

Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji

Poročilo za leto 2022

Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji

ISSN 1855-5330

Ljubljana, julij 2023

Izdajatelj: Ministrstvo okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana

Odgovarja: mag. Joško Knez, generalni direktor

Avtorji: mag. Polonca Mihorko

mag. Marina Gacin

Deskriptorji: Slovenija, podzemna voda, kakovost, onesnaženje, vzorčenje, kemijsko stanje, trendi, nitrati, pesticidi, ostanki zdravil

Descriptors: Slovenia, groundwater, quality, pollution, sampling, chemical status, trends, nitrates, pesticides, pharmaceuticals

Podatki monitoringa so objavljeni na spletni strani Agencije RS za okolje:

- [Podzemna voda](#)
- Podatki [v Excelovih tabelah po posameznih letih](#)
- [GIS spletni pregledovalnik](#)
- [Podzemna voda – bogastvo, skrito pod zemeljskim površjem](#)
- Vsebnost [nitrata v podzemni vodi](#) ter vsebnost [atrazina in desetil-atrazina na Dravski kotlini](#)

©2023, Agencije Republike Slovenije za okolje

Razmnoževanje publikacije ali njenih delov ni dovoljeno. Objava besedila in podatkov v celoti ali deloma je dovoljena le z navedbo vira.

Kemijsko stanje podzemne vode

Poročilo za leto 2022

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

Ljubljana, julij 2023

Povzetek

Agencija Republike Slovenije za okolje izvaja imisijski monitoring voda v naravnem okolju na podlagi Zakona o varstvu okolja. Program spremljanja kakovosti podzemne vode je za vsako leto pripravljen v skladu z Uredbo o stanju podzemnih voda in Pravilnikom o monitoringu podzemnih voda, ki sta v slovenski pravni red v letu 2009 prenesla Direktivo o varstvu podzemne vode pred onesnaževanjem in poslabšanjem.

Cilj direktive o vodah je, da države članice varujejo, izboljšujejo in obnavljajo stanje vseh vodnih teles površinske in podzemne vode tako, da se doseže dobro stanje. Direktiva predpisuje izvajanje nadzornega in operativnega monitoringa. Nadzorni monitoring se izvaja v skladu z načrtom upravljanja voda, ki se pripravi vsakih šest let in zajema določanje kemijskega stanja na vseh vodnih telesih. Operativni monitoring se izvaja letno na vodnih telesih, ki v preteklosti niso dosegala dobrega kemijskega stanja, na vodnih telesih, ki so zaradi rabe prostora še posebej ranljiva in na vodnih telesih, v katerih so viri namenjeni oskrbi s pitno vodo večjega števila prebivalcev.

V letu 2022 je potekal operativni monitoring, kakovost podzemne vode se je spremljala na 14 vodnih telesih.

Rezultati monitoringa kemijskega stanja podzemne vode v letu 2022 so tako kot tudi v preteklih letih pokazali, da so bolj obremenjena vodna telesa, kjer prevladujejo vodonosniki z medzrnsko poroznostjo, boljše kakovosti pa je podzemna voda v vodnih telesih s prevladujočo razpoklinsko ali kraško poroznostjo. Zaradi intenzivnih človekovih dejavnosti so najbolj obremenjena vodna telesa v severovzhodnem delu Slovenije. Tako smo v letu 2022 slabo kemijsko stanje določili za Savinjsko, Dravsko in Mursko kotlino. Podzemna voda v Savinjski, Dravski in Murski kotlini je prekomerno obremenjena z nitrati, v Dravski kotlini pa tudi z atrazinom in njegovim razpadnim produktom desetil-atrazinom. Na nekaterih vodnih telesih smo občasno ugotovili tudi lokalno obremenjenost z lahkohlapnimi halogeniranimi ogljikovodiki.

V poročilu je prikazan sistem ocenjevanja kemijskega stanja (merila, standardi kakovosti) in ocena kemijskega stanja za leto 2022. Poročilo vsebuje tudi analizo trendov in predstavitev preiskovalnih monitoringov.

[Rezultati monitoringa](#) so od leta 2006 do 2022 dostopni na spletni strani Agencije za okolje in na spletnem [GIS pregledovalniku](#).

Rezultate poročamo tudi na različne mednarodne institucije, kot so npr. Evropska komisija, Evropska okoljska agencija (EEA WISE-SOE).

KAZALO

MERILA ZA OCENO KEMIJSKEGA STANJA PODZEMNE VODE	1
OCENA KEMIJSKEGA STANJA PODZEMNE VODE	2
TRENDI ONESNAŽEVAL V PODZEMNI VODI.....	4
Statistična metoda za ugotavljanje trendov	4
Statistično značilni trendi onesnaževal v obdobju 1998-2022 in v podobdobjih.....	5
Trendi za nitrat	5
Trendi za atrazin in desetil-atrazin	7
Interpretacija rezultatov analize trendov.....	8
PREGLED PARAMETROV KEMIJSKEGA STANJA	11
Nitrati	11
Pesticidi	14
Lahkohlapni halogenirani ogljikovodiki	15
OCENA KAKOVOSTI PODZEMNE VODE PO PRAVILNIKU O PITNI VODI.....	16
PREISKOVALNI MONITORINGI.....	17
Stanje podzemne vode kraških izvirov na ogroženih območjih človeške ribice	17
Ostanki zdravil in kofeina v podzemni vodi.....	22
Analize perfluorooktansulfonske kisline in perfluorooktanojske kisline	25
Metaboliti (razgradni produkti) pesticidov v podzemni vodi	27
Vsebnost niklja v vrtinah na Vojkovi	32
VIRI	34
PRILOGA 1: Poročilo o preiskovalnem monitoringu kakovosti voda v vplivnem območju Križne jame.....	36
Uvod	36
Merilna mreža.....	36
Parametri in frekvenca vzorčenja.....	36
Viri onesnaženja	37
Geološke značilnosti Bloške planote	38
Hidrografija	38
Pregled sledilnih poskusov s smermi in hitrostmi odtekanja podzemne vode	38
Hidrološke in geološke značilnosti merilnih mest	39
Rezultati	40
Zaključki in interpretacija rezultatov preiskovalnega monitoringa	44
Viri	45

MERILA ZA OCENO KEMIJSKEGA STANJA PODZEMNE VODE

Parametri, za katere so z Uredbo o stanju podzemnih voda določeni standardi kakovosti podzemne vode in vrednosti praga, ki razmejujejo dobro oziroma slabo kemijsko stanje, so razvidni iz tabel 1 in 2. Preseganje standardov kakovosti in vrednosti praga se ugotavlja na podlagi povprečne letne vrednosti na posameznem merilnem mestu.

Tabela 1: Standardi kakovosti za oceno kemijskega stanja podzemne vode

Parameter	Enota	Standard kakovosti
Nitrati	mg NO ₃ /L	50
Posamezni pesticid ter njegovi relevantni ⁽¹⁾ razgradnji produkti	µg/L	0,1 ⁽²⁾
Vsota vseh izmerjenih pesticidov in njihovih relevantnih razgradnih produktov ⁽³⁾	µg/L	0,5

⁽¹⁾ Relevantni razgradnji produkti so relevantni razgradnji produkti pesticidov v skladu s predpisi, ki urejajo registracijo fitofarmaceutskih sredstev (registracijo ali dajanje v promet);

⁽²⁾ Vrednost parametra velja za vsak posamezni pesticid. Za aldrin, dieldrin, heptaklor in heptaklor epoksid je vrednost parametra 0,030 µg/L.

⁽³⁾ Vsota pesticidov in njihovih relevantnih razgradnih produktov: organoklorni, triazinski, organofosforni pesticidi, derivati fenoksi osetne kisline, derivati sečnine (podrobneje so določeni v programu monitoringa kakovosti podzemne vode);

Tabela 2: Vrednosti praga za oceno kemijskega stanja podzemne vode

Parameter	Enota	Vrednost praga
Diklorometan	µg/L	2
Tetraklorometan	µg/L	2
1,2-Dikloroetan	µg/L	3
1,1-Dikloroeten	µg/L	2
Trikloroeten	µg/L	2
Tetrakloroeten	µg/L	2
Vsota lahkih alifatskih halogeniranih ogljikovodikov ⁽¹⁾	µg/L	10

¹ Triklorometan, tribromometan, bromodiklorometan, dibromoklorometan, difluoroklorometan, diklorometan, tetraklorometan, triklorofluorometan, 1,1-dikloroeten, 1,2-dikloroeten, trikloroeten, tetrakloroeten, 1,1-dikloroeten, 1,2-dikloroeten, 1,1,1-trikloroeten, 1,1,2-trikloroeten, 1,1,2,2-tetrakloroeten.

Kemijsko stanje vodnega telesa podzemne vode se določa za vsako posamezno vodno telo. Pri določanju kemijskega stanja se upošteva:

- preseganje standardov kakovosti in vrednosti praga,
- oceno učinkov vdora slane vode ali drugih vdorov v vodno telo podzemne vode,
- oceno koncentracij onesnaževal, ki so bile iz vodonosnika s podzemno vodo prenešene v površinsko vodo in ki lahko povzročajo pomembno in značilno poslabšanje ekološkega ter kemijskega stanja površinske vode,
- pomembne in značilne poškodbe vodnih in kopenskih ekosistemov, ki so neposredno odvisni od podzemne vode; pri tem se ugotavlja koncentracije onesnaževal v podzemni vodi, ki lahko povzročajo poškodbe ekosistemov,
- kakovost podzemne vode v zavarovanih območjih črpališč pitne vode, kjer se zaradi koncentracij onesnaževal v podzemni vodi lahko poslabša kakovost pitne vode.

Dobro kemijsko stanje vodnega telesa podzemne vode je stanje, pri katerem:

- je kemijska sestava podzemne vode taka, da na nobenem merilnem mestu letna aritmetična srednja vrednost parametrov podzemne vode ne presega standardov kakovosti in vrednosti praga,
- koncentracije onesnaževal:
 - ne izkazujejo vdorov morske vode ali drugih vdorov v vodno telo podzemne vode,
 - ne preprečujejo doseganja okoljskih ciljev za površinske vode, ki so povezane z vodnim telesom podzemne vode ali

- ne povzročajo pomembnega in značilnega poslabšanja ekološkega ali kemijskega stanja površinskih voda, ki so povezane z vodnim telesom podzemne vode in
- ne povzročajo pomembnih in značilnih poškodb vodnih ter kopenskih ekosistemov, ki so neposredno odvisni od podzemne vode ter
- spremembe v električni prevodnosti ne izkazujejo vdorov morske vode ali drugih vdorov v vodno telo podzemne vode.

Vodno telo podzemne vode ima dobro kemijsko stanje, če so na vsakem merilnem mestu izpolnjeni vsi trije pogoji. V primeru, da je bilo na enem ali več merilnih mestih ugotovljeno neustrezno stanje, ima lahko vodno telo še vedno dobro kemijsko stanje. V takem primeru je potrebno preveriti, kolikšno območje vodnega telesa ali kolikšen volumen podzemne vode tega telesa pripada merilnim mestom s preseženimi standardi kakovosti ali vrednostmi praga. Če je preseganje večje kot 30 %, se za vodno telo določi slabo kemijsko stanje.

OCENA KEMIJSKEGA STANJA PODZEMNE VODE

V letu 2022 se je izvajal operativni monitoring in sicer na vseh 14 vodnih telesih podzemne vode. V program je bilo vključenih 173 merilnih mest, od tega 129 na vodonosnikih s prevladujočo medzrnsko poroznostjo ter 44 na vodonosnikih s prevladujočo kraško in razpoklinsko poroznostjo. Vodna telesa, njihova površina, število merilnih mest in gostota merilnih mest na vodno telo je podana v tabeli 3.

Tabela 3: Vodna telesa, površina, število merilnih mest in gostota merilnih mest v letu 2022

Vodno telo podzemne vode	Površina VTPodV (km ²)	Število MM	Št. MM na 100 km ²
Savska kotlina in Ljubljansko barje	773,6	48	6,21
Savinjska kotlina	109,1	13	11,91
Krška kotlina	96,8	13	13,44
Karavanke	403,6	4	0,99
Posavsko hribovje do osrednje Sotle	1791,6	5	0,28
Spodnji del Savinje do Sotle	1397,0	4	0,29
Kraška Ljubljana	1306,9	7	0,54
Dolenjski kras	3354,5	22	0,66
Dravska kotlina	429,1	27	6,29
Zahodne Slovenske gorice	756,2	2	0,26
Murska kotlina	589,4	13	2,21
Vzhodne Slovenske gorice	307,8	4	1,30
Obala in Kras z Brkini	1588,3	3	0,19
Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota	1443,1	8	0,55

Legenda: **MM**: merilno mesto

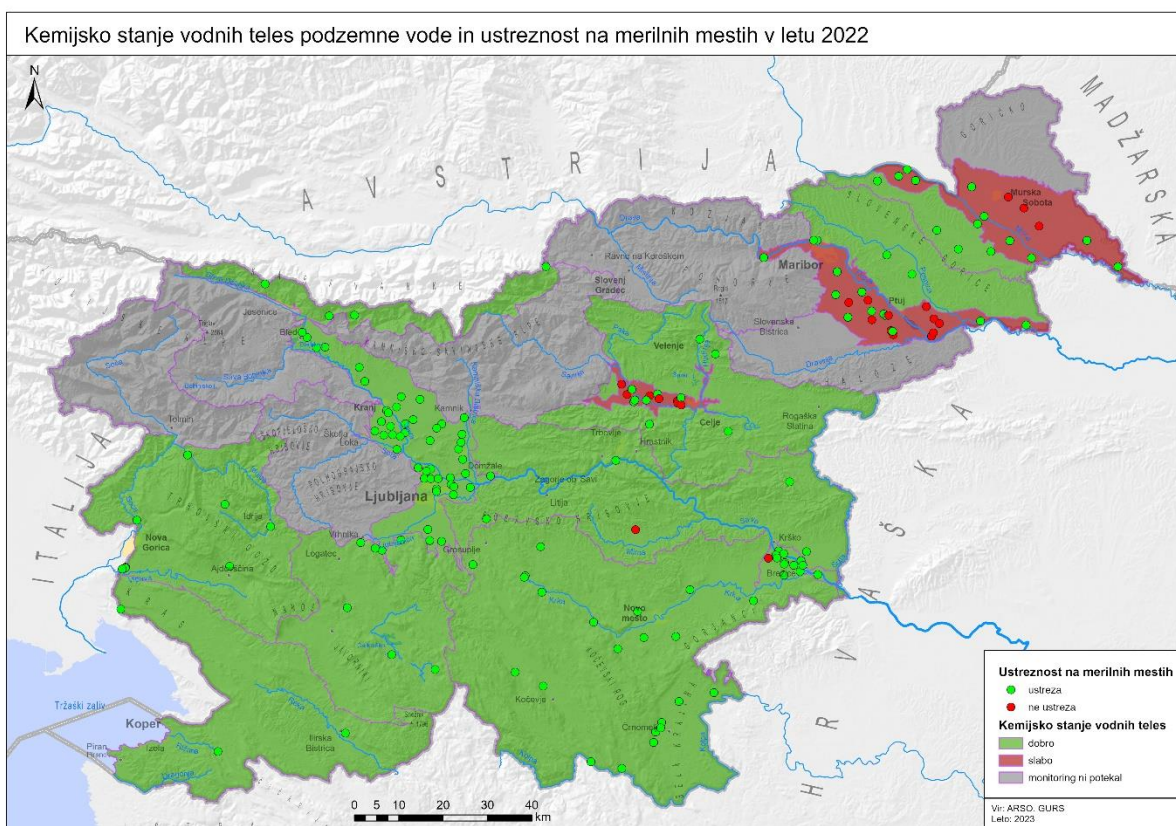
Največja gostota merilnih mest je na bolj obremenjenih vodnih telesih, na ostalih, predvsem kraških vodnih telesih, je gostota nižja. Na kraških vodnih telesih reprezentativni kraški izviri z večjimi napajalnimi zaledji zajamejo večji delež telesa.

V tabeli 4 je prikazano kemijsko stanje podzemne vode po vodnih telesih za obdobje 2016-2022, ovrednoteno v skladu z Uredbo o stanju podzemnih voda.

Tabela 4: Kemijsko stanje vodnih teles podzemne vode v obdobju 2016-2022

Vodno telo podzemne vode	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Savska kotlina in Ljubljansko barje	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Savinjska kotlina	slabo	slabo	slabo	slabo	slabo	slabo	slabo
Krška kotlina	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Julijske Alpe v porečju Save	dobro	/	/	/	dobro	/	/
Karavanke	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Kamniško-Savinjske Alpe	dobro	/	/	/	dobro	/	/
Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko hribovje	dobro	/	/	/	dobro	/	/
Posavsko hribovje do osrednje Sotle	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Spodnji del Savinje do Sotle	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Kraška Ljubljana	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Dolenjski kras	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Dravska kotlina	slabo	slabo	slabo	slabo	slabo	slabo	slabo
Vzhodne Alpe	dobro	/	/	/	dobro	/	/
Haloze in Dravinjske gorice	dobro	/	/	/	dobro	/	/
Zahodne Slovenske gorice	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Murska kotlina	slabo	slabo	slabo	slabo	slabo	slabo	slabo
Vzhodne Slovenske gorice	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Goričko	dobro	/	/	/	dobro	/	/
Obala in Kras z Brkini	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Julijske Alpe v porečju Soče	dobro	/	/	/	dobro	/	/
Goriška Brda in Tmovsko Banjška planota	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro

Podzemna voda je bolj obremenjena v vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo, boljše kakovosti pa je v vodonosnikih z razpoklinsko ali kraško poroznostjo. Zaradi intenzivnih človekovih dejavnosti so najbolj obremenjena vodna telesa v severovzhodnem delu Slovenije. V letu 2022 smo slabo kemijsko stanje določili za Savinjsko, Dravsko in Mursko kotlino (Karta 1)



Karta 1: Kemijsko stanje vodnih teles podzemne vode in ustreznost po merilnih mestih v letu 2022

Podzemna voda v Savinjski, Dravski in Murski kotlini je prekomerno obremenjena z nitrati, v Dravski kotlini pa tudi z atrazinom in njegovim razpadnim produktom desetil-atrazinom. Vodni telesi Murska in Savinjska kotlina sta lokalno obremenjeni z lahkohlapnimi halogeniranimi alifatskimi ogljikovodiki, občasno preseganja opazimo tudi na drugih vodnih telesih.

TRENDI ONESNAŽEVAL V PODZEMNI VODI

V skladu s predpisi je potrebno ugotavljati tudi trende onesnaževal v podzemni vodi. Trendi se ugotavljajo za posamezna vodna telesa podzemne vode, kot tudi za posamezna merilna mesta znotraj vodnih teles. Statistično značilni trendi se ugotavljajo za tista merilna mesta, za katere je na voljo najmanj 6 letni niz podatkov. Tako kot prejšnja leta, se je tudi v letu 2022 ugotavljalo trende onesnaževal na vodnih telesih z medzrnsko poroznostjo.

Statistična metoda za ugotavljanje trendov

Statistična značilnost naraščanja ali padanja koncentracij onesnaževal se je določala z bivariatno neparametrično metodo razvrstitvenega korelacijskega koeficienta r' , s stopnjo zaupanja testa (α) = 0,05. Kriterij za izbor te statistične metode je narava podatkov oziroma spremenljivk, ki jih spremljamo z monitoringom podzemne vode. Neparametrična metoda je bila izbrana, ker daje najboljši možni rezultat glede na lastnosti podatkov o kakovosti podzemne vode in sicer ker:

- frekvenčna porazdelitev podatkov odstopa od normalne,
- opazovan vzorec je manjši, oziroma število opazovanj ni veliko,
- nizi pogosto vsebujejo osamljene vrednosti.

Z neparametrično korelacijo se je ugotavljala enakomernost med spremenljivkama x in y , v našem primeru med spremenljivko časa in vsebnostjo kemijskega parametra v podzemni vodi. Za spremenljivki x in y , ki predstavljata vrednosti naših podatkov, ločeno poiščemo njune razvrstitve $R(x_i)$ in $R(y_i)$. Razvrstitev je mesto vrednosti v zaporedju, urejenem od najnižje proti najvišji vrednosti. Kadar je za vsako opazovanje i , razvrstitev x enaka razvrstitvi y , je razvrstitvena korelacija popolna. Statistika temelji na vsoti razlik med odgovarjajočimi razvrstitvami x in y . Vrednosti koeficienta segajo od 0 (ni korelacije) do 1 ali -1 (popolna pozitivna ali negativna korelacija). Raje kot o linearnem odnosu, govorimo o visoki enakomernosti med spremenljivkama x in y . S statističnim sklepanjem ugotavljamo, kakšne so lastnosti našega vzorca. Obravnavamo dve nasprotujoči si hipotezi. Prva predpostavlja, da korelacije ni, da se razvrstitve ene in druge spremenljivke ne ujemajo. Druga hipoteza predpostavlja, da korelacija obstaja.

1. $H_0: \rho' = 0$ korelacije ni
2. $H_1: \rho' \neq 0$ korelacija obstaja

Spearmanov razvrstitveni koeficient izračunamo s pomočjo formule:

$$r' = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R(x_i) - R(y_i))^2}{n(n^2 - 1)}$$

Izračunani r' primerjamo s tabelirano kritično vrednostjo. Prvo hipotezo H_0 zavrujemo, kadar je

$r'_{\text{izračunani}} > r'_{\text{tabelirani}}$.

Statistično značilni trendi onesnaževal v obdobju 1998-2022 in v podobdobjih

Tako kot prejšnja leta smo tudi v letu 2022 ugotavljali statistično značilne trende onesnaževal v vodnih telesih podzemne vode in vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo.

Obsežnejše obdelave podatkov z rezultati in z grafi trendov za vsako vodno telo podzemne vode in po posameznih merilnih mestih so dostopne v [Excelovih datotekah](#) na spletni strani ARSO.

Trende ugotavljamo za parametre, ki so vzrok slabemu kemijskemu stanju podzemne vode glede na Uredbo o stanju podzemnih voda in sicer za nitrat ter atrazin. Poleg omenjenih dveh spojin statistično vrednotimo tudi desetil-atrazin, ki je razgradnji produkt atrazina. Razgradni produkt nam poda vpogled v hitrost razpada samega atrazina.

V obravnavanih analizah ocenjujemo časovne, linearne trende vsebnosti onesnaževal. Na spremenljivost vsebnosti onesnaževal v podzemni vodi vpliva vrsta naravnih in antropogenih dejavnikov. Ti vplivajo tudi na potek linearne funkcije s katero opisujemo koncentracije onesnaževal in za katero ocenjujemo trend. Poznavanje tovrstnih dejavnikov je pomembno, obravnavani so pri interpretaciji rezultatov.

Ker veliko dejavnikov vpliva na trende onesnaževal v podzemni vodi smo statistične analize po času za posamezna vodna telesa in za posamezna merilna mesta izvedli v dveh korakih, najprej za obdobje, znotraj niza 25 hidroloških let, med leti 1998-2022.

V drugem koraku smo znotraj podatkovnega niza 1998-2022 izvedli statistično analizo za podobdobja med leti 2005-2022 (za minimalno 6 let ter za maksimalno 18 let). Namen teh analiz je vpogled v tendenco razvoja trenda in v variabilnost podatkov proti koncu podatkovnega niza, vključno z letom 2022. Rezultat nas opozarja, da se vsebnost onesnaževala proti koncu podatkovnega niza, za razliko od celotnega niza med leti 1998-2022, ne znižuje, ali ne narašča, kar bodo potrdili ali ovrgli podatki monitoringa v prihodnjih letih. Zanesljivost ocene trenda v drugem koraku smo opredelili tudi glede na število let, ki jih zajema analiza (Tabela 5).

