

Zaključno poročilo projekta

Razpis: Ciljni raziskovalni program »CRP 2021«

Naslov projekta: Raziskave za opredelitev in preprečevanje obremenjevanja vodozbirnega zaledja Jelševnišnice in Otovca, s posebnim ozirom na habitat črne človeške ribice (HaČloRi)

Številka projekta: V1-2139

Obdobje izvajanja projekta: 1. 10. 2021 – 30. 9. 2023 (odobreno podaljšanje do 31. 3. 2024)

Naziv in sedež (so)izvajalcev:

- Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Novi trg 2, 1000 Ljubljana (izvajalec; ZRC SAZU),
- Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Kongresni trg 12, 1000 Ljubljana (soizvajalec, UL BF),
- Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana (soizvajalec, GeoZS)

Vodja projekta: dr. Metka Petrič (12605)

Povzetek projekta

Osrednji predmet projekta je opredelitev ukrepov, ki bi učinkovito zagotovili ustrezen habitat za življenje in razmnoževanje bele in črne podvrste človeške ribice (*Proteus anguinus*) v zaledju dveh belokranjskih kraških izvirov, in sicer Jelševnišnice in Otovca. Za določitev strokovno utemeljenih ukrepov je ključna ugotovitev stopnje in virov obremenjevanja podzemne vode s posebnim ozirom na nitrat. Za ukrepanje v prostoru sta temeljnega pomena opredelitev obsega in hidrogeoloških karakteristik kraških zaledij obeh izvirov. Tri partnerji smo z aktivnostmi interdisciplinarno povezali ekološke, hidrogeološke, agronomske in okoljske raziskave.

Površina hidrološkega zaledja je bila določena s klasično bilančno hidrološko študijo izračuna napajalnega zaledja. Izračunana površina je bila v zaledni prostor umeščena na podlagi prisotnosti naravnih (temperatura, stabilna izotopa kisika, ravnotežna koncentracija CO₂, delež dolomita) in umetnih sledil (parametri onesnaženosti) v izvirski vodi. Pri opredeljevanju zaledja izvirov smo si pomagali tudi s študijo ekotoksičnosti sedimentov. Preučili smo glavna dva in sosednjih 10 izvirov.

Vzporedno je bila z zveznimi meritvami, rednim, občasnim in pasivnim vzorčenjem ugotavljana prisotnost klasičnih, novodobnih organskih in mikrobioloških onesnaževal v vodi. Z vzporednimi zveznimi meritvami pretoka in koncentracije nitrata na izviru ter z določanjem emisijskih vrednosti dušika primarno iz kmetijstva in odpadne vode smo vzpostavili kvantitativen model masne bilance dušika, iz katerega smo poizkušali pridobiti deleže posameznih dejavnosti v prostoru k celokupnemu obremenjevanju obeh izvirov. Vrednosti parametrov naravnega ozadja smo ugotavljali v zalednih manjših antropogeno neobremenjenih izvirih in kraških jamah.

Na podlagi koncentracij onesnaževal in virov onesnaženja je potrebno kratkoročne ukrepe izvajati na območju Otovskega brega, in sicer tako na področju kmetijstva kot tudi čiščenja odpadne komunalne vode z odstranjevanjem dušika. Takojšnje ukrepe na področju (zbiranja in) čiščenja odpadne vode z odstranitvijo dušika terja tudi vodozbirno območje Obršca. Na vodozbirnem območju Jelševnišnice je potrebno predvsem omejiti nevarnosti, ki izhajajo iz potencialnih izlitij nevarnih snovi v okolje, ter nekontrolirano poselitev, ki pogosto vključuje okoljsko nesprejemljive rešitve. Odstranjevanje gošče iz greznic bi moralo biti redno in obvezno, izvedeno in evidentirano pa s strani komunalnega podjetja.

Raziskave za opredelitev in preprečevanje obremenjevanja vodozbirnega zaledja Jelševniščice in Otovca, s posebnim ozirom na habitat črne človeške ribice (HaČloRi)

Naročniki: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano,
Ministrstvo za naravne vire in prostor,
Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost.

Izvajalci: Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa,
Titov trg 2, 6230 Postojna (ZRC SAZU).
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta,
Kongresni trg 12, 1000 Ljubljana (UL BF).
Geološki zavod Slovenije,
Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana (GeoZS)

Izdelali: dr. Mitja Prelovšek (ZRC SAZU),
dr. Rozalija Cvejić (UL BF),
dr. Janko Urbanc (GeoZS),
dr. Nina Mali (GeoZS),
dr. Matjaž Glavan (UL BF),
dr. Miha Curk (UL BF),
dr. Sonja Cerar (GeoZS),
dr. Anja Koroša (GeoZS),
dr. Janez Mulec (ZRC SAZU),
dr. Metka Petrič (ZRC SAZU, vodja projekta),
dr. Marina Pintar (UL BF),
dr. Astrid Švara (ZRC SAZU),
dr. Andrej Udovč (UL BF),
dr. Vesna Zupanc (UL BF),
Elvira Colmenarejo Calero (GeoZS, MR)
Urša Petan (ULBF, MR),
Sara Skok (ZRC SAZU, MR).

Tehnični sodelavci: Jure Ferlin (UL BF),
Katja Koren (GeoZS),
Miro Medić (GeoZS),
Mateja Zadel (ZRC SAZU).

Postojna, Ljubljana, 2024.

Kazalo vsebine

1.	Opis problema in cilji projekta	4
2.	Obravnavano območje	8
3.	Metode dela	9
4.	Raziskovalni in drugi rezultati projekta	9
5.	Realizacija predloženega programa dela oziroma ciljev	35
6.	Uporabnost pridobljenih rezultatov (možnost aplikacije).....	36
7.	Mednarodno in nacionalno sodelovanje.....	37
8.	Priporočila naročniku s predlogom nadaljnjih raziskav.....	38
9.	Viri	39

1. Opis problema in cilji projekta

Z obrobje Bele krajine je že desetletja prepoznan habitat zavarovane, ranljive in endemične vrste dinarskega krasa, to je bele človeške ribice (*Proteus anguinus*), hkrati pa tisočletja območje podeželske poselitve in kmetijstva. V 80. letih 20. stoletja je bila na izviru Dobličice odkrita še črna človeška ribica, katere areal razširjenosti se je kasneje razširil še na območje Jelševniščice (Slika 1) in nekaj manjših bližnjih izvirov. Človeška ribica, tako bela kot črna, sta na nacionalni ravni pravno opredeljeni kot zavarovani in ranljivi (Uredba o zavarovanih prosto živečih živalskih vrstah, 2019). Na mednarodni ravni je človeška ribica opredeljena kot kvalifikacijska vrsta območij Natura 2000. Medtem ko bela človeška ribica poseljuje večino Dinarskega krasa, je črna človeška ribica ozek lokalni endemit, katere habitat je bil potrjen na zgolj 2 km² poseljenega plitvega krasa na zahodnem robu Bele krajine (Gorički in sod., 2017). Ker gre torej za belokranjski endemit z majhno stopnjo razširjenosti je interes po ohranitvi te podvrste visok, ogroženost pa izjemno visoka. V nasprotju s črno je bela človeška ribica bistveno bolj razširjena, v preteklosti je bila redno opažena tudi v Otovskem bregu (Slika 2).



Slika 1: Izvir Jelševniščice, imenovan tudi Jezero, ob srednjem vodostaju.



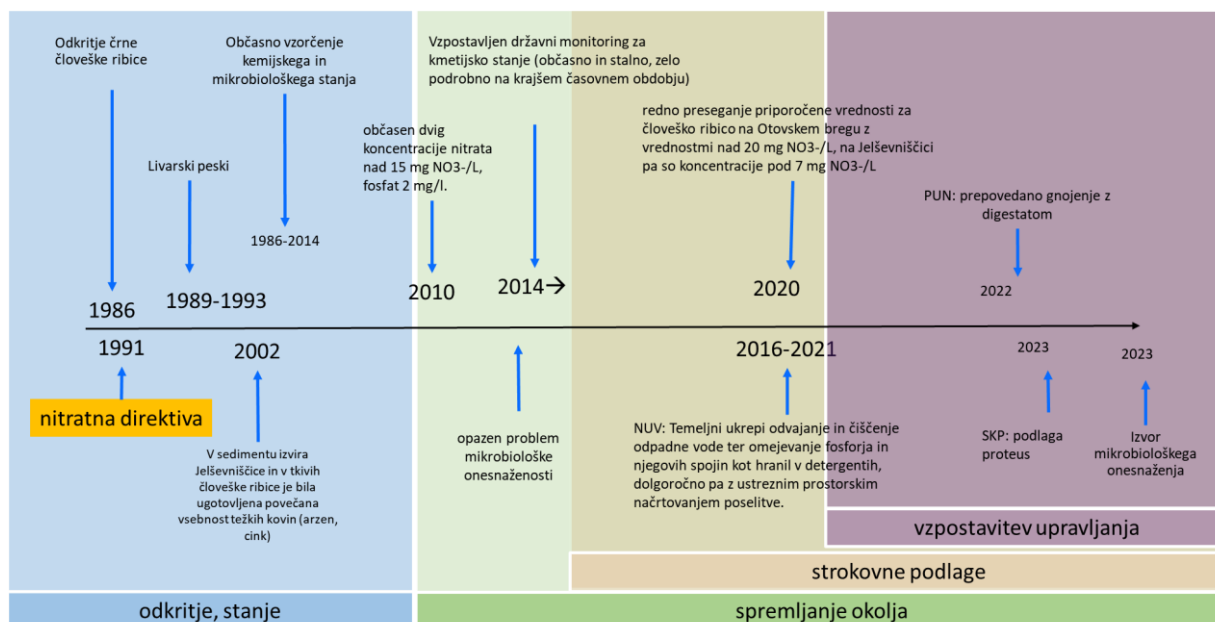
Slika 2: Dotočni del Otovskega brega, ki ponikne po slabih desetih metrih toka.



Slika 3: Zaledna krajina gorvodno od izvirov poseljenih s človeško ribico.

Čeprav je raven pritiskov na kras zaradi antropogenih dejavnosti v Beli krajini ocenjena kot nizka (Ribeiro in Zorn, 2021), pa osnutek načrta upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2022-2027 izpostavlja slabo stanje ekosistemov, odvisnih od podzemnih voda v Beli krajini za habitat človeške ribice. V tkivu črne človeške ribice in sedimentih so bili elementi in spojine, ki lahko izhajajo iz ostankov sredstev za varstvo rastlin (Zn, As, poliklorirani bifenili) (Bulog in sod., 2002). Na Jelševniščici je bil opažen občasen dvig koncentracije nitrata nad 15 mg NO_3^-/L in fosfata (blizu 2 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$) (Hudoklin, 2011; Dobnikar Tehovnik in sod., 2020), kar je v primeru nitrata višje od mejne vrednosti za človeško ribico (9,2 mg NO_3^-/L) (Kolar, 2017). Rezultati monitoringa ARSO od leta 2014 kažejo na redno preseganje priporočene vrednosti za človeško ribico na Otovskem bregu z vrednostmi nad 20 mg NO_3^-/L , na Jelševniščici pa so koncentracije pod 7 mg NO_3^-/L (Dobnikar Tehovnik in sod., 2020).

Pripravljen je bila kronološki pregled pomembnejših mejnikov v iskanju primerne modela zaščite habitata človeške ribice (Slika 4). Pomemben mejnik je uveljavitev nitratne direktiva (1991), ki je bistveno omejila gnojenje. Z občasnim vzorčenjem se je v preteklosti spremljalo kemijsko in mikrobiološko stanje Jelševniščice, ne pa tudi Otovskega brega (1986-2014). V obdobju 1989-1993 so bili 700 m od izvira Jelševniščice odloženi livarski peski, prah filtrskih naprav, in z njimi aromatski ogljikovodiki ter fenoli (Hudoklin, 2012). Nato so bile v sedimentu izvira Jelševniščice (2002) in v tkivih človeške ribice ugotovljene povečane vsebnosti težkih kovin (arzen, cink) (Bulog in sod., 2002), ki domnevno izhajajo tudi iz ostankov sredstev za varstvo rastlin, del pa lahko tudi iz gnojenja z okoljsko neustreznim digestatom prašičje gnojevke. Mobilnost težkih kovin je v kraških tleh sicer zelo zmanjšana, saj se jih le manjši delež sprošča v okolico v pH območju med 6 in 8 (Ji in sod., 2020), ki se pojavlja pri kraških vodah.



Slika 4: Kronološka slika pomembnejših mejnikov v iskanju primerne modela zaščite habitata človeške ribice.

Stanje okolja nakazuje, da imajo antropogene aktivnosti v prostoru (poselitve, industrija in kmetijstvo) mestoma prekomeren vpliv na kakovost habitata (Bizjak Mali in Sket, 2019). S povečano stopnjo urbanizacije podeželskega prostora z majhno ali odsotno komunalno opremljenostjo ter

intenzivnejšimi pridelovalnimi tehnikami v kmetijstvu (npr. uporaba sintetičnih sredstev za varstvo rastlin in gnojevke) prihaja tudi na Z obrobju Bele krajine do čedalje izrazitejših negativnih pojavov, kot je domnevno izginotje populacije bele človeške ribice na območju Natura 2000 Stobe - Breg (SI3000055; Otovec) v zadnjih desetletjih, ki je predvidoma posledica lokalno prekomernih pritiskov s strani poselitve in/ali kmetijstva. Porast nitratov in fosfatov na izviru Jelševniščice okoli let 2009 in 2010 preko mejne vrednosti kaže, da so lahko ob prekomerni obremenitvi v nevarnosti tudi populacije človeške ribice v zaledju večjih izvirov, kjer sicer prihaja do velikih razredčitev.

Splošni cilji projekta, ki smo jih zasledovali pri izvajanju projekta, so:

- zagotavljanje ugodnih življenjskih pogojev v habitatu črne in bele človeške ribice v kraškem zaledju Jelševniščice in Otovca,
- prilagoditev rabe prostora in doseganje trajnostne rabe kraškega zaledja obeh izvirov,
- izdelava priporočil in ukrepov za prilagoditev rabe prostora iz poglavitnih virov obremenjevanja, predvidoma poselitve (komunalna odpadna voda) in kmetijstva, na sprejemljivo raven.

Končni cilj projekta je oblikovanje ukrepov za zmanjšanje obremenjevanja obeh izvirov na za človeško ribico sprejemljivo raven. Za uresničitev tega cilja je potrebno predvsem opredeliti napajalno zaledje, da se ukrepe implementira v ustrezen prostor. Da so ukrepi pravilno usmerjeni, je potrebno opredeliti glavne vire obremenjevanja in njihov delež. Na podlagi tega smo cilje projekta razdelili na tri sosledne sklope aktivnosti:

A. razširjenost in občutljivost človeške ribice, karakterizacija in opredelitev vodozbirnega zaledja Jelševniščice in Otovskega brega,

A.1. opredelitev ekoloških/habitatnih zahtev, občutljivosti in razširjenosti bele in črne podvrste človeške ribice na Z obrobju Bele krajine,

A.2. hidrogeološka, hidrokemijska in mikrobiološka karakterizacija Jelševniščice in Otovskega brega ob različnih hidroloških stanjih (zvezne meritve vsebnosti nitratov, motnosti ter skupnega organskega ogljika, mikrobiološke značilnosti podzemne kraške vode in toksikologija sedimentov),

A.3 opredelitev ožjih in širših vodozbirnih območij obeh izvirov,

B. kvalitativna in kvantitativna opredelitev obremenitev in nevarnosti v vodozbirnem zaledju Jelševniščice in Otovskega brega,

B.1. opredelitev naravnega ozadja ključnih parametrov,

B.2. kvalitativna in kvantitativna prostorska analiza antropogenih obremenitev in nevarnosti na vodozbirnih območjih, opredelitev vpliva na podzemno vodo, diferenciacija glavnih virov obremenjevanja,

B.3. izdelava kvantitativnega konceptualnega modela bilance dušika z delitvijo deleža obremenjevanja po dejavnostih – predvsem kmetijstva (gnojenje) in poselitve (komunalne odpadne vode),

C. opredelitev ukrepov za zmanjšanje obremenitev in nevarnosti v vodozbirnem zaledju izvira Jelševniščice in Otovskega brega na sprejemljivo raven habitata človeške ribice,

C.1. analiza izvajanja obstoječih okoljskih in kmetijskih ukrepov za zmanjšanje vpliva na občutljivih območjih,

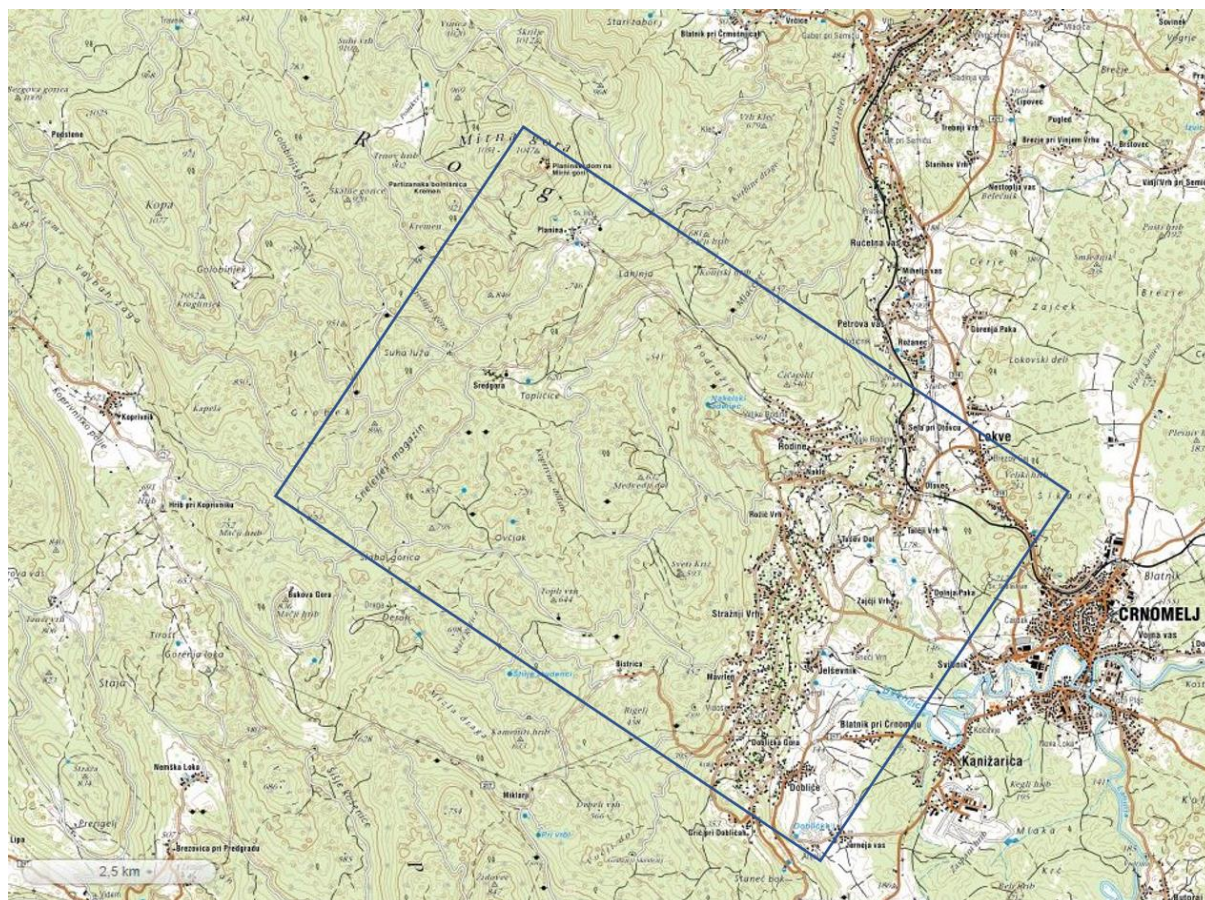
C.2. določitev ukrepov za izboljšanje kakovosti habitata na sprejemljivo (trajnostno) raven (komunala, kmetijstvo),

C.3. določitev ukrepov za zmanjšanje tveganja za onesnaženje habitata, ki bi povzročila bistveno zmanjšanje številčnosti črne človeške ribice (komunala, kmetijstvo).

