



SLOVENSKO DRUŠTVO  
ZA ZAŠČITO VODA

Simpozij z mednarodno udeležbo

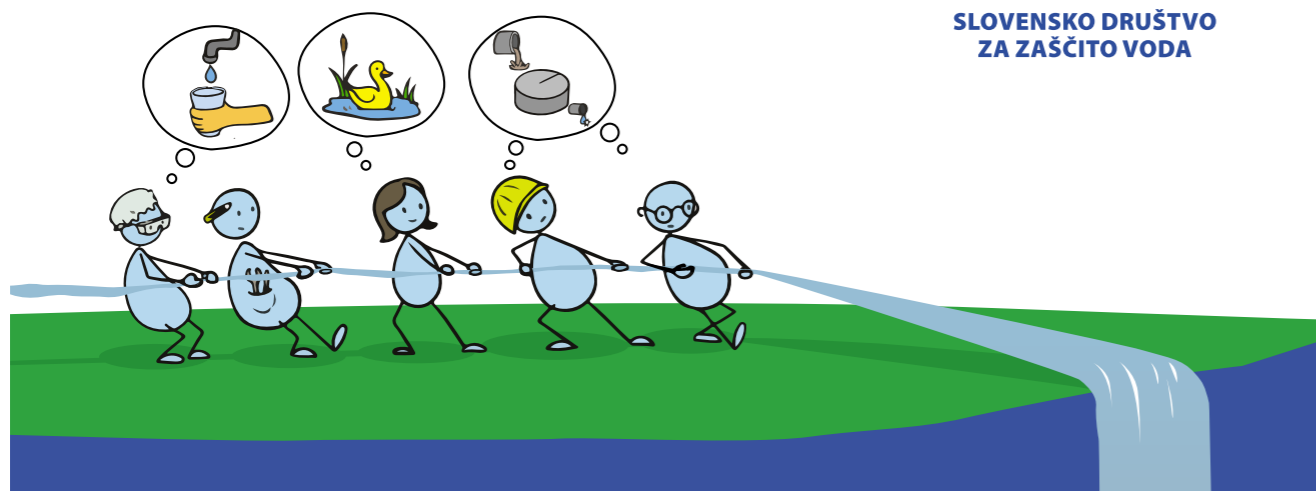
# VODNI DNEVI 2022

ZBORNİK REFERATOV



**13.–14. oktober 2022**

**Rimske Toplice, Kongresni center Rimske terme**



## Voda je naša skupna odgovornost. Zaščitimo jo!

Od leta 1991

- povezuјemo,
- izobražujemo in
- ozaveščamo.

Vabljeni, da se nam pridružite!

Slovensko društvo za zaščito voda  
Hajdrihova ulica 19, 1000 Ljubljana  
[www.sdzv-drustvo.si](http://www.sdzv-drustvo.si)  
[sdzv@sdzv-drustvo.si](mailto:sdzv@sdzv-drustvo.si)

## UVODNA BESEDA PREDSEDNICE SLOVENSKEGA DRUŠTVA ZA ZAŠČITO VODA

Spoštovani.

Podnebne spremembe so največji izziv našega časa. Obdobje z manjšo količino padavin, kot je povprečje preteklih let, se je iz lanskega jesenskega obdobja nadaljevalo v letošnjo pomlad in poletje. Padavine so vir pitne vode, z upadanjem količine padavin pa se znižujejo tudi gladine podzemnih voda plitvih peščeno-prodnih vodonosnikov kot tudi pretoki izvirov ter vodotokov. Upadajo viri vode za namakanje kmetijskih površin, tehnoloških voda in vode za pridobivanje električne energije, ob tem pa se spreminjajo življenjski pogoji številnih rastlinskih in živalskih vrst.

Mnogi upravljavci vodovodov omejujejo rabo vode in pozivajo uporabnike k njeni varčni porabi, pri čemer kmetje nemočno opazujejo propad kmetijskih pridelkov, saj so zaloge vode v tleh pošle, površinski vodni ekosistemi in biodiverziteteta pa so pod stresom. Celotno naravno okolje se spreminja in sprašujemo se, koliko k neželenim spremembam prispeva človeštvo. Svetovne projekcije nakazujejo, da bodo temperaturni ekstremi in daljša sušna obdobja tudi v Evropi stalnica. Kaj je treba storiti, praviloma vemo, a je malo verjetno, da se bo človeštvo sposobno dogovoriti o učinkovitih ukrepih, ki bi zmanjšali vplive na našem planetu na še sprejemljivo raven. Letošnje vroče poletje lahko že nakazuje na pomanjkanje vode, na katero se bo treba hitro in organizirano pripraviti tudi pri nas, navkljub trditvam, da je Slovenija vodnata dežela. Vodni dnevi so dogodek, namenjen tudi razpravi o tovrstnih izzivih.

Simpozij Vodni dnevi 2022 nosi naslov letošnjega svetovnega dneva voda, ki je potekal pod sloganom »Voda – skrito naj postane vidno«, ki nas bo v okviru predstavitev, okroglih miz in svetovne kavarne o vodi povezoval oba delovna dneva simpozija. V program smo vključili celostno področje upravljanja z vodami, vodnih virov in priprave pitne vode, odvajanja in čiščenja odpadne vode ter družbeni, politični in ekonomski vidik vode. Na simpoziju bomo ozavestili globalno in lokalno razumevanje vode, njeno pravo vrednost ter njen pomen na ekonomski, politični in mednarodni ravni. Razkrili bomo vire skritih onesnaževal v odpadnih vodah, njihov vpliv na vodna okolja in pitno vodo ter predstavili učinkovite ukrepe za preprečevanje urbanih poplav. Učili se bomo na izkušnjah ob uvedbi standardov pri upravljanju vodovodnih sistemov in ukrepih v času okoljske nesreče ter razmišljali o vplivih družbe na količinsko stanje podzemnih voda in širjenje onesnaževal.

Kot zadnja generacija imamo možnost za pravočasno ukrepanje, da zaščitimo vodo za prihodnje generacije. Odzvati se moramo hitro in smelo. Samo skupaj in interdisciplinarno bomo pri vse večjih okoljskih in družbenoekonomskih pritiskih našli najboljše rešitve. Zato hvala vsem, ki ste se nam na Vodnih dnevih pridružili osebno ali prek spleta in k temu dejavno prispevali.

Dr. Marjetka Levstek,  
predsednica SDZV



## KAZALO

- 3 **UVOD**  
dr. Marjetka Levstek
- 9 **SKRITO NAJ POSTANE VIDNO – O GLOBALNEM IN LOKALNEM RAZUMEVANJU PODZEMNIH VOD**  
prof. dr. Mihael Brenčič
- 21 **VREDNOST VODE – ČE JE SKRITA, BO PREZRTA**  
mag. Stanka Cerkvnik
- 37 **VODA – NEVIDNI FENOMEN V POLITIČNI MISLI**  
izr. prof. dr. Andrej A. Lukšič
- 49 **SPREGLEDAN MEDNARODNOPRAVNI VIDIK UREDITVE POSEGOV V VODE IN VODNA OKOLJA PRI NJIHOVEM IZVAJANJU**  
prof. dr. Vasilka Sancin, Urška Stopar
- 63 **VPLIV DRUŽBE NA KOLIČINSKO STANJE PODZEMNE VODE V SLOVENIJI**  
dr. Peter Frantar, dr. Mišo Andjelov, dr. Urška Pavlič, dr. Petra Souvent, Dejan Šram, mag. Florjana Ulaga
- 77 **NOVA METODA ZA DOLOČANJE VIROV FEKALNEGA ONESNAŽENJA VODA**  
mag. Matjaž Retelj
- 91 **DANISH APPROACH TO HANDLING OF HOSPITAL WASTEWATER - FROM A POLLUTION PROBLEM TO NEW WATER RESOURCES**  
Kristina Buus Kjær
- 97 **TESTING OF PRIVATE SEWER CONNECTIONS – WHY AND HOW?**  
Wendy Francken
- 103 **OBVLADOVANJE PADAVINSKIH ODPADNIH VODA S PRILAGAJANJEM URBANIH OBMOČIJ NA EKSTREMNE PADAVINE**  
asist. dr. Matej Radinja, mag. Maja Štajdohar, Nataša Šušteršič, Martin Zibelnik, izr. prof. dr. Nataša Atanasova



