



## ANALIZA PROSTORSKE PORAZDELITVE ONESNAŽEVAL ŠIROKEGA SPEKTRA V VODAH LJUBLJANSKE KOTLINE

**asist. INES VIDMAR<sup>1</sup>, prof. dr. MIHAEL BRENČIČ<sup>2</sup>, dr. ANJA TORKAR<sup>3</sup>,  
asist. MATEJA JELOVČAN<sup>4</sup>, mag. BRANKA BRAČIČ ŽELEZNIK<sup>5</sup>,  
mag. PRIMOŽ AUERSPERGER<sup>6</sup>, doc. dr. JURIJ TRONTELJ<sup>7</sup>,  
prof. dr. ROBERT ROŠKAR<sup>8</sup>**

### Povzetek

Vodni krog Ljubljanske kotline je izpostavljen različnim antropogenim pritiskom, saj območje predstavlja najbolj poseljen del Slovenije, kjer sta prisotni tako industrija kot intenzivna kmetijska proizvodnja, poleg tega pa se tu nahaja tudi več urbanih središč.

Tesna povezanost posameznih komponent vodnega kroga kotline, med katerimi so zaledne, površinske in podzemne vode, predstavlja tudi gonilo za širjenje najrazličnejših onesnaževal, ki izvirajo iz raznih človekovih dejavnosti. Med njimi so tudi tiste spojine, ki pripadajo posebni skupini novodobnih ali porajajočih se onesnaževal, ki jim do nedavnega ni bilo posvečene velike pozornosti, med drugim tudi zaradi zmogljivosti kemijskih analitskih metod.

Pojavljanje novodobnih onesnaževal širokega spektra smo raziskali v različnih delih vodnega kroga Ljubljanske kotline in poiskali razloge za njihovo prisotnost. Našli smo razlike v pojavljanju onesnaževal, ki kažejo na prostorske trende, povezane z bližino virov in potovanjem skozi komponente vodnega kroga. Vpliv odvajanja odpadne vode na prisotnost novodobnih onesnaževal v podzemni vodi osrednjega dela Ljubljanske kotline smo preverili s hidrogeološkim modeliranjem z metodo scenarijev. Na podlagi izvedenega raziskovalnega dela v prispevku podajamo tudi premislek o možnostih upravljanja s problematiko novodobnih onesnaževal.

**Ključne besede:** boDEREC-CE, Ljubljanska kotlina, novodobna onesnaževala, porajajoča se onesnaževala, vodni krog.

- 1 Asist. Ines Vidmar, mag. inž. geol., Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
- 2 Prof. dr. Mihael Brenčič, univ. dipl. inž. geol., Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Geološki zavod Slovenije
- 3 Dr. Anja Torkar, univ. dipl. inž. geol., Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
- 4 Asist. Mateja Jelovčan, mag. inž. geol., Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
- 5 Mag. Branka Bračič Železnik, univ. dipl. inž. geol., Javno podjetje VODOVOD KANALIZACIJA SNAGA, d. o. o.
- 6 Mag. Primož Auersperger, univ. dipl. inž. kem., Javno podjetje VODOVOD KANALIZACIJA SNAGA, d. o. o.
- 7 Doc. dr. Jurij Trontelj, mag. farm., Fakulteta za farmacijo, Univerza v Ljubljani
- 8 Prof. dr. Robert Roškar, mag. farm., Fakulteta za farmacijo, Univerza v Ljubljani



## Abstract

Ljubljana Basin water cycle is exposed to diverse anthropogenic pressures since the area presents the most populated part of Slovenia where both industry and intensive agricultural production are present as well as many urban centers.

High interactivity of water cycle components in the basin composed of recharge, surface and groundwater presents a driving force for the spread of many different types of contaminants originating from various human activities. Among them are the compounds belonging to a special group of emerging contaminants or contaminants of emerging concern that have not been given a lot of attention up until recently also due to the chemical analytical methods capabilities.

We researched wide spectrum emerging contaminants in different parts of the Ljubljana Basin water cycle and attempted to find reasons for their presence. We have found differences in the occurrence of contaminants pointing at spatial trends connected to the source proximity and transport path through the water cycle components. We examined the impact of waste water discharge on the presence of emerging contaminants in groundwater of the central part of the basin with hydrogeological modeling using the scenario method. Based on the performed research, we also consider the different possibilities of emerging contaminant management options.

**Keywords:** boDEREC-CE, contaminants of emerging concern, emerging contaminants, Ljubljana Basin, water cycle.

## 1. UVOD

Človeška družba s svojim delovanjem vpliva na spremembe naravnega okolja, ki obsegajo tudi spremembe kemijske sestave vode v različnih delih njenega kroga, od atmosfarske, površinske do podzemne vode. Raziskave sprememb kemijskega stanja teh komponent se izvajajo že dalj časa, tudi v okviru predpisanih rednih monitoringov, katerih izvajanje izhaja iz različnih vrst zakonodajnih določb, manj pozornosti pa je bilo do nedavnega posvečeno porajajočim se ali novodobnim onesnaževalom v vodnem krogu. Eden od glavnih razlogov za to je, da so se analitske tehnike šele nedavno tega razvile do te mere, da omogočajo meritve zelo nizkih koncentracij.