2. Obravnavano območje

Območje se nahaja na JV delu Slovenije, zahodno od Črnomlja (Slika 5). Nadmorske višine se gibljejo od 140 do 400 m na Belokranjskem ravniku. Ob vznožju pobočja Poljanske gore se postopno zvišujejo do 1.051 m na Mirni gori. Na raziskovalnem območju je več izvirov, kateri se napajajo iz globokega krasa Poljanske gore na zahodu. Slednji so (od severa proti jugu) Otovski breg (157 m n.v.), približno 1 km jugozahodno se nahaja Pački breg na 159 m n.v. Izvir Jelševniščica leži na 142,5 m n.v. Okoli 500 m J od izvira Jelševniščice se nahaja Obršec na 145,1 m n.v., ki je opredeljen kot prelivni izvir z občasnim presihanjem. Južno od Doblič izvira Dobličica na 141 m n.v. in predstavlja glavni vir oskrbe z pitno vodo za celotno Belo krajino.

Območje se nahaja na SV delu Zunanjih Dinaridov, ki so v paleogeografskem smislu pripadali Jadranski karbonatni platformi. Ta je zgrajena iz plitvomorskih karbonatnih kamnin mezozojske starosti, ki so intenzivno zakraseli. Površinska vodna mreža je razvita le na višini terena v bližini kraške podtalnice.



Slika 5: Raziskovalno območje s pričakovanim območjem napajalnega zaledja.

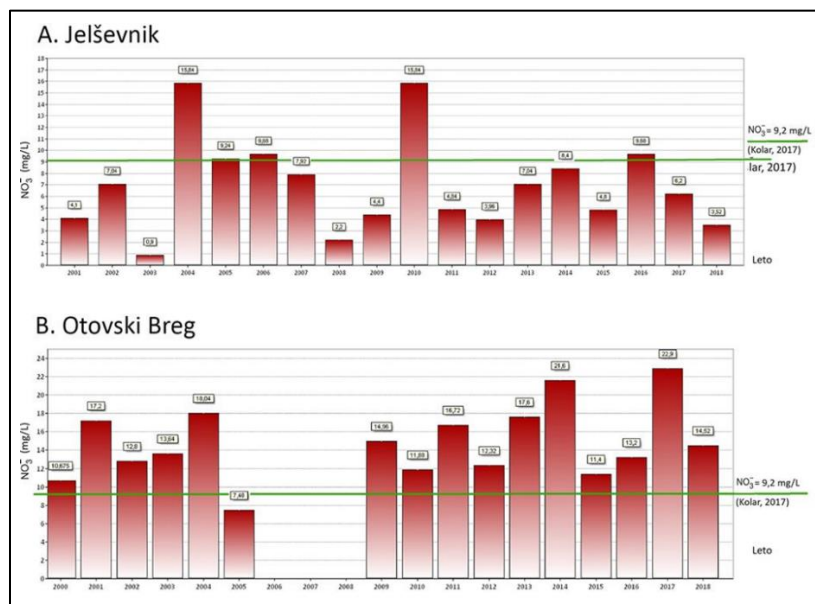
3. Metode dela

V času izvajanja projekta smo uporabljali številno metodologijo s področja okoljskih in kmetijskih znanosti, ki jo na kratko povzemamo v nadaljevanju. Karakteristike vode (kemijsko in izotopsko sestavo) smo opredeljevali s terenskimi in laboratorijskimi meritvami na podlagi vzorcev vode. Mikrobiološko je bila voda analizirana na gojiščih. Meritve vodostaja smo izvajali z avtomatskimi registratorji, občasne meritve pretoka za izračun pretočne krivulje pa s soljo, z doplerjevim hidrometričnim krilom in čolničkom s sonarjem. Zvezno koncentracijo nitrata smo spremljali z nitratnimi sondami. Pasivno vzorčevanje je bilo izvedeno s filtri iz oglja, iz katerih so bila kasneje organska onesnaževala eluirana in analizirana v laboratoriju. Pri analizi smo se opirali predvsem na opisno statistiko. Prostorsko smo rezultate analizirali z geografskimi informacijskimi sistemi (GIS). Izvedeno je bilo geološko kartiranje. Na kmetijskem segmentu smo uporabljali SWAT modeliranje.

4. Raziskovalni in drugi rezultati projekta

Sklop aktivnosti A

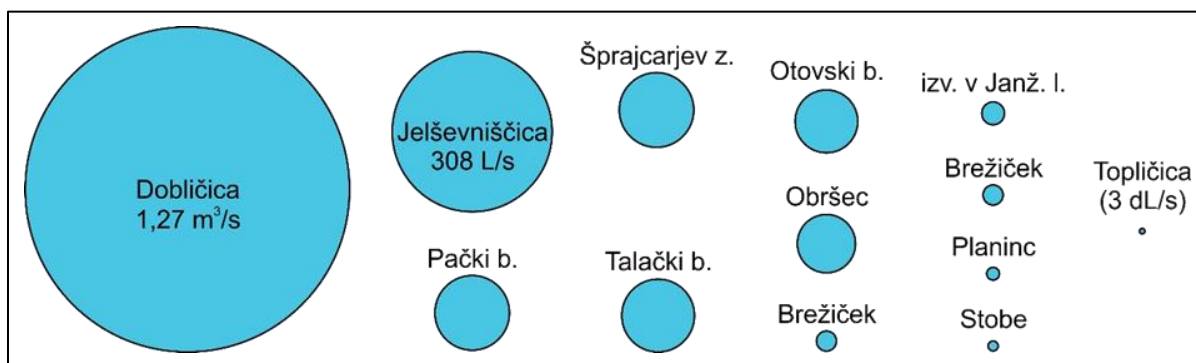
Raziskave v okviru sklopa A so obsegale občutljivost človeške ribice, karakterizacijo in opredelitev vodozbirnega območja. Občutljivost in razširjenost bele in črne podvrste smo povzeli po literaturi. Kot dvoživka se je kaže posebej občutljiva na nitratre (mejna vrednost 9,2 mg NO₃⁻/L), na izviru Jelševniščice se kaže ranljiva tudi zaradi prisotnosti težkih kovin in abrazivnih delcev, ki vplivajo na poškodbe in posledične infekcije kože. Areal razširjenosti bele in črne človeške ribice se načeloma izključuje, na določenih izviroh prihaja do prisotnosti eDNK obeh vrst, kar pa lahko ne pomeni skupnega habitata, temveč napajanje izvira iz območja z belo in črno človeško ribico. Na osrednjih izviroh se je v preteklosti, na Otovskem bregu se kaže še sedaj, že pokazala prekomerna obremenitev habitata (Slika 6).



Slika 6: Koncentracija nitrata med letom 2001 in 2018 na obeh osrednjih izviroh na podlagi meritev Biotehniške fakultete kaže na stalno (Otovski brez) ali občasno (Jelševniščica) preseganje mejne vrednosti za človeško ribico; slednjega v okviru naših raziskav na Jelševniščici nismo opazili. Na Jelševniščici so opazna tudi izredno velika nihanja med leti.

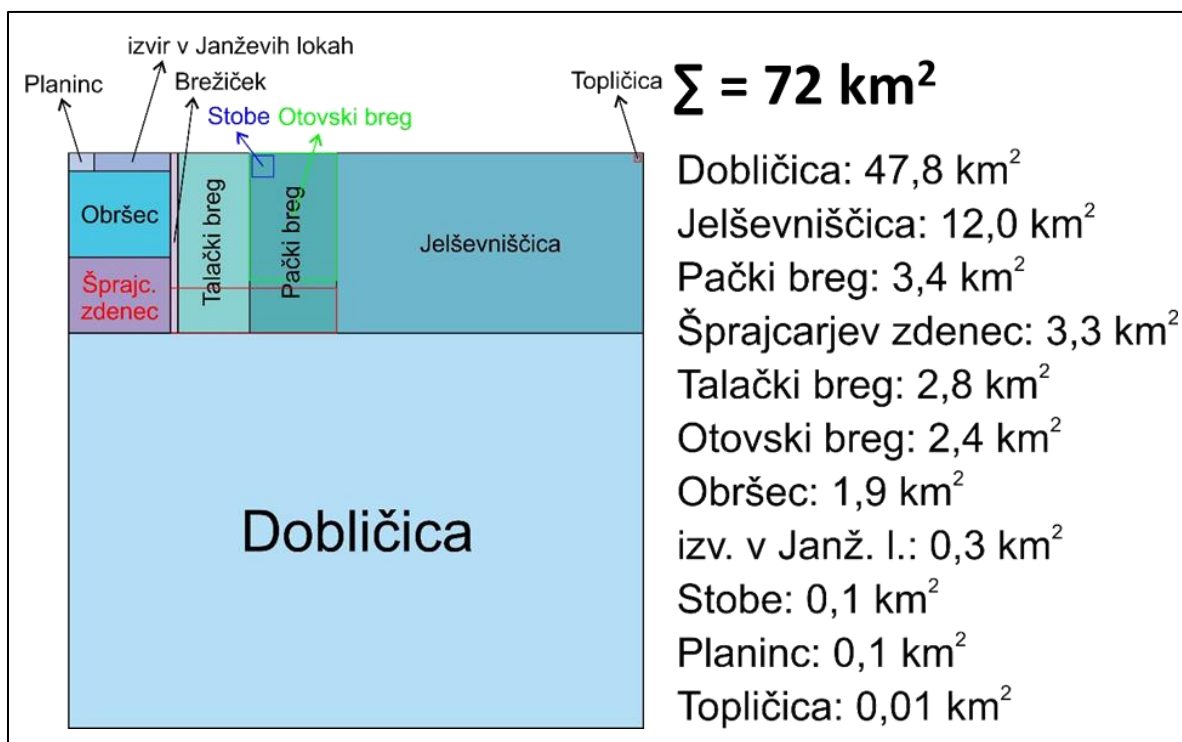
Na osnovi različnih podatkovnih baz smo opredelili ključne izvire v okolici Jelševniščice in Otovskega brega in se posvetili letnemu vzorčenju do 12 izvirov na mesečni ravni. Voda je bila analizirana na več osnovnih parametrov, ki so kazali na značilnosti napajalnega zaledja in onesnaženost. Oba osrednja raziskovana izvira kažeta na izjemno sezonsko stabilnost temperature vode, kar kaže na dobro interakcijo s kamnino vodonosnika zaradi dolgega zadrževalnega časa ali velike razpokanosti.

Meritve povprečnih pretokov omenjenih izvirov (Slika 7) kažejo na zelo različno velika zaledja.



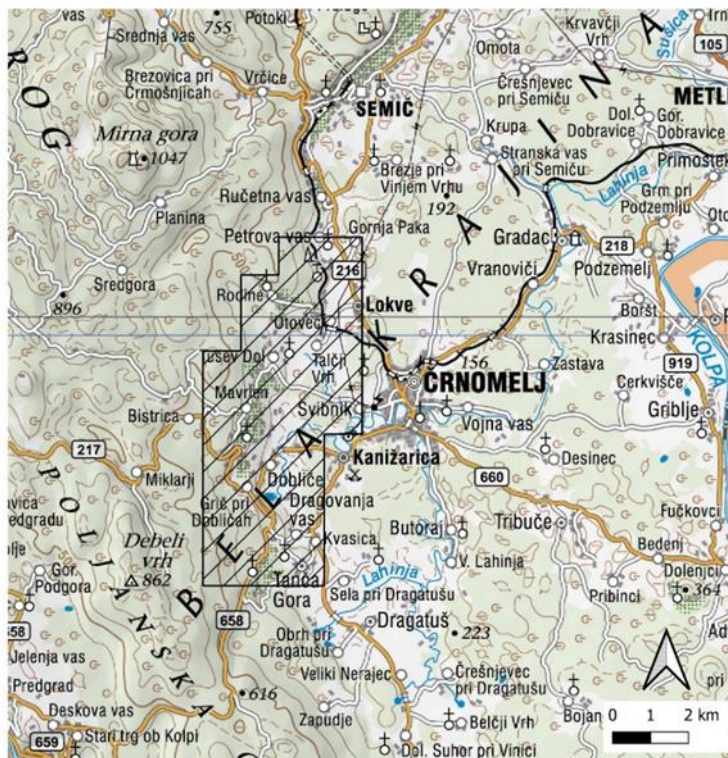
Slika 7: Izdatnost obravnavanih izvirov na Z robu Bele krajine.

Na osnovi primerjave odtoka s količino padavin zmanjšano za količino evapotranspiracije smo izračunali površino vodozbirnega območja, ki meri skupaj 72 km² (Slika 8). Sledili smo obstoječim nacionalnim razmejitvam vodnih teles, ki potrebuje večje popravke na razvodu med Krupo in Lahinjo, tudi vodozbirno območje Dobličice je po trenutno veljavnih podlagah premajhno.



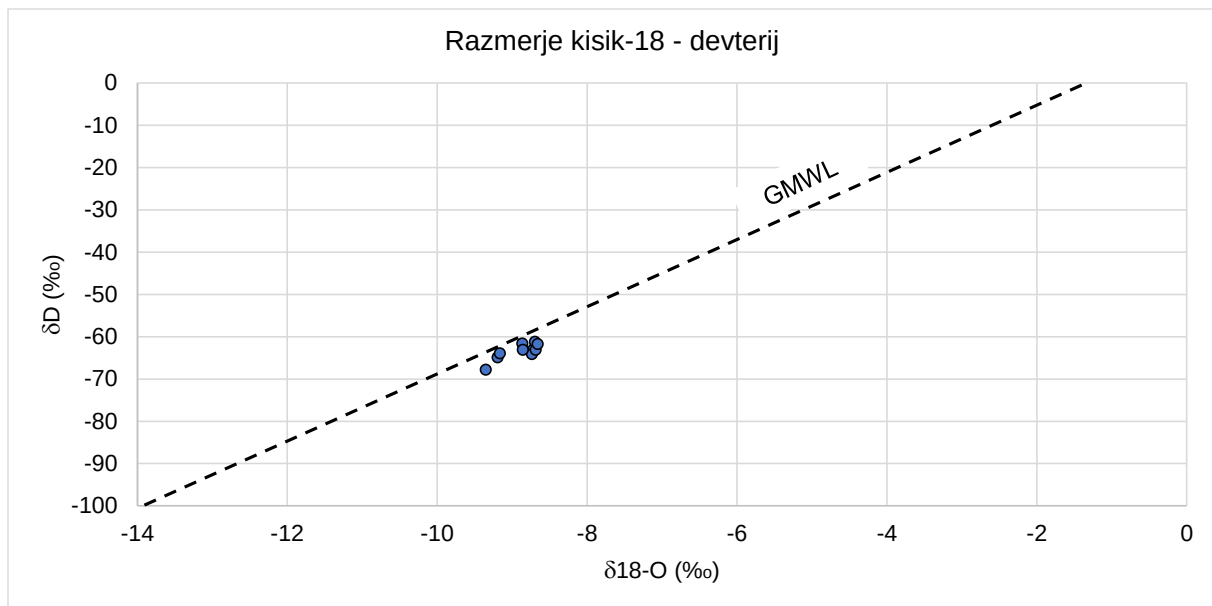
Slika 8: Površina vodozbirnih območij obravnavanih izvirov na Z robu Bele krajine.

Za podrobnejšo opredelitev vodozbirnega območja Jelščevnice in Otovskega brega smo analizirali arhivske geološke in hidrogeološke karte. Na osnovi odprtih vprašanj in diskusij so študentje Univerze v Ljubljani, Naravoslovnotehniške fakultete, Oddelka za geologijo novembra 2022 podrobneje terensko skartirali raziskovalno območje na površini 28 km² (Slika 9). Geološka karta je pokazala zlasti na obseg dolomitov in tektonskih struktur, ki usmerjajo tok vode proti posameznim izvirom.



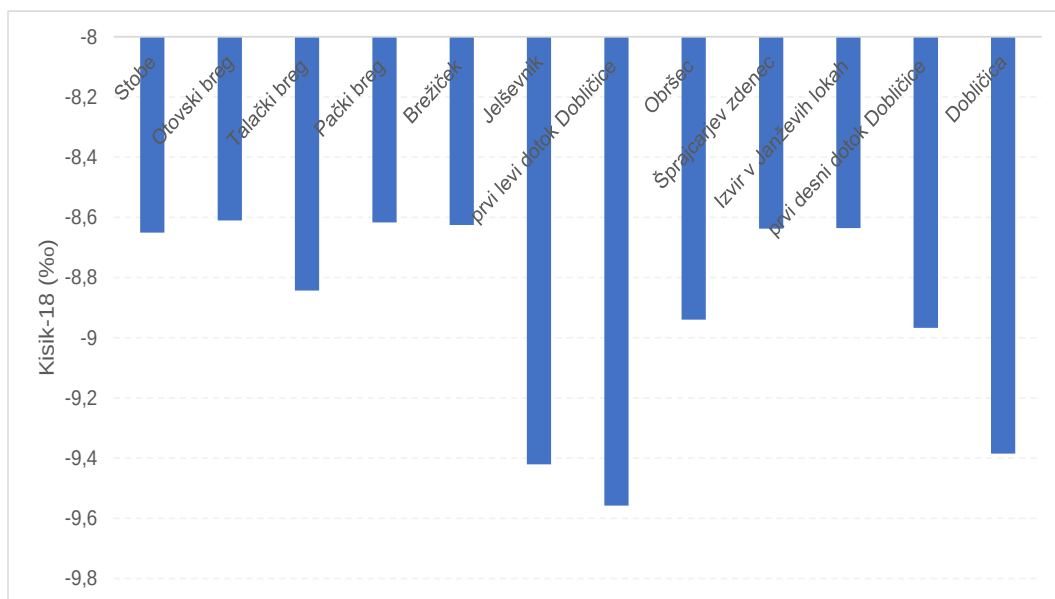
Slika 9: Obseg geološkega kartiranja.

