

GIMNAZIJA BEŽIGRAD

PERIČEVA ULICA 4

1000 LJUBLJANA



RAZISKOVALNA NALOGA

Analiza vode izvirov nahajališč črne človeške ribice

EKOLOGIJA Z VARSTVOM OKOLJA

Avtor:

Vid KAVČIČ, 3. a
Gimnazija Bežigrad

Mentorice:

dr. Ana KROFLIČ
Kemijski inštitut, Ljubljana

dr. Saša CECOWSKI, prof.
Gimnazija Bežigrad, Ljubljana

Vesna FABJAN, prof.
Srednja šola Črnomelj, Črnomelj

Črnomelj, 2021

Kazalo vsebine

Kazalo slik.....	3
Kazalo tabel	3
Kazalo grafikonov	4
Povzetek.....	5
Abstract	5
Zahvala.....	6
1. Uvod	7
1.1 Utemeljitev izbire teme	7
1.2 Hipoteze	8
2. Teoretični del.....	10
2.1 Črna človeška ribica	10
2.2 Raziskovalno območje.....	10
2.2.1 Ožje raziskovalno območje.....	12
2.2.2 Jama Stobe.....	13
2.2.3 Relief, geologija, hidrologija in raba tal raziskovalnega območja.....	14
2.3 Onesnaženost podzemne vode.....	15
2.3.1 Onesnaženost vode v povezavi s človeško ribico	15
2.3.2 Anioni v podzemni vodi in njihovi viri.....	16
2.3.3 Viri onesnaževanja na raziskovalnem območju	17
2.4 Pregled zakonodaje	17
2.5 Monitoring podzemnih voda na preučevanem območju	18
2.6 Ionska kromatografija	19
2.6.1 Splošno o kromatografiji.....	19
2.6.2 Ionska kromatografija	20
2.6.3 Ionski kromatogram	20
2.6.4 Slep vzorec, standardne raztopine in umeritvena premica.....	21
3. Raziskovalni del.....	22
3.1 Terensko delo in zbiranje podatkov.....	22
3.1.1 Vzorčenje za ionsko kromatografijo.....	22
3.2 Analiza vzorcev	23
3.2.1 Kromatografska metoda	23
3.2.2 Priprava vzorcev.....	23
3.2.3 Priprava standardnih raztopin	24
3.2.4 Staranje vzorca	24
4. Rezultati	25
4.1 Natančnost podajanja podatkov	25
4.1.1 Napake pri delu	25
4.1.2 Staranje vzorca	25
4.1.3 Sklep o natančnosti podajanja podatkov.....	26
4.2 Letni pregled meritev in primerjava z ARSO ter padavinami	26
4.2.1 Nitrat	26
4.2.2 Klorid.....	28
4.2.3 Sulfat.....	29
4.2.4 Nitrit	30
5. Razprava	31

5.1 Pregled podatkov po letnih časih.....	31
5.2 Korelacije s padavinami.....	33
5.3 Korelacije med analiti.....	33
5.4 Primerjava med izviri.....	35
5.4.1 Primerjava izvirov 2 in 3.....	35
5.4.2 Primerjava izvirov 2 in 3 z izvirom 1.....	36
5.4.3 Primerjava z izvirom 4.....	36
5.4.4 Izvir 4 in jama Stobe.....	37
5.5 Ozaveščanje javnosti.....	37
6. Zaključek.....	39
6.1 Komentar k hipotezam.....	39
6.2 Ostale ugotovitve.....	40
6.3 Pomen raziskovalnega dela.....	40
6.4 Sklep.....	41
7. Viri in literatura.....	42

Seznam prilog

Priloge.....	45
A. Karte.....	45
I. Hidrološko zaledje Dobličice.....	45
II. Geološka karta zaledja Dobličice.....	46
III. Geološka karta Dobliske kotlinice in njenega zaledja.....	47
IV. Raba tal.....	48
V. Deponija.....	49
B. Grafikoni.....	50
I. Večdnevna količina padavin.....	50
II. Korelacije s padavinami.....	51
III. Korelacije med analiti.....	52
C. Tabele.....	53
I. Nitrit.....	53
D. Ozaveščanje javnosti.....	54
I. Facebook stran.....	54
II. Knjižica KDO SEM in uprizoritve.....	54
III. Predstavitve našega raziskovalnega dela in dognanj na dogodkih.....	55
IV. Prispevki v medijih.....	56

Kazalo slik

Slika 1: Črna človeška ribica (Foto: Vid Kavčič, 6. 5. 2020).....	10
Slika 2: Umestitev ožjega raziskovalnega območja. (Vir: Google Earth).....	11
Slika 3: Podrobnejši zemljevid vasi Jelševnik z oznakami vzorčnih mest 1, 2 in 3 (Vir: Google Earth).	11
Slika 4: Podrobnejši zemljevid vasi Otovec z oznako vzorčnega mesta 4 (Vir: Google Earth).....	11
Slika 5: Obršec ob visoki vodi (foto: Vid Kavčič, 30. 4. 2020).....	12
Slika 6: Obršec ob nizki vodi (foto: Vid Kavčič, 28. 8. 2020).....	12
Slika 7: Pokriti bruhalnik – Šotor. V sredini slike je vidna črna človeška ribica (foto: Vid Kavčič, 10. 7. 2020).....	12
Slika 8: Odprti bruhalnik (foto: Vid Kavčič, 10. 7. 2020).....	12
Slika 9: Otovski breg ob visoki vodi (foto: Vid Kavčič, 11. 10. 2020).....	13
Slika 10: Otovski breg ob nizki vodi (foto: Vid Kavčič, 26. 3. 2020).....	13
Slika 11: Bela človeška ribica v Stobah (foto: Janez Jerman, 20. 1. 2020).....	14
Slika 12: Utrinek iz jamarskega potepa v Stobah (foto: Vesna Fabjan, 20. 1. 2020).....	14
Slika 13: Ionski kromatograf (foto: Vid Kavčič, 24. 8. 2020).....	20
Slika 14: Pripomočki za terensko delo: meter, brizga, centrifugirka in filtri (foto: Vid Kavčič, 15. 11. 2020).....	22
Slika 15: Stojnica Mladih raziskovalcev na dogodku Zabavaj se v mestu (foto: Vesna Fabjan, 6. 3. 2020).....	38
Slika 16: Hidrološko zaledje Dobličice (Izdelava karte: Nina Prešeren).....	45
Slika 17: Geološka karta zaledja Dobličice (vir: Geološki zavod Slovenije).....	46
Slika 18: Geološka karta Dobličke kotlinice in njeno zaledje. (Vir: https://biotit.geo-zs.si/ogk100/#).	47
Slika 19: Raba tal na širšem raziskovalnem območju. (Izdelava karte: Nina Prešeren).....	48
Slika 20: Deponija livarskega peska z označenimi smermi pretakanja vode.....	49
Slika 21: Mladi raziskovalci s kolegi na informativnem dnevu. (foto: Urška Bahor, 14. 2. 2020).....	54
Slika 22: Igrica o črnem močerilu Rudolfu na Medgeneracijskem vrtu Kulturnega doma Črnomelj. (foto: Vesna Fabjan, 26. 8. 2020).....	55
Slika 23: Predstavitev strokovni javnosti. (foto: Vesna Fabjan, 19. 5. 2020).....	55
Slika 24: Predstavitev na občinskem svetu. (foto: Renata Butala, 18. 6. 2020).....	56
Slika 25: Snemanje za oddajo Dobro jutro. (foto: Majda Veselič, 6. 3. 2020).....	56
Slika 26: V studiu radia PRVI. (foto: Aleš Ogrin, 17. 2. 2021).....	56

Kazalo tabel

Tabela 1: Seznam spremljanih izvirov.....	10
Tabela 2: Antropogeni viri nitrata, klorida in sulfata v podzemni vodi.....	16
Tabela 3: Izmerjene koncentracije nitrata v mg/l (Vir: (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020)).....	19
Tabela 4: Kratek povzetek vseh podatkov za nitrat. Z * so označene meritve ARSO. Kritične vrednosti so tiskane rdeče.....	27
Tabela 5: Primerjava mojih meritev in meritev ARSO. Meritve ARSO so označene z *, kritične meritve pa rdeče.....	28
Tabela 6: Kratek povzetek vseh podatkov za klorid.....	29
Tabela 7: Kratek povzetek vseh podatkov za sulfat.....	29
Tabela 8: Najvišje izmerjene koncentracije nitrata v posameznih izviroh.....	30

Tabela 9: Pregled koncentracij (mg/l) analitov v posameznih izviroh po letnih časih (povprečje in interval izmerjenih vrednosti)	32
Tabela 10: Meritve vzorcev iz jame Stobe in primerjava z Otovskim bregom (4). Kritične koncentracije nitrata so rdeče.....	37
Tabela 11: Vzorci, v katerih smo identificirali nitrit, in koncentracije izmerjenega nitrata.	53

Kazalo grafikonov

Grafikon 1: Primer kromatograma kompleksnega vzorca, ki je priložen v specifikacijskem listu kolone. Vrhovi, označeni s 13, 14, 17, 18, 21, 24 označujejo zaporedoma klorid, nitrit, nitrat, karbonat, sulfat in fosfat. (Vir: (Thermo Scientific Dionex IonPac AS11-HC-4 μ m Anion-Exchange Column, 2013))	21
Grafikon 2: Primer umeritvene premice za nitrat – površina vrha (pri retencijskem času 10,9 s) v odvisnosti od koncentracije standarda. Osnovna standardna raztopina (15 mg/l) je bila razredčena na 50 %, 25 % in 12,5 % svoje prvotne koncentracije.	21
Grafikon 3: Vzorčen primer ionskega kromatograma, značilnega za moje vzorce. Konkretno gre za kromatogram vzorca B1 z dne 25. 10. 2019.	23
Grafikon 4: Staranje vzorca z vidika nitrata.	25
Grafikon 5: Staranje vzorca z vidika klorida	25
Grafikon 6: Staranje vzorca z vidika sulfata.	25
Grafikon 7: Izmerjene koncentracije nitrata v posameznih izviroh v času spremljanja v povezavi z dnevno količino padavin.	27
Grafikon 8: Izmerjene koncentracije klorida v posameznih izviroh v času spremljanja v povezavi z dnevno količino padavin.	28
Grafikon 9: Izmerjene koncentracije sulfata v posameznih izviroh v času spremljanja v povezavi z dnevno količino padavin.	29
Grafikon 10: Odvisnost koncentracije analita s skupno količino padavin za izvir 1.	33
Grafikon 11: Korelacije med analiti za izvir 1.....	34
Grafikon 12: Korelacija med izviroma 2 in 3 za nitrat.	35
Grafikon 13: Korelacija med izviroma 2 in 3 ter izviro 1 za nitrat.	36
Grafikon 14: Korelacija med izviri 1, 2 in 3 ter izviro 4 za nitrat.....	36
Grafikon 15: Grafi odvisnosti koncentracije nitrata od skupne količine padavin.....	50
Grafikon 16: Odvisnost koncentracije analita s skupno količino padavin za izvir 2.	51
Grafikon 17: Odvisnost koncentracije analita s skupno količino padavin za izvir 3.	51
Grafikon 18: Odvisnost koncentracije analita s skupno količino padavin za izvir 4.	51
Grafikon 19: Korelacije med analiti za izvir 2.....	52
Grafikon 20: Korelacije med analiti za izvir 3.....	52
Grafikon 21: Korelacije med analiti za izvir 4.....	53

Povzetek

Črna človeška ribica je endemit, značilen le za nekaj kraških izvirov na treh kvadratnih kilometrih velikem območju v Beli krajini. Zaradi omejenosti in majhnosti habitata ter izredno občutljivega plitvega kraškega podzemnega ekosistema sodi populacija med najbolj ogrožene na svetu, hkrati pa jo ogroža tudi onesnaženost vode v izvirih, v katerih prebiva.

Osnoven namen raziskave je s kemijsko analizo vode bolj sistematično kot v preteklosti spremljati kakovost vode izvirov, za katere je značilna črna človeška ribica.

Raziskovalno delo temelji na leto trajajočem rednem vzorčenju vode na štirih izvirih nahajališč človeške ribice ter določanju anionov nitrata, klorida in sulfata v vzorcih z ionskim kromatografom. Na podlagi pridobljenih podatkov ugotavljam, da je onesnaženost izvirov v veliki meri posledica človekove dejavnosti, količina padavin pa ne korelira z izmerjenimi koncentracijami. Analiza vode je potrdila, da izviri med seboj kljub svoji bližini niso povezani. Ugotavljam, da monitoringi ARSO kljub svoji nerednosti kažejo ustrezno sliko kemijskega stanja izvirov in zaključujem, da slaba kvaliteta vode najverjetneje pogojuje izginjanje črne človeške ribice na tem območju.

Raziskovalno delo je s področja ekologije z varstvom okolja. Dotika se sicer več predmetnih področij s poudarkom na kemiji, a je njen glavni cilj jasen – obvarovati endemit črne človeške ribice. Na osnovi pridobljenih podatkov sem na primeru človeške ribice tudi ozaveščal javnost o pomenu čiste pitne vode, saj se velika količina pitne vode črpa prav z območja omenjenega habitata.

Ključne besede: črna človeška ribica, endemit, onesnaženje podzemne vode, kemijska analiza vode, ionska kromatografija

Abstract

Black human fish is an endemic species, typical of only a few karst springs located on the three square kilometres large area in Bela Krajina. Its population is classified as one of the most critically endangered in the world not only because of its limited natural habitat and the extremely vulnerable shallow karst underground ecosystem but also because of the polluted springs, in which it resides.

The main purpose of the research is to more systematically than in the past monitor the water quality of groundwater springs characterised by the black human fish.

The research work is based on a year-long regular monitoring of four springs of human fish population by water sampling and the determination of nitrate, chloride and sulphate anions in samples with ion chromatograph. Based on the obtained data, I conclude that the pollution of springs is mainly a result of human activity and that the amount of precipitation does not correlate with the measured concentrations. Water analysis confirmed that despite their mutual closeness the springs are not connected. I note that despite its irregularity, ARSO monitoring is giving a proper picture of the chemical state of the springs and conclude that poor water quality is most likely contributing to the disappearance of black human fish in the region.

The research work deals with the field of ecology and environmental protection. It includes several subject areas with an emphasis on chemistry, however, its main objective is clear – to protect the endemic black human fish. Based on the findings and using the case of human fish, I further made an effort to raise public awareness of the importance of clean drinking water.

Keywords: black human fish, endemic species, underground water pollution, chemical water analysis, ionic chromatography

Zahvala

Na prvem mestu se moram izjemo iskreno in prav tako prijazno zahvaliti svojim ožjim, lokalnim sodelavcem pri projektu Pomagajmo preživeti črnemu močerilu v okviru evropskega projekta RaST – koordinatorici projekta Vesni Fabjan, za ves čas, trud, predanost in voljo, ki jih je vložila v projekt in tako napravila ekipo Mladih raziskovalcev Srednje šole Črnomelj res nekaj posebnega. Najtopleje se zahvaljujem kolegicam Mladim raziskovalkam – zlasti Mancij Bajuk in Špeli Vraničar, prav tako Zali Pezdirc Burazer.

Na prav tako prvem mestu, vendar le zgolj in samo fizično v drugem odstavku, se zahvaljujem svoji mentorici dr. Ani Kroflič – za pomoč, nasvete, trud in potrpežljivost, takoj zraven pa tudi Ivani Drventić in Urši Skube. Prav tako naj eno veliko zahvalo namenim tudi Kemijskemu inštitutu in zaposlenim ter njihovo potrpežljivost z menoj, zlasti pa Odseku za analizo kemije, kjer sem opravljal svoje raziskovalno delo in analize, ki mi jih je inštitut omogočil. Raziskovalno delo je bilo opravljeno v okviru raziskovalnega programa P1-0034 (Analitika in kemijska karakterizacija materialov ter procesov) Javne agencije Republike Slovenije za raziskovalno dejavnost (ARRS), ki se ji prav tako zahvaljujem.

Zahvalni del v tretjem odstavku namenjam današnjim oziroma nekdanjim zaposlenim na Srednji šoli Črnomelj, ki so kakor koli že pripomogli pri raziskovalnem delu, zlasti nekdanji profesorici kemije Margaretki Šavli – za vzpodbude in splošne nasvete ter Nevenki Dragovan Makovec – za prizadevno pomoč pri naročanju opreme in materialov za raziskovanje.

Takoj zraven se zahvaljujem kolegom iz mojega razreda – Urški Bahor, Niki Vidmar, Roku Lovrinu, Črtu Kastelcu, Anji Beličič, Luciji Sedlar in Samu Kavčiču, s katerimi smo ob več priložnostih neskončno uživali pri dramski interpretaciji pravljice o črni človeški ribici.

Nenazadnje poklanjam zahvalo tudi Izletniški kmetiji Zupančič – za prijaznost in razumevanje in Janezu Jermanu, ki nas je (in ne le enkrat) popeljal na nadvse edinstven izlet v jamo Stobe, kjer smo med vzorčenjem podzemne vode tudi opazovali človeško ribico.

Na koncu prijazno zahvalo podajam tudi svoji razredničarki in profesorici kemije dr. Saši Cecowski – za prijazen prevzem birokratskih zadev na novi šoli in številne komentarje ter predloge, hkrati pa tudi profesorici Urški Markun za koordinacijo na šoli in gladek potek formalnosti v zvezi z raziskovalno nalogo. Toplo se zahvaljujem tudi profesorici Aleksandri Žerjav za pomoč in popravke pri prevodu povzetka v angleščino, kakor tudi profesorici Mojci Osvald za lektoriranje povzetka.

1. Uvod

1.1 Utemeljitev izbire teme

Črna človeška ribica je endemična podvrsta, značilna le za tri kvadratne kilometre veliko območje v Beli krajini in za nobeno drugo območje na svetu. Zaradi omejenosti njenega habitata in na onesnaževanje zelo občutljivega kraškega okolja, v katerem leži habitat, narašča skrb za njen obstoj.

Ocene predvidevajo, da se populacija človeške ribice zmanjšuje – zmanjšalo naj bi se namreč število vidnih osebkov na pogosto obiskanih lokacijah. (Hudoklin, 2011) Dodatna sistematična opazovanja potrjujejo, da se na izvirih pojavlja veliko manj osebkov črne podvrste, kot naj bi jih opazili pred več kot deset leti. (Bajuk & Vraničar, 2020).

Bajuk in Vraničar (2020) sta v svojem raziskovalnem delu z uporabo statističnega t-testa s 95-odstotno gotovostjo ovrgli vpliv temperature zraka, temperature vode, višine vode, električne prevodnosti, zračnega tlaka in relativne zračne vlažnosti na pojavljanje črne človeške ribice. Ker pa je površje na območju habitata kraško, lahko črno človeško ribico hitro prizadene tudi vsak nepremišljen človeški poseg v naravo, saj padavine onesnaževala s površja učinkovito spirajo v podzemno vodo. Viri onesnaženja na območju in v okolici habitata črne človeške ribice so predvsem poljedelstvo, vinogradništvo in neurejene gospodinjske oziroma komunalne odplake. Pri kmetijstvu je kritično nepremišljeno gnojenje bodisi z domačimi ali umetnimi gnojili bodisi z digestatnim ostankom bližnje bioplinarne (Bajuk & Vraničar, 2020).

Na razvoj in življenje človeške ribice neugodno vplivajo nitrati, fosfor, težke kovine, PCB¹, pesticidi in ostanki zdravil (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020). Znano je, da so se v zadnjih letih dvignile vrednosti nitratov v zadevni vodi, hkrati pa se je populacija črnih človeških ribic zmanjšala, zato je habitat ozko razširjene podvrste močno ogrožen (Hudoklin, 2012). Leta 2017 je bila v okviru projekta LIFE Kočevsko narejena tudi ocena tveganja za nitrat, na podlagi katere naj bi bile vode, ki vsebujejo koncentracije nitrata višje od 10 mg/l, škodljive za človeške ribice (Kolar, 2017).

Glede na kritične vire onesnaževanja se pojavlja vprašanje, v kolikšni meri ti dejansko vplivajo na kakovost vode izvirov habitata črne človeške ribice. Kakovost podzemne vode v enem izmed izvirov habitata črne človeške ribice (Jelševnik) od leta 2014 že spremlja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). V zadnjih letih izvaja meritve le dvakrat letno (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020). A spremljanje le enega izvira habitata črne človeške ribice in to le dvakrat letno ne more podati celotne slike glede onesnaženosti vode v izvirih in njenega spreminjanja.

V povezavi s tem dejstvom se mi je tudi porodila ideja o preverjanju kakovosti podzemnih voda na območju habitata črne človeške ribice. Pridružil sem se ekipi Mladih raziskovalcev Srednje šole Črnomelj, katere člani smo v okviru aktivnosti *Pomagajmo preživeti črnemu močerilu* s poglobljenim raziskovalnim delom pripomogli k zmanjšanju ogroženosti endemita črne človeške ribice. Aktivnost je bila sofinancirana iz projekta RaST, ki nam je omogočil nakup materiala in možnost sodelovanja z oddaljenimi raziskovalnimi institucijami. Člani ekipe Mladih raziskovalcev smo se s skupnim ciljem pomagati preživeti črni človeški ribici usmerili v različna tematska področja.

Sam sem z raziskovanjem pričel septembra 2019. Najprej smo Mladi raziskovalci med prebivalci vasi v okolici habitata črne človeške ribice naredili anketo o poznavanju endemične podvrste, rabi

¹ PCB – poliklorirani bifenil.

škropiv, herbicidov, pesticidov in gnojil ter urejenosti gospodinjskih odpadkov. Rezultate ankete bo v svoji raziskovalni nalogi podrobneje predstavila Zala Pezdirc Burazer.

Oktobra 2019 smo se povezali z dr. Ano Kroflič z Odseka za analizo kemije s Kemijskega inštituta v Ljubljani, ki me je v naslednjem letu in pol usmerjala pri raziskovanju s poudarkom na ocenjevanju kemijskega stanja vode v izviroh s črno človeško ribico. Pričujoča raziskovalna naloga je tako nekakšna dopolnitev raziskovalne naloge *Pomagajmo preživeti črnemu močerilu* avtoric Mladih raziskovalk Mance Bajuk in Špele Vrničar, katere izsledke sem že predstavil v tem uvodu.

Namen raziskave je bil spremljati kakovost vode izvirov habitata črne človeške ribice bolj redno in sistematično kot v preteklosti. Namesto enega sem spremljal tri izvire habitata črne človeške ribice, za primerjavo pa tudi izvir, v katerem se je v preteklosti množično pojavljala bela človeška ribica (zadnja leta na izviru žal ni bil viden niti primerek). Preučiti sem želel naravne in človeške vplive na onesnaženje vode, povezanost izvirov oziroma njihovih zaledij in vpliv kakovosti vode na pojavljanje oziroma izginjanje črne človeške ribice.

Na osnovi pridobljenih ugotovitev sem nadalje želel ozaveščati javnost o pomenu čiste pitne vode na primeru človeške ribice, kar je eden izmed ciljev raziskave. Netrajnostni razvoj regije namreč obremenjuje podzemno vodo, ki je v Sloveniji prevladujoč vir pitne vode. Skoraj polovica pitne vode se namreč črpa z območja habitata človeške ribice (Aljančič, Trontelj, & Hudloklin, 2015).

1.2 Hipoteze

Po pregledu literature sem si zastavil naslednje hipoteze:

1. Onesnaženje vode je posledica naravnih in človeških vplivov. Na izmerjene vrednosti vpliva tudi količina padavin.

Kraška pokrajina je na človekove vnose onesnaževal zelo občutljiva. Želel sem raziskati, v kolikšni meri človekovo onesnaževanje vpliva na kakovost vode, hkrati pa sem poskusil poiskati možne konkretne vzroke za onesnaženje na posameznih izviroh.

Ob obilnejših padavinah pride do spiranja onesnaževal, ki so bila odložena na površje. Zaradi kraškega površja (plitve prsti in vodoprepustne kamnine) predvidevam, da deževnica morebitna onesnaževala hitro spere v podzemlje. Želel sem raziskati, kako to spiranje vpliva na koncentracijo posameznih analitov v izviroh. Nanjo namreč vplivata dva glavna nasprotujoča si dejavnika – po eni strani spiranje onesnaževal v vodo prispeva k povišanju koncentracije analita, po drugi strani pa ima večja količina padavin za posledico redčenje, kar pomeni zmanjšanje koncentracije analitov v vodi. Predvidevam, da se ob intenzivnejših padavinah vsebnosti anionov v vodi kljub vsemu povečajo, torej da je prvi dejavnik verjetno pomembnejši od drugega.

2. Trije od opazovanih izvirov podzemne vode, in sicer izviri 1 (Obršec), 2 (Šotor) in 3 (Bruhalnik), so med seboj povezani, izvir 4 (Otovski breg) pa je od njih ločen.

Trije od opazovanih izvirov se nahajajo na medsebojni oddaljenosti manj kot 400 metrov, pri čemer sta dva izmed njih med seboj oddaljena le okoli 20 metrov. Četrti izvir je od preostalih oddaljen okoli dva kilometra in pol. Preko analize vode sem želel sklepati o povezanosti teh izvirov z morebitnimi podzemnimi kraškimi predori, ki so značilni za kraško površje.

