



Srednja šola Črnomelj
Kidričeva ulica 18a
8340 Črnomelj

Raziskovalna naloga

HIDROLOŠKI PARAMETRI KOT OSNOVA UGOTAVLJANJA KOMUNIKACIJE MED IZVIRI NA OBMOČJU HABITATA MOČERILA V BELI KRAJINI

EKOLOGIJA Z VARSTVOM OKOLJA

Avtorici:

Špela Vraničar,
Manca Bajuk

Mentorji:

Vesna Fabjan, prof., Srednja šola Črnomelj,
Katja Koren, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije,
Rok Brajkovič, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije

Črnomelj, 2022



Srednja šola Črnomelj
Kidričeva ulica 18a
8340 Črnomelj

Raziskovalna naloga

HIDROLOŠKI PARAMETRI KOT OSNOVA UGOTAVLJANJA KOMUNIKACIJE MED IZVIRI NA OBMOČJU HABITATA MOČERILA V BELI KRAJINI

EKOLOGIJA Z VARSTVOM OKOLJA

Avtorici:

Špela Vraničar

Slamna vas 14

8330 Metlika

spela.vranicar@gmail.com

Manca Bajuk

Čurile 21

8330 Metlika

manca.bajuk@mail.com

Mentorji:

Vesna Fabjan, prof., Srednja šola Črnomelj,

Katja Koren, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije,

Rok Brajkovič, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije

Črnomelj, 2022

ZAHVALA

Za pomoč pri raziskovalnem delu se najprej zahvaljujema najini mentorici profesorici geografije Vesni Fabjan. Vodila in usmerjala naju je pri raziskovanju ter navezala stike z zunanjimi strokovnimi ter raziskovalnimi institucijami in posameznimi strokovnjaki. Pomagala nama je pri terenskem delu, naju velikokrat oskrbela s prevozom, spremljala in naju spodbujala pri naporu pisanju naloge ter z nama delila svoje znanje iz geografskega področja. V vlogi občinske svetnice je najine pobude prenesla organom odločanja ter skrbela za promocijo in financiranje aktivnosti Mladih raziskovalcev.

Zahvaljujema se zunanjima mentorjema Katji Koren in Roku Brajkoviču iz Geološkega zavoda Slovenije. Prevezela sta vlogo korektorja in bedela nad strokovnostjo najinega dela. Pomagala sta nama pri razumevanju geološkega in hidrološkega stanja raziskovalnega območja, nama posredovala ustrezno literaturo in naju popeljala na teren. Pomagala sta nama konkretizirati raziskovalni problem ter interpretirati podatke. Mentorici Katji Koren sva še posebej hvaležni za vse opravljene laboratorijske analize. Za boljšo geološko predstavo ter pomoč pri terenskem delu se zahvaljujema Roku Brajkoviču.

Nini Jankovič iz Zavoda za ohranjanje narave OE Novo mesto se zahvaljujema za pomoč pri kartiranju z nama nedostopnimi računalniškimi programi. Zemljevide sva uporabili v raziskovalni nalogi.

Za boljšo predstavo o lokacijah vodovodnega in kanalizacijskega sistema v zaledju Jelševnika ter za podatke iz sonde se zahvaljujema Komunali Črnomelj.

Za lektoriranje angleškega povzetka se zahvaljujema nekdanji profesorici angleščine Gabrijeli Vidic Mihelčič.

Za sodelovanje v skupnih aktivnostih se zahvaljujema ekipi mladih raziskovalcev, ki nama je pomagala pri promociji in ozaveščanju javnosti. Predvsem sva hvaležni Vidu Kavčiču za pomoč pri vzorčenju in terenskem delu ter prenosu vzorcev v Ljubljano. Na tem mestu se za dostavo vzorcev vode v Ljubljano zahvaljujema tudi Zali Kavčič. Za prelepo ilustracijo črnega močerila, ki krasi to in zaključno stran se zahvaljujema mladi umetnici Zali Pezdirc Burazer.

Brez podpore staršev, ki so naju tedensko strpno vozili na terensko delo iz podeželja v Črnomelj in Jelševnik nama prav gotovo ne bi uspelo. Tudi brez starih staršev, pri katerih sva velikokrat prespali, ne bi mogli izpeljati predvsem večernega dela, za kar sva jim nadvse hvaležni.

Hvala javnosti, ki je pozitivno sprejela prizadevanja Mladih raziskovalcev Srednje šole Črnomelj, nas spremljala na naši Facebook strani, pri medijskih nastopih in na promocijskih stojnicah. Hvala medijem, ki so pomagali pri promociji dejavnosti mladih raziskovalcev (Radio Odeon, Radio 1, TV Vaš kanal, RTV SLO 1, Belokranjec, Dolenjski list).

Neizmerno sva hvaležni tudi Vincencu Petruni in 32 podpisnikom (strokovnjakom in institucijam), ki so se odzvali na razpis Občine in nas predlagali komisiji, ki nas je izbrala in nam podelila občinsko ekološko priznanje Breza za leto 2021.

Hvaležni sva tudi vsem ostalim članom različnih znanstvenih institucij in društev, ki so nama pomagali s svojimi nasveti, literaturo in so svoje znanje v štirih letih delili z nama, naju povabili na okrogle mize in ekološko obarvane dogodke.

Za podporo in nasvete sva hvaležni Niku Šuštarču iz Društva Proteus, Silvestru Zupančiču iz Izletniške kmetije Zupančič za zaupanje in pomoč pri petkovih večernih obhodih izvirov. Hvala jamarju Janezu Jermanu, ki nas je spremljal in varoval pri ogledu notranjosti jame Stobe.



KAZALO VSEBINE

ZAHVALA	I
POVZETEK	VII
ABSTRAKT	VIII
1 UVOD	1
1.1 Struktura celotnega dela	1
1.2 Komunikacija med izviri na podlagi hidroloških parametrov kot predmet raziskave.....	1
1.3 Kratek pregled raziskovalnega dela	5
1.4 Hipoteze.....	6
2 TEORETIČNI DEL	7
2.1 Človeška ribica ali močeril (Proteus)	7
2.1.1 Bela človeška ribica (<i>Proteus anguinus anguinus</i>).....	7
2.1.2 Črna človeška ribica (<i>Proteus anguinus parkelj</i>).....	8
2.2 Geografska umestitev raziskovalnega območja	9
2.3 Geološka umestitev raziskovalnega območja	10
2.3.1 Litološka umestitev.....	11
2.3.2 Tektonska umestitev.....	12
2.3.3 Hidrogeološke osnove.....	13
2.4 Razdelitev raziskovalnega območja.....	18
2.4.1 Širše območje.....	18
2.4.2 Ožje območje	21
2.5 Podnebne značilnosti	28
2.6 Naravovarstvena pomembnost območja.....	30
2.6.1 Raba tal raziskovalnega območja.....	31
2.6.2 Možni viri onesnaževanja na raziskovalnem območju	33
2.6.3 Onesnaženost podzemne vode v povezavi s človeško ribico	33
2.6.4 Pregled zakonodaje	34
2.6.5 Trenutno vodovarstveno območje raziskovalnega ožjega območja.....	37
3 RAZISKOVALNI DEL.....	39
3.1 Sodelovanje z institucijami	39
3.1.1 Izletniška kmetija Zupančič.....	39
3.1.2 Geološki zavod Slovenije.....	39
3.1.3 Komunala Črnomelj	40
3.2 Zbiranje prosto dostopnih podatkov in proučevanje literature.....	40
3.3 Terensko delo	41

3.3.1	Meritve gladine vode.....	42
3.3.2	Zvezne meritve električne prevodnosti vode	43
3.3.3	Zvezne meritve temperature vode.....	43
3.3.4	Vzorčenje vode.....	43
3.4	Laboratorijsko delo.....	44
3.4.1	Meritve nitrata v vodi.....	44
3.5	Obdelava podatkov	44
3.5.1	Obdelava arhivskih podatkov in podatkov preteklih analiz.....	44
3.5.2	Obdelava novih podatkov.....	46
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	52
4.1	Stanje vode na opazovanih izviri.....	52
4.1.1	Gladina vode v izviri.....	52
4.1.2	Električna prevodnost vode v izviri	56
4.1.3	Temperatura vode v izviri	60
4.1.4	Kakovost vode v povezavi s koncentracijami nitrata v vodi	66
4.2	Ovrednotenje hipotez	76
5	ZAKLJUČEK.....	78
6	VIRI IN LITERATURA	IX
7	PRILOGE	XIV
7.1	List za terensko delo.....	XIV
7.2	Excelov zvezek za sprotno vnašanje rezultatov terenskega in laboratorijskega dela	XIV

KAZALO SLIK

Slika 1: Aktivnosti mladih raziskovalcev.	4
Slika 2: Bela človeška ribica (<i>Proteus anguinus anguinus</i>).	7
Slika 3: Črni močeril (<i>Proteus anguinus parkelj</i>). (Foto: Nina Jankovič, 12. 4. 2019)	8
Slika 4: Prikaz Bele krajine in raziskovalnega območja v Sloveniji. (Izdelala Špela Vraničar, kartografska podlaga: Geopedia)	9
Slika 5: Raba tal širšega raziskovalnega območja (Izdelala Špela Vraničar, kartografska podlaga: Atlas okolja).	10
Slika 6: Starost površja na območju Dobliške kotlinice.	10
Slika 7: Osnovna geološka karta SFRJ (list Črnomelj) na raziskovalnem območju (grafični prikaz izdelala Špela Vraničar).	12
Slika 8: Vodni krog (Vir: https://www.usgs.gov/media/images/vodni-krog-za-otroke-water-cycle-kids-slovenian).	14
Slika 9: Kraški vodonosnik (Vir: Projekt GEP, 2014).	16
Slika 10: Širše raziskovalno območje (grafična izdelava karte: Nina Jankovič).	20
Slika 11: Ožji območji raziskovanja - Dobliška kotlina in Otovško-Pački dol (Izdelala Špela Vraničar, kartografska podlaga: Geopedija).	21
Slika 12: Ožje raziskovalno območje Dobliška kotlina (Izdelala Nina Jankovič).	22
Slika 13: Izvir na Trati - lokacija 2 (Foto: Manca Bajuk, 12. 7. 2019).	24
Slika 14: Izvir Obršec - lokacija 1 (Foto: Manca Bajuk, 30. 8. 2019).	24
Slika 15: Odprti bruhalnik Jamnice - lokacija 3 (Foto: Manca Bajuk, 15. 8. 2019).	25
Slika 16: Preliv Dobliče - lokacija 6.	25
Slika 17: Ožje raziskovalno območje Otovško-Pački dol z lokacijo 4 (Otovški breg) in lokacijo 5 (Pački breg) (Izdelala Špela Vraničar, kartografska podlaga: Geopedija).	26
Slika 18: Podzemni tok Otovško-Pačkega dola (izdelala Nina Jankovič).	27
Slika 19: Otovski breg - lokacija 4 (Foto: Vesna Fabjan, 30. 12. 2018).	27
Slika 20: Pački breg - lokacija 5.	28
Slika 21: Klimogram za kraj Črnomelj - Dobliče v obdobju 1981–2010 (Vir: ARSO, 2022).	29
Slika 22: Prikaz letne povprečne višine padavin v Sloveniji za obdobje 1981–2010 (Vir: ARSO, 2016).	29
Slika 23: Zemljevid rabe tal (izdelala Nina Jankovič).	32
Slika 24: Zavarovana območja raziskovalnega območja (izdelala Špela Vraničar, kartografska podlaga: Atlas okolja).	38
Slika 25: Sodelovanje z Geološkim zavodom Slovenije.	40
Slika 26: Ročne meritve gladine vode.	42
Slika 27: Sonde za zvezne meritve gladine vode, temperature vode in električne prevodnosti vode.	42
Slika 28: Epruvete za vzorčenje vode.	43
Slika 29: Laboratorijsko delo.	44

KAZALO TABEL

Tabela 1: Oznake lokacij vzorčenja.....	41
Tabela 2: Tabela statističnih podatkov o gladini vode (m) in povprečnih hitrosti (cm/h) padcev in dvigov gladine vode za lokacije 1, 2, 5 in 6.....	52
Tabela 3: Tabela statističnih podatkov o električni prevodnosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in povprečni hitrosti ($\mu\text{S}/\text{cmh}$) padcev in dvigov električne prevodnosti vode na lokacijah 1 in 2.	56
Tabela 4: Povprečne vrednosti električne prevodnosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) po mesecih in letnih časih za lokaciji 1 in 2.	56
Tabela 5: Statistični podatki za temperaturo vode ($^{\circ}\text{C}$) za lokacije 1, 2, 5 in 6.	60
Tabela 6: Koncentracije nitrata v vodi (mg/l) skozi leta (VIR: Dobnikar Tehovnik, Gacin in Mihorko, 2019; str. 28).	67
Tabela 7: minimalne, maksimalne in povprečne koncentracije nitrata v vodi (mg/l) za posamezno lokacijo v obdobju julij – december 2021.	68
Tabela 8: Povprečne koncentracije nitrata v vodi (mg/l) za posamezno lokacijo po mesecih in letnih časih.....	70

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca gladine vode na lokaciji 1.....	47
Graf 2: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca gladine vode na lokaciji 2.....	48
Graf 3: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca gladine vode na lokaciji 5.....	48
Graf 4: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca gladine vode na lokaciji 6.....	49
Graf 5: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca električne prevodnosti vode na lokaciji 1.....	50
Graf 6: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca električne prevodnosti vode na lokaciji 2.....	50
Graf 7: Gladina vode v izviri 1, 2, 5 in 6 in padavine (Dobliče - Črnomelj) v obdobju julij--december 2021.....	53
Graf 8: Odziv gladine vode v izviri v poletnem padavinskem maksimumu.....	54
Graf 9: Odziv gladine vode v izviri v jesenskem padavinskem maksimumu.	55
Graf 10: Električna prevodnost vode in padavine (Dobliče – Črnomelj) v obdobju julij—december 2021 na lokacijah 1 in 2.	57
Graf 11: Električna prevodnost in gladina vode na lokaciji 2.	58
Graf 12: Električna prevodnost in gladina vode na lokaciji 1.	58
Graf 13: Električna prevodnost vode in padavine (Dobliče - Črnomelj) v obdobju julij--december 2021 za lokacijo 5.	59
Graf 14: Električna prevodnost in gladina vode na lokaciji 5.	59
Graf 15: Temperatura vode in padavine (Dobliče - Črnomelj) v obdobju julij--december 2021 za lokacije 1, 2, 5 in 6.	61
Graf 16: Temperatura vode v lokacijah 2 in 6.	62
Graf 17: Gladina in temperatura vode v lokaciji 1.....	63
Graf 18: Gladina in temperatura vode v lokaciji 2.....	63
Graf 19: Gladina in temperatura vode v lokaciji 5.....	64
Graf 20: Gladina in temperatura vode v lokaciji 6.....	64
Graf 21: Električna prevodnost in temperatura vode v lokaciji 1.	65
Graf 22: Električna prevodnost in temperatura vode v lokaciji 2.	65
Graf 23: Električna prevodnost in temperatura vode v lokaciji 5.	66
Graf 24: Primerjava izmerjenih maksimalnih in povprečnih koncentracij nitrata v vodi v obdobju julij--december 2021 z mejnimi vrednostmi.....	69
Graf 25: Povprečne mesečne koncentracije nitrata v vodi z mesečnimi padavinami.....	71
Graf 26: Koncentracija nitrata v vodi s padavinami.	72
Graf 27: Vpliv efektivnih padavin na spremembo povprečne mesečne koncentracije nitrata v vodi. .	73
Graf 28: Gladina, temperatura, električna prevodnost in koncentracija nitrata v vodi na lokaciji 2 s padavinami.	74
Graf 29: Gladina, temperatura, električna prevodnost in koncentracija nitrata v vodi na lokaciji 1 s padavinami.	75

POVZETEK

V Beli krajini se nahaja habitat človeške ribice, tako bele vrste (*Proteus anguinus anguinus*), kot njej sorodne podvrste vretenčarjev, to je črnega močerila (*Proteus anguinus parkelj*). Slednji uživa sloves svetovnega endemita s habitatom le na 3 km². Na preučevanem območju je zaslediti trend zmanjševanja števila osebkov populacij (Hudoklin, 2011). Ob vztrajnem opozarjanju okoljevarstvenikov se prebujata tudi lokalna skupnost, ki je še posebej črnega močerila prevzela za zaščitni znak pokrajine. Za ustrezno zavarovanost habitata tega endemita je potrebno poznavanje zaledja izvirov nahajališč in njihovih lastnosti ter obremenjenost izvirov, kar je postalo predmet preučevanja najine raziskave.

Raziskava s spremljanjem hidroloških parametrov (električna prevodnost vode, gladina vode, temperatura vode) in vsebnosti nitrata je pokazala, da se izviri na ožjem raziskovalnem območju različno odzivajo na padavine. Zaznan je bil dvig temperature vode in koncentracije nitrata v izvirih glede na raziskave pred 30 leti (Habič, Kogovšek, Bricelj, Zupan, 1990). Efektivne padavine vplivajo na spremembo povprečnih mesečnih koncentracij nitrata v vodi. Najvišja koncentracija nitrata v opazovalnem obdobju je bila izmerjena na lokaciji 4, najmanjša pa na 6. Višje koncentracije so zaznane v poletnem času. Gladina vode se po padavinskem dogodku najhitreje dvigne na lokaciji 1, najpočasneje pa na lokaciji 5. Vpliv temperature zraka na temperaturo vode je največji na lokacijah 1 in 6. Glede na rezultate meritev lahko sklepava o različnem tipu kraških izvirov in različnem zaledju lokacij.

Raziskovalna naloga je iz področja ekologije z varstvom okolja. Zajema spoznanja predvsem iz geologije ter z njo povezanimi strokami, kot so hidrologija, kemija, geografija in biologija. Osnovni namen raziskovalne naloge v okviru ekipe Mladih raziskovalcev Srednje šole je nadaljevati s sistematičnim preučevanjem habitata črnega in belega močerila na zahodnem robu belokranjskega ravnika in spremljati kemijsko stanje vode v šestih izvirih. Delo ekipe temelji na raziskovanju in strokovno utemeljenih ugotovitvah, pridobljenih v sodelovanju s slovenskimi znanstvenimi institucijami (tokrat z Geološkim zavodom Slovenije). Ključni cilj je ozvestiti širšo javnost in lokalne odločevalce o ustreznem obvarovanju območja habitata človeške ribice in nenazadnje vira pitne vode.

KLJUČNE BESEDE: Dobliška kotlina, habitat človeške ribice, hidrogeološke značilnosti izvirov, ozaveščanje javnosti

ABSTRAKT

The habitat of *Proteus anguinus anguinus* (white proteus) is located in Bela krajina. Besides white proteus Bela krajina is also the only location where *Proteus anguinus parkelj* (black proteus) can be found. *Proteus anguinus parkelj* is an endemic animal, located on only 3 km². Black proteus is a vertebrate animal, a subspecies of white proteus. The size of its population is slowly decreasing (Hudoklin, 2011). Due to persistent warnings of environmental scientists the local community has woken up and has taken the black proteus as a trademark of the region. It is essential to protect the black proteus's habitat. In order to achieve that, it is necessary to expertise the hinterland of the springs, their characteristics and their ecological condition. And that became the subject of our research.

The research was based on studying hydrological parameters (electrical conductivity, water levels and the temperature of water) and the concentration of nitrates. The results state that the springs, situated on our research area, respond differently to atmospheric precipitation. In comparison to the studies, done 30 years ago (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990), our results show a rise of the water temperature and an increase of the nitrate concentration. Effective precipitation influences changes of average monthly concentrations of nitrates in the water. During the monitoring period the highest concentration was detected on location 4, while the lowest was detected on location 6. Higher concentrations have been noted during summer months. After precipitations the water levels rise the fastest on location 1 and the slowest on location 5. The influence of an air temperature on the water temperature is the highest on locations 1 and 6. Based on our measurements we can determine different types of carst springs as well as different hinterlands of locations.

This research is classified in the sphere of ecology and environmental protection and includes scientific contents of geology and professions such as hydrology, chemistry and biology. The main purpose of the current research is to continue with systematic investigation of proteus's habitat on western outskirts of Bela krajina's equator and to monitor water quality in six springs, located in our narrow research area. Work of the group of The Young Researchers of Srednja šola Črnomelj is based on researching and professionally established findings, gained by collaborating with Slovenian scientific institutions. This time we have completed our aims with the help of Geological Survey of Slovenia. Our basic purpose has been and still is raising awareness among the locals and local politicians about the importance of protecting the habitat of black proteus and the source of clean drinkable water.

KEY WORDS: Dobliče valley, the habitat of proteus, hydrogeological characteristics of the springs, raising awareness

1 UVOD

1.1 Struktura celotnega dela

Raziskovalno nalogo sva zastavili tako, da sva v uvodu navedli razloge za preučevanje raziskovalnega problema, to je opredeliti ključne značilnosti izvirov na zahodnem robu belokranjskega ravnika med Dobličami in Otovcem, na območju habitata črnega in belega močerila. Postavili sva hipoteze, saj sva želeli, da z opazovanjem na terenu, s spremljanjem različnih dejavnikov, ki vplivajo na obravnavane izvire, med drugim s spremljanjem padavin na bližnji meteorološki postaji ter z merjenjem parametrov podzemne vode, dokazati morebitno povezavo med izviri na območju habitata bele in črne človeške ribice v Beli krajini. Območje habitata močerila na območju Bele krajine je uvrščeno v evropsko mrežo varstvenega območja Natura 2000, ki je namenjeno ohranjanju biotske raznovrstnosti. Najin namen je bil tudi podati predlog za strožje zavarovanje območja izvirov oz. habitata črnega in belega močerila, ki je izrednega pomena za Belo krajino tako s stališča biotske raznovrstnosti kot tudi vodooskrbe.

V teoretičnem delu sva najprej povzeli značilnosti belega in črnega močerila ter geografsko umestili raziskovalno območje. Pri slednjem sva ločili splošne geografske značilnosti od geoloških značilnosti, s poudarkom na reliefu. Raziskovalno območje sva razdelili na širše in ožje. Širše raziskovalno območje zajema območje, od koder se voda steka k proučevanim izvirov, ožje območje pa zajema izvire same. Zaradi večje sistematičnosti sva na dva dela razdelili tudi ožje raziskovalno območje glede na geografske razlike in pojavnost belega oz. črnega močerila. Ker sva v povezavi z nihanjem gladine vode v izvirihi spremljali tudi padavine, sva kratko povzeli podnebne značilnosti raziskovalnega območja.

V raziskovalnem/eksperimentalnem delu sva najprej predstavili institucije, s katerimi sva sodelovali. Nato sva predstavili metodologijo dela, terenski in laboratorijski del, kjer sva združili vse najine aktivnosti. V nadaljevanju sva razpravljali o hipotezah in napisali ugotovitve ter jih grafično prikazali. V zaključku sva povzeli bistvo in pomen najine raziskovalne naloge ter navedli smernice za nadaljnje delo, vse kot sestavni del bistveno širšega cilja, to je prispevati k ohranitvi habitata črnega in belega močerila v Beli krajini.

1.2 Komunikacija med izviri na podlagi hidroloških parametrov kot predmet raziskave

Raziskovanje krása v Sloveniji ima dolgo tradicijo. Medtem ko so nekatere splošne zakonitosti zakrasovanja jasne, je še posebej velik izziv le te razumeti v konkretnih primerih ožjih območjih, v povezavi z naravovarstvom ali tako kot v našem primeru, v povezavi s habitatom konkretnega živega bitja.

Ekipo mladih raziskovalcev, dijakov Srednje šole Črnomelj, že štiri leta druží skrb za območje habitata črnega močerila (črno človeško ribico, *Proteus anguinus parkelj*). To je belokranjski endemit, ki ga najdemo na površini manjši od 80 km², v Dobliški kotlinici (Bulog, 2009). Raziskave črnega močerila in njegovega habitata potekajo komaj dobrih 30 let, nesistematično, redko v naravnem okolju in v povezavi s posameznimi financiranimi evropskimi projekti (*Predstavitev in varstvo človeške ribice, na primeru črne človeške ribice v Beli krajini*). Iz hidrološkega vidika so bile zadnje večje raziskave iz področja hidrologije tega območja narejene v osemdesetih letih preteklega stoletja (Novak, 1989).

Mladi raziskovalci že četrto leto delujemo s prednostno nalogo ozaveščanja prebivalcev Bele krajine (in širše) o pomenu ohranjanja endemita črnega močerila. Z njim si delimo tudi najpomembnejši vir

pitne vode v Dobličah, saj z vodo oskrbuje več kot 12.000 prebivalcev (Plut, Tobec, Lampic, 2013). V ta namen smo izdali knjižico za otroke z didaktičnimi priporočili z naslovom *Kdo sem* (Bajuk, Fabjan, Kavčič, Pezdirc B. in Vraničar, 2020) z glavnim junakom črnim močerilom Rudolfom. Vsebinsko smo tudi odigrali na informativnih dnevih SŠ Črnomelj, učencem Osnovne šole Loka, obiskovalcem počitniških delavnic v organizaciji Kulturnega centra Semič in Kulturnega doma Črnomelj; bili smo gostje v oddaji *Gymnasium* na radiu PRVI (februar, 2021); marca 2020 smo Mladi raziskovalci sodelovali v informativni oddaji *Dobro jutro* (dostopno na povezavi <https://4d.rtvsllo.si/arhiv/dobro-jutro/174678395?jwsourc=cl>), nastopali pa smo tudi v prispevku na *Vašem kanalu* (dostopno na povezavi <https://www.youtube.com/embed/NTjVXlbBU6k>), septembra 2020 smo nastopili v prispevku oddaje *Tednik* z naslovom *Pozdrav iz Bele krajine* (dostopno na <https://4d.rtvsllo.si/arhiv/tednik/174719615?jwsourc=cl>). 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. Za januarsko številko *Belokranjca* smo napisali članek z naslovom *Analiza prsti z okolice Jelševnika in Otovskega brega* (Bajuk, Kavčič in Vraničar, 2021). Izsledke svojih raziskav smo predstavili na otvoritvi Info centra *Črna človeška ribica* tako stroki kot širši javnosti, na seji občinskega sveta Občine Črnomelj in prebivalcem Predgrada v okviru *Tedna vseživljenjskega učenja*. Zanimive ugotovitve in utrinke iz raziskovalnega dela objavljamo na naši Facebook strani *Mladi raziskovalci*. S svojim delom in ugotovitvami želimo prispevati k znanosti, zato v sodelovanju z zunanjimi strokovnimi institucijami opravljamo analize vode in prsti, opazujemo teren, z njimi delimo spoznanja in sodelujemo na strokovnih srečanjih.

V sklopu ekipe Mladih raziskovalcev SŠ Črnomelj so nastale tri raziskovalne naloge. Prva, v letu 2020, je imela naslov *Pomagajmo preživeti črnemu močerilu* (Bajuk in Vraničar, 2020). Temeljala je na sistematičnem enoletnem opazovanju osebkov črnega močerila in spremljanju njihovega vedenja v naravnem okolju. Druga, v letu 2021, je bila bolj ozko zastavljena in je imela naslov *Analiza vode izvirov nahajališč črne človeške ribice* (Kavčič, 2021), kjer smo z natančnejšimi analizami vode v sodelovanju s Kemijskim inštitutom Ljubljana želeli bolj sistematično kot v preteklosti spremljati kvaliteto vode in ugotoviti morebitno korelacijo izginjanja osebkov s čistočo vode v posameznih izviri.

Tretja, aktualna naloga, ima naslov ***Hidrološki parametri kot osnova ugotavljanja komunikacije med izviri v območju habitata močerila***. V obdobju druge polovice leta, to je od julija do decembra 2021, sva ročno merili globino vode na lokacijah, z avtomatski merilniki smo zvezno spremljali temperaturo in električno prevodnost vode v posameznem izviru ter si iz prosto dostopnih podatkov samodejne meteorološke postaje beležili podatke o količini padavin, da bi s pomočjo analize vode in opazovanj terena ocenili povezavo med šestimi izviri, kjer se v Beli krajini pojavlja močeril. Pri tem sva razširili raziskovalno območje iz Dobličke kotlinice (območje pojavljanja črnega močerila) na sosednji Otovško-Pački dol (območje pojavljanja belega močerila). V predhodnih raziskavah (Kavčič, 2021) je bilo ugotovljeno, da so koncentracije kloridov, sulfatov in nitratov v vodi na območju kotlinice nižje kot v dolu. Izvira Jamnice in Na trati sta namreč imela najnižje koncentracije merjenih analitov (kloridi, sulfati, nitrati) v vodi. Najvišjo koncentracijo nitratov je imela voda v izviru Otovski breg najvišjo koncentracijo kloridov in sulfata pa drugi (najbolj Obršec). Glede na pretekle raziskave (Hudoklin, 2011) in glede na ustno izročilo krajanov (Milena Blažič, dne 6. 1. 2020) sva zaznali upad števila osebkov v obeh primerih. Zato sva se odločili raziskati morebitno povezavo med šestimi proučevanimi izviri:

- Dobliče, Obršec, Na trati in Jamnice (na območju Dobliške kotlinice) ter
- Otovski breg in Pački breg (v Otovško-Pačkem dolu).

Najina mentorica Vesna Fabjan je za pomoč pri raziskovalni nalogi prosila Geološki zavod Slovenije. Odzvala sta se geolog Rok Brajkovič in hidrogeologinja Katja Koren ter nam nudila pomoč pri spoznavanju geoloških značilnosti terena, strokovno sta nama svetovala in opravljala analizo vode, saj sami nisva mogli tedensko hoditi v Ljubljano. Najin namen je bil tedensko vzorčiti vodo iz izvirov, zbrati rezultate, jih obdelati in predvideti odziv izvirov na padavine, predlagati območje zaledja izvirov, kar pa bo v prihodnosti lahko osnova za omejitev območja, ki bi ga bilo potrebno ustrezno zavarovati, če želimo, da se upad števila človeške ribice zaustavi.



Slika 1: Aktivnosti mladih raziskovalcev.

1.3 Kratek pregled raziskovalnega dela

Raziskovalno in drugo delo mladih raziskovalcev poteka že od jeseni 2018. V predhodnih raziskavah, ki so bile veliko bolj širše in splošno usmerjene, pravzaprav nisva vedeli, v kaj točno se spuščava, saj predhodno še nihče daljše obdobje ni spremljal črnega močerila v naravnem habitatu. Na podlagi vprašanj, ki so takrat nastala tekom terenskega dela, sva za potrebe te raziskovalne naloge veliko lažje oblikovali ožje usmerjeno raziskovalno vprašanje. Literaturo na temo črnega in belega močerila ter njegovega habitata sva proučili že predhodno. Znanje sva tako črpali iz predhodnih raziskav, zato sva tudi lažje naredili načrt in se lotili dela. Navedene vsebine v teoretičnem delu naloge temeljijo na najini predhodni raziskovalni nalogi (Bajuk in Vraničar, 2020), dopolnjeno z novimi spoznanji, do katerih sva prišli v sodelovanju s strokovnjaki in ob opazovanju terena. Mentorica naju je povezala z mentorjema iz Geološkega zavoda Slovenije. Skupaj smo odšli na teren, kjer smo predstavili raziskovalno območje. Na podlagi vidnega sta nama ponudila možnosti sodelovanja. Seznani sta naju z metodologijo dela in nama tudi posodila merilno opremo za zvezne meritve temperature, elektroprevodnosti in gladine vode v izviri. Povezali sva se tudi s Komunalo Črnomelj, saj le ta od leta 2003 zagotavlja kakovostno oskrbo s pitno vodo tudi z zajemom izvira Dobliče ter redno izvaja interni nadzor nad kakovostjo pitne vode (Komunala Črnomelj, 2021).

Pol leta (poletje—jesen) sva se osredotočili na tedensko vzorčenje vode. Vsako soboto ali nedeljo v tednu sva obiskali vseh šest izvirov, jih opazovali, merili gladino vode in odvzeli vzorce vode. Opazke in meritve iz terena sva si zapisali v priložnostno tabelo, za vzorce pa uredili dostavo v Ljubljano na Geološki zavod Slovenije, kjer je vsebnost nitratov v vodi izmerila najina zunanja mentorica. Tudi sami sva večkrat obiskali Geološki zavod Slovenije in izmerili vsebnost nitratov. Zbrane podatke vseh meritev in pridobljenih javno dostopnih podatkov (padavine, kemijsko stanje ...) sva nato uredili v grafe, iz katerih je bilo mogoče razbrati odgovore na najina vprašanja ter potrditi oz. zavreči najine hipoteze. Z ovrednotenjem hidroloških parametrov sva v ugotovitvah zapisali najino videnje podzemnih povezav med proučevanim izviri na območju habitata.

V svoji raziskovalni nalogi sva sledili naslednjim ciljem:

1. Ugotoviti morebitno povezavo med šestimi izviri med Dobličami in Otovcem.

V prvi raziskovalni nalogi (Bajuk in Vraničar, 2020) je bila ena najinih hipotez geološko obarvana. Najina opazovanja nakazujejo, da je zaradi reliefne omejenosti Dobliške kotlinice in posledično smeri stekanja podzemne vode v skladu s pestrostjo kamnin geologija terena lahko vzrok za omejenost habitata. To najino domnevo sva želeli potrditi še z dodatnimi raziskavami.

2. Ugotoviti stanje nitrata v posameznih izviri in na podlagi vrednosti sklepati na povezave med njimi.

S tedenskim spremljanjem koncentracije nitratov v štirih izviri sva se predhodno (Bajuk in Vraničar, 2020) ukvarjali tudi medve, natančneje pa se je s tem vprašanjem predhodno ukvarjal najin kolega mladi raziskovalec Vid (Kavčič, 2021). Zato sva želeli s spremljanjem vrednosti v letu 202 nadaljevati in dobljene rezultate uporabiti pri oceni odziva izvirov na padavine oz. druge dejavnike.

3. Ozavestiti prebivalce in pristojne v lokalni skupnosti o pomenu ustreznega zavarovanja habitata črne in bele človeške ribice.

Mladi raziskovalci že od samih začetkov veliko delamo na ozaveščanju javnosti. Že več let opozarjamo na nujnost izgradnje komunalnega sistema v zaledju izvirov ter potrebo po razširitvi zaščite vodovarstvenega območja. Slednja je namreč vezana le na Dobliče, medtem ko so ostali izviri izvzeti. Ker sva ugotovili, da opozarjati ni dovolj, sva se aktivno vključili v raziskovanje in sami prispevali k razširitvi znanja o tem območju.

1.4 Hipoteze

V preteklih celoletnih raziskavah mladih raziskovalcev z naslovoma *Pomagajmo preživeti črnemu močerilu* (Bajuk in Vraničar, 2020) in *Analiza vode izvirov nahajališč črne človeške ribice* (Kavčič, 2021) smo ugotovili, da se različni izviri različno odzivajo na padavine. Meritve v obdobju med oktobrom 2019 in oktobrom 2020 so pokazale različne koncentracije nitratov, najvišja koncentracija je bila v tem obdobju zaznana na izviru Otovski breg (s povprečno koncentracijo nitrata 14,5 mg/l), najmanjša pa v izviru Jamnice (2,3 mg/l). V obdobju med januarjem in decembrom 2019 smo merili tudi temperaturo vode v izviri Na trati, Jamnice in Obršec. Najvišja povprečna temperatura vode je bila zaznana v izviru Jamnice (12,4 °C), najnižja pa v izviru Na trati (11,0 °C). V obdobju med julijem in decembrom 2019 smo izvajali tudi meritve električne prevodnosti v izviri Na trati, Jamnice in Obršec. Najvišja povprečna električna prevodnost vode je bila izmerjena v izviru Obršec (419 µS/cm), najmanjša pa v izviru Jamnice (392 µS/cm). Dve leti nazaj sva iskali povezavo naštetih in več drugih parametrov (čas pojavljanja, temperatura vode in zraka, električna prevodnost vode, gladina vode na izviru, relativna vlaga, zračni pritisk, lunina mena, koncentracija nitrata v vodi) s pojavljanjem osebkov močerila v izviri. Tokrat jih (električno prevodnost vode, gladino vode, temperaturo vode in koncentracijo nitrata) želimo uporabiti kot kazalce komunikacije med izviri in posledično njihovih odzivov kot osnovo za določitev zaledij izvirov. Zato sva z namenom prepričati se, ali je razširjenost črnega močerila morda vezana na geološki dejavnik, postavili naslednje hipoteze:

1. Gladina vode v posameznih izviri se različno odzove na padavine.
2. Mesečna evapotranspiracija vpliva na spremembo povprečne mesečne koncentracije nitrata v vodi v vseh izviri.
3. Koncentracije nitrata v vodi se v vseh izviri povečajo ob večji količini dežja.
4. Večja količina padavin pade, nižja je temperatura vode.
5. Električna prevodnost naraste ob večji količini padavin in ko je višja gladina vode.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Človeška ribica ali močeril (*Proteus*)

Človeška ribica oziroma močeril je repata dvoživka in edini jamski vretenčar v Evropi. Spada v družino močerilarjev (*Proteidae*).

V Sloveniji živita beli močeril (*Proteus anguinus anguinus*) in črni močeril (*Proteus anguinus parkelj*). Z genetskimi raziskavami sorodstvenih odnosov med populacijami močerila je bilo identificiranih 6 samostojnih evolucijskih linij na območju Istre, Dalmacije in Hercegovine, Bosanske krajine, Like, JZ Slovenije in JV Slovenije (Hudoklin, 2011). Znano je, da je dolenski beli močeril tesneje soroden črnemu, kot sta si dolenski in notranjski beli močeril med seboj. Črni močeril naj bi bil populacija iz dolenske skupine, ki je zaostala v prilagajanju na jamsko okolje (Bulog, 2013).

Človeška ribica ima kačasto telo z od strani sploščenim repom, ki ga obroblja kožna plavut in je namenjen plavanju. Pri gibanju si pomaga z dvema paroma kratkih nog, ki sta daleč narazen. Na sprednjem paru so 3 prstki, na zadnjem pa 2. Zraste od 25 do 30 cm in je največja jamska žival na svetu. Samec in samica se po zunanosti le malo razlikujeta. Brez hrane lahko preživi več let. Diha z zunanjimi škrgami in s kožo (Bulog, 2013). Je plenilec, ki se prehranjuje z manjšimi vodnimi živalmi (postrance, kozice, oslički, jamski rakci, manjše ribice) in organizmi iz blata (polžki, bakterije, praživali, alge) (Aljančič, 1960–1961).

Spolno dozori med 14. in 16. letom ter doživi življenjsko dobo vsaj 70 let (v jamskih laboratorijih). Je neotenična žival, kar pomeni, da zaradi upočasnjene telesnega razvoja kot odrasla in spolno dozorela ohrani nekatere juvenilne znake ličinke (zunanje škrge, škržne reže, koža z značilnostmi ličinke) (Bulog, 2013).

Močeril je biološko prilagojen na podzemlje s sorazmerno majhno potrebo po hrani, upočasnjeno presnovo, počasnim osebnim razvojem, manjšim številom potomcev, razvitejšimi in občutljivejšimi elektroreceptornimi ampularnimi organi, notranjim ušesom in organi za zaznavanje zemeljskega magnetnega polja kot površinske dvoživke (Bulog, 2013).

Notranje uho močerila omogoča orientacijo v podzemnem vodnem naravnem prostoru. Zaznavanje zvočnih valovanj ob dvigovanju ravni podzemne vode verjetno omogoča pravočasni umik v globlje predele bivališča, da ga ne naplavi na površino, kjer je v nevarnosti pred plenilci (ribe, ptice) (Bulog, 2013).

V prostoru s stalno temo oči izgubijo svojo vlogo. Kot posledica prilagoditve na jamsko okolje (stalna tema) so oči močerila zakrnele. Mladiči se izvalijo z dobro razvitimi očmi, ki postopoma zakrniijo. Človeška ribica zazna svetlobo s pomočjo kože, ki vsebuje specifičen vidni pigment. Tudi svetlobne čutnice v zakrneli očesu še vedno vsebujejo na svetlobo občutljiva barvila, ki sodelujejo pri sprejemanju svetlobe (Bulog, 2013).

2.1.1 Bela človeška ribica (*Proteus anguinus anguinus*)

Zapise o beli človeški ribici kot o "zmajevem mladiču" zasledimo v Valvasorjevi *Slavi vojvodine Kranjske* iz leta 1689. Pozneje jo leta 1762 znanstveno opiše naravoslovec Joannes Antonius Scopoli, uradno pa jo leta 1768 opiše zoolog Joseph N. Laurenti (Aljančič, 1986).



Slika 2: Bela človeška ribica (*Proteus anguinus anguinus*).

Bela človeška ribica je podvrsta človeške ribice, ki je rahlo rožnate tudi rumenkaste barve. Oko odraslega osebkoma ima še vedno ohranjeno lečo, mrežnico in vidni živec, a so čutnice v mrežnici in leča zelo spremenjene in pokrnele (Bulog, 2013).

Lokacije, kjer je bila prisotnost bele človeške ribice v Beli krajini potrjena (primerek shranjen ali fotografiran oz. žival nedavno videla zanesljiva oseba) do leta 2017 so Mavserjeva jama v Pačkih steljnikih, Stobe, Otovski breg (po pričanju domačinov osebkov ni videti že več let, tudi mladi raziskovalci jih nismo opazili v času raziskovanja), Krupa, Izvir pod Moverno vasjo, Pumpa v Dobravicah, Šuline 2 in Zasuta jama pri Vranovičih. Prisotnost bele človeške ribice je bila z okoljsko DNK analizo dokazana v izviru Obrščice. Verjetne lokacije (glede na ustno izročilo domačinov in glede na lego ni posebnega dvoma) so še Talčki breg, Pački breg in Zdenc Krivoglavice (Hudoklin in Aljančič, 2017).

2.1.2 Črna človeška ribica (*Proteus anguinus parkelj*)

Črno človeško ribico so prvi opazili med letoma 1950 in 1960 okoliški otroci, ki jim nihče ni verjel (pričanje domačinov v anketi iz leta 2021). Za čas odkritja črne človeške ribice velja leto 1986, ko jo je ob znižani gladini Dobličice v Dobličah v okviru speleohidroloških raziskav, 18. 10. 1986, opazil delavec Geološkega zavoda Slovenije, Mirko Kordić. Leta 2004 so ob odkrivanju sifona na globini 15–20 metrov črnega močerila videli jamski potapljači Potapljaškega kluba Bela krajina. Uradno sta črno človeško ribico, po odkritju njenega najbolj znanega najdišča izvir na Jelševniku, kot samostojno podvrsto opisala Boris Sket in Jan W. Arntzen (Hudoklin in Aljančič, 2017).

Črna človeška ribica je podvrsta človeške ribice, ki ima temno pigmentirano kožo in boljše razvite oči tudi pri odraslih osebkih. Pigmentiranost osebkov se po izvirih razlikuje, prav tako je različen njihov odziv na dražljaje. Imajo večji premer oči in boljše razvito lečo ter čutnice v mrežnici kot beli močeril. Elektoreceptorji so nekoliko manj občutljivi kot pri nepigmentirani podvrsti, glava je krajša in bolj zaobljena. Ima daljši rep, krajše svetlejšje pigmentirane noge in več vretenc v hrbtenici (Bulog, 2013).



