

# Sliv izvora Kupčine

---

**Indir, Irena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*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:169:348401>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-02**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
DIPLOMSKI STUDIJ GEOLOŠKOG INŽENJERSTVA

# SLIV IZVORA KUPČINE

DIPLOMSKI RAD

Irena Indir

GI 226

Zagreb, 2017.

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

SLIV IZVORA KUPČINE  
IRENA INDIR

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

Sažetak

Istraživano područje (sliv izvora Kupčine) nalazi se na zapadnom dijelu Žumberačke gore. Građeno je dominantno od karbonatnih stijena u kojima je razvijen krški reljef. Vodonosnik je tipičan krški, s velikim promjenama izdašnosti na izvorima. Unutar sliva izvora Kupčine su registrirane mnoge ponornice i izvori kojima je izmjeren protok i uzeti uzorci vode potrebni za kemijske analize. Provedenim terenskim i laboratorijskim istraživanjima utvrđena je površina sliva od 23,4 km<sup>2</sup>, te je izrađena hidrogeološka karta sliva izvora Kupčine s ucertanim izvorima, ponorima, vrtačama, površinskim tokovima i profilima mjerenja protoka.

Ključne riječi: krš, hidrogeologija, Žumberak, sliv, izvori, Kupčina, ponori, protok

Diplomski rad sadrži: 54 stranice, 16 tablica, 44 slika i 29 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski.

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierrotijeva 6, Zagreb.

Mentor: Doc. dr.sc. Jelena Parlov

Pomoć pri izradi: Zoran Kovač, znanstveni novak

Ocjenjivači: Doc. dr.sc. Jelena Parlov  
Prof. dr.sc. Andrea Bačani  
Doc. dr.sc. Željko Duić

Datum obrane: 17.02.2017.

University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology  
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

## “KUPČINA SPRINGS“ BASIN

IRENA INDIR

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

### Abstract

The research area (the Kupčina springs basin) is situated in the western part of Žumberačka gora. It is made of carbonate rocks in which the karst relief was formed. The aquifer is typically a karst aquifer with big changes in spring's flow. In the basin, there are many registered undercurrents and springs where the flow was measured and water samples were collected for later chemical analysis. Using detailed field and laboratory research, the basin area was determined and it spreads over an area of 23.4 km<sup>2</sup>. Also, the hidrogeological map of the Kupčina springs was made and it contains drawn basin springs, abysses, sinkholes, surface flows and measuring profiles.

Key words: karst, hidrogeology, Žumberak, basin, Kupčina, springs, abysses, flow

Thesis contains: 54 pages, 16 tables, 44 figures and 29 references.

Original in: Croatian.

Thesis deposited at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierrotijeva 6, Zagreb.

Supervisor: Assistant Professor Jelena Parlov, PhD

Technical support and assistance: Zoran Kovač, MSc

Reviewers: Assistant Professor Jelena Parlov, PhD

Full Professor Andrea Bačani, PhD

Assistant Professor Željko Duić, PhD

Date of defense: February 17, 2017

## SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. GEOGRAFSKA, GEOLOŠKA I HIDROGEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	3
2.1. Geografski smještaj.....	3
2.2. Klimatska obilježja .....	4
2.3. Vegetacijska obilježja .....	7
2.4. Geološke značajke .....	8
2.4.1. Strukturna građa i tektonika .....	8
2.4.2. Litostratigrafska obilježja istraživanog područja .....	9
2.5. Hidrogeologija i hidrologija.....	12
3. METODE ISTRAŽIVANJA .....	22
3.1. Terenska mjerenja .....	22
3.1.1. Mjerenje temperature .....	22
3.1.2. Mjerenje protoka .....	22
3.2. Laboratorijska mjerenja .....	24
3.2.1. Mjerenje pH vrijednosti .....	24
3.2.2. Mjerenje elektrovodljivosti .....	25
3.2.3. Mjerenje alkaliteta vode .....	26
3.2.4. Ionski kromatograf .....	27
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	29
4.1. Rezultati terenskih istraživanja .....	29
4.1.1. Temperatura .....	29
4.1.2. Protok .....	29
4.1.2.1. Hidrometrijsko krilo .....	29
4.1.2.2. Posuda.....	37
4.1.2.3. Procjenjeni protoci.....	38

4.2. Rezultati laboratorijskih istraživanja .....	38
4.2.1. pH vrijednosti .....	39
4.2.2. Elektrovodljivost .....	39
4.2.3. Alkalitet vode .....	40
4.2.4. Ionski kromatograf .....	41
5. DISKUSIJA .....	43
6. ZAKLJUČAK.....	51
7. LITERATURA .....	53

## POPIS SLIKA:

Slika 2 – 1. Prostorni smještaj Žumberačkog gorja .....	3
Slika 2 – 2. Prostorni položaj gorskih lanaca Žumberačkog gorja i okviran prikaz .....	4
Slika 2 – 3. Geografska raspodjela klimatskih tipova po W. Köppenu .....	5
Slika 2 – 5. Prikaz dnevne i mjesečne oborine (mm) 2016. godine te prikaz srednjih mjesečnih oborina u razdoblju 2010. – 2016. ....	7
Slika 2 – 6. Geološka karta istraživanog područja (prema PLENIČAR et. al., 1975); narančastom bojom prikazani su profili 1 – 1', 2 – 2' i 3 – 3' (modificirani prema PAVIČIĆ, 2014) .....	10
Slika 2 – 7. Profil 1 – 1' (modificirano prema PAVIČIĆ, 2014) .....	11
Slika 2 – 8. Profil 2 – 2' (modificirano prema PAVIČIĆ, 2014) .....	11
Slika 2 – 9. Profil 3 – 3' (modificirano prema PAVIČIĆ, 2014) .....	11
Slika 2 – 10. Rasprostranjenost karbonatnih stijena u Hrvatskoj (HERAK, 1991) .....	12
Slika 2 – 11. Karta neposrednih slivova i njihovih najznačajnijih izvora te vodotoka na području PP Žumberak-Samoborsko gorje (VUJNOVIĆ, 2010) i shematski prikaz područja istraživanja .....	13
Slika 2 – 12. Hidrogeološka karta sliva izvora Kupčine .....	14
Slika 2 – 13. IZVORI KUPČINE: a) izvor 1; b) izvor 2; c) izvor 4 ; .....	15
d) izvor 3 – Kupčina, veliki izvor; e) izvor 5 – Kupčina, mali izvor (desno na slici) ulijeva se u Kupčinu (lijevo na slici); f) Kupčina, stari tok (lijevo na slici) i Kupčina – veliki izvor (desno na slici) .....	15
Slika 2 – 14. Dnevne oborine na postaji Sošice u razdoblju od 1. veljača 2008. - 1. ožujka 2009.; .....	16
vremenski dijagram izdašnosti svih izvora (Q), elektrovodljivosti (EC), temperature (T) i pH u .....	16
Slika 2 – 15. Potok / ponor BLATE: a) ponor; b) tok oko 150 m uzvodno od ponora .....	17
Slika 2 – 16. Potok / ponor LUKE: a) početni tok; b) poniranje toka; c) izvorište nakon stijene; d) suhi izvor i kanal drugog suhog izvora; e) lijevi prtok (~5 l/s); f) tok Luke prije završnog poniranja .....	19
Slika 2 – 17. Potok / ponor TROPSTAC: a) povremeni ponor; b) poniranje toka; c) tok Troprstaca .....	19
Slika 2 – 18. BARE: a) tok iznad kaptiranog izvora; b) izvor .....	20
Slika 2 – 19. JARAK: a) tankoslojevite kredne naslage; b) Jarak kod Boića i c) Potok .....	21
Slika 3 – 1. Termometar TP101 .....	22
Slika 3 – 2. Dijelovi hidrometrijskog krila (prema SEBA HYDROMETRIE, 2003) .....	23
Slika 3 – 3. Hidrometrijsko krilo SEBA –M1 .....	23
Slika 3 – 4. Brojač impulsa Z6 .....	24
Slika 3 – 5. pH metar .....	25
Slika 3 – 6. Mjerenje elektrovodljivosti .....	25
Slika 3 – 7. Titracija HCl-om uz indikator metil oranž (promjena boje u narančasto-smeđu) .....	26
Slika 3 – 8. Dijelovi ionskog kromatograf; 1 – provodna ćelija, 2 – supresor, 3 – separacijska kolona, 4 – pumpa, 5 – mjerac tlaka, 6 – injektor, 7 – cijev i 8 – pretkolona. ....	28
Slika 4 – 1. Profil Blate, mjerenje hidrometrijskim krilom .....	31
Slika 4 – 2. Prikaz mjernog profila vodotoka Blate .....	31
Slika 4 – 3. Profil Luke .....	32
Slika 4 – 4. Prikaz mjernog profila vodotoka Luke .....	32
Slika 4 – 5. Profil Kupčina – stari tok .....	33



<i>Slika 4 – 6. Prikaz mjernog profila starog toka Kupčine .....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 4 – 7. Profil Kupčina – stari tok + izvori .....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 4 – 8. Prikaz mjernog profila vodotoka Kupčina – stari tok + izvori.....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 4 – 9. Profil Jarak.....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 4 – 10. Prikaz mjernog profila vodotoka Jarak .....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 4 – 11. Profil Potok .....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 4 – 12. Prikaz mjernog profila vodotoka Potok.....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 4 – 13. Mjerenje izdašnosti izvora Bare .....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 4 – 14. Troprstac .....</i>	<i>38</i>
<i>Slika 4 – 15. Filtrirani uzorci vode korišteni za ionsku kromatografiju.....</i>	<i>39</i>
<i>(volumen staklene posudice – 5ml).....</i>	<i>39</i>
<i>Slika 4 – 16. Praćenje mjerenja ionskog kromatografa .....</i>	<i>41</i>
<i>Slika 5 – 1. Piperov dijagram ispitivanih uzoraka .....</i>	<i>46</i>

#### POPIS TABLICA:

<i>Tablica 3 – 1. Odnos utroška 0,1 M HCl za titraciju hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata u 100 mL vode u ovisnosti o odnosu p i m vrijednosti.....</i>	<i>27</i>
<i>Tablica 4 – 1. Rezultati in-situ mjerenja temperature .....</i>	<i>29</i>
<i>Tablica 4 – 2. Prikaz izračuna protoka potoka Blate.....</i>	<i>31</i>
<i>Tablica 4 – 3. Prikaz izračuna protoka potoka Luke.....</i>	<i>32</i>
<i>Tablica 4 – 4. Prikaz izračuna protoka starog toka Kupčine.....</i>	<i>33</i>
<i>Tablica 4 – 5. Prikaz izračuna protoka Kupčine (stari tok + izvori Kupčine) .....</i>	<i>34</i>
<i>Tablica 4 – 6. Prikaz izračuna protoka potoka Jarak .....</i>	<i>35</i>
<i>Tablica 4 – 7. Prikaz izračuna protoka potoka Potok.....</i>	<i>36</i>
<i>Tablica 4 – 8. Prikaz izračunatih protoka na svim mjernim profilima.....</i>	<i>37</i>
<i>Tablica 4 – 9. Prikaz dobivenih protoka na izvorima Vodice i Bare.....</i>	<i>38</i>
<i>Tablica 4 – 11. Prikaz izmjerenih pH vrijednosti.....</i>	<i>39</i>
<i>Tablica 4 – 12. Prikaz izmjerenih elektrovodljivosti.....</i>	<i>40</i>
<i>Tablica 4 – 13. Koncentracije aniona .....</i>	<i>41</i>
<i>Tablica 4 – 14. Koncentracije kationa .....</i>	<i>42</i>
<i>Tablica 5 – 1. Klasifikacija vode prema sadržaju magnezija (prema ANTUNOVIĆ, 1995) .....</i>	<i>46</i>

## 1. UVOD

Istraživano područje (sliv izvora Kupčine) smješteno je na zapadnom dijelu Žumberačkog gorja. Građeno je od dobro topivih karbonatnih stijena u kojima je razvijen specifičan, krški reljef. Vodonosnici u kršu su, za razliku od dobro istraženih aluvijalnih vodonosnika, još uvijek dosta velika nepoznanica. Razlog tome je njihova nepredvidljivost i podložnost sezonskim vremenskim utjecajima. Sustav podzemnih pukotina i kanala koji sudjeluju u otjecanju mijenja se u vremenu ovisno o klimatskim uvjetima, odnosno o hidrološkim uvjetima. Stoga su za uspješnu identifikaciju krškog vodonosnika potrebni detaljni podaci o geološkim, geomorfološkim i hidrogeološkim odnosima unutar sliva. Oni se prikupljaju izvođenjem istraživačkih radova i mjerenja na terenu, te služe za donošenje zaključaka o značajkama vodonosnika, za definiranje sliva i dinamike podzemnih voda te bilanciranje. Za jednoznačne zaključke o kretanju podzemne vode unutar sliva, potrebno je vršiti kontinuirana mjerenja protoka i oborina te dobivene rezultate usporediti s rezultatima ostalih istraživanja. Najbolji način za potvrđivanje podzemnih puteva je trasiranje.

Na površini istraživanog terena uočljivi su tipični krški oblici, vrtače. Vrtache su dobar pokazatelj procesa okršavanja. Nastaju kao posljedica otapanja i/ili urušavanja, a često se razvijaju uz rasjede. Nekonsolidirani sediment, ako postoji, na dnu vrtača filtrira vodu koja odlazi do vodonosnog sustava i spriječava prijenos dijela zagađenja. S druge strane, otvorene vrtače predstavljaju veliku opasnost zbog mogućeg utjecaja na pad kvalitete podzemnih voda. Ponori su otvori u karbonatnim stijenama i predstavljaju mjesto poniranja površinskog toka. Vrtache i ponori izravno utječu na dreniranje površinskih voda u podzemlje, a time i na prijenos zagađenja do izvora/vodonosnih sustava. Žumberački krški izvori predstavljaju izvor pitke vode za lokalno stanovništvo zbog čega ih je posebno važno očuvati. Razne ljudske djelatnosti (uključujući ilegalno bacanje otpada i nepropisno odlaganje otpadnih voda) su ogromna prijetnja za okoliš i krške vodonosnike te posljedično i za ljude same. Potrebna je edukacija ljudi, ali i redoviti monitoring određenih izvora i vodocrpilišta, no u praksi je situacija drugačija.

Prve detaljnije hidrogeološke podatke za istraživani sliv spominje VUJNOVIĆ (2010) u svom doktorskom radu. Ona je prikazala rezultate izmjerenih protoka na području sliva Kupčine te izradila hidrogeološku kartu PP „Žumberak – Samoborsko gorje“ koja uključuje 847 izvora, 72 ponora, stotinjak speleoloških objekata – spilja i jama, vodotoke – Blate, Luke, Jarak, Suvaja. Na karti odvajaju područja različitih propusnosti stijena. Cilj ovog diplomskog rada je bio detaljnije istražiti sliv izvora Kupčine. Tijekom istraživanja su određene

pretpostavljene granice sliva i izmjereni/određeni protoci gotovo svih vodotoka u slivu. Također, izrađena je hidrogeološka karta sliva izvora Kupčine s pripadajućim izvorima, ponorima, vodotocima i vrtačama na temelju provedenih terenskih istraživanja, mjerenja i uzorkovanja. Rezultati dobiveni ovim istraživanjem prikazani su u radu i polazište su za donošenje zaključaka o određenim geološkim i hidrogeološkim odnosima unutar sliva izvora Kupčine.

## 2. GEOGRAFSKA, GEOLOŠKA I HIDROGEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

### 2.1. Geografski smještaj

Izvori Kupčine nalaze se na zapadnom dijelu Žumberačke gore u blizini naselja Kupčina Žumberačka. Žumberačko gorje nalazi se na sjeverozapadnom dijelu Hrvatske (*Slika 2 – 1.*) i zauzima površinu od oko 450 km<sup>2</sup>. Sastoji se od tri gorska lanca: Žumberačke gore, Samoborskog gorja i Plešivice (*Slika 2 – 2.*).



*Slika 2 – 1. Prostorni smještaj Žumberačkog gorja*

Žumberačka gora zauzima najveću površinu, oko 300 km<sup>2</sup>. Proteže se od Bregane na sjeveroistoku, pa prati državnu granicu Hrvatske i Slovenije sve do rijeke Kupe na jugu. Jugoistočna granica proteže se od Kupe do Plešivice (uključujući Pribić i Krašić), a onda od Plešivice prati rijeku Breganu do državne granice na sjeveru. Najviši vrh je Sv. Gera (1178 m n.m.) koja se nalazi na granici sa Slovenijom. Samoborsko gorje zauzima površinu od oko 100 km<sup>2</sup>. Seže do Plešivice na jugu, Okića na istoku, naselja Bregane i državne granice na sjeveru, dok zapadna granica prati rijeku Breganu na jug (Plešivica). Najviši vrh Samoborskog gorja je Japetić (879 m n.m.). Plešivica ima najmanju površinu, oko 10 km<sup>2</sup>. Nalazi se na jugu Samoborskog gorja, a seže do Okića na sjeveroistoku, obuhvaća Plešivičke vinograde i završava u Pokuplju. Gorjanci su slovenski dio Žumberačkog gorja. Jugoistočna granica je ujedno i već spominjana državna granica, dok na sjeveroistoku granica prati rijeku Krku. Veći dio (brdoviti dio) Žumberačke gore te Samoborskog gorja od 28. svibnja 1999. godine čine PP „Žumberak – Samoborsko gorje“, površine 333 km<sup>2</sup>.

Granica sliva izvora Kupčine obuhvaća naselja: Jezernice, Reštovo, Sošice, te vrhove na granici sa Slovenijom: Sljeme i Sv. Gera. Jugozapadna granica prolazi kraj naselja Rajakovići i Cvetišće.



Slika 2 – 2. Prostorni položaj gorskih lanaca Žumberačkog gorja i okviran prikaz područja istraživanja (podloga: Digitalni ortofoto2011. – Geoportal DGU)

## 2.2. Klimatska obilježja

Klima istraživanog područja određena je po Köppenovim kriterijima (za razdoblje 1961. – 1990. godine). Prema njima sve klime (mikroklime) na svijetu svedene su na manji broj klimatskih razreda, tipova i podtipova. Klimatski razredi su sljedeći: A – tropske kišne klime; B – suhe klime, C – umjereno tople kišne klime; D – snježno-šumske (borealne) klime; E – snježne klime. Niža klimatska kategorija (klimatski tip) dobiva se dodavanjem slova f, s ili w. Njihovo značenje je sljedeće: f – nema sušnog razdoblja, tj. svi su mjeseci vlažni; s – sušno je razdoblje ljeti; w – sušno je razdoblje zimi. Moguće je i korištenje oznaka za podtipove tipa C, a to su: „a“ za vruće i „b“ za toplo ljeto (ŠEGOTA & FILIPČIĆ, 2003). Prema Köppenu, u Hrvatskoj je zastupljeno pet klimatskih tipova (Slika 2 – 3.):

Cfa – umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom;

Cfb – umjerena topla vlažna klima s toplim ljetom

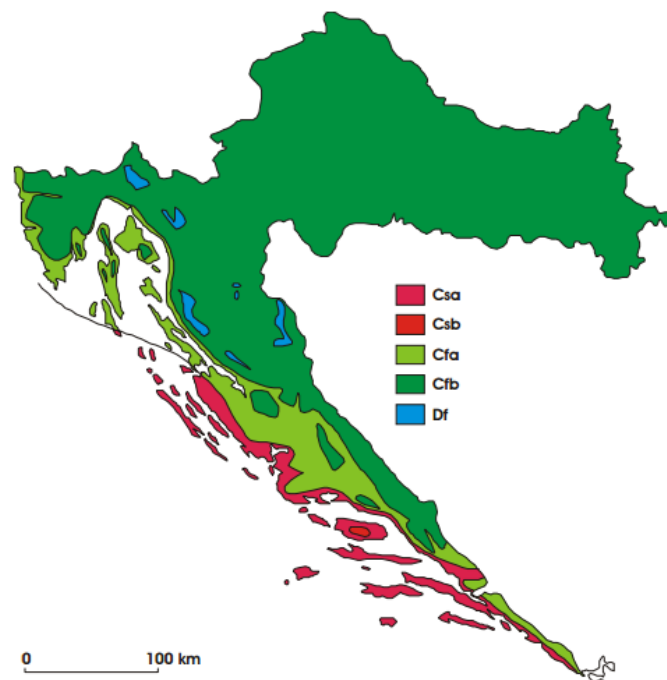
Csa – sredozemna klima s vrućim ljetom;

Csb – sredozemna klima s toplim ljetom;

Df – vlažna borealna klima.

