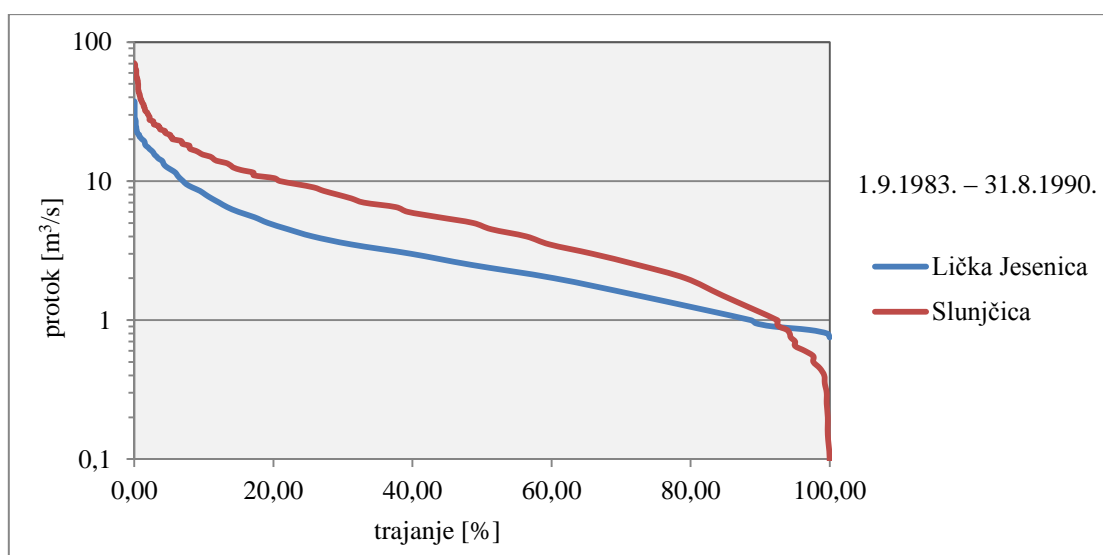
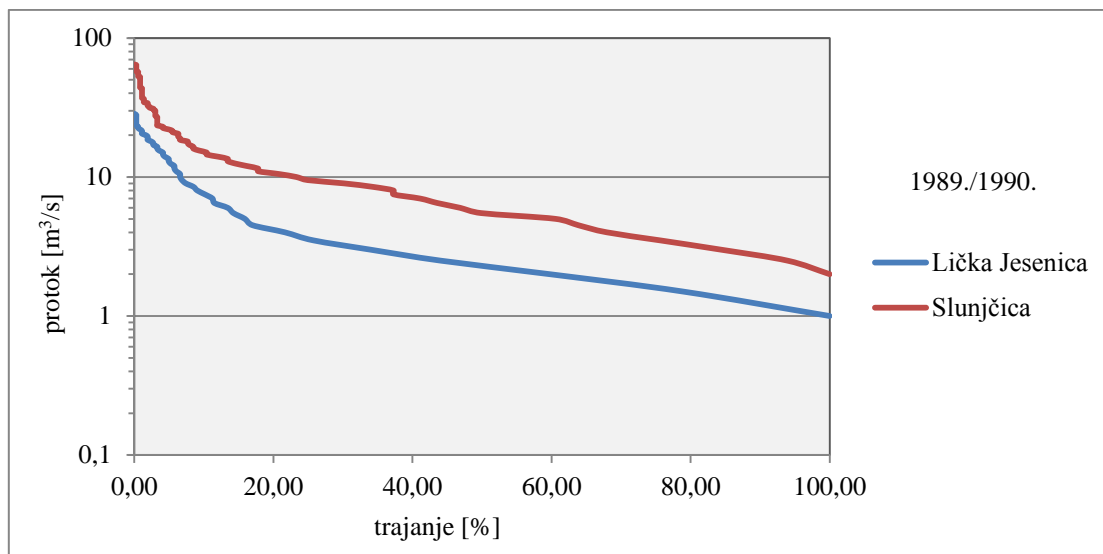
-  smjer toka podzemne vode



Prilog 4.



Prilog 4.



Prilog 4. Godišnje krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka Ličke Jesenice i Slunjčice (hidrološke godine) i krivulja trajanja srednjih dnevnih protoka za cijelo promatrano razdoblje u polulogaritamskom mjerilu