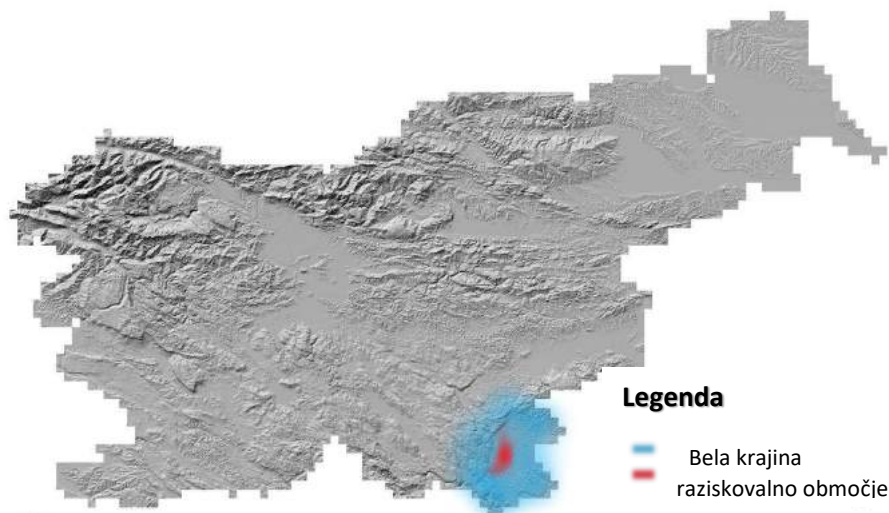
Slika 3: Črni močeril (*Proteus anguinus parkelj*). (Foto: Nina Jankovič, 12. 4. 2019)

Najpogostejše osebk pridejo na površje ponoči in se izogibajo močnejši svetlobi. Pojavljanje črnega močerila v njegovem naravnem habitatu ni neposredno odvisno od lunine mene, temperature vode in zraka, višine vode, zračnega pritiska in relativne vlažnosti (Bajuk in Vraničar, 2020).

Lokacije, kjer je bila prisotnost črne človeške ribice potrjena do leta 2017 (primerek shranjen ali fotografiran oziroma žival nedavno videla zanesljiva oseba), so izvir Dobličice, bruhalnik v Janževih lokah, izvir ob Srednjem potoku v Kanižarici, Planinec (Svibnik), izvir Jezero (Jelševniščica), bruhalniki Jamnice, bruhalniki Na Trati in izvir Obršec. Izvir ob Dobličici BK D3 (Dobličje), izvir ob Dobličici BK D4 in A2 (Jelševnik), Šprajcarjev Zdenec (Svibnik), izvir v Svibniku in Planinec pa so kraji, kjer je bila prisotnost črne človeške ribice dokazana z okoljsko DNK analizo (Hudoklin in Aljančič, 2017). Po podatkih iz leta 2017 je verjetno najdišče tudi nekoliko oddaljeno mesto od prvotnega najdišča, kjer naj bi jo opazili domačini ob gradnji mostu, vendar to mesto še ni bilo potrjeno kot najdišče (Hudoklin in Aljančič, 2017).

2.2 Geografska umestitev raziskovalnega območja

Bela krajina je najbolj JV (jugovzhodni) del Slovenije in leži med mejno reko Kolpo, slemenimi Gorjancev ter Kočevskim hribovjem s Kočevskim Rogom. Je robna, večinoma kraška pokrajina, dokaj zaprta na S (severni) in SV (severovzhodni) strani ter bolj odprta proti Panonski kotlini. Prav zato jo geografsko štejejo med prehodne mikroregije. Površina kraškega ravnika je precej razgibana, znaša nekaj manj kot 600 km². Povprečna nadmorska višina ravnika je 232,3 m, z naklonom 6,1 % (Plut, 1998).



Slika 4: Prikaz Bele krajine in raziskovalnega območja v Sloveniji. (Izdelala Špela Vraničar, kartografska podlaga: Geopedia)

Geografsko jo najlažje razdelimo na štiri enote (Klepec, 1970):

- Južno pogorje Gorjancev in Semiške gore (Smuka),
- **Osrednji kotlinski nizko-kraški del, kraški ravnik,**
- **Visokokraško obrobje Kočevskega roga in Poljanskega hribovja,**
- Poljansko dolino ob Kolpi.

Najino raziskovalno območje se nahaja na stiku Poljanske gore in Kočevskega Roga z zahodnim robom kraškega belokranjskega ravnika. Glede na debelino apnenčastih skladov na območju ga lahko ločimo na visoki (Visokokraško obrobje Kočevskega roga in Poljanskega hribovja) in nizki (Osrednji kotlinski nizko-kraški del, kraški ravnik) kras.

Zaledje, iz katerega se v izvire steka podzemna voda, je ruralno. Družbenogeografsko najino proučevano območje leži med vasema Dobliče in Otovec. Tu se mestoma nahaja nekaj manjših gručastih vasi. Pokrajina je kmetijska (raba tal: njive, travniki in pašniki), pretežno porasla z gozdovi. Na prisojni strani hribovja je nekaj razloženih počitniških vinogradniških naselij z vmesnimi stalno naseljenimi domovi. Ločijo jih zaplate gozda. Nad 500 m n. m. prevladuje gozd (Plut, 1998). Ker gre za habitat črnega in belega močerila, je območje postalo predmet najine raziskave.



Slika 6: Starost površja na območju Dobliške kotlinice.

naravnih pojavov. Zato za ta del raziskovanega območja v geološki umestitvi združujeva vse zapise, ki sva jih uspeli zbrati v sklopu štiriletnih raziskav v povezavi z geološko karto in najinim znanjem iz geografije.

2.3.1 Litološka umestitev

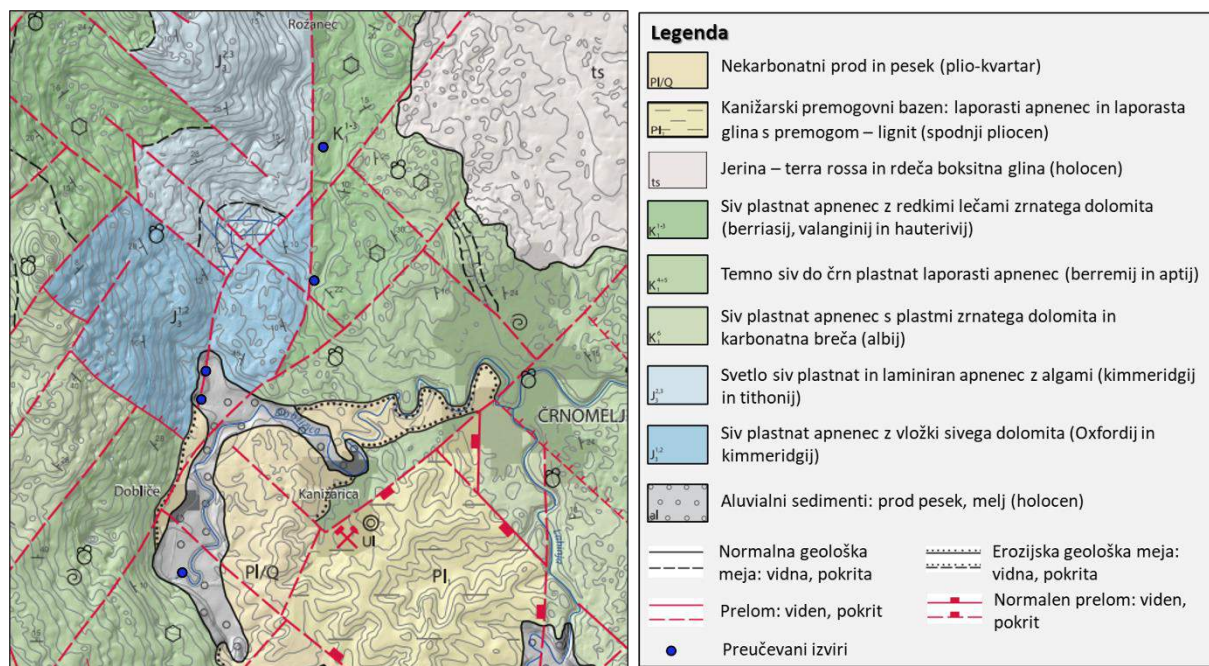
Za kraški tip reliefa vemo, da nastaja izključno ob prisotnosti vode in karbonatne podlage. Najznačilnejše karbonatne sedimentne kamnine so apnenci in dolomiti, ti zakrasujejo in so različnih starosti ter genez. Apnenci in dolomiti so nastali v plitvomorskem okolju s tropsko in zmerno toplo klimo. Sta sprijeti mezozojski sedimentni kamnini. Dolomit je zaradi vključevanja magnezijevih ionov v kristalno rešetko slabše fizično in bolj kemično odporen (Zupan Hajna, 2014). Za vodo je manj prepusten, na njem se lahko ustvarijo površinski tokovi vode (fluviokras). Apnenec vodo bolje prepušča, zato je površinsko vodo zaslediti le izjemoma. Je fizično bolj odporna kamnina, na kateri zasledimo bolj izrazite kraške pojave (Komac, 2005).

Zaledje Poljanske gore in Kočevskega roga leži na jugovzhodnem delu zunanjih Dinaridov Slovenije. Skoraj v celoti je zgrajeno iz mezozojskih karbonatnih kamnin, torej apnenca in dolomita. Že milijone let tu poteka proces zakrasevanja, ki je močnejši ob pretiranih conah. Visoko kraško zaledje Poljanske gore je brez večjih površinskih voda. Starost, teksturne razlike med lečasto razporejenimi vložki (različno čistega) apnenca ter med neenakomerno razporejenimi lečami apnenca in dolomita nimajo večje hidrološke vloge. Bloki teh ne predstavljajo samostojnih hidroloških enot. Vložki dolomita z manjšo neprepustnostjo podzemnega pretakanja ne prekinejo, ampak ga le preusmerjajo, lokalno zadržijo (Šinigoj, Lapanje in Poljak, 2012). Upoštevati moramo, da se v navedenih karbonatnih kamninah ob prelomih pojavljajo različno pretrte tektonsko poškodovane cone: zdrobljene, porušene ali razpokane (Vrbovšek, 2008; Čar, 2018).

Tudi na kraškem ravniku se izmenjujejo skladi različno čistega apnenca in dolomita tako horizontalno kot vertikalno. Pod površjem ravnika se nahaja podzemna voda (vedno z vodo zalit nivo), ki ima gladino plitvo pod površjem in jo lahko dosežemo v številnih vodokazih brezni in izviri (Ambrožič et al., 2013). Spremljali sva jo v koliševki na Otovcu in v jami Stobe. Ob močnem deževju podzemna voda hitro naraste, napolni tudi sicer suhe doline, se tudi površinsko odtaka proti Dobličici (Novak, 1996). Izviri velikokrat poplavijo ravnice. Razlog za še hitrejšo reakcijo v dvigu gladine podzemne vode je zajezenost krasa s Kanižarsko kadunjo. Otovško-Pački dol je od kanižarske kadunje bolj oddaljen, zato je tudi sistem pretakanja podzemne vode lahko bolj razvejan (Novak, 1996).

Kanižarska premogovna kadunja, ki leži vzhodno od najinega proučevanega območja, ima povsem drugačno litološko zgradbo. Zapolnjena je s 300 m debelimi skladi vododržnih pliocenskih sedimentov Panonskega bazena, to je z glinavcem, laporovcem, kremenovim peskom in plastmi rjavega premoga ter laporjem in glino v zgornjem delu (Šinigoj, Lapanje in Poljak, 2012). Na območju kadunje je bilo še v pliocenu jezero. Lastnosti kamnin se v kadunji močno spremenijo v nepropustne, enako pogoji pretakanja vode. Zdrobljene kamnine v prelomni coni, v katere je vložena kanižarska kadunja, so manj prepustne, silijo kraške vode iz višjega zaledja na površje predvsem v Dobliški kotlinici (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990). Reka Dobličica sledi zahodnemu robu pliocenske Kanižarske premogovne kadunje. Kadunja deluje kot zajezevalec (zadrževalnik kraške vode) kraškemu terenu (zajezen kras), zato v številnih izviri, brezni, bruhalnikih ob dežju voda hitro naraste. Med višjim zaledjem in kadunjo se zajezena kraška podzemna voda stalno zadržuje, del pa se je podzemeljsko in

površinsko pretaka. Nižja je na robovih, medtem ko je osrednji del (ob industrijski coni) nekoliko dvignjen zaradi zastajanja terena pri pogrezanju – inverznost reliefa.



Slika 7: Osnovna geološka karta SFRJ (list Črnomelj) na raziskovalnem območju (grafični prikaz izdelala Špela Vraničar).

2.3.2 Tektonska umestitev

Severovzhodni del Bele krajine pripada prehodni coni med notranjimi in zunanji dinaridi, medtem ko večji del pripada zunanji dinaridom, natančneje trnovskemu in hrušškemu pokrovu (Placer, 2008). Bela krajina je geološko omejena iz severa z Orehovskim prelomom, iz zahoda jo omejuje Dobrepoljski prelom (Atanackov et al., 2021). Aktivni prelomi predstavljajo oviro podzemnemu pretakanju vode. Prelom ni ena »črta«, pač pa linija več prelomov, lahko več 100 m široka cona. Kamnine tod so mehansko razdrobljene, razpoke so polne drobnih peščenih in glinastih delcev, ki zmanjšujejo prepustnost in lahko zaustavijo podzemno pretakanje vode (Čar, 2018). Smer prelomov in njihova ne/aktivnost pogojuje smeri pretakanja podzemne in površinske vode, zato je skupaj s kamninsko zgradbo smiselno predstaviti naše dosedanje geološko znanje o geoloških značilnostih proučevanega območja.

Poljanska gora (862 m) in rob Kočevskega roga z Mirno Goro (1047 m) sta dinarsko usmerjen nagubani hrbet (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990). Ker se prav tu dinarska slemenitev stika s srednjemadžarsko smerjo Smuka in Gorjancev, obe smeri tektonike pogojujeta izoblikovanost površja in sistem prelomov, ti pa smer pretakanja vode iz hribovitega zaledja proti ravniku. V strukturno tektonskem smislu je teren Poljanske gore zgrajen predvsem iz narivov in gub ter prelomov dinarske smeri SZ–JV (longitudinalni prelomi), ki se raztezajo več 10 km. Del Kočevskega roga (Mirna gora) in Gorjanci s Smukom že kažejo nadaljevanje Srednjemadžarske balatonske cone z narivi, gubami in prelomi smeri SV–JZ s strukturami raztezanja. Posledica dvojne tektonike so prečno na dinarske potekajoči manjši zmični prelomi, SV–JZ smeri (tranzverzalni – prečno dinarskih smeri) in redkejši prelomi v smeri S–J (Šinigoj, Lapanje in Poljak, 2012).

Obrobje Bele krajine predstavlja visoki kras, medtem ko je nižji del kotline nizki kraški ravnik (130—220 m). V prehodu iz visokega v nizki kras se nahajata nekoliko bolj spuščeni območji Dobliške kotlinice in Otovško-Pačkega dola.

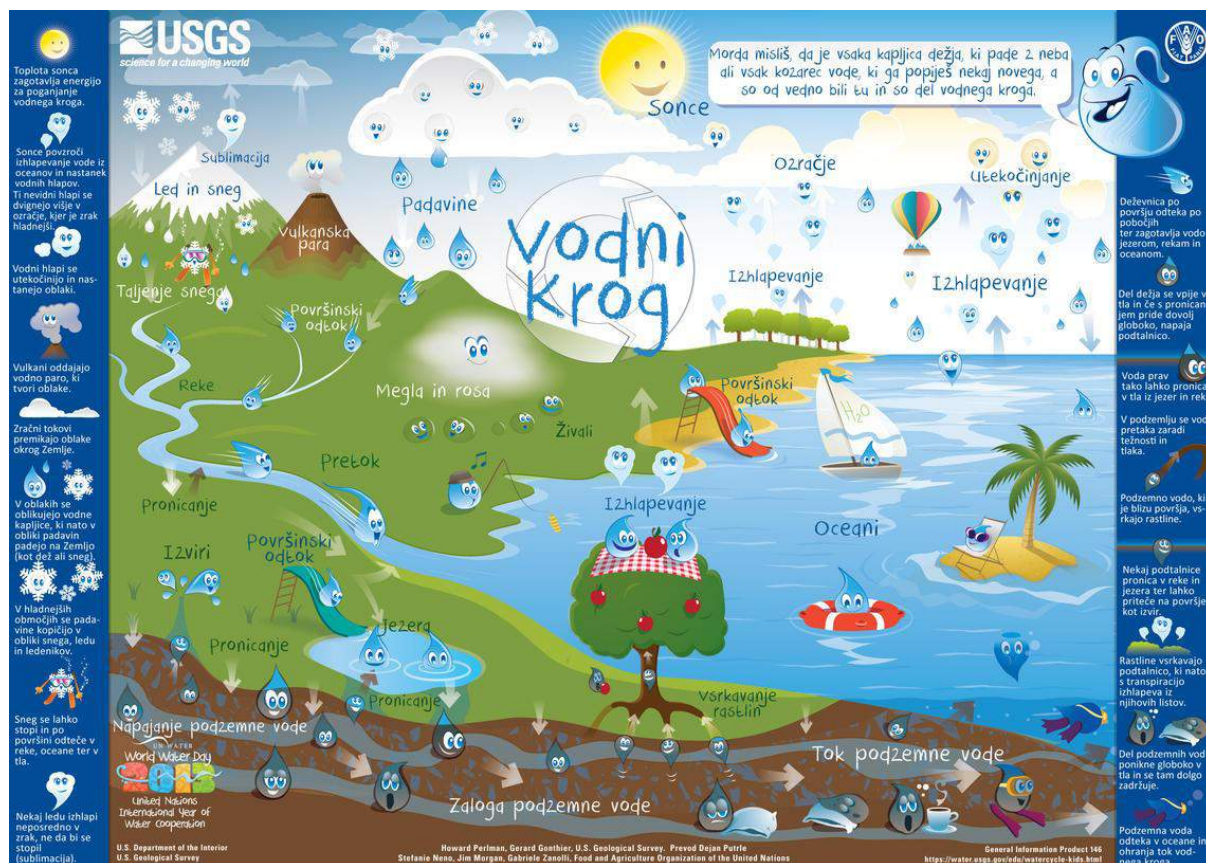
Omenjene smeri prelomov SZ–JV in SV–JZ so značilne tudi za kraški ravnik. Ker območje Bele krajine v zadnjih desetletjih ni bilo predmet geoloških raziskav je detajlno poznavanje geološke zgradbe ter s tem tudi strukture območja slabo. V prihodnosti pomemben del k razumevanju omejenosti habitata močerila ter smeri pretakanja podzemne vode predstavljajo ravno strukturne raziskave, ki bi lahko s študijo aktivnosti potencialno dokazale najine domneve o geološkem vzroku omejenosti habitata črnega močerila, saj je z mehansko pretrtostjo terena pogojena smer pretakanja podzemnih voda na ravniku (Čar, 2018).

Belokranjski vodonosnik zbira vodo iz Poljanske gore, Mirne gore in Gorjancev in se pretaka v smeri prelomnih con (dinarske in srednjemadžarske) proti kraškemu ravniku, kjer je na prehodnem delu v smeri S–J razporejenih več kraških izvirov in potokov (Pački in Talčji potok, Jelševnik, Obršec, Dobliče, Podturnščica, Obrščica, Nerajčica, Lahinja ...) (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990; Novak, 1996). Od naštetih se vsi stekajo v reki Dobličico in Lahinjo, njuni porečji sta ločeni z blokom kamnin in prelomno cono v Tanči Gori (blok balatonske smeri). Ponikla voda se v Jezero in bruhalnike v Jelševniku steka predvsem iz smeri SZ, iz smeri Ponikev (dokazano s sledenjem) in Sredgore, v Obršec pa iz manjšega območja iz zahodnega pobočja. Prav tako Pački breg in Otovski breg zbirata vodo iz smeri Mirne gore in Ponikev. To je pogojeno s pretrtostjo kamnin ob prelomih in tektonsko zgradbo terena (Novak, 1996).

2.3.3 Hidrogeološke osnove

2.3.3.1 Vodni krog

Vodni krog so procesi kroženja vode v naravi (Projekt GEP, 2014). Voda je na Zemlji v stalnem gibanju in hkrati spreminja fizikalna stanja (od tekočega in plinastega do trdnega in obratno). Na Zemlji ločimo mali in veliki vodni krog (Bat in Frantar, 2008). Hidrosfera je območje, kjer se voda izmenjuje med atmosfero, površinskimi vodami, morji in kamninami (Projekt GEP, 2014), kar predstavlja glede na količine glavnino vodnega kroga, ki ga imenujemo tudi mali vodni tok. Veliki vodni krog poteka tudi na kopnem in je bolj razvejan ter raznovrsten. Oba vodna kroga se prepletata (Bat in Frantar, 2008). Razlog za izmenjavo vode v hidrosferi je sonce, ki s svojo sevalno energijo omogoča neprestan dotok energije, ki povzroča izhlapevanje vode iz oceanov in v manjši meri iz površinskih kontinentalnih vod (ledenikov, zasneženih površin, ribnikov, jezer) ter z evapotranspiracijo s površine kamnin. Izhlapela voda se pri ohlaiditvi z dviganjem zračnih mas kondenzira in spremeni v meglo, roso ali pa v oblake. Ob večji ohlaiditvi pa se spremeni v točo, sneg in led. S padavinami v obliki dežja, toče in snega se voda zopet vrne na tla. Del je odteče kot površinski odtok, del pa vstopi v tla, kjer lahko odteče s pripovršinskim odtokom ali pa se infiltrira v globlje plasti, za kar morejo biti izpolnjeni določeni hidrogeološki pogoji - kamnina mora biti porozna (vsebovati mora pore oziroma praznine, ki se lahko napolnijo z vodo) (Projekt GEP, 2014).



Slika 8: Vodni krog (Vir: <https://www.usgs.gov/media/images/vodni-krog-za-otroke-water-cycle-kids-slovenian>).

VODNA BILANCA

Vodna bilanca ocenjuje količine vode na določenem območju v določenem časovnem obdobju (Bat in Frantar, 2008). Upoštevati je potrebno vse dotoke, odtok in spremembe zalog. Osnovna enačba vodne bilance temelji na kroženju vode med ozračjem in Zemljinim površjem (Bat in Frantar, 2008):

$$Padavine (P) [mm] = Odtok (Q) + Izhlepevanje (I) + Sprememba zalog (\Delta S)$$

Enačba 1

Padavine (P) so atmosferska voda, ki s kondenzacijo in sublimacijo izhaja iz zraka in zaradi težnosti pada proti tlom oz. pade na tla. Odtok (Q) zajema različne oblike pretakanja vode: ploskovni površinski odtok, infiltracija in pronicanje vode v preperlino in tokov podzemne vode, pretok rek. Izhlepevanje (I) je prehajanje vode z odprtih vodnih površin (evaporacija) in preko rastlin (transpiracija) v paro. Skupaj proces imenujemo evapotranspiracija (Bat in Frantar, 2008).

Enačbo 1 lahko zapišemo tudi drugače:

$$P + D_{pov.} + D_{podz.} - (ET + O_{pov.} + O_{podz.}) = Z [mm]$$

Enačba 2

Kjer so P padavine, $D_{pov.}$ dotok površinskih voda v območje, $O_{pov.}$ odtok površinskih voda v območje, $D_{podz.}$ dotok podzemne vode, $O_{podz.}$ odtok podzemne vode, ET evapotranspiracija in Z voda, zadržana v snežni oddeji, na biosferi, na površini, v obliki talne vlage in v podzemni vodi (Osnove hidrologije, 2014).

Enačba vodne bilance je podlaga za hidrološke analize, npr. za določanje učinkovitih padavin in bogatenja podzemne vode. Pri izračunu vodne bilance se lahko za potrebe analiz splošno enačbo prilagaja. Za podzemne vode uporabimo *Enačbo 3*, kjer je f del padavin, ki bogatijo podzemno vodo, $O_{podz.}$ podzemni odtok in $Z_{podt.}$ sprememba v količini podzemnih voda (Osnove hidrologije, 2014).

$$f - O_{podz.} = Z_{podt.} [mm]$$

Enačba 3

EVAPOTRANSPIRACIJA

“Evapotranspiracija (ET) je prehajanje vode v obliki vodne pare z zemeljske površine in skozi listne reže rastlin v ozračje. Referenčna evapotranspiracija (ET_o) je količina vode, ki je izhlapela iz referenčne rastline in tal. Za izračun ET_o je uporabljena Penman-Monteithova metoda, ki upošteva naslednje meteorološke spremenljivke: temperaturo zraka, relativno zračno vlago, hitrost vetra in sončno sevanje” (ARSO, 2022). Potencialna evapotranspiracija (ET_p) je evapotranspiracija v primeru zadostne zaloge vode v tleh za izbrano rastlino. Referenčna evapotranspiracija (ET_o) je evapotranspiracija v primeru zadostne zaloge vode v tleh za nizko pokošeno travo. Dejanska evapotranspiracija (ET) pa je evapotranspiracija v primeru omejene zaloge vode v tleh (Santoso, 2019).

Povprečna mesečna vrednost evapotranspiracije je še en parameter, ki vpliva na količinsko stanje podzemne vode oziroma vodne bilance. Večja kot je evapotranspiracija, manj padavin preide skozi tla do podzemne vode in posledično do izvirov. Vpliv evapotranspiracije je zaradi višjih temperatur poleti višji.

2.3.3.2 *Osnove hidrogeologije*

Hidrogeologija je veda, ki se ukvarja s pojavi vode v sedimentih ali kamninah (Projekt GEP, 2014).

Podzemna voda se nahaja v vodonosnikih, tj. plasteh, ki omogočajo gibanje vode v porah oz. razpokah. Glede na obliko por, po katerih se pretaka podzemna voda, ločimo:

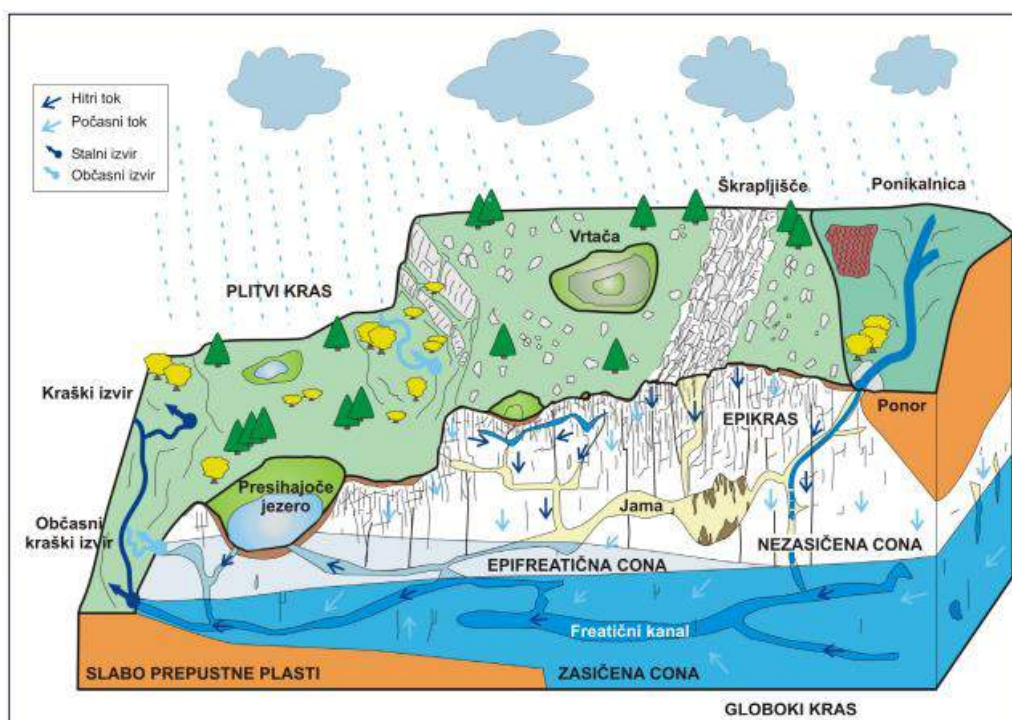
- a) **medzrnske** (voda med porami zrn) → medzrnski vodonosnik;
- b) **razpoklinske** (voda med razpokami kamnin) → razpoklinski vodonosnik;
- c) **kraške** (voda po kraških kanalih);
- d) **kraško-razpoklinske** (voda med razpokami in po kanalih) (Projekt GEP, 2014).

Glede na njihov hidrodinamski značaj ločimo vodonosnike na:

- a) **odprti vodonosnik**, ki ima prosto gladino podzemne vode in za katerega je značilno, da nad podzemno vodo ni slabše prepustnih plasti sedimentov ali kamnin;
- b) **zaprti (arteški) vodonosnik**, ki ima zgornjo in spodnjo slabo prepustno plast sedimentov ali kamnin, zato je voda pod tlakom. Če bi vanj naredili vrtino, bi voda zaradi tlaka narasla;
- c) **polzaprti vodonosnik**, ki je vodonosnik, ki ima nad in/ali pod sabo sorazmerno tanek manj prepustni sloj sedimentov oz. kamnin, skozi katerega lahko teče voda v vodonosnik ali iz njega (Projekt GEP, 2014).

2.3.3.3 Voda v krasu

Kraški in razpoklinski vodonosniki so obsežna območja karbonatnih kamnin apnenca in dolomita, ki so bila izpostavljena koroziji in so se v njih oblikovali površinski in podzemni pojavi, ki jih prikazuje *Slika 9*. Na območju kraško-razpoklinskih vodonosnikov je prisotna kraško-razpoklinska poroznost, kar pomeni, da je hitrost toka podzemne vode v primeru teh vodonosnikov večja kot v primeru medzrnske poroznosti. Zaradi običajno plitvih preperinskih plasti in zato hitrega odtoka vode, večinoma v navpični smeri, skozi vrhnje plasti kamnin do podzemne vode so kraški in kraško-razpoklinski vodonosniki zelo ranljivi. Na stiku s krasom lahko v podzemlje poniknejo v podzemlje tudi površinski vodotoki z nekraškega obrobja, kar lahko v primeru njihove onesnaženosti pomeni hiter in koncentriran vnos onesnaževal v kraške kanale in posledično v kraške izvire (Projekt GEP, 2014). Preučevanje pretakanja padavin in prenosa snovi s sledenjem okoljskih parametrov in s sledilnimi poskusi z umetnimi sledili so pokazali sorazmerno hitro pretakanje in hiter prenos snovi v času izdatnejših in pogostejših padavin jeseni (od 0,7 do 4,3 m/h) ter počasnejši in dolgotrajnejši prenos snovi v sušnih razmerah. Zelo hitro pretakanje po najprepustnejšem prevodniku (80 m/h) in zelo počasno po spletu slabo prepustnih prevodnikov (0,05 m/h) pomeni daljše zadrževanje vode in zakasnelo spiranje v smeri izvirov (Kogovšek, 2007). V zgornjem delu vodonosnika (nezasičeni oz. vadozni coni) so pore oz. kanali večji del časa zapolnjeni z zrakom. Poznamo še poplavno (epifreatično) cono, kjer se voda zadržuje le ob obilnih padavinah. Določa jo gladina podzemne vode, ki je mnogokrat nezvezna in je njeno višino težko določiti zaradi nenehnega spreminjanja ter je močno odvisna od trenutnih hidroloških stanj (Petrič, 2014). Nato sledi še zasičena oz. freatična cona, kjer pa so pore stalno zapolnjene z vodo in poteka pretakanje vode večinoma v vodoravni (horizontalni) smeri proti kraškim izvirov, ki predstavljajo naravni iztok podzemne vode na površje. Mejo z zasičeno cono predstavlja gladina podzemne vode (Projekt GEP, 2014). Za kraške kanale so značilne zelo velike hitrosti toka (do več 100 m/h) in različne smeri odtekanja vode, ki segajo tudi do več 10 km oddaljenih predelov. V slabše prepustnih delih je tok počasnejši in voda se lahko dalj časa zadržuje v podzemlju (Projekt GEP, 2014).



Slika 9: Kraški vodonosnik (Vir: Projekt GEP, 2014).

Iz hribovitega visokega kraškega zaledja se podzemna voda steka proti proučevanim izvirov. Ker gre za podzemno pretakanje z razvejanim sistemom sifonov in z možno bifurkacijo, vodi težko sledimo. Kraška pokrajina je polna suhih dolin, globokih vrtač, enostavnih, tudi stopnjastih brezen in s korozijo razširjenih razpok. Zasnova kraških pojavov kaže pogostejšo lokacijo na bolj pretrtih conah, kar je lepo videti iz primerjave geoloških in 3D LiDAR kart ter z videnim na terenu.

Samoočiščevalni procesi kraškega območja so manj učinkoviti zaradi hitrega ponikanja, majhne filtracije in visoke hitrosti toka. Del onesnaženja lahko v nekaj urah v veliki koncentraciji pride v nezasičeno cono in v nekaj dneh v izvir; del onesnaženja pa se zadrži v slabše prepustnih conah in daljše časovno obdobje (več dni, tednov, mesecev ali let) zastaja v podzemlju (Projekt GEP, 2014).

Na pretakanje vode poleg zgradbe vodonosnika vplivajo tudi razporeditev, količina in intenziteta padavin, ki se odražajo s spreminjanjem pretokov kraških izvirov. Na padavine sta neposredno vezana tudi prenos onesnaženja in s tem kakovost izvirov, kar dokazujejo spremembe kemijskih in fizikalnih lastnosti pretokov. V daljših sušnih obdobjih je pojav onesnaženja v kraških izviri minimalen ali celo izostane, saj se takrat občasne padavine shranjujejo pretežno v nezasičeni coni in prihaja le do minimalnih povečanj pretoka (Projekt GEP, 2014). V takih razmerah je torej kakovost vode sorazmerno dobra, če ne pride do izrednih onesnaženj. Izdatnejše padavine pa pospešijo pretakanje vode in povečajo pretoke izvirov, tako lahko pride tudi do intenzivnejšega prenosa onesnaženja. To se zgodi predvsem jeseni v času prvih povečanj pretokov po poletni suši, ko se iz nezasičene cone krasi in strug ponikalnic spira onesnaženje, nabrano v sušnem obdobju. Največji prenos onesnaženja se odrazi v povečanih koncentracijah merjenih parametrov in je navadno hiter ter kratkotrajen, saj nadaljnje padavine povzročijo izrazito povečanje pretokov in s tem razredčenje (posledično se izboljša kakovost vode v izviri). V primeru daljših obdobjih (2,5–6 mesecev) z minimalnimi padavinami (do 390 mm padavin oz. 180 mm efektivno infiltriranih padavin) (Habič in Kogovšek, 1981) pa pride do onesnaženja kraških izvirov po vsakih nekoliko izdatnejših padavinah, saj zaradi suše učinki večjega razredčenja niso tako izraziti (Projekt GEP, 2014).

2.3.3.4 Geokemične in geofizikalne značilnosti podzemnih vod

Za kraške ponikalnice je značilna spremenljivost fizikalnih in kemičnih lastnosti, kot so pretok, temperatura, motnost in koncentracija v njih raztopljenih snovi (Gabrovšek in Turk, 2011). Začetek sprememb temperature vode in električne prevodnosti nakazuje začetek dotoka novo infiltrirane padavinske vode (Projekt GEP, 2014). Na podlagi geokemičnih metod lahko določimo izvor vode, njeno interakcijo s kamnino, zadrževalni čas in razvoj vode v vodonosniku (Verbovšek, 2008).

Na kemično sestavo podzemne vode vplivajo način napajanja, litologija, podnebni pogoji, geometrija in povezanost prevodnih struktur, pretok, zadrževalni čas, temperatura, biološki procesi, vplivi kmetijske dejavnosti in antropogeni vplivi (Verbovšek, 2008).

Fizikalni parametri so višina vode oz. pretok, temperatura vode in specifična električna prevodnost vode (SEP). Med kemične parametre pa štejemo pH, alkalnost in koncentracije ionov (Monitoring fizikalnih in kemičnih parametrov, 2022).

Temperatura vode

Temperatura vode lahko služi kot naravno sledilo toka podzemne vode. Podzemlje je stabilno okolje, temperatura podzemne vode pa je odvisna od temperature sten sifonov – v osnovi se temperatura spreminja zaradi konvekcijskega prenosa toplote med vodo in steno rova s prevajanjem (Gabrovšek in Turk, 2011).

Dnevno nihanje temperature v jamskih tokovih dokazuje, da voda nekje koncentrirano doteka v kras, saj lahko ta nihanja segajo tudi več kilometrov v masiv. Temperaturni signal potuje vzdolž poti skupaj z vodnim tokom, zato lahko iz časovne razlike med dnevnim vrhom ali dnom temperaturne krivulje na dveh različnih točkah vzdolž toka sklepamo o času potovanja vode med dvema točkama (Gabrovšek in Turk, 2011).

Električna prevodnost vode

Električna prevodnost je lastnost vode, da prevaja električni tok. Odvisna je od prisotnosti ionov v vodi (njihove koncentracije, gibljivosti, naboja in temperature ob merjenju). Na električno prevodnost vode vplivajo koncentracije kalcijevih, magnezijevih, natrijevih, kalijevih, hidrogenkarbonatnih, sulfatnih, nitratnih in kloridnih ionov. Nenadna sprememba električne prevodnosti vode lahko kaže na morebitno onesnaženost vode ali mešanja vode iz drugega vodnega vira (O posameznih parametrih na kratko, 2014, str. 14).

2.4 Razdelitev raziskovalnega območja

Bela krajina je reliefno in hidrografske zelo pestra. Zrcali se v številnih kraških pojavih in izviri, vodnih kraških jamah in v stoječih površinskih vodah (Plut, 2013).

Za raziskovanje šestih izvirov na območju habitata močerila sva se odločili, ker sva želeli ugotoviti smer toka podzemne vode in tudi povezljivost izvirov med sabo s spremljanjem različnih parametrov (temperatura, gladina, električna prevodnost, koncentracija nitratov) ter tudi odziv izvirov na padavine. Glede na območje habitata in dosedanje raziskave so le ti najbolj reprezentativni. Podatke za opise posameznih lokacij oz. izvirov sva črpali iz svojega predhodnega znanja in opažanj na terenu ter iz literature Petra Habiča, Janje Kogovšek, Mihaela Briclja in Martina Zupana z naslovom *Dobličica in njeno širše zaledje*.

Raziskovalno območje sva na podlagi predhodnega raziskovalnega dela in zaradi lažje orientacije razdelili na ožje in širše območje. To sva naredili na osnovi naslednjih kriterijev:

- opredelitve raziskovalnega območja v predhodni raziskovalni nalogi kot ožje in širše (Bajuk in Vraničar, 2020),
- dokazane prisotnosti belega in črnega močerila v izviri,
- geografskih značilnostih Dobliške kotlinice in Otovško-Paškega dola.

2.4.1 Širše območje

Kot širše proučevano območje opredeljujeva vzhodni rob Poljanske gore (naselja Doblička gora, Dobliče, Jelševnik, Mavrlen in južni del Stražnjega vrha) ter vzhodni rob Kočevskega Roga (naselja severni del Stražnjega vrha, Tušev Dol, Rožič Vrh, Naklo, Otovec, Sela pri Otovcu, Rodine). Gre za

planotasto hribovje, ki pokrajini na videz daje bolj hribovit značaj, kar je posledica mestoma bolj pretrtih con, ki pogojujejo razlike v nadmorski višini. V bolj pretrtih conah voda hitreje erodira in raztaplja kamnine ter tako hitreje znižuje površje (Šinigoj, Lapanje in Poljak 2012).

Nekaj omejenih hidrogeoloških raziskav je bilo na tem območju narejenih že v preteklosti, zato lahko vsaj deloma predvidevamo, kako je zaledje povezano s proučevanimi izviri, ne moremo pa sklepati na povezave med samimi kraškimi izviri v ožjem območju. Poznavanje značilnosti zaledja in širšega območja najinega preučevanja je ključno za razumevanje fizikalnih in kemijskih ter posledično ekoloških karakteristik vode in za trajnostno ravnanje v prihodnosti. Pokrajina je kamnita, prepredena z izrazitimi škrapljami. Prst je plitva, neenakomerno debela, slabše teksture in strukture, pokarbonatna, rdeče-rjava rendzina oz. ilovica, kot jo imenujemo Belokranjci. Glede na slabšo kvaliteto in naklon med 10° in 20°, relief najbolj ustreza gozdu (v nižjih legah uspeva listnati toploljubni gozd - predvsem bukev, hrast in kostanj, nad 500 metri pa tudi mešani gozd - smreka) (Plut, 2013). Kot je ugotavljala že Fabjan (2000), je tudi v zadnjih desetletjih mogoče opaziti upadanje vinogradniške dejavnosti, hkrati pa ob izboljšanju prometne in komunalne infrastrukture večjo prisotnost stalne naselitve na razloženih naseljih zaledja. Ker pa naselja nimajo urejene kanalizacije, predstavljajo morebitne točkovne vire onesnaževanja.

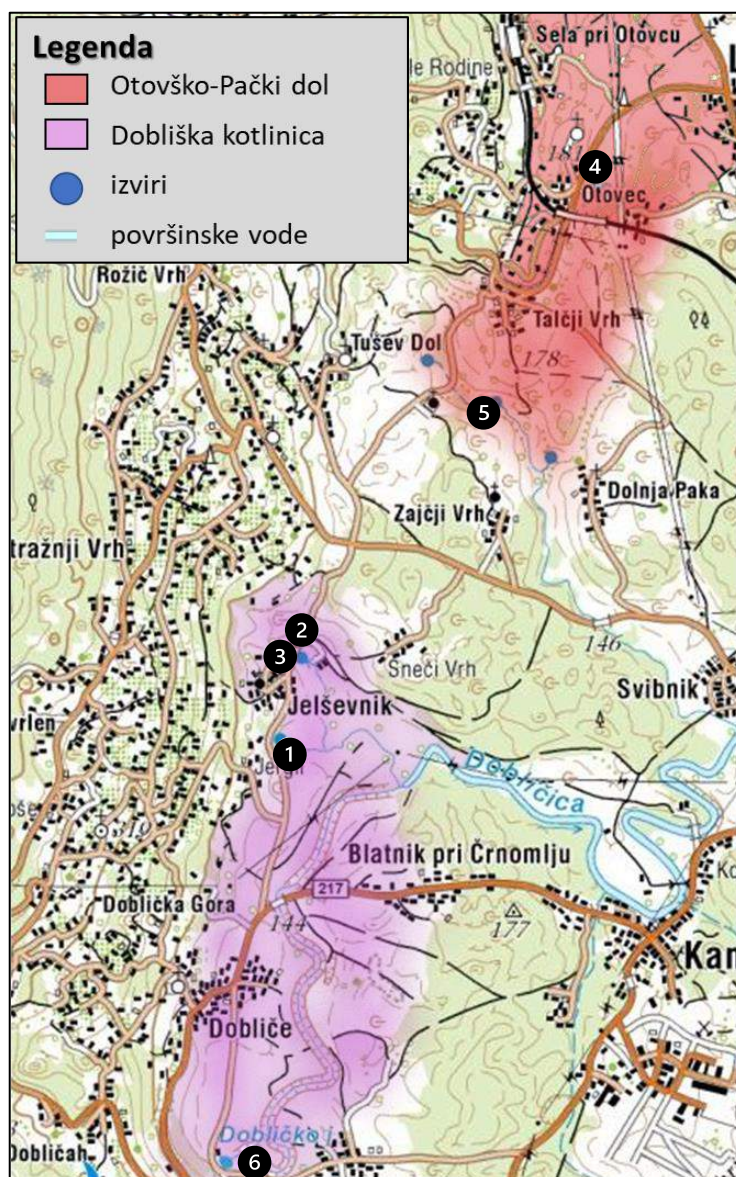
20

2.4.2 Ožje območje

Ožje raziskovalno območje se nahaja na stiku visokega in nizkega krasa. To je območje Otovško-Pačkega dola in Dobliške kotlinice, kjer se Poljanska gora in Kočevski Rog stikata s kraškim ravnikom. Zajema šest izvirov (1 - Obršec, 2 – Šotor, 3 – Jamnice, 4 – Otovski breg, 5 – Pački breg in 6 – Dobličica) na stiku visokega krasa z Belokranjskim ravnikom, kjer se pojavljata črni in beli močeril. Glede na nadmorsko višino in izoblikovanost reliefa se kraške podzemne vode iz hribovitega zaledja (širšega območja) preko prehodnega stopnjastega območja pretakajo proti ravniku do najnižje točke pokrajine – reke Dobličice. Del teh podzemnih voda bolj ali manj izdatno izvira na površje na prehodu v kraški ravnik, nato pa se v ozki strugi površinsko pretaka proti reki. V nekaj primerih površinska voda mestoma ponovno ponikne in se podzemno steka v Dobličico.