Na vzorčevanih izviri smo analizirali značilnosti izotopske sestave kisika v vodi in posredno tudi devterija, saj sta ta dva izotopa v tesni medsebojni odvisnosti. Slika 10 prikazuje razmerje med izotopsko sestavo kisika-18 in devterija v obravnavanih izvirskih vodah. Razvidno je da izmerjene vrednosti dobro sovpadajo z globalno meteorološko padavinsko linijo (GMWL – Global Meteoric Water Line) odvisnosti med izotopsko sestavo kisika in devterija. Ker je izotopska sestava kisika v vodi prvenstveno odvisna od nadmorske višine padavinskega zaledja izvira oziroma vodnega vira, nam poda informacijo o povprečni višini vodozbirnega območja; bolj pozitivne vrednosti pomenijo obogatitev s težjim kisikovim izotopom ter nižjo nadmorsko višino zaledja in obratno, negativne vrednosti izotopske sestave kažejo na višje padavinsko zaledje.



Slika 10: Izotopska sestava kisika-18 in devterija na obravnavanih izviri.

Slika 11 kaže da so glede na izotopsko sestavo kisika tri skupine vod: prva skupina okoli -8,6 ‰, druga skupina med -8,8 ‰ in -9 ‰ in tretja okoli -9,4 ‰. V prvi skupini so vode relativno obogatene s težjim kisikovim izotopom ^{18}O . Meritve kažejo povprečno izotopsko sestavo kisika v vodah prve skupine okoli -8,6 ‰. V to skupino prištevamo izvire Pački breg, Otovski breg, Stobe ter Izvir v Janževih lokah. Na osnovi izotopske sestave predhodno naštetih izvirov domnevamo, da je nadmorska višina zaledja teh vod relativno nižja in se nahaja predvsem na vzhodnih pobočjih Mirne gore oziroma Poljanske gore, ki prehajajo v nižinski del Bele krajine. Drugo skupino predstavljajo Talčki breg, Obršec ter desni dotok Dobličice gorvodno od mostu čez Dobličico. Njihovo padavinsko zaledje je nekoliko višje kot pri prvi skupini izvirov in seže v zgornji rob prehoda pobočja Poljanske in Mirne gode v planotasto zaledje. Tretjo skupino izvirov predstavljajo izviri, ki so relativno osiromašeni s težjim kisikovim izotopom ^{18}O . V to skupino prištevamo izvire Jelševniščica, Dobličica ter opazovalno mesto na prvem levem dotoku Dobličice pod sotočjem z Jelševniščico (Topličica). Povprečna izotopska sestava vod iz druge skupine je okoli -9,2 ‰. Najvišjo nadmorsko višino zaledja imata torej Dobličica in Jelševniščica. Ker je za območje Bele krajine po literaturi opredeljen višinski izotopski efekt 0,33 ‰/100 m sklepamo, da je nadmorska višina zaledja Dobličice in Jelševniščice za okoli 250 m višja od večine ostalih zaledij. Na osnovi prikazanih rezultatov ocenjujemo, da se glavno zaledje izvirov Jelševniščica in Dobličica nahaja v osrednjem delu Poljanske in deloma Mirne gore. Po enaki metodologiji smo na osnovi izotopske sestave kisika v vodi opredelili tudi relativne nadmorske višine ostalih obravnavanih izvirov. Absolutne nadmorske višine smo opredelili na osnovi primerjave z izvirom Brežiček, pri katerem poleg izotopske sestave kisika lahko zanesljivo določimo tudi srednjo nadmorsko višino zaledja. Ocene srednjih nadmorskih višin posameznih zaledij so zbrane v preglednici 1.

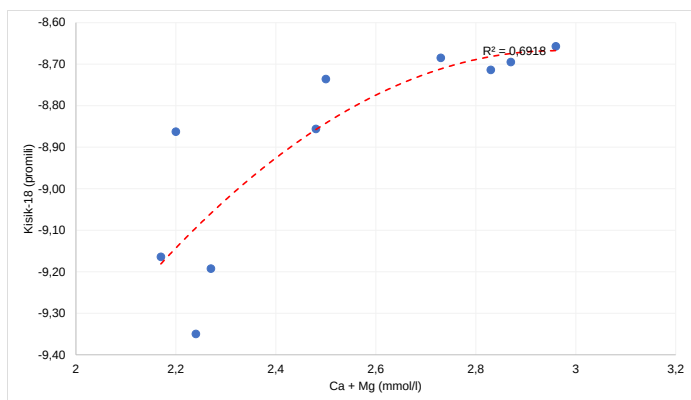


Slika 11: Izotopska sestava kisika na obravnavanih izviri.

Preglednica 1: Srednje nadmorske višine izvirov ugotovljene iz izotopske sestave kisika.

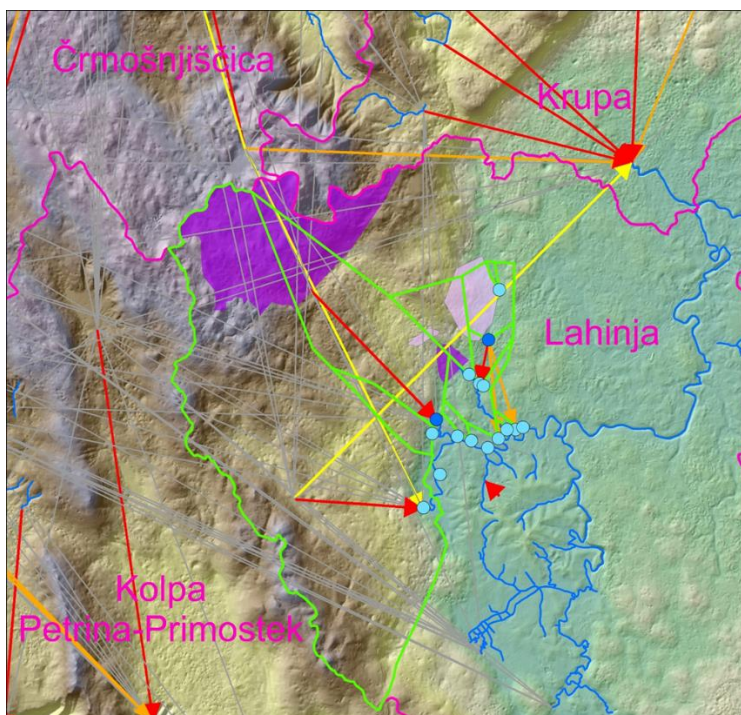
Merilno mesto	Srednja nadmorska višina (m)
Brežiček	146
Dobličica	376
Izvir v Janževih lokah	149
Jelševnik	387
Obršec	241
Otovski breg	142
Pački breg	143
prvi desni dotok Dobličice	250
prvi levi dotok Dobličice pod sotočjem z Jelševniščico (Topličica)	429
Šprajcarjev zdenec	150
Stobe	154
Talački breg	212

Ker sta povprečna nadmorska višina zaledja izvirov in vsebnost raztopljenih karbonatov dostikrat v medsebojni odvisnosti, smo preverili tudi povezavo med izotopsko sestavo kisika, ki odraža nadmorsko višino, ter vsebnostjo kalcija in magnezija v opazovanih vodah. Odvisnost med parametroma prikazuje Slika 12; razvidna je dobra korelacija med obema parametroma, ki kaže, da vsebujejo vode z višjo nadmorsko višino zaledja tudi nekoliko manj raztopljenih karbonatov, in sicer zaradi manjšega deleža CO₂ v prsti ter s tem v vodi.

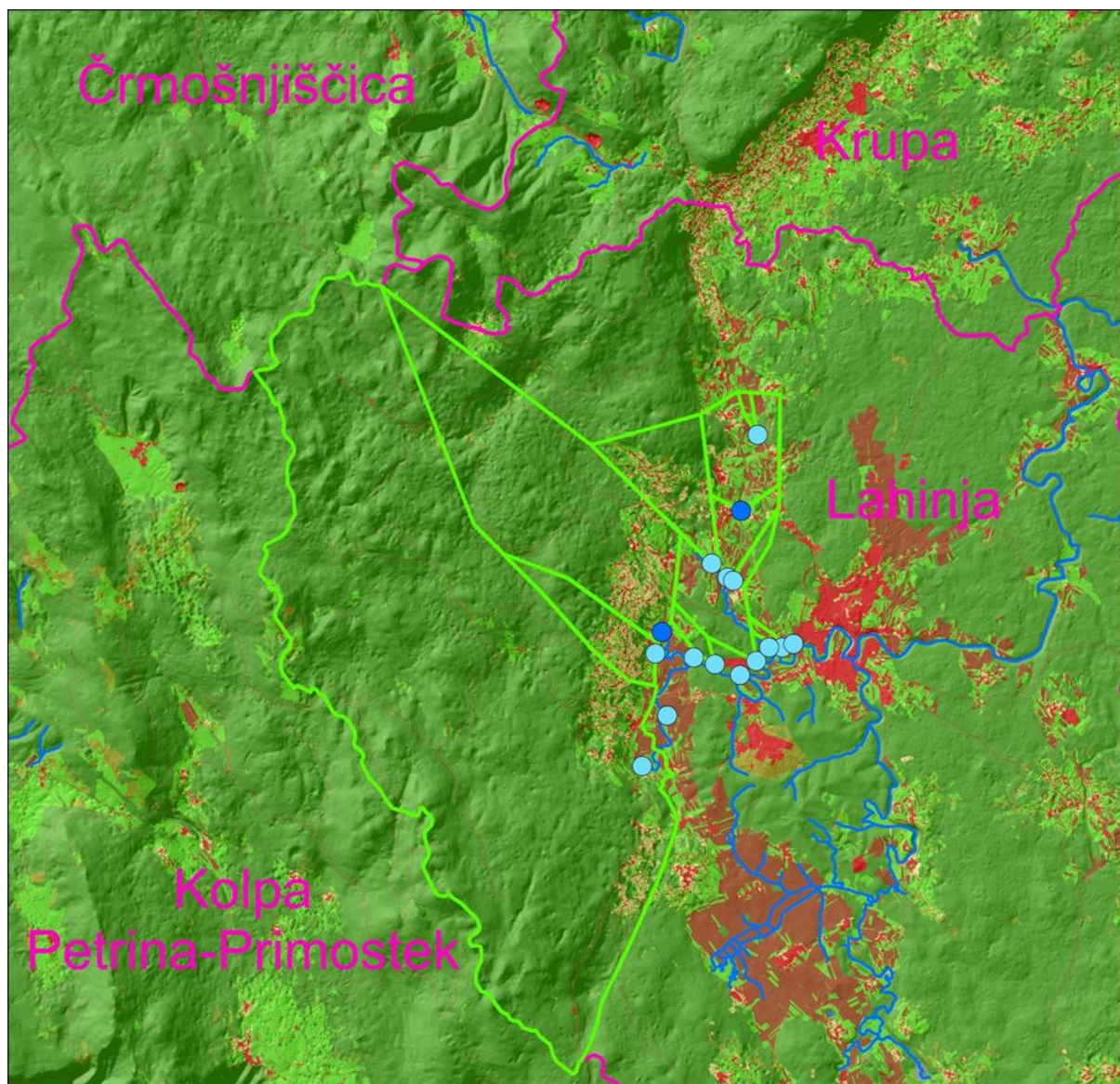


Slika 12: Odvisnost med izotopsko sestavo kisika v vodi ter skupno koncentracijo kalcija in magnezija v vodi.

Izotopska sestava vode in temperaturne razlike med izviri kažejo na dvoje osrednjih in prehodno napajalno zaledje, in sicer višje gozdnato, ki je manj antropogeno obremenjeno, nižje poseljeno in kmetijsko, ki je bolj obremenjeno, ter vmesno prehodno. Z več iteracijami smo površino vodozbirnih območij poskusili umestiti v prostor ter vseskozi preverjali in izboljševali korelacijo povprečne nadmorske višine s pričakovano glede na stabilna izotopa kisika, temperaturo vode, vsebnost CO₂ ter deležem dolomita v vodozbirnem območju (izračunanem iz koncentracije magnezija). Rezultate smo preverili z izvedenimi sledilnimi poskusi, ki so v grobem potrdili ustreznost razmejitve (Slika 13). Na vodozbirnih območjih smo v nadaljevanju analizirali tudi rabo tal (Slika 14).



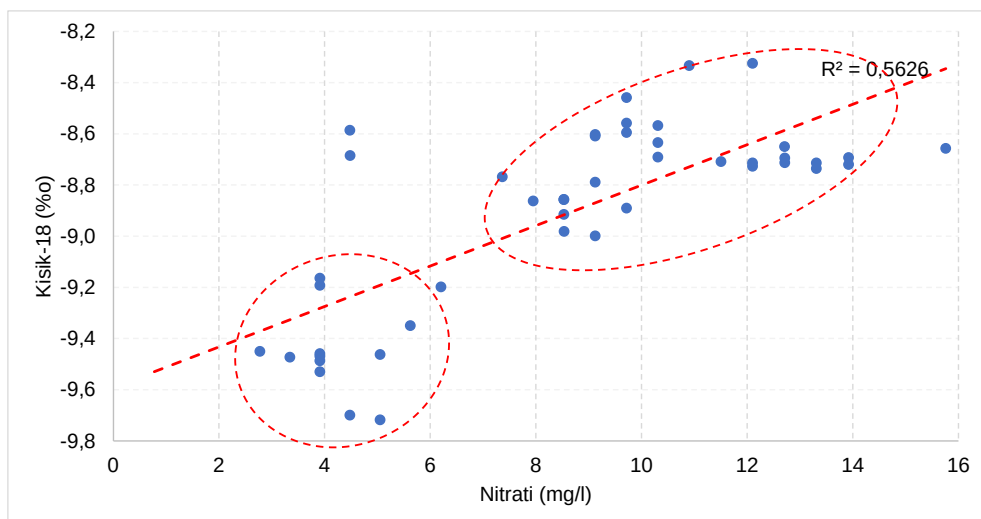
Slika 13: Razmejitev obravnavanih vodozbirnih območij (zelenе črte) glede na vodna telesa (roza črt), dolomite (temno vijolična zelo dolomitiziran apnenec, svetlo vijolična srednje dolomitiziran apnenec) in sledilne poskuse (rdeča črta glavna povezava, rumena črta stranska povezava). Osrednja obravnavana izvira sta označena s temno modrima pikama.



Slika 14: Raba tal na obravnavanem območju (rdeče pozidane površine, rjava njive, svetlo zelene travniki, temno zelena gozd) glede na razmejitev obravnavanih vodozbirnih območij (zelene črte). Osrednja obravnavana izvira sta označena s temno modrima pikama.

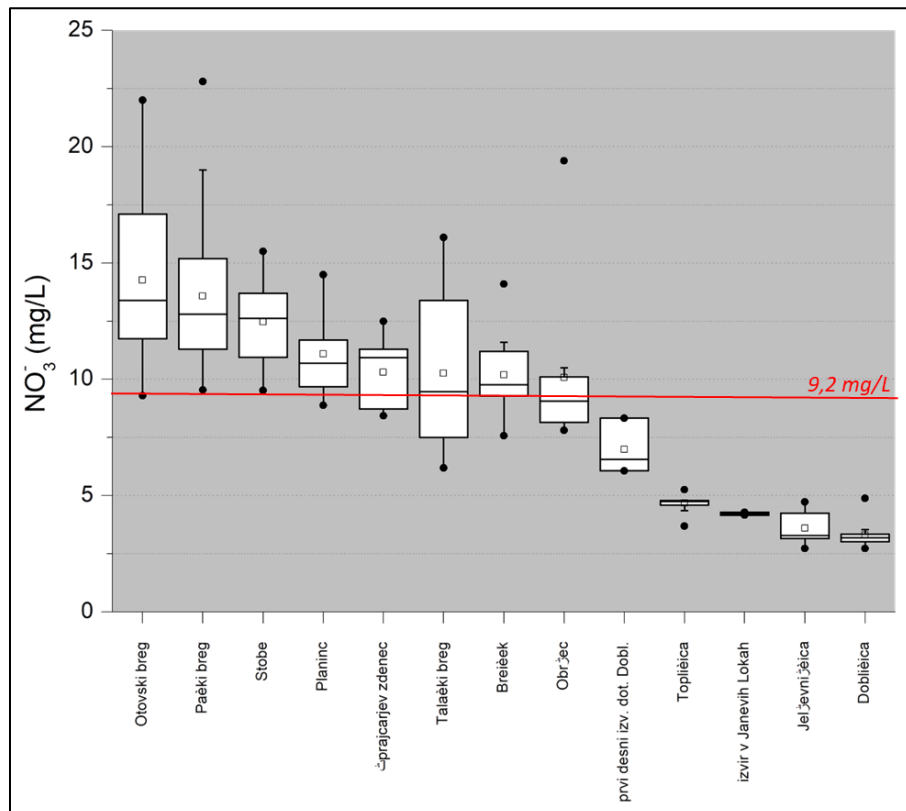
Sklop aktivnosti B

Ugotovljena je dobra korelacija med izotopsko sestavo kisika ter koncentracijo nitratov v vodi (Slika 15). Rezultati kažejo, da imajo izviri, ki so obogateni s težjim kisikovim izotopom ter imajo nižjo nadmorsko višino, tudi višje koncentracije nitratov.



Slika 15: Odvisnost med izotopsko sestavo kisika ter koncentracijo nitratov v vodi.

Z vidika nitrata, katerega vpliv je najbolj proučen za človeško ribico ter opredeljen tudi z mejno vrednostjo, se kažeta dve skupini izvirov, in sicer manj obremenjena z višjim gozdnatim vodozbirnim območjem in bolj obremenjena nižje ležeča območja (Slika 16). Pri slednjih koncentracija nitrata redno presega mejno vrednost za proteusa, pri treh izviri (Otoški breg, Pački breg, Stobe) praktično vedno. Na drugi strani na Dobljici in Jelševniščici koncentracija nitrata nikoli ne presega 5 mg NO_3^-/L .



Slika 16: V okviru projekta CRP opredeljena koncentracija nitrata na obravnavanih izviri Bele krajine z mejno vrednostjo za človeško ribico.

Pogovori z lokalnimi deležniki (kmetje, kmetijski svetovalci, prebivalci) kažejo na nekatere značilnosti kmetijstvo na tem območju tik pred uveljavitvijo nitratne direktive:

- Rastlinska pridelava: V bližini je deloval živilsko-predelovalni obrat Belsad, kjer je prevladoval je prevzem jabolk (travniški nasadi), druga pridelava ni bila povezana s predelovalno industrijo oz. le v manjšem delu. Na območju je prevladovala pridelava pšenica, koruza, ječmen (cca 80%) in bela repa, pesa in krompir (cca 20%). V bližini so pred 70 leti na dragatuškem koncu gojili tudi tobak, hmelj. Vrtnine na tem območju niso pridelovali, te se v večjem obsegu pojavijo samo v okolici Kolpe po razvoju namakalnega sistema (nekje po 90ih). Na območju je potekalo in poteka gojenje nekaterih solatnice in plodovke, vendar zgolj za samooskrbo.
- Živinoreja je bila pred letom 2002 bolj intenzivna. Do 20% več živine je bilo v hlevih, dojilje, skupno goveda manj. Mnogo več je bilo drobnice na paši ob vznožju in višje, nekaj tudi po dolini, ki jo je sedaj komaj opaziti.
- Gnojenje: Na področju gnojenja se je uvedla uporaba gnojilnih načrtov, kljub temu je še vedno veliko gnojena po občutku, tukaj se pojavlja pomanjkanje znanja in do določene mere tudi le delno upoštevanje navodil. Cena ključen dejavnik pri smotrni rabi gnojil

Značilnosti rastlinske pridelave, v smislu kolobarja, so ostale podobne kot v bližnji preteklosti. Zmanjšalo se je število glav velike živine. Vpeljane so bile smernice za dobre prakse z gnojenjem. Lokalno in na širšem območju je mozaičnost rabe prostora ostala, kljub komasacijam (Griblje, Lokve). Problemi, ki jih lokalno opažamo pri mozaični rabi so točkovne preobremenitve, zbijanje tal in večja poraba energije in časa. Trendi rabe se kažejo tudi v današnji rabi kmetijskega prostora.