- 117 **SPREMLJANJE VPLIVA KOMUNALNIH IN INDUSTRIJSKIH ČISTILNIH NAPRAV NA EKOLOŠKO STANJE VODOTOKOV V SLOVENIJI**  
dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič, Tadeja Šter, dr. Urška Kuhar, Bernarda Rotar, Katarina Novak, Tjaša Muc, Brigita Jesenovec, Irena Cvitanič, dr. Nataša Dolinar
- 127 **IZZIVI VAROVANJA SKRITE NARAVNE DEDIŠČINE PODZEMNIH VODA SLOVENIJE**  
dr. Cene Fišer, dr. Špela Borko, dr. Teo Delić, Anja Kos, Ester Premate, prof. dr. Peter Trontelj, doc. dr. Maja Zagmajster, doc. dr. Valerija Zakšek
- 139 **ANALIZA PROSTORSKE PORAZDELITVE ONESNAŽEVAL ŠIROKEGA SPEKTRA V VODAH LJUBLJANSKE KOTLINE**  
asist. Ines Vidmar, prof. dr. Mihael Brenčič, dr. Anja Torkar, asist. Mateja Jelovčan, mag. Branka Bračič Železnik, mag. Primož Auersperger, doc. dr. Jurij Trontelj, prof. dr. Robert Roškar
- 151 **ZNANOST O CELINSKIH VODAH, KI VKLJUČUJE DRŽAVLJANE**  
doc. dr. Tina Eleršek in Maša Zupančič
- 161 **RAZUMEVANJE SPREMENB V REČNIH OKOLJIH S PREPLETANJEM DALJINSKEGA ZAZNAVANJA IN ANTROPOLOŠKIH RAZISKAV**  
Liza Stančič, doc. dr. Nataša Gregorič Bon, dr. Damir Josipovič, dr. Nejc Čož, dr. Urša Kanjir
- 175 **INFORMACIJSKI SISTEM ZA NAMAKANJE ZELENJAVE**  
Luka Honzak, Maja Brajnik, Luka Žvokelj, Gregor Hribar, Boštjan Kristan, Marko Levičnik, prof. dr. Marina Pintar
- 185 **GRAJENI EKOSISTEMI ZA BLAŽENJE VPLIVA KMETIJSTVA NA OKOLJE OZ. ZAŠČITO KMETIJSKIH ZEMLJIŠČ**  
Luka Žvokelj, Miran Renčelj, Milan Vogrin, Urša Brodnik, Matic Noč, prof. dr. Marina Pintar



## SKRITO NAJ POSTANE VIDNO – O GLOBALNEM IN LOKALNEM RAZUMEVANJU PODZEMNIH VOD

prof. dr. MIHAEL BRENČIČ<sup>1</sup>

### Povzetek

Prispevek izhaja iz razvojnega poročila Združenih narodov za vodo za leto 2022, ki je bilo posvečeno podzemni vodi pod geslom »Skrito naj postane vidno«, in s tem povezanega svetovnega dneva voda. Podan je pregled izhodišč za izbor teme svetovnega dneva voda, nato pa so povzeti osnovni poudarki razvojnega poročila. Prikazane so osnovne značilnosti globalne bilance podzemne vode, njena vloga in pomen ter upravljanje in vladovanje podzemne vode. Osvetljena je tudi vloga podzemne vode po nekaterih pomembnejših sektorjih: v kmetijstvu in ekologiji ter s stališča odpornosti na podnebne spremembe.

**Gljučne besede:** kmetijstvo, menedžment, podzemna voda, Slovenija, spremembe podnebja, svetovni dan voda, vladovanje, vodna bilanca.

### Abstract

The paper is based on the United Nations Water Development Report 2022, which focuses on groundwater under the theme »Making the Invisible Visible,« and the associated World Water Day. It provides an overview of the background to the selection of the theme for World Water Day and then summarises the key points of the development report. The main features of the global groundwater balance, the role and importance of groundwater, and groundwater governance and management are presented. The role of groundwater is also highlighted by some of the major sectors, in agriculture, in ecology, and from the perspective of resilience to climate change.

**Keywords:** agriculture, climate change, governance, groundwater, management, Slovenia, water balance, world water day.

<sup>1</sup> Prof. dr. Mihael Brenčič, univ. dipl. inž. geol., Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo in Geološki zavod Slovenije

Strokovne, inovativne in učinkovite rešitve!

**mi** za Vas!

**VODNI KROG**

- čistilne naprave
- priprava vode
- energetska izraba odpadkov

**SVETOVANJE**

- inovativne rešitve
- ekonomsko učinkovite rešitve
- ekološko sprejemljive rešitve
- naročniku prilagojene rešitve
- optimizacija sistemov
- priprava študij izvedljivosti

**VZDRŽEVANJE**

- investicijsko vzdrževanje
- preventivno vzdrževanje
- interventno vzdrževanje 24/7

**PROCESNO VODENJE**

- sistemi na področju odpadnih voda
- sistemi na področju priprave vode
- energetske sistemi, biomasa, kogeneracije
- sistemi skladiščenja in pretovora tekočih goriv in tehničnih tekočin

**INŽENIRSKÉ STORITVE**

- projektiranje elektro sistemov
- strojno projektiranje
- nadzor nad gradnjo
- izvajanje sistemov na ključ

**TELEMETRIJSKE REŠITVE**

- daljinsko vodenje energetskih sistemov
- daljinsko vodenje sistemov pitne vode
- daljinsko vodenje sistemov čiščenja vod
- zajem in analiza podatkov

**miel inženiring**

Levec 8  
3301 Petrovče

www.miel-l.si

info@miel-l.si



## 1. UVOD

Svetovni dan voda 22. marca 2022 in s tem tudi letošnje leto sta posvečena podzemni vodi. Na ta dan je izšlo razvojno poročilo Združenih narodov (UN, 2022), naslovljeno »Podzemna voda: Skrito naj postane vidno«<sup>2</sup> (ang. Groundwater: Making the invisible visible<sup>3</sup>). To poročilo je rezultat večletnega usklajevanja številnih mednarodnih organizacij, obenem pa delo mnogih uveljavljenih hidrogeologov in drugih strokovnjakov s področja voda. Čeprav gre za usklajen in izpogajan dokument, je to v tem trenutku verjetno najcelovitejši pregled globalnega stanja podzemne vode. Pomemben ni le kot še eden v nizu dokumentov, ki spremljajo vsakokratni svetovni dan voda, temveč je tudi plod širšega spoznanja, da je podzemna voda del rešitve problema podnebnih sprememb. Hkrati pa podzemna voda predstavlja nov porajajoči se problem tam, kjer prihaja do njene pretirane rabe za potrebe namakanja poljščin (npr. Kitajska, Indija, zahod ZDA, Bližnji vzhod). Problematika podzemne vode je tesno povezana s cilji trajnostnega razvoja Združenih narodov v okviru Agende 2030, še zlasti pa s ciljem 6, označenim tudi kot SDG6 (ang. Sustainable Development Goals – SDG), imenovanim »Čista voda in sanitacija« (ang. Water and Sanitation). Svetovni dan voda vsako leto pridobiva pomen, zato je dejstvo, da je bil v letu 2022 posvečen podzemnim vodam, še posebej pomenljivo.

Svetovni dan voda, ki ga obeležujemo vsako leto 22. marca, je pomemben dogodek za razumevanje vode in zaščito vodnih virov. Če ugotavljamo, da zanimanje za vode večinoma ni dovolj ustrezno, pa se na ta dan problematika voda pojavi v vseh medijih. Strokovnjaki in strokovna združenja hitijo podajati izjave, prirejati tiskovne konference, mnogi med njimi pa se pojavijo tudi na televiziji in radiu. Glede na podnebno krizo, ki smo je deležni tudi na območju Slovenije (npr. intenzivna poletna suša v letu 2022 ter silovite in kratkotrajne nevihte), vse bolj ugotavljamo, da so podnebne spremembe hkrati tudi spremembe v vodnem krogu, obenem pa so spremembe v vodnem krogu tudi podnebne spremembe. Podnebje in vodni krog sta med seboj tesno povezana v veliki povratni zanki, kjer ena in druga komponenta Zemljinega sistema vplivata druga na drugo. Tega se vse bolj zavedajo tudi v mednarodnem političnem okolju in zato skoraj vsi mednarodni dejavniki (mednarodne organizacije, nekatere vlade) že govorijo tudi o globalni vodni krizi. To je vzrok, zakaj razpravam in opozorilom o podnebnih spremembah sledijo tudi opozorila o spremembah vodnega kroga.

Datum svetovnega dneva voda je le mednarodni dogovor in kot takšen ne zaznamuje nobene pomembne zgodovinskega dogodka. Ta dan je bil predlagan z Agendo 21 na konferenci Združenih narodov o okolju in razvoju v Riu de Janeiru leta 1992. Decembra istega leta je Generalna skupščina Združenih narodov sprejela resolucijo, s katero je vsakokratni 22. marec razglasila za svetovni dan voda. Dan je namenjen promociji trajnostnega upravljanja in zaščiti sladkih voda<sup>4</sup>. Za pripravo razvojnega poročila o vodi in za organizacijo dneva voda je zadolžen medagencijski organ Združenih narodov, imenovan ZN-Voda (ang. UN-Water), ki predstavlja koordinacijo med različnimi mednarodnimi agencijami in združenji.

<sup>2</sup> Slovenski prevod je nastal v širši razpravi med člani Slovenskega društva za zaščito voda.

<sup>3</sup> Avtor namerno navaja tudi angleške naslove, saj je v nekaterih primerih zelo težko podati povsem natančne prevode.

<sup>4</sup> V slovenščini je sladka voda nekoliko ponesrečen prevod angleškega izraza »fresh water«. Ponuja se več »sorodnih« izrazov, na primer celinske vode in sveža voda, ki povsem ne ustrezajo.

