

# Petrološke i geokemijske značajke izvorišta Studenog potoka na Plješevici

---

Šalić, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2015

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:671473>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-03**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO – GEOLOŠKO - NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij geološkog inženjerstva  
Smjer geologija okoliša

**PETROLOŠKE I GEOKEMIJSKE ZNAČAJKE IZVORIŠTA STUDENOG POTOKA  
NA PLJEŠEVICI**  
Diplomski rad

Martina Šalić  
GI 157

Zagreb, 2015.

*Zahvaljujem se dr.sc. Urošu Barudžiji na pomoći, strpljenju i razumijevanju tijekom cjelokupne izrade diplomskog rada.*

*Zahvaljujem se dipl. ing. Duji Smirčiću na pomoći tijekom terenskih istraživanja.*

*Zahvaljujem se dr.sc. Michaeli Hruškovej – Hasan na pomoći prilikom laboratorijskih analiza te na konzultacijama.*

*Zahvaljujem se gospođi Branki Prši i gospođi Nadi Čegec na pomoći tijekom rada u laboratoriju.*

*Zahvaljujem dipl. ing. Nevenu Tadeju na pomoći prilikom interpretacije snimke rendgenske difrakcije.*

*Zahvaljujem se obitelji, prijateljima i svima ostalima koji su bili uz mene cijeli studij.*

PETROLOŠKE I GEOKEMIJSKE ZNAČAJKE IZVORIŠTA STUDENOG POTOKA NA  
PLJEŠEVICI

MARTINA ŠALIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Na području Studenog potoka na Plješevici terenskim radom i mikropetrografskom analizom uzoraka stijena izdvojeni su jurski litofacijesi: L1 - Litofacijes svijetlih, rekristaliziranih vapnenaca; L2 - Litofacijes mikritnih vapnenaca; L3 - Litofacijes karbonatnih breča i permski litofacijes L4 - Litofacijes gipsa. Napravljene su mikropetrografske analize stijena, analiza potočnog sedimenta te analize vode. Analizama je utvrđena povezanost petroloških značajki stijena na istraživanom području s geokemijskim karakteristikama vode. Kemijske analize vode Studenog potoka pokazale su povišen sadržaj glavnih kationa, od kojih su najzastupljeniji kalcij i magnezij. Povišene koncentracije posljedica su toka potoka kroz karbonatne stijene. Iako se nedaleko izvorišta Studenog potoka nalazi olovno - cinčano orudnjenje, nisu utvrđene povišene koncentracije željeza, mangana i cinka. Dobiveni rezultati potvrđuju hipotezu da petrološke značajke stijena na području izvorišta Studenog potoka imaju značajan utjecaj na geokemijske karakteristike vode.

Ključne riječi: Studeni potok, Plješevica, litofacijesi, geokemija, jura

Diplomski rad sadrži: 67 stranica, 29 slika, 18 tablica, 2 priloga, 25 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Doc. dr. sc. Uroš Barudžija, RGNF

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Uroš Barudžija, RGNF  
Izv. prof. dr. sc. Marta Mileusnić, RGNF  
Izv. prof. dr. sc. Dunja Aljinović, RGNF

Datum obrane: 17. rujna 2015.

PETROLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF STUDENI STREAM  
SPRING ON PLJESEVICA MOUNTAIN

MARTINA ŠALIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Dept. of Mineralogy, Petrology and Mineral Resources  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

In the area of the Studeni stream in Pljesevica fieldwork and micropetrographic analysis of present rock samples singled out jurassic lithofacies: L1 - Lithofacies of bright, recrystallized limestones; L2 - Lithofacies of micritic limestone; L3 - Lithofacies of carbonate breccias and permian lithofacies L4 - Lithofacies of gypsum. Micropetrographic analysis of rocks, analysis of stream sediment and water analysis determined the close relationship between petrological characteristics of the rocks in the study area with the geochemical characteristics of water. Chemical analyzes of water Studeni stream showed increased concentration of major cations, of which the most common are calcium and magnesium. Increased concentrations are interpreted as a nonsequence of stream flow through carbonate rocks. Although source of Studeni stream is near lead - zinc plated ore deposit, there were not fortified increased concentrations of iron, manganese and zinc. The results confirm the hypothesis that the petrological characteristics of the rock in the area of the source Studeni stream have a significant impact on the geochemical characteristics of water.

Keywords: Studeni stream, Pljesevica, lithofacies, geochemistry, jurassic

Thesis contains: 67 pages, 29 figures, 18 tables, 2 enclosures, 25 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Uroš Barudžija, Assistant Professor

Reviewers: PhD Uroš Barudžija, Assistant Professor  
PhD Dunja Aljinović, Associate Professor  
PhD Marta Mileusnić, Associate Professor

Date of defense: September 17<sup>th</sup> 2015

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA</b> .....	2
2.1 GEOGRAFSKI SMJEŠTAJ ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	2
2.2 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	4
2.3 GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	8
2.4 TEKTONSKI ODNOSI NA ISTRAŽIVANOM PODRUČJU.....	14
2.5 HIDROGEOLOGIJA ŠIREG PODRUČJA RIJEKE UNE.....	17
<b>3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA</b> .....	21
3.1 TERENSKA ISTRAŽIVANJA.....	21
3.2 LABORATORIJSKE ANALIZE.....	22
3.2.1 Analiza uzoraka vode.....	22
3.2.2 Analiza potočnog sedimenta.....	29
3.2.3 Rendgenska difrakcija na prahu.....	37
3.3 MIKROPETROGRAFSKA ANALIZA.....	38
3.4 KREIRANJE GIS BAZE PODATAKA.....	40
<b>4. REZULTATI</b> .....	42
4.1. LITOFACIJESI ŠIREG PODRUČJA STUDENOG POTOKA.....	42
4.1.1 Litofacijes svijetlih, rekristaliziranih vapnenaca.....	42
4.1.2 Litofacijes mikritnih vapnenaca.....	43
4.1.3 Litofacijes karbonatnih breča.....	44
4.1.4 Litofacijes gipsa.....	45

4.2 VALUTICE IZ STUDENOG POTOKA.....	46
4.3 ANALIZA POTOČNOG SEDIMENTA.....	47
4.3.1 Granulometrijska analiza.....	47
4.3.2 Separacija mineralnih frakcija.....	49
4.4 GEOKEMIJSKE KARAKTERISTIKE VODE.....	50
4.4.1 Terenska mjerenja.....	50
4.4.2 Fizikalna svojstva vode.....	52
4.4.3 Kemijska svojstva vode.....	53
4.5 RENDGENSKA DIFRAKCIJA NA PRAHU.....	59
<b>5. DISKUSIJA.....</b>	<b>60</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>64</b>
<b>7. POPIS LITERATURE.....</b>	<b>65</b>

## POPIS SLIKA

<i>Slika 2.1</i> Geografski smještaj istraživanog područja.....	3
<i>Slika 2.2</i> Geološka karta okolice olovno – cinčane rude.....	6
<i>Slika 2.3</i> Geološka karta istraživanog područja - isječak iz OGK, list Drvar.....	8
<i>Slika 2.4</i> Isječak iz tektonske karte lista Drvar.....	14
<i>Slika 2.5</i> Vrelo Une.....	20
<i>Slika 3.1</i> Turbidimetar.....	23
<i>Slika 3.2</i> Multi 3400i Multimetar.....	24
<i>Slika 3.3</i> Shema ionsko – kromatografskog sustava.....	28
<i>Slika 3.4</i> Ionski kromatograf (ICS – 1000 Ion Chromatography System, Dionex).....	29
<i>Slika 3.5</i> Frantzov izodinamski separator.....	32
<i>Slika 3.6</i> Aparatura za separaciju magnetnih frakcija teškim tekućinama.....	35
<i>Slika 3.7</i> Polarizacijski mikroskop Leica DMLSP.....	38
<i>Slika 3.8</i> Prikaz točaka opažanja.....	40
<i>Slika 4.1</i> Litofacijes rekristaliziranih vapnenaca.....	42
<i>Slika 4.2</i> Mikrofotografija rekristaliziranog vapnenca.....	43
<i>Slika 4.3</i> Litofacijes mikritnih vapnenaca.....	43
<i>Slika 4.4</i> Mikrofotografija mikritnog vapnenca, djelomice rekristaliziranog.....	44
<i>Slika 4.5</i> Litofacijes karbonatnih breča.....	44
<i>Slika 4.6</i> Mikrofotografija karbonatne breče.....	45
<i>Slika 4.7</i> Mikrofotografija gipsa.....	45
<i>Slika 4.8</i> Valutice Studenog potoka.....	46



<i>Slika 4.9</i> Mikrofotografija dolomitiziranog oosparita.....	47
<i>Slika 4.10</i> Granulometrijske krivulje a) - f) potočnog sedimenta Studenog potoka.....	48
<i>Slika 4.11</i> Magnetna frakcija uzorka sedimenta 5163 izdvojena pri 1.2A.....	49
<i>Slika 4.12</i> Nemagnetna frakcija uzorka sedimenta 5160 izdvojena pri 1.2A.....	50
<i>Slika 4.13</i> Koncentracije glavnih kationa u ispitivanoj vodi.....	57
<i>Slika 4.14</i> Koncentracije glavnih aniona u ispitivanoj vodi.....	58
<i>Slika 4.15</i> Uzorak sedre iz potoka Joševica.....	59
<i>Slika 5.1</i> Količina vode na točki STUD 7 prilikom kretanja uzvodno (lijevo) i nakon povratka (desno).....	61

## POPIS TABLICA

<i>Tablica 3.1 Vizualno određivanje boje vode.....</i>	<i>22</i>
<i>Tablica 3.2 Kvaliteta vode prema tvrdoći.....</i>	<i>25</i>
<i>Tablica 3.3 Aproximativno određivanje klorida.....</i>	<i>26</i>
<i>Tablica 3.4 Aproximativno određivanje sulfata.....</i>	<i>26</i>
<i>Tablica 3.5 Standardni uvjeti pri magnetnoj separaciji.....</i>	<i>33</i>
<i>Tablica 4.1 pH vode.....</i>	<i>50</i>
<i>Tablica 4.2 Temperatura vode.....</i>	<i>51</i>
<i>Tablica 4.3 Električna vodljivost.....</i>	<i>51</i>
<i>Tablica 4.4 Boja vode.....</i>	<i>52</i>
<i>Tablica 4.5 Određivanje prozirnosti i mutnoće vode.....</i>	<i>52</i>
<i>Tablica 4.6 Vrijednosti mutnoće vode u NTU jedinicama.....</i>	<i>53</i>
<i>Tablica 4.7 Sadržaj CO<sub>3</sub> i HCO<sub>3</sub> u ispitivanoj vodi.....</i>	<i>53</i>
<i>Tablica 4.8 Tvrdoća vode izražena u njemačkim stupnjevima.....</i>	<i>54</i>
<i>Tablica 4.9 Dokazivanje klorida u ispitivanoj vodi.....</i>	<i>54</i>
<i>Tablica 4.10 Dokazivanje sulfata u ispitivanoj vodi.....</i>	<i>55</i>
<i>Tablica 4.11 Koncentracije Fe, Mn i Zn u ispitivanoj vodi.....</i>	<i>56</i>
<i>Tablica 4.12 Koncentracije glavnih kationa u ispitivanoj vodi.....</i>	<i>57</i>
<i>Tablica 4.13 Koncentracije glavnih aniona u ispitivanoj vodi.....</i>	<i>58</i>

## **POPIS PRILOGA**

*Prilog 1. Topografska karta s točkama*

*Prilog 2. Geološka karta s točkama*

## 1. UVOD

Studeni potok jedan je od brojnih pritoka rijeke Une, a čitavo područje njenog toka odlikuje se značajnim geološkim, hidrogeološkim i strukturnim odnosima.

Istraživano područje nalazi se u Lici, u blizini mjesta Donja Suvaja. Samo izvorište Une i ovoga potoka izvire podno planina Plješevice i Stražbenice. Izvor Studenog potoka nalazi se kontaktu donjetrijaskih crvenih tinjčastih pješčenjaka s laporovitim vapnencima i dolomitima, odnosno na kontaktu sajskih i kampilskih naslaga.

Metodologija istraživanja obuhvaćala je terenska istraživanja, laboratorijske analize vode i potočnog sedimenta te mikropetrografske analize.

Cilj ovoga rada je odrediti geokemijske karakteristike vode, petrološke karakteristike stijena i potočnog sedimenta, definirati litofacijese te kreirati GIS bazu podataka s dobivenim rezultatima.

Hipoteza ovoga rada je da petrološke značajke stijena na istraživanom području utječu na geokemijske značajke vode Studenog potoka.

Interpretacijom rezultata su uspoređivane petrografske značajke stijena i potočnog sedimenta te su povezivane s geokemijskim značajkama vode.

## 2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

### 2.1. GEOGRAFSKI SMJEŠTAJ ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Istraživano područje je Studeni potok, jedan od brojnih potoka koji pripadaju rijeci Uni. Una izvire u Zadarskoj županiji, nekoliko stotina kilometara od Zadra, u blizini mjesta Srb. Izvor Une smjestio se na 395,8 metara nadmorske visine u ličkom dijelu Zadarske županije, ispod padina planina Ličke Plješivice i Stražbenice u blizini mjesta Donja Suvaja u Općini Gračac. Tu na površinu izlazi voda koja ponire u široj okolici (prilog 1).

Izvor je u obliku okruglog, mirnog, modrozelenog jezera dubine preko 200 metara. Una se duž cijelog toka odlikuje iznimnom bioraznolikošću sa značajnim brojem reliktnih i endemskih vrsta (UNA, Spring of life).

Na svojem izvoru Una čini bajkovito plavozelena jezero okruženo šumom i visokim strmim liticama. Ovo na površini umirujuće jezero jedno je od najdubljih i najsnažnijih izvora ovoga područja, a prvi unski slap javlja se već 10-ak metara od izvora.

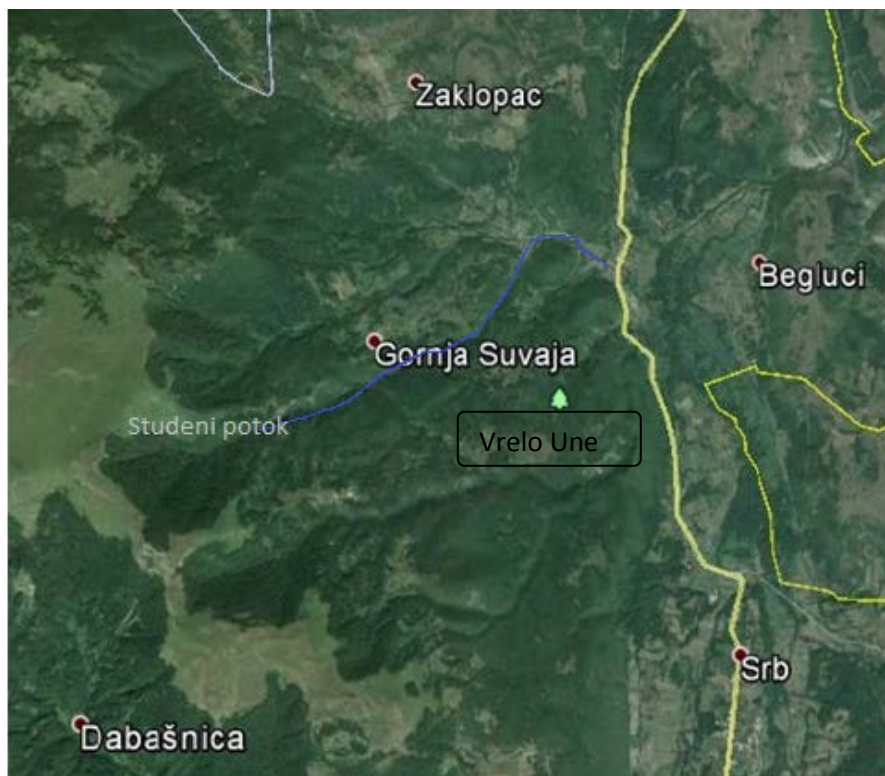
Istraživano područje i njegova šira okolica (slika 2.1) pripadaju Dinaridima, tj. ličkom sredogorju. Ličko sredogorje čini niz uzvišenja, ne većih od 1300 metara. Ova uzvišenja pružaju se poprečno kroz Liku, između više krških polja, usporedno s Velebitom i Plješivicom - do Gračaca na jugoistoku te Korenice na sjeveroistoku.

**Lička Plješivica (Plješevica)** je izduženi planinski vijenac koji se proteže kroz istočnu Liku u Hrvatskoj, a jedan njezin manji dio nalazi se na granici s Bosnom i Hercegovinom kod **Bihaća**. Plješivica se pruža u smjeru sjeverozapad - jugoistok, u dužini od više od 100 kilometara. Istočne padine Ličke Plješivice uzdižu se s **Koreničkog i Krbavskog polja**, a njezine istočne padine spuštaju se u **kanjon gornje Une**, koji je velikim dijelom granica između Hrvatske i Bosne i Hercegovine.

Masiv Ličke Kapele započinje brdom **Medvjedak** visine 884 m i njegovim 8 kilometara dugim grebenom, na području Plitvičkih jezera, gdje prestaju najistočniji grebeni **Male Kapele**.

Potom slijedi niz planinskih grebena i vrhova koji čine **Ličku Plješivicu u užem smislu**, s njezinim najvišim vrhovima **Ozeblinom (1657 m)** i **Golom Plješivicom (1647 m)**. Najjužnije veće planine ovoga masiva su **Kremen (1590 m)** i najjužniji **Poštak (1425 m)** iznad vrela Zrmanje, koje se često smatraju zasebnim planinama u skupini Ličke Plješivice.

Najznačajniji vrhovi Ličke Plješivice od sjevera prema jugu su: Gola Plješivica (1648 m) iznad Korenice, najviši Ozeblin 1657 m, Rudilisac (1611 m) kod Lapca te Kremen (1590 m) iznad Bruvna (Dinarsko gorje).



**Slika 2.1** Geografski smještaj istraživanog područja (<http://www.google.com/earth/>)

## 2.2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

F. Hauer (1868) prvi je prikazao geologiju ovog područja na geološkoj karti Like (Šušnjar & Bukovac, 1969).

F. Koch (1914a) izdaje geološku kartu Gračac – Rmanj u mjerilu 1:75000, koja je obuhvatila područja koja se nalaze na juozapadnom dijelu lista Drvar.

Koch smatra kako bi u geološkoj građi ovog područja trebali biti zastupljeni sljedeći litološki članovi: sedimenti paleozoika; donjeg, srednjeg i gornjeg trijasa te lijasa. Pojave gipsa, nađene u dolini Srba, permske su starosti. Dominantno zastupljene naslage dolomita na ovom području, trijasko su starosti.

Prema Koch-u, u strukturnom pogledu, ovaj dio terena trebao bi biti jednostavne građe, s većim rasjedima koji su uzrokovali pomak dubljih stratigrafskih članova. Primjer jednog takvog rasjeda je i „Unski rasjed“, duž kojega su otvorene naslage perma.

Stratigrafski članovi na listu Gračac - Rmanj su izdvojeni na temelju podataka o mikrofauni i litološkoj korelaciji. Zbog nevjerodostojnih podataka uslijedile su promjene u dijelu karte koji se odnosi na list Drvar (Šušnjar & Bukovac, 1969).

Ipak, izradom geološke karte - lista Banja Luka, mjerila 1:200000, F. Katzer (1921) je s većom istraženosti obuhvatio i geologiju lista Drvar. Prema ovoj karti, na listu Drvar, bile bi zastupljene naslage donjeg, srednjeg i gornjeg trijasa; lijasa, prijelaznih nivoa malm - donja kreda, krede i neogena (Šušnjar & Bukovac, 1969).

Katzer gipsne naslage u dolini rijeke Une smješta u donji trijas. Stijenske mase dolomita su prema litološkoj korelaciji smještene u trijas. S obzirom na stratigrafski razvoj na geološkoj karti, proizlazi da na listu Drvar nisu zastupljene naslage dogera i većeg dijela malma (Šušnjar & Bukovac, 1969).

Geološki prikaz jugozapadnog dijela Ličke Plješivice i Krbavskog polja dao je 1940. godine V. Čubrilović. Na geološkoj karti izdvojio je sajske i kampilske slojeve, diploporne vapnence, lijas te gornju juru (Šušnjar & Bukovac, 1969).

Na području lista Drvar su nakon Drugog svjetskog rata provođena i prospekcijska istraživanja na sljedeće mineralne sirovine: boksit, gips, ugljen i olovno – cinčane mineralizacije. No, ovim istraživanjem nije se postigao veći stupanj geološke istraženosti terena (Šušnjar & Bukovac, 1969).