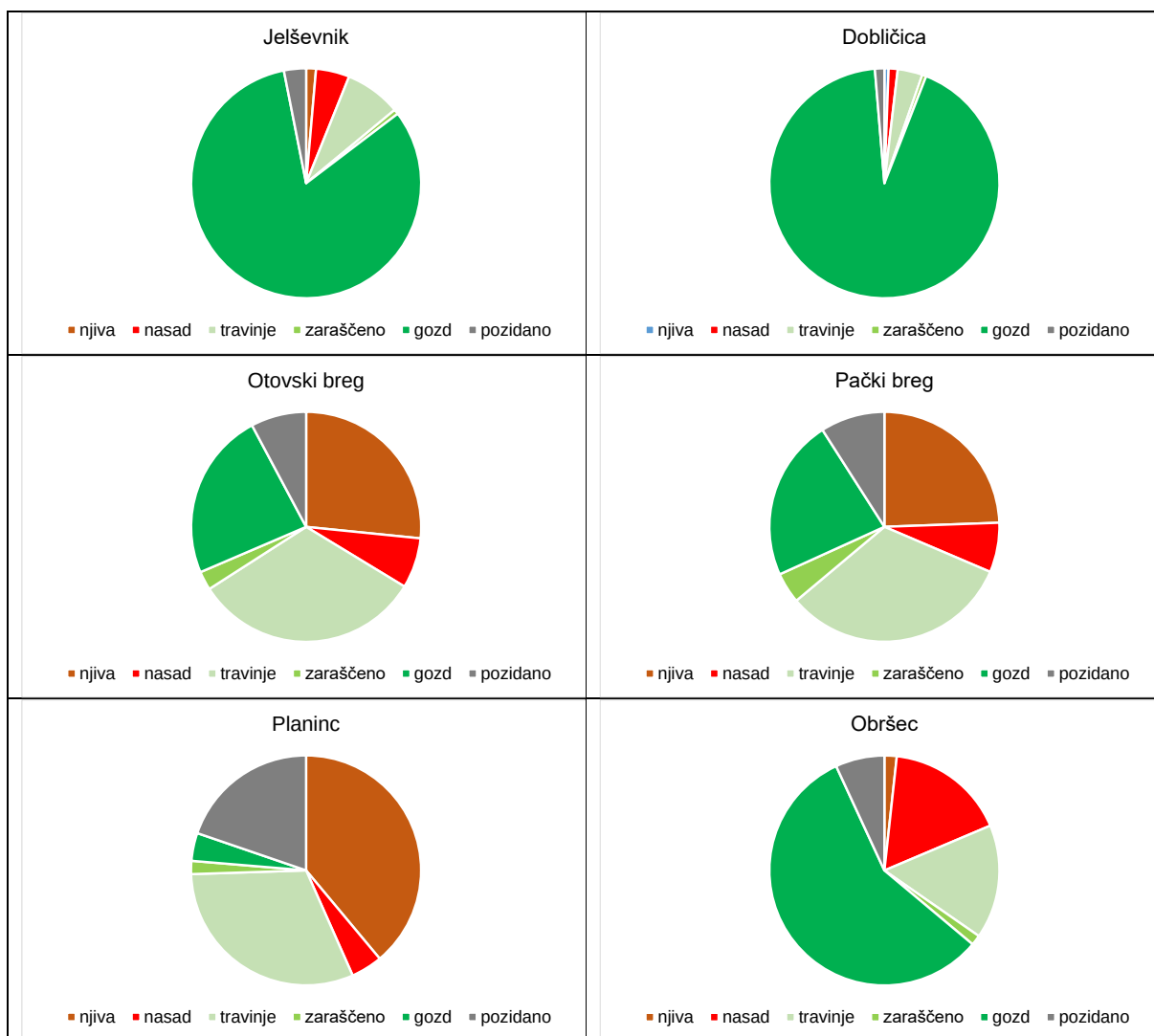
Osrednji del kmetijske politike zadnji 50 let je zmanjšanje vpliva kmetijstva na kakovost podzemne vode za pitne namene. Nekateri ukrepi v kmetijstvu, ki so namenjeni zaščiti virov pitne vode na območju Slovenije, so bili finančno podprti že znotraj Programa razvoja podeželja (PRP) 2014 – 2020, zdaj je potrjeno da bodo tudi v novem programskem obdobju. Ukrepi gredo v smeri uveljavljanja petletnega kolobarja. Z vidika preprečevanja koncentriranja in izpiranja nitrata so aktualne zahteve operacije vodni viri pod ukrepom ozelenitev njivskih površin (obvezna zahteva), ter obdelavi površin s posejanimi neprezimnimi medonosnimi posevki in po pravilu poznih hibridov koruze, podoravanje rastlin za podor (izbirni zahtevi). Vse sodijo med ukrepe uvedbe prekrivnih posevkov, ki jih ne dognoujemo.

V analizo je bil zajet obseg vključenosti v ukrepe SKP v letu 2023, še posebej, v nadstandardne enoletne ukrepe Sheme za okolje in podnebje v okviru neposrednih plačil (SOPO), vključenost v 5-letne ukrepe v okviru sheme KOPOP ter vključenost v ekološko kmetovanje, pridelavo lokalnih oz. avtohtonih sort, ki jim grozi genska erozija. V vseh shemah nas je zanimala vključenost v ukrepe, ki vključujejo zahteve, ki imajo pozitiven vpliv na zmanjševanje intenzivnosti rabe travnatega in njivskega sveta. Take ukrepe vidimo predvsem naslednje: ekstenzivna raba travnatega sveta, razvoz tekočih živilskih gnojil z nizkimi izpusti v zrak, gnojenje le z lastnimi organskimi gnojili na travnatem svetu in trajnih nasadih, ter setev dosevkov (prezimnih, neprezimnih, medonosnih, podsevkov) na njive, po pravilu glavnih kultur. Velik pozitiven vpliv na okolje ima gotovo tudi preusmeritev kmetij v ekološko. Slednji ukrep v kombinaciji s pridelavo avtohtonih oz. tradicionalnih sort ter pasem je gotovo pozitivna smer tudi za varovanje naravovarstvenih območij ter lepimi priložnostmi za povezavo kmetovanja s turizmom in gastronomskimi zgodbami.

Na ožjem območju Proteus je v SOPO ukrepe vključenih 29 kmetij (140 ha), 7 kmetij izvaja KOPOP ukrepe (na cca. 89 ha), 5 kmetij je vključenih v ekološko kmetovanje (59 ha) in 2 kmetiji v gojenje lokalnih sort (11 ha). Za vse kmetije je bil narejen pregled stanja dušika, ki izhaja iz domačih živilskih gnojil. Analiza živinoreje na ožjem območju je pokazala, da je intenzivnost nizka, v povprečju le

0,48 GVŽ/ha, kar je pod povprečjem intenzivnosti v Beli Krajini in v Sloveniji (0,6 GVŽ/ha). Analiza izvedenih vzorčenj tal za standardno pedološko analizo in izdanih izvidov o stanju nitrata v tleh, pred načrtovanim dognojevanjem z dušikom je pokazale dokaj nizka stanja nitrata, kar je verjetno povezano tudi z precejšno količino padavin spomladi in celotno rastno dobo v letu 2023.

V analizo stanja je bilo vključeni 153 kmetij, na vplivnem območju črne človeške ribice: Jerneja vas, Dobliče, Doblička gora, Grič, Svibnik, Zajčji vrh, Blatnik, Jelševnik, Mavrlen, Stražnji vrh, Tušev dol, Dolnja Paka, Otovec in Talčji vrh. Izvedena je bila analiza vključenosti v ukrepe Strateškega načrta Skupne kmetijske politike 2023-2027 (SKP). Na podlagi pregleda Zbirnih vlog za leto 2023 ter na podlagi poznavanja kmetij oz. razgovora z nosilci na ožjem območju Proteus deluje 84 kmetij, ki ima v uporabi 490 ha zemljišč. Prevladujejo njive in začasno travinje ter trajno travinje in ekstenzivni sadovnjaki, manjši del predstavljajo vinogradi in intenzivni sadovnjaki. Za njivsko rabo so na obravnavanem območju značilni kolobarji z večjim obsegom žit in trav (v obsegu cca. 100 ha), koruzo (60 ha) in metuljnicami (30 ha).

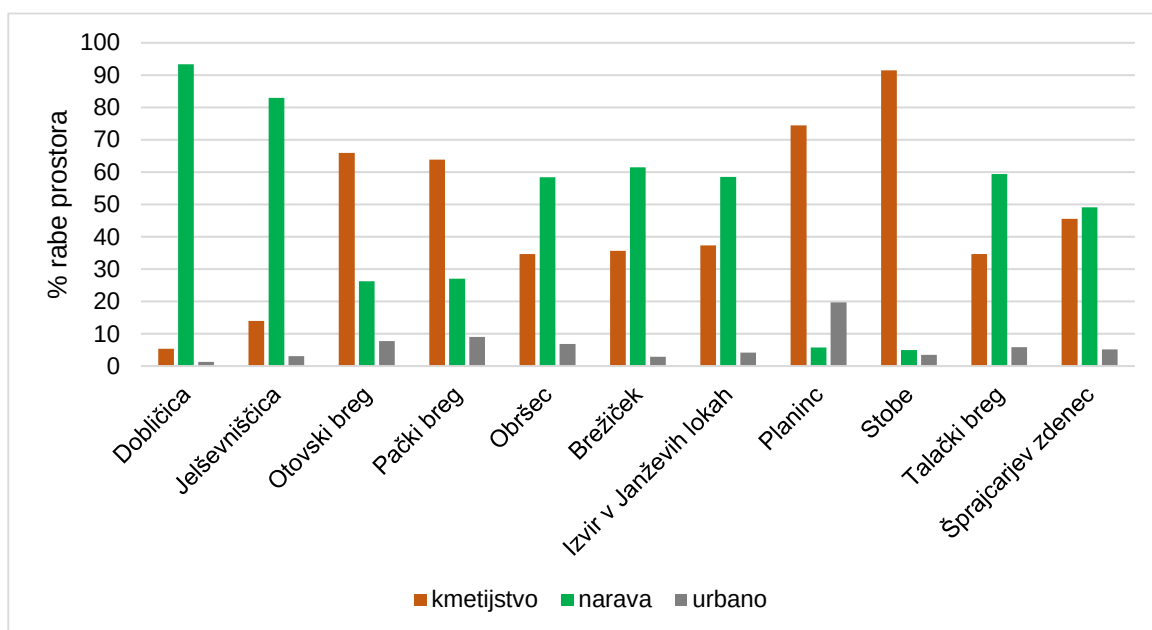


Slika 17: Raba tal v zaledjih pomembnejših proučevanih izvirov.

Tipičen kolobar na širšem območju habitata črne človeške ribice je nadstandarden in predstavlja 40 % koruze, 30 % žit in 30 % deteljno-travnih mešanic (DTM). Običajno zaporedje kultur v štiriletnem kolobarju je koruza, pšenica, koruza, ječmen (ali DTM) in DTM in je vezan na živinorejsko pridelavo (v raziskavi so sodelovale pretežno prašičerejske kmetije) (Strgulec, 2021). Na obarvanih vodozbirnih območjih je bilanca N na njivah 6 kg N/ha (Strgulec, 2021) in nakazuje na presežke gnojil na njivskih površnih, ki se lahko sperejo v podzemno vodo. Bilanca N na travnatem svetu je –40 kg N/ha (Strgulec, 2021). Negativna bilanca kaže na pomanjkljivo gnojenje, kar ima za posledico manjšo produktivnost trajnega travinja oz. nizko intenziteto rabe travinja. **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** prikazuje obstoječi kolobar.

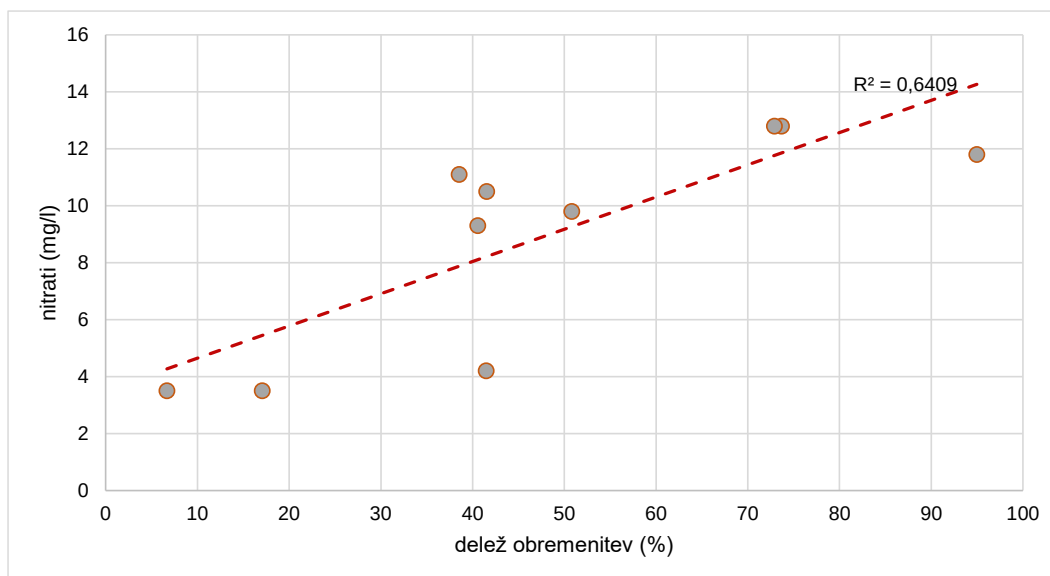
Opravili smo pregled rabe tal v zaledju posameznih izvirov s pomočjo prostorskih podatkov MKGP. Za vsa zaledja izvirov so bile opredeljene površine posamezne kategorije rabe prostora, pri čemer izpostavljamo najpomembnejše (Slika 17). Krožni grafi kažejo, da imata izvira Jelševniščica in Dobljčica izrazito prevladujoč delež gozda, ki je s stališča varovanja kakovosti podzemne vode vsekakor najbolj ugodna kategorija rabe prostora.

V nadaljevanju smo posamezne kategorije rabe prostora združili v tri glavne kategorije: naravne površine (gozd, zaraščene površine), kmetijska raba prostora (njive, travniki, nasadi) ter urbane oz. pozidane površine (Slika 18).



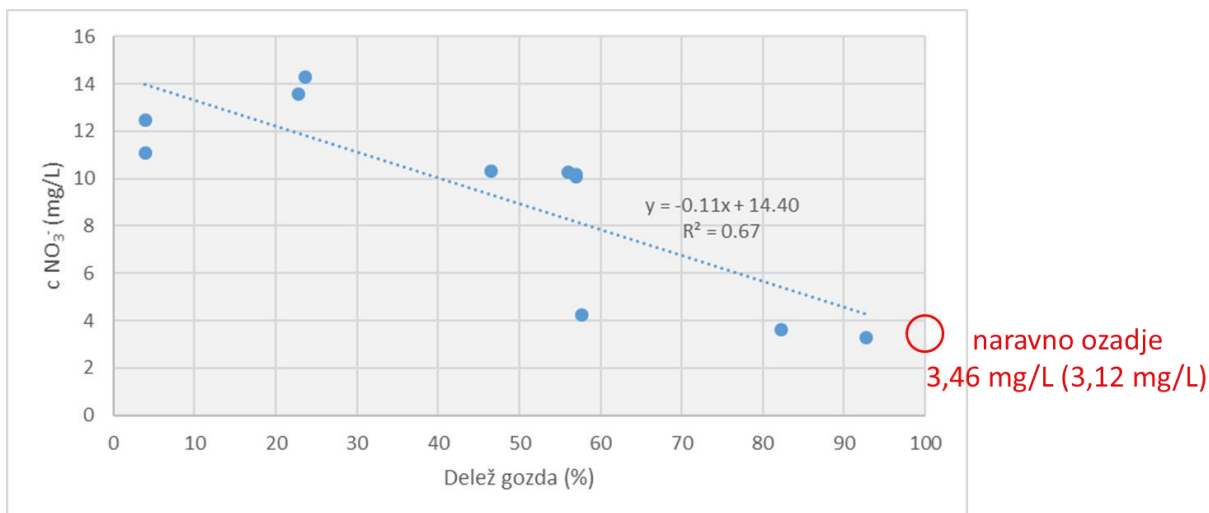
Slika 18: Delež naravnih, kmetijskih in urbanih površin v zaledju izvirov.

Delež obremenitev iz kmetijstva in urbanizacije lahko združimo v skupni delež obremenitev v prostoru zaledja izvira, ki jih prikazuje Slika 19.