U većem dijelu sliva, kao i u većini Hrvatske prevladava umjerena topla vlažna klima s toplim ljetom (Cfb). Karakteriziraju je nešto niže temperature zraka (posebno zimi). Nema

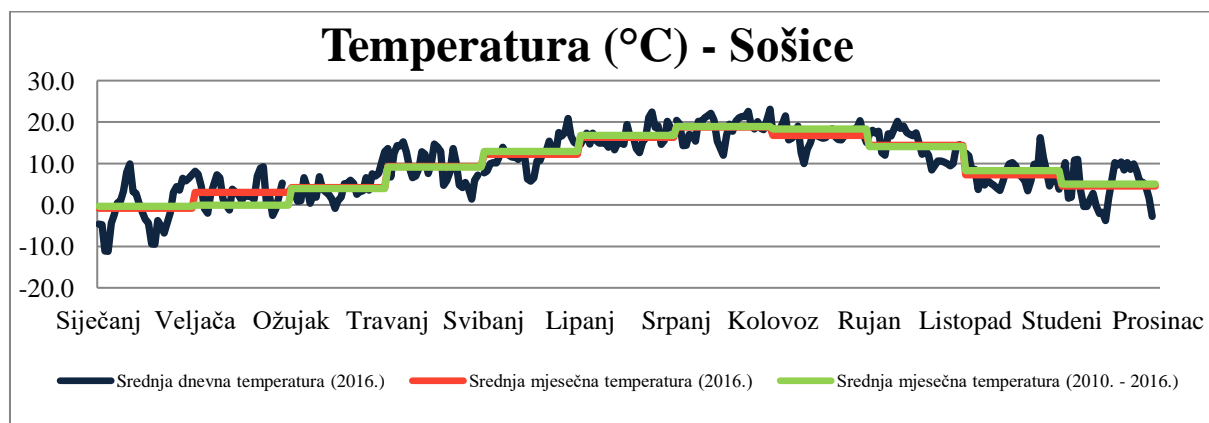
izrazito suhих razdoblja. U kontinentalnim dijelovima više oborina ima u toplijem dijelu godine. Pod pojmom toplo ljeto podrazumijeva se da je srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca niža od 22 °C. Ipak, s obzirom da se u našem slučaju radi o gorskom području, važno je spomenuti da tamo postoje veće oscilacije u dnevnoj ljetnoj temperaturi (visoke dnevne i niske noćne temperature) za razliku od nizinskih dijelova gdje je ona stabilnija. Najmanji dio Hrvatske pripada vlažnoj snježno-šumskoj (borealnoj) klimi (tip Df). Iako na ovoj karti tipu Df pripadaju samo područja iznad 1200 m nadmorske visine, on je prisutan i u najvišim dijelovima Žumberačkog gorja i istraživanog područja. To su krajevi s najviše oborina (kiša/snijeg) koje su prilično ravnomjerno raspodijeljene tijekom godine. Prosječna temperatura najtoplijeg mjeseca je niža od 18 °C, a najhladnijeg niža od -3 °C. Samo 2-4 mjeseca u godini imaju prosječnu temperaturu zraka višu od 10 °C.



Slika 2 – 3. Geografska raspodjela klimatskih tipova po W. Köppenu u Hrvatskoj u razdoblju 1961.-1990. (FILIPČIĆ, 1998)

Temperatura i oborine svakodnevno se mjere se na klimatološkoj postaji u Sošicama koje se nalaze unutar istraživanog područja. Prema dobivenim podacima od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) načinjeni su dijagrami temperatura i oborina za 2016. godinu (bez prosinca) i uspoređeni s prosječnim vrijednostima iz razdoblja 2010. – 2016.

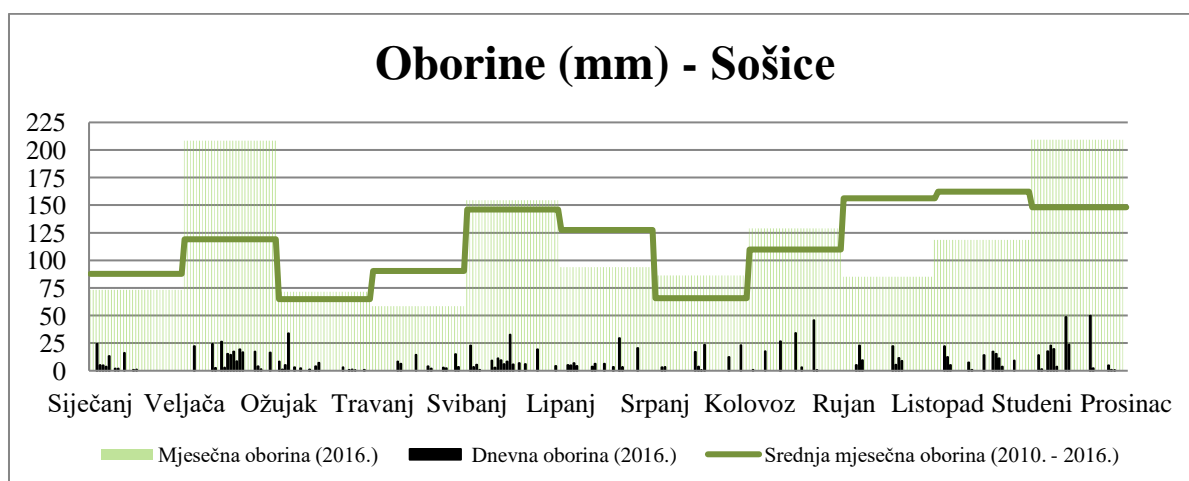
Srednje mjesečne temperature za 2016. godinu (*Slika 2 – 4.*) rastu od siječnja ( $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) do kolovoza ( $18,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) te padaju do prosinca ( $4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Podatci za prosinac nisu uključeni. Za razdoblje od 2010 – 2015. godine srednja mjesečna temperatura za prosinac iznosi  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . U najtoplijem mjesecu 2016. (kolovoz) srednja mjesečna temperatura ne prelazi  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dok se u najhladnijem mjesecu (siječanj) ne spušta ispod  $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , srednje mjesečne temperature za razdoblje 2010. – 2016. godine. Manja odstupanja prisutna su u veljači i kolovozu. Srednja mjesečna temperatura 2016. godine za veljaču je iznosila  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  što je značajno više u odnosu na srednju mjesečnu temperaturu u razdoblju 2010. – 2016. godinu koja iznosi  $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Za kolovoz je ona iznosila  $16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  što je manje u odnosu na srednju mjesečnu temperaturu iz razdoblja 2010. – 2016. godine koja iznosi  $18,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Srednja mjesečna temperatura u kolovozu ( $16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 2016. godine bila je malo niža od šestogodišnjeg prosjeka ( $18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), u rujnu se poklapa s prosječnom temperaturom ( $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), a u listopadu je  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ispod prosjeka ( $7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Srednja godišnja temperatura 2016. godine iznosi  $9,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bez prosinca, što znači da je prava vrijednost nešto manja. Kad u proračun srednje godišnje temperature za 2016. godinu uključimo srednju mjesečnu temperaturu za prosinac iz razdoblja 2010. – 2015. ( $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), tada ona iznosi  $8,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



*Slika 2 – 4. Prikaz srednje dnevne i srednje mjesečne temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) 2016. godine te prikaz srednjih mjesečnih temperatura u razdoblju 2010. – 2016.*

Na *Slici 2 – 5.* prikazane su dnevne i mjesečne oborine za 2016. godinu, bez prosinca. Najviše oborina palo je u veljači i studenom ( $208,5\text{ mm}$  i  $209,3\text{ mm}$ ) što je više od srednjih mjesečnih oborina za veljaču i studeni u razdoblju 2010. – 2016. ( $119,2\text{ mm}$  i  $148\text{ mm}$ ). Najmanje oborina je palo u ožujku i travnju 2016. godine. U ožujku je palo ukupno  $71,6\text{ mm}$  oborine što je blisko prosječnoj mjesečnoj oborini u razdoblju 2010. – 2016. godine ( $64,9\text{ mm}$ ), međutim oborine za travanj ( $58,4\text{ mm}$ ) su ispod prosjeka ( $90,3\text{ mm}$ ). U kolovozu je palo

više oborina (128,9 mm) u odnosu na prosjek (109,8 mm), a u rujnu i listopadu palo je 85,1 mm tj. 118,5 mm što je ispod prosjeka, posebno za rujana. Srednje oborine za rujana i listopada u razdoblju 2010. – 2016. godine iznose 156,2 mm tj. 162,3 mm. Godišnja oborina pala 2016. godine (bez prosinca) iznosi 1288 mm. Srednja mjesečna oborina za prosinac u razdoblju 2010. – 2015. godine iznosi 61,7 mm. Međutim, prema podacima DHMZ-a, u Karlovcu i Zagrebu u prosincu je palo samo oko 3 mm oborine, a prema ARSO- u na postaji Novo Mesto zabilježeno je 0,5 mm, a u Metlici oko 1,5 mm oborine. Postaja Metlika je najbliže istraživanom području i te će se oborine (1,5 mm) smatrati mjesečnim oborinama za prosinac 2016. godine. Tada ukupna godišnja oborina iznosi 1289,5 mm (1288 mm + 1,5 mm). Ona se smatra dobro određenom, jer je ta vrijednost vrlo bliska prosječnoj godišnjoj vrijednosti oborina za razdoblje 2010. – 2015. godine iznosi 1348 mm. Godina s najmanje oborina, samo 899 mm je 2011. godina, a s najviše oborina, čak 1719 mm, ističe se 2014. godina.



Slika 2 – 5. Prikaz dnevne i mjesečne oborine (mm) 2016. godine te prikaz srednjih mjesečnih oborina u razdoblju 2010. – 2016.

### 2.3. Vegetacijska obilježja

Šume nalazimo na velikom dijelu istraživanog sliva, samo manji dio čine travnjaci i poljoprivredne površine (livade, pašnjaci). U nastavku je ukratko opisana šumska vegetacija istraživanog područja prema ALEGRO (2000).

U brežuljkastom pojasu, 150 – 450 m nadmorske visine, najrasprostranjenija je šuma hrasta kitnjaka i običnoga graba. Velike površine ovih šuma su iskrčene i pretvorene u različite tipove antropogene vegetacije. Podređeno, u Žumberačkom gorju javlja se šuma hrasta kitnjaka i pitomog kestena te šuma s crnim grabom i hrastom meduncem, na 250 – 550



m n.m. U brdskom pojasu Žumberačkog gorja, na nadmorskoj visini od 400-800 m n.m. nalaze se šume bukve. One rastu na ravnim ili blago nagnutim terenima. Predstavljaju jedan od gospodarski najvažnijih tipova šuma. U sloju drveća prevladava bukva, ali su česti i hrast kitnjak, obični grab i breza, a na većim visinama jela i smreka. U gorskom pojasu nalaze se šume bukve i jele, na nadmorskoj visini od 550 – 1200 m. Rastu na dolomitnoj i karbonatnoj podlozi, na lesiviranim tlima, smeđim karbonatnim tlima i karbonatnim crnicama. Na nadmorskim visinama od 1100 – 1500 m, u preplaninskom pojasu rastu šume bukve. Ove se šume razvijaju iznad bukovo-jelovih šuma. Geološku podlogu čine vapnenci i dolomiti iznad kojih je razvijeno humozno smeđe tlo, a u višim predjelima crnica. Karakteristično je da se razvijaju u području niskih temperatura, kratke vegetacijske sezone, te jakog utjecaja vjetra i snijega. U sloju drveća dominira bukva, a čest je gorski javor. Mjestimično se mogu javljati jela i smreka. Tipovi tla prisutni na području istraživanja su sljedeći: crnica i/ili kamenjar na čvrstim stijenama, smeđe tlo na vapnencu i dolomitu, crnica na laporima ili flišu s nerazvijenim tlima te crvenica koja je najmanje zastupljena, ali prisutna i u istraživanom području (prema ČEČURA & KRIŽOVAN, 2000).

Biljke, najviše drveće, troše oborinu palu na sliv za potrebe procesa fotosinteze. U jednoj godini bukva transpirira ~300 mm oborine, hrast lužnjak 400 – 600 mm, jela i smreka ~350 mm, a crni bor ~150 mm. Osim transpiracije, šumsko drveće zadrži na krošnjama 16% (hrast lužnjak i kitnjak) do 40% (jela i smreka) oborinske vode. Tu pojavu nazivamo intercepcijom. Vrijednosti ukupnog gubitka vode sa sliva pod utjecajem biljaka ovise o klimatskim uvjetima, ponajviše oborinama – količini i učestalosti. Prosječno otjecanje vode tijekom vegetacijskog razdoblja iznosi 30 – 40 %, a tijekom mirovanja vegetacije 70 – 80% (HŠD, 1999).

## 2.4. Geološke značajke

### 2.4.1. Strukturna građa i tektonika

Područje Žumberačkog gorja karakterizirano je vrlo složenim strukturno tektonskim odnosima. Dominira regionalna navlačna tektonika, a istraživano područje Žumberka nalazi se u kontaktnoj zoni Dinarske karbonatne platforme ili Vanjskih Dinarida (Adriaticum i Dinaricum) i Unutrašnjih Dinarida (Supradinaricum ili Najviša navlaka). U tom dijelu Dinarik se podvlači pod Supradinarik (HERAK, 1986, 1991, 1999). Isto tako, smatra područje Samoborskog gorja i središnjeg dijela Žumberka do linije Konjarić Vrh – Gornji Oštrc –

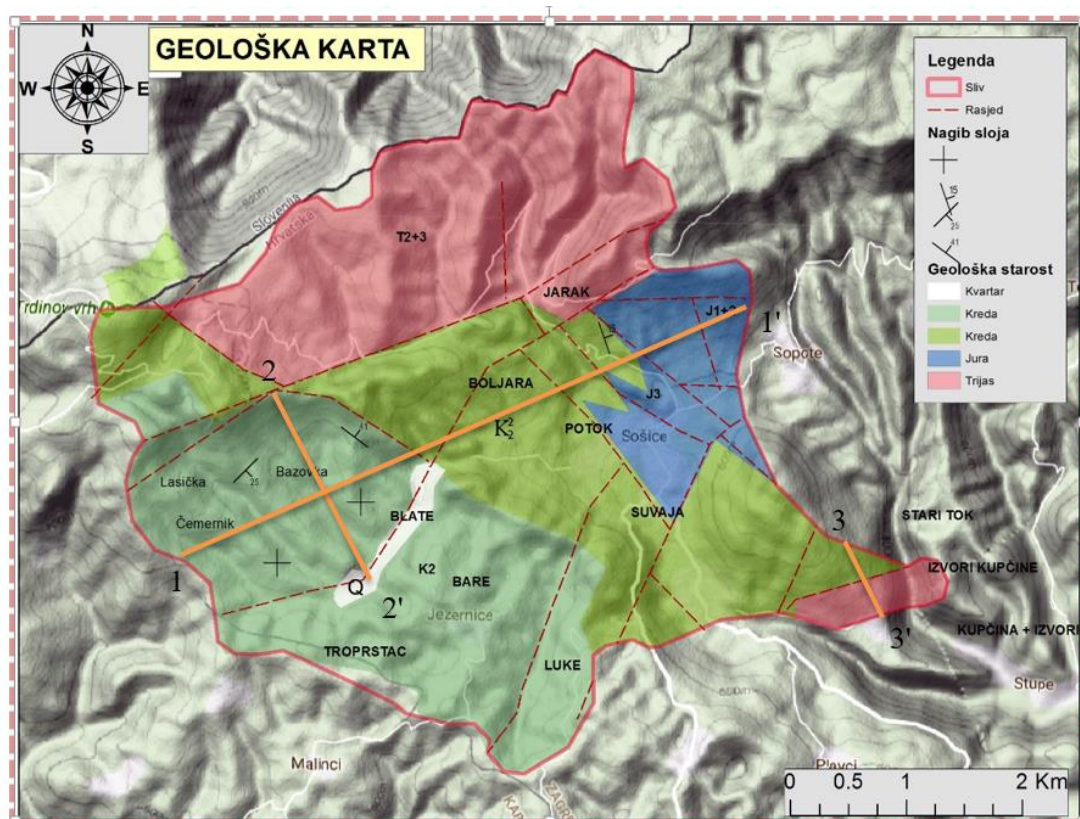
Sošice i dalje na zapad s vršnim grebenom do Svete Gere dijelom navlake Unutrašnjih Dinarida. Jurske i kredne karbonate koji su prekriveni transgresivnim flišem, na zapadnom dijelu Žumberka, smatra rubnim područjem Vanjskih Dinarida.

Na području istraživanog sliva postoje tri dominantna seta rasjeda s obzirom na pružanje (ŠIKIĆ & PRELOGOVIĆ, 1970): set pružanja sjeverozapad – jugoistok; set pružanja sjeveroistok – jugozapad te set pružanja sjever – jug. Rasjedi pružanja sjeverozapad – jugoistok su većinom reversni. Krovinu najčešće čine gornjotrijaski dolomiti za koje kažemo da su relativno pomaknuti prema gore u odnosu na gornjekredne naslage (PRTOLJAN, 2001). Pružanje im je jednako dinarskom pružanju i drugim rasjedima vanjskih Dinarida pa se može pretpostaviti istovremena aktivnost ovih rasjeda i to tijekom paleogena. Rasjedi pružanja sjeveroistok – jugozapad su normalni rasjedi (PLENIČAR et al., 1975) ili rasjedi s horizontalnim lijevim pomakom (PRTOLJAN, 2001). Promatramo li širu geotektonsku sliku ovi rasjedi pružanjem i karakterom pomaka odgovaraju tzv. balatonskom nizu rasjeda. Aktivnost tih rasjeda je na području jugozapadnog Žumberka i području istočno od Žumberka interpretirana tijekom neogena i kvartara. Ti rasjedi prekidaju i transliraju rasjede dinarskog pružanja. Rasjedi pružanja sjever – jug do sjeverozapad – jugoistok su horizontalni s desnim pomakom (ŠIKIĆ & PRELOGOVIĆ, 1970). Ovaj set rasjeda najmanje je razvijen i to samo lokalno. Pretpostavlja se da su miocenske starosti, tj. da su nastali istovremeno s rasjedima pružanja sjeveroistok – jugozapad. Ta dva seta čine konjugirani par čija je aktivnost povezana s istim poljem paleonaprezanja (FRANGEN, 2013).

