

RAZISKAVE ZA OPREDELITEV IN PREPREČEVANJE OBREMENJEVANJA VODOZBIRNEGA ZALEDJA JELŠEVNIŠČICE IN OTOVSKEGA BREGA, S POSEBNIM OZIROM NA HABITAT ČRNE ČLOVEŠKE RIBICE

dr. Mitja Prelovšek, univ. dipl. geogr., Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU,
Titov trg 2, 6230 Postojna

Miha Curk, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta,
Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

dr. Nina Mali, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana

dr. Janez Mulec, univ. dipl. mikr., Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU,
Titov trg 2, 6230 Postojna

dr. Metka Petrič, univ. dipl. inž. geol., Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU,
Titov trg 2, 6230 Postojna

prof. dr. Marina Pintar, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek
za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

dr. Janko Urbanc, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije,
Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana

dr. Rozalija Cvejić, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta,
Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

Povzetek

Osnutek načrta upravljanja voda na vodnem območju Donave NUV III 2022-2027 izpostavlja slabo stanje ekosistemov, odvisnih od podzemnih voda v Beli krajini, predvsem za habitat črne človeške ribice (*Proteus anguinus parkelj*). Slednja zahteva višjo kakovost podzemne vode (9,2 mg NO₃⁻/L; Kolar, 2017) kot je postavljena za pitno vodo (50 mg NO₃⁻/L).

Brez ustreznih strokovnih podlag na območju ni možno opredeliti učinkovitih in izvedljivih ukrepov, ki bi v praksi pomenili dolgoročno vzdržno stanje habitata. V projektu Ciljnega raziskovalnega programa (CRP V1-2139) z naslovom Raziskave za opredelitev in preprečevanje obremenjevanja vodozbirnega zaledja Jelševniščiце in Otovskega brega, s posebnim ozirom na habitat črne človeške ribice (HaČloRi) se osredotočamo na opredelitev ukrepov, ki bi učinkovito omejili obremenjevanje podzemne vode in tako zagotovili ustrezen habitat za to zavarovano vrsto. Glavne aktivnosti projekta so (i) opredelitev vodozbirnega zaledja izvirov, (ii)

vzpostavitev celostnega, zveznega, občasnega in pasivnega spremljanja širokega spektra onesnaževal v vodi (klasičnih in novodobnih, posebej nitrata, določanja emisijskih vrednosti dušika glede na vir onesnaženja), (iii) z modelom SWAT (Soil and Water Assessment Tool) zasnovati in ovrednotiti različne scenarije prihodnje rabe kmetijskega prostora, in (iv) opredelitev ukrepov za omejitev obremenjevanja upošteva njihovo učinkovitost in izvedljivost. V pričujočem prispevku je predstavljena predhodna opredelitev vodozbirnega zaledja, meritve kakovosti vode glede na različna onesnaževala in predhoden predlog kmetijskih in komunalnih ukrepov, ki bi pomagali doseči visok standard kakovosti vode za dolgoročno preživetje črne človeške ribice.

Uvod

Človeška ribica (*P. anguinus*) je na nacionalni ravni pravno opredeljena kot zavarovana ranljiva vrsta, prednostno se varuje tudi njen habitat, opredelje-

ni so varstveni cilji za njeno ohranitev. Na mednarodni ravni je opredeljena kot kvalifikacijska vrsta območij Natura 2000. Živi v celinskih podzemnih vodah Dinarskega krasa, genetsko pa je diferencirana v več podvrst ali celo vrst, ki so lokalni endemiti — kot taka se izpostavlja črna človeška ribica, katere habitat je bil potrjen na manj kot 2 km² poseljenega plitvega krasa dela Z roba Bele krajine (Gorički in sod., 2017).

Osnutek načrta upravljanja voda na vodnem območju Donave NUV III 2022–2027 (MOP, 2022) izpostavlja slabo stanje ekosistemov, odvisnih od podzemnih voda v Beli krajini, predvsem za habitat črne človeške ribice, ki zahteva višji standard kakovosti podzemne vode (9,2 mg NO₃⁻/L) kot je za pitno vodo (50 mg NO₃⁻/L). Habitat črne človeške ribice, v kombinaciji z nizko samočistilno sposobnostjo podzemne vode, predvidoma najbolj ogrožajo slabo urejena komunalna opremljenosti v vodozbirnem zaledju habitata, neustrezno odlaganje industrijskih odpadkov in habitatu neprilagojena kmetijska raba prostora.

Doseganje dobrega kemijskega in ekološkega stanja voda je skupen cilj držav Evropske unije, ki se v praksi uresničuje skozi vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES), ki je temelj za celovito upravljanje voda. Posebna pozornost je namenjena (1) preprečevanju poslabšanja stanja voda, (2) preprečevanju onesnaževanja pri viru, (3) vzpostavljanju mehanizmov za nadzor onesnaževanja, (4) uvajanju ekonomske cene vode in načela »povzročitelj plača«. Pod sklop direktiv, ki varujejo vodna telesa, sodita tudi Nitratna direktiva (91/676/EGS), s katero se želi zmanjšati vplive organskih gnojil na kakovost vodnih teles, ter Direktiva o trajnostni rabi sredstev za varstvo rastlin (2009/128/EC).

Evropska agencija za okolje poroča, da so povprečne vsebnosti nitrata v evropskih podzemnih vodah od leta 2005 stalno padale in se v letu 2011 skoraj vrnile na vsebnosti v letu 1992 (EEA, 2018). To kaže na pozitivne učinke ukrepov za zmanjševanja vnosov in izgub v kmetijstvu v okviru skupne kmetijske politike Evropske unije kot tudi izboljšanja stanja na področju odvajanja odpadnih voda. Na območjih intenzivnega kmetijstva in poselitve so lahko koncentracije nitrata kljub ukrepom lokalno še vedno višje od mejne vrednosti za človeško ribico (Prelovšek, 2016).