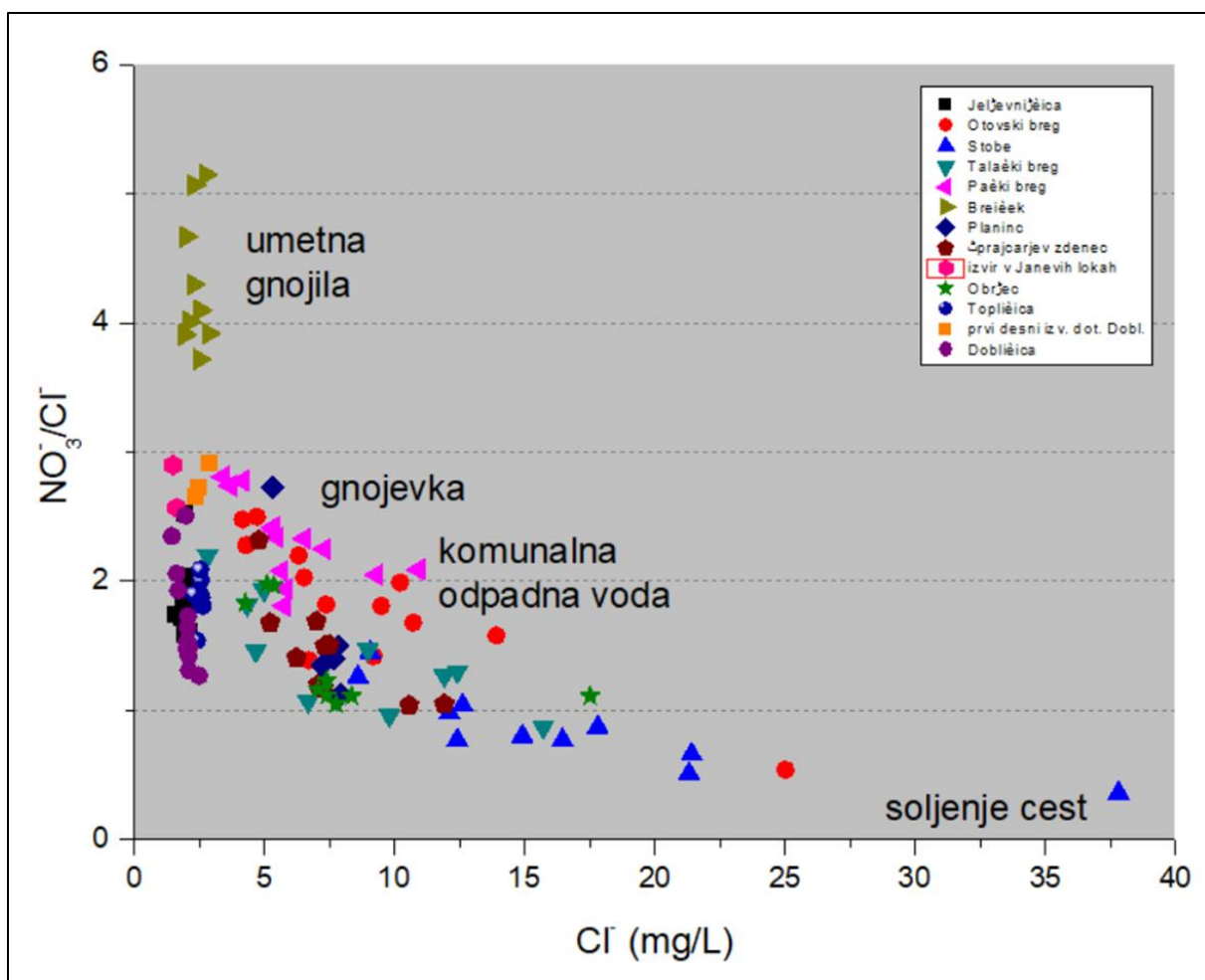
Slika 19: Razmerje med okoljsko obremenitvijo zaledja in koncentracijo nitratov v vodi.

Pričakovano se dobra linearna povezanost kaže tudi med koncentracijo nitrata in deležem gozda (Slika 20), kar kaže na manjši pritisk na vodozbirnih območjih ter razredčevalni učinek onesnaženja neposeljenega višjega zaledja. Povezanost z deležem pozidanih površin ($R^2=0,21$), njivami ($R^2=0,38$) in travniki ($R^2=0,53$) je bistveno nižja in kaže na prepletenost antropogenih vplivov.



Slika 20: Primerjava deleža gozda na vodozbirnem območju s povprečno koncentracijo nitrata na posameznem obravnavanem izviru. Pri 100 % pokritosti z gozdom pričakujemo naravno ozadje pri 3,46 mg NO₃⁻/L, kar je precej več od vrednosti na izviri, ki niso antropogeno obremenjeni..

Primerjava med posameznimi parametri kvalitete vode, npr. kloridom in nitratom, kaže na potencialne vire onesnaženja v zaledju posameznih izvirov (Slika 21). Vzorci vode najpogosteje kažejo na obremenjevanje podzemne vode iz kmetijstva (gnojevka) in poselitve (komunalna odpadna voda), medtem ko se kaže vpliv gnojenja z mineralnimi gnojili relevanten le na izviru Brežička.



Slika 21: Večina izvirov kaže na preplet obremenitev z gnojevko in komunalno odpadno vodo, manjši del na uporabo umetnih gnojil (Brežiček) in soljenja cest (Stobe).

Pri tem je ključno vprašanje, katere antropogene aktivnosti prispevajo največ k obremenjevanju prostora, saj bi z ukrepi na tem področju prispevali največ k zmanjšanju vplivov. Pomembna faza priprave bilance dušika je opredelitev potenciala nastajanja dušika – koliko dušika največ lahko povzročijo viri dušika v zaledju posameznega izvira, pri čemer izpostavljamo naslednje vire:

- prebivalstvo,
- živinoreja,
 - govedo,
 - prašiči,
 - drobnica,
 - kokoši,
- digestat,
- mineralna gnojila,
- atmosferska depozicija dušika.

V prvi fazi dela smo izdelali oceno potenciala nastajanja dušika v zaledjih posameznih izvirov s strani prebivalstva (Preglednica 2). Pri tem je potrebno izpostaviti problem opredelitve števila prebivalcev

zlasti v vzpetem Z robu Bele krajine, kjer se poleg starejših naselij pojavljajo predelave zidanic v stanovanjske objekte z menjavanjem občasne in stalne prisotnosti prebivalstva. Vseeno ocenjujemo, da izračun podaja ustrezni velikostni razred obremenitve. Število stavb in prebivalcev v posameznem zaledju je bilo opredeljeno s pomočjo katastra stavb. Za količino dušika, ki ga letno izloči posamezni prebivalec, je bila privzeta vrednost 4,75 kg. Rezultati kažejo, da so potencialni doprinosi dušika v vodo s strani prebivalstva dokaj majhni, na nivoju okoli 1 mg/l. Pri tem je izjema izvir Planinc, kjer znaša potencial dušika iz prebivalstva v vodi skoraj 8 mg/l (izraženo kot nitrat).

Preglednica 2: Podlaga za izračun in izračun prispevka nitrata s komunalno odpadno vodo.

Zaledje	Število stavb	Št. prebivalcev	Dušik	Površina zaledja	Letna količina padavin	Nitrati v vodi iz prebivalstva
			(kg)	(km ²)	(m ³)	(mg/l)
Planinc	16	45	214	0,1	120.000	7,89
Stobe	0	0	0	0,1	120.000	0,00
Brežiček	0	0	0	0,3	360.000	0,00
Izvir v Janževih lokah	7	34	162	0,3	360.000	1,99
Šprajcarjev zdenec	15	56	266	2,3	2.760.000	0,43
Obršec	96	153	727	1,9	2.280.000	1,41
Otovski breg	76	185	879	2,4	2.880.000	1,35
Talački breg	101	172	817	2,8	3.360.000	1,08
Pački breg	47	107	508	3,4	4.080.000	0,55
Jelševniščica	196	320	1520	12	14.400.000	0,47
Dobličica	201	342	1625	48,9	58.680.000	0,12

Naravno ozadje prispeva 1,8 mg NO₃⁻/L (ugotovljeno na osnovi vzorčenja antropogeno neobremenjenih izvirov) oz. 3,5 mg NO₃⁻/L (izračunano na osnovi predpostavljene 100 % pokritosti z gozdom, previsok glede na dejanske koncentracije na izviru Jelševniščice in Dobličice). Ob upoštevanju dejanskih koncentracij na izviru in povprečne vrednosti naravnega ozadja je prispevek antropogenih aktivnosti k skupnemu nitratu na izviru Jelševniščice 22 % (komunalne odpadne vode 63 %, kmetijstvo 37 %, nizka stopnja zaupanja zaradi majhnega deleža naravnega ozadja), na Otovskem bregu pa 80 % (komunalne odpadne vode 13 %, kmetijstvo 87 %, visoka stopnja zaupanja zaradi majhnega deleža naravnega ozadja). Podrobneje smo analizirali tudi Obršec, ki je habitat črne človeške ribice in kaže povprečno koncentracijo nitrata 9,3 mg/L – bilanca dušika kaže na prispevek komunalne odpadne vode 1,4 mg NO₃⁻/L, preostanek (79 %) bi s tem pripadel kmetijstvu, kar pa se ne ujema z mikrobim sledenjem onesnaženja z markerji, ki kaže zgolj vpliv komunalne odpade vode. Možno je, da pomemben prispevek prinaša občasno ali neprijavljeno bivanje v osnovi zidanicah, ki so bile razširjene v bivanjske objekte, pri čemer je vprašljiva celo osnovna komunalna opremljenost (prekatne greznice).

Koren in sod. (2022) so priporočali, da se za določanje vira onesnaženja z dušikom preveri njegova izotopska sestava. Zato je bila na 5 kraških izviri analizirana izotopska sestava nitrata v vodi. Burnik Šturm in Lojen (2010) navajata, da možnost uporabe izotopov dušika temelji na predpostavki, da iz konvencionalne kmetijske pridelave gnojene z mineralnimi gnojili izhaja dušik z nižjo izotopsko sestavo

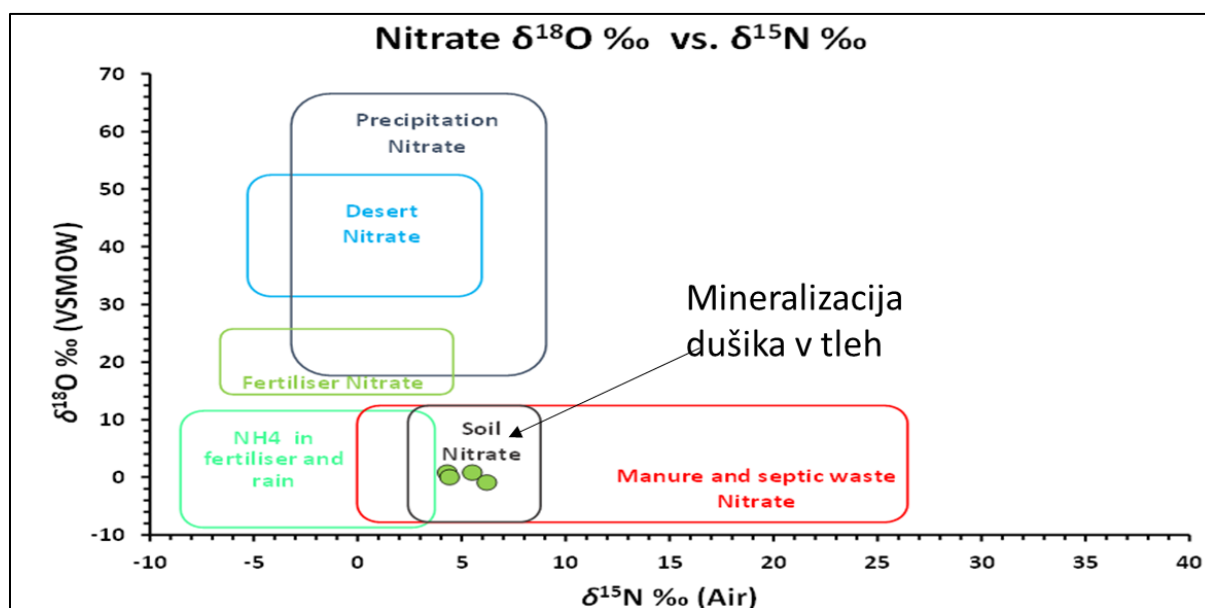
(nižje $\delta^{15}\text{N}$ vrednosti oz. $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ razmerje, t.j. razmerje težjega proti lažjemu stabilnemu izotopu dušika) v primerjavi s pridelavo gnojeno z organskim gnojilom, saj imajo zaradi različnih procesov izdelave gnojil mineralna gnojila nižje $\delta^{15}\text{N}$ vrednosti od organskih.

Sintetična gnojila se izdelujejo iz zračnega dušika z $\delta^{15}\text{N}$ vrednostjo 0 ‰. Ker med procesom izdelave ne prihaja do večje frakcionacije, je njihova $\delta^{15}\text{N}$ vrednost blizu 0 ‰. Živali se prehranjujejo z rastlinami, katerih $\delta^{15}\text{N}$ odraža $\delta^{15}\text{N}$ v tleh, na katerih so uspevale (izjema so N-fiksatorske rastline, ki imajo zaradi vezave zračnega dušika $\delta^{15}\text{N}$ vrednosti podobne zračnemu dušiku). Živali pri izločanju z urinom prednostno izločijo lažji izotop dušika (^{14}N), trdni živalski izločki zato vsebujejo več težjega izotopa (^{15}N), poleg tega pa so zaradi izhlapevanja amonija, denitrifikacije in bakterijskega delovanja podvrženi še dodatni obogatitvi s težjim dušikovim izotopom, saj se pri vseh procesih lažji izotop prednostno porablja, preostali trdni izločki pa posledično postanejo obogateni s težjim izotopom. Po podatkih iz literature lahko nitrat, nastal iz trdnih živalskih izločkov z $\delta^{15}\text{N}$ vrednostjo +5 ‰, zaradi omenjenih procesov doseže $\delta^{15}\text{N}$ vrednosti med +10 in +30 ‰.

Analiza izotopske sestave dušika na izbranih lokacijah je pokazala, da večino dušika pride v vodo z mineralizacijo dušika v tleh, ne pa tudi, kaj je vir onesnaženja (Preglednica 3, Slika 22). Obdelava vzorca z Otovskega brega ni bila uspešna zato rezultatov za to lokacijo ni bilo mogoče pridobiti.

Preglednica 3: Rezultati vzorčenja izotopske sestave dušika v podzemni vodi na izbranih lokacijah z dne 28. septembra 2022.

$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{18}\text{O}$	Mesto vzorčenja	Nitrat (kot NO_3^- v mg/L)
/	/	Otovski breg	12,4
4,3	0,8	Jelševniščica	6,6
5,5	0,8	Stobe	14,2
5,4	/	Talački breg	8,4
6,2	-0,9	Obršec	13,7



Slika 22: Rezultati vzorčenja izotopske sestave dušika v podzemni vodi na izbranih lokacijah z dne 28. septembra 2022.

Interpretacija rezultatov izotopskih analiz je omejena, saj se razpon izotopske frakcionacije pri organskem izvoru dušika prekriva (t.j. na podlagi rezultatov, lahko vir nitrata pripišemo organskemu gnojilu živalskega izvora oziroma neurejenemu komunalnem izpustu (Carrey in sod., 2021). Zato smo, da bi izboljšali identifikacijo izvora nitrata, analizo izotopske sestave dušika nadgradili s sledenjem mikrobne vira. Metoda sledenja mikrobne vira nitrata nam pomaga ugotoviti izvor dušika v naravi, ko se prekriva signal komunalnih odplak in organskih gnojil (Carrey in sod., 2021, Retelj, 2022). Vzorce smo prvič vzeli julija leta 2023, drugo vzorčenje pa konec meseca novembra 2023. Analize izvora fekalnega onesnaženja je opravil Center za mikrobiološke analize živil, vod in drugih vzorcev okolja, Nacionalnega laboratorija za zdravje, okolje in hrano (NLZOH).

Retelj (2022) navaja, da so v zadnjih dveh desetletjih raziskovalci razvili nabor raznolikih metod, s katerimi lahko določimo izvor fekalnega onesnaženja vode s pomočjo mikrobov. Te metode označujejo s kratico MST (ang. Microbial Source Tracking). Mikrobne metode za določanje izvora fekalnega onesnaženja so del širše skupine metod, med katere spadajo tudi kemijske metode za dokazovanje kemičnih označevalcev fekalnega onesnaženja.

Osnovni predpostavki metod MST sta dve (Retelj, 2022).

- Prva predpostavka temelji na spoznanjih, da določene vrste mikrobov izključno ali preferenčno naseljujejo prebavila točno določene vrste živalskega gostitelja. Te živali nato v iztrebkih izločajo zanje specifične mikrobe. Če odkrijemo neko specifično značilnost ali označevalec teh mikrobov in jih dokažemo v vodi, lahko nedvoumno identificiramo živalskega gostitelja (Field in Samadpour, 2007).
- Druga predpostavka je, da je označevalce sploh mogoče zaznati v vodi. Zaželeno je, da koncentracija označevalca ostane enaka dovolj dolgo po tem, ko iztrebki preidejo v vodo, da lahko določimo tudi sorazmeren prispevek vsake posamezne vrste gostitelja (Field in Samadpour, 2007).

Idealni označevalci za MST (Retelj, 2022):

- so prisotni le pri živalski vrsti, ki je prispevala fekalno onesnaženje (tj. visoka specifičnost oz. ekskluzivnost za živalsko vrsto),
- so enakomerno porazdeljeni v populaciji živali, kar pomeni, da na njihovo prisotnost ne vplivajo sestava populacije, prehrana, podnebje, geografska lokacija (tj. visoka občutljivost),
- so v iztrebkih prisotni v visoki koncentraciji, da je zaznavanje v vodi lažje,
- njihova koncentracija v vodi se v odvisnosti od časa ne spreminja ali pa se spreminja predvidljivo, da lahko prispevke posameznih živalskih vrst k onesnaženju tudi kvantificiramo (številsko ovrednotimo) (Harwood in Stoeckel, 2011; Reischer et al., 2013; Shanks et al., 2012).

Ker analiza izotopske sestave dušika na izbranih lokacijah ni pokazala enoznačno, kaj je vir onesnaženja, je bilo izvedeno vzorčenje vode na izviri za mikrobiološko sledenje onesnaženju z markerji. Rezultati vzorcev, ki so bili odvzeti julija 2022, v času nizkih hidroloških razmer, kažejo na to, da je vzorec odvzet na Jelševniščici bil fekalno kontaminiran. Glede na obseg preizkušanja je bilo ocenjeno, da je bil človek najverjetnejši vir fekalne kontaminacije v vzorcu. Na Otovskem bregu je rezultat opravljenega mikrobiološkega testiranja pokazal, da je vzorec bil fekalno kontaminiran. Glede na obseg preizkušanja je bilo ocenjeno, da je človek bil najverjetnejši vir fekalne kontaminacije v vzorcu. Za jamo Stobe rezultati mikrobiološkega preizkušanja kažejo, da je vzorec bil fekalno kontaminiran, vendar zaradi nizke ravni fekalne kontaminacije iz rezultatov testiranih označevalcev ni bilo možno opredeliti najverjetnejšega vira fekalne kontaminacije.

Rezultati vzorcev, ki so bili odvzeti novembra 2023, v času visokih hidroloških razmer, so ponovno pokazali, da je vir fekalnega onesnaženja na Jelševniščici človek. Na Otovskem bregu so rezultati mikrobiološkega preizkušanja pokazali, da je vzorec bil fekalno kontaminiran in, da je signal mešan. Glede na obseg vzorčenja je bilo ocenjeno, da so najverjetnejši vir fekalne kontaminacije v vzorcu prežvekovalci (domače govedo, ovce, jelenjad, koze), človek in prašiči (divji ali domači). Iz koncentracije dokazanih označevalcev je bilo sklepano, da so kontaminacijo v pretežni meri prispevali prežvekovalci. Za jamo Stobe so rezultati preizkušanj potrdili, da je vzorec kontaminiran in da so najverjetnejši vir fekalne kontaminacije v vzorcu prežvekovalci (domače govedo, ovce, jelenjad, koze) in prašiči (divji ali domači). Za Obršec so rezultati mikrobiološkega preizkušanja pokazali, da je vzorec fekalno kontaminiran in da je najverjetnejši vir fekalne kontaminacije v vzorcu človek.