V prispevku obravnavamo pojavljanje novodobnih onesnaževal v vodnem krogu Ljubljanske kotline. Najprej na splošno opisujemo širjenje novodobnih onesnaževal v vodnem krogu, nato pa rezultate raziskav umestimo v prostor Ljubljanske kotline in opišemo mehanizme, ki so lahko privedli do njihovega širjenja, zadrževanja ter pojavljanja na vzorčnih mestih.

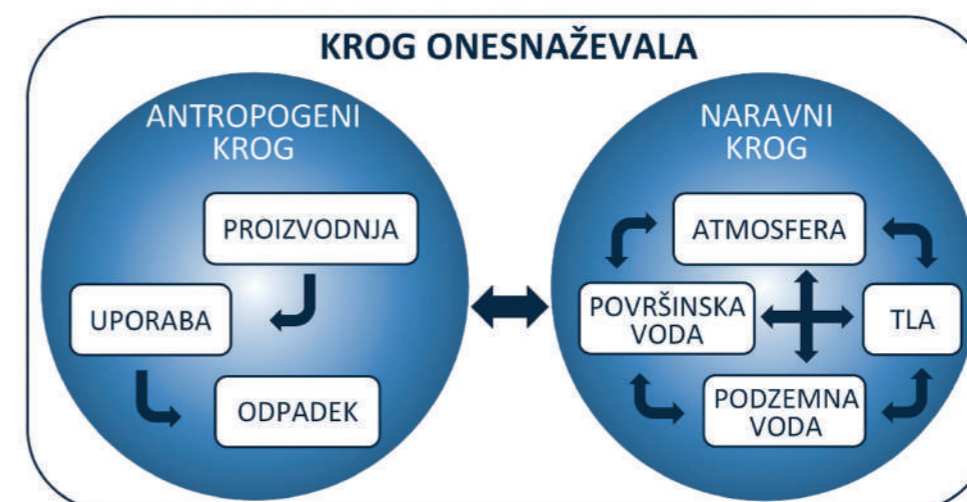
## 2. VODNI KROG NOVODOBNIH ONESNAŽEVAL

Povezanost glavnih komponent vodnega kroga je gonilo širjenja onesnaževal v njem, zato je skorajda neizogibno, da lahko onesnaževala, ki se pojavijo v enem delu vodnega kroga, prej ali slej zasledimo tudi v drugem. Voda je namreč izredno dobro topilo, zato na svoji poti kroženja v naravi raztaplja številne snovi, med katerimi so tudi novodobna onesnaževala.

Izvor novodobnih onesnaževal je praviloma antropogen, od ostalih vrst se razlikujejo po tem, da gre za skupino potencialnih onesnaževal, ki so bila na novo sintetizirana, identificirana, detektirana ali raziskana. Tako lahko mednje prištevamo onesnaževala, ki imajo svoj izvor v industriji, kmetijstvu, infrastrukturnih dejavnostih in vsakdanjem življenju. Vse te dejavnosti kot tudi obstoj sodobnega načina življenja in delovanja družbe so zelo tesno povezani z uporabo različne, skoraj nepreštvene množice najrazličnejših kemikalij.

Primeri novodobnih onesnaževal, ki se jih v povezavi s to skupino najpogosteje omenja, sta zdravilne učinkovine in izdelki za osebno nego. Vsaka od teh skupin vključuje veliko različnih spojin, ki jih vsak od nas skoraj brez premisleka, kje končajo, redno ali občasno uporablja. Čeprav so v določenih situacijah te spojine dobrodošle in celo nujne, pa so spet drugje nezaželene. Nihče od nas si namreč verjetno ne bi želel, da se zdravilne učinkovine iz zdravil, ki jih jemljemo, ko smo bolni, vsak dan pojavljajo tudi v vodi, ki jo pijemo. Koncentracijske meje med škodljivimi in neškodljivimi učinki na vodne in druge organizme se določajo v okviru analiz tveganja, vendar te za mnoga novodobna onesnaževala v ekotoksikoloških bazah še niso znane (NORMAN, 2022).

Krog širjenja ali transporta novodobnih in drugih onesnaževal lahko ločimo na dva podsistema, ki ju shematsko prikazuje slika 1. Prvi od njiju je antropogeni, kjer onesnaževalo nastane, se uporabi in postane odpadki. Ta krog večinoma poteka na površini, v okoljih ter objektih, ki jih je ustvaril in kjer deluje človek, prav tako pa tudi v njegovem telesu ali telesih ostalih živali. V podsistem naravnega kroga pa uvrščamo širjenje v naravnih sistemih, atmosferi, tleh, površinski in podzemni vodi. Prav na slednji naravni krog se osredotočamo v tem prispevku.