Prvi svetovni dan voda je potekal leta 1993 in je bil brez osrednje teme, naslednji, leta 1994, pa je že imel izbrano temo z naslovom »Skrb za vodne vire je skrb vseh« (ang. Caring for our Water Resources is Everybody's Business). Od tega leta je bil vsak svetovni dan voda posvečen določeni vodilni temi. Tako je bil dan leta 2020 posvečen temi »Voda in podnebne spremembe« (ang. Water and Climate Change), leta 2021 je bila tema dneva »Vrednotenje vode« (ang. Valuing Water). Svetovni dan voda v letu 2022 ni bil prvi dan voda, ki je bil posvečen podzemni vodi. Ta je bila tema dneva že leta 1998 z naslovom »Podzemna voda: nevidni vir« (ang. Groundwater: The Invisible Resource).

Zaradi pomena svetovnega dneva voda so razvojna poročila o vodi vsako leto temeljitejša, podrobnejša in skrbneje sestavljena. Še zlasti bo pomembno poročilo, ki bo pripravljeno za leto 2023. Uradno bo luč zagledalo 22. marca 2023, ko se bo na svetovni dan voda začela konferenca Združenih narodov o vodi, ki bo potekala v New Yorku v soorganizaciji Tadžikistana in Nizozemske. To bo prva globalna konferenca o vodi po konferenci v Dublinu na Irskem, kjer je bila 31. januarja leta 1992 sprejeta Dublinska deklaracija o vodi in trajnostnem razvoju (ang. The Dublin Statement on Water and Sustainable Development). Kot kažejo vesti iz diplomatskih krogov, pa tokrat v New Yorku ne bo skupne deklaracije. Podan naj bi bil le sklep k zavezanosti za trajnostno ravnanje z vodo. Tematike razvojnega poročila o vodi in s tem tudi svetovnega dneva voda so dogovorjene že nekaj let vnaprej. Tako bo predvideni naslov prihodnjega dneva voda v letu 2023 »Pospešimo spremembe s partnerstvi in sodelovanjem« (ang. Accelerating Change through Partnerships and Cooperation), leta 2024 pa naj bi bila vodilna tema svetovnega dneva voda »Voda in mir« (ang. Water and Peace).

V Sloveniji podzemna voda igra pomembno vlogo. Skoraj v celoti je vir pitne vode. Poleg tega ugotavljamo, da je pomembna tudi njena ekološka vloga; podzemna voda je ekosistem, hkrati pa je od nje odvisnih tudi veliko ekosistemov na površju, kamor sodijo skoraj vsa naša mokrišča. Navsezadnje pa iz leta v leto ugotavljamo, da je podzemna voda tudi vir energije; na eni strani je vir ogrevanja, na drugi pa je lahko tudi vir hlajenja stavb. Tudi v Sloveniji spoznavamo, da je podzemna voda integralni del vodnega kroga, pri čemer s spremembami v enem delu kroga vplivamo tudi na druge dele tega sistema. Zato je prav, da si ogledamo osnovne poudarke razvojnega poročila Združenih narodov o vodi, ki je v letu 2022 posvečeno podzemni vodi, hkrati pa se dotaknemo njenega razumevanja tako na lokalni ravni kot v globalnem merilu. Vsi podatki, ki jih podajamo v nadaljevanju, so povzeti iz razvojnega poročila o vodi za leto 2022 (UN, 2022), razen tam, kjer je to drugače označeno. Ti podatki so pomembni, ker se v marsičem razlikujejo od starejših podatkov, in na novo postavljajo družbeno-politična razmerja do podzemne vode.

## 2. STANJE PODZEMNIH VODA

Podzemna voda na Zemlji predstavlja kar 99 % vseh količin sladke vode<sup>5</sup>. Človek je že od svojega začetka odvisen od podzemne vode. Že v daljni preteklosti je zajemal vodo na izviroh, iz paleolitika pa so znani izkopi, s katerimi je zajemal vodo v tleh. Vendar se je v 20. stoletju iz-

<sup>5</sup> To je podatek, ki se je v strateških dokumentih začel pojavljati šele v zadnjem času. Ocena verjetno ni povsem ustrezna, saj ni jasno, kateri deli vodnega kroga so vključeni v bilančni izračun.



koriščenje podzemne vode ekstremno povečalo. Leta 2017 je črpanje podzemne vode znašalo 953 km<sup>3</sup>/leto. Za primerjavo, to predstavlja nekaj manj kot 15 % povprečnega pretoka največje svetovne reke Amazonke. Navkljub visokim številkam črpanje podzemne vode predstavlja le 25 % vse sladke vode, ki jo človeštvo uporablja na globalni ravni. Primerjava količin črpanja s predhodnim obdobjem, torej izračunom za leto 2010 (Margat in Van der Gun, 2013), kaže, da se v zadnjem obdobju količina črpanja na globalni ravni ni spremenila. Najvišja rast črpanja podzemne vode je bila prisotna v obdobju od leta 1950 do 1980, po tem pa se je nekoliko upočasnila. Stopnja rasti porabe podzemne vode je povezana predvsem z rastjo svetovnega prebivalstva. Pri tem pa je skrb vzbujajoče prav to, da prihaja do zmanjševanja uskladičenja podzemne vode.ocene kažejo, da se letno izčrpa med 100 do 200 km<sup>3</sup> podzemne vode, ki se ne obnavlja, kar predstavlja delež med 15 do 25 %.

Na regionalni ravni, po celinah, se količine črpanja podzemne vode med seboj zelo razlikujejo. To je odvisno od medsezonskih nihanj padavin kot tudi od trenutnih aktivnosti kmetijstva in industrije. Največji potrošnik podzemne vode je Azija, z največjim deležem v južni in zahodni Aziji. V tem predelu sveta se načrpa kar 75 % vse podzemne vode. Največje potrošnice podzemne vode si po vrstnem redu sledijo tako: Indija, Kitajska, Pakistan, Iran, Indonezija, Bangladeš, Savdska Arabija in Turčija. Po količini načrpane podzemne vode sledi Severna Amerika s 16 %, kjer sta največja potrošnika ZDA in Mehika. Čeprav v Afriki živi 17 % vseh ljudi, pa se na tej celini izčrpa manj kot 5 % globalnih količin podzemne vode. V Evropi se načrpa le 7 % globalnih količin podzemne vode.

Glede na rabo se največ podzemne vode načrpa za potrebe kmetijstva, kar 69 % vse načrpane vode, od tega se je največ uporabi za namakanje. Za potrebe oskrbe prebivalstva s pitno vodo se uporabi 22 % podzemne vode, preostalih 9 % pa za potrebe industrije.

### 3. VLOGA PODZEMNE VODE

Podobno kot danes govorimo o ekosistemskih storitvah, lahko tudi pri podzemni vodi govorimo o zagotavljanju storitev. Te so odvisne od geografskega položaja in dinamike naravnih ter človeških procesov. Te storitve vključujejo:

- Storitve preskrbe – te omogočajo, da ljudje uporabljamo podzemno vodo za oskrbo z vodo za različne namene.
- Storitve reguliranja – te omogočajo, da podzemna voda deluje kot blažilec ali pufer, ki zagotavlja ustrezno količino in kvaliteto vode.
- Storitve podpore – zagotavljanje vode za od podzemne vode odvisne ekosisteme in drugih okoljskih dejavnikov, ki so odvisni od nje.
- Kulturne storitve – z nekaterimi vodonosniki so povezane rekreativne dejavnosti, podzemna voda pa je povezana s številnimi tradicijami, religijo in duhovnimi vrednostmi.

Poleg prej naštetega podzemna voda ponuja še številne druge priložnosti. Te so uporaba geotermalne energije, povečanje uskladičenja vode za zagotavljanje vodne varnosti in prilagoditve na podnebne spremembe v najširšem pomenu.

### 4. UPRAVLJANJE S PODZEMNO VODO

Upravljanje s podzemno vodo in vodami nasploh je v slovenski strokovni terminologiji zelo širok pojem, ki ima v uveljavljeni angleški terminologiji precej ožji, zaradi tega pa tudi jasnejši pomen ter predstavlja del širšega pristopa k vodam. Upravljanje podzemne vode, kakor ga razumemo v Sloveniji, predstavlja naslednje pojme: vladovanje<sup>6</sup> (ang. governance), upravljanje (ang. management), načrtovanje (ang. planning), spremljanje (ang. monitoring) in politike (ang. policy) podzemne vode, ki so del integriranega upravljanja z vodnimi viri ali krajše IUUV (ang. Integrated Water Resources Management – IWRM). Razdelitev na te temeljne pojme IUUV bi morali začeti intenzivneje uveljavljati tudi v Sloveniji. Dosedanje prakse IUUV v globalnem merilu vodne vire večinoma obravnavajo le glede na tip vodnega vira; na primer upravljanje površinskih ali podzemnih vod. Pri tem se moramo zavedati, da je pojav vodnega kroga integralen, kar pomeni, da so vsi deli vodnega kroga med seboj povezani in da z vplivanjem na en del vodnega kroga vplivamo na drugi del in obratno. Zaradi tega so v zadnjem obdobju mednarodne vladne in nevladne organizacije začele spodbujati pristop »Vzajemnega upravljanja z vodami« (ang. Conjunctive Water Management), ki vodne vire razume kot celoto, obenem pa vse elemente vodnega kroga razume enotno (Van der Gun, 2020); tako podzemne in površinske vode med seboj ne ločuje več kot ločeni entiteti. Seveda pa je do izvajanja tega principa še dolga pot.