A. Polšak i A. Milan (1961, 1962) dali su više podataka o geologiji Plješivice horizontiranjem pojedinih stratigrafskih članova trijasa, jure i krede.

Također, A. Polšak dao je i stratigrafski slijed krednih naslaga ličke Plješivice. Tada je opisao i mikrofacijese algi i foraminifera, određivši pritom i niz hipuritida.

A. Milan je 1965. izvršio korelaciju malma Ličke Plješivice, Senjskog bila i Velike Kapele te utvrdio da postoje različiti stratigrafski članovi malma na Plješivici (Šušnjar & Bukovac, 1969).

Bahun je 1985. godine provodio geološka istraživanja u dolini Une s ciljem određivanja stratigrafske pripadnosti klastita i evaporita. Stoga su izdvojene tri različite pojave, na tri različita mjesta.

1. Analizom geološkog profila od rijeke Une do sela Brotnja ustanovljeno je nekoliko litostratigrafskih članova:

- klastitidonjoverfenskih slojeva,
- laporoviti vapnenci i vapnenački lapori koji se kontinuirano nastavljaju na naslagedonjeg verfena,
- laporoviti dolomiti
- prema zapadu se ponovno nastavljaju klastiti,
- gusti, mjestimično laminirani dolomiti, koji odgovaraju gornjotrijaskim dolomitima,
- i na kraju slijede vapnenački makroklasti.

Ovaj teren je izgrađen od sedimenata donjeg, srednjeg i gornjeg trijasa i dio je naslaga koje su široko rasprostranjene na širem području Dinarida. Bahun smatra da ovim naslagama treba pripisati permsko - trijasku i donjotrijasku starost.

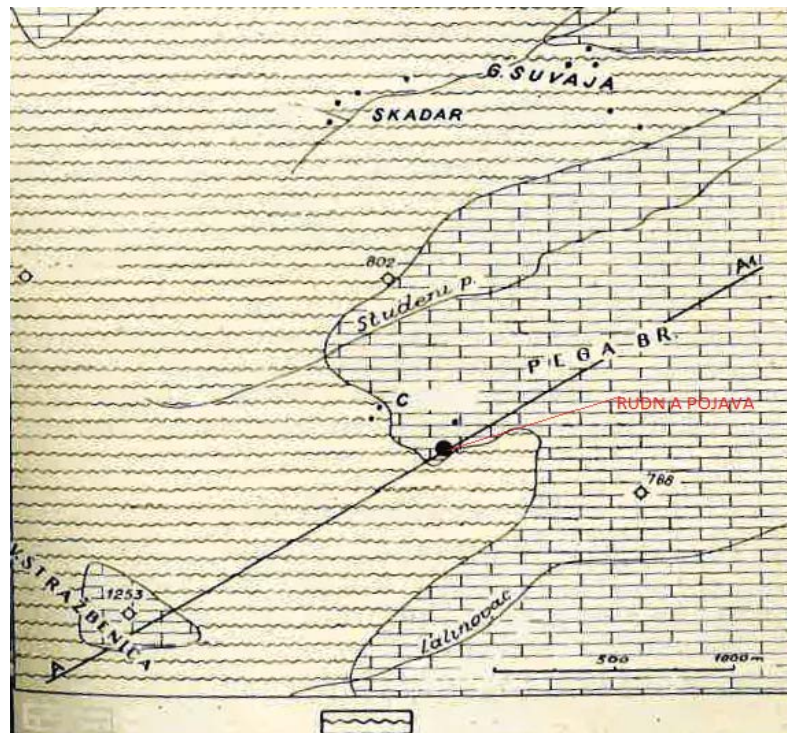
2. Uz cestu od Brotnje do brda Urljaj, cijelim putem se pojavljuju breče i brečokonglomerati. Ovdje se mogu razlikovati krupnozrnati klastiti s vapnenačkim fragmentima i vapnenačkim vezivom od klastita s vapnenačkim fragmentima i laporovitim vezivom. Bahun smatra da su ovi makroklastiti paleogenske starosti i da pripadaju Jelar formaciji.

3. Na mjestu ulaza potoka Srebrenice u dolinu Une nalazi se kontakt malmskih vapnenaca i klastita. To bi značilo da klastiti leže u krovini vapnenaca, na što upućuje rasjedni kontakt i dokazi navlačnih pokreta.

Sve navedeno potvrđuje utjecaj tektonike višeg stupnja kojim je formirana dolina Une. Mlađi tektonski pokreti uzrokovali su pomak autohtona - klastita i evaporita koji su probili alohton (Bahun, 1985).

Šinkovec je istraživao pojavu cinkove i olovne rude na Lisini kraj Srba u Lici. Tada je sa F. Trubeljom proveo reambulaciju geološke karte (1952) koja se odnosi na dio terena s orudnjenjem. Ova rudna pojava nalazi se sjeverozapadno od sela Srba, na sjeveroistočnoj padini Velike Stražbenice (slika 2.2).





**Slika 2.2** Geološka karta okolice olovno – cinčane rude (Šinkovec, 1956)

Barić i Tučan smatraju da je orudnjenje vezano za tektonske poremećaje, a nastalo je hidrotermalnim putem.

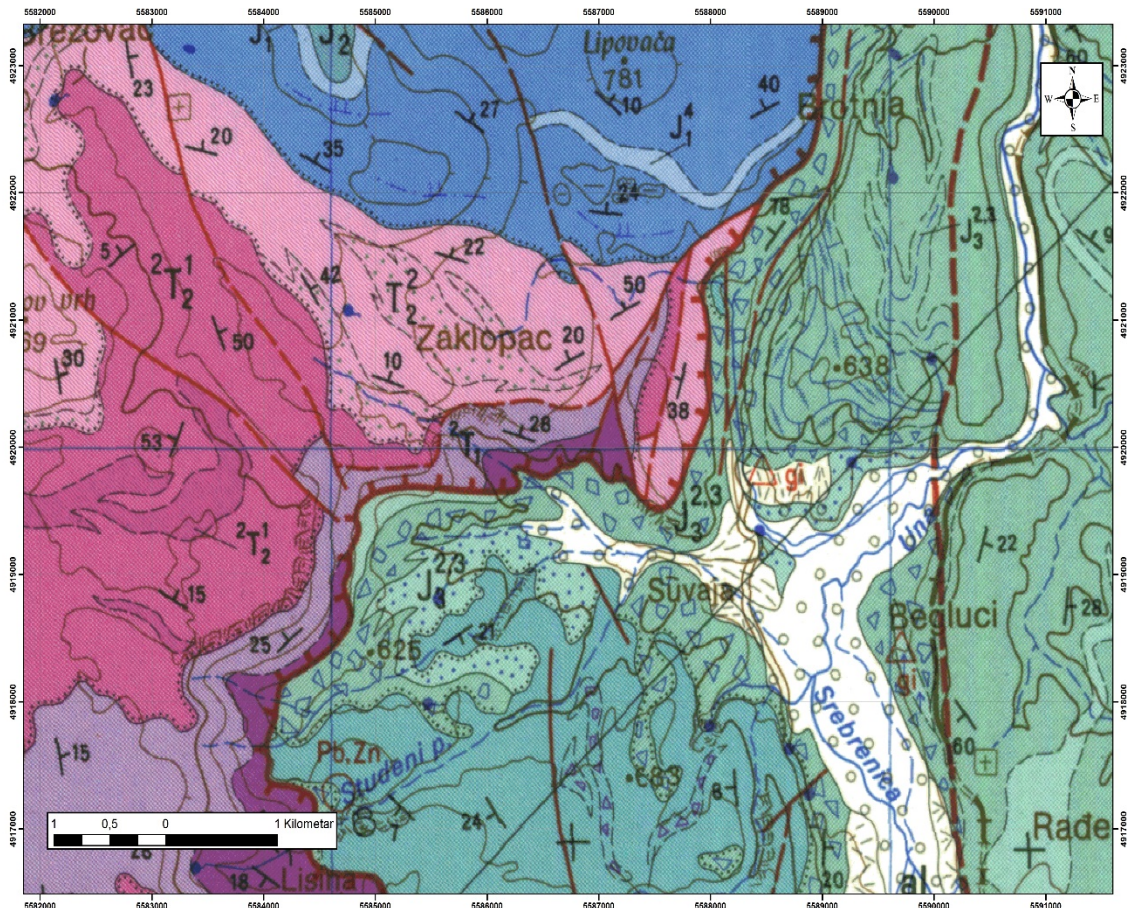
Orudnjenje se nalazi oko kontakta dvaju stratigrafskih jedinica: gornjo - verfenskih naslaga i anizičkih masivnih vapnenaca. Vapnenci koji se nalaze oko rudne pojave su slabo hidrotermalno izmijenjeni i djelomično prekrizalizirani, dok verfenski slojevi nisu izmijenjeni, ali se nalaze duž rasjeda te su kao i vapnenci zdrobljeni.

Nadalje, Šinkovec (1952) navodi da je rudna pojava malog prostiranja i otvorena plitkim istražnim oknima. Ruda u vapnencu je u obliku tanjih žilica i impregnacija. Makroskopski se mogu uočiti sfalerit i galenit za koje smatra da su nastali tako što su terme ascilirale duž tektonskog rasjednog kontakta kampilskih naslaga i anizičkih vapnenaca. Mineralna parageneza upućuje na nisku temperaturu kristalizacije (Šinkovec, 1956).

Hrvatski geološki institut je u okviru projekta „Geološka, hidrogeološka i geokemijska istraživanja područja Like“ izradio geološke karte šireg područja vrela Une, od kanjona Dabašnice do Dobrosela, te Stražbenice, Čemernice, Gornje i Donje Suvaje, Brezovca te Zaklopca u mjerilu 1:25000 površine 131 km<sup>2</sup>, kao i detaljnih geoloških karata u mjerilu 1:5000 odabranih područja vrela rijeke i izvora potoka Joševica (Kuhta i dr., 2006).

## 2.3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Geološka građa istraživanog područja odraz je složenih paleogeografskih i tektonskih odnosa. U nastavku će biti navedene i opisane kronostratigrafske jedinice koje nalazimo u okolici rijeke Une i njenih pritoka (prilog 2). Na tom području nalazimo stijene permske pa i kvartatne starosti uz hijatuse između pojedinih jedinica (slika 2.3).



**Slika 2.3** Geološka karta istraživanog područja - isječak iz OGK, list Drvar (Šušnjar & Bukovac, 1969)

Naslage *gornjeg perma* ( $P_3$ ) najstarije su stijene koje istraživanog područja. Rasprostranjene su na krajnjem istočnom dijelu istraživanog terena, u području Neteke i Donje Suvaje. Vezane su za regionalni Unski rasjed duž kojega su izdignute na površinu terena. Naslage permske starosti sastoje se od kvarcnih pješčenjaka, siltita, opučnjaka i gipsa. Kvarcni pješčenjaci koji su bogati tinjcima, s karakterističnom smeđom bojom na površini najčešći su litološki varijetet. Slojevitost se rijetko zapaža zbog složenih strukturnih odnosa na ovom području. Slojevi su debljine od 10 do 30 cm.

Uz pješčenjake javljaju se siltiti, koji se vrlo rijetko mogu naći na izdanku jer se lako troše u glinu, zbog čega je tlo koje prekriva permske naslage uglavnom glinovito i blatno. Siltiti su tamnije sivo - smečkaste boje, često listićavi. Važni su zbog svoje vodonepropusnosti (Kuhta i dr., 2006).

Opučnjaci ili "Rauchwacke" su trošni dedolomitizirane stijene i jedini su karbonatni član ovih naslaga na istraživanom području. Zbog procesa dolomitizacije i dedolomitizacije, te uslijed tektonike brečasta su izgleda. To su visokoporozne, šupljikave breče sastavljene od varijabilnih udjela nesortiranih, nezaobljenih i po površinama i uglovima korodiranih odlomaka vapnenaca, ranodijagenetskih dolomita, dedolomita i evaporita. Odlomci dolomita obično su manje ili više dedolomitizirani, a odlomci evaporita uglavnom potpuno izluženi, što stijenama daje šupljikavost. Često su izluženi i dedolomiti ili je iz njih drobljenjem odstranjena dolomitna masa, a nastale šupljine naknadno su ispunjenje kalcitom. Ove su stijene terestički sedimenti nastali zajedničkim djelovanjem tektonskog drobljenja, kolapsiranja i fizikalnog i kemijskog trošenja karbonatno -evaporitnih stijena i dedolomitizacije dolomita na površini Zemlje. Zbog procesa otapanja evaporitnih odlomaka, te dedolomitizacije kao i odstranjivanja dedolomitne mase, ove stijene dobivaju šupljikavu, celularnu građu.

Od evaporita prevladava gips koji, prema podacima iz bušotina u širem području, na dubini od 10 do 30 m prelazi u anhidrit. Bijele je boje, a nekad čak ima proslojke organske tvari i intenzivno je deformiran i boran.

*Trijaskе naslage* su heterogene, sastavljene od siliciklastita, karbonatnih klastita, vapnenaca, dolomita, rožnjaka i piroklastita. Karakterizira ih i prekid u sedimentaciji između ladinika i reta.

Na istraživanom području jasno se razlikuju dva nivoa donjeg trijasa, poznati kao sajski i kampilski nivo.

*Sajske naslage* rasprostranjene su u kanjonu Dabašnice i u njegovom nastavku prema sjeverozapadu, te u donjem dijelu padina koje se od Stražbenice i Čemernice spuštaju prema istoku i sjeveroistoku. Tu se one nalaze u čelu navlake, u čijoj su podini karbonati gornje jure.

Ove naslage su izgrađene od pločastih i tanko uslojenih crvenkasto-ljubičastih tinjčastih pješčenjaka tipa subarkoza i subgrauvaka, te crvenkasto - ljubičastih, rjeđe sivo -zelenkastih šejlova i tinjčastih šejlova. Mikroskopskim analizama utvrđeno je da se sedimentni detritus sastoji od kvarca, muskovita i feldspata, s ponešto klorita, apatita i drugih minerala. Mjestimice se u tinjčastim pješčenjacima opaža horizontalna, a rijetko i kosa laminacija. Na prijelazu u kampilske naslage vrlo rijetko se javljaju ooidni vapnenci tipa grejnston karakteristične crvenkasto - ljubičaste boje.

Debljinu ovih naslaga nije moguće točno definirati zbog toga što njena podina nije otkrivena, ali se može procijeniti na oko 200 metara.

*Kampilske naslage* nalaze se na već spomenutim područjima, u krovini sajskih naslaga. Male pojave kampilskih naslaga nalaze se uz rasjede pružanja sjever - jug na jugoistočnom dijelu terena. Na

ovom području izostaju debeli paketi lapora. Predstavljene su uglavnom glinovitim mikritnim vapnencima, tanko uslojenima do pločastima, mjestimice s izraženom horizontalnom laminacijom. Na presjeku su ovi vapnenci uglavnom sive boje, dok su na površini izdanka redovito žućkasti, zbog izlužene gline. Na slojnim plohama se može uočiti i bioturbacija. U najdonjem dijelu, na prijelazu u sajske naslage, nalazimo i sivo - zelene tinjčaste siltite. Tu se javljaju se i ooidni vapnenci. Mikroskopskim analizama utvrđeno je da se dotične stijene mogu determinirati kao ooidni i ooidno - skeletni grejnstoni. Ooidi su dobro sortirani, radialne građe te međusobno gusto pakirani. Skeletne čestice predstavljene su fragmentima školjkaša i češće gastropoda. Cement je mozaični sparitni. Tanji proslojci zelenkastih lapora nešto su češći u mlađem dijelu naslaga. U tom dijelu nalazimo i malobrojne proslojke kriptokristalastih ranodijagenetskih dolomita. Debljina kampilskih naslaga je otprilike oko 350 m (Šušnjar & Bukovac, 1969).

Naslage srednjeg trijasa slijede kontinuirano na naslagama donjeg trijasa. Izdvojena su tri paketa: anizički vapnenci i dolomiti, gornjoanizički – donjoladinički tufovi, tufiti i gomoljasti vapnenci te ladinički vapnenci i dolomiti.

Anizički vapnenci i dolomiti rasprostranjeni su u krovini kampilskih naslaga kao "krpe" na uzvišenjima Ravne Čemernice i Stražbenice u jezgri sinklinale, te kao kontinuirani pojas od Gutešina vrha do Zaklopca.

Prevladavaju vapnenci svjetlosive boje, uglavnom rekristalizirani, masivni ili debelo uslojeni sa slabije izraženim slojnim plohama. Dolomiti su rjeđi i predstavljene su uglavnom deblje uslojenim kristaliničnim kasnodijagenetskim dolomitima. Javljaju se i sivi i tamnosivi mikritni vapnenci, kao i sivi peloidno – intraklastični vapnenci tipa pekston, srednje do tanko uslojeni. Debljina anizičkih naslaga se može procijeniti na oko 500 m.

Tufovi, tufiti i gomoljasti vapnenci gornjeg anizika - donjeg ladinika prema OGK (Šušnjar & Bukovac, 1969) pripadali su ladiniku, no prema zadnjim istraživanjima trijasa ovog područja ispostavilo se da obuhvaća period gornjeg dijela anizika do prijelaza u ladinik. Također ih nalazimo i u uz rasjede pružanja SI - JZ.

Predstavljene su sivozelenim i maslinasto zelenim tufovima i tufitima, podređeno crvenkastim siltitima i šejlovima, s kojima se vertikalno i lateralno izmjenjuju sivi mikritnivapnenci. Ovi vapnenci mjestimice su silicificirani, a ima i pojava rožnjaka. Debljina im varira od 0 do 200 metara.

Ladiničke naslage nalazimo u isprekidanoj zoni od Paverovog vrha, preko Malog Lisca do Gornjeg Zaklopca. Ladiniku najvjerojatnije pripadaju i izdanci stijena koje izviruju iz kvartarnog nanosa u polju Brezovca Dobroselskog. Manje pojave ladiničkih naslaga nalazimo u sjevernom krilu sinklinale Dobrosela.

Ladinički karbonati kontinuirano slijede na piroklastično-karbonatnim naslagama gornjeg anizika - donjeg ladinika. Izgrađeni su većim dijelom od svjetlosivih vapnenaca, masivnih ili debelo uslojenih sa slabije izraženim slojnim plohama. Vapnenci su rekristalizirani i najčešće zrnaste peloidnegrađe (Šušnjar & Bukovac, 1969).

Uz vapnence, ladiničkim naslagama pripadaju i svjetlosivi srednje do krupnokristalični kasnodijagenetski dolomiti u obliku nepravilnih tijela ili leća unutar vapnenaca, a rjeđe i kao debeli kontinuirani intervali. Uglavnom su masivni ili debelo uslojeni, rjeđe tanko uslojeni. Debljina ladiničkih vapnenaca i dolomita može se procijeniti na 550 m.

Naslage *glavnog dolomita* gornjeg trijasa tvore usku zonu u južnom i sjevernom krilu sinklinale Dobrosela. Leže diskordantno na ladiničkim naslagama. Prekid u sedimentaciji u donjem dijelu trijasa karakterizira pojava boksita što je karakterističano za čitavo područje Velebita i Like. Obično se uz početak sedimentacije u gornjem trijasu veže pojava pješčenjaka, šejlova i konglomerata. U istraživanom području u podini glavnog dolomita nisu nađeni klastiti ili boksiti.

Vrlo gusta stromatolitna laminacija jedna je od najuočljivijih odlika glavnog dolomita. Ovi ranodijagenetski dolomiti mogu, naročito uz rasjedne zone, biti rekristalizirani u krupnokristalaste "šećeraste" dolomite. Ovi dolomiti su masivni ili sa slabo izraženom slojevitosti (Šušnjar & Bukovac, 1969).

Kao bočni ekvivalent dolomita, vrlo rijetko se javljaju tanko slojeviti tamnosivi vapnenci. Oni pripadaju strukturnim tipovima skeletni madston do vekston, ooidno –intraklastični grejnston i peloidni pekston. Debljina retskih naslaga vjerojatno je varijabilna i kreće se između 30 i 100 m.

*Jurske naslage* prekrivaju veliku površinu istraživanog terena. Mogu se vidjeti naslage donje i gornje jure, dok su naslage srednje jure vjerojatno prisutne samo ispod površine. Naslage jure slijede kontinuirano na retskim naslagama. Rasprostranjene su unutar sinklinale Dobrosela na širokom području od Jasenova vrha preko Kozjače do Ivanjovače. U najnižem dijelu ovih naslaga nalazimo dobro uslojene (slojevi 20 - 50 cm) vapnence s izmjenom sivih i tamnosivih madstona i peloidnih te peloidno - onkoidnih pekstona, rjeđe pekston - grejnstona, dijelom kasnodijagenetski dolomitiziranih. Također se javljaju i kasnodijagenetski dolomiti kao proslojci i kao nepravilne leće. Središnji i najdeblji dio ovih naslaga predstavljen je dobro slojevitim tamnosivim do skoro crnim vapnencima. Debljina lijaskih naslaga iznosi oko 500 m.