**Slika 1:** Antropogeni in naravni podsistem kroga onesnaževala.

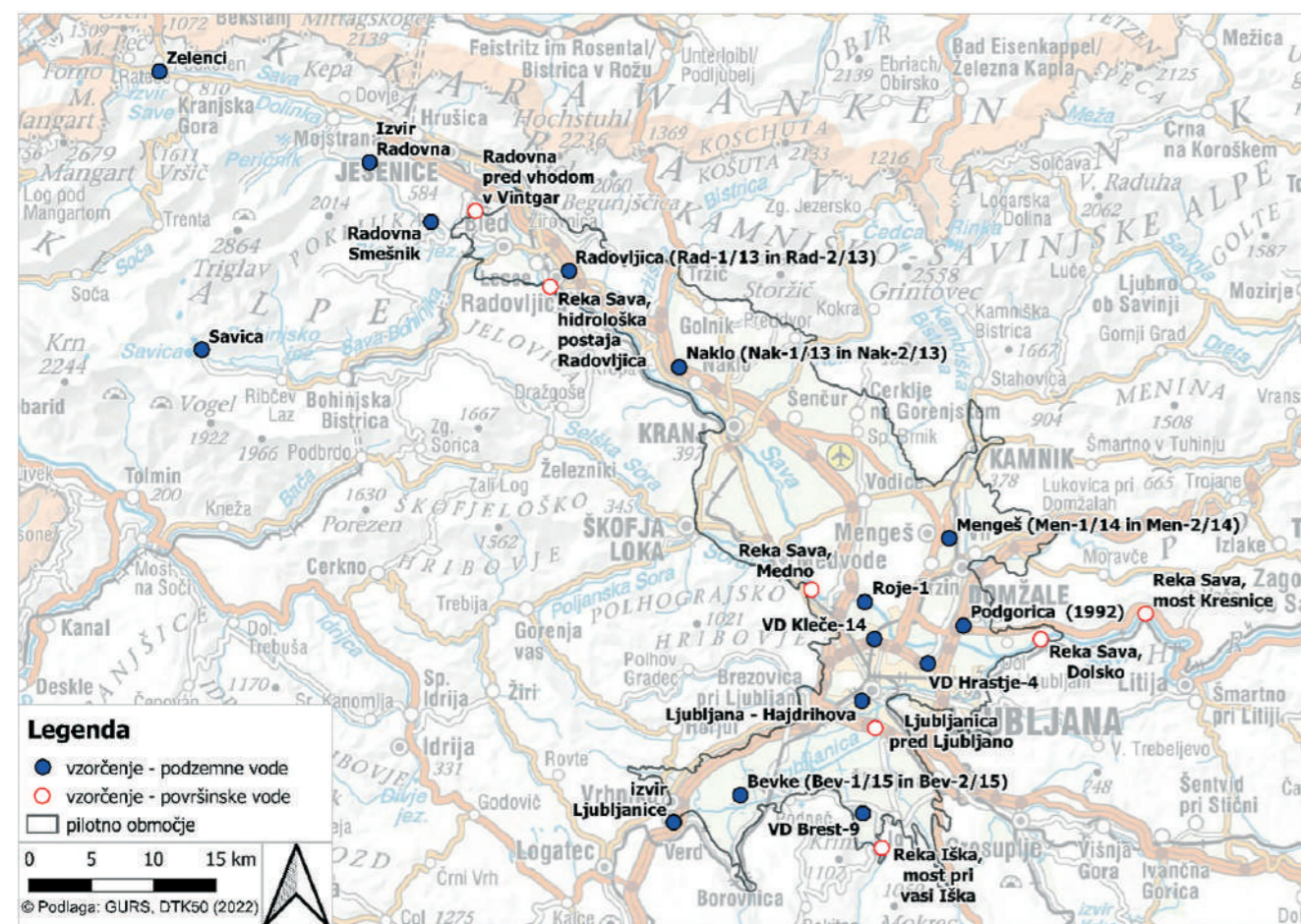
Vir: Brenčič et al., 2022.



### 3. NOVODOBNA ONESNAŽEVALA V LJUBLJANSKI KOTLINI

Najprej bomo v nadaljevanju na primerih izmerjenih koncentracij novodobnih onesnaževal v različnih delih Ljubljanske kotline prikazali, kako različne naravne razmere in antropogeni pritiski vplivajo na pojavljanje različnih spojin v okolju, kako jih lahko razložimo, ne nazadnje tudi, kako nam poznavanje opisanega lahko pomaga pri načrtovanju ukrepov za upravljanje z njimi.

Novodobna onesnaževala smo na območju Ljubljanske kotline raziskovali v širokem spektru kot tudi na območju, ki je relativno obsežno (Brenčič et al., 2022). V dveh delih zastavljeno vzorčenje nam je podalo razpon prisotnih onesnaževal (pasivno vzorčenje) in tudi številsko opredeljene koncentracije onesnaževal (aktivno vzorčenje). Vzorčna mesta so obsegala odpadne, površinske, podzemne in pitne vode. Slika 2 prikazuje prostorski raspored vzorčnih mest, ki so bila vključena v preiskavo. Med njimi so merska mesta na prispevnih vodah v izviroh ali vodotokih na obrobju, preden vstopijo v vodno telo Ljubljanske kotline, merska mesta na dveh površinskih vodah Save in Ljubljanice, ki zastopata komponento vodnega kroga na površini, ter merska mesta na podzemnih vodah kotline, vzorčenih na lokacijah piezometrov in vodnjakov. Dodatni merski mesti sta bili tudi na vtoku in iztoku iz čistilne naprave.