3. Monitoringi ARSO ne kažejo realnega stanja kakovosti podzemne vode.

ARSO od leta 2014 izvaja monitoring podzemnih voda, vendar samo na enem izviru z območja ohranjenega habitata črne človeške ribice, to je na izviru 2 (Šotor). Monitoring izvaja tudi na nekaj izviroh v bližini, a izven območja habitata. V zadnjih letih izvaja ARSO le dve meritvi letno; eno

pozno pomladi, drugo pa v začetku jeseni. Zaradi nerednih meritev in majhnega števila spremljanih izvirov se poraja dvom v zvezi s tem, ali tovrstni monitoringi res kažejo realno stanje onesnaženosti podzemne vode, kar sem želel preveriti.

4. Črna človeška ribica izginja zaradi preslabe kvalitete vode. Predvsem koncentracija nitrata v vodah je povezana s številom primerkov, ki se jih opazi v posameznih izviroh.

Znano je, da so se na preučevanem področju v zadnjih letih vrednosti nitratov v vodi dvignile, hkrati pa se je populacija človeških ribic v Beli krajini zmanjšala (Hudoklin, 2011).

Z natančnimi analizami sem se želel prepričati o stanju vode v izviroh, v katerih se pojavlja črna človeška ribica, in raziskati morebitno povezavo med količino nitrata in vedno redkejšim pojavljanjem ribice v izvirov 1 (Obršec), kjer smo Mladi raziskovalci ribico v zadnjem času le redko opazili. Vzporedno sem želel potrditi tudi splošno sprejeti razlog za izginotje bele človeške ribice v izvirov 4 (Otovski breg), to je pretirana onesnaženost izvira z nitratom in drugimi onesnaževali (Bajuk & Vraničar, 2020).

Dodatno sem želel preveriti, ali je prisotnost oziroma pojavljanje črne človeške ribice v izviroh odvisno predvsem od vsebnosti nitrata, ali pa na njeno pojavljanje vplivajo tudi vsebnosti drugih ionov v vodi.

2. Teoretični del

2.1 Črna človeška ribica

Človeška ribica oziroma močeril (*Proteus anginiosus*) je repata dvoživka in edini jamski vretenčar v Evropi. Spada v družino močerilarjev (*Proteidae*) (Hudoklin, 2011). Podvrsta črna človeška ribica (*Proteus anginiosus parkelj*) (Slika 1) ima v primerjavi z bolj znano belo človeško ribico (*Proteus anginiosus anginiosus*) veliko bolj izrazito pigmentiranost (temno rjava, črna ali vijoličasta). Ima tudi bolj razvite oči, ki so v primerjavi z belo le delno zakrnele in imajo od 3- do 5-krat večji premer, prav tako ima tudi dobro razvito lečo in čutnice na mrežnici. Njena glava je nekoliko krajša in bolj zaobljena. Ima tudi daljši trup in krajše svetlejša pigmentirane noge (Bulog, 2013).



Slika 1: Črna človeška ribica
(Foto: Vid Kavčič, 6. 5. 2020).

V preteklosti so črno človeško ribico videvali okoliški otroci, a jim tega nihče ni verjel. Širšemu svetu je znana od 18. oktobra 1986, ko jo je ob znižani gladini Dobljčice v Dobljčah v okviru speleohidroloških raziskav opazil delavec Geološkega zavoda (Aljančič, Habič, & Mihevc, 1986). Strokovno sta jo opisala Boris Sket in Jana W. Arntzena leta 2004 (Hudoklin & Aljančič, 2017).

Črna ribica je za razliko od bele, ki je razširjena po dinarskem podzemlju, po dozdajšnjih podatkih značilna zgolj za tri kvadratne kilometre veliko področje na območju Dobljške kotlinice v Beli krajini, s čimer se odlikuje kot endemična podvrsta. Zaradi omejenosti habitata sodi populacija med najbolj ogrožene na svetu (Aljančič, 2017).

2.2 Raziskovalno območje

Raziskovalno območje sem po vzorcu raziskovalne naloge *Pomagajmo preživeti črnemu močerilu* (Bajuk & Vraničar, 2020) razdelil na ožje in širše:

- **Širše** – območje stekanja podzemnih voda proti Jelševniku in Otovcu (Slika 2).
- **Ožje** – območje pojavljanja črnega oziroma belega močerila v izviroh in bruhalnikih, kjer sem opravljal terensko delo, torej opazovanje in vzorčenje. Območje zajema štiri izvire v okolici Jelševnika. Lokacije smo označili z naravnimi števili od 1 do 4. Označke, imena in lokacije prikazujejo Tabela 1 ter Slika 3 in Slika 3.

Tabela 1: Seznam spremljanih izvirov

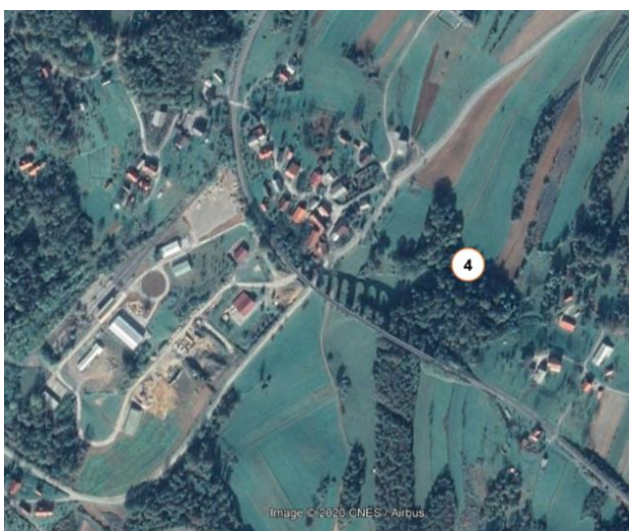
Oznaka	1	2	3	4
Izvir	Obršec	Pokriti bruhalnik – Šotor – Na trati	Odprti bruhalnik – Jamnice	Otovski breg
Prisotnost ribice	da	da	da	ne več



Slika 2: Umestitev ožjega raziskovalnega območja. (Vir: Google Earth).



Slika 3: Podrobnejši zemljevid vasi Jelševnik z oznakami vzorčnih mest 1, 2 in 3 (Vir: Google Earth).



Slika 4: Podrobnejši zemljevid vasi Otovec z oznako vzorčnega mesta 4 (Vir: Google Earth).

2.2.1 Ožje raziskovalno območje

2.2.1.1 OBRŠEC (IZVIR 1)

Izvir Obršec se nahaja okoli pol kilometra južneje od Jelševnika. Sestoji iz dveh večjih med seboj le nekaj metrov oddaljenih sifonov, ki napajata občasno jezero. V času visoke vode (Slika 6) skozi bruhalnike na površje bruha podzemna voda, ki lahko poplavi bližnjo ravnico. V času nizke vode izvir kratko malo izgine (Slika 5). Ker gre za kraški izvir, se višina vode v njem hitro spreminja. Raziskave so pokazale, da ima Obršec samostojno zaledje, ki je sicer zelo omejeno, zato je hitro narasla voda pogojena tudi z dvigom kraške podtalnice. Na območju zaledja izvira ima več stanovanjskih objektov neurejen komunalni sistem, kar lahko vpliva na kakovost podzemne vode na tem izviru (Bajuk & Vraničar, 2020).



Slika 6: Obršec ob visoki vodi (foto: Vid Kavčič, 30. 4. 2020).



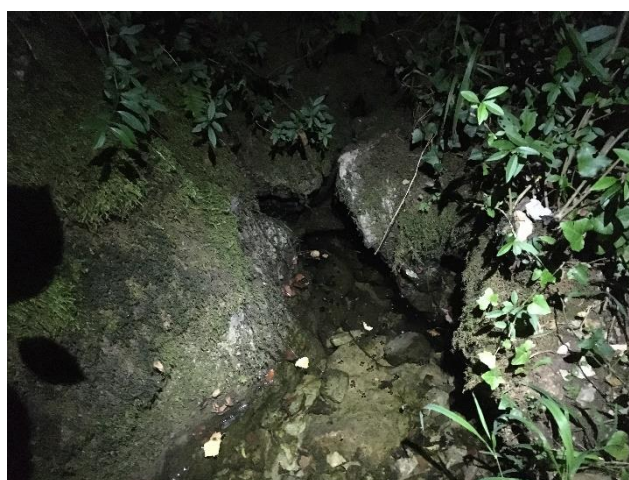
Slika 5: Obršec ob nizki vodi (foto: Vid Kavčič, 28. 8. 2020).

2.2.1.2 POKRITI BRUHALNIK – ŠOTOR (IZVIR 2)

Pokrity bruhalnik (tudi Šotor ali Na trati) (Slika 7) je od izvira Jezero (izvir reke Jelševniščice na Jelševniku) oddaljen okoli 10 m in širok okoli 5 m. Ima majhne sifone, skozi katere na površje prihajajo človeške ribice. V poletnem času je voda nizka, v času obilnih padavin pa se voda preliva v Jezero. Za vsaj približno simulacijo jamskega okolja ima bruhalnik zagotovljeno stalno temo, saj je pokrit z zelenim šotorom. Okoli bruhalnika je za opazovalne namene zgrajena lesena konstrukcija (Bajuk & Vraničar, 2020).



Slika 8: Pokrity bruhalnik – Šotor. V sredini slike je vidna črna človeška ribica (foto: Vid Kavčič, 10. 7. 2020).



Slika 7: Odprty bruhalnik (foto: Vid Kavčič, 10. 7. 2020).

2.2.1.3 ODPRTI BRUHALNIK (IZVIR 3)

Odperti bruhalnik (tudi Jamnice) (Slika 7) se prav tako nahaja na Jelševniku ob izviru Jezero in je od Pokritega bruhalnika – Šotor oddaljen le okoli 30 m. Vdolbina je široka okoli 1,5 m, pri čemer predstavlja nekaj več kot polovica širine območje z nižjo vodo, ki ni vedno zalito, drugi del pa je opazneje globlji. Prav tako kot Šotor ima tudi ta izvir majhne sifone, skozi katere na površje prihajajo človeške ribice. V poletnem času je voda nizka, v času obilnih padavin pa se voda preliva v 3 m oddaljeno Jezero (Bajuk & Vraničar, 2020).

2.2.1.4 OTOVSKI BREG (IZVIR 4)

Otovski breg (Slika 10 in Slika 9) je izvir v udorni vrtači pod železniškim viaduktom v bližini vasi Otovec. Rečica, ki izvira na njenem dnu, po 7 m na drugi strani koliševke² svojo pot nadaljuje v ponor. Zadnjih štirideset let je bilo v nekaj terenskih meritvah na tem izviru ugotovljeno slabšanje kvalitete vode (povečevanje nitratov, pesticidov in večje količine PCB). (ustni vir, Andrej Hudoklin, 2019) Starejši domačini pričajo, da je bilo v preteklosti (pred več kot 15 leti) v izviru pogosto videti belo človeško ribico, vendar sam v času spremljanja nisem videl niti primerka. Odsotnost v zadnjih letih so potrdili tudi domačini (Bajuk & Vraničar, 2020).



Slika 10: Otovski breg ob visoki vodi
(foto: Vid Kavčič, 11. 10. 2020).



Slika 9: Otovski breg ob nizki vodi
(foto: Vid Kavčič, 26. 3. 2020).

2.2.2 Jama Stobe

Kraška jama Stobe sicer ne sodi med stalna vzorčevalna mesta, ki sem jih tedensko obiskoval za namen te raziskovalne naloge, a je zanimiva zaradi svoje geografske lege in prisotnosti bele človeške ribice, zato še nekaj besed o njej.

Jama Stobe leži nekaj kilometrov severneje od izvira Otovski breg, na njenem dnu pa teče kraški potoček, kjer naj bi belo človeško ribico že v letih med prvo in drugo svetovno vojno opazil Miljutin Kuščer. Podatek o najdišču človeške ribice na izviru Stobe je potrjen, kar pomeni, da je primerek bodisi shranjen ali fotografiran oziroma je žival nedavno videla zanesljiva oseba (Hudoklin & Aljančič, 2017).

Ker na podlagi hidroloških kart (Priloga A.I) in izoblikovanosti reliefa sledi, da se podzemna voda pretaka iz izvira Stobe k izviru Otovski breg, v katerem v zadnjih letih bele človeške ribice ni bilo opaziti, me je zanimalo, kakšna je kvaliteta vode tukaj, hkrati pa sem se želel na lastne oči prepričati, da je bela človeška ribica v jami zares prisotna (Slika 12). Ker je jama težje dostopna, smo jo Mladi raziskovalci v spremstvu jamarja Janeza Jermana obiskali le trikrat (Slika 11).

² Koliševka – kotanja, nastala z udorom stropa kraške jame.



Slika 12: Bela človeška ribica v Stobah
(foto: Janez Jerman, 20. 1. 2020).



Slika 11: Utrinek iz jamarskega potepa v Stobah
(foto: Vesna Fabjan, 20. 1. 2020).

2.2.3 Relief, geologija, hidrologija in raba tal raziskovalnega območja

Kraške podzemne vode se iz hribovitega zaledja stekajo proti Belokranjskemu ravniku in tam napajajo izvire, v katerih gre zaslediti človeško ribico (Bajuk & Vraničar, 2020). Zato je poznavanje zaledij posameznih izvirov ključno za raziskovanje kakovosti vode.

2.2.3.1 GEOLOGIJA IN RELIEF RAZISKOVALNEGA OBMOČJA

Širše raziskovalno območje zajema Poljansko goro (hribovito zaledje), rob Kočevskega roga in zahodni rob Belokranjskega ravnika. Teren Poljanske gore je zgrajen predvsem iz gub in prelomov dinarske smeri (severozahod – jugovzhod) (Bajuk & Vraničar, 2020).

Ožje raziskovalno območje leži na stiku Poljanske gore z Belokranjskim ravnikom. Izviri 1, 2 in 3 se nahajajo v manjši Dobliski kotlinici, ki je najnižji del Belokranjskega ravnika, medtem ko je izvir 4 del suhe kraške doline, ki sledi žužemberškemu prelomu. Dobliska kotlina je z zahoda zaprta z vzhodnim pobočjem Poljanske gore in robom Kočevskega roga (Bajuk & Vraničar, 2020).

V celoti gre za kraški relief. Za Belokranjski ravnik je značilen plitvi kras, medtem ko ima hribovito obrobje značilnosti globokega krasa. Na vzhodnem robu Dobliske kotlinice je Kanižarska kadunja, ki je edini nekraški vododržni »otok« znotraj ravnika. Na ravniku prevladuje apnenec, v hribovitem zaledju apnenec in dolomit, v Kanižarski kadunji pa lapor, glina in skladi rjavega premoga (Šinigoj, Lapanje, & Poljak, 2012).

2.2.3.2 HIDROLOGIJA RAZISKOVALNEGA OBMOČJA

Kraški relief pogojuje tudi pretakanje podzemne vode na preučevanem področju. Ta v večini primerov sledi smeri prelomov in kamninskim skladom apnenca in dolomita, na vzhodnem robu pa Kanižarski kadunji. Apnenec je najbolj prepusten za vodo skozi razpoke, zato se voda pod zemljo bolj prosto pretaka in slabo samoočisti. Dolomit vsebuje magnezij in je zato manj fizično odporen ter bolj drobljiv kot apnenec, zato se na teh območjih podzemna voda ne more pretakati tako prosto. Zaplata dolomita v hribovitem zaledju upočasnjuje podzemno pretakanje in ga preusmerja (Bajuk & Vraničar, 2020).

V primeru Oтовskega brega gre za podzemni potok.

Hidrološko zaledje izvirov je bilo raziskano v osemdesetih letih v okviru raziskovanja izvira v Dobljčah zaradi oskrbe s pitno vodo. Narejen je bil poskus, pri katerem so izčrpali reko Dobljčico. Za razliko od izvira reke Dobljčice se gladina vode v izvirih Obršec in Šotor zaradi črpanja vode na izviri ni spremenila (Aljančič, 2017). To lahko razlagamo z geološko, tektonsko in reliefno zgradbo

terena – voda se namreč pretaka med izviri le ob izredno visokih vodah, ko izviri poplavijo (Bajuk & Vraničar, 2020).

Na podlagi geološke in hidrološke karte (Slika 16 in Slika 17 v Prilogi), opazovanja reliefa na terenu in ostalih informacij, pridobljenih iz literature, lahko o hidrološkem zaledju posameznih izvirov napišem sledeče.

1. **Izvir 1** je najbližji izvir Dobliskemu izviru, a se ob črpanju vode iz Doblčice na poskus ni odzval, torej z bližnjo Doblčico ni povezan. Leži na stiku apnenca in dolomita, kar pomeni, da se iz hribovitega zaledja prosto potekajoči sifoni preusmerijo in združijo v močnejši curek ter pridejo na površje pod manjšim zatrepom³ (Habič, Kogovšek, Bricelj, & Zupan, 1990).
2. Tudi **izvir 2** se ni odzval na doblški poskus, pač pa je ob močnem deževju v 90. letih bruhal umazano vodo črne barve. Zaključili so, da je razlog za to deponija livarskega peska (Slika 20 v Prilogi) nekaj sto metrov severno od izvira (Stara bremena, 2020). V tej smeri poteka tudi manjši prelom, kar lahko pogojuje takšno podzemno pretakanje vode (Habič, Kogovšek, Bricelj, & Zupan, 1990).
3. **Izvir 3** najverjetneje združuje podzemno vodo predvsem iz globokega dolomitnega zaledja, delno pa tudi iz apnenčastega. Čeprav sta z izvirom 2 zelo blizu, so v preteklosti domačini, kot so povedali v okviru ankete, ki smo jo izvedli, večkrat opazili nevzporedno nihanje vodostaja v obeh izviri (še neobjavljeni podatki).
4. **Izvir 4** je podzemni potok, ki na prehodu hribovitega zaledja v ravnik sledi prelomni coni. Na površju je suha dolina, podzemna voda pa je dostopna v več brezni in jamah, na primer Stobe in Hribarska jama. V udorni vrtači pride potok za nekaj metrov na površje in ob močnem deževju hitro naraste ter poplavi vrtačo (Bajuk & Vraničar, 2020).

2.2.3.3 RABA TAL RAZISKOVALNEGA OBMOČJA

Območje je deloma vinogradniško s počitniškimi hišicami, hribovje pa je večinoma poraslo z gozdom. Ker so nahajališča črne človeške ribice na za kmetijstvo primernem območju, na katerem prevladujejo vinogradi in polja, ki jih pogosto gnojijo in škropijo, to predstavlja dodatno grožnjo za njihov obstoj (Maljevac, Požek, & Rogina, 2016). Natančnejšo prostorsko razporeditev rabe tal prikazuje Slika 19 v Prilogi.

2.3 Onesnaženost podzemne vode

2.3.1 Onesnaženost vode v povezavi s človeško ribico

Znano je, da dušikova umetna gnojila neugodno vplivajo na dvoživke in povzročajo njihov upad. Nitrati (predvsem natrijev nitrat NaNO_3) imajo izredno škodljiv vpliv na neotenične⁴ oblike in ličinke – torej tudi na človeško ribico. Tako naj bi bile vode, ki vsebujejo več kot 10 mg/l nitrata, škodljive za človeške ribice. Na razvoj in življenje človeške ribice poleg nitratov neugodno vplivajo tudi fosfor, težke kovine, PCB, pesticidi in ostanki zdravil (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020).

V okviru projekta LIFE Kočevsko je bila na podlagi poskusov na dvoživkah s statističnimi metodami narejena ocena tveganja za nitrat. Tako je *predvidena varna koncentracija nitrata za črno človeško ribico 7,3 mg/l, ciljna mejna vrednost pa 9,2 mg/l* (Kolar, 2017).

³ Zatrep – večji kraški izvir pod skalo.

⁴ Neotenijska – pojav, ko žival spolno dozori, na videz pa je še vedno enaka ličinki.

Veljavne zakonodaje, ki bi določala kritične oziroma mejne vrednosti in način spremljanja le teh na podlagi ravnokar predstavljenih ugotovitev, trenutno še ni (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020). Podrobneje je zakonska podlaga razdelana v razdelku 2.4.

2.3.2 Anioni v podzemni vodi in njihovi viri

Tabela 2 prikazuje antropogene vire anionov v podzemni vodi.

Tabela 2: Antropogeni viri nitrata, klorida in sulfata v podzemni vodi.

	NITRAT ¹	KLORID ²	SULFAT ³
živalski gnoj	x		
odpadne vode (gospodinjske in industrijske)	x	x	
deponije odpadkov in divja odlagališča	x	x	
umetna gnojila in digestat	x	x	x
soljenje cest pozimi		x	
fosilna goriva			x
rudniki premoga, termoelektrarne			x
metalurške rafinerije			x

¹Kolar, 2017; ²Mullaney, Lorenz, & D., 2007; ³Miao, Brusseau, Carroll, Carreón-Diazconti, & Johnson, 2012

2.3.2.1 NITRAT

Nitratni ion (nitratni(V) ion, NO_3^-) je prisoten v dušikovem krogu in nitrifikaciji. Amonijak se preko nitrita oksidira v nitrat. Rastline dušikove spojine potrebujejo za rast in razvoj. V umetnih gnojilih je dušik prisoten v različnih oblikah, zlasti kot natrijev nitrat (NaNO_3), pa tudi kot kalijev nitrat (KNO_3) in amonijev nitrat (NH_4NO_3) (Hudoklin, Stanje človeške ribice v omrežju NATURA 2000 v Sloveniji, 2018).

Nitrati se zelo dobro topijo v vodi. Ob izlivu večjih količin umetnih gnojil, ki vsebujejo nitrato in fosfate, v vodo se na površju potokov razvijejo alge (Debeljak, 2016).

Pomembnejši antropogeni viri nitrata v podzemni vodi so živinoreja in ostala kmetijska proizvodnja, odpadne vode, stare deponije odpadkov in divja odlagališča ter gnojenje z umetnimi gnojili oziroma digestatom (Kolar, 2017). Naravno ozadje nitrata za sisteme podzemne vode je ocenjeno na okoli 3,8 mg/l (Kolar, 2017).

2.3.2.2 KLORID

Kloridni ion (Cl^-) najdemo v številnih solih (npr. kuhinjska sol), ki so pogosto zelo dobro topne v vodi. V naravi najdemo kloride predvsem v morski vodi.

V kraških izviroh ob večjih cestah so bile v preteklosti v zimskem času izmerjene povišane koncentracije klorida zaradi soljenja cest. (Mihec, 2016) Poleg natrijevega klorida (NaCl) se za posipavanje cestišč uporabljata tudi kalcijev in magnezijev klorid (CaCl_2 in MgCl_2) (Šeme Lesjak, 2014).

Najobsežnejši antropogeni viri kloridov v podzemni vodi so predvsem soljenje cest pozimi in kmetijstvo. Poleg tega so pomembni viri klorida tudi kanalizacijske in gospodinjske odplake (vodni mehčalci), živalski odpadki, umetna gnojila, ki vsebujejo kalijev klorid (KCl), in izcedne vode na odlagališčih (Mullaney, Lorenz, & D., 2007).

2.3.2.3 SULFAT

Sulfatni ion (sulfatni(VI) ion, SO_4^{2-}) nastane z oksidacijo žvepla ali žveplovega dioksida. Sulfati so dobro topni v vodi. Zasedimo jih lahko tako v zraku in zemlji, kot tudi v vodi (Sulfat, 2017).

Naravni viri sulfata v podzemni vodi vključujejo posedanje iz ozračja (primarni vir žveplovega dioksida, ki se z oksidacijo pretvori v žveplovo(VI) kislino, so predvsem vulkani in gozdni požari) ter raztapljanje sulfatnih in sulfidnih mineralov. Antropogeni viri obsegajo mavce, rudnike premoga, umetna gnojila, fosilna goriva, termoelektrarne in metalurške rafinerije (Miao, Brusseau, Carroll, Carreón-Diazconti, & Johnson, 2012).

2.3.2.4 NITRIT

Nitritni ion (nitratni(III) ion, NO_2^-) je prav tako kot nitratni ion del dušikovega kroga. Je manj stabilen od nitrata, zato se v okviru bioloških in kemičnih procesov pogosto oksidira do nitrata. Prav tako kot za nitrat so antropogeni viri nitrita gospodinske in kanalizacijske odplake ter gnojila (Nitrate and nitrite in drinking-water, 2016).

2.3.3 Viri onesnaževanja na raziskovalnem območju

Obremenjenost podzemnih voda na raziskovalnem območju je v več primerih posledica neodgovornega ravnanja in neupoštevanja priporočil dobre prakse kmetovanja – spiranje cistern, odvajanje gnojnice v vodotoke, prevelike količine gnojila na enoto površine, gnojenje na nagnjenih terenih in neprimeren čas gnojenja (Kolar, 2017). Skrb vzbujajoča je pretirana raba biognojivke oziroma digestata iz bližnje bioplinarne in farne prašičev, hkrati pa je zaradi spiranja uporabljenih herbicidov in pesticidov problematično tudi bližnje vinogradniško območje (Bajuk & Vraničar, 2020).

Predvideni razlogi za zmanjšanje populacije črne človeške ribice so poleg intenzivnega kmetijstva še industrijske in komunalne odplake, nepremišljeno izčrpavanje podzemne vode, ki se odraža v zmanjševanju zaloga podzemne vode, ter genetsko onesnaženje (prenos osebkov na druge lokalitete) (Hudoklin, 2011).