Vladovanje predstavlja udejanjanje politik na podlagi načrtovanja, upravljanja in spremljanja vodnih virov. Politike sprejemajo odločevalci, ki pa so v sistemu IUUV vsi relevantni deležniki na področju vod. Opraviti imamo z več ravnmi odločanja, v grobem pa lahko govorimo predvsem o dveh ravneh. Najvišja raven odločanja je odločanje deležnikov v sistemu IUUV, druga raven pa predstavlja operativno odločanje in je tesno povezana z upravljanjem. Tudi na tej ravni poteka sodelovanje z deležniki, predvsem pri določanju in umeščanju količin vode ter pri nekaterih aktivnostih zaščite vodnih virov. Spremljanje vodnih virov znotraj sistema IUUV pa moramo razumeti širše, kot navadno razumemo monitoring. Spremljanje poleg zasledovanja količinskega in kemijskega stanja vode obsega tudi spremljanje učinkovitosti upravljaljskih ukrepov. Vse prej naštetje je v tesni povezavi tudi z vladovanjem podzemni vodi.

V svetovnem merilu največji problem vladovanja podzemni vodi predstavlja lastništvo nad podzemno vodo in upravljanje z vodnimi pravicami v povezavi s podzemno vodo. V veliki večini držav članic Združenih narodov je podzemna voda v lasti lastnika zemljišča, pod katerim se podzemna voda nahaja. Takšna lastniška struktura do podzemnih vod je pogostejša kot v odnosu do lastništva površinskih vod, ki so pogostejše v javni ali državni lasti. Pri tem se pravice do podzemne vode, vezane na lastništvo, ločijo v dve skupini. Prvo predstavljajo izključne pravice lastnika in temeljijo na načelu prvega uporabnika, to je tistega, ki je začel vodo uporabljati prvi. V tem primeru ima tisti, ki si je prvi zagotovil vodne pravice, izključno prednost. Drugo skupino pravic pa še vedno predstavljajo pravice lastnika, vendar pa so vsi lastniki zemljišč skupnostno odgovorni za celoten vodonosnik ali telo podzemne vode. V okviru te pravne ureditve je pogosto v veljavi načelo, da lastnik zemljišča izkoriščanjem podzemne vode ne sme vplivati na sosednje zajeme. Iz zapisanega izhaja, da to v praksi celostnega upravljanja podzemne vode povzroča številne težave. Tretjo skupino pravic do podzemne vode

<sup>6</sup> To je izraz, ki ga zagovarja slovenska politologija. V drugih strokah še ni dovolj uveljavljen, nekateri mu tudi nasprotujejo. Kateri je ustrezní slovenski prevod angleške besede »governance«, bo pokazal šele čas.



predstavljajo zakonodaje, ki podzemno vodo opredeljujejo kot naravno javno dobro. V to skupino držav sodi tudi Republika Slovenija. Prevladujoče prepričanje je, da je takšna ureditev najprimernejša, seveda pa to deluje le tam, kjer gre za razmeroma urejene politične sisteme in države, kjer upravni aparat opravlja svojo vlogo.

V okvir vladovanja podzemne vode bil lahko uvrstili tudi problematiko zakonodaje. Glede na globalno stanje in rabo podzemnih voda je sklep razvojnega poročila o vodah za leto 2022 (UN, 2022), da je treba najprej uveljaviti vladovanje od zgoraj navzdol in da so vlade posameznih držav tiste, ki bi morale uveljaviti ustrezne zakonodajne okvire ter nato poskrbeti za njihovo uresničevanje. Nabor zakonodaje, povezane s podzemno vodo, je zelo širok. Podobno izkušnjo in sistem imamo tudi v Republiki Sloveniji.

Najpomembnejša zakonodaja, povezana s podzemno vodo, je tista, ki ureja dostop do zdrave in čiste pitne vode v povezavi z ustreznimi sanitarnimi pogoji kot človekovo pravico. V Republiki Sloveniji je dostop do pitne vode vpisan v 70.a člen Ustave, ki določa, da ima vsakdo pravico do pitne vode, da so vodni viri javno dobro v upravljanju države ter da služijo prednostno in trajnostno oskrbi prebivalstva s pitno vodo in z vodo za oskrbo gospodinjstev ter v tem delu niso tržno blago. To v veliki meri izhaja iz sklepa Generalne skupščine Združenih narodov<sup>7</sup> iz leta 2010, ki pa ne določa le pravice do pitne vode, temveč tudi tako imenovano pravico WASH, ki pomeni pravico do vode, sanitarij in higiene (ang. Water, Sanitation and Hygiene – WASH). Na pravico do ustrezne sanitacije smo v Sloveniji povsem pozabili, kot da je dostop do teh storitev samoumeven, kot da te ne morejo biti predmet privatizacijskih teženj. Preprečevanje slednjih je bil primarni ideološki vzrok za vpis pravice do pitne vode v Ustavo. Pravica WASH je tesno povezana z rabo in zaščito podzemne vode. Ustrezne sanitarne in higienske storitve so ključne za zagotavljanje zdrave in čiste pitne vode, le tako pa je mogoče preprečiti pojav hidričnih epidemij. V svetu so slednje še vedno glavni vzrok smrti med otroki do 5. leta starosti. Ne pozabimo pa tudi na dejstvo, da so bile te vrste epidemij na območju današnje Slovenije do druge svetovne vojne eden glavnih vzrokov smrti med prebivalstvom.

Razvojno poročilo o vodi za zakonodajo o podzemni vodi uporablja nekoliko drugačno terminologijo, kot je uveljavljena pri nas in s tem tudi v veliki meri v Evropi. Pomemben vidik zakonodaje v globalnem merilu je vezan na rabo podzemne vode za vzdrževanje osnovnih preživetvenih strategij in delovanje majhnih gospodarstev. Primer tega so številni majhni kmetje po vsem svetu, ki predstavljajo večino za produkcijo hrane pomembnega svetovnega prebivalstva. Ti sebe in svoje poljščine najpogosteje preskrbujejo prav s podzemno vodo. Drug pomemben vidik zakonodaje, povezane s podzemno vodo, je zaščita njenega napajanja in tudi odtoka, kar se neposredno povezuje s problematiko rabe prostora. Na to se navezuje tudi zaščita izvirov in vodnjakov kot virov pitne vode.

V globalnem merilu poteka velika razprava o vrednosti vode in s tem tudi o vrednosti podzemne vode. To razpravo spodbujata predvsem Svetovna banka za razvoj in sodelovanje ter Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj – OECD, k temu pa prispevajo tudi nekatere vlade (npr. Nizozemska). Čeprav je pojem vrednosti vode širok in zavzema vrednote, ki so tako ekonomske, družbene, kulturne kot religiozne, pa je v središču teh razprav ekono-

mizacija vode. Kar 80 % držav članic Svetovne banke navaja, da do leta 2030, ko naj bi bili uresničeni cilji Agende 2030, ne bo imela na razpolago dovolj lastnih sredstev, da bi dosegli zadani cilj SDG6. Vse to je tesno povezano tudi s podzemno vodo, saj ta za 50 % svetovnega prebivalstva predstavlja vir pitne vode. Po besedah ekonomista Svetovne banke za področje vode Joela Kolkerja<sup>8</sup> je celoten sektor<sup>9</sup> WASH visoko subvencioniran, vendar pa kar 56 % teh subvencij doseže le 20 % najbogatejših prebivalcev, kar pomeni, da so sredstva uporabljena povsem neučinkovito in na škodo najrevnejšega dela prebivalstva. Prav tako je subvencioniranje tega sektorja na globalni ravni zelo neučinkovito, porabi se le približno 75 % razpoložljivih javnih sredstev, rezerviranih v državnih proračunih, za razliko od socialnih transferjev, ki se porabijo v celoti. Cena vode ne odraža stroškov obdelave in dobave. Teza Svetovne banke in OECD je, da bi morali sektor WASH narediti privlačen tudi za zasebni kapital, saj naj bi se na ta način kakovost investicij in s tem tudi učinkovitost njegovega upravljanja izboljšali. Na voljo je dovolj kapitala, na primer v pokojninskih skladih, da bi se vsi problemi iz sektorja WASH rešili, vendar je zaradi nizke cene in neučinkovitosti ter s tem zanemarljivih dobičkov celoten sektor nezanimiv zasebnim investitorjem. Tudi v Evropski uniji bi v skladu z Okvirno direktivo o vodah v upravljanje vseh vodnih virov morali vpeljati ekonomske mehanizme, vendar to nikakor ne steče. Tam, kjer so vodni viri naravno javno dobro, kar velja tudi v Sloveniji, so do ekonomizacije vode zelo rezervirani ali pa jo povsem zavračajo. Zastavlja se tudi vprašanje, ali je ekonomizacija vode edini model reševanja problemov, povezanih z uresničevanjem cilja SDG6. Ne glede na to je ekonomski pogled na podzemno vodo slabo razvit.