Naslage srednje jure - dogera nisu dokazane na površini istraživanog terena. Šušnjar i Bukovac (1969) potvrđuju prisustvo dogerskih naslaga u jezgri sinklinale Dobrosela. Također, ove naslage predstavljene su debelo uslojenim mikritnim vapnencima, te podređeno proslojcima srednjeznastih dolomita. Debljina naslaga je oko 450 m.

*Lemeške naslage* prisutne su samo na lokalitetu Međeđak sjeverno od Donje Suvaje gdje su u tektonskom kontaktu s okolnim naslagama. Izdanci su dosta rijetki.

Sastoje se od dobro uslojenih vapnenaca s lećama dolomita, zatim silicificiranih gomoljastih vapnenaca, te tankouslojenih vapnenaca s lećama i proslojcima rožnjaka. Debljina ovih naslaga varira, može doseći do 200 m (Šušnjara i dr., 1991). Ove naslage rasprostranjene su u antiklinalnoj strukturi Suvaja -Srb na visoravni Gornje Suvaje između doline Srebrenice i vrhova Stražbenice. Najvećim dijelom naslage gornje jure u ovom području predstavljene su svijetlim rekristaliziranim vapnencima, masivnim ili sa slabo izraženom slojevitošću.

Sitnozrnasti do krupnozrnasti kasnodijagenetski dolomiti nalaze se kao leće i proslojci, rjeđe kao nepravilna tijela unutar dolomita. Veće pojave dolomita nalazimo uz rasjede. Javljaju se i dolomitični vapnenci, nešto više u središnjem dijelu. Debljina gornjojurskih naslaga u području izvorišta Une iznosi oko 500 m.

Prema OGK, list Drvar (Šušnjar & Bukovac, 1969), u naslage malma uz karbonate pripadaju i Jelarske naslage (Pg, Ng) koje zauzimaju relativno usku zonu uz čelo navlake Čemernice i Unski rasjed. Ovo rasprostranjenje je povezano s nastankom Jelarskih breča koje predstavljaju litificirane siparišne breče vezane uz tektonske pokrete i izdizanja. Prema OGK, list Drvar, (Šušnjar & Bukovac, 1969) pripadaju gornjem malmu. Prema Bahunu (1985) ove naslage su mnogo mlađe.

*Jelarske naslage* su klastopotporne polimiktne breče vrlo karakterističnog pojavljivanja i građe. Neuslojene su i nesortirane. Klasti su uglati, samo vrlo rijetko slabo zaobljeni. Izgrađeni su od različitih tipova stijena koje se nalaze u širem području i koje su erodirane i ugrađene u ovu breču. Karakteristično je da u najnižim dijelovima breča nalazimo uglavnom klaste naslaga iz samog čela navlake ili krovinskog krila rasjeda, dok je u višim dijelovima sastav klasta vrlo heterogen. Litificiranost breča dosta varira.

Boja veziva je uglavnom crvenkasta do žućkasta. Kod dijelova terena gdje je Jelarska breča u kontaktu s donjotrijaskim klastitima, njeno vezivo je uglavnom glinovito, a samo dijelom karbonatno. Ovaj tzv. "glinoviti Jelar" karakterističan je za područje Suvaje i nije do sada opisan u literaturi. Slabije vezane breče relativno se lako troše i djelovanjem površinskih voda mogu prijeći u pjeskoviti šljunak .

Jelarske naslage dosta su tanke, mnogo tanje od onih na Velebitu. Maksimalna debljina im iznosi oko 50 m. Geološka starost im se ne može točno utvrditi, jer u vezivu breča nisu nađeni provodni fosili, pa je starost definirana kao paleogen, neogen.

*Kvartarne naslage* predstavljene su aluvijalnim i bujičnim nanosima, te zemljom crvenicom. Rasprostranjene su u dolinama rijeka i potoka: Une, Srebrenice, Joševice i dr. Predstavljene su glinama, pijescima i šljuncima. Debljine im nisu značajne.

Ove naslage karakterizirane su relativno sortiranim šljunkom s pločastim srednje zaobljenim valuticama koje se isključivo sastoje od naslaga gornjeg anizika i donjeg ladinika: zelenkastih tufova i tufita, te žućkastih i crvenkastih siltita. Transport i sedimentaciju obavljale su snažne bujice nastale od voda koje su se prelijevale preko nepropusne barijere od spomenutih trijaskih naslaga. Dodatno

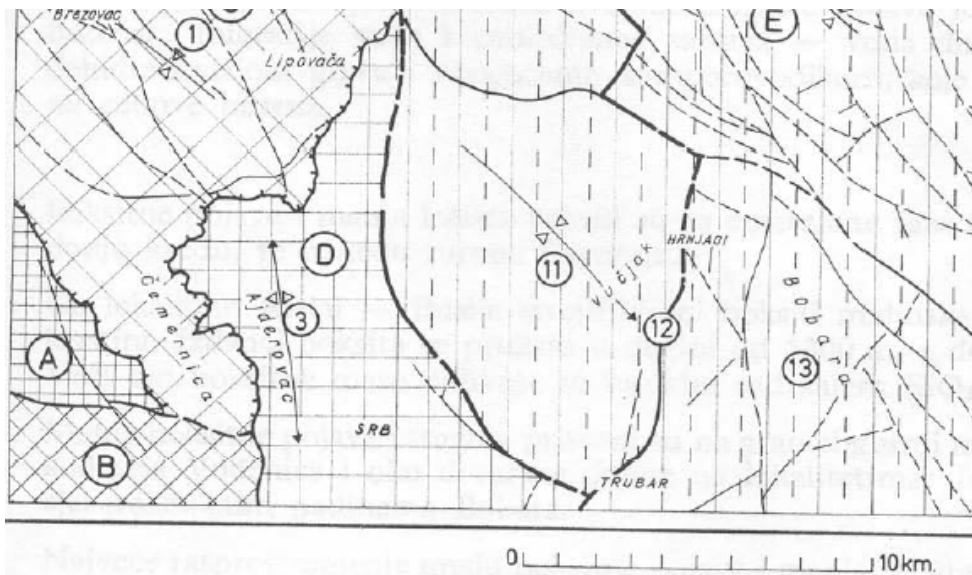
zaobljavanje vjerojatno su vršili kasniji bujični tokovi koji su ponirali u brojne ljevkaste ponore unutar polja. Debljina šljunaka doseže preko 5 m. Iz njih vire izdanci ladiničkihi lijaskih vapnenaca i dolomita. Zemlja crvenica nalazi se na dnu vrtača (Kuhta i dr., 2006).

## 2.4. TEKTONSKI ODNOSI NA ISTRAŽIVANOM PODRUČJU

Izvorišno područje rijeke Une pripada središnjem dijelu Dinarida, a strukturno-tektonski odnosi na ovim prostorima određeni su utjecajem velikih tektonskih jedinica u njegovom okruženju, a koje su uvjetovale osnovne strukturne i hidrogeološke značajke izvorišta Une i neposrednog zaleđa.

Značajne strukture nastale su dijapirskim prodorom evaporitno – klastično -karbonatnog kompleksa permske starosti. Ovim prodorom akcelerirani su blokovi te su u proksimalnom dijelu Unskog rasjeda pojedina čela navlaka i reversnih rasjeda ponegdje duga i do nekoliko kilometara.

Prema litostatigrafskim, paleogeografskim i strukturnim obilježjima izdvaja se sljedećih 5 jedinica (slika 2.4): Bruvno (A), Popina – Kom – Radučić (B), Čemernica – Kulen Vakuf (C), Srb (D) te Grmeč – Osječenica – Bobara (E).



**Slika 2.4** Isječak iz tektonske karte lista Drvar (Šušnjar i dr., 1969)

Prve četiri tektonske jedinice potječu iz relativno stabilnog prostora jugoistočne Like, kojemu paleogeografsko obilježje daju evaporitne naslage malma i prateći rubni facijes sedimentnih breča. Tektonska jedinica Čemernica - Kulen Vakuf prekriva zapadne dijelove terena lista Drvar. Izgrađena je od naslaga donjeg i srednjeg trijasa, lijasa, dogera i malma. Južni dio ove tektonske jedinice u području Čemernice predstavlja klasično čelo navlake. Ovdje se naslage donjeg trijasa nalaze u navlačnom kontaktu sa sedimentnim brečama malma tektonskih jedinica Bruvna i Srba.

Strukturne analize vrela Une ukazuju na alohtonost većeg dijela istraživanog terena koja se očituje i u nepravilnoj distribuciji položaja i nagiba slojeva koji se prate na površini terena. Azimuti pružanja slojeva kreću se u rasponu od preko 90° što je posljedica rotacije blokova tijekom mlađih kinematskih razdoblja. Submaksimumi azimuta 130 - 140° i 310 -320° objedinjavaju sustav rasjeda



koji se listrički - konkavno povijaju po dubini. Uz ovaj sustav rasjeda došlo je do polikomponentnog kretanja blokova, a inicirana su izdizanjem anhidritno - klastičnog kompleksa. Anhidritno - klastično - karbonatni kompleks na površini ograničava sustav subvertikalnih rasjeda (azimuta 90 - 100°) i blago su naglašene istočne vergencije. Ovi rasjedi na površini stvaraju lepezu subparalelnih pukotina koje se prema višim dijelovima terena postupno otvaraju (Kuhta i dr., 2006).

Posebno se ističu pukotinski sustavi s nagibom prema jugozapadu i sjeveroistoku. Pukotine su blaže položene i pripadaju sustavu koji je paralelan osnovi ravnini dinaridskih struktura. No, ovdje su dominantno prisutni poprečni pukotinski sustavi većeg nagiba ploha. Pružanja su im metarskih do dekametarskih dimenzija, a pripadaju mlađim kinematskim razdobljima kada je vladalo polje dispergirano stresa (Šušnjar & Bukovac, 1969).

Sa strukturnog i hidrogeološkog aspekta, najvažniji je masiv Čemernice koji je navlaka. U podini ove navlake nalaze se donjotrijaski klastiti i karbonati, a u krovini anizički dolomiti. Ova navlaka navučena je na gornjojurske vapnencena kojima leže Jelarske breče. Masiv Čemernice predstavlja sinklinalu blago položenih krila čija se os pruža u smjeru sjeverozapad - jugoistok.

Navlačna fronta Čemernice prema sjeveroistoku - istoku nosi manje erozijske ostatke Jelarskih breča. Debljina breča na ovom području manja je u odnosu na jugozapadni dio jer je dio breča erodiran, a neke su tektonski pokrivene.

Ova nalaka je blago povijena oko horizontalne osi te nagnuta prema sjeveroistoku i istoku. Drugi navlačni kompleks se na površini prostire od Suvaje na sjeveru do Neteke i Srba na jugu. Prema zapadu drugi navlačni kompleks pokriven je navlakom Čemernice, dok se na istoku mogu pronaći ostaci druge navlačne etaže (donjotrijaski i permski klastiti između vapnenaca i dolomita gornje jure).

I struktura Suvaja - Srb pripada drugoj navlačnoj zoni. Na sjeveru je to kilometarska antiklinala pružanja sjeverozapad - jugoistok. Krila antiklinale su blago položena i ponegdje presječena sustavom rasjeda pružanja sjeveroistok - jugozapad. U tjemenu dijelu antiklinale prema jugu, postupno se povećava indeks boranja i stisnutost krila. U krajnjem južnom dijelu ove antiklinale do izražaja je došlo zakretanje osi antiklinale prema jugu i redukcije druge navlačne zone. Unutar ovog strukturnog bloka formiran je izvor Une (Kuhta i dr., 2006).

Područjem između izvorišta rijeke Une i Joševice dominiraju pukotinski sustavi pružanja sjever - jug pružanja, nagnuti prema istoku. Pukotinske sustave često prate kataklazirani vapnenci i dolomiti ili monomiktne slabo vezane dolomitne breče. Ovi sustavi pukotina označavaju glavnu rasjednu zonu pružanja sjever - jug koja odvaja karbonatni jurski kompleks od evaporitno - klastičnog kompleksa permske starosti.

Drugi pukotinski sustav ovog područja, ograničenog je pružanja i s malo pukotina. Pruža se u smjeru sjeverozapad - jugoistok, a pukotine mogu iznositi i do nekoliko metara. Njegova pojava

vezana je za krajnji istočni dio područja gdje na površini dominiraju permski klastiti, a ispod površine anhidriti.

Strukturni odnosi uz izvor Joševica određeni su dominantnim rasjednim sustavima. Padovi slojeva orijentirani prema sjeveru - sjeveroistoku zauzeli su svoj položaj tijekom navlačenja prema jugu donjojurskih vapnenaca i dolomita. Ovaj kompleks je u reversnom kontaktu s kampilskim vapnencima i anizičkim dolomitima područja između Krčevine i Suvaje. Rasjedi pružanja sjeverozapad - jugoistok su u prethodnom kinematskom razdoblju imali jednak utjecaj na blokove u svojoj blizini kao i rasjedi u području vrela Une kojima je anhidritni kompleks iznesen na površinu po listričkim paraklazama (Kuhta i dr., 2006).

U sklopu ovog kinematskog mehanizmima iznešen je na površinu i dio lemeških naslaga koje se nalazi istočno od izvora Joševice. Ovdje su lemeške naslage, koje su krajnji istočni dio navlake Čemernice, po subhorizontalnoj paraklazi navučene na permske evaporitno - klastično - karbonatne naslage.

Sukladno dominantnim rasjednim sustavima u ovom području, imaju pružanje i nagib glavni pukotinski sustavi.

Pukotinski sustav pružanja istok - zapad ima najmanju zastupljenost u ovom području. Pukotine su subvertikalne, redovito otvorene 20 do 40 centimetara, bez ispune, ravnih ili slabo zaobljenih površina. Ovaj pukotinski sustav najzastupljeniji je na sjevernom dijelu područja izgrađenom od donjojurskih madstona (Kuhta i dr., 2006).

## 2.5 HIDROGEOLOGIJA ŠIREG PODRUČJA RIJEKE UNE

Ukupna dužina toka rijeke Une je 212 km, od kojeg se 116 km nalazi u Hrvatskoj. Prosječan pad iznosi 1,67%. U gornjem toku, od izvora do Bihaća ukupan pad iznosi 2,75%, odnosno gotovo 3 m po kilometru, te u ovom dijelu Una nosi obilježja planinske rijeke. Unski sliv je nepravilnog trokutastog oblika čija je dužina 125 km, a širina 115 km. Ukupna površina sliva Une iznosi 9.368 km<sup>2</sup> od čega području Republike Hrvatske pripada 16,86 km<sup>2</sup>. Njen hidrografski sustav čine tri izvora: glavni izvor kod naselja Donja Suvaja i dva manja, Velika i Mala Neteka. Ova tri izvora formiraju Unu koja kod mjesta Srb prima vode Srebrenice i manjih pritoka Ljaljnovac, Joševica i Sredica, te teče na sjever. Prvih dvadesetak kilometara toka Une pograničnog je karaktera. Gornji tok rijeke Une u Hrvatskoj se proteže na dvije općine: Općinu Donji Lapac u Ličko - senjskoj županiji te Općinu Gračac u Zadarskoj županiji. Izvorište i početna tri kilometra toka pripadaju Općini Gračac, a nastavak toka u RH pripada Općini Donji Lapac (Hudina i dr., 2008).

Hidrogeološka istraživanja na ovom području izvršena su od listopada 2005. godine do veljače 2006. godine. Istraživano područje prostire se od dubokog kanjona Dabašnice na jugu do područja Dobrosela na sjeveru, te između dolina Srebrenice, Une i potoka Joševica na istoku do vršnog grebena Čemernicena zapadu.

Izvorišno područje Une vrlo je složene geološke građe i strukturno - tektonski odnosa. Osnovna hidrogeološka karakteristika izvorišnog područja Une je njegova krška geološka građa te su tako glavne vodonosne sredine karbonatne naslage, dok zastupljene klastične i klastično - evaporitne naslage imaju uspornu funkciju.

Hidrogeološka svojstva stijena razvrstana su prema sljedećim kriterijima: vrsti stijena, tipu poroznosti, stupnju propusnosti, stupnju deformacija stijena na površini, te vodnim i morfološkim pojavama. Na temelju navedenih kriterija zastupljene stijene podijeljene su u grupe prema hidrogeološkim karakteristikama (Kuhta i dr., 2006).

### *1. Kvartarne naslage*

- osrednje propusnosti
- slabe propusnosti

### *2. Karbonatne stijene*

- dobre propusnosti
- osrednje propusnosti
- slabe propusnosti

### *3. Klastične stijene i evaporiti*

- pretežito nepropusne
- nepropusne.

*Kvartarne naslage* zastupljene su bujičnim nanosom, aluvijalnim nanosima i crvenicom. To su nevezane naslage s međuzrnskom poroznošću. S obzirom na hidrogeološke karakteristike svrstane su u dvije kategorije .

Bujični nanos pripada naslagama osrednje propusnosti. Transport i sedimentaciju materijala obavljale su snažne bujice koje su se prelijevale višeg karbonatnog terena preko nepropusnih naslaga trijasko starosti. Bujični nanos pokriva okršene ladiničke i lijaske vapnence te dolomite u podlozi. Debljina mu varira. Karbonatne stijene u podlozi imaju drenažnu funkciju pa se može pretpostaviti da bujični nanos zadržava vodu samo kratko nakon oborina (Kuhta i dr., 2006).

Slabo propusne kvartarne naslage čine crvenica na području Dobrosela i aluvijalni nanosi u dolinama Une, Srebrenice, Suvaje i Joševice. Aluvijalne naslage izgrađene su od gline, pijesaka i šljunaka.

*Karbonatne stijene* izgrađuju najveći dio ovog područja, a nalazimo stratigrafske članove od donjeg trijasa do tercijara. Izražene su pukotinske te ponegdje kavernozone poroznosti. Na stupanj propusnosti utječe petrografski sastav, strukturalna obilježja, intenzitet tektonskih deformacija i djelovanje egzogenih procesa, tj. intenzitet okršenosti. S obzirom na ove kriterije litostratigrafske jedinice razvrstane su u tri kategorije propusnosti: dobro, osrednje i slabo propusne stijene.

Dobro propusnim karbonatnim naslagama pripadaju anizičke naslage te sve litostratigrafske jedinice jurske starosti. Anizičke naslage izgrađene su od vapnenaca i dolomita, a raširene su na najvišim dijelovima Ravne Čemernice i Stražbenice, nalaze se u jezgri sinklinale.

Naslage donje jure rasprostranjene su unutar sinklinale, a sastoje se od dobro slojevitih sivih do crnih vapnenaca. Dolomiti se javljaju kao proslojci ili kao nepravilne leće unutar vapnenaca. Naslage srednje jure predstavljene su debelo uslojenim mikritnim vapnencima, te podređeno proslojcima srednjeznastih dolomita.

Naslage gornje jure nalaze se u antiklinali Suvaja - Srb na visoravni Gornje Suvaje, gdje izgrađuju neposredno područje izvora Une.

Karbonatne naslage karakterizira dobra propusnost zbog čega predstavljaju najznačajnije vodonosnike na istraživanom području, dok jurske omogućavaju pritjecanje podzemnih voda iz znatno šireg regionalnog prostora.

*Osrednje propusnim karbonatnim stijenama* pripadaju naslage donjeg trijasa - kampilske naslage, ladinika i Jelar breče tercijarne starosti.

Kampilske naslage čine zglinjeni do glinoviti mikritni vapnenci ponegdje s izraženim horizontalnim laminacijama. Ove naslage izgrađuju visoravan Ravne Čemernice i greben Stražbenice.

Ladiničke naslage čine svjetlosivi vapnenci te svjetlosivi srednje do krupnokristalasti kasnodijagenetski dolomiti.

Jelar breče prostiru se uskom zonom uz čelo navlake Čemernice te uz Unski rasjed. Klasti su izgrađeni od različitih tipova erodiranih stijena koje se nalaze u širem području, pa tako se u njima mogu naći odlomci gornjopermskih klastita te trijaskih ili jurskih karbonata. Lokalno se mogu javiti i solucijske šupljine (kanali i kaverne) u ovim stijenama.

*Slabo propusnim karbonatnim stijenama* pripadaju naslage gornjeg trijasa i gornjojurske Lemeške naslage.

Naslage Glavnog dolomita pojavljuju se u uskim zonama u sinklinale Dobrosela i karakterizirani su dolomitima s ritmičnom izmjenom dolomikrita i dolostromatolita.

Lemeške naslage pojavljuju se jedino na lokalitetu Međeđak sjeverno od Donje Suvaje, a u tektonskom su odnosu s okolnim naslagama. Ove naslage su pukotinske poroznosti.