Tabela 5: Zanesljivost ocene trenda glede na število let, zajetih v analizo za podobdobja

Število let	Zanesljivost ocene trenda
6-10	nižja
11-14	srednja
15-18	višja

S krajšim nizom let se zanesljivost statističnega testa zmanjša. Glede na to in glede na obravnavan niz podatkov, ki odraža značilnosti spremenljivk vodnega kroga, se poslužujemo neparametrične statistike, katera temelji na razvrstitvi (ranku) in poda najboljši možni rezultat glede na razpoložljive podatke.

Trendi za nitrat

Trend vsebnosti nitrata smo ocenjevali na tistih vodnih telesih, kjer povprečna vsebnost nitratov na posameznem merilnem mestu presega 10mg NO₃/L. Ta kriterij je bil uporabljen na podlagi izsledkov projekta Bridge, v okviru katerega je bilo ugotovljeno, da se koncentracije nitrata do 10mg/L lahko pojavljajo naravno. Z našo analizo trendov pa smo želeli predvsem pregledati antropogene vplive¹.

Vsebnosti nitrata se v posameznih vodnih telesih za obdobje med leti 1998-2022 statistično znižujejo z izjemo vodnega telesa Krška kotlina, kjer trenda ni. Nasprotno, pa v vodnih telesih podzemne vode

¹ BRIDGE: MÜLLER D., BLUM A., HART A., HOOKEY J., KUNKEL R., SCHEIDLEDER A., TOMLIN C., WENDLAND F. (2006) –Final proposal for a methodology to set up groundwater threshold values in Europe, Deliverable D18, BRIDGE project, 63 p.

za krajša podobdobja trenda ni (Tabela 6). Razlog za to nasprotje lahko poiščemo v spremembah merilne mreže. Znotraj obdobja 25 let smo ukinjali stare, onesnažene, manj reprezentativne vaške vodnjake in vrtine z namenskimi, tehnično ustreznimi vrtinami, ki kažejo realno stanje vodonosnika.

Tabela 6: Nitrat - statistično značilni trendi v vodnih telesih podzemne vode med leti 1998-2022 in za podobdobja

Vodno telo podzemne vode	Ocena trenda med leti 1998-2022	Podobdobje	Ocena trenda podobdobju	Število let v podobdobju	Zanesljivost ocene trenda v podobdobju
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Trend pada	2015-2022	Trenda ni	8	nižja
Savinjska kotlina	Trend pada	2006-2022	Trenda ni	17	višja
Krška kotlina	Trenda ni	2003-2022			
Dravska kotlina	Trend pada	2011-2022	Trenda ni	12	srednja
Murska kotlina	Trend pada	2007-2022	Trenda ni	16	višja
Goriška Brda in Trnovsko Banjška planota	Trend pada	2011-2022	Trenda ni	15	srednja

Podobne rezultate je analiza trendov pokazala tudi na znatnem številu merilnih mest, kjer je statistično značilen trenda za nitrat prisoten celotnem obdobju, medtem ko ga za krajše podobdobje ni. (Tabela 7).

Tabela 7: Nitrat - statistično značilni trendi v podzemni vodi na merilnih mestih med leti 1998-2022 in za podobdobja

Šifra VTPodV	Merilno mesto	Ocena trenda med leti 1998-2022	Podobdobje	Ocena trenda v podobdobju	Število let v podobdobju	Zanesljivost ocene trenda v podobdobju
1001	Domžale, C-4	Trend pada	2015-2022	Trenda ni	8	nižja
1001	Dragočajna D-0185	Trend pada	2014-2022	Trenda ni	9	nižja
1001	Drulovka Dru-1/14	Trend pada				
1001	Godešič Sov-5174	Trend pada				
1001	Hrastje - ŠM1/2d	Trend pada	2014-2022	Trenda ni	9	nižja
1001	Hrastje (I a) 0344	Trend pada	2015-2022	Trenda ni	8	nižja
1001	Kleče (viii a) 0543	Trend pada				
1001	Koteks-Zalog 0371	Trend pada	2014-2022	Trenda ni	9	nižja
1001	Mercator v1	Trend pada	2014-2022	Trenda ni	9	nižja
1001	Šobčev bajer	Trend pada	2015-2022	Trenda ni	8	nižja
1001	Žabnica 0590	Trend pada	2015-2022	Trenda ni	8	nižja
1002	Črpališče Roje	Trend pada	2010-2022	Trenda ni	13	srednja
1002	Dolenja vas ČB 1/83	Trend pada	2010-2022	Trenda ni	13	srednja
1002	Gotovlje 0800	Trend pada	2012-2022	Trenda ni	11	srednja
1002	Levec AMP P-1	Trend pada	2013-2022	Trenda ni	10	nižja
1002	Levec VČ-1772	Trend pada	2015-2022	Trenda ni	8	nižja
1002	Medlog 1941	Trend pada	2005-2022	Trenda ni	18	višja
1002	Medlog, vodnjak A	Trend pada	2013-2022	Trenda ni	10	nižja
1002	Šempeter 0840	Trend pada	2007-2022	Trenda ni	16	višja
1003	Drnovo	Trend narašča	2012-2022	Trenda ni	11	srednja
1003	Pb-20	Trend pada				
1003	Sp. Stari grad NE-1177	Trend pada				
1003	Vrbina NE-1077	Trend pada				
3012	Črpališče Skorba VG-3	Trend narašča	2009-2022	Trenda ni	14	srednja
3012	Kamnica 0080	Trend pada				
3012	Kungota (Ku-1/09)	Trend pada	2015-2022	Trenda ni	8	nižja
3012	Lancova vas Lp-1	Trend pada	2013-2022	Trenda ni	10	nižja
3012	Skorba V-5	Trend pada	2006-2022	Trenda ni	17	višja
3012	Zagojčiči ZP-3/01	Trend pada	2007-2022	Trenda ni	16	višja
4016	Rakičan (Ra-1/09)	Trend pada				
4016	Žepovci Žep-2/10	Trend narašča	2016-2022	Trenda ni	7	nižja

Legenda: **VTPodV**: vodno telo podzemne vode **1001**: Savska kotlina in Ljubljansko barje; **1002**: Savinjska kotlina, **1003**: Krška kotlina, **3012**: Dravska kotlina, **4016**: Murska kotlina

V Savski kotlini in Ljubljanskem barju trendi padajo v črpališčih Domžalskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. Najbolj obremenjeni merilni mesti tega vodnega telesa sta Godešič in Žabnica na Sorškem polju, kjer so kljub padajočemu trendu vsebnosti nitrata vrsto let presegle standard kakovosti. Na obeh merilnih mestih so se v letu 2022 vsebnosti nitrata znižale pod standard kakovosti, v Godešiču prvič po 25 letih.

V Savinjski kotlini trend za nitrat pada na 8 od 13 merilnih mest. Kljub padajočemu trendu je standard kakovosti na AMP Levcu, v Šempetru in v črpališču v Medlogu še vedno presežen.

V Krški kotlini se trend za nitrat znižuje na Brežiškem polju v Vrbini in Spodnjem Starem gradu. Zaledje črpališča pitne vode Drnovo na Krškem polju, kjer trend narašča, je obremenjeno s kmetijskimi površinami. Črpališče od oktobra 2010 dalje služi kot rezervni vodni vir, ki ga uporabljajo v primeru večjih okvar na vodovodu Krško, ko vodna vira Brege in Rore ne zadostujeta za oskrbo vseh uporabnikov².

V Dravski kotlini trend za nitrat pada na Dravskem polju, v Kungoti, Lancovi vasi in v črpališču Skorba, na Ptujskem polju pa v Zagojčih. V globokem vodnjaku v Skorbi, trend za nitrat narašča. Možni vzroki za to so vodonosne plasti, črpanje podzemne vode in tehnična neustreznost globokega vodnjaka VG-3.

V Rakičanu, v osrednjem delu Prekmurskega polja, ki je v Murski kotlini z nitratom najbolj obremenjeno, trend za nitrat pada. Narašča pa v Žepovcih, na Apaškem polju, kar poleg kmetijske dejavnosti pripisujemo tudi plitvemu vodonosniku na merilnem mestu.

Analiza za podobdobja je pokazala, da se v vodnih telesih podzemne vode vsebnosti nitrata za posamezna podobdobja med leti 2005-2022 ne znižujejo, ampak nihajo z določenim razponom (Tabela 7). Takšen rezultat je na večini merilnih mest, z izjemo nekaterih (Drulovka, Godešič, Kleče, Spodnji Stari grad, Vrbina, Kamnica, Rakičan).

Trendi za atrazin in desetil-atrazin

Trendi za atrazin in desetil-atrazin so se v vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo za obdobje med leti 1998-2022 ugotavljali zgolj na 47 merilnih mestih (33 % merilne mreže v aluvialnih vodonosnikih), ker onesnaženje z atrazinom in njegovim razpadnim produktom v posameznih vodnih telesih ni več prekomerno prisotno. Vrednosti so v večji meri pod 0,03 µg/l. Višje vrednosti so prisotne le še lokalno. Trendi padajo v Dravski kotlini, kjer je atrazin vzrok za slabo kemijsko stanje (Tabela 8).

Tabela 8: Atrazin - statistično značilni trendi v vodnih telesih podzemne vode med leti 1998-2022 in za podobdobja

Vodno telo podzemne vode	Ocena trenda med leti 1998-2022	Podobdobje	Ocena trenda v podobdobju	Število let v podobdobju	Zanesljivost ocene trenda v podobdobju
Savska kotlina in Ljubljansko barje	vrednosti so se znižale pod 0,03 µg/l				
Savinjska kotlina	vrednosti so se znižale pod 0,03 µg/l				
Krška kotlina	vrednosti so pod 0,03 µg/l				
Dravska kotlina	Trend pada	2015-2022	Trenda ni	8	nižja
Murska kotlina	vrednosti so se znižale ter nihajo pod in nad 0,03 µg/l				
Goriška Brda in Trnovsko Banjška planota	vrednosti so pod 0,03 µg/l				

² Poročilo o kakovosti pitne vode na javnih vodovodih ter odvajanju in čiščenju odpadnih voda v mestni občini Krško in občini Kostanjevica na Krki v letu 2021

Na vseh merilnih mestih, kjer smo v letu 2022 zaznali preseganje, trendi statistično značilno padajo (Kidričevo, Skorba V-5 in Spodnja Hajdina). Trendi padajo tudi na nekaterih drugih merilnih mestih v Dravski kotlini in v Murski kotlini. Standard kakovosti za desetil-atrazin v letu 2022, v aluvialnih vodonosnikih ni bil presežen.

Vrednosti atrazina in desetil-atrazina so v vodnih telesih podzemne vode večinoma že pod 0,03 µg/l, zato obsežnejša analiza za podobdobja let ni bila potrebna. Izjema so nekatera merilna mesta na Dravskem polju (Prepolje, Skorba V-5, Kungota) in Prekmurskem polju (Odranci), kjer se vrednosti za krajša podobdobja (6-9 let) ne znižujejo več, ampak nihajo z določenim razponom (Tabela 9, 10).

Tabela 9: Atrazin - statistično značilni trendi v podzemni vodi na merilnih mestih med leti 1998-2022 in za podobdobja

Šifra VTPodV	Merilno mesto	Ocena trenda med leti 1998-2022	Podobdobje	Ocena trenda v podobdobju	Število let v podobdobju	Zanesljivost ocene trenda v podobdobju
3012	Kidričevo	Trend pada				
3012	Kungota (Ku-1/09)	Trend pada				
3012	Podova Pod-1/10	Trend pada				
3012	Prepolje, P-1	Trend pada	2014-2022	Trenda ni	9	nižja
3012	Skorba V-5	Trend pada	2015-2022	Trenda ni	8	nižja
3012	Spodnja Hajdina SHaj-1/14	Trend pada				
3012	Šikole	Trend pada				
4016	Gančani Gan-1/14	Trend pada				
4016	Odranci (Od-1/09)	Trend pada				

Legenda: **VTPodV**: vodno telo podzemne vode, **3012**: Dravska kotlina, **4016**: Murska kotlina

Tabela 10: Desetil-atrazin - statistično značilni trendi v podzemni vodi na merilnih mestih med leti 1998-2022 in za podobdobja

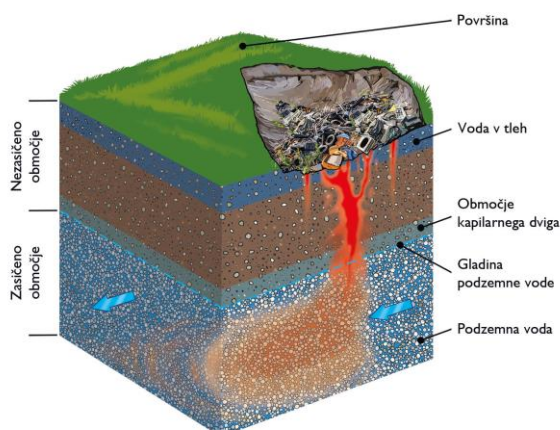
Šifra VTPodV	Merilno mesto	Ocena trenda med leti 1998-2022	Podobdobje	Ocena trenda v podobdobju	Število let v podobdobju	Zanesljivost ocene trenda v podobdobju
3012	Kidričevo	Trend pada				
3012	Kungota (Ku-1/09)	Trend pada	2017-2022	Trenda ni	6	nižja
3012	Skorba V-5	Trend pada	2014-2022	Trenda ni	9	nižja
3012	Spodnja Hajdina SHaj-1/14	Trend pada				
3012	Šikole 1581	Trend pada				
4016	Gančani Gan-1/14	Trend pada				
4016	Odranci (Od-1/09)	Trend pada	2017-2022	Trenda ni	6	nižja

Legenda: **VTPodV**: vodno telo podzemne vode, **3012**: Dravska kotlina, **4016**: Murska kotlina

Interpretacija rezultatov analize trendov

Na koncentracije onesnaževal vplivajo številni dejavniki in sicer pedološke, geološke, hidrogeološke značilnosti vodonosnih plasti, meteorološki in hidrološki pogoji, lastnosti onesnaževal v danih pogojih, procesi v nezasičeni in zasičeni coni ter dinamika pretakanja podzemne vode. Bolj ranljivi in dovzetni za onesnaženje so plitvi, hidrodinamsko odprti, dobro prepustni vodonosniki.

Za interpretacijo rezultatov analize trendov podajamo preprost osnovni hidrogeološki profil z zasičenim in nezasičenim območjem, v katerega pronica onesnaženje (Slika 1).



Slika 1: Splošen prikaz širjenja onesnaženja v osnovnem hidrogeološkem profilu³

V odprtem vodonosniku ločimo dva dela, ki ju med seboj loči gladina podzemne vode, ki prosto niha. Zgornji del vodonosnika predstavlja nezasičeno območje. V tem predelu voda, ki se infiltrira skozi tla teče vertikalno navzdol skozi pore proti gladini podzemne vode. Pod gladino podzemne vode leži zasičeno območje, v katerem so vse pore zapolnjene z vodo. Zasičeno območje v spodnjem delu omejuje nepropustna podlaga. Prehod med zasičenim in nezasičenim območjem je postopen. Območje prehoda tvori cona kapilarnega dviga. V odprtem vodonosniku sta gladina podzemne vode in njena kemijska sestava pod vplivom klimatskih dejavnikov, ki povzročajo nihanja. Tok vode v odprtem vodonosniku, poleg vertikalnega pronicanja padavin s površja proti gladini podzemne vode, poteka tudi v obratni smeri, z evapotranspiracijo. Voda prehaja v obliki vodne pare iz gladine podzemne vode v atmosfero z evaporacijo. Iz poraslih površin prehaja v ozračje tudi skozi reže listov rastlin, s transpiracijo^{4, 5}.

Zaradi vzpostavitve reprezentativne merilne mreže državnega monitoringa, so merilna mesta locirana v čim bolj homogenih, obsežnih, zveznih, dobro izdatnih vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo, v katerih ugotavljamo tudi trende onesnaževal. Vsako merilno mesto naj bi odražalo kemijsko stanje čim večjega dela vodonosnika. Vendar posamezna merilna mesta odražajo tudi lokalne značilnosti, saj vodonosniki v naravi niso popolnoma homogeni in zvezni. Zaradi tega je tudi ranljivost vodonosnika za onesnaženje v območju merilnega mesta do neke mere specifična. Konceptualno na obseg onesnaženja na merilnem mestu vplivajo:

- količina vnosa onesnaževal na viru onesnaženja
- oddaljenost merilnega mesta od vira onesnaženja
- značilnosti vodonosnika v točki, kjer ga merilno mesto prebada in v njegovem vplivnem zaledju:
 - tla (tip, debelina, tekstura, struktura, zadrževalne sposobnosti)
 - tip vodonosnika (odprt/zaprt)
 - litološka sestava
 - raztezanje v prostoru, globine, debeline
 - zveznost/nezveznost v prostoru
 - poroznost
 - prepustnost

³ Brenčič, M. et.al., 2022: Novodobna onesnaževala v vodah Ljubljanske kotline, projekt boDEREC-CE, Ljubljana

⁴ Veselič, M. 1984: Hidrogeologija: skripta. FNT, VTOZD Montanistika, Odsek za geologijo, 296 str., Ljubljana

⁵ Dragašič, V., 1997: Opšta hidrogeologija, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za hidrogeologiju, 434 str. Beograd

- omejenost
- hidrološki in meteorološki pogoji:
 - napajanje (iz padavin, iz drugih vodonosnih struktur in površinskih voda)
 - evapotranspiracija v primeru odprtega vodonosnika
 - porazdelitev podzemne vode (gladina, smer, hitrost toka podzemne vode)
- lastnosti onesnaževal v danih pogojih zasičenega in nezasičenega območja:
 - mobilnost in razgradljivost
 - hitrost širjenja vertikalno navzdol
 - hitrost širjenja vzdolž toka podzemne vode

Zaključki analize trendov

[Dušik](#) je najpomembnejši element v prehrani rastlin. Te sprejemajo dušik v obliki nitratnega (NO_3^-) ali amonijevega iona (NH_4^+). Zaradi intenzivne nitrifikacije v tleh, ob prisotnosti bakterij, je nitrat (NO_3^-) prevladujoča oblika dušika, ki jo sprejme rastlina. Nitrat je v zemlji zelo mobilan in se pri določenih klimatskih pogojih ter strukturi tal spira v podzemno vodo.

Vir povečanja koncentracije nitrata v podzemni vodi je napajanje vodonosnika na območjih kmetijskih površin, ki so prejele dušikova gnojila. Zaradi dobre topnosti v vodi in ob slabši sposobnosti tal za zadrževanje vode je nitrat v tleh zelo mobilan. V tovrstnih tleh nitrat potuje približno enako hitro kot voda in zato ima onesnaževalo [velik potencial spiranja v podzemno vodo](#).

Za obdobje let med 1998-2022 se trendi za nitrat na določenih merilnih mestih še vedno statistično značilno znižujejo. Padajoče trende nitrata v podzemni vodi medzrnskih vodonosnikov znotraj tega obdobja let pripisujemo gospodarjenju z dušikom v kmetijskem sektorju, hidrološkim in kmetijskim sušam ter sušam v tleh⁶. Za posamezna podobdobja med leti 2005-2022 pa se vsebnosti nitrata v medzrnskih vodonosnikih ne znižujejo, ampak nihajo z določenim razponom.

Vrednosti za atrazin in desetil-atrazin so v vodnih telesih podzemne vode večinoma že pod $0,03 \mu\text{g/l}$. Analizo trenda za posamezna podobdobja smo izvedli zgolj nekaterih merilnih mestih. Prav tako v Dravski in Murski kotlini trendi za obdobje 1998-2022 padajo le na določenih merilnih mestih (Tabela 9, 10).

Atrazin se na Dravski kotlini zadržuje veliko dlje časa kot na drugih vodnih telesih. Kaže, da ga je v vodonosniku še vedno več, kot njegovega razgradnega produkta desetil-atrazina. K tej situaciji pripomore več dejavnikov. Eden od njih je zagotovo dejstvo, da je bila Dravska kotlina v primerjavi z drugimi vodnimi telesi v preteklosti daleč najbolj obremenjena z atrazinom. Ne gre izključiti starih bremen (ki so lahko na površju odprta, ali pa so na različnih globinah vodonosnika še vedno prisotna in se izpirajo v podzemno vodo), hidrogeoloških pogojev in počasne razgradnje, možna je pa tudi nelegalna uporaba atrazina po uveljavitvi prepovedane uporabe⁷.

Razloge je potrebno iskati tudi v lastnostih atrazina. [Razgradnja atrazina poteka](#) bodisi s kemijskih razpadom, bodisi z razpadom s pomočjo mikroorganizmov. Reakcija razgradnje atrazina v tleh je odvisna tudi od drugih dejavnikov (npr. pH, specifična površina ter poroznosti delcev, delež organske snovi, prisotnosti mikroorganizmov, temperatura,...). Glavni faktorji, ki vplivajo na transport pesticidov skozi tla so hidravlična prevodnost tal, količina organske snovi in glin (zlasti montmorilonita in vermikulita) in vsebnost vlage v tleh. Na transport herbicidov iz zemeljskega površja do podzemne vode vplivajo še drugi faktorji - od rabe do obdelave ter lastnosti tal, klimatskih dejavnikov,

⁶ ARSO 2021-2023: Kazalci okolja (KM25, PP13, PP14, PP-15)

⁷ Razširjenost pesticidov v vodonosniku Dravskega polja, A. Koroša, Geologija 62/2, 2019, Ljubljana

hidrogeoloških značilnosti (napajanje vodonosnika, globina do podzemne vode, značilnosti nezasičene cone)⁸.

Za ugotavljanje dejavnikov, ki vplivajo na spremenljivost vsebnosti atrazina in desetil-atrazina v medzrnskih vodonosnikih po času (in prostoru), bi bile potrebne kompleksne strokovne študije.

PREGLED PARAMETROV KEMIJSKEGA STANJA

V nadaljevanju so podrobneje predstavljeni parametri, ki so del ocene kemijskega stanja podzemne vode za leto 2022 in sicer vsebnost nitrata, pesticidov in lahkihhalapnih halogeniranih organskih spojin v podzemni vodi.

Nitrati

Vsebnost nitrata se v programu monitoringa podzemne vode določa na vseh merilnih mestih v spomladanskem in jesenskem vzorčenju. Analize smo izvedli na 173 merilnih mestih. Na 20 merilnih mestih smo ugotovili preseganje standarda kakovosti, kar predstavlja 11,6 % vseh merilnih mest. V tabeli 11 je prikazan procent ustreznih in neustreznih merilnih mest po vodnih telesih, v tabeli 6 pa preseganja po posameznih merilnih mestih v letu 2022.

Tabela 11: Število merilnih mest in število ter procent neustreznih merilnih mest glede na vsebnost nitrata po vodnih telesih v letu 2022

Vodno telo podzemne vode	Št. MM	Št. neustr. MM glede na vsebnost nitrata	% neustr. MM glede na vsebnost nitrata
Savska kotlina in Ljubljansko barje	48		0
Savinjska kotlina	13	6	46,2
Krška kotlina	13	1	7,7
Karavanke	4		0
Posavsko hribovje do osrednje Sotle	5		0
Spodnji del Savinje do Sotle	4		0
Kraška Ljubljana	7		0
Dolenjski kras	22		0
Dravska kotlina	27	11	40,7
Zahodne Slovenske gorice	2		0
Murska kotlina	13	2	15,4
Vzhodne Slovenske gorice	4		0
Obala in Kras z Brkini	3		0
Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota	8		0
SKUPAJ	173	20	11,6

Legenda: **MM**: merilno mesto

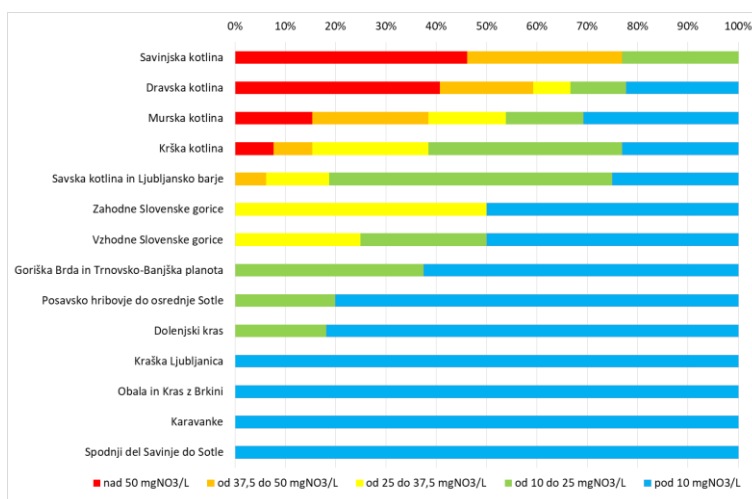
Najvišji delež neustreznih merilnih mest v letu 2022 je bil na Savinjski kotlini in Dravski kotlini, saj je bilo preseganje standarda kakovosti ugotovljeno na več kot 40 % merilnih mest (tabela 12). Bolj obremenjeno pa je tudi vodno telo Murske kotline.