## 5. PODZEMNA VODA IN KMETIJSTVO

Največji porabnik vode v globalnem merilu je kmetijstvo, s tem pa tudi porabnik podzemne vode. Zato je prav, da si odnos med kmetijstvom in podzemno vodo ogledamo nekoliko podrobneje. Slednja igra zelo pomembno vlogo pri namakanju poljščin (hrana, vlaknine, krmne in industrijske rastline), pri vzreji živali ter predelavi hrane. V globalnem merilu se 70 % načrpane podzemne vode uporabi za potrebe kmetijstva in na 38 % vseh namakanih površin se za ta namen uporablja podzemna voda. Regionalno se ti deleži med seboj razlikujejo, na aridnih in polaridnih območjih se ponekod podzemno vodo uporablja samo za namakanje. Največji delež namakanih površin s podzemno vodo je v obeh Amerikah, kjer ta delež znaša 45,5 %, sledi Azija z deležem 38,7 %. Evropa skupaj z Rusko federacijo je predel sveta, kjer se glede na deleže s podzemno vodo namaka najmanj površin, le 14 %.

Na globalni ravni znaša prihodek kmetijstva zaradi namakanja s podzemno vodo med 210 do 230 milijard ameriških dolarjev letno. Produktivnost zaradi uporabe podzemne vode znaša od 0,23 do 0,26 \$/m<sup>3</sup> porabljene vode. Učinkovitost namakanja iz podzemne vode je precej višja kot z namakanjem iz površinskih vod, praviloma za faktor dva. Vzrok za to leži v dejstvu, da podzemna voda ni podvržena velikim sezonskim in trenutnim nihanjem količin, praviloma se nahaja v neposredni bližini zemljišč s poljščinami, njeno upravljanje pa je precej manj zahtevno, kot je to v primeru površinskih vod.

<sup>8</sup> Predavanje »Pricing for domestic uses« na World Water Week 2022 v Stockholmu v okviru sekcije »SIWI Seminar: Talking about Pricing Water«.

<sup>9</sup> Sektor WASH – skupni izraz, ki se uporablja za sektor oskrbe s pitno vodo in zagotavljanja sanitarnih in higienskih storitev.



Če bomo na globalni ravni želeli prehraniti vse prebivalstvo, bo treba do leta 2050, ko naj bi na Zemlji živel okoli 10 milijard ljudi, predelati 50 % več hrane glede na raven iz leta 2012. To pa ne bo mogoče brez intenzivnega namakanja. Vendar se ta enačba dolgoročno ne izide, če ne bomo na globalni ravni spremenili načinov uporabe vode v kmetijstvu. Že zdaj se pomemben delež uporabljene podzemne vode črpa iz neobnovljivih zalog. Če se bo črpanje nadaljevalo s takšnim tempom kot sedaj, bo v nekaterih predelih sveta podzemne vode zmanjkalo, to pa bo pomenilo, da se bo proizvodnja hrane tam, kjer temelji na namakanju iz podzemne vode, ustavila, kar bo del sveta pahnilo v prehransko krizo, ki je na globalni ravni ne bo mogoče rešiti. Prav zaradi tega je podzemna voda, navkljub svoji nevidnosti, izredno pomembna strateška komponenta globalne vodne bilance. Strateški forumi, ki se ukvarjajo s problemi globalne vodne krize, so se tega problema končno zavedeli. Tudi nekatere velike države se tega problema že zavedajo. Eden od primerov je Indija, ena največjih globalnih porabnic podzemne vode, v kateri so gladine podzemne vode v posameznih vodonosnikih že drastično upadle. Nizke gladine podzemne vode že ogrožajo proizvodnjo hrane, predvsem s strani majhnih kmetov. Vlada je pred nekaj leti že začela korenito spreminjati upravljanje celotnega vodnega kroga. Nekoliko pestrejše so v primeru reševanja teh problemov ZDA, kjer na zahodu države na območju Velike ravnine izkoriščajo ogromen regionalni vodonosnik, imenovan Ogallala; nekatere zvezne države (npr. Nevada) so že učinkovito spremenile upravljanje z vodami, druge pa, navkljub opozorilom, nadaljujejo z dosedanja netrajnostno prakso. V drugih državah, ki so prav tako velike porabnice podzemne vode, pa so še daleč od začetka reševanja teh problemov.

V kmetijstvu se na globalni ravni skriva tudi velik del rešitev za globalne spremembe podnebja in vodnega kroga ter s tem vodne krize. Vse več podatkov kaže, da se pogostost kratkotrajnih in intenzivnost lokalnih ter regionalnih suš povečuje. To je v veliki meri posledica izsuševanja kmetijskih tal, ki ne uskladiščijo dovolj velikih količin vode, zaradi česar se temperatura tal povečuje, tla pa se pogosto povsem pregrejejo. Takšen odziv tal je povezan tudi z zmanjševanjem vsebnosti organskega ogljika v njih. Vsebnost ogljika v tleh povečuje zadrževalne sposobnosti tal za vodo, s tem pa se povečuje tudi napajanje podzemne vode in njihovih zalog, ki so lahko pozneje na voljo za namakanje. Če bi nam na globalni ravni uspelo povečati količino ogljika v tleh, bi s tem zmanjšali količino emisij CO<sub>2</sub> kot toplogrednega plina, hkrati pa bi izboljšali količinsko stanje podzemne vode ter vodno bilanco tal. Spremembo bilance organskega ogljika v tleh bi omogočil koncept regenerativnega kmetijstva.

## 6. EKOLOGIJA PODZEMNE VODE

Pojem ekologije podzemne vode je razmeroma nov. V zavest upravljanja podzemnih voda in vladovanja z njimi prihaja postopoma. Že od sprejetja Okvirne evropske direktive o vodah (WFD) leta 2000 so podzemne vode dobile pomembno vlogo pri obravnavi ekoloških sistemov. V WFD so bili opredeljeni od podzemne vode odvisni ekosistemi (ang. Groundwater Dependent Ecosystems – GDE), to so tisti ekosistemi, kjer se njihovo življenjsko okolje napaja ali vzdržuje s podzemno vodo. Ti ekosistemi so sestavljeni iz rastlin in gliv ter živali, ki so odvisne od pretoka, temperature in kemijskega stanja podzemne vode. Od podzemne vode odvisni ekosistemi so zelo raznoliki in jih delimo v tri glavne skupine:

- Vodni ekosistemi, odvisni od podzemne vode – odvisni so od interakcije med podzemno in površinsko vodo, kot so izviri, mokrišča in estuariji, navsezadnje tudi od iztoka podzemne vode v obliki osnovnega ali baznega toka, ki izteka neposredno v vodotoke ali stoječa vodna telesa.
- Kopenski ekosistemi, odvisni od podzemne vode – so ekološko odvisni od dostopa do podzemne vode. Tak primer so rastline, ki jih imenujemo freatofiti. Zanje je značilno, da s koreninami segajo pod gladino podzemne vode.
- Podzemni ekosistemi, odvisni od podzemne vode – so tisti, ki so neposredno odvisni od vodonosnikov, mednje sodijo tudi obrežna ali hiporeična območja.

Ekosistemi, odvisni od podzemne vode, so v zadnjem desetletju velik pomen pridobili tudi na globalni ravni, saj je dozorelo spoznanje, da so z njihovim nazadovanjem povezani tudi številni drugi problemi, ki se navezujejo na oskrbo s pitno vodo in drugimi rabami vode.

Pri obravnavi podzemne vode v odnosu do ekosistemov se je treba zavedati dejstva, da je ta, tako kot različne površinske vode, ekosistem sam po sebi. Zato bi bilo treba govoriti o ekosistemu podzemne vode in ne le o od podzemne vode odvisnih ekosistemih. Tudi v vodonosnikih, ne glede na njihovo zgradbo, zasledimo življenje. Nam najbolj znan primer je človeška ribica v kraških vodonosnikih, poleg te pa v kraških vodonosnikih povsod po svetu živijo tudi druge živali. Sodobna biologija vse bolj odkriva, da so različne živali prisotne tudi v medzrnskih vodonosnikih, tako v njihovem zasičenem kot nezasičenem delu. Prav zaradi tega se je začela razvijati interdisciplinarna veda, ki jo imenujejo ekohidrogeologija.

## 7. SPREMEMBE PODNEBJA

Podnebna in vodna kriza sta v globalnem merilu med seboj povezani, natančna analiza pokaže, da gre za dve plati enega in istega kovanca. Segrevanje ozračja pospešuje kroženje vode in spreminja njeno prostorsko porazdelitev. To neposredno in posredno vpliva tudi na podzemno vodo. Neposredno zlasti s spremenjenim napajanjem, saj se delež vode, ki se vrača v ozračje, povečuje zaradi višje evaporacije in metabolizma rastlin, zlasti gozda. Na spremembe napajanja vplivajo tudi spremembe rabe tal, ki na eni strani vplivajo na spremembe podnebja (npr. izsekavanje tropskega gozda), na drugi pa se gospodarske dejavnosti, zlasti kmetijstvo, na ta način odzivajo na spremenjene podnebne okoliščine. Zaradi višanja zračnih temperatur se povečuje taljenje ledu na območju visokogorskih ledenikov in permafrosta, to je stalno zamrznjenih tal, kar vpliva na odtok rek ter medsebojni odnos med podzemno in površinsko vodo, ki se izmenjujeta prek obrežnega pasu vodotokov. Pomemben vidik spremembe podnebja je tudi dvig morske gladine, zaradi česar morska voda globlje prodira v notranjost priobalnih območij. To spreminja ekološke razmere na teh območjih, predvsem pa vpliva na oskrbo s pitno vodo na območju obalnih mest. Posredni vidik vpliva na podzemne vode je posledica tega, da se zaradi dviga zračnih temperatur viša tudi poraba vode, kar pa vpliva na količinsko bilanco podzemnih vod.