Projekt CRP HaČloRi, ki se bo izvajal v obdobju 2021–2023 ne odgovarja le na izpostavljeni okoljski problem, ampak kot tak podpira lokalne prebivalce, ki so skozi dosedanja prizadevanja izrazili močno podporo k ohranitvi habitata črne človeške ribice. V projektu se osredotočamo na opredelitev ukrepov, ki bi učinkovito omejili obremenjevanje podzemne vode in tako zagotovili ustrezen habitat

za to zavarovano vrsto. Glavne aktivnosti projekta so: (i) opredelitev vodozbirnega zaledja izvirov, (ii) vzpostavitev celostnega, zveznega, občasnega in pasivnega spremljanje širokega spektra onesnaževal (klasičnih in novodobnih onesnaževal v vodi, nitrata, določanja emisijskih vrednosti dušika glede na vir onesnaženja), (iii) z modelom Soil and water assessment tool (SWAT) (<https://swat.tamu.edu/>) zasnovati in ovrednotiti različne scenarije prihodnje rabe kmetijskega prostora, in (iv) opredelitev ukrepov za omejitev obremenjevanja upošteva njihovo učinkovitost in izvedljivost.

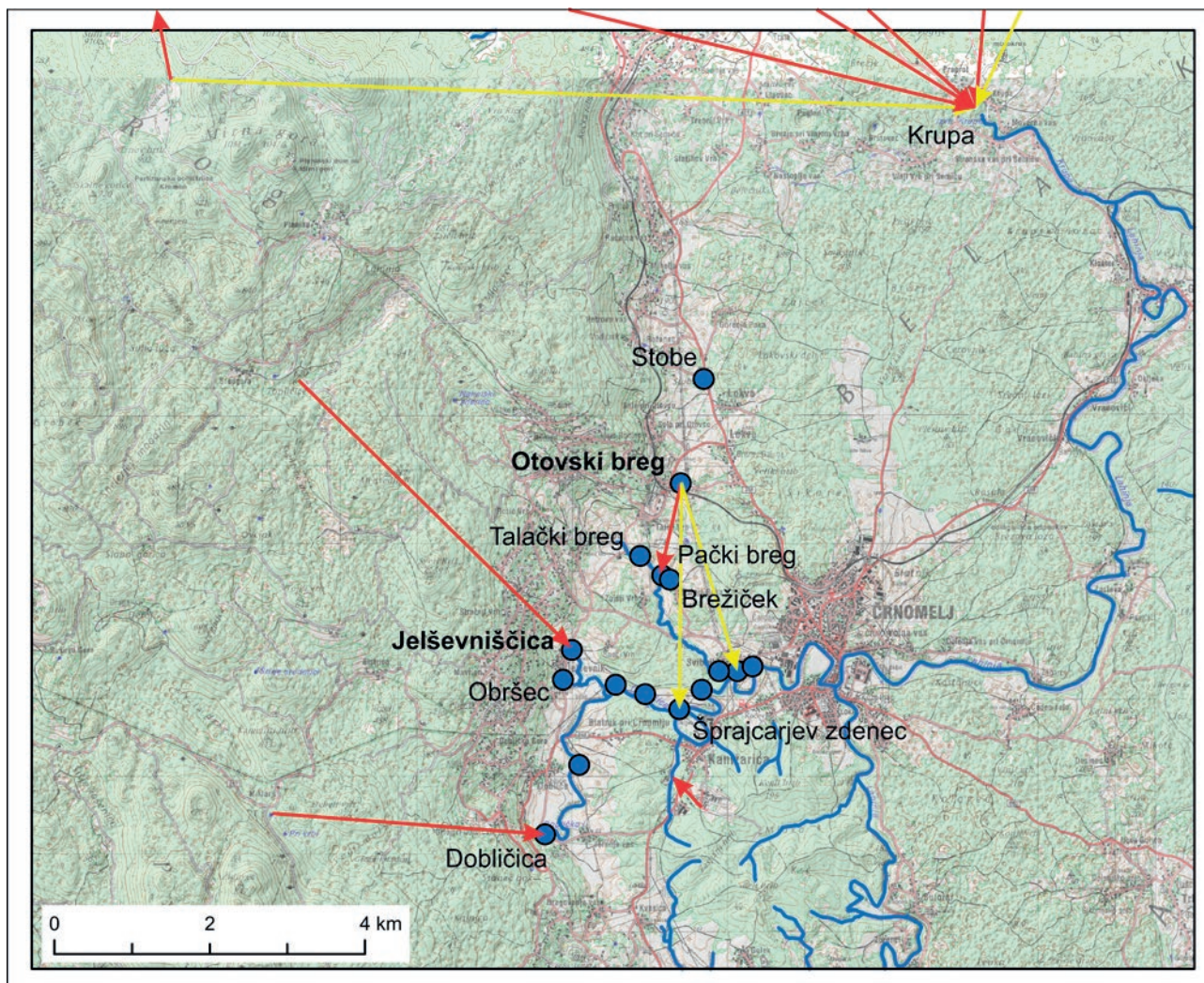
MATERIALI IN METODE

Študijsko območje

Študijsko območje predstavlja vzhodni del Dinarskega krasa, kjer se območje veliko okoli 100 km² vzpne iz poseljenega plitvega krasa, dela Z roba Bele krajine, v višji kraški masiv Poljanske gore z Mirno goro (Slika 2.1). Zaradi odsotnosti površinskih razvodnic so vodozbirna območja kraških izvirov težko določljiva, pojavlja pa se bifurkacija (raztekanje).