Na raziskovalno območje in njegovo okolico je vezanih še nekaj drugih ekoloških problematik. Izvir Krupe je zaradi divjih odlagališč semiške Iskre onesnažen s PCB. Kritično je zasuto odlagališče livarskega peska, stranskega produkta tovarne Belt, ki vsebuje okoli 50.000 ton odpadkov (Bajuk & Vraničar, 2020). V okviru deponij odpadkov so kritični aromatski ogljikovodiki in težke kovine, ki so jih zasledili tudi v tkivih črne človeške ribice (Hudoklin, 2018) (Zalar, 2010).

2.4 Pregled zakonodaje

V **Pravilniku o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam** (Ur. l. RS 82/2002) je črni močeril opredeljen kot *redka* podvrsta, ki je potencialno ogrožena zaradi omejene prostorske razširjenosti, medtem ko je beli močeril opredeljen kot *ranljiva* podvrsta.

Uredba o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16) določa merila, okoljske standarde in monitoringe za ugotavljanje stanja podzemnih voda. Določa parametre, za katere so določeni standardi kakovosti, in parametre, za katere so določene vrednosti praga v podzemni vodi. Predvideni standard kakovosti za nitrata je **50 mg/l** in ne upošteva določene varne koncentracije za črno človeško ribico, ki je pod 10 mg/l (Kolar, 2017). Standardi za sulfat, klorid in nitrit ne obstajajo.

Dobro kemijsko stanje podzemne vode je definirano na podlagi treh točk:

1. na nobenem merilnem mestu letna povprečna vrednost ne presega vrednosti standardov kakovosti in vrednosti praga,

2. koncentracije onesnaževal ne izkazujejo tujih vdorov, ne preprečujejo doseganja okolijskih ciljev, ne povzročajo značilnega poslabšanja stanja površinskih voda, ki so povezane s podzemnimi vodami,
3. spremembe v električni prevodnosti ne nakazujejo vdorov tuje vode v vodno telo podzemne vode.

Uredba o stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13 in 24/16) določa merila, okoljske standarde in monitoringe za ugotavljanje stanja površinskih voda. Predvideni standard kakovosti je za nitrata **25 mg/l** in za sulfate **15 mg/l** (zelo dobro) oziroma **150 mg/l** (dobro), standardov za klorid in nitrit pa ne opredeljuje.

Pravilnik o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17) določa zahteve, ki jih mora izpolnjevati pitna voda z namenom varovanja zdravja ljudi pred škodljivimi učinki onesnažene pitne vode. Določa mejno vrednost **50 mg/l** za **nitrat** in **0,50 mg/l** za **nitrit**.

Uredba o varstvu voda pred onesnaženjem z nitrati iz kmetijskih virov (Uradni list RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17) predpisuje ukrepe za zmanjšanje in preprečevanje onesnaževanja voda, ki ga povzročajo nitrati iz kmetijskih virov. Del teh je tudi splošna časovna prepoved gnojenja, ki prepoveduje gnojenje s tekočimi organskimi gnojili v času od 15. novembra do 1. marca, gnojenje s hlevskim gnojem v času od 1. decembra do 15. februarja in gnojenje z mineralnimi gnojili, ki vsebujejo dušik, v času od 15. oktobra do 1. marca.

2.5 Monitoring podzemnih voda na preučevanem območju

Od leta 2014 ARSO spremlja kakovost podzemnih voda na več področjih, kjer je (ali je bila) prisotna človeška ribica, med drugim tudi na **Jelševniku** (izvir 2, Šotor) in **Otovskem bregu** (izvir 4). Vzorčenje so sprva izvajali tudi sedemkrat letno, od leta 2017 naprej pa zgolj dvakrat letno, in sicer v spomladanskem in jesenskem času. Vsakič določijo fizikalne parametre, to je temperaturo zraka, temperaturo vode, pH, električno prevodnost, kisik, nasičenost s kisikom in redoks potencial, in kemijske parametre, kot so amonij, nitrit, nitrat ter ortofosfat (fosfat(V)), enkrat letno določajo tudi kovine (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020)

V Tabela 3 so prikazani podatki kemijskega stanja podzemne vode, kot ga je v preteklosti izmeril ARSO. Z rdečo barvo so označene tiste meritve, ki so kritične glede na oceno tveganja za človeško ribico (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020).

Rezultati meritev koncentracij **nitrata** so pokazali, da mejne vrednosti iz *Uredbe o stanju podzemnih voda* (Ur. l. RS št. 25/09, 68/12, 66/16) v nobenem izmed zgornjih izvirov niso bile presežene, zato je kemijsko stanje v letu 2019 označeno kot *dobro*. Navezujoč se na ocenjeno mejno vrednost nitratov za preživetje močerila, merilno mesto Jelševnik enako dosega *dobro* stanje, medtem ko je merilno mesto Otovski breg kritično onesnaženo (kaže *slabo* stanje). Ekološko stanje obeh izvirov, ki se med drugim vrednoti na podlagi celokupnega fosforja in nitrata, je bilo v letu 2019 ocenjeno kot *dobro* oziroma *zelo dobro* (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020).

Spomladi leta 2019 so na Otovskem bregu analizirali tudi **ostanke zdravil**. Vzorčenje so opravili samo enkrat. Nad mejo določljivosti so v vzorcu zasledili sulfametoksazol (0,061 µg/l). Gre za antibiotik, ki se uporablja tudi v veterinarski medicini. Za njegov izvor se predvidevajo komunalne odpadne vode in gnojenje površin v zaledju izvira (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020).

Tabela 3: Izmerjene koncentracije nitrata v mg/l (Vir: (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020)).

LETO	MESEC	JELŠEVNIK (2)	OTOVSKI BREG (4)
2014	maj	2,82	11,80
	junij	3,49	16,20
	julij	3,51	18,35
	avgust	3,39	12,80
	september	3,90	9,78
	oktober	4,42	12,00
	november	3,10	6,54
2015	junij	3,80	13,70
	julij	3,18	16,50
	avgust	4,39	17,00
	september	3,91	16,10
	oktober	4,13	14,90
	november	2,48	11,40
	december	2,33	9,06
2016	april	2,56	12,80
	junij	3,2	13,10
	avgust	3,86	19,70
	oktober	4,25	17,20
2017	junij	2,83	19,90
	oktober	3,52	15,80
2018	maj	2,59	15,50
	oktober	3,85	18,40
2019	maj	6,71	6,36
	september	4,66	20,6
2020	junij	4,07	16,6
	september	4,40	18,3

2.6 Ionska kromatografija

2.6.1 Splošno o kromatografiji

Kromatografija je skupina tehnik analizne kemije za ločevanje zmesi. Splošni princip je, da vzorec, navadno v toku topila, razločimo na podlagi za posamezno komponento specifičnih fizikalno-kemijskih lastnosti (Kromatografija, 2020).

Glede na agregatno stanje mobilne faze kromatografijo delimo na plinsko (GC) in tekočinsko kromatografijo (LC). Glede na mehanizem ločevanja poznamo še ionsko in gelsko izključitveno kromatografijo (Kromatografija, 2020).

S kromatografijo je povezanih nekaj specifičnih pojmov, sestavnih delov kromatografa oziroma kromatografije kot postopka:

- **kromatograf** – naprava za izvajanje kromatografije,
- **kromatogram** – diagram, ki predstavi rezultate kromatografije,
- **analit** – snov, komponenta zmesi, ki jo želimo detektirati,
- **eluent** ali **mobilna faza** – topilo, ki nosi analit,
- **stacionarna faza** – fiksirana snov, s katero imajo analiti v mobilni fazi interakcije,

- **kolona** – cev, v kateri se nahaja stacionarna faza. Ker posamezne komponente s stacionarno fazo različno močno interagirajo, se analiti na koloni zadržujejo različno dolgo, tako pa pride do ločitve komponent vzorca,
- **predkolona** – krajša kolona, ki ščiti kolono pred nečistotami v vzorcu in mobilni fazi,
- **retencijski čas** – karakteristični čas, ki ga posamezen analit potrebuje, da prepotuje pot skozi kolono do detektorja (Kromatografija, 2020).

2.6.2 Ionska kromatografija

Ionska kromatografija uporablja kot lastnost, na podlagi katere ločuje analite v zmesi, njihov naboj. Uporablja se lahko zgolj za ločevanje nabitih spojin, kot so anioni, kationi, aminokisliline, peptidi in proteini. Napravo za ionsko kromatografijo imenujemo ionski kromatograf (Slika 13) (Kromatografija, 2020).

Postopek anionske kromatografije poteka v sledečem vrstnem redu:

1. Injiciranje vzorca v alkalno mobilno fazo.
2. Mobilna faza z analitom potuje skozi kolono, ki vsebuje stacionarno fazo.
3. Negativno nabiti anioni vzorca se porazdeljujejo med pozitivno nabito stacionarno fazo na koloni in premikajočo se mobilno fazo.
4. Različni analiti se na stacionarno fazo različno močno vežejo (ionske interakcije). Tisti, ki se nanjo bolj močno vežejo, se v toku mobilne faze skozi kolono premikajo počasneje. Tako se, medtem ko mobilna faza enakomerno teče čez kolono, analiti po njej premikajo z različnimi hitrostmi in se zato med seboj ločijo.
5. Na koncu kolone je detektor na osnovi prevodnosti, ki analizira izhodno tekočino iz kolone. Vsakič, ko ioni analita izstopijo iz kolone, detektor zabeleži signal, ki je viden kot kromatografski vrh.
6. Za zmanjšanje prevodnosti zaradi ionov eluenta v ozadju se uporablja supresor, ki zmanjša prispevek pozitivno nabitih ionov in s tem ojača signal ionov analita (Ion Chromatograph to detect major anions in precipitation (snow), groundwaters and drinking waters from New York, 2020).



Slika 13: Ionski kromatograf (foto: Vid Kavčič, 24. 8. 2020).

2.6.3 Ionski kromatogram

Ionski kromatogram (Grafikon 1) prikazuje odvisnost električne prevodnosti (v mikrosiemenskih, μS [$S = A/V$]) od časa, med katerim vzorec potuje skozi kromatografski sistem. Na kromatogramu se pojavljajo *vrhovi* (v žargonu piki: iz ang. »peak«) pri določenih retencijskih časih, ki so značilni za posamezne spojine, odvisni pa so tudi od kromatografske metode, ki jo uporabljamo.

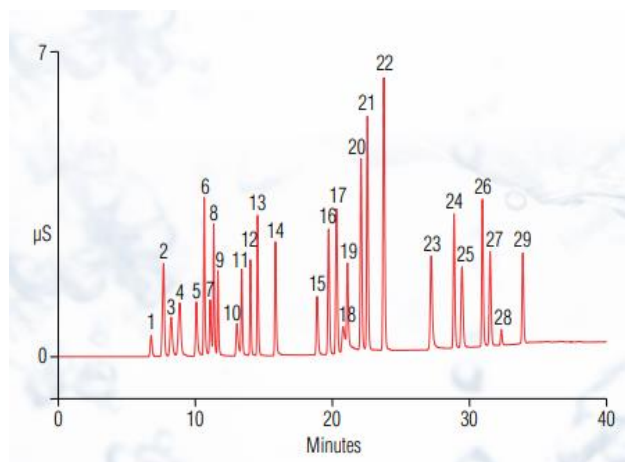
Izkaže se, da je koncentracija analita v vzorcu sorazmerna s površino pod vrhom, ki ustreza analitu. Program dobi površino pod vrhom z numeričnim integriranjem, na podlagi površine (z enotami $\mu\text{S min}$) pa lahko s primerjavo z umeritveno premico določimo koncentracijo analita v vzorcu (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2013).

2.6.4 Slepi vzorec, standardne raztopine in umeritvena premica

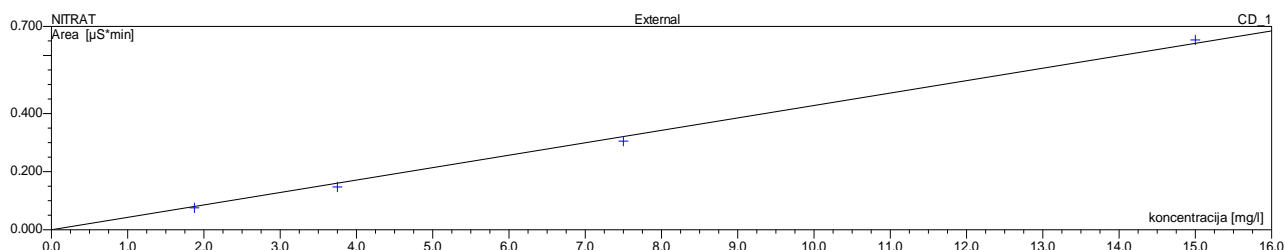
Slepi vzorec je vzorec, ki ne vsebuje analita, hkrati pa vsebuje vse ostale komponente, ki jih vsebuje tudi vzorec. V našem primeru smo za slepi vzorec vzeli ultra čisto Mili-Q vodo. Uporabimo ga, da dobimo vpogled v ozadje, ki ga po potrebi odštejemo od signala vzorca.

Standardna raztopina je raztopina, ki vsebuje poznano koncentracijo analita (standarda), ki ga želimo sicer analizirati v vzorcih. Skupaj z umeritveno premico, razdelano v nadaljevanju, omogočajo standardne raztopine pretvorbo relativnih signalov, ki jih poda kromatograf, v kvantitativne podatke o koncentraciji analita v vzorcu.

Umeritvena premica (Grafikon 2) je premica na grafu odvisnosti površine pod vrhom ob določenem retencijskem času na ionskem kromatogramu od koncentracije standardne raztopine za to določeno spojino. Pripravimo jo tako, da osnovno standardno raztopino razredčimo do različnih poznanih koncentracij v pričakovanem koncentracijskem območju vzorcev, kjer instrument daje linearen odziv (Instrumentalna kvantitativna analiza, 2018). Naklon oziroma enačbo umeritvene premice kasneje uporabimo pri preračunu površine vrhov analiziranega vzorca v koncentracijo določene spojine, pri čemer vedno primerjamo zgolj vrhove ob istih retencijskih časih.



Grafikon 1: Primer kromatograma kompleksnega vzorca, ki je priložen v specifikacijskem listu kolone. Vrhovi, označeni s 13, 14, 17, 18, 21, 24 označujejo zaporedoma klorid, nitrit, nitrat, karbonat, sulfat in fosfat. (Vir: (Thermo Scientific Dionex IonPac AS11-HC-4 μm Anion-Exchange Column, 2013))



Grafikon 2: Primer umeritvene premice za nitrat – površina vrha (pri retencijskem času 10,9 s) v odvisnosti od koncentracije standarda. Osnovna standardna raztopina (15 mg/l) je bila razredčena na 50 %, 25 % in 12,5 % svoje prvotne koncentracije.

3. Raziskovalni del

3.1 Terensko delo in zbiranje podatkov

Zelo pomemben del mojega raziskovanja je predstavljalo terensko delo. Izvire sem obiskoval praviloma enkrat tedensko v obdobju med oktobrom 2019 in oktobrom 2020. V okviru terenskega dela sem opazoval pojavljanje človeške ribice, meril višino gladine vode (podatki niso del moje raziskovalne naloge) in vzorčil vodo. Pripomočki, ki sem jih imel pri terenskem delu vedno s sabo, so bili mizarski meter z milimetrsko natančnostjo, centrifugirke (tj. neke vrste plastične epruvete, večinoma 15 ml), disk filtri iz regenerirane celuloze za injekcijske brizge (velikost por $0,2\ \mu\text{m}$) in sterilne 10 ml injekcijske brizge (Slika 14).



Slika 14: Pripomočki za terensko delo: meter, brizga, centrifugirka in filtri
(foto: Vid Kavčič, 15. 11. 2020).

Sprva sem vodo posebej vzorčil tudi za analize s kovčkom za analizo vode Macherey-Nagel, visocolor School, ki sta ga pred mano uporabljali že Bajuk in Vraničar (2020). Vrednosti, določene s temi analizami, so zelo nenatančne (napake okvira $5\ \text{mg/l}$), kar za resno raziskavo kakovosti vode na izvirih človeške ribice, ki je občutljiv jamski organizem, ne zadostuje. Te meritve so mi tako služile zgolj kot motivacija v začetni fazi raziskave, da sem kasneje za kemijsko analizo vode uporabljal natančnejše analize. V raziskovalni nalogi predstavljam le rezultate kasnejših kemijskih analiz z ionskim kromatografom, ki sem jih opravljal na Kemijskem inštitutu v Ljubljani.

Komplementarne podatke o količini padavin sem pridobili iz baze podatkov ARSO, ki vključuje podatke o dnevni količini padavin, izmerjene na meteorološki postaji Dobljče, ki se nahaja v bližini spremljanih izvirov (1,5 km stran od Jelševnika in 4,5 km stran od Otovca) (Arhiv podatkov, 2020).

3.1.1 Vzorčenje za ionsko kromatografijo

S sistematičnim vzorčenjem vode za potrebe analiz na Kemijskem inštitutu v Ljubljani sem na izvirih črne človeške ribice pričel konec oktobra 2019. Dne 25. 10. 2019 so bili sistematično odvzeti prvi vzorci, vzorčenje je nadalje potekalo praviloma enkrat tedensko, in sicer vsak petek zvečer.

Zavoljo primerjav sem na začetku vzporedno vzorčil dva tipa vzorcev; *filtrirane* in *nefiltrirane*.

Filtrirane vzorce vode sem jemal vse leto. S pomočjo sterilne 10 ml plastične brizge sem odvzel vzorec vode na globini približno 5 cm. Na ustje polne brizge sem namestil temu namenjen filter v velikostjo por $0,2\ \mu\text{m}$ in vodo iz brizge skozenj iztisnil v 15 ml centrifugirko. S tem sem iz vzorca odstranil trdne delce vključno z bakterijami, katerih velikost je običajno okoli $0,5\text{--}5,0\ \mu\text{m}$, in tako omejil staranje vzorca. Filtrirane vzorce sem vsakokrat opremil z datumom, številko izvira in oznako A; oznaka 25.10.2019-3A na primer pomeni filtrirani vzorec iz izvira številka 3 na dan 25. 10. 2019.

Nefiltrirane vzorce sem na začetku (do januarja 2020) za enostavnejšo takojšnjo analizo s kovčkom za terensko analizo vode shranjeval v 150 ml steklenih vsebnikih. Poleg tega sem jih zavoljo analiz na inštitutu shranil tudi v 50 ml centrifugirke. Vzorce te vrste sem vsakič označil kot opisano zgoraj, le da sem jih opremil z oznako B; oznaka 25.10.2019-1B tako pomeni nefiltriran vzorec iz izvira številka 1 na dan 25. 10. 2019.

Vzorci sem shranjeval v hladilniku, zaščitene pred svetlobo. Od vzorčenja do analize je minilo od nekaj dni do največ enega meseca (razen pri testiranju staranja vzorcev, ko sem iste vzorce analiziral večkrat).

3.2 Analiza vzorcev

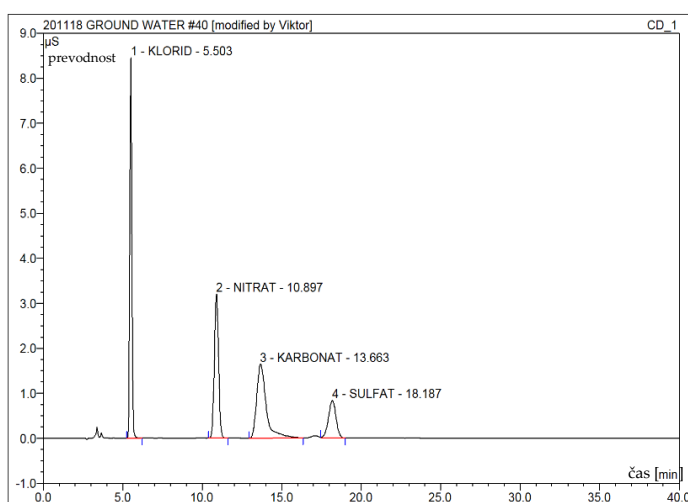
3.2.1 Kromatografska metoda

Za analizo anionov v vzorcih podzemne vode sem uporabljal ionski kromatograf Dionex ICS-3000 (Slika 13) in kolono Dionex IonPac AS11-HC-4 μ m, ki se uporablja za določanje sledi komponent v neznanih vzorcih, med drugim za določanje organskih kislin in anorganskih anionov v **odpadnih vodah** (Thermo Scientific Dionex IonPac AS11-HC-4 μ m Anion-Exchange Column, 2013). Uporabljal sem še predkolono Dionex IonPac AG11-HC-4 μ m in supresor ASRS_4mm.

Za mobilno fazo sem uporabil 10 mM NaOH (izokratska ločba⁵), hitrost toka sem nastavil na 1 ml/min, temperatura kolone je bila 30 °C in volumen injiciranega vzorca 10 μ l. Vsaka analiza je trajala 40 minut. Ionski kromatograf je računalniško podprt s programskim orodjem Chromeleon proizvajalca ThermoFisher Scientific.

Grafikon 3 prikazuje vzorčen primer kromatograma, ki je značilen za moje analizirane vzorce. Na njem sem vsakokrat opazil vrhove za klorid, nitrat, sulfat in karbonat. Ker se izviri nahajajo na kraškem območju, za katerega je značilen apnenec, karbonata nisem kvantitativno določal, hkrati pa je karbonat tudi sicer pogosta nečistota pri ionski kromatografiji zaradi raztapljanja ogljikovega dioksida iz zraka.

Poleg prikazanih vrhov sem v kasnejših vzorcih opazil še dodaten vrh pri retencijskem času 6,4 min, ki sem ga s pomočjo standarda identificiral kot nitrit.



Grafikon 3: Vzorčen primer ionskega kromatograma, značilnega za moje vzorce. Konkretno gre za kromatogram vzorca B1 z dne 25. 10. 2019.

3.2.2 Priprava vzorcev

S pripravo vzorca za ionsko kromatografijo se je začelo moje delo v kemijskem laboratoriju. Pred tem sem opravili izpit iz varnosti pri delu in zdravniški pregled na medicini dela. Pri delu sem uporabljal vso potrebno zaščitno opremo, torej zaščitna očala, haljo in rokavice. Mentorica me je seznanila z dobro prakso dela v laboratoriju in z ustreznim ravnanjem z odpadki.

Pred analizo sem vsak vzorec najprej ponovno prefiltriral skozi filter v obliki diska z velikostjo por 0,2 μ m s pomočjo plastične brizge, nato pa s približno 1,5 ml prefiltriranega vzorca napolnil vialo, majhno stekleničko, ki ustreza avtomatskemu vzorčevalniku ionskega kromatografa. Uporabljal sem 2 ml vialo in pokrovčke iz tankega gumijastega materiala z zarezo, ki omogoča lažji prehod kromatografske igle za injiciranje vzorca.

⁵ Izokratska ločba – med analizo ves čas uporabljamo mobilno fazo enake sestave.

3.2.3 Priprava standardnih raztopin

Standardne raztopine sem pripravil iz kupljenih standardnih raztopin (Fluka Analytical) nitrata, klorida in sulfata z masno koncentracijo $\gamma_0 = 1000 \text{ mg/l}$. Ker sem želel meriti veliko nižje koncentracije od predpripravljenih, sem moral standarde razredčiti. Na osnovi preliminarnе analize enega od vzorcev sem se odločil, da želim osnovno standardno raztopino s koncentracijami $\gamma_1 = 15 \text{ mg/l}$ za nitrat, $\gamma_1 = 12 \text{ mg/l}$ za klorid in $\gamma_1 = 10 \text{ mg/l}$ za sulfat. Osnovno raztopino sem pripravil v $V_1 = 100 \text{ ml}$ bučki. Izračunal sem, kolikšno prostornino kupljenega standarda potrebujem za tarčne koncentracije posameznih analitov v njej. V merilno bučko sem z 0,5 ml nastavljivo mikropipeto odpipetiral

$$V_0 = \frac{\gamma_1}{\gamma_0} V_1 = \frac{15 \text{ mg/l}}{1000 \text{ mg/l}} \cdot 100 \text{ ml} = 1,5 \text{ ml}$$

standarda za nitrat. Po analognem postopku sem izračunal še prostornine 1,2 in 1,0 ml za klorid in sulfat. Bučko sem do graduacije napolnil z Mili-Q vodo, pri čemer sem pri dodajanju vode do oznake upošteval spodnji meniskus. Bučko sem zaprl, dobro premešal in jo shranil v hladilniku. Ultra čisto Mili-Q vodo sem pridobil iz sistema za pripravo te vode Millipore Elix 10 & Mili-Q Gradient.

V vseh vzorcih sem našel tudi vrh za karbonat. Ker gre za vzorce kraške podzemne vode, v kateri je karbonat zaradi prisotnosti apnenca nekaj povsem pričakovane in naravnega, sem sklepal, da pri izginjanju črne človeške ribice nima pomena. Zato ga nisem kvantificiral, vsled česar standarda nisem pripravil.

Skladno z literaturnim pregledom so me zanimali tudi fosfati v vzorcih. Pripravil sem ustrezen standard in ugotovil, da v vzorcih ni prisoten oziroma je pod mejo detekcije. Na kromatogramih kasnejših vzorcev sem dodatno opazil še vrh za nitrit, ki sem ga kvantificiral tako, da sem po istem postopku kot zgoraj pripravil osnovno standardno raztopino s koncentracijo 3 mg/l.