*Klastične stijene i evaporiti* prostiru se relativno malim područjem, ali imaju važnu hidrogeološku funkciju jer predstavljaju pretežno nepropusne ili nepropusne stijene (Kuhta i dr., 2006).

Nepropusnim stijenama pripadaju stijene gornjeg anizika i donjeg ladinika. Predstavljene su sivozelenim i maslinastozelenim tufovima i tufitima, podređeno crvenkastim silitima i šejlovima, s kojima se vertikalno i lateralno izmjenjuju sivi mikritni vapnenci. Ovoj grupi stijena pripada i kompleks naslaga permske starosti i sajski klastiti. Gornjopermske naslage rasprostranjene su na krajnjem istočnom dijelu istraživanog terena, u području Neteke i Donje Suvaje. Njihovo izbijanje na površinu uzrokovano je izdizanjem istočnog krila Unskog rasjeda. Permske naslage predstavljaju temeljnu hidrogeološku barijeru kretanju podzemnih voda. Njihova pojava znatno je utjecala na pojavu najznačajnijih izvora razmatranog područja, posebice na samo vrelo Une. Sajske naslage prostiru se i uz rasjede pružanja sjeveroistok - jugozapad. Izgrađene su od pločastih i tanko uslojenih crvenkastoljubičastih tinjčastih pješčenjaka i crvenkastoljubičastih, rjeđe sivo-zelenkastih šejlova i tinjčastih šejlova. To su tipične vodonepropusne stijene.

Izvori na širem području rijeke Une uglavnom su silaznog tipa. Ovi izvori dreniraju lokalna područja i vodonosnike u kvartarnim naslagama ili se napajaju iz propusnih prosljaka unutar slabo propusnih i nepropusnih stijena, pa je i njihova izdašnost redovito vrlo mala. Većina izvora ima vrlo male izdašnosti, stoga nemaju veću hidrogeološku važnost (Kuhta i dr., 2006). Jači izvori nalaze se na sjeveroistočnim padinama Stražbenice i Čemernice, iznad naselja Gornja Suvaja, u dnu strmih jaraka. Glavna karakteristika im je postupno istjecanje i prirast protoka duž dna korita u dužini od preko 100 m. Najznačajniji izvori, s minimalnom izdašnosti većom od 10 l/s su vrlo Une, Joševica i Velika Neteka.

Na izvorišnom području rijeke Une glavni smjerovi kretanja vode podzemljem uvjetovani su odnosom antiklinala, sinklinala te uzdužnim i poprečnim rasjednim sustavima. Također, važno je naglasiti i litostratigrafske odnose i razvoj jedinica različitog sastava, strukturnih i teksturnih karakteristika te različitih hidrogeoloških svojstava.

Vrelo Une je krško vrelo smješteno u dnu dubokog i strmog kanjona dugog oko 600 m, koji se pruža iz doline Suvaje u smjeru jugozapada. Ono je formirano unutar grebenskih gornjojurskih vapnenaca i uzlaznog je tipa (slika 2.5).



***Slika 2.5 Vrelo Une***

### **3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA**

#### **3.1. TERENSKA ISTRAŽIVANJA**

Prije odlaska na teren potrebno je prikupiti korisne informacije o istraživanom području. To se odnosi na pristupačnost istraživanog lokaliteta, geomorfološke karakteristike, postojanost izvora vode, orudnjenja i sl. Također, važno je provjeriti da li su ranije provedena geološka istraživanja.

Za potrebe terenskih istraživanja korištena je Osnovna geološka karta - list Drvar (Šušnjar & Bukovac, 1969) i pripadajući tumač (Šušnjar & Bukovac, 1969) te OGK – list Udbina (Šušnjar & Bukovac, 1965) sa svojim tumačem (Šušnjar & Bukovac, 1965). Hrvatski geološki institut je tijekom 2005. godine provodio geološka, geokemijska i hidrogeološka istraživanja u Lici, na izvorišnom području Une, koji su dobra podloga ovom terenskom istraživanju.

Za rad na terenu potrebno je imati geološki čekić, geološki kompas, lupu, terenski dnevnik, fotoaparatus, GPS uređaj, topografsku kartu područja, pribor za označavanje uzorka te vrećice i bočice za spremanje uzoraka. U terenski dnevnik se unose podatci o točkama opažanja, opažanjima između točaka te informacije o uzorcima za daljnju analizu. Prilikom kretanja po terenu važno je stalno znati položaj i kretanje pratiti na karti.

Kad se dođe na određenu lokaciju, točka se ucrtava na kartu i potrebno ju je opisati prema odgovarajućim karakteristikama ovisno o tome da li je uzorkovan sediment, voda ili stijena. Za uzorak stijene potrebno je odrediti vrstu, ako je moguće izmjeriti i položaj sloja, opisati teksturu te odrediti strukturne elemente ukoliko su vidljivi. Potrebno je obratiti pozornost da se uvijek uzme dovoljna količina uzorka dostatna za sve analize koje će se provoditi na uzorku. Uvijek treba uzeti "svježi" uzorak stijene i pogledati ga lupom. Za uzorkovanje sedimenta nužno je imati lopaticu i vrećicu. Kod uzorkovanja potočnog sedimenta potrebno je paziti da je uzorak neporemećen. Uzorci stijena i potočnog sedimenta se pohranjuju u plastične vrećice koje se označavaju prema trenutačnoj lokaciji. Kod uzorkovanja vode prvo se izmjere pH, temperatura i električna vodljivost. Onda se uzima uzorak vode koji se pohranjuje u plastične boce. Nikad se ne uzima uzorak vode prije mjerenja navedenih parametara jer bi moglo značajno utjecati na vrijednost parametara, posebno električne vodljivosti.

Terenska istraživanja su provedena u travnju 2015. godine, na području Gornjeg Zaklopa gdje je kartiran Studeni potok i još nekoliko zajedničkih točaka. Na teren se odlazilo i zimi (u veljači) radi prospekcije terena, no teren je bio teško pristupačan zbog snijega. Kartirano je 10 točaka, od čega je na šest točaka uzorkovan sediment i stijena, na pet voda i na jednoj sedra. Nakon terenskih istraživanja slijede mikropetrografske i laboratorijske analize te u konačnici izrada GIS projekta sa dobivenim rezultatima.

## 3.2. LABORATORIJSKE ANALIZE

### 3.2.1. Analiza uzoraka vode

Analiza vode započinje terenskim radom, gdje se mjere određeni parametri kao što su pH, električna vodljivost, temperatura i zasićenost kisikom. Nakon in - situ mjerenja, uzimaju se uzorci vode i stavljaju u bočice, koje se po povratku s terena spremaju u hladanjak do analiza.

Prilikom analize vode (Mihanović & Perina, 1982) promatraju se njezina fizikalna i kemijska svojstva. Fizikalna svojstva čine: temperatura, boja, okus, miris, prozirnost i mutnoća. Kemijska svojstva vode čine: određivanje ukupnih primjesa vode, električna vodljivost, pH - vrijednost, kiselost i bazičnost vode, tvrdoća vode, određivanje iona, spojeva s dušikom, spojeva s klorom, anorganski zagađivači sl.

#### **Boja vode**

Za ovaj eksperiment uzimamo dvije visoke čaše od 250 ml. Jednu napunimo uzorkom vode, a drugu destiliranom vodom. Čaše stavimo na bijelu papir podlogu i boju vodenih uzoraka promatramo odozgo. Prema vrsti boje u tablici procijenimo nijansu (tablica 3.1).

**Tablica 3.1** Vizualno određivanje boje vode (Mihanović & Perina, 1982)

bezbojna	žutozelena
žučkasta	zelenkasta
žuta	zelena
žutosmeđa	zivožuta
smeđa	sivocrvena

#### **Prozirnost i mutnoća vode metodom križa**

Na dno menzure stavi se bijela pločica na kojoj su crnom bojom nacrtani križ i u svakom kvadratu crni kružić. Donji dio menzure osvijetli se jakim izvorom svjetla. U cijev se lagano ulijeva voda koja se ispituje i s gornjeg otvora gleda dno. Najveća visina vodenog stupca u centimetrima kroz kojise još jasno vide križ i kružići predstavlja prozirnost vode po toj metodi. Mutnoća se određuje i fotometrijski u specijalnim aparatima koji se zovu turbidimetri (slika 3.1).





**Slika 3.1** Turbidimetar

Turbiditet vode je optičko svojstvo koje uzorkuje raspršenje i apsorpciju svjetla, prije nego transmisiju. Raspršenje svjetla koje prolazi kroz kapljevину je u prvom redu uzorkovano suspendiranim krutim česticama. Što je turbiditet veći, veća je količina raspršene svjetlosti. Kako molekule u vrlo čistoj kapljevini raspršuju svjetlo do određenog stupnja, nijedna otopina nema turbiditet nula. Zraka svjetlosti koja prolazi kroz uzorak se raspršuje u svim smjerovima. Na intezitet i strukturu raspršenog svjetla utječu brojne varijable, poput valne duljine upadne svjetlosti, veličine i oblika čestica, indeksa refrakcije i boje. Optički sustav uključuje volframovu lampu sa žarnom niti, detektor raspršenog svjetla ( $90^{\circ}$ ) i detektor propuštenog svjetla ( $180^{\circ}$ ). Za raspon turbidimetra mikroprocesor instrumenta računa NTU vrijednost iz signala kojeg prikupe oba detektora koristeći efektivni algoritam.

### ***pH-vrijednost, električna vodljivost, temperatura***

Navedeni parametri mjereni su na terenu pomoću uređaja *Multi 3400 multimetar* (slika 3.2) sa sondama za mjerenje pH - vrijednosti (pH metar), električne vodljivosti (konduktometar). Svaka od navedenih sonda može mjeriti i temperaturu.



***Slika 3.2 Multi 3400i multimetar***

Prije mjerenja potrebno je provjeriti ispravnost instrumenta i sonda te kalibrirati instrument. Taj postupak je najbolje napraviti dan prije odlaska na teren. Na terenu se sonde povezuju na multimetar, koji se nakon toga pali te može započeti mjeriti. Sonda se uranja na sredini potoka na način da sonda bude potpuno uronjena. Nakon mjerenja rezultat se ispiše na ekran, te ga je potrebno zabilježiti u terenski dnevnik.

### ***Slobodna i ukupna bazičnost***

Bazičnost se određuje titracijom s jakim kiselinama. Količina jake kiseline potrebna da se pH snizi do 8,3 naziva se slobodna bazičnost, a ukupna količina kiseline potrebna za postizanje pH-vrijednosti od 4,5 čini opću ili ukupnu bazičnost (Mihanović & Perina, 1982).

U Erlenmeyerovu tikvicu od 250 ml stavi se 50 ml uzorkovane vode. Bireta se napuni kloridnom kiselinom. U uzorak vode doda se 0,25 ml fenolftaleina i titrira do nestanka boje indikatora. Volumen utrošene kloridne kiseline je slobodna bazičnost.

Drugih 50 ml uzorkovane vode stavi se u Erlenmeyerovu tikvicu i doda se 0,25 ml otopine metiloranža. Otopina se titrira kloridnom kiselinom do promjene boje od žute do smeđožute. Volumen utrošene kloridne kiseline je opća bazičnost.

### **Kompleksometrijsko određivanje tvrdoće**

Ovom metodom određuje se ukupna tvrdoća. Volumen od 50 ml ispitivane vode stavi se u Erlenmeyerovu tikvicu od 250 ml, dodaje se 2,5 ml tampona i 0,25 ml otopine eriokrom – crnila T. Otopina se zagrije na 40 °C i titrira se s 0,02 M otopinom kompleksona (Na<sub>2</sub>H<sub>2</sub>Y), dok se crvena boja indikatora ne promijeni ljubičasto – modu. Tvrdoća vode se izražava u miligramima kalcij – karbonata ili kalcij – oksida na litru vode. U raznim zemljama upotrebljavaju se različiti stupnjevi tvrdoće (tablica 3.2).

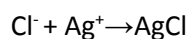
**Tablica 3.2** Kvaliteta vode prema tvrdoći

<b>Kvaliteta vode</b>	<b>Tvrdoća vode u njemačkim stupnjevima</b>
Vrlomeka	0–5°
Meka	5–10°
Umjerenotvrda	10–15°
Tvrda	15–25°
Vrlotvrda	>25°

### **Polukvantitativno i kvantitativno određivanje klorida**

Približna procjena klorida ili polukvantitativno određivanje izvodi se prema procjeni količini taloga srebro – klorida .

U jednu trećinu epruvete ulijemo ispitivanu vodu te dodamo nekoliko kapi nitratne kiseline i 1-2 kapi otopine srebrova – nitrata AgNO<sub>3</sub>. Nastaje slabo замуćenje ili bjelkasti talog (tablica 3.3) nastalog srebrova – klorida, AgCl:



**Tablica 3.3** Aproximativno određivanje klorida

Masena koncentracija, $\gamma(\text{AgCl})$ [mg/dm <sup>3</sup> ]	Opažanja
2–10	opalescira
10–15	Opalescentno zamućenje
15–20	slabo zamućenje
20–30	srednje zamućenje
30–80	jače zamućenje
80–150	jako zamućenje
150–300	pahuljasti talog
>300	bijeli sirasti talog

**Polukvantitativno i kvantitativno određivanje sulfata**

Metode za određivanje sulfata zasnovane su na slaboj topljivosti  $\text{BaSO}_4$  u vodi. U epruvetu se ulije uzorkovana voda zatim se doda nekoliko kapi kloridne kiseline i otopine barij klorida,  $\text{BaCl}_2$ . Nastaje slabo zamućenje bijele boje. To je dokaz da su u vodi prisutni sulfati, koji s barijevim ionima,  $\text{Ba}^{2+}$ , daju teško topiv talog barijevog sulfata,  $\text{BaSO}_4$  (tablica 3.4).

**Tablica 3.4** Aproximativno određivanje sulfata

Masena koncentracija, $\gamma(\text{BaSO}_4)$ [mg/dm <sup>3</sup> ]	Opažanja
20	slaba opalescencija
30	slabo zamućenje
50	jako zamućenje
100	zamućenje s malo taloga
200	jako zamućenje s talogom
500	odmah se stvara talog
1000	talog koji se odvaja od tekućine

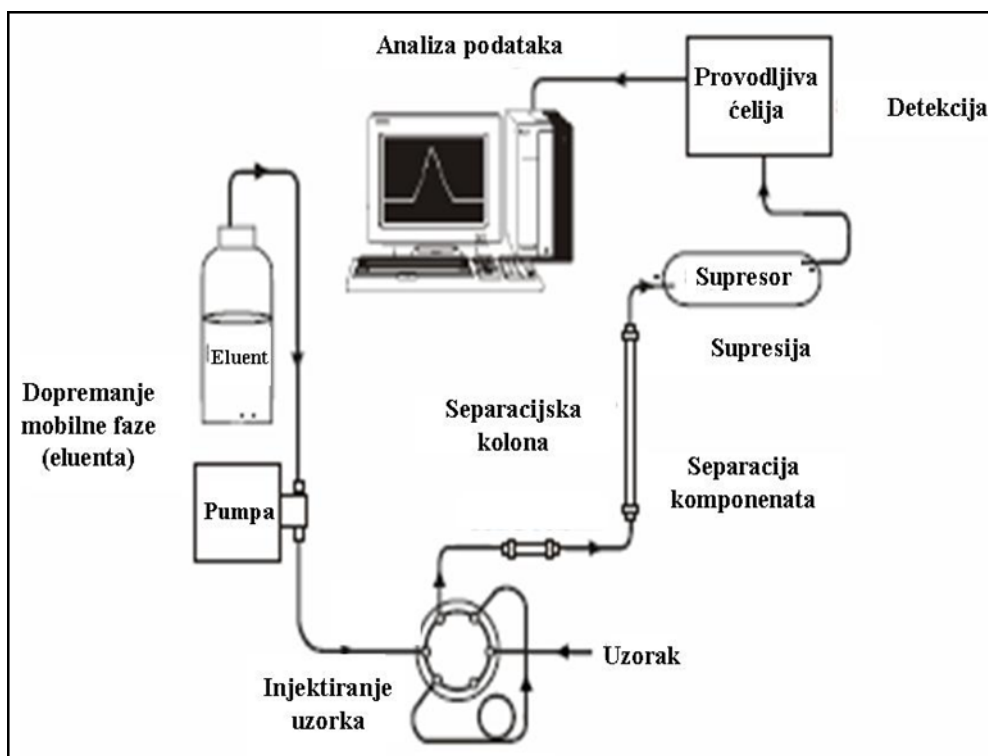
### **Kvantitativno određivanje željeza i mangana**

Kvantitativno određivanje iona željeza i mangana izvodi se emisijskom spektroskopijom (AES). AES metoda temelji se na automatizaciji i pobuđivanju atoma u uzorku pomoću plamena. Pobuđeni atomi emitiraju elektromagnetsko zračenje karakterističnih valnih duljina, koje se bilježe detektorom. Emitirano zračenje ulazi u monokromator, gdje je rastavljeno na pojedine valne duljine, a intenziteti su mjereni pomoću Solid state detectora koji se sastoji od poluvodiča kao što su Si ili Ge. Signal se prenosi u računalo, a količina atoma se određuje pomoću kalibracijske krivulje. Veće zabilježena energija u detektoru analogna je većoj koncentraciji ispitivanog elementa.

Odmjerne tikvice volumena 50 ml dopunjenje su PBF vodom, dodano je 1 ml pufera (CsCl) za pripremu standarda za određivanje iona  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ .

### **Određivanje aniona ionskim kromatografom**

Ionska kromatografija (IK) je tekućinska kromatografija na stupcu kojoj se separacijski mehanizam temelji na fenomenu ionske izmjene na nepokretnoj fazi s aktivnim pozitivno ili negativno nabijenim funkcionalnim grupama. Odlikuje se visokom selektivnošću, osjetljivošću, brzinom i simultanom detekcijom. Tipični ionsko kromatografski sustav sastoji se od pumpe za pokretanje mobilne faze, nepokretne faze (predkolone i kolone), injektora, supresora, detektora i računala za vođenje analize i obradu podataka (slika 3.3).



### **Slika 3.3** Shema ionsko kromatografskog sustava

Ionskim kromatografom utrđivala se prisutnost sljedećih aniona:  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $Br^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ .

Ionski kromatograf (*ICS-1000 Ion Chromatography System, Dionex*) je softverski vođen (slika 3.4). Pokretanjem *Cromeleon* softvera uzorak vode injektiramo u uređaj. Identifikacija iona utvrđena je vremenom zadržavanja iona u koloni odnosno usporedbom vremena zadržavanja aniona u uzorku s vremenom zadržavanja odgovarajućih ion standarda. Anion fluora javlja se nakon 2,177 minuta, klor 2,970 minuta, nitrita 3,447 minuta, broma 4,270 minuta, nitrata 4,837 minuta, fosfata 6,237 minuta, sulfata 7,710 minuta.



**Slika 3.4** Ionski kromatograf (*ICS-1000 Ion Chromatography System, Dionex*)

### **3.2.2. Analiza potočnog sedimenta**

Nakon uzimanja uzoraka potočnog sedimenta na terenu, uzorci su pohranjeni u plastične vrećice. Dolaskom u laboratorij, dio uzorka potočnog sedimenta stavljen je u porculanske zdjelice zatim iosušen tijekom 24 satana sobnoj temperaturi. Nakon sušenja na sobnoj temperaturi, od svakog uzorka odvagano je 100 grama li osušeno na temperaturi od 104°C. Nakon sušenja na temperaturi od 104°C, izračunat je udio vlage u svakom uzorku. Osušeni uzorke pripremti su bili spremni za granulometrijske analize.

### **Granulometrijske analize**

Granulometrijske analize koriste se za određivanje veličine čestica te određivanje njihovog udjela u ukupnoj masi. Postoji nekoliko metoda određivanja veličina čestica. Za potrebe ovog diplomskog rada veličinu zrna određivali smo mokrim sijanjem. Sijanje se može obavljati rupičastim, pletenim ili laboratorijskim sitima i mikrositima, što ovisi o rasponu veličine zrna uzorka. Pletena ili laboratorijska sita imaju okrugao oblik i kvadratne otvore, odnosno metalnu mrežu postavljenu u limenom okviru. Uzorak se sije kroz određeni broj sita, koja se slože jedno na drugo tako da donje sito ima najmanje otvore, a gornje najveće. Ispod donjeg sita stavlja se posuda. Izborom sita i njihovim slaganjem po vertikali postići ćemo razdjeljivanje uzoraka u više frakcija. Pojedina frakcija predstavlja ona zrna koja su ostala na situ, dakle veličina tih zrna nalazi se između vrijednosti otvora prethodnog sita i vrijednosti otvora sljedećeg sita. Kada je sijanje završeno, materijal sa svake frakcije stavljamo na laboratorijsko stakalce te stavljamo na sušenje na 110 °C. Nakon sušenja uzoci svake frakcije se važu.