Predhodne meritve pretokov in sledilni poskusi podajajo delne informacije o značilnostih podzemnega toka in prenosa onesnaževal (Petrič, 2009). Zaledje Jelševnišnice je na podlagi minimalnega pretoka (30 L/s), minimalnega specifičnega odтока (3 L/s/km²), in dveh sledilnih poskusov, ocenjeno na 10 km² (Habič in sod., 1990). Zaledje Jelševnišnice je v spodnjem delu kmetijsko in poseljeno, v višjem bolj obširnem delu pa pretežno gozdnoto. Boljša kakovost vode od sosednjega Otovskega brega nakazuje na zaledje, ki je manj poseljeno ali ima bolj učinkovito razredčevanje onesnaženja. Okoli 1 °C višja temperatura Otovskega brega kaže na nižje vodozbirno zaledje (Habič in sod., 1991), ki pa prostorsko ni opredeljeno. Sledilna poskusa sta pokazala, da je del hidrološkega zaledja bifurkacijski.

Z občasnim vzorčenjem se je v preteklosti spremljalo kemijsko in mikrobiološko stanje Jelševnišnice, ne pa tudi Otovskega brega. V obdobju 1989–1993, so bili 700 m od izvira Jelševnišnice odloženi livarski peski, prah filtrskih naprav, in z njimi aromatski ogljikovodiki ter fenoli (Hudoklin, 2012). V sedimentu izvira Jelševnišnice in v tkivih človeške ribice je bila ugotovljena povečana vsebnost 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. Mobilnost težkih kovin je v kraških tleh sicer zelo zmanjšana,



Slika 2.1: Topografska karta širšega študijskega območja z označenimi lokacijami vseh obravnavanih izvirov (modre pike) in rezultati sledenji smeri toka podzemne vode (rdeča črta-glavna povezava, rumena črta-stranska povezava).

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. Kemijsko stanje na izviru Jelševniščiće so redno spremljali sodelavci Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete in po 2009 oz. 2010 ugotovili občasen dvig koncentracije nitrata nad 15 mg NO_3^-/L . Istočasno je bila tudi koncentracija fosfata (blizu 2 mg/L; Hudoklin, 2011 in 2012) — domnevno zaradi uporabe digestata v zaledju. Monitoring kemijskega stanja obeh izvirov od leta 2014 izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Rezultati kažejo na redno preseganje priporočene vrednosti za človeško ribico na Otovskem bregu z vrednostmi nad 20 mg NO_3^-/L , na Jelševniščići pa so koncentracije pod 7 mg NO_3^-/L (Dobnikar Tehovnik in sod., 2020), vendar z grožnjo (občasnega) prekomernega gnolenja v zaledju.

Dušik je eden izmed glavnih onesnaževal vode, zato je naravno in antropogeno spremenjeno kroženje dušika z dejavniki vpliva in časovno spremenljivim spiranjem razmeroma dobro proučen pojav (Cerar in sod., 2020). Prisotnost drugih one-

snaževal, zlasti novodobnih organskih, ki so posledica različnih antropogeni dejavnosti in nastopajo v sledovih, je na obeh izviroh Jelševniščiće in Otovskega brega bistveno slabše poznana.

Na bližnjem izviru Dobličice, ki je zajeta za vodooskrbo, je v zadnjih letih opazen problem mikrobiološke onesnaženosti ob pojavu motnosti. Podoben problem se predvideva tudi na izviru Jelševniščiće in na Otovskem bregu. Sočasnost pojavljanja mikrobiološke kontaminacije in motnosti je znan pojav, ki se naslavlja z indikatorskimi bakterijami (Pronk in sod., 2006). Slednje se uporabljajo za odkrivanje in ocenjevanje stopnje fekalnega onesnaženja.

Temeljni ukrepi za preprečevanja prekomernega vpliva odpadnih komunalnih voda na podzemne vode izhajajo iz Vodni direktivi podrejene zakonodaje in obsegajo praviloma odvajanje in čiščenje odpadne vode ter omejevanje fosforja in njegovih spojin kot hranil v detergentih (NUV 2016-2021) (MOP, 2022), dolgoročno pa je možno na zmanjšanje vplivati tudi z ustreznim prostorskim načrtovanjem poselitve.

Spremljanje stanja okolja in modeliranje učinkov spremembe rabe tal

Opredelitev vodozbirnega območja obeh glavnih izvirov je ključnega pomena za izvajanje ukrepov. Osnovo predstavlja pregled sledilnih poskusov (Habič in sod., 1990), ki jih nadgrajujemo z izračunom vodne bilance ter analizo fizikalno-kemičnih lastnosti vode. Meritve izotopske sestave kisika-18 in devterija v opazovanih vodah vodi so bile opravljene z laserskim analizatorjem izotopske sestave vode Picarro L2130-i. Laserski analizator Picarro uporablja tehnologijo CRDS (Cavity Ring-Down Spectroscopy). Na izvirihih so bili nameščeni pasivni vzorčevalniki (Wille in sod., 2011; Nyoni in sod., 2011; Mali in sod., 2017; Cerar in sod., 2016), ki nam omogočajo neprekinjeno spremljanje prisotnih organskih onesnaževal ali onesnaževal v nizkih koncentracijah in njihovo relativno koncentracijo v daljšem časovnem obdobju. Prisotnost onesnaževal bomo poskusili povezati z viri v zaledju.

V sklopu fizikalno-kemičnih lastnosti vode spremljamo na mesečnem intervalu 12 kraških izvirov glede na temperaturo, specifično elektroprevodnost, pH, vsebnost kisika, stabilnih izotopov kisika ter poglavitnih anionov (HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , PO_4^{3-}) in kationov (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+). Ioni se določajo na ionskem kromatografu. Od oktobra 2021 do konca junija 2022 je bilo opravljenih 8 kampanj meritev na mesečni ravni. V načrtu imamo tudi vzorčenje in analizo sedimentov na izvirihih. Za hidrološko bilanco uporabljamo javno dostopne podatke ARSO in lastno meteorološko postajo na Selih pri Otovcu, na obeh glavnih izvirihih pa zvezno spremljamo vodostaj, ki ga bomo z meritvami karakterističnih pretokov preko pretočne krivulje preračunali v zvezni pretok. Zaradi neugodnih merilnih karakteristik Otovskega brega (kratek tok, retrogradno poplavljanje) izvajamo istovrstne meritve tudi na Pačkem bregu, kjer se glede na rezultate sledilnega poskusa na površju zopet pojavlja ponorna voda Otovskega brega.