Za določitev koncentracij analitov v vzorcih s pomočjo umeritvene premice sem naredil še tri razredčitve pripravljene osnovne raztopine z ustrežno nižjimi masnimi koncentracijami analitov; pripravljeni standard sem razredčil na 50, 25 in 12,5 %. To sem storil tako, da sem odpipetiral 25 ml pripravljenega standarda v 50 ml merilno bučko in jo z vodo dopolnil do oznake. Tako dobljeno raztopino sem ponovno razredčil »na pol« in dobil različico 25 %, po vnovični ponovitvi postopka pa še 12,5 %.

3.2.4 Staranje vzorca

Namen vzporednega vzorčenja filtriranih (A) in nefiltriranih (B) vzorcev je bil preveriti, kakšno je staranje vzorca. Set vzorcev z dne 25. 10. 2019 sem analiziral takoj naslednji dan po vzorčenju in po enem tednu, nato pa še čez slabe tri mesece (11. 2. 2020) ter čez dobro leto (1. 12. 2020). Že na podlagi začetnih primerjav sem prišel do odločitve, da preneham z vzorčenjem B vzorcev.

4. Rezultati

4.1 Natančnost podajanja podatkov

4.1.1 Napake pri delu

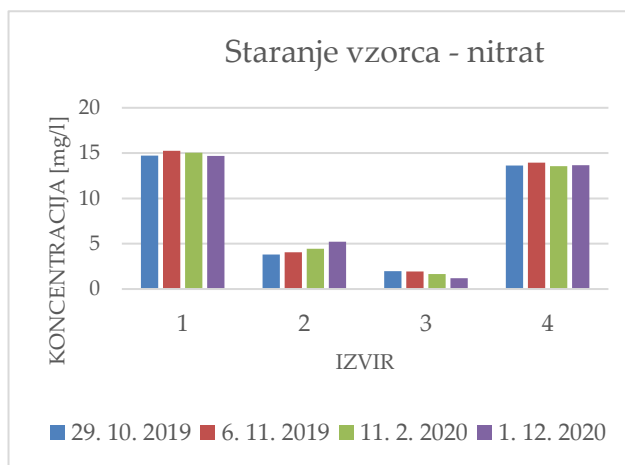
Na napako pridobljenih podatkov vpliva več faktorjev. Na eni strani sem naredil napako že pri samem vzorčenju; vzorčil sem namreč na nekem točkovnem mestu, zato bi gotovo dobil nekoliko drugačne podatke, če bi vzorčil na primer en meter stran. Idealno bi bilo vsakič analizirati po tri naključno odvzete vzorce na vsakem merilnem mestu in izračunati njihovo povprečje, a se zaradi količine dela in porabljenih kemikalij za to nisem odločil.

Poleg tega je pomembno na tem mestu izpostaviti predvsem staranje vzorca, ki sem ga razdelal v raziskovalnem delu in ga je potrebno prav tako upoštevati pri napaki. Nekolikšno napako sem naredil tudi pri pripravi in redčenju standardne raztopine. Seveda svoj delež prispeva še instrumentalna napaka, vendar je ta, v primerjavi z ostalimi napakami, zelo majhna (1 %).

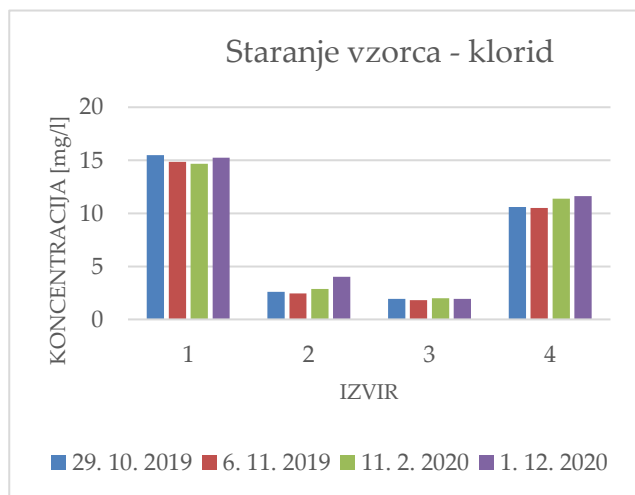
4.1.2 Staranje vzorca

Ocenjujem, da lahko staranje vzorca zelo prispeva k napaki meritev. Že prva analiza (25. 10. 2019, 1 dan po vzorčenju) je pokazala opazno odstopanje koncentracij posameznih analitov pri A in B vzorcih, po enem tednu pa so bila odstopanja že do 26 % pri nitratu, 14 % pri kloridu in 34 % pri sulfatu (podatki niso prikazani).

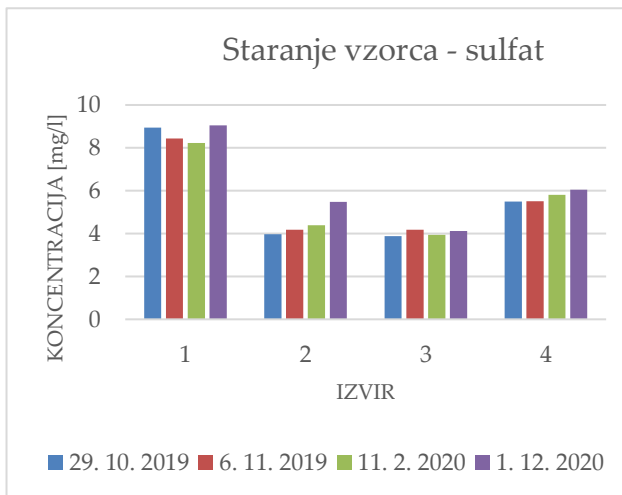
Relativna odstopanja med meritvama posameznih B vzorcev v intervalu enega tedna so bila do 20 % pri nitratu, 17 % pri kloridu in 42 % pri sulfatu. Pri A vzorcih so bile razlike bistveno manjše: do 3,5 % pri nitratu, 6,4 % pri kloridu in 7,7 % pri sulfatu v roku enega tedna.



Grafikon 4: Staranje vzorca z vidika nitrata.



Grafikon 6: Staranje vzorca z vidika klorida



Grafikon 5: Staranje vzorca z vidika sulfata.

Vzorci A sem izmerili še 11. 2. 2020 in 1. 12. 2020, torej po okoli treh mesecih in po približno enem letu po vzorčenju. Zanimivo je, da je bilo relativno odstopanje pri A vzorcih po več kot enem letu

največ 40 % pri nitratu, 28 % pri kloridu in 20 % pri sulfatu. Najbolj sta se starala vzorca 2 in 3, to pa najverjetneje zaradi sicer absolutno nizkih koncentracij merjenih analitov, medtem ko je bilo relativno odstopanje po enem letu pri vzorcih 1 in 4 največ 4,5 % za nitrat, 9,3 % za klorid in 10 % za sulfat. Staranje vzorcev A natančneje prikazujejo Grafikon 4, Grafikon 5 in Grafikon 6.

Hkrati je prišlo pri koncentracijah analitov v vzorcih B po ponovni analizi čez več kot leto dni tudi do 120 % odstopanj, kar kaže na učinkovitost takojšnjega filtriranja ob vzorčenju.

4.1.3 Sklep o natančnosti podajanja podatkov

Predvsem na podlagi odstopanj, dobljenih pri analizi staranja vzorcev, in ob upoštevanju obstoja ostalih možnih napak, sem se odločil, da relativno napako pri nitratu razglasim za 5 %, pri sulfatu in kloridu pa za 10 %, tako da so pri posameznih analitih vsa izmerjena relativna odstopanja (do enega meseca po vzorčenju) manjša od privzetih vrednosti. Podobno visoka nezaupanja so za določevanje nitrata in sulfata z ionsko kromatografijo določili tudi s precej bolj poglobljeno statistično analizo (Tepuš & Simonič, 2006).

Podatke (v tabelah in v besedilu) bom torej vselej podal tako, da bo zadnje zanesljivo mesto sovpadalo z mestom, na katerem se začne absolutna napaka, ki sem jo določil na podlagi ocenjene relativne napake. To bo v praksi pomenilo, da bom podatke navajal na dve oziroma tri zanesljiva mesta natančno.

4.2 Letni pregled meritev in primerjava z ARSO ter padavinami

Na podlagi podatkov, pridobljenih v leto dolgem rednem vzorčenju in analizah vode, sem za vsak posamezen analit narisal graf, ki prikazuje vse izmerjene koncentracije analita na posameznem izvirov (Grafikon 7, Grafikon 8 in Grafikon 9). Izviri so ponazorjeni z barvnimi točkami, na grafih pa z modrimi stolpci hkrati prikazujem še podatke o dnevni količini padavin. Na abscisi je čas v dnevih od prvega vzorčenja (25. 10. 2019, dan 0) dalje.

Vsakemu grafu sem dodal tudi tabelo z izračunanimi povprečnimi vrednostmi in intervalom sipanja meritev (Tabela 4, Tabela 6, Tabela 7). Kjer je bilo to možno (le pri nitratu), sem dodal še odstotek kritičnih meritev (torej meritev, ki presegajo vrednost ocene tveganja za močerila pri 9,2 mg/l). Pri nitratu sem na podoben način obdelal tudi podatke meritev ARSO, ki v okviru rednih monitoringov podzemne vode spremlja izvira 2 in 4. To omogoča neposredno primerjavo mojih podatkov s podatki ARSO in s tem preverjanje realnosti ocene stanja, ki izhaja iz sicer nerednih monitoringov.

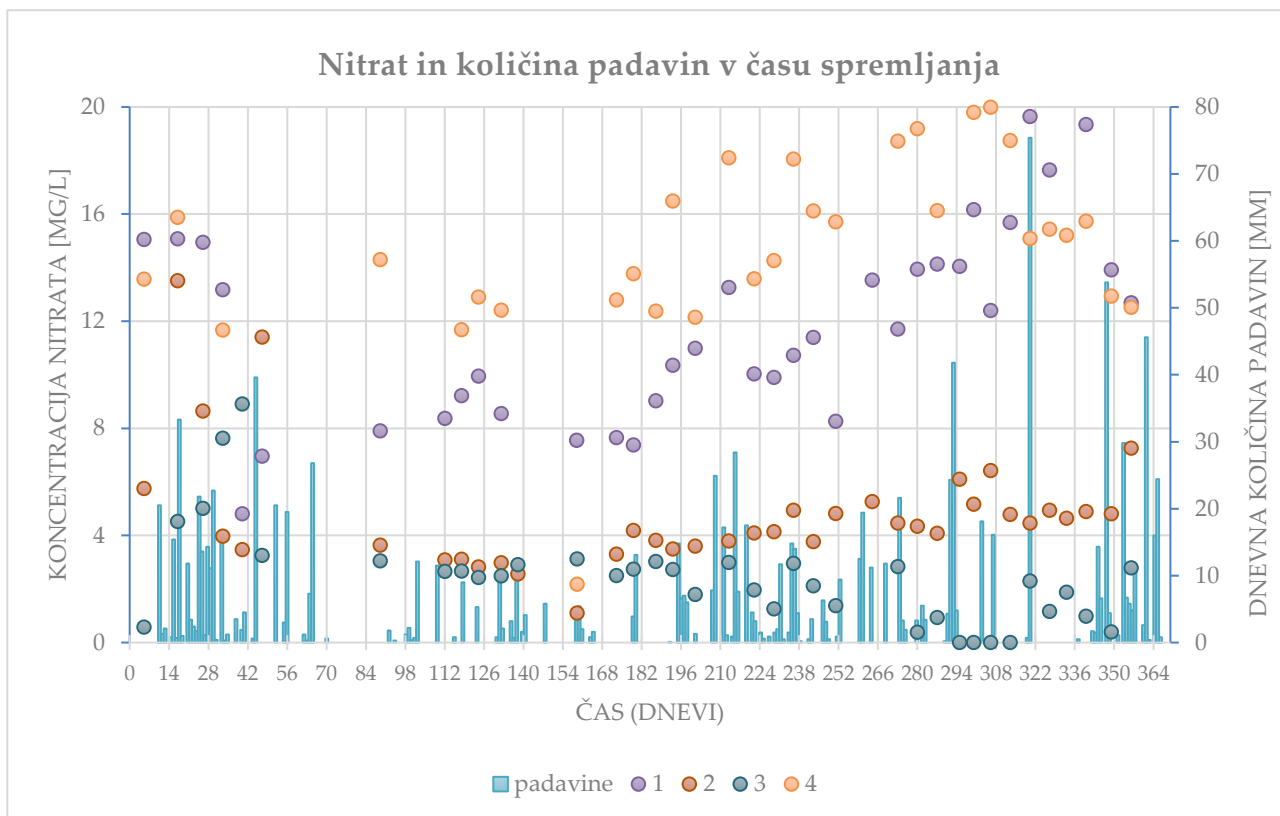
4.2.1 Nitrat

Z Grafikon 7 je razvidno, da sta izvira 1 in 4 bolj onesnažena kot izvira 2 in 3, na kar kažejo tudi povprečne koncentracije v Tabela 4. Najbolj onesnažen je izvir 4 (povprečna vrednost $(14,5 \pm 0,8)$ mg/l), najmanj onesnažen pa izvir 3 (povprečna vrednost $(3,6 \pm 0,2)$ mg/l).

Predvsem pri izvirov 1 in 4 sem opazil porast koncentracij nitrata v drugem delu meritev (od aprila 2020). Z Grafikon 7 lahko razberemo, da je bila onesnaženost z nitratom jeseni 2019 srednje visoka, najnižja je bila v zimskem času, nato pa je vse do poletja 2020 naraščala. Takrat je dosegla višek. Jeseni 2020 so se koncentracije ponovno spustile na neko srednjo raven.

Izvira 2 in 3 po drugi strani ne kažeta izrazitega sezonskega nihanja. Eden izmed razlogov za to je že splošno nizko onesnaženje.

Že iz Grafikon 7 je moč razbrati, da kakšne močne povezave med izmerjenimi koncentracijami nitrata in količino padavin ni.



Grafikon 7: Izmerjene koncentracije nitrata v posameznih izviroh v času spremljanja v povezavi z dnevno količino padavin.

Iz Tabela 4 je razvidno, da je povprečna koncentracija nitrata kritična (večja od 9,2 mg/l) na izviroh 1 in 4. Povprečna koncentracija nitrata v izviru 4 po meritvah ARSO se ujema z mojimi meritvami, le da sem v okviru teh zabeležil nekaj več primerov presežene kritične koncentracije.

Tabela 4: Kratek povzetek vseh podatkov za nitrat. Z * so označene meritve ARSO. Kritične vrednosti so tiskane rdeče.

NITRAT [mg/l]	1	2	2*	3	4	4*
povprečje in interval meritev	12,0 ± 0,6 4,8–20,6	4,8 ± 0,3 1,1–13,5	3,6 ± 0,2 2,3–6,7	2,3 ± 0,2 0,0–8,9	14,5 ± 0,8 2,2–22,2	14,4 ± 0,8 6,4–20,6
odstotek kritičnih meritev	70 %	5 %	0 %	0 %	94 %	88 %

Povprečna koncentracija nitrata v izviru 2 po meritvah ARSO je 25 % nižja od povprečne koncentracije nitrata naših meritev, hkrati pa podatki ARSO ne beležijo meritve, ki bi presežala kritično vrednost, pri čemer smo mi izmerili dve takšni vrednosti.

V času spremljanja izvirov sem vodo dvakrat vzorčil v istem tednu, ko je vodo v okviru rednega monitoringa vzorčil tudi ARSO. Pozno spomladi je ARSO vzorčil 1. 6. 2020, v začetku jeseni pa 23. 9. 2020. Posamezni meritvi sem primerjal s svojimi časovno najbližjimi meritvami. Primerjavo prikazuje Tabela 5.

Iz Tabela 5 je razvidno, da tako moje meritve kot meritve ARSO kažejo večje onesnaženje z nitratom v pozno poletnem času kot v pozno spomladanskem času. Meritvi ARSO za izvir 2 sta v obeh primerih primerljivi z mojimi meritvami (rahlo odstopanje 24. 9. 2020). Po drugi strani pa sta obe izmerjeni koncentraciji nitrata za izvir 4 po ARSO nekoliko višji v primerjavi z mojimi meritvami. To lahko pripišemo različnemu točkovnemu mestu vzorčenja – izvir 4 namreč ponuja veliko različnih vzorčevalni mest, ki se med seboj zelo razlikujejo; nekateri deli so pretočni, v drugih pa

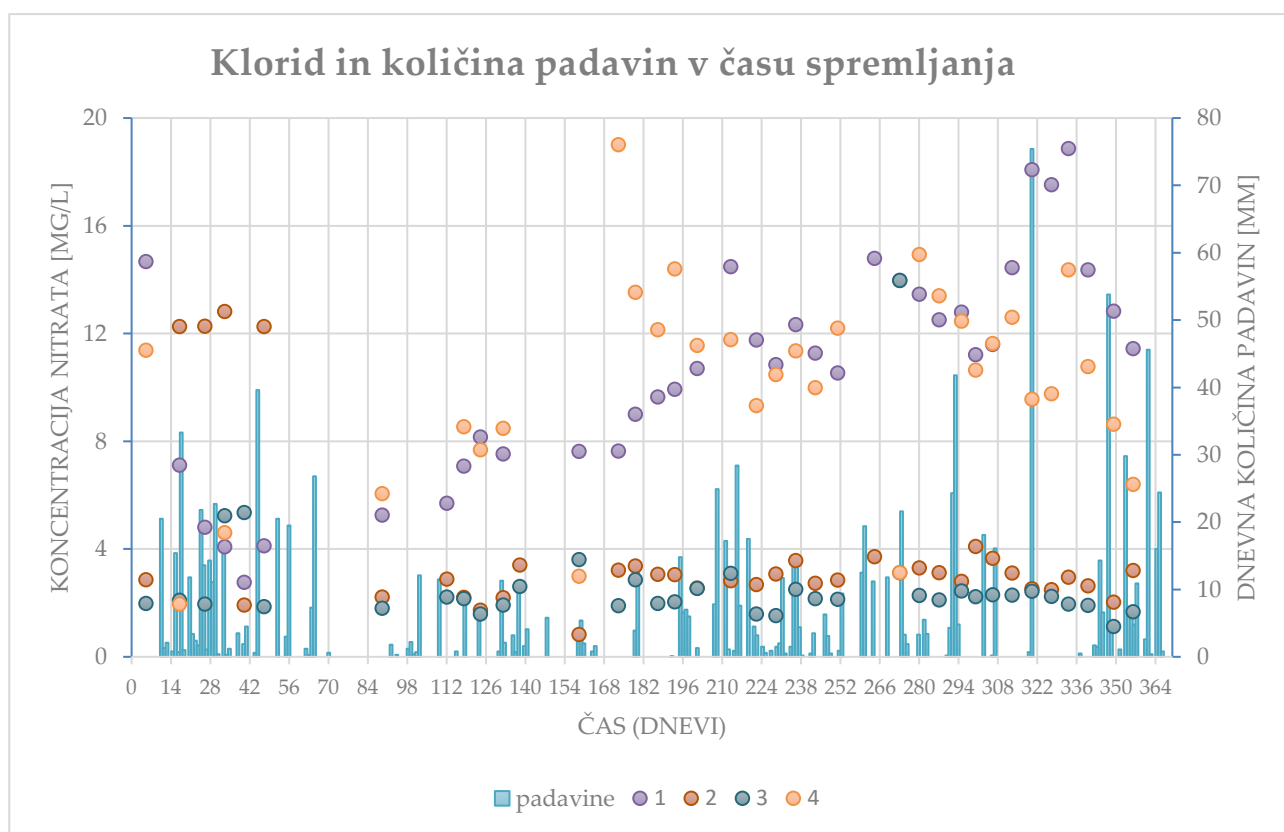
voda večinoma stoji, kar je lahko razlog opažena odstopanja. Ne glede na to, vse meritve vzorcev iz izvira 4 kažejo kritično onesnaženost z nitratom.

Tabela 5: Primerjava mojih meritev in meritev ARSO. Meritve ARSO so označene z *, kritične meritve pa rdeče.

Pozno spomladanski čas	2	4
29. 5. 2020	4,1 ± 0,2	13,6 ± 0,7
1. 6. 2020*	4,07	16,6
5. 6. 2020	4,1 ± 0,2	14,3 ± 0,8
Pozno poletni čas		
17. 9. 2020	4,6 ± 0,3	15,2 ± 0,8
23. 9. 2020*	4,40	18,3
24. 9. 2020	4,9 ± 0,3	15,8 ± 0,8

4.2.2 Klorid

Z Grafikon 8 lahko podobno kot za nitrat v prejšnjem primeru razberemo, da sta izvira 1 in 4 bolj onesnažena od izvirov 2 in 3, kar podpirajo tudi povprečne koncentracije za klorid zbrane v Tabela 6. Prav tako opazimo v drugi polovici leta predvsem v izviroh 1 in 4 intenzivnejše onesnaženje s kloridom.



Grafikon 8: Izmerjene koncentracije klorida v posameznih izviroh v času spremljanja v povezavi z dnevno količino padavin.

Vendar pa sta za razliko od nitrata izvira 1 in 4 primerljivo onesnažena s kloridom. Hkrati je pri izviroh 1 in 4 drugačno tudi sezonsko spreminjanje onesnaženosti – v jesenskem času je onesnaženje s kloridom nizko, nato se do poletja postopoma povečuje, konec poletja oziroma jeseni pa ponovno pade.

Opazimo lahko tudi štiri posebej izstopajoče meritve klorida v izviroh 2 jeseni 2019. Koncentracije so bistveno višje od povprečne koncentracije izmerjene na tem izviro. Vzroka za to žal nisem našel.

Tabela 6: Kratek povzetek vseh podatkov za klorid.

KLORID [mg/l]	1	2	3	4
povprečje in interval meritev	11 ± 2 2,1–19	3,8 ± 0,4 0,83–13	2,6 ± 0,3 1,1–14	10 ± 1 2,0–19

4.2.3 Sulfat

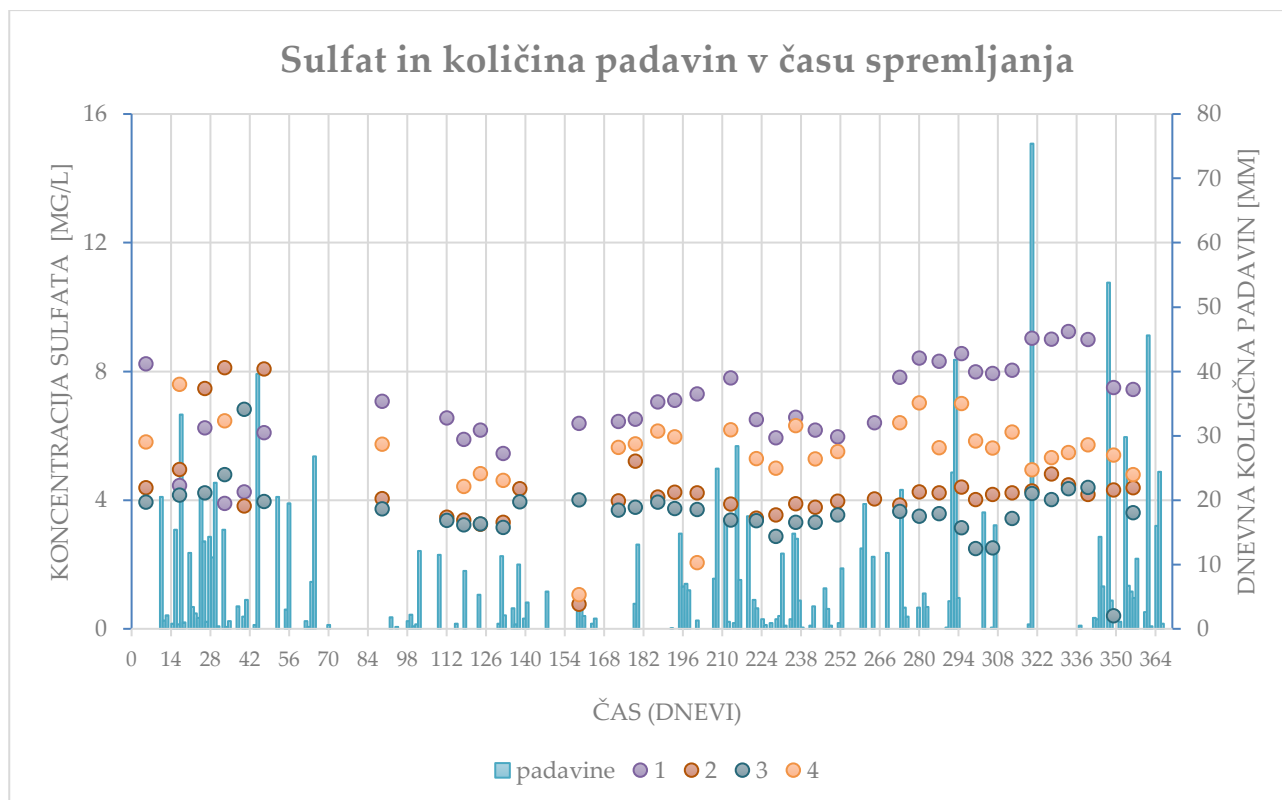
Iz Tabela 7 in z Grafikon 9 lahko za sulfat izluščimo podobne zaključke kot pri prejšnjih analitih; izvira 1 in 4 sta bolj onesnažena od izvirov 2 in 3. Prav tako lahko opazimo v drugi polovici meritev predvsem v izviri 1 in 4 intenzivnejšo rast onesnaženja s sulfatom (Grafikon 9).