Tabela 12: Preseganje standarda kakovosti za nitrat po merilnih mestih v letu 2022

⁸ Sophocleous, M. et.al. 1990: Movement and aquifer contamination potential of atrazine and inorganic chemicals in central Kansas croplands. Ground Water Series 12, Kansas Geological Survey

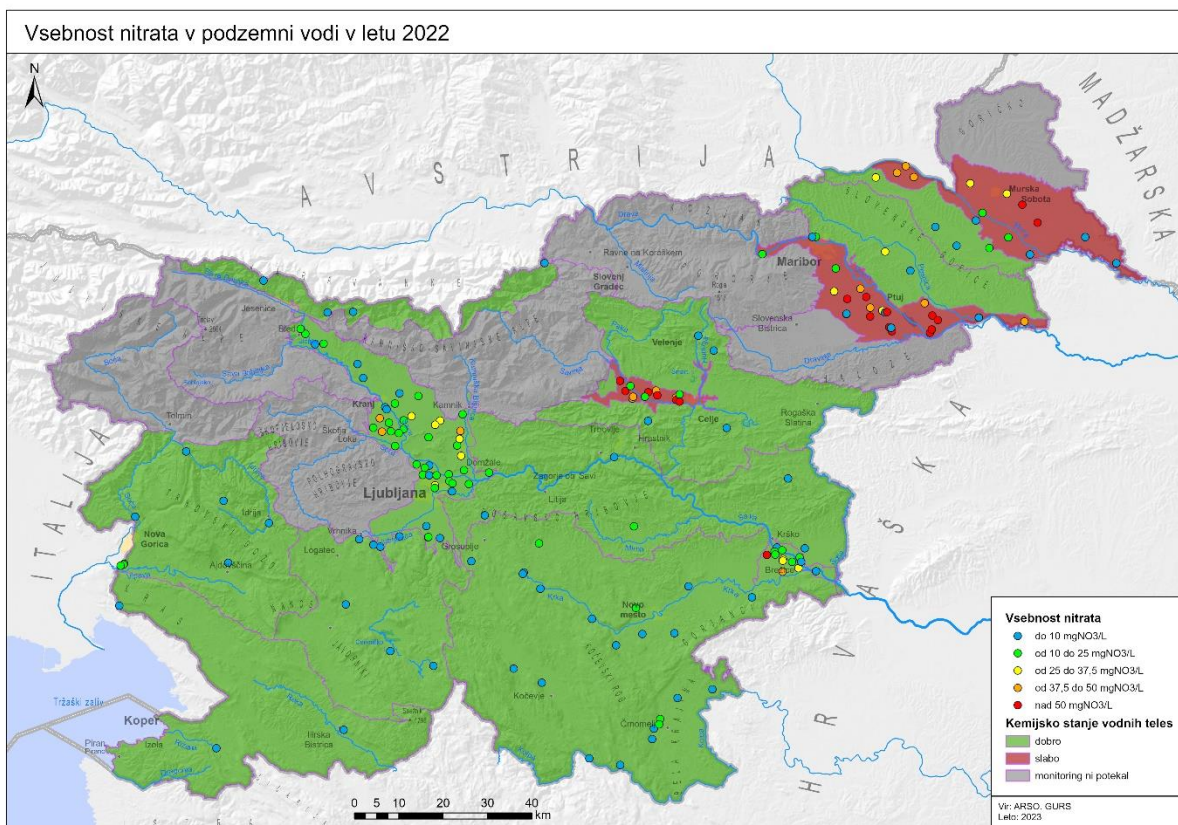
Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	Nitrati mgNO ₃ /L
Savinjska kotlina	Trnava Trn-1/14	71,0
Savinjska kotlina	Šempeter 0840	66,5
Savinjska kotlina	Žalec Žal 1/14	64,5
Savinjska kotlina	Parižlje Par-1/14	68,5
Savinjska kotlina	Levec AMP P-1	53,0
Savinjska kotlina	Medlog, vodnjak A	58,0
Krška kotlina	Drnovo	58,8
Dravska kotlina	Prepolje, P-1	60,0
Dravska kotlina	Podova Pod-1/10	64,0
Dravska kotlina	Šikole	64,0
Dravska kotlina	Kidričevo	55,5
Dravska kotlina	Spodnja Hajdina SHaj-1/14	58,0
Dravska kotlina	Draženci Dra-1/14	51,0
Dravska kotlina	Lancova vas LP-1	75,0
Dravska kotlina	Sobetinci Sob-1/14	58,0
Dravska kotlina	Zagojčiči ZP-3/01	62,0
Dravska kotlina	Siget H-50	51,0
Dravska kotlina	Bukovci Buk-1/14	64,0
Murska kotlina	Gančani Gan-1/14	77,5
Murska kotlina	Odranci (Od-1/09)	80,0
Standard kakovosti		50,0

Na grafikonu 1 so prikazane vsebnosti nitrata po vodnih telesih in razredih.



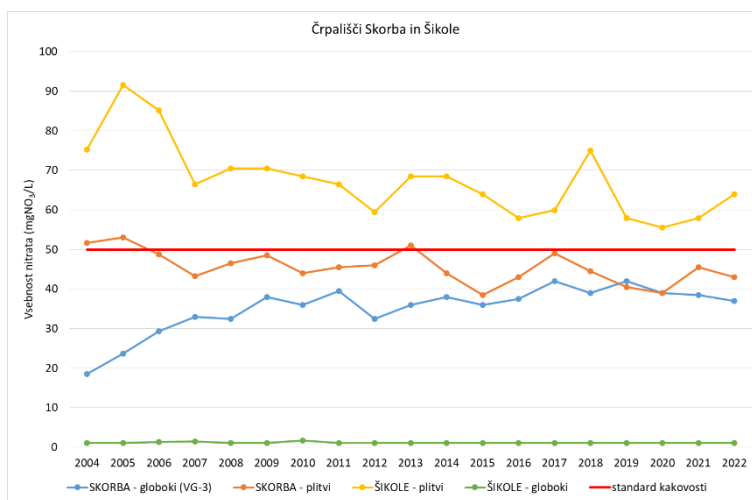
Grafikon 1: Razvrstitev vsebnosti nitrata po razredih po posameznih vodnih telesih

Z nitratom najbolj obremenjeno vodno telo je vodno telo Savinjske kotline, kjer je poleg najvišjega procenta preseganj standarda kakovosti (tabela 6) veliko tudi merilnih mest, ki presegajo 75% standarda kakovosti (4 merilna mesta, 31 %). Močno obremenjeni sta tudi vodni telesi Dravske in Murske kotline. Na drugih vodnih telesih je obremenjenost z nitratom nižja, najnižja pa je vodnih telesih s prevladujočimi kraško razpoklinskimi vodonosniki. Vsebnost nitrata po razredih je prikazana tudi na karti 2.



Karta 2: Vsebnost nitrata v podzemni vodi v letu 2022

Že vrsto let velik problem glede vsebnosti nitrata predstavlja obremenjenost centralnega, južnega in jugovzhodnega dela Dravske kotline. Na tem delu se namreč nahajata dve večji črpališči pitne vode in sicer Skorba ter Šikole. V Šikolah so vsebnosti nitrata stalno presežene v plitvem, kvartarnem vodonosniku, v Skorbi pa je vsebnost nitrata narasla tudi v spodnjem, pliocenskem vodonosniku (Grafikon 2).



Grafikon 2: Vsebnost nitrata na črpališčih pitne vode Šikole in Skorba v letih 2004-2022

Na Murski kotlini je bil nitrat presežen na treh merilnih mestih, eno merilno mesto na Apaškem polju in dve v centralnem delu vodnega telesa. Preseganja standarda kakovosti za nitrat so bila prisotna tudi na merilnih mestih v Krški kotlini vendar tu preseganje standarda ni bilo vzrok za slabo kemijsko stanje (karta 2).

Pesticidi

Vsebnost pesticidov se v programu monitoringa podzemne vode določa na merilnih mestih v spomladanskem in jesenskem vzorčenju. Od 173 merilnih mest, ki so bila vključena v monitoring spremljanja podzemne vode smo analize izvedli na 66 merilnih mestih. Na šestih merilnih mestih smo ugotovili preseganje standarda kakovosti, kar predstavlja 3,1 % vseh merilnih mest. Število merilnih mest in delež neustreznih merilnih mest po vodnih telesih je prikazano v tabeli 13, preseganje standarda kakovosti za posamezen pesticid po merilnih mestih pa v tabeli 14.

Tabela 13: Število merilnih mest, neustrezna merilna mesta, število preseženih merilnih mest glede na posamezen pesticid po vodnih telesih

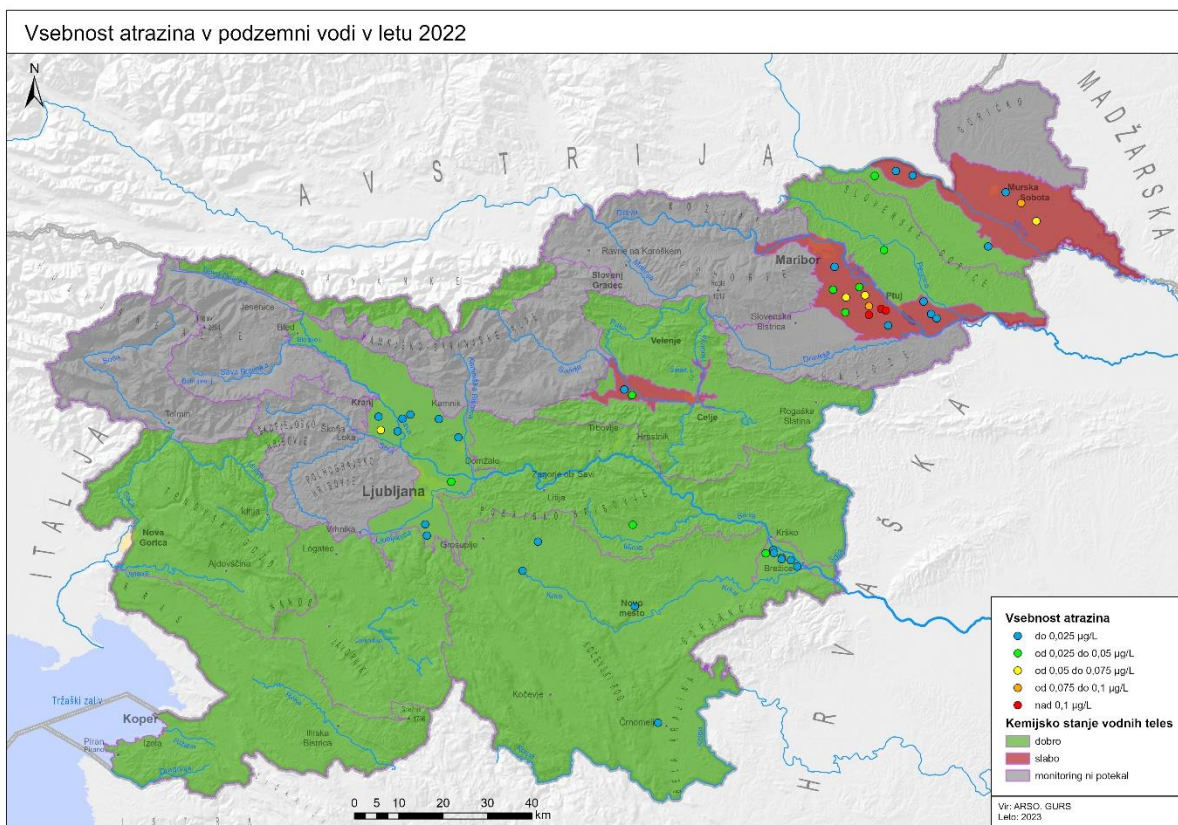
Vodno telo podzemne vode	Št. merilnih mest (MM)	Št. MM, kjer smo analizirali pesticide	Št. neustr. MM glede na vsebnost pesticidov	% neustr. MM glede na vsebnost pesticidov	Metolaklor (µg/L)	Atrazin (µg/L)	Desetil-atrazin (µg/L)	Terbutilazin (µg/L)
Savska kotlina in Ljubljansko barje	48	16	0					
Savinjska kotlina	13	5	0					
Krška kotlina	13	7	0					
Karavanke	4	0						
Posavsko hribovje do osrednje Sotle	5	1	1	20,0			1	
Spodnji del Savinje do Sotle	4	0						
Kraška Ljubljana	7	0						
Dolenjski kras	22	5	0					
Dravska kotlina	27	19	5	7,7	2	3		1
Zahodne Slovenske gorice	2	1	0					
Murska kotlina	13	10	0					
Vzhodne Slovenske gorice	4	2	0					
Obala in Kras z Brkini	3	0						
Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota	8	0						
SKUPAJ	173	66	6	3,1	2	3	1	1

Legenda: **MM**: merilno mesto

Tabela 14: Preseganje standarda kakovosti za posamezen pesticid po merilnih mestih v letu 2022

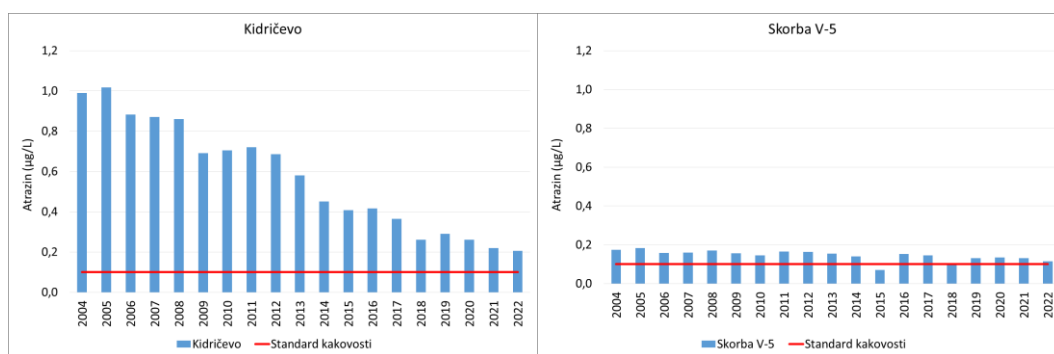
Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	Metolaklor (µg/L)	Atrazin (µg/L)	Desetil-atrazin (µg/L)	Terbutilazin (µg/L)
Posavsko hribovje do osrednje Sotle	Kamnje Š-1/92			0,13	
Dravska kotlina	PREPOLJE, P-1	0,12			
Dravska kotlina	KIDRIČEVO		0,21		
Dravska kotlina	SKORBA V-5		0,11		
Dravska kotlina	SPODNJA HAJDINA SHaj-1/14		0,102		
Dravska kotlina	DORNAVA (Do-1/09)	0,25			0,104
	Standard kakovosti	0,1	0,1	0,1	0,5

Standard kakovosti je bil presežen na šestih merilnih mestih, od tega jih je kar pet na vodnem telesu Dravske kotline. Na treh merilnih mestih na Dravski kotlini je bila presežena vsebnost atrazina, kar je poleg nitrata tudi vzrok za slabo kemijsko stanje vodnega telesa Dravske kotline. Vsebnost atrazina je prikazana na karti 3. Razen na Dravski kotlini, preseganja atrazina nismo določili na nobenem drugem merilnem mestu.



Karta 3: Vsebnost atrazina v podzemni vodi v letu 2022

Najvišje vsebnosti atrazina smo določili v vodnjaku v Kidričevem, problem pa predstavlja tudi preseganje atrazina na črpališču pitne vode v Skorbi (Grafikon 3).



Grafikon 3: Vsebnost atrazina na merilnih mestih Kidričevo in Skorba V-5 v obdobju 2004-2022

Lahkohlapni halogenirani ogljikovodiki

V letu 2022 smo vsebnost lahkohlapnih halogeniranih ogljikovodikov spremljali na 20 merilnih mestih. Vrednost praga za lahkohlapne halogenirane ogljikovodike je bila presežena na treh merilnih mestih. V nasprotju z nitratom in pesticidi, ki odražajo pritisk kmetijstva in urbanizacije, lahkohlapne halogenirane organske spojine odražajo industrijsko obremenitev.

Presežene vrednosti praga so prikazane v tabeli 15.

Tabela 15: Preseganje vrednosti praga za lahkohlapne halogenirane ogljikovodike po merilnih mestih v letu 2022

Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	Tetrakloroeten ($\mu\text{g/L}$)	Vsota LHCH ($\mu\text{g/L}$)
Savinjska kotlina	Levec VC-1772	3,5	
Murska kotlina	Rakičan (Ra-1/09)	62,0	121,3
Murska kotlina	Gančani Gan-1/14	8,0	
Vrednost praga		2,0	10,0

Našteta merilna mesta so že več let obremenjena z omenjenimi spojinami, ker pa gre za lokalno obremenitev, nobeno vodno telo zaradi presežanja vrednosti praga ni v slabem kemijskem stanju.

OCENA KAKOVOSTI PODZEMNE VODE PO PRAVILNIKU O PITNI VODI

Podzemne vode v Sloveniji predstavlja glavni vir pitne vode, saj se z njo oskrbuje približno 97 % prebivalcev v Sloveniji. Nabor parametrov, ki ga za preverjanje ustreznosti pitne vode predpisuje Pravilnik o pitni vodi je obsežnejši kot nabor parametrov v Uredbi o stanju podzemnih voda. V pravilniku o pitni vodi so parametri razdeljeni v tri skupine: mikrobiološki, kemijski in indikatorski parametri. Zdravstveno ustreznost pitne vode določajo mikrobiološki in kemijski parametri, indikatorski pa dajo informacijo o urejenosti sistema za oskrbo in imajo opozorilen namen. V poročilu prikazujemo le tiste kemijske parametre, ki niso navedeni v Uredbi o stanju podzemne vode, so pa navedeni v Pravilniku o pitni vodi.

Obdelava podatkov je pokazala, da na nekaterih merilnih mestih, kjer spremljamo kemijsko stanje podzemne vode, presegajo mejno vrednost sledeči parametri: pH vrednost, amonij, arzen, železo in mangan. Mejne vrednosti so navedene v tabeli 16. Vsi štirje parametri, ki presegajo mejno vrednost za pitno vodo, so lahko naravno prisotni. Višje vsebnosti amonija, železa in mangana najdemo v vodonosnikih, kjer je malo kisika (anaerobne razmere). Arzen pa se ponekod nahaja v zemeljski skorji in je zato naravno prisoten tudi v podzemni vodi.

Tabela 16: Parametri, ki presegajo mejne vrednosti glede na Pravilnik o pitni vodi

Parameter	Mejna vrednost	Skupina parametra
Koncentracija vodikovih ionov (pH vrednost)	med 6,5 in 9,5	indikatorski
Amonij (mgNH_4/L)	0,5	indikatorski
Arzen ($\mu\text{g/L}$)	10	kemijski
Železo (mg/L)	0,2	indikatorski
Mangan (mg/L)	0,05	indikatorski

Vzorčenje v okviru monitoringa pitne vode poteka na pipah uporabnika. Državni monitoring kemijskega stanja podzemne vode poteka na surovi vodi, preden le ta vstopa v vodarne, kjer vodo iz različnih virov pogosto mešajo med seboj. Da bi lažje ocenili presežanja, še posebej pri globokih vrtinah, smo pri vrednotenju upoštevali tudi povprečje parametrov za obdobje 1998-2022 (Tabela 14).

Tabela 14: Merilna mesta s preseganji mejne vrednosti po Pravilniku o pitni vodi

Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	pH (-) 1998-2021	pH (-) 2022	Amonij (mgNH ₄ /L) 1998-2021	Amonij (mgNH ₄ /L) 2022	Mangan (mg/L) 1998-2021	Mangan (mg/L) 2022	Železo (mg/L) 1998-2021	Železo (mg/L) 2022	Arzen (μg/L) 1998-2021	Arzen (μg/L) 2022
Krška kotlina	PB-20			0,23	1,65	0,30	1,13	0,02	0,35		
Dravska kotlina	Rače Rač-1/10	6,3	6,3								
Dravska kotlina	Šikole GV2					0,11	0,20	0,29	0,28	10,5	10,5
Murska kotlina	Žepovci Žep-2/10	6,3	6,4								
Murska kotlina	Mali Segovci MSeg-1/14	6,0	5,8								
Murska kotlina	Rakičan (Ra-1/09)										
Murska kotlina	Benica Ben-1/14					0,26	0,24	7,44	6,33		
Murska kotlina	Veščica (Ve-1/09)	6,3	6,2			0,47	0,44	3,91	4,85		
Vzhodne Slovenske gorice	Spodnji Ivanci							0,73	0,50		
Vzhodne Slovenske gorice	Žihlava Žih 2/04							0,40	0,44		

Rezultati so pokazali, da so na merilnih mestih, kjer spremljamo kemijsko stanje podzemne vode, glede na Pravilnik o pitni vodi, večinoma preseženi indikativni parametri.

Glede na povprečje meritev v letih 1998-2021 je bila na merilnem mestu PB-20 presežena vsebnost amonija, mangana in železa. Višje vsebnosti amonija, mangana in železa pripisujemo spremenjenemu režimu napajanja vrtin zaradi zaježitve HE Brežice. Vpliv zaježitve se kaže na padcu vsebnosti kisika, kar povzroča anaerobne razmere v vrtinah.

Nekoliko višje so bile vsebnosti železa tudi na merilnem mestu Žihlava.

Vsebnost arzena, ki spada med parametre, ki vplivajo na zdravstveno ustreznost pitne vode, je bila presežena le na enem merilnem mestu in sicer v globokem vodnjaku na črpališču Šikole. Vsebnost arzena ne odstopa od povprečja v obdobju 1998-2021. Preseganja arzena na splošno opažamo na objektih, ki segajo v globlje geološke plasti, kjer so povišane vsebnosti arzena po vsej verjetnosti posledica naravnega ozadja.

PREISKOVALNI MONITORINGI

Stanje podzemne vode kraških izvirov na ogroženih območjih človeške ribice

Uredba o stanju podzemnih voda nam nalaga tudi spremljanje stanja voda na območjih, kjer je podzemna voda povezana s površinskimi vodami, koncentracije onesnaževal v podzemni vodi pa lahko škodljivo vplivajo na vodne in kopenske ekosisteme, ki so od njih neposredno odvisni. Slovenija je tako kot vse evropske države definirala območja NATURA 2000 z namenom ohranjanja biotske raznovrstnosti in varovanja naravnih habitatov ogroženih rastlinskih in živalskih vrst. Pravno podlago za vzpostavljanje območij NATURA 2000 predstavljata Direktiva o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst in Direktiva o ohranjanju prostoživečih ptic. Med območji NATURA 2000 so definirana tudi območja, odvisna od podzemne vode.