Za spremljanje fekalnega onesnaženja se spremlja koncentracija bakterij vrste *E. coli* ter enterokokov. Indikatorsko mikrobo biomaso (CFU/100 mL) se ovrednoti iz aseptično odvzetih izvirskih vzorcih Jelševnišči in Otovskega brega na selektivnih gojiščih za enterokoke (Compact Dry ETC) in *Escherichia coli*/koliforme (Compact Dry EC). Pogoji gojenja so bili: 37 °C, 48 ur, aerobno.

Na obeh glavnih izvirihih se kot problematična in najbolj pogosta raztopljena oblika dušika zvezno spremlja zlasti nitrat, za katerega bo preko pretoka možno izračunati bilanco iztoka. Antropogen doprinos dveh najbolj pomembnih virov (kmetij-

stvo, komunalna odpadna voda) bo izračunljiv s kvantificiranim konceptualnim modelom bilance dušika, ki bo podlaga za določitev ukrepov. Ukrepi za zmanjšanje obremenitev obeh glavnih izvirov, predvsem z nitratom, bodo predvidoma usmerjeni na področje ravnanja s komunalno odpadno vodo in kmetijstvo. Glede na prostorsko določitev vodozbirnega območja in strukturo poselitve bodo ukrepi usmerjeni na dele naselij, ki bi lahko najbolj prispevali k zmanjšanju obremenjevanja.

Opredelitev ukrepov za zmanjšanje obremenitev in nevarnosti v vodozbirnem zaledju izvira Jelševnišči in Otovca na sprejemljivo raven habitata človeške ribice se je začela z zbiranjem podatkov o obstoječi kmetijski praksi (Strgulec, 2021) in pripravo prostorskih podatkov za potrebe postavitve in poznejše kalibracije modela v SWAT. Na podlagi pregleda literature in podatkov iz preteklih študij, ter ogleda terena, so bili pripravljeni scenariji za modeliranje v SWAT.

REZULTATI Z RAZPRAVO

Karakterizacija in opredelitev vodozbirnega zaledja Jelševnišči in Otovskega brega

Vodozbirno zaledje Jelševnišči in Otovca tvorijo obširni visokoizdatni kraško razpoklinski vodonosniki. Za boljše poznavanje značilnosti pretakanja vode podzemne vode ter značilnosti širjenja onesnaževal, hidrogeološkega sistema, dinamike podzemne vode in njenih fizikalno-kemijskih značilnosti so v teku podrobnejša hidrogeološka karakterizacija vodozbirnega območja, ki je pomembna za določitev celokupnih obremenitev in posledično podlaga za prostorsko opredelitev izvajanja ukrepov.

Glede na dosedanje meritve izotopske sestave kisika-18 in devterija lahko opazovane vode uvrstimo v dve skupini. V prvi skupini so vode relativno obogatene s težjim kisikovim izotopom 180. Dosedanje meritve kažejo povprečno izotopsko sestavo kisika v vodah prve skupine okoli -8,7 ‰. 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 izvirov predstavljajo izviri, ki so relativno osiromašeni s težjim kisikovim izotopom 180. V to skupino prištevamo izvira Jelševnišči in Dobličice. Povprečna izotopska sestava vod iz druge skupine je okoli -9,2 ‰. Na osnovi teh re-

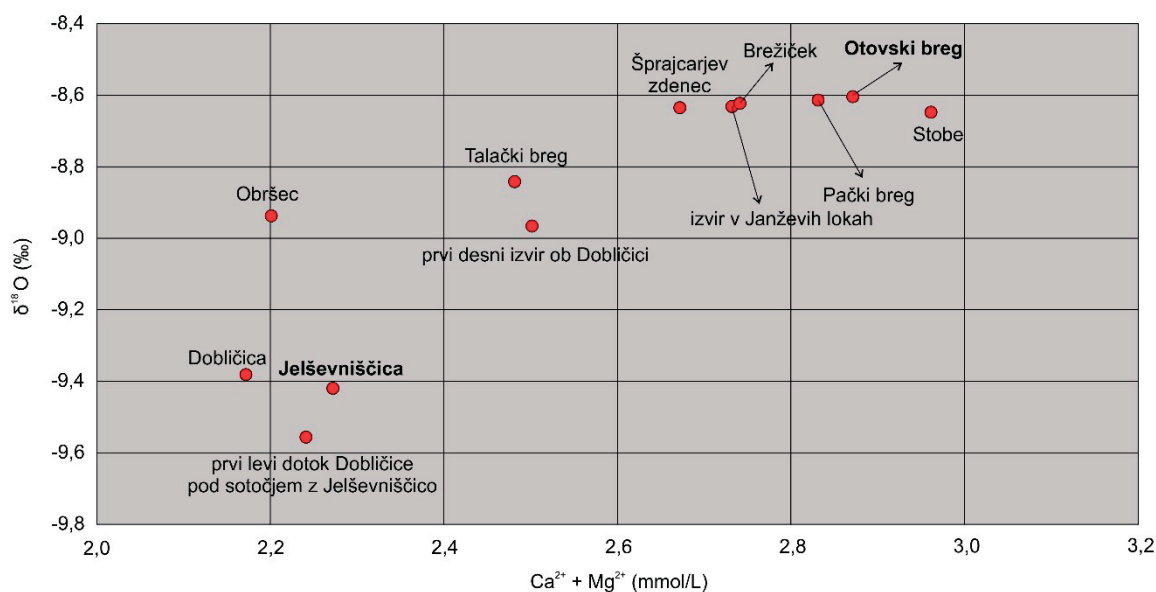
zultatov ocenjujemo, da se glavno zaledje izvirov Jelševnišči in Dobličica nahaja bolj v osrednjem delu Kočevskega roga oziroma Mirne gore in Poljske gore.