Izvor organskih onesnaževal (EOC) v vodi in sedimentih, ki smo jih lovili s pasivnimi vzorčevalniki, je zelo širok: od izpustov komunalnih, bolnišničnih ali industrijskih voda, izcednih voda iz odlagališč, infrastrukturnih objektov, do uporabe pesticidov v kmetijstvu. Izboljšane laboratorijske tehnike so izboljšale monitoring EOC v podzemni vodi. Gre za široko paleto različnih spojin, tudi metabolitov, produktov transformacije in razkroja. To so spojine ostankov zdravil, hormonov, snovi izdelkov za osebno nego, pesticidov, veterinarskih izdelkov, aditivov, nano materialov, industrijskih in drugih spojin, ki jih najdemo v odpadnih vodah. Organska tudi v podzemno vodo vstopajo kot posledica različnih antropogenih dejavnosti urbanega okolja in kmetijstva. Z metodo pasivnih vzorčevalnikov smo določali prisotnost organskih onesnaževal v 8 relevantnih izviri. Vzorčevalniki z aktivnim ogljem so bili nameščeni za obdobje šestih mesecev od aprila 2022 do septembra 2022. Gre za metodo identifikacije spojin.

Skupaj smo zaznali 429 identifikacij 214 različnih spojin (Preglednica 4). 91 spojin je bilo zaznanih več kot enkrat, 48 več kot 2x. V Preglednici 1 je podano število identifikacij in njihova intenziteta po vzorčnih mestih. Iz tabele je razvidno, da smo določili v Šprajcarjevem zdencu 86 spojin z intenziteto 171. Sledi izvir Stobe z 79 določitev z večjo intenziteto 192. Ti dve vzorčni mesti sta najbolj obremenjeni z organskimi onesnaževali. Najmanj identifikacij z najmanjšo intenziteto smo zaznali na vzorčnem mestu Jelševniščica-jezero.

Preglednica 4: Število identifikacij organskih spojin in njihova intenziteta po vzorčnih mestih.

	Št. določitev	Intenziteta
Šprajcarjev zdenec	86	171
Stobe	79	192
Pački breg	53	106
Talački breg	52	107
Dobličica	45	110
prvi desni pritok Dobličice	41	80
prvi levi dotok Dobličice pod sotočjem z Jelševniščico (Topličica)	40	87
Jelševniščica	33	73
Skupaj	429	926

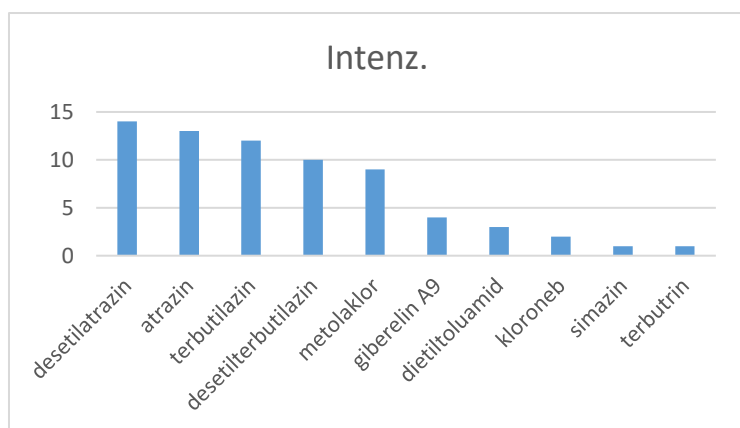
Z metodo pasivnih vzorčevalnikov smo določili 10 pesticidov v šestih vzorčnih mestih (Preglednica 5 in 6). Še vedno so največkrat določeni z največjo intenziteto atrazin, desetilatrazin terbutilazin in deseterbutilazin. Na Sliki 23 je prikazana intenziteta prepoznanih pesticidov.

Preglednica 5: Pesticidi določeni s pasivnimi vzorčevalniki.

	Ime spojine	CAS NO	t.i./c.i.	Razlaga	Št. določitev	Intenz.
13,4	atrazin	1912-24-9	c.i.	herbicid	6	13
12,4	desetilatratin	6190-65-4	c.i.	razgradni produkt herbicida atrazina	6	14
12,6	deseterbutilazin	30125-63-4	c.i.	razgradni produkt herbicida terbutilazina	6	10
13,9	terbutilazin	5915-41-3	c.i.	herbicid	5	12
17	metolaklor	51218-45-2	c.i.	herbicid	4	9
11,5	dietiltoluamid	134-62-3	t.i.	repelent za mrčes	2	3
19,6	giberelin A9	427-77-0	t.i.	naravni fungicid	2	4
11,5	kloroneb	2675-77-6	t.i.	fungicid	1	2
13,3	simazin	122-34-9	c.i.	herbicid	1	1
16,3	terbutrin	886-50-0	c.i.	herbicid	1	1

Preglednica 6: Določitev pesticidov po vzorčnih mestih.

	atrazin	desetilatratin	deseterbutilazin	terbutilazin	metolaklor	dietiltoluamid	giberelin A9	kloroneb	simazin	terbutrin
Pački breg	X	X	X	X	X		X			X
Talački breg	X	X	X	X	X	X	X			
Topličica	X	X	X		X					
prvi desni pritok Dobličice	X	X	X	X						
Šprajcarjev zdenec	X	X	X	X				X		
Stobe	X	X	X	X	X	X			X	

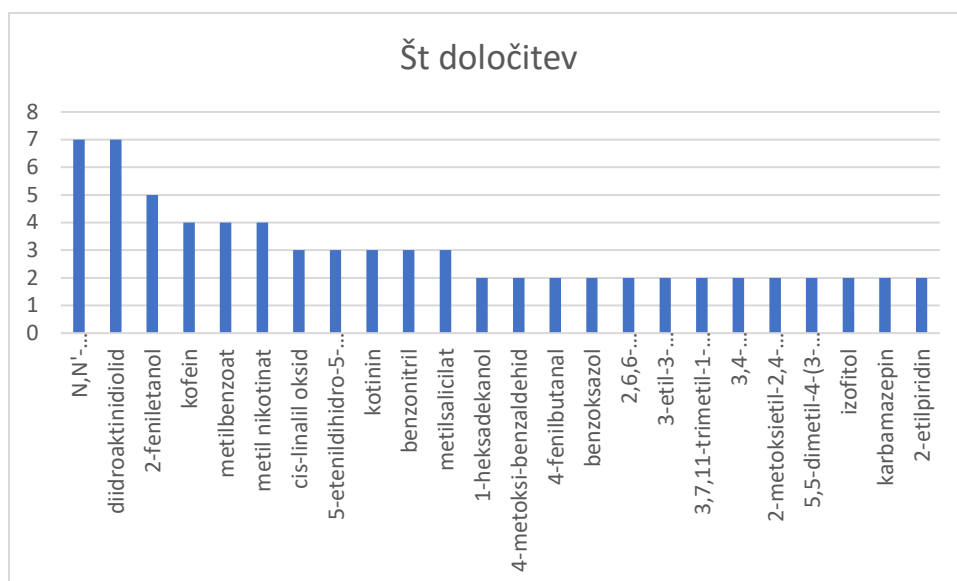


Slika 23: Intenziteta določitev pesticidov.

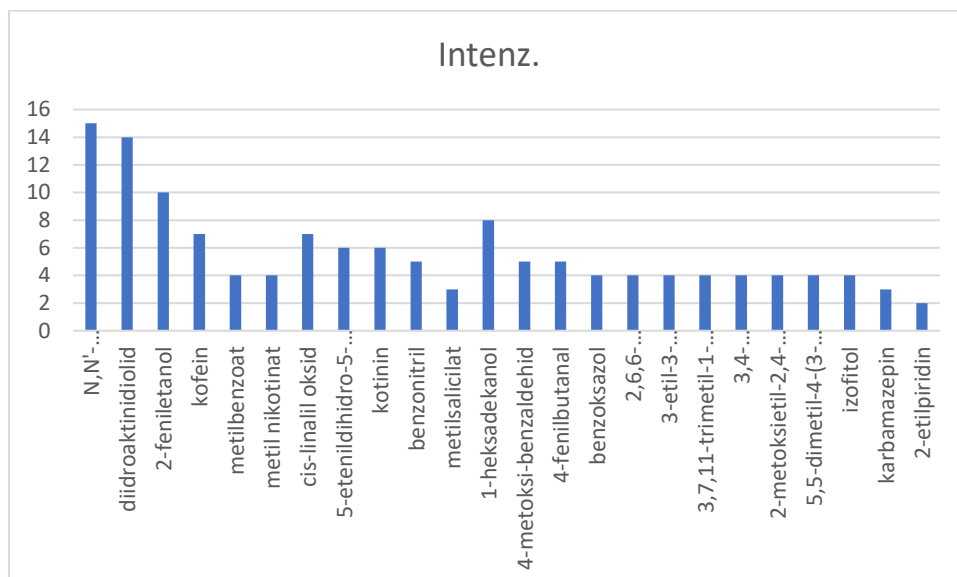
V skupino spojin domače in osebne rabe, ki je značilna za urbani izvor, smo skupno določili 57 spojin. Več kot enkrat je bilo določeno 24 spojin (kozmetika, zdravila, arome). V Preglednici 7 so navedene spojine, ki so bile zaznane 4× in več, ter karbamazepin, ki je tipičen indikator komunalnih odpadnih vod. Kofein je indikator »svežega« onesnaženja z naslova komunalnih odpadnih vod. Zaznali smo ga na 4 vzorčnih točkah, njegov razpadni produkt pa v vseh razen v prvem desnem pritoku Dobličice. Zanimivo je, da v Dobličici in Jelševnici nismo zaznali pesticidov, zaznali pa smo spojine domače in osebne rabe kar kaže na obremenitve z naslova komunalnih odpadnih vod. Na Sliki 24 in 25 so prikazane detekcije in intenzitete spojin domače in osebne rabe.

Preglednica 7: Izbrane spojine v skupini domače in osebne rabe.

	kofein	N,N'-dimetilimidazolin-trion	dihidroaktinidol	2-feniletanol	karbamazepin	metilbenzoat	metil nikotinat
Pački breg	X	X	X		X	X	
Talački breg	X	X	X				
Topličica		X	X	X		X	X
prvi desni pritok Dobličice			X	X		X	
Šprajcarjev zdenec	X	X		X	X	X	X
Stobe	X	X	X	X			X
Dobličica		X	X				X
Jelševniščica		X	X	X			



Slika 24: Št. določitev spojin domače in osebne rabe.



Slika 25: Intenzitete spojin domače in osebne rabe.

Identificirali smo nekaj znanih in novih tveganj za nevarnost večjega onesnaženja in krnitve populacije črne človeške ribice, ki izhaja iz legalnih (deponija industrijskih odpadkov) in nezakonitih (odvajanje odpadne vode neposredno v podzemlje, izlivanje nevarnih snovi izhajajočih iz gospodarske dejavnosti) aktivnosti.

Sklop aktivnosti C

Pri Jelševniščici nismo ugotovili preseganja mejne vrednosti nitrata za človeško ribico, s tega vidika neposrednega negativnega vpliva s strani nitratov ne pričakujemo. Majhne vpliv je posledica velikega

razredčitvenega učinka voda, ki prihajajo iz neposeljenega zaledja. Vnos dušika na kmetijske površine je v sedanjem obsegu primeren. Čiščenje odpadne vode je dolgoročno ustrezen ukrep, pri kratkoročnih ukrepih naj imajo prednost druga območja. Na področju kmetijstva se je v splošnem potrebno izogibati slabih praks v preteklosti, zlasti na področju prekomernega polivanja gnojevke in digestata, ki so v preteklosti evidentno povzročili porast nitrata nad mejno vrednost. Kratkoročno je potrebno omejevati nevarnosti, ki izhajajo iz izlitja nevarnih snovi v okolje, tako na področju stanovanjskih objektov, gospodarskih dejavnosti ter bivanja v predelanih nestanovanjskih objektih.

Nasprotno kaže Otovski breg stalno obremenitev z nitrati, ki zaradi kumulativnega vpliva kmetijstva in poselitve redno presegajo mejno vrednost. Predhodno navedeni rezultati kažejo na antropogen vpliv dejavnosti predvsem v nižinskem ali/in prehodu v pobočje Poljanske ter Mirne gore. Zmanjšanje obremenitve na Otovskem bregu je na podlagi identificiranih virov v zaledju možno z ukrepi na kmetijskem področju in z ustrežnejšim čiščenjem komunalne odpadne vode. Zaradi trenutno za človeško ribico nezadovoljive kvalitete vode predlagamo kratkoročno (prednostno) izvajanje ukrepov tako na področju kmetijstva kot tudi komunalne odpadne vode. Z vidika slednjega je potrebno zagotoviti odstranjevanje dušika iz vode, na področju kmetijstva pa prilagoditi prakso kmetovanja na kmetijskih zemljiščih, ki izkazujejo manjši vnos dušika v podzemne vode. Na izviru Otovski breg predlagamo kot kratkoročen ukrep poleg kmetijskih in okoljskih ukrepov tudi izlov rib, ki ne morejo biti avtohtone v kraškem podzemlju daleč od izvirov in negativno vplivajo na tamkajšnjo morda še ohranjeno populacijo bele človeške ribice.

Z vidika habitata človeške ribice je najbolj ogroženo vodozbirno območje izvira Obršec. Večkratno preseganje mejne vrednosti, tudi s koncentracijo $19 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$, kaže na potrebo po takojšnjem ukrepanju v zaledju tega izvira. Zadovoljivo stanje bo mogoče doseči z ukrepi na področju prestrezanja in čiščenja odpadne komunalne vode, ki vključuje tudi odstranjevanje dušika iz odpadne vode.

Na področju kmetijstva je bila na osnovi analize pretekle in sedanje kmetijska raba prostora izvedena analiza ukrepov kmetijske politike in priprava scenarijev za modeliranje učinkov ukrepov z modelom Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (<https://swat.tamu.edu/>). Na podlagi strokovnih podlag pripravljenih v sklopu A, je bil za nadaljnje potrebe preverjanja učinkov kombinacij ukrepov postavljen model SWAT, ki se ga lahko v prihodnje uporabi za preverjanje oziroma validacijo učinkov ukrepov.

Metaanaliza, ki so jo opravili Oenema in sod. (2018) med najbolj učinkovite in izvedljive ukrepe v za zmanjšanje razpršenega onesnaževanja iz kmetijstva prišteva: (1) uravnoteženo gnojenje (spremembe gnojilnih obrokov z namenom zmanjšanja presežkov dušika), (2) ciljno gnojenje (optimizacija termina in lokacije gnojenja), (3) uporaba gnojil z izboljšanim delovanjem (npr. počasno sproščanje dušika, zaviralci nitrifikacije), (4) spremembo kolobarja (zamenjava za rastline z manjšimi potrebami po dušiku ali večjo učinkovitostjo pri sprejemu dušika), (5) prekrivne in medvrstne posevke, podsevke (vežejo dušik, ki je ostal v tleh po žetvi), (6) uporabo zastirk (zmanjšanje evaporacije, zapleveljenosti, zato boljši pogoji za rast glavne kulture, zato boljši izkoristek dušika), (7) omejitve pri paši, (8) zaščitne in obrežne pasove, in (9) strokovno pravilno namakanje. Večina od navedenih ukrepov se vsaj v omejenem obsegu že izvaja tudi na območju habitata črne človeške ribice, pa stanje okolja nakazuje, da so potrebne dodatne prilagoditve in razširitev izvajanja ukrepov.

Program upravljanja območij Natura 2000 za obdobje 2023-2028, ki ja sprejela Vlada Republike Slovenije oktobra 2023, v prilogi Priloga B kjer so zbrani Ukrepi Programa upravljanja območij Natura 2000 za obdobje 2023–2028 (<https://natura2000.gov.si/natura-2000/life-ip-natura-si/pun-2023-2028/>) za območje človeške ribice v Beli krajini opredeljuje številne varstvene ukrepe razdeljene po sektorjih in, kar je zelo pomembno, tudi odgovorne nosilce (Preglednica 8).

Preglednica 8: PUN za območje človeške ribice v Beli krajini opredeljuje številne varstvene ukrepe razdeljene po sektorjih in nosilcih.

Varstveni ukrep	Podrobnejše varstvene usmeritve	Sektorski ukrep	Sektor	Odgovorni nosilci
vklučiti varstveni cilj v akte o podelitvi vodne pravice	določijo naravovarstvene smernice in mnenja		upravljanje voda	MNVP ali DRSV (odvisno od vrste vodne pravice)
urediti odvajanje in čiščenje komunalnih odpadnih vod na prispevnem območju			občinske javne službe	Občina Črnomelj
zagotoviti doseganje varstvenega cilja z izvajanjem SKP		ekološko kmetovanje	kmetijstvo	MKGP, JSKS
bolj ciljno usmerjati kontrolo izvajanja gnojenja na celotnem območju Natura 2000			kmetijstvo	MKGP (ARSKTRP)
sistemske urediti mejne vrednosti za gnojenje			kmetijstvo	MKGP
vklučiti varstveni cilj v načrte urejanja prostora in izvajanje posegov	določijo naravovarstvene smernice in mnenja		prostor	načrtovalci in nosilci urejanja prostora
Pripraviti predpis, ki bo določal varstveno območje in režim za doseganje strožjih ekoloških zahtev te vrste	upoštevati mejne vrednosti za človeško ribico		varstvo narave	MNVP

Zaščita habitatov odvisnih od podzemnih voda je večji poudarek dobila s SN SKP 2024-2027. Za izvajanje nekaterih od zgoraj predpisanih varstvenih ukrepov je ključen Strateški načrti Skupne kmetijske politike 2023-2027 (SKP). Ta v okviru Pogojenosti in predpisanih zahtev ravnanja (PZR 2: Varstvo voda pred onesnaženjem z nitrati iz kmetijskih virov) na območjih 'Natura 2000 – habitat za varstvo proteusa', kjer je vrsta v neugodnem ohranitvenem stanju zaradi onesnaženosti podzemnih vod z dušikom (nad 9,2 mg NO₃⁻/l), prepoveduje gnojenje kmetijskih zemljišč z digestatom in bioplinško gnojevko.