**Slika 2:** Vzorčna mesta za analizo novodobnih onesnaževal v Ljubljanski kotlini.

Vir: Brenčič et al., 2022.

### 3.1 Odvajanje odpadne vode

Kanalizacija in ostali sistemi za odvajanje in zbiranje odpadne vode se štejejo kot glavni viri novodobnih onesnaževal. Prav slednja se v kanalizaciji na iztoku iz čistilne naprave povečini pojavljajo v nižjih koncentracijah kot v neprečiščeni odpadni vodi na vtoku v čistilno napravo, k čemur pripomore čiščenje z različnimi postopki.

Za ugotavljanje, kakšna je možnost odstranjevanja teh onesnaževal s trenutnimi tehnologijami čiščenja, lahko izračunamo razliko med obremenjenostjo vtoka in iztoka vode iz čistilnih naprav, ki jo izražamo z učinkovitostjo čiščenja.

Na podlagi enkratnega vzorčenja, ki je bilo izvedeno 6. julija 2021, smo analizirali učinkovitost čiščenja čistilne naprave v Ljubljani za deset novodobnih onesnaževal. Štiri spojine so nakazale na visoko stopnjo čiščenja (paracetamol, 1,7-dimetilksantin, kofein in naproksen), saj jih na iztoku ni bilo zaznati ali pa so bile izmerjene v zelo nizkih koncentracijah. Tri spojine so pokazale na nekoliko nižjo stopnjo čiščenja (sulfametoksazol, 4-OH-diklofenak in diklofenak), ki znaša od 40 do 60 %. Pri treh ostalih spojinah pa učinka čiščenja ni bilo opaziti ali pa je bil ta celo negativen (lorazepam, verapamil, karbamazepin), kar pomeni, da je bila njihova koncentracija na iztoku enaka ali višja kot na vtoku.

### 3.2 Napajalna zaledja vodnih teles

Novodobna onesnaževala so bolj značilna za osrednje dele vodnih teles kot za njihova obrobja ali napajalna zaledja. K temu prispevata dejstva, da so antropogeni pritiski višji v nižjih ravninskih predelih ter da voda na vse daljši poti raztaplja vse več snovi. Če pa so vode v zaledju izpostavljene onesnaženju, še preden napajajo obravnavano vodno telo, so učinki onesnaževal lahko tudi multiplikativni.

V sklopu raziskav so bile opravljene tudi meritve koncentracij novodobnih onesnaževal na izviroh na obrobju Ljubljanske kotline. Kot primer lahko podamo rezultate s Save in Radovne. Analiza je bila opravljena na vzorcih, odvzetih na izvirov Zelenci in vzorčnem mestu v Radovljici za reko Savo, za Radovno pa na njenem izvirov in vzorčnem mestu pred Vintgarjem. Vsi vzorci so bili odvzeti 24. maja 2021.

Kvantitativna primerjava med zaledno vodo in vodo v vodnem telesu je bila možna, če so bile izmerjene koncentracije na obeh merskih mestih posameznega vodnega telesa nad mejo določljivosti (LOD). V primeru petih spojin (4-OH-diklofenak, diklofenak, paracetamol, sulfametoksazol in triklosan) so bile koncentracije pod mejo določljivosti na obeh merskih mestih, dodatno pa še v Radovni za karbamazepin. Za preostalih pet spojin (1,7-dimetilksantin, karbamazepin v Radovni, kofein, naproksen in verapamil) so bile koncentracije vedno višje ali enake na dolvodni lokaciji v primerjavi z izvirov.

Nekatere spojine med novodobnimi onesnaževali so prisotne že na vstopu v vodna telesa, saj je vpliv človekovih dejavnosti, četudi v manjši meri, prisoten tudi v manj poseljenih območjih, ki po navadi predstavljajo zaledja večjih vodnih teles. Raziskave pojavljanja onesnaževal mo-



rajo tako vključevati tudi hidrološke in hidrogeološke raziskave za opredeljevanje prispevnih količin, poti in smeri toka vode ter analize rabe prostora, ki segajo tudi v napajalna zaledja vodnih teles.

### 3.3 Vpliv urbanih središč

Pričakovati je, da bo prisotnost novodobnih onesnaževal značilnejša za območja dolvodno od večjih urbanih središč kot za območja gorvodno od njih, saj večja mesta predstavljajo koncentracijo več raznolikih virov onesnaževanja. Vpliv največjega mesta v Ljubljanski kotlini smo preverili s primerjavo lokacije na reki Savi v Mednem, ki se nahaja gorvodno od prestolnice, z lokacijama reke Save v Dolskem in Kresnicah, ki se nahajata dolvodno od Ljubljane. Tabela 1 podaja število različnih spojin, ki so bile zaznane na obeh mestih.