Kot ogroženo je bilo definirano območje, kjer prebiva človeška ribica (*Proteus anguinus*) in obsega območje Dinarskega krasa južne in jugo-vzhodne Slovenije. Na tem območju so v skladu s Pravilnikom o določitvi vodnih teles podzemnih voda določena tri vodna telesa podzemne vode in sicer vodno telo Kraška Ljubljana, Dolenjski kras in Obala in Kras z Brkini. Človeška ribica (v Sloveniji najdemo belo in

čno podvrsto) živi v kraškem podzemlju in celo življenje preživi v vodi. Glede na to, da lahko živi tudi preko 50 let je kakovost vode, v kateri živi še kako pomembna. Zato vsako onesnaženje, tako kratkotrajno kot tudi dolgotrajno vpliva na katerikoli razvojni stadij človeške ribice. Po navedbi stroke predstavljajo največjo grožnjo nitrati (preko 10 mgNO₃/L), kovine, pesticidi in PCB⁹. Zakonodaje, ki bi predpisovala mejne vrednosti in sistem monitoringa še ni, je pa bila v okviru projekta LIFE Kočevsko izdelana študija, ki je določila vrednost nitrata 9,2 mgNO₃/L kot ciljno mejno vrednost za ugodno stanje habitata človeške ribice¹⁰.

Največji vir potencialnega onesnaženja z nitrati predstavljajo kmetijstvo, neustrezno očiščene komunalne odpadne vode ter lokalno, neustrezno vzdrževano kanalizacijsko omrežje.

Merilna mesta, kjer spremljamo kakovost vode zaradi človeške ribice so navedena v tabeli 17.

Tabela 17: Mreža za spremljanje kakovosti vode zaradi človeške ribice

Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	Koordinata X	Koordinata Y	Prvo leto opazovanj
Kraška Ljubljana	Malenščica - črpališče v Malnih - iztok	75630	442510	2003
Kraška Ljubljana	Tresenec, Otok na Cerkniškem jezeru	65110	452537	2007
Kraška Ljubljana	Veliki Obrh pri Ložu	61754	462286	2003
Dolenjski kras	Radešca, Podturn	66422	503457	1994
Dolenjski kras	Dobličca	45260	511590	1990
Dolenjski kras	Jelševnik	47634	511988	2014
Dolenjski kras	Otovški breg	49790	513383	2014
Dolenjski kras	Pački breg	48591	513155	2014
Dolenjski kras	Krupa	54521	517290	1993
Dolenjski kras	Obrh Rinža	58000	486700	2007
Dolenjski kras	Vir pri Stični	89419	486080	2016
Dolenjski kras	Mali Podljuben	68959	509364	2016
Dolenjski kras	Metliški Obrh	56485	525155	1992
Obala in Kras z Brkini	Brestovica	75347	391448	2003

Na vseh merilnih mestih smo v letu 2022 vzorčili dvakrat. V vseh vzorcih smo določili osnovne fizikalne (temperatura zraka, temperatura vode, pH, električna prevodnost (20 °C), kisik, nasičenost s kisikom, redoks potencial) in kemijske parametre (amonij, nitrit, nitrat, ortofosfat), kovine, na nekaterih merilnih mestih pa tudi pesticide (Vir pri Stični, Otovški in Pački breg) in ostanke zdravil (Otovški in Pački breg, Krupa).

V letu 2022 smo z namenom ugotavljanja vira onesnaženja uporabili metodo MST (**M**icrobial **S**ource **T**racking) z digitalnim PCR (**P**olymerase **C**hain **R**eaction). Metoda lahko zanesljivo dokaže, ali so vir fekalnega onesnaženja vode človek, prežvekovalci (govedo, ovce, jelenjad, koze), samo govedo, prašiči ali ptice. Njena dodatna prednost je, da prispevke posameznih vrst onesnaženja tudi količinsko opredeli, kar je ključno za vzpostavitev ukrepov za odpravo onesnaženja.

Ker trenutno zakonodaja, ki bi predpisovala mejne vrednosti in sistem monitoringa ni na voljo, smo pri oceni stanja kraških izvirov, kjer prebiva človeška ribica, uporabili naslednje podlage:

- B. Kolar: Ocena tveganja, ki ga predstavlja nitrat za ekosisteme podzemne vode in za človeško ribico na projektnem območju LIFE Kočevsko (LIFE13 NAT/SI/000314), Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za okolje in zdravje, 2017
- Uredba o stanju podzemnih voda
- Uredba o stanju površinskih voda

⁹ Priprava strokovnih podlag in strokovna podpora pri izvajanju vodne direktive za področje podzemnih voda (Direktiva 2000/60/EC); Pregled ekosistemov odvisnih od stanja podzemnih vod; GEOLOŠKI ZAVOD SLOVENIJE, 2014

¹⁰ B. Kolar: Ocena tveganja, ki ga predstavlja nitrat za ekosisteme podzemne vode in za človeško ribico na projektnem območju LIFE Kočevsko (LIFE13 NAT/SI/000314), Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za okolje in zdravje, 2017

Ocena stanja podzemne vode kraških izvirov na podlagi študije »Ocena tveganja, ki ga predstavlja nitrat za ekosisteme podzemne vode in za človeško ribico na projektnem območju »LIFE Kočevsko«

V okviru omenjene študije je bila kot ciljna mejna vrednost za ugodno stanje habitata človeške ribice določena vsebnost nitrata **9,2 mgNO₃/L**. Mejna vrednost je bila določena na osnovi razpoložljivih ekotoksikoloških podatkov za vodne organizme in z upoštevanjem naravnega ozadja.

V tabeli 18 je prikazana povprečna letna vsebnost nitrata v obdobju 2010 do 2022 na merilnih mestih, kjer spremljamo stanje voda na ogroženih območjih človeške ribice. S poudarjenim tekstom so označena letna povprečja, ki presegajo predlagano mejno vrednost za nitrat.

Tabela 18: Letna povprečja nitrata na merilnih mestih v obdobju 2010-2022

Leto	Malensčica	Dobljča	Krupa	Metiški Obrh	Obrh Rihža	Veliki Obrh pri Ložu	Brestovica	Radešca, Podturn	Ješevo	Otovški breg	Pački breg	Vir pri Stični	Mali Podljuben	Tresnec
2010	2,8	2,4	5,0	7,3	3,0	3,0	5,4	5,2						
2011	4,3	3,1	4,8	4,8	4,9	3,3	5,4	5,3						
2012	3,6	4,6	4,9	9,9	4,3	4,4	5,4	7,0						
2013	2,7	5,6	7,1	7,2	3,3	3,3	2,8	5,9						
2014	3,3	2,9	4,2	7,0	3,4	3,2	2,7	7,9	3,6	13,2	11,7			
2015	6,1	2,8	4,8	7,4	4,8	4,7	5,6	4,8	3,5	14,1	13,0			
2016	4,5	3,2	5,4	6,4	4,0	4,0	5,4	4,8	3,5	15,7	14,2	11,8	8,7	6,6
2017	3,2	3,9	3,8	7,9	3,5	4,5	5,6	6,3	3,2	17,9	16,4	19,3	6,6	5,4
2018	3,9	3,4	4,8	6,9	5,9	3,6	5,0	6,1	3,2	17,0	14,2	14,0	10,6	6,3
2019	4,4	3,9	6,0	6,8	6,1	4,0	4,5	6,6	5,7	13,5	11,4	18,0	9,9	6,1
2020	3,0	5,3	5,8	6,6	5,9	3,8	5,0	6,2	4,2	17,5	14,9	13,0	6,7	4,4
2021	3,2	3,6	5,3	7,2	5,2	3,5	4,4	6,0	4,8	16,8	14,8	14,8	13,5	4,8
2022	4,4	3,8	5,5	7,8	3,2	4,6	5,9	5,9	4,1	10,9	10,5	17,7	9,8	4,5

Rezultati meritev so pokazali, da so glede na vsebnosti nitrata v letu 2022 v slabem stanju merilna mesta Otovški in Pački breg, Mali Podljuben in Vir pri Stični. Ocena na podlagi omenjene študije je **neuradna**, saj ugotovitve študije še niso bile prenesene v veljavno zakonodajo, ki bi poleg mejne vrednosti predpisovala tudi način izvajanja monitoringa in vrednotenja rezultatov.

Stanje izvirov, ocenjeno na podlagi Uredbe o stanju podzemnih voda in Uredbe o stanju površinskih voda

Parametri kemijskega stanja

Mejne vrednosti za parametre kemijskega stanja iz Uredbe o stanju površinskih voda in mejne vrednosti iz Uredbe o stanju podzemnih voda v nobenem od naštetih izvirov v letu 2022 niso bile presežene, zato so vsi izviri v letu 2022 v dobrem kemijskem stanju.

Parametri ekološkega stanja

Uredba o stanju površinskih voda poleg parametrov za oceno kemijskega stanja površinskih voda, določa tudi standarde za posebna onesnaževala in splošne fizikalno-kemijske parametre, ki so del ocene ekološkega stanja voda. Standardi kakovosti za posebna onesnaževala, ki so določeni na nacionalnem nivoju, so postavljeni na osnovi ekotoksikoloških podatkov za vodne organizme, z namenom zaščite najbolj občutljive vrste vodnega ekosistema, pa tudi z namenom zaščite plenilcev pred sekundarnim zastrupljanjem in so praviloma strožji kot mejne vrednosti za pitno vodo. Ekološko stanje izvirov, kjer prebiva človeška ribica smo vrednotili na podlagi celotnega fosforja in posebnih onesnaževal.

V tabeli 19 so prikazane referenčne in mejne vrednosti celotnega fosforja za zelo dobro/dobro (ZD/D) in dobro/zmerno (D/Z) ekološko stanje za posamezne ekološke tipe. S poudarjenim tekstom in obrobo so označene mejne vrednosti, ki veljajo za območje izbranih izvirov. Za izračun letne vsebnosti skupnega fosforja se izračuna mediana.

Tabela 19: Referenčne (RV) in mejne vrednosti za zelo dobro/dobro (ZD/D) in dobro/zmerno (D/Z) stanje za celotni fosfor

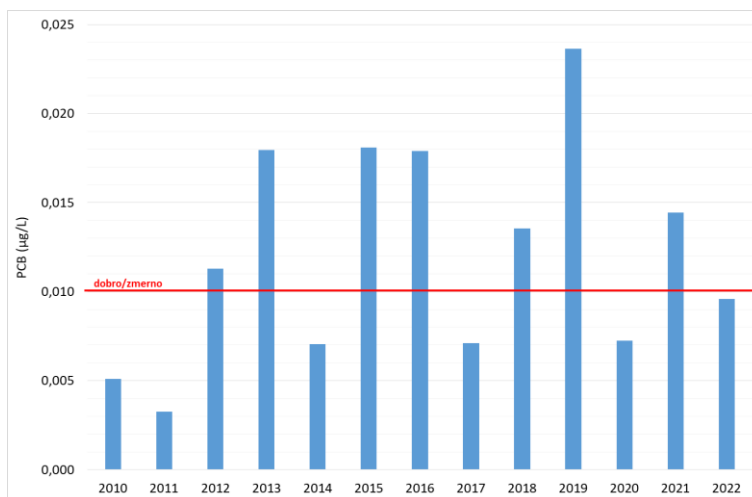
TP/NO ₃ tip	RV	ZD/D	D/Z
AL1	0,003	0,02	0,05
AL2	0,005	0,02	0,10
ED1	0,01	0,02	0,10
ED2	0,01	0,02	0,10
ED3	0,02	0,02	0,10
NIZ1	0,02	0,05	0,15
NIZ2	0,04	0,10	0,20
PN3	0,03	0,05	0,10
SM1	0,008	0,02	0,05
SM2	0,013	0,02	0,05
VR	0,01	0,05	0,10

V letu 2022 so bila glede na celotni fosfor vsa merilna mesta v dobrem ekološkem stanju. Mejna vrednost za dobro/zmerno stanje za celotni fosfor ni bila presežena niti na merilnih mestih, ki so v preteklosti izkazovala zmerno stanje (grafikon 4).



Grafikon 4: Vsebnost skupnega fosforja na merilnih mestih Vir pri Stični, Otovski breg in Mali Podljuben v obdobju 2016-2022

Obremenjenost območja Semiča s polikloriranimi bifenili (PCB) zaradi proizvodnje kondenzatorjev v letih 1962 – 1985 v tovarni Iskra Semič še vedno predstavlja okoljski problem. PCB so umetne organske spojine iz skupine kloriranih cikličnih ogljikovodikov. Zaradi emisij iz proizvodnje in neustrezno odloženih odpadkov v okolje, je na območju Semiča prišlo z izcejanjem v kraško podzemlje do onesnaženja belokranjskega krasa, predvsem v zaledju izvira reke Krupe. Onesnaženje s PCB ostaja tudi po več kot tridesetih letih še vedno problematično. PCB spada med posebna onesnaževala. V letu 2022 povprečna letna vrednost vsote PCB za dobro/zmerno v izviru Krupe ni bila presežena (grafikon 5).



Grafikon 5: Povprečna letna vsebnost PCB v izviru Krupe za obdobje 2010-2022

V letu 2022 so bila torej glede na vsebnost posebnih onesnaževal in celotnega fosforja vsa merilna mesta v dobrem ali zelo dobrem stanju.

Ocena podzemne vode kraških izvirov na ogroženih območjih človeške ribice na podlagi skupnega fosforja in PCB je **le informativnega značaja**, saj je frekvenca zajemov v okviru monitoringa podzemne vode nižja, kot je predpisano v okviru monitoringa ekološkega stanja površinskih voda. Poleg tega napajalna zaledja nekaterih kraških izvirov (Vir pri Stični, Otovski breg, Pački breg), kjer se nahajajo habitati človeške ribice, niso najbolj obsežna in ne odražajo večjega dela vodonosnika oziroma vodnega telesa.

Stanje izvirov glede na rezultate uporabljene metode MST z digitalnim PCR

V zadnjih letih so v Centru za mikrobiološke analize živil, vod in drugih vzorcev okolja na Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano razvili metodo, ki lahko določi vir onesnaženja. [Metoda MST z digitalnim PCR](#) lahko zanesljivo dokaže, ali so vir fekalnega onesnaženja vode človek, prežvekovalci (govedo, ovce, jelenjad, koze), samo govedo, prašiči ali ptice. Njena dodatna prednost je, da prispevke teh živalskih vrst k onesnaženju tudi količinsko opredeli.

V letu 2022 smo opravili vzorčenje na Jelševniku, Dobličici in Otovškem bregu, pri tem pa uporabili analize z metodo MST z digitalnim PCR. Vzorčenje smo izvedli v mesecu septembru. Rezultati vzorčenja na vseh treh izviroh so pokazali, da so vzorci fekalno onesnaženi ter da je človek najverjetnejši in edini vir kontaminacije. Živalskih markerjev namreč niso našli v nobenem vzorcu (tabela 20).

Tabela 20: Rezultati analize vzorcev z uporabo metode MST z digitalnim PCR

Merilno mesto	Datum	Označevalec fekalnega onesnaženja GenBac3 (kop./100mL)	Označevalec človeka BacH (kop./100mL)	Označevalec človeka BacHum (kop./100mL)	Označevalec prežvekovalcev Rum-2-Bac (kop./100mL)	Označevalec goveda CowM3F (kop./100mL)	Označevalec prašičev Pig2Bac (kop./100mL)	Označevalec ptic AV4/143 (kop./100mL)
Dobličca	27.09.2022	23000	290	<70	<70	<70	<70	<70
Jelševnik	27.09.2022	3200	180	150	<70	<70	<70	<70
Otovški breg	27.09.2022	19000	140	170	<70	<70	<70	<70

Z enkratnim vzorčenjem ne moremo izključiti drugačnih obremenitev ob kakšnem drugem časovnem terminu vzorčenja, vzorec odraža namreč le stanje na dan odvzema. Lahko pa na podlagi rezultatov sklepamo, da so omenjeni trije izviri obremenjeni s komunalno odpadno vodo preko celega leta. Poleg mikrobiološke obremenitve se v te izvire izteka tudi vse ostalo, kar konča v komunalni odpadni vodi, kot na primer: ostanki zdravil, čistila, spojine, ki lahko vplivajo na hormonsko ravnotežje, ... zato bi v izogib poslabšanja stanja vode na izviri Belokranjskega krasa morali več pozornosti nameniti vzdrževanju komunalnega omrežja oziroma pogostejšemu in rednemu praznjenju greznic.

Ostanki zdravil in kofeina v podzemni vodi

Napredek medicinske in veterinarske znanosti ter posledično tudi farmacevtske industrije ima v zadnjih letih pozitiven vpliv na zdravje tako na humanem kot tudi veterinarskem področju. Zdravila imajo pozitivne in tudi stranske učinke na telo, vendar si brez njih življenja ne moremo več predstavljati. Malo pa je znanega o tem, kaj se zgodi takrat, ko te substance pristanejo v okolju in kako lahko vplivajo na vodne in kopenske ekosisteme ter nenazadnje preko pitne vode tudi na nas ljudi.

Farmacevtske učinkovine in njihovi razgradnji produkti lahko [končajo v okolju na več načinov](#) (proizvodnja zdravil, uporaba zdravil, neustrezno odlaganje, gnojenje). Po ocenah največji [delež prispeva uporaba zdravil](#) tako v humani kot veterinarski medicini. Človeško ali živalsko telo namreč porabi le del zdravilnih učinkovin, preostanek le teh in njihovi razgradni produkti pa se izločijo preko ledvic ali črevesja in zato večinoma končajo v kanalizaciji, kjer preko čistilne naprave, ki jih pogosto odstrani le v sledovih, končajo v rekah, tleh in podzemni vodi. Veterinarski pripravki se s kmetijsko dejavnostjo preko gnoja ali gnojnice raztrosijo po njivah in vrtovih, kjer onesnažujejo tla, s spiranjem pa tudi vode. Nekatere spojine se v okolju razgradijo, nekatere pa so obstojne in jih v vodah lahko zaznavamo še mnogo let.

V okviru monitoringa podzemne vode smo v letu 2014 pričeli s spremljanjem farmacevtskih učinkovin in njihovih razgradnih produktov v podzemni vodi. Kriteriji, ki smo jih pri izbiri merilnih mest upoštevali, so bili podatki o čistilnih napravah v zaledju merilnih mest, urbana poselitve (problem neustrezno vzdrževane kanalizacije) in kmetijska področja. Sprva smo farmacevtske učinkovine spremljali na bolj obremenjenih vodnih telesih z medzrnsko poroznostjo in večjih kraških vodnih telesih, kasneje pa smo merilno mrežo razširili tudi na ostala manj obremenjena vodna telesa.

V programu smo spremljali farmacevtske učinkovine:

- za zdravljenje bakterijskih okužb, antibiotiki
- za zdravljenje srčno-žilnih bolezni
- za uravnavanje krvnih maščob
- ne-steroidna protivnetna zdravila
- za zdravljenje astme
- protibolečinska/protivročinska zdravila
- nekatere hormone
- v okolju zelo obstojen karbamazepin, ki ima širok spekter uporabe

Vsa naštetje farmacevtske učinkovine se uporabljajo v humani medicini, z izjemo antibiotikov in nekaterih protivnetnih in protibolečinskih zdravil, ki se uporabljajo tudi v veterinarski medicini.

V program je tudi vključen tudi kofein. Največ kofeina se nahaja napitkih (kava, energetski napitki), dodan je tudi nekaterim protibolečinskim zdravilom. Kofein je indikator onesnaženja podzemne vode s komunalno odpadno vodo.

V letu 2022 smo farmacevtske učinkovine spremljali na 28 merilnih mestih na dvanajstih vodnih telesih:

- Savska kotlina in Ljubljansko barje
- Kraška Ljubljana
- Dolenjski kras

- Dravska kotlina
- Murska kotlina
- Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota

Analize smo opravili v spomladanskem zajemu.

Rezultati analiz so pokazali, da so nekatera merilna mesta bolj in stalno obremenjena. Večina obremenjenih merilnih mest se nahaja na vodnih telesih, kjer prevladuje kraški tip vodonosnika. V območjih kraških vodonosnikov se prepletajo sistemi pretakanja podzemne vode in površinskih voda. Slednje pritečejo iz nekraškega obrobja in na stiku s krasom poniknejo v podzemlje. Tako površinski kot podzemni tokovi so obremenjeni z onesnaženjem iz kmetijske dejavnosti in iz urbane poselitve. Onesnaženje v razpokanih in preperelih kamninah s padavinami in ponikalnicami hitro odteče v podzemlje ter pronica do gladine podzemne vode. Vire onesnaženja s farmacevtskimi učinkovinami v kraških izvirih gre iskati v njihovih napajalnih zaledjih, kjer onesnaženje največkrat povzročajo čistilne naprave in lokalno neurejena kanalizacija.

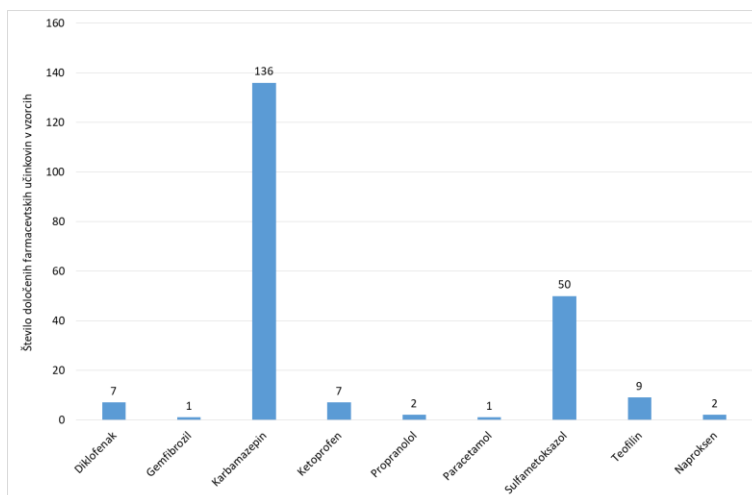
V letu 2022 smo v vzorcih določili karbamazepin (v 17 vzorcih), diklofenak (v enem vzorcu), kofein (v dveh vzorcih), ketoprofen (v enem vzorcu) in sulfametoksazol (v dveh vzorcih).

V tabeli 21 je prikazanih deset najbolj obremenjenih merilnih mest. Prikazano je skupno število vzorcev v obdobju 2014-2022, število vzorcev, kjer smo določili farmacevtske učinkovine nad mejo določljivosti, in število posameznih določenih učinkovin.