#### 2.4.2. Litostratigrafska obilježja istraživanog područja

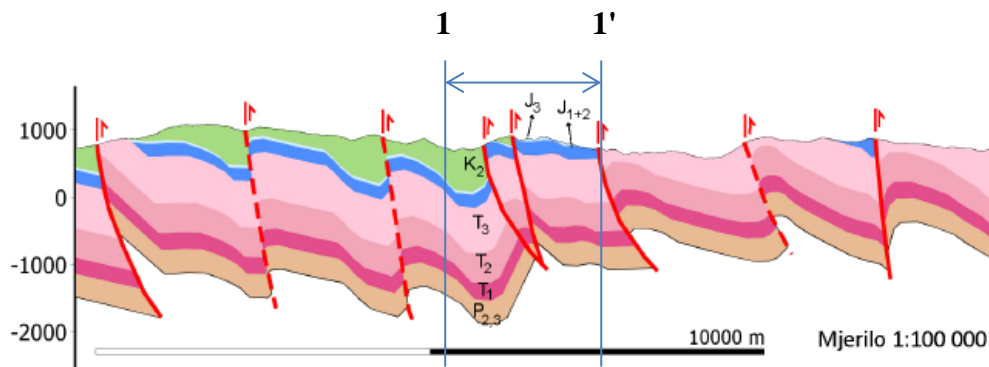
Sve stijene istraživanog područja mezozojske su starosti (*Slika 2 – 6.*). Najstarije naslage pripadaju donjem mezozoiku, točnije srednjem i gornjem trijasu ( $T_{2+3}$ ) i nalaze se na sjevernom dijelu područja istraživanja. Radi se o trijaskim dolomitima. Ponekad ih je teško međusobno razlikovati pa postoji mogućnost da je ladiničkim dolomitima pripisana gornjotrijaska starost. Općenito, stijene srednjeg trijasa ( $T_2$ ) čine pretežito dolomiti –dolomiti s ostacima jezgrama školjkaša (anizik) te nekoliko desetaka metara debela izmjena vapnenaca, lapora, šejlova, radiolarijskih rožnjaka i tufita (ladinik). Gornjotrijaske naslage ( $T_3$ ) karakteriziraju svijetlo do tamno sivi dolomiti, a u mnogima je vidljiva laminacija algalnog porijekla. Također, najmlađe trijaske naslage čini izmjena dolomita, sivih vapnenaca i dolomitiziranih vapnenaca. Na njih konkordantno liježu jurske naslage ( $J_{1+2}$ ). Nalaze se u blizini Sošica i zauzimaju najmanji dio istraživanog područja. Donja i srednja jura odlikuju se

plitkovodnom karbonatnom sedimentacijom. Najstarije naslage čine dobro uslojeni dolomiti, dolomitični vapnenci i vapnenci s rijetkim foraminiferama. Na njima nalazimo karbonatnu seriju srednje jure – izmjenu kalkarenita, biokalkarenita, biomikrita i mikrita s puno sadržanih mikrofosila. Česta je dolomitizacija vapnenca. U gornjoj juri ( $J_3$ ) počinje razbijanje karbonatne platformne koje je zaslužno za formiranje dubljeg bazenskog prostora. Prvo su taloženi dolomiti i vapnenci u kojima se pojavljuju radiolarijski rožnjaci. Na njima se u izmjeni nalaze pelagički sedimenti – mikrit, biomikrit, rožnjak. Lokalno se javljaju karbonatne breče iznad kojih nalazimo vapnenca i vapnenca s rožnjacima. Nakon jurskih dolaze kredne naslage ( $K_2^2$  i  $K_2$ ). Nalaze se na južnom dijelu istraživanog područja, u okolici Jezernica.  $K_2^2$  su svjetlosivi, rudistni vapnenci i biogene breče kojima je određena turonsko/cenonska starost pomoću brojnih fosilnih ostataka (uključujući alge i foraminifere). Naslage gornje krede ( $K_2$ ) čini izmjena vapnenačkih breča, lapora, laporovitih vapnenaca i pješčenjaka. Gornje kredne naslage taložene su tijekom transgresije za koju se pretpostavlja da je počela krajem donje krede. Na kraju, najmlađe naslage su kvartarne (Q). Tipično za njih je da se nalaze u dolinama vodotoka. Zauzimaju malu površinu oko Blata, a radi se o nanosu pijeska i zemlje (prema PLENIČAR & PREMUR, 1977).

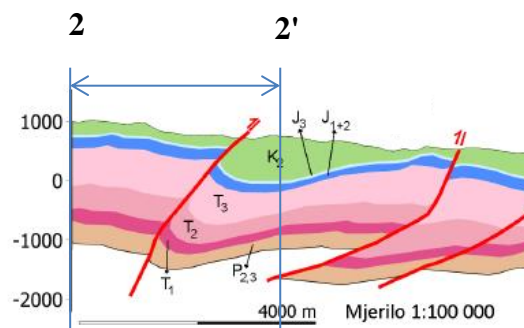


Slika 2 – 6. Geološka karta istraživanog područja (prema PLENIČAR et. al., 1975); narančastom bojom prikazani su profili 1 – 1', 2 – 2' i 3 – 3' (modificirani prema PAVIČIĆ, 2014)

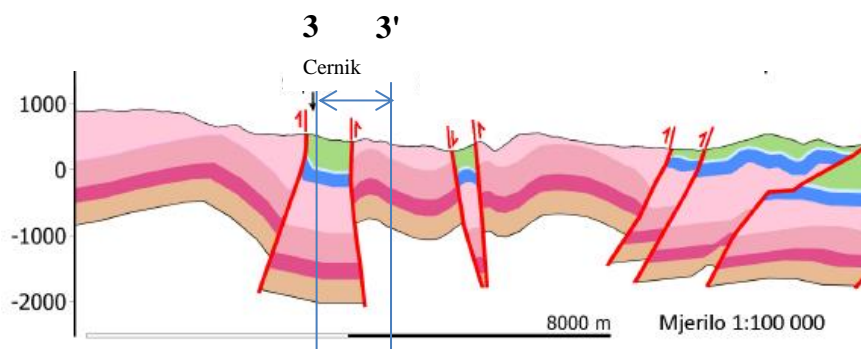
PAVIČIĆ (2014) je u svom diplomskom radu istražio područje Žumberačkog gorja i izradio cijeli niz geoloških profila. Ipak, mora se primijetiti kako je na njegovoj karti geologija pomaknuta za oko 500 m sjeverozapadno u odnosu na topografsku podlogu. Prema tome, nadmorske visine na prikazanim profilima nisu točne. Modificirani profili 1 – 1', 2 – 2' i 3 – 3' prikazuju geološke i strukturne odnose unutar istraživanog sliva izvora Kupčine (Slike 2 – 7., 2 – 8. i 2 – 9.).



Slika 2 – 7. Profil 1 – 1' (modificirano prema PAVIČIĆ, 2014)



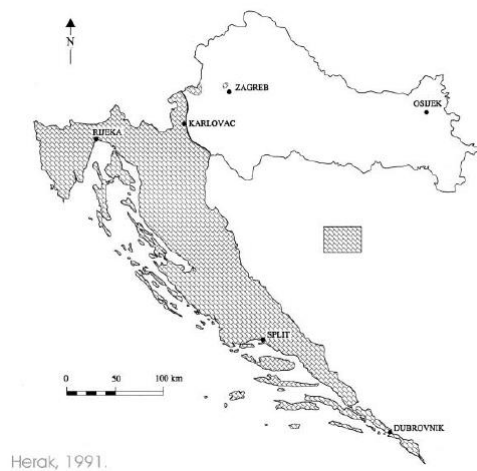
Slika 2 – 8. Profil 2 – 2' (modificirano prema PAVIČIĆ, 2014)



Slika 2 – 9. Profil 3 – 3' (modificirano prema PAVIČIĆ, 2014)

## 2.5. Hidrogeologija i hidrologija

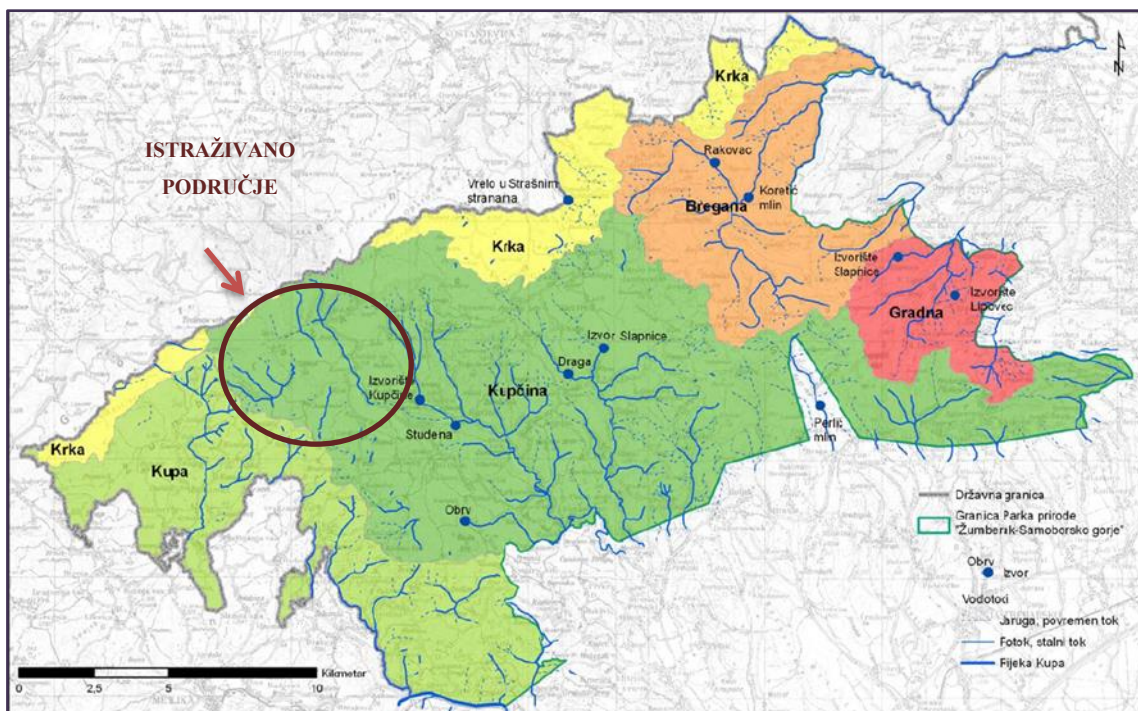
Općenito, može se reći da je istraživano područje, sliv izvora Kupčine, izgrađeno od karbonatnih stijena – vapnenaca i dolomita. To su stijene koje reagiraju s vodom – topive su. Isto tako, tektonski su oštećene i sadrže pukotine i prsline. Topivost i tektonska razlomljenost tih stijena uz dovoljnu količinu oborina ( $>250$  mm/god) odgovorna je za proces okršavanja. Krajnji rezultat je krški reljef. Za njega vežemo različite oblike i pojave na površini, ali i u podzemlju. Uključujući prostor Žumberačke gore, karbonatne stijene zauzimaju oko 50% površine Republike Hrvatske (Slika 2 – 10.).



Slika 2 – 10. Rasprostranjenost karbonatnih stijena u Hrvatskoj (HERAK, 1991)

VUJNOVIĆ (2010) je područje Parka Prirode „Žumberak – Samoborsko gorje“ podijelila na 5 velikih slivova – Kupčina, Kupa, Bregana, Krka i Gradna (Slika 2 – 11.). Rijeka Kupčina drenira površinu sliva Kupčine od  $172$  km<sup>2</sup>. Glavni vodonosnik i hidrogeološki član su gornjotrijaski dolomiti, a zapadni dio sliva do Sošica izgrađen je od gornjokrednih klastičnih naslaga. U slivu su, u krednim karbonatima, registrirane 1333 vrtače, 63 speleološke – 40 spilja i 23 jame i 35 stalnih i povremenih ponora. Najveći izvori ovog sliva su izvori Kupčine, Studena, Obrv te Slapnica. Izdašnost izvora Kupčine kretala se između  $103$  l/s (izmjereno u listopadu 2008. godine) i  $1500$  l/s (prosinac 2008. godine). Mjerenja su izvršena u razdoblju između veljače 2008. godine i veljače 2009. godine, a izvršena su šestotinjak metara nizvodno kod mosta u zaseoku Vrabac. Izmjerene vrijednosti izdašnosti odnose se na izvore Kupčine s uključenim starim tokom.

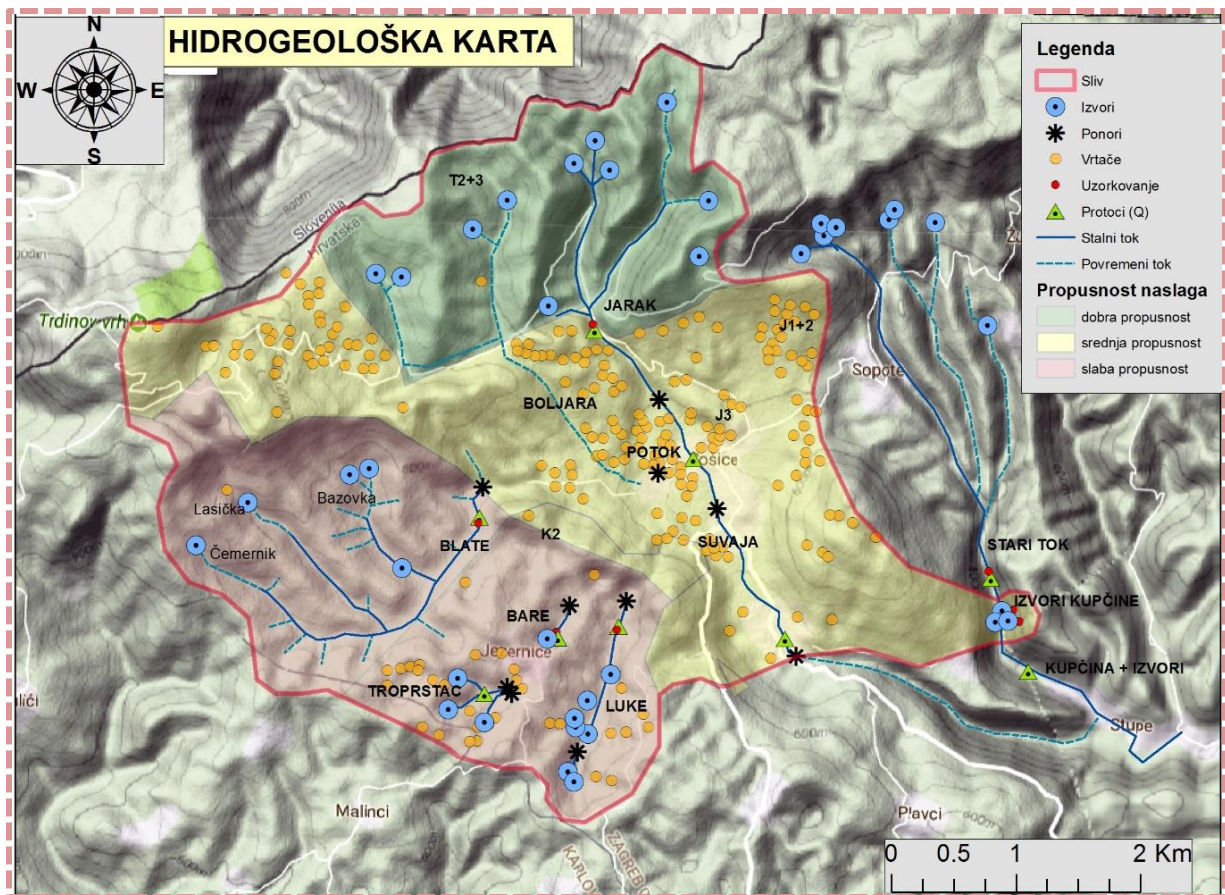




Slika 2 – 11. Karta neposrednih slivova i njihovih najznačajnijih izvora te vodotoka na području PP Žumberak-Samoborsko gorje (VUJNOVIĆ, 2010) i shematski prikaz područja istraživanja

Na zapadnom dijelu sliva rijeke Kupčine nalazi se istraživani (pod) sliv izvora Kupčine (Slika 2 – 11.). Površina mu iznosi 23,4 km<sup>2</sup>, a nadmorska visina sliva kreće se između 300 m (izvori Kupčine) i 1178 m (Sv. Gera). Površina sliva izvora Kupčine u okviru ovog rada određena je na temelju topografije – topografske karte u mjerilu 1:25 000 (DGU, 2011), litoloških i strukturno/tektonskih odnosa – geološke karte (PLENIČAR et. al.), te terenskih istraživanja. Pretpostavljena hidrogeološka razvodnica sliva izvora Kupčine (određena temeljem topografskih i geoloških karata), provjerena je rezultatima dobivenim terenskim istraživanjem.

Propusnost stijena istraživanog područja rađena je prema VUJNOVIĆ (2010). Ona je na području Parka Prirode „Žumberak – Samoborsko gorje“ izdvojila pet glavnih grupa stijena s različitim hidrogeološkim značajkama u skladu s uputama za izradu Osnovne hidrogeološke karte (PLENIČAR et.al, 1975). To su: nevezane kvartarne naslage, nevezane pretkvartarne naslage, karbonatne stijene, izmjena klastičnih i karbonatnih stijena te klastične i magmatske stijene. Na istraživanom području prisutne su neke od njih (Slika 2 – 12.), a u nastavku slijedi njihov opis.



Slika 2 – 12. Hidrogeološka karta sliva izvora Kupčine

Nevezane kvartarne naslage podrazumijevaju aluvijalne potočne nanose i terra rosu. Aluvijalni sedimenti su obično šljunci, pijesci, prahovi i gline te njihove kombinacije. Međuzrske su poroznosti i uglavnom dobre propusnosti. Na malom području prisutna je i terra rosa. Karakterizira ju međuzrska poroznost i vrlo slaba propusnost. Karbonatne stijene zauzimaju gotovo polovicu istraživanog područja. To su stijene pukotinske poroznosti. Njihova propusnost ovisi o litološkom sastavu i intenzitetu tektonskih deformacija. Stoga razlikujemo tri tipa karbonatnih stijena – dobro, srednje i slabo propusne. Dobro propusne karbonatne stijene su gornjotrijaski dolomiti. Izrazito su razlomljeni i okršeni, a zbog brojnih pukotinskih sustava mogu poprimiti svojstva stijena međuzrske poroznosti. Za njih su vezani najznačajniji izvori istraživanog područja i glavni su vodonosnik. Srednje propusne karbonatne stijene čine kredne vapnenačke breče te jurski vapnenci i dolomiti. Izmjenu klastičnih i karbonatnih stijena čine vapnenački ili glinoviti lapori, vapnenačke breče i fliš gornjokredne starosti. Poroznost ovisi o litološkom sastavu, a razlikujemo međuzrnsku i pukotinsku. Unutar ovih stijena prevladavaju nepropusni proslojci međuzrske poroznosti pa se one mogu promatrati kao slabo propusne. Ipak, razvijena pukotinska poroznost



vapnenačkih dijelova uvjetuje dobru propusnost ovih stijena (VUJNOVIĆ, 2010). FRANGEN (2013) je na temelju dobivenih rezultata istraživanja svrstao vapnenačke breče u stijene dobre propusnosti.