Tabela 7: Kratek povzetek vseh podatkov za sulfat

SULFAT [mg/l]	1	2	3	4
povprečje in interval meritev	7,0 ± 0,7 3,9–9,2	4,3 ± 0,5 0,76–8,1	3,6 ± 0,4 0,4–6,8	5,5 ± 0,6 1,1–7,6

Vendar pa za sulfat za razliko od nitrata in klorida velja, da so razlike med izviri z vidika onesnaženosti manjše, prav tako so tudi nihanja koncentracij in rast v drugi polovici spremljanja manj izrazita. Najbolj onesnažen je izvir 1 (povprečna koncentracija 7,0 ± 0,7 mg/l), kar je razvidno tudi iz Tabela 7.

Podobno kot pri kloridu tudi pri sulfatu opazimo (tri) izstopajoče meritve v izviri 2 jeseni 2019, ki so bistveno višje od povprečne vrednosti.



Grafikon 9: Izmerjene koncentracije sulfata v posameznih izviri v času spremljanja v povezavi z dnevno količino padavin.

4.2.4 Nitrit

Konec junija 2020 sem na enem od kromatogramov opazil dodaten vrh, ki sem ga s primerjavo s standardom identificiral kot nitrit. Vrh sem s pomočjo umeritvene premice tudi kvantificiral, kljub temu da napake zaradi staranja vzorca z nitritom, ki se je pojavil le v nekaterih kasnejših vzorcih, na začetku raziskave nisem razdelal. Na podlagi ocen napak, ki sem jih določil za ostale analite, za nitrit privzemam višjo ocenjeno relativno napako, to je 10 %. V skladu s to oceno bom v nadaljnjem podajal tudi absolutne napake. Kljub vsemu ocenjujem, da je bolj kot absolutne vrednosti izmerjenih koncentracij pomembna prisotnost nitrita v vzorcih sama po sebi, saj je nitrit na splošno najbolj toksičen med vsemi določenimi analiti.

Tabela 8: Najvišje izmerjene koncentracije nitrita v posameznih izviroh.

	IZVIR 1	IZVIR 2	IZVIR 3	IZVIR 4
Najvišja izmerjena koncentracija nitrita [mg/l]	$0,61 \pm 0,06$	$0,16 \pm 0,02$	$0,57 \pm 0,06$	$0,25 \pm 0,03$

Nitrit sem največkrat opazil na izviro 3, najmanjkrat pa v vodi iz izvira 2. Koncentracije so bile v splošnem najvišje v poletnem času; v jesenskem času, ko sem jih tudi delektiral, so bile opazno nižje. Najvišja koncentracija ($0,61 \pm 0,06$) mg/l je bila izmerjena v izviro 1, kar je razvidno tudi iz Tabela 8. Vse vzorce, v katerih sem identificiral nitrit, prikazuje Tabela 11 v Prilogi.

5. Razprava

5.1 Pregled podatkov po letnih časih

Kot sem že sproti ugotavljal, meritve kažejo na neko sezonsko spreminjanje (onesnaženost izvirov je največja poleti, najmanjša pa pozimi), za kar se ponujata dve možni razlagi.

1. Sezonsko spreminjanje razmer.

Ob predpostavki, da je nihanje koncentracije nitrata v vodi posledica sezonskega spreminjanja razmer (naravni dejavniki, kot je na primer višina vodostaja, in gnojenje kmetijskih površin), lahko splošno naraščanje onesnaženosti v spomladanskem času povezujemo s splošno časovno prepovedjo gnojenja, ki traja do 1. marca. Največjo onesnaženost v poletnem času lahko poleg že navedenega razloga razlagamo tudi z nizkim vodostajem. Najmanjšo onesnaženost v zimskem času lahko ponovno povežemo s splošno časovno prepovedjo gnojenja, na podlagi katere je z začetkom decembra prepovedana uporaba vseh vrst gnojil.

Za končno potrditev te razlage bi bilo potrebno redno vzorčenje in analize izvajati vsaj še eno leto, prav tako pa pridobiti podatke o datumih gnojenja.

2. Karantena zaradi pandemije COVID-19.

Ker čas začetka povečevanja onesnaženja v izviroh sovpada z začetkom karantene zaradi pandemije koronavirusne bolezni (april 2020), je ravno karantena drugi možen vzrok za večje onesnaženje izvirov v pomladansko-poletnem obdobju. Posledica karantene je namreč, da se prebivalci več časa zadržujejo doma, kar pa hkrati pomeni povečanje gospodinjskih in komunalnih odplak, ob neurejenih sistemih odplak pa nadalje povečanje onesnaženosti že tako občutljivega kraškega okolja in s tem tudi podzemnih voda na tem območju. Konec poletja 2020 in jeseni 2020 so koncentracije nekoliko padle, kar bi lahko povezali s prenehanjem veljavnosti protikoronskih ukrepov in s posledičnimi poletnimi dopusti, ki so zmanjšali čas zadrževanja prebivalcev doma ter tako zmanjšali gospodinjske odplake in s tem razbremenili okolje.

Sezonsko nihanje koncentracij analitov v posameznih izviroh sem zato še podrobneje preučil. Letne čase sem opredelil **koledarsko**; tako sem jesen opredelil kot obdobje med 23. septembrom in 21. decembrom, zimo med 21. decembrom in 21. marcem, pomlad med 21. marcem in 21. junijem ter poletje med 21. junijem in 23. septembrom.

Iz Tabela 9 gre razbrati, da je najvišja izmerjena povprečna koncentracija nitrata ($17,7 \pm 0,9$) mg/l poleti v izviro 4, klorida ($14 \pm 0,7$) mg/l poleti v izviro 1 in sulfata ($8,1 \pm 0,4$) mg/l poleti prav tako v izviro 1. Najnižja povprečna koncentracija nitrata je ($1,0 \pm 0,1$) mg/l poleti v izviro 3, klorida ($1,9 \pm 0,1$ mg/l) pozimi v izviro 3 in sulfata ($3,5 \pm 0,2$ mg/l) prav tako pozimi v izviro 3.

Za nitrat je najvišja izmerjena koncentracija ($22,2 \pm 1,1$) mg/l poleti v izviro 4, najnižja pa 0,0 mg/l poleti v izviro 3. Najvišja izmerjena koncentracija klorida je 19 ± 2 mg/l, in sicer pomladi na izviro 4 in poleti na izviro 1, najnižja pa ($0,80 \pm 0,08$) mg/l spomladi v izviro 2. Najvišjo koncentracijo sulfata sem izmeril jeseni v izviro 1, in sicer ($9,2 \pm 1,0$) mg/l, najnižjo ($0,40 \pm 0,02$) mg/l pa spomladi v izviro 3.

Tabela 9: Pregled koncentracij (mg/l) analitov v posameznih izviroh po letnih časih (povprečje in interval izmerjenih vrednosti)

LETNI ČAS	JESEN	ZIMA	POMLAD	POLETJE
IZVIR 1				
NITRAT	12,1 ± 0,6 4,8–15,1	8,5 ± 0,5 7,0–9,9	9,8 ± 0,5 7,4–13,3	15,2 ± 0,8 8,3–20,6
KLORID	7,7 ± 0,8 2,8–15	6,3 ± 0,7 4,1–8,2	10 ± 1 7,6–14	14 ± 2 11–19
SULFAT	6,1 ± 0,7 3,9–8,2	6,2 ± 0,7 5,5–7,1	6,7 ± 0,7 5,9–7,8	8,1 ± 0,9 6,0–9,2
IZVIR 2				
NITRAT	7,4 ± 0,4 3,5–13,5	4,5 ± 0,3 2,8–11,4	3,7 ± 0,2 1,1–4,9	5,0 ± 0,3 4,1–6,4
KLORID	7,5 ± 0,8 1,9–13	3,9 ± 0,4 1,7–12	2,8 ± 0,3 0,80–3,6	3,1 ± 0,4 2,5–4,1
SULFAT	5,7 ± 0,6 3,8–8,1	4,3 ± 0,5 3,3–8,1	3,7 ± 0,4 0,80–5,2	4,2 ± 0,5 3,9–4,8
IZVIR 3				
NITRAT	4,1 ± 0,2 0,40–8,9	2,8 ± 0,2 2,4–3,3	2,5 ± 0,2 1,3–3,1	1,0 ± 0,1 0,0–2,8
KLORID	2,7 ± 0,3 1,1–5,4	1,9 ± 0,2 1,6–2,2	2,4 ± 0,3 1,5–3,6	3,2 ± 0,4 1,9–14
SULFAT	4,0 0,40–6,8	3,5 3,2–4,0	3,6 2,9–4,0	3,6 2,5–4,4
IZVIR 4				
NITRAT	13,3 ± 0,7 11,7–15,9	12,8 ± 0,7 11,7–14,3	12,6 ± 0,7 2,2–18,1	17,7 ± 0,9 15,1–22,2
KLORID	6,6 ± 0,7 2,0–11	7,7 ± 0,8 6,1–8,6	12 ± 2 3,0–19	11 ± 2 3,1–15
SULFAT	6,0 ± 0,6 4,8–7,6	4,9 ± 0,5 4,4–5,7	5,0 ± 0,5 1,1–6,3	5,9 ± 0,6 5,0–7,0

Onesnaženost je z vidika vseh analitov in vseh izvirov največkrat največja poleti, najmanjša pa pozimi. Bolj natančno:

- **Izvir 1** je z vidika kloridov in sulfatov v povprečju najbolj onesnažen od spremljanih izvirov in drugi po vrsti glede onesnaženosti z nitratom. Največjo povprečno onesnaženost sem zabeležil v poletnem času, najmanjšo pa pozimi.
- **Izvir 2** je z vidika vseh merjenih analitov od opazovanih izvirov drugi najmanj onesnažen. Največjo povprečno onesnaženost sem zabeležil v poletnem času, najmanjšo pa spomladi.
- **Izvir 3** je z vidika vseh merjenih analitov od opazovanih izvirov najmanj onesnažen. Največjo povprečno onesnaženost sem zabeležil v jesenskem času, razlike med letnimi časi so majhne.
- **Izvir 4** je z vidika nitratov v povprečju najbolj onesnažen od spremljanih izvirov in drugi po vrsti glede onesnaženosti s kloridom in sulfatom. Največjo povprečno onesnaženost sem

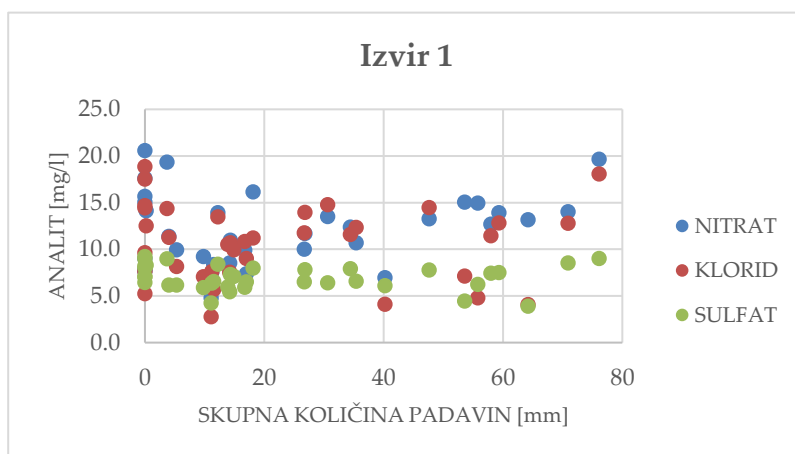
zabeležil v poletnem času, sicer pa je najvišja izmerjena povprečna koncentracija nitrata poleti, klorida pozimi in sulfata tudi poleti.

Hitrejšo in bolj zgodnjo (zimsko-spomladanski čas) rast klorida v primerjavi z nitratom in sulfatom zlasti na izviru 4 je mogoče povezati s soljenjem cest pozimi; območje zaledja izvira je namreč gosto prepredeno s cestami, zato je interpretacija v zvezi s soljenjem pozimi smiselna. Povišanje nitrata v spomladansko-poletnem času si lahko razlagam s karanteno ali s sezonskimi razmerami. Najmanjše razlike med izviri so pri onesnaženju s sulfatom. Ker je tipičen vir sulfata gnojenje z umetnimi gnojili, lahko predvidevam, da je onesnaženost pri izviri 1 in 4, ki opazno odstopa od izvirov 2 in 3, posledica uporabe umetnih gnojil, ki pa očitno niso glavni vir onesnaženja izvirov s preostalimi analiti. Glede na podatke o rabi tal na raziskovalnem območju lahko uporabo umetnih gnojil povežem z vinogradništvom in delno tudi poljedelstvom.

5.2 Korelacije s padavinami

Kljub temu, da predstavljeni podatki na prvi pogled niso pokazali povezave med onesnaženjem vode in količino padavin, sem to povezavo še podrobneje preučil. Naredil sem več grafov odvisnosti koncentracije analitov v vodi od skupne količine padavin v preteklih nekaj dneh. Glede na to, koliko dni sem upošteval pri izračunu skupne količine padavin v preteklih dneh, sem narisal več različnih setov korelacij – za en, tri ..., pa vse do 11 dni nazaj. Že tridnevna količina padavin poda okvirno obliko, kot jo prikazujejo ostale primerjave, ki upoštevajo več dni skupnih padavin.

Opazil sem, da se pri korelacijah, pri katerih pri količini padavin upoštevamo manj preteklih dni, ob ordinatni osi pojavi zgostitev meritev. Gre za primere, ko padavin ni bilo – takšnih meritev, za katere je značilnih tudi več zaporednih dni brez padavin, pa je na preučevanem območju kar veliko. Tem večji časovni interval sem upošteval, tem manjša je zgostitev ob ordinatni osi, kot je to razvidno iz Grafikon 15 v Prilogi.



Grafikon 10: Odvisnost koncentracije analita s skupno količino padavin za izvir 1.

Glede na to, da so vzorčenja načeloma potekala enkrat tedensko, hkrati pa pri upoštevanju 7-dnevne količine padavin nisem dobil pretirane zgostitve ob ordinati, sem v nadaljevanju obravnaval korelacije, ki upoštevajo 7-dnevno skupno količino padavin.

Grafikon 10 je primer takšne korelacije med koncentracijo analita in skupno količino padavin za izvir 1. Z grafikona korelacije ne morem razbrati, kar pomeni, da je koncentracija ionov v vodi neodvisna od padavin v preteklih dneh. Podobno je tudi pri ostalih izviri (Grafikoni Grafikon 16, Grafikon 17 in Grafikon 18 v Prilogi).

5.3 Korelacije med analiti

Da bi lažje sklepal na izvore onesnaženja, sem narisal še grafikone, ki prikazujejo odvisnosti koncentracij klorida in nitrata, koncentracij sulfata in nitrata ter koncentracij klorida in sulfata. Na podlagi tako dobljenih korelacij sem lahko sklepal, ali imata posamezna analita enak izvor onesnaženja.

Grafikon 11 prikazuje korelacije med analiti za izvir 1. Grafikon 19, Grafikon 20 in Grafikon 21, ki prikazujejo podobne korelacije zaporedoma za izvire 2, 3 in 4, so v Prilogi.

Korelacije med analiti sem kratko komentiral in s pomočjo Tabela 2 (stran 16) sklepal na verjetne izvire onesnaževanja za posamezni izvir ter na povezanost med njimi:

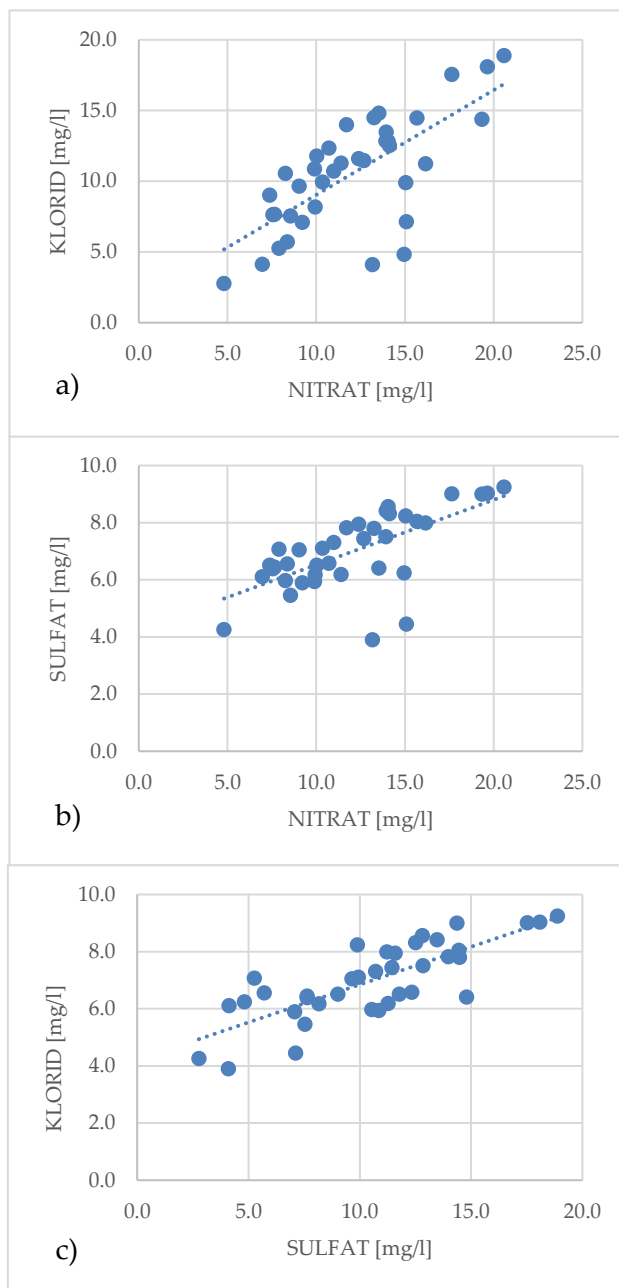
- **IZVIR 1:** Vsem korelacijam med dvema izbranimi analitoma se dobro prilega premica s pozitivnim naklonom (z izjemno nekaj izstopajočih meritev), ki je največji pri prikazu klorid–nitrát (Grafikon 11 a)). To pomeni, da sta pri povišani koncentraciji nitrata v vodi hkrati povišani tudi koncentraciji sulfata in klorida, od koder gre sklepati, da so viri analitov v podzemni vodi enaki.

Opažanja lahko povežem s spiranjem gospodinjstev in komunalnih odpadkov iz neurejenega komunalnega sistema, kjer gre za skupni vir nitrata in klorida. Rezultat ni povsem nepričakovan; okoliški prebivalci so nam v okviru ankete (še neobjavljeni rezultati) pripovedovali o manjšem zaselku z neurejenimi greznicami nekaj deset metrov nad izviro 1. Sulfat lahko povežem z uporabo umetnih gnojil, ki so v tem primeru dodatni vir onesnaženja. Najverjetnejši vzrok onesnaženja z umetnimi gnojili je vinogradniško območje nad izviro 1.

- **IZVIR 2:** Za vse korelacije med dvema izbranimi analitoma je značilno, da se nahaja večina točk na istem kupu, govorimo o »otočku« meritev, ki so pri grafih korelacij z nitratom nekoliko razpotegnjeni (Grafikon 19).

Ker so vrednosti analitov relativno konstantne in med seboj neodvisne, sledi, da ni nekaterih specifičnih virov onesnaženja za en ali drug analit. Nekoliko večjo spremenljivost je opaziti pri nitratu, katerega vir bi bil lahko živalski gnoj.

- **IZVIR 3:** Pri korelaciji klorid–sulfat sem opazil otoček točkovne oblike, od koder gre razbrati konstantnost obeh analitov v tem izviro (Grafikon 20). Pri korelaciji nitrát–klorid je struktura v obliki otočka razpotegnjena v smeri abscisne osi, kar kaže na to, da se nitrát spreminja neodvisno od koncentracije klorida. Le pri korelaciji nitrát–sulfat sem opazil rahlo korelacijo – ki pa v glavnem izhaja iz dveh izrazitih meritev in ni pretirano zanesljiva.



Grafikon 11: Korelacije med analiti za izvir 1.

Nitrat se očitno spreminja neodvisno od klorida, korelacija s sulfatom je vprašljiva. To kaže na nek, četudi majhen, specifičen vir onesnaženja z nitratom. Onesnaženost gre najbolj smiselno povezati z živalskim gnojem. Ostala nihanja so najverjetneje posledica nihanja naravnega ozadja.

- **IZVIR 4:** Iz grafov za izbrani izvir je razvidno, da sta sulfat in nitrat pozitivno korelirana (Grafikon 21). To pomeni, da je pri povišani koncentraciji nitrata v vodi hkrati povišana tudi koncentracija sulfata, od koder gre sklepati, da gre za skupen vir teh dveh analitov v podzemni vodi. Korelacije s kloridom ni ali pa je minimalna.

S pomočjo Tabela 2 lahko sklepam, da so prevladujoči možni izvori onesnaževanja umetna gnojila in digestat.

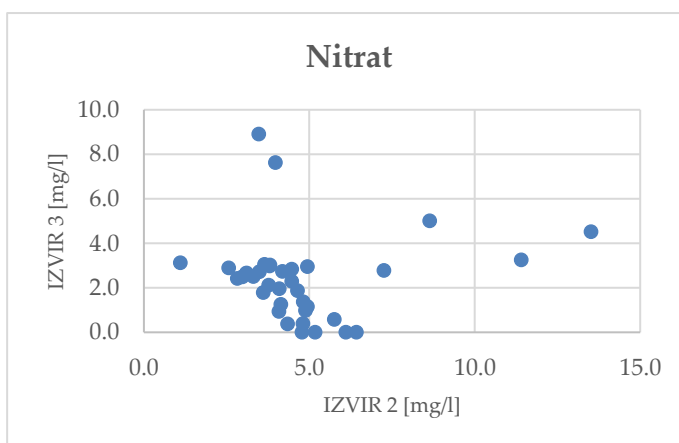
5.4 Primerjava med izviri

Da bi sklepal na zaledja in povezanost izvirov, sem naredil tudi korelacije vrednosti posameznega analita med posameznimi izviri. V nadaljnjem izpostavljam le zanimivejše ugotovitve.

5.4.1 Primerjava izvirov 2 in 3

Izvira 2 (Šotor) in 3 (Bruhalnik) se oba nahajata v vasi Jelševnik in sta, kot pojasnjeno že v uvodu, med seboj oddaljena le kakih 30 metrov. Zato bi bilo moč sklepati, da je kvaliteta vode in njeno spreminjanje v izvirih podobno. Vendar pa se na podlagi analiz izkaže, da temu ni tako.

V prejšnjem razdelku sem pojasnil, da v izvirih 2 in 3 opažam le spreminjanje koncentracij nitratov, koncentracije klorida in sulfata pa so bolj ali manj konstantne. Zato se pri gibanju onesnaženosti izvirov opiram na nitrat. Poudarim pa naj, da nobeden od izvirov ni zelo onesnažen in da so majhna nihanja v koncentracijah lahko posledica naravne variabilnosti.



Grafikon 12: Korelacija med izvirova 2 in 3 za nitrat.

Iz primerjave izvirov 2 in 3 na Grafikon 12 sem opazil negativno korelacijo v koncentraciji izmerjenega nitrata (nanašamo se na skupek točk), z izjemno nekaj točk, ki pa po koncentracijah bistveno odstopajo od večine vzorcev. Ko tako koncentracija nitrata v izviru 2 doseže najvišjo vrednost (okoli 6 mg/l), je nitrat v vzorcu vode iz izvira 3 pod mejo detekcije. Nasprotno je bila, ko je bila koncentracija nitrata v izviru 3 med višje izmerjenimi (npr. 3 mg/l), koncentracija nitrata v izviru 2 med nižjimi. To kaže na povsem različno obnašanje preučevanih izvirov podzemne vode.

Če se navežem tudi na klorid in sulfat; srednja koncentracija klorida je bila ($3,8 \pm 0,4$) mg/l v izviru 2 in ($2,6 \pm 0,3$) mg/l v izviru 3, kar ustreza 32 % odstopanju; srednja koncentracija sulfata pa ($4,3 \pm 0,5$) mg/l v izviru 2 in ($3,6 \pm 0,4$) mg/l v izviru 3, to pa ustreza 16 % odstopanju. Ponovno je razvidno, da je kvaliteta vode v izvirih drugačna.