Podzemna voda je lahko tudi del reševanja problematike podnebnih sprememb. Zato je podzemna voda stabilnejši vir kot površinske vode, tako s količinskega kot kemijskega vidika,



spremembe v vodonosnikih so razmeroma počasne, to pa omogoča predvidljivost in dolgoročnejshe načrtovanje rešitev pri oskrbi s pitno vodo, pri zagotavljanju vode za različne dejavnosti ter uporabi podzemnega prostora za različne s podnebjem povezane rešitve. Ob pojavu ekstremne suše, med katero vodni viri na površini povsem presahnejo, je podzemna voda pogosto edina rešitev za nadomestitev manjkajočih količin vode.

Podzemna voda lahko pomaga izboljšati odpornost mest in naselij na povišane temperature ozračja. Zaradi narave urbanega prostora so zračne temperature v mestih praviloma višje, temu učinku pravimo urbani toplotni otok (ang. Urban Heat Island – UHI). To ima vrsto posledic; spreminja se narava ogrevanja in hlajenja stavb. Podzemna voda omogoča izkoriščanje latentne uskladiščene toplote, pozimi ta omogoča ogrevanje stavb in s tem na eni strani prihranek v proizvodnji energije, na drugi pa prispeva k zmanjšanju toplogrednih plinov. Prav tako omogoča tudi poletno hlajenje stavb. Obstajajo pa tudi tehnologije skladiščenja toplote v poletnih mesecih, ko so na voljo njeni presežki; tako uskladiščeno toploto je nato možno uporabiti v zimskih mesecih za ogrevanje. Pri blaženju sprememb podnebja ne smemo pozabiti tudi na tehnologije skladiščenja CO<sub>2</sub> pod površjem tal, pri čemer podzemna voda in vodonosniki prav tako igrajo pomembno vlogo.

Spremembe podnebja v veliki meri vplivajo tudi na spremenjeni režim padavin, praviloma smo priča kratkotrajnejšim in intenzivnejšim nalivom. To povzroča probleme zlasti v mestih, ki imajo starejšo infrastrukturo za odvodnjo padavinskih vod. Poleg tega je v mestih na razpolago manj prostora za odvodnjo in neposredno infiltracijo padavinske vode; pozidane površine jo zmanjšujejo ali pa povsem preprečujejo, s tem pa tudi vplivajo na napajanje podzemne vode. Zaradi tega, ker obstoječi sistemi presežnih padavin ne odvajajo dovolj hitro, pride do padavinskih ali pluvialnih poplav (s tem problemom se soočamo tudi v slovenskih mestih). Dosedanje prakse ravnanja s presežno padavinsko vodo bomo morali spremeniti, zaradi sprememb v režimu celotnega vodnega kroga bo treba izboljšati zadrževanje vod. Uvesti bo treba sisteme za zadrževanje padavinske vode v urbanih središčih in s tem predvsem sisteme za njihovo učinkovitejše ponikanje. V urbanih območjih bo treba povečati in izboljšati ponikalne sisteme (ponikalni vodnjaki, ponikalna polja, začasno skladiščenje padavinske vode). Pri vodenju ponikanja padavinske vode se ponujajo tudi priložnosti vplivanja na temperaturo tal in s tem na učinkovitejše izkoriščanje toplote za ogrevanje ali hlajenje stavb.

Pri izkoriščanju podzemne vode za potrebe blaženja vpliva sprememb podnebja pa je potrebna velika previdnost. V nekaterih primerih podzemna voda ni obnovljiv vir ali pa se obnavlja zelo počasi. Zaradi tega lahko pride do njenega preizkoriščanja. Prav tako lahko razmišljamo tudi o povečevanju zaloga podzemne vode. Te probleme se skuša preseči z umetnim bogatenjem podzemne vode, ki jih poznamo tudi pod kratico MAR (ang. Managed Aquifer Recharge). Pri tem se v vodonosnike na umeten način prek infiltracijskih polj, bazenov ali vodnjakov infiltrira padavinsko vodo ali tudi prečiščeno sivo vodo (Zheng et al., 2021). Tehnike MAR so na sušnih in plosušnih območjih zelo obetaven način izboljševanja količinskega stanja podzemnih vod ter odpornosti na podnebne spremembe. V Sloveniji tehnike MAR že uporabljamo. Tak je primer hidravlične zavese in infiltracijskih vodnjakov na območju črpališča Vrbanski plato pri Mariboru ter črpališča Sejanca pri Ormožu. K tehnikam MAR bi lahko prišteli tudi nekatere že obstoječe ponikovalne sisteme padavinske vode v večjih mestih in ob avtocestah. Na tem mestu je treba

dodati, da je na našem območju uporaba teh tehnik smiselna predvsem pri odvajanju padavinskih vod, medtem ko sta zajemanje površinske vode in njena infiltracija vprašljiva.

## 8. ZAKLJUČEK

Podzemna voda je integralni del vodnega kroga, zato jo je pri vladovanju in upravljanju z vodami treba obravnavati enakopravno tako kot druge komponente. To izhaja iz dejstva, da z vplivom na en del vodnega kroga vplivamo na drugi del vodnega kroga in obratno. V vodni krizi, v kateri se nahajamo na globalni ravni, se vloga podzemne vode kaže prav v tej integralnosti. V splošnem pomanjkanju vode se kaže podzemna voda kot del rešitve teh problemov, saj je to pogosto edina voda, ki je v obdobjih suš na razpolago. Pri tem se je treba zavedati, da podzemna voda pogosto ni obnovljiv vir in da je pri tem treba upoštevati tudi njeno napajanje, ki je dokaj počasno. Trajnostno gospodarjenje s podzemno vodo je ključno pri njeni rabi. Tega se vse bolj zavedajo mednarodne organizacije, ki se ukvarjajo z vprašanji voda, zato je bilo razvojno poročilo o vodah za leto 2022 posvečeno podzemni vodi.

Primerjalno gledano v Republiki Sloveniji razpolagamo z obsežnim znanjem o podzemni vodi na območju ozemlja države. Prav tako lahko smelo trdimo, da je hidrogeološka stroka dobro razvita. Ne glede na to pa lahko ugotovimo, da nas na področju vladovanja, upravljanja in gospodarjenja s podzemno vodo čakajo še številni izzivi. Če izkoriščanje in rabo podzemne vode dobro obvladujemo, pa se premalo ukvarjamo s področji, na katerih lahko podzemna voda veliko prispeva pri prožni odpornosti na spremembe podnebja, ki povzročajo vodno krizo.

## LITERATURA IN VIRI

1. Margat, J. in Van der Gun, J., 2013. Groundwater around the World: A Geographical Synopsis. Boca Raton, CRC Press.
2. UN, 2022. The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. Paris, UNESCO.
3. Van der Gun, J., 2020. Conjunctive water management. A powerful contribution to achieving the Sustainable Development Goals. Paris, UNESCO.
4. Zheng, Y., Ross, A., Villholth, K. G. in Dillon, P. (ur.), 2021. Managing Aquifer Recharge: A Showcase for Resilience and Sustainability. Paris, UNESCO.



## VREDNOST VODE – ČE JE SKRITA, BO PREZRTA

mag. STANKA CERKVENIK<sup>1</sup>

### Povzetek

Voda je najdragocenejši vir življenja. Številni dogodki v zgodovini človeštva so pokazali, kako pomembni sta lahko voda ali odsotnost vode za življenje ljudi. V zadnjem stoletju smo bili v razvitem delu sveta prepričani, da je voda naravno neomejena, varna in poceni, njena dostopnost pa nekaj povsem samoumevnega. Voda je postala tako globoko vpeta v naše vsakdanje življenje in delo, da je postala skoraj nevidna. Vendar hitra rast prebivalstva, gospodarski razvoj in podnebne spremembe vse bolj povečujejo izzive, povezane s kakovostjo vode in njeno razpoložljivostjo. Si lahko predstavljate svet brez vode? Za več kot 2 milijardi ljudi, ki živi na območjih skrajnega pomanjkanja vode, domišljija ni potrebna. Prišel je čas, da pripoznamo »pravo« vrednost vode. Le tako bomo lahko sprejeli boljše odločitve o tem, kako jo zaščititi in uporabljati. Pri tem pa se odpira vprašanje, kako določiti pravo vrednost vode. Na videz enostavno vprašanje, na katerega odgovor vsekakor ni preprost. Dejstvo je, da ne obstaja le ena »prava« vrednost vode. Kako jo torej prepoznati, da ne ostane skrita in prezrta.