V prvi raziskovalni nalogi (Bajuk in Vraničar, 2020), ko sva bili bolj osredotočeni na pojavljanje črnega močerila, sva kot ožje območje obravnavali predvsem Dobliško kotlinico. V najini drugi nalogi, pa sva to območje razširili še na sosednji Otovško-Pački dol, kjer se po ustnem izročilu krajanov in stroke (Milena Blažič iz dne, 6. 1. 2020 in Andrej Hudoklin iz dne, 17. 6. 2020) v vse manjšem številu pojavlja beli močeril in kjer se glede na ugotovitve iz raziskovalne naloge Vida Kavčiča (2021) kvaliteta vode slabša. Zato sva na podlagi pojavljanja belega oz. črnega močerila in pa geomorfoloških značilnosti ožje območje razdelili na dva dela, saj se med seboj precej razlikujeta.

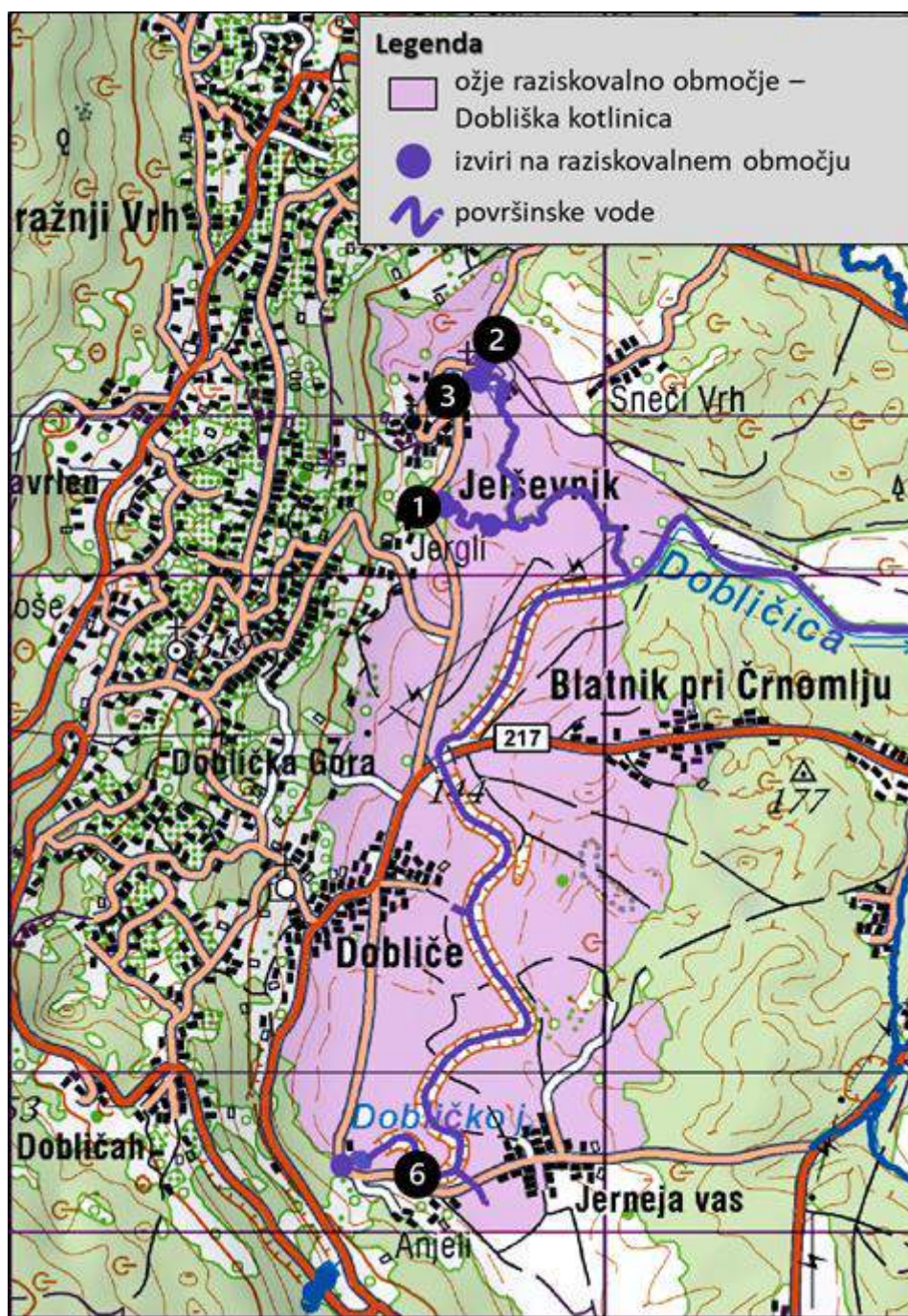
Ožje območje se razdeli na dva dela, in sicer na Dobliško kotlinico in Otovško-Pački dol. Ožje raziskovalno območje je razdeljeno glede na geografske razlike in pojavnost bele oz. črne podvrste močerila.



Slika 11: Ožji območji raziskovanja - Dobliška kotlinica in Otovško-Pački dol (Izdelala Špela Vraničar, kartografska podlaga: Geopedija).

2.4.2.1 DOBLIŠKA KOTLINICA – območje pojavljanja črnega močerila (izviri 1-Obršec, 2-Na trati, 3-Jamnice, 6-Dobliče.)

Območje Jelševnik – Dobliče, s površino 3 km² je najnižji del terena, kjer visoki kras prihaja v stik z nizkim krasom roba Belokranjske kotline. Gre torej za manjšo kotlinico, dobrih 20 m nižano od povprečne višine Belokranjskega ravnika. Iz treh strani je obdan z relativno višjim reliefom: hribovito Poljansko goro, gričevnato Tančo Goro in Stražnjim vrhom. Iz zahodne strani je omejen z le nekoliko višjo nekraško Kanižarsko kadunjo. Po zahodnem robu slednje teče reka Dobličica, ki zbere vso vodo kotlinice. Globel je prekrita z debelejšo plastjo rdeče-rjave ilovice, ki daje temu delu manj kraški videz (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990).



Slika 12: Ožje raziskovalno območje Dobliška kotlina (Izdelala Nina Jankovič).

Dno kotlinice le na videz ni kraško. Reliefna oblikovanost kaže na kombinacijo kraškega in rečnega reliefa. Najnižje ležeči del je poln bruhalnikov, ki ob močnih padavinah bruhajo na površje podzemno vodo in delno poplavijo območje ob reki Dobličici. Teren je razbrazdan in slabo primeren za kmetijsko obdelavo. Prav zato ga poraščajo predvsem travniki in varovalni pas gozda ob reki in potokih. Na robu kotlinice pod manjšimi skalnimi zatrepi je nekaj kraških izvirov. V suhem obdobju na površju ostane voda le v izdatnejših potokih, večina jih namreč presahne. Ta, le deset metrov višji teren, je stalno poseljen; naselja povezuje lokalna prometnica in lokalno vodovodno omrežje, nimajo pa urejene kanalizacije.

Predhodne raziskave na območju Dobliške kotlinice

Leta 1985 je bil na željo SKIS Črnomelj izdelan predlog varstvenih pasov in ukrepov za zavarovanje izvira pitne vode Dobličice. Izvir je že od 1958 zajet za oskrbo Črnomlja, ni bila pa ocenjena njegova izdatnost. Raziskovanje izvira reke in njenega kraškega zaledja je potekalo v letih od 1986 do 1990 v okviru študije za idealno rešitev regionalne preskrbe Bele krajine z vodo do leta 2050. Raziskave so izvajali Geološki zavod Slovenije, Vodnogospodarski inštitut in Inštitut za raziskovanje krasi (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990; Novak, 1996).

V prvi fazi projekta je bilo izvedeno poskusno črpanje Dobličice. V suhem obdobju poleti so postavili sistem odvodnjavanja. Vodo so iz izvira črpali in jo speljali po umetni strugi (leseno korito) naprej v reko tako, da se ne bi stekala nazaj v izvirno jezero, zgrajen je bil tudi jez. Sočasno so spremljali izvire med Nerajčico in Otovcem (delovanje piezometričnega nivoja), da bi ugotovili morebitno povezavo z izvirom Dobličice. Poskus je bil izveden oktobra. Uspeli so znižati gladino za 2,13 m, kar je bilo dovolj za oceno izdatnosti izvira. Ugotovili so, da se sosednji izviri na znižanje gladine vode v jezeru niso odzvali. To še ne pomeni, da vode globlje v zaledju niso povezane, pač pa da so izvirni rovi ločeni s posameznimi kamninskimi bloki (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990). Ker je izvir Dobličice najnižji, je logično sklepati, da se v globinah voda iz skupne kraške podzemne vode steka k Dobličam. Zato je tudi Dobličica bolj vodnata.

Ugotovili so tudi, da je možno delno izkoristiti tudi stalne zaloge Dobličice pri znižani gladini izvira. Skupno je bilo izčrpanih 99.648 m³. V 100 urah po prenehanjem zniževanja vode je gladino nadomestil naravni dotok. Črpalni poskus je pokazal, da so v zaledju Dobličice precejšnje zaloge vode. Ta količina bi zadoščala za oskrbo naselja s 10.000 prebivalci s porabo 500 l/dan na osebo za 60 sušnih dni (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990).

Leta 1988 je bil opravljen sledilni poskus z namenom preveriti morebitne povezave med kočevskimi ponikalnicami z izvirom Dobličice (Potok na Koprivniku, Rinža, Kačji in Željnski potok). Na Kočevskem je bilo sledenje izvedeno spomladi (april/maj) ob pričakovanem normalnem odtoku skozi podzemlje, vendar povezava med kočevskimi ponikalnicami in izvirom Dobličice ni bila dokazana (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990).

Leta 1989 je bil izveden sledilni poskus na območju Vrčic, Miklarjev in Ponikev. Ob takrat razpoložljivem znanju o geološki zgradbi niso mogli določiti razvodnice med ponikalnicami.

Dokazane pa so bile naslednje povezave (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990):

- voda iz Ponikev pod Mirno goro prihaja na površje v izviru v Krupi in pri Kočevskih Poljanah, v Jelševniku in Dobličah so bile vrednosti sledila pod mejo določljivega (le zelo nizke koncentracije uranina v Dobličah, v Jelševniku nič);

- voda iz Miklerjev je povezana z izvirov v Dobličah (ne pa z Jelševnikom in Obršcem);
- ponikalnici v Vrčicah pri Bajerju prihajata na površje v Krupi, v Krupi je bilo zaslediti tudi rodamin iz Miklarjev in Doblič;
- svibniški potoki podzemno odteka do izvirov levega brega Dobličice.

OBRŠEC (LOKACIJA 1)

Obršec (142,0 m n. v.) je izvir 500 m južno od Jelševnika pod manj izrazitim dolinskim zatrepom. Je izvir z dvema večjima, med seboj 5 m oddaljenima, sifonoma. Vmes sva opazili tudi nekaj manjših, ki se spreminjajo po vsaki visoki vodi. Ob nizki vodi je jezero suho, voda se zadrži le v najglobljem sifonu, zato sklepava, da se voda večino časa v Jelševniščico in Dobličico pretaka podzemno. Ob visoki vodi pod zatrepom nastane jezerce z razbrazdanim dnom. Takrat se voda iz jezerca po ozki strugi (ta je sicer suha) pretaka dobrih 200 m proti vzhodu in se na koncu izlije v Jelševniščico. Iz okoliške naplavne ravnice skozi bruhalnike Jamnice v obliki klobuka na površje bruha podzemna voda, Jezero pa se prelije preko prelivnega roba. Voda tu hitro naraste in pade. Raziskave kažejo, da ima Obršec manjše samostojno zaledje (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan 1990) in najverjetneje odvaja vode prelomne cone manjše prepustnosti. Zato je hitro narasla voda pogojena z dvigom podzemne vode na ravniku. V zaledju je več črnih gradenj z neurejenim komunalnim sistemom (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990), ki so lahko razlog za povišane koncentracije nitrata v vodi Obršca.



Slika 14: Izvir Obršec - lokacija 1 (Foto: Manca Bajuk, 30. 8. 2019).



IZVIR NA TRATI – ŠOTOR (LOKACIJA 2)

Šotor je sicer umetno utrjen bruhalnik, ki se nahaja pri kmetiji Zupančič ob Jezeru v Jelševniku. Širok je približno 4,5 m. Voda na površje prihaja v več sifonih. V odprtem bruhalniku v poletnem času gladina vode pade, po močnem deževju pa se voda iz bruhalnika izliva tudi v bližnje Jezero. Glede na opazovanje visokih voda in literaturo (Novak, 1996) domnevava, da se voda v šotor steka iz severa. V tej smeri pada tudi bližnji teren. Bruhalnik je pokrit, kar naj bi simuliralo okolje jame. Izvir je pod video nadzorom, slika se predvaja na monitorju v muzeju, kar omogoča obiskovalcem spremljanje v živo.

Slika 13: Izvir na Trati - lokacija 2 (Foto: Manca Bajuk, 12. 7. 2019).

ODPRTI BRUHALNIK JAMNICE (LOKACIJA 3)

V širokem dolinskem zatrepu pod vasjo Jelševnik je večji stalen izvir Jezero, ob njem pa dva večja stalna bruhalnika (Šotor in Jamnice) ter nekaj manjših sekundarnih, ki klobučno bruhamo vodo le ob obilnih padavinah. Jezero je po izdatnosti drugi največji izvir Dobliške kotlinice. Gladina izvira je na nadmorski višini 142,5 m (Novak, 1996). Ob nizkih vodah daje Jezero 10–20 l/s, ob padavinah voda izredno hitro naraste, skupaj s sekundarnimi izviri poplavi Trato (območje med izviri Jezero, Jamnice in Šotor). Pogoji iztoka kažejo, da gre za vodo pod pritiskom, torej dobijo vodo iz globlje cirkulacije podzemne vode (Novak, 1996). Ob visoki vodi se ta združi z infiltrirano gravitacijsko vodo podzemne vode na ravniku, zato Jezero močno naraste in poplavi večji del Trate.



Slika 15: Odprti bruhalnik Jamnice - lokacija 3 (Foto: Manca Bajuk, 15. 8. 2019).

V neposredni bližini (3–4 m) ob Jezeru je bruhalnik Jamnice. Vdolbina je široka približno 1,5 m. Ob bruhalniku rastejo drevesa in grmičevje. V poletnem času je voda nizka, po močnem deževju pa se voda iz bruhalnika izliva tudi v bližnje Jezero.

PRELIV DOBLIČE (LOKACIJA 6)

Izvir Dobličice se nahaja 700 m JV od Doblič. Je pod slabo izraženim zatrepom, oziroma ob vznožju kraškega roba. Gre za izvirno sifonsko jezero, široko 40 m, z več deset metrov globine, na nadmorski višini 140,42 m (Novak, 1996). Jezero ima lijakasto obliko. Iz njega prek Dobličkega polja v plitvi strugi odteka reka Dobličica. Ta je sprva usmerjena proti vzhodu, nato pod Jernejo vasjo zavije proti severu, mimo Doblič in v loku okrog Blatnika zavije proti Kanižarici, Svibniku in Črnomlju. Ves čas sledi zahodnemu robu nekraške Kanižarske kadunje. Njen tok je počasen, poln okljukov in manjših pritokov iz obeh strani (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990). Jezero je zajeto za črnomaljski vodovod in je zagrajeno, zato sva vzorce jemali pri merilniku Komunale Črnomelj, to je 100 m dolvodno od izvira (Plut, 2013).

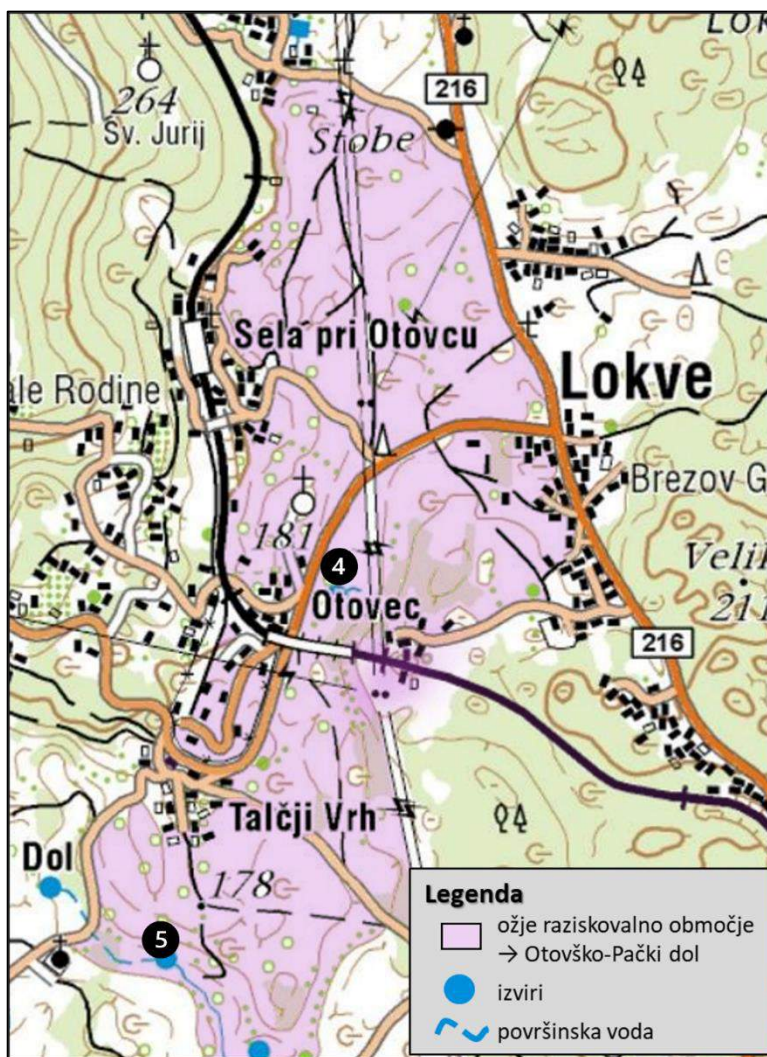


Slika 16: Preliv Dobliče - lokacija 6.

2.4.2.2 OTOVŠKO-PAČKI DOL – območje pojavljanja belega močerila (izvira Pački breg in Otovski breg)

Območje med Tuševim dolom in Otovcem (semiškim Kotom) je prav tako najnižji teren ob stiku visokega krasa z robom Belokranjske kotline. Kaže sledi nekoč površinsko tekoče reke, ki se je v preteklosti prestavila v podzemlje in sedaj večinoma teče plitvo pod površjem (cca. 10 m), zato reliefna izoblikovanost kaže na suho dolino. Sistem suhih dolin, ki sva ga po starem ljudskem izročilu poimenovali Otovško-Pački dol, najprej sledi žužemberškemu prelomu iz severne smeri, to je od Kota pri Semiču proti jugu do Otovca (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990). Voda le ob zelo močnih padavinah napolni plitve vrtačaste globeli in brezna. Dostopna je v več kraških brezni in jamah. Ob izredno močnih padavinah so te kraške globeli polne vode in tvorijo manjša jezercica. V Otovcu na Otovškem bregu v podorni vrtači (koliševki) podzemni vodotok izvira na površje in nato po sedmih metrih znova ponikne. Suha dolina je nato opazna v smeri Talčjega vrha, kjer Otovski zdenec zopet izvira kot Brežiček in se združi s Pačkim potokom. To je bilo 1990 dokazano tudi s sledenjem (120 ur, 10 m/h, nizka voda). Iz jugozahoda iz smeri Sihurne se od Tuševega dola vije druga suha dolina. Na Pačkem bregu voda izvira iz treh sifonov, kjer je dovolj velik dotok vode (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990), da ostane površinski in se pridruži Pačkemu potoku. Skupaj površinsko nadaljujeta pot proti Dobličici kot Zajčji potok (Vesna Fabjan iz dne, 21. 9. 2021).

Otovško-Pački dol ni naseljen. V najnižjih legah gre za travniške površine, medtem ko so le nekaj metrov nad dnom dola kmetijske njivske površine (Atlas okolja, 2022). Te so intenzivno kmetijsko obdelane, zato za okolje bolj obremenilne, kar se lahko kaže tudi v kvaliteti vode. Gručasta vaška naselja ležijo nekaj deset metrov višje, na prehodu v hribovito zaledje. Povezuje jih lokalna cesta. Naselja imajo vodovod, ne pa tudi kanalizacije. Pri Otovcu sta tudi manjši proizvodnji obrat ter deponija gradbenega materiala in starih avtomobilov.



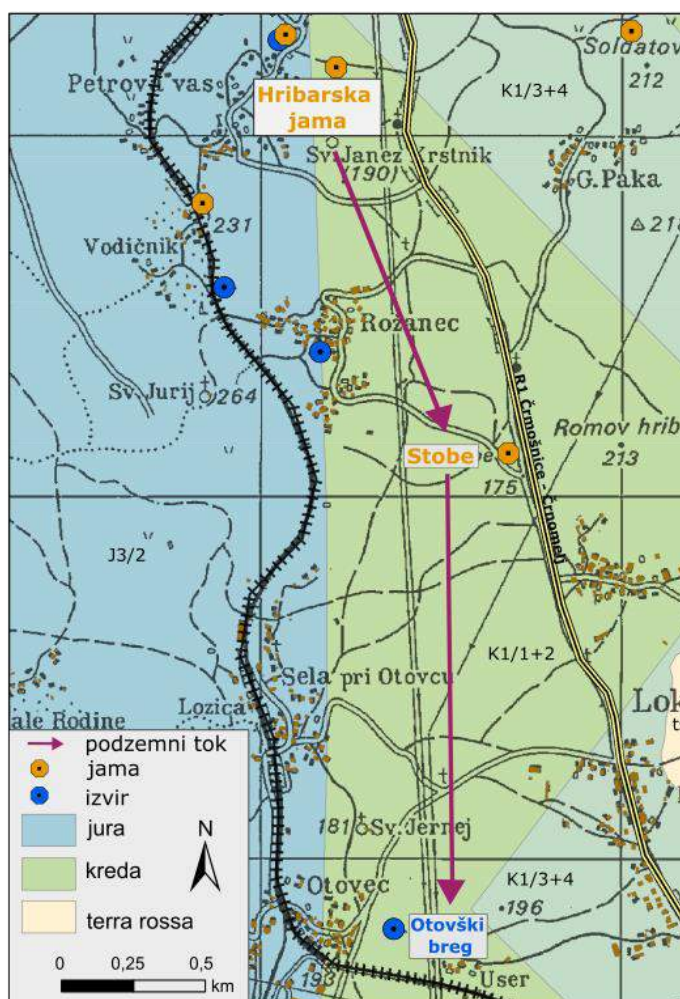
Slika 17: Ožje raziskovalno območje Otovško-Pački dol z lokacijo 4 (Otovski breg) in lokacijo 5 (Pački breg) (Izdelala Špela Vraničar, kartografska podlaga: Geopedija).

Predhodne raziskave na območju Otovško-Pačkega dola

Z raziskavami iz leta 1982 so želeli določiti varstvene ukrepe in podrobnejše opredeliti varstvene pasove (Novak, 1996). Z analizo grezov v zaledju izvira so ugotavljali dinamiko zakrasevanja. Pri oceni obsega varstvenih pasov so po kemičnih značilnostih voda v Krupi in Bregu pri Otovcu domnevali, da se del Semiča ob nizkem vodnem stanju odvodnjava proti jami Stobe in Otovskemu bregu. Voda v slednjem je bila s pesticidi in komunalnimi odpadki bolj onesnažena kot pa Krupa, prav tako tudi izvir Pački breg, kjer je bilo 1986 odkrito onesnaženje s PCB (Novak, 1989).

Raziskave so pokazale (Novak, 1996):

- voda iz Stob in Otovškega brega se pojavlja v Brežičku,
- v vodi iz Stob, Otovškega brega in Brežička se pojavlja PCB.



Slika 18: Podzemni tok Otovško-Pačkega dola (izdelala Nina Jankovič).

OTOVSKI BREG (LOKACIJA 4)

Pod železniškim mostom na Otovcu je udorna vrtača Breg v Otovcu. Na njenem dnu, ki sega 10 m pod dno suhe doline, je v razpoklinski coni območje podzemeljskih kraških tokov. V vrtači na zahodni strani priteka voda na površje skozi dva sifona in tvori 7 m dolg površinski tok, ki na vzhodni strani koliševke ponikne v pol metra visok ponor. Glede na opazovanje je moč sklepati, da voda ob izredno močnih nalivih hitro naraste za več metrov (tudi več kot 4 m), takrat v koliševki nastane jezerce kalne vode. Voda nato hitro upade. Zbira predvsem vodo iz cone infiltracije, podzemnega potoka, ki se vije pod suho dolino v smeri prelomne cone iz smeri Kota ob cesti proti Črnomlju preko jame Stobe.



Slika 19: Otovski breg - lokacija 4
(Foto: Vesna Fabjan, 30. 12. 2018).



PAČKI BREG (LOKACIJA 5)

V dolini med Tuševim dolom in Talčjim vrhom je več manjših nestalnih in stalnih izvirov, ki napajajo Talčji potok. Medtem ko je večina kraškega dola suha in je le ob močnejših padavinah napolnjena z vodo, so pod Pačkim bregom tri med seboj le meter oddaljeni manjši izviri, ki nikoli ne presahnejo. Voda priteče na površje v dveh horizontalnih sifonskih izvirih izpod manjšega zatrepa. V tretjem izviru voda izvira vertikalno, kar je zelo lepo opaziti ob visoki vodi, saj takrat voda na površje bruha v gobasti obliki. Voda iz izvirov odteka površinsko, se združi z podzemno vodo iz smeri Otovca in pot nadaljuje kot Zajčji potok do izliva v Dobljico.

Slika 20: Pački breg - lokacija 5.

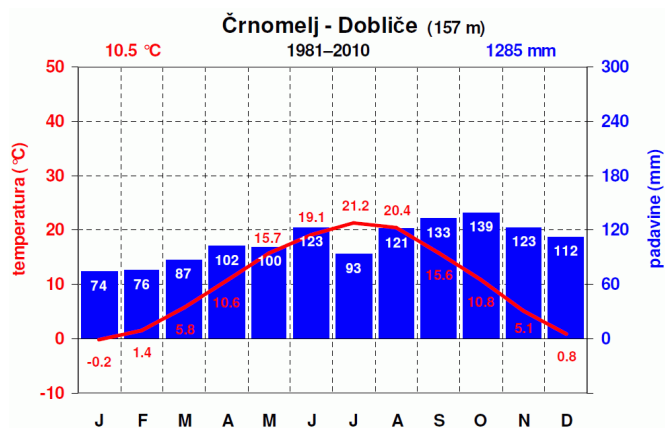
2.5 Podnebne značilnosti

Bela krajina je regija na prehodu, kjer se mešata subpanonsko podnebje s podnebjem osrednje Slovenije, zato podnebje Slovenije in Bele krajine najbolje enačimo s prehodnim celinskim.

Prehodnost reliefa na območju raziskovanja pogojuje podnebne, hidrogeografske, pedogeografske in vegetacijske značilnosti. Na jugu Bele krajine srečamo značilnosti subpanonskega podnebja z visokimi poletnimi temperaturami, zimskim mrazom in spomladansko namočenostjo. Za zahodni višji rob so bolj značilni vplivi mediterana, opazni zlasti v višjih jesenskih padavinah. Severneje prevladajo bolj poudarjene podnebne poteze osrednje Slovenije, kar se odraža tudi pri razporeditvi kulturnih rastlin, gozdnih združb in tipih prsti (Plut, 1981).

Podnebne razmere Bele krajine so rezultat lege na JV Slovenije, zaprtosti proti Sloveniji, odprtosti na vzhod proti Karlovški kotlini, panonskega vpliva iz vzhoda, reliefne izoblikovanosti, nizke nadmorske višine, prisojne lege, bližine morja in izpostavljenosti vplivom iz Kvarnerja, ne gre pa zanemariti tudi bližine hribovitega Gorskega Kotarja in Gorjancev, ki zadržujejo prehude učinke vdorov mrzlega hladnega severnega zraka (Melik, 1959).

Meteorološka postaja Črnomelj beleži vremenske pojave že od leta 1988 in se nahaja v neposredni bližini zajetja pitne vode Dobljice, na nadmorski višini 157 m. Omenjena meteorološka postaja je reprezentativna za spremljanje vpliva vremenskih dogodkov za vse raziskovane izvire, saj je tudi od najbolj oddaljenega izvira na Otovcu oddaljena le 2 km zračne razdalje.



Slika 21: Klimogram za kraj Črnomelj - Dobliče v obdobju 1981–2010 (Vir: ARSO, 2022).



Slika 22: Prikaz letne povprečne višine padavin v Sloveniji za obdobje 1981–2010 (Vir: ARSO, 2016).

Iz klimograma za kraj Črnomelj (1981–2010) in pa na osnovi podnebnih zakonitosti, ki v splošnem veljajo za Slovenijo, lahko razbereva, da:

- so povprečne aprilske (10,6 °C) in oktobrske (10,8 °C) temperature zraka približno enake;
- so poletja nadpovprečno topla, na ravni zalednega submediteranskega podnebja (povprečna julijska temperatura zraka je nad 20 °C);
- zahodni del Bele krajine, območje najinega raziskovanja (hriboviti rob), prejme največ padavin (1200–1300 mm). Povprečna količina padavin v obdobju 1981–2010 je znašala 1285 mm;
- pomlad in jesen imata približno enako povprečno temperaturo zraka (povprečna jesenska temperatura znaša 10,5 °C, spomladanska pa 10,7 °C);
- pogosti so temperaturni ekstremi (maksimalna dnevna temperatura zraka v poletnih mesecih pogosto presega 30 °C, zimska pa lahko pade tudi pod -10 °C);
- najmanjše so januarske (1981–2010) količine padavin (74 mm);
- v hladni polovici leta (november–marec) je pogost pojav temperaturnega obrata (inverzije), ki se pojavlja 15–40 m nad kotlino in sega 200–250 m visoko;
- je v topli polovici (april–oktober) leta prisoten pojav fenizacije iz severne in zahodne smeri;
- je Črnomelj kraj z najvišjo izmerjeno temperaturo zraka v Sloveniji (40,6 °C), izmerjeno 5. 7. 1950, z živosrebrnim termometrom.

Na letni ravni v slovenskem oziru Belo krajino uvrščamo med podpovprečno namočene pokrajine (slovensko povprečje znaša 1500 mm). Količina padavin je preko leta razporejena dokaj enakomerno. Povprečna letna količina padavin na raziskovalnem območju je od 1200 do 1400 mm. Ob prevladi južnega in jugozahodnega vetra je občutiti vplive submediteranskega padavinskega režima, kar se kaže predvsem v razporeditvi padavin (I. maksimum jeseni, II. maksimum spomladi). Pogosti temperaturni viški so posledica močnejših vplivov s panonske strani, kar je opazno tudi v letnem celinskem temperaturnem režimu. Srednja letna temperatura zraka v Črnomlju je 10,2 °C.

Od leta 1959 do 2022 ni zabeleženih večjih razlik v skupni letni količini padavin. Dvig povprečne letne temperature zraka je za 0,5 °C in bi lahko bil posledica globalnega segrevanja ozračja in zato bolj intenzivnih vremenskih procesov v topli polovici leta ter toplejših, manj zasneženih zimah.

2.6 Naravovarstvena pomembnost območja

Narava je dobrina, ki jo moramo varovati in si prizadevati za njeno čistost in neokrnjenost. Z razvojem družbe narašča tudi vse večja potreba po ohranjanju narave in njenih virov. Po opravljenih dosedanjih raziskavah tudi s sledilnimi poskusi bi bilo mogoče le približno prostorsko omejiti zaledje proučevanih izvirov. Predhodne opravljene raziskave so bile bolj osredotočene na Dobličico (in Krupo), saj gre za zajetje pitne vode, pomembno za velik del Bele krajine, medtem ko so bili nekateri ostali izviri v raziskave vključeni le posredno. Ker nas zanima stanje ohranjenosti habitata močerila v Beli krajini, konkretno v Doblički kotlinici in Otovško-Pačkem dolu, so za nas predhodno pridobljeni rezultati izrednega pomena. Če s prebranim v literaturi združimo lastna opazovanja s terena, tam pridobljene rezultate raziskave ter poznavanje občutljivosti kraškega terena, nama to daje bolj celovit pogled na habitat močerila. Celovit pogled in razumevanje kompleksnosti proučevanega okolja pa je tisto, kar ponuja možne rešitve za trajnejši razvoj in obstoj belokranjskega endemita. Zavarovana območja in vsi različni vodni viri so varovalno in razvojno kljub majhnosti zelo pomembni, saj obetajo prihodnjim generacijam višjo kakovost življenja in možnost kakovostne oskrbe z vodo tudi v izjemnih okoliščinah.

Raziskovalno območje je pomembno, saj je to:

- območje, kjer se nahaja največji pitni vir vode (zajetje Dobliče) za velik del Bele krajine, ki je nepogrešljiv;
- območje manjših a potencialnih virov pitne vode;
- habitat zaščitenih živalskih vrst belega in črnega močerila (slednji je svetovni endemit);
- habitat pestre flore in favne;
- bivalni prostor človeka in območje, namenjeno kmetijski dejavnosti.

Z naravovarstvenega vidika je najino raziskovalno območje dovzetno za onesnaževanje, saj:

- gre za kraški tip reliefa, ki je izredno občutljiv na onesnaževanje podzemne vode in tal;
- pokrajina je zaradi vse bolj intenzivnega kmetijstva in stalne poselitve obremenjena;
- območje nima primerne komunalne infrastrukture (večina gospodinjstev se poslužuje odprtih greznic, ki so večinoma neustrezne) (Bajuk in Vraničar, 2020);
- območje ni zadostno zaščiten s strani države, saj je slovenska zakonodaja na tem področju prilagojena evropski zakonodaji in direktivam, v katerih pa kraški vodonosniki niso ustrezno izpostavljeni kot poseben tip z zelo specifičnimi značilnostmi (Kogovšek, Petrič In Ravbar, 2011).

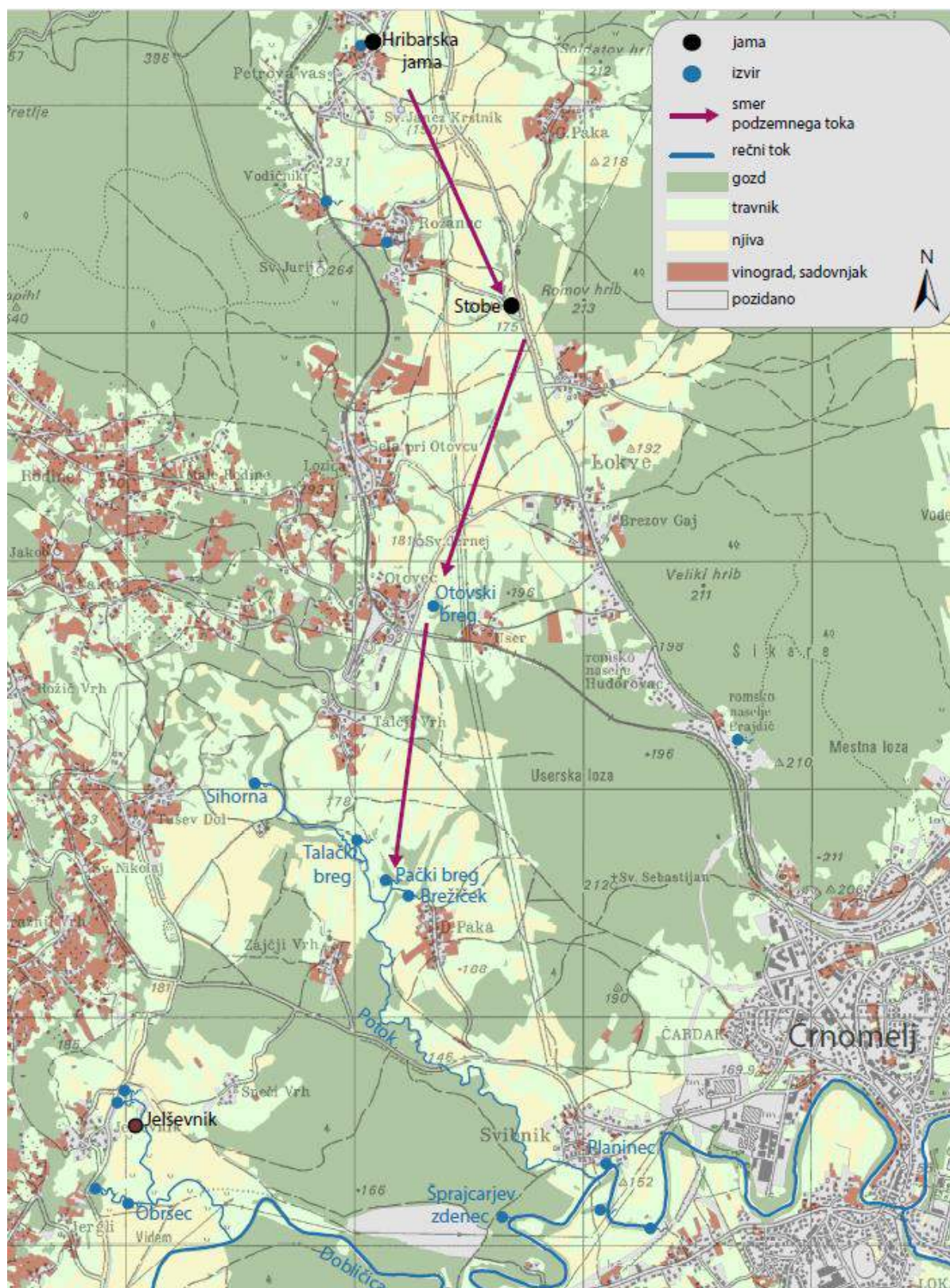
Belokranjske vodne vire, ne le izvire in vodne kraške jame, temveč tudi vodne tokove, označuje praviloma velika ali zelo velika vodna občutljivost na onesnaževanje. Le-ta ne izvira zgolj iz večje hidrogeološke občutljivosti zaledij, temveč je tudi posledica zelo nizkih povprečnih pretokov večine izvirov v sušnih obdobjih (poleti), višjih poletnih temperatur vode (manjša vsebnost kisika v vodi) in skromnih pretokov belokranjskih rek ter drugih vodnih tokov (skromno prezračevanje in izmenjava vode). Vodnoekološka občutljivost izvirov je bistveno večja od njihove ogroženosti oziroma obremenjevanja voda. Občutljivost belokranjskih vodnih virov je pokrajinska determinanta, kateri je potrebno prilagoditi obseg in stopnjo obremenjevanja voda, ki mora biti minimalna in še dodatno prilagojena predvsem v vse pogostejših sušnih poletnih vodnih razmerah.

2.6.1 Raba tal raziskovalnega območja

Kljub temu, da večina vodnih virov na območju Bele krajine danes nima neposredne uporabne vrednosti za same prebivalce v smislu oskrbe s pitno vodo, je varovanje vode kot ključnega naravnega vira v občutljivem kraškem svetu, izjemnega pomena. Na stanje vode najbolj vplivajo dejavnosti, ki se odvijajo v neposredni bližini ali zaledju vodnih virov in so povezane z dejavnostmi človeka (Plut, 2013).

Splošno oceno pritiskov človeka na okolje lahko podamo že na osnovi poznavanja terena. Z opazovanjem lahko ocenimo prevladujočo rabo tal na ožjem vplivnem območju vodnega vira. Če pogledamo satelitske in druge posnetke ter zemljevide terena in jih časovno primerjamo, je lahko ta ocena še toliko bolj točna. Za večino Bele krajine sicer velja prevladujoča ekstenzivna kmetijska raba tal, kar pa za najino proučevano območje ne velja v celoti. Število kmetij se sicer manjša, sekajo se vinogradi, narašča pa intenzivnost v obdelavi določenih kmetijskih površin prav na območju najinega proučevanja.

Delež gozda po najini oceni v širšem območju tako znaša $\frac{1}{3}$ površja. Porašča predvsem hribovito zaledje ter reliefno bolj razgiban teren na ravniku. To je z vidika dobrega stanja in neobremenitve vodnih virov ugodno. V strukturi rabe sledijo travniki, vinogradi, njive in sadovnjaki. Pozidanih površin je le okoli 3 %. Na prisojnem hribovju do 500 m nadmorske višine z vidika rabe tal prevladujejo vinogradi z vmesnimi zaplatami gozda. V poselitvi prevladujejo počitniške hišice. Z izboljševanjem infrastrukture in pomanjkanjem gradbenih površin v regiji, se povečuje delež stalne naselitve v omenjenih legah. Stalna poselitev je značilna predvsem za vasi Dobliče, Jelševnik, Talčji vrh ter Otovec na robu Ravnika, kjer prevladujejo travniki in njivske površine.



Slika 23: Zemljevid rabe tal (izdelala Nina Jankovič).

2.6.2 Možni viri onesnaževanja na raziskovalnem območju

Po oceni tveganja iz leta 2017 (Kolar, 2017) je obremenjenost podzemnih voda na raziskovalnem območju v več primerih ocenjena kot posledica spiranja cistern, dovajanja gnojnice v vodotoke, prevelike količine gnojila na enoto površine, gnojenje na nagnjenih terenih in neprimeren čas gnojenja. To vse so posledice neodgovornega ravnanja človeka in neupoštevanja priporočil dobre kmetijske prakse. V zadnjih letih se je ocenjeno količinsko povečala raba biognojevke oziroma digestata farme prašičev (Bajuk in Vraničar, 2020). Podatki o uporabljenih količinah biognojevke iz prašičje farme na raziskovalnem območju niso znani, domačini pa ob polivanju le-te na območju vasi Sela pri Otovcu in Jelševniku opažajo večje luže (Milena Blažič, iz dne 6. 1. 2020; večkrat Silvester Zupančič). Bioplinska gnojevka je bila do leta 2011 (potem so jo prepovedali) na bližnja polja zlivana v količinah do 80 ton na dan (navadno 10 t/dan in 24 000 t/leto), kar je povzročilo trikratno povišanje koncentracije nitrata v vodi na Jelševniku (v obdobju 2000–2009: 1–9 mg/l, po 2011: 16–20 mg/l (Bulog, 2013)) (Janža, Mezga, Koren in Šram, 2015). Živalski gnoj in umetna gnojila oziroma digestat so prevladujoči antropogeni viri onesnaževanja predvsem v izvirih na Jelševniku (bruhalnik Jamnice in izvir Na trati) ter Otovskem bregu, kjer ima soljenje cest pozimi vpliv predvsem na hitrejše povišanje vsebnosti koncentracije kloridov v vodi v primerjavi s koncentracijami le-teh v jesenskem času (Kavčič, 2021).

Zaradi spiranja pesticidov je problematično tudi bližnje vinogradniško območje. Sicer je delež z vinogradi poraslega območja v primerjavi z gozdnim bistveno manjši in ob razpršeni uporabi ne predstavlja večjega tveganja. Problem lahko nastane v primeru točkovnega onesnaženja (Bajuk in Vraničar, 2020).