Izvori Kupčine prikazani na *Slici 2 – 13.* nalaze se na oko 300 m nadmorske visine. Područje oko izvora se nalazi na granici gornjotrijaskih dolomita i gornjokrednih karbonatnih naslaga, ali i na sjecištu rasjeda. Prema VUJNOVIĆ (2010) izvorište se nalazi u gornjotrijaskim dolomitima, a čine ga tri veća i više manjih izvora na potezu duljine od oko 100 metara. Tijekom terenskih istraživanja koja su provedena u ljeto i jesen 2016. godine, za potrebe izrade ovog rada, osim tri izvora koja je zabilježila VUJNOVIĆ (2010), detektirana su još dva manja izvora, a manji izvori koje ona spominje primijećeni su nizvodno, duž toka Kupčine. Izvori Kupčine dreniraju površinu sliva od 23,4 km<sup>2</sup>.

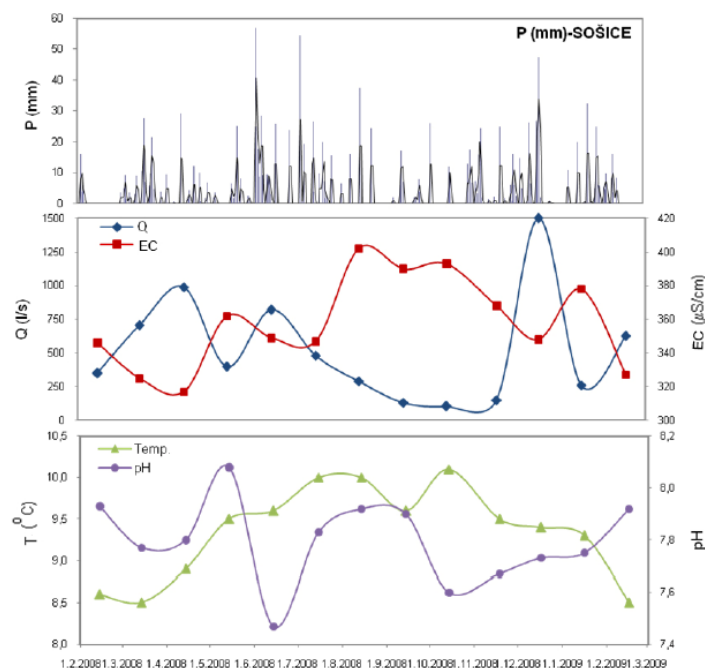


*Slika 2 – 13. IZVORI KUPČINE: a) izvor 1; b) izvor 2; c) izvor 4 ;  
d) izvor 3 – Kupčina, veliki izvor; e) izvor 5 – Kupčina, mali izvor (desno na slici) ulijeva se u  
Kupčinu (lijevo na slici); f) Kupčina, stari tok (lijevo na slici) i Kupčina – veliki izvor (desno na slici)*



Tijekom terenskih istraživanja 4.9.2016. godine na izvorima Kupčine uočeno je pet izvora različitih izdašnosti. Izvor 1 bio je suh. Ipak, on sudjeluje u otjecanju za vrijeme velikih voda, uz izvor 2 iznad kojeg se nalazi. Na izvorima 2, 3, 4 i 5 protoci su procijenjeni. Na izvoru 2 on iznosi oko 0,1 l/s. Na Kupčini, veliki izvor 3 ima izdašnost i veću od 50 l/s. Četvrti izvor procijenjen je na 5 l/s. Peti izvor nalazi se s desne strane toka Kupčine, a procijenjeni protok iznosi 1 l/s. Točna, ukupna izdašnost izvora Kupčine određena je i prikazana u rezultatima terenskih istraživanja.

VUJNOVIĆ (2010) je na velikom izvoru Kupčine (izvor broj 3) u razdoblju od 1.2.2008. – 1.3.2009. godine svakih mjesec dana mjerila temperaturu, vrijednosti pH i elektrovodljivosti (na izvoru) te izdašnost (kod sela Vrabac). Dobivene vrijednosti grafički su prikazane na *Slici 2 – 14*.



*Slika 2 – 14. Dnevne oborine na postaji Sošice u razdoblju od 1. veljača 2008. - 1. ožujka 2009.; vremenski dijagram izdašnosti svih izvora (Q), elektrovodljivosti (EC), temperature (T) i pH u razdoblju veljača 2008. - veljača 2009. godine (VUJNOVIĆ, 2010)*

Unutar sliva izvora Kupčine nalazi se više manjih površinskih tokova, ponornica, prema kojima je istraživani sliv moguće podijeliti na manje slivove tj. podslivove izvora Kupčine. Određeni podslivovi su sljedeći: Blate, Luke, Troprstac i Bare te Jarak (*Slika 2 – 11.*). Na ostatku sliva (~13 km<sup>2</sup>) površinskog otjecanja je vrlo malo, pa možemo zaključiti da se radi o stijenama dobre propusnosti. Na dobru propusnost ukazuje i registrirana tektonska razlomljenost prostora (rasjedi) te brojne vrtače koje se nalaze na tom području. Isto tako,

poznato je da površinski tokovi poniru u rasjednim zonama i/ili na kontaktu stijena različitih propusnosti te da je na vrlo okršenim dijelovima terena, s puno vrtača, infiltracija oborinske vode vrlo brza. I za vrijeme velikih voda ovo područje ne poplavljuje. VUJNOVIĆ (2010) je većinu ovog područja svrstala u stijene slabe i srednje propusnosti.

Sliv Blate smješten je na jugozapadnom dijelu sliva izvora Kupčine. Izgrađen je od gornjokrednih naslaga ( $K_2$ ) koje čini izmjena vapnenačkih breča, lapora, laporovitih vapnenaca i pješčenjaka. Uz sam potok Blate nalaze se kvartarne naslage – aluvijalni nanosi nastali erozijom viših dijelova sliva. Potoci Čemernik, Lasička i Bazovka lijevi su pritoci potoka Blate i oni su odgovorni za donošenje aluvijalnih nanosa u tok potoka Blate s nadmorskih visina i do 850 m. Njihovi protoci su procijenjeni na terenu i iznose: Bazovka (~ 2 l/s) te Lasička i Čemernik zajedno (~ 3,5 l/s). Također, uočen je i jedan manji desni pritok (izvor Slani dol) na kojem je protok procijenjen na 0,1 l/s. Protok potoka Blate, sa svim pritocima, u okviru ovog rada mjereno je približno 30 m prije točke poniranja, a dobivene vrijednosti prikazane su u poglavlju 4.1.2.1. Potok Blate drenira površinu sliva Blate od ~4,5 km<sup>2</sup>. Ponor prikazan na *Slici 2 – 15 a*) nalazi se na ~ 650 m nadmorske visine i smješten je na sjecištu dvaju rasjeda unutar gornjokrednih naslaga. Međutim, naslage u koje ponire (ostatak područja) prupusnije su. Na terenu su primijećena i dva povremena ponora koja ponekad sudjeluju u otjecanju. Također, prema navodima lokalnog stanovništva, područje oko ponora za vrijeme velikih voda u proljeće (uzrokovano otapanjem snijega u višim dijelovima) poplavi područje oko ponora, uključujući i lokalnu prometnicu. Međutim, tada se aktiviraju preostala dva ponora od kojih se jedan nalazi s druge strane ceste uz rasjed. To znači da ponori zajedno imaju dovoljan kapacitet za propuštanje sve vode za vrijeme velikih voda. Naslage u slivu su prema VUJNOVIĆ (2010) okarakterizirane kao slabo propusne što je u većini sliva istina zbog debelih aluvijalnih naslaga. Također, na ovom je području prisutan i fliš koji pridonosi slaboj propusnosti ovog područja.



Slika 2 – 15. Potok / ponor BLATE: a) ponor; b) tok oko 150 m uzvodno od ponora

Sliv Luke smješten je na južnom dijelu sliva izvora Kupčine. Površina mu iznosi  $\sim 1,7$  km<sup>2</sup>, a područje sliva izgrađeno je od gornjokrednih naslaga. Na terenu je, uz sam tok potoka Luke, uočena određena količina aluvijalnog nanosa. Debljina nanosa je manja od onog kod Blata. Na području sliva registrirana je pojava vrtača. Prema tome, možemo reći da su naslage sliva Luke vjerojatno propusnije u odnosu na naslage unutar sliva izvora Blate, ali su isto kao i one okarakterizirane kao slabo propusne. U ovom se području također pojavljuje fliš koji pridonosi slaboj propusnosti naslaga. VUJNOVIĆ (2010) ih također svrstava u slabo propusne. Izvorište potoka Luke je smješteno na oko 650 m nadmorske visine i sastoji se od više manjih izvora, a protok, za sve izvore skupa, procijenjen je na terenu 2.9.2016. godine na  $\sim 1,5$  l/s. Od toga su dva veća izvora s procijenjenim izdašnostima  $\sim 0,5$  l/s. Nakon kratkog površinskog tečenja sva voda ponire pod stijenu te nakon otprilike 20 m, s druge strane stijene ponovno izvire. Radi se o tri izvora, od koja su dva za vrijeme obavljanja terenskih radova bila suha i stoga su okarakterizirani kao povremeni izvori. Oni su aktivni samo za većih voda. Izdašnost izvora 3 procijenjena je na oko 3 l/s. Primjetno je povećanje u odnosu na spomenutu količinu vode koja ponire. Također, hodajući uz tok primijećeno je konstantno povećanje protoka pa je on na jednom dijelu procijenjen na 5 l/s. S lijeve strane postoje 2 pritoka - jedan mali s protokom oko 0,1 l/s i jedan veći kojem je izdašnost procijenjena na 5 l/s. Pri kraju toka uočen je i jedan desni pritok s procjenom izdašnosti 1 l/s. Prema tome, ukupan protok potoka Luke procijenjen je na  $\sim 11$  l/s. Vrijednosti mjerenja protoka Luke (prije ponora) prikazani su u rezultatima. Ponor se nalazi uz rasjed unutar gornjokrednih naslaga, a poniranje na kontaktu fliša i propusnijih naslaga u tzv. ostatku područja. Za vrijeme velikih voda, kapacitet ponora nije dovoljan da „proguta“ svu vodu pa je moguće poplavlivanje užeg područja oko ponora (*Slika 2 – 16.*).



a)



b)



c)



d)

e)

f)

Slika 2 – 16. Potok / ponor LUKE: a) početni tok; b) poniranje toka; c) izvorište nakon stijene; d) suhi izvor i kanal drugog suhog izvora; e) lijevi pritok ( $\sim 5$  l/s); f) tok Luke prije završnog poniranja

Sliv Troprstac i sliv Bare promatrani su kao jedan sliv površine  $\sim 1,5$  km<sup>2</sup>. Stijene unutar sliva su gornjokredne starosti. Količina aluvijalnih naslaga oko Troprstca slična je onima kod Luka, dok je na Barama njihova debljina nešto manja. Također, u slivu su prisutne vrtače koje pridonose bržoj infiltraciji vode u podzemlje, ali fliški dijelovi terena smanjuju propusnost. Stoga se propusnost naslaga i u ovom slivu smatra slabom. Protok Troprstca procenjen je na terenu neposredno prije ponora i iznosi oko 1,5 l/s. Od toga, glavni tok ima protok oko 0,8 l/s, a dva pritoka 0,5 l/s i 0,2 l/s. Izvor glavnog toka Troprstca i izvor Bare nalaze se na  $\sim 700$  m nadmorske visine. Oba toka nakon kratkog površinskog tečenja poniru na nadmorskoj visini od  $\sim 650$  m (Slika 2 – 17. i Slika 2 – 18.). Vrijednosti mjenog protoka izvora Bare nalaze se u rezultatima.



a)

b)

c)

Slika 2 – 17. Potok / ponor TROPSTAC: a) povremeni ponor; b) poniranje toka; c) tok Troprstaca





a)

b)

*Slika 2 – 18. BARE: a) tok iznad kaptiranog izvora; b) izvor*

Sliv Jarak nalazi se u dolomitima srednjeg i gornjeg trijasa, a prema VUJNOVIĆ (2010) radi se o stijenama dobre propusnosti. Površina sliva iznosi  $\sim 2,5$  km<sup>2</sup>. Jarak djelomično ponire na kontaktu dobropropusnih trijaskih dolomita i srednjepropusnih krednih naslaga tj. dobro propusnog ostatka sliva koji je prema VUJNOVIĆ (2010) okarakteriziran kao slabo ili srednje propustan. Dolomiti su dobro raspucani i razmravljeni do prašinih čestica unutar kojih se javlja međuzrnsko tečenje. Moguće je da se te čestice talože i na dno duž toka Jarka te tako sprečavaju većinu poniranja. Vodotok ponire kada dođe na kontakt manje propusnih stijena po kojima teče, s propusnijim naslagama u kojima počinje postepeno ponirati. Stoga se tzv. ostatak područja također smatra dobro propusnim. Za njega kažemo da ima kršku propusnost – postoje dijelovi s vrlo dobrom propusnošću i dijelova gdje propusnost iznosi nula, za razliku od dolomita, koji ima veću propusnost, ali voda sporije cirkulira, ujednačenije.

Vrijednosti izmjerenog protoka prije navedenog poniranja Jarka prikazane su u rezultatima. Izmjerena je izdašnost izvora Vodice (kod planinarskog doma) koji utječe u Jarak (*Slika 2 – 19. b*) te je također prikazana u rezultatima. Iznad mjenog profila nalazi se izvor Boići te bušotina Tratine gdje voda istječe pod tlakom. Ta se voda koristi za potrebe vodoopskrbe. U toku je postavljena i cijev za koju se ne zna koristi li se, ali moguće je da služi za crpljenje vode iz Jarka. Daljnji tok Jarka ispresijecan je rasjedima i okružen brojnim vrtačama i to najviše oko Sošica. U Sošicama je na Potoku (Jarak u Sošicama, *Slika 2 – 19.c*) na terenu procjenjeno smanjenje toka, a u rezultatima su prikazane točne vrijednosti izmjerenih protoka. Tok Suvaje je suh (Jarak nakon Sošica) na mjestu gdje presjeca pretpostavljenu granicu sliva izvora Kupčine.



a)



b)



c)

*Slika 2 – 19. JARAK: a) tankoslojevite kredne naslage; b) Jarak kod Boića i c) Potok*

### 3. METODE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Terenska mjerenja

Terenska mjerenja provedena su između 31.8. i 14.10.2016. godine. Odnose se na in – situ mjerenje temperature vode i protoka pojedinih površinskih tokova (potoka) unutar sliva. Također, na dan mjerenja protoka, u blizini profila mjerenja uzeti su uzorci vode za laboratorijske analize. Prilikom uzorkovanja vode potrebno je paziti da voda nije zamućena te da se u bocu ne uneseu razne sitne čestice i nečistoća. Filtriranje uzorka preporučljivo je obaviti izravno na terenu, ali u ovom je radu to izvršeno naknadno u laboratoriju.

##### 3.1.1. Mjerenje temperature

Temperatura vode na terenu mjerena je višenamjenskim digitalnim termometrom „TP101“ (Slika 3 – 1.). Radi se o praktičnom i laganom uređaju koji može mjeriti temperaturu u rasponu od  $-50^{\circ}\text{C}$  do  $300^{\circ}\text{C}$ . Uređaj ima ugrađen digitalni zaslon koji služi za očitavanje temperature, a ona se može namjestiti na  $^{\circ}\text{C}$  ili  $^{\circ}\text{F}$ . Odstupanja kod mjerenja temperature od  $0^{\circ}\text{C}$  -  $80^{\circ}\text{C}$  iznose  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  dok se za ostala mjerenja odstupanja kreću oko  $\pm 5$ - $10^{\circ}\text{C}$ .



Slika 3 – 1. Termometar TP101

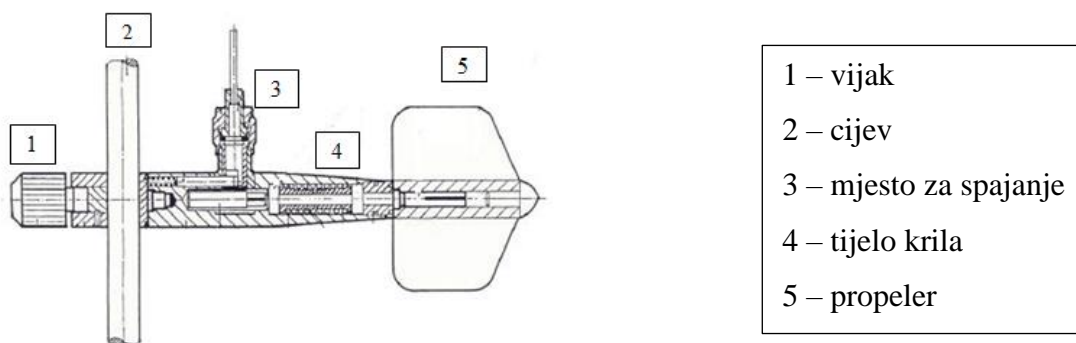
(URL:<https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1Ot7dKFXXXXXkaXXXq6xXFXXXb/Digital-Electronic-BBQ-Kitchen-Cooking-Food-Termometro-font-b-Thermometer-b-font-Sensor-Probe-Temperature-Instruments.jpg>)

##### 3.1.2. Mjerenje protoka

Protok nekog površinskog toka može se mjeriti hidrometrijskim krilom ili pomoću preljeva. Preljevi su pregrade preko kojih se prelijeva voda. U ovog istraživanju korišteno je hidrometrijsko krilo, a za mjerenje izdašnosti kaptiranih izvora manje izdašnosti, korištena je posuda poznatog volumena. Protoci tokova koji se nisu mogli izmjeriti zbog njihove premale dubine procijenjeni su izravno na terenu.

Protok na terenu mjereno je hidrometrijskim krilom „SEBA – Mini Current Meter M1“. Ovo hidrometrijsko krilo koristi se za precizno određivanje trenutnih brzina u manjim vodotocima (rijeke s niskim vodostajem, potoci) te hidrauličkim modelima. Vrlo je osjetljivo zbog čega je s njim potrebno pažljivo rukovati.

Glavni dijelovi hidrometrijskog krila vidljivi su na *Slici 3 – 2*. Tijelo hidrometrijskog krila, cijev, nogica te propeler (*Slika 3 – 2.*) načinjeni su od nehrđajućeg čelika. Cijev je duga 1,5 m, a sastoji se od 3 dijela jednake duljine koje je prije upotrebe potrebno spojiti. Donji dio cijevi spaja se s nogicom (*Slika 3 – 3.*). Također, na cijev se pomoću vijka namješta tijelo krila na određenu visinu. Dobro je što se na cijevi nalaze oznake visina u cm. Na prednji dio tijela krila postavlja se propeler na način da se samo utisne. Postoje propeleri različitih značajki (promjera propelera i zakrenutosti krilaca) i upravo o tim značajkama ovisi maksimalna brzina koju je moguće mjeriti, te početna brzina. Za mjerenja obavljena u ovom radu korišten je propeler promjera 50 mm i zakrivljenosti 250 mm. Stoga maksimalna brzina,  $v$  iznosi 2,5 m/s, a početna brzina  $v_0$  0,03 m/s. Trenje kod vrtnje propelera je zanemarivo, ali samo uz odgovarajuće korištenje ulja za podmazivanje koje dolazi kao dio opreme.