Materijal koji se zaustavio na dnu kompleta sita naziva se prosjev. Prosjev stavljamo u staklene čaše te stavljamo na sušenje. Prosjevom dobivamo težinske udjele i količinu materijala koja je prošla kroz najmanje sito i ostala kao prosjev na dnu kompleta sita.

### ***Pipetna metoda***

Pipetna metoda koristi se za određivanje udjela granulometrijskih frakcija silta i gline. Pipetnom metodom mjerimo težinske udjele. Taloženje čestica temelji se na Stocksovom zakonu. Prema tom zakonu, veće čestice tonu brže od manjih čestica kada su suspendirane u tekućini.

Cilindar za sedimentaciju nadopuni se vodom do oznake. Nakon toga cilindar se energično mućka 1 minutu staklenim štapom s gumenim čepom. Nakon minutnog mućkanja cilindar se ostavi da miruje, čestice tla u suspenziji se počinju taložiti. Brzina taloženja ovisi veličini čestica, što znači da će se najprije istaložiti najkrupnije, a zatim postepeno sve sitnije čestice. Pri temperaturi od 20°C čestice veličine 0,02 mm prelaze put od 10 cm za vrijeme od 4 minute i 48 sekundi, dok čestice gline pređu put od 5 cm za 4 sata taloženja. Pipetom odpipetira se 10 ml suspenzije dubine 10 cm od površine nakon 4 minute i 48 sekundi i sadržaj pipete ispusti u osušeni, ohlađeni i izvagani porculanski lončić. Sadržaj se suši u sušioniku do konstantne težine. Na taj način dobili smo frakciju čestica < 20 µm, tj. glinu i prah.

Cilindar za sedimentaciju ponovno se dobro promućka i ostavi u suspenziji da se taloži 4 sata. Nakon točno 4 sata otpipetirali smo 10 ml suspenzije s dubine od 5 cm i sadržaj pipete ispustili u osušeni, ohlađeni i izvagani porculanski lončić, te stavili sušiti u sušionik do konstatne težine. Na taj način dobili smo udio gline. U svaki cilindar ulili smo 25 ml natijevog pirofosfata ( $\text{Na}_4\text{P}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Potrebo je napomenuti da od odvage suhog ostatka nakon prvog i drugog pipetiranja treba oduzeti količinu otopljenog Na – pirofosfata u 10 ml suspenzije, koja iznosi 0,0067 g.

Udio gline računa se na temelju težine odpipetiranih 10ml nakon 4 sata s dubine od 5 cm:

$$\% \text{ gline} = (\text{masa u 10 ml} - \text{masa pirofosfata u 10 ml}) \cdot 100 / \text{težina uzoraka za proračun}$$

Udio praha računa se na temelju odpipetiranih 10 ml nakon 4 minute i 48 sekundi, s dubine od 10 cm (potrebno je uzeti u obzir da je u masi osušenog odpipetiranog uzorka i glina) prema formuli:

$$\% \text{ praha} = (\text{masa u 10 ml} - \text{masa pirofosfata u 10 ml} - \text{masa gline bez pirofosfata}) \cdot 100 / \text{težina uzorka za proračun}$$

### **Metode separacije teške i lake mineralne frakcije**

Za izdvajanje mineralnih sastojaka pijeska i pješčenjaka na sastojke lake i teške mineralne frakcije koriste se teške tekućine. Udio teških minerala u pijescima i pješčenjacima obično je mali u odnosu na mineralni sastav lake frakcije. Glavni minerali lake frakcije jesu kvarc, feldspati, biotiti i muskovit. Broj mineralnih vrsta je obično velik. Većina teških minerala u pijesku ili pješčenjaku ima male dimenzije i nalazi se u najsitnijoj frakciji pijeska i to stoga što su teški minerali najčešće samo akcesorni, sitni mineralni sastojci u matičnim stijenama, ali i zato što su im dimenzije smanjene prilikom trošenja i prijenosu detritusa. Za ovu analizu korištene su frakcije od 0,25 – 0,125 mm i 0,125 – 0,063 mm.

Prije postupka izdvajanja teških minerala potrebno je pijesak ili pješčenjak prosijati mokrim sijanjem kroz odgovarajuća laboratorijska sita. Nakon sušenja pristupa se izdvajanju ili separaciji.

Postoje tri osnovne metode separacije mineralnih sastojaka:

1. biranje zrna pomoću povećala ili stereomikroskopske lupe
2. separacija teškim tekućinama i
3. magnetska separacija

Mokrim sijanjem dobili smo frakcije od 0,25 – 0,125 mm i 0,125 – 0,063 mm. Zatim je uslijedila magnetna separacija, a nakon nje napravljena je separacija teskim tekućinama. Stoga će navedene metode biti detaljno opisane.

### **Magnetna separacija**

Magnetna separacija se bazira na svojstvu magnetskoga susceptibiliteta, tj. na mogućnost minerala da se u polju magneta djelomično magnetiziraju. Svojstvo specifičnog magnetskog susceptibiliteta je odnos intenziteta magnetiziranja minerala i jačine magnetskog polja. Specifični magnetni susceptibilitet predstavlja omjer jediničnog volumena susceptibiliteta i gustoće minerala.

Susceptibilitet ovisi o magnetskom momentu određenih iona i o njihovoj koncentraciji i svakome pojedinom mineralu, posebice za ione dvovalentnog i trovalentnog željeza i mangana.



Instrument koji koristimo za separaciju minerala koristeći magnetni susceptibilitet je magnetni separator koji se, prema konstruktoru naziva „Frantzov izodinamski magnetski separator“ (slika 3.5). Magnetni separator sastoji se od elektromagneta čiji su polovi tako određeni da je između njih dugačak otvoren prostor koji se postupno proširuje.



*Slika 3.5 Frantzov izodinamski magnetski separator*

Prva separacija minerala na osnovi specifičnog magnetskog susceptibiliteta događa se za vrijeme vertikalnog pada zrna iz lijevka u koji se usipa rasuti uzorak. Lijevak se pritom potresa tresalicom kako bi se ostvario stalni pad čestica. Prilikom slobodnog vertikalnog pada zrna se nalaze u polju magneta te se odjeljuju tako da se ona s jačim specifičnim magnetnim susceptibilitetom jače magnetiziraju, a ona s manjim slabije. Ona se i fizički odijele prilikom pada u žljeb. Žljeb je dugačak oko 30 cm i prolaskom duž njega zrna će se dalje odjeljivati na osnovi specifičnog magnetskog susceptibiliteta sve dok ne završe u dva odijeljena spremnika - jednom crne boje za dijamagnetičnu frakciju zrna i drugom, svijetle boje za magnetsku frakciju zrna.

Na različitim uzdužnim stranama žljeba u kojem se zrna nađu nakon vertikalnog pada nalazi se magnet te se tijekom prolaska duž žljeba zrna dalje magnetiziraju i razdvajaju zahvaljujući specifičnom magnetskom susceptibilitetu, tj. zahvaljujući mogućnosti da se jače ili slabije magnetiziraju.

Žljeb je konstrukcijski izveden tako da nakon otprilike prve trećine njegove dužine postoji usko izbočenje kojim se on dalje dijeli u dva uzdužna kanala. Elektromagnet se zajedno s žljebom može oko uzdužne osi nagibati za točno određeni kut, a jednako tako i oko poprečne osi postavljati od horizontalnog do kosog položaja. Biranjem toga poprečnog, postranog nagiba žljeba i brzinom

vibracija regulira se brzina kretanja mineralnih zrna duž kanala, a promjenom uzdužnog nagiba kanala i promjenom intenziteta magnetskog polja u ovisnosti o promjeni jakosti struje regulira se privlačenje magnetskih minerala prema odabranoj magnetskoj susceptibilnosti. Na taj način minerala zrna, pri putovanju duž nagnutog žljeba, nailaze na magnetsko polje ona s nižom susceptibilnošću nastavljaju putovati nepromjenjenom putanjom, tj. donjim kanalom, a ona s višom susceptibilnošću budu privučena prema magnetu i skreću svoj tok kretanja u gornji kanal. Na kraju kanala postavljene su dvije posudice u koje se nasipaju magnetski, odnosno nemagnetski minerali.

**Tablica 3.5** Standardni uvjeti pri magnetnoj separaciji

Postrani nagib 20°			Postrani nagib 5°	
Magnetska fr. 0.4 A	Magnetska fr. 0.8 A	Magnetska fr. 1.2 A	Magnetska fr. 1.2A	Nemagnetskafr. 1.2A
ilmenit	hornblenda	diopsid	titanit	cirkon
granat	hipersten	tremolit	leukoxen	rutil
olivin	augit	enstatit	apatit	anatas
kromit	aktinolit	spinel	andaluzit	brukit
kloritoid	staurolit	staurolit (hell)	monazit	pirit
	epidot	muskovit	xenotim	korund
	biotit	coisit		topaz
	klorit	klinocoisit		fluorit
	turmalin (dunkel)	turmalin (hell)		disten
				silimanit
				anhidrit
		beril		

Budući da se promjenom uzdužnog kuta nagiba kanala i promjenom jačine magnetskoga polja može po volji mijenjati susceptibilnost, to će se za već male razlike vrijednosti susceptibilnosti minerala moći obaviti njihova magnetska separacija. Naime, iz tablice s vrijednostima kuta uzdužnog i poprečnog nagiba kanala, kao i intenziteta magnetskog polja u ovisnosti o promjeni jakosti struje, te vrijednosti magnetske susceptibilnosti svakoga pojedinog minerala gotovo svi minerali mogu se odijeliti u manje magnetsku i više magnetsku frakciju, tj. u kanalu skretanjem putanje u magnetskome polju međusobno odijeliti u dvije grupe.

Jačina magnetiziranja ovisi i o jačini struje stoga se na svakom izodinamskom separatoru moraju podesiti, jačina struje, uzdužni - prednji nagib, postrani nagib, te jačina trešnje. Uvjeti kod kojih se može postići separacija određenih minerala sumirani su u tablici 3.5.

### **Separacija teškim tekućinama**

Za separaciju ili izdvajanje pojedinih mineralnih sastojaka teškim tekućinama služe se tekućine velike gustoće. Najčešće teška tekućina u upotrebi je bromoform. U svakoj od takvih tekućina minerala se zrnca izdvajaju u dvije skupine: na mineralne sastojke koji imaju veću gustoću od tekućine pa u njoj tonu i na minerale manje gustoće od tekućine pa plivaju na površini te tekućine. Ako gustoća tekućine točno odgovara gustoći nekog minerala, takvo će zrno lebdjeti u tekućini.

Izborom pogodnih teških tekućina i njihovim razrjeđivanjima odgovarajućim otapalima iz bilo kojeg uzorka može se izdvojiti više grupa minerala bilo iz teške bilo iz lake frakcije pijeska, čime sužavamo broj vrsta minerala u svakoj grupi, a to olakšava njihovu mikroskopsku identifikaciju.

Standardne teške tekućine su:

- BROMOFORM  $\text{CHBr}_3$ , gustoće 2,85 do 2,88, razrjeđuje se benzolom, etilenbromidom ili etilenim alkoholom

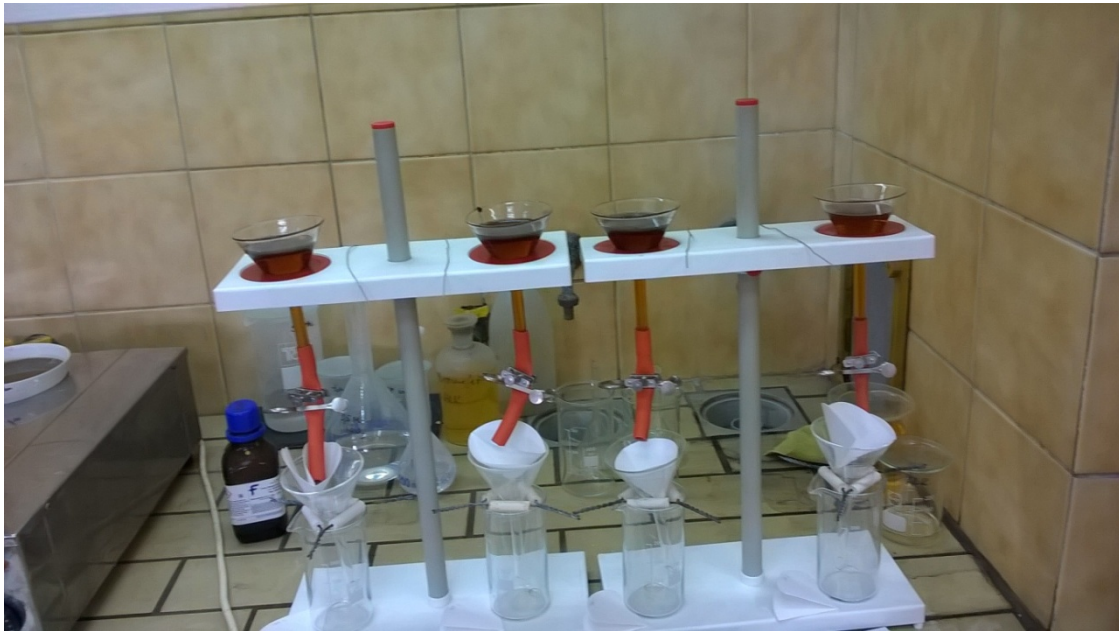
- TETRABROMETAN  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$ , gustoće 2,95, razrjeđuje se isto kao i bromoform

- THULETOVA OTOPINA, gustoće 3,19 koncentrirana je vodena otopina  $\text{HgJ}_2$  i KJ.

- METILENJODID  $\text{CHJ}_2$ , gustoće 3,3 razrjeđuje se organskim otapalima istim kao bromoform i tetrabrometan

- CLERICIJEVA OTOPINA gustoće 4,2, vodena je otopina talij - malonat - formijata. To je do sada poznata otopina najveće gustoće.

Pribor potreban za izdvajanje teških i lakih mineralnih frakcija s pomoću teških tekućina je: dva staklena lijevka od kojih jedan na kraju cijevi ima navučeno gumeno crijevo dužine oko 10 cm i metalnu štipaljku, dva filter papira, staklena čaša, stakleni štapić, stativ i alkohol za ispiranje. Lijevak s gumenim crijevom postavi se na stativu iznad lijevka u koji se stavi filter - papir, a ispod toga drugoga lijevka postavi se čaša. U gornji se lijevak, nakon što smo gumeno crijevo zatvorili štipaljkom, ulije teška tekućina i usipa točno odvagana, isprana i osušena frakcija pijeska (slika 3.6). Nakon usipanja u tešku tekućinu uzorak se lagano miješa staklenim štapićem da bi se savladala napetost površine tekućine. Mineralna zrna veće gustoće od teške tekućine tonu na dno i akumuliraju se u gumenoj cijevi, a ona manje gustoće ostaju plivati na površini teške tekućine.



**Slika 3.6** Aparatura za separaciju mineralnih frakcija teškim tekućinama

Otvaranjem štipaljke oprezno se ispuste teški minerali s manjim dijelom teške tekućine na filter - papir u donjem lijevku. Kada su ispušteni svi teški minerali zatvaranjem štipaljke prekine se ispuštanje pretežnog dijela teške tekućine i time odvojena mineralna zrna lake frakcije na njezinoj površini. Nakon što se profiltrira tekućina ispuštena s teškom frakcijom, mineralna se zrna na filter - papiru isperu alkoholom, zatim se suše.

Na donjem se lijevku promijeni filter - papir i ispusti sva teška tekućina i laka frakcija iz gornjeg lijevka, profiltrira, ispere alkoholom, zatim suši. Prije ispiranja alkoholom teške i lake frakcije potrebno je odstraniti čašu s profiltriranom teškom tekućinom da se ne razrijedi alkoholom pa da se teška tekućina, koja je prilično skupa, može ponovno upotrebljavati za izdvajanje teške i lake mineralne frakcije.

Za daljna istraživanja teške i lake mineralne frakcije koristili smo lupu. Pomoću lupe određivali smo kvalitativni i kvantitativni mineralni sastav teške i lake mineralne frakcije. Minerali u uzorku ukazuju na izvorišno područje ili provinijenciju.

Pojedine zajednice teških minerala i odlomaka stijena izravni su pokazatelji matičnih stijena koje su fizikalnim i kemijskim trošenjem dale detritus za taloženje pijeska i zatim dijagenetskim procesima pješčenjaka. Pri istraživanjima mineralnog sastava pješčenjaka i osobito sastava teške frakcije pješčenjaka potrebno je obratiti posebnu pozornost, ne samo kvalitativnom i kvantitativnom sastavu nego i zajednicama mineralnih sastojaka i odlomaka stijena jer nam one daju odgovor na pitanja o porijeklu detritusa, tj. o matičnim stijenama.

Da detritus potječe od trošenja i pretaloživanja starijih sedimentnih stijena, upućuje sljedeća mineralna zajednica: barit, glaukonit, kvarc s regenarcijskim rubovima, odlomci rožnjaka i kvarcnih

arenita, leukoksen, rutil, zaobljeni turmalin, zaobljeni zirkon, odlomci šejlova, silita i karbonatnih stijena.

Na škriljavce niskog stupnja metamorfoze kao matične stijene upućuje sljedeća mineralna zajednica: odlomci slejta, filita i kvarcita, biotit, muskovit, odsutnost feldspata, leukoksen, svijetlosmeđi turmalin.

Na škriljavce visokoga stupnja metamorfoze kao matične stijene upućuje sljedeća mineralna zajednica: granat, plavičastozelena horblenda, cijanit, silimanit, andaluzit, strautolit, kvarc s valovitim potamjenjem, kiseli plagioklasi, muskovit, biotit, epidot, coisit, magnetit, odlomci gnajsova i tinjčastih škriljavaca.

Na kisele magmatite kao matične stijene upućuje sljedeća mineralna zajednica: apatit, biotit, muskovit, horblenda, monacit, titanit, izometrični cirkon, kvarc bez valovitog potamnjenja, mikroklin, magnetit, ružičasti turmalin, odlomci granitoidnih stijena.

Na pegmatite kao matične stijene upućuje sljedeća mineralna zajednica: flourit, plavi turmalin, granat, monacit, muskovit, topaz, albit i mikroklin.

Za bazične magmatite kao matične stijene tipična mineralna zajednica je: anatas, augit, brucit, hipersten, ilmenit, magnetit, kromit, leukoksen, olivin, rutil, neutralni plagioklasi, serpentin, odlomci dijabaza, ofiolita i bazalta.

### **3.2.3. Rendgenska difrakcija na prahu**

Metodom rendgenske difrakcije na prahu analiziran je uzorak sedre potoka Joševica. Rendgenska difrakcija praha je analitička metoda za određivanje kemijskog sastava i kristalografskih karakteristika. Zasniva se na upotrebi rendgenskih (X – zraka) i njihovoj difrakciji. Kod difrakcije u polikristalu uzorak predstavlja prah u kojem se statistički orijentirani kristaliti dovoljno sitni (optimalne veličine  $10^{-7}$  do  $10^{-6}$ ) da sve orijentacije približno jednako budu zastupljene u volumenu obasjanom snopom rendgenskih zraka. Difrakcijska slika praha može se dobiti na dva načina: registriranjem na filmu u rendgenskim kamerama raznih konstrukcija i snimanjem pomoću difraktometra s brojačem koji je danas gotovo potpuno potisnuo iz upotrebe rendgenske kamere za prah (Slovenec, 2011). Difrakcijske slike praha snimljene su pomoću Philipsovog difraktometra s brojačem  $\text{CuK}_\alpha$  zračenjem ( $U=40\text{kV}$ ,  $I=20\text{mA}$ ).

Do difrakcije zračenja valne duljine ( $\lambda$ ), koje pada pod kutem  $\theta$  na mrežne ravnine indeksa  $hkl$ , razmaknute za iznos međumrežnog razmaka  $d_{hkl}$ , doći će samo ako razlika u hodu ( $BC + CD$ ) između reflektiranih zraka s dviju susjednih ravnina bude cjelobrojna u odnosu na  $\lambda$  upadnog zračenja, tzv. Braggova jednačba (Slovenec, 2011):

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (3 - 1)$$

Instrument registrira kuteve i intenzitete refleksa. Kut pojedinog refleksa, prema Braggovoj jednačbi, ovisi o pripadnom međumrežnom razmaku, dok intenzitet (osim o uvjetima snimanja)

ovisi o rasporedu i vrsti atoma u jediničnoj ćeliji. Iz toga slijedi da svaka kristalna tvar daje karakteristične rendgenske slike.

### 3.3. MIKROPETROGRAFSKA ANALIZA

Nakon terenskog istraživanja, uslijedio su laboratorijske analize i analiza mikropetrografskih preparata uzorak stijena, koji se analiziraju pomoću polarizacijskog mikroskopa (slika 3.7).