Raziskovalno območje je izpostavljeno še ostalim ekološkim problemom, kot so ostanki ekološke katastrofe onesnaženja izvira Krupe s PCB-jem. Na Otovcu so bile zaznane povečane koncentracije PCB-ja ter neustrezno sanirane deponije livarskega peska v bližini izvirov, kjer je bilo odloženih 50 000 ton odpadkov (Bajuk in Vraničar, 2020). Predvsem kritični so aromatski ogljikovodiki in težke kovine, ki so bile zasledene v tkivih črnega močerila (Hudoklin, 2018).

V vaseh na prisojni strani robnega hribovja je bil pred nekaj leti zgrajen vodovod, ne pa tudi kanalizacija. Tako ima večina gospodinjstev greznice, ki pa po večini niso ustrezne, zato se fekalije in komunalna voda stekajo v podzemlje (Bajuk in Vraničar, 2020). Predvsem v zaledju izvira Obršec je neurejen sistem odplak prevladujoči antropogeni vpliv (Kavčič, 2021).

2.6.3 Onesnaženost podzemne vode v povezavi s človeško ribico

Raziskave so pokazale, da dušikova umetna gnojila skupaj s pesticidi prispevajo k upadu dvoživk. Nitrati v obliki natrijevega nitrata imajo zelo škodljiv vpliv na ličinke in neotenične oblike, kot je človeška ribica. Zato naj bi bile vode, ki vsebujejo več kot 10 mg NO₃/l, neugodne za človeške ribice (Hudoklin, 2011).

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).

Na razvoj in življenje človeške ribice poleg nitratov neugodno vplivajo tudi fosfor, težke kovine, PCB (poliklorirani bifenili), pesticidi in ostanki zdravil (mag. Dobnikar Tehovnik, mag. Gacin, & mag. Mihorko, 2020).

Rezultati dosedanjih analiz so pokazali, da vode niso pretirano onesnažene s kovinami. V usedlinah se kovine sicer kopičijo, vendar pa njihove vsebnosti niso tako visoke, da bi lahko govorili o resnejšem onesnaženju (Bulog, 2009).

NITRAT

Nitratni ion (nitratni(V) ion, NO_3^-) je prisoten v dušikovem krogu in nitrifikaciji. Amonijak se preko nitrita oksidira v nitrat. Rastline potrebujejo dušikove spojine 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 so dobro topni v vodi. Ob izlivu večjih količin umetnih gnojil (gnojila NPK), ki vsebujejo nitrate 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).

2.6.4 Pregled zakonodaje

Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam (Ur. l. RS 82/2002) opredeljuje črnega močerila kot *redko* podvrsto, ki je potencialno ogrožena zaradi omejene prostorske razširjenosti ter belega močerila kot *ranljivo* podvrsto.

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. Za električno prevodnost pa je določena mejna vrednost **2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$** pri 20 °C, za vsebnost nitrata pa 50 mg/l.

Merila, okoljski standardi in monitoringi za ugotavljanje stanja podzemnih voda so določeni z **Uredbo o stanju podzemnih voda** (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16). Določa parametre, za katere so določeni standardi kakovosti in parametre, za katere so določene vrednosti praga v podzemni vodi. Predvideni standard kakovosti za nitrate je **50 mg/l** in ne upošteva varne koncentracije za človeško ribico, ki je pod 10 mg/l (Kolar, 2017).

Dobro kemijsko stanje podzemne vode definirajo naslednje 3 točke:

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 okoljskih 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 nitrate **25 mg/l**.

Ukrepi za zmanjšanje in preprečevanje onesnaževanja voda, ki ga povzročajo nitrati iz kmetijskih virov so predpisani v **Uredbi o varstvu voda pred onesnaženjem z nitrati iz kmetijskih virov** (Uradni list RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17). Vsebuje splošno časovno 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.

Zakon o ohranjanju narave (ZON) (Uradni list RS, št. 96/04 – uradno prečiščeno besedilo, 61/06 – ZDru-1, 8/10 – ZSKZ-B, 46/14, 21/18 – ZNOrg, 31/18, 82/20 in 3/22 – ZDeb) določa ukrepe ohranjanja biotske raznovrstnosti in sistem varstva naravnih vrednot z namenom prispevati k ohranjanju narave. Z ukrepi ohranjanja biotske raznovrstnosti se ureja varstvo prosto živečih rastlinskih in živalskih vrst z njihovim genetskim materialom, habitatni in ekosistemi. Glede na 8. člen je urejanje zadev ohranjanja biotske raznovrstnosti in varstva naravnih vrednot v pristojnosti države, razen zadev lokalnega pomena.

32. člen ZON opredeljuje *ekološko pomembno območje* kot območje habitatnega tipa, dela habitatnega tipa ali večje ekosistemske enote, ki pomembno prispeva k ohranjanju biotske raznovrstnosti.

Ekološko pomembna območja so:

- območja habitatnih tipov, ki so biotsko izjemno raznovrstni ali dobro ohranjeni, kjer so habitatni ogroženih ali endemičnih rastlinskih ali živalskih vrst in habitatni vrst, ki so mednarodno pomembni po merilih ratificiranih mednarodnih pogodb ali ki drugače prispevajo k ohranjanju biotske raznovrstnosti;
- območja habitatnega tipa ali večje ekosistemske enote, ki pomembno prispevajo k ohranjanju naravnega ravnovesja s tem, da so glede na druga ekološko pomembna območja uravnoteženo biogeografsko razporejena in sestavljajo ekološko omrežje;
- habitatni mednarodno varovanih vrst;
- selitvene poti živali in
- območja, ki bistveno prispevajo h genski povezanosti populacij rastlinskih ali živalskih vrst.

Natura 2000

Natura 2000 je naravovarstveno omrežje Evropske unije, s katero je omogočeno ohranjanje živalskih in rastlinskih vrst (več kot 100 redkih in ogroženih vrst), habitatnih tipov (200 tipov) ter območij, pomembnih na slovenskem, evropskem in svetovnem nivoju. Celotno omrežje pokriva več kot 18 % kopnega in skoraj 6 % morskega ozemlja. Temelji na Direktivi o pticah in Direktivi o habitatih. Direktiva o habitatih določa merila za varstvo redkih, ogroženih ali endemičnih vrst prostoživečih živali in rastlin ter habitatnih tipov. V območjih Nature 2000 so mogoče različne gospodarske in družbene dejavnosti, ki morajo potekati skladno z varstvom narave (NATURA2000, 2022).

Zavarovana območja narave

Zavarovana območja narave so strnjena območja prepletanja živih in neživih dejavnikov, kjer so aktivnosti, dejavnosti in človekovi posegi skladni z naravnimi danostmi, zato za posamezna območja veljajo nekatere omejitve. Delimo jih na ožja (strogi naravni rezervat, naravni rezervat in naravni spomenik) in širša zavarovana območja (narodni, regijski in krajinski park). V Sloveniji je zavarovane okoli 13 % površine (Zavod RS za varstvo narave, 2022).

Posamezni deli raziskovalnega območja spadajo v naslednja naravovarstvena območja:

- Vodovarstveno območje
- Natura 2000
- Naravne vrednote
- Ekološko pomembno območje

Pravilnik o določitvi in varstvu naravnih vrednot (Uradni list RS, št. 111/04, 70/06, 58/09, 93/10, 23/15 in 7/19) določa dele narave, ki so zaradi svojih lastnosti spoznani za naravne vrednote, jih razvrsti na naravne vrednote državnega in lokalnega pomena ter ureja podrobnejše varstvene in razvojne usmeritve in druga obvezna pravila ravnanja za njihovo varstvo. Naravne vrednote državnega pomena so tiste, ki imajo mednarodni ali velik narodni pomen. Ta se ugotavlja na podlagi strokovnih meril vrednotenja primerjalno za celo državo. Strokovna merila vrednotenja so: izjemnost, tipičnost, kompleksna povezanost, ohranjenost, redkost ter ekosistemska, znanstveno-raziskovalna ali pričevalna pomembnost. Glede na uredbo se lahko za naravne vrednote kot so tudi nahajališča živali ogroženih vrst ter geološke in geomorfološke naravne vrednote, ki so občutljive na fizične vplive omejuje ogledi in obiski.

Na raziskovalnem območju so po zgornji uredbi kot naravne vrednote opredeljene naslednje lokacije:

- Jelševnik (državni pomen), natančneje izvir Jelševniščice, levega pritoka Dobličice kot hidrološka, zoološka in ekosistemska naravna vrednota;
- izvir Obršec (lokalni pomen) kot hidrološka, ekosistemska in zoološka naravna vrednota;
- izvir Otovec (državni pomen) kot hidrološka, zoološka in ekosistemska naravna vrednota.

Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (Uradni list RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16) določa kriterije za določitev zunanjih meja njegovega vodovarstvenega območja, kriterije za določitev meja notranjih območij vodovarstvenega območja ter izhodišča za določitev vodovarstvenega režima v zvezi s posegi v okolje, ki so glede na kriterije za določitev meja tveganje za onesnaženje vodnega telesa.

4. člen zgornjega pravilnika predpisuje izhodišča za opredelitev vodovarstvenega območja, ki temeljijo na naravnih danostih vodnega telesa in njegovega napajalnega območja, ki varujejo vodno telo pred onesnaženjem ali drugimi vrstami obremenjevanja; dolgoročnemu pomenu vodnega telesa za lokalni ali regionalni razvoj; pogojih zagotavljanja pitne vode in zahtevah iz predpisov, ki urejajo pitno vodo; ocenah o dejanskih in možnih poteh mikroorganizmov vzdolž toka vode do zajetja; ocenah o dejanskih in možnih poteh kemijskih in fizikalnih onesnaževal vzdolž toka površinske in podzemne vode do zajetja; tveganju za onesnaževanje zaradi posegov v okolje in stroških za vzpostavitev vodovarstvenega režima ter stroških za vzpostavitev tehnologije priprave in čiščenja vode, zajete iz vodnega telesa, ki je varovano z vodovarstvenim režimom.

Po 34. členu je za določitev meje vodovarstvenega območja za kraški vodonosnik potrebno pridobiti podatke o hitrosti in smeri toka podzemne vode, piezometrični gladini podzemne vode, razredčenju dejanskih in morebitnih onesnaževal, velikosti napajalnega območja, zakraselosti napajalnega območja in geološko-kemijskih lastnosti podzemne vode.

Vodovarstveno območje se po 6. člena zgornjega pravilnika zaradi različnih stopenj varovanja deli na notranja območja, in sicer na:

1. *širše* območje (VVO III), ki zajema celotno napajalno območje in kjer se izvaja varovanje z blažjim vodovarstvenim režimom;
2. *ožje* območje (VVO II), ki zagotavlja dovolj dolg zadrževalni čas, dovolj veliko razredčenje in dovolj dolg čas za ukrepanje ter kjer se izvaja varovanje s strogim vodovarstvenim režimom in
3. *najožje* območje (VVO I), ki je blizu zajetja, glede na razredčenje majhno in onesnaževala hitro dospejo do zajetja ter kjer se izvaja varovanje z najstrožjim vodovarstvenim režimom.

Uredba vodovarstvenem območju za vodna telesa vodonosnikov za območje občin Črnomelj, Metlika in Semič (Uradni list RS, št. 53/16) določa vodovarstveno območje za vodna telesa vodonosnikov za območja vseh treh belokranjskih občin, ki se uporablja za oskrbo prebivalstva s pitno vodo in se nahaja na območju občin Črnomelj, Kočevje, Metlika in Semič, ter vodovarstveni režim. Določa tudi notranja območja znotraj vodovarstvenega območja.

Notranja območja se po 3. točki 2. člena zgornje uredbe delijo na:

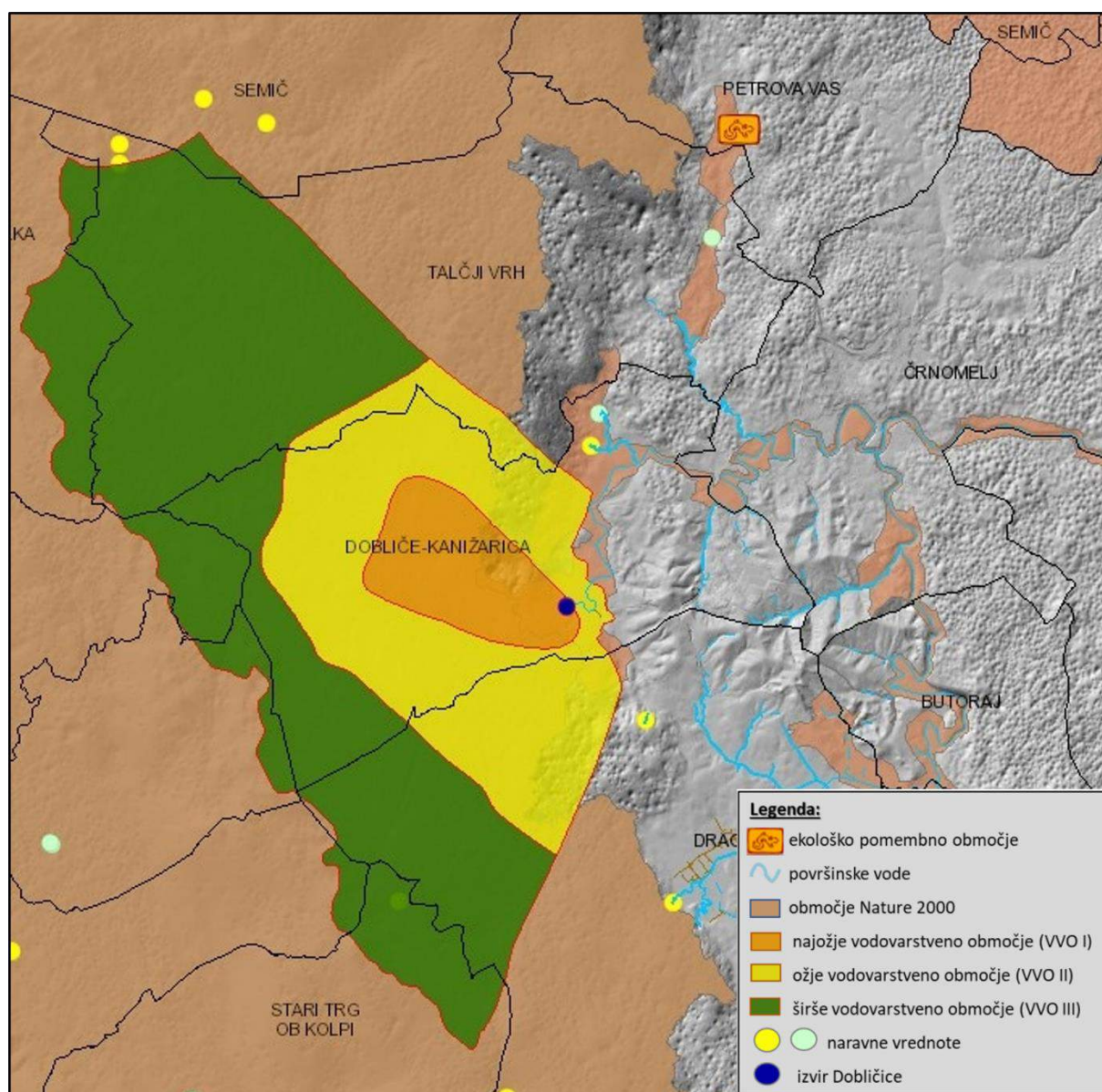
1. območja zajetij (VVO 0);
2. *najožja* območja (VVO I) z najstrožjim vodovarstvenim režimom;
3. *ožja* območja (VVO II) s strožjim vodovarstvenim režimom in
4. *širša* območja (VVO III) z milejšim vodovarstvenim režimom.

2.6.5 Trenutno vodovarstveno območje raziskovalnega ožjega območja

Bela krajina je zaradi velike tektonske pretrtosti kamnin in skromne debeline prepereline uvrščena med vodno in pokrajinsko zelo občutljive slovenske pokrajine. Z vidika zaščite njenih ključnih vodnih virov in zaradi dejstva, da se površinska razvodnica v kraških porečjih praviloma ne ujema z podzemeljsko, bi morala biti vodovarstvena območja obsežna in dejansko obsegati celotno potencialno hidrografska zaledje (npr. zajetega kraškega izvira), pa tudi zaradi dejstva, ker se v kraških porečjih praviloma površinska razvodnica ne ujema z dejansko, podzemeljsko razvodnico. Vodovarstveni režimi v Beli krajini bi morali izhajati iz celostnega upoštevanja pokrajinske kraške vodnoekološke občutljivosti (regionalne regeneracijske in nevtralizacijske sposobnosti), ki pa se lokalno razlikuje. O izjemno veliki pokrajinski občutljivosti kraškega sveta Bele krajine pričajo tudi presežene koncentracije nevarnih snovi v vodnih virih, ki so skupna rezultanta vodnoekološke občutljivosti in visokih koncentracij onesnažil (Plut, Trobec in Lampic, 2013).

Glede na zemljevid PISO (Prostorski informacijski sistem občin) spada del raziskovalnega območja ob zajetju Dobličice pod vodovarstveno območje VVO naziva Dobličica, ki je državnega nivoja ter območja zajetja (0) s površino 0,002 km², 1. varstvenega režima (VVO I) s površino 3,26 km², 2. varstvenega režima (VVO II) s površino 12,72 km² in 3. varstvenega režima (VVO III) s površino 26,08 km².

V varstveno območje spada torej le ena lokacija ožjega raziskovalnega območja, in sicer preliv Dobličice, medtem ko preostale lokacije vanj niso vključene.



Slika 24: Zavarovana območja raziskovalnega območja (izdelala Špela Vraničar, kartografska podlaga: Atlas okolja).

3 RAZISKOVALNI DEL

3.1 Sodelovanje z institucijami

V štirih let raziskovanja smo mladi raziskovalci sodelovali s številnimi institucijami in strokovnjaki:

- Nino Jankovič in Andrejem Hudoklinom iz Zavoda RS za varstvo narave OE Novo mesto,
- speleobiologom Gregorjem Aljančičem iz Jamskega laboratorija Tular,
- Društvom Proteus – gibanje za naravo in okolje Bele krajine,
- Inštitutom za mikrobiologijo in parazitologijo,
- Inštitutom za raziskovanje krasi,
- Biotehniško fakulteto,
- Kemijskim inštitutom Ljubljana,
- Agencijo RS za okolje,
- Geološkim zavodom Slovenije.

Sodelovanje, izmenjava/preverjanje mnenj in ugotovitev ter skupno predstavljanje na ekološko obarvanih dogodkih nam je dalo širino, da na pomen trajnostnega in sonaravnega ravnanja z naravo gledamo kritično in celostno. Tako pridobljeno znanje in poznanstva uporabljamo tudi za potrebe aktualne naloge.

Zaradi usmeritve bolj v geološko-ekološko smer se v zadnjem obdobju prednostno povezujeva z Izletniško kmetijo Zupančič, Komunalno Črnomelj in Geološkim zavodom Slovenije.

3.1.1 Izletniška kmetija Zupančič

Jelševnik in njegovo okolico sva spoznali s pomočjo gospoda Silva Zupančiča iz Izletniške kmetije Zupančič. Na njegovi posesti se nahajajo Jezero, bruhalnik Jamnice in bruhalnik, pokrit s ponjavo – Šotor oz. urejen izvir Na trati. Zupančič, d. o. o. je nosilec projekta *Predstavitev in varstvo človeške ribice, na primeru črne človeške ribice v Beli krajini*, v okviru katerega je bil izdelan muzej na prostem, kjer je prikazan model kraške jame s pretakanjem kraške vode. Urejena je bila pot do obeh bruhalnikov in postavljen nov šotor - pokriti bruhalnik. V slednjem so nameščene sonde ter kamera, ki spremlja pojavljanje črnega močerila, slika pa se predvaja na monitorju v muzeju.

Gospod Zupančič nama je pokazal izvire in naju seznanil še z bližnjim izvirom Obršec. Dovolil nama je prost dostop do vseh vodnih virov, za daljše obdobje nama je posodil dostop do šotora. V svoji ponudbi spominkov ima kmetija tudi knjižico *Kdo sem* o črnem močerilu Rudiju, ki smo jo pred dvema letoma napisali in izdali. Mladi raziskovalci SŠ Črnomelj z namenom ozaveščanja predvsem mladih o pomenu črnega močerila. Gospod naju vključuje v dogajanje, povezano s projektom, zato se velikokrat udeležujeva izobraževanj in prireditev, ki jih na njegovi kmetiji prirejajo strokovnjaki.

3.1.2 Geološki zavod Slovenije

Geološki zavod Slovenije (GeoZS) je javno raziskovalni zavod, ki ima nalogo raziskovati in hraniti geološke podatke za potrebe države in družbe. Sedež ima v Ljubljani, deluje pa na območju celotne Slovenije in širše. Interpretacija geoloških podatkov državi pomaga reševati nacionalne izzive na področju varovanja okolja, preskrbe s pitno vodo, zaščite pred naravnimi nesrečami, pri urbanističnem načrtovanju, izkoriščanju surovin ... Na zavodu se ukvarjajo z geološkim kartiranjem, znanstvenimi raziskavami, skrbijo za bazo podatkov, povezujejo se s sorodnimi organizacijami doma in po svetu, zelo radi ponudijo mentorstvo študentom, v našem primeru pa tudi dijakom. Ker naju je v sklopu

raziskovalnega dela geološki vidik raziskovanega območja zelo pritegnil, je mentorica vzpostavila kontakt z geologoma Rokom Brajkovičem in Katjo Koren, ki sta postala najina zunanja mentorja.

Da bi lažje razumeli geološko in tektonsko zgradbo obravnavanega območja na robu Črnomaljske kotline, sva že v okviru predhodne raziskovalne naloge (Bajuk in Vraničar, 2020) proučili priporočeno obstoječo strokovno literaturo. Geolog naju je popeljal na teren in nama podal celotno razlago tektonskega nastanka Bele krajine. Videno in slišano nama je pomagalo razumeti in uporabljati Osnovno geološko karto SFRJ, List Črnomelj (1984) ter že precej zastarelo literaturo, ki se v marsičem ne ujema s sodobnimi pogledi geologov. Na osnovi terenskega preučevanja in literature sva omejili prostor preučevanja, posodobili marsikatero geološko vedenje ter poskušali ugotoviti smeri podzemnega pretakanja vode. Izsledke sva v aktualni raziskovalni nalogi dopolnili z novimi spoznanji, do katerih sva prišli na podlagi samostojnega opazovanja območja ter ob pomoči mentorjev. Hidrogeologinja nama je pomagala pri meritvi vsebnosti nitrata v vzorcih vode iz izvirov, skupaj smo na terenu namestili sonde, svetovala nama je glede strukture naloge in bedela nad strokovnostjo glede metod dela ter meritev in analiz meritev.



Slika 25: Sodelovanje z Geološkim zavodom Slovenije.

3.1.3 Komunala Črnomelj

Sodelovanje z direktorjem Komunale Črnomelj Samom Kavčičem prav tako sega že v prvo leto delovanja Mladih raziskovalcev. Priskrbel nama je veliko uporabnih podatkov o komunalnem sistemu Črnomlja. Ker je vodno zajetje Dobliče v upravljanju Komunale, sva se za dostop do merilne postaje dogovorili z upravljalcem. Komunala ima na merilnem mestu Dobliče nameščeno sondo za avtomatsko merjenje gladine vode, temperature vode, motnosti, koncentracijo organske snovi v vodi, pH vode in redoks potencial. Zbrane vrednosti meritev temperature vode in gladine vode so nama posredovali, da sva jih lahko uporabili za potrebe svoje raziskovalne naloge.

3.2 Zbiranje prosto dostopnih podatkov in proučevanje literature

Ko sva se pred štirimi leti lotili raziskovanja habitata črnega močerila ter značilnosti samega organizma, sva bili še popolnoma nevedni. S proučevanjem literature, ki so nama jo priporočili strokovnjaki iz institucij, s katerimi sva takrat sodelovali, sva pridobili osnovno znanje, ki nama je v veliko korist še danes. Opozorjeni sva bili, pa tudi sami sva ugotovili, da je literature malo oziroma je ta pomanjkljiva in zastarela. Podatke sva črpali tudi iz priloge najine prejšnje raziskovalne naloge z naslovom *Pomagajmo preživeti črnemu močerilu* (2020) in raziskovalne naloge Vida Kavčiča z naslovom *Analiza vode izvirov nahajališč črne človeške ribice* (2021).

Temeljno literaturo za aktualno nalogo, usmerjeno v hidrogeologijo, sva pridobili iz arhiva Geološkega zavoda Slovenije. Pomagali pa sva si še z magistrskim delom Milene Zlokolica z naslovom *Hidrogeološke značilnosti zaledja izvira Dobličice* (1990) in diplomskim delom Vesne Fabjan z naslovom *Poskusni priročnik za učitelje geografije za organizacijo ekskurzije v Belo krajino* (2000). Predvsem sva si pomagali z zapisi Petra Habiča, Janje Kogovšek, Mihaela Briclja in Martine Zupan (1990) ter Dušana Pluta (2013).

Pri razpravi sva se osredotočili v prvi meri na najine novo pridobljene rezultate meritev in obdelave pridobljenih podatkov, ki sva jih primerjali z že obstoječimi podatki in spoznanji preteklih raziskovalnih nalog. Podatke sva časovno uvrstili v poletni (5. 7. 2021—23. 9. 2021) in jesenski letni čas (24. 9. 2021—21. 12. 2021). Večino starejših podatkov (2010—2019) sva dobili iz arhiva ARSA, poročila *Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji* (Dobnikar Tehovnik, Gacin in Mihorko, 2019), raziskave z naslovom *Dobličica in njeno širše zaledje* (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990) in *Ocene okoljskega onesnaževanja kraškega podzemlja v Jelševniku pri Črnomlju in vplivov na črno podvrsto močerila* (Bulog, 2009). Rezultate pa sva primerjali tudi s podatki najine prejšnje raziskovalne naloge *Pomagajmo preživeti črnemu močerilu* (Bajuk in Vraničar, 2020) ter raziskovalne naloge mladega raziskovalca Vida Kavčiča z naslovom *Analiza vode izvirov nahajališč črne človeške ribice* (Kavčič, 2021).

Podatke o padavinah, zračnem tlaku in temperaturi zraka sva pridobili na spletni strani ARSO (meteo.si - [Uradna vremenska napoved za Slovenijo](https://gov.si) - [Državna meteorološka služba RS](https://gov.si) - [Vreme podrobneje](https://gov.si) (gov.si)). Meritve so bile zabeležene na vremenski postaji v Dobličah, ta se nahaja na nadmorski višini 157 m v bližini najin izvir. Interval meritev je na 30 minut.

3.3 Terensko delo

S terenskim delom na ožjem raziskovalnem območju na lokacijah 1, 2, 3, 4 in 6 sva začeli julija 2021, na lokaciji 5 pa avgusta 2021 (zaradi poznejše namestitve avtomatskega merilnika) in zaključili decembra 2021. Skupaj z mentorji iz Geološkega zavoda smo namestili/pobrali sonde in si ogledali izvore. Na terenskih pohodih sva beležili vse, kar je bilo ugotovljenega in izrečenega ter te vsebine pozneje umestili v vsebino naloge.

Delo na terenu je potekalo enkrat tedensko, navadno ob vikendih, ob različnih urah, najpogosteje v popoldanskem času. Sočasno je potekalo tudi laboratorijsko delo v sodelovanju z Geološkim zavodom Slovenije. Ker je terensko delo potekalo na območju habitata močerila, sva morali biti previdni, da organizmov ne vznemirjavo (predvsem z zvočnimi in svetlobnimi dejavniki) in da ne vneseva morebitne bolezni. Za to sva poskrbeli z nekontaminirano obutvijo in posodjem. Ker so imele na nekaterih lokacijah (predvsem 1 in 2) svoje merilne naprave še nekatere institucije, sva bili pazljivi, da nisva ovirali njihovih raziskav.

Sproti sva določene meritve in opažanja zapisovali v tabelo (Glej *Prilogo 1*).

Lokacije terenskega dela sva označili, kot prikazuje *Tabela 1*.

Tabela 1: Oznake lokacij vzorčenja

Lokacija	Obršec	Na trati	Jamnice	Otovski breg	Pački breg	Dobličica
Zapisna št.	1	2	3	4	5	6

3.3.1 Meritve gladine vode

3.3.1.1 Ročne meritve

Gladino vode sva merili ročno z zložljivim metrom v enoti centimeter (cm). Enoto sva za namen obdelave podatkov pretvorili v enoto meter (m). Merilno mesto je bilo vedno enako: na lokaciji 1 (Obršec) na trdni podlagi približno 20 cm stran od kopnega; na lokaciji 2 (Na trati/Šotor) ob večjem kamnu, ki je bil na desni polovici sifona; na lokaciji 3 (Jamnice) od kamna z belo liso, ki se nahaja pred večjo odprtino; na lokaciji 4 (Otovški breg) sva imeli dve merilni mesti, ki sva jih označili z L (levo) in D (desno). Na L sva jo merili približno 40 cm od velike odprtine in 25 cm od roba struge, kjer sva stali. Na D sva jo merili ob večjem kamnu, na katerem sva tudi stali. Na lokaciji 5 (Pački breg) sva jo merili 15 cm od roba struge, na lokaciji 6 (Dobličica) pa ob izbočenem kamnu, 10 cm od roba struge. Ročno merjenje gladine vode sva izvajali predvsem na lokacijah 3 in 4, kjer ni bilo vzpostavljenih digitalnih meritev. Ročno merjenje je bilo na nekaterih lokacijah ob izredno visoki gladini vode onemogočeno, predvsem na lokaciji 6.



Slika 26: Ročne meritve gladine vode.

3.3.1.2 Digitalne meritve

Digitalno oziroma avtomatsko merjenje gladine vode je bilo vzpostavljeno sprva na lokacijah 1 in 2, pozneje, v začetku avgusta 2021, pa še na lokaciji 5. Podatke o gladini vode za lokacijo 6 sva dobili od Komunale Črnomelj, ki na tem mestu izvaja avtomatske meritve z intervalom na 5 minut.



Slika 27: Sonde za zvezne meritve gladine vode, temperature vode in električne prevodnosti vode.

Na lokacijah 1 in 2 sta bili v juliju vgrajena diver-ja - Registratorja GSR 130NT in GSR 130NTG, ki merita absolutni nivo (absolutni tlak), nato se s pomočjo podatkov o zračnem tlaku, pridobljenih z samodejne meteorološke postaje Črnomelj – Dobliče iz arhiva ARSO, izračuna dejansko gladino vode nad sondo. Na podlagi znane nadmorske višine terena pa potem gladino vode na izviru. Merilno območje teh diverjev je 0—9,99 m. Interval meritev je na 60 minut. Pri montaži merilnikov se ohišje obesi na jekleno vrv in spusti na merilno mesto (Eltratec, 2010).

Sonda, ki je bila nameščena na lokaciji 5, je imela še registrator, zato so bili podatki o gladini avtomatsko preračunani na gladino vode nad sondo, brez potrebnih poznejših preračunov. Sonda ima merilno območje 0–99 m in daje zato manj natančne podatke. Interval meritev je prav tako na 60 minut.

3.3.2 Zvezne meritve električne prevodnosti vode

Za meritve električne prevodnosti vode sva prav tako uporabljali sonde za avtomatsko merjenje - Registratorja GSR 130NT in GSR 130NTG. Podatke o električni prevodnosti sva tako dobili za lokacije 1, 2 in 5. Na lokacijah 1 in 2 je bilo merilno območje 10–2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mikroSiemensov na centimeter) z intervalom meritev na 60 min. Merilna negotovost je $\pm 50 \mu\text{S}/\text{cm}$ ($< 2\%$). Na lokaciji 5 je imela sonda merilno območje za električno prevodnost 0,1–10 mS/cm (miliSiemensov na centimeter), kar je bilo potrebno pretvoriti v enoto mikroSiemens na centimeter. Zaradi prevelikega merilnega območja sonde, vgrajene na lokaciji 5, je prišlo do prevelikih odstopanj $\pm 400 \mu\text{S}/\text{cm}$, zato so dobljeni podatki nereprezentativni in sva na podlagi dobljenih vrednosti spremljali le morebitna nihanja. Interval meritev je bil na 60 min.

3.3.3 Zvezne meritve temperature vode

Pridobivanje podatkov za temperaturo vode je prav tako potekalo digitalno - avtomatsko, z diverji oz. sondo - Registratorja GSR 130NT in GSR 130NTG na lokacijah 1, 2 in 5. Podatke za lokacijo 6 sva dobili od Komunale Črnomelj, ki jih na tem mestu pridobiva avtomatsko z intervalom meritev na 5 min.

Na lokacijah 1, 2 in 5 je merilno območje naprav 0–50 °C (stopinj Celzija) z intervalom meritev na 60 min. Merska napaka je v območju $\pm 0,30$ °C za diverja na lokaciji 1 in 2 ter $\pm 0,40$ °C za sondo na lokaciji 5.

3.3.4 Vzorčenje vode



Vodo sva vzorčili enkrat tedensko, ob koncu tedna, iz 6 lokacij ožjega raziskovalnega območja, navadno v popoldanskem času. Pogostejše vzorčenje je bilo izvedeno v posebnih primerih, kot so obdobje po večji količini padavin, minimum in maksimum gladine vode ter po daljšem sušnem obdobju. Za vzorčenje sva uporabili 100 ml (mililitrske) plastične epruvete ali pa dve 50 ml plastični epruveti za posamezno lokacijo. Pred odvzemom vzorcev vode sva embalažo sprali z vodo iz posameznega izvira. Prenos vzorcev do laboratorija je potekal v hladnem in temnem prostoru.

Slika 28: Epruvete za vzorčenje vode.

3.4 Laboratorijsko delo

Laboratorijsko delo je zajemalo meritve nitrata v vodi. Meritve je naredila Katja Koren, univ. dipl. inž. geol., z oddelka za hidrogeologijo – podzemne vode z Geološkega zavoda Slovenije.

3.4.1 Meritve nitrata v vodi

Za meritve nitrata v vodi je bil uporabljen merilni instrument Spektrometer UV-VIS Spectro::lyserTM. Naprava deluje lasersko (optično določanje vrednosti) - na podlagi odboja laserskih žarkov se določi spekter in vsebnost dušika v nitratu (NO_3^- -N). Meritve so bile izvedene najpozneje v roku 72 ur po vzorčenju z vsaj 50 ml vzorca, hlajenega v hladilniku pri 2–5 °C. Pred vsako meritvijo se najprej pomeri delovni standard (hišni), ki je ultračista voda (vrednost je $0 \pm 0,1 \text{ NO}_3^-$ -N mg/L) in ob koncu meritev še delovni standard - vodovodna voda (vrednost $2,3 \pm 0,1 \text{ NO}_3^-$ -N mg/l). Na podlagi meritev oz. preveritev rezultatov hišnih oz. delovnih standardov se ugotovi pravilnost delovanja instrumenta. Vse izmerjene vrednosti dušika se korigirajo na podlagi korekcijske enačbe, dobljene na podlagi izmerjenih koncentracij raztopin v laboratoriju Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano Koper (NLZOH) in delovnih oz. laboratorijskih standardov.



Slika 29: Laboratorijsko delo.

Enačba za preračun koncentracije nitrata v vodi z upoštevanom korekcijo:

$$\text{NO}_3^-_{\text{izračunan}} [\text{mg/l}] = \left((0,027 \times \text{NO}_3^- - N_{\text{izmerjen}})^2 + (1,2493 \times \text{NO}_3^- - N_{\text{izmerjen}} - 0,1286) \right) \times 4,4$$

3.5 Obdelava podatkov

3.5.1 Obdelava arhivskih podatkov in podatkov preteklih analiz

3.5.1.1 Obdelava podatkov, pridobljenih v sklopu raziskave Dobličica in njeno širše zaledje (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990)

V letih 1986–90 je bila Dobličica vzorčena 17-krat, Jelševnik 16-krat in Obršec 12-krat (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990). Jesenske vode so bile zajete leta 1986 in 1987, spomladanske pa od 1987 do 1990. V okviru raziskav so med drugim merili temperaturo vode v izviri in koncentracijo nitratov (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990). Lokacija Dobličice se nekoliko razlikuje od najine, namreč v okviru raziskav 1986–1990 so na lokaciji Dobličice vzorčili iz jezera (zajetja), medtem ko sva medve vzorčili na prelivu, ki je 100 m po toku oddaljen od zajetja. Tudi lokacija Jelševnik se nekoliko razlikuje, saj gre v preteklih raziskavah za Jezero v bližini najinih lokacij 2 in 3. Lokacijo Jelševnik lahko primerjamo z lokacijo 3 (saj sta ti dve lokaciji povezani).

V raziskavi 1986–1990 so podali podatke o razponu izmerjene temperature (°C) za lokacije Pački breg, Otovski breg, Jelševnik (Jezero), Obršec in Dobličica (zajetje). Te podatke sva nato lahko primerjali z razponi temperature (Min.—Max.), izmerjene v obdobju najinih raziskav (julij 2021—december 2021:

lokacije 1 in 6, avgust 2021—december 2021: lokacija 5 ter julij 2019—december 2019: lokaciji 3 in 4). Nato sva na podlagi razponov, zabeleženih v raziskavi 1986-1990 (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990) izračunali povprečne vrednosti temperature vode za posamezno lokacijo (*Enačba 4*), ki ne podaja nujno pravega podatka povprečne temperature vode v letih 1986—1990, a vseeno prikaže neko okvirno vrednost, na katero sva se lahko oprli pri interpretaciji rezultatov. Da sva lahko primerjali še nihanje temperature vode v obdobju 1986—1990 z najinimi podatki, sva nihanje izračunali po formuli, ki jo prikazuje *Enačba 5*.

$$\bar{T}_{(1986-1990)} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

Enačba 4

$$T_{max} - T_{min}$$

Enačba 5

Dobljene vrednosti sva nato predstavili v tabeli.

V raziskavi (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990) so bile podane povprečne koncentracije nitrata v vodi (mg/l), izmerjene v lokacijah Obršec, Pački breg, Otovski breg, Dobličica (zajetje) in Jelševnik (Jezero), v obdobju 1986—1990. Za primerjavo z najinimi izmerjenimi povprečnimi koncentracijami nitrata v lokacijah 1, 3, 4, 5 in 6 sva razlike podali procentualno (*Enačba 6*).

$$\Delta_{koncentracija\ nitrata\ v\ vodi} [\%] = \frac{|(povprečna\ koncentracija\ nitrata\ v\ vodi)_2 - (povprečna\ koncentracija\ nitrata\ v\ vodi)_1| [mg/l]}{(povprečna\ koncentracija\ nitrata\ v\ vodi)_2 [mg/l]} \times 100$$

Enačba 6

V *Enačbi 6* (*povprečna koncentracija nitrata v vodi*)₁ predstavlja povprečno koncentracijo nitrata v vodi, izmerjeno v okviru raziskave (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990), (*povprečna koncentracija nitrata v vodi*)₂ pa povprečno koncentracijo nitrata v vodi, izmerjeno v okviru najinih raziskav.

3.5.1.2 Obdelava podatkov Ocene okoljskega onesnaževanja kraškega podzemlja v Jelševniku pri Črnomlju in vplivov na črno podvrsto močerila (Bulog, 2009)

Iz poročila prof. dr. Buloga (Bulog, 2009) sva črpali podatke o električni prevodnosti vode (μS/cm) in povprečni koncentraciji nitrata (mg/l) med letoma 2000 in 2008 na Jelševniku, ki sovpada z najino lokacijo 2.

Podatek o električni prevodnosti je bil zapisan v razponu med najvišjo in najnižjo izmerjeno vrednostjo (Min.—Max.), kar sva potem lahko primerjali z razponom najinih podatkov, pridobljenih v obdobju julij 2021—december 2021.

Tudi za vsebnost nitrata v vodi je bil v omenjeni literaturi podan razpon podatkov (Min.—Max.), ki sva ga nato lahko primerjali z razponom podatkov najinih meritev. Ker naju je tudi v tem primeru zanimala procentualna sprememba koncentracije nitrata v vodi, sva najprej rezultatom iz poročila prof. dr. Buloga (2009) določili okvirno povprečno vrednost za obdobje 2000—2008, ki sva jo izračunali na enak način, kot je prikazan izračun za temperaturo v *Enačbi 4*. Nato sva za procentualni podatek uporabili formulo, ki je prikazana v *Enačbi 5*, le da sva za (*povprečna koncentracija nitrata v vodi*)₁ uporabili podatek prej izračunane povprečne vrednosti nitrata v vodi za obdobje 2000—2008.

3.5.1.3 Obdelava podatkov iz arhiva ARSA

Koncentracija nitrata v vodi

Podatke o vsebnosti nitrata v vodi (mg/l) v obdobju 2010—2019 za lokacije Dobličica (zajetje), Jelševnik (Jezero), Otovski breg in Pački breg sva črpali iz poročila *Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji* (Dobnikar Tehovnik, Gacin in Mihorko, 2019). Rezultati so bili pridobljeni v okviru državnega monitoringa stanja podzemne vode, ki ga izvaja ARSO. Državni monitoring poteka z manjšo pogostostjo kot je najin odvzem vzorcev, zato s primerjavo podatkov lahko dobimo le približen vpogled v spremembo stanja vode skozi leta. Najprej sva iz omenjenega poročila v tabelo izpisali podatke o koncentraciji nitrata v vodi za lokacije Dobličica, Jelševnik, Otovski breg in Pački breg po letih in mesecih ter vrednosti primerjale z najinimi.

Določitev efektivnih padavin

Količina padavin

Podatke za polurno in dnevno količino padavin (v enoti mm) za obdobje 5. 7. 2021—21. 12. 2021 in kraj Dobličica-Črnomelj sva dobili, kot že omenjeno, iz Arhiva ARSA (www.meteo.si, 2022), vendar sva jih morali za različne prikaze rezultatov predhodno obdelati. Kjer sva uporabili mesečne količine padavin (*Grafa 23 in 25*), sva dnevne padavine (vsota padlih padavin v enem dnevu) za posamezen mesec sešteli s pomočjo Excelove funkcije SUM (vsota). Kot skromne padavine sva opredelili količino padavin do 5 mm/dan, kot obilnejše pa nad 10 mm/dan.

Evapotranspiracija

Podatke o evapotranspiraciji (v mm) sva pridobili iz arhiva ARSA, in sicer za kraj Črnomelj po dnevih od leta 2017 do 2022. Naju so zanimali podatki od julija 2021 do decembra 2021. Da sva dobili mesečno vrednost evapotranspiracije sva s pomočjo funkcije SUM (vsota) sešteli dnevne podatke za posamezen mesec.

Efektivne padavine

Za izračun efektivnih padavin (*Enačba 7*) sva uporabili prej določene vrednosti mesečnih padavin (v mm) in evapotranspiracije (v mm).

$$\text{količina efektivnih padavin [mm]} = (\text{količina padavin [mm]}) - (\text{evapotranspiracija [mm]})$$

Enačba 7

3.5.1.4 Obdelava podatkov raziskovalne naloge Analiza vode izvirov nahajališč črne človeške ribice (Kavčič, 2021)

Iz raziskovalne naloge Kavčiča (2021) sva črpali podatke o povprečnih koncentracijah nitrata, predvsem v poletnem (2020) in jesenskem času (za leti 2019 in 2020), za lokacije 1, 2, 3 in 4. Tudi za te podatke so naju zanimala procentualna odstopanja vrednosti od najinih, kar sva izračunali po formuli *Enačbe 6*, kjer (*povprečna koncentracija nitrata v vodi*)₁ predstavlja povprečno koncentracijo nitrata v vodi, izmerjeno v okviru raziskave (Kavčič, 2021),

3.5.2 Obdelava novih podatkov

Podatke o gladini, temperaturi in elektroprevodnosti vode na treh izbranih izviri (1, 2 in 5), iz avtomatskih merilnikov so nama posredovali geologi iz Geološkega zavoda Slovenije. Podatke so

pridobili tako, da so sonde za avtomatske meritve najprej potegnili iz vode in s pomočjo komunikacijskega kabla in prenosnika s programsko opremo podatke prenesli.