Tabela 21: Bolj obremenjena merilna mesta, število vzorcev in zaznane oz. prisotne farmacevtske učinkovine za obdobje 2014-2022

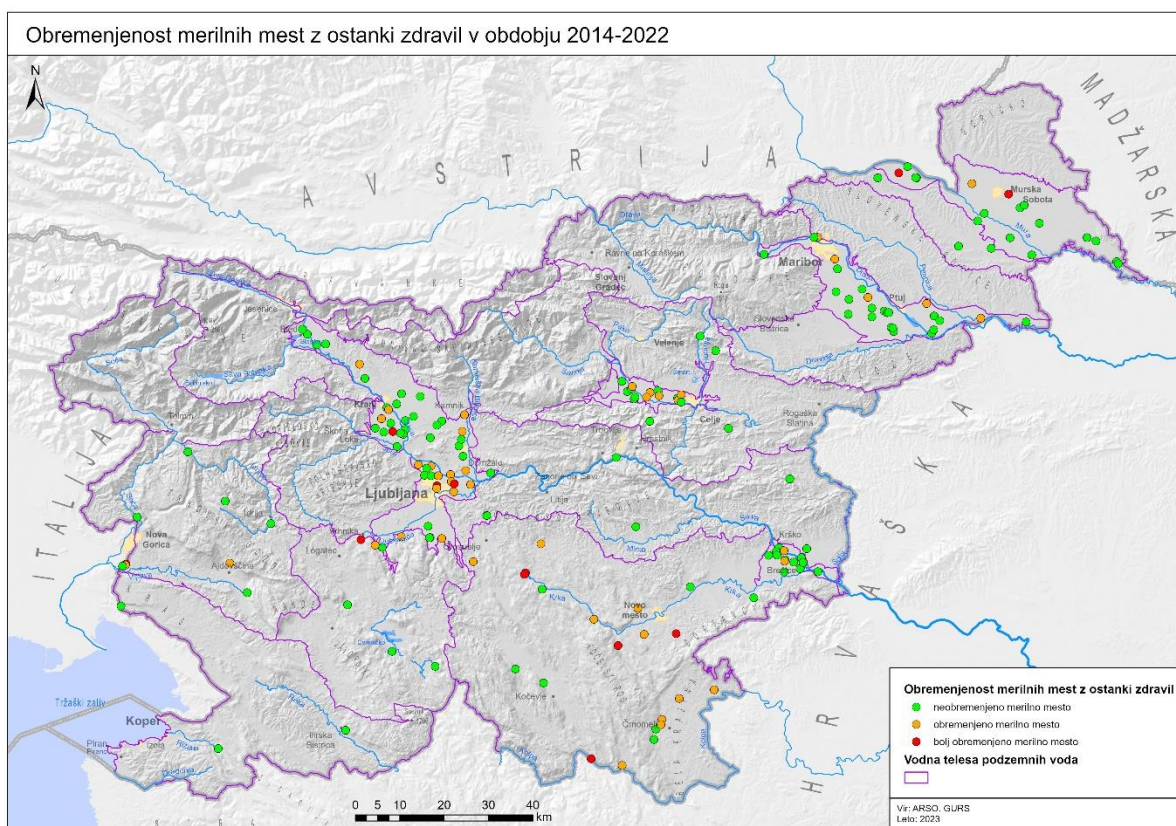
Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	Št. vzorcev	Št. vseh zaznanih učinkovin nad LOQ	Diklofenak	Karbamazepin	Sulfametoksazol
Dolenjski kras	Krka	14	26	2	12	12
Dolenjski kras	Težka voda	14	15		14	1
Dolenjski kras	Radešca, Podturn	14	12		10	2
Murska kotlina	Rakičan (Ra-1/09)	12	11		11	
Murska kotlina	Žepovci Žep-2/10	12	11		11	
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Vojkova Voj-1/14	6	9		6	3
Dolenjski kras	Bilpa	14	8		6	2
Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota	Miren 0330	5	8		5	3

V celotnem obdobju od 2014 do 2022 v vzorcih določili skupaj 215 farmacevtskih učinkovin od tega najpogosteje karbamazepin in sulfametoksazol (Grafikon 6).



Grafikon 6: Število določenih farmacevtskih učinkovin v vzorcih v obdobju 2014-2022

Kraški izvir reke Krke v Krški jami izstopa po onesnaženju s farmacevtskimi učinkovinami, saj v njem določamo več vrst ostankov zdravil. Od leta 2007, ko je bil izvir Krke vključen v program monitoringa podzemne vode, v njem opažamo tudi povišane vsebnosti pesticidov. Vir onesnaženja v površinskem napajalnem zaledju izvira (porečje Dobravke in Podlomščice), predstavlja komunalna čistilna naprava in kmetijske površine. Na aluvialnih vodnih telesih po onesnaženju s farmacevtskimi učinkovinami izstopata dve merilni mesti na Murski kotlini (Žepovci in Rakičan). Vzrok onesnaženja podzemne vode s farmacevtskimi učinkovinami na aluvialnih vodnih telesih prvenstveno odraža urbano poselitev in posledično neurejeno kanalizacijsko mrežo. Obremenjenost merilnih mest s farmacevtskimi učinkovinami je prikazana na karti 4.



Karta 4: Obremenjenost merilnih mest z ostanki zdravil v obdobju 2014-2022

Merilna mesta smo razvrstili v tri razrede. Neobremenjena so tista mesta, kjer v obdobju 2014-2021 nismo zaznali ostankov zdravil. Bolj obremenjena so tista merilna mesta, kjer smo v omenjenem obdobju zaznali osem (8) ali več ostankov zdravil. Ostala merilna mesta so uvrščena v skupino obremenjenih merilnih mest.

Mejne vrednosti za vrednotenje kakovosti podzemne vode glede na vsebnost farmacevtskih učinkovin še niso določene. V zadnjih letih se na evropskem nivoju pojavljajo predlogi po širitvi obveznega nabora parametrov, ki jih bodo države morale spremljati v podzemni vodi. Med temi predlogi se pojavljata tudi karbamazepin in sulfametoksazol. Trenutno na nivoju EU poteka zbiranje podatkov o pojavljanju farmacevtskih učinkovin v vodah, ki bo v prihodnosti pripeljalo do mejnih vrednosti vsaj za nekatere učinkovine. Nekatere mejne vrednosti za farmacevtike so že določene v novi Direktivi 2020/2184 o pitni vodi. Nobeno merilno mesto podzemne vode v Sloveniji ne presega mejnih vrednosti iz nove direktive o pitni vodi.

Analize perfluorooktansulfonske kisline in perfluorooktanojske kisline

Perfluorooktansulfonska kislina (PFOS) in perfluorooktanojska kislina (PFOA) spadata med obstojna organska onesnaževala. To so strupene, slabo razgradljive spojine, ki se lahko širijo na velike razdalje po zraku in/ali vodi. So škodljive za okolje in zdravje, saj se kopičijo v organizmih, lahko povzročajo raka, vplivajo na hormonsko ravnotežje in lahko okvarijo imunski sistem.

PFOS in PFOA sta industrijski kemikaliji, ki sta imeli zaradi svojih hidrofobnih in lipofobnih lastnosti v preteklosti širok spekter uporabe. Uporabljali sta se v čistilnih izdelkih, v penah za gašenje in kot impregnacijsko sredstvo v številnih izdelkih, kot so preproge, pohištvo, papir, tekstil in usnje. Danes je uporaba močno omejena, uporabljata se le tam, kjer niso našli ustrezne zamenjave, npr. v fotografski industriji, v industriji elektronike in polprevodnikov ter v hidravličnih tekočinah v letalih.

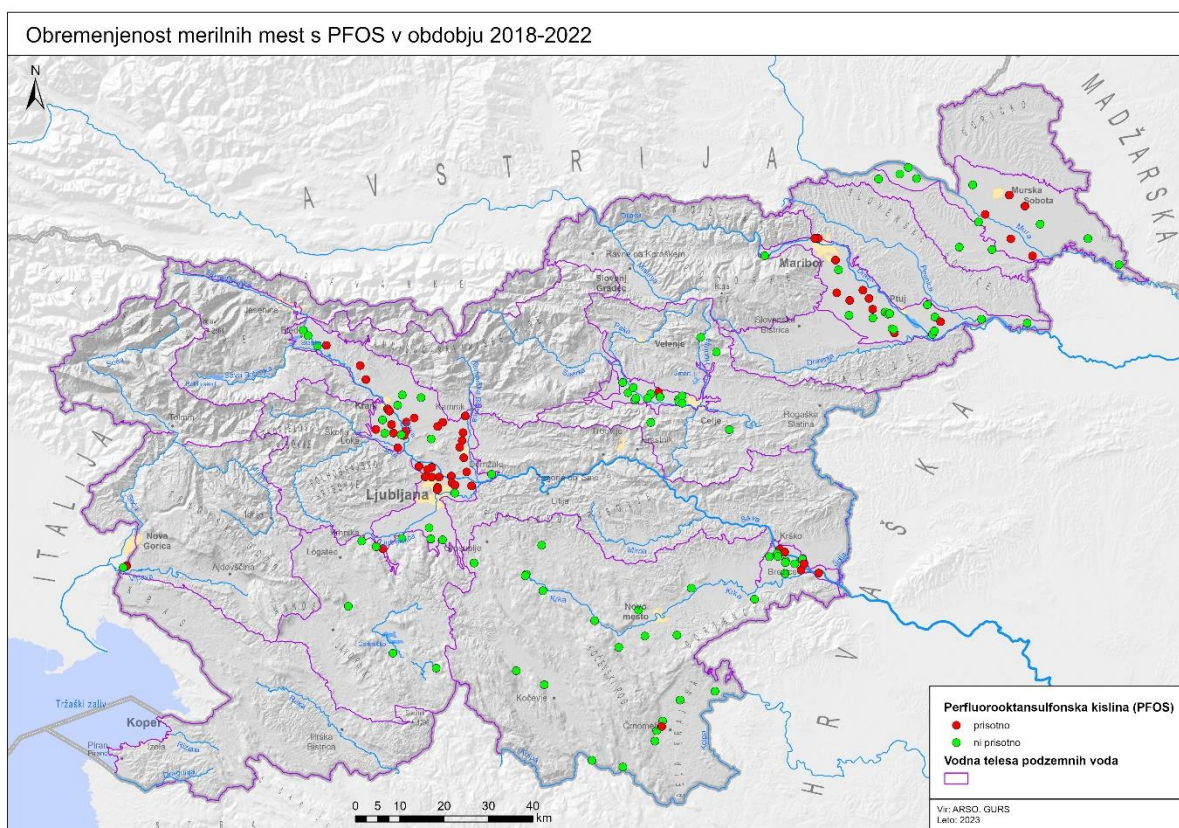
V obdobju 2018-2022 smo skupno analizirali 412 vzorcev, od tega smo v 119 vzorcih (31,6 % vseh vzorcev) določili PFOS višji od meje določljivosti. Analize PFOA izvajamo od leta 2020, prisotnost PFOA pa smo potrdili v 20 od skupno 271 vzorcev (7,4 % vseh vzorcev). V tabeli 22 je prikazano število merilnih mest po vodnih telesih in število ter procent merilnih mest, kjer smo določili prisotnost PFOS.

Tabela 22: Število merilnih mest in število ter procent merilnih, kjer smo določili PFOS in PFOA v obdobju 2018-2022

Vodno telo podzemne vode	Št. MM	PFOS št. MM > LOQ	PFOS % MM > LOQ	PFOA št. MM > LOQ	PFOA % MM > LOQ
Savska kotlina in Ljubljansko barje	49	33	67,3	20	40,8
Savinjska kotlina	13	1	7,7		
Krška kotlina	14	6	42,9	3	21,4
Spodnji del Savinje do Sotle*	4				
Kraška Ljubljana*	7				
Dolenjski kras*	22	1	4,5		
Dravska kotlina	27	10	37,0	5	18,5
Murska kotlina	13	5	38,5		
Vzhodne Slovenske gorice*	3				
Goriška Brda in Trnovsko-Banjska planota**	9 (3)	2	22,2	1	11,1
SKUPAJ	155	58	37,4	30	19,3

Legenda: **MM**: merilno mesto, *: meritve so bile opravljene le eno leto, **: meritve so bile opravljene le na treh od devetih merilnih mestih

Rezultati monitoringa so pokazali, da so najbolj obremenjena vodna telesa z medzrnsko poroznostjo (karta 5).



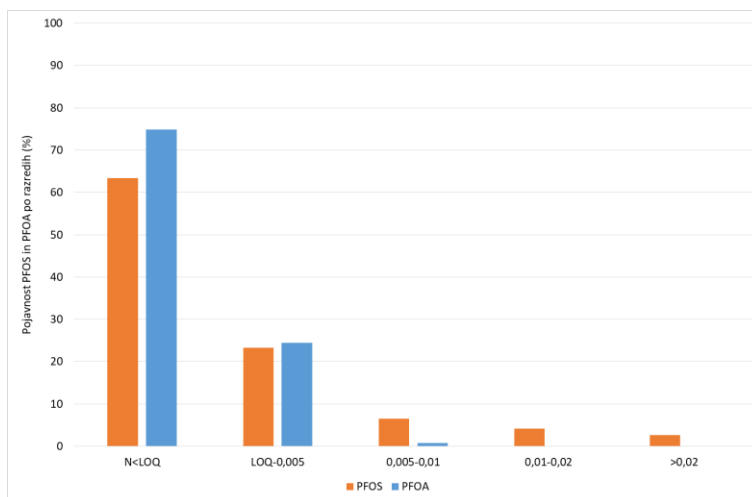
Karta 5: Obremenjenost merilnih mest z PFOS v obdobju 2018-2022

Daleč najbolj je obremenjeno vodno telo Savska kotlina in Ljubljansko barje, kjer je kar bila na 67,3% merilnih mest določena vsebnost PFOS nad mejo določljivosti uporabljene analitske metode. Bolj obremenjeni sta tudi vodni telesi Krške in Dravske kotline ter nekaj merilnih mest na vodnem telesu Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota.

Najvišje vsebnosti PFOS smo določili na vodnih telesih Savska kotlina in Ljubljansko barje, Dravska kotlina in Krška kotlina. Daleč najvišja vsebnost PFOS je bila določena na merilnem mestu na Krški kotlini (Sp. Stari grad NE-1177).

V letih 2020 in 2021 smo prvič v vzorcih izvedli analize PFOA. Analizirali smo 235 vzorcev in v 42 vzorcih (17,8 % vseh vzorcev) določili prisotnost PFOA. Prisotnost PFOA je po podatkih monitoringa nižja kot pojavnost PFOS.

Rezultati analiz kažejo tudi na to, da so vsebnosti PFOA nižje kot vsebnosti PFOS, nižja je tudi maksimalna vsebnost (0,0082 µg/L) (grafikon 7).



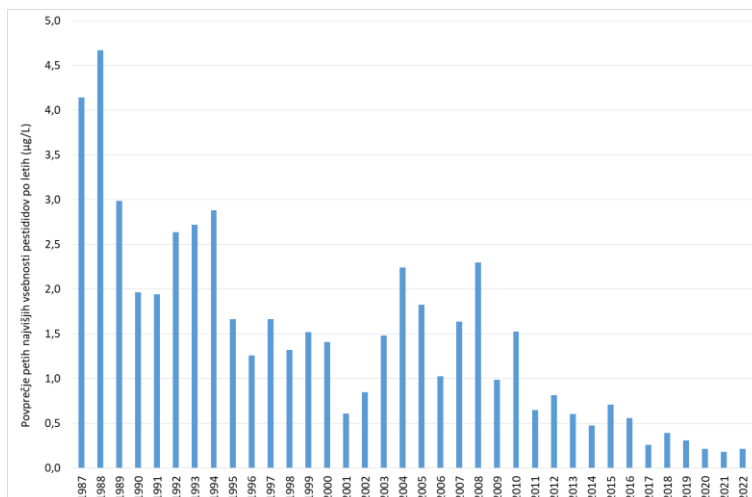
Grafikon 7: Pojavnost PFOS in PFOA po različnih koncentracijskih razredih v obdobju 2018-2022

Večina merilnih mest, kjer smo v vzorcih določili PFOS in PFOA se nahaja na urbanih oziroma industrijskih področjih, kjer je bila verjetnost pojava v podzemni vodi tudi pričakovana. Na kraških vodnih telesih, razen v enem vzorcu na Dolenskem krasu prisotnosti PFOS nismo zaznali. Standard kakovosti za vrednotenje PFOS in PFOA v podzemni vodi ni predpisan.

Metaboliti (razgradni produkti) pesticidov v podzemni vodi

Vsebnost pesticidov v podzemni vodi spremljamo od začetka monitoringa podzemne vode in sicer od leta 1987. V prvih letih so bila v vzorcih pogosto določena preseganja pesticidov, pogosti so bili tudi vzorci, kjer sta standard kakovosti presegala več kot dva pesticida. V zadnjih dveh letih so preseganja standarda kakovosti redka, v letu 2022 smo preseganja ugotovili v devetih (3,6 %) od 252 vzorcev.

Z leti upadajo tudi maksimalno določene vsebnosti pesticidov v podzemni vodi. Na grafikonu 8 je prikazano povprečje petih najvišjih vsebnosti pesticidov po letih. Na grafikonu niso prikazane tri visoke meritve in sicer dve v letu 2007 (onesnaženje vodnjaka Moste z bentazonom (8,4 µg/L in 7 µg/L) in ena meritev letu 2021 (dicamba 3,1 µg/L v vodnjaku Veščica, Murska kotlina).

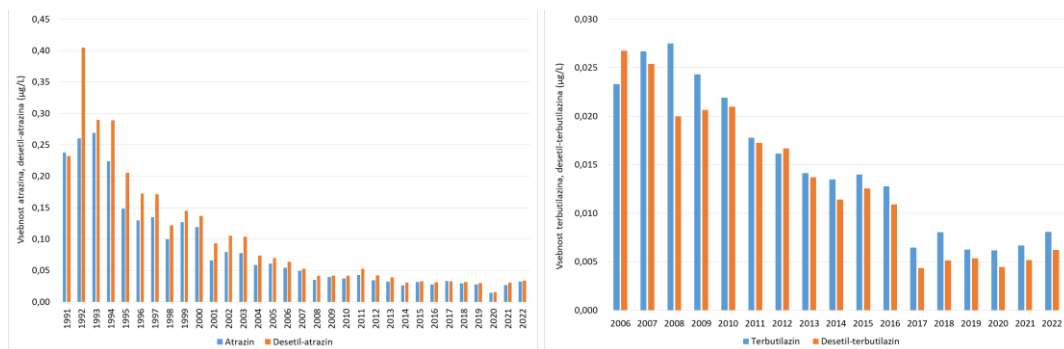


Grafikon 8: Povprečje petih najvišjih vsebnosti pesticidov v obdobju 1987-2022

Glede na upadanje vsebnosti pesticidov v podzemni vodi v zadnjih letih na nivoju EU pozornost posvečajo tudi metabolitom pesticidov. Metaboliti so produkti razgradnje ali produkti reakcije aktivne substance, delimo pa jih na relevantne in nerelevantne. Posebej pomembni so relevantni metaboliti, saj imajo podoben toksikološki vpliv kot osnovna aktivna substanca. Od leta 1991 v podzemni vodi

redno spremljamo dva metabolita atrazina (desetil-atrazin in desizopropil-atrazin) in od leta 2006 en metabolit terbutilazina (desetil-terbutilazin). Atrazin je od leta 2002 v Sloveniji umaknjen iz prodaje, medtem ko je terbutilazin še v uporabi. Metaboliti atrazina in terbutilazina se uvrščajo med relevantne metabolite.

Tako kot vsebnost atrazina in terbutilazina tudi vsebnosti desetil-atrazina in desetil-terbutilazina v podzemni vodi upadajo (grafikon 9).



Grafikon 9: Vsebnost atrazina, desetil-atrazina, terbutilazina in desetil-terbutilazina v podzemni vodi

V letu 2021 smo v program monitoringa podzemne vode prvič uvrstili metabolit metolaklor in sicer metolaklor-ESA (Metolachlor Ethane Sulfonic Acid). Metolaklor je mešanica dveh stereoizomer (S in R). R izomera je praktično neaktivna, zato v fazi proizvodnje poskušajo doseči čim večjo vsebnost S izomere. V metolakloru se tako nahaja 80-100 % S in 0-20 % R izomere. Glede na to, da je aktivna le S izomera pogosto metolaklor označujejo po aktivni substanci kot S-metolaklor.

Vsebnost metolaklor v podzemni vodi spremljamo od leta 1987. V tem obdobju smo v podzemni vodi vzorčili 7040 vzorcev, od katerih smo v 656 vzorcih (9,3 %) določili prisotnost metolaklor. Standard kakovosti 0,1 µg/L je bil presežen v 175 vzorcih (tabela 23).

Tabela 23: Metolaklor- število vzorcev po vodnih telesih, število vzorcev preko LOQ in število presegevanj standarda kakovosti v obdobju 1987-2022

Vodno telo podzemne vode	Št. vzorcev	Št. vzorcev > LOQ	Presegevanja 0,1 µg/L v vzorcih
Savska kotlina in Ljubljansko barje	2095	80	28
Savinjska kotlina	731	50	21
Krška kotlina	681	40	0
Julijske Alpe v porečju Save	41	0	0
Karavanke	45	1	0
Kamniško-Savinjske Alpe	51	0	0
Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko hribovje	28	1	0
Posavsko hribovje do osrednje Sotle	117	11	0
Spodnji del Savinje do Sotle	78	2	2
Kraška Ljubljana	131	2	0
Dolenjski kras	464	64	10
Dravska kotlina	1207	307	86
Vzhodne Alpe	36	0	0
Haloze in Dravinjske gorice	30	0	0
Zahodne Slovenske gorice	56	0	0
Murska kotlina	690	82	23
Vzhodne Slovenske gorice	83	8	4
Goričko	23	1	1
Obala in Kras z Brkini	100	2	0
Julijske Alpe v porečju Soče	33	0	0

Vodno telo podzemne vode	Št. vzorcev	Št. vzorcev > LOQ	Preseganja 0,1 µg/L v vzorcih
Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota	320	5	0
SKUPAJ	7040	656	175

Metolaklor se v večini primerov pojavlja na večjih aluvialnih vodnih telesih. Večje število pojavljanj je tudi na vodnem telesu Dolenjski kras. Pojav metolaklorja je večinoma lokalnega značaja, saj ga zaznamo le na določenih merilnih mestih.

Prisotnost metolaklor-ESA v podzemni vodi

Metolaklor ESA smo analizirali na vseh večjih aluvialnih vodnih telesih:

- Savska kotlina in Ljubljansko barje
- Savinjska kotlina
- Krška kotlina
- Dravska kotlina
- Murska kotlina

Poleg omenjenih vodnih teles smo v program vključili tudi posamezna merilna mesta na vodnih telesih:

- Posavsko hribovje do osrednje Sotle
- Kraška Ljubljana
- Dolenjski kras
- Zahodne Slovenske gorice
- Vzhodne Slovenske gorice

Kriterij za uvrstitev merilnih mest v program spremljanja vsebnosti metolaklor-ESA je bilo pojavljanje pesticidov na merilnem mestu v preteklosti. Analize smo izvajali v spomladanskem in jesenskem vzorčenju. V letih 2021 in 2022 smo izvedli 352 analiz in v 168 vzorcih (47,8 % vzorcev) določili prisotnost metolaklor-ESA. V letu 2022 smo analize metolaklor-ESA izvajali le na mestih, kjer smo v letu 2021 potrdili prisotnost metolaklor-ESA, zato je procent pojavljanja v vzorcih višji kot v letu 2021 (v letu 2021 35,6 % vzorcev). V tabeli 24 so prikazana vodna telesa podzemne vode, vodonosni sistemi in njihova površina, delež njiv, število merilnih mest in merilna mesta, na katerih smo določili prisotnost metolaklor-ESA.

Tabela 24: Prisotnost metolaklor-ESA na aluvialnih vodnih telesih v letih 2021 in 2022

Vodno telo podzemne vode	Vodonosni sistem	Površina VS (km ²)	Delež njiv (%) *	Število MM	Število MM na 100km ²	Število MM, kjer je prisoten metolaklor-ESA	% MM kjer je prisoten metolaklor-ESA
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Bled - Ribno	26	8,0	2	7,6	0	0
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Tržiška Bistrica	49	15,1	2	4,1	0	0
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Radoveljsko polje	63	8,6	2	3,2	0	0
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Kranjsko polje	121	35,6	8	6,6	5	62,5
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Sorško polje	68	35,2	9	13,3	3	33,3
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Vodice - Skaručna	34	15,6	1	2,9	1	100,0
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Ljubljansko polje	109	18,5	15	13,8	1	6,7
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Ljubljansko Barje	129	25,4	1	0,8	0	0
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Borovniški vršaj	6	9,2	1	16,1	0	0
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Iški vršaj	12	50,1	2	16,1	0	0

Vodno telo podzemne vode	Vodonosni sistem	Površina VS (km ²)	Delež njiv (%) *	Število MM	Število MM na 100km ²	Število MM, kjer je prisoten metolaklor-ESA	% MM kjer je prisoten metolaklor-ESA
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Prodni zasip Kamniške Bistrice	87	29,0	5	5,8	2	40,0
Savinjska kotlina	Braslovško polje	26	37,6	4	15,6	3	75,0
Savinjska kotlina	Spodnjėsavinjsko polje	55	27,4	9	16,3	2	22,2
Krška kotlina	Brežiško polje	16	37,2	4	24,9	1	25,0
Krška kotlina	Čateško polje	5	31,5	1	20,7	0	0
Krška kotlina	Krško polje	60	45,5	8	13,3	0	0
Dravska kotlina	Območje Selniške Dobrave in Ruš	18	17,1	1	5,6	1	100,0
Dravska kotlina	Dravsko polje	293	43,8	18	6,1	13	72,2
Dravska kotlina	Ptujsko polje	91	61,5	6	6,6	4	66,7
Dravska kotlina	Ormož - Središče ob Dravi	27	48,4	1	3,7	1	100,0
Murska kotlina	Apaško polje	49	62,0	3	6,1	2	66,7
Murska kotlina	Mursko - Ljutomersko polje	65	58,5	3	4,6	3	100,0
Murska kotlina	Dolinsko Ravensko	449	56,4	7	1,6	5	71,4

Legenda: **VS**: vodonosni sistem, **MM**: merilno mesto; *: Vir: [MKGP Grafični podatki RABA 2020](#)

Rezultati prvega leta spremljanja metabolita metolakra-ESA so pokazali, da je največ merilnih mest s preseganji na Dravski in Murski kotlini, kjer je tudi zelo visok delež njivskih površin. Na teh dveh vodnih telesih je praktično dve tretjini vseh merilnih mest, kjer smo določili prisotnost metolakra-ESA. Prisotnost metolaklor-ESA visoka je tudi v Savinjski kotlini (Braslovško polje) in Savski kotlini in Ljubljansko barje (Kranjsko in Sorško polje), kjer tudi prevladuje višji delež njivski površin.