*Slika 3.7 Polarizacijski mikroskop Leica DM LSP*

Mikroskopski preparat izrađuje se iz uzoraka stijena. Uzorak stijene reže se u obliku pločice nekoliko milimetara debljine. Jedna strana pločice se ispolira brusnim prahom, a pomoću kanadskog balzama čiji je indeks loma 1.54, pločica se zalijepi na predmetno stakalce i stanji bušenjem s grubim brusnim prahom. Takvom izradom dobije se mikroskopski izbrusak. Nakon toga, pomoću finog brusnog praha pločica se stanji do debljine od 0.02 mm i pokrije pokrovnim stakalcem te na taj način dobijemo mikroskopski preparat. Tako pripremljeni mikroskopski preparati, analizirani su pomoću polarizacijskog mikroskopa. Izrađene su i mikroforografije pomoću digitalne kamere Leica DC 100 pričvršćene na okular polarizacijskog mikroskopa.

Kod mikropetrografske analize karbonatnih stijena (vapnenaca i dolomita) treba ako je moguće uočiti laminaciju, graduiranje ili slične karakteristike. Zatim je potrebno mikroskopski odrediti tipove čestica (alokema), njihovu veličinu, sortiranost, oblik zrna i mineralni sastav. Potom je

potrebno odrediti vrstu cementa i njegove karakteristike te opisati dijagenetske promjene, ako postoje. Ukoliko je zastupljena dolomitizacija, potrebno je odrediti strukturu dolomita, oblik, veličinu i zonalnost kristala. Kod dolomita je potrebno odrediti da li se radi o ranodijagenetskom ili kasnodijagenetskom dolomitu, te ima li znakova dedolomitizacije. Kod analize karbonatnih stijena potrebno je odrediti vrstu i stupanj poroznosti te redoslijed događaja. Potrebno je odrediti taložni okoliš u kojem je stijena nastala. Ukoliko su u uzorku stijena pronađeni fosili potrebno ih je dodatno obraditi.

Tijekom terenskog rada, vapnenci su klasificirani prema Dunhamu (1962), a nakon mikropetrografske analize klasificirani su prema Folku (1959, 1962). Na temelju terenskih istraživanja i mikropetrografske analize, stijene karakterističnih svojstava izdvojene su kao litofacijesi.

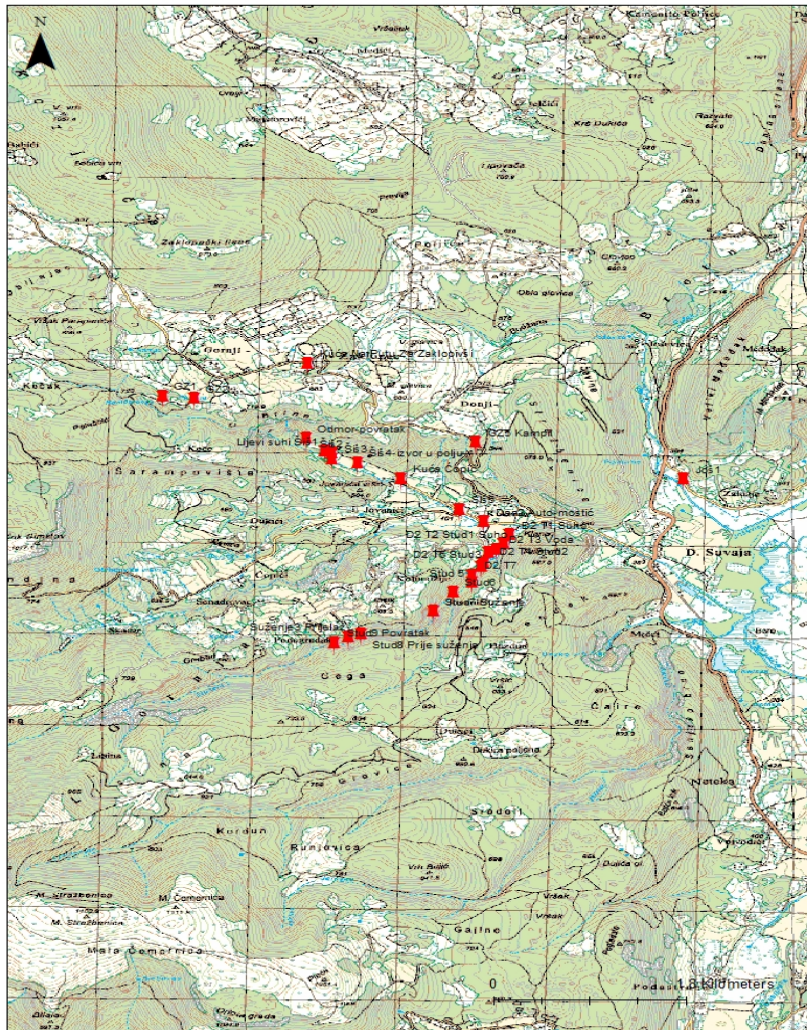
Facijes je sedimentno tijelo specifičnih karakteristika koje se jasno razlikuje od drugih facijesa. Može biti definirano obzirom na boju, slojevitost, sastav, teksturu i sadržaj fosila, sedimentni proces pri taloženju ili prema položaju u taložnom okolišu (Reading, 1986). Litofacijes je facijes u kojemu je osnovni kriterij izdvajanja temeljen na litološkim, sedimentacijskim, fizikalnim i kemijskim karakteristikama stijena. Mikrofacijes je definiran na osnovi svih paleontoloških i sedimentoloških kriterija koji se mogu dobiti istraživanjem stijena na mikroskopskim izbruscima, folijama i poliranim pločicama (Tišljar, 1994).

Istraživano područje uglavnom se sastoji od sedimentnih stijena pa je pogodno za izdvajanje litofacijesa.



### 3.4. KREIRANJE GIS BAZE PODATAKA

Kreiranje GIS (Geografski informacijski sustav) baze podataka, dio je metodologije izrade ovoga diplomskog rada. Pomoću GIS programa, svi podaci o istražnom području izvorišta potoka Šiškinovca, područja Gornjeg Zaklopca te Studenog potoka ukomponirani su u prostor i djelomice prikazani na karti (slika 3.8).



*Slika 3.8 Prikaz točaka opažanja*

Za potrebe ovoga diplomskog rada korišten je GIS softverski program ESRI ArcMap verzija 10.2.2. Postoje dvije skupine podataka iz GIS projekta: grafički podaci (često ih nazivamo i prostorni podaci) i negrafički podaci (opisni podaci prostornih podataka). Grafički podaci: prikupljaju se digitalizirane karte i ostali sadržaj koji će poslužiti kao podloga GIS-u. Korištene podloge su listovi

topografske karte Republike Hrvatske mjerila 1:25000, listovi Hrvatske osnovne karte, list Osnovne geološke karte mjerila 1:100000.

Metode prikupljanja grafičkih podataka :

- preuzimanje kordinata
- terenska izmjera
- fotogrametrijska izmjera
- satelitski snimci
- digitlizacija karata

Digitalizacija je najčešći oblik prikupljanja grafičkih podataka. Postoje dvije vrste digitalizacije: vektorska i rasterska.

Negrafički podaci: ključni podatak nužan za otvaranje zapisnika su koordinate terenskih točaka, koje su temelj za prikaz GIS-u na kartama. Koordinate na terenu dobivene su pomoću GPS uređaja, što je najbrži način određivanje točke lokacije.

Negrafički (opisni) podaci prikupljaju se i unose u bazu podataka na uobičajne načine kao i kod drugih informacijskih sustava:

- neposredno preko tipkovnice računala
- preko čitača za optičko prepoznavanje znakova
- čitanjem datoteke spremljene u bilo kojem standardnom formatu
- neposrednom prijenosom s drugog računala putem komunikacijske veze

Slijedeći korak u izradi GIS projekta podrazumijeva prikazivanje podataka iz baze podataka (grafičkih i negrafičkih) na podlogama u GIS-u, koji su krajnji rezultat projekta.

Ova faza uključuje:

- povezivanje u unos podataka iz baze podataka u GIS
- dodavanje grafičkih podloga u GIS
- kreiranje biblioteke simbola
- pretraživanje podataka u GIS projektu
- izvoz karata u druge aplikacije

Dobivenu GIS kartu iz ArcMap-a može se eksportirati kao novu rastersku ili vektorsku kartu. Rasterska karta se sastoji od piksela i ima pridruženu rezoluciju. Formati za rasterski izvoz iz ArcMap-a su: BMP, TIFF, JPEG i PNG.

Na georeferenciranu kartu pridodali smo terenske točke koje su zabilježene GPS uređajem. Svakoj točki pridruženi su podatci koji pripadaju toj točki: od analize vode, do petrografskih analiza, te opisa točke sa pripadajućim fotografijama.

## 4. REZULTATI

### 4.1 LITOFACIJESI ŠIREG PODRUČJA STUDENOG POTOKA

Nakon terenskog istraživanja provedenih na širem području Studenog potoka i prikupljenih uzoraka stijena, izrađen je 31 mikroskopski preparata na kojem je napravljena mikropetrografska analiza. Nakon provedene mikropetrografske analize, na širem području Studenog potoka izdvojena su 4 litofacijesa:

L1 - Litofacijes svijetlih kristaliziranih vapnenaca

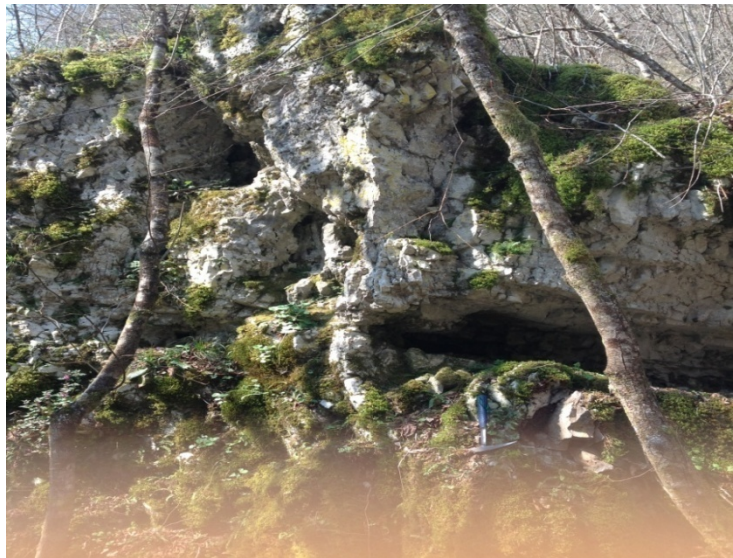
L2 - Litofacijes mikritnih vapnenaca

L3 - Litofacijes vapneno - dolomitnih breča

L4 - Litofacijes gipsa.

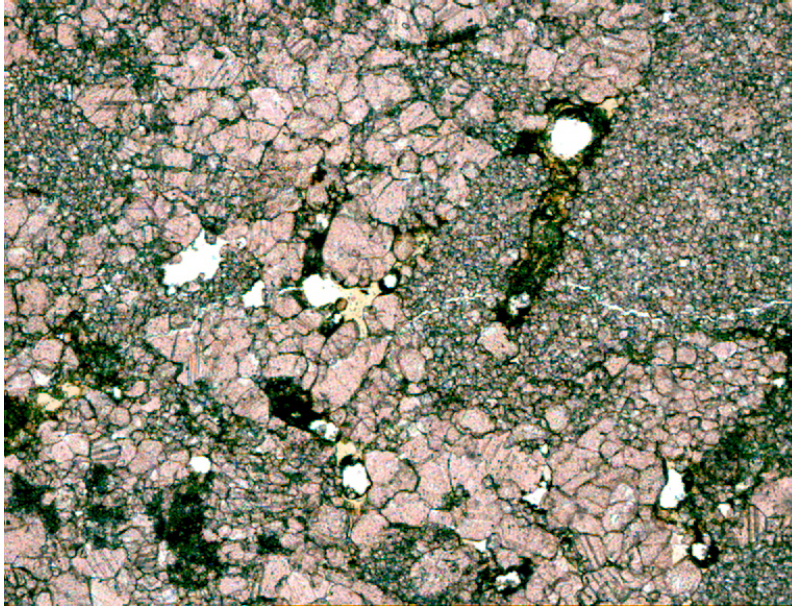
#### 4.1.1 *Litofacijes svijetlih rekristaliziranih vapnenaca*

Ove naslage prostiru se antiklinalom Suvaja- Srb koja se pruža poprečno na smjer toka Studenog potoka. Ovaj litofacijes je predstavljen svijetlim rekristaliziranim masivnim vapnencima. Slojevitost je slabo izražena, a često se na izdancima mogu uočiti pukotine. Vapnenci su svijetli, bijeli i kriptokristalaste strukture (slika 4.1).



**Slika 4.1** *Litofacijes rekristaliziranih vapnenaca*

Mikropetrografskom analizom je također utvrđeno da se radi o rekristaliziranim vapnencima, s ponešto bioklasta. Fosilni sadržaj nije uočen mikroskopiranjem, ali se mogu zapaziti odlomci ranodijagenetskog dolomita (slika 4.2).



*Slika 4.2 Mikrofotografija rekristaliziranog vapnenca*

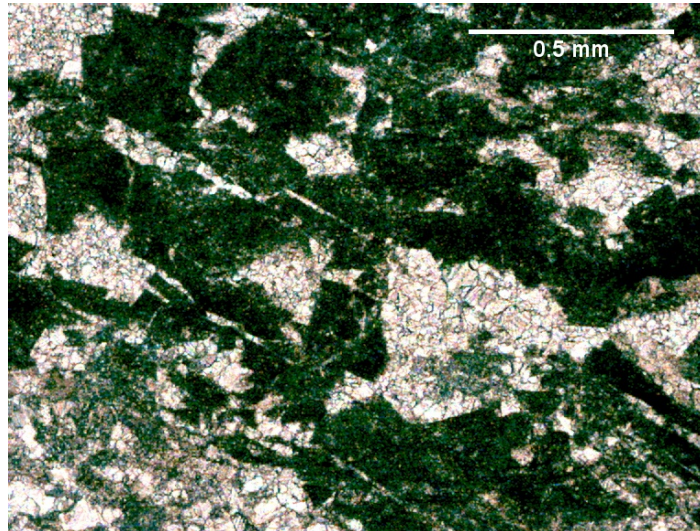
#### **4.1.2 Litofacijes mikritnih vapnenaca**

Ovaj litofacijes prostire se područjem Studenog potoka ijednim dijelom kanjona. Predstavljen je sivim, tamnosivim vapnencima, a na nekima se vide šupljine otapanja (slika 4.3). Ovi mikritni vapnenci u sebi imaju uklopljene bioklaste.



*Slika 4.3 Litofacijes mikritnih vapnenaca*

Prema mikroskopskim analizama, ovaj litofacijes sadrži zrna vapnenaca koja su uklopljena u mikrit. To je mikritni vapnenac bez fosilnog sadržaja. Neki uzorci sadrže znatan udio bioklasta pa ih možemo klasificirati kao mikrit s fosilima (slika 4.4)



**Slika 4.4** Mikrofotografija mikritnog vapnenca, djelomice rekristaliziranog

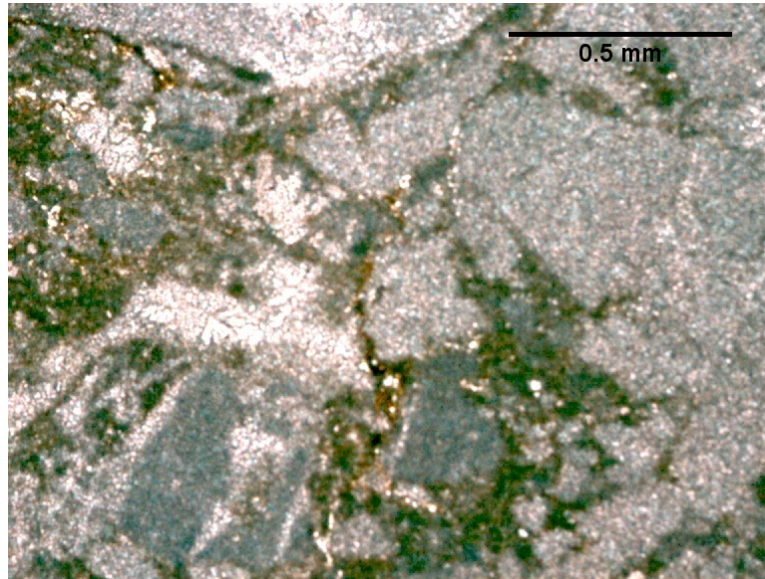
#### ***4.1.3 Litofacijes karbonatnih breča***

Stijene ovog litofacijesa nalazimo rasprostranjene u dolini Une kod Srba. U Studenom potoku nalaze se na izlazu iz kanjona i u njegovom suženju. Odlomci smeđih i sivih vapnenaca povezani su cementom kalcitno - dolomitnog sastava (slika 4.5). Breče su slabo uslojene i dosta šupljikave, dok su neke zahvaćene i dolomitizacijom.



**Slika 4.5** Litofacijes karbonatnih breča

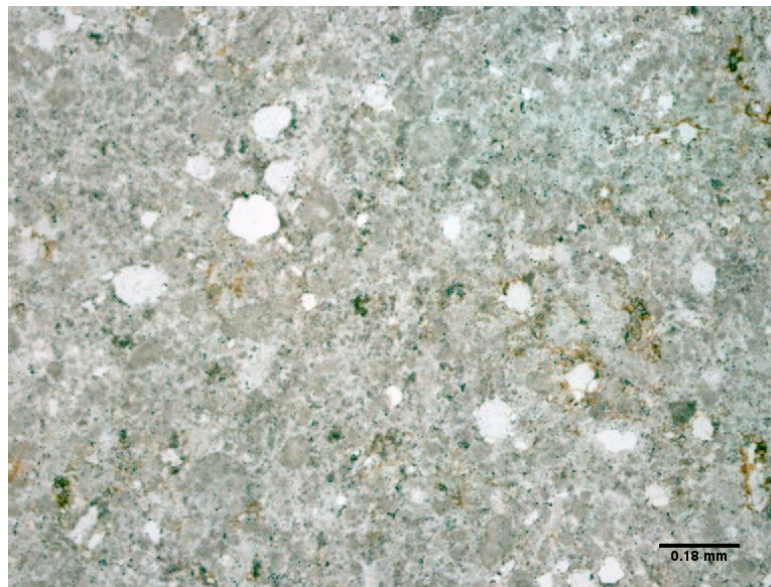
Mikopetrografskom analizom utvrđeno je da su sastavljene od vapnenaca i dolomita povezanih cementom. Neke breče su djelomično dolomitizirane. Mikroskopiranjem nisu uočeni fosili (slika 4.6).



*Slika 4.6* Mikrofotografija karbonatne breče

#### **4.1.4** *Litofacijes gipsa*

Ovaj litofacijes je relativno male debljine i karakteristične bijele boje. Slojevitost je slabo izražena. Debljina je 10 do 20 cm. Gips je izrazito deformiran. Nalazišta gipsa su na području Begluka, Velikog Međeđaka, Zalužja, i u dolini rijeke Srebrenice i Une. Mikrofotografija gipsa s izvora Joševica prikazana je na slici 4.7.



*Slika 4.7* Mikrofotografija gipsa

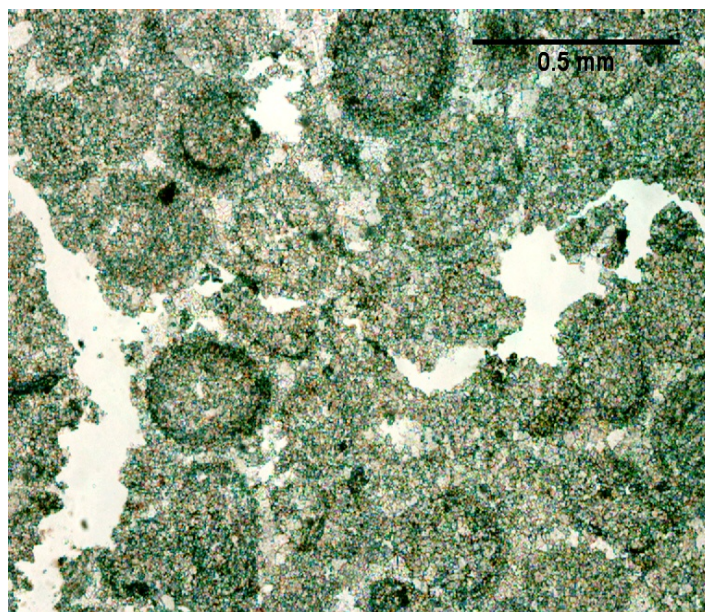
## 4.2. VALUTICE IZ STUDENOG POTOKA

U Studenom potoku su na dva mjesta uzete valutice iz presušenog korita te su podvrgnute makro i mikropetrografskoj analizi. Valutice su donošane tijekom vlažnog perioda te su se krupnije taložile bliže izvorištu, dok su se sitnije odnašale na veće udaljenosti. Po obliku valutica može se zaključiti o njihovom transportu te fizičkom trošenju (slika 4.8).