Dobljene podatke sva obdelali v programu Excel. V istem programu sva si sproti beležili dobljene podatke o ročnih meritvah gladine vode in količini padavin ter ostalih opaženih posebnostih (barva in motnost vode, število osebkov, neprijeten vonj vode, vremenske razmere) iz terena. Tabela je priložena kot *Priloga 2*. Ker sva dobili podatke iz avtomatskih merilnikov z različnimi intervali meritev, sva jih morali najprej uskladiti, torej podatke z manj pogostim intervalom sva vstavili med podatke z večjo pogostostjo. Pomagali sva si s programom Excel, s funkcijama *CONCATENATE* in *VLOOKUP*. Za izris grafov sva uporabljali *raztresene* in *kombinirane grafikone* s primarno in sekundarno y osjo. Za statistične obdelave podatkov sva uporabljali osnovne statistične formule *MIN* (najnižja), *MAX* (najvišja) in *AVERAGE* (povprečje).

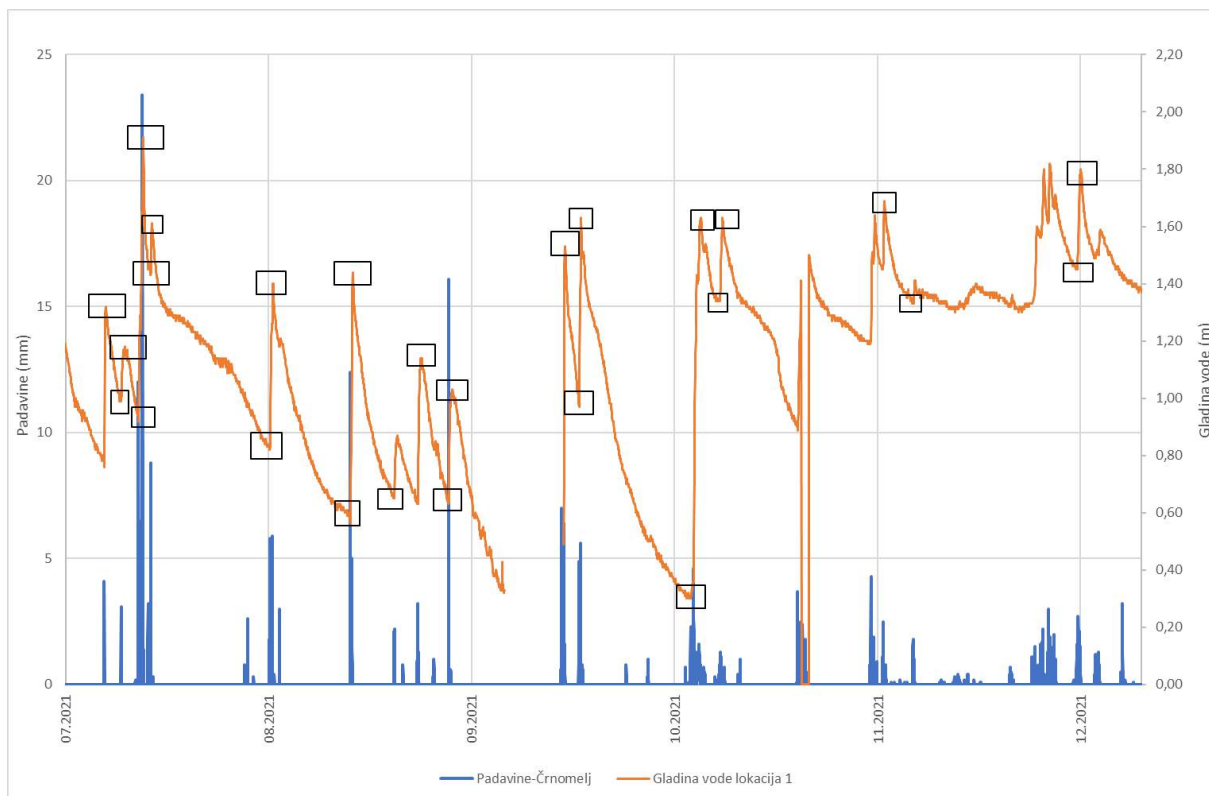
3.5.2.1 Obdelava podatkov gladine vode

Podatke o gladini vode za lokacije 1, 2, 5 in 6 sva statistično obdelali z osnovnimi statističnimi formulami v programu Excel in podatke zapisali v tabelo. Urne podatke (za lokacije 1, 2 in 5) in petminutne podatke (lokacija 6) o gladini vode pa sva prikazali grafično.

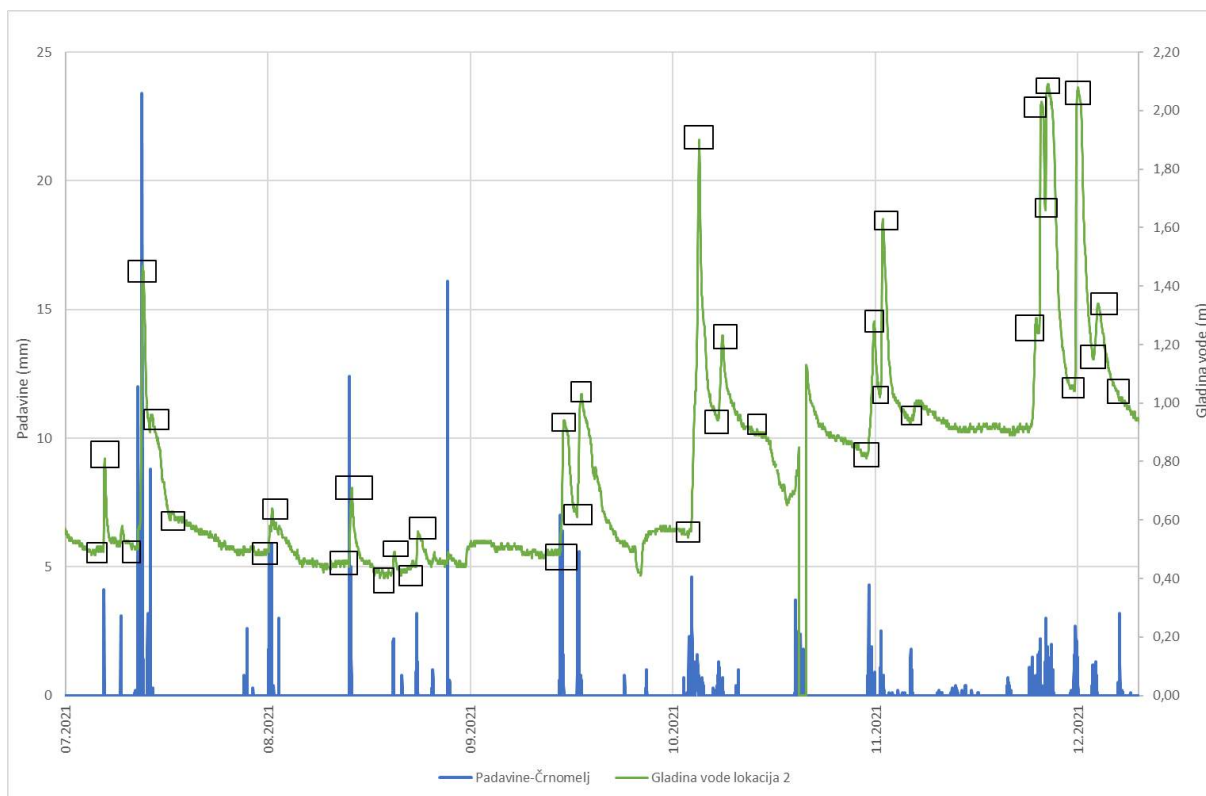
Na podlagi izrisanih grafikonov sva nato videli, da se določeni izviri hitro odzivajo na padavine. Ob tem naju je zanimala povprečna hitrost padca in dviga vode v posameznem izviru. V ta namen sva osamili posamezni dvig in padec (val) (*Grafi 1–4*) ter podatke o času in takratni gladini vode v posameznem izviru zabeležili v Excelu. Hitrost padca in dviga sva izračunali po *Enačbi 8*.

$$v = \frac{|(\text{končna gladina vode}) [\text{cm}] - (\text{začetna gladina vode}) [\text{cm}]|}{(\text{konec padanja oz. naraščanja gladine vode}) [\text{h}] - (\text{začetek padanja oz. naraščanja gladine vode}) [\text{h}]} [\text{cm/h}]$$

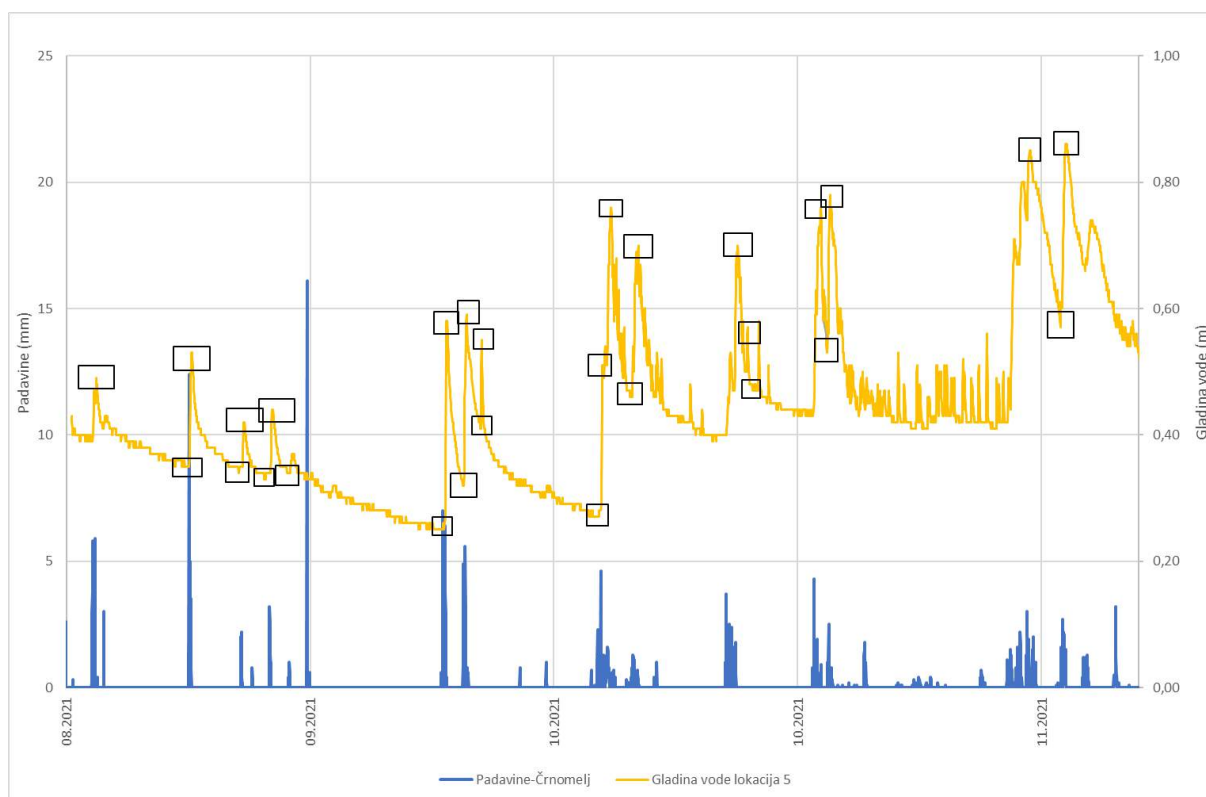
Enačba 8



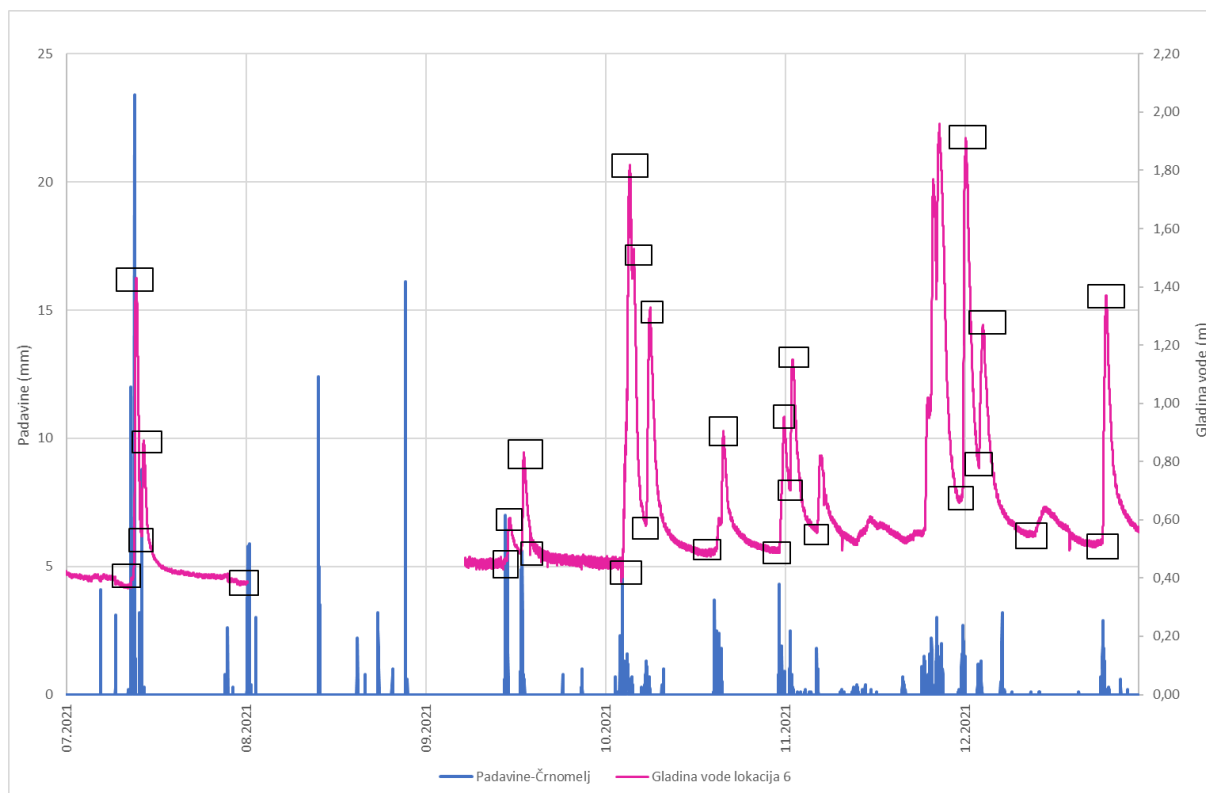
Graf 1: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca gladine vode na lokaciji 1.



Graf 2: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca gladine vode na lokaciji 2.



Graf 3: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca gladine vode na lokaciji 5.



Graf 4: Oznaceni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca gladine vode na lokaciji 6.

Povprečne hitrosti dviga in padca gladine sva izračunali tako, da sva zanemarili najmanjši in največji podatek. Kjer sva za hitrost padcev dobili negativne vrednosti, sva pri izračunu povprečne hitrosti uporabljali absolutne vrednosti posameznih podatkov.

Zanimalo naju je tudi, koliko hitreje se gladina vode dvigne, kot pade, kar sva izračunali po formuli, ki jo prikazuje *Enačba 9*.

$$\frac{\bar{v}_{\text{dviga gladine vode}} [\text{cm/h}]}{\bar{v}_{\text{padca gladine vode}} [\text{cm/h}]}$$

Enačba 9

Podatke sva predstavili v tabeli.

3.5.2.2 Obdelava podatkov električne prevodnosti vode

Za lokacije 1, 2 in 5 sva izrisali grafe o urnih vrednostih električne prevodnosti, za lokacijo 5 pa sva jih uporabili le kot spremljanje spremembe in ne dejanskih vrednosti električne prevodnosti vode (zaradi prevelike merske napake instrumenta) v odvisnosti od ostalih parametrov (padavine, gladina vode, koncentracija nitrata v vodi in temperatura vode). Podatke o električni prevodnosti za lokacijo 1 in 2 sva statistično obdelali z osnovnimi statističnimi funkcijami v programu Excel za celotno obdobje merjenja, po mesecih in letnih časih ter rezultate prikazali v tabeli. Za procentualno primerjavo med povprečnimi poletnimi vrednostmi električne prevodnosti z jesenskimi, sva uporabili izračun, ki ga prikazuje *Enačba 10*.

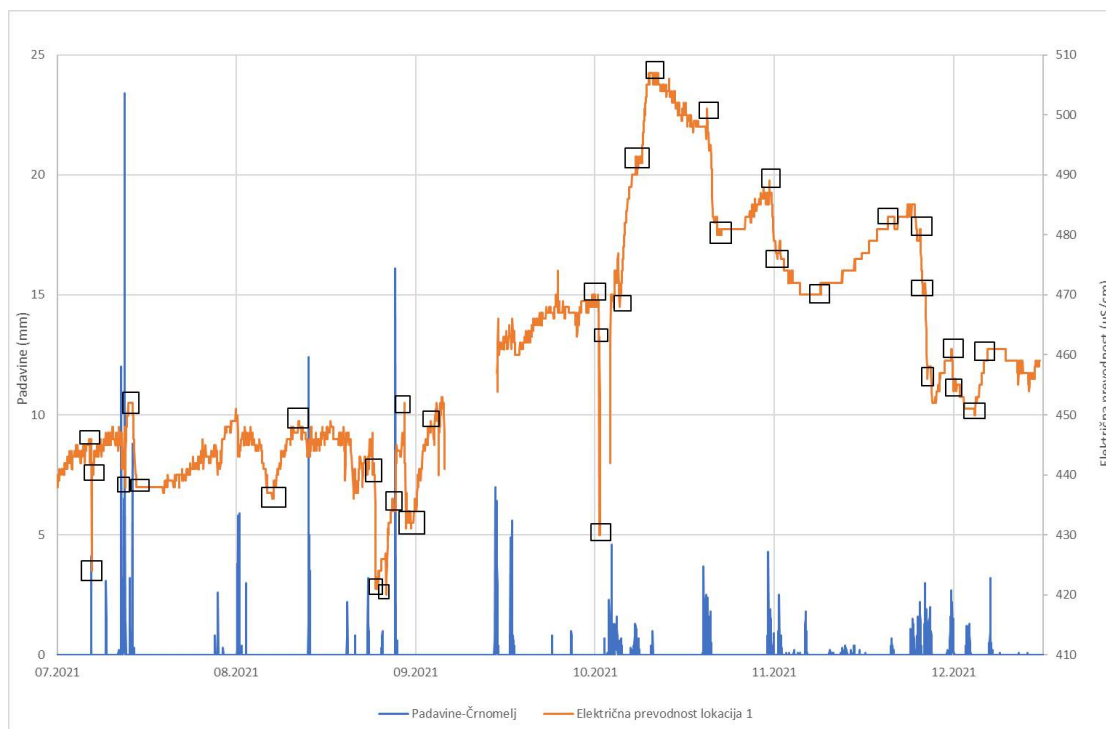
$$\Delta_{\text{el. prevodnost}} [\%] = \frac{(\text{povprečna jesenska el. prevodnost} [\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}]) - (\text{povprečna poletna el. prevodnost} [\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}])}{\text{povprečna jesenska el. prevodnost} [\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}]} \times 100$$

Enačba 10

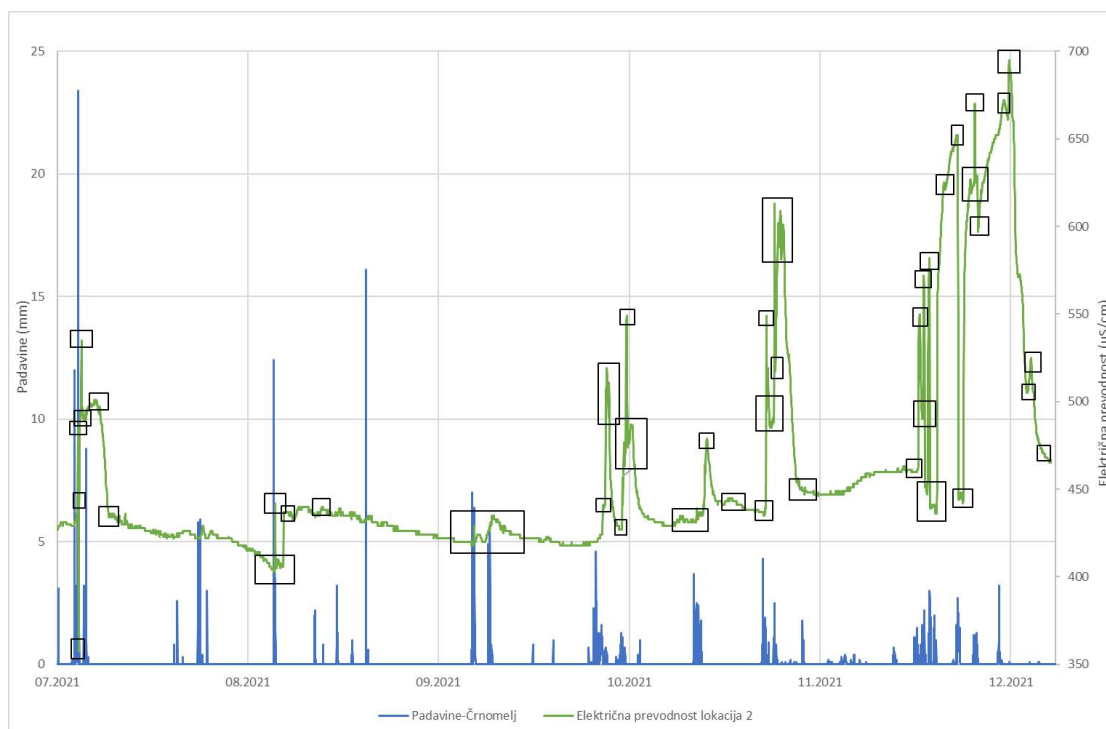
Zanimalo naju je, kako hitro se električna prevodnost na lokaciji 1 in 2 spreminja (pade ali zraste). V ta namen sva osamili posamezni dvig in padec (val) (Grafa 5 in 6) ter podatke o času in takratni električni prevodnosti vode v posameznem izviru zabeležili v Excelu. Hitrost padca in dviga sva izračunali po Enačbi 11.

$$v = \frac{\left| (\text{končna el. prevodnost}) \left[\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} \right] - (\text{začetna el. prevodnost}) \left[\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} \right] \right|}{(\text{konec padanja oz. naraščanja el. prevodnosti})[h] - (\text{začetek padanja oz. naraščanja el. prevodnosti})[h]} \left[\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} / h \right]$$

Enačba 11



Graf 5: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca električne prevodnosti vode na lokaciji 1.



Graf 6: Označeni odseki za izračun povprečne hitrosti dviga in padca električne prevodnosti vode na lokaciji 2.

Povprečne hitrosti sva izračunali tako, da sva zanemarili najmanjši in največji podatek. Ker sva za hitrost padcev dobili negativne vrednosti, sva pri izračunu povprečne hitrosti uporabljali absolutne vrednosti posameznih podatkov.

Zanimalo naju je tudi, koliko hitreje električna prevodnost naraste, kot pade, kar sva izračunali po formuli, ki jo prikazuje *Enačba 12*.

$$\frac{\bar{v}_{dviga\ el.\ prevodnosti} \left[\frac{\mu S}{cm} / h \right]}{\bar{v}_{padca\ el.\ prevodnosti} \left[\frac{\mu S}{cm} / h \right]}$$

Enačba 12

Podatke sva predstavili v tabeli.

3.5.2.3 Obdelava podatkov temperature vode

Urne podatke (za lokacije 1, 2 in 5) ter petminutne podatke (za lokacijo 6) o temperaturi vode sva predstavili grafično, hkrati pa sva te podatke statistično obdelali z osnovnimi statističnimi funkcijami v programu Excel in jih predstavili v tabeli. Podatke sva statistično obdelali za celotno obdobje meritev in nato še po letnih časih. Podatke sva prikazali tudi z razponom Min.—Max. podatek in izračunali nihanje po formuli, ki jo prikazuje *Enačba 5*.

3.5.2.4 Obdelava podatkov koncentracije nitrata v vodi

Dobljene tedenske in povprečne mesečne podatke o koncentraciji nitrata za vse lokacije sva predstavili grafično v primerjavi z ostalimi parametri (padavine in efektivne padavine). Z osnovnimi statističnimi funkcijami sva v programu Excel podatke statistično obdelali za celotno obdobje vzorčenja, po mesecih in po letnih časih za posamezno lokacijo ter rezultate predstavili v tabeli.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 Stanje vode na opazovanih izviri

V tem razdelku dobljene rezultate predstavlja rezultate grafično in tabelarno skupaj z interpretacijo. Prikazani so rezultati meritev gladine vode, povprečne hitrosti padca in dviga gladine vode, električne prevodnosti, povprečne hitrosti dviga in padca električne prevodnosti vode, temperature vode in koncentracije nitrata v vodi glede na učinkovite padavine. Predstavili sva tudi odvisnost parametrov od ostalih parametrov, na koncu pa še ovrednotili najine hipoteze.

4.1.1 Gladina vode v izviri

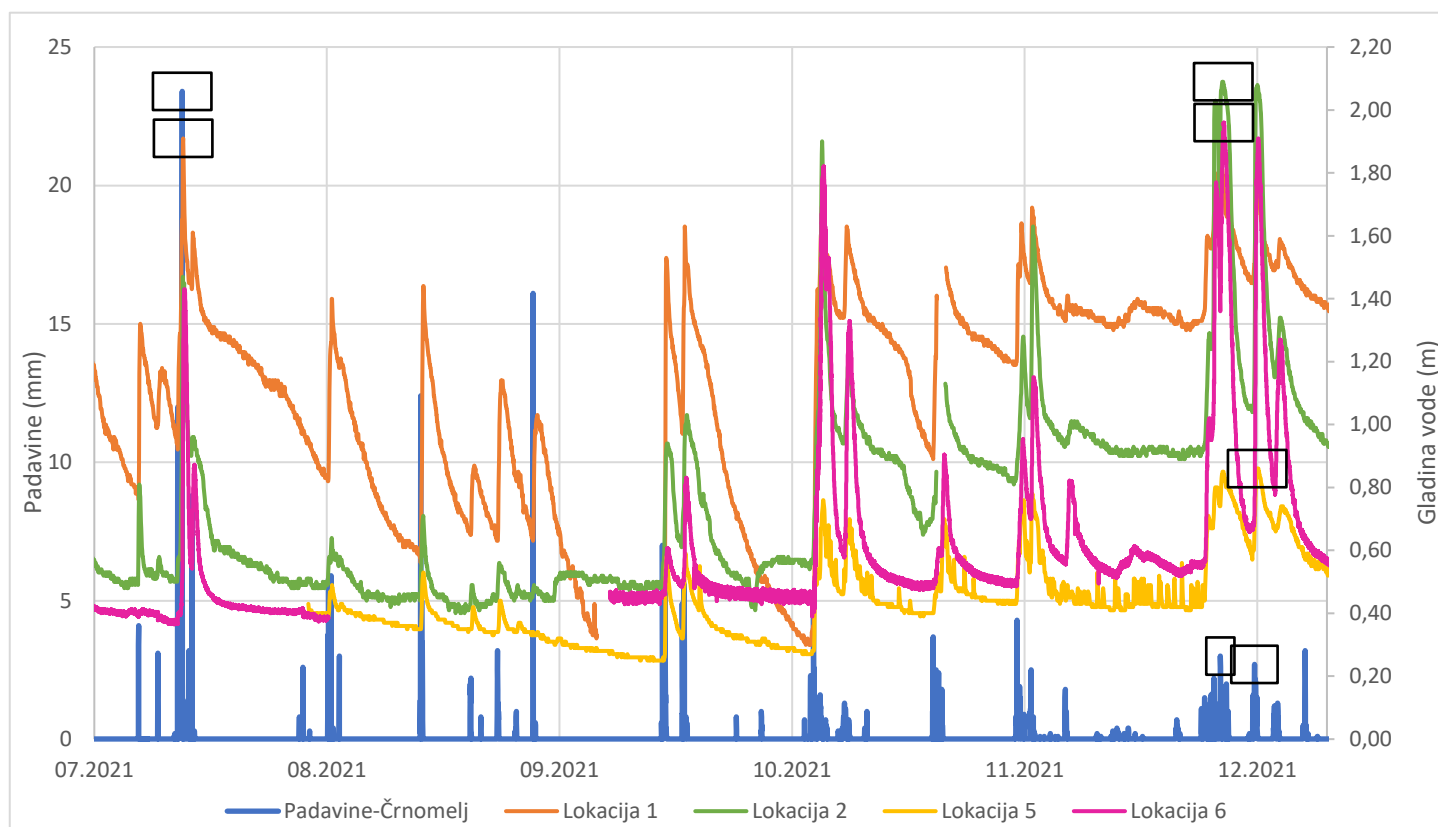
V tem delu sva se osredotočili predvsem na meritve gladine vode na lokacijah 1, 2, 5 in 6, saj so bile te izvedene avtomatsko in sva pridobili več (zanesljivih) podatkov kot za preostali lokaciji, kjer sva gladino merili ročno le enkrat na teden. Pridobljene podatke sva statistično obdelali, rezultati so prikazani v Tabeli 2.

Tabela 2: Tabela statističnih podatkov o gladini vode (m) in povprečnih hitrosti (cm/h) padcev in dvigov gladine vode za lokacije 1, 2, 5 in 6.

	1	2	5	6
Povprečna vrednost [m]	1,08	0,76	0,44	0,48
(Min.—Max.) [m]	(0,00—1,91)	(0,40—2,09)	(0,25—0,86)	(0,37—1,96)
Hitrost dviga [cm/h]	6,85	3,88	2,86	4,27
Hitrost padca [cm/h]	0,66	1,48	0,69	1,41
$\frac{\bar{v}_{dviga\ gladine\ vode}[cm/h]}{\bar{v}_{padca\ gladine\ vode}[cm/h]}$	10,5	2,6	4,2	3,0

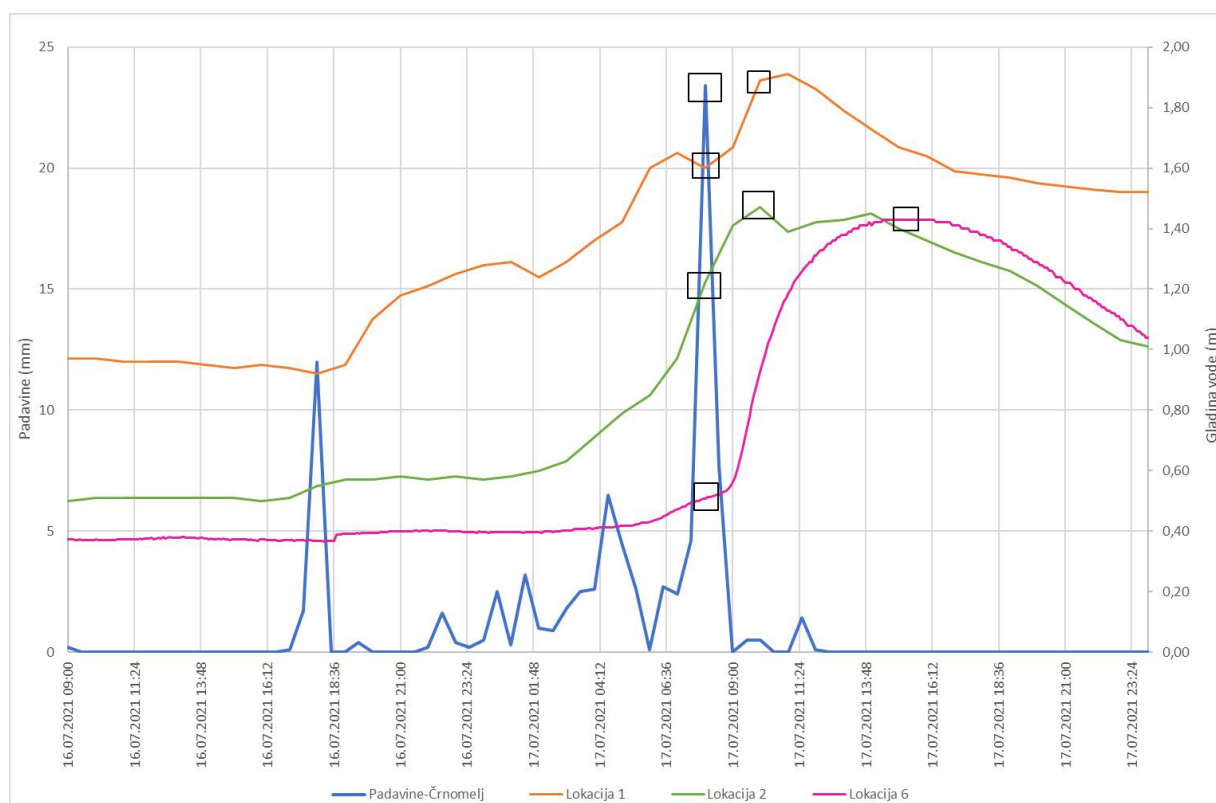
Iz Grafa 7 in Tabele 2 je razvidno, da se gladina vode na vseh šestih lokacijah odzove na padavine, najhitreje na lokaciji 1 (6,95 cm/h) in najpozneje na lokaciji 5 (2,86 cm/h), kar je približno 4,2-krat počasneje. Gladina potem glede na hitrost dviga počasneje pade, najpočasneje na lokaciji 1 (0,66 cm/h) in najhitreje na lokaciji 2 (1,48 cm/h), kar je približno 2,24-krat počasneje in lahko ocenjeno nakazuje na hitrejši odtok vode kot na drugih lokacijah. Iz izračunov sva ugotovili, da se gladina vode na lokaciji 1 dvigne 10,5-krat hitreje, kot pade; na lokaciji 2 je dvig gladine vode 2,6-krat hitrejši od padca; na lokaciji 5 je 4,2-krat hitrejši; na lokaciji 6 pa približno 3-krat hitrejši.

Opazimo, da višek padavin (na dan 17. 7. 2021; 23,4 mm padavin) ne pomeni tudi sočasno istega dviga gladine vode v vseh izviri, saj igra ključno vlogo pri infiltraciji padavin v poletnih mesecih tudi evapotranspiracija. Nižki gladine vode pa so opazni v obdobju, ko je tudi najmanj padavin.



Graf 7: Gladina vode v izviri 1, 2, 5 in 6 in padavine (Dobliče - Črnomelj) v obdobju julij--december 2021.

Podrobnejši prikaz odziva gladine vode v lokacijah 1, 2 in 6 v poletnem padavinskem maksimumu prikazuje *Graf 8*. Poletni maksimum padavin (23,4 mm) je bil dosežen 17. 7. 2021 ob 8:00. Lokacija 1 se z viškom gladine podzemne vode na izviru odraža z zamikom dveh ur (10:00), isto lokacija 2. Na lokaciji 1 se gladina vode spremeni za 29 cm (s hitrostjo 14,5 cm/h), na lokaciji 2 pa za 25 cm (s hitrostjo 12,5 cm/h). Višek gladine vode na lokaciji 6 je dosežen isti dan (17. 7. 2021) z zamikom sedmih ur (15:00). Tukaj se je gladina vode spremenila za 93 cm (s hitrostjo 13,3 cm/h).

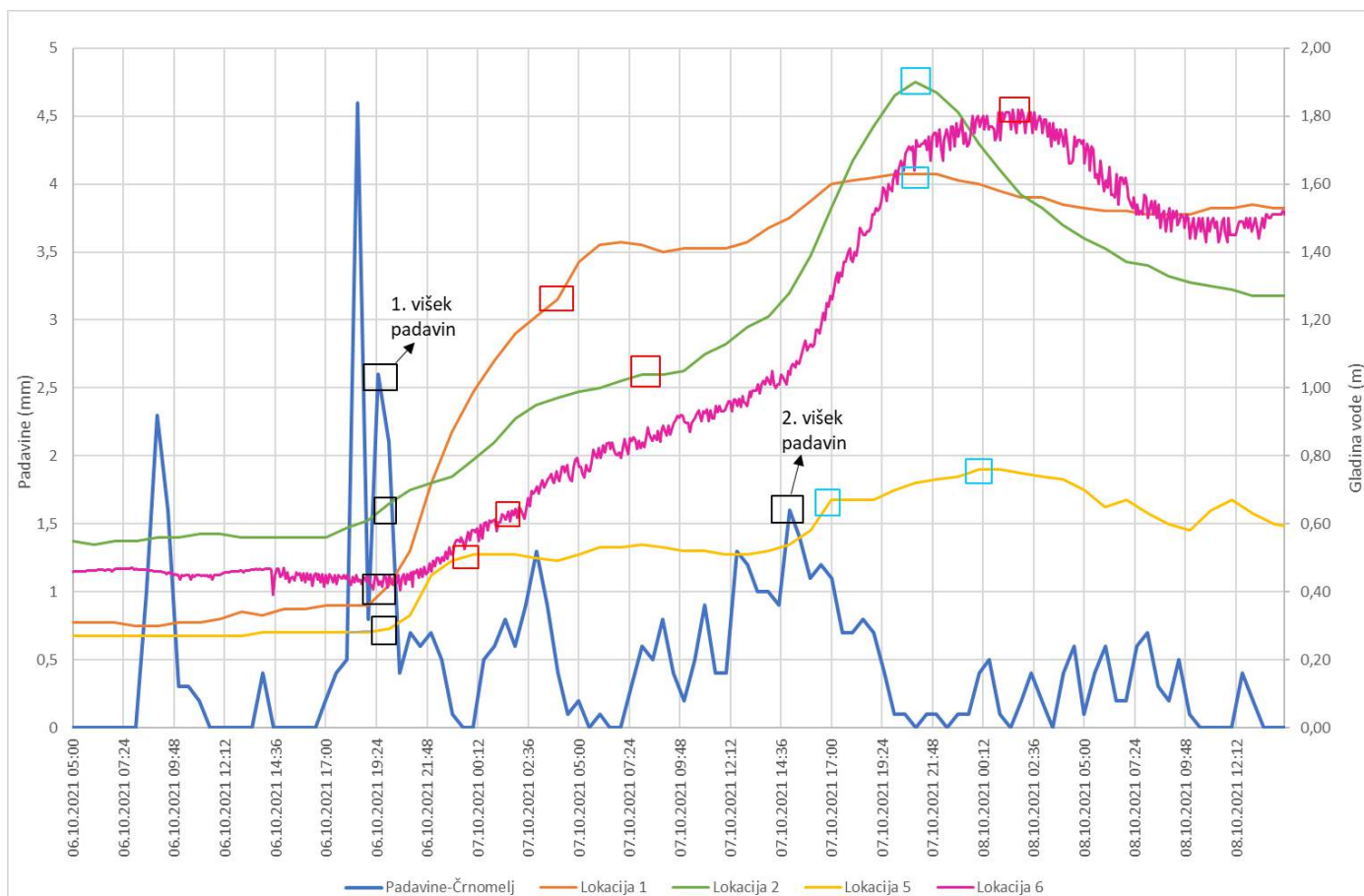


Graf 8: Odziv gladine vode v izviri v poletnem padavinskem maksimumu.

Odziv gladine vode v lokacijah 1, 2, 5 in 6 v jesenskem padavinskem maksimumu prikazuje Graf 9. Jesenski maksimum padavin je bil dosežen s kombinacijo padavinskih dogodkov, dne 6. 10. 2021 in 7. 10. 2021. Z rdečimi kvadrati sva označili odziv gladine vode na prvi padavinski maksimum, s črnimi pa kumulativni odziv. S prvim viškom (6. 10. 2021 ob 19:30; 2,6 mm) je povezan dvig podzemne vode v lokacijah 1, 2, 5 in 6, medtem ko je z drugim viškom (7. 10. 2021 ob 15:00; 1,6 mm) dosežen kumulativno najvišji dvig podzemne vode ob jesenskem padavinskem maksimumu. Višja gladina vode v teh lokacijah je bila v jesenskem času dosežena le v začetku decembra po obdobju skromnejših oz. brez padavin (Graf 7).

Lokacija 1 se na prvi jesenski padavinski višek odzove z najvišjo gladino vode po 8,5 urah (dvig gladine za 90 cm s hitrostjo 10,6 cm/h), lokacija 2 po 12,5 urah (dvig gladine za 43 cm s hitrostjo 3,4 cm/h), lokacija 5 po 4,5 urah (dvig gladine za 13 cm s hitrostjo 2,9 cm/h) in lokacija 6 po 6 urah in 40 minutah (dvig gladine za 23 cm s hitrostjo 3,45 cm/h).

Kumulativni padavinski višek je bil dosežen 7. 10. 2021 ob 15:00 (1,6 mm), kumulativni višek glavin podzemne vode (označeno s svetlomodrimi kvadrati) pa se na lokaciji 1 zgodi po 5 urah (dvig gladine za 13 cm s hitrostjo 2,6 cm/h), na lokaciji 2 po 6 urah (dvig gladine za 62 cm s hitrostjo 10,3 cm/h), na lokaciji 5 po 2 urah (dvig gladine za 13 cm s hitrostjo 6,5 cm/h) oz. po 9 urah (dvig gladine za 22 cm s hitrostjo 2,4 cm/h) in na lokaciji 6 po 10 urah in 36 minutah (dvig gladine za 80 cm s hitrostjo 7,5 cm/h).



Graf 9: Odziv gladine vode v izviri v jesenskem padavinskem maksimumu.

Razlike v povprečnih hitrostih spreminjanja gladine vode na posamezni lokaciji pojasnjujeva z različnim tipom posamezne lokacije. Za lokacijo 1 sva v teoretičnem delu zapisali, da so raziskave (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990) pokazale, da ima manjše zaledje in najverjetneje odvaža vode prelomne cone manjše prepustnosti (najbližji izvir nekraški Kanižarski kadunji), zato je hitro narasla voda pogojena z dvigom podzemne vode na ravniku. O plitvem pretakanju vode na lokaciji 1 lahko sklepava na podlagi odziva gladine vode, ki je za to lokacijo drugačen od drugih, namreč po višku padavin se gladina tu najhitreje odzove (po 2 urah je dosežena najvišja gladina vode) ter povprečne hitrosti dviga in padca gladine vode so za ta izvir največje. Za lokacijo 6 predvidevava, da se voda pretaka globlje kot na lokaciji 1, saj gladina v tem izviru počasneje doseže višek.

Iz podrobnejšega prikaza odziva gladine vode v lokacijah 1, 2, 5 in 6 v poletnem in jesenskem padavinskem maksimumu lahko sklepava, da sta lokaciji 1 in 2 sorodni po tipu kraškega izvira. Zamik viška na lokaciji 6 pa kaže na širše zbiralno območje podzemne vode in s tem na širše zaledje lokacije 6 v primerjavi z lokacijama 1 in 2. Drugačen odziv podzemne vode v lokaciji 5 na padavinski dogodek kaže na drugačno (manjše) zbiralno območje. Sklepava, da lokacija 5 z ostalimi preučevanimi lokacijami (1, 2 in 6) ni povezana.

Glede na primerljive maksimume in minimume gladine vode, hitrosti odzivov gladine vode na padavine in povprečne hitrosti dvigov in padcev gladine vode na lokacijah 2 in 6, predvidevava, da imata izvira skupno zaledje.