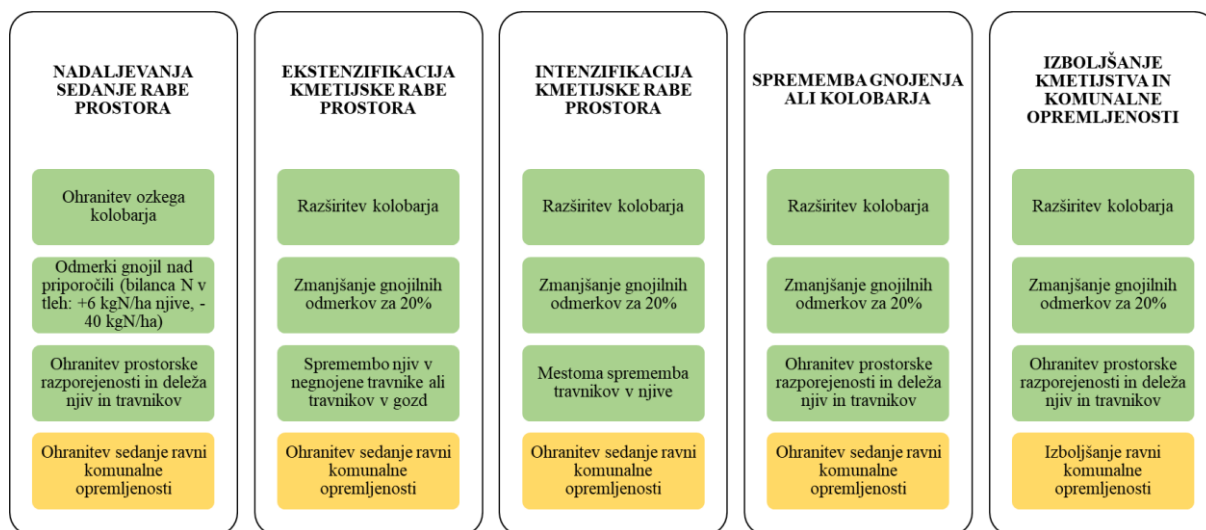
Na podlagi pregleda literature in podatkov iz preteklih študij, ter ogleda terena, so bili pripravljene scenariji za modeliranje v SWAT. Scenariji so razdeljeni na tri sklope in se v prvi vrsti nanašajo na spremembe v širini kolobarja. Upošteva spremembe v širini kolobarja, gnojilnih odmerkih in gnojilih, ter rabi prostora so oblikovani scenariji za preverbo učinka spremembe rabe tal za modeliranje transporta hranil in kakovosti podzemne vode na ravni porečja. Scenarijih predvidevajo preverbo trajnostni nadaljevanja obstoječe kmetijske rabe tal, ekstenzifikacije in intenzifikacija kmetijske rabe tal, scenarij spremembe gnojenja ali kolobarja, ter učinek izboljšanja komunalne opremljenosti v kombinaciji z izboljšano kmetijsko rabo tal (**Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**).

Opredelitev najustreznejše kombinacije ukrepov za zmanjšanje obremenitev in nevarnosti v vodozbirnem zaledju izvira Jelševnišči in Otovskega brega na sprejemljivo raven habitata človeške ribice se je pripravilo prostorske podatke za potrebe postavitve in poznejše kalibracije modela v SWAT. Za namen podrobnejše opredelitve ranljivih območij, smo z digitalizacijo posodobili Pedološko karto Bele krajine (Miklavčič, 1965). Sledili so ogledi terena in oblikovanje predloga razširjenega kolobarja in zmanjšane gnojenja. Nov predlog razširjenega kolobarja in zmanjšanih gnojilnih odmerkov upošteva nedavne ugotovitve o izvajanju gnojenja poljščin in travinja ter rezultate vzorčenja kmetijskih tal Bele krajine v letu 2021 (Strgulec, 2021). Nekateri ukrepi v kmetijstvu, ki so namenjeni zaščiti virov pitne vode na območju Slovenije, so bili finančno podprti že znotraj Strateškega načrta skupne kmetijske politike (SKP) 2023 – 2027. Ukrepi gredo v smeri uveljavljanja petletnega kolobarja. Z vidika preprečevanja koncentriranja in izpiranja nitrata so aktualne zahteve operacije vodni viri pod ukrepom

ozelenitev njivskih površin (obvezna zahteva), ter obdelavi površin s posejanimi neprezimnimi medonosnimi posevki in po pravilu poznih hibridov koruze, podoravanje rastlin za podor (izbirni zahtevi). Vse sodijo med ukrepe uvedbe prekrivnih posevkov, ki jih ne dognojujemo.

Nadalje se spremembe nanašajo na gnojilne odmerke in gnojila: Poleg ukrepov znotraj SKP je v Sloveniji v okviru zakonodaje o vodovarstvenih območjih in »Uredbe o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov« obvezno izvajati še nekatere ukrepe iz skupin uravnoteženega in ciljnega gnojenja (omejitve vnosov na vodovarstvenih območjih, količinske omejitve letnega vnosa N/ha, gnojilni načrti, pozno jesenska in zimska prepoved gnojenja itn.), kar je z vidika zmanjševanja izpiranja nitrata prav tako pozitivno. Za varstvo pred izpiranjem nitrata se predvideva še druge ukrepe: prekrivne in medvrstne posevke v trajnih nasadih, gnojenje z organskimi gnojili, uporaba zastirk ali mehansko zatiranje plevelov in ohranitvena obdelava tal. Poleg tega je potrebno preveriti tudi spremembe v rabi prostora, predvsem razporeditev njiv z bolj na manj občutljiva območja in nadomestitev s travniki ter/ali sprememba deleža njiv in travnikov.

Upošteva se spremembe v širini kolobarja, gnojilnih odmerkih in gnojilih, ter rabi prostora so bili oblikovani scenariji za preverbo učinka spremembe rabe tal za modeliranje transporta hranil in kakovosti podzemne vode na ravni porečja. Po oblikovanih scenarijih so bili z modeliranjem preverjeni učinki nadaljevanja obstoječe kmetijske rabe tal, ekstenzifikacija in intenzifikacija kmetijske rabe tal, scenarij spremembe gnojenja ali kolobarja, ter učinek izboljšanja komunalne opremljenosti v kombinaciji z izboljšano kmetijsko rabo tal (Slika 26).



Slika 26: Scenariji spremembe rabe tal in komunalne opremljenosti za modeliranje transporta hranil in kakovosti podzemne vode na ravni prispevnih območij.

Ključno sporočilo je, da so ukrepi za zavarovanje habitata človeške ribice potrebni tako na področju poselitve kot tudi kmetijstva. Ukrepi na področju poselitve znani in se nanašajo na zmanjšanje emisij dušika in drugih onesnažil z ureditvijo zbiranja in ustrezne stopnje čiščenja komunalnih odplakov iz občasno in stalno naseljenih objektov. Da bi zmanjšali emisije dušika v vode, ki prihajajo iz poselitev morajo strnjena naselja biti opremljena s čistilnimi napravami s terciarno fazo čiščenja. Območja kjer prevladujejo posamezne stanovanjske hiše morajo biti opremljena z malimi čistilnimi napravami s terciarno fazo čiščenja ali nepretočnimi greznicami. Objekti občasnega bivanja ("vikendi") morajo imeti

vzpostavljane nepretočne greznice. Vzpostavljena mora biti evidenca in redni odvoz iz nepretočnih greznic ter kontrola tesnosti nepretočnih greznic.

Na področju kmetijstva je za zaščito habitata človeške ribice možno uvesti več različnih ukrepov. Predvsem je potreba po prostorsko optimiziranem obsegu skladnega izvajanja različnih ukrepov hkrati. V kmetijstvu se pri zaščiti voda in habitatov odvisnih od podzemnih voda osredotočamo na zmanjšanja razpršenega in točkovnega onesnaževanja s hranili in sredstvi za varstvo rastlin.

Ključni predlogi za področja kmetijstva:

- 1) Predlagamo, da se kmetije v čim širšem pomenu vpeljuje v ohranitvena načela kmetovanja, to je izvajanje vsaj širokega kolobarja (5 letni) in tla vedno pokrita z dosevki ali ozelenitvami (po možnosti prezimnimi (DTM, TDM). Tla naj med dvema glavnima posevkoma (poleti ali pozimi) ne bodo gola. Gola tla brez rastlinskega pokrova so podvržena izpiranju hranil. Obdelava tal in setev naj bodo opravljene v nekaj dnevnem razmiku.
- 2) V obstoječi kolobar (Preglednica 9) naj se vključuje metuljnice, da se zmanjša raba gnojil. Raziskave v okviru projekta Učinkovitejša raba vode in hranil v rastlinski pridelavi za varovanje in izboljšanje virov pitne vode - URAVIVO so pokazale, da je gnojilne odmerke dušika v nekaterih primerih mogoče zmanjšati za 20 % brez, da bi to negativno vplivalo na pridelek. To smo upoštevali pri oblikovanju predloga razširjenega kolobarja, kjer smo upoštevali možnost zmanjšanja gnojenja z dušičnimi gnojili (**Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**), ki je bil pripravljen za preverjanje z modelom SWAT. Priporočamo več naporov strokovnih služb in vzpodbud zakonodajalca pri uvajanju kmetijskih kultur, ki potrebujejo manjše vnose dušika za rast (npr. soja, fižol, detelje), kot tudi pri ozaveščanju o potrebnem zmanjšanju gnojilnih obrokov po številu in količini.

Preglednica 9: Obstoječi kolobar in gnojilni odmerki ter predlog razširjenega kolobarja in zmanjšanih gnojilnih odmerkov.

Obstoječi kolobar in gnojilni odmerki					Predlog razširjenega kolobarja in največjega zmanjšanja gnojilnih odmerkov			
leto	Kultura	Gnojilo	Termin	Količina	Kultura	Gnojilo	Termin	Količina
1	koruza	gnojevka, hlevski gnoj	pr. or.	25 m ³	koruza	Gnojevka, hlevski gnoj	pr. or.	20 m ³
		NPK 15-15-15	pr. set.	250 kg/ha		NPK 15-15-15	pr. set.	200 kg/ha
		urea	dognoj.	200 kg/ha		urea	dognoj.	160 kg/ha
1-2	pšenica	gnojevka	pr. or.	15 m ³	pšenica	gnojevka	pr. or.	12 m ³
		NPK 7-20-30	pr. set.	200 kg/ha		NPK 7-20-30	pr. set.	160 kg/ha
		KAN		200 kg/ha		KAN	dognoj.	160 kg/ha
2-3	/	/	/	/	DTM ozelenitev	/	/	/
3	koruza	gnojevka, hlevski gnoj	pr. or.	25 m ³	koruza	gnojevka/hl. gnoj	pr. or.	20 m ³
		NPK 15-15-15	pr. set.	250 kg/ha		NPK 15-15-15	pr. set.	200 kg/ha
		urea	dognoj.	200 kg/ha		urea	dognoj.	160 kg/ha
3-4	ječmen	gnojevka	pr. or.	15 m ³	ječmen	gnojevka	pr. or.	12 m ³
		NPK 7-20-30	pr. set.	200 kg/ha		NPK 7-20-30	pr. set.	160 kg/ha
		KAN	dognoj.	200 kg/ha		KAN	dognoj.	160 kg/ha

4	DTM	/	/	/	DTM	/	/	/
---	-----	---	---	---	-----	---	---	---

Legenda: pr. or. – pred oranjem, pr. set. – pred setvijo, dognoj. – dognojevanje

- 3) Primerjava različnih scenarijev kmetovanja med seboj je pokazala, da imajo tehnologije pridelovanja z večjim vnosom N v tla negativne posledice na bilanco N, ki se pokaže z večjim izpiranjem. Še bolj pomemben podatek je, da ista tehnologija ni primerna za vse tipe tal. Enaka tehnologija pridelovanja, ki na relativno globokih tleh ali tleh s glinasto-ilovnato teksturo tal minimalno prispeva k bilanci N, lahko na plitvih tleh povzroči bistveno večje izpiranje N. Rezultati naloge kažejo, da bi bilo za namen preprečitve potencialne negativne bilance N potrebno območja upravljati glede na tip tal (globina, tekstura, skeletnost). To je še bolj pomembno, ker nas vodna direktiva zavezuje, da izboljšamo kakovostno stanje celotnega vodonosnika. Predlagamo, da se v prihodnosti ukrepi oziroma režim upravljanja oblikuje glede na tip in lastnosti tal. Da bi bilo to možno izvesti, bo potrebno pripraviti karto tal večje natančnosti vsaj 1:10.000 ali še bolje 1:5.000. Pripravljena bi morala biti na podlagi terenskega vzorčenja tal.
- 4) Primerjava kolobarjev s preurejenimi gnojilnimi normami je pokazala, da se v določenih točkovnih primerih gnoji z večjimi odmerki kot so optimalne gnojilne norme za povprečen pridelek po smernicah MKGP. Iz tega sledi, da je potrebno vložiti več dela v pripravo izobraževanj (kmetijske tehnologije, kolobarji, poznavanje tal, ekonomika bilance hranil) za pridelovalce in v večji nadzor izpolnjevanja zahtev gnojilnih načrtov v zvezi z nanosom gnojil. Predlagamo, da se na območju oblikuje ena ali več reprezentativnih poskusnih ploskev (različna tla). Na njih bi lahko ugotavljali vpliv kmetijsko-okoljskih ukrepov na območju na rast rastlin, pridelek, izpiranje dušika in pesticidov. Te ploskve bi lahko služila tudi za izobraževanje kmetov, saj jim na praktičen način prikažemo učinkovitost ukrepov na okoljske in ekonomske kazalnike. Poveča naj se število individualnega svetovanja o kmetijskih tehnologijah prilagojenega na značilnosti posamezne kmetije. Zelo pomembno je tudi povečati nadzor nad izvajanjem obstoječih ukrepov iz Strateškega načrta, še posebno pogojenosti.
- 5) Ekološko kmetijstvo se je iz vidika izpiranja N izkazalo za primerljivo trenutni praksi. Vsekakor je potrebno pri promociji ekološkega kmetijstva zagotoviti, da ne bo prihajalo do bilančnih presežkov N iz živinskih in ostalih organskih gnojil (kompost, zeleno gnojenje). Mineralizacija N iz organskih gnojil je namreč močno odvisna od vremenskih pogojev in jo ni moč nadzirati. V prihodnosti bo potrebno v pripravo gnojilnih načrtov in kmetijske tehnologije v celoti vključiti tudi lastnosti tal (globina, tekstura, vodno-zadrževalna sposobnost tal za vodo).
- 6) Travniška raba se je skozi vse alternativne scenarije po smernicah MKGP (Mihelič in sod., 2009) izkazala z izredno ugodno bilanco N v tleh. Ponovno gre opozoriti, da lastnosti tal pomembno vplivajo na bilanco N, to je še posebno pomembno v primerih, ko se gnojenje z gnojnico ali gnojevko ali paša izvaja na plitvih tleh, ki so običajno značilna za travniška zemljišča na kraški geologiji. Območje iz vidika velikega deleža travniških površin primerno za rejo travojedih živali, vendar se za pripravo krmnega obroka potrebuje tudi rastline z večjo vsebnostjo energije (koruza). Pomemben podatek je tudi nizka intenzivnost živinoreje na najožjem območju (0,48 GVŽ/ha), ki omogoča boljšo prostorsko razpršenost organskih gnojil in s tem boljšo učinkovitost izrabe hranil s strani rastlin. Travniška raba je dobra alternativa njivski, a je potrebno s pomočjo strokovnih služb jasno predpisati količino, vrsto gnojila in obroke N glede na tip in lastnosti tal.
- 7) Na preučevanem območju pomemben delež zemljišč zasedajo sadovnjaki in vinogradi, ki so po načinu obdelave (negovana ledina v medvrstnem prostoru) deloma podobni travniški rabi. Z vidika bilance dušika se sadjarstvo kaže kot dobra alternativa, ki bi jo veljalo spodbujati.

Metode dodajanja gnojil v sadjarstvu in vinogradništvu so preteklih desetletjih napredovale z novimi spoznanji o vplivu prekomernega gnojenja na nižanje kakovosti in skladiščne sposobnosti pridelkov. Prinaša pa vinogradništvo in sadjarstvo izziv rabe pesticidov v pridelavi. Zato je pri gojenju in rabi pesticidov pomembno vodenje pridelave ob pomoči strokovnih služb.

Končne predloge na podlagi modelnih scenarijev ne smemo nikoli obravnavati kot dokončne, temveč le kot možen odziv sistema na spremembe v rabi zemljišč in kmetijskih tehnologij ali kot možen vpliv kmetijsko okoljskih scenarijev na bilanco dušika v tleh. Rezultati modela in njihova interpretacija s strani raziskovalcev mora voditi v konstruktivno razpravo, katere cilj je doseči in ohraniti dobro kakovost voda na raziskovalnem območju, kar je tudi cilj vodne direktive in ostale zakonodaje, ki se navezuje na področje ohranjanja dobre kakovosti voda.

Ocena vpliva scenarijev je bila narejena z vednostjo o negotovostih, ki spremljajo pripravo modela. Negotovosti so povezane z vzpostavitvijo tehnologij pridelovanja, kolobarjev, termina žetve, termina košnje, termina strojnih opravil in termina aplikacije gnojil. Vsi omenjeni podatki so tako le povprečne ocene, saj ima vsak kmetovalec svoj terminski plan in pogosto tudi svojo tehnologijo pridelave, ki je različna glede na vrsto kmetijskih kultur, glede na vrsto živali, ki jih goji, glede na intenzivnost kmetijske pridelave in glede na vsakoletne spreminjajoče se vremenske razmere.

Zaradi popolne odsotnosti javne komunalne infrastrukture in verjetno slabo obstoječe zakonsko predpisane so za izboljšanje stanja nujni ukrepi na področju zbiranja in čiščenja odpadnih komunalnih voda. Pri tem je potrebno na strani nastanka komunalne odpadne vod upoštevati možnost zbiranja, zahtevano stopnjo čiščenja, stalnost poselitve in količino nastale komunalne odpadne vode, na strani naravnega okolja pa občutljivost podzemne vode ter kumulativnost vplivov. Pri tem je na voljo več načinov:

- zbiranje in odvajanje odpadne komunalne vode na skupne komunalne čistilne naprave (primerno za gostejšo poselitev, v bližini površinskega vodotoka, potrebna terciarna stopnja čiščenja z odstranjevanjem hranil, zgolj primarno in sekundarno čiščenje in odvajanje s ponikanjem je neustrezno zaradi ohranjanja nitrata v vodi, potreba po izgradnji zadrževalnika za primere izpada delovanja ČN, preferenčna izbira načina čiščenja komunalne odpadne vode),
- individualne komunalne čistilne naprave (primerno za razpršeno stalno poselitev, primerno za objekte s stalno poselitvijo in neprimerno za objekte z občasnim bivanjem, na obravnavanem območju le kot opcija s ponikanjem očiščene vode, primerno za redkejšo poselitev z zadovoljivim redčenjem in brez opaznega kumulativnega vpliva, potrebna redna kontrola delovanja),
- pretočne greznice (potrebno ukinjanje zlasti na občutljivih območjih in na območjih s kumulativnim vplivom, kjer se še ohranjajo redno in obvezno odstranjevanje greznične gošče s strani pooblaščenega izvajalca javne komunalne službe),
- nepretočne greznice (primerne za objekte z občasnim bivanjem, na občutljivih območjih s slabim učinkom redčenja ali območjih kumulativnega vpliva, redno in obvezno praznjenje s strani pooblaščenega izvajalca javne komunalne službe, kontrola količin odpeljane komunalne vode s porabo pitne vode).

Širitev, predelava nebivanjskih objektov v bivanjske, graditev novih bivanjskih objektov in priklop na vodovodno omrežje ne more potekati mimo ukrepov, ki zagotavljajo ustrezno čiščenje odpadne vode.