*Slika 3 – 2. Dijelovi hidrometrijskog krila (prema SEBA HYDROMETRIE, 2003)*



*Slika 3 – 3. Hidrometrijsko krilo SEBA –M1*

(URL: [http://www.gpsforestry-suppliers.com/image/cache/catalog/product/Seba\\_M1\\_1-700x700.jpg](http://www.gpsforestry-suppliers.com/image/cache/catalog/product/Seba_M1_1-700x700.jpg))



Hidrometrijsko krilo spaja se s brojačem impulsa/okretaja. U tu svrhu potrebno je jedan kraj kabela staviti na vrh cijevi (crveni kraj, pozitivan naboj), drugi na tijelo krila na mjestu za spajanje (crni kraj, negativan naboj) te na sam brojač. Svaki okretaj propelera stvara signal koji se do brojača okretaja prenosi pomoću stalnog magneta smještenog u tijelu krila. Brojač koji se koristio za mjerenja na terenu je brojač impulsa iz serije Z6 (Slika 3 – 4.). Oni imaju mogućnost namještanja intervala brojanja okretaja (30s, 60s, 120s, ...) ili odabira izravnog očitavanja brzina. Podaci se pohranjuju na uređaj i moguće ih je kasnije analizirati. Prije upotrebe potrebno je kalibrirati krilo.



Slika 3 – 4. Brojač impulsa Z6

(URL: [http://www.hydrokit.co.uk/images/accessories/53\\_lg\\_s\\_04ece5afdb.jpg](http://www.hydrokit.co.uk/images/accessories/53_lg_s_04ece5afdb.jpg))

Ovim je krilom izmjeren protok četiri potoka unutar istraživanog sliva – Blate, Luke, Kupčina - stari tok i stari tok+izvori te Jarak i Potok (Jarak u Sošicama). Protok Suvaje (Jarak nakon Sošica) te Troprstca procjenjen je na terenu. Izdašnost izvora kod planinarskog doma Vodice te izvora Bare mjerena je pomoću posude poznatog volumena.

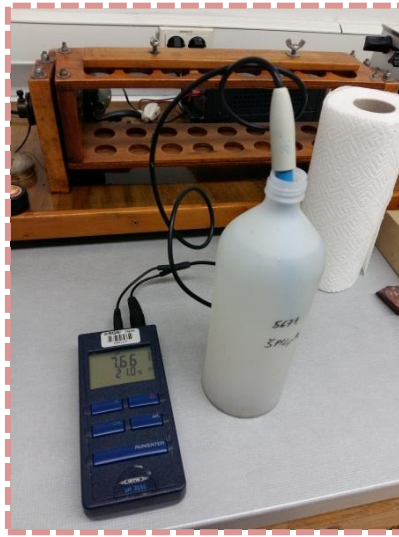
## 3.2. Laboratorijska mjerenja

Mjerenja u laboratoriju provedena su 2.11.2016. godine u Laboratoriju za analizu geoloških materijala na RGN fakultetu. Uzorci su prikupljeni u razdoblju od 31.8. – 5.9.2016. godine, a za svaki je od njih određena pH vrijednost, elektrovodljivost, alkalitet te sadržaj osnovnih kationa i aniona.

### 3.2.1. Mjerenje pH vrijednosti

Na 7 uzoraka vode pH vrijednost mjerena je pH metrom 315 i tvrtke WTW (Slika 3 – 5.). Uređaj omogućuje brzo i precizno mjerenje pH vrijednosti te temperature. Jednostavan je za

korištenje. Sastoji se od sonde koju je potrebno uroniti u uzorak te samog uređaja na kojem su prikazane i očitavaju se mjerene vrijednosti. Sonda i uređaj spojeni su kabelom.



*Slika 3 – 5. pH metar*

### 3.2.2. Mjerenje elektrovodljivosti

Elektrovodljivost je sposobnost vode da provodi električnu energiju, a ovisi o prisutnosti iona. Ona ovisi o njihovo ukupnoj koncentraciji, ali i o temperaturi vode. Mjerenje elektrovodljivosti provedeno je uređajem Cond 3110 tvrtke WTW (Slika 3 – 6.). Kao i pH metar, sastoji se od sonde koja je pomoću kabela povezana s uređajem s kojeg očitavamo podatke. Precizno i brzo mjeri elektrovodljivost, te temperaturu. Zbog dobivanja preciznijih podataka mjerenje elektrovodljivosti i pH potrebno je obaviti na neporemećenim uzorcima (na terenu).



*Slika 3 – 6. Mjerenje elektrovodljivosti*

### 3.2.3. Mjerenje alkaliteta vode

Alkalitet vode je njezin kiselinsko neutralizirajući kapacitet. Predstavlja sumu svih prisutnih baza u vodi koje mogu reagirati s kiselinom. Alkalitet mnogih prirodnih voda uzima se kao mjera koncentracija karbonata, hidrogenkarbonata i hidroksida prisutnih u vodi. Izmjerena vrijednost može uključivati i druge baze ako su prisutne u vodi, ali se kod određivanja alkaliteta to ipak zanemaruje.

Alkalitet vode određuje se titracijom kiselinom uz pH indikatore – metil oranž (m - alkalitet) ili fenolftalein (p – alkalitet). Ovisno o upotrijebljenom pH indikatoru razlikujemo p i m alkalitete. p je kvantitativna mjera za alkalitet do pH vrijednosti 8,3. Kod ove titracije, kiselina (0,1 mol HCl) reagira s hidroksidnim i karbonatnim ionima pri čemu karbonati prelaze samo u hidrogenkarbonate, a po molu karbonata troši samo 1 mol kiseline. Kraj reakcije karakteriziran je promjenom boje indikatora phenolphtaleina iz ljubičaste u bezbojnu. Ukupni alkalitet vode određuje se uz metil oranž koji indicira promjenu pri pH vrijednosti 4,3. Pri određivanju ukupnog alkaliteta (m – alkalitet) u vodi s kiselinom reagiraju svi hidroksidi, karbonati i hidrogenkarbonati pri čemu i karbonati i hidrogenkarbonati prelaze u  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ . Za titraciju mola karbonata troše se dva mola kiseline, a za titraciju mola hidrogenkarbonata 1 mol kiseline. Kraj reakcije karakteriziran je prelaskom žute u narančasto-smeđu boju (*Slika 3 – 7.*).



*Slika 3 – 7. Titracija HCl-om uz indikator metil oranž (promjena boje u narančasto-smeđu)*

Rezultati dobiveni određivanjem p i m alkaliteta ukazuju na tri moguća oblika alkaliteta prisutna u vodi i to: 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 (na temelju p i m vrijednosti) pretpostavlja se da hidroksidi i hidrogenkarbonati ne mogu biti prisutni u vodi u isto vrijeme. Odnos koncentracije hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata u ovisnosti o p i m vrijednostima dobivenim titracijama prikazan je u *Tablici 3 – 1*.

*Tablica 3 – 1. Odnos utroška 0,1 M HCl za titraciju hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata u 100 mL vode u ovisnosti o odnosu p i m vrijednosti (PUSTAJ & KAPOR, 2015).*

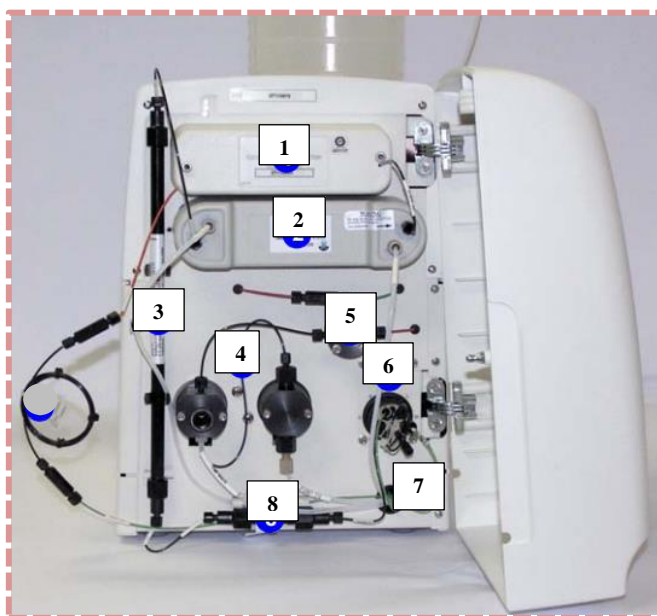
Rezultat titracije	Alkalitet		
	Hidroksidi	Karbonati	Hidrogenkarbonati
$p = 0$	0	0	$m$
$2p < m$	0	$2p$	$m - 2p$
$2p = m$	0	$2p$	0
$2p > m$	$2p - m$	$2(m - p)$	0
$p = m$	$m$	0	0

Volumeni HCl utrošeni pri titracijama preračunaju se u molove kiseline potrebne za titraciju 1 l uzorka iz čega se onda može izračunati koncentracija hidrogenkarbonata, karbonata i hidroksida. p i m vrijednosti predstavljaju volumene 0,1 mol HCl potrebne za titraciju 100 ml uzorka i broj milimolova HCl za reakciju s alkalitetom iz 1 l uzorka. Na taj način, uz poznati odnos molova u reakcijama alkaliteta s HCl, može se izračunati koncentracija pojedinih alkaliteta.

### 3.2.4. Ionski kromatograf

Ionski kromatograf Dionex ICS-900 (*Slika 3 – 8.*) koristi se za ionsku analizu, a temelji se na tekućinskoj kromatografiji na stupcu. U uređaj je kroz otvor za injektiranje potrebno ubrizgati 1 ml filtriranog uzorka (vode). Filtriranje je najbolje odmah napraviti prilikom samog uzimanja uzorka na terenu, ali za potrebe ionske kromatografije uzorci su filtrirani u laboratoriju. Za kretanje vode kroz uređaj koristi se pumpa. U provodnoj ćeliji mjeri se električna vodljivost uzorka. Za njeno precizno određivanje zaslužni su: pretkolona, separacijska kolona i supresor – mikromembrana. Sve se odvija pod tlakom koji se također

mjeri. Uređaj je spojen s računalom na kojem u softveru „Chromeleon Chromatography Management System“ možemo pratiti analizu te prikupljati i obrađivati dobivene rezultate.



*Slika 3 – 8. Dijelovi ionskog kromatograf; 1 – provodna ćelija, 2 – supresor, 3 – separacijska kolona, 4 – pumpa, 5 – mjerač tlaka, 6 – injektor, 7 – cijev i 8 – pretkolona.*

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Rezultati terenskih istraživanja

#### 4.1.1. Temperatura

Temperatura vode mjerena je na terenu termometrom „TP101“. Mjerenja su obavljena 2016. godine na lokacijama: Luke (5.10.), Kupčina – stari tok, izvori i nakon izvora (6.10.), Bare (13.10.), te Blate (14.10.) vidljive i na *Slici 2 – 12*. Rezultati mjerenja prikazani su u *Tablici 4 – 1*.

*Tablica 4 – 1. Rezultati in-situ mjerenja temperature*

Datum mjerenja	Lokacija	T <sub>zrak</sub> (°C)	T <sub>voda</sub> (°C)
05.10.2016.	Luke	8	9,4
06.10. 2016.	Kupčina - stari tok	15	8,2
06.10. 2016.	Kupčina- izvor 2	15	9,9
06.10. 2016.	Kupčina - izvor 3	15	10
06.10. 2016.	Kupčine - izvor 4	15	10,1
06.10. 2016.	Kupčina - nakon izvora	15	9,9
13.10. 2016.	Bare	9	9,3
14.10. 2016.	Blate	10	7,6

#### 4.1.2. Protok

Protok površinskih tokova i izdašnost izvora na terenu mjereni su hidrometrijskim krilom i pomoću posude poznatog volumena. Neki su protoci zbog nemogućnosti mjerenja samo procjenjeni na terenu.

##### 4.1.2.1. Hidrometrijsko krilo

Prije samog mjerenja hidrometrijskim krilom, za dobivanje preciznih podataka, bilo je potrebno odabrati pogodno mjesto za mjerenje. To podrazumijeva postavljanje profila na ravnom dijelu toka (bez zavoja) sa što je moguće pravilnijim dnom. U suprotnom, tok je na dijelu profila turbulentan i neujednačen pa dobiveni rezultati nisu reprezentativni. Nakon odabira mjesta mjerenja, okomito na tok, postavlja se metar ili špagica s oznakama pomoću koje određujemo širinu profila (š). Također, na određenim udaljenostima potrebno je pomoću metra ili hidrometrijskog krila očitati dubine (d) te na istim udaljenostima odrediti položaj vertikala. Prema HZN (2009) normama, za širinu toka manju od 5 m, broj vertikala mora biti

najmanje 5 ili 6. S povećanjem širine toka proporcionalno se mijenja i broj minimalnog broja vertikala. Širina toka svih mjerenih potoka manja je od 5 m, a s obzirom da u ovom radu udaljenost između vertikala iznosi 10 cm, norma je zadovoljena. Također, norme predlažu različite metode mjerenja: metoda jedne, dvije, tri, pet i šest točaka te metoda površinske jedne točke. Metoda jedne točke odnosi se na mjerenje na 0,6 dubine; metoda dvije točke na 0,2 i 0,8 d; metoda tri točke na 0,2, 0,6 i 0,8 d; metoda pet i šest točaka (+0,4 d) osim već spomenutih dubina mjere se i površinski okretaji te oni na dnu. Na terenu, broj okretaja propelera (p) određen je na površini (2,5 cm ispod površine), sredini te na dnu (2,5 cm iznad dna) svake vertikale, ukoliko je to dubina površinskog toka dopuštala. Mjerenje više od 3 točke na vertikalama nije bilo moguće zbog male dubine potoka. Broj okretaja podrazumijeva broj okretaja propelera u 30 sek. Isprobano je i mjerenje u 60s i 120 s kako je predloženo u normama, ali su dobivene vrijednosti n bile jednake. Vrijednost n predstavlja broj okretaja u 1 s. Brzina u točki mjerenja računa se prema sljedećim formulama:

$$v = 0,0123 + 0,2473 \times n \quad (\text{m/s}), \quad \text{za } n < 1,74 \quad (4 - 1.)$$

$$v = -0,0042 + 0,2568 \times n \quad (\text{m/s}), \quad \text{za } n > 1,74 \quad (4 - 2.)$$

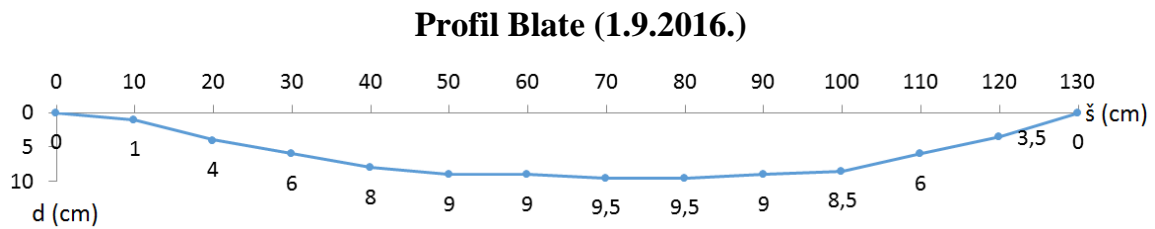
Srednju brzinu ( $v - sr$ ) u m/s u na svakoj vertikali dobivamo računanjem aritmetičke sredine brzina na određenoj vertikali. Brzina  $v_i - sr$  (m/s) predstavlja srednju brzinu između dvije vertikale. Također, računa se i površina između dvije vertikale ( $A_i$ ) u  $\text{m}^2$ . Ona je jednaka umnošku udaljenosti između dvije vertikale u metrima i srednje dubine između dvije vertikale također u metrima. Tada se, između vertikala, računa protok prema izrazu 4 – 3. Prvo dobivamo protok u  $\text{m}^3/\text{s}$  nakon čega množenjem s 1000 dobivamo vrijednosti u litrama po sekundi:

$$q_i = (v_i - sr) \times A_i \times 1000 \quad (\text{l/s}) \quad (4 - 3.)$$

Ukupan protok (Q) dobiva se sumom svih segmenata  $q_i$  i prikazuje se u litrama po sekundi. Izračuni protoka, temeljeni na rezultatima mjerenja hidrometrijskim krilom, nalaze se kao tablični prikazi (*Tablice 4 – 2. do 4 – 8.*) u nastavku i napravljeni su za: Blate, Luke, Kupčinu – stari tok i stari tok + izvori, Jarak te Potok. Također, za svaki od tih potoka prikazana je skica profila tj. poprečni presjek toka potoka na mjestu mjerenja krilom (*Slike 4 – 1. do 4 – 12.*).



Slika 4 – 1. Profil Blate, mjerenje hidrometrijskim krilom



Slika 4 – 2. Prikaz mjernog profila vodotoka Blate

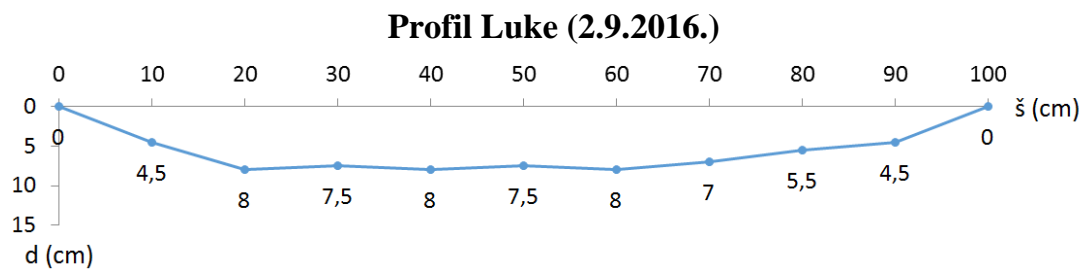
Tablica 4 – 2. Prikaz izračuna protoka potoka Blate

<b>d</b> (cm)	<b>p<sub>pov</sub></b>	<b>p<sub>dno</sub></b>	<b>n<sub>pov</sub></b>	<b>n<sub>dno</sub></b>	<b>v<sub>pov</sub></b> (m/s)	<b>v</b> (m/s)	<b>v - sr</b> (m/s)	<b>v<sub>i</sub> -sr</b> (m/s)	<b>A<sub>i</sub></b> (m <sup>2</sup> )	<b>q<sub>i</sub></b> (l/s)
0	0	0	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,012	0,0005	0,006
1	0	0	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,014	0,0025	0,036
4	0	1	0,000	0,033	0,012	0,021	0,016	0,041	0,0050	0,206
6	7	6	0,233	0,200	0,070	0,062	0,066	0,070	0,0070	0,490
8	8	7	0,267	0,233	0,078	0,070	0,074	0,078	0,0085	0,665
9	10	7	0,333	0,233	0,095	0,070	0,082	0,084	0,0090	0,760
9	10	8	0,333	0,267	0,095	0,078	0,086	0,086	0,0093	0,800
9,5	10	8	0,333	0,267	0,095	0,078	0,086	0,086	0,0095	0,822
9,5	10	8	0,333	0,267	0,095	0,078	0,086	0,082	0,0093	0,762
9	10	6	0,333	0,200	0,095	0,062	0,078	0,072	0,0088	0,631
8,5	7	6	0,233	0,200	0,070	0,062	0,066	0,045	0,0073	0,328
6	0	3	0,000	0,100	0,012	0,037	0,025	0,018	0,0048	0,088
3,5	0	0	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,012	0,0018	0,022
0	0	0	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012			
<b>Q=</b>									<b>5,61</b>	