Dokončna opredelitev hidrološkega zaledja obeh izvirov bo na osnovi hidrološke bilance mogoča po enem hidrološkem letu in po analizi novodobnih organskih onesnaževal. Kljub temu mesečne meritve temperature vode ($10,2 \pm 0,23$ °C vs. $12,0 \pm 0,04$ °C), mineralizacije (420 ± 11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vs. 555 ± 42 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ravnotežna koncentracija CO_2 (7.000 ± 800 ppm vs. 27.300 ± 6.700 ppm) in izotopske sestave kisika ($-9,4$ ‰ ^{18}O vs. $-8,6$ ‰ ^{18}O ; Slika 3.1), posredno pa tudi parametri onesnaženosti, že kažejo na značilno višje pretežno gozdno zaledje Jelševnišči in nižje poseljeno območje Otovskega brega. Izredno majhna sezonska nihanja temperature vode v okviru desetink °C in indeks nasičenosti vode glede na kalcit blizu 0 kažeta na daleč prevladujoče avtogeno napajanje v zaledju obeh izvirov z debelino vadozne cone več kot nekaj deset metrov z izjemno učinkovitim prenosom toplote med vodo in kamnino. Vodozbirno območje Jelševnišči je za vsaj red velikosti večje od Otovskega brega, kar ima ob gozdnatem zaledju Jelševnišči tudi večji učinek razredčevanja obremenjevanja tik nad izvirom, po drugi strani pa kaže na večjo ranljivost Otovskega brega. Smer in količinski dotok vode pojasnjujeta razlike v bistveno večji obremenjenosti Otovskega brega ($12,8 \pm 3,3$ mg NO_3^-/L) v primerjavi z Jelševniščico ($3,5 \pm 0,7$ mg NO_3^-/L). Po fizikalno-kemičnih karakteristikah vode je Jelševnišči zelo podobna sosednji Dobličici, ki je zajeta za vodooskrbo. Bistvena razlika med njima je bistveno večja kon-

centracija magnezijevih ionov v vodi Jelševnišči ($0,54 \pm 0,09$ mmol/L vs. $0,24 \pm 0,06$ mmol/L) ter tudi manjše razmerje Ca/Mg ($3,3 \pm 0,7$ vs. $8,5 \pm 2,7$), kar zelo verjetno izvira iz dolomitne podlage; čeprav so posamezne plasti dolomita pojavljajo v spodnje krednih karbonatih, značilno višja koncentracija najverjetneje izvira iz obsežnejšega območja dolomitov okoli Planine in Mirne gore. Otovski breg je po karakteristikah podoben vodnemu toku v bližnji jami Stobe ter Pačkemu bregu, katerega najverjetneje napaja.

Kvalitativna in kvantitativna opredelitev obremenitev in nevarnosti v vodozbirnem zaledju Jelševnišči in Otovskega brega

Zaradi bistveno večjega deleža nižjega poseljenega dela v vodozbirnem območju Otovskega brega je voda na slednjem bistveno bolj obremenjena predvsem z nitrati ($12,8 \pm 3,3$ mg NO_3^-/L) in kloridi ($12,3 \pm 8,0$ mg Cl^-/L), medtem ko so koncentracije slednjih na izviru Jelševnišči bistveno nižje ($3,5 \pm 0,7$ mg NO_3^-/L ter $2,0 \pm 0,2$ mg Cl^-/L). Nasičenost s kisikom je na izviru Jelševnišči nekoliko pod mejo nasičenosti ($93,9 \pm 2,8$ %), kar je lahko tudi zgolj posledica naravne oksidacije v freatični coni vodonosnika, na Otovskem bregu pa bistveno nižja ($85,5 \pm 5,7$ %) indicira onesnaženje. Koncentracija PO_4^{3-} je bila v vseh vzorcih pod mejo določljivosti ($0,05$ mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$) oz. vrh na ionskem kromatografu ni bil zaznan. Nitrit in amonijev ion sta bila v vseh odvzetih vzorcih pod



Slika 3.1: Izotopska sestava vode kot tudi mineralizacija kažeta na različno napajalno zaledje izvirov; levo spodaj so tisti z višjim, desno zgoraj pa z nižjim napajalnim zaledjem.

mejo detekcije kar kaže na efektivno nitrifikacijo v podzemni vodi, katerega stranski efekt je že omenjeno znižanje koncentracije kisika. Rahlo višja, a statistično značilna, koncentracija SO_4^{2-} na Otovskem bregu ($5,4 \pm 0,6 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{L}$) glede na Jelševnišnico ($3,9 \pm 0,2 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{L}$) lahko indicira antropogeno obremenjevanje, ki viša naravno ozadje sulfatov. Na Otovskem bregu se obremenjevanje vode kaže tudi z vidika povišanja vrednosti kalija ($1,3 \pm 0,8 \text{ mg K}^+/\text{L}$), medtem ko je na Jelševnišnici koncentracija le enkrat preseгла mejo določljivosti, to je $0,2 \text{ mg K}^+/\text{L}$. Veliko nihanje koncentracije klorida na Otovskem bregu z najvišjimi vrednostmi pozimi kažeta na občasen vpliv prometa oz. soljenja cest ter nevarnost v primeru izlitja nevarnih snovi. Brez zaključene hidrološke bilance in prostorske analize antropogenega doprinosa in vira onesnaževal oz. deleža posameznih dejavnosti v prostoru še ni mogoče opredeliti.