5. Realizacija predloženega programa dela oziroma ciljev

Vsebinsko je projekt potekal v skladu z zastavljenimi cilji, izvajale so se vse načrtovane aktivnosti v prijavi, pri sledenju aktivnosti se je generalno sledilo časovnici. Zaradi težav pri avtomatskih meritvah nitrata v vodi (dobavljivost raziskovalne opreme in vzpostavitev uspešnega delovanja) in potrebe po dokončanju aktivnosti A.2 za določitev vodozbirnih območij je prišlo do približno polletnega zaostajanja ostalih kasnejših aktivnosti za načrtovanimi roki zato smo uspešno zaprosili za polletno podaljšanje projekta.

Ker bi bile raziskave zgolj dveh izvirov okrnjene in ne bi podale širšega vpogleda v stanje voda in sosednja vodozbirna območja, smo obravnavali bistveno več izvirov od sprva nameravanih. Poleg v prijavi vlogi opredeljenih analiz smo dodatno analizirali izotopsko sestavo nitrata in mikrobne analize voda s pomočjo markerjev za opredelitev vira onesnaževanja.

Tekom izvajanja projekta so bili objavljeni naslednji strokovni in znanstveni prispevki:

- CVEJIČ, Rozalija, CURK, Miha, MALI, Nina, MULEC, Janez, PETRIČ, Metka, PINTAR, Marina, URBANC, Janko, ZUPANC, Vesna, PRELOVŠEK, Mitja. Kmetijski ukrepi za ohranitev habitata bele in črne človeške ribice. V: ČEH, Barbara (ur.), et al. Novi izzivi v agronomiji 2023 = New Challenges in Agronomy 2023 : zbornik simpozija = proceedings of symposium : [Laško, 26. in 27. januar 2023]. Laško: Slovensko agronomsko društvo: = Slovenian Society of Agronomy, 2023. Str. 250-256. ISBN 978-961-94613-3-4. [COBISS.SI-ID 141885187]
- PRELOVŠEK, Mitja, CURK, Miha, MALI, Nina, MULEC, Janez, PETRIČ, Metka, PINTAR, Marina, URBANC, Janko, CVEJIČ, Rozalija. Raziskave za opredelitev in preprečevanje obremenjevanja vodozbirnega zaledja Jelševnišči in Otovskega brega, s posebnim ozirom na habitat črne človeške ribice. V: 33. Mišičev vodarski dan : zbornik : 5. oktober 2022, Maribor. Maribor: Vodnogospodarski biro; Ptuj: Drava Vodnogospodarsko podjetje, 2022. Str. 151-159, ilustr. ISBN 978-961-94881-3-3. <https://www.mvd20.com/mvd33/MVD33-pdf.pdf>. [COBISS.SI-ID 127592963]
- SERIANZ, Luka, BRENČIČ, Mihael, PRELOVŠEK, Mitja. Hydrogeological features of the Dolenjska karst. V: SERIANZ, Luka (ur.), BRAČIČ-ŽELEZNIK, Branka (ur.), ŽVAB ROŽIČ, Petra (ur.). "Vedeti (ne)vidno - vloga geologije v naši družbi" : 6. slovenski geološki kongres : knjiga ekskurzij = field trip book : 3.-5. oktober 2022, Rogaška Slatina. Ljubljana: Slovensko geološko društvo: Društvo SKIAH, 2022. Str. 17-26. ISBN 978-961-95928-1-6. [COBISS.SI-ID 126064643]
- CVEJIČ, Rozalija, CURK, Miha, MALI, Nina, MULEC, Janez, PETRIČ, Metka, PINTAR, Marina, URBANC, Janko, PRELOVŠEK, Mitja. Advancing land use practices to ensure suitable groundwater quality for the aquatic salamander *Proteus anguinus* in the Dinaric karst (Bela krajina, SE Slovenia). V: International Interdisciplinary Conference on Land Use and Water Quality Agriculture and the Environment, LuWQ 2022, 12-15 September, Maastricht, the Netherlands, 12-15 September 2022 : volume abstract. Str. 155-156. https://www.luwwq2022.nl/wp-content/uploads/2023/02/200m-POSTER_Cvejic-et-al_-Advancing-land-use-practices-to-ensure-suitable-groundwater-quality-for-the-black-proteus-in-the-Dinaric-karst-Bela-krajina-SE-Slovenia.pdf. [COBISS.SI-ID 123767043]

6. Uporabnost pridobljenih rezultatov (možnost aplikacije)

Raziskovalni pristop je bil že od vsega začetka usmerjen v apliciranje na drugih občutljivih kraških območjih, in sicer tako v celoti kot posamezne aktivnosti projekta. Pri tem je potrebno prilagoditi nabor analiziranih parametrov za določitev vodozbirnih območij v skladu z geološkimi karakteristikami proučevanega območja.

Rezultate predlagane metodologije na področju kmetijstva bo možno umestiti tako v Strateški načrt skupne kmetijske politike kot tudi v Program upravljanja območij Natura 2000 ter Načrte upravljanja voda.

Iz vidika izvajanja Strateškega načrta za kmetijstvo bodo rezultati prispevali k doseganju ciljev PZR 4 OHRANJANJE NARAVNIH HABITATOV TER PROSTO ŽIVEČIH ŽIVALSKIH IN RASTLINSKIH VRST, ki naslavlja Uredbo o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000).

Rezultati bodo imeli tudi vpliv na pripravo ali posodobitev načrtov upravljanja zavarovanih območij, ki jih morajo pripraviti upravljalci zavarovanih območij. S predlaganim projektom se lahko zagotovi proaktivno in združevalno vlogo kmetijstva, kot ključnega družbenega sektorja.

Rezultati projekta so uporabni tudi za:

- pripravo načrta upravljanja območja,
- bolj detajlno oblikovanje ukrepov oziroma paketa ukrepov v okviru Strateškega načrta za kmetijstvo (SKP),
- ciljne neposredne podpore za kmete, ki izvajajo ukrepe (nakup strojev, počasi delujočih gnojil), ne glede na dokazovanje pomena in deleža vpliva neprečiščenih odpadnih vod iz zaledja na fekalno mikrobiološko onesnaženje,
- za oblikovanje strokovne skupine, ki skrbela za v pripravo in izvajanje individualnih izobraževanj (kmetijske tehnologije, kolobarji, poznavanje tal, ekonomika bilance hranil) prilagojenih na značilnosti posamezne kmetije,
- reden nadzor in vzpodbujanje k izpolnjevanju zahtev ukrepov, še posebno gnojilnih načrtov v zvezi z nanosom gnojil,
- rezultati naj lokalne in državne oblasti razumejo tudi kot podporo k ustanovitvi krajinskega parka na državnem nivoju. Krajinski park je zavarovano območje s poudarjenim kakovostnim in dolgotrajnim prepletom človeka z naravo, ki ima veliko ekološko, biotsko ali krajinsko vrednost. Krajinski park je najmilejša oblika zavarovanja, ki naj bi bila tudi razvojno naravnana, seveda ob upoštevanju naravnih pogojev in danosti. S pakom bi se zagotovilo stabilno financiranje za izvajanje kot tudi pripravila Strategija upravljanja parka. Upravljanje zavarovanega območja lahko vodijo državni ali občinski javni zavodi, koncesionarji ali režijski obrati (upravljavci). Naloga upravljalca je, da z ukrepi varujejo živalske in rastlinske vrste, habitatne tipe, naravne vrednote in krajino. Urejajo tudi obisk in skrbijo za osveščanje javnosti. Zagotovi se tudi nadzor nad tem, ali se upoštevajo predpisani režimi, ki ga opravljajo naravovarstveni in prostovoljni nadzorniki,
- oblikovanje prioritet (faznosti) in vrste komunalnega opremljanja naselij v zaledju obravnavanih izvirov.

7. Mednarodno in nacionalno sodelovanje

S ciljem uspešne in ustrezne implementacije ukrepov smo sodelovanje izvajali predvsem s strokovnimi službami in zainteresirano javnostjo. V okviru slednje smo izvedli dve glavni predstavitvi oz. delavnici, in sicer:

- 14. april 2022 (javna predstavitev projekta in projektnih aktivnosti, Zoom izvedba, 30 udeležencev),
- 9. september 2023 (predstavitev rezultatov projekta, Turistična kmetija Zupančič, Jelševnik, in Zoom prenos, ob sodelovanju s Kmetijsko gozdarskim zavodom Novo mesto, 22 udeležencev v Jelševniku ter 6 na Zoom).

Sodelovali smo z naslednjimi službami oz. na naslednjih dogodkih:

- srečanje projektnih partnerjev in predstavnikov naročnikov (Novi trg 2 in Zoom, 4. november 2021),
- terenski sestanek projektnih partnerjev in predstavnikov naročnika (10. november 2021, Bela krajina),
- konferenca Land use and Water quality 2022 (12.-15. september 2022, Nizozemska), predstavitev prispevka Advancing land use practices to ensure suitable groundwater quality for the aquatic salamander *Proteus anguinus* in the Dinaric karst (Bela krajina, SE Slovenia) (https://www.luwig2022.nl/wp-content/uploads/2022/09/LuWQ2022_Volume-of-Abstracts_FINAL_web_20220831.pdf),
- 6. geološki kongres (4. oktober 2022, Rogaška Slatina), predavanje z naslovom Hidrogeološke raziskave za potrebe varovanja črne in bele človeške ribice na Z robu Bele krajine (<https://www.geo-zs.si/6SGK2022/program/>),
- 5. konferenca Mednarodnega združenja hidrogeologov Making Groundwater in the Danube Region Visible (5. oktober 2022, Slovenija), predstavitev projekta in rezultatov na terenu (https://www.luwig2022.nl/wp-content/uploads/2022/09/LuWQ2022_Volume-of-Abstracts_FINAL_web_20220831.pdf),
- konferenca 33. Mišičev vodarski dan (5. oktobra 2022), predstavitev znanstvenega prispevka z naslovom Raziskave za opredelitev in preprečevanje obremenjevanja vodozbirnega zaledja Jelševniščice in Otovskega brega, s posebnim ozirom na habitat črne človeške ribice,
- posvet Novi izzivi v agronomiji (strokovna razprava o predlogih ukrepov v kmetijstvu, 26. in 27. januar 2023, Laško),
- strokovni posvet na KGZS Novo mesto (predstavitev delnih rezultatov projekta in potencialnih ukrepov, razprava z lokalnimi kmetijskimi svetovalci, ki so aktivni na območju Bele krajine in Dolenjske, 26. februar 2023, Novo mesto),
- sestanek na Kmetijsko gozdarskem zavodu Novo mesto (predstavitev projektnih aktivnosti, rezultatov in potencialnih kmetijskih ukrepov, diskusija o implementabilnosti kmetijskih ukrepov, 24. april 2023),
- predstavitev projekta in rezultatov na SAZU, Svet za okolje (predstavitev projekta, izmenjava pogledov na problematiko, diskusija o odprtih problemih, 13. junij 2023),
- sestanek na Občini Črnomelj (sestanek z županom in predstavniki društva *Proteus*, 10. januar 2024),
- sodelovanje z Inšpektoratom RS za okolje (posredovanje rezultatov meritev zaradi potencialne nevarnosti izvajanja dejavnosti tik nad izvirom Jelševniščice, marec 2024).

Pri izvedbi sklopa B (Opredelitev in diferenciacija antropogenih vplivov in nevarnosti) smo v sodelovanju s projektom IAEA CRP D1.50.18 Multiple Isotope Fingerprints to Identify Sources and Transport of Agro-Contaminants, ki ga je financirala Mednarodna organizacija za atomsko energijo z Dunaja, na 5 kraških izviri analizirali izotopsko sestavo nitrata v vodi kraških izvirov.

V izvajanje projekta smo vključili študente v učnem procesu. V okviru CRP projekta HaČloRi, izbirnega predmeta Samostojni terenski projekt in evropskega projekta RM@SCHOOL (H2020) je 6 študentov iz Oddelka za geologijo (Naravoslovnotehniška fakulteta) kartiralo območje habitata bele in črne človeške ribice v Beli krajini. Rezultate smo uporabili pri doseganju ciljev projekta.

V pripravi za objavo v reviji Acta carsologica je članek o mikrobiološki kontaminaciji obravnavanih izvirov.

8. Priporočila naročniku s predlogom nadaljnjih raziskav

Med najbolj ranljive izvire spada prelivni izvir Obršec, kjer je potrjen habitat človeške ribice in kjer se občasno izkazuje zelo slabo stanje podzemne vode, najverjetneje zaradi neustreznega odvajanja komunalne odpadne vode v zaledju. Ta izvir smo obravnavali v okviru projekta, bi ga pa bilo potrebneje podrobneje proučiti.

Za človeško ribico je mejna vrednost določena praktično le za nitrate, medtem ko za ostale parametre praktično ni poznana. Predlagamo raziskave na drugih kritičnih parametrih, ki lahko vplivajo na ustreznost habitata človeške ribice.

Analizo mikrobnih markerjev bi veljalo izvesti v širšem obsegu (tudi na drugih izviri), v različnih hidroloških obdobjih in delih leta, saj bi tako podala boljšo sliko o viru onesnaženja.

S pomočjo prostorskih podatkov ter najnovejših znanstvenih in strokovnih izhodišč o prenosu onesnažil v vodno okolje bi veljalo določiti metodologijo ranljivosti (naravne razmere), nevarnosti (antropogeni viri) in tako pripraviti karto ogroženosti vodnih virov pomembnih za življenje podzemnih organizmov in karto ogroženosti habitatov mokrišč in mokrotnih travnikov. Pomembno je poudariti, da zavarovana območja zmanjšajo ogroženost, tako da z ukrepi omejijo tveganja za nevarnosti. Vendar so viri onesnaženja pogosto v širšem zalednem območju brez varstvenih ukrepov.

Karto ogroženosti bi bilo potrebno umestiti tudi v širši kontekst urejanja prostora v Sloveniji in s pomočjo dostopnih prostorskih podatkov analizirati, katere dejavnosti iz različnih sektorjev so lahko vir še dodatnih tveganj, tako za vodne vire kot tudi biodiverzitet.

Potrebno bi bilo oceniti, koliko k skupnim tveganjem prispevajo podnebne spremembe, saj so predvsem kraška območja in habitati izpostavljena močnemu nihanju gladine vode v podzemnih vodonosnikih, kar vpliva na življenjske cikle rastlin in živali.

Predlagamo preučitev možnost priprave metodologije za določitev rezultatskih kazalnikov, ki bi kakovostno in količinsko ovrednotili uspešnost ukrepov, ki bi jih regulator področja predpisal na tako določenih območjih.

Potrebno bi bilo pripraviti komunikacijska orodja z navodili za implementacijo kmetijsko okoljskih ukrepov, ki prispevajo k izboljšanju odnosov in boljšega sodelovanja s kmeti in lokalnimi prebivalci. Za ohranjanje kulturne krajine je ključna komunikacija z ljudmi, ki so del nje. Prav kmetje so lastnik pretežnega dela zemljišč na zavarovanih območjih in zato pomembno prispevajo k stanju biodiverzitet.

9. Viri

- Bizjak Mali, L., Sket, B., 2019. History and biology of the «black proteus» (*Proteus anguinus* parkelj Sket & Arntzen 1994; Amphibia: Proteidae): a review / Zgodovina in biologija črnega močerila (*Proteus anguinus* parkelj Sket & Arntzen 1994; Amphibia: Proteidae): pregledni članek. *Folia biologica et geologica*. 60. 5. 10.3986/fbg0049.
- Bulog, B., Mihajl, K., Jeran, Z. et al., 2002. Trace Element Concentrations in the Tissues of *Proteus Anguinus* (Amphibia, Caudata) and the Surrounding Environment. *Water, Air, & Soil Pollution* 136, 147–163.
- Dobnikar Tehovnik, M., Gacin, M., Mihorko, P., 2020. Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji. Poročilo za leto 2019. Agencija RS za okolje, Ljubljana, 48 str.
- Field, K.G., Samadpour, M., 2007. Fecal source tracking, the indicator paradigm, and managing water quality. *Water Research*, 41/16: 3517-3538.
- Gorički, Š., Stanković, D., Snoj, A. et al., 2017. Environmental DNA in subterranean biology: range extension and taxonomic implications for *Proteus*. *Scientific Reports*, 7.
- Harwood, V. J., Stoeckel, D. M., 2011. Performance criteria. V: Hagedorn C, Blanch A. C., Harwood V. J. (ured.). *Microbial source tracking: Methods, applications, and case studies*. New York: Springer, str. 7–30.
- Hudoklin, A., 2011. Are we guaranteeing the favourable status of the *Proteus anguinus* in the Natura 2000 network in Slovenia? In: Prelovšek A., Hajna N.Z. (Eds.), *Pressures and Protection of the Underground Karst – Cases from Slovenia and Croatia*. Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna, pp. 169-181.
- Hudoklin A., 2012. Zaskrbljujoče stanje habitata človeške ribice na Dolenjskem. *Dolenjski kras*, 6: 157-165.
- Ji, W., Yang, Z., Yu, T., Yang, Q., Wen, Y., Wu, T., 2021. Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Fe–Mn Nodules in the Karst Area of Guangxi, Southwest China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 106. 10.1007/s00128-020-02837-6.
- Kolar B., 2017. Ocena tveganja, ki ga predstavlja nitrat za ekosisteme podzemne vode in za človeško ribico na projektnem območju LIFE Kočevsko (LIFE13 NAT/SI/000314), NLZOH, Maribor, 20 str.
- Oenema, O. et al., 2018. Review of measures to decrease nitrate pollution of drinking water sources. FAIRWAY Project Deliverable 4.1, 125 pp.
- Reischer, G. H., Ebdon, J. E., Bauer, J. M., Schuster, N., Ahmed, W., Åström, J., Blanch, A. R., Blöschl, G., Byamukama, D., Coakley, T., Ferguson, C., Goshu, G., Ko, G., de Roda Husman, A. M., Mushi, D., Poma, R., Pradhan, B., Rajal, V., Schade, M. A., Sommer, R., Taylor, H., Toth, M. E., Vrajmasu, V., Wuertz, S., Mach, R. L. in Farnleitner, A. H., 2013. Performance characteristics of qPCR assays targeting human- and ruminant-associated bacteroidetes for microbial source tracking across sixteen countries on six continents. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(15), 8548–8556.
- Retelj M., 2022. Nova metoda za določanje fekalnega onesnaženja voda. *Vodni dnevi 2022*, Rimske Torlice, 13.-14. september 2022.
- Ribeiro, D., Zorn, M., 2021: Sustainability and Slovenian karst landscapes: evaluation of a low karst plain. *Sustainability* 13-4.

Shanks, O. C., Sivaganesan, M., Peed, L., Kelty, C. A., Blackwood, A. D., et al., 2012. Interlaboratory comparison of real-time PCR protocols for quantification of general fecal indicator bacteria. *Environmental Science & Technology*, 46(2), 945–953.

Burnik Šturm, M., Lojen, S., 2010. Izotopska sestava dušika v ekološko in konvencionalno pridelani zelenjavi na slovenskem trgu. Novi izzivi v poljedelstvu / New challenges in field crop production, Rogaska Slatina, Slovenia, 7 str.