**Slika 4.8** Valutice Studenog potoka

Mikropetrografskom analizom valutica kao dominantni su utvrđeni pješčenjaci tipa kvarcnih grauvaka te vapnenci tipa oosparita, koji su često i dolomitizirani (slika 4.9).



*Slika 4.9 Mikrofotografija dolomitiziranog oosparita*

### **4.3. Analiza potočnog sedimenta**

#### **4.3.1 Pipetna metoda**

Ova metoda koristi se za analize granulometrijskog sastava. Pipetiranjem u različitim vremenskim razmacima iz iste dubine suspendiranog uzorka određuje se promjena koncentracije uzorka koja ovisi o brzini taloženja, tj. o veličini čestica koje se talože - svaka odpipetirana suspenzija se osuši i izvaže. Postotak svake frakcije izračuna se iz težine suhog ostatka početne koncentracije i razlike težina suhih ostataka svih ostalih koncentracija.

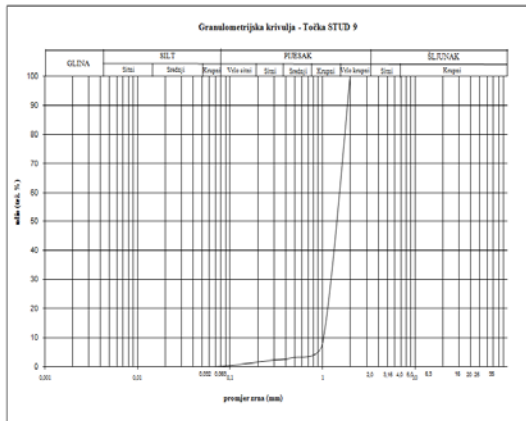
Za svaki uzorak potočnog sedimenta napravljene su i granulometrijske krivulje koje su prikazane na slici 4.10.

Granulometrijska krivulja potočnog sedimenta, s točke STUD 9, sastoji se 90% od krupnozrnatog pijeska (slika 4.10 a). Ova točka nalazi se na hipsometrijski višem dijelu terena koji je teško prohodan.

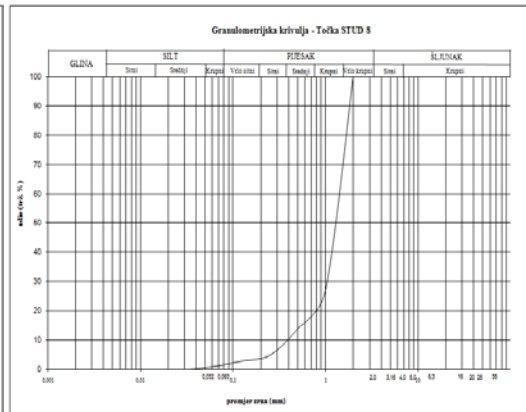
Sediment uzorkovan na točkai STUD 8 pretežito se sastoji od krupnozrnatog (slika 4.10 b). Ova točka nalazi se u kanjonu Studenog potoka.

Sediment uzorkovan na točkama STUD 7 (slika 4.10 c) i STUD 5 (slika 4.10 d) je sitnozrnasti do krupnozrnasti, a sadrži i silt.

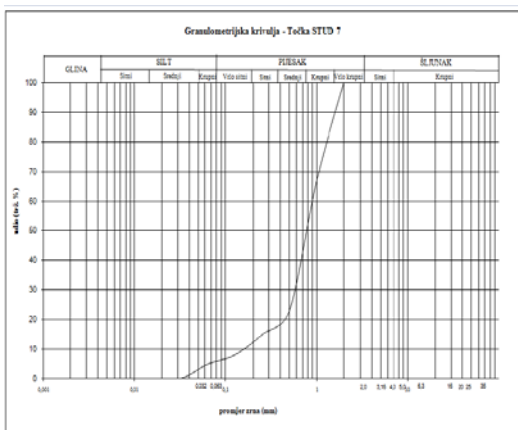




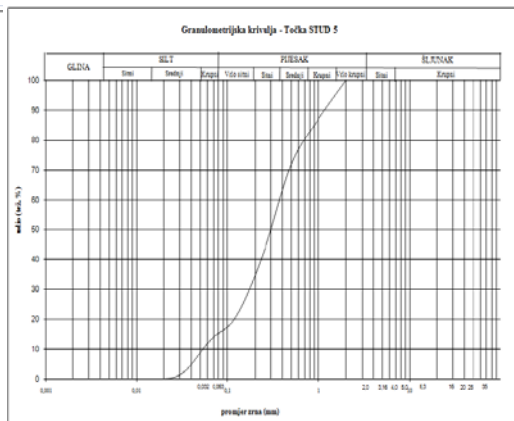
a)



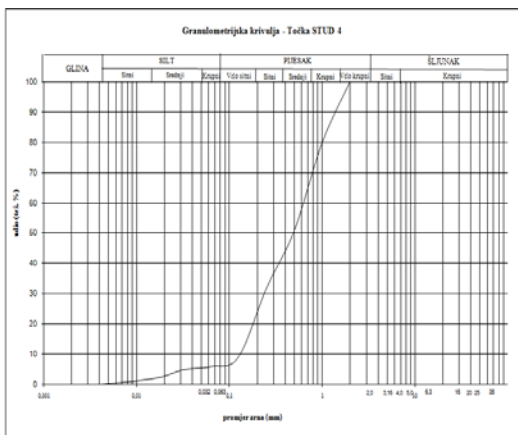
b)



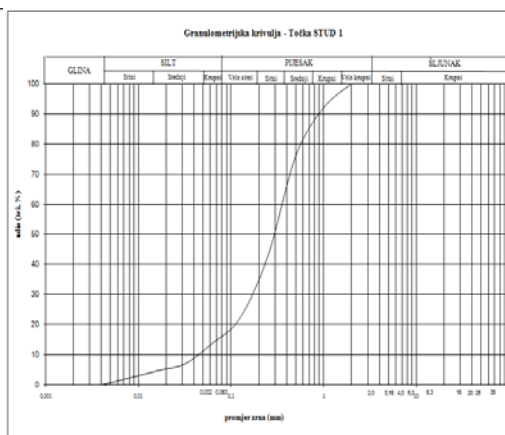
c)



d)



e)



f)

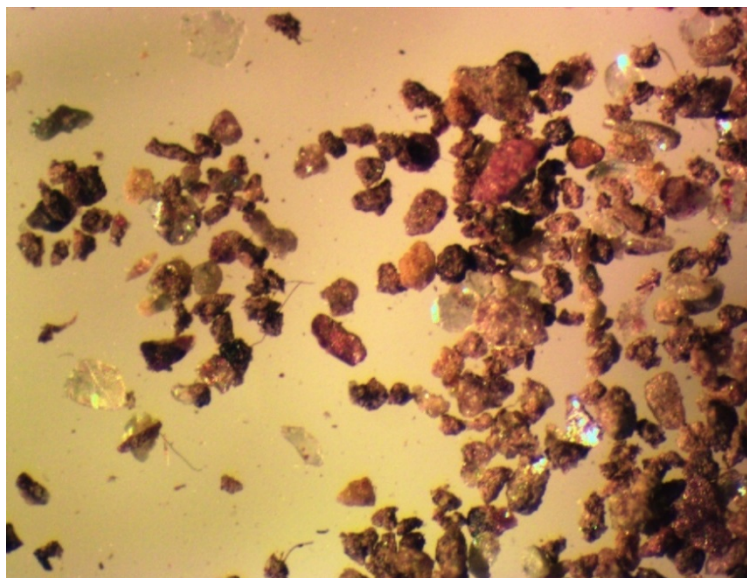
**Slika 4.10** Granulometrijske krivulje a) - f) potočnog sedimenta Studenog potoka

Sediment s točke STUD 4 sadrži sitniji do krupniji silt te vrlo sitni do vrlo krupni pijesak (slika 4.10 e). Ova točka nalazi se prije ulaza u kanjon Studenog potoka, na blažem terenu.

Točka STUD 1 nalazi se na nizinskom terenu, u donjem dijelu Studenog potoka, te sadrži najsitniji sediment (slika 4.10 f).

#### 4.3.2 Separacija mineralnih frakcija

Na terenu je uzorkovano 6 uzoraka potočnog sedimenta koji su namijenjeni za separaciju mineralnih frakcija. Ovom metodom dobiva se najviše podataka o litologiji istraživanog područja. Na uzorcima potočnog sedimenta provedena je analiza teške mineralne frakcije te magnetne separacije (slika 4.11). Za analizu magnetne separacije koristi se frakcija sedimenata od 0,250 mm do 0,125 mm, a za analizu teške i lake frakcije koristi se frakcija 0,125 mm do 0,063 mm.



*Slika 4.11 Magnetna frakcija uzorka sedimenta 5163 izdvojena pri 1.2A*

Magnetnom separacijom te analizom uzoraka pomoću stereomikroskopske lupe, utvrđeno je da u potočnom sedimentu prevladavaju limonitizirane čestice i tinjci (muskovit, biotit). Laka frakcija većim se dijelom sastoji od kvarca i tinjaca (muskovita i biotita). Zastupljeni su i limonitizirani minerali, ali u manjim količinama.



**Slika 4.12** Nemagnetna frakcija uzorka sedimenta 5160 izdvojena pri 1.2 A

Teška frakcija sadrži mali udio magnetita i tinjaca (slika 4.12). Neki uzorci sadrže pirite lijepo izražene forme pentagonskog dodekaedra. Mineralni sastav lake i teške ne mijenja se idući nizvodno. Potok sa sobom nosi sediment koji se prilikom značajnijeg protoka transportira na znatno veće udaljenosti.

#### **4.4 Geokemijske karakteristike vode**

##### **4.4.1 Terenska mjerenja**

###### ***pH vode***

**Tablica 4.1** *pH vode*

<b>Točka</b>	<b>pH vode</b>
STUD 2	6.9
STUD 7	7.6
STUD 8	8.08
STUD 9	8.11
JOŠ 1	8.01

Voda s točke Stud 2 ima pH vrijednost koja iznosi 6.9 te je voda približno neutralna. Voda uzorkovana na ostalim točkama je blago lužnata, a vrijednosti su prikazane u tablici 4.1. Na kakvoću vode utječu fizikalno- kemijski čimbenici, stijene i tlo u podlozi, klimatski uvjeti te onečišćenje. Kiša sadrži dosta otopljenog ugljikovog dioksida koji ju čini blago kiselom, stoga pH kiše iznosi oko 5.5. Karbonatne stijene koje izgrađuju istraživano područje neutraliziraju tu kiselost, stoga je ona neutralna do blago lužnata.

### **Temperatura vode**

Temperatura vode ovisi o godišnjem dobu, temperaturi tla koje je okružuje te dotoku podzemnih voda.

**Tablica 4.2** Temperatura vode

Točka	Temperatura vode (°C)
STUD 2	10.6
STUD 7	11.0
STUD 8	11.6
STUD 9	12.9
JOŠ 1	13.7

Voda je uzorkovana u travnju, kada je i srednja dnevna temperatura zraka iznosila oko 15 °C. Iz tablice 4.2 vidljivo je da vrijednosti temperature vode padaju idući nizvodno i pokazuju međusobno male oscilacije.

### **Električna vodljivost**

U tablici 4.3 prikazane su izmjerene vrijednosti električne vodljivosti u Studenom potoku i potoku Joševica. Električna vodljivost pada idući uzvodno, što znači da se u tom smjeru smanjuje sadržaj elektrolita u vodi. Ovakve visoke vrijednosti električne vodljivosti posljedica su povećanog sadržaja organske tvari te pojedinih kationa i aniona prirodno prisutnih u vodi. Voda s nižom pH vrijednošću pokazuje povećan sadržaj elektrolita.

**Tablica 4.3** Električna vodljivost

Točka	Električna vodljivost [μS/cm]
STUD 2	501
STUD 7	241
STUD 8	242
STUD 9	249
JOŠ 1	372

## 4.4.2 Fizikalna svojstva vode

### *Boja vode*

*Tablica 4.4 Boja vode*

Uzorci	Boja
STUD 2	žutozelena
STUD 7	žutozelena
STUD 8	žutozelena
STUD 9	žutozelena
JOŠ 1	žutozelena

U tablici 4.4 prikazani su rezultati opažanja boje vode. Svi uzorci vode su prozirni, bistri pa im je prema tome prirodna boja žutozelena. Stoga se može zaključiti da voda ne sadrži nikakve primjese, otopljene supstance niti bilo kakva zagađivala.

### *Prozirnost i mutnoća vode metodom križa*

*Tablica 4.5 Određivanje prozirnosti i mutnoće vode*

Uzorci	Visina u (cm)	Pojava
STUD 2	17.5	prozirna, nema zamućenja
STUD 7	16.0	prozirna, nema zamućenja
STUD 8	21.5	prozirna, nema zamućenja
STUD 9	25.5	prozirna, moguća opalescencija
JOŠ 1	27.0	prozirna, nema zamućenja

U tablici 4.5 prikazana je prozirnost ispitivane vode. Izmjerene vrijednosti označavaju visinu stupca vode izraženu u centimetrima u kojima se još jasno vide križ i kružić. Voda je prozirna i bez ikakvih zamućenja. Jedino se kod uzorka vode STUD 9 zapaža slaba opalescencija.

### **Mutnoća vode**

Jedinice u kojima se izražava zamućenje su NTU (Nephelometric Turbidity Units), FTU (Formazine Turbidity Units) ukoliko se mjeri nefelometrijski, a FAU (Formazine Attenuation Units) ako se mjeri smanjenje intenziteta u prolaznom zračenju turbidimetrijski.

**Tablica 4.6** Vrijednosti mutnoće vode u NTU jedinicama

Uzorci	Vrijednost mutnoće (NTU)
STUD 2	0.15
STUD 7	0.18
STUD 8	0.36
STUD 9	0.13
JOŠ 1	0.19

Svi propisi i [standardi](#) za vodene [ekosustave](#) traže nefelometrijska određivanja i rezultate daje se u NTU jedinicama. 1 NTU odgovara ekvivalentu od 1 [g/l](#) suspendiranog [silicijevog dioksida](#) ( $\text{SiO}_2$ ) u čistoj vodi.

Prema vrijednostima zamućenja, prikazanima u tablici 4.6, može se zaključiti da voda uzorkovana u Studenom potoku nije mutna. Ako je vrijednost mutnoće veća od 1, tada je voda mutna. Izuzetak je voda uzorkovana na izvoru Joševica, kojoj mutnoća iznosi čak 1.19 NTU jedinica. Veća mutnoća vode ukazuje na veću količinu raspršene svjetlosti.

### **4.4.3 Kemijska svojstva vode**

#### **Slobodna i ukupna bazičnost**

**Tablica 4.7** Sadržaj  $\text{CO}_3$  i  $\text{HCO}_3$  u ispitivanoj vodi

Uzorci	$\text{CO}_3$ (mg/l)	$\text{HCO}_3$ (mg/l)
STUD 2	0	305.1
STUD 7	0	1779.3
STUD 8	0	1708.56
STUD 9	0	195.26
JOŠ 1	0	296.56

U tablici 4.7 prikazan je sadržaj  $\text{CO}_3$  i  $\text{HCO}_3$  iona u ispitivanoj vodi. Sadržaj karbonatnog iona iznosi 0, dok je hidrogenkarbonatni ion najzastupljeniji. Točke STUD 7 i STUD 8 prikazuju značajke razlike u sadržaju hidrogenkarbonatnog iona u odnosu na ostale točke. Prolaskom kroz tlo voda se obogaćuje ugljikovim dioksidom i otapa karbonatne stijene kroz koje prolazi na što ukazuje povećana vrijednost karbonatnih iona. Na točki STUD 7 voda prolazi kroz dolomitne breče, a na točki STUD 8 kroz vapnence.

#### ***Tvrdoća vode***

U tablici 4.8 prikazane su vrijednosti tvrdoće vode izražene u njemačkim stupnjevima. Prema vrijednostima određivanja kvalitete vode, voda Studenog potoka je umjereno tvrda, dok je voda s zajedničke točke JOŠ 1 tvrda. Tvrdoću vode uzrokuju otopljene soli zemnoalkalijskih metala, posebice magnezija i kalcija.

**Tablica 4.8** Tvrdoća vode izražena u njemačkim stupnjevima

Uzorci	Tvrdoća vode u °dH
STUD 2	11.7
STUD 7	11.4
STUD 8	11.1
STUD 9	11.4
JOŠ 1	16.6

#### ***Dokazivanje i polukvantitativno određivanje klorida***

**Tablica 4.9** Dokazivanje klorida u ispitivanoj vodi

Uzorci	Zapažanje
STUD 2	opalescira
STUD 7	opalescira
STUD 8	opalescira
STUD 9	opalescira
JOŠ 1	opalescira

U tablici 4.9 prikazani su rezultati polukvantitativnog određivanja klorida. Iz intenziteta замуćenja, uzrokovanog nastalim talogom, u svim uzorcima vode zapaža se slaba opalescencija. Masena koncentracija nastalog srebrovog klorida ( $\text{AgCl}$ ) iznosi od 2 do  $10 \text{ mg/dm}^3$  u svakom uzorku.

***Dokazivanje i polukvantitativno određivanje sulfata***

Tablica 4.10 prikazuje rezultate polukvantitativnog određivanja sulfata.

***Tablica 4.10*** Dokazivanje sulfata u ispitivanoj vodi

<b>Uzorci</b>	<b>Zapažanje</b>
STUD 2	slaba opalescencija
STUD 7	slaba opalescencija
STUD 8	slaba opalescencija
STUD 9	slaba opalescencija
JOŠ 1	slaba opalescencija

Nakon nastanka barijevog sulfata ( $\text{BaSO}_4$ ), mogla se uočiti slaba opalescencija na svim uzorcima vode. Pritom su masene koncentracije sulfata nešto veće od koncentracija klorida i iznose  $20 \text{ mg/dm}^3$ . Ova koncentracija je manja od prirodne propisane vrijednosti za površinske vode.



### **Kvantitativno određivanje Fe, Mn i Zn**

Na apsorberu su se mjerile koncentracije Fe, Mn i Zn, a dobivene vrijednosti prikazane su u tablici 4.11.

**Tablica 4.11** Koncentracije Fe, Mn i Zn u ispitivanoj vodi

UZORAK	Koncentracije (mg/l)		
	Mn	Fe	Zn
JOŠ 1	0	0	0
STUD 2	0	0	0
STUD 7	0	0	0
STUD 8	0	0	0
STUD 9	0	0	0

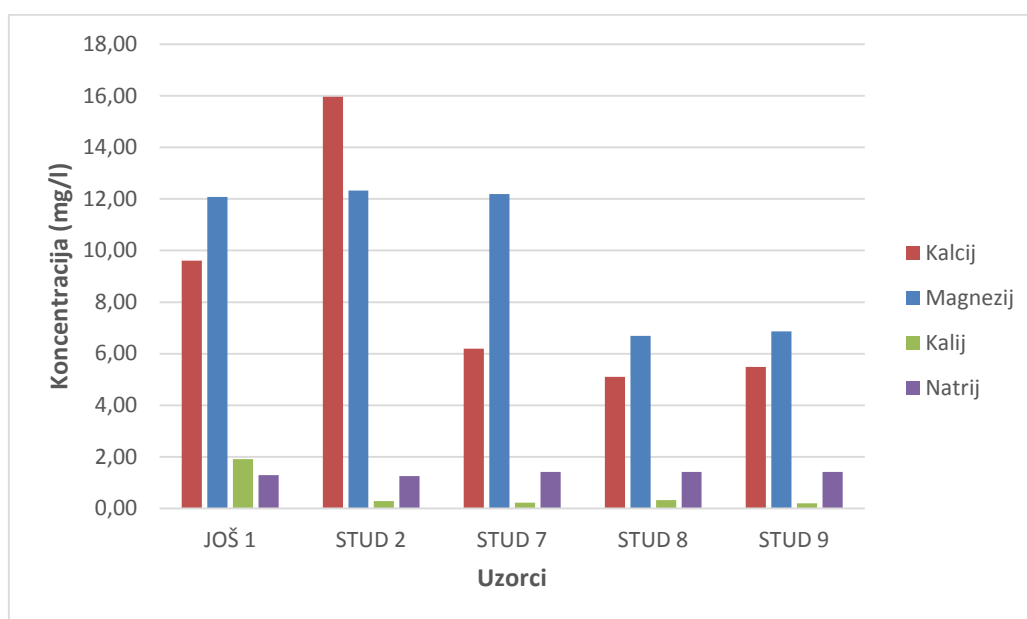
Ni na jednom uzorku vode nije utvrđena pojava Fe, Mn i Zn (tablica 4.11). Nedaleko izvorišta Studenog potoka nalazi se olovno - cinčano orudnjenje. Zbog teško prohodnog terena nije se uspjela uzorkovati voda s mjesta orudnjenja, a koja bi možda sadržavala Zn u tragovima. Teški metali u tlu se vežu na minerale gline, a istraživani teren je krški, izgrađen od vapnenaca i dolomita. pH vrijednosti vode Studenog potoka i izvora Joševica su blago lužnati, što onemogućava mobilnost teških metala, jer su teški metali mobilni jedino u kiselom mediju.