Sklepava lahko, da lokacija 2 in 3 nista direktno povezani. Lokacija 3 in Jezero na Jelševniku sta povezana, saj ob večji količini padavin, voda iz lokacije 3 steka v Jezero. Lokacija 6 in Jezero nista povezana, kar je bilo ugotovljeno ob črpalnem poskusu (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990). Izviri med seboj predvidoma komunicirajo le ob višjem vodostaju, ko poplavijo Dobliško kotlinico.

4.1.2 Električna prevodnost vode v izvirih

Če izmerjene vrednosti električne prevodnosti vode za lokacijo 2 primerjamo s podatkom iz poročila dr. Buloga (Bulog, 2009), kjer je bilo v letih 2000–2008 zabeleženo nihanje električne prevodnosti vode med 340 in 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$, opazimo, da je bila povprečna vrednost v okviru naših meritev 455 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kar pomeni, da je primerljiva z vrednostmi preteklih meritev.

Iz *Tabel 3* in *4* so razvidni statistični podatki o električni prevodnosti vode za lokaciji 1 in 2 v obdobju najinih meritev julij—december 2021, iz katerih ugotovimo, da je električna prevodnost v povprečju (za celotno obdobje meritev) višja v izviru 1. Povprečna vrednost električne prevodnosti vode je za obe lokaciji višja jeseni (za lokacijo 1 za približno 6,5 %, za lokacijo 2 pa 10,0 %). Za lokacijo 1 je bila najvišja izmerjena povprečna električna prevodnost vode v mesecu oktobru (488 $\mu\text{S}/\text{cm}$) in najnižja v mesecu juliju (442 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ter avgustu (443 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Za lokacijo 2 pa je bila najvišja povprečna električna prevodnost izmerjena v mesecu decembru (548 $\mu\text{S}/\text{cm}$) in najnižja v mesecu septembru (424 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ter avgustu (426 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Mejna vrednost električne prevodnosti za pitno vodo (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pri 20 °C) po *Pravilniku za pitno vodo* v obdobju najinih meritev (julij—december 2021) ni bila presežena.

Tabela 3: Tabela statističnih podatkov o električni prevodnosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in povprečni hitrosti ($\mu\text{S}/\text{cm}\cdot\text{h}$) padcev in dvigov električne prevodnosti vode na lokacijah 1 in 2.

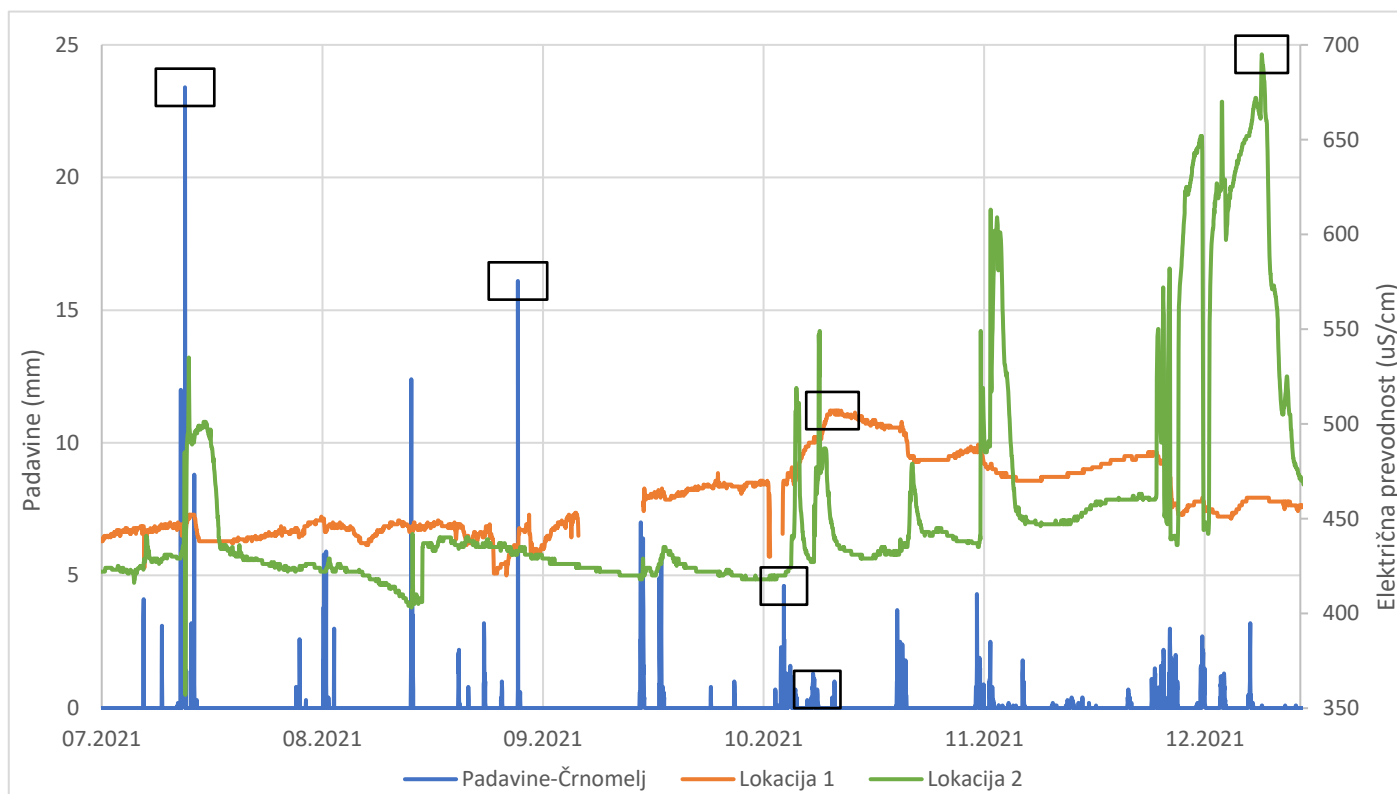
	1	2
Povprečna vrednost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	461,00	455,00
(Min.—Max.) [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	(420—507)	(357—695)
Hitrost dviga [$\mu\text{S}/\text{cm}\cdot\text{h}$]	0,98	18,67
Hitrost padca [$\mu\text{S}/\text{cm}\cdot\text{h}$]	2,28	16,44
$\frac{\bar{v}_{\text{dviga el. prevodnosti}} \left[\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}/\text{h} \right]}{\bar{v}_{\text{padca el. prevodnosti}} \left[\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}/\text{h} \right]}$	0,4	1,1

	1	2
Julij	442	438
Avgust	443	426
September	457	424
Oktober	488	438
November	475	475
December	457	584
Poletje	444	430
Jesen	475	478

Tabela 4: Povprečne vrednosti električne prevodnosti vode ($\mu\text{S}/\text{cm}$) po mesecih in letnih časih za lokaciji 1 in 2.

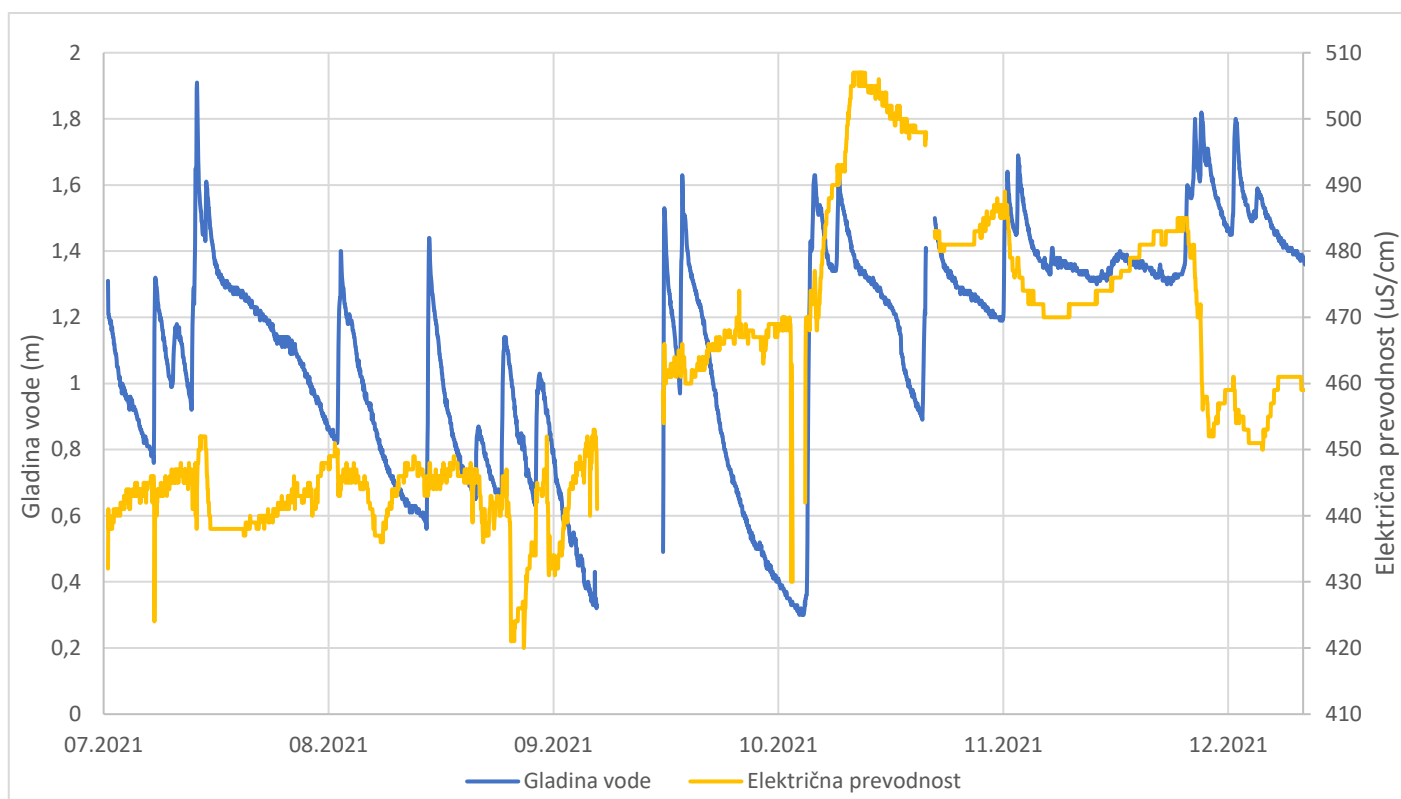
Iz *Grafa 10* je razvidno, da spreminjanje električne prevodnosti za lokaciji 1 in 2 ni enako. Iz rezultatov o povprečni hitrosti dviga in padca električne prevodnosti v posamezni lokaciji je razvidno, da se v lokaciji 2 hitreje spreminjajo vrednosti, in sicer v povprečju se dvignejo za 18,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na uro, padejo pa 16,44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na uro. Dvig električne prevodnosti vode v lokaciji 2 je približno 1,1-krat večji od padca. Obratno se zgodi v lokaciji 1, kjer je povprečna hitrost padca električne prevodnosti (2,28 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na uro) približno 2,3-krat hitrejša od dviga (0,98 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na uro).

Iz *Grafa 10* je razvidno tudi, da je odziv električne prevodnosti vode na padavine za lokaciji 1 in 2 različen, čeprav najvišje vrednosti električne prevodnosti niso bile zaznane po prvem višku padavin (17. 7. 2021; 23,4 mm padavin) za nobeno od lokacij. Za lokacijo 1 je bila najvišja električna prevodnost ($507 \mu\text{S}/\text{cm}$) izmerjena 87. dan (2092 ur) po prvem višku in za lokacijo 2 ($695 \mu\text{S}/\text{cm}$) 145. dan (3490 ur) po prvem višku ter po drugem višku padavin (21. 8. 2021; 16,1 mm padavin) za lokacijo 1 43. dan (1029 ur) in za lokacijo 2 101. dan (2427 ur). Za lokacijo 1 je bila najvišja vrednost električne prevodnosti vode izmerjena 52 ur po zadnjih padavinah (11. 10. 2021; 0,7 mm) oziroma 161 ur (6. 10. 2021; 4,6 mm). Za lokacijo 2 pa je bila najvišja vrednost električne prevodnosti vode izmerjena 37 ur po zadnjih padavinah (9. 12. 2021; 3,2 mm).

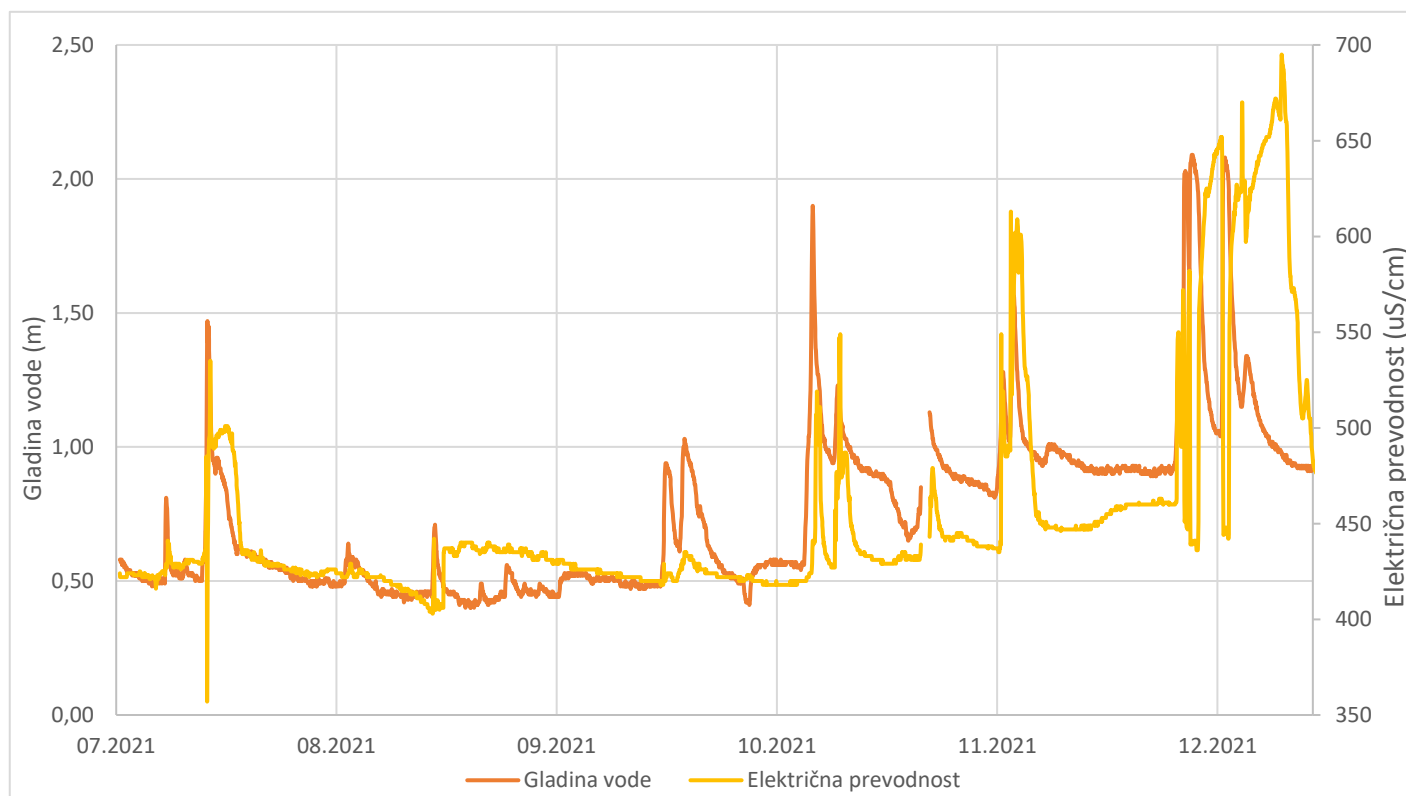


Graf 10: Električna prevodnost vode in padavine (Dobliče – Črnomelj) v obdobju julij–december 2021 na lokacijah 1 in 2.

Iz *Grafa 12* je razvidno, da na lokaciji 1 dvig gladine vode ne pomeni vedno tudi porast električne prevodnosti oziroma padec gladine vode ne pomeni tudi vedno znižanje električne prevodnosti vode, v povprečju sta ta dva parametra obratno sorazmerna. Za lokacijo 2 pa dvig električne prevodnosti sovпада z dvigom gladine vode (*Graf 11*).



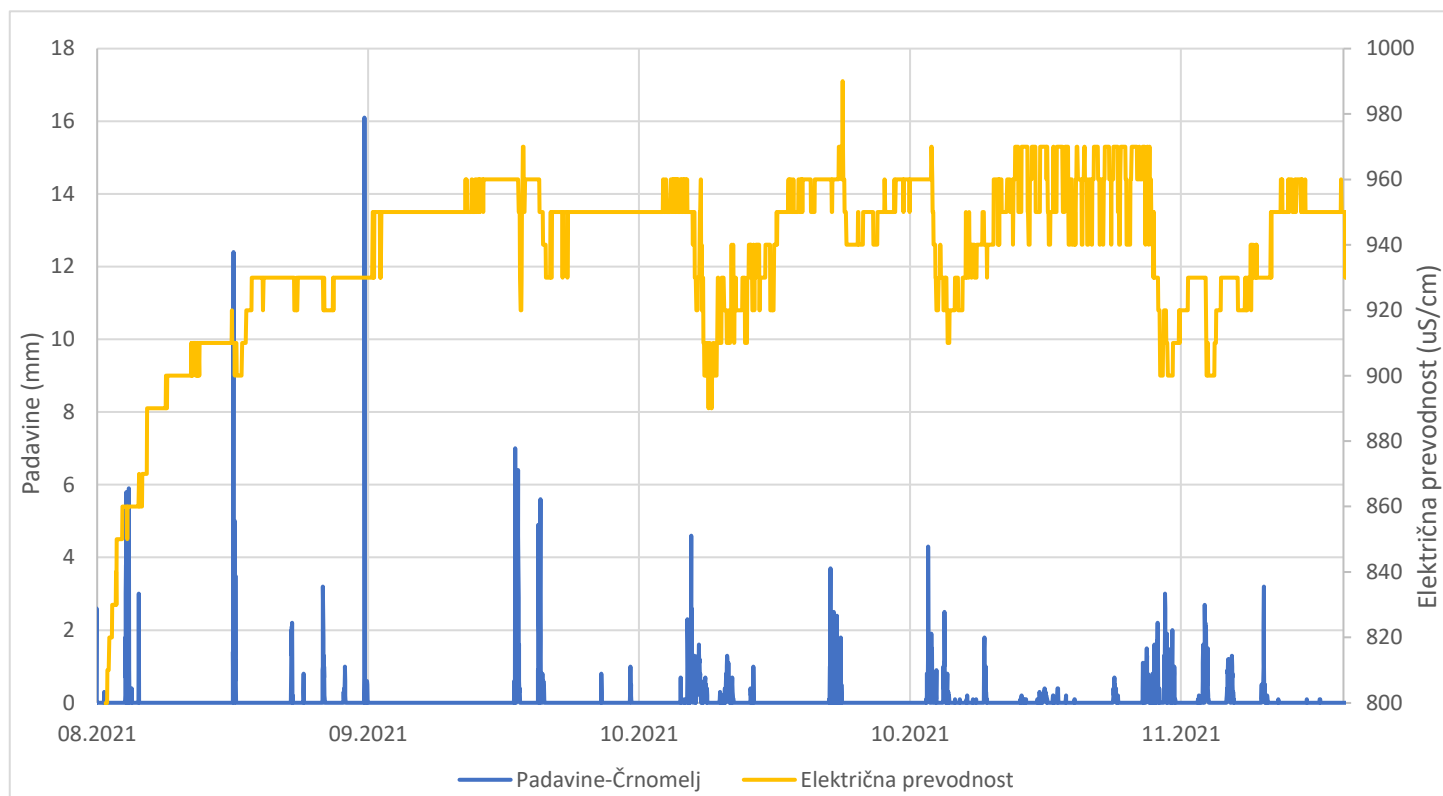
Graf 12: Električna prevodnost in gladina vode na lokaciji 1.



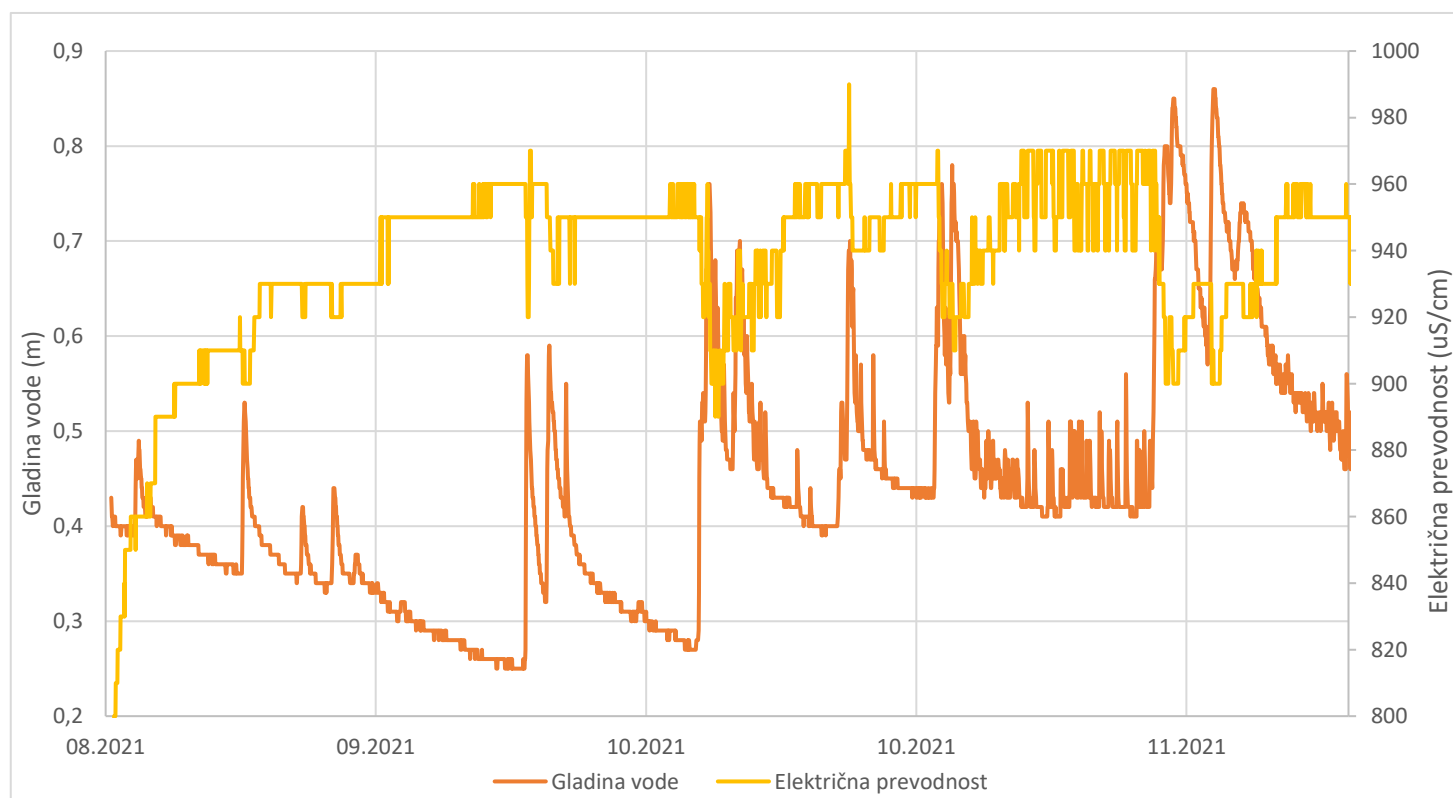
Graf 11: Električna prevodnost in gladina vode na lokaciji 2.

Za lokacijo 5 o pravih vrednosti električne prevodnosti vode zaradi prevelikega razpona meritev in posledično velike merske napake ne moreva govoriti, lahko pa podatke uporabiva za ugotavljanje povezanosti s padavinami in z gladino vode. Na padavine se električna prevodnost vode na lokaciji 5

odziva različno, večinoma pa padavine vplivajo na znižanje električne prevodnosti (Graf 13). Iz Grafa 14 pa razberemo obratno sorazmernost med gladino vode in električno prevodnostjo.



Graf 13: Električna prevodnost vode in padavine (Dobliče - Črnomelj) v obdobju julij--december 2021 za lokacijo 5.



Graf 14: Električna prevodnost in gladina vode na lokaciji 5.

Na podlagi predstavljenih rezultatov sva ugotovili, da so spremembe električne prevodnosti v odvisnosti od padavin večje in hitrejšje v lokaciji 2, odziv gladine na padavine pa je hitrejši v lokaciji 1. Različno obnašanje izvirov glede na električno prevodnost vode kaže na to, da imata lokaciji 1 in 2 različno globino pretakanja vode. Najvišje vrednosti električne prevodnosti so bile za oba izvira dosežene po obdobju skromnejših padavin, v jesenskem času, ko se zmanjša evapotranspiracija in poveča pretok vode v freatični coni v poletnem času. Raziskave (Kogovšek, 2007) so pokazale, da je prenos vode v podzemlju in snovi hitrejši jeseni, kar bi bil lahko vzrok za hitrejši dvig vrednosti električne prevodnosti v jesenskem času.

4.1.3 Temperatura vode v izvirih

Ob vzorčenju vode v sklopu raziskav (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990) med letoma 1986 in 1990 se je voda Pačkega brega (lokacije 5) iztekala, njena temperatura pa je nihala okoli 11,0 °C. Za Zdenec pri Otovcu (lokacija 4) so ugotovili dokaj stalno temperaturo 11,0–11,3 °C. Za lokacijo Jelševnik so ugotovili manjše nihanje med 10,2 in 10,6 °C ter za lokacijo Obršec (lokacija 1) med 10,8 in 10,6 °C. Večje temperaturno nihanje so zabeležili v Dobličici (10,0–14,8 °C), kar utemeljujejo kot posledico merjenja na robu izvirnega jezera, kjer je voda pod vplivom temperature zraka. S primerjavo podatkov predhodnih raziskav (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990) lahko vidimo (Tabela 5), da so se glede na najine podatke povprečne temperature vode za vse lokacije (Lokacija 1: 12,36 °C; Lokacija 5: 11,56 °C), razen za Dobliče (11,18 °C) dvignile. Največja razlika v povprečni temperaturi vode je opazna na lokaciji 1 (približno 1,7 °C). Za lokacijo Dobliče pa je povprečna temperatura vode v primerjavi s preteklimi raziskavami nižja za približno 1,2 °C.

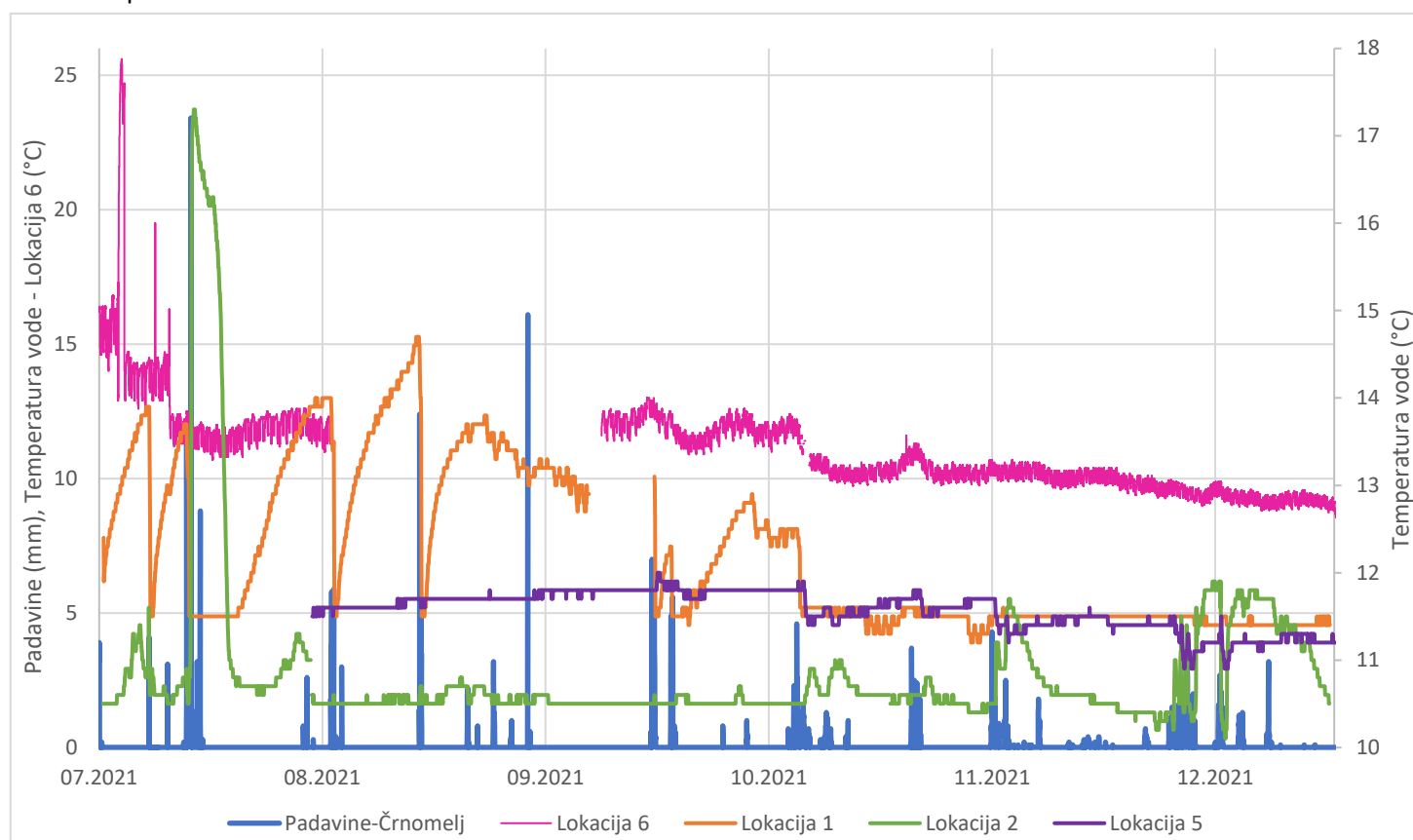
Tabela 5: Statistični podatki za temperaturo vode (°C) za lokacije 1, 2, 5 in 6.

	Poletje			
	1	2	5	6
Povprečna vrednost	12,89	10,93	11,72	12,49
(Min.—Max.)	(11,40—14,70)	(10,50—17,30)	(11,50—12,00)	(10,70—25,60)
Tmax. - Tmin.	3,30	6,80	0,50	14,90
	Jesen			
	1	2	5	6
Povprečna vrednost	11,62	10,78	11,47	10,09
(Min.—Max.)	(11,20—12,90)	(10,10—11,90)	(10,90—11,90)	(8,33—12,60)
Tmax. - Tmin.	1,70	1,80	1,00	4,27
	Skupaj			
	1	2	5	6
Povprečna vrednost	12,36	10,79	11,56	11,18
(Min.—Max.)	(11,20—14,70)	(10,20—17,30)	(10,90—12,00)	(8,33—25,60)
Tmax. - Tmin.	3,50	7,10	1,10	17,27

Najvišja povprečna temperatura vode je bila izmerjena v lokaciji 1 (12,36 °C), najnižja pa v lokaciji 2 (10,79 °C). Povprečne temperature vode v izvirih so bile v poletnem času nekoliko višje kot v jesenskem; za lokacijo 1 je bila povprečna poletna temperatura vode za 1,3 °C višja od jesenske, za lokacijo 2 za 0,2 °C višja, za lokacijo 5 0,25 °C višja in za lokacijo 6 pa 2,4 °C višja. Iz temperaturnih razlik

med poletnim in jesenskim časom za lokaciji 1 in 6 lahko sklepamo o večjem vplivu temperature zraka na temperaturo vode za ti dve lokaciji. Za lokacijo 6 so višje temperature in nihanja lahko posledica merjenja na prelivu in ne direktno na izviru. Za lokacije 1, 2 in 6 je nihanje temperature največje poleti (lokacija 1: 3,30 °C; lokacija 2: 6,80 °C in lokacija 6: 14,90 °C), za lokacijo 5 pa jeseni. Največja temperaturna nihanja so vidna na lokaciji 6 za oba letna časa in skozi celotno obdobje najinih meritev, do najmanjšega temperaturnega nihanja pa pride na lokaciji 5 prav tako za oba letna časa in celotno obdobje meritev.

Iz *Grafa 15* je razvidno, da se po padavinah na lokaciji 1 temperatura vode v povprečju zniža za približno 2,2 °C v dnevu. V lokaciji 2 se je po višku padavin (17. 7. 2021; 23,4 mm) temperatura vode segrela za približno 5 °C v 9 urah. Za lokacijo 5 je tudi iz grafa razvidno, da do večjih temperaturnih nihanj vode ni prišlo.

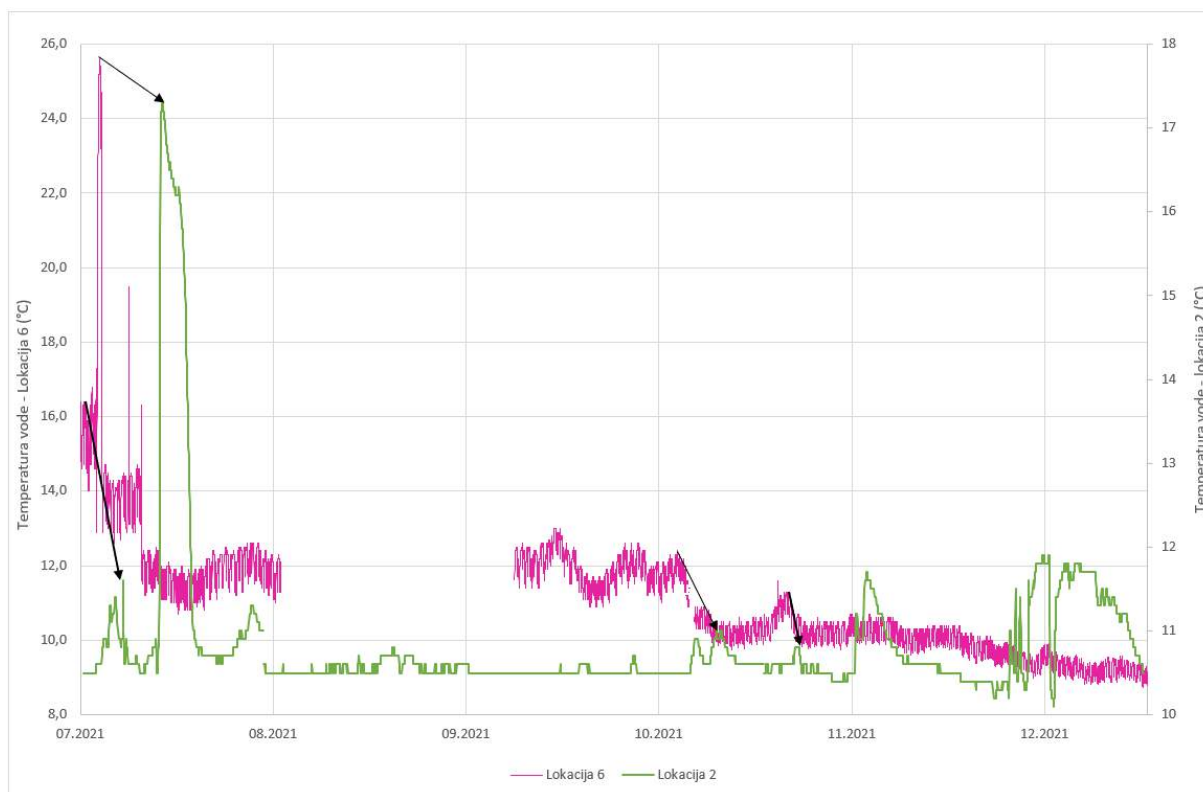


Graf 15: Temperatura vode in padavine (Dobliče - Črnomelj) v obdobju julij--december 2021 za lokacije 1, 2, 5 in 6.

Temperatura vode kraških izvirov v splošnem ne niha veliko. Temperatura v jamah je enaka povprečni letni temperaturi okolice (Aljančič, Bulog, Kranjc, Josipovič, Sket in Skoberne, 1993), kar je po podatkih Arsa za Črnomelj 10,2 °C. Glede na najine rezultate o nihanju temperature vode, predvidevava, da se voda na izviru 1 zadržuje plitveje, saj ima temperatura zraka večji vpliv na temperaturo vode v tem izviru. Najgloblje se ocenjeno zadržuje voda lokacije 5, kjer so temperaturna nihanja najmanjša.

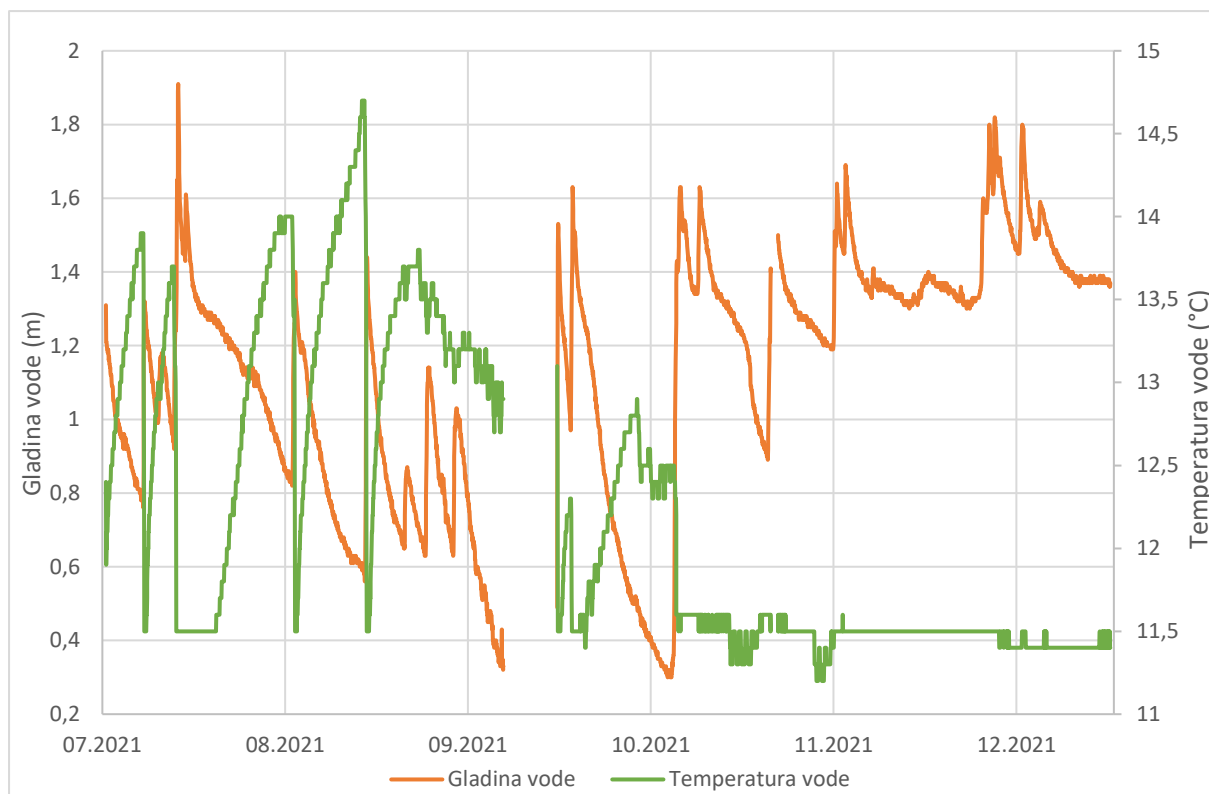
Iz podatkov, prikazanih v *Tabeli 5* in *Grafa 15*, sklepamo o primerljivem vzorcu nihanja temperature vode za lokaciji 2 in 6, kar od bližje prikazuje *Graf 16*. Razvidno je, da se višja temperatura vode v lokaciji 2 glede na lokacijo 6 pojavi z zamikom (prikazano s črnimi puščicami), torej voda teče od lokacije 6 k lokaciji 2. Višja temperatura vode za lokaciji 2 in 6 sta bila v razmiku 9 dni oziroma približno 233 ur. V povprečju pa se sprememba temperature med tema lokacijama pozna v razmiku 6 dni oziroma

približno 144 ur. Omenjeno sosledje se konča v začetku novembra in v decembru. V tej fazi je potrebno omeniti, da je količina vode v izviru na lokaciji 6 veliko večja kot na lokaciji 2, zato se tudi zaradi zmanjšane evapotranspiracije v tem obdobju temperatura vode v teh dveh lokacijah ne odziva po enakem vzorcu. Predvidevava, da imajo padavine na lokaciji 2 večji vpliv na temperaturo vode v obdobju november—december kot pa dotok vode iz lokacije 6.

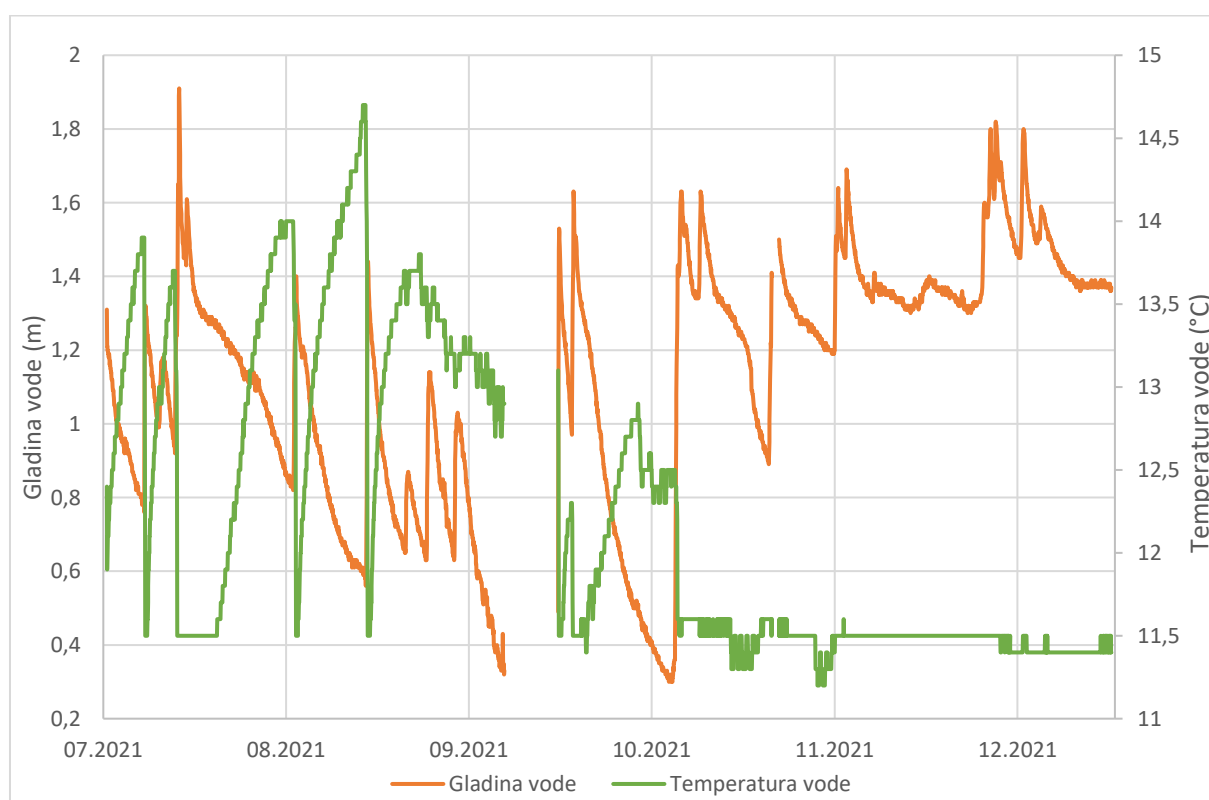


Graf 16: Temperatura vode v lokacijah 2 in 6.