**Tabela 1:** Število zaznanih spojin gorvodno in dolvodno od Ljubljane med pasivnim vzorčenjem.

Mesto vzorčenja	Št. spojin	Časovni interval vzorčenja	Št. dni vzorčenja
Sava v Mednem	47	15. 11. 2019–14. 5. 2020	181
	82	22. 10. 2020–19. 2. 2021	120
Sava v Kresnicah	133	22. 1. 2021–22. 4. 2021	90

Vir: Brenčič et al., 2022.

Število zaznanih spojin med pasivnim vzorčenjem je bilo nižje na lokaciji Sava pred Ljubljano v Mednem kot dolvodno od Ljubljane v Kresnicah, kar nakazuje na vpliv pritoka Ljubljanice, ki leži med obema lokacijama in teče neposredno skozi središče mesta Ljubljane, vanjo pa je odvajana tudi prečiščena odpadna voda iz centralne čistilne naprave.

Med oktobrom 2019 in junijem 2021 je bilo med več kampanjami aktivnega vzorčenja identificirano skupno 16 spojin, kjer je bilo 68 kvantifikacij opravljenih hkrati na lokaciji v Mednem pred Ljubljano in dolvodni lokaciji v Dolskem. Koncentracije spojin so bile v 51 primerih na dolvodni višje kot na gorvodni lokaciji, kar potrjuje nakazani trend, kljub temu pa je bilo v četrtini primerov opaziti tudi višje koncentracije na gorvodni lokaciji. To lahko med drugim odraža različne razmere v različnih časovnih obdobjih, prisotnosti občasnih, lokaliziranih virov onesnaževanja in tudi različne transportne lastnosti onesnaževal.

### 3.4 Površinska in podzemna voda

Novodobna onesnaževala so bolj prisotna v površinskih kot podzemnih vodah, saj so prve bližje virom onesnaževanja, hkrati pa imajo nižjo samočistilno sposobnost kot podzemne vode, vzrok za to so daljši zadrževalni časi in številni procesi, ki vplivajo na usodo onesnaževal v vodonosniku (sorpcija, disperzija in degradacija).

Na vseh površinskih merskih lokacijah, razporejenih po območju Ljubljanske kotline, je bila med pasivnim vzorčenjem detektirana prisotnost skupno 42 več različnih spojin kot v primeru vseh merskih lokacij podzemnih voda. Za novodobna onesnaževala v površinskih vodah Lju-

bljanske kotline je značilno, da se pojavljajo v širšem spektru in tudi v višjih koncentracijah kot v podzemnih vodah kotline (Brenčič et al., 2021).

S primerjavo vsebnosti novodobnih onesnaževal v podzemni vodi v Klečah in reko Savo v Mednem, ki v bližini tega območja napaja podzemno vodo Ljubljanskega polja, lahko vidimo povezanost obeh komponent vodnega kroga, a hkrati različnost v zadrževanju novodobnih onesnaževal. V reki je bilo oktobra 2019 zaznanih 14 onesnaževal iz merjenega nabora, v vodnjaku pa le dve, njuni koncentraciji pa sta bili za 25 % oz. 28 % nižji kot v reki.

Pojavljanje novodobnih onesnaževal je tudi bolj značilno za plitve kot za globoke podzemne vode. Na merskih mestih, kjer smo razpolagali s piezometrijskimi pari globljih in plitvih vrtin, je bilo v vseh treh primerih njihovo število večje v plitvejših in manjše v globljih vrtinah para. Rezultate prikazuje tabela 2.

**Tabela 2:** Število novodobnih onesnaževal, zaznanih v plitvi in globoki podzemni vodi piezometrijskih parov.

Lokacija vzorčenja	Št. spojin v plitvi podzemni vodi	Časovni interval vzorčenja v plitvi podzemni vodi	Št. spojin v globoki podzemni vodi	Časovni interval vzorčenja v globoki podzemni vodi
Radovljica	41	6. 12. 2019–29. 5. 2020	22	15. 11. 2019–14. 5. 2020
Naklo	38	6. 12. 2019–29. 5. 2020	30	15. 11. 2019–29. 5. 2020
Mengeš	40	29. 5. 2020–11. 6. 2020	28	29. 5. 2020–2. 7. 2020