## Određivanje koncentracija glavnih kationa

Tablica 4.12 Koncentracije glavnih kationa u ispitivanoj vodi

UZORAK	Koncentracije (mg/l)			
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
JOŠ 1	9.61	12.08	1.91	1.29
STUD 2	15.96	12.32	0.29	1.26
STUD 7	6.20	12.19	0.23	1.42
STUD 8	5.10	6.69	0.33	1.42
STUD 9	5.49	6.86	0.2	1.42

U tablici 4.12 su prikazane koncentracije glavnih kationa ispitivanih u vodi. Koncentracije Ca i Mg su realne za očekivati obzirom da voda prolazi krškim terenom. Međutim, koncentracije K i Na također su značajne u vodi (slika 4.13).



Slika 4.13 Koncentracije glavnih kationa u ispitivanoj vodi

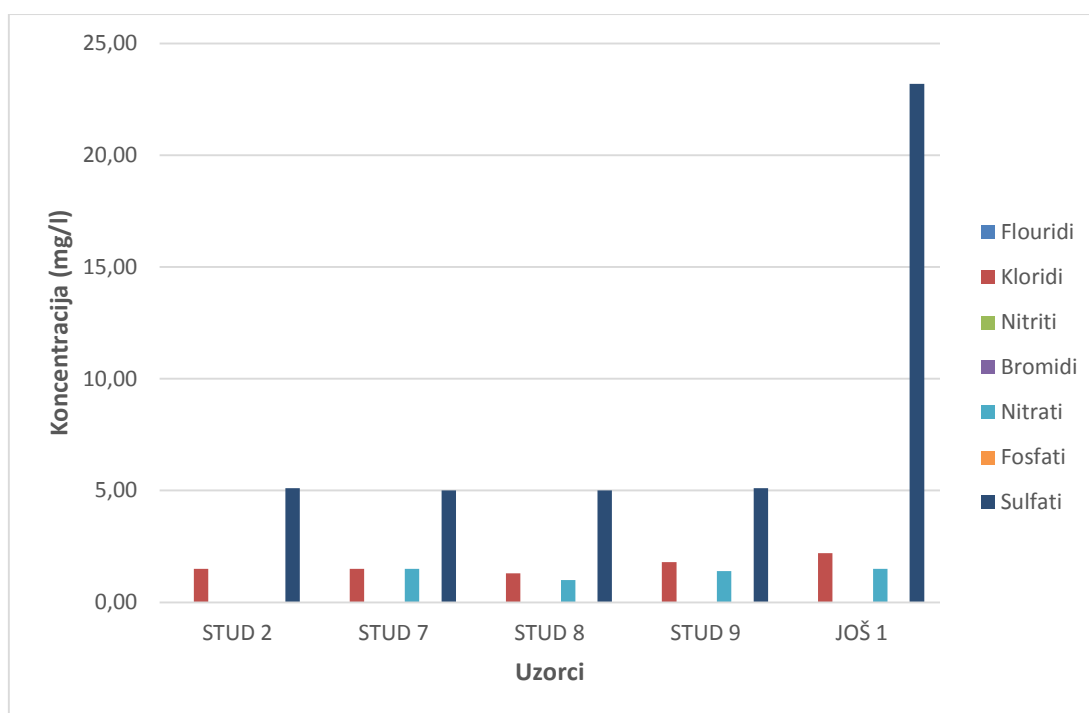
### Ionska kromatografija

U tablici 4.13 su prikazani rezultati određivanja koncentracija glavnih aniona metodom ionske kromatografije.

**Tablica 4.13** Koncentracije glavnih aniona u ispitivanoj vodi

UZORAK	Koncentracije (mg/l)						
	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Br	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
STUD 2	0.09	1.5	0	0	0.34	0	5.1
STUD 7	0.02	1.5	0	0	1.5	0	5.0
STUD 8	0.02	1.3	0	0	1.0	0	5.0
STUD 9	0.02	1.8	0	0	1.4	0	5.1
JOŠ 1	0	2.2	0	0	1.5	0	23.2

Vrijednosti nitrida, bromida i fosfata jednake su nuli u svim uzorcima. Fluoridi su prisutni u tragovima, a koncentracije nitrata su značajnije. Sulfati su najdominantniji anioni, što se vidi na slici 4.14.



**Slika 4.14** Koncentracije glavnih aniona u ispitivanoj vodi

## 4.5 RENDGENSKA DIFRAKCIJA NA PRAHU

Na uzorku sedre iz potoka Joševica napravljena je rendgenska difrakcija na prahu.



*Slika 4.15* Uzorak sedre iz potoka Joševica

Rendgenska difrakcijska analiza pokazala je da u uzorku dominira kalcit (slika 4.15). Vjerojatno se radi od dva kalcita, ali samo je jedan dominantan. U uzorku sedre ima kvarca, tinjčastih minerala, a možda sadrži i feldspate – alkalijske i plagioklase te kaolinski mineral i/ili klorit.

## 5. DISKUSIJA

Na širem području Studenog potoka terenskim istraživanjima i mikropetrografskom analizom izdvojena su 4 litofacijesa: L1 - litofacijes svijetlih rekristaliziranih vapnenaca, L2 - litofacijes mikritnih vapnenaca, L3 - litofacijes karbonatnih breča te L4 - litofacijes gipsa.

Litofacijesi L1, L2 i L3 pripadaju naslagama gornje jure, dok litofacijes L4 pripada gornjepermskim naslagama. Sam izvor Studenog potoka nalazi se na kontaktu donjetrijaskih crvenih tinjčastih pješčenjaka s laporovitim vapnencima i dolomitima, odnosno na kontaktu sajskih i kampilskih naslaga. Korito potoka usječeno je uglavnom u stijene gornjajurskih litofacijesa L1, L2 i L3, a samo manjim dijelom toka, u neposrednoj blizini izvora, potok prolazi kroz starije (donjetrijaske) stijene. Područje oko samoga izvora nije istraživano u okviru ovoga diplomskog rada zbog nepristupačnosti terena, pa zbog toga nisu niti izdvojeni donjetrijaski litofacijesi.

Magnetnom separacijom uzoraka potočnog sedimenta te analizom frakcija pomoću stereomikroskopske lupe, utvrđeno je da u potočnom sedimentu prevladavaju limonitizirane čestice i tinjci. Laka frakcija većim se dijelom sastoji od kvarca i tinjaca, a u manjim udjelima su zastupljeni i limonitizirani minerali. Teška frakcija sadrži mali udio magnetita i pirit. Potok iz izvorišnog područja odnosi sediment, koji se prilikom značajnijeg protoka transportira na veće udaljenosti, nizvodno duž korita potoka. Dominantna prisutnost tinjaca u uzorcima sedimenta posljedica je toga što se izvor Studenog potoka nalazi na kontaktu s donjetrijaskim tinjčastim pješčenjacima, koji su transportirani duž korita potoka. Prisutnost pirita u teškoj frakciji potočnog sedimenta je vjerojatno posljedica olovno - cinčanog orudnjenja koje se nalazi nedaleko izvorišta. Do orudnjenja nije bilo moguće doći zbog nepristupačnog strmog terena.

Na slici 5.1 prikazana je točka *Stud 7* na kojoj je uzorkovana voda. Prilikom uzorkovanja, u koritu potoka je bila prisutna značajna količina vode. Međutim, nakon dva sata, prilikom povratka nizvodno, korito potoka na istoj točki bilo je u potpunosti bez vode. Uzrok brzog poniranja vode je izrazita okršenost terena, koja uzrokuje brzo infiltriranje vode u podzemlje. Na ovom dijelu terena potok teče strmim suženjem, a u njegovu koritu nalaze se odlomci masivnih karbonatnih breča litofacijesa L3. Ove monomiktne breče su jako okršene i stoga imaju veliku efektivnu poroznost, koja uključuje sve pore koje omogućuju značajniju cirkulaciju vode. Karbonatne stijene u podlozi imaju drenažnu funkciju pa se može pretpostaviti da bujični nanos zadržava vodu samo kratko nakon oborina.

Glavno kretanje podzemne vode odvija se u propusnim i djelomično propusnim stjenskim masama kroz pukotinske sustave u najvećoj mjeri vezane uz veće ili manje rasjedne zone. Podzemna voda izbija na površinu uglavnom na kontaktima vapnenaca i slabije propusnog dolomita ili

vapnenaca i slabo vodopropusnih klastičnih naslaga. Dinamika podzemnih voda isključivo je vezana uz oborine, s obzirom da se oko 75% oborina infiltrira u podzemlje.



*Slika 5.1 Količina vode na točki STUD 7 prilikom kretanja uzvodno (lijevo) i nakon povratka (desno)*

Voda s točke Stud 2 ima pH vrijednost 6.9, voda je približno neutralna (tablica 4.1). Voda uzorkovana na ostalim točkama je blago lužnata, što je rezultat karbonatnog sastava terena kroz koji teče potok. Na kakvoću vode utječu fizikalno - kemijski čimbenici, stijene i tlo u podlozi, klimatski uvjeti te onečišćenje. Kiša sadrži dosta otopljenog ugljikovog dioksida koji ju čini blago kiselom, stoga pH kiše iznosi oko 5.5. Karbonatne stijene koje izgrađuju istraživano područje neutraliziraju tu kiselost, pa je pH vode potoka neutralan do blago lužnat.

Temperatura vode ovisi o godišnjem dobu, temperaturi tla koje je okružuje te dotoku podzemnih voda (tablica 4.2). Voda je uzorkovana u travnju, kada je i srednja dnevna temperatura zraka iznosila oko 15°C. Vrijednosti temperature vode opadaju idući nizvodno i pokazuju međusobno male oscilacije.

Električna vodljivost Studenog potoka opada idući uzvodno, što znači da se u tom smjeru smanjuje sadržaj elektrolita u vodi (tablica 4.3). Ovakve visoke vrijednosti električne vodljivosti posljedica su povišenog sadržaja organske tvari te pojedinih kationa i aniona prirodno prisutnih u vodi. Voda u kojoj je izmjeren niži pH pokazuje povećan sadržaj elektrolita. Sukladno parametrima izmjerenima na terenu voda Studenog potoka je dobre kakvoće.

Voda uzorkovana u Studenom potoku nije mutna, iako je mutnoća glavna karakteristika većine krških izvora. Karakteristika ove vode je izuzetna bistrina. Jedino voda uzorkovana u potoku

Joševica ima blago povišenu mutnoću, što je vjerojatno posljedica otapanja gipsa iz bliskog ležišta Begluci.

Svi uzorci vode su prozirni, pa im je i prirodna boja žutozelena (tablica 4.4). Stoga se može zaključiti da voda ne sadrži nikakve primjese ili otopljene tvari, niti bilo kakva zagađivala koja bi mogla degradirati njezinu prozirnost.

Vrijednost sadržaja karbonatnih iona u vodi je nula, dok je hidrogenkarbonatni ion najzastupljeniji u svim uzorcima vode (tablica 4.7). Velike vrijednosti količine hidrogenkarbonatnog iona u vodi posljedica su toka vode kroz karbonatne stijene i njihovog otapanja. Prolaskom kroz tlo voda se obogaćuje ugljikovim dioksidom i otapa karbonatne stijene kroz koje prolazi, na što ukazuje povišena vrijednost hidrogenkarbonatnog iona. Na dvije točke, *Stud 7* i *Stud 8* su utvrđene znatno više koncentracije, gdje voda protječe kroz izrazito okršene vapnenice i vapnenačke breče.

Prema vrijednostima određivanja kvalitete vode, voda Studenog potoka je umjereno tvrda (tablica 4.8), dok je voda sa točke *Još 1* u potoku Joševica tvrda. Tvrdoću vode uzrokuju otopljene soli zemnoalkalijskih metala, posebice magnezija i kalcija koji su znatno povišeni.

Koncentracije klorida i sulfata su manje od maksimalno dozvoljenih koncentracija za pitku vodu. Kloridi su sadržani u većim koncentracijama, čak do 20 mg/dm<sup>3</sup>.

Ni u jednom uzorku vode nije utvrđena pojava željeza, mangana ili cinka. Nedaleko izvorišta Studenog potoka nalazi se olovno – cinčano orudnjenje. Zbog teško prohodnog terena nije se došlo do orudnjenja, a možda bi se u uzorku vode s te točke mogle registrirati makar male koncentracije Zn<sup>+</sup> ili Pb<sup>+</sup>. Teški metali u tlu se vežu na minerale glina, a istraživani teren je izgrađen od vapnenaca i dolomita. Vrijednosti pH vode Studenog potoka i izvora Joševica pokazuju blagu lužnatost, što onemogućava mobilnost teških metala koji su mobilni u kiselom mediju.

Izmjerene koncentracije Ca<sup>2+</sup> i Mg<sup>2+</sup> su realne i očekivane, s obzirom da voda prolazi krškim terenom. Međutim, koncentracije K<sup>+</sup> i Na<sup>+</sup> također su značajne u vodi, što može biti posljedica trošenja feldspata iz donjetrijaskih klastita prisutnih oko samoga izvora Studenog potoka. Vrijednosti nitrita, bromida i fosfata jednake su nuli u svim uzorcima. Fluoridi su prisutni u tragovima, a koncentracije nitrata su nešto više od koncentracija fosfata (slika 4.14). Sulfati su najdominantniji izmjereni anioni u vodi Studenog potoka, a uzrok tome mogu biti gornjepermske naslage gipsa (izdvojeni litofacijes L4 u obližnjem koritu potoka Joševica – uzorak *Još 1*), koje se vjerojatno nalaze u podzemlju ispod donjetrijaskih naslaga oko izvora potoka. Najviša koncentracija sulfata zapažena je u točki *Još 1* (tablica 4.13), koja je uzeta kao kontrolna točka za usporedbu s koncentracijama sulfata izmjerenim duž korita Studenog potoka. Oko te točke se nalaze i izdanci gornjepermskog litofacijesa gipsa (L4), dok u neposrednoj okolini korita Studenog potoka nema izdanaka gipsa. Uzorak sedre (slika 4.15) uzet na potoku Joševica dominantno je kalcitnog sastava. Obzirom da ovaj potok prolazi

kroz naslage gipsa, pretpostavljalo se da će sadržavati i sulfate. Međutim, sedra ne sadrži gips, ona se precipitirala iz vode prezasićene kalcijevim karbonatom.

Dobiveni rezultati analiza vode upućuju na povezanost s karbonatnom litologijom.



## 6. ZAKLJUČAK

Na širem području Studenog potoka terenskim istraživanjima i mikropetrografskom analizom izdvojena su 4 litofacijesa: L1 - litofacijes svijetlih, rekristaliziranih vapnenaca, L2 - litofacijes mikritnih vapnenaca, L3 - litofacijes karbonatnih breča i L4 - litofacijes gipsa. Litofacijesi L1, L2 i L3 pripadaju naslagama gornje jure, dok litofacijes L4 pripada gornjepermskim naslagama. Sam izvor Studenog potoka nalazi se kontaktu donjetrijaskih crvenih tinjčastih pješčenjaka s laporovitim vapnencima i dolomitima, odnosno na kontaktu sajskih i kampilskih naslaga.

Magnetnom separacijom uzoraka potočnog sedimenta te analizom frakcija pomoću stereomikroskopske lupe, utvrđeno je da u potočnom sedimentu prevladavaju limonitizirane čestice i tinjci. Laka frakcija sastoji se uglavnom od kvarca i tinjaca, a u manjim udjelima su zastupljeni i limonitizirani minerali. Teška frakcija sadrži mali udio magnetita i pirit.

U vodi su povišene koncentracije kalcija i magnezija, obzirom da potok prolazi kroz vapnence i dolomite. Koncentracije  $K^+$  i  $Na^+$  također su značajne u vodi, a vjerojatno su posljedica trošenja feldspata iz donjetrijaskih klastita prisutnih oko samoga izvora Studenog potoka. Sulfati su najdominantniji anioni u vodi Studenog potoka, a uzrok tome mogu biti gornjepermske naslage gipsa koje se vjerojatno nalaze u podzemlju ispod donjetrijaskih naslaga oko izvora potoka. Iako se nedaleko izvorišta potoka nalazi olovno - cinčano orudnjenje, u vodi nisu pronađeni teški metali - željezo, mangan, cink.

Dobiveni rezultati potvrdili su hipotezu da petrološke značajke stijena na izvorištu imaju utjecaj na geokemijska svojstva stijena.

## 7. POPIS LITERATURE

Bahun, S. (1985): Trijaske naslage i Jelar - formacija u dolini Une između Srba i Brotnje(Hrvatska). Geol. vjesnik, 38, 21-30, Zagreb.

Čubrilović, V. (1940): Geološki sastav Krbavskog i Bijelog polja. Ves. geol. inst. Kralj. Jugosl., 8. Beograd.

Dunham, R. J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. U: Ham, W. E. (ur.): Classification of carbonate rocks. AAPG Memoir, 1; 108 – 121.

Folk, R. L. (1959): Practical petrographic classification on limestone. AAPG Bull. 43, 1 – 38.

Folk, R. L. (1962): Spectral subdivision of limestone types. U: HAM, W.E. (ur.): Classification of carbonate rocks. AAPG Memoir, 1, Tulsa, 62 – 84.

Foetterle, F. (1862): Geologische karte der Lika. Verh. geol. R.A. Wien.

Hauer, F. (1868): Geologische Übersichtskart Öster – Unger Monarchie. Blatt X, Dalmatien, Wien.

Hudina, S., Đurić, P., Popović, I., Gottstein, S., Žganec, K. (2008): Akcijski plan zaštite gornjeg toka rijeke Une, Hrvatsko biološko društvo, Zagreb.

Koch, F. (1914a): Geologijska pregledna karta Gračac – Ermain, M 1:75000, Zagreb.

Kuhta, M., Grgasović, T., Prtoljan, B., Korbar, T., Stroj, A., Slobodan, M., Mesić, S., Hasan, O., Kalodera, D. (2006): Hidrogeološka istraživanja područja Like, lokaliteti izvorišno područje Une i Baške Oštarije, 2. Knjiga, Hrvatski geološki institut, Zagreb.

Mihanović, B., Perina, I. (1982): Fizikalno i kemijsko ispitivanje zagađenosti vode, Školska Knjiga, 132 str., Zagreb.

Milan, A. (1965): Korelacija malma Ličke Plješivice, Senjskog bila i jugozapadnih padina Velike Kapele. Acta geol., Jugosl. akad., 5?, Zagreb.

Polšak, A. & Milan, A. (1961): Geološka građa Ličke Plješivice, Knj. I. I II., Arh. Inst. Geol. Istr. Br. 117, Zagreb.

Polšak, A. & Milan, A. (1962): Facijesni i tektonski odnosi sjeveroistočnog područja Like. Ref. V. Savj. Geol. FNRJ.

Reading, H. G. (1986): Sedimentary Environments and Facies. Blackwell sci. Publ., Oxford – London – Edinburg – Boston, 615.

Slovenec, D. (2011): Opća mineralogija, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb.

Šinkovec, B. (1956): Pojava cinkove i olovne rude na Lisini kod Srba u Lici. Geol. Vjesnik X, 83 – 90, Zagreb.

Šinkovec, B. & Trubelja, F. (1952): Istraživanje Pb, Zn pojava u okolini Srba (Lika). Arh. IGI, br. 2049, Zagreb.

Šušnjar, M., Bukovac, J. (1965): Osnovna geološka karta list Udbina, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

Šušnjar, M., Bukovac, J. (1969): Osnovna geološka karta list Drvar, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

Šušnjar, M., Bukovac, J. (1965): Tumač za list Udbina, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

Šušnjar, M., Bukovac, J. (1969): Tumač za list Drvar, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

Internet izvori:

Dinarsko gorje [31.5.2015., 17:47]

<http://www.dinarskogorje.com/>

Google Earth [17.7.2015., 13:44]

<http://www.google.com/earth/>

UNA, Spring of life [25.6.2015., 12:21]

<http://www.unaspringoflife.com/>