**Gljučne besede:** cena vode, podnebne spremembe, pomanjkanje vode, vodna kriza, vrednost vode, vrednotenje vode.

### Abstract

Water is the most precious source of life. Many events in human history have shown us how important water or the absence of water can be to human life. In the last century, in the developed part of the world, we were convinced that water was naturally unlimited, safe and cheap, and its availability was something completely taken for granted. Water has become so deeply embedded in our daily life and work that it has become almost invisible. However, rapid population growth, economic development and climate changes are increasing the challenges related to water quality and availability. Can you imagine a world without water? For the more than 2 billion people living in areas of extreme water scarcity, no imagination is needed. The time has come to recognize the »true« value of water. Only then will we be able to make better decisions about how to protect and use it. This raises the question of how to determine the true value of water. A seemingly simple question, the answer to which is certainly not simple. The fact is that there is not just one »right« value for water. So, how do we recognize it, so that it does not remain hidden and ignored.

**Keywords:** climate change, water crisis, water price, water shortage, water valuation, water value.



Izdelki blagovnih znamk podjetja Reckitt vsakodnevno podpirajo ljudi pri njihovem prizadevanju za čistejšo in bolj zdravo življenje, z boljšo higieno, zdravjem in prehrano. Skupaj nas vodi namen ščititi, zdraviti in negovati, ob nenehnem prizadevanju za čistejši in bolj zdrav svet. Trajnost je ključnega pomena in predstavlja rdečo nit vsega, kar počnemo. Naš novi trajnostni načrt "Za čistejši, bolj zdrav svet" definira naše ambicije do leta 2030.

Nekatere od teh so:

- 100 % uporaba embalaže iz materialov, ki jih je mogoče reciklirati ali ponovno uporabiti do leta 2025
- 65 % zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v proizvodnji do leta 2030
- 100 % obnovljiva elektrika in 25% manjša poraba energije do leta 2030
- 50 % zmanjšanje ogljičnega odtisa naših izdelkov do leta 2030
- doseči ogljično nevtralnost do leta 2040 (10 let pred rokom v Pariškem sporazumu)
- 30 % zmanjšanje porabe vode v proizvodnji do leta 2025
- pozitivna bilanca vode na območjih z velikim pomanjkanjem vode do leta 2030
- 50 % zmanjšanje vodnega odtisa izdelkov do leta 2040

\* Obiščite [www.reckitt.com](http://www.reckitt.com) za podrobnejše informacije o naši strategiji, blagovnih znamkah in trajnosti.

Z namenom ozaveščanja o pomanjkanju vode naša blagovna znamka Finish spodbuja ljudi k preprostemu koraku #Preskočilzpiranje pri polnjenju pomivalnega stroja. Pri predhodnem izpiranju posode za eno polnjenje stroja se porabi do 57 litrov vode – izgubljene vode. Detergenti Finish pa so tako učinkoviti pri odstranjevanju umazanije, da ta korak lahko preskočimo.

#Preskočilzpiranje (eng.#SkiptheRinse) je globalna kampanja, ki je skupaj z našimi partnerstvi z National Geographic, World Wildlife Fund, Love Water UK in Nature Conservancy dosegla več kot 350 milijonov ljudi, da bi jih spodbudila, naj zaprejo pipo z vodo in posode ne izpirajo pred nalaganjem v pomivalni stroj.

Reckitt kot globalno podjetje izobražuje svoje zaposlene in kupce o pomenu varčevanja z vodo. V Sloveniji pa je resnično prepoznalo velika prizadevanja Slovenskega društva za zaščito voda pri spodbujanju družbene odgovornosti na področju varstva voda.



<sup>1</sup> Mag. Stanka Cerkvėnik, univ. dipl. ekon., strokovna direktorica, Inštitut za javne sluŹbe



## 1. VODA – POGOJ ZA NASTANEK IN OBSTOJ ŽIVLJENJA

»Voda je gonilna sila vse narave.«

Leonardo da Vinci

Voda kot naravna prvina je pogoj za nastanek in obstoj življenja. Vse od začetka človeške civilizacije je prav voda določala, kje in kako ljudje živijo. Pred 10.000 leti se je človek odločil, da se v svetu premikajoče se vode ustali na enem mestu. Prav takrat ko so se ljudje odločili, da si bodo v bližini vodnih virov zgradili stalna naselja in upravljali zaloge vode, hkrati pa se zaščitili pred tem, da bi je imeli preveč, se je odnos med vodo in družbo spremenil. Človeško civilizacijo so oblikovali njeni poskusi nadzora nad vodo v gospodarske in družbene koristi.

Danes svetovno prebivalstvo porabi šestkrat več vode kot naši predniki pred 100 leti, povpraševanje pa s številom prebivalstva in gospodarsko rastjo še naprej narašča (Wada et al., 2016). Poleg tega podnebne spremembe vplivajo na vodni krog, spreminjajo vremenske sisteme in vzorce padavin, ki oddajajo preveč ali premalo in le redko tam, kjer in ko je potrebno.

Ekstremni dogodki, kot so suše in poplave, postopno, a dolgoročno pomembno vplivajo na razpoložljivost in kakovost vode. Vodna varnost in obenem zmožnost prebivalstva, da si zagotovi trajen dostop do ustreznih količin vode sprejemljive kakovosti, je za mnoge že ogrožena, stanje pa se bo v naslednjih nekaj desetletjih še poslabšalo. Že nekaj časa je očitno, da je količina pitne vode omejena. Boccaletti (2021), ki je v svoji raziskavi sledil zgodovini tega, kako so človeško civilizacijo oblikovali njeni poskusi nadzora nad vodo v gospodarske in družbene koristi, meni, da je količina vode na planetu, odkar se je pojavila pred 3,8 milijarde let, pravzaprav določena. Potemtakem bi lahko vsak požirek vode, ki ga naredimo, nekoč potoval skozi ledvice kakšnega dinosavra.

## 2. POMANJKANJE VODE – GLOBALNI IZZIV DANAŠNJEGA ČASA

»Šele ko je vodnjak prazen, se zavemo, kako pomembna je voda za nas.«

Benjamin Franklin

Poročilo Združenih narodov o svetovnem razvoju vode iz leta 2018 navaja, da že skoraj polovica svetovnega prebivalstva, tj. 3,6 milijarde ljudi ali 47 %, živi na območjih, kjer vsako leto najmanj en mesec primanjkuje vode. Do leta 2050, ko bo prebivalstvo predvidoma štel med 9,4 in 10,2 milijarde ljudi, pa bo že več kot polovica prebivalstva (57 %) živela na območjih, kjer primanjkuje vode (UNESCO, 2018). To pomeni, da bo do leta 2050 skoraj 6 milijard ljudi trpelo zaradi pomanjkanja pitne vode.

Prav pomanjkanje pitne vode je posledica vse večjega povpraševanja po vodi, zmanjšanja vodnih zalog in čedalje večjega onesnaževanja vode, ki ga povzročajo izrazita rast prebivalstva, urbanizacija, spremenjeni vzorci porabe ter posledice globalnega segrevanja. Domneva se, da bo pomanjkanje čiste vode do leta 2050 lahko še hujše od napovedi, saj so učinki dejavnikov, ki vplivajo na pomanjkanje vode, po mnenju strokovnjakov podcenjeni. Povpraševanje po vodi, razpoložljivost

vodnih virov in kakovost vode so namreč odvisni od številnih geopolitičnih dejavnikov, ki jih je težko napovedati. Tako svetovno prebivalstvo kot gospodarstvo bosta do leta 2050 verjetno rasla pospešeno, a neenakomerno po svetu, največje stopnje rasti pa se pričakujejo ravno v državah tretjega sveta. Povpraševanje po vodi bo do leta 2050 raslo hitreje kot prebivalstvo in gospodarstvo, enako tudi zmanjšanje kakovosti vode in razpoložljivost vodnih virov. Pri tem bodo lokalni pogoji veliko bolj kritični kot globalni, zaradi česar bodo problemi še težje rešljivi, menita Boretti in Rosa (2019).

Čeprav so podnebne spremembe postale naša stalnica, se večina ljudi še vedno ne zaveda, da se razpoložljivost sladke vode izrazito spreminja po vsem svetu. Najnovejši podatki vodilnih znanstvenikov kažejo podnebne spremembe na svetovni ravni, kakršnih še ni bilo. V zadnjem poročilu Medvladnega panela za podnebne spremembe (IPCC, 2022) je jasno zapisano, da globalno segrevanje povzroča vse večje, v nekaterih primerih celo nepopravljive spremembe vzorcev padavin, oceanov in vetrov v vseh državah sveta. Za Evropo poročilo napoveduje povečanje pogostosti in intenzivnosti ekstremnih vremenskih pojavov. Višje temperature in močnejši vremenski pojavi bodo imeli kritične posledice tako za naravo kot za ljudi, povzročili pa bodo tudi veliko gospodarsko škodo ter negativno vplivali na sposobnost držav pri proizvodnji hrane, za katero se poleg kmetijstva porabi največ vode.