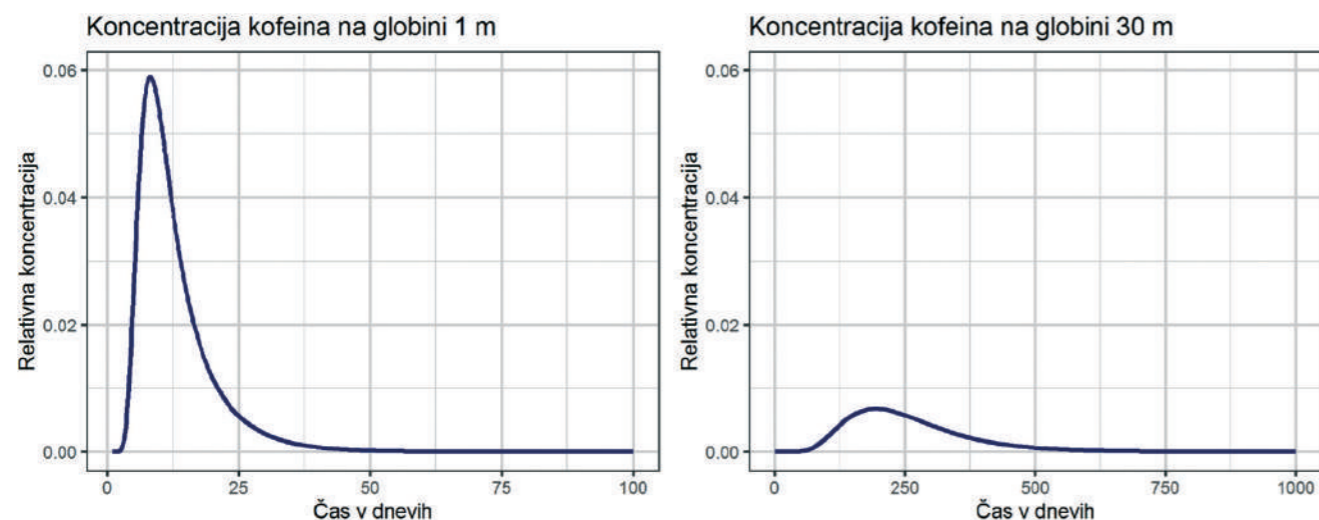
Vir: Brenčič et al., 2022.

### 3.5 Transportno modeliranje

Z namenom ugotavljanja, kako onesnaževala potujejo skozi vodni krog prek odpadne vode v kanalizaciji do lokacij podzemne vode na vzorčnih mestih, smo opravili simulacije transporta novodobnih onesnaževal po profilu nezasičenega območja vodonosnika različnih debelin kot tudi v njegovem zasičenem območju.

Modelirali smo transport treh novodobnih onesnaževal z znanimi transportnimi lastnostmi v podzemni vodi Ljubljanskega polja, ki izvirajo na lokacijah kanalizacijskega omrežja, kjer zaradi poškodb ali dotrajanosti lahko prihaja do puščanja. Na ta način se vzpostavi nova pot onesnaževal v vodnem krogu neposredno v podzemno vodo.

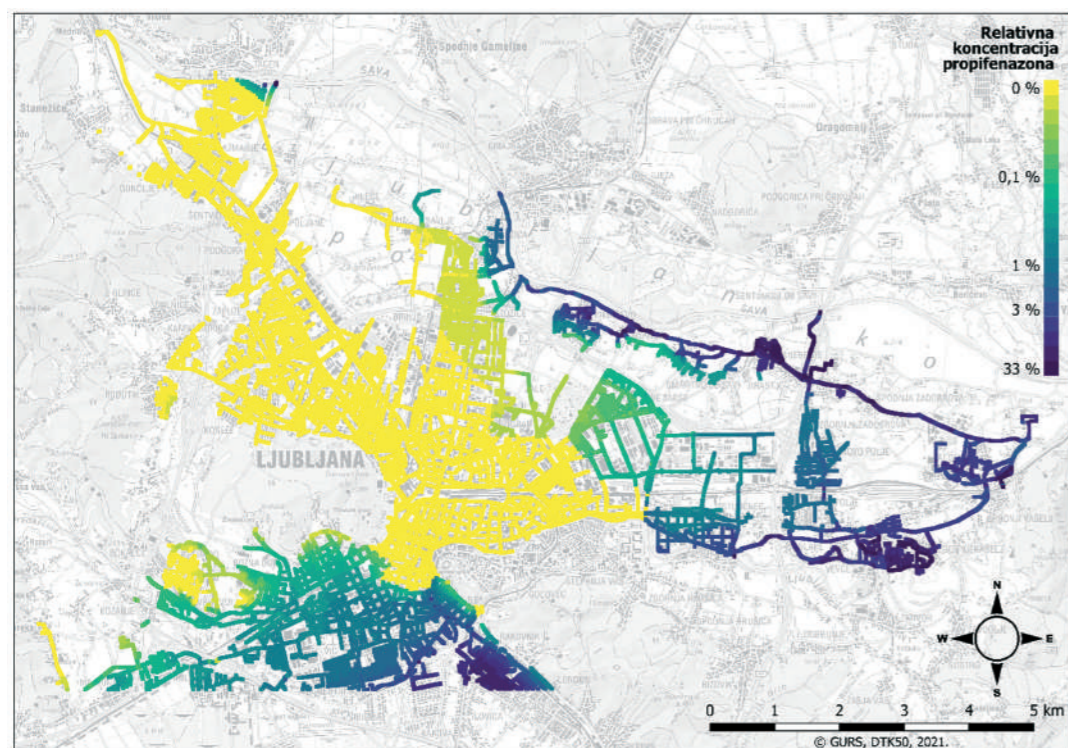
Za izračun transporta onesnaževal smo uporabljali adveksijsko disperzijsko enačbo ob upoštevanju sorpcije in razpada prvega reda. Slika 3 prikazuje rezultata simulacij potovanja kofeina v nezasičenem območju debeline 1 m in 30 m.