Na nekaterih vodnih telesih smo izbrali le manjše število merilnih mest (tabela 25), vendar smo tudi tu ugotovili prisotnost metolaklor-ESA.

Tabela 25: Prisotnost metolaklor-ESA na ostalih vodnih telesih

Vodno telo podzemne vode	Število MM	Število MM, kjer je prisoten metolaklor-ESA
Posavsko hribovje do osrednje Sotle	1	1
Kraška Ljubljana	1	0
Dolenjski kras	7	3
Zahodne Slovenske gorice	1	1
Vzhodne Slovenske gorice	2	2

Legenda: **MM**: merilno mesto

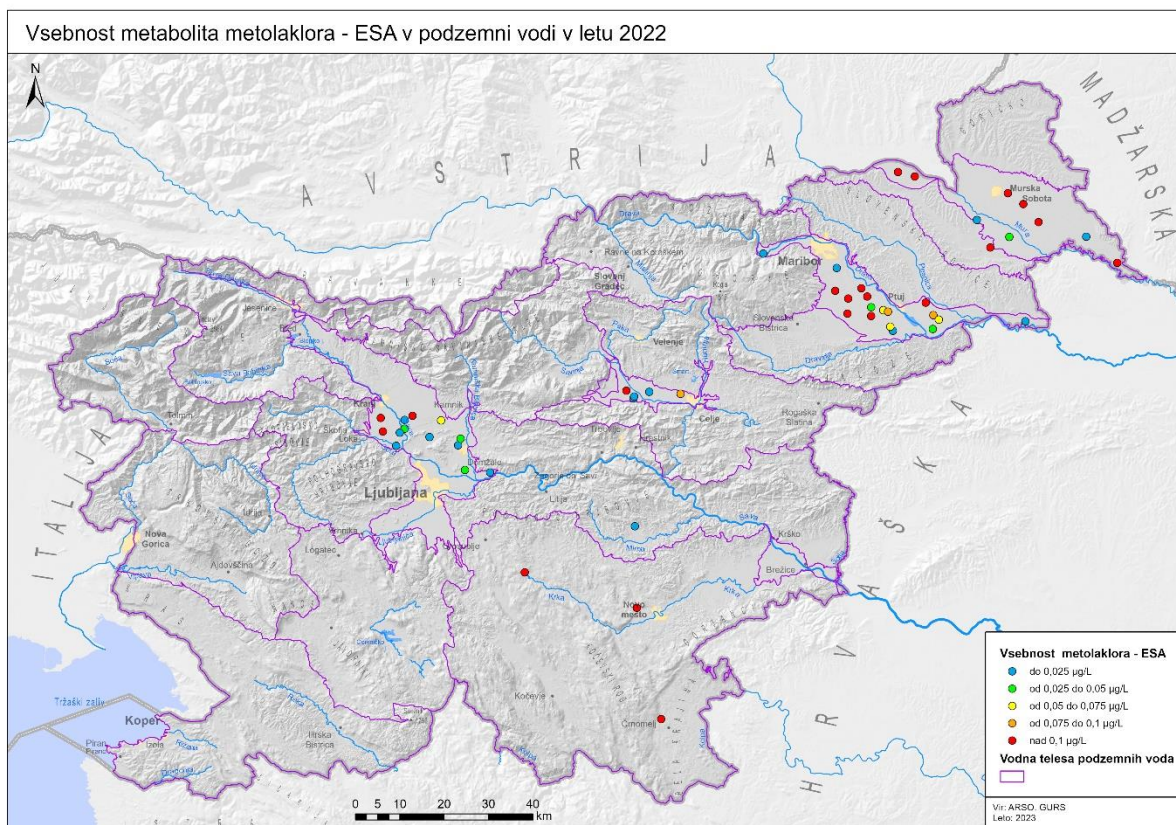
V letu 2022 je bilo od 104 vzorcev preseganje standarda kakovosti (0,1 µg/L) v 26 vzorcih (9,7 % vzorcev). Vsebnosti metolakra-ESA v podzemni vodi so višje, kot so vsebnosti pesticidov. V tabeli 26 so zbrani vzorci, kjer je letno povprečje metolaklor-ESA presehalo 0,1 µg/L.

Tabela 26: Merilna mesta, kjer je letno povprečje metolaklor-ESA presehalo 0,1 µg/L

Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	Leto	Letno povprečje metolaklor-ESA (µg/L)
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Voglje Vog-1/14	2021	0,46
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Voglje Vog-1/14	2022	0,26
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Žabnica 0590	2021	0,22
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Žabnica 0590	2022	0,35
Savska kotlina in Ljubljansko barje	Godešič SOV-5174	2022	0,15
Savinjska kotlina	Trnava Trn-1/14	2022	0,11
Savinjska kotlina	Latkova vas Lvas-1/14	2021	0,27
Dolenjski kras	Krka	2022	0,16
Dolenjski kras	Luknja - izvir Prečne	2021	0,12
Dolenjski kras	Luknja - izvir Prečne	2022	0,80
Dolenjski kras	Otovški breg	2022	0,13
Dravska kotlina	Prepolje, P-1	2022	0,15

Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	Leto	Letno povprečje metolaklor-ESA ($\mu\text{g/L}$)
Dravska kotlina	Rače Rač-1/10	2021	0,14
Dravska kotlina	Rače Rač-1/10	2022	0,24
Dravska kotlina	Starše Sta-1/10	2022	0,15
Dravska kotlina	Podova Pod-1/10	2021	0,15
Dravska kotlina	Podova Pod-1/10	2022	0,22
Dravska kotlina	Šikole	2022	0,12
Dravska kotlina	Kidričevo	2021	0,18
Dravska kotlina	Kidričevo	2022	0,15
Dravska kotlina	Dornava (Do-1/09)	2022	0,25
Murska kotlina	Žepovci Žep-2/10	2022	0,13
Murska kotlina	Mali Segovci MSeg-1/14	2021	0,53
Murska kotlina	Mali Segovci MSeg-1/14	2022	0,93
Murska kotlina	Rakičan (Ra-1/09)	2022	0,22
Murska kotlina	Gančani Gan-1/14	2021	0,25
Murska kotlina	Gančani Gan-1/14	2022	0,53
Murska kotlina	Odranci (Od-1/09)	2021	0,16
Murska kotlina	Odranci (Od-1/09)	2022	0,34
Murska kotlina	Benica Ben-1/14	2022	0,24
Murska kotlina	Veščica (Ve-1/09)	2021	0,58
Murska kotlina	Veščica (Ve-1/09)	2022	1,53
Vzhodne Slovenske gorice	Rajšpov izvir v Lokavcu	2021	0,11
Vzhodne Slovenske gorice	Lukavci V3	2021	0,26
Vzhodne Slovenske gorice	Lukavci V3	2022	0,61

Na karti 6 je prikazana povprečna letna vsebnost metolaklora – ESA v letu 2022.



Karta 6: Povprečna letna vsebnost metolaklora – ESA v letu 2022

Najvišje vsebnosti metolaklora-ESA so bile v povprečju ugotovljene na Murski kotlini, Dravski kotlini, Savski kotlini in Ljubljanskem barju ter Savinjski kotlini.

Glede na toksikološke študije je bil [na Evropsko Agencijo za kemikalije](#) vložen predlog razvrstitve S-metolaklor med substance, ki so lahko kancerogene in vplivajo na razmnoževanje. Aktivna snov S-metolaklor je trenutno še v zaključni fazi revizije na Evropski agenciji za varnost hrane (EFSA) oziroma na Evropski Komisiji. Na podlagi osnutka ocene in [RAC mnenja](#) lahko pričakujemo, da bo metabolit metolaklor-ESA razglašen za relevantnega in bo zanj veljal standard kakovosti 0,1µg/L.

Prisotnost glifosata in razgradnega produkta AMPA podzemni vodi Savinjske kotline

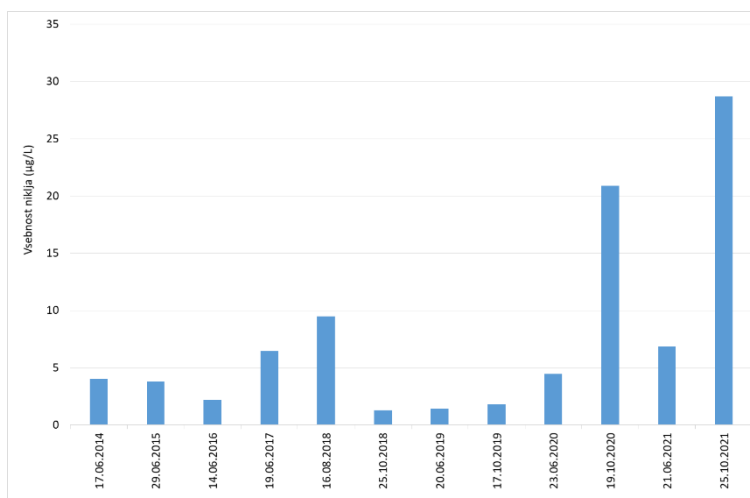
V letu 2022 smo na vseh merilih mestih na Savinjski kotlini v vzorcih podzemne vode analizirali [glifosat](#) in njegov razgradni produkti AMPA (angleško: AminoMethylPhosphonic Acid). Savinjsko kotlino smo izbrali na podlagi podatka, da se glifosat pogosto aplicira na hmeljiščih.

Rezultati so pokazali, da tako glifosat kot tudi njegov razgradni produkti AMPA v podzemni vodi na Savinjski kotlini v letu 2022 nista bila prisotna.

Vsebnost niklja v vrtinah na Vojkovi

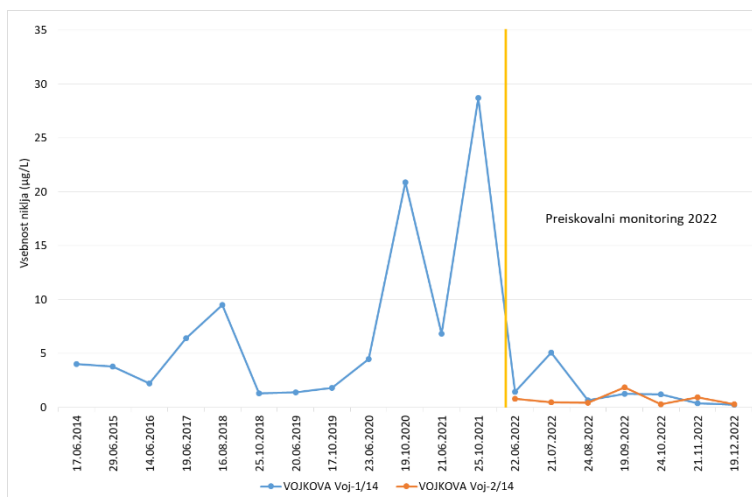
Na vrtini Vojkova Voj-1/14 smo v okviru monitoringa podzemne vode občasno zaznali visoke vsebnosti niklja. Na grafikonu 10 je prikazana vsebnost niklja od leta 2014.

V drugi polovici leta 2022 smo z vzorčenjem v mesečnih intervalih poskušali pridobiti boljši pregled nad vsebnostjo niklja in tako tudi nad morebitnim onesnaženjem. Preiskovalni monitoring smo zaradi pregleda in celostne slike izvedli tudi na plitvi vrtini Vojkova Voj-2/14. Pred začetkom izvajanja preiskovalnega monitoringa smo vrtino Vojkova Voj-1/14 tudi očistili.



Grafikon 10: Vsebnost niklja na vrtini Vojkova Voj-1/14 v obdobju 2014-2021

Vzorčenje smo izvajali od meseca junija do decembra v mesečnih intervalih. Na grafikonu 11 je prikazana vsebnost niklja od leta 2014 do 2021 in vsebnost niklja v okviru preiskovanega monitoringa v letu 2022.



Grafikon 11: Vsebnost niklja v obdobju 2014-2021 in v okviru preiskovanega monitoringa v letu 2022

Podatki o vsebnosti niklja v okviru preiskovalnega monitoringa v letu 2022 kažejo nižje in bolj stabilne vsebnosti niklja. Analize vzorcev v naslednjih letih bodo pokazale, ali bodo vsebnosti niklja ostale stabilne ali bo potrebno redno čiščenje vrtnice.

VIRI

1. Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdri-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20)
2. Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 41/04, 17/06 – ORZVO187, 20/06, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09 – ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15, 30/16, 61/17 – GZ, 21/18 – ZNOrg, 84/18 – ZIURKOE, 158/20 in 44/22 – ZVO-2)
3. Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 44/22)
4. Uredba o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16)
5. Uredba o stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13, 24/16)
6. Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov (Uradni list RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17)
7. Pravilnik o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17)
8. Pravilnik o določitvi vodnih teles podzemnih voda (Uradni list RS, št. 63/05 in 8/18)
9. Pravilnik o monitoringu podzemnih voda (Uradni list RS, št. 31/09)
10. Program monitoringa stanja voda za obdobje 2016 – 2021
11. Direktiva Sveta 91/676/EGS z dne 12. decembra 1991 o varstvu voda pred onesnaženjem z nitrati iz kmetijskih virov
12. Direktiva Sveta 98/83/ES z dne 3. novembra 1998 o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi (Direktiva EU o pitni vodi)
13. Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike
14. Direktiva o varstvu podzemne vode pred onesnaženjem in poslabšanjem 2006/118/ES
15. Direktiva Komisije 2009/90/ES z dne 31. julija 2009 o določitvi strokovnih zahtev za kemijsko analiziranje in spremljanje stanja voda v skladu z Direktivo Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES
16. Hidrogeološke razmere na Dravskem polju, L. Žlebnik, Geologija 25/1, 1982, Ljubljana
17. Razširjenost pesticidov v vodonosniku Dravskega polja, A. Koroša, Geologija 62/2, 2019, Ljubljana
18. Strokovno, digitalno gradivo Agencije RS za okolje: Tokovnice, območja napajanja in dreniranja aluvialnih vodonosnikov, simultane meritve med leti 1992-1995 ob nižjem hidrološkem stanju
19. Pliocenski vodonosniki – pomemben vir neoporečne pitne vode za ptujsko-ormoško regijo, L. Žlebnik & F. Drobne, Geologija 41, Ljubljana, 1999
20. Nacionalna baza hidrogeoloških podatkov za opredelitev teles podzemne vode RS, Geološki zavod Slovenije 2005 in 2006
21. Poročilo o kakovosti pitne vode na javnih vodovodih ter odvajanju in čiščenju odpadnih voda v mestni občini Krško in občini Kostanjevica na Krki v letu 2021
22. Brenčič, M. et.al., 2022: Novodobna onesnaževala v vodah Ljubljanske kotline, projekt boDEREC-CE, Ljubljana

23. Veselič, M. 1984: Hidrogeologija: skripta. FNT, VTOZD Montanistika, Odsek za geologijo, 296 str., Ljubljana.
24. Dragašič, V., 1997: Opšta hidrogeologija. Rudarsko-geološki fakultet, Institut za hidrogeologiju, 434 str. Beograd.
25. Kmetijski Inštitut Slovenije: [Mineralne oblike dušika](#)
26. [Nitrate the Element: NAU-Northern Arizona University](#)
27. ARSO 2021-2023: Kazalci okolja (KM25, PP13, PP14, PP-15)
28. [Razširjenost pesticidov v vodonosniku Dravskega polja, A. Koroša, Geologija 62/2, 2019, Ljubljana](#)
29. [Sophocleous, M. et.al. 1990](#): Movement and aquifer contamination potential of atrazine and inorganic chemicals in central Kansas croplands. Ground Water Series 12, Kansas Geological Survey.
30. Jeremič, M. 2016: Odstranjevanje atrazina iz pitne vode z vlakni iz aktivnega oglja. Magistrsko delo., 2016, Maribor
31. [Atrazine](#): PUBchem, NIH – National Library of Medicine, National Center for Biotechnology Information, An official website of the United States government:
32. [Atrazine](#) (Ref: G-30027): Pesticide Properties Database, University of Hertfordshire
33. [Desethylatrazine](#) (Ref: G-30033): Pesticide Properties Database, University of Hertfordshire
34. Ocena prispevnih zaledij izbranih kraških izvirov, M. Petrič, ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje krasa, Postojna, september 2007
35. Ocena prispevnih zaledij izbranih kraških izvirov, N. Trišič et. al., interno poročilo Agencija RS za okolje, Ljubljana, februar 2008
36. Pritiski in varovanje podzemnega krasa, primeri iz Slovenije in Hrvaške, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU: A. Hudoklin, Are we guaranteeing the favourable status of the Proteus anguinus in the Natura 2000 network in Slovenia, Postojna, junij 2011
37. Priprava strokovnih podlag in strokovna podpora pri izvajanju vodne direktive za področje podzemnih voda (Direktiva 2000/60/EC): Pregled ekosistemov odvisnih od stanja podzemnih vod, končno poročilo, Geološki zavod Slovenije, december 2011
38. Pliocenski vodonosnik Dravskega polja, M.Klasinc. Diplomsko delo, NTF, Ljubljana, maj 2013
39. Statistika v geologiji 1, N. Zupančič, univerzitetni učbenik, NTF, Oddelek za geologijo, 2013
40. [Celovit nadzor obremenitev na območju belokranjskega in postojnskega krasa](#), ki predstavljajo tveganje za življenje človeške ribice, 13.12.2019, Inšpektorat RS za okolje in prostor

PRILOGA 1: Poročilo o preiskovalnem monitoringu kakovosti voda v vplivnem območju Križne jame

Povzetek

S preiskovalnim monitoringom podzemne vode in ponikalnic v vplivnem območju Križne jame smo v letih 2021 in 2022 ugotovili dobro kemijsko stanje podzemne vode in površinskih voda. Koncentracije kofeina in zdravil v sledovih kažejo na vpliv točkovnih virov onesnaženja. Višje vsebnosti sulfata in stroncija v izviru Žerovniščica kažejo na svojevrstne geološke značilnosti napajalnega zaledja tega izvira.

Uvod

V Agenciji RS za okolje smo v letih 2021 in 2022 vzpostavili preiskovalni monitoring kakovosti voda med Bloško planoto, Loškim poljem in Cerknjskim poljem, kjer se v osrednjem delu nahaja tudi naravna vrednota Križna jama (Slika 1). Namen raziskave je bil ugotavljanje vpliva točkovnih virov onesnaženja na stanje voda tega območja.

V nadaljevanju predstavljamo program monitoringa, geološke, hidrogeološke, hidrografske ter hidrološke značilnosti raziskanega območja z rezultati in interpretacijo. Dodatno predstavljamo ovrednotenje višjih vrednosti sulfata in stroncija v podzemni vodi enega izmed izvirov (Žerovniščica) in sicer glede na smeri podzemnih tokov ter glede na geološko zgradbo v napajalnem zaledju.

Merilna mreža

Nabor merilnih mest, ki z napajalnimi zaledji odražajo vpliv na naravno vrednoto Križna jama, smo izbrali na ekspertni podlagi in na osnovi podatkov o smereh pretakanja podzemne vode, ki so zbrani v bazi sledilnih poskusov (Petrič, 2018-2021; ARSO, 2018-2021), katero smo v Agenciji v letu 2017 vzpostavili skupaj z Inštitutom za raziskovanje krasa iz Postojne (tabela 1-2, slika 1). V raziskavo smo vključili merilna mesta iz programov podzemnih in površinskih voda. V dveh izvirov in eni izmed jam, smo spremljali stanje kakovosti podzemne vode. Vsebnost kemijskih onesnaževal smo spremljali v ponikalnicah.

Tabela 1: Merilna mesta preiskovalnega monitoringa podzemne vode

Vodno telo podzemne vode	Merilno mesto	GKX	GKY
Kraška Ljubljana	izvir Šteberščica	67360	456866
Kraška Ljubljana	Izvir Žerovniščica	68934	456532
Kraška Ljubljana	Mrzla jama pri Bločicah	68523	457536

Tabela 2: Merilna mesta preiskovalnega monitoringa površinskih voda

Vodno telo površinske vode	Vodotok	Merilno mesto	GKX	GKY
VTJ Cerknjsko jezero	Farovščica	Hudi vrh	68841	463419
VTJ Cerknjsko jezero	Farovščica	Fara	69447	462182
VTJ Cerknjsko jezero	Bloščica	Velike Bloke	71200	459594

Parametri in frekvenca vzorčenja

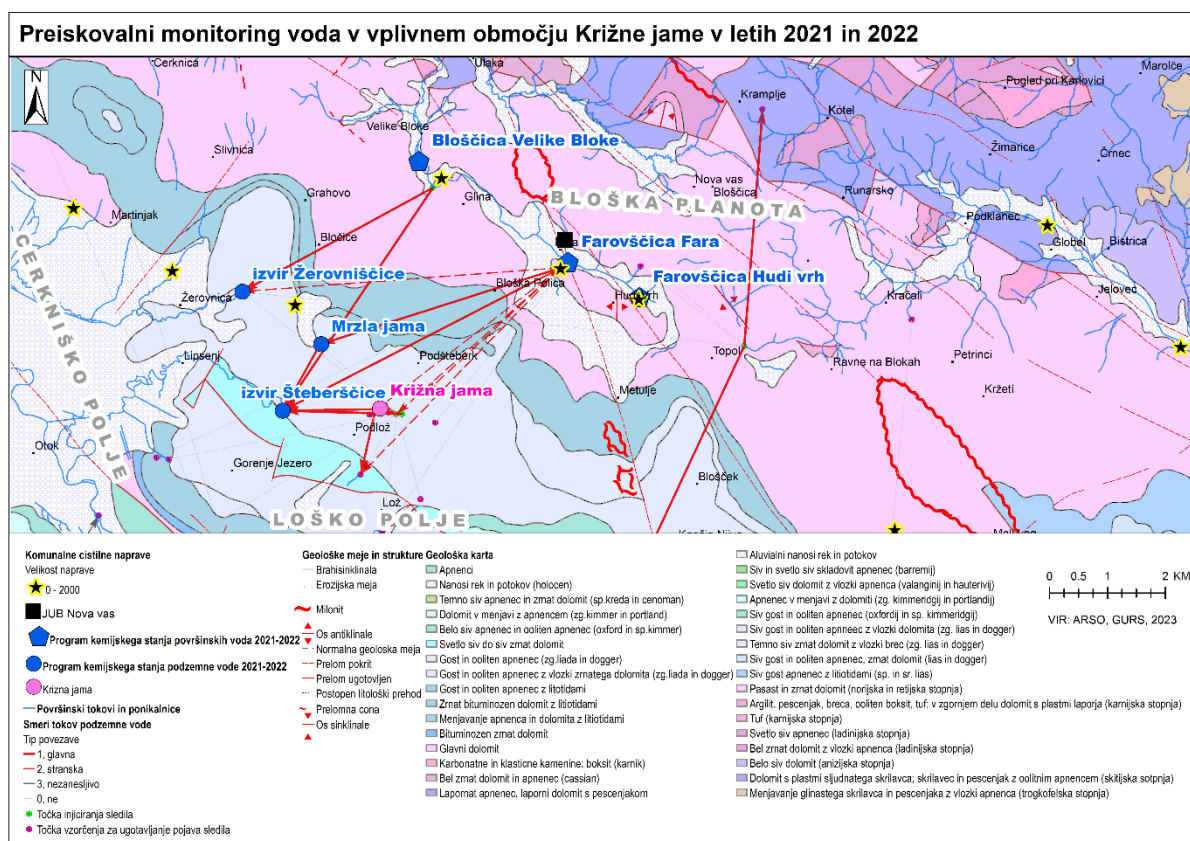
Za program preiskovalnega monitoringa podzemne vode smo v šestih vzorčenjih letno v izvirov Šteberščica in Žerovniščica ter podzemne vode v Mrzli jami pri Bločicah, spremljali terenske in osnovne

parametre, kovine, pesticide ter ostanke zdravil. Terenske, osnovne parametre in kovine smo vzorčili ob vseh zajemih, pesticide vsako leto v dveh zajemih, ostanke zdravil pa v štirih zajemih na leto.