Na podlagi ugotovitev v zvezi s spreminjanjem koncentracije nitrata in o koncentracijah klorida in sulfata v izvirih lahko sklepam, da se izvira ne napajata iz istega zaledja. To še dodatno podkrepi teorijo, da večina vode do izvira 2 priteče po prelomu v smeri sever-jug, izvir 3 pa združuje vodo delno iz globokega, večinoma dolomitnega, verjetno pa tudi apnenčastega zaledja. S tem dejstvom

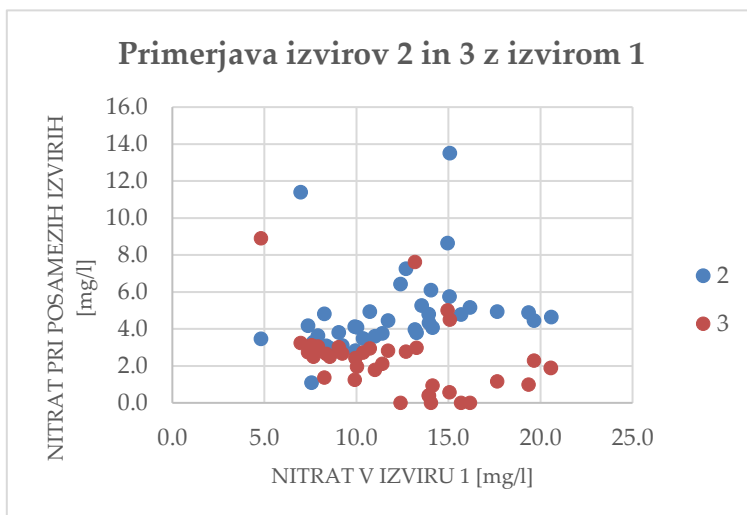
je najverjetneje povezano tudi nevzporedno nihanje vodostaja, ki je predstavljeno v predhodnji raziskovalni nalogi. (Bajuk & Vraničar, 2020)

5.4.2 Primerjava izvirov 2 in 3 z izvirov 1

Izvir 1 (Obršec) je od izvirov 2 in 3 oddaljen okoli pol kilometra. Na podlagi geološkega in hidrološkega opisa bi lahko predvidevali, da z izvirovoma 2 in 3 ni povezan, o resničnosti česar pa lahko sklepam na podlagi podatkov kemijskih analiz vode.

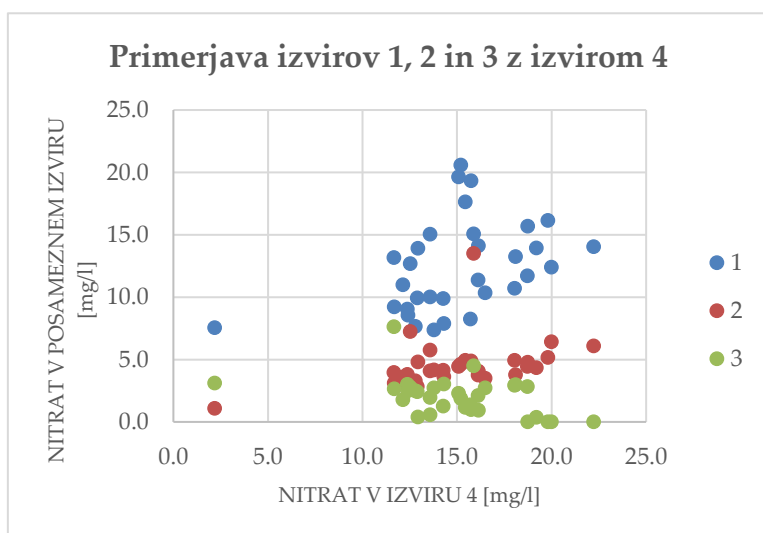
Na podlagi Grafikon 13 se zdi, da so koncentracije vseh ionov v izvirov 2 in 3 dokaj konstante, medtem ko v izvirov 1 močno variirajo. Kljub temu da je bilo pri nekaterih ionih mogoče opaziti šibko korelacijo (podatki niso prikazani), lahko z veliko verjetnostjo zaključim, da izviri med sabo niso povezani.

Ker je za geografsko mejo med apnenčastim in dolomitnim delom značilno, da iz apnenčastega dela v dolomitnega počasi preide le manjši del vode, se večina vode tipično steka ob meji navzdol, v našem primeru od izvirov 2 in 3 proti izvirov 1. Ker se predvideni glavni vir onesnaževanja nahaja le nekaj deset metrov nad izvirov 1, lahko torej upravičeno predvidevam, da so povišane koncentracije analitov v vodi Izvira 1 večinska posledica onesnaževanja iz zasebnih hiš in da je del onesnažene vode, ki se steka skozi dolomitno zaledje, bolj majhen.



Grafikon 13: Korelacija med izvirovoma 2 in 3 ter izvirov 1 za nitrat.

5.4.3 Primerjava z izvirov 4



Grafikon 14: Korelacija med izviri 1, 2 in 3 ter izvirov 4 za nitrat.

Izvir 4 (Otoovski breg) je od ostalih treh opazovanih izvirov najbolj oddaljen. Že na podlagi geološkega in hidrološkega opisa bi lahko predvidevali, da z ostalimi tremi ni povezan. Vendar sem se lahko o resničnosti tega ponovno prepričal tudi na podlagi kemijskih analiz vode.

Pri primerjavi izvirov 1 in 3 z izvirov 4 v koncentraciji izmerjenega nitrata sem opazil neurejeno sipanje točk na Grafikon 14, kar lahko takoj povežemo s sklepom, da se izvir 1 in izvir 3 ne napajata iz istega zaledja kot izvir 4.

Drugače je pri isti primerjavi izvirov 2 in 4. V tem primeru sem opazil, da večina podatkov leži na premici, katere (pozitiven) naklon je sicer majhen. Od tod sledi, da v primerih, ko je izmerjena koncentracija nitrata v enem izvirov od obeh povišana, je hkrati povišana tudi v drugem od njiju. Podobno, vendar mnogo manj izrazito korelacijo sem opazil tudi pri kloridu, pri sulfatu pa korelacija ni razvidna (podatki niso prikazani).

Ker sta izvira med seboj fizično ločena (oddaljena več kilometrov), lahko pozitivne korelacije povežem s podobnim odzivom izvirov na padavine oziroma spreminjajoče se meteorološke dejavnike.

5.4.4 Izvir 4 in jama Stobe

Skozi jamo Stobe teče kraški potok proti Otovskemu bregu (izvir 4), kar je znano na podlagi dosedanjih raziskav. (Bajuk & Vraničar, 2020) Vodo smo iz potoka v jami vzorčili dvakrat, in sicer 29. 2. 2020 in 29. 5. 2020. Tabela 10 prikazuje dobljene meritve in jih primerja tudi z meritvami istega dne vzorčenih vzorcev iz izvira 4.

Tabela 10: Meritve vzorcev iz jame Stobe in primerjava z Otovskim bregom (4). Kritične koncentracije nitrata so rdeče.

	Nitrat	Klorid	Sulfat
29. 2. 2020			
Stobe	9,8 ± 0,5	32 ± 4	4,0 ± 0,4
Otovski breg (4)	12,4 ± 0,6	8,5 ± 0,9	4,6 ± 0,5
29. 5. 2020			
Stobe	11,4 ± 0,6	22 ± 3	4,9 ± 0,5
Otovski breg (4)	13,6 ± 0,7	9,3 ± 1,0	5,3 ± 0,6

Na podlagi podatkov o povišanju povprečne koncentracije nitrata iz prehoda podzemne vode iz Stob na Otovski breg gre sklepati, da pride na razdalji nekaj kilometrov, kolikor je jama Stobe oddaljena od Otovskega brega, do dodatnega onesnaženja vode z nitratom. Najverjetnejši vzrok za to so predvsem drugi pritoki onesnažene vode k podzemni rečici.

Če se osredotočim na povprečno koncentracijo nitrata na obeh izviroh, ugotovim, da je pri obeh vzorčenjih pri obeh izviroh višja od kritične koncentracije 9,2 mg/l. Dejstvo pa je, da na izviru Otovski breg bele človeške ribice niso opazili že več kot petnajst let, pri čemer sem jo v jami Stobe ob naših obiskih še videl na lastne oči.

Ker kritična koncentracija seveda ne pomeni, da je vsako njeno preseganje smrtno nevarno za človeško ribico, ne morem trditi, da ocena kritične koncentracije ni ustrezna. Za tako drzno trditev bi bilo potrebno poznati dolgoročno časovno spreminjanje koncentracije nitrata, ker pa ga ne, trdnih sklepov na tem mestu ne morem narediti. Vsekakor pa je verjetno za človeško ribico kritično tudi kakšno drugo onesnaževalo v vodi.

Za klorid sem v Stobah izmeril nenavadno visoke vrednosti. Ker smo izločili vse možne merilne napake, menim, da bi bilo smiselno ta podatek v prihodnje še kdaj preveriti.

Zgornji razmisleki so zgolj predvidevanja na podlagi podatkov, ki sem jih pridobil. Za trdnejše zaključke bi moral izvira spremljati dalj časa, da bi tako razpolagal z več podatki.

5.5 Ozaveščanje javnosti

Ker je bil glavni namen mojih aktivnosti pomagati preživeti črni človeški ribici, je zelo pomembno, da sem vzporedno s raziskovanjem na podlagi svojih ugotovitev tudi ozaveščal lokalno okolje o ogroženosti njenega obstoja in posredno o pomenu čiste pitne vode. Menim, da sem na ta način bistveno povečal verjetnost, da bodo okoliški prebivalci v prihodnosti pred nepremišljenim posegom v okolje pomislili na črno človeško ribico in vodo, v kateri prebiva, ter se ga vzdržali. Ozaveščanja sem se skupaj z Mladimi raziskovalci lotil na več načinov.

Ustvarili in skupaj urejali smo Facebook stran, imenovano Mladi Raziskovalci (@mladiraziskovalci.sscrnomelj), s katero smo ozaveščali javnost ter z njo delili svoje podvige ter ugotovitve, objavljali pa smo tudi zanimiva dejstva o črni človeški ribici in nagradna vprašanja.

Ker je ozaveščenost mladih, ki se bodo v prihodnosti soočali z mnogimi ekološkimi problematikami, izjemnega pomena, smo v okviru ozaveščanja javnosti velik del namenili mlajšim otrokom. Napisali smo poučno zgodbo za otroke z didaktičnim priročnikom, ki smo jo prilagodili tudi v igrano predstavo, s katero smo nastopili na informativnem dnevu v kulturnem domu v Semiču in Črnomlju.

Svoje raziskovanje in izsledke smo predstavili na več javnih predstavitev; na stojnici na dogodku Zabavaj se v mestu, na odprtem dnevu šole, na otvoritvi info centra Črna človeška ribica, pred občinskim svetom Občine Črnomelj in ob tednu vseživljenjskega učenja. Napisali smo prispevek za belokranjski mesečnik Belokranjec, poleg tega pa smo nastopali tudi v oddaji Dobro jutro, na Vašem kanalu, Tedniku in na radiu v oddaji Gymnasium.

Prispevek k ozaveščanju javnosti sem podrobneje predstavil v Prilogi.



Slika 15: Stojnica Mladih raziskovalcev na dogodku Zabavaj se v mestu (foto: Vesna Fabjan, 6. 3. 2020).

6. Zaključek

6.1 Komentar k hipotezam

V nadaljevanju bom vsako od v uvodu zastavljenih hipotez potrdil, zavrgel oziroma delno zavrgel, k temu pa dodajam še krajši komentar oziroma sintezo rezultatov.

- 1. Onesnaženje vode je posledica človeških in naravnih vplivov. Na izmerjene vrednosti vplivajo tudi vremenski dejavniki, kot je količina padavin.**

Hipotezo delno zavračam.

Na podlagi analiz pridobljenih podatkov sem prišel do sklepov, da je onesnaženje vode v veliki meri posledica človeških vplivov. Prevladujoči antropogeni viri onesnaževanja so neurejeni sistemi odplak (izvir 1), živalski gnoj, umetna gnojila oziroma digestat (izviri 2, 3 in 4), delno tudi soljenje cest pozimi (izvir 4).

Za količino padavin kot vremenski dejavnik na podlagi izvajanih meritev in analize rezultatov predvidevam, da ne vpliva značilno na izmerjene koncentracije ionov v vodi, saj se koncentracije analitov s količino padavin ne spreminjajo značilno. To lahko razlagam z nasprotujočimi si vplivi padavin na koncentracije onesnaževal v vodi. Prvi je, da ima pri večji količini padavin nezanemarljivo vlogo povečanje prostornine vode v izvirih, zaradi česar bi morale priti do zmanjšanja koncentracij analitov v vodi. Po drugi strani padavine izpirajo onesnaževala iz tal in s tem dvigujejo njihovo koncentracijo v podzemnih vodah.

- 2. Trije od opazovanih izvirov podzemne vode so med seboj geološko povezani, četrti pa je od njih ločen.**

Hipotezo delno zavračam.

Izvir 4 je ločen od ostalih že z geološkega vidika, odmaknjenost pa potrjujejo tudi rezultati obdelave podatkov, pridobljenih v sklopu te raziskovalne naloge.

Ugotovil sem, da kljub svoji fizični bližini izvira 2 in 3 nista povezana, prav tako sta oba nepovezana z izviro 1.

- 3. Monitoringi ARSO ne kažejo realnega stanja kvalitete podzemne vode.**

Hipotezo delno zavračam.

Na podlagi primerjave povprečne koncentracije nitratov in odstotka kritičnih meritev ARSO in naših meritev za izvira 2 in 4 sem ugotovil, da sicer redke meritve, ki jih izvaja ARSO, prikažejo realno stanje onesnaženja z nitratom pri izviro 2, pri izviro 4 pa je izmerjena povprečna koncentracija značilno višja od naše, čeprav to ne vpliva na splošno oceno onesnaženosti. Odstotki kritičnih meritev pri obeh izviroh so podobni, a je delež kritičnih meritev ARSO pri obeh izviroh nekoliko manjši od deleža kritičnih koncentracij naših meritev.

Zaključim lahko, da monitoringi ARSO kljub svoji nerednosti podajajo ustrezno sliko kemijskega stanja izvirov (v zvezi z nitrati). Glede na to da sem najvišje koncentracije izmeril poleti, priporočam, da ARSO na letni ravni izvaja vsaj še en monitoring, in sicer poleti.

4. Črna človeška ribica izginja zaradi preslabe kvalitete vode. Predvsem koncentracija nitrata v vodah je povezana s številom primerkov, ki se jih opazi na posameznih izvirih.

Hipotezo potrjujem.

Kvaliteta vode z obzirom na nitrat je zaskrbljujoča predvsem na izvirih 1 in 4. Na izviru 4, kjer je bilo v preteklosti moč opaziti tudi okoli 20 primerkov bele človeške ribice, te niti domačini niti raziskovalci niso opazili že od leta 2000, v času mojega spremljanja izvirov od jeseni 2019 pa tudi jaz ne. Na izviru 1 sem črno človeško ribico zadnjič videl februarja 2020, hkrati pa gre poudariti, da je izvir zatem presegel kritično oceno onesnaženja. Zato lahko redkejšje pojavljanje primerkov črne človeške ribice povežem ravno s tem.

V izviru 2 smo Mladi raziskovalci redno videli ribico ali več primerkov nje (do sedem), hkrati onesnaženost v večini primerov ni bila kritična. V izviru 3 smo redno videli ribico, večkrat smo celo opazili več primerkov nje (do pet), izvir pa je od vseh v povprečju najmanj onesnažen.

Kljub temu pa je potrebno poudariti, da črno človeško ribico ne ogroža samo nitrat, pač pa zelo verjetno tudi druga onesnaževala, na primer težke kovine in fitofarmaceutska sredstva.

6.2 Ostale ugotovitve

Od prve polovice aprila 2020 dalje sem opazil rast onesnaženja vode v izvirih z vidika večine spremljanih analitov. Rast je najbolj očitna pri izvirih 1 in 4, zlasti pa pri izviru 1, za katerega na podlagi med domačini izvedene ankete vem, da zaselek nekaj deset metrov nad njim nima urejenih gospodinjskih odplak, posledica česar je na kraškem področju spiranje onesnaževal naravnost v podzemlje.

Za opažen trend ponujam več možnih interpretacij. Prva so sezonske spremembe onesnaževanja tal, ki bi jih lahko potrdil z vsaj še enoletnim rednim spremljanjem izvirov. Druga je obdobje karantene zaradi pandemije COVID-19, na katero sklepamo zaradi časa, ko se je rast pričela, in zaradi dejstva, da je bila najizrazitejša pri izviru 1, za katerega je značilno onesnaženje zaradi neurejenih gospodinjskih odplak. Zanje lahko smiselno domnevam, da so se v času karantene povečale, kar s sabo prinese večje onesnaženje izvira.

Hkrati sem predvsem v poletnem času v nekaterih vzorcih zaznal tudi nitrit, ki je v primerjavi z nitratom nevaren že pri mnogo nižjih koncentracijah. Mejna vrednost za nitrit, določena s Pravilnikom o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17), je 100-krat nižja od mejne vrednosti za nitrat, in sicer 0,50 mg/l. Na podlagi te mejne vrednosti sem v vzorcih 19. 6. 2020 na izviru 3 in 27. 6. 2020 na izviru 1 izmeril kritični vrednosti nitrata. Voda v vzorcih bi bila tako v skladu s tem Pravilnikom opredeljena kot onesnažena do te mere, da je človeku škodljiva, kar pa verjetno ne pomeni nič dobrega niti za človeško ribico.

6.3 Pomen raziskovalnega dela

V letu in pol svojega raziskovanja sem poleg samega rednega spremljanja izvirov, terenskega dela in dela v laboratoriju, veliko poudarka dal na ozaveščanje javnosti, kar je na koncu koncev tudi pomen takšnega raziskovanja oziroma raziskovalne naloge, ki preprosto ne sme biti sama sebi namen.

Pomembna ugotovitev, o kateri v okviru prvotno načrtanih hipotez nisem razmišljal in sem jo izluščil na osnovi natančne analize podatkov, je morebiten vpliv pandemije koronavirusne bolezni

COVID-19 na onesnaženost izvirov, kar podaja še eno novo dimenzijo negativnih posledic pandemije na človeštvo.

Naj poudarim, da se zavedam, da na podlagi enega leta in pol, recimo temu obšolskih raziskav, ne morem narediti trdnejših zaključkov. V okviru svojega raziskovalnega dela sem se namreč ukvarjal s preučevanjem širokega spektra vprašanj, zato se jasno vseh nisem mogel lotiti zelo poglobljeno. Kljub vsemu pa ugotavljam, da sem se spremljanja izvirov lotil na način, ki se ga ni še nihče, in konkretnije odprl tematiko za morebitne nadaljnje raziskave. Zdi se tudi, da sem poleg nekaterih odgovorov ob poglobljeni interpretaciji rezultatov prišel še do mnogih vprašanj in idej za naprej.

V prihodnje bi se bilo tako smiselno posamič osredotočiti na ožja raziskovalna vprašanja, pri čemer bi pridobljene podatke obdelali tudi s statističnimi testi, česar sam v svoji obsežni raziskavi nisem naredil. Z rabo statističnih pristopov bi namreč z večjo gotovostjo potrdili ali ovrgli različne korelacije, s tem pa omogočili bolj jasno interpretacijo rezultatov.

6.4 Sklep

Izteka se že druga polovica druga leta mojega raziskovanja na področju kakovosti vode izvirov nahajališč človeške ribice in s tem sodelovanja v ekipi Mladih raziskovalcev. Raziskovanje je od mene zahtevalo veliko časa in dela, vendar mi je privedlo do mnogih ugotovitev.

V raziskovalnem delu ugotavljam, da je onesnaženost izvirov v večinoma posledica človekove dejavnosti, in grafično ugotavljam, da količina padavin ne korelira z izmerjenimi koncentracijami. Prav tako ugotavljam, da izviri med seboj kljub svoji bližini niso povezani. Z analizo vode sem pokazal, da monitoringi ARSO kljub svoji nerednosti kažejo ustrezno sliko kemijskega stanja izvirov in zaključujem, da slaba kvaliteta vode najverjetneje pogojuje izginjanje črne človeške ribice na tem območju.

Hkrati pa je poleg množice ugotovitev in spoznanj raziskovanje pridelalo še več novih vprašanj v povezavi s človeško ribico in ekološkim stanjem Bele krajine, ki ostajajo odprta. Poleg rednega spremljanja drugih izvirov (npr. Stobe, Pački breg) in drugih analiz vode (na primer koncentracija nitrita, amonijaka, težkih kovin, organskih onesnaževal) bi bilo zanimivo po vzoru ocene tveganja za nitrat napraviti še oceno tveganja za ostale analite. Prav tako zanimivo bi bilo natančneje spremljati gibanje višine vode v kraških izvirovih in napraviti model gibanja vode v odvisnosti od količine padavin.

Na kraškem terenu je poleg kakovosti vode prav tako zelo pomembna kakovost prsti. Zato smo Mladi raziskovalci v letu 2020 na raziskovalnem območju vzorčili tudi več vzorcev prsti, v katerih smo analizirali vsebnost težkih kovin. Svoje prve ugotovitve smo širši lokalni skupnosti predstavili v poljudnem članku v reviji Belokranjec in na videokonferenci Stanje tal kot dejavnik ekološkega kmetovanja v Beli krajini, v pripravi pa je tudi strokovni članek, ki zajema širšo paleto podatkov, natančnejši postopek dela in bolj poglobljene interpretacije rezultatov.

Raziskovanje se tako za Mlade raziskovalce kljub poteklem projektu in oddaji te raziskovalne naloge nikakor ne zaključí – s svojim delom bomo še naprej prispevali k ozaveščanju prebivalstva, pri tem pa hkrati neizmerno uživali.

7. Viri in literatura

- Aljančič, G. in M., Trontelj, P., & Hudoklin, A. (2015). Ogroženost človeške ribice in pitne vode v Beli krajini. *Belokranjec*, XVIII, 11, str. 7.
- Aljančič, M., Habič, P., & Mihevc, A. (1986). Črni močeril iz Bele krajine. *Naše jame*, 28, 1, str. 39-44.
- Arhiv podatkov*. (2020). Pridobljeno 2. 11. 2020 iz ARSO METEO: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>.
- Auguštin, M., Hudoklin, A., Prešeren, N., Šuštarč, N., & Auguštin, G. (2020). Predstavitev in varstvo človeške ribice na primeru črne človeške ribice v Beli krajini. Pridobljeno 10. 1. 2021 iz https://www.lokalno.si/2020/06/28/238794/zgodba/Predstavitev_in_varstvo_cloveske_ribice_na_primeru_crne_cloveske_ribice_v_Beli_krajini/.
- Bajuk, M., & Vraničar, Š. (2020). *Pomagajmo preživeti črnemu močerilu* (Raziskovalna naloga). Črnomelj, Srednja šola Črnomelj.
- Bulog, B. (2013). *Človeška ribica*. (M. Štangelj, & M. Ivanovič, Ured.) . Narava Bele krajine, str. 175–183. Metlika: Belokranjski muzej Metlika.
- Debeljak, T. (2016). *Onesnaževanje voda v Sloveniji* (Diplomsko delo). Maribor, Univerza v Mariboru.
- Habič, P., Kogovšek, J., Bricelj, M., & Zupan, M. (1990). Izviri Dobljice in njihovo širše kraško zaledje. *Acta carsologica*, XIX, 5.
- Hudoklin. (2011). Ali zagotavljamo ugodno stanje človeške ribice v omrežju Natura 2000 v Sloveniji? V *Pressures and Protection of Underground Karst – Cases from Slovenia and Croatia* (str. 167–181). Postojna: Inštitut za raziskovanje krasa ZRSC SAZU.
- Hudoklin. (2018). Stanje človeške ribice v omrežju NATURA 2000 v Sloveniji. *NATURA SLOVENIAE*, 18, 1, str. 43-44.
- Hudoklin, A., & Aljančič, G. (2017). Pregled razširjenosti človeške ribice ter njenega odkrivanja na nizkem dolenskem krasu. *Dolenjski kras*, 7: 212-227. Pridobljeno iz: <http://www.jknm.si/media/DK/DK737HudoklinAljancicPregledrazsirjenosticloveskeribice.pdf>.
- Instrumentalna kvantitativna analiza. (2018). Pridobljeno 9. 10. 2020 iz https://studentski.net/gradivo/ulj_ffa_fa1_ank_sno_instrumentalna_kvantitativna_analiza_01.
- Ion Chromatograph to detect major anions in precipitation (snow), groundwaters and drinking waters from New York*. (2020). Pridobljeno iz Columbia University - Earth Institute: https://www.ldeo.columbia.edu/~martins/eda/Ic_lec.html.
- IonPac AS11 and AS 11-HC Anion-Exchange Columns. (2001). Pridobljeno iz <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/biol/plant-sciences/institute-plant-biology-dam/documents/Instruments%20pdf/AS11.pdf>.
- Kolar, B. (2017). *Ocena tveganja, ki ga predstavljajo nitrati za ekosisteme podzemne vode in človeško ribico na projektnem območju LIFE Kočevsko* (Raziskovalno poročilo). Maribor, Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za okolje in zdravje Maribor.