**Slika 3:** Trajanje in koncentracija omejenega onesnaženja v dveh debelinah nezasičenega območja.

Vir: Brenčič et al., 2022.

Na višji točki, blizu površja, koncentracije dosežejo višje vrednosti kot v spodnjem delu, hkrati pa je v spodnjem delu trajanje oblaka onesnaženja daljše kot zgoraj. Na sliki 4 je prikazan rezultat transportnega modeliranja za celotno kanalizacijsko omrežje na Ljubljanskem polju. Koncentracije propifenazona so prikazane na stiku nezasičenega in zasičenega območja 200 dni po začetku manjšega puščanja kanalizacije kot relativne vrednosti, ki predstavljajo zmanjšanje glede na prvotno koncentracijo na vnosu in upoštevajo debelino nezasičenega območja na posamezni lokaciji.



**Slika 4:** Karta relativnih simuliranih koncentracij propifenazona pod kanalizacijskim omrežjem.

Vir: Brenčič et al., 2022.

Najvišje koncentracije so na lokacijah, ki imajo najmanjšo debelino nezasičenega območja in so praviloma na bregovih Save. Najmanjše pa so v osrednjem delu polja, kjer leži gladina podzemne vode najgloblje, prisotnih pa je tudi več glinastih plasti, ki širjenje onesnaževal še dodatno upočasnijo. Podobne preseke stanja bi lahko izdelali tudi za preostale od začetka puščanja, ki bi se razlikovali po vrednostih relativne koncentracije, za vse pa bi bila značilna podobna porazdelitev, kot je prikazana zgoraj.

Z modeliranjem v zasičenem območju smo na podlagi vzpostavljenega hidrogeološkega modela toka podzemne vode v napajalnih zaledjih izbranih vzorčnih točk podzemne vode simulirali povratno pot onesnaževal za izračun začetnih koncentracij v kanalizaciji. Pri tem smo uporabili scenarijski pristop k modeliranju, kjer smo v odsotnosti realnih meritev predpostavili več različnih situacij puščanja.

Transportni modeli predstavljajo dobrodošlo orodje pri določanju razsežnosti vpliva onesnaževanja, saj nam pomagajo razložiti masno bilanco onesnaževal s prostorsko in časovno komponento, ki lahko obsegata območja in časovne intervale, ki niso bili zajeti z vzorčenjem, a za zanesljive izračune zahtevajo obsežen niz terenskih podatkov.

Transportno modeliranje se je na primeru novodobnih onesnaževal izkazalo za težavno zaradi več dejavnikov. Prvič zaradi širokega nabora zaznanih spojin, ki smo ga za simulacije zožili na spojine, ki so bile indikativne za vir onesnaževanja in v njem najbolj prisotne, dodaten dejavnik pa sta tudi razpolaganje s transportnimi lastnostmi onesnaževal in fizikalno-kemijskimi lastnostmi vodonosnika ter dostopnost podatkov koncentracij za kalibracijo in verifikacijo modela.

#### 4. MOŽNOSTI ZA UPRAVLJANJE Z NOVODOBNIMI ONESNAŽEVALI

Novodobna onesnaževala, kot so farmacevtske učinkovine, izdelki za osebno nego, industrijske kemikalije in kmetijska sredstva, so podobno kot drugje po svetu, kjer človek posega v prostor, pričakovano prisotna tudi v vodnem krogu Ljubljanske kotline, kar je bilo prikazano tudi že v več preteklih raziskavah (Jamnik et al., 2009; Česen et al., 2019). Na podlagi tega dejstva in kompleksnosti njihovega pojavljanja je treba pristopiti k razmišljanju, kako njihovo prisotnost bolje razumeti, spremljati, komunicirati v javnosti ter jo na odločevalski ravni vključiti v načrte upravljanja z vodami.

V osnovnem mehanizmu za gospodarjenje z vodami v Evropski uniji, Okvirni direktivi o vodah, je bil že storjen prvi korak za upravljanje z novodobnimi onesnaževali. Sezname prednostnih snovi, prednostnih nevarnih snovi in nadzorni sezname predstavljajo osnovo za spremljanje stanja ter podlago za odločanje o sanacijah, napori za učinkovito soočanje s to perečo problematiko pa se ne smejo končati tu.

Kemizacija okolja je neizogibni problem trenutnega načina sodobnega življenja. Vodni krog nas oskrbuje z esencialno dobrino za naše življenje – vodo, a njena vseprisotnost predstavlja tudi dober medij za transport potencialnih onesnaževal. Zato morajo biti tudi ukrepi za upravljanje problematike prisotnosti novodobnih onesnaževal v vodnem okolju taki, ki so integralni



in zajemajo vse komponente življenjske poti novodobnih onesnaževal, od njihove proizvodnje, uporabe pa vse do njihovega vstopa in potovanja v naravnem okolju.