Z nekaj izjemami zaenkrat še ni podrobnega pregleda stanja obremenjenosti kraških vodnih teles na obravnavanem območju z mikrobnimi fekalnimi indikatorji. Rezultati analiz, opravljenih od novembra 2021 do februarja 2022, kažejo, da so bile bakterije vrste *E. coli*, kakor tudi enterokoki, prisotni ob vsakem vzorčenju v obeh izviri, na Otovskem bregu in Jelševnišnici. Primerjalno so bile zabeležene koncentracije obeh indikatorjev v tem obdobju višje na Otovskem bregu (*E. coli*: 34 – 1260 CFU/100 mL, enterokoki: 100 – 3300 CFU/100 mL) kot v Jelševnišnici (*E. coli*: 1 – 18 CFU/100 mL, enterokoki: 40 – 327 CFU/100 mL). V nadaljevanju raziskave pričakujemo, da bomo dobili širši vpogled v mikrobiološko stanje obeh izvirov v različnih hidroloških pogojih ter ju primerjali z drugimi izviri v prispevnem zaledju.

Ukrepi za zmanjšanje obremenitev in nevarnosti v vodozbirnem zaledju izvira Jelševnišnice in Otovskega brega na sprejemljivo raven habitata človeške ribice

V Preglednici 3.1 so zbrane skupine kmetijskih ukrepov, ki so se po obsežnem pregledu znanstvenih prispevkov (Oenema in sod., 2018) izkazale kot učinkovite v statistično značilnem delu. Pri ostalih ukrepih je glede na rezultate objav učinkovitost manj jasna. Kljub temu se njihova vpeljava priporoča, v kolikor učinkovitost potrdi preizkušanje v lokalnih razmerah. Ob uvajanju ukrepov je nujno zavedanje, da je uspeh zelo odvisen od lokalnih okoljskih dejavnikov in pripravljenosti kmetovalcev za izvajanje, zato so najbolj učinkoviti ukrepi tisti, ki so prilagojeni na raven lokalnih kmetij. Večina od navedenih ukrepov se vsaj v omejenem

obsegu že izvaja tudi na študijskem območju in širše v Sloveniji.

Nekateri ukrepi v kmetijstvu, ki so namenjeni zaščiti virov pitne vode na območju Slovenije, so finančno podprti znotraj Programa razvoja podeželja (PRP) 2014 – 2020. 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 spravi poznih hibridov koruze, podoravanje rastlin za podor (izbirni zahtevi). Vse sodijo med ukrepe uvedbe prekrivnih posevkov, ki jih ne dognujemo.

Poleg ukrepov znotraj PRP 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. V Zakonu o vodah je pri gnojenju zahtevano upoštevanje varovalnega obrežnega pasu ob vodotokih (5 oz. 15 m), kar glede na ugotovitve iz literature prispeva zlasti k zmanjšanju onesnaženja površinskih voda. V Načrtu upravljanja voda (NUV) 2016–2021 se za varstvo pred izpiranjem nitrata predvideva še druge ukrepe: prekrivne in medvrstne posevke v trajnih nasadih, petletni kolobar, gnojenje z organskimi gnojili, ekološko kmetovanje, uporaba zastirk ali mehansko zatiranje plevelov in konzervirajoča obdelava.

Pregled literature je pokazal, da so naštetni ukrepi za ta namen načeloma učinkoviti. Izjeme se lahko pojavijo na določenih tleh, določenih posevkih ali načinu gnojenja pri konzervirajoči obdelavi tal (na izpiranje nitrata v podzemno vodo ima lahko negativen učinek in pozitivnega pri zmanjševanju površinskega odtoka) kot rezultat nastanka makropor zaradi delovanja makrobiote (predvsem deževnikov) in ostankov korenin.

Raziskave so pokazale, da ekološko kmetijstvo v primerjavi s konvencionalnim na površino povzroči manjše izpiranje N, in večje na enoto pridelka še posebno, ko govorimo o pridelavi za trg (kakovosten pridelek zahteve hranila, počasno sproščanje hranil tudi izven rastne dobe). Vendar je potrebno omeniti, da dolgoročno oba načina pridelave prispevata k večanju organske snovi v tleh in s tem stabilizaciji dušika. Pomembno je opozoriti na njune pozitivne lastnosti, ki prispevajo k stabilizaciji in biodiverziteti njivskih tal. Veliko nevšečnostim se izognemo, če gnojenje izvajamo

po gnojilnih načrtih. Posredno, preko delovanja na talne organizme, na fizikalne in kemične procese v tleh vpliva tudi uporaba sredstev za varstvo rastlin. Na študijskem območju bi še zlasti veljalo nameniti pozornost postopni uvedbi priporočil glede zmanjšanih odmerkov gnojenja, prilagojenih prevladujočim talnim tipom (gnojenje glede na talni tip) na ranljivih območjih.

Glede na izsledke predstavljene v znanstveni literaturi in ob upoštevanju izsledkov raziskave izvajanja gnojenja poljščin in travinja v Beli krajini (Strgulec, 2021) bo v projektu CRP HaČloRi sledilo preverjanje vpliva sprememba prakse rabe tal na študijskem območju z orodjem SWAT. V ta namen je bilo oblikovanih 5 scenarijev spremembe rabe prostora, ki bodo preverjeni v modelu SWAT: (1) scenarij nadaljevanja sedanje rabe prostora, (2) ekstenzifikacija rabe prostora s spremembo njiv v travnike ali travnikov v gozd, (3) intenzifikacija sedanje rabe prostora s spreminjanjem travnikov v njive ali vpeljave bolj intenzivnega kolobarja na obstoječe njive in travnike, (4) sprememba gnojenja ali kolobarja ter (5) preveritev vpliva povečanja komunalne opremljenosti na kakovost vode glede na sedanje stanje.