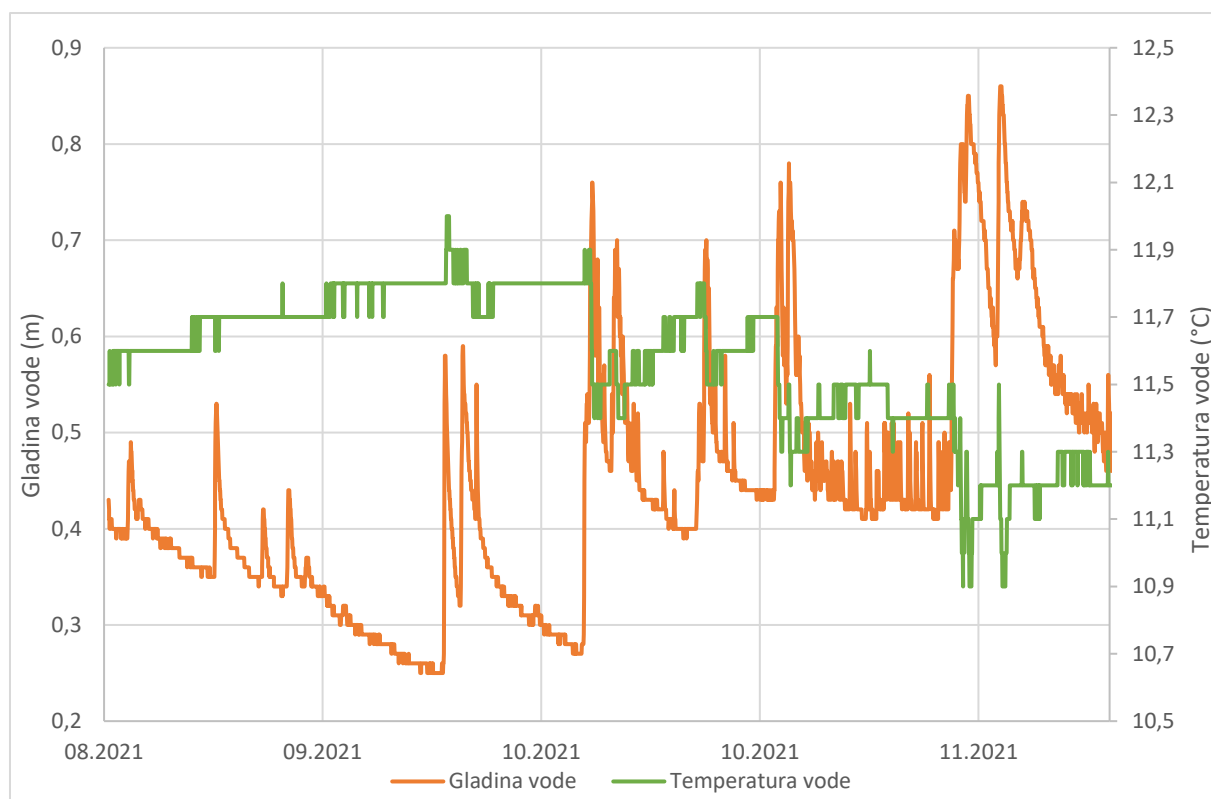
Če pogledamo še obnašanje temperature vode glede na gladino vode na posamezni lokaciji (Graf 17—20), opazimo, da sta parametra na lokacijah 1 in 5 obratno sorazmerna; na lokaciji 2 sta sorazmerna, le proti koncu novembra in v decembru opazimo obratno sorazmernost; na lokaciji 6 sta parametra v povprečju obratno sorazmerna, a o trdnejši korelaciji ne moremo sklepati, saj je temperatura v primerjavi z gladino brez večjih nihanj.



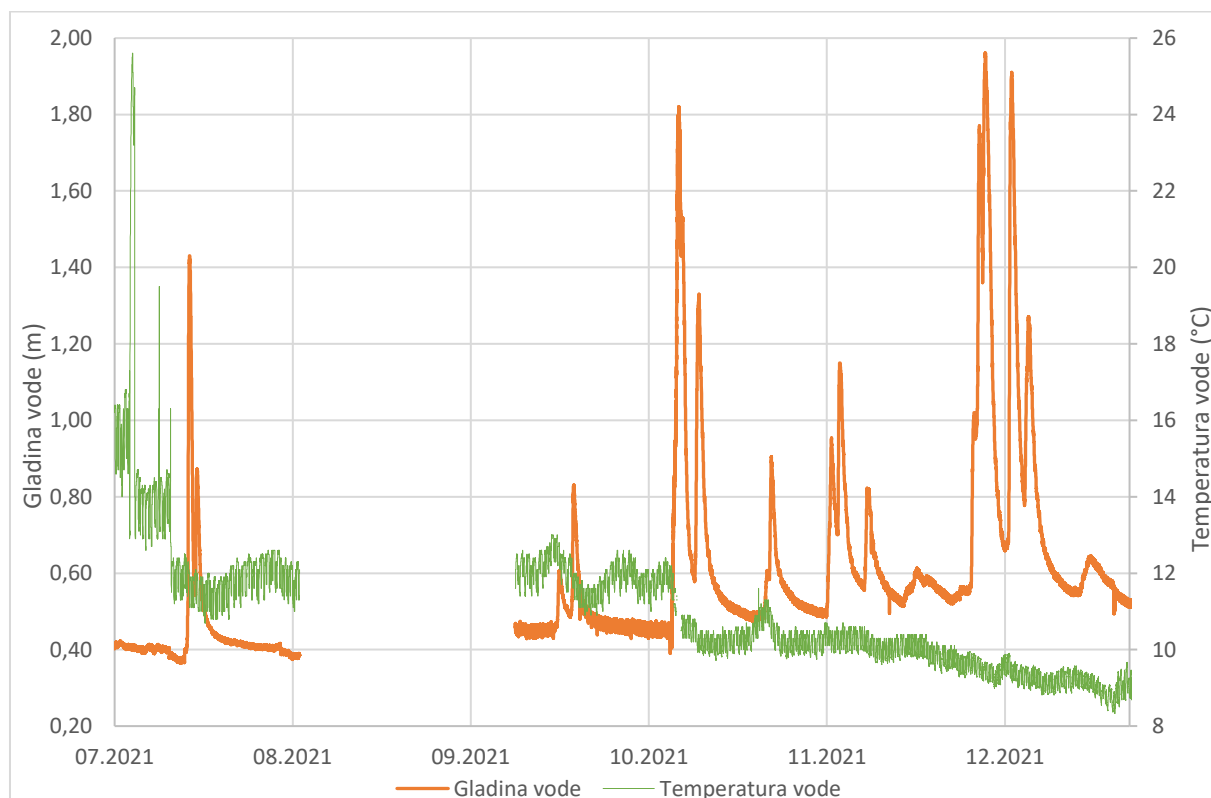
Graf 17: Gladina in temperatura vode v lokaciji 1.



Graf 18: Gladina in temperatura vode v lokaciji 2.

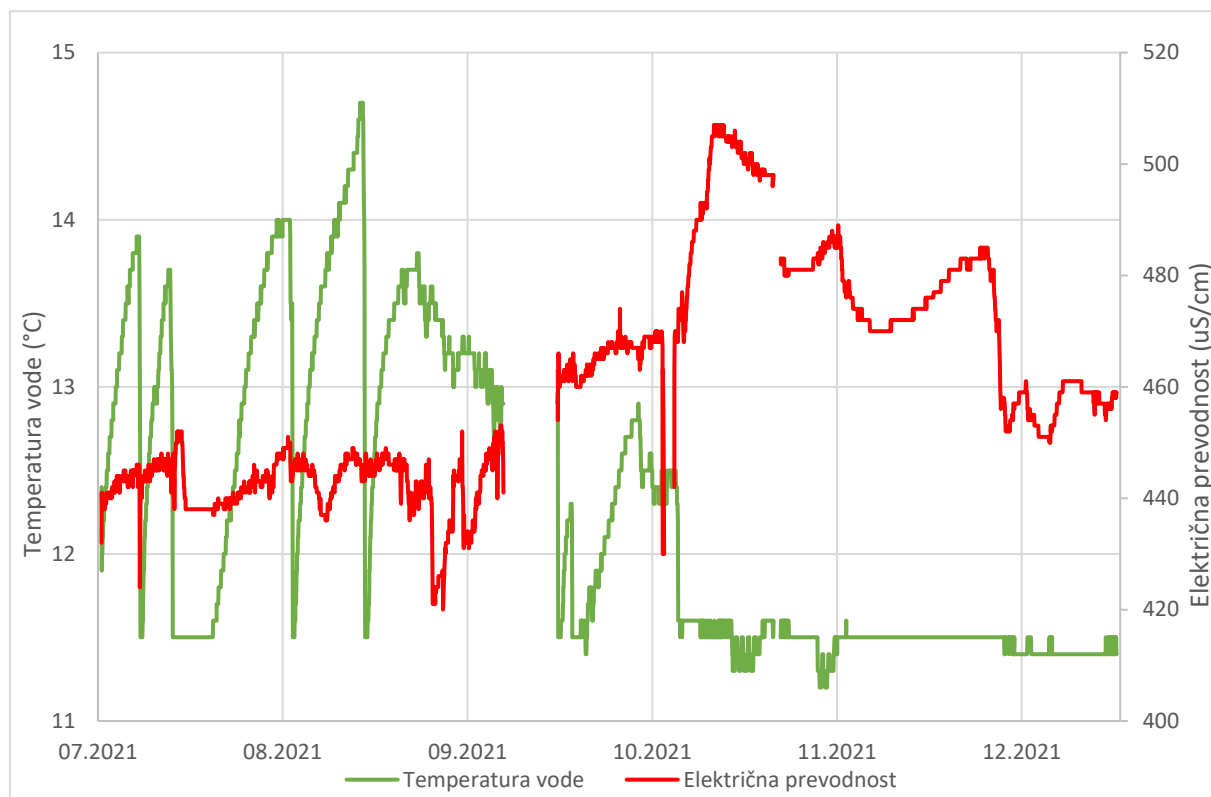


Graf 19: Gladina in temperatura vode v lokaciji 5.

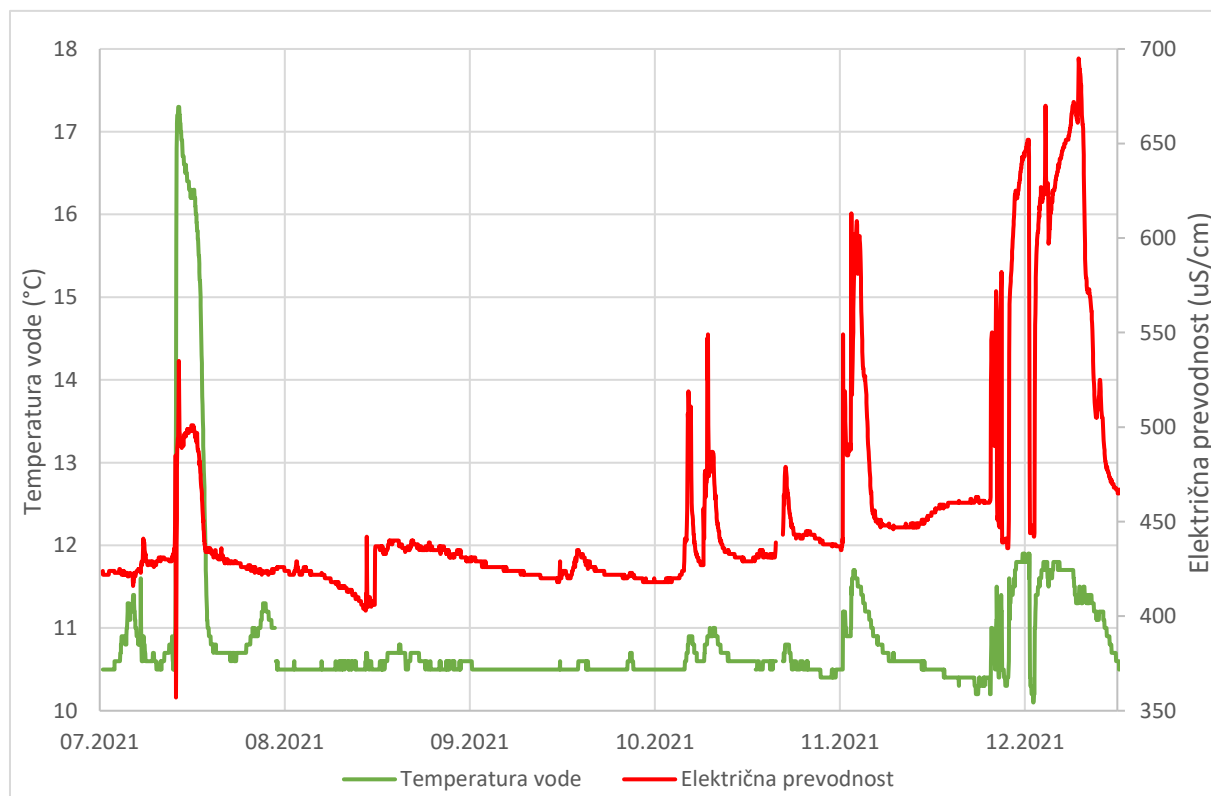


Graf 20: Gladina in temperatura vode v lokaciji 6.

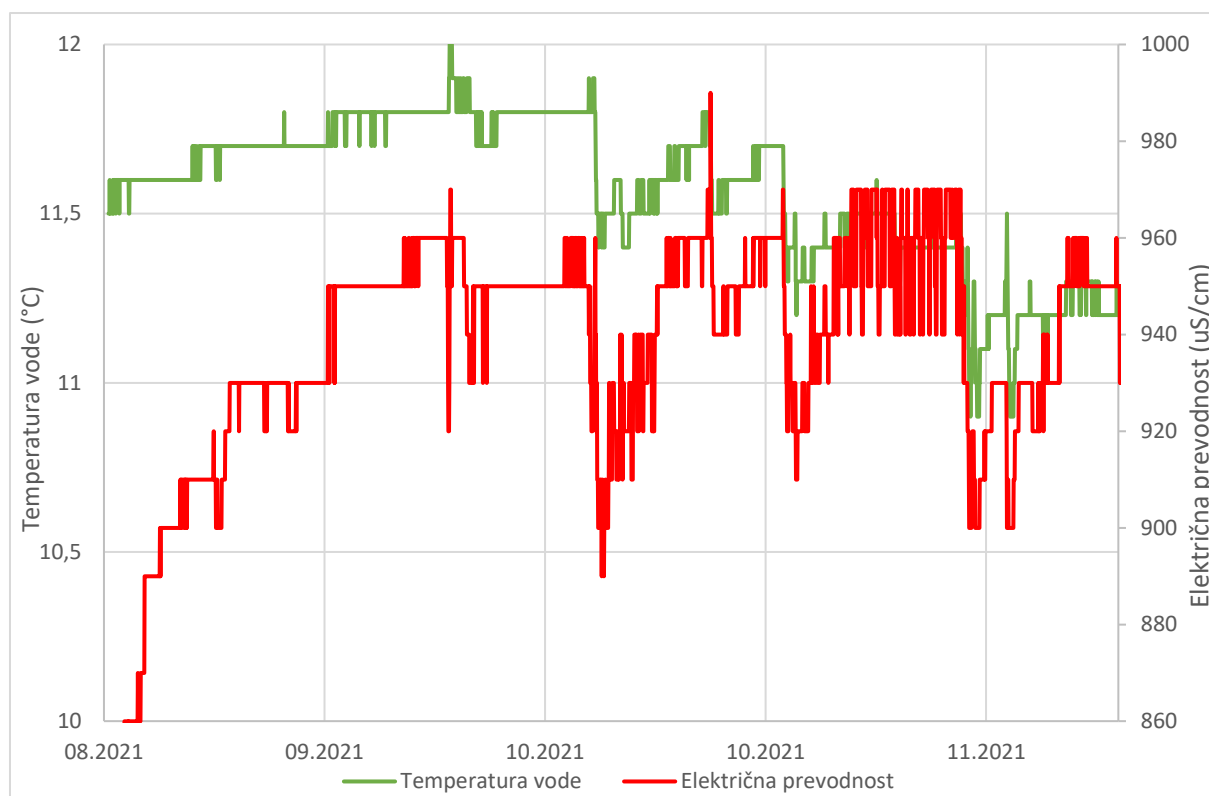
Graf 22 prikazuje sorazmernost temperature in električne prevodnosti vode za lokacijo 2, medtem ko iz Grafa 21 vidimo, da sta ta dva parametra obratno sorazmerna za lokacijo 1, torej pri nižji temperaturi vode je električna prevodnost višja. Iz Grafa 23 lahko vidimo sorazmernost električne prevodnosti in temperature vode za lokacijo 5.



Graf 21: Električna prevodnost in temperatura vode v lokaciji 1.



Graf 22: Električna prevodnost in temperatura vode v lokaciji 2.



Graf 23: Električna prevodnost in temperatura vode v lokaciji 5.

4.1.4 Kakovost vode v povezavi s koncentracijami nitrata v vodi

V predhodni raziskavi (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990) so v opazovalnem obdobju med letoma 1986 in 1987 (jesenski čas) ter 1987 in 1990 (spomladanski čas) izmerili najvišje koncentracije nitrata v Pačkem bregu (lokacija 5) in Otovškem bregu (lokacija 4). Najvišja povprečna koncentracija nitrata je bila izmerjena v vodi izvira Otovški breg, in sicer 7,3 mg/l. Ugotavlja, da so se v dobrih 30 letih povprečne koncentracije nitrata v vodi na lokaciji 4 povišale za približno 62 %. Povprečna izmerjena koncentracija nitrata je v Dobličici (lokacija 6) je bila 2,9 mg/l v preteklem obdobju, kar je približno 39,5 % manj kot kažejo najine meritve, kar je lahko vzrok različnega obdobja (letnega časa) merjenja. Najvišja vrednost nitrata v Dobličici, ki so jo zaznali tekom raziskav, je bila 7,0 mg/l. Podobne povprečne vrednosti kot pri Dobličici so dobili tudi za Jelševnik, kjer se višje koncentracije pojavljajo v jesenskem obdobju, po padavinah v začetku oktobra pa so ugotovili njihov upad. Tudi medve sva v oktobru ugotovili upad koncentracij nitrata v izviru 3, vendar so bile v povprečju koncentracije višje v poletnem času in ne jesenskem. V letih 2000–2008 so se vrednosti nitrata na lokaciji 2 gibale med 1,1 in 9,7 mg/l. Povišane koncentracije v poletnih in jesenskih mesecih so bile najverjetneje posledica intenzivnega gnojenja kmetijskih površin (Bulog, 2009). Iz predhodnih raziskav (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990) so strokovnjaki razmišljali o morebitni izpostavljenosti skupnemu viru onesnaževanja za Dobličico in Jelševnik (lokacija 3) zaradi njune neposredne bližine. V okviru omenjenih raziskav so zaznali večjo onesnaženost vode v Obršcu (lokacija 1), kjer so zaznali povprečno koncentracijo nitrata 7 mg/l.

V Tabeli 6 so prikazane koncentracije nitrata izmerjene v Dobličici, Jelševniku, Otovškem bregu in Pačkem bregu med letom 2010 in 2014, v okviru državnega monitoringa ARSO. Podatki so dobljeni iz poročila *Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji* (Dobnikar Tehovnik, Gacin in Mihorko, 2019; str. 28). Monitoring je bil manj reden kot najin odvzem vzorcev, zato s primerjavo podatkov lahko dobimo

Iz približen vpogled v spremembo stanja vode skozi leta. Iz Tabele 6 opazimo, da so novejši podatki (najini) v večini višjih vrednosti kot pred leti, te sva zapisali rdeče.

Tabela 6: Koncentracije nitrata v vodi (mg/l) skozi leta (VIR: Dobnikar Tehovnik, Gacin in Mihorko, 2019; str. 28).

DOBLIČICA	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December
2010			2,44		2,05	
2011			3,34			
2012				4,43		
2014				2,38		
2015	2,57			2,13		
2016		2,93		3,87		
2017				4,04		
2018				3,82		
2019			4,84			
2020			5,59			
POVPREČJE	2,57	2,93	4,05	3,45	2,05	
Bajuk in Vraničar, 2022	4,19	4,91	4,76	5,63	4,83	3,91
JELŠEVNIK	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December
2014	3,51	3,39	3,90	4,42	3,10	
2015	3,18	4,39	3,91	4,13	2,48	2,33
2016		3,86		4,25		
2017				3,52		
2018				3,85		
2019			4,66			
2020			4,40			
POVPREČJE	3,35	3,88	4,22	4,03	2,79	2,33
Bajuk in Vraničar, 2022	19,17	5,79	7,77	4,77	5,05	3,91
OTOVŠKI BREG	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December
2014	18,35	12,80	9,78	12,00	6,54	
2015	16,50	17,00	16,10	14,90	11,40	9,06
2016		19,7		17,20		
2017				15,80		
2018				18,40		
2019			20,60			
2020			18,30			
POVPREČJE	17,43	16,50	16,20	15,66	8,97	9,06
Bajuk in Vraničar, 2022	18,24	18,56	25,45	22,07	15,90	11,80
PAČKI BREG	Julij	Avgust	September	Oktober	November	December
2014	16,35	13,30	9,19	10,70	4,53	
2015	14,80	15,80	15,50	14,50	10,50	7,27
2016		17,00		15,80		
2017				15,10		
2018				15,30		
2019			16,00			
2020			15,60			
POVPREČJE	15,58	15,37	14,07	14,28	7,52	7,27
Bajuk in Vraničar, 2022	17,36	14,69	20,8	16,69	14,53	9,42

Kavčič (2021), ki je v okviru raziskovalnega dela med julijem in decembrom 2020 spremljal vrednosti nitrata v vodi, ugotovil povišanje vrednosti nitrata v izviri 1, 2, 3 in 4 v poletnem času, kar sovpada tudi z najinimi ugotovitvami. Za izvir 1 je v poletnem času nameril povprečno koncentracijo nitrata 15,2 mg/l, kar je približno 8,4 % višja vrednost od najine, v jesenskem času pa 12,1 mg/l, kar je približno 12,3 % nižja vrednost od najinega podatka. Za izvir 2 je v poletnem času nameril povprečno koncentracijo nitrata v vodi 5,0 mg/l, kar je približno 28,6 % nižja vrednost od najine, v jesenskem času 7,4 mg/l, kar je približno 8,9 % višja vrednost od najine. Za izvir 3 je njegova izmerjena povprečna koncentracija nitrata v poletnem času znašala 1,0 mg/l, kar je približno 89,5 % nižja vrednost od najine in v jesenskem času je bila njegova izmerjena vrednost 4,1 mg/l, kar je približno 15,1 % nižja vrednost od najine. Za izvir 4 je Kavčič poleti izmeril povprečno koncentracijo nitrata v vodi 17,7 mg/l, kar je približno 13,1 % nižja vrednost od najine in jeseni je izmeril koncentracijo 13,3 mg/l, kar je približno 28,5 % nižja vrednost od najine. Ugotavlja, da je prišlo do največje razlike v koncentraciji nitrata v vodi na lokaciji 3. Namreč Kavčičeva povprečna meritev koncentracije nitrata v poletnem času na lokaciji 3 je nižja od minimalne koncentracije nitrata na lokaciji 3, zaznane tekom najinega vzorčenja za približno 54,8 %.

Iz *Tabele 7* vidimo, da je bila povprečna koncentracija nitrata v vodi v obdobju najinih meritev (julij—december 2021) najvišja v izviru 4 (19,35 mg/l), sledita izvir 5 (15,21 mg/l) in 1 (13,85 mg/l), najnižja pa na lokaciji 6 (4,79 mg/l), kjer je le nekoliko višja od vrednosti naravnega ozadja (3,8 mg/l). Povprečni vrednosti koncentracije nitrata v vodi sta primerljivi za lokaciji 2 (6,86 mg/l) in 3 (6,76 mg/l). Najvišja izmerjena koncentracija glede na celotno opazovalno obdobje (julij – december) je bila na lokacijah 3 in 4 (29,22 mg/l), sledi izvir 5 (25,27 mg/l) in 1 (20,76 mg/l).

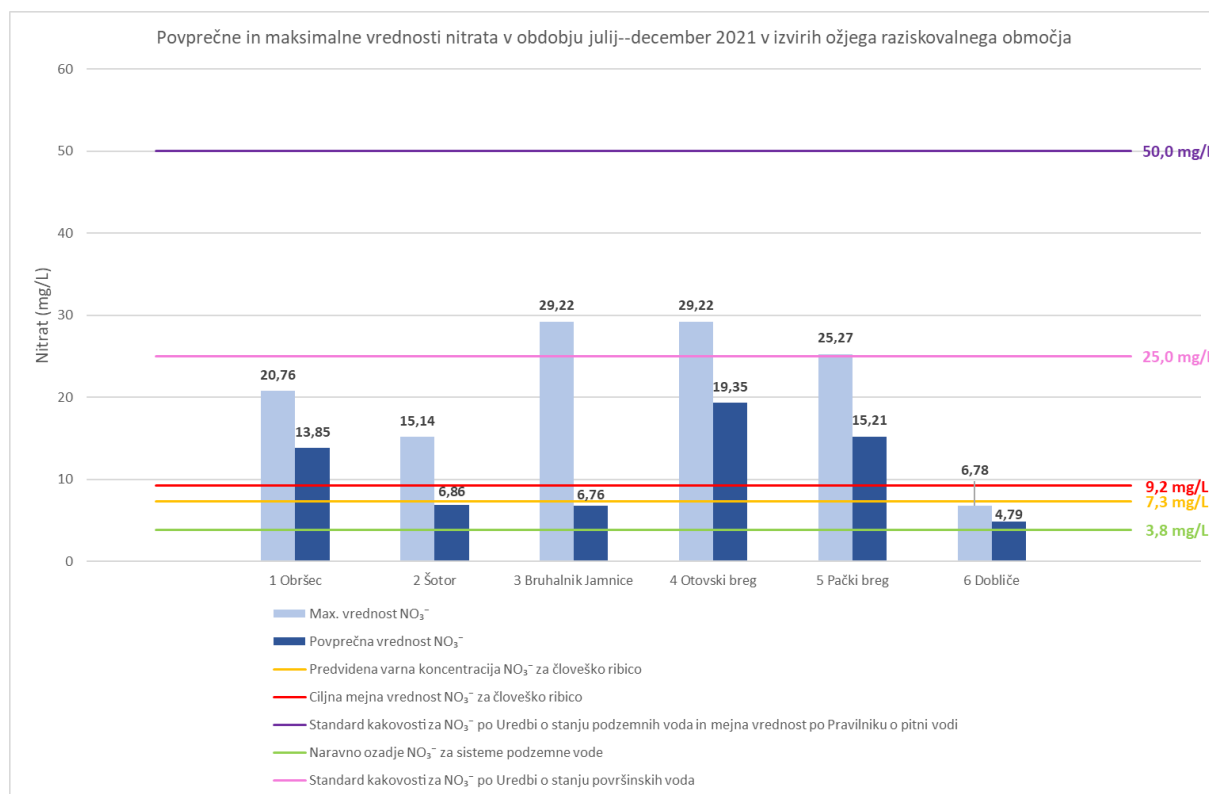
Tabela 7: minimalne, maksimalne in povprečne koncentracije nitrata v vodi (mg/l) za posamezno lokacijo v obdobju julij – december 2021.

	1	2	3	4	5	6
Min.	7,36	4,48	2,21	11,50	3,31	2,21
Max.	20,76	15,14	29,22	29,22	25,27	6,78
Povprečna vrednost	13,85	6,86	6,76	19,35	15,21	4,79

Če primerjamo dobljene maksimalne in povprečne vrednosti za posamezno lokacijo z (*Graf 24*):

- naravnim ozadjem nitrata za sisteme podzemne vode (3,8 mg/l)*, opazimo, da so povprečne in maksimalne koncentracije nitrata v vseh lokacijah višje, minimalne izmerjene koncentracije za lokaciji 3 in 6 pa nižji (2,21 mg/l);
- predvideno varno koncentracijo nitrata za človeško ribico (7,3 mg/l)*, vidimo, da je v izviri 1, 4 in 5 glede na izmerjeno povprečno vrednost nitrata presežena, za vse lokacije, razen lokacije 6, so maksimalne vrednosti presegle varno koncentracijo za človeško ribico, na lokacijah 1 in 4 jo presegata tudi minimalni izmerjeni koncentraciji nitrata;
- ciljno mejno vrednostjo nitrata za človeško ribico (9,2 mg/l)*, opazimo, da je presežena na lokacijah 1, 4 in 5 glede na povprečne izmerjene koncentracije nitrata, na lokacijah 1, 2, 3, 4 in 5 glede na maksimalne izmerjene koncentracije in na 4 glede na izmerjeno minimalno koncentracijo nitrata v vodi;

- d) *standardom kakovosti za nitrat po Uredbi o stanju površinskih voda (25,0 mg/l)*, vidimo, da jo presegajo le maksimalne izmerjene vrednosti nitrata na lokacijah 3 (julija 2021), 4 in 5 (septembra 2021);
- e) *standardom kakovosti za nitrat po Uredbi o stanju podzemnih voda in mejni vrednosti po Pravilniku o pitni vodi (50,0 mg/l)*, opazimo, da je nobena izmerjena vrednost koncentracije nitrata za posamezno lokacijo ne preseže.



Graf 24: Primerjava izmerjenih maksimalnih in povprečnih koncentracij nitrata v vodi v obdobju julij--december 2021 z mejnimi vrednostmi.

V splošnem lahko govorimo o večji obremenjenosti izvirov z nitratom v poletnem času (do 23. septembra) za vse lokacije razen lokacije 6, kjer je povprečna vrednost nitrata v poletnem času nižja od jesenske za 0,1 mg/l, v kar pa lahko vštejemo tudi mersko napako instrumenta. Opazimo tudi, da se povprečni koncentraciji med letnima časoma najbolj razlikujeta za lokacijo 3 (4,70 mg/l) in najmanj za lokacijo 6, oziroma 1 (0,13 mg/l).

Najvišje vrednosti nitrata v vodi so bile v povprečju izmerjene v mesecu juliju (13,88 mg/l) in septembru (16,64 mg/l), najnižje pa v mesecu decembru (7,92 mg/l). Za lokacijo 1 je bila najvišja povprečna mesečna koncentracija nitrata zabeležena v mesecu oktobru (19,04 mg/l) in najnižja v mesecu decembru (8,14 mg/l); za lokacijo 2 je bila najvišja povprečna mesečna koncentracija izmerjena v juliju (10,38 mg/l) in najnižja avgusta (5,79 mg/l); za lokacijo 3 najvišja julija (19,17 mg/l) in najnižja decembra (3,91 mg/l); za lokacijo 4 najvišja v septembru (25,45 mg/l) in najnižja v decembru (11,8 mg/l); za lokacijo 5 najvišja septembra (20,80 mg/l) in najnižja decembra (9,42 mg/l) ter za lokacijo 6 je bila

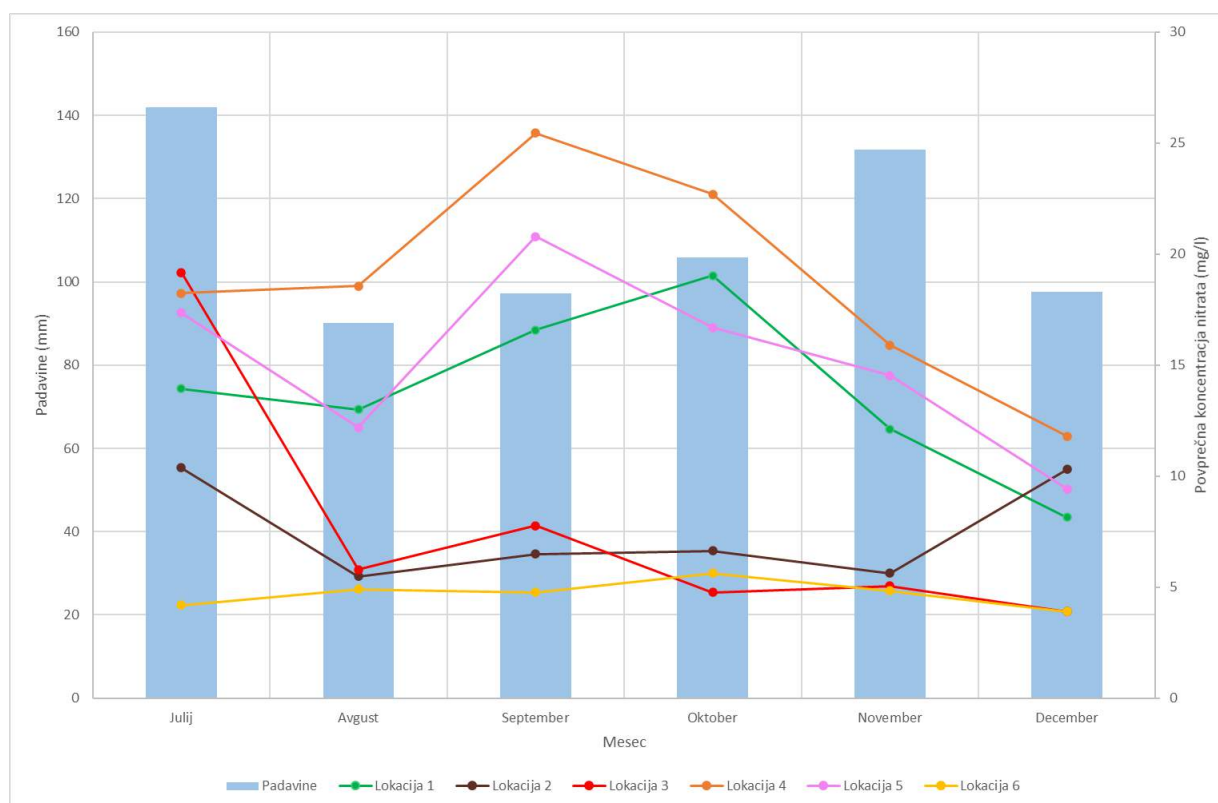
najvišja povprečna mesečna koncentracija nitrata v vodi izmerjena oktobra (5,63 mg/l) in najnižja v decembru (3,91 mg/l).

Tabela 8: Povprečne koncentracije nitrata v vodi (mg/l) za posamezno lokacijo po mesecih in letnih časih.

	1	2	3	4	5	6
Julij	13,94	10,38	19,17	18,24	17,36	4,19
Avgust	13,01	5,48	5,79	18,56	12,19	4,91
September	16,58	6,49	7,77	25,45	20,80	4,77
Oktober	19,04	6,64	4,77	22,71	16,69	5,63
November	12,12	5,63	5,05	15,90	14,53	4,83
December	8,14	10,31	3,91	11,80	9,42	3,91
Poletje	13,93	7,00	9,53	20,36	15,72	4,37
Jesen	13,80	6,74	4,83	18,60	14,87	4,83

Najvišje izmerjene koncentracije nitrata so prisotne v izviru na lokaciji 4, kjer že minimalna izmerjena vrednost v opazovalnem obdobju presega ciljno mejno vrednost za človeško ribico (9,2 mg/l). Sledita lokacija 5 in 1. Glede na koncentracije nitrata v vodi je najmanj onesnažena lokacija 6, kar sva tudi pričakovali, saj je v bližini območja zajetja, kjer veljajo strožji vodovarstveni ukrepi (Uredba vodovarstvenem območju za vodna telesa vodonosnikov za območje občin Črnomelj, Metlika in Semič, 2016). Stanje vode ni kritično niti na lokacijah 2 in 3, kjer je vseeno prišlo do povišanja koncentracij nad ciljno mejno vrednost za človeško ribico tekom najine raziskave (lokacija 2: enkrat poleti in enkrat jeseni; lokacija 3: trikrat v poletnem času) pa tudi v daljšem časovnem okviru (v primerjavi s podatki preteklih raziskav).

Iz *Grafa 25* lahko vidimo, kako se povprečne mesečne koncentracije nitrata na posamezni lokaciji odzivajo glede na količino mesečnih padavin. Za lokacijo 6 so vrednosti konstantno le nekoliko nad naravnim zaledjem (3,8 mg/l). Le v oktobru se povprečna vrednost nekoliko poviša, kar lahko nakazuje na možnost onesnaženja, katerega vzrok bi lahko bilo gnojenje. Za lokacije 1, 4 in 5 opazimo podoben odziv na padavine kot tudi lokaciji 3 in 5 (le v novembru pride na lokaciji 3 do povišanja, medtem ko opazimo na lokaciji 5 znižanje koncentracije). Odziv na lokaciji 2 je nekakšna kombinacija med vsemi izviri, do decembra ima podoben odziv kot lokacija 1.

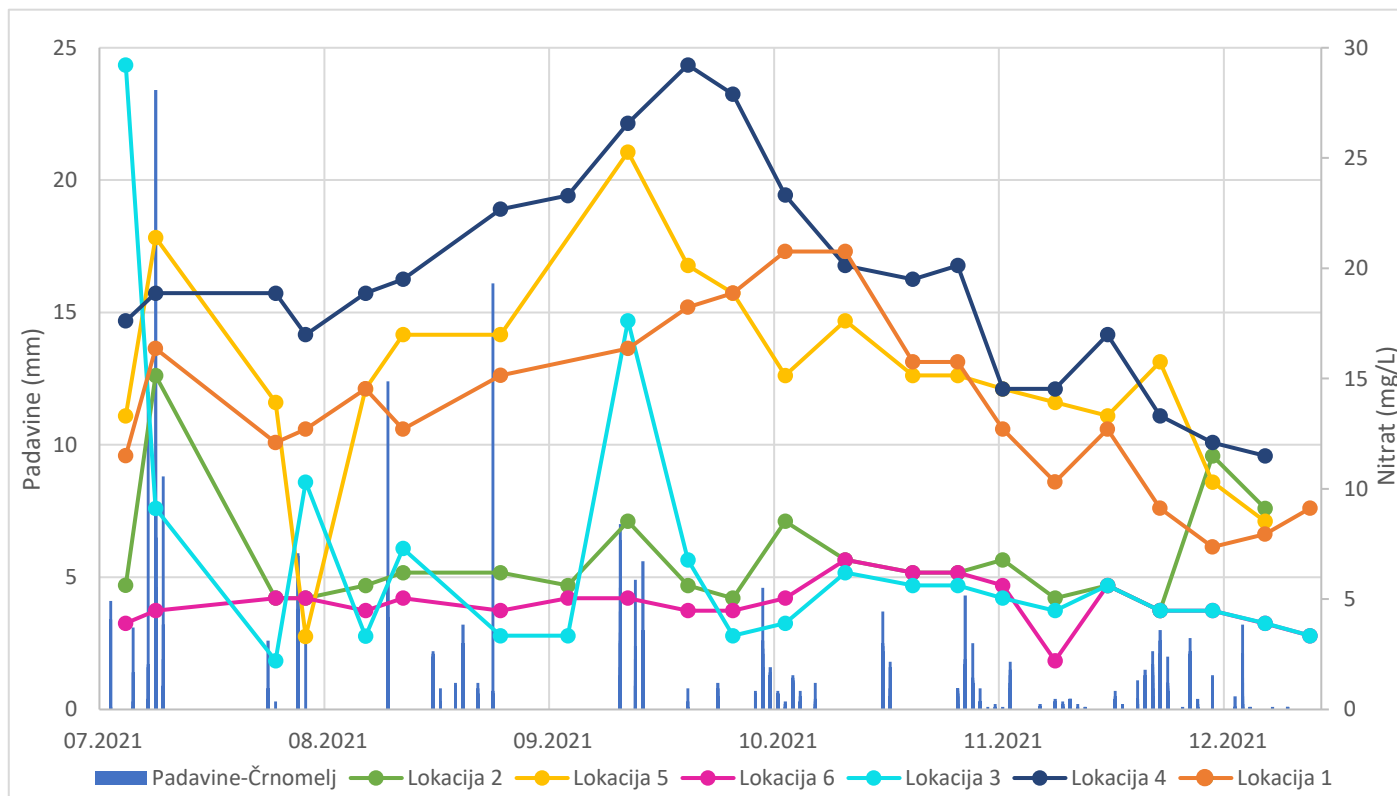


Graf 25: Povprečne mesečne koncentracije nitrata v vodi z mesečnimi padavinami.

Iz *Grafa 26* opazimo, da v opazovalnem obdobju pride do maksimuma koncentracije nitrata za vse izvire po obdobju brez padavin. Za lokacijo 3 je bila najvišja koncentracija nitrata v vodi (29,22 mg/l) izmerjena ob prvem vzorčenju. Izmerjena koncentracija na lokaciji 3 je koncentracija po 43 urah od zadnjih padavin (11. 7. 2021; 4,1 mm). Te padavine pa so prve po obdobju brez padavin, dolgem 6 dni. Za lokacijo 3 opazimo po prvem višku padavin (17. 7. 2021; 23,4 mm) velik upad koncentracije nitrata v vodi (za 20,1 mg/l) po 12 urah, ki po obdobju brez padavin (15 dni) zopet naraste (za 8,1 mg/l v 4 dneh) po padavinah (5. 8. 2021; 5,8 mm). Za lokacijo 2 je bil maksimum nitrata v vodi (15,14 mg/l) izmerjen 11 ur po prvem višku padavin (17. 7. 2021; 23,4 mm), nato po 16 dneh sušnega obdobja pade za 10,09 mg/l. Za lokacijo 4 je višek koncentracije nitrata (29,22 mg/l) izmerjen 6 dni po zadnjih padavinah (20. 9. 2021; 5,6 mm) oziroma 26 dni po drugem višku padavin (31. 8. 2021; 16,1 mm). Za lokacijo 5 je bil višek koncentracije nitrata v vodi (25,27 mg/l) dosežen v 32 urah po zadnjih padavinah (17. 9. 2021; 7 mm) oziroma 18 dni po drugem višku padavin (31. 8. 2021; 16,1 mm). Od zadnjega vzorčenja na lokaciji 5 pred vzorčenjem, ko je bil izmerjen višek koncentracije nitrata (1. 9. 2021) se je koncentracija zvišala za 8,28 mg/l. Med drugim viškom padavin in zadnjimi padavinami pred nameritvijo najvišje vrednosti nitrata na lokaciji 5 je bilo sušno obdobje 17 dni. Za lokacijo 1 je bil višek koncentracije nitrata (20,76 mg/l) zaznan 25 ur po skromnejših padavinah (8. 10. 2021; 0,6 mm) oziroma 3 dni po prvih nekoliko znatnejših padavinah (6. 10. 2021; 4,6 mm) po 16-dnevem sušnem obdobju. Za lokacijo 6 je bil maksimum vsebnosti nitrata v vodi (6,78 mg/l) zaznan 4 dni po zadnjih padavinah (13. 10. 2021; 1 mm).