Slika 4 –3. Profil Luke



Slika 4 – 4. Prikaz mjernog profila vodotoka Luke

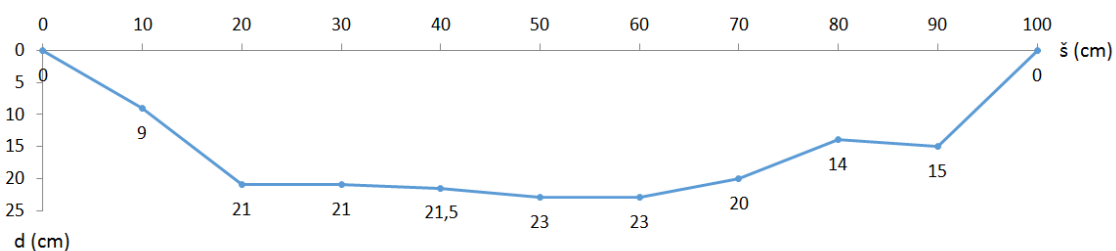
Tablica 4 – 3. Prikaz izračuna protoka potoka Luke

d (cm)	p <sub>dno</sub>	p <sub>pov</sub>	n <sub>dno</sub>	n <sub>pov</sub>	V <sub>dno</sub> (m/s)	V <sub>pov</sub> (m/s)	v – sr (m/s)	v <sub>i</sub> – sr (m/s)	A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	q <sub>i</sub> (l/s)
0	0	0	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,033	0,00225	0,074
4,5	5	5	0,167	0,167	0,054	0,054	0,054	0,089	0,00625	0,553
8	13	14	0,433	0,467	0,119	0,128	0,124	0,119	0,00775	0,926
7,5	12	13	0,400	0,433	0,111	0,119	0,115	0,122	0,00775	0,942
8	13	15	0,433	0,500	0,119	0,136	0,128	0,132	0,00775	1,02
7,5	14	16	0,467	0,533	0,128	0,144	0,136	0,150	0,00775	1,17
8	17	20	0,567	0,667	0,152	0,177	0,165	0,190	0,00750	1,42
7	24	25	0,800	0,833	0,210	0,218	0,214	0,167	0,00625	1,04
5,5	13	13	0,433	0,433	0,119	0,119	0,119	0,082	0,00500	0,412
4,5	4	4	0,133	0,133	0,045	0,045	0,045	0,029	0,00225	0,065
0	0	0	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012			
									Q=	7,62 l/s



Slika 4 – 5. Profil Kupčina – stari tok

### Profil Kupčina – stari tok (4.9.2016.)



Slika 4 – 6. Prikaz mjernog profila starog toka Kupčine

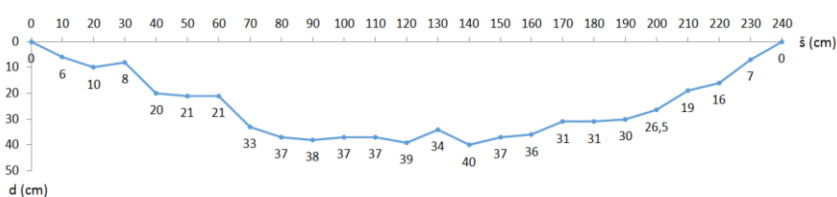
Tablica 4 – 4. Prikaz izračuna protoka starog toka Kupčine

d (cm)	$P_{dn}$ o	$P_{sred}$	$P_{pov}$	$n_{dno}$	$n_{sred}$	$n_{pov}$	V dno (m/s)	Vsred (m/s)	Vpov (m/s)	v - sr (m/s)	$v_i - sr$ (m/s)	$A_i$ (m <sup>2</sup> )	$q_i$ (l/s)
0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,012	0,0412	0,0045	0,185
9	5	7	9	0,167	0,233	0,300	0,054	0,070	0,086	0,070	0,0741	0,0150	1,11
21	7	8	9	0,233	0,267	0,300	0,070	0,078	0,086	0,078	0,0810	0,0210	1,70
21	9	8	9	0,300	0,267	0,300	0,086	0,078	0,086	0,084	0,0810	0,0213	1,72
21,5	7	7	10	0,233	0,233	0,333	0,070	0,070	0,095	0,078	0,0714	0,0223	1,59
23	3	6	10	0,100	0,200	0,333	0,037	0,062	0,095	0,065	0,0576	0,0230	1,33
23	4	3	7	0,133	0,100	0,233	0,045	0,037	0,070	0,051	0,0425	0,0215	0,914
20	1	2	5	0,033	0,067	0,167	0,021	0,029	0,054	0,034	0,0343	0,0170	0,583
14	1	3	4	0,033	0,100	0,133	0,021	0,037	0,045	0,034	0,0370	0,0145	0,537
15	3	3	4	0,100	0,100	0,133	0,037	0,037	0,045	0,040	0,0260	0,0075	0,195
0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,012			
												Q=	9,86 l/s



Slika 4 – 7. Profil Kupčina – stari tok + izvori

### Profil Kupčina - stari tok + izvori (4.9.2016.)



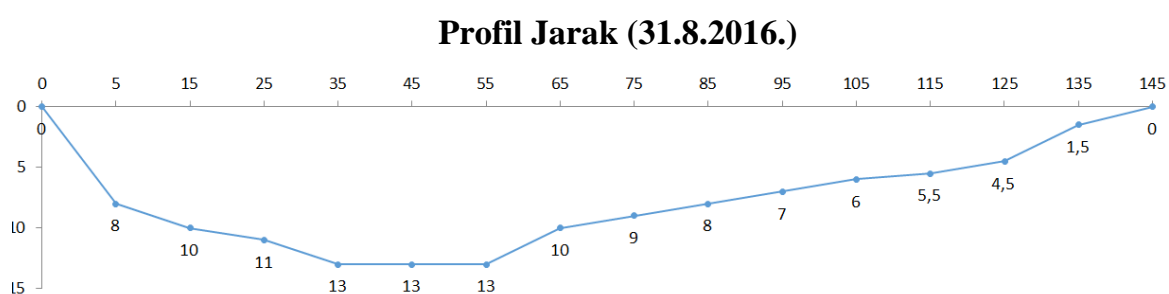
Slika 4 – 8. Prikaz mjernog profila vodotoka Kupčina – stari tok + izvori

Tablica 4 – 5. Prikaz izračuna protoka Kupčine (stari tok + izvori Kupčine)

d (cm)	Pdno	Ppov	Psred	ndno	npov	nsred	Vdno (m/s)	Vpov (m/s)	Vsred (m/s)	V – sr (m/s)	vi – sr (m/s)	Ai (m <sup>2</sup> )	qi (m/s)
0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,012	0,0576	0,003	0,173
6	10	12	11	0,333	0,400	0,367	0,095	0,111	0,103	0,103	0,1332	0,008	1,07
10	19	18	18	0,633	0,600	0,600	0,169	0,161	0,161	0,163	0,1538	0,009	1,38
8	16	16	16	0,533	0,533	0,533	0,144	0,144	0,144	0,144	0,1497	0,014	2,10
20	15	20	17	0,500	0,667	0,567	0,136	0,177	0,152	0,1552	0,1428	0,021	2,93
21	10	19	14	0,333	0,633	0,467	0,095	0,169	0,128	0,130	0,1552	0,021	3,26
21	15	26	20	0,500	0,867	0,667	0,136	0,227	0,177	0,180	0,1991	0,027	5,38
33	19	27	29	0,633	0,900	0,967	0,169	0,235	0,251	0,218	0,2376	0,035	8,32
37	22	37	30	0,733	1,23	1,00	0,194	0,317	0,260	0,257	0,2775	0,038	10,4
38	30	40	34	1,00	1,33	1,13	0,260	0,342	0,293	0,298	0,3008	0,038	11,3
37	28	43	35	0,933	1,43	1,17	0,243	0,367	0,301	0,304	0,2720	0,037	10,1
37	10	45	28	0,333	1,50	0,933	0,095	0,383	0,243	0,240	0,2362	0,038	8,98
39	10	45	25	0,333	1,50	0,833	0,095	0,383	0,218	0,232	0,2555	0,037	9,32
34	17	49	31	0,567	1,63	1,03	0,152	0,416	0,268	0,279	0,2692	0,037	9,96
40	10	52	28	0,333	1,73	0,933	0,095	0,441	0,243	0,260	0,258	0,039	9,94
37	15	44	30	0,500	1,47	1,00	0,136	0,375	0,260	0,257	0,2610	0,037	9,53
36	16	43	33	0,533	1,43	1,10	0,144	0,367	0,284	0,265	0,2843	0,034	9,53
31	22	44	40	0,733	1,47	1,33	0,194	0,375	0,342	0,304	0,2994	0,031	9,28
31	23	45	35	0,767	1,50	1,17	0,202	0,383	0,301	0,295	0,3091	0,031	9,43
30	31	44	38	1,03	1,47	1,27	0,268	0,375	0,326	0,323	0,3104	0,028	8,77
26,5	25	45	34	0,833	1,50	1,13	0,218	0,383	0,293	0,298	0,2143	0,023	4,87
19	0	30	13	0,000	1,00	0,433	0,012	0,260	0,119	0,130	0,1195	0,018	2,09
16	6	18	11	0,200	0,600	0,367	0,062	0,161	0,103	0,108	0,07410	0,012	0,852
7	3	4	3	0,100	0,133	0,100	0,037	0,045	0,037	0,040	0,026	0,004	0,091
0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,012			
													Q= 149 l/s



Slika 4 – 9. Profil Jarak



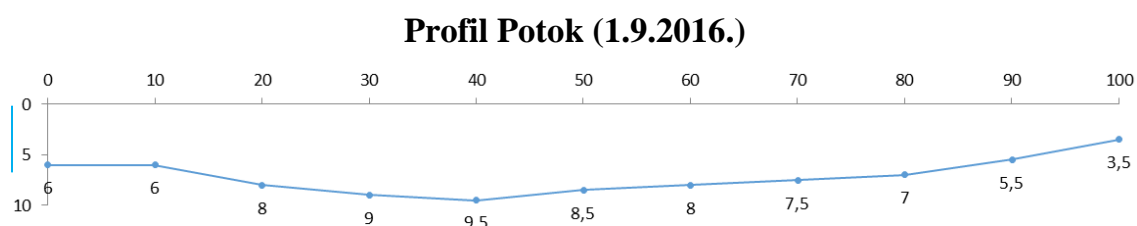
Slika 4 – 10. Prikaz mjernog profila vodotoka Jarak

Tablica 4 – 6. Prikaz izračuna protoka potoka Jarak

d (cm)	p <sub>dno</sub>	p <sub>sred</sub>	p <sub>pov</sub>	n <sub>dno</sub>	n <sub>sred</sub>	n <sub>pov</sub>	V <sub>dno</sub> (m/s)	V <sub>sred</sub> (m/s)	V <sub>pov</sub> (m/s)	v – SR (m/s)	V <sub>i</sub> – SR (m/s)	A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	Q <sub>i</sub> (l/s)
0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,012	0,0384	0,002	0,077
8	4	5	10	0,133	0,167	0,333	0,045	0,054	0,095	0,065	0,0961	0,009	0,865
10	8	15,5	18,5	0,267	0,517	0,617	0,078	0,140	0,165	0,128	0,2349	0,011	2,47
11	30	38,5	51,5	1,00	1,28	1,72	0,260	0,330	0,437	0,342	0,3507	0,012	4,21
13	21,5	45	59,5	0,717	1,50	1,98	0,190	0,383	0,505	0,359	0,3633	0,013	4,72
13	23	49	57	0,767	1,63	1,90	0,202	0,416	0,484	0,367	0,392	0,013	5,09
13	31	49	66,5	1,03	1,63	2,22	0,268	0,416	0,565	0,416	0,368	0,012	4,23
10	29	38	45	0,967	1,27	1,50	0,251	0,326	0,383	0,320	0,315	0,010	2,99
9	27,5	37	44	0,917	1,23	1,47	0,239	0,317	0,375	0,310	0,267	0,009	2,27
8	20	26	31	0,667	0,867	1,03	0,177	0,227	0,268	0,224	0,200	0,008	1,50
7	16,5	20	23	0,550	0,667	0,767	0,148	0,177	0,202	0,176	0,154	0,007	1,00
6	12,5	14	17	0,417	0,467	0,567	0,115	0,128	0,152	0,132	0,131	0,006	0,754
5,5	13,5	14,5	15	0,450	0,483	0,500	0,124	0,132	0,136	0,130	0,126	0,005	0,632
4,5	14	13	13	0,467	0,433	0,433	0,128	0,119	0,119	0,122	0,067	0,003	0,202
1,5	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,001	0,009
0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,012	0,012	0,012	0,012			
Q=												31,0 l/s	



Slika 4 – 11. Profil Potok



Slika 4 – 12. Prikaz mjernog profila vodotoka Potok

Tablica 4 – 7. Prikaz izračuna protoka potoka Potok

<b>d (cm)</b>	<b>p<sub>pov</sub></b>	<b>p<sub>dno</sub></b>	<b>n<sub>pov</sub></b>	<b>n<sub>dno</sub></b>	<b>V<sub>pov</sub> (m/s)</b>	<b>V<sub>dno</sub> (m/s)</b>	<b>v – sr (m/s)</b>	<b>v<sub>i</sub> – sr (m/s)</b>	<b>A<sub>i</sub> (m<sup>2</sup>)</b>	<b>q<sub>i</sub> (l/s)</b>
6	3	3	0,100	0,100	0,037	0,037	0,037	0,064	0,006	0,383
6	9	10	0,300	0,333	0,086	0,095	0,091	0,111	0,007	0,779
8	17	12	0,567	0,400	0,152	0,111	0,132	0,165	0,009	1,40
9	25	20	0,833	0,667	0,218	0,177	0,198	0,223	0,009	2,06
9,5	30	27	1,000	0,900	0,260	0,235	0,247	0,239	0,009	2,15
8,5	28	25	0,933	0,833	0,243	0,218	0,231	0,235	0,008	1,94
8	29	26	0,967	0,867	0,251	0,227	0,239	0,247	0,008	1,92
7,5	31	28	1,033	0,933	0,268	0,243	0,255	0,237	0,007	1,72
7	29	21	0,967	0,700	0,251	0,185	0,218	0,200	0,006	1,25
5,5	29	12	0,967	0,400	0,251	0,111	0,181	0,128	0,005	0,575
3,5	10	5	0,333	0,167	0,095	0,054	0,074			
<b>Q=</b>									<b>14,2 l/s</b>	



Tablica 4 – 8. Prikaz izračunatih protoka na svim mjernim profilima

Datum mjerenja	Potok	Q (l/s)
01.09.2016.	Blate	5,61
31.08.2016.	Jarak	31
01.09. 2016.	Potok	14,2
04.09. 2016.	Kupčina - stari tok	9,86
04.09. 2016.	Kupčina - stari tok + izvori	149
02.09. 2016.	Luke	7,62

#### 4.1.2.2. Posuda

Mjerenje protoka pomoću posude poznatog volumena (*Slika 4 – 13.*) podrazumijeva mjerenje vremena potrebnog da se posuda ispuni ( $t$ ). Korištena posuda ima volumen 1 litra ( $V_p = V_v$ ). Protok se računa na sljedeći način:

$$Q = V_v/t \text{ (l/s)} \quad (4 - 4.)$$

Na ovaj je način izmjerena izdašnost izvora Bare te izvora kod planinarskog doma Vodice. Rezultati mjerenja prikazani su u *Tablici 4 – 9.*



*Slika 4 – 13. Mjerenje izdašnosti izvora Bare*



Tablica 4 – 9. Prikaz dobivenih protoka na izvorima Vodice i Bare

Datum mjerenja	Izvor	Q (l/s)
15.09.2016.	Vodice	0,4
13.10.2016.	Bare	0,075

#### 4.1.2.3. Procijenjeni protoci

Zbog nemogućnosti mjerenja hidrometrijskim krilom i posudom, protok Suvaje i Troprstaca procijenjen je izravno na terenu. Procijenjeni protoci su prikazani u *Tablici 4 – 10*, a na *Slici 4 – 14*. prikazan je tok Troprstaca.

Tablica 4 – 10. Procijenjeni protoci Suvaje i Troprstaca

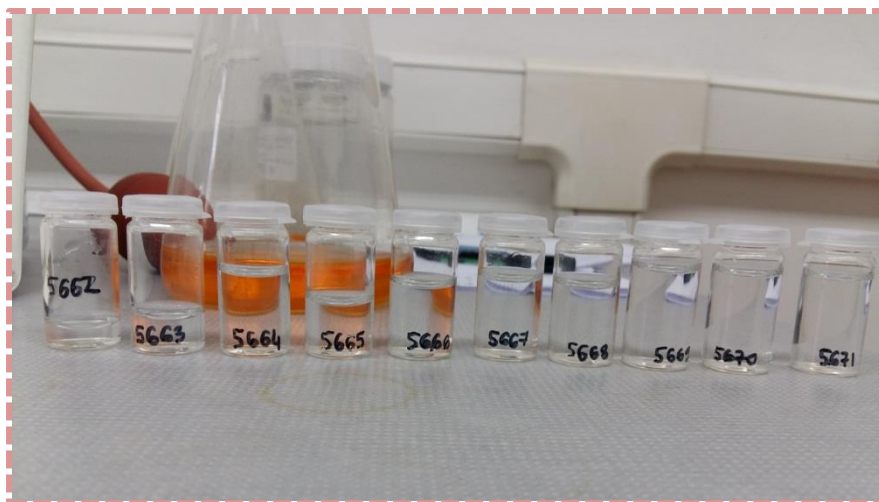
Datum procjene	Potok	Q (l/s)
06.10.2016.	Suvaja (kod Reštova)	4
06.10.2016.	Suvaja (kod Studene)	0
13.10.2016.	Troprstac	1,5



Slika 4 – 14. Troprstac

#### 4.2. Rezultati laboratorijskih istraživanja

Sva laboratorijska mjerenja napravljena su na 7 uzoraka – Kupčina, veliki izvor (5662); Kupčine, mali izvor (5663); Kupčina, stari tok (5664); Jarak (5666); Bare (5667); Luke (5668) i Blate (5669). Uzorci su prikupljeni početkom devetog mjeseca 2016. godine i spremljeni u plastične boce volumena 1l u kojima su čuvani na hladnom i mračnom mjestu sve do laboratorijskih analiza provednih 2.11.2016. godine.



Slika 4 – 15. Filtrirani uzorci vode korišteni za ionsku kromatografiju  
(volumen staklene posudice – 5ml)

#### 4.2.1. pH vrijednosti

Vrijednosti pH, izmjerene već spomenutim pH metrom marke 315i tvrtke WTW, prikazane su u *Tablici 4 – 11*. Određene pH vrijednosti uzimaju se kao reprezentativne u kasnijim analizama. One nisu izmjerene izravno na terenu zbog čega postoji mogućnost manjeg odstupanja. Raspon vrijednosti kreće se između 7,6 i 8,2 pH.

*Tablica 4 – 11. Prikaz izmjerenih pH vrijednosti*

Šifra uzorka	Potok	pH
5662	Kupčina - veliki izvor	7,7
5663	kupčina - mali izvor	7,7
5664	Kupčina - stari tok	8,2
5666	Jarak	8,1
5667	Bare	7,6
5668	Luke	7,8
5669	Blate	7,8

#### 4.2.2. Elektrovodljivost

Elektrovodljivost nije mjerena izravno na terenu, već naknadno u laboratoriju, zbog čega vrijednosti u *Tablici 4 – 12*. treba promatrati s određenim oprezom. Temperature uzoraka prilikom mjerenja iznosile su oko 20°C, pa se smatra da su izmjerene elektrovodljivosti povećane u odnosu na realne, terenske vrijednosti.