Na ta način bo v nadaljevanju projekta s simulacijo v SWAT preverjen učinek ukrepov, za katere ocenjujemo visoko pozitiven učinek na zmanjšanje onesnaževanja z nitrati, kot so uravnoteženo gnojenje, spremembe v kolobarju ali vrsti kmetijske kulture, prekrivni in medvrstni posevki, podsevki

in zaščitni in obrežni pasovi. Delni rezultati projekta nakazujejo na potrebo po izvajanju varstveni ukrepov tudi na vplivnih območjih ekosistemov odvisnih od podzemnih voda, ki niso neposredno varovani kot območja Natura 2000. Čeprav možnosti predpisa izvajanja varstveni ukrepov na vplivnih območjih ekosistemov odvisnih od podzemnih voda, četudi ti niso neposredno varovani kot območja Natura 2000, trenutna zakonodaja že omogoča, pa vseeno ocenjujemo da je ta instrument varstva razmeroma šibek in neučinkovit. Ocenjujemo, da bo potrebno uvesti znanstveno podprte (Glavan in sod., 2019), a hrkati lokalnemu okolju prilagojene in bolj inovativne načine izvajanja ukrepov, ki so osredotočeni v so-bivanje, imajo natančno določen protokol preverjanja in uporabnike prostora motivirajo k izvajanju ukrepov (npr. trženje pridelkov in izdelkov pod naravovarstveno usmerjeno blagovno znamko).

Sklepi

Osnutek načrta upravljanja voda na vodnem območju Donave NUV III 2022-2027 izpostavlja slabo stanje ekosistemov, odvisnih od pozemnih voda v Beli krajini, predvsem za habitat črne človeške ribice, ki zahteva višji standard varovanja kakovosti podzemne vode ($9,2 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$) kot je za pitno vodo ($50 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$). V projektu CRP HaČloRi se osredotočamo na opredelitev ukrepov, ki bi učinkovito omejili obremenjevanje podzemne vode in

Ukrep	Opis ukrepa	Opazovani parameter			
		učinkovitost	izvedljivost	možnost spremljanja	stroški/ koristi
1	uravnoteženo gnojenje (spremembe gnojilnih obrokov z namenom zmanjšanja presežkov N)	visoka	visok	da	ugodno
2	ciljno gnojenje (optimizacija termina in lokacije gnojenja)	visoka	visok	da	srednje
3	uporaba gnojil z izboljšanim delovanjem (npr. počasno sproščanje N, zaviralci nitrifikacije)	visoka	srednji	da	ugodno
4	spremembe v kolobarju ali vrsti kmetijske kulture (zamenjava za takšne z manjšimi N potrebami ali večjo učinkovitostjo pri sprejemu N)	srednja	srednji	da	srednje
5	prekrivni in medvrstni posevki, podsevki (vežejo N, ki je ostal v tleh po žetvi)	zelo visoka	visok	da	ugodno
6	uporaba zastirk (zmanjšanje evaporacije, zapleveljenosti zato boljši pogoji za rast glavne kulture zato boljši izkoristek N)	visoka	visok	da	srednje
7	omejitve pri paši (npr. paša zgolj spomladi oz. ob ugodnih vremenskih razmerah)	visoka	nizek	da	srednje
8	zaščitni in obrežni pasovi (npr. ob vodotokih)	visoka	srednji	da	ugodno
10	optimizacija namakanja (izboljšanje sprejema hranil, zmanjšanje porabe vode, vpeljave in uporaba sistema podpore odločanju o namakanju)	srednja	visok	da	ugodno

Preglednica 3.1: Pregled najbolj primernih ukrepov za zmanjšanje onesnaženja z nitrati iz kmetijstva (prirejeno po Oenema in sod., 2018).

tako zagotovili ustrezen habitat za to zavarovano vrsto.

Jelševnišnice in Otovskega brega bistveno drugačno tako po obsegu kakor tudi po poseljenosti, s tem pa je drugačna tudi raba tal na vodozbirnem območju in posledično koncentracija onesnaževal. Zaradi nižjega poseljenega zaledja prihaja na Otovskem bregu do rednega presejanja mejne vrednosti za človeško ribico, medtem ko so nitrati na Jelševniščici z višjim in gozdnatim zaledjem bistveno nižji. Za doseganje ugodnega stanja bo potrebno ukrepe za zmanjšanje pritiska na okolje vzpostavljati zlasti na Otovskem bregu, na obeh osrednjih izviri raziskave pa bo potrebno postaviti ukrepe za zmanjšanje nevarnosti večjega onesnaženja. Vzpostavitev celostnega, zveznega, občasnega in pasivnega spremljanja širokega spektra onesnaževal (klasičnih onesnaževal v vodi, nitrata, določanja emisijskih vrednosti dušika glede na vir onesnaženja) že kaže na potencial, ki ga ima tovrstno merjenje za ciljno usmerjanje ukrepov kmetijske in okoljske politike, še večjo korist pa bomo pridobili v prihodnjem letu in pol izvajanja projekta.

Za potrebe oblikovanja ukrepov prilagojene rabe kmetijskega prostora bodo učinki spremembe rabe tal preverjeni z modelom SWAT. Analiza sedanje rabe prostora nakazuje na potrebo po izvajanju varstveni ukrepov na vplivnih območjih ekosistemov odvisnih od podzemnih voda, četudi ti niso neposredno varovani kot območja Natura 2000. Potrebno je uvesti za lokalno okolje prilagojene ukrepe, ki so osredotočeni v so-bivanje in imajo natančno določen protokol preverjanja.