- Kromatografija*. (23. 8. 2020). Pridobljeno iz Wikipedija: https://sl.wikipedia.org/wiki/Kromatografija#Kromatografski_izrazi.
- mag. Dobnikar Tehovnik, M., mag. Gacin, M., & mag. Mihorko, P. (1. 7. 2020). *Kemijsko stanje podzemne vode - poročilo za leto 2019*. Pridobljeno iz ARSO OKOLJE: https://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%4%8dila/Porocilo_podzemne_2019_splet.pdf.
- Maljevac, Ž., Požek, K., & Rogina, N. (2016). *Belokranjska pitna voda – ogroženo kraljestvo človeške ribice* (Raziskovalna naloga). Dragatuš, Osnovna šola Komandanta Staneta Dragatuš.
- Miao, Z., Brusseau, M. L., Carroll, K. C., Carreón-Diazconti, C., & Johnson, B. (1. 8. 2012). *SULFATE REDUCTION IN GROUNDWATER: CHARACTERIZATION AND APPLICATIONS FOR REMEDIATION*. Pridobljeno iz US National Library of Medicine National Institutes of Health: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3575751/>.
- Mihec, A. (2016). *Vplivi prometnic na kraške vodne vire* (Diplomsko delo). Koper, Univerza na Primorskem.
- Mullaney, J. R., Lorenz, D. L., & D., A. A. (10. 2007). *Chloride in Groundwater and Surface Water in Areas Underlain by the Glacial Aquifer System, Northern United States*. Pridobljeno iz USGS Publications Warehouse: <https://pubs.usgs.gov/sir/2009/5086/pdf/sir2009-5086.pdf>.
- Nitrate and nitrite in drinking-water*. (2016). Pridobljeno 20.. 2. 2021 iz World Health Organization: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf.
- Pravilnik o pitni vodi* (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17). (2004). Pridobljeno iz PIS (Pravno-informacijski sistem): <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV3713>.
- Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalaskih vrst v rdeči seznam*. (2002). Pridobljeno iz PIS (Pravno-informacijski sistem): <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ODRE1883>.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2013). *Fundamental of analytical chemistry*. Mary Finch.
- Stara bremena*. (2020). Pridobljeno iz Črna človeška ribica: <https://www.cni-moceril.si/slo/ogrozenost/stara-bremena>.
- Sulfat*. (2017). Pridobljeno 1. 3. 2017 iz Wikipedija: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Sulfat>.
- Sulfate in Minnesota's Ground*. (1999). Pridobljeno iz Minnesota pollution control agency: <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/sulfate7.pdf>.
- Šeme Lesjak, Š. (2014). *Zimsko vzdrževanje državnih cest* (Diplomsko delo). Ljubljana, B&B, višja strokovna šola. Pridobljeno iz https://bb.si/doc/diplome/Seme_Lesjak_Spela.pdf.
- Šinigoj, J., Lapanje, A., & Poljak, M. (2012). Geologija območja zaledja Dobljčice. *Dolenjski kras*, 6: 46–52.
- Tepuš, MB., Simonič, M. (2006). *Uncertainty of nitrate and sulphate measured by ion chromatography in wastewater samples*. Znanstveni članek. Pridobljeno iz <http://www.demarcheiso17025.com/private/Uncertainty%20of%20nitrate%20and%20sulphate%20measured%20by%20ion%20chromatography%20in%20wastewater%20samples.pdf>.

Thermo Scientific Dionex IonPac AS11-HC-4 μ m Anion-Exchange Column. (2013). Pridobljeno iz <http://origin-www.thermoscientific.cn/content/dam/tfs/ATG/CMD/CMD%20Documents/Product%20Manuals%20&%20Specifications/PS-70821-IonPac-AS11-HC-4um-Anion-Exchange-Column-PS70821-EN.pdf>.

Thermo Scientific Dionex IonPac IC column selection guide. (2020). Pridobljeno iz Thermo Fischer Scientific: <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CMD/brochures/st-70588-ic-column-selection-guide-st70588-en.pdf>.

Uredba o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16). (2016). Pridobljeno iz PIS (Pravno-informacijski sistem): <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5121>

Uredba o stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13 in 24/16). (2016). Pridobljeno iz PIS (Pravno-informacijski center): <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5010>.

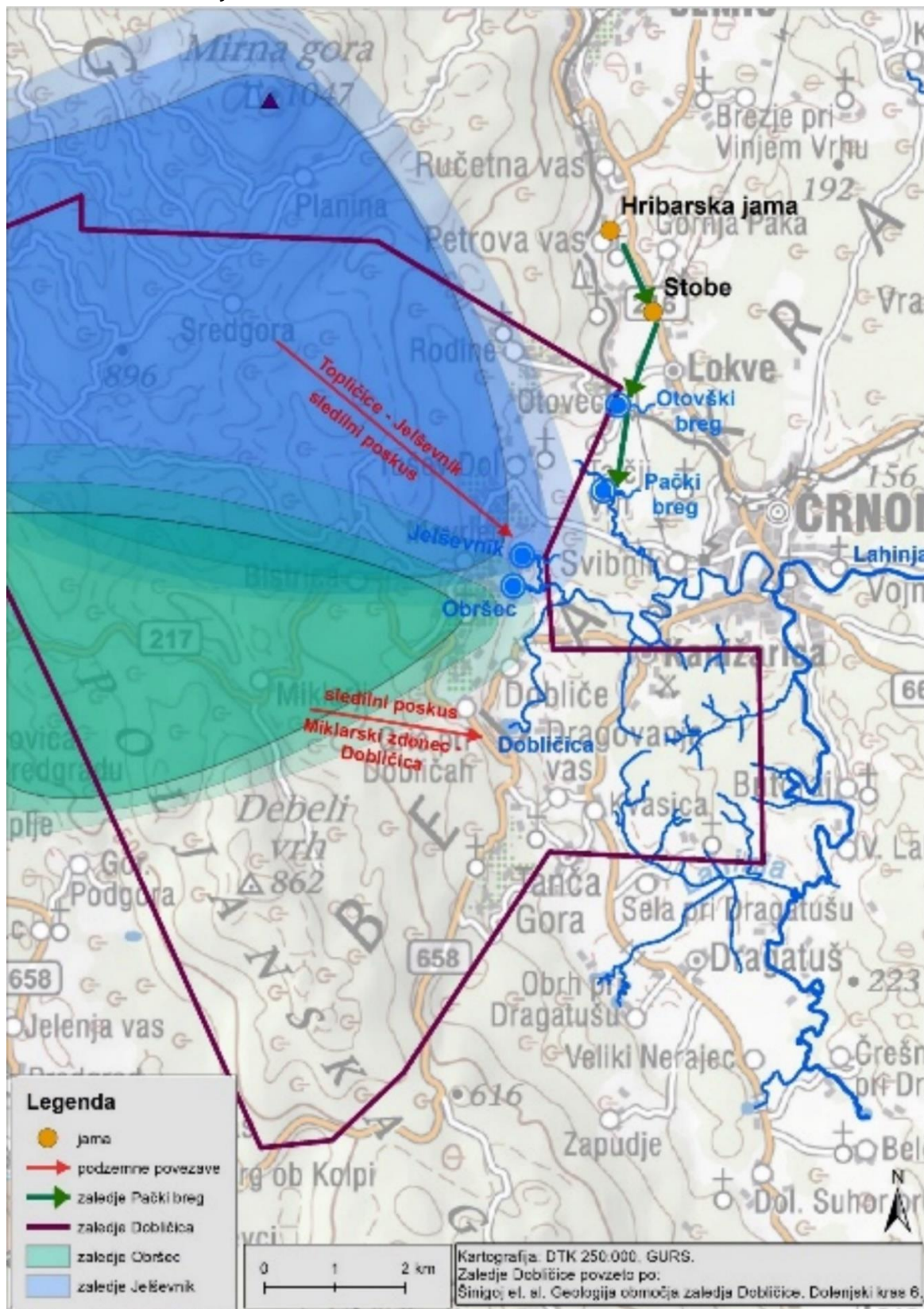
Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov. (2010). Pridobljeno 28. 3. 2021 iz PIS (Pravno-informacijski sistem): <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5124>.

Zalar, M. (2010). *Geografska presoja vpliva neurejenih odlagališč odpadkov na ranljivost kraške pokrajine ter problem ravnanja z odpadki v občini Postojna* (Diplomsko delo), Koper, Univerza na Primorskem.

Priloge

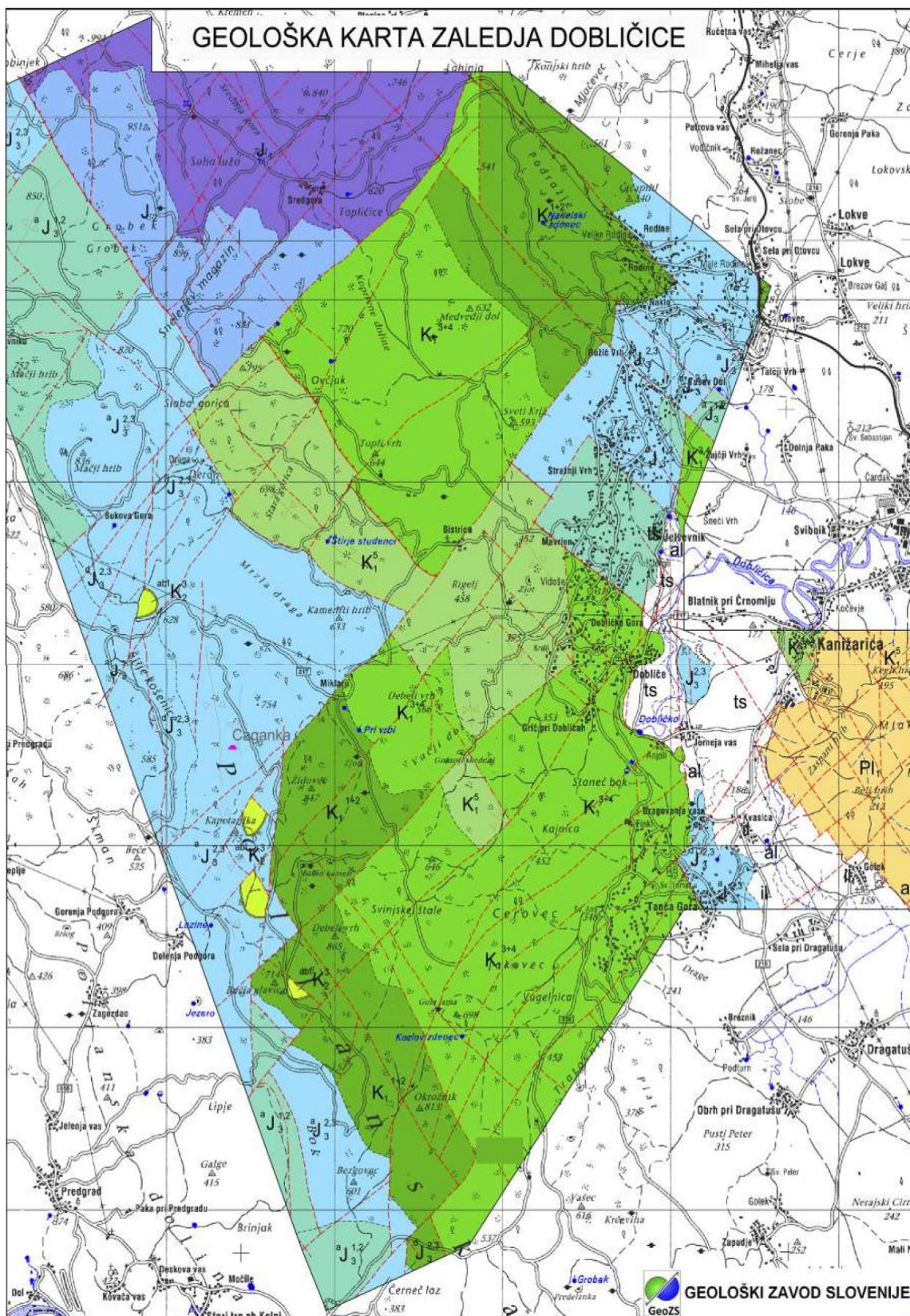
A. Karte

I. Hidrološko zaledje Dobljčice



Slika 16: Hidrološko zaledje Dobljčice (Izdelava karte: Nina Prešeren).

II. Geološka karta zaledja Dobljčice





Slika 17: Geološka karta zaledja Dobljčice (vir: Geološki zavod Slovenije).


LEGENDA H GEOLOŠKI KARTI			
	Vidna litološka meja	al	Rečne naplavine (glina, melj, pesek, redki prodniki)
	Pokrita litološka meja	d	Deluvij (s pobočij sprana glina in drobci kamnin)
	Vidna erozijska meja	il	Ilovica s kremenovim peskom in redkimi prodniki
	Pokrita erozijska meja	ts	Jerina - terra rossa
	Ugotovljen prelom	Pl ₁	Laporni organogeni apnenec, meljni lapor, premog, lapornata glina, meljna glina, glina
	Pokrit prelom	ab K ₂ ³	Svetlo siv apnenec in biogena apnenčeva breča ("divji fliš")
	Fotogeološko določen prelom	K ₁ ⁵	Biomikritni apnenec
	Ugotovljen nariv	K ₁ ³⁺⁴	Siv intrasparitni in intrabiomikritni apnenec
	Pokrit nariv	K ₁ ¹⁺²	Mikritni apnenec
	Os antiklinale	J ₃ ^{2,3}	Plastnat siv mikritni apnenec
	Os sinklinale	J ₃ ^{2,3}	Drobnozmat dolomit
		J ₃ ^{1,2}	Mikritni in intrabiomikritni apnenec
		J ₃ ^{1,2}	Debelozmat dolomit
		J ₁	Debelozmat siv dolomit in dolomitiziran apnenec v okolici Metlike mikritni apnenec


III. Geološka karta Doblíške kotlinice in njenega zaledja

LEGENDA

Hribovito zaledje,  prevladuje dolomit

Hribovito zaledje,  prevladuje apnenec

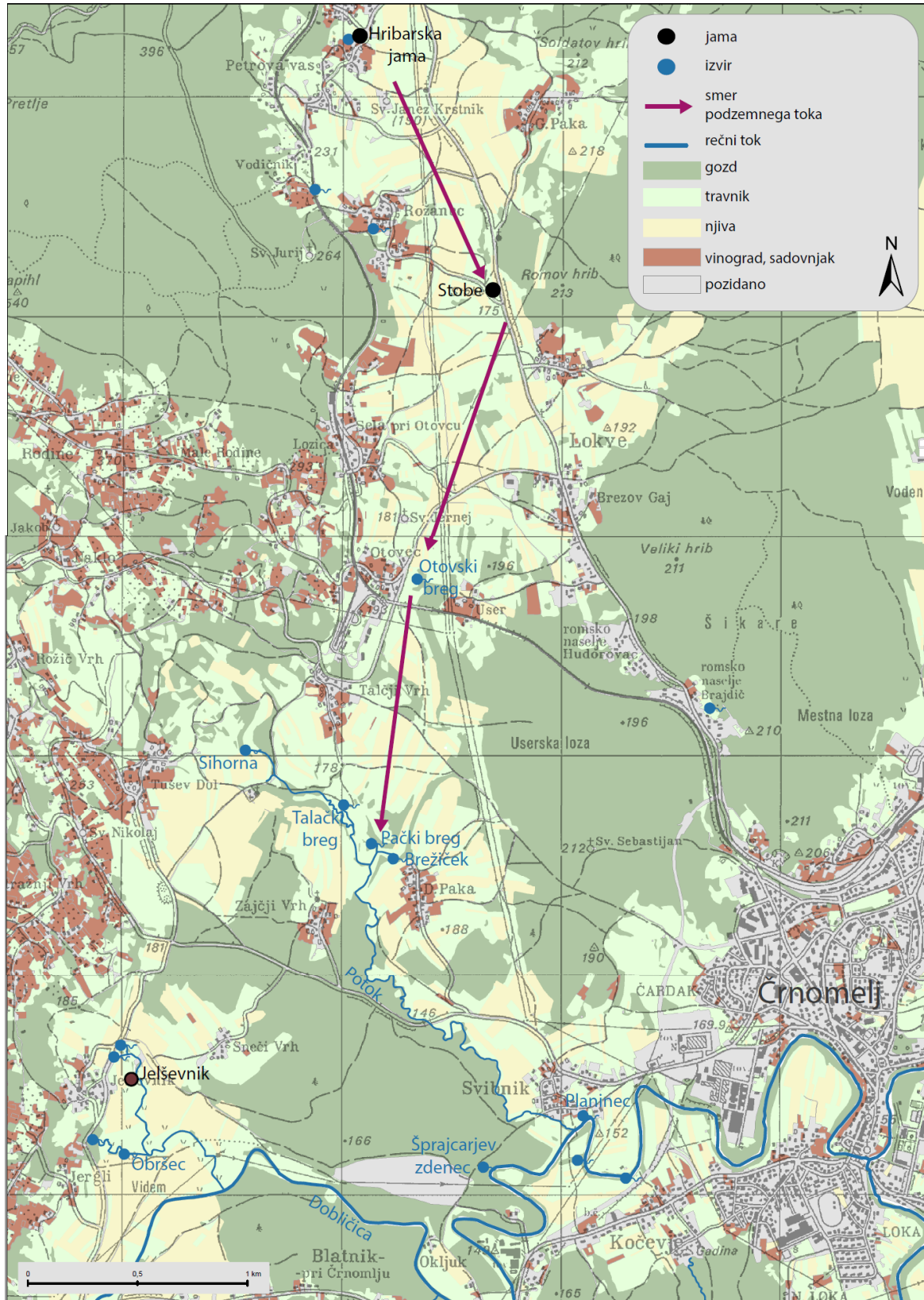
Kanižarska kadunja,  nanosi glin, laporja, kremenovega peska, skladi rjavega premoga

Doblíška kotlina,  prevladuje apnenec, mestoma plitvo prekrit z drobnimi kvart. naplavinami



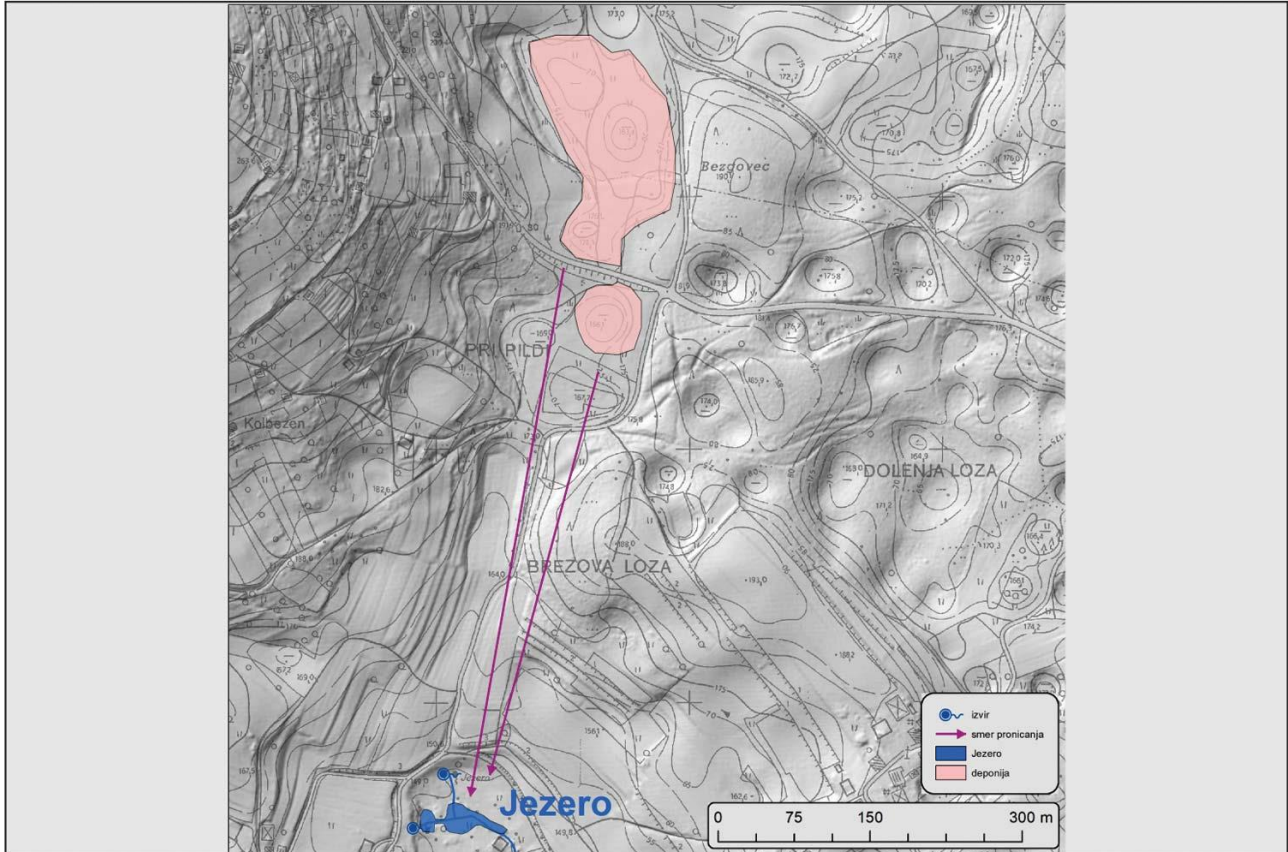
Slika 18: Geološka karta Doblíške kotlinice in njeno zaledje. (Vir: <https://biotit.geozs.si/ogk100/#>.)

IV. Raba tal



Slika 19: Raba tal na širšem raziskovalnem območju (Izdelava karte: Nina Prešeren).

V. Deponija

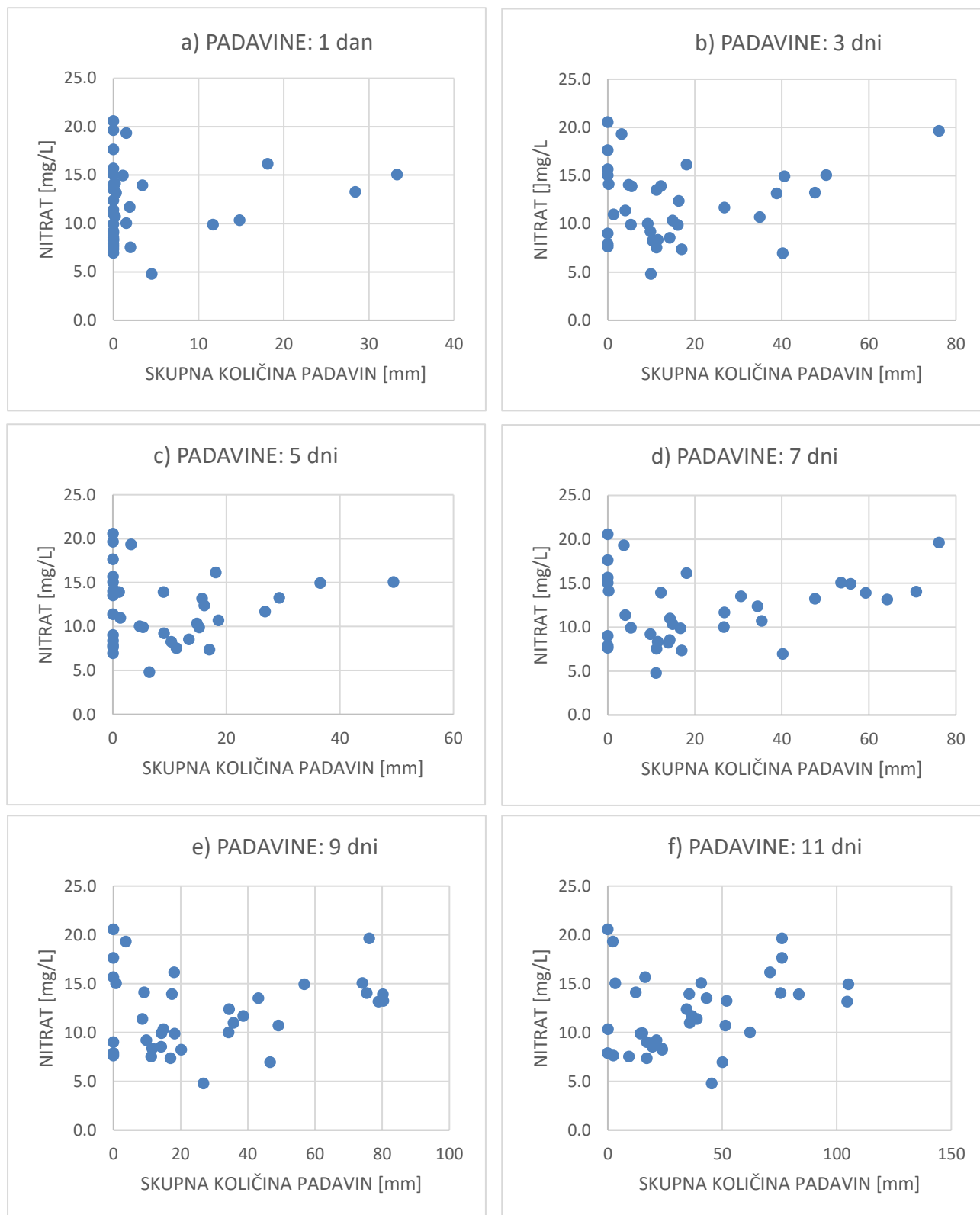


Slika 20: Deponija livarskega peska z označenimi smermi pretakanja vode.