Za preiskovalni monitoring kemijskih onesnaževal površinskih voda oziroma ponikalnic, smo na merilnih mestih Farovščica Fara, Farovščica Hudi vrh in Bloščica Velike Bloke v šestih vzorčenjih na leto spremljali terenske parametre, fizikalno-kemijske parametre in kovine. V Farovščici Fara in v Bloščici Velike Bloke so se dvakrat na leto spremljali triazinski pesticidi ter štirikrat na leto farmacevtiki.

Viri onesnaženja

V zaledju merilnih mest in Križne jame so prisotne kmetijske površine ter urbana območja z industrijo in komunalnimi čistilnimi napravami. V zaledju se nahaja tudi vojaško strelišče pri Bloški polici (Bole et.al., 2007-2009; Petrič et.al., 2021).



Slika 1: Hidrogeološka karta z lokacijami merilnih mest in čistilnih naprav ter s smermi tokov podzemne vode med Bloško planoto, Loškim poljem in Cerkljskim poljem (Kogovšek et.al, 2008, Petrič, 2018-2021; ARSO, 2018-2021)

Lokacije merilnih mest odražajo glede na dokazane smeri tokov podzemne vode vplive točkovnih virov onesnaženja, tudi na Križno jamo. Na obravnavanem območju obratuje več komunalnih čistilnih naprav in sicer Velike Bloke (kapaciteta 280 PE, ponikanje v Bloščico), Nova vas (kapaciteta 350 PE, ponikanje v ponikovalnico gorvodno od ponora), Hudi vrh (kapaciteta 350 PE, v ponikovalnico in skozi nezasičeno cono posredno v podzemne vode (Čuk, et.al, 2022)), Bločice (150 PE, ponikovalnica), poleg tega pa tudi industrijski objekt JUB v Novi vasi z iztokom odpadnih vod v Sušico, ki je pritok Farovščice (ARSO, 2023 a) (slika 1). Sledenja so pokazala, da je dotok vode v Žerovniščico iz Bloške planote, za razliko od Šteberščice in Mrzle jame počasnejši in v manjšem deležu, zato bi lahko to mesto bolj odražalo vpliv onesnaženja iz ponora Bloščice (Bole et.al, 2007-2009; Kogovšek et.al, 2008)(slika 1).

Geološke značilnosti Bloške planote

Regionalno gledano gradijo večji del Bloške planote ter del njenega severozahodnega hribovitega obrobja zgornje triasni dolomiti (norijsko retijski glavni dolomit) (Bole et.al., 2007-2009). Glavni dolomit je del dolge in široke cone, ki se razteza v dinarski smeri od Loškega potoka in Ribnice čez Vidovsko in Rakitniško planoto do Barja ob Borovniščici. Vanj je skoraj v celoti vrezana dolina Bloščice do Velikih Blok ter Bloško in Farovško polje (Meze, 1983). Na jugozahodni strani jih obrobajo jurski dolomiti tako, da tvorijo podlago severnemu delu Bločičkega polja, celotnemu polju pod Bloško polico, od tu pa zavijejo proti Metuljam na Blokah (Bole et.al. 2007-2009). Južno in jugozahodno obrobje je sestavljeno tudi iz jurskih apnencev. Severovzhodni del planote, kjer se porajajo vsi glavni dotoki Bloščice, sestavljajo spodnjetriasni dolomiti s plastmi skrilavca, sljudnatega skrilavca, lapornatega skrilavca, lapornatega apnenca, peščenjaka z oolitnim apnencem in dolomita s peščenjakom. Ponekod so prisotni tudi srednjetriasni dolomiti z vložki apnenca. Široke doline Bloščice in pritokov zapolnjujejo drobnoklastične kvartarne fluvialne naplavine holocenske starosti. Naplavino sestavlja pretežno svetla glina, avtohtonega izvora, nastala s preperevanjem dolomitnih kamnin. Debelino naplavine (okoli 5 m) razkrivajo požiralniki v akumulacijskih ravninah. Bloško planoto prepredajo prelomi dinarske smeri. Na prelome je vezan del vodne mreže (Meze, 1983) (slika 1).

Hidrografija

Iz območja Bloške planote vodo danes skoraj v celoti odvaja Bloščica, na jugu pa tudi Farovščica, dalje kraška kotanja v Ravnah na jugovzhodu in Ravniščica na severu, ki izvira v nizkem razvodnem predelu Iške, v slabše prepustnih spodnjetriasnih kamninah in ponikne slabih 400 m pred Bloščico (Meze, 1983). Bloščica se napaja z dotoki med Zakrajem in Runarskim, ki imajo povirja v slabše prepustnih dolomitih. V zgornjem toku je poimenovana kot Blatnica in teče na vzhodnem delu planote v značilni dinarski smeri proti severozahodu, pri Šivčah pa ostro zavije ter nadaljuje svoj tok proti jugu ter pri Velikih Blokah že doseže zahodni del planote. Tam ob običajnem vodostaju tudi ponikne, ob višjem vodostaju pa svoj površinski tok prelije preko Bloškega polja do Nove vasi in do Fare. Tu skupaj s Farovčico in Sušico (pritok Farovščice ob višjem vodnem stanju) ponika v podzemlje na polju južno od Fare (Bole et.al., 2007-2009; Enciklopedija n.k.d. Slovenije, splet). Široke aluvialne ravnice na Blokah so zapolnjene s fluvialnim peščeno-ilovnatim ter glinastim nanosom, z majhnim strmcem in plitvimi strugami potokov, kar povzroča počasno odtekanje vode, v plitvejših depresijah pa njeno zastajanje in zamočvirjenost tal. Ravnice so majhnega strmca in v številnih meandrih. Tako je predvsem v vzhodni Bloški dolini z Bloščico in obema izvirnima krakoma, Runarščico in Blatnim potokom. Manj izrazit meandrski tok imajo Bloščica v zahodni Bloški dolini, Farovščica in Ravniščica pa v srednjem toku (Meze D., 1983). Vode se z Bloške planote podzemno stekajo proti Cerkniškemu in Loškemu polju. Ponovno se pojavijo na površju v pritokih Cerkniškega jezera, v izviri Šteberščica in Žerovniščica ter v Podložu. Tečejo tudi skozi Mrzlo jamo in Križno jamo (Novak, 1969; Bole et.al, 2007-2009; Kogovšek et.al, 2008). Poleg imenovanih, je na Blokah še nekaj obdobjnih potokov, ki oživijo le ob visoki vodi. Ob visoki vodi oživijo tudi občasni izviri (pri Metljah, Sušica, Rupa, Topolščica, Grdale, Kotla zahodno od Krampelj), ki veliko prispevajo k poplavljanju dolin na Blokah (Meze D., 1983).

Pregled sledilnih poskusov s smermi in hitrostmi odtekanja podzemne vode

Glavne smeri podzemnih tokov na območju raziskovalnega monitoringa potekajo od severovzhoda proti jugozahodu. Smeri odtekanja podzemne vode so bile določene na osnovi sledilnih poskusov v preteklosti. Prva sledenja iz leta 1939 so pokazala, da se je voda Bloščice pri Velikih Blokah po 83 urah pojavila v izviri Žerovniščica (s hitrostjo 3,3 cm/s) in Šteberščica (s hitrostjo 4 cm/s) (Novak, 1969). Leta 1946 so z Bloške planote sledili tudi Studenec na Ravnah. Barvilo naj bi se po 10 dneh pojavilo v Velikem Obrhu v Loški dolini. Hitrost naj bi znašala okoli 2 cm/s. Pri sledenju v Mrzli jami pri Bločicah

naj bi se sledilo po 22 urah (navidezna hitrost toka 3,9 cm/s) pojavilo v Šteberščici (Novak, 1969). Leta 1965 je Novak izvedel sledenje voda v Križni jami ob srednjem do visokem vodostaju. Sledilo se je po 130 urah pojavilo v izviru Šteberščica (z navidezno maksimalno hitrostjo 4,1 cm/s) (Novak, 1969; Bole et.al., 2007-2009)

V letu 2007 je Inštitut za raziskovanje krasi iz Postojne izvedel sledenje ponora Farovščice ob srednjih do nizkih pretokih. Ugotovljena je bila glavna povezava z vodnim tokom v Mrzli jami pri Bločicah (46 m/h), dalje z izviro Šteberščica (48 m/h), nekoliko slabšo povezavo (stransko) z izviro Žerovniščica (47 m/h) ter Blatnim rovom v Križni jami. Le v nizkih koncentracijah se je sledilo pojavilo v Križni jami 2 (tabela 3) (Kogovšek et.al., 2008).

Tabela 3: Rezultati sledilnega poskusa na ponoru Farovščica (Kogovšek et.al., 2008)

Mesto vzorčenja	C _{max} (ppb)	t-maks. (h)	t-dominant. (h)	v-maks. (m/h)	v-maks. (cm/s)	v-dominant. (m/h)	v-dominant. (cm/s)
Mrzla jama	1,16	70	95	62	1,7	46	1,3
Šteberščica	0,50	102	113	53	1,5	48	1,3
Žerovniščica	0,32	102	117	54	1,5	47	1,3
Izvir v Podložju	0,05	94		53	1,5		
Križna jama – Blat. rov	0,14	114	138	29	0,8	24	0,7
Križna jama 1. jezero	0,075	132	150	29	0,8	25	0,7
Križna jama 2	0,105	121	142	35	1,0	30	0,8

Legenda: (C_{max}) - maksimalna dosežena koncentracija sledila, (t-maks) - čas do pojava prvih sledi sledila, (t-dom) - čas, ko je bila dosežena maksimalna koncentracija sledila, (v-maks) - največja hitrost pretakanja, (v-dominant) - dominantna hitrost pretakanja, ki je izračunana kot kvocient med zračno razdaljo od točke injiciranja do točke pojava sledila in časom od injiciranja do pojava maksimalne koncentracije sledila

Hidrološke in geološke značilnosti merilnih mest

Izvir Šteberščica v nižjem toku imenovana tudi Lipsenjščica, predstavlja najbolj izdaten izvir na obravnavanem območju. V izviro prihaja voda na površje iz sifona, dolgega 80 m in globokega 18 m (Petrič et.al., 2021). Povprečni pretok Šteberščice je na merilnem mestu pod mostom Žerovnica-Lipsenj med leti 1972-1975 znašal 1,3 m³/s, minimalni pretok 0,01 m³/s, maksimalni pretok pa 16,0 m³/s (Gospodarič in Habič, 1976). Razmerje med Ca in Mg v izviro (okoli 1,5-2,34) (Petrič et.al., 2021), kaže na nekoliko večje napajalno zaledje na dolomitu, čeprav ga občasno preseže apnenčasti del. V zaledju se v apnencih praktično povsod pojavljajo dolomitni vložki tako, da je delež napajanja s pretežno apnenčastih delov zaledja vsaj polovičen, drugo polovico pa predstavljajo triasni in spodnje jurski dolomiti z (obrobja) Bloške planote. Izvir dokazano napajata ponikalnici Bloščica in Farovščica (Novak, 1969, Kogovšek et.al, 2008) v izviro Šteberščica pa se stekajo tudi vode iz Križne jame (Novak, 1969). Pomemben del vode se ponikalnicam z Bloške planote priključi na podzemni poti z avtogenim ponikanjem skozi kraško površje. Po oceni je delež vode iz ponikalnic le približno četrtnina, drugo je avtogeni dotok, ki lahko precej razredči morebitno onesnaženje (Petrič et.al., 2021).

Izvir Žerovniščica predstavlja za sosednjim izviro Šteberščico drugi najbolj izdaten izvir na območju med Blokami in Cerkniškim jezerom. Izvirna kotanja se nadaljuje v rov registriran kot kraška jama Žerovniščica z dolžino 420 m (Petrič et.al., 2021). Med leti 1972-1975 je imela Žerovniščica pri Žerovnici povprečni pretok 0,21 m³/s, minimalni pretok 0,01 m³/s, maksimalni pa 7,59 m³/s (Gospodarič in Habič, 1976). Razmerje Ca/Mg (okoli 1,4-2,1) (Petrič et.al., 2021) kaže pretežno dolomitno vodozbirno območje. Izvir dokazano napajata Farovščica in Bloščica (Novak, 1969; Kogovšek et.al., 2008) z zaledjem na poseljenem območju Bloške planote. S sledenjem Ravniščice na Blokah v letu 1981 povezava ni bila ugotovljena (Mencej 1983), tudi napajanje s strani Križne jame je bilo s sledenjem ovrženo (Novak 1969; Petrič et.al., 2021).

Mrzla jama pri Bločicah se nahaja dober kilometer severno od Križne jame. Jama je dolga 132 m in globoka 19 m (del je pod vodno gladino). Razmerje med Ca in Mg znaša 1,5-1,9 in kaže na 61% zastopanost dolomitov v napajalnem zaledju, preostanek (39%) pa leži na apnencih (Petrič et.al., 2021). Voda glede na sledenja dokazano priteka s ponora Farovščice (Kogovšek et.al, 2008), po ustnih informacijah o sledenju v letu 1959 (Novak, 1969) pa odteka v izviro Šteberščica. Po oceni se v njej

pretaka od nekaj 10 do nekaj 100 l/s vode. Pri tem se voda ob letnih poplavah dvigne do 2 m, ob izjemnih poplavah pa naraste tudi preko 5 m in se z ocenjenim pretokom več kot 1m³/s prelije na Bločiško polje. V Mrzli jami je voda ponikalnic z Bloške planote najmanj razredčena zaradi pronicanja skozi kraško površje (avtogeno napajanje) (Petrič et.al., 2021).

Merilna mesta v ponikalnicah Bloščica in Farovščica - Velike Bloke, Fara, Hudi vrh, so bila v naši raziskavi (z izjemo Hudi vrh) razmeščena gorvodno od iztokov komunalnih voda iz čistilnih naprav (slika 1) zaradi zabeležebe ničelnega stanja. Med leti 1972-1975 je minimalni pretok Bloščice znašal 0,02 m³/s, povprečni pretok je bil 0,42 m³/s, največji pretok je bil 15,9 m³/s (Gospodarič in Habič, 1976). Zaradi podobnih značilnosti, vendar manjšega povodja, bi moral povprečni pretok Farovščice znašati 0,09 m³/s (Prelovšek, 2012).

Rezultati

Preiskovalni monitoring kemijskega stanja voda je pokazal, da je večji del antropogenih onesnaževal (Arso, 2023) pod mejo določljivosti. Vrednosti parametrov, ki so nad mejo določljivosti so spremenljive po prostoru in času zaradi številnih dejavnikov, kot na primer hidrološke razmere, antropogeni pritiski, naravno ozadje itd. Merilna mesta za spremljanje kakovosti podzemne vode so bila v letih 2021 in 2022 glede na mejne vrednosti določene v Uredbi o stanju podzemnih voda, v dobrem kemijskem stanju. V Mrzli jami pri Bločicah in v izviru Šteberščica smo v sledovih zabeležili kofein (poživilo) in sulfametoksazol (antibiotik). Merilna mesta za spremljanje kakovosti površinskih voda so bila za leti 2021 in 2022 glede na mejne vrednosti določene v Uredbi o stanju površinskih voda v dobrem kemijskem stanju in hkrati ni bilo preseganj mejnih vrednosti za posebna onesnaževala. Na merilnem mestu Farovščica Fara so se pojavili kofein in zdravila: sulfametoksazol (antibiotik), diklofenak (protivnetno zdravilo), karbamazepin (antiepileptik), teofilin (zdravilo za pljučne bolezni), paracetamol (protibolečinsko zdravilo) in klaritromicin (antibiotik) (graf 1-7). Kofein in ostanki zdravil v vodah kažejo na prisotnost in vpliv čistilne naprave v zaledju merilnih mest.

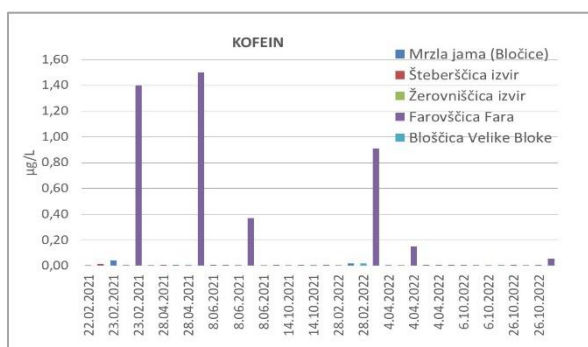
V izviru Žerovniščica smo glede na druga merilna mesta, med osnovnimi parametri v večini vzorcev beležili višje vsebnosti sulfata, med kovinami pa višje vsebnosti stroncija. Povprečna vrednost sulfata je v izviru Žerovniščica približno do 5,2 krat višja, povprečna vrednost stroncija pa približno do 5,7 krat višja kot na ostalih merilnih mestih (tabela 4, graf 8-9). Na merilnem mestu parametra statistično značilno pozitivno korelirata. V letu 2022 sta se na tudi v Farovščici Hudi vrh pojavili dve višji vrednosti sulfata in sicer dne 21.9.2022 - 12,30 mg/L in dne 25.10.2022 – 11,70 mg/L (graf 8-9).

Tabela 4: Povprečne vrednosti sulfatov in stroncija v podzemni vodi

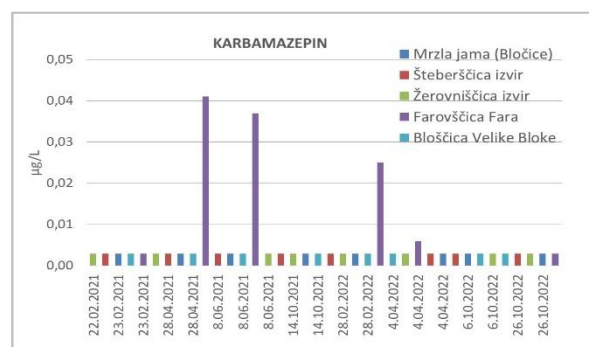
Merilno mesto	Sulfat (mg/L) 2021	Sulfat (mg/L) 2022	Sulfat (mg/L) 2021-2022	Stroncij (µg/L) 2021	Stroncij (µg/L) 2022	Stroncij (µg/L) 2021-2022
Žerovniščica izvir	18,16	16,05	17,10	195,82	169,52	182,67
Mrzla jama (Bločice)	3,48	4,16	3,82	38,27	35,38	36,83
Šteberščica izvir	3,19	3,71	3,45	38,57	36,45	37,51
Bloščica Velike Bloke	3,27	4,28	3,78	38,42	35,30	36,86
Farovščica Fara	3,36	3,12	3,25	32,56	30,98	31,86
Farovščica Hudi vrh	3,47	6,46	4,96	34,32	31,33	32,83

Na osnovi nekaterih dosedanjih raziskav (Mezga, 2014, Ogorelec 1992, 2009) in rezultatov monitoringa (graf 10-11) predvidevamo, da sta parametra spremenljiva v mejah naravnega ozadja. Mezga (2014) je z geokemijskimi in izotopskimi raziskavami podzemne vode Slovenije za slovenske podzemne vode ocenila mejo naravnega ozadja za sulfat (SO₄²⁻) - 6,93 mg/L. Poleg tega avtorica v raziskavi navaja oceno vsebnosti naravno prisotnega sulfata drugih avtorjev (Hounslow 1995; Hem 1985; Todd in Mays 2005), ki naj bi bila v vodah nižja od 300 mg/L, v padavinah pa do 10 mg/l. Višjo vsebnost sulfata (30,45 mg/l) je avtorica ugotovila v izviru Mošenik, katerega izvor je pripisala evaporitom v trasnih karbonatnih kamninah Karavankah.

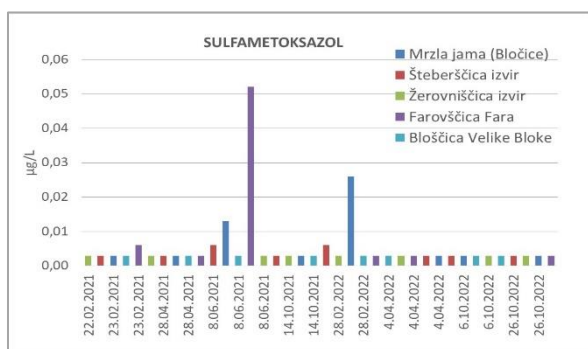
Stroncij je v karbonatnih kamninah je ena najbolj zastopanih prvin v sledovih. Vzrok temu je njegova relativno visoka koncentracija v morski vodi - 8 ppm (Wedepohl, 1966) ter da lahko kot dvovalentni ion dobro zamenjuje kalcij ali magnezij v kristalih kalcita (Ogorelec, 2009). V fizikalno-kemijskih in/ali biokemijskih procesih formiranja kalcita in aragonita je stroncij vgrajen v mrežo teh mineralov (Berner 1971; Ogorelec 1992). Ogorelec (1992, 2009) je raziskoval mikrofacies, daigenezo in geokemijo zgornje triasnih daschsteinskih apnencev in norijsko retijskega glavnega dolomita v jugozahodni Sloveniji, v Preserju pri Borovnici pa geološki profil zgornjetriasnih pasovitih dolomitov, ki zvezno prehajajo v spodnjajurski dolomit in plastovit apnenec z vmesnimi plastmi laminiranega dolomitiranega apnenca. Ugotovil je, da je porazdelitev posameznih elementov v apnencih, dolomitih in dolomitnih apnencih, različna. Najvišje ravni stroncija so v čistih apnencih (90 do 465 ppm, 115 in 260 ppm), nekoliko nižje v zgodnjiadiagenetsko dolomitiziranih apnencih (od 65 do 245 ppm, 65 do 220 ppm), v poznodiagenetskih čistih dolomitih še nižje (40 do 230 ppm). Na splošno je ugotavljal zmanjšanje stroncija od Z proti V, kar je pripisal vplivu diageneze.