LITERATURA

ARSO, 2022: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/>
 ARSO, 2022: <https://www.arso.gov.si/vode/podatki/>
 Bulog B., Mihajl K., Jeran Z., Toman M.J., 2002. Trace Element Concentrations in the Tissues of Proteus Anguinus (Amphibia, Caudata) and the Surrounding Environment. Water, Air, & Soil Pollution: <https://doi.org/10.1023/A:1015248110142>
 Cerar S., Urbanc J., Vengust A., Koren, K., Udovč, J., Janža, M., Šram, D. Modelski sistem GROWA-DENUZ/WEKU za regionalno modeliranje toka dušika preko tal in vodonosnikov v površinska vodna telesa Slovenije - novelacija vhodnih podatkovnih slojev v letu 2020. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 2020. 53 str.
 Cerar S., Mali N. Assessment of presence, origin and seasonal variations of persistent organic pollutants in groundwater by means of passive sampling and multivariate statistical analysis J. Geochem. Explor: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.016>
 Direktiva 2000/60/ES. Direktiva Evropskega parlamenta

in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32000L0060&from=SL>
 Direktiva 2009/128/EC: Direktiva 2009/128/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. oktobra 2009 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti za doseganje trajnostne rabe pesticidov: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009L0128&from=SL>
 Direktiva 91/676/EGS: Direktiva Sveta z dne 12. decembra 1991 o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:31991L0676&from=SI>
 Dobnikar Tehovnik M. et al., 2020. Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji za leto 2019. MOP, ARSO, Ljubljana: 53 str.: https://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Porocilo_podzemne_2019_splet.pdf
 EEA. 2018. European waters Assessment of status and pressures 2018. European Environmental Agency. Luxembourg: 90 str.
 Glavan M., Železnikar Š., Velthof G., Boekhold S., Langaas S., Pintar M., 2019. How to Enhance the Role of Science in European Union Policy Making and Implementation: The Case of Agricultural Impacts on Drinking Water Quality: <https://doi.org/10.3390/w11030492>
 Gorički Š., Stanković D., Snoj A., Kuntner M., Jeffery W.R., Trotelj P., Pavičević M., Grizelj Z., Năpăruș-Aljančič M., Aljančič G., 2017. Environmental DNA in subterranean biology: range extension and taxonomic implications for Proteus. Sci Rep: <https://doi.org/10.1038/srep45054>
 GURS, 2022. Digitalni model višin Slovenije: <https://www.e-prostor.gov.si/>
 Habič P., Kranjc A., Kogovšek J., Bricelj M., Hajna Zupan N., Drole F., Drame L., Zadel M., 1991. Raziskovanje Dobličice in Krupe, 5. del, poročilo za leto 1990. ZRC SAZU IZRK, Postojna: 82 str.
 Hudoklin A., 2011. Are we guaranteeing the favourable status of the Proteus anguinus... V: Prelovšek M., Zupan Hajna N. 1980. Pressures and protection of the underground karst : cases from Slovenia and Croatia, IZRK ZRC SAZU, Postojna: 169-181.
 Ji W. Yang Z., Yu T., Yang Q., Wen Y., W T., 2020. Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Fe-Mn Nodules in the Karst Area of Guangxi, Southwest China Bull Environ Contam Toxicol: doi: 10.1007/s00128-020-02837-6
 Lapworth D.J., Baran N., Stuart M.E., Ward R.S. 2012. Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. Environmental Pollution: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.034>
 Mali N., Cerar S., Koroša A., Auersperger P. 2017. Passive sampling as a tool for identifying micro-organic compounds in groundwater, Science of The Total Environment: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.166>
 MKGP, 2022: <https://rkg.gov.si/vstop/>
 MOP, 2022: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Voda/NUV/63dbe4066b/NUV_VOD.pdf
 Nyoni H., Chimuka L., Vrana B., Cukrowska E., 2011: Membrane assisted passive sampler for triazine compounds

in water bodies—characterization of environmental conditions and field performance. *Analytica Chimica Acta*: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2011.03.045>.

- Oenema O., Commelin M., Groenendijk P., Williams J., Klages S., Wright I., Graversgaard M., Calciu I., Ferreira A., Dalggaard T., Surdyk N., Pintar M., Christophoridis C., Schniper P., Doody D. 2018. Review of measures to decrease nitrate pollution of drinking water sources. Fairway deliverable D4.1: <https://fairway-is.eu/index.php/documents/category/8-farming-measures-practices>
- Petrič M., 2009. PETRIČ, Metka. Pregled sledenja voda z umetnimi sledili na kraških območjih v Sloveniji = Review of water tracing with artificial tracers on karst areas in Slovenia. *Geologija*: <https://doi.org/10.5474/geologija.2009.013>
- Prelovšek M., 2016. Proteus survival close to an industrial, agricultural and urbanized basin - the case of Kočevsko polje, *Natura Sloveniae: revija za terensko biologijo*, 18/1: 47-49: http://web.bf.uni-lj.si/bi/NATURA-SLOVENIAE/pdf/NatSlo_18_1_9.pdf
- Pronk, M., Goldscheider, N. & Zopfi, J. Dynamics and interaction of organic carbon, turbidity and bacteria in a karst aquifer system, 2006. *Hydrogeol J*: <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0454-5>
- Strgulec M., 2021. Pregled in interpretacija izvajanja gnojenja poljščin in travinja ter rezultatov vzorčenja kmetijskih tal Bele krajine v letu 2021
- Stuart M., Lapworth D., Crane E., Hart A. 2012. Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater. *Science of the Total Environment*: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.072>.
- Vrana B., Klucarova V., Benicka E., Abou-Mrad N., Amdany R., Horakova S., Draxler A., Humer F., Gans O. 2014. Passive sampling: an effective method for monitoring seasonal and spatial variability of dissolved hydrophobic organic contaminants and metals in the Danube river. *Environmental pollution*: doi:10.1016/j.trac.2005.06.006
- Wille K., Claessens M., Rappe K., Monteyne E., Janssen C.R., De Brabander H.F., Vanhaecke L., 2011: Rapid quantification of pharmaceuticals and pesticides in passive samplers using ultra high performance liquid chromatography coupled to high resolution mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.10.039>.
- ZRC SAZU, 2022a. Klimatološki podatki za postajo Sela pri Otovcu.
- ZRC SAZU, 2022b. Pretoki in kakovost vode na reki Jelševniščiца