Torej višek padavin ne pomeni tudi najvišje koncentracije nitrata v vodi. Upad koncentracije nitrata je bil zaznan predvsem v obdobju brez padavin, nato pa so vrednosti v vseh lokacijah po prvih padavinah po sušnem obdobju (16 dni) narasle. V daljših sušnih obdobjih je pojav onesnaženja v izviri minimalen, saj se takrat občasne padavine shranjujejo pretežno v nezasičeni coni in prihaja le do

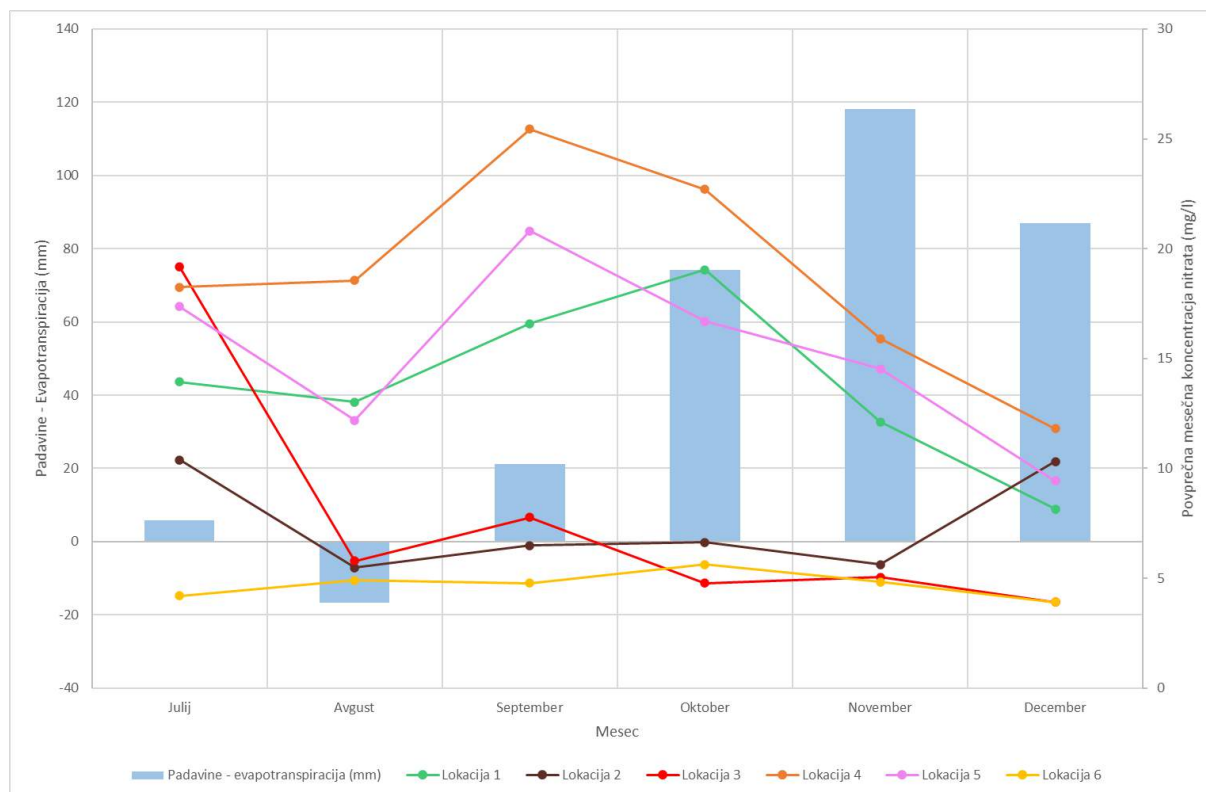
minimalnih povečanj pretoka. Izdatnejše padavine pa pospešijo pretakanje vode in povečajo pretoke izvirov in prenosa snovi. Za natančnejšo oceno prenosa nitratov bi bilo potrebno vzorčiti oz. meriti vsebnost nitratov bolj pogosto (dnevno), saj na kraškem območju količina padavin ključno prispeva k hitremu odtoku vod in posledično razredčenju.



Graf 26: Koncentracija nitrata v vodi s padavinami.

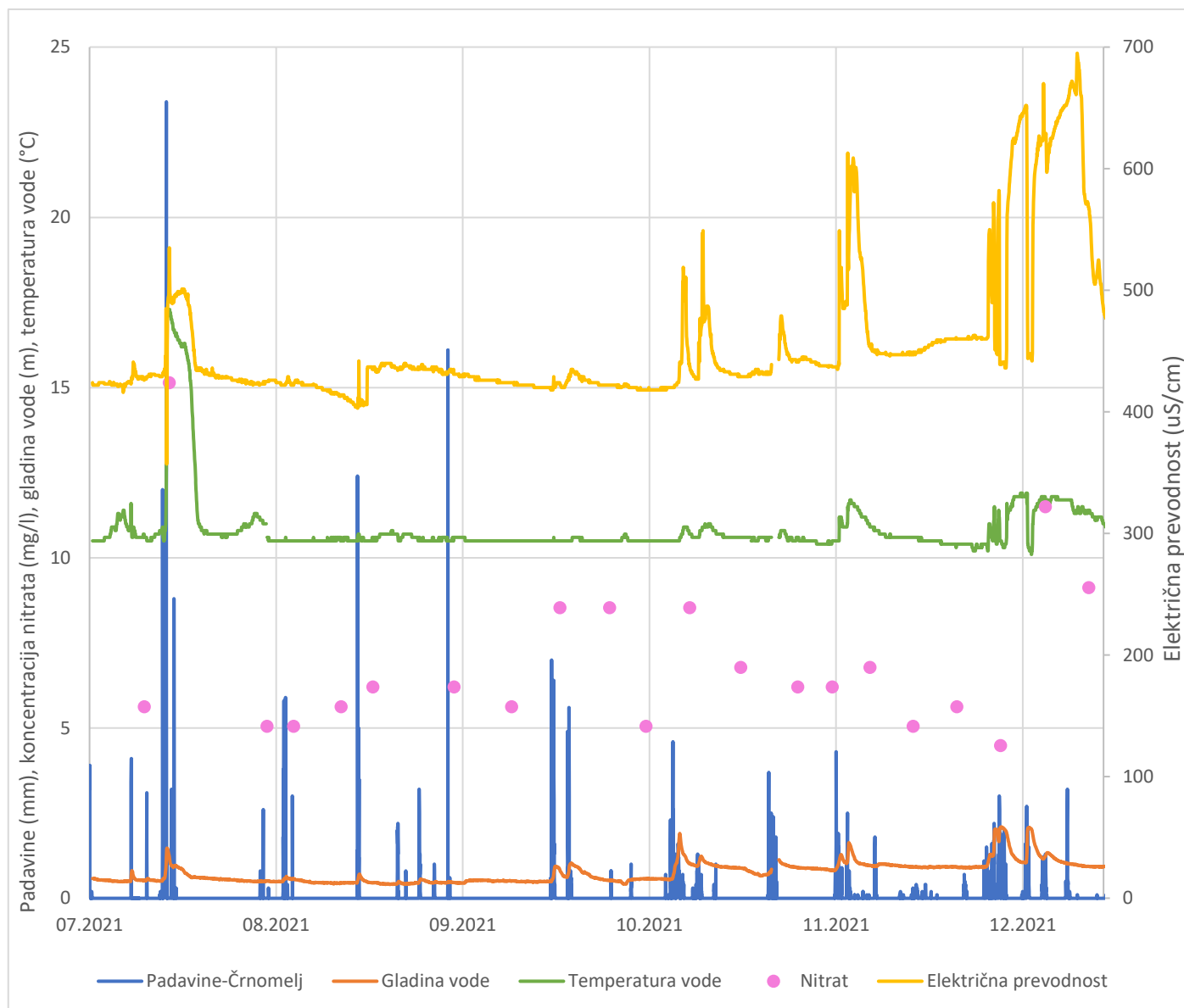
Zanimalo naju je tudi, če in kako vplivajo na koncentracijo nitrata v vodi za posamezno lokacijo padavine in evapotranspiracija. Graf 27 prikazuje vpliv evapotranspiracije na koncentracije nitrata. V obdobju od julija do decembra 2021 je bila količina padavin večja od količine evapotranspiracije, razen v avgustu, kjer opazimo stolpec v negativni vrednosti. To pomeni, da je v avgustu skozi tla prišlo manj padavin do podzemne vode in posledično tudi do izvirov, kar pomeni, da je bil vpliv padavin na koncentracijo nitrata v vodi manjši.

Od julija do avgusta je padla večja količina padavin (julij - 142,0 mm; avgust - 90,2 mm) in zaznane so bile višje vrednosti evapotranspiracije (julij - 136,2 mm; avgust - 106,9 mm). V tem obdobju opazimo znižanje povprečnih mesečnih koncentracij nitrata na lokacijah 1, 2, 3 in 5. Od avgusta do septembra je zopet padla večja količina padavin (september - 97,2 mm) in zaznana je bila višja evapotranspiracija (september - 76,1 mm). V tem obdobju opazimo zvišanje povprečnih mesečnih koncentracij nitrata za lokacije 1, 2, 3, 4 in 5. Na lokaciji 6 pride do nekolikšnega znižanja koncentracije. Opazimo, da efektivne padavine (razlika v količini padavin in evapotranspiracije) vplivajo na znižanje koncentracije nitrata. Od septembra naprej je na lokacijah 1, 4 in 5 opazen vpliv večje količine padavin - razredčenje in manjše evapotranspiracije, od oktobra naprej je ta vpliv v manjši meri opazen tudi na lokacijah 3 in 6.



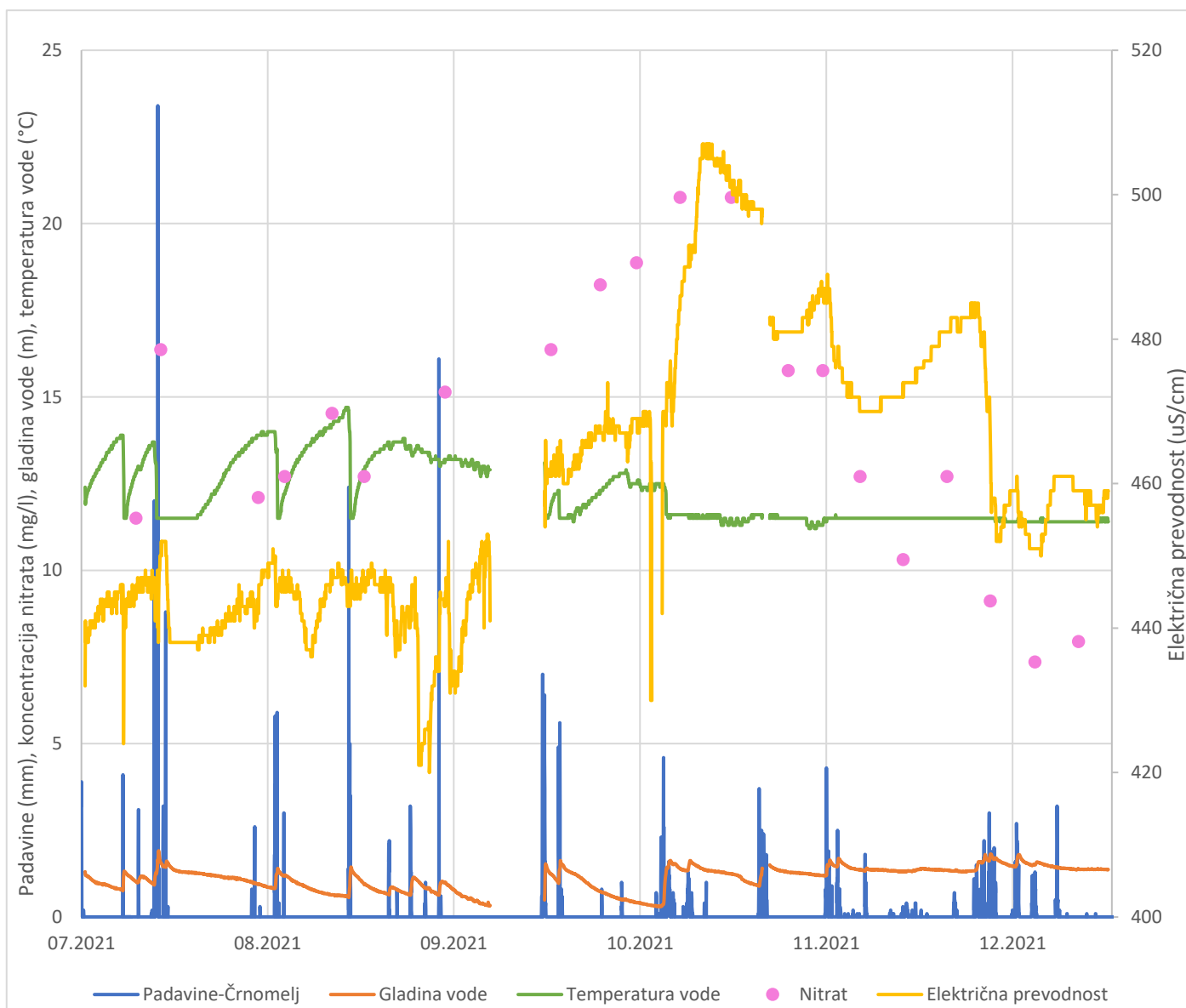
Graf 27: Vpliv efektivnih padavin na spremembo povprečne mesečne koncentracije nitrata v vodi.

Na lokaciji 2 se od novembra do decembra poveča povprečna mesečna koncentracija nitrata v vodi (za 4,68 mg/l), medtem ko se na vseh drugih lokacijah zniža. Na lokaciji 2 je bilo omenjeno zvišanje koncentracije nitrata v vodi (za 7,02 mg/l) zaznано iz dne, 28. 11. 2021 (4,48 mg/l, 4 ure po 3 mm padavin) v dan 5. 12. 2021 (11,5 mg/l). 28. 11. 2021 je prvi višek padavin po 10-dnevnem sušnejšem obdobju. Povišanje koncentracije nitrata kaže na morebitno onesnaženje zaradi gnojenja ali pa povečano obremenitev s komunalnimi odplakami ter spiranje vode skozi bližnje deponije odpadkov. V tem obdobju pride na lokaciji 2 tudi do zvišanja gladine vode do prvega maksimuma (28. 11. 2021; 2,09 m) in drugega maksimuma (3. 12. 2021; 2,08 m), 5. 12. 2021 pa je čas padca po drugem maksimumu gladine vode. Dvig električne prevodnosti sovpada z dvigom koncentracije nitrata v tem obdobju (Graf 28).



Graf 28: Gladina, temperatura, električna prevodnost in koncentracija nitrata v vodi na lokaciji 2 s padavinami.

Iz *Grafa 29* je razvidno, da spreminjanje koncentracije nitrata v vodi v lokaciji 1 do oktobra sovпада s spreminjanjem temperature vode, nato pa nihanje koncentracije nitrata v vodi sovпада z električno prevodnostjo.



Graf 29: Gladina, temperatura, električna prevodnost in koncentracija nitrata v vodi na lokaciji 1 s padavinami.

4.2 Ovrednotenje hipotez

1. Gladina vode v posameznih izviri se različno odzove na padavine.

Hipotezo potrjujeva.

Prikazane krivulje na *Grafu 7* imajo podobno obliko, kar pomeni, da se gladina na lokacijah 1, 2, 5 in 6, kjer so potekale avtomatske meritve, s padavinami poveča, vendar ne enako. Maksimum padavin za vse lokacije ni pomenil tudi maksimuma gladine vode v tistem trenutku, v obdobju brez padavin oziroma skromnejših padavin pa so bili zabeleženi tudi nižki gladine vode, ponekod tudi pod merilnim nivojem (lokacija 1). Ugotovili sva tudi, da je povprečna hitrost dviga oziroma padca za posamezno lokacijo različna, saj so posamezne lokacije različni tipi kraških izvirov. Najhitreje je gladina vode zrasla na lokaciji 1, najpočasneje pa na lokaciji 5. Sklepava lahko o drugačnem zaledju lokacije 1 na podlagi odziva gladine vode, ki je za to lokacijo drugačen od drugih, namreč po višku padavin se gladina tu najhitreje odzove (po 2 urah je dosežena najvišja gladina vode) ter povprečne hitrosti dviga in padca gladine vode so za ta izvir največje. Iz odziva gladine vode v lokacijah 1, 2, 5 in 6 v poletnem in jesenskem padavinskem maksimumu lahko sklepava, da sta lokaciji 1 in 2 sorodni po tipu kraškega izvira. Zamik viška na lokaciji 6 kaže na širše zbiralno območje podzemne vode in s tem na širše zaledje lokacije 6 v primerjavi z lokacijama 1 in 2. Drugačen odziv podzemne vode v lokaciji 5 na padavinski dogodek kaže na drugačno (manjše) zbiralno območje.

2. Mesečna evapotranspiracija vpliva na spremembo povprečne mesečne koncentracije nitrata v vodi v vseh izviri.

Hipotezo potrjujeva.

Evapotranspiracija vpliva na vrednost efektivnih padavin, ki pa vplivajo na znižanje koncentracije nitrata. Večja količina padavin in višja vrednost evapotranspiracije od julija do avgusta je na lokacijah 1, 2, 3 in 5 povzročila upad povprečne mesečne koncentracije nitrata v vodi; od avgusta do septembra pa zvišanje mesečne koncentracije nitrata v vodi na lokacijah 1, 2, 3, 4 in 5. Od septembra naprej je na lokacijah 1, 4 in 5 opazen vpliv večje količine padavin - razredčenje in manjše evapotranspiracije, od oktobra naprej je ta vpliv v manjši meri opazen tudi na lokacijah 3 in 6.

3. Koncentracije nitrata v vodi se v vseh izviri povečajo ob večji količini dežja.

Hipotezo zavračava.

Koncentracije nitrata v vodi se povečajo že ob manjši količini padavin, če gre za padavine po sušnem obdobju, namreč v tem obdobju se snovi dlje časa zadržujejo v podzemlju, s padavinami in dvigom gladine podzemne vode, pa pride do hitrejšega odtoka, zato se po deževnem obdobju koncentracije nitrata v vodi zmanjšajo, saj pride do razredčitve.

4. Večja količina padavin pade, nižja je temperatura vode.

Hipotezo delno potrjujeva.

Za lokacijo 1 hipotezo potrjujeva, saj je po padavinah temperatura v povprečju padla za 2,2 °C v enem dnevu. Za lokaciji 5 in 6 hipotezo zavračava, saj po padavinah ni prišlo do večjih nihanj temperature.

Hipotezo zavračava tudi za lokacijo 2, kjer je ob višku padavin prišlo do povečanja temperature vode za približno 5 °C v 9 urah.

5. Električna prevodnost vode naraste ob večji količini padavin in ko je višja gladina vode.

Hipotezo **potrjujeva**.

Za lokacije 1, 2 in 5, kjer je potekalo avtomatsko merjenje gladine vode, sva ugotovili, da padavine in posledično gladina vode vplivata na spremembo električne prevodnosti vode, vendar odziv ni enak za vse tri lokacije. Za lokacijo 2 je značilen dvig električne prevodnosti ob padavinah (in dvigu gladine vode), predvsem po daljšem obdobju brez padavin. Za lokacijo 1 količina padavin do septembra nima večjega vpliva, nato pa po daljšem obdobju brez padavin oziroma skromnejših padavin električna prevodnost naraste. Dvig gladine vode pa na tej lokaciji ne pomeni nujno porasta električne prevodnosti in obratno. Za lokacijo 5 se električna prevodnost vode na padavine odziva različno, v povprečju pa padavine vplivajo na znižanje električne prevodnosti. Med temperaturo vode in električno prevodnostjo vode ter gladino vode in električno prevodnostjo vode na lokaciji 5 velja sorazmernost.

5 ZAKLJUČEK

Najino štiriletno raziskovalno delo je potekalo z namenom ozavestiti družbo o skrbi za črnega močerila in hkrati o skrbi za izvire, ki predstavljajo habitat te ogrožene živali ter potencialne vire pitne vode. Prvi dve leti sva preučevali predvsem značilnosti črnega močerila v njegovem naravnem habitatu in poskušali ugotoviti, kaj vpliva na njegovo pojavljanje. Zanimalo naju je tudi, ali je omejenost habitata črnega močerila na manj kot 10 km² morebiti geološko pogojena. V prvem raziskovalnem delu *Pomagajmo preživeti črnemu močerilu* (Bajuk in Vraničar, 2020) sva na podlagi opazovanja terena, srečanj z geologom in preučevanjem obstoječe literature ugotovili, da na raziskovalnem območju obstaja cela vrsta specifičnih hidrogeoloških, litoloških in tektonskih pojavov, ki zmanjšujejo možnosti povezovanja bele in črne človeške ribice. V sklopu trenutnega raziskovalnega dela sva se osredotočili predvsem na značilnosti območja pojavljanja tako belega kot črnega močerila v Dobliški kotlinici in Otovško-Pačkem dolu z namenom potrditi domnevo o geološkem faktorju omejenosti habitata belokranjskega endemita na podlagi terenskega dela. Predmet najinega preučevanja je postalo 6 lokacij ožjega raziskovalnega območja, kjer sva želeli ugotoviti značilnosti posameznega izvira in jih glede na odzivnost gladine vode, električne prevodnosti, temperature vode in koncentracije nitrata na padavine in evapotranspiracijo med seboj primerjati. S terenskim delom na ožjem raziskovalnem območju na lokacijah 1, 2, 3, 4 in 6 sva začeli julija 2021, na lokaciji 5 pa avgusta 2021 (zaradi poznejše namestitve avtomatskega merilnika) in zaključili decembra 2021. Delo na terenu je potekalo enkrat tedensko, navadno ob vikendih, ob različnih urah, najpogosteje v popoldanskem času. Sočasno je potekalo tudi laboratorijsko delo v sodelovanju z Geološkim zavodom Slovenije.

Tekom raziskovalnega dela sva se trudili izpolniti zadane cilje. Najin prvi cilj je bil ugotoviti morebitno povezavo med šestimi izviri med Dobličami in Otovcem. Na podlagi predstavljenih rezultatov sva opazili, da se izvir na lokaciji 1 odziva drugače od ostalih lokacij. Je najbližji izvir nekraški Kanižarski kadunji in po najinem mnenju odvaja vode cone manjše prepustnosti, kar vpliva na hiter odziv gladine vode. Glede na najhitrejši porast gladine vode (v primerjavi z lokacijami 2, 5 in 6) sklepava, da ima plitvejšo zaledje. Iz odziva gladine vode za lokaciji 1 in 2 na poletni in jesenski maksimum lahko sklepava o sorodnosti kraškega tipa izvira, lokacija 6 pa ima verjetno širše zaledje. Glede na podoben vzorec nihanja temperature in gladine vode ter koncentracije nitrata v vodi, domnevava, da sta lokaciji 2 in 6 povezani. Lokacija 3 bi glede na povprečne vrednosti nitratov v vodi lahko bila povezana z lokacijo 2. Prav tako zaradi podobnih povprečnih vrednosti nitrata meniva, da sta povezana izvira na lokaciji 2 in 6, vendar pa povezava med tema izviroma ni gotova, saj je bilo na podlagi črpalnega poskusa v preteklosti ugotovljeno, da lokaciji (Jelševnik, lokaciji 2 in 3) (Habič, Kogovšek, Bricelj in Zupan, 1990) nista povezani. Znano je (Novak, 1996), da voda iz lokacije 4 teče proti lokaciji 5, kar pomeni, da sta ti dve lokaciji povezani. Tudi nihanje koncentracije nitrata je primerljivo. Na neskupno zaledje lokacije 5 z lokacijami 2 in 6 lahko sklepamo tudi iz nihanja temperature vode. Tu je namreč najmanjše, kar nakazuje na pretakanje podzemne vode globlje v kraškem podzemlju. Kaže, da sta lokaciji 4 in 5, kjer se pojavlja beli močeril, geološko ločeni od preostalih lokacij (1, 2, 3 in 6), kjer se pojavlja črni močeril, kar potrjuje najino domnevo o geološkem faktorju omejenosti habitata črnega močerila na površje, manjše od 10 km². Za dokončno potrditev bo na raziskovanem območju potrebno opraviti detajlno geološko kartiranje in strukturno karakterizacijo območja.



Kot drugi cilj sva si zadali ugotoviti stanje nitrata v posameznih izviri in na podlagi vrednosti sklepati na povezave med izviri, kar sva delno osvojili. Za lokacije 1, 4 in 5 opazimo podoben odziv na padavine kot tudi lokacije 2, 3 in 5 (le v novembru pride na lokaciji 3 do povišanja, medtem ko opazimo na lokaciji 5 znižanje koncentracije). Koncentracijo nitrata v podzemni vodi je smiselno spremljati še naprej, saj bo daljši časovni niz podatkov lahko prinesel spoznanja o trendih gibanja vsebnosti nitrata.

Kot tretji cilj sva si zadali ozavestiti prebivalce in pristojne v lokalni skupnosti o pomenu ustreznega zavarovanja habitata črne in bele človeške ribice, s katero si delimo pitno vodo. Velik del delovanja celotne ekipe Mladih raziskovalcev je ravno poudarjanje in ozaveščanje ljudi, da čistega okolja in pitne vode ne sprejemajo za samoumevno, skrb za njuno ohranjanje pa kot strošek in nujno zlo. Kakovost kraških vodnih izvirov je namreč odvisna od učinkovitega preprečevanja onesnaževanja. Zato je na konkretnem območju najinega proučevanja smiselno ustrezno zaščititi območje in s tem omejiti škodljive dejavnosti človeka ter urediti sistem kanalizacije v zaledju izvirov. Na krasu je zaradi načina pretakanja voda, kjer v podzemlje pronica deževnica in tudi vse ostale preko tal naprej proti izvirom sprane snovi, potrebno varovati celotno napajalno zaledje vsakega izvira posebej oz. več izvirov skupaj. Negativna izkušnja z onesnaženjem Krupe daje Belokranjcem vedeti, da je sanacija onesnaženega izvira zelo težavna in dolgotrajna. Postopka samoočiščevanja kraškega izvira ni mogoče pospešiti, preostane nam le, da onesnaženi podzemeljski sistem prepustimo dolgotrajnemu naravnemu izpiranju. Ustrezno zavarovanje območja Jelševnika (lokaciji 2 in 3) je tako prvotnega pomena. Z ekološkega vidika je najino raziskovalno delo pomembno, ker sva pridobili boljšo predstavbo o povezanosti izvirov ter njihovem zaledju, kar bo služilo kot izhodišče za izdelavo predlogov in načrtov za ustrezno zavarovanje (ožjega) raziskovalnega območja. Na tem mestu je prav tako ključno ozaveščati širšo javnost, saj lahko ostanemo brez najpomembnejšega vira pitne vode v Dobličah. Še posebej sva ponosni, da je Občinski svet občine Črnomelj prisluhnil naši predstavitvi in znanstveno utemeljenim opozorilom, saj se že odvijajo dejavnosti v smeri izgradnje sistema kanalizacije med Dobličami in Stražnjim vrhom. Najin cilj je v bližnji prihodnosti pripraviti predlog za zavarovanje območja, s katerim bova skušali spodbuditi lokalno oblast, da začne izvajati postopek ustreznega zavarovanja habitata, kar bo zagotovo pripomoglo k obstoju črnega močerila in ohranitvi pitne vode. Ugotovitve, do katerih smo prišli s prvim sistematičnim preučevanjem močerila v njegovem naravnem okolju, so za znanost neprecenljive, še večjo vrednost pa ima aktivno ozaveščanje prebivalstva o pomembnosti endemita v naši okolici. V lokalnem in širšem okolju je naše delo postalo prepoznano, kar dokazuje prejeto ekološko priznanje Breza, ki ga je Občina Črnomelj februarja 2022 na pobudo dvaintridesetih podpisnikov, podelila prav nam (ekipi Mladih raziskovalcev SŠ Črnomelj). Še posebej v čast nama šteje to, da so podpisniki priznani strokovnjaki in institucije, s katerimi sva imeli privilegij sodelovati v preteklih štirih letih. Še pred zaključkom srednješolskega šolanja načrtujemo objavo strokovnega članka, ki bo povzemal ugotovitve te raziskovalne naloge. Ker se želiva tudi v prihodnje posvetiti trajnostnemu in sonaravnemu ravnanju z naravo, sva tako načrtovali tudi najino nadaljnjo študijsko pot.

6 VIRI IN LITERATURA

Aljančič, M. (1960–1961). Prehrana močerila. *Proteus*, XXIII(8), 224–225.

Aljančič, M. (1986). Živi zmajček. *Pavlihova pratika*, 170–174.

Aljančič, M., Bulog, B., Kranjc, A., Josipovič, D., Sket, B., Skoberne, P. (1993). *Proteus, skrivnostni vladar kraške teme*. Ljubljana: Vitrum, d. o. o.

Ambrožič, Špela, Štangelj, Mojmir, Ivanovič, Mira, Brancelj Bednaršek, Andreja, Križnar, Matija, Aljančič, Gregor (2013). *Narava Bele krajine*.

Arhiv podatkov. (2022). *ARSO METEO*. Pridobljeno 23. 12. 2021, s meteo.si - Uradna vremenska napoved za Slovenijo - Državna meteorološka služba RS - Vreme podrobneje (gov.si)>.

Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Jež, J., Celarc, B., Novak, M., Milanič, B., Markelj, A., Bavec, M., Kastelic, V. (2021). Database of Active Faults in Slovenia: Compiling a New Active Fault Database at the Junction Between the Alps, the Dinarides and the Pannonian Basin Tectonic Domains. *Frontiers in Earth Science*, 9. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2021.604388>.

Atlas okolja. (2022). *Agencija Republike Slovenije za okolje*. Pridobljeno 8. 1. 2022, s [Atlas okolja \(gov.si\)](https://atlas.okolje.gov.si)>.

Bajuk, M., Vraničar, Š. (2020). *Pomagajmo preživeti črnemu močerilu* (Raziskovalna naloga). Srednja šola Črnomelj, Črnomelj.

Bajuk, M., Fabjan, V., Kavčič, K., Pezidrc Burazer, Z., Vraničar, Š. (2020). *Kdo sem*. Črnomelj: Print1a.

Bajuk, M., Kavčič, V., Vraničar, Š. (2021). Analiza prsti z okolice Jelševnika in Otovskega brega. *Belokranjec*, jan., let. 21.

Bat, M., Frantar, P. (2008). Vodna bilanca. V P. Frantar (ur.), *Vodna bilanca Slovenije* (str. 9–13). Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. Dostopno na [untitled \(gov.si\)](https://www.mz.gov.si)>.

Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjar, M., Čakalo, M. (1984). Tumač za list Črnomelj. *Osnovna geološka karta SFRJ*. Zvezni geološki zavod Beograd.

Bulog, B. (2009). *Ocena okoljskega onesnaženja kraškega podzemlja v Jelševniku pri Črnomlju in vplivi na črno podvrsto močerila (Proteus anguinus parkelj, Amphibia, Proteidae)* (Raziskovalno poročilo). Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana.

Bulog, B. (2013). Človeška ribica. V M. Štangelj in M. Ivanovič (ur.), *Narava Bele krajine* (str. 175–183). Metlika: Belokranjski muzej Metlika.

Čar, J. (2018). Geostructural mapping of karstified limestones / Strukturno-geološko kartiranje zakraselih apnencev. *Revija Geologija*, 61/2, str. 133–162.

- Debeljak, T. (2016). *Onesnaževanje voda v Sloveniji* (Diplomsko delo). Univerza v Mariboru, Fakulteta za varnostne vede, Maribor. Pridobljeno s <[DKUM - Onesnaževanje voda v Sloveniji : diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija Varnost in policijsko delo](#)>.
- Dobličica (2022). *METEO ARSO*. Pridobljeno s <[Doblicica.pdf \(gov.si\)](#)>.
- Fabjan, V. (2000). *Poskusni priročnik za učitelje geografije za organizacijo ekskurzije v Belo krajino* (Diplomska naloga). Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, oddelek za geografijo, Ljubljana.
- Gabrovšek, F., Turk, J. (2011). Temperatura vode kot naravno sledilo za ugotavljanje pretakanja podzemnih voda: Primer podzemne Pivke in Unice. V Knez, M., Petrič, M. in Slabe, T. (ur.), *Krasoslovje v razvojnih izzivih na krasu: Voda*, (str. 39—46).
- Gams, I. (1961). H morfologiji Bele krajine. *Geografski zbornik*, 6, str. 191—240, Ljubljana.
- Habič, P., Kogovšek, J. (1981). Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica*, 9, str. 129—148.
- Habič, P., Kogovšek, J., Bricelj, M., Zupan, M. (1990). Izviri Dobličice in njihovo širše kraško zaledje. *Acta carsologica*, XIX, str. 5—100.
- Hudoklin, A. (2011). Ali zagotavljamo ugodno stanje človeške ribice v omrežju Natura 2000 v Sloveniji? V Prelovšek, M. in N. Z. Hajna (ur.), *Pressures and Protection of Underground Karst – Cases from Slovenia and Croatia* (str. 167—181). Postojna: Inštitut za raziskovanje krasa ZRSC SAZU.
- Hudoklin, A., Aljančič, G. (2017). Pregled razširjenosti človeške ribice ter njenega odkrivanja na nizkem dolenskem krasu. *Dolenjski kras*, (7), str. 212—227. Pridobljeno s <<http://www.jknm.si/media/DK/DK737HudoklinAljancicPregledrazsirjenosticloveskeribice.pdf>>.
- Hudoklin, A. (2018). Stanje človeške ribice v omrežju NATURA 2000. *Natura Sloveniae*, 18, 1, str. 43—44.
- Kakovost pitne vode na območju občin Črnomelj in Semič. (31. 5. 2021). *Komunala Črnomelj*. Pridobljeno 4. 3. 2022, s <http://www.komunala-crnomelj.si/clanek1.asp?nm_tbl_cate.id=20&id=15&n=Kakovost%20pitne%20vode>.
- Kavčič, V. (2021). *Analiza vode izvirov nahajališč črne človeške ribice* (Raziskovalna naloga). Gimnazija Bežigrad, Ljubljana.
- Klepč, S. (1970). Rezultati jamskih raziskav v Beli krajini. *Naše jame*, 11(1969), str. 51—56.
- Klimogram Črnomelj – Dobliče. (2022). *ARSO METEO*. Pridobljeno s <[meteo.si - Uradna vremenska napoved za Slovenijo - Državna meteorološka služba RS - Črnomelj \(gov.si\)](#)>.
- Kogovšek, J. (2007). Značilnosti pretakanja padavin skozi vadozno cono krasa. Pridobljeno 6. 3. 2022, s <http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2004/SZGG_04_Kogovsek.pdf>.

- Kogovšek, J. (2011). Impact of chlorides, nitrates, sulfates and phosphates on increased limestone dissolution in the karst vadose zone (Postojna Cave, Slovenia). *Acta carsologica*, 40(2), str. 319—327.
- Kogovšek, J., Petrič, M., Ravbar, N. (2011). Značilnost kraških vodonosnikov, njihova ranljivost in ogroženost. V Knez, M., Petrič, M. in Slabe, T. (ur.), *Krasoslovje v razvojnih izzivih na krasu: Voda*, (str. 8—19).
- 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.
- Komac, B. (2005). *Dolomitni kras ali fluviokras?* Pridobljeno 7. 3. 2022, s <[\(PDF\) DOLOMITNI KRAS ALI FLUVIOKRAS? \(researchgate.net\)](#)>.
- Janža, M., Mezga, K., Koren, K., Šram, D. (2015). Priprava strokovnih podlag in strokovna podpora pri izvajanju vodne direktive za področje podzemnih voda (Direktiva 2000/60/EC), Pregled ekosistemov odvisnih od stanja podzemnih vod, Končno poročilo. Pridobljeno 7. 3. 2022, s <[Končno poročilo \(gov.si\)](#)>.
- mag. Dobnikar Tehovnik, M., mag. Gacin, M., mag. Mihorko, P. (1. 7. 2020). *Kemijsko stanje podzemne vode - poročilo za leto 2019*. Pridobljeno 28. 2. 2022, iz ARSO OKOLJE: <https://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20porocila/Porocilo_podzemne_2019_splet.pdf>.
- Melik, A. (1959). Opis slovenskih pokrajin: Posavska Slovenija. *Slovenija, geografski opis, II*(3. zvezek). Pridobljeno s <[Posavska Slovenija Anton Melik.pdf \(sistory.si\)](#)>.
- Monitoring fizikalnih in kemičnih parametrov. (2022). *Kras*. Pridobljeno 7. 3. 2022, s <[KRAS - Monitoring fizikalnih in kemičnih parametrov \(razvojkrasa.si\)](#)>.
- Naravne vrednote. (2021). *Zavod Republike Slovenije za varstvo narave*. Pridobljeno 23. 12. 2021, s <<https://zrsvn-varstvonarave.si/kaj-varujemo/naravne-vrednote/>>.
- Naravovarstveni atlas. (2021). *Zavod Republike Slovenije za varstvo narave*. Pridobljeno 8. 1. 2022, s <[Naravovarstveni atlas \(naravovarstveni-atlas.si\)](#)>.
- Natura 2000. (2022). *Živi z NATURO 2000*. Pridobljeno 17. 2. 2022, s <[Natura 2000 - NATURA2000](#)>.
- Novak, D. (1989). Pregled hidroloških raziskav v Beli krajini. *Naše jame*, 31(1), str. 44—99.
- Novak, D. (1996). Padavinsko zaledje izvira Jelševnice. *Naše jame*, 38(1), str. 105—110.
- O posameznih parametrih na kratko. (2014). *NIJZ*. Pridobljeno 28. 10. 2019, s <<https://www.nijz.si/sl/o-posameznih-parametrih-na-kratko>>.
- Osnove hidrologije. (2014). Pridobljeno 5. 3. 2022, s <[OSNOVE HIDROLOGIJE \(uni-lj.si\)](#)>.

- Petrič, M. (2014). Voda v krasu. Pridobljeno 6. 3. 2022, s <http://www.gepgis.eu/sl/wp-content/uploads/2014/03/2_PETRIC.pdf>.
- Placer, L. (2008). Principles of the tectonic subdivision of Slovenia / Osnove tektonske razčlenitve Slovenije. *Revija Geologija*, 51/2, str. 205—217.
- Plut, D. (1981). Neurejena odlagališča odpadkov v Beli krajini. *Geografski vestnik*, LIII, str. 47—60.
- Plut, D. (1998). Bela krajina. V Orožen Adamič, M. in Perko, D. (ur.), *Slovenija—pokrajine in ljudje* (str. 484—495). Ljubljana: Založba Mladinska knjiga.
- Plut, D., Trobec, T. in Lampic, B. (2013). *Regionalni viri Slovenije. Vodni viri Bele krajine*. Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani.
- Portal PISO. (2022). Pridobljeno 8. 1. 2022, s <[PISO - ČRNOMELJ \(geoprostor.net\)](https://piso-črnomelj.geoprostor.net)>.
- Povprečne mesečne vrednosti evapotranspiracije v obdobju 1971—2000. (2022). ARSO METEO. Pridobljeno 3. 3. 2022, s <[meteo.si - Uradna vremenska napoved za Slovenijo - Državna meteorološka služba RS - Povprečne mesečne vrednosti evapotranspiracije v obdobju 1971-2000 \(gov.si\)](https://meteo.si/-Uradna-vremenska-napoved-za-Slovenijo-Drzavna-meteoroloska-sluzba-RS-Povprečne-mesečne-vrednosti-evapotranspiracije-v-obdobju-1971-2000-gov.si)>.
- Pravilnik o določitvi in varstvu naravnih vrednot (Uradni list RS, št. 111/04, 70/06, 58/09, 93/10, 23/15 in 7/19). (2004). Pridobljeno 8. 1. 2022, s <[Pravilnik o določitvi in varstvu naravnih vrednot \(pisrs.si\)](https://pisrs.si)>.
- Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (Uradni list RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16). (2004). Pridobljeno 8. 1. 2022, s <[Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja \(pisrs.si\)](https://pisrs.si)>.
- 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 8. 1. 2022, s <[Pravilnik o pitni vodi \(pisrs.si\)](https://pisrs.si)>.
- Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam (Ur. l. RS 82/2002). (2002). Pridobljeno 8. 1. 2022, s <[Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam \(pisrs.si\)](https://pisrs.si)>.
- Projekt GEP. (2014). Hidrogeološke in prostorske raziskave ter geoinformacijski sistem projekta GEP. Pridobljeno 6. 3. 2022, s <[GEP_WP5_6_7.pdf \(gepgis.eu\)](http://gepgis.eu)>.
- Referenčna evapotranspiracija in padavine samodejnih postaj (dnevni podatki od leta 2017). (2022). ARSO METEO. Pridobljeno 3. 3. 2022, s <[meteo.si - Uradna vremenska napoved za Slovenijo - Državna meteorološka služba RS - Referenčna evapotranspiracija in padavine samodejnih postaj \(dnevni podatki od leta 2017\) \(gov.si\)](https://meteo.si/-Uradna-vremenska-napoved-za-Slovenijo-Drzavna-meteoroloska-sluzba-RS-Referenčna-evapotranspiracija-in-padavine-samodejnih-postaj-dnevni-podatki-od-leta-2017-gov.si)>.
- Registratorja GSR 130NT in GSR 130NTG. (2010). *Eltratec*. Pridobljeno 17. 2. 2021, s <[Registrator GSR 130NT\(G\) | ELTRATEC](https://registrator.gsr.si)>.

Santoso, I. (2019). Izhlepevanje, evaporacija in transpiracija, Evapotranspiracija. Pridobljeno 7. 3. 2022, s [<Izhlepevanje Evaporacija in transpiracija ↓ Evapotranspiracija - ppt κατέβασμα \(slideplayer.gr\)>](#).

Šinigoj, J., Lapanje, A., Poljak, M. (2012). Geologija območja zaledja Dobličice. *Dolenjski kras*, 6, str. 46–52. Pridobljeno s [<DK6_15_sinigoj_Lapanje_Poljak_Geologija_obmocja_zaledja_Doblice.pdf \(jknm.si\)>](#).

Uredba o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16). (2009). Pridobljeno 8. 1. 2022, s [<Uredba o stanju podzemnih voda \(pisrs.si\)>](#).

Uredba o stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13 in 24/16). (2009). Pridobljeno 8. 1. 2022, s [<Uredba o stanju površinskih voda \(pisrs.si\)>](#).

Uredba o varstvu voda pred onesnaženjem z nitrati iz kmetijskih virov (Uradni list RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17). (2010). Pridobljeno 8. 1. 2022, s [<Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov \(pisrs.si\)>](#).

Uredba vodovarstvenem območju za vodna telesa vodonosnikov za območje občin Črnomelj, Metlika in Semič (Uradni list RS, št. 53/16). (2016). pridobljeno 8. 1. 2022, s [<Uredba o vodovarstvenem območju za vodna telesa vodonosnikov za območje občin Črnomelj, Metlika in Semič \(pisrs.si\)>](#).

Verbovšek, T. (2008). *Vpliv prevodnih struktur na tok in prenos snovi v kraško-razpoklinskih vodonosnikih* (Doktorska disertacija). Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, oddelek za geologijo, Ljubljana.

Zakon o ohranjanju narave (Uradni list RS, št. 96/04 – uradno prečiščeno besedilo, 61/06 – ZDru-1, 8/10 – ZSKZ-B, 46/14, 21/18 – ZNOrg, 31/18, 82/20 in 3/22 – ZDeb). (1999). Pridobljeno 8. 1. 2022, s [<Zakon o ohranjanju narave \(ZON\) \(pisrs.si\)>](#).

Zavarovana območja. (2021). *Zavod Republike Slovenije za varstvo narave*. Pridobljeno 23. 12. 2021, s [<Zavarovana območja – Zavod RS za varstvo narave \(zrsvn-varstvonarave.si\)>](#).

Zlokolica, M. (1990). *Hidrogeološke značilnosti zaledja izvira Dobličice* (Magistrska naloga). Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Ljubljana.

Zupan Hajna, N. (2014). *Nepopolno raztapljanje karbonatnih kamnin v kraških jamah Slovenije*. Ljubljana: Založba ZRC.

Slika 2: [Nam lahko človeška ribica podaljša življenje? #video - siol.net](#).

Slika 22:

https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/image/sl/by_variable/precipitation/mean-annual-measured-precipitation_81-10.png (ARSO, 2016).

Ilustraciji močerila: Zala Pezdirc Burazer