B. Grafikoni

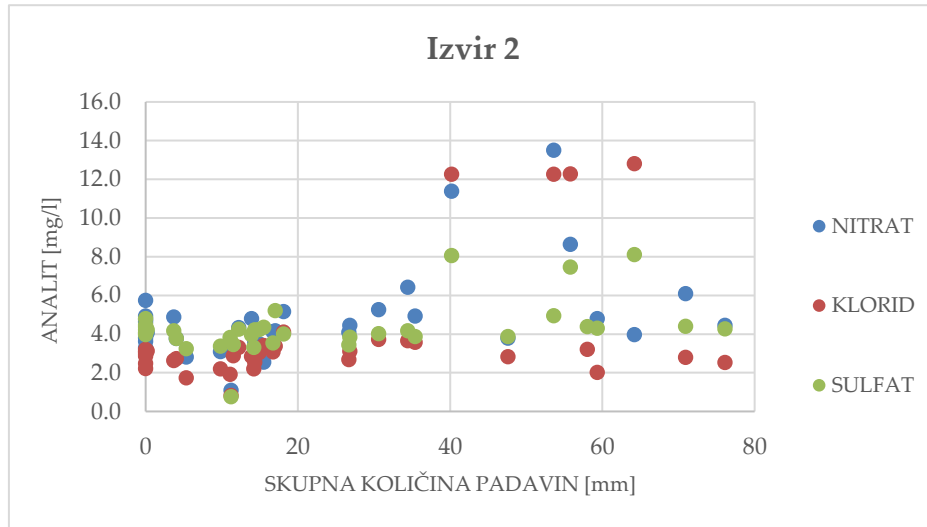
I. Večdnevna količina padavin

Število dni, ki jih upoštevamo pri skupni količini padavin, je naveden v naslovu posameznega grafikona. Pri manjšem upoštevanem številu dni opazimo zgostitev ob ordinati.

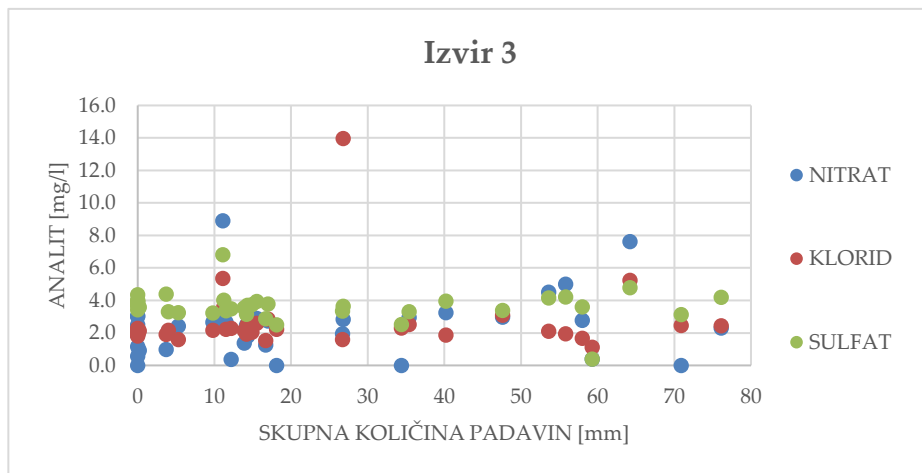


Grafikon 15: Grafi odvisnosti koncentracije nitrata od skupne količine padavin.

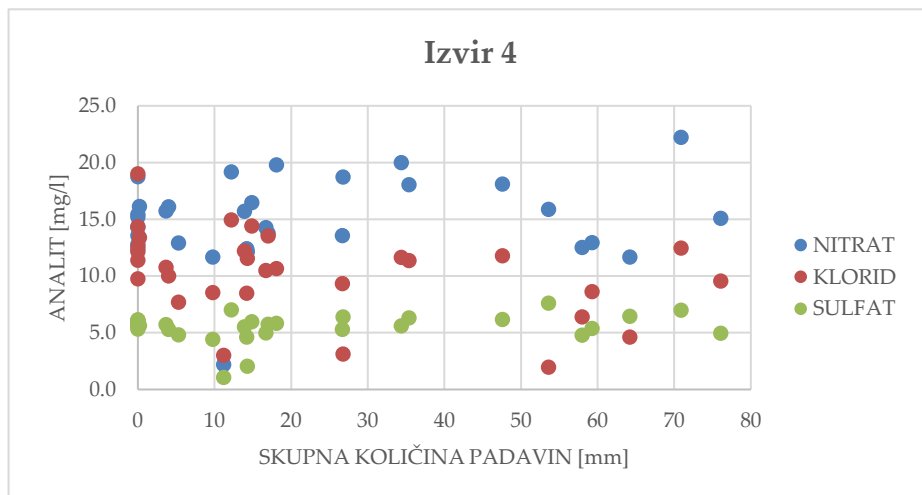
II. Korelacije s padavinami



Grafikon 16: Odvisnost koncentracije analita s skupno količino padavin za izvir 2.



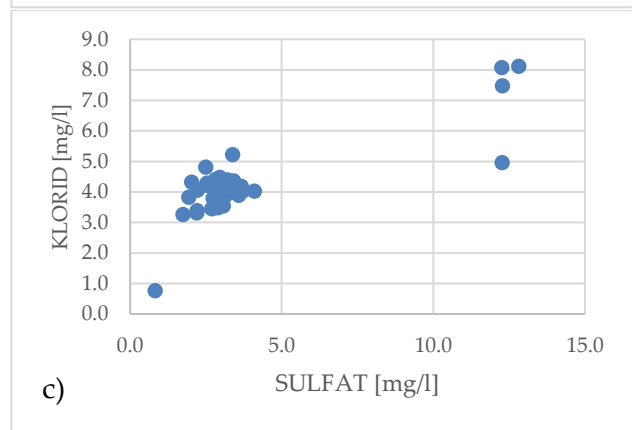
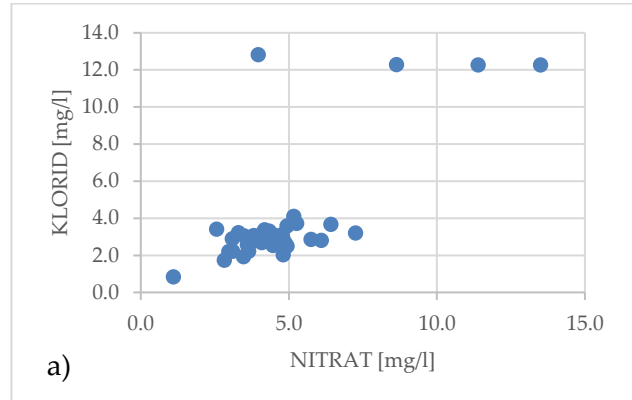
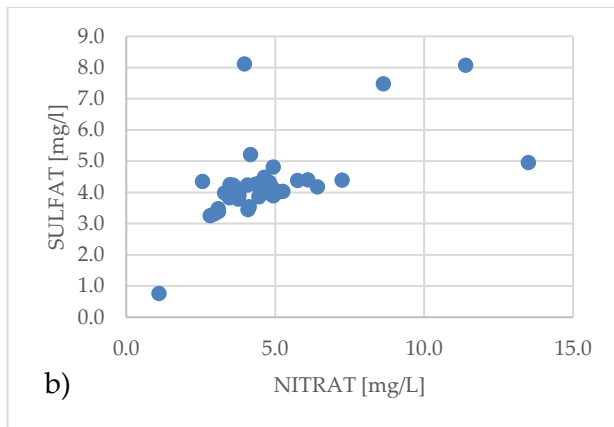
Grafikon 17: Odvisnost koncentracije analita s skupno količino padavin za izvir 3.



Grafikon 18: Odvisnost koncentracije analita s skupno količino padavin za izvir 4.

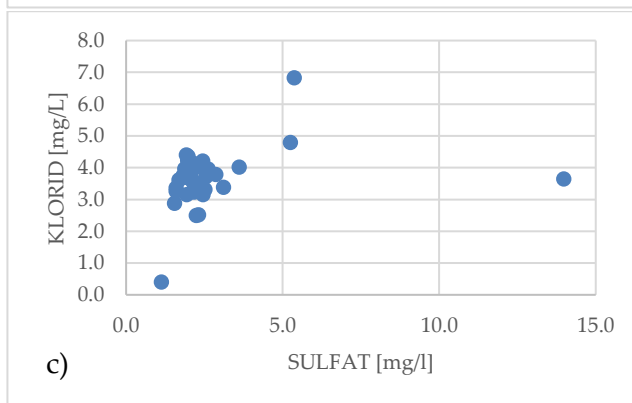
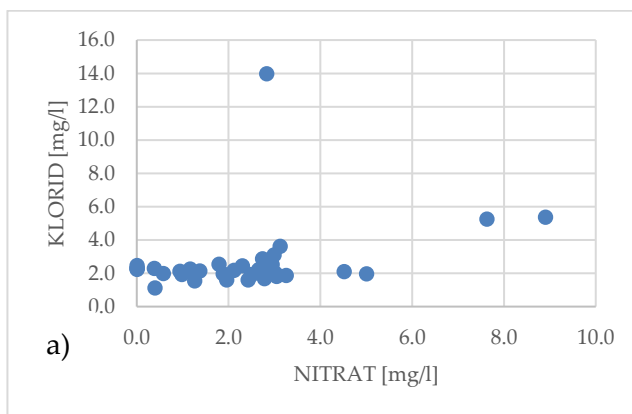
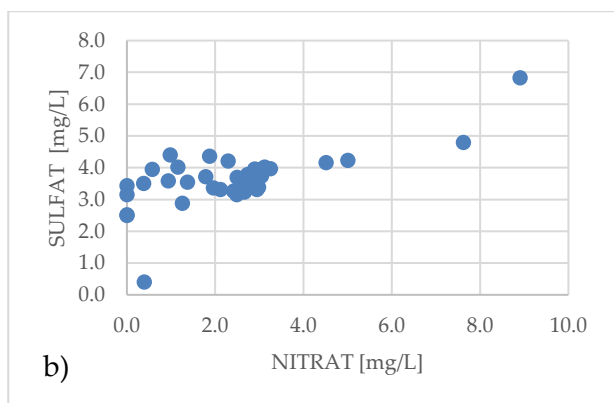
III. Korelacije med analiti

Izvir 2 ŠOTOR



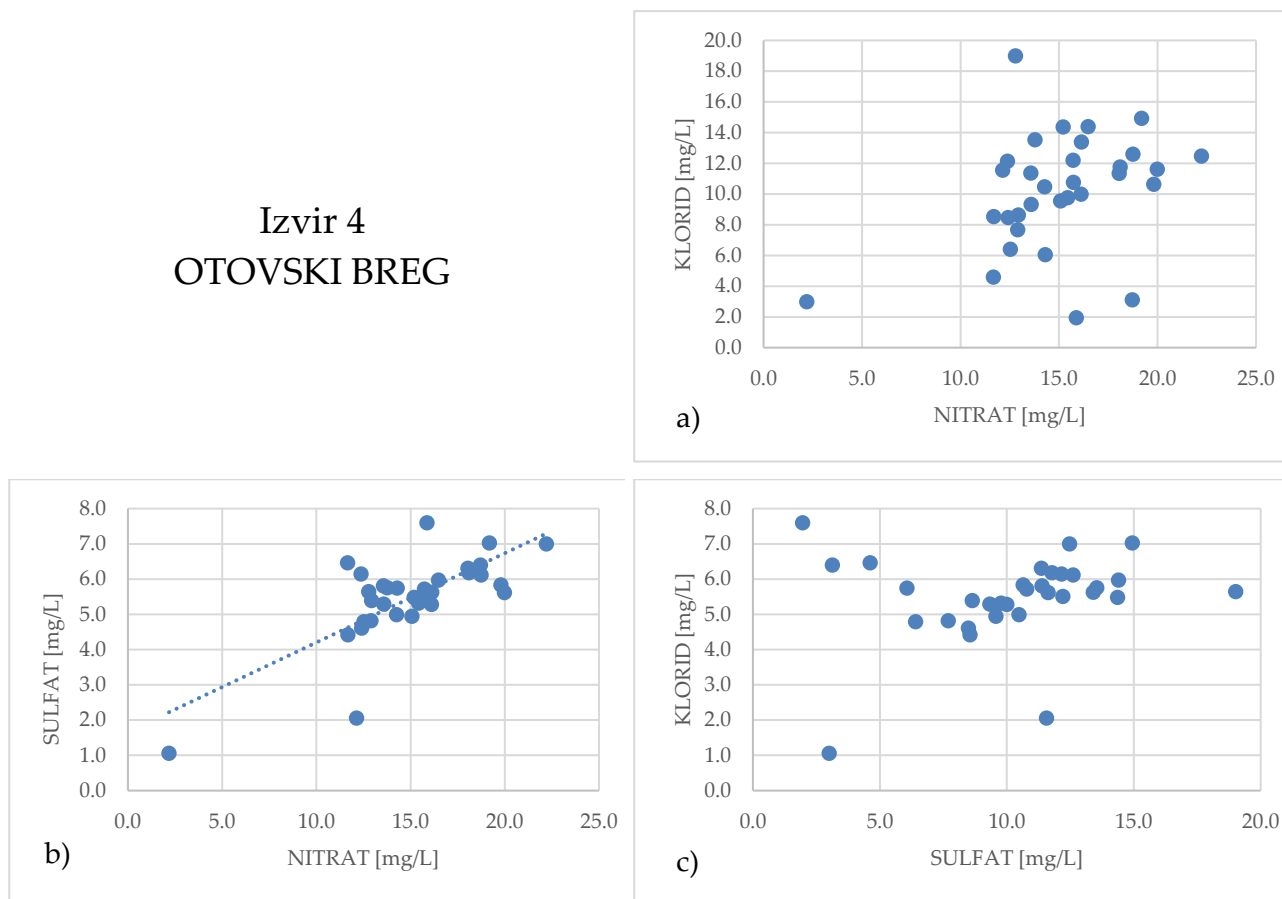
Grafikon 19: Korelacije med analiti za izvir 2.

Izvir 3 BRUHALNIK



Grafikon 20: Korelacije med analiti za izvir 3.

Izvir 4 OTOVSKI BREG



Grafikon 21: Korelacije med analiti za izvir 4.

C. Tabele

I. Nitrit

Tabela 11: Vzorci, v katerih smo identificirali nitrit, in koncentracije izmerjenega nitrita.

DATUM	IZVIR	KONCENTRACIJA NITRITA [mg/l]
12. 6. 2020	1	0,41 ± 0,04
19. 6. 2020	1	0,16 ± 0,02
	3	0,57 ± 0,06
27. 6. 2020	1	0,61 ± 0,06
19. 7. 2020	1	0,17 ± 0,02
26. 7. 2020	2	0,16 ± 0,02
	3	0,10 ± 0,01
	4	0,23 ± 0,02
2. 8. 2020	1	0,11 ± 0,01
28. 8. 2020	4	0,10 ± 0,01
4. 9. 2020	3	0,13 ± 0,01
11. 9. 2020	3	0,32 ± 0,03
17. 9. 2020	3	0,05 ± 0,01
	4	0,05 ± 0,01
24. 9. 2020	2	0,12 ± 0,01
3. 10. 2020	3	0,06 ± 0,01
	4	0,25 ± 0,03
10. 10. 2020	4	0,07 ± 0,01

D. Ozaveščanje javnosti

Ker je glavni namen aktivnosti pomagati preživeti črni človeški ribici, je zelo pomembno, da vzporedno s svojim raziskovanjem lokalno okolje ozaveščamo o ogroženosti njenega obstoja in pomenu čiste pitne vode, tako da z njim redno delimo svoja raziskovalna dognanja. Tega sem se skupaj z Mladi raziskovalci lotil na več načinov.

I. Facebook stran

Ker socialna omrežja predstavljajo pomemben in velik del našega vsakdana in so v sodobnem času vir mnogo aktualnih informacij ter omogočajo hiter način komuniciranja z množico ljudi, smo Mladi raziskovalci ustvarili svojo Facebook stran, imenovano Mladi raziskovalci, da bi lokalni skupnosti in tudi širši Sloveniji pokazali svoje delo in jih hkrati povabili k sodelovanju. Na strani smo objavljali utrinke s svojih raziskovalnih aktivnostih, svoje ugotovitve, zanimiva dejstva o črni človeški ribici in tudi nagradna vprašanja – nagrajencem smo poklonili poučno knjižico *Kdo sem*, predstavljeno v nadaljevanju. Javnost smo tudi povprašali o njihovih izkušnjah s črnim močerilom. (Bajuk & Vraničar, 2020) Konec februarja 2021 je strani sledilo več kot 800 krajanov.

II. Knjižica KDO SEM in uprizoritve

Izdali smo poučno knjižico z naslovom *Kdo sem*, ki poleg pravljice o črnem močerilu Rudolfu, ki jo je spisala raziskovalka Manca Bajuk, vsebuje tudi pesmi, uganke in didaktičen del, namenjen obravnavi prebranega. K nastanku knjižice sta s svojimi pesmimi in ugankami pripomogla tudi starša dijakov Srednje šole Črnomelj. Namen knjižice je predstaviti črnega močerila vsem generacijam na zabaven, enostaven, a hkrati poučen način. Izdelek smo predstavljali na stojnicah ob pomembnih dogodkih v Beli krajini, nekaj pa smo jih tudi darovali v dobrodelne namene. (Bajuk & Vraničar, 2020) Ogled spletne različice knjižice je omogočen na povezavi: http://sscr.splet.arnes.si/files/2020/07/Kdo_sem_26x26_knjiga18-1.pdf.

Informativni dan



Slika 21: Mladi raziskovalci s kolegi na informativnem dnevu
(foto: Urška Bahor, 14. 2. 2020).

V sodelovanju z dijaki in profesorji Srednje šole Črnomelj smo Mladi raziskovalci v letih 2019 in 2020 za bodoče dijake, ki so šolo obiskali ob priložnosti informativnega dneva, pripravili kratek program (**Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**). Odločili smo se uprizoriti kratko igrico, ki smo jo oblikovali na podlagi zgodbe v knjižici *Kdo sem*. S predstavitvijo smo želeli bodoče dijake in njihove starše opozoriti na pomen endemita črne človeške ribice, hkrati pa pokazati, s čim se ukvarjamo v okviru raziskovalnega dela, in jih tako pritegniti k raziskovanju. Pripravili smo tudi videoposnetke o svojem in raziskovalnem delu na sploh ter jih objavili na YouTube kanalu, naslovljene z *Mladi raziskovalci SŠ Črnomelj, Raziskovalno delo in ICYS Malezija* ter

Črni močeril SŠČ. (Bajuk & Vraničar, 2020)

Regijsko tekmovanje iz geografije

V šolskem letu 2018/19 je v Črnomlju potekalo regijsko tekmovanje iz geografije za srednješolce. Program smo oblikovali tako, da smo vanj vključili igrico z informativnega dneva in jo vsebinsko prilagodili. Tako smo svoje raziskovanje predstavili vrstnikom z drugih šol po Sloveniji. Priča smo bili različnim odzivom; veliko dijakov sploh še ni slišalo za črnega močerila, kar kaže na to, da so

tovrstne predstavitve, pri katerih črna človeško ribico predstavimo širši javnosti, še toliko pomembnejše. (Bajuk & Vraničar, 2020)

Predstavitve za učence osnovnih šol

Z igrico smo se predstavili tudi pred dvema skupinama otrok iz 5. razreda belokranjske Osnovne šole Loka. Po igri smo se z otroki pogovarjali o onesnaženosti vodnih izvirov, v katerih prebiva črna človeška ribica – po mnenju Mladih raziskovalcev je namreč ozaveščanje mladih ključno.

Kulturni dom Semič in Črnomelj

Avgusta 2020 smo z nekoliko predelano poučno igrico z informativnega dneva nastopili še za otroke pred Kulturnim centrom Semič in na ZIK-ovem Medgeneracijskem vrtu Kulturnega doma Črnomelj (**Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**). Po predstavitev smo se z otroki pogovarjali o problematiki onesnaževanja okolja, ki škoduje črni človeški ribici in načinja njen obstoj, hkrati pa so nam svoja vprašanja zastavljali tudi nadobudni otroci in njihovi starši.



Slika 22: Igrica o črnem močerilu Rudolfu na Medgeneracijskem vrtu Kulturnega doma Črnomelj (foto: Vesna Fabjan, 26. 8. 2020).

III. Predstavitve našega raziskovalnega dela in dognanj na dogodkih

Zabavaj se v mestu

Dne 6. 3. 2020 smo v okviru dogodka *Zabavaj se v mestu* na stojnici v starem mestnem jedru Črnomlja (Slika 15) pripravili izbor utrinkov našega raziskovanega dela, predstavljali knjižico *Kdo sem*, hkrati pa ponudili tudi ustvarjalno delavnico na temo črne človeške ribice.

Otvoritev Info centra Črna človeška ribica, predstavitev belokranjskim osnovnošolskim učiteljem in predstavitev za širšo javnost

V okviru otvoritve Info centra Črna človeška ribica, ki je potekala dne 19. 5. 2020, smo tako lokalni kot tudi strokovni javnosti predstavili svoje raziskovalno delo in vmesne ugotovitve.



Slika 23: Predstavitev strokovni javnosti (foto: Vesna Fabjan, 19. 5. 2020).

Udeležili smo se okrogle mize za strokovno javnost (Slika 23), ki jo je moderiral dr. Dušan Plut iz Sveta za varovanje okolja SAZU, na kateri so Polonca Mihorko (ARSO), dr. Mitja Prelovšek (Inštitut za raziskovanja krasa) in dr. Rok Kostanjšek (Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani) podali svoje poglede na reševanje problematike varovanja ogroženih jamskih habitatov. (Auguštin, Hudoklin, Prešeren, Šuštarčič, & Auguštin, 2020)

V okviru projekta Črna človeška ribica je načrtovana izvedba naravoslovnih dni za osnovne in srednje šole; oblikovane so bile tri različne delavnice in pripravljene učne priprave za učitelje biologije in kemije z delovnimi listi za drugo in tretjo triado OŠ ter srednje šole. (Auguštin, Hudoklin, Prešeren, Šuštarčič, & Auguštin, 2020)

V namen izobraževanja osnovnošolskih učiteljev za izvedbo naravoslovnih dni je dne 10. 5. 2020 poteka ločena predstavitev za osnovnošolske učitelje. K temu smo prispevali tudi predstavitev

svojega raziskovalnega dela in rezultatov. Podobno, le na nekoliko bolj poljuden način, smo sodelovali še na predstavitvi projekta lokalnim skupnostim dne 16. 5. 2020.



Slika 24: Predstavitve na občinskem svetu
(foto: Renata Butala, 18. 6. 2020).

Občinski svet Občine Črnomelj

Kljub vsemu pa so ključni akterji pri delovanju v lokalnem okolju lokalni politiki. Zato smo dne 19. 5. 2020 svoje raziskovalno delo in rezultate predstavili pred občinskimi svetniki Občinskega sveta Občine Črnomelj (Slika 24). Veseli smo bili vseh vprašanj, ki so nam jih svetniki zastavili, in nanje prav tako odgovarjali.

Teden vseživljenjskega učenja

Septembra smo svoje raziskovalno delo predstavili v okviru Tedna vseživljenjskega učenja v Predgradu. S pomočjo kovčka za terensko analizo vode smo preverili vsebnosti nitratov v vzorcu iz tamkajšnje reke Kolpe in opozorili na pomen varovanja vodnih virov.



Slika 25: Snemanje za oddajo Dobro jutro
(foto: Majda Veselič, 6. 3. 2020).

IV. Prispevki v medijih

Prispevek v Belokranjcu

Februarja 2020 je bil v lokalnem časopisu Belokranjec objavljen članek *Mladim raziskovalcem ni nikoli dolgčas*, ki ga je na podlagi pogovora in dopisovanja z nami napisal novinar Rudi Vlašič. Prispevek sestoji iz kratke predstavitve našega raziskovalnega dela, predstavitve odločitve in razlogov za raziskovanje črnega močerila ter knjižice *Kdo sem*.

Dobro jutro, Vaš kanal in Tednik

Marca 2020 smo Mladi raziskovalci sodelovali v informativni oddaji *Dobro jutro* (Slika 25) (dostopno na povezavi <https://4d.rtvslo.si/arhiv/dobro-jutro/174678395?jwsourc=cl>), nastopali pa smo tudi v prispevku na Vašem kanalu (dostopno na povezavi <https://www.youtube.com/embed/NTjVXlibBU6k>). Prispevek za RTV smo posneli na Jelševniku, za Vaš kanal pa v okolici naše šole. K sodelovanju smo se odzvali, da bi o problemu črne človeške ribice seznanili tudi druge prebivalce Slovenije, ki za to podvrsto morda še niso slišali. Septembra 2020 smo nastopili v prispevku oddaje *Tednik* z naslovom *Pozdrav iz Bele krajine*, v katerem smo predstavili poučno knjižico *Kdo sem* in predstavili svoje raziskovalno delo (dostopno na <https://4d.rtvslo.si/arhiv/tednik/174719615?jwsourc=cl>).

Oddaja Gymnasium na radiu PRVI

Februarja 2021 smo nastopali v radijski oddaji *Gymnasium* na radiu PRVI, RTV Slovenija (Slika 26). V eno uro trajajoči oddaji smo predstavili projekt, splošne značilnosti bele in črne človeške ribice, habitat črne človeške ribice in nekaj izsledkov o kvaliteti podzemne vode, v kateri živi, hkrati pa smo spregovorili tudi o raziskovalnem delu na terenu in v laboratoriju kot takem. Poslušanje prispevka je možno na povezavi <https://radioproj.rtslo.si/2021/02/gymnasium-245/>.



Slika 26: V studiu radia PRVI
(foto: Aleš Ogrin, 17. 2. 2021).