Tablica 4 – 12. Prikaz izmjerenih elektrovodljivosti

Šifra uzorka	Potok	Elektrovodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
5662	Kupčina - veliki izvor	431
5663	kupčina - mali izvor	436
5664	Kupčina - stari tok	418
5666	Jarak	466
5667	Bare	458
5668	Luke	394
5669	Blate	403

#### 4.2.3. Alkalitet vode

Alkalitet uzoraka vode predstavljen je koncentracijom karbonata, hidrogenkarbonata i hidroksida u vodi. Ukupni alkalitet određen je uz indikator metil oranž. Takav alkalitet nazivamo m vrijednost. S obzirom da su vrijednosti pH izmjerene na uzorcima manje od 8,3, vrijednost p je jednaka nuli (fenolftalein alkalitet). Prema *Tablici 3 – 1*, koncentracija karbonata i hidroksida iznosi nula. Zato je potrebno izračunati koncentraciju samo za hidrogenkarbone prema formuli 4 – 5.:

$$m(\text{HCO}_3^-) = \frac{c_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} \times M_{\text{HCO}_3^-}}{V_{\text{uzorka}}} \times 1000 \quad (\text{mg/l}) \quad (4 - 5.)$$

gdje  $c_{\text{HCl}}$  predstavlja koncentraciju klorovodične kiseline,  $V_{\text{HCl}}$  volumen utrošene kiseline,  $M_{\text{HCO}_3^-}$  molarnu masu hidrogenkarbonata, a  $V_{\text{uzorka}}$  volumen korištenog uzorka vode.

Koncentracija  $c_{\text{HCl}}$  je poznata i iznosi 0,1 mol/l. Volumen kiseline (ml) utrošen za titraciju  $V_{\text{HCl}}$  dobivamo tako da broj utrošenih ml HCl-a (m) pomnožimo sa 1,061 tj. koeficijentom  $\alpha$ . Molarna masa  $M_{\text{HCO}_3^-}$  izračunata je i iznosi 61,02 g/mol.

Vrijednosti koncentracije hidrogenkarbonata u ispitivanim uzorcima vode iznose: 291 mg/l je određeno na sva tri uzorka Kupčine – veliki izvor, mali izvor i stari tok; 324 mg/l za Jarak; 298 mg/l za Bare; 265 mg/l za Luke i za uzorku Blate 272 mg/l. Ovi podaci korišteni su za prikaz hidrogeokemijskog facijesa pomoću Piperovog dijagrama.

#### 4.2.4. Ionski kromatograf

Analizom uzoraka vode na ionskom kromatografu određena je koncentracija iona. Prikazane su vrijednosti dobivenih koncentracija u mg/l za anione: fluorid, klorid, nitrit, bromid, nitrat, fosfat i sulfat, te katione: litij, natrij, amonij, kalij, magnezij i kalcij (*Tablice 4 – 13. i 4 – 14.*).



Slika 4 – 16. Praćenje mjerenja ionskog kromatografa

Tablica 4 – 13. Koncentracije aniona

ANIONI (mg/l)							
Uzorak	Fluorid (F <sup>-</sup> )	Klorid (Cl <sup>-</sup> )	Nitrit (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	Bromid (Br <sup>-</sup> )	Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Fosfat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )
Kupčina veliki izvor	0	0,8536	0	0	1,750	0	1,442
Kupčina mali izvor	0	0,6934	0	0	1,523	0	1,455
Kupčina stari izvor	0	0,5787	0	0	0,562	0	1,694
Jarak	0	0,5058	0	0	1,074	0	1,597
Bare	0	0,4553	0	0	0,881	0	1,884
Luke	0	0,5599	0	0	1,005	0	1,761
Blate	0	0,5380	0	0	1,128	0	1,736

Tablica 4 – 14. Koncentracije kationa

KATIONI (mg/l)						
Uzorak	Litij (Li <sup>+</sup> )	Natrij (Na <sup>+</sup> )	Amonij (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Kalij (K <sup>+</sup> )	Magnezij (Mg <sup>2+</sup> )	Kalcij (Ca <sup>2+</sup> )
Kupčina veliki izvor	0	2,0179	0	0	15,942	57,548
Kupčina mali izvor	0	1,7007	0	0	17,941	60,897
Kupčina stari izvor	0	1,8937	0	0	33,024	37,852
Jarak	0	1,3202	0	0	34,077	53,979
Bare	0	4,1208	0	0	4,991	89,693
Luke	0	3,6761	0	0	3,503	77,433
Blate	0	3,1452	0	0	3,180	80,157

## 5. DISKUSIJA

U svrhu dobivanja detaljnijih informacija o značajkama sliva izvora Kupčine (23,4 km<sup>2</sup>), 2016. godine, obavljena su terenska istraživanja i mjerenja, te laboratorijske analize. Protoci potoka u slivu procijenjeni su ili izmjereni na terenu u razdoblju od 31.8. – 5.9.2016. godine. Temperature pojedinih potoka/izvora izmjerene su između 5.10. – 14.10.2016. godine, a uzorci vode prikupljeni na terenu analizirani su u laboratoriju 2.11. iste godine. Na uzorcima vode su određene pH vrijednosti, elektrovodljivost, alkalitet te sadržaj osnovnih kationa i aniona.

Najniža temperatura izmjerena je na Blatu i iznosila je 7,6 °C. Pri sličnim temperaturama zraka (~ 9°C) izmjerene su i temperature vode na izvoru Bare od 9,3°C te na potoku Luke 9,4°C. Temperature izvora Kupčine (izvor 2, 3 i 4) te Kupčine – nakon izvora mjerene su 6.10. pri temperaturi zraka 15°C i sve izmjerene vrijednosti se kreću oko 10°C. Istog je dana izmjerena i temperatura starog toka Kupčine koja je iznosila 8,2°C. Prema VUJNOVIĆ (2010), temperature vode na velikom izvoru Kupčine, 2008. godine, kretale su se između 8,5°C i 10,1°C, dok je srednja temperatura iznosila 9,4°C – blisko srednjoj godišnjoj temperaturi zraka iste godine. Može se primijetiti da temperatura vode na izvorima Kupčine opada u hladnijem dijelu godine, a raste u toplijem dijelu, što upućuje na pliću cirkulaciju podzemne vode.

Srednja godišnja temperatura zraka u 2016. godini iznosila je 8,9°C što je prosječna vrijednost s obzirom da srednja godišnja temperatura za razdoblje 2010. – 2015. godine iznosi 8,6°C. Srednja godišnja vrijednost temperature u 2008. godini bila je iznad prosjeka 2010. – 2016. godine za oko 1°C. U najtoplijem mjesecu 2016. godine (kolovoz) srednja mjesečna temperatura ne prelazi 19°C, dok se u najhladnijem mjesecu (siječanj) ne spušta ispod – 1,0 °C. Dobivene srednje vrijednosti temperatura podudaraju se s Köppenovom umjerenom, toplom, vlažnom klimom s toplim ljetom. Također, vrijednosti u Sošicama bliske su snježno – šumskom tipu klime pa ga sigurno možemo očekivati u višim dijelovima sliva.

Protoci na potocima Blate, Luke, Kupčina– stari tok i stari tok + izvori, Jarak te Potok izmjereni su hidrometrijskim krilom. Najveći protok izmjeren je 04.09. na Kupčini – stari tok + izvori ( $Q_{s+i}$ ) i iznosi 149 l/s. Protok starog toka ( $Q_s$ ) mjenen je istog dana i iznosi 9,86 l/s. Ta dva podatka nam omogućuju određivanje izdašnosti izvora Kupčine ( $Q_{IK}$ ) i prema formuli:  $Q_{IK} = Q_{s+i} - Q_s$  (l/s) ona iznosi 139 l/s. VUJNOVIĆ (2010) je također mjerila protok izvora Kupčine i to u razdoblju veljača 2008. – veljača 2009. godine. Minimalni izmjereni protok iznosio je 103 l/s u listopadu 2008., a maksimalni 1500 l/s u prosincu iste



godine. Visoke vode su zabilježene za vrijeme proljetnog topljenja snijega i kiša, zatim u travnju (1000 l/s) i lipnju (700 l/s). Međutim, ona je u izmjerene vrijednosti protoka izvora Kupčine uključila i stari tok. S obzirom na malu izdašnost starog toka, izmjereni protok izvora Kupčine možemo usporediti s minimalnim protokom izvora koje je VUJNOVIĆ izmjerila te možemo zaključiti da se radi o baznom, minimalnom toku.

Protok Jarka na mjernom profilu iznosi 31 l/s. To je površinski tok najveće izdašnosti unutar sliva izvora Kupčine. On ponire kasnije u toku, pa je tako u Sošicama izmjeren protok Potoka (Jarak u Sošicama) od 14,2 l/s. Na sjecištu Suvaje (Jarak nakon Sošica) i granice sliva površinsko otjecanje nije bilo prisutno. Smatra se da Jarak u potpunosti ponire u podzemlje nakon Reštova. Prema informacija lokalnih stanovnika na području Sošica i Reštova nikad nema poplavlivanja za vrijeme velikih voda. Prije nekoliko godina uzvodno je čak zatrpan neki ponor kako bi se Suvaja vratila u Reštovo. Veliki kapacitet poniranja ukazuje na dobru propusnost naslaga. Također, protoci su izmjereni na Blatama i Lukama nedaleko prije ponora te iznose 5,61 l/s i 7,62 l/s. Na terenu su procjenjeni njihovi protoci i podudaraju se s izračunatim vrijednostima izmjerenih protoka. Na nekim potocima protok nije bilo moguće mjeriti hidrometrijskim krilom zbog male dubine toka i stoga su procjenjeni na terenu. Osim već spomenute Suvaje, procjenjen je i protok Troprstaca na 1,5 l/s. Nakon kraćeg površinskog toka Troprstac ponire. Izdašnosti izvora Bare i Vodica mjerene su pomoću posude poznatog volumena i iznose 0,075 l/s i 0,4 l/s. Izvor Vodice nalazi se u slivu Jarka, a oba izvora su male izdašnosti.

Najveće pH vrijednosti izmjerene su na uzorcima Kupčina – stari tok te Jarak, iznose 8,2 i 8,1. Slijede ih Luke i Blate sa 7,8, zatim Kupčina – veliki i mali izvor sa 7,7, a minimalna vrijednost pH dobivena je na uzorku izvora Bare. Dobivene vrijednosti ukazuju na bazičnost svih ispitivanih voda u slivu. VUJNOVIĆ (2010) je pH vode 2008. godine mjerila na velikom izvoru Kupčine, a izmjerena vrijednost je 14.03. iznosila 7,77, a 14.09. iste godine 7,9. Na *Slici 2 – 14.* se može uočiti da pH pada u sušnijem dijelu godine, s manje oborina kad je i izdašnost izvora manja. S povećanjem izdašnosti koje je uzrokovano većim oborinama i/ili otapanjem snijega dolazi do povećanja pH vrijednosti. Također, pH ovisi o temperaturi. Na uzorcima je određena pH vrijednost pri temperaturi vode oko 20°C. S obzirom da s povećanjem temperature vode pH vrijednost smanjuje, izmjerene vrijednosti u ovom radu treba uzeti s oprezom.

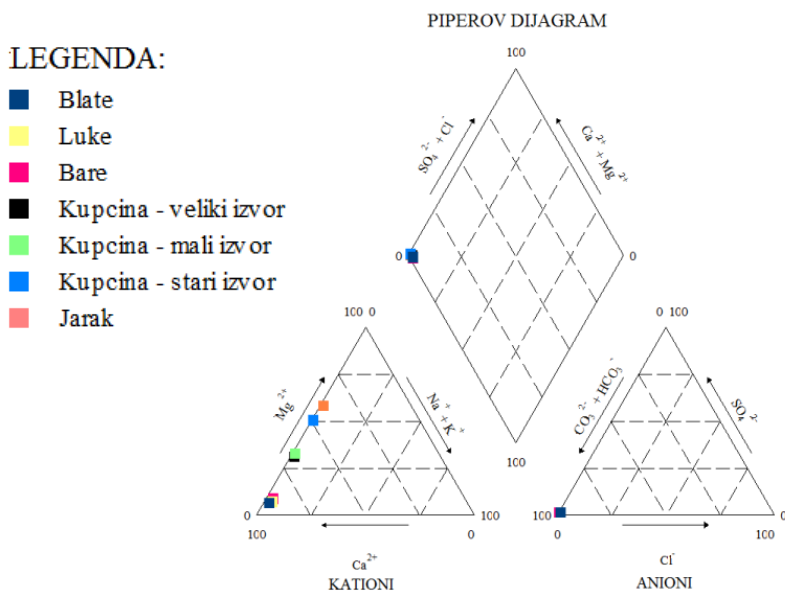
Dobivene elektrovodljivosti (Ev) kreću se između 394  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na uzorku Luke do 466  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na uzorku Jarak. One kao i pH ovise o temperaturi. S povećanjem temperature raste i

vrijednost elektrovodljivosti, pa zbog velike temperature uzorka prilikom mjerenja očekujemo povećane vrijednosti elektrovodljivosti. Blate ima sličnu Ev kao i Luke, dok Bare s Ev od 458  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dolazi odmah nakon Jarka. Mali i veliki izvor Kupčine imaju Ev oko 430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a stari tok 418  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . VUJNOVIĆ (2010) je Ev mjerila na velikom izvoru Kupčine i ona se 2008. godine kretala od 317 do 402  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Općenito, kad su izvori manje izdašnosti, elektrovodljivost se povećava i obrnuto, kad je na izvorima izmjerena veća izdašnost, elektrovodljivost se smanjuje.

Prilikom određivanja alkaliteta na uzorcima vode, kao indikator je korišten metil – oranž. Odabran je, jer pH uzoraka ne prelazi vrijednost 8,3, te se može pretpostaviti da su realne vrijednosti čak i manje od dobivenih. Prema tome, fenolftalein alkalitet iznosi nula ( $p = 0$ ). To ujedno znači da i koncentracija hidroksida i karbonata iznosi nula. Potrebno je izračunati samo koncentracije hidrogenkarbonata prisutne u uzorcima. One se kreću od 265 mg/l za Luke do 324 mg/l za Jarak. Na uzorku Blate određena je koncentracija  $\text{HCO}_3^-$  od 272 mg/l, 291 mg/l za Kupčinu – stari tok, te veliki i mali izvor te 298 mg/l za Bare. Prema VUJNOVIĆ (2010), alkalitet određen na uzorku velikog izvora Kupčine prikupljenog 14.3.2008. godine iznosio je 293 mg/l, a 14.9. iste godine 342 mg/l. Dobivena vrijednost slična je njezinoj vrijednosti alkaliteta izmjenjenog u ožujku.

Na temelju određenih koncentracija kationa ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Ca}^{2+}$ ) i aniona ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{HCO}_3^-$ ) izrađen je Piperov dijagram pomoću USGS-ovog besplatnog programa GW Chart. Osnovni sadržaj kationa i aniona svih ispitanih uzoraka prikazan je na dijagramu (*Slika 5 – 1.*). U hidrogeokemiji se voda dijeli na vodne facijese koje određuju otopljeni kationi i anioni. S obzirom na katione dijeli se na: kalcijске, magnezijске i natrijske, a prema anionima na: hidrogenkarbonatne, kloridne i sulfatne facijese.

Promatrajući katione vidljivo je da jedan uzorak (Kupčina – stari tok) pripada kalcijsko-magnezijskom, jedan magnezijskom (Jarak) te njih pet kalcijskom tipu (Blate, Luke, Bare te Kupčina – mali i veliki izvor). S druge strane, anioni u svim uzorcima pripadaju hidrogenkarbonatnom tipu. Može se zaključiti da svi analizirani uzorci/potoci pripadaju hidrogenkarbonatnom facijesu, ali s različitim omjerima kalcija i magnezija. Prema VUJNOVIĆ (2010), mala količina Ca i Mg javlja se za vrijeme manjih izdašnosti na izvoru, a ukazuje na dominantno vapnenačko zaleđe izvora. Suprotno, u razdobljima većih voda primjetila je povećanje dotjecanja iz dolomita, a zasićenost Ca i Mg je veća.



*Slika 5 – 1. Piperov dijagram ispitivanih uzoraka*

Također, kemizam vode omogućuje donošenje zaključaka o litološkim značajkama naslaga kroz koje voda prolazi, odnosno o porijeklu vode i dominantnim vodonosnicima unutar sliva. Prema ANTUNOVIĆU (1995), Fourmarier krške vode dijeli prema sadržaju magnezija (*Tablica 5 – 1.*). Iz Piperovog dijagrama lako se odredi udio Mg (%) u uzorcima vode.

*Tablica 5 – 1. Klasifikacija vode prema sadržaju magnezija (prema ANTUNOVIĆ, 1995)*

Skupina	Sadržaj Mg u vodi	Porijeklo vode
1	0,0% do 7,5%	čisti vapnenac
2	7,5% do 12,5%	magnezijski vapnenac
3	12,5% do 25,0%	dolomitični vapnenac
4	25,0% do 37,5%	vapnenački dolomit
5	37,5% do 42,5%	kalcijski dolomit
6	42,5% do 50,0%	čisti dolomit

Luke s udjelom Mg od 6,6 % i Blate s 5,9 % spadaju u prvu skupinu što znači da je porijeklo tih voda iz čistog vapnenca. U drugu skupinu spada uzorak s izvora Bare koji ima udio Mg od 8,0 %, a to znači da voda potječe iz magnezijuskog vapnenca. Uzorci Kupčine, s velikog i malog izvora (udio Mg 30,6% i 32,2%), spadaju u 4. skupinu i dolaze iz vapnenačkog dolomita. Na kraju, najviše magnezija (50,5% i 57,6%) nađeno je u uzorcima

potoka Jarka te starog toka Kupčine. Njihovo porijeklo je iz čistih dolomita tj. pripadaju 6. skupini prema Fourmarieru.

U okviru hidrogeoloških mjerenja kontinuirano se prikupljaju podaci o oborinama, infiltraciji, isparavanju i istjecanju. Pomoću njih je moguće odrediti bilancu podzemnih voda za određeni sliv. To podrazumijeva proučavanje ulaza, izlaza i zadržavanja vode u podzemlju na određenom području (slivu) u nekom vremenu. Mjerenja je preporučljivo obavljati najmanje godinu dana ili barem za vrijeme suhog i kišnog razdoblja. Opća jednadžba vodne bilance glasi:

$$U - I = \pm \Delta W \quad (m^3) \quad (5 - I.)$$

Ulaz vode u podzemlje (U) uključuje oborinu palu na sliv, kondenziranu vlagu te površinski, podzemni i umjetni dovod vode. Podaci srednjih godišnjih i srednjih mjesečnih oborina poznati su i korišteni kod određivanja bilance. Ostali ulazni podaci se zanemaruju, tj. pretpostavlja se da ne postoje. Za izlaz vode iz podzemlja (I) vezana je evapotranspiracija, zatim površinsko, podzemno i umjetno otjecanje te potrošnja vode unutar sliva. Evapotranspiracija podrazumijeva količinu vode koja ispari sa slobodne površine sliva uključujući i količinu koju biljke koriste za proces fotosinteze. Umjetno otjecanje vode iz sliva te potrošnja vode pretpostavlja se unutar sliva. Iznad mjernog profila Jarak, za potrebu vodoopskrbe koristi se voda iz bušotine Tratine (arteška voda) te iz izvora Boići. Također, u samom površinskom toku u blizini izvora Boići postavljena je cijev, a količina crpljenja vode je nepoznata. Na kraju, promjena volumena vode u nekom vremenu ( $\Delta W$ ) u teoriji bi trebala iznositi nula. To je moguće postići, tj.  $\Delta W$  teži nuli, ako se koriste višegodišnji hidrološki podaci i rade bilanciranja za višegodišnji period. Prolaz vode kroz podzemni sustav pukotina najmanje je poznat dio procesa. Uz hidrogeološke podatke i određena terenska mjerenja (mjerenje izdašnosti izvora, protoka) moguće je donositi zaključke o rezervama vode u podzemlju, za suha i kišna razdoblja (prema ŽUGAJ, 2000).