Čeprav smo v pričujočem prispevku poskusili razložiti nekatere od najbolj opaznih prostorskih trendov z uporabo zakonitosti, ki izhajajo iz interakcije med različnimi komponentami vodnega kroga in novodobnih onesnaževal, so iz rezultatov vzorčenja razvidna tudi odstopanja od teh razlag in trendov. Relativno nizke koncentracije, ki so bile izmerjene na vzorcih naravnih voda iz Ljubljanske kotline z izmerjenimi vrednostmi do 100 ng/l, s sabo nosijo tudi delež merilne negotovosti. Ta deloma izhaja iz analitskih metod za določanje koncentracije v vzorcih, deloma pa je povezan s prostorom in časom, v katerem je vzorec odvzet.

Eden od ukrepov za upravljanje s problemom novodobnih onesnaževal mora zatorej posegati tudi na področje nadaljnjih raziskav problematike, ki upoštevajo lastnosti prostora, v katerem se preučuje. Te se začnejo že z izborom ciljanih, indikativnih spojin, določanjem njihovih transportnih lastnosti ter transportnim modeliranjem in analizami tveganja, za obvladovanje pa so trenutno na voljo postopki, ki izhajajo iz naravnih zadrževalnih sposobnosti okolja, ali tehnične rešitve odstranjevanja iz vode (Lukač Reberski et al., 2022).

## 5. ZAKLJUČEK

Ker so nekatere od spojin, ki jih opredeljujemo kot novodobna onesnaževala, neločljivo povezane z načinom in delovanjem človeške družbe v današnji dobi, je nerealno pričakovati, da bi jih lahko brez takojšnjih drastičnih dejanj popolnoma odstranili iz okolja, lahko pa z ustreznimi ukrepi zmanjšamo njihove vplive na okolje. Prej ko bomo v vodnem krogu prekinili njihovo življenjsko pot, manj napora in sredstev bo treba vložiti v to, da jih odstranimo iz preostalih delov vodnega kroga.

## Zahvala

Rezultati so nastali v okviru mednarodnega Interreg projekta boDEREC-CE (Board for detection and assessment of pharmaceutical drug residues in drinking water – capacity building for water management in Central Europe), v katerem je sodelovalo 12 projektnih partnerjev iz 7 srednjeevropskih držav.

## LITERATURA IN VIRI

1. Brenčič, M., Torkar, A., Vidmar, I., Jelovčan, M., Bračič-Železnik, B., Auersperger, P., Trontelj, J. in Roškar, R., 2021. Novodobna onesnaževala v vodnem okolju – izzivi za bodoče upravljanje z vodnimi viri. V: Zbornik / 32. Mišičev vodarski dan: 2. december 2021, Maribor. Maribor: Vodnogospodarski biro, Ptuj: Drava Vodnogospodarsko podjetje. Str. 297–304.
2. Brenčič, M., Vidmar, I., Jelovčan, M., Torkar, A., Bračič-Železnik, B., Trontelj, J., Roškar, R. in Auersperger, P., 2022. Novodobna onesnaževala v vodah Ljubljanske kotline: izzivi za bodoče upravljanje z vodnimi viri. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta, Javno podjetje Vodovod, kanalizacija, snaga.
3. Česen, M., Ahel, M., Terzić, S., Heath, D. J. in Heath, E., 2019. The occurrence of contaminants of emerging concern in Slovenian and Croatian wastewaters and receiving Sava river. *Science of the Total Environment*, 2019, 650, 2446–2453.

4. Jamnik, B., Auersperger, P., Urbanc, J., Lah, K. in Prestor, J., 2009. Ostanki zdravil kot pokazatelj antropogenih vplivov na podzemno vodo Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja. *Geologija*, 2009, 52, 2, 241–248.
5. Koroša, A., Brenčič, M. in Mali, N., 2020. Estimating the transport parameters of propyphenazone, caffeine and carbamazepine by means of a tracer experiment in a coarse-gravel unsaturated zone. *Water Research*, 2020, 175, 115680.
6. Lukač Reberski, J., Selak, A. in Vrčec, V., 2022. Attenuation of emerging contaminants for water supply purposes (natural attenuation and technical removals). V: Lukač Reberski, J. (ur.), Selak, A. (ur.). Monograph of the boDEREC-CE project: "Board for Detection and Assessment of Pharmaceutical Drug Residues in Drinking Water – Capacity Building for Water Management in CE". Zagreb: Hrvatski geološki institut. 6. poglavje.
7. McGrath, S., Ratej, J., Jovičić, V. in Čenčur Curk, B., 2015. Hydraulic characteristics of alluvial gravels for different particle sizes and pressure heads. *Vadose Zone Journal*, 2015, 14, 3, 1–18.
8. Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances (NORMAN), *Ecotoxicology Database*, 2022. Dostopno na: <https://www.norman-network.com/nds/ecotox/> [2. 8. 2022].