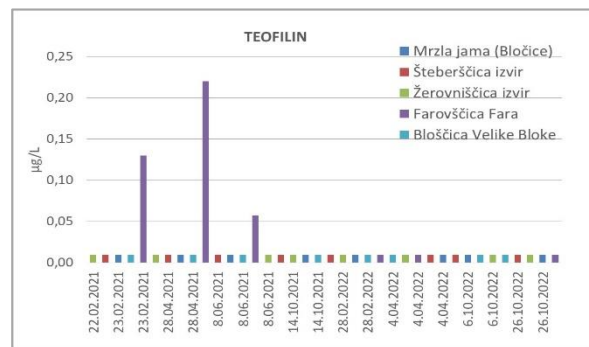
Graf 1: Vrednosti kofeina v podzemni in površinski vodi



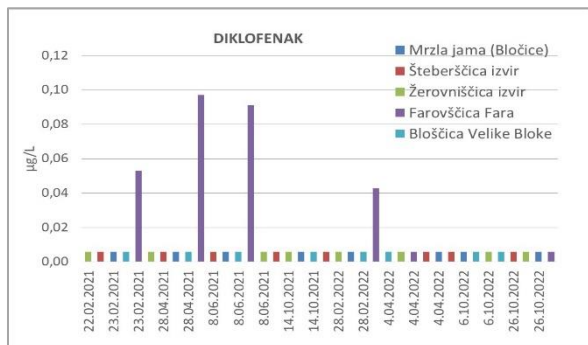
Graf 2: Vrednosti karbamazepina v podzemni in površinski vodi



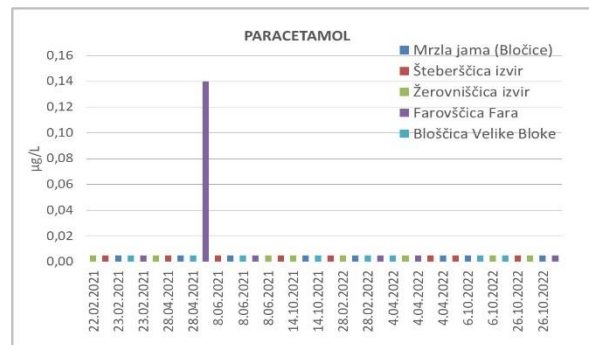
Graf 3: Vrednosti sulfotmetaksazola v podzemni in površinski vodi



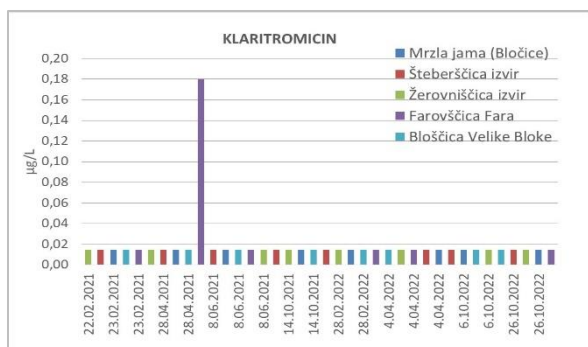
Graf 4: Vrednosti teofilina v podzemni in površinski vodi



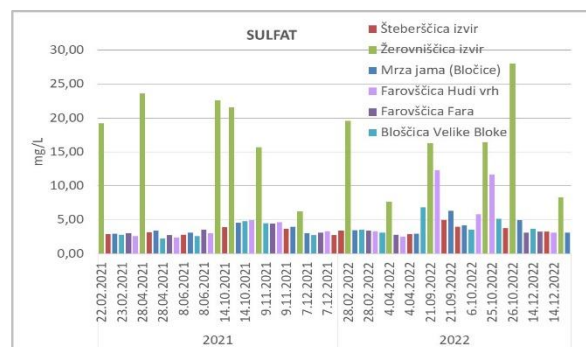
Graf 5: Vrednosti diklofenaka v podzemni in površinski vodi



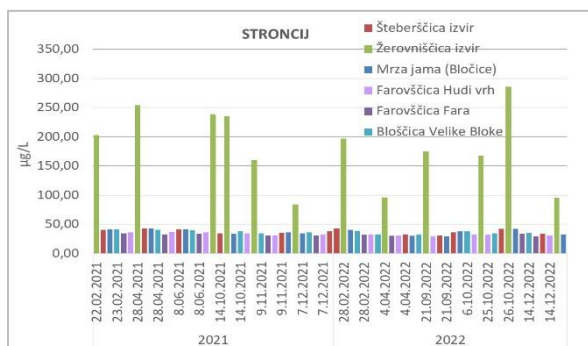
Graf 6: Vrednosti paracetamola v podzemni in površinski vodi



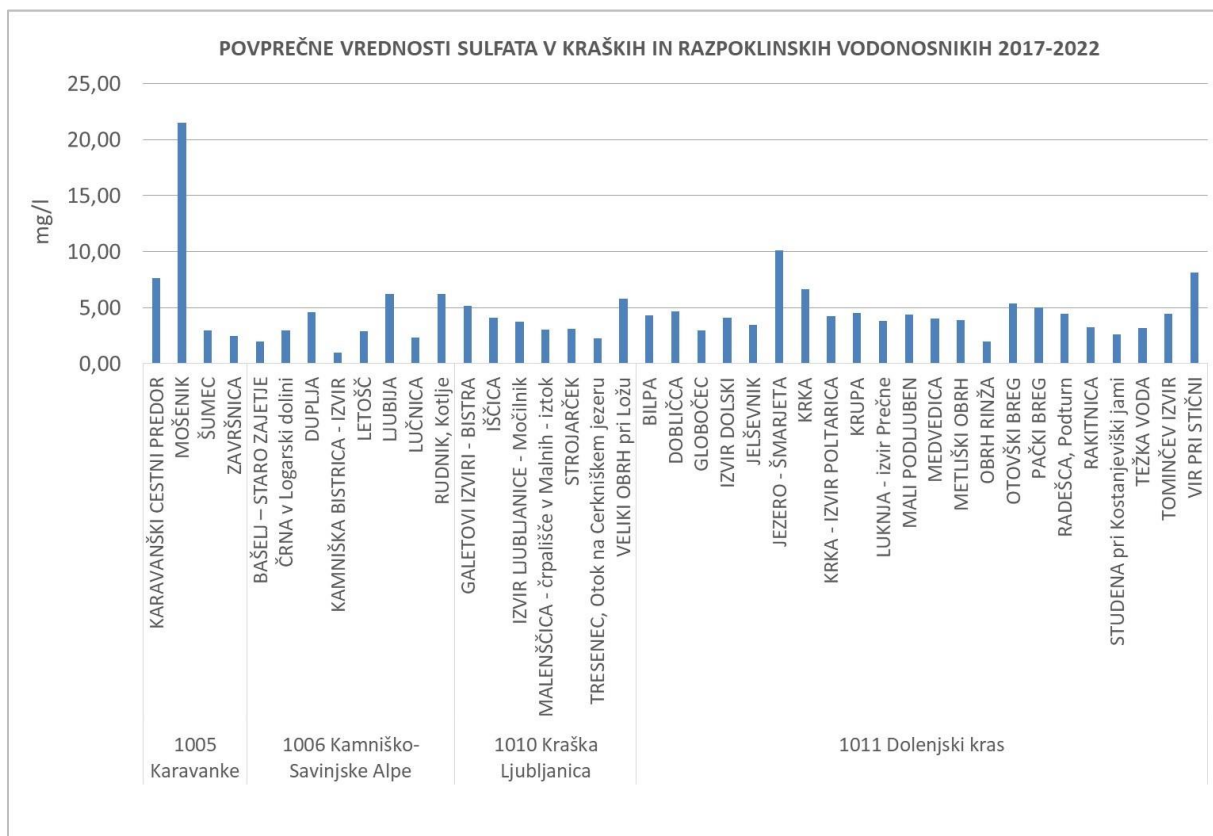
Graf 7: Vrednosti klaritromicina v podzemni in površinski vodi



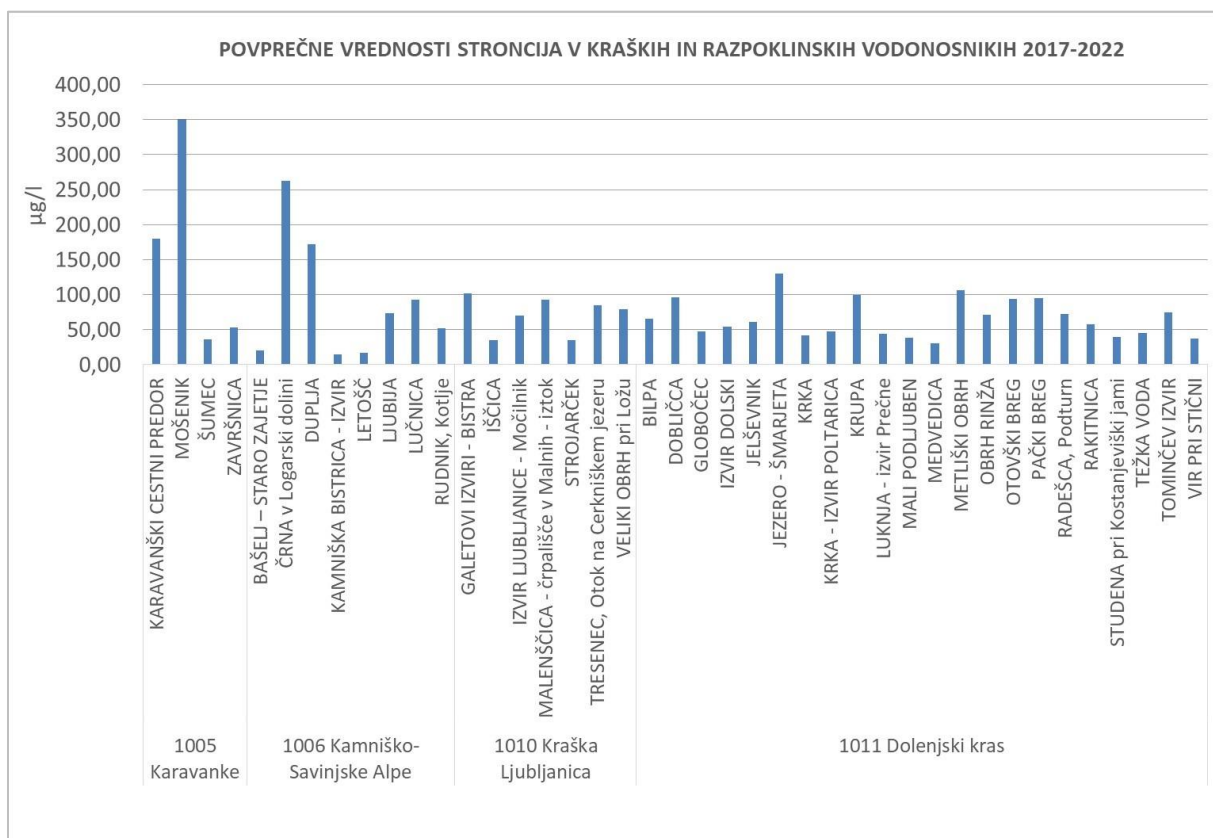
Graf 8: Vrednosti sulfata v podzemni in površinski vodi



Graf 9: Vrednosti stroncija v podzemni in površinski vodi



Graf 10: Sulfat v nekaterih vodonosnikih med leti 2017-2022



Graf 11: Stroncij v nekaterih vodonosnikih med leti 2017-2022

Zaključki in interpretacija rezultatov preiskovalnega monitoringa

Sledovi kofeina in zdravil v vodah so posledica odvajanja neprečiščenih komunalnih odpadnih voda in odpadnih voda iz čistilnih naprav v vplivnem območju merilnih mest. V največji meri se pojavljajo v Farovščici na merilnem mestu Fara, manj v Mrzli jami in v izviru Šteberščica. Vrednosti ostalih onesnaževal so pod mejo določljivosti.

Merilna mesta na ponikalnicah smo razmestili izven vpliva lokacij ponikanja iz čistilnih naprav, z izjemo merilnega mesta v Hudem vrhu (slika 1). Vzorce smo zajemali ob srednjih do nižjih hidroloških stanjih, ko Bloščica ponikne že na Velikih Blokah in ne razliva naprej proti Novi Vasi, Fari in Farovškemu polju. Glede na to lahko sklepamo, da je obremenitev s kofeinom in zdravili, ki smo jih v sledovih zabeležili v Farovščici na merilnem mestu v Fari, posledica izpustov iz čistilne naprave Hudi vrh, ki ponika v ponikovalnico in skozi nezasičeno cono (Čuk, et.al, 2022) proti strugi Farovščice.

Iz ponora Farovščice, v bližini katerega se v ponikovalno polje odvajajo izpusti iz komunalne čistilne naprave v Novi vasi (Mlakar, 2020), je poleg glavne podzemne vodne smeri proti Mrzli jami in Šteberščici, dokazana tudi stranska povezava pretakanja proti Križni jami (slika 1), sicer s počasnejšim tokom in manjšim deležem sledila (tabela 3) (Kogovšek et.al, 2008), vendar je vpliv na naravno vrednoto vsekakor možen. Ker se ponikalnicam na podzemni poti priključi še pomemben delež vode, ki pronica skozi kraško površje (Bole et.al., 2007-2009, Petrič et.al., 2021), je povsem verjetno, da je vpliv točkovnih virov onesnaženja na opazovanih merilnih mestih tudi razredčen in zato višjih koncentracij onesnaževal z raziskovalnim programom, nismo zaznali.

Glede na raztros vrednosti, ki jih za sulfat in stroncij beležimo z državnim monitoringom podzemne vode v kraških in razpoklinskih vodonosnikih (graf 10-11) predvidevamo, da so višje vrednosti (povprečje sulfat - 17,10 mg/L, povprečje stroncij - 182,67 µg/L) v izviru Žerovniščica (tabela 4, graf 8 - 9) spremenljive v mejah naravnega ozadja. Višje vrednosti kažejo na specifično geoloških plasti v napajalnem zaledju izvira, oziroma na raznovrstnost kamninske sestave ter litoloških enot iz katerih se merilna mesta raziskovalnega programa napajajo.

Glede na sledilni poskus iz leta 2007, ko je bila dokazna nekoliko slabša (stranska) povezava med ponorom Farovščice in izviro Žerovniščica (s počasnejšim tokom in manjšim deležem sledila) (slika 1, tabela 3), je verjetno, da merilno mesto bolj odraža vpliv iz ponora Bloščice (Kogovšek et.al, 2008).

Korelacija med stroncijem in sulfatom v izviru Žerovniščica lahko pomeni, da je podzemna voda znotraj napajalnega zaledja na poti proti izviru, v kontaktu s kamnino določene litološke enote v kateri se pojavljata oba elementa. Druga možnost je ta, da je tok podzemne vode na poti proti izviru zajel dve sosednji litološki enoti, ki sta nastajali v paleokolju geološke preteklosti pod podobnimi pogoji. V eni je lahko izvor sulfata, v drugi pa stroncija. Korelacija bi lahko bila v tem primeru posledica podzemnega pretakanja v isti smeri.

Če se na Osnovni geološki karti - OGK, 1:100.000 (Buser et al., 1965, 1970) osredotočimo na napajalno zaledje izvira Žerovniščica v smeri ponora Bloščice opazimo, da jurski apnenici in dolomiti v bližnjem zaledju od jugozahoda proti severovzhodu prehajajo v triasne dolomite. Prevladujejo zgornjetriasni norijsko retijski dolomiti, nekaj manj je spodnjetriasnih skitskih lapornatih apnencev, lapornatih dolomitov s peščenjakom in sljudnatim skrilačcem. V manjšini so srednjetriasni ladinijski zrnati dolomiti z vložki apnenca. Prisotne so tudi zgornje triasne karnijske plasti: argilit, peščenjak, breča, ooliten boksit, tuf, v zgornjem delu dolomit s plastmi laporja. Da v zaledju izvira prevladujejo dolomiti dokazuje tudi razmerje Ca/Mg (okoli 1,4-2,1) (Petrič et.al., 2021).

Po Ogorelcu (Ogorelec 1992, 2009) so najnižje vsebnosti stroncija v dolomitih, kar je posledica diagenoze, ki je zajela apnenca in katere stopnja v regionalnem pogledu od zahoda proti vzhodu, narašča.

Izvor višjih vsebnosti stroncija v izviru Žerovniščica je lahko v organski biogeni komponenti karbonatne kamnine, ki je pozna diageneza še ni zajela. V karbonatnih kamninah se lahko pojavlja celestin (SrSO₄)

kot nadomestni mineral za lupine biogene komponente in kot avtigeni akcesorni mineral v evaporitnih faciesih (Ščavničar 1979).

Po Mezga (2014) so v Sloveniji maksimalne vrednosti sulfata v: kvartarnih naplavinah - 42,10 mg/L, v triasnih karbonatnih kamninah - 35,70 mg/L, v apnencih - 35,70 mg/L, v dolomitih - 21,90 mg/L, v karbonatih s klastiti - 12,60 mg/L, v magmatskih kamninah - 10,70 mg/L, v jurskih karbonatnih kamninah - 6,18 mg/L, v ladinjskih magmatskih kamninah - 5,02 mg/L.

Izvor višjih vsebnosti sulfata in stroncija v izviru Žerovniščica je lahko na podzemni poti do izvira v kateri koli od, v zaledju opisanih, litoloških in litostratigrafskih enot. Glede na maksimalne vrednosti sulfata, ki smo jih z raziskovalnim monitoringom izmerili v izviru (2021 - maksimum 23,6 mg/L, 2022 - maksimum 28,0 mg/L) (graf 8) pa predvidevamo, da je podzemna voda v kontaktu s karbonatno kamnino, ki lokalno vsebuje višje vsebnosti sulfata in stroncija. To so lahko kamnine v katerih vpliva diagenoze še ni ali pa je stopnja diagenoze nižja.

Izvor sulfata v karbonatnih kamninah je lahko v evaporitih - v vodi dobro topnih sulfatnih mineralih (sadra - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, anhidrit - CaSO_4), ki so nastali s kemijskim izločanjem iz naravnih koncentriranih slanih raztopin ob izparevanju in evaporaciji. Z biogeno dejavnostjo bakterij, ki reducirajo sulfate se v nadplimskih močvirskih okoljih ob izločanju karbonatov, lahko izloča tudi pirit (FeS_2) (Tišljar, 2001). Prisotnost sadre kaže na oksidacijske razmere, za razliko od pirita, ki nastaja v značilno redukcijskih okoljih (Jeršak, Marijino steklo, splet).

Na Rakitniško-Bloški planoti je dokazan srednjetriasni do zgornjetriasni ladinjsko-karnijski vulkanizem (Buser et al., 1965). S tem v zvezi je pojav sulfidnih mineralov možen v tudi karnijskih skladih (klastiti, karbonati, boksit), kot tudi v spodnjetriasnih skitskih plasteh (laporni apnenec, laporni dolomit s peščenjakom), na katere karnijske plasti ponekod nalegajo (Buser et al., 1965).

V Farovščici v Hudem vrhu sta bili vzorčeni dve nekaj višji vrednosti sulfata in sicer konec septembra ter konec oktobra (21.9.2022 - 12,30 mg/L in dne 25.10.2022 - 11,70 mg/L). Ker sta pod mejno vrednostjo za zelo dobro ekološko stanje (15 mg/L), sklepamo, da nista posledica človekovega vpliva.

Viri

1. ARSO 2018-2021: [Podatkovna baza sledilnih poskusov](#). Agencija Republike Slovenije za okolje:
2. ARSO 2023 a: [Komunalne čistilne naprave](#). Agencija Republike Slovenije za okolje:
3. ARSO 2023 b: Baza podatkov o kakovosti podzemne vode. Agencija Republike Slovenije za okolje
4. Berner R.A. 1971: Principles of Chemical Sedimentology. Mc Graw-Hill, 240 p., New York
5. Bole M., Druks Gajšek P., Petrič M., Kogovšek J., 2007-2009: Pehotna strelišča kot dejavnik tveganja za okolje s poudarkom na ekološki sanaciji pehotnega strelišča na vojaškem poligonu Poček: Ranljivost vodnih virov na vplivnih območjih pehotnih strelišč. ZRC SAZU, IZRK Postojna, Erico Velenje
6. Buser S., et al., 1965: OGK 1:100.000, Tolmač za list Ribnica, L33-76, Geološki zavod Ljubljana, 60 str., Beograd
7. Buser S., et al., 1970: OGK 1:100.000, Tolmač za list Postojna, L33-77, Geološki zavod Ljubljana, 62 str., Beograd
8. Čuk T., et al., 2022: Poročilo o obratovalnem monitoringu za KČN BČN Hudi vrh za leto 2022, Nigrad d.o.o, Maribor
9. [Enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem](#)
10. Gospodarič R., Habič P., 1976: Underground water tracing. Investigations in Slovenia 1972-1975. Institute Karst Research, 312 p., Ljubljana
11. Hem J. D., 1985: Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 3rd edition. VA Department of the interior, U.S. Geological Survey, Water supply paper 2254: 263 p., Alexandria
12. Hounslow A. W., 1995: Water quality data. Analysis and interpretation. Boca Rato. Lewis Publishers: 397 p., London

13. Jeršak M., : [Marijino steklo](#)
14. Kogovšek J., Prelovšek M., Petrič M., 2008: Underground water flow between Bloke plateau and Cerknica polje and hydrologic function of Križna jama, Slovenia. Podzemni tok med Bloško planoto in Cerkniskim polje in hidrološka funkcija Križne jame. ZRC SAZU, IZRK Postojna, Acta Carsologica, 37/2-3, Postojna
15. Mlakar B., 2020: Hidrogeološko poročilo o vplivu ponikanja prečiščene odpadne vode na vode in tla. Priloga k vlogi za pridobitev okoljevarstvenega soglasja. Geologija d.o.o. Idrija
16. Mencej Z., 1983: Poročilo o hidrogeoloških raziskavah na širšem območju Velikih Blok. Tipkano poročilo, Arhiv GeoZS, 7 str., + priloge, Ljubljana
17. Meze D., 1983: Poplavna področja na Blokah. Flood areas on Bloke. IZCR SAZU, GI Antona Melika, Ljubljana
18. Mezga K., 2014: Natural hydrochemical background and dynamics of groundwater in Slovenia. Dissertation. 226 p., + appendices, Univeristy of Nova Gorica, Nova Gorica
19. Novak D., 1969: O barvanju potoka v Križni jami. Geografski vestnik XLI, Manjši prispevki, 75-79, Ljubljana
20. Ogorelec B., 1992: Mikrofazies, Diagenese und geochemie des dachsteinkalkes und hauptdolomits in süd-west – Slowenien. Mikrofacies, diagenesa in geokemija dachsteinskega apnenca ter glavnega dolomita v jugozahodni Sloveniji. Geologija 35, 81-181, Ljubljana
21. Ogorelec B., 2009: Spodnje jurske plasti v Preserju pri Borovnici. Geologija, 52/2, 193-204, Ljubljana
22. Petrič M., 2018-2021: Podatkovna zbirka rezultatov sledenja toka podzemne vode. ZRC SAZU, IZRK Postojna
23. Petrič M. et.al., 2021: Strokovne podlage za nadgradnjo in pogostitev merilne mreže za spremljanje kemijskega stanja podzemne vode v vplivnem območju točkovnih virov onesnaženja v vodonosnikih s kraško in razpoklinsko poroznostjo – 1010 Kraška Ljubljana in 1011 Dolenjski kras. ZRC SAZU, IZRK Postojna
24. Prelovšek M., 2012: The dynamics of the present-day speleogenetic processes the stream caves of Slovenia. Carsologica 15, ZRC SAZU, IZRK SAZU Postojna
25. Ščavničar B., Ščavničar S., 1979: Autigeni celestin u vapnencima donjeg trijasa i evaporitnim sedimentima permotrijasa u Damaciji. Geološki vjesnik 31, 279-286, Zagreb
26. Tišljar J., 2001: Sedimentologija evaporita i karbonata. Institut za geološka istraživanja - Zagreb, 375 str., Zagreb
27. Todd D. K., Mays L.W., 2005: Groundwater hydrology. 3rd Ed. John Wiley & Sons Inc., U.S.A., 6 p., Hoboken
28. Wedepohl, K. H., 1966: Die geochemie der gewässer. Naturwissenschaften 53, 352-35, Berlin

Nabor slik:

Slika 1: Hidrogeološka karta z lokacijami merilnih mest in čistilnih naprav ter s smermi tokov podzemne vode med Bloško planoto, Loškim poljem in Cerkniskim poljem (Kogovšek et.al, 2008, Petrič, 2018-2021; ARSO, 2018-2021)