U kolovozu 2016. godine je palo malo više oborina (128,9 mm) u odnosu na prosjek za razdoblje 2010. – 2016. godine (109,8 mm), a u rujnu i listopadu palo je 85,1 mm tj. 118,5 mm što je ispod prosjeka, posebice za rujnu. Srednje oborine za rujnu i listopad u razdoblju 2010. – 2016. iznose 156,2 mm tj. 162,3 mm. Godišnja oborina pala 2016. godine iznosi 1289,5 mm što je blizu prosjeka za razdoblje 2010. – 2015. godina koji iznosi 1348 mm.

Godina s najmanje oborina, samo 899 mm je 2011. godina, a s najviše oborina, čak 1719 mm, ističe se 2014. godina.

Biljke kroz transpiraciju i intercepciju troše oborinu koja pada na sliv. Većinu područja sliva zauzimaju šume (~ 90%). U svrhu određivanja utjecaja biljaka na palu oborinu, za područje istraživanja određeni su postotni udjeli glavnih vrsta drveća. Bukve su najzastupljenije (50 % površine sliva), zatim jele i smreke (20%), hrast i grab (15%), a ostatak površine (15%) nije pod šumom. U jednoj godini bukva transpirira ~300 mm oborine jela i smreka ~350 mm, hrast ~400 mm, a crni bor ~150 mm. Intercepcija se kreće od 16% (hrast lužnjak i kitnjak) do 40% (jela i smreka). Vrijednosti ukupnog gubitka vode sa sliva pod utjecajem biljaka ovise o klimatskim uvjetima, ponajviše oborinama – količini i učestalosti. Prema spomenutim podacima o transpiraciji i intercepciji određena je srednja godišnja potrošnja vode preko biljaka koja iznosi ~ 500 mm godišnje. To je malo više od trećine ukupnih godišnjih oborina.

Evapotranspiracija uključuje transpiraciju i evaporaciju (isparavanje sa slobodne površine sliva). Često se računa pomoću Turcove formule 5 – 2. (TURC, 1953):

$$E_t = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{(300 + 25 \times T_{SR} + 0,05 \times T_{SR}^3)^2}}} \quad (\text{mm}) \quad (5 - 2.)$$

Vrijednost P predstavljaju godišnje oborine (1289,5 mm) za 2016. godinu, a srednja godišnja temperatura zraka iznosi 8,9 °C. Koristeći ove vrijednosti dobivena je ukupna, godišnja evapotranspiracija i iznosi 515 mm.

Već je spomenuto da je površinu sliva potrebno potvrditi pomoću bilance. Iako ne postoje dugogodišnji podaci mjerenja protoka na izvorima Kupčine i bilanca se ne može odrediti sa sigurnošću ona je ipak procijenjena (za mjesečne i godišnje vrijednosti).

Vrijednost  $\Delta W$  prema formuli 5 – 1. ( $U - I = \pm \Delta W$ ) dobivena je na godišnjoj razini i iznosi ~ nula. U formuli 5 – 3. prikazan je način izračuna bilance na godišnjoj i mjesečnoj razini:

$$[P (m) \times A (m^2)] - \left[ E_t (m) \times A (m^2) + (Q_1 \left(\frac{m^3}{s}\right) + Q_2 \left(\frac{m^3}{s}\right)) \times T (s) \right] = \Delta W (m^3) \quad (5 - 3.)$$

Ulazni podaci (U) su oborine (P) = 1289,5 mm, a izlazne podatke (I) čine: izdašnost izvora Kupčine ( $Q_1 = 500 \text{ l/s}$  – srednja godišnja vrijednost prema VUJNOVIĆ (2010)), crpljenje na Jarku ( $Q_2 \sim 2 \text{ l/s}$ ) te evapotranspiracija ( $E_t = 515 \text{ l/m}^2 = 515 \text{ mm}$ ). Vrijednost T (s) predstavlja period od jedne godine. S obzirom da je 2016. godina prijestupna, ima 366 dana, vrijednost T iznosi  $31,62 \times 10^6 \text{ s}$ . S obzirom da  $\Delta W$  iznosi  $\sim 70 \text{ l/s}$ , za površinu sliva od  $A = 23,4 \text{ km}^2$  možemo reći da je relativno dobro određena. Višak vode u sustavu iznosi samo 6%.

Vrijednost  $\Delta W$  određena je na isti način, prema formuli 5 – 3. i na mjesečnoj razini, za rujan kad su izvršena mjerenja protoka. Ulazni podaci su oborine (U) = 128,9 mm, a izlazne podatke (I) čine: izdašnost izvora Kupčine + gubitak na Jarku ( $Q = 141 \text{ l/s}$ ). T je razdoblje jednog mjeseca (kolovoz, 31 dan) u sekundama i iznosi  $2,68 \times 10^6$ , a evapotranspiracija je izračunata prema formuli 5 – 2. i iznosi 134,5 mm. Srednja mjesečna temperatura u kolovozu iznosila je 16,8 °C. Izračunati  $\Delta W$  iznosi  $- 0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Unaprijed je primijećeno da je izračunata evapotranspiracija veća od same oborine. Stoga se pretpostavlja da je početkom rujna na izvorima Kupčine, barem u suhim danima kad su izdašnosti i mjerene, tekao bazni tok iz zaleđa izvora Kupčine.

Bilanciranje je moguće i pomoću otjecajnog koeficijenta. Prosječni otjecajni koeficijent (c) je definiran kao odnos efektivne oborine koja otječe sa sliva i bruto oborine koja padne na sliv (*Formula 5 – 4.*)

$$c = \frac{Q \times T}{P \times A} \quad (-) \quad (5 - 4.)$$

gdje je Q – srednji godišnji protok ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), T – vrijeme ( $T = 1 \text{ godina} = 31,62 \times 10^6 \text{ s}$ ), P – godišnja oborina (m), A – površina sliva ( $\text{m}^2$ ). Prosječni otjecajni koeficijent za fliške terene kreće se od 0,30 do 0,40, sa srednjom vrijednošću  $c = 0,35$ . Kod okršanih terena on je znatno veći, te se kreće od 0,50 do 0,70, sa srednjom vrijednošću od  $c = 0,60$  (MAGDALENIĆ & VAZDAR, 1993).

Pod pretpostavkom da se istraživani teren nalazi na krškom terenu, ali je na jednom dijelu (otprilike 1/3 sliva) prisutan i fliš određena je prosječna vrijednost koeficijenta za cijeli sliv (0,5) obzirom na definirane propusnosti prema Magdaleniću i dr. (1992). Nadalje, vrijeme (366 dana) i oborine (1289,5 mm) su poznati i uz pretpostavku da je i površina sliva ( $23,4 \text{ km}^2$ ) dobro određena, kada sve podatke uvrstimo u formulu 5 – 3. u odgovarajućim mjernim jedinicama, moguće je odrediti očekivanu prosječnu godišnju izdašnost izvora Kupčine (Q).



Izračunati srednji godišnji protok izvora iznosi 0,477 m<sup>3</sup>/s što je 477 l/s. Vrlo blisko pretpostavljenom godišnjem protoku.

Sliv izvora Kupčine (23,4 km<sup>2</sup>), s površinom manjom od 400 km<sup>2</sup>, spada u male slivove. Prema ŽUGAJU (2000), mali se slivovi ne smiju određivati isključivo na temelju veličine površine, već treba uzeti u obzir i druge bitne osobine za otjecanje vode. Oborine na malim slivovima redovito padaju na cijeli sliv, što je posebno važno kod velikih voda. Intenziteti oborina nisu jednaki posvuda na slivu, ali u otjecanju sudjeluje cijeli sliv.

## 6. ZAKLJUČAK

Žumberačko gorje nalazi se na sjeverozapadnom dijelu Hrvatske i zauzima površinu od oko 450 km<sup>2</sup>. Sastoji se od Žumberačke gore (325 km<sup>2</sup>), Samoborskog gorja (110 km<sup>2</sup>) i Plešivice (15 km<sup>2</sup>), a njihove su površine okvirno određene.

Sliv izvora Kupčine, površine 23,4 km<sup>2</sup>, nalazi se na zapadnom dijelu Žumberačke gore. Pretpostavljena granica sliva izvora Kupčine obuhvaća naselja: Jezernice, Reštovo, Sošice, te vrhove na granici sa Slovenijom: Sljeme i Sv. Gera. Jugozapadna granica prolazi kraj naselja Rajakovići i Cvetišće. Većina sliva pripada umjereno toploj, vlažnoj klimi s toplim ljetom, a viši dijelovi snježno – šumskoj klimi. Prema podacima s klimatološke postaje u Sošicama srednje mjesečne temperature su se u 2016. godini kretale između – 1,0 °C u siječnju do 19 °C u kolovozu. Za vrijeme mjerenja protoka u rujnu, srednja mjesečna temperatura iznosila je prosječnih 14 °C. Srednja godišnja temperatura za 2016. godinu iznosi 8,9 °C. Ukupne godišnje oborine za 2016. godinu iznose 1289,5 mm što je blizu prosjeka. U rujnu je palo samo 85,1 mm što je duplo manje od prosjeka za 2010. – 2016. godinu, a u kolovozu 128,9 mm (malo iznad prosjeka).

Sliv izvora Kupčine, izgrađen je od karbonatnih stijena – vapnenaca i dolomita. Trijaski dolomiti ( $T_{2+3}$ ) nalaze se na sjeverozapadnom dijelu sliva. Karakterizira ih dobra propusnost koja je posljedica velike razlomljenosti i okršenosti (pukotinska propusnost). Na određenim područjima usitnjene su do prašinastih čestica pa se dijelovi glavnog, trijaskog vodonosnika mogu usporediti s vodonosnikom međuzrnske poroznosti. Središnji i južni dio sliva građen je od gornjokrenih naslaga ( $K_2^2$  i  $K_2$ ) – vapnenaca i karbonatnih breča.  $K_2$  naslage nalazimo u središnjem dijelu sliva i okarakterizirane su kao dobro propusne.  $K_2^2$  naslage nalaze se na jugu sliva, i mjestimično uključuju i fliš. Također, na dijelovima su prekrive aluvijalnim sedimentom. Okarakterizirane su kao slabo propusne. Jurske naslage ( $J_{1+2}$ ) – vapnenci, dolomitični vapnenci i dolomiti također se smatraju dobro propusnima.

Izmjerene temperature tokova za listopad bile su niže od srednje godišnje temperature u 2016. godini na Blatu i starom toku Kupčine, a više od srednje godišnje temperature u 2016. godini na izvorima Kupčine. Protoci na potocima Blate, Luke, Kupčina– stari tok i stari tok + izvori, Jarak te Potok izmjereni su hidrometrijskim krilom. Najveći protok izmjeren je 4.9. na Kupčini – stari tok + izvori i iznosi 149 l/s. Protok starog toka mjeren je istog dana i iznosi 9,86 l/s. Ta dva podatka omogućila su nam određivanje izdašnosti izvora Kupčine koja iznosi 139 l/s. Ta vrijednost predstavlja minimalno istjecanje na izvorima Kupčine, bazni tok. Ostali

izmjereni protoci vodotoka unutar sliva su: Jarak (31 l/s), Potok(14,2 l/s), Blate (5,61 l /s) te Luke (7,62 l/s). Protok Troprstaca procijenjen je na 1,5 l/s. Izdašnosti izvora Bare i Vodica mjerene su pomoću posude poznatog volumena i iznose 0,075 l/s i 0,4 l/s. Ukupna količina površinskog otjecanja iznosi 46,3 l/s što je 33% istjecanja na izvorima Kupčine.

Vrijednosti pH ukazuju na bazičnost svih ispitanih uzoraka što se podudara s kemijskim sastavom karbonatne sredine kroz koju prolazi. Također, mjerena je i elektrovodljivost. Obje mjerene vrijednosti (pH i Ev) izmjerene su kod najmanjih izdašnosti izvora (za vrijeme tečenja baznog toka).

Na temelju koncentracija određenih kationa ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Ca}^{2+}$ ) i aniona ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{HCO}_3^-$ ) u uzorcima vode, vodama je dodijeljen pripadni hidrochemijski facijes. Svi analizirani uzorci/potoci pripadaju hidrogenkarbonatnom facijesu, ali s različitim omjerima kalcija i magnezija. Prema Piperovom dijagramu, najmanje magnezija (5 – 10%) imaju Blate, Luke i Bare koje se nalaze u gornjokrednim vapnenačkim stijenama. Slijede izvori Kupčine – mali i veliki s malo više magnezija (~30%) što znači da prolaze kroz vapnenačke stijene i dolomite. Kupčina – stari tok i Jarak dolaze iz trijaskih dolomita i sadrže najviše otopljenog magnezija (50 – 60%). Prema udjelu Mg (%) Luke i Blate dolaze kroz čisti vapnenac, voda na izvoru Bare potječe iz magnezijskog vapnenca, uzorci Kupčine, s velikog i malog izvora ukazuju da voda dolazi iz dolomitičnog vapnenca, a voda Jarka i starog toka Kupčine potječe iz kalcitičnog dolomita.

U okviru hidrogeoloških istraživanja redovito se određuje i bilanca podzemnih voda za određeni sliv. To podrazumijeva proučavanje ulaza i izlaza u određenom vremenu. Obradeni su ulazni i izlazni parametri, oborina, temperatura zraka, evapotranspiracija i istjecanje, temeljem kojih je izrađena bilanca vode za mjesečne i godišnje vrijednosti. Nakon provedene analize može se zaključiti da su granice / površina sliva dobro određene.

## 7. LITERATURA

- ALEGRO, A. (2000): Vegetacija Hrvatske. Interna skripta, Botanički zavod PMF-a, Zagreb.
- ANTUNOVIĆ, I (1995): Utvrđivanje dinamike podzemnih voda u kršu. Seminarski rad, Prirodoslovno – matematički fakultet, Zagreb.
- ČEČURA, Ž. & KRIŽOVAN, Z. (2000): Školski atlas. Kartografski laboratorij Križovan, Alfa, Zagreb.
- FILIPČIĆ, A. (1998): Klimatska regionalizacija Hrvatske po Koppenu za standardno razdoblje 1961. – 1990. U odnosu na razdoblje 1931. – 1960. Acta Geographica Croatica, 34, 1-15.
- FRANGEN, T. (2013): Određivanje značajki krškoga vodonosnika na području jugozapadnog Žumberka kvantitativnim trasiranjem u različitim hidrološkim uvjetima. Doktorski rad, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb.
- HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides. Acta Geologica, 16/1, (Prir.str. JAZU 53), Zagreb.
- HERAK, M. (1991): Dinaridi-mobilistički osvrt na genezu i strukturu. Acta Geologica, 21/2, (Prirodoslovna istraživanja, 63), Zagreb.
- HERAK, M. (1999): Tectonic Interrelation of the Dinarides and the Southern Alps. Geologia Croatica, Vol. 52/1, Zagreb, pp. 83-98.
- HERAK, M, BAHUN, S. & MAGDALENIĆ, A. (1969): Pozitivni i negativni utjecaji na razvoj krša u Hrvatskoj. Krš Jugoslavije, Zagreb.
- HŠD (1999): Šumarski List. Znanstveno – stručno glasilo hrvatskog šumarskog društva, list 7-8/1999, str. 78., Zagreb.
- HZN (2009): Hidrometrija – mjerenje protoka u otvorenim kanalima uporabom hidrometrijskih krila ili plovaka (ISO 748:2007). Hrvatska norma, Zagreb, prema europskim normama CEN, Brussels.
- MAGDALENIĆ, A., VAZDAR, T. (1993): Hidrogeološka interpretacija trasiranja podzemnih voda u središnjoj Istri. Hrvatske vode, 1 (1993) 4, 231. - 238., Zagreb.
- PARLOV, J. (2015): Hidrogeologija krša. Skripta za akedemsku godinu 2015./2016., Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb.
- PAVIČIĆ, I. (2014): Regionalni geološki i hidrogeološki odnosi u području Žumberačkog i Samoborskog gorja s posebnim osvrtom na zalihe podzemnih voda. Diplomski rad, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb.
- PLENIČAR, M., PREMURU, U. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, Tolmač za list Novo Mesto L 33-79, Geološki zavod Ljubljana, Savezni geološki zavod Beograd.
- PLENIČAR, M., PREMURU, U., HERAK, M. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, list Novo Mesto, L33-79, Geološki zavod Ljubljana, Savezni geološki zavod Beograd.

PRTOĻJAN, B. (2001): Relations of thrust-fold and horizontal mechanism of the Mt. Źumberak part of the Savva nappe in northwestern Dinarides, West Croatia. *Acta Geologica Hungarica*, Vol. 44/1, Budapest.

PUSTAJ, G. & KAPOR, F. (2015): *Kemizam i obradba vode*. Interna skripta, Rudarko – geološko – naftni fakultet, Zagreb.

SEBA HYDROMETRIE (2003): *Mini Current Meter M1. User Manual*, Kaufbeuren, Germany.

ŠEGOTA, T. & FILIPČIĆ A. (2003): *Koppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje*. Stručni članak, *Geoadria*, Vol. 8/1, 17-37, Zadar.

ŠIKIĆ, D. & PRELOGOVIĆ, E. (1970): *O tektonskim pokretima u Źumberačkoj i Samoborskoj gori*. *Sedmi Kongres geologa SFRJ*, 1, Zagreb.

TURC, L. (1953): *Le bilan d'eau des sols: relations entre les precipitations, l'evaporation et l'ecoulement*, Institut national de la recherche agronomique, Paris, 252

VUJNOVIĆ, T. (2010): *Hidrogeološke značajke Parka prirode "Źumberak – Samoborsko gorje"*. Doktorski rad, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb.

ŹUGAJ, R. (2000): *Hidrologija*. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb.

## WEB IZVORI:

ALIEXPRESS: new tp101 temperature sensor thermometer family expenses kitchen bbq digital cooking food meat probe thermometer.

URL:<https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1Ot7dKFXXXXXkaXXXq6xXFXXXb/Digital-Electronic-BBQ-Kitchen-Cooking-Food-Termometro-font-b-Thermometer-b-font-Sensor-Probe-Temperature-Instruments.jpg> (3.12.2016.)

DGU (2011): Digitalni ortofoto. Geoportal DGU, URL: <http://geoportal.dgu.hr> (5.12.2016.).

DGU (2011): Topografska karta (TK25). Mjerilo 1: 25000, Geoportal DGU, URL: <http://geoportal.dgu.hr> (5.12.2016.).

DGU (2011): Hrvatska osnovna karta – HOK 1:25 000. Geoportal DGU, URL: <http://geoportal.dgu.hr> (5.12.2016.).

GPSFORESTRY: SEBA Hydrometrie M1 Mini Current Meter Equipment. (16.11.2016.),

URL: [http://www.gpsforestry-suppliers.com/image/cache/catalog/product/Seba\\_M1\\_1-700x700.jpg](http://www.gpsforestry-suppliers.com/image/cache/catalog/product/Seba_M1_1-700x700.jpg).

HYDROKIT: Z6 Pulse Counter. Environmental data acquisition systems & sensors, Engleska. URL: [http://www.hydrokit.co.uk/images/accessories/53\\_lg\\_s\\_04ece5afdb.jpg](http://www.hydrokit.co.uk/images/accessories/53_lg_s_04ece5afdb.jpg) (15.11.2016.)