Opozorila, da so vodne zaloge zaradi prevelike porabe in podnebnih sprememb močno omejene, so vse glasnejša. Več kot polovica večjih svetovnih vodonosnikov se hitro izčrpava, ker stopnje črpanja podzemne vode daleč presegajo stopnjo naravnega obnavljanja. Ob celoviti oceni učinkov regionalnih pridobitev in izgub sladke vode po vsem svetu je očitno dejstvo, da postajajo celine, z izjemo Grenlandije in Antarktike, vse bolj suhe. Voda za vse namene – za ljudi, okolje, proizvodnjo hrane in energije, industrijo ter gospodarsko rast – postaja vse bolj redka, saj so regionalni vodni viri marsikje že povsem izčrpani. Ob tem pa podnebne spremembe povzročajo vse daljša sušna obdobja, ki jih ločujejo silovite padavine in močna neurja, zaradi česar je upravljanje vodnih virov še težje.

Vlažna območja planeta, kot so tropi, postajajo vse bolj vlažna, medtem ko že tako suha območja sveta, zlasti tista srednje zemljepisne širine, postajajo še bolj suha. Nekateri najhitrejši spremembe se dogajajo na severnih visokih zemljepisnih širinah. Tako na primer v severnih predelih Kanade in Rusije segrevanje, ki je do štirikrat večje od svetovnega povprečja, tali ledenike, ob tem pa tudi snežno odejo. Posledično se drastično spreminja regionalna hidrologija. Ta široki globalni vzorec poudarjajo regionalna žarišča s preveč ali premalo vode, ki jih povzročajo spreminjajoče se skrajnosti poplav in suše ter obsežno izčrpavanje vodonosnikov podzemne vode.

Podzemna voda predstavlja skoraj 99 % vse tekoče sladke vode na Zemlji in zagotavlja skoraj polovico pitne vode na svetu. Trenutno predstavlja 49 % vse vode, ki se uporablja za široko potrošnjo, in približno 25 % vse vode, ki se uporablja za namakanje. Skoraj 50 % svetovnega mestnega prebivalstva je odvisnega od podzemnih vodnih virov. Ne le da podzemna voda vzdržuje ekosisteme, je tudi pomemben dejavnik pri prilagajanju podnebnim spremembam. Z naraščanjem pomanjkanja vode in zmanjšanjem razpoložljivosti površinske vode se povečujeta tako odvisnost kot pritisk na podtalnico (UNESCO, 2022).

Težave, povezane z vodo, niso več omejene le na države v razvoju, temveč postajajo globalen izziv. Ob tem pa je ključno dejstvo, da smo za podnebne spremembe kot tudi za slabo upra-



vljanje podzemne vode odgovorni izključno mi – ljudje. Da se svet spreminja hitro in voda postaja tveganje številka ena, je že leta 2015 ob otvoritvi 7. svetovnega foruma o vodi opozoril Benedito Braga, predsednik Svetovnega sveta za vodo, ter pozval k skrbnosti in modrosti pri ravnanju z vodo.

### 3. VODA JE GLASNIK PODNEBNIH SPREMENB

*»Ljudje mislijo, da je planet v nevarnosti. Ne, planet ni v nevarnosti. Naj vas ne skrbi za mater Zemljo. Odskočila bo. Samo človeško življenje lahko postane zelo kruto, če se takoj ne spopademo s problemi.«*  
*Jagadish Jaggi Vasudev – Sadhguru,*  
*indijski guru joge in zagovornik duhovnosti*

Iz projekcij Climate Action Tracker (CAT), t. i. podnebnega sledilnika, ki ocenjuje napredek držav glede na dane zaveze, izhaja, da bodo nespremenjene svetovne aktivnosti do leta 2100 globalno segrevanje povečale za 2,7 °C. Tudi če bi vse države izpolnile sprejete zaveze do leta 2030, bi to še vedno vodilo do 2,4 °C segrevanja, odnosno po najbolj črnem scenariju do 3 °C do konca tega stoletja (CAT, 2022). Po ocenah znanstvenikov torej skoraj zagotovo ne bomo dosegli cilja pariškega sporazuma o omejitvi dviga globalne temperature pod 2 °C glede na predindustrijsko dobo, kar pomeni, da lahko v prihodnosti pričakujemo večje in izrazitejše spremembe podnebja<sup>2</sup>.

Vpliv podnebnih sprememb na človeške sisteme, vključno z varnostjo vode, proizvodnjo hrane, zdravjem in blaginjo ter vplivom na mesta in infrastrukturo, je posledica povečane pogostosti in intenzivnosti podnebnih in vremenskih ekstremov, vključno z ekstremnimi vročinami, močnimi padavinami, sušo ter požari. Projekcije znanstvenikov kažejo, da bodo zaradi podnebnih sprememb sušna obdobja pogostejša in daljša, do leta 2050 naj bi suša prizadela kar tri od štirih ljudi na svetu.

Negativni učinki podnebnih sprememb se kažejo predvsem v spremembah vodnega kroga. S podnebnimi spremembami se stopnjujejo suše, poplave in taljenje ledenikov, kar ima pogosto resne posledice za ekosisteme. Zaradi podnebnih sprememb in pretirane porabe vode bo do leta 2030 skoraj vsak drugi prebivalec živel na območju s pomanjkanjem vode. Gospodinjstva, industrija in kmetijstvo bodo vse bolj tekmovali za vodo, za vzdrževanje ekosistemov pa bo ostalo le malo vode.

Medtem ko naraščajoče koncentracije ogljikovega dioksida še naprej povzročajo globalno segrevanje, je voda prikriti glasnik, ki prinaša slabe novice o podnebnih spremembah in trka na naša vrata. Ker smo ljudje ključni povzročitelji podnebnih sprememb, je na nas, da se prilagodimo in, kolikor je mogoče, popravimo porušen vodni krog. V nasprotju z emisijami toplogrednih plinov je bil odziv družbe na vodne vidike podnebnih sprememb nezadovoljiv in se ni približal hitrosti ter obsegu, ki ju zahteva nujnost podnebno vodne krize.

<sup>2</sup> Segrevanje 1,5 °C je mednarodna skupina strokovnjakov ocenila kot mejo, pri kateri so posledice podnebnih sprememb še obvladljive in pomembno zmanjšajo tveganja zaradi podnebnih sprememb, kot so dvig morske gladine, razpoložljivost pitne vode, predvidljivost kmetijskih letin, pogostost skrajnih vremenskih pojavov, vročinskih valov ipd. (IPCC, 2018).

### 4. POBUDA ZA VREDNOTENJE VODE

*»Voda je splošna, dedna dobrina, katere vrednost mora poznati vsak. Naloga vseh je, da z njo upravljamo in jo skrbno uporabljamo.«*  
*Evropska listina o vodnih virih*

Voda je gradnik življenja in v središču trajnostnega razvoja. Je tudi jedro prilagajanja podnebnim spremembam, obenem pa ključna povezava med človeško družbo in okoljskimi spremembami. Čeprav pokriva 70 % našega planeta, je voda omejen in nenadomestljiv vir. Sladke vode, ki jo človek nujno potrebuje za življenje, je le okoli 2,5 %. Velika večina sladke vode je ujete v ledenike. Čeprav voda v naravi nenehno kroži in se obnavlja, je njena skupna količina vendarle omejena. Ob hitri svetovni porabi vode, ki smo ji priča v zadnjem obdobju, razpoložljiva količina vode tudi v polni izkoriščenosti ne bo več zadostovala za zadovoljitev vseh potreb. Pritisk na vodo narašča, zato je ukrepanje nujno. Naraščajoče prebivalstvo, vzorci gospodarske rasti, ki zahtevajo več vode, vse večja spremenljivost padavin in onesnaženje se marsikje združujejo, in voda postaja eno od največjih tveganj za trajnostni razvoj. Poplave in suše že povzročajo ogromne socialne in gospodarske stroške po vsem svetu, podnebne spremembe pa bodo le še poslabšale vodne ekstreme. Če bo svet nadaljeval po sedanji poti, se lahko po napovedih do leta 2030 sooči s 40-% pomanjkanjem razpoložljive vode.

Septembra 2015 je bila na Generalni skupščini Združenih narodov sprejeta Agenda za trajnostni razvoj do leta 2030, s katero so se svetovni voditelji zavezali, da bodo odpravili revščino, zaščitili planet in zagotovili, da bodo vsi ljudje živeli v miru in blaginji. Agenda poleg zavez in političnih izjav opredeljuje 17 ciljev trajnostnega razvoja (ang. Sustainable Development Goals – SDG), med katerimi se cilj šest – čista voda in sanitarna ureditev – nanaša na dostop do vode, z namenom vsem zagotoviti dostop do vode in sanitarne ureditve ter poskrbeti za trajnostno gospodarjenje z vodnimi viri. Cilj je razčlenjen na osem podciljev, ki med drugim natančneje opredeljujejo zaveze, povezane z dostopom do čiste in poceni vode, ustrezne sanitarne ureditve, kakovost vode, gospodarnejšo rabo vode, celovitejše upravljanje z vodnimi viri, navsezadnje tudi zavarovanje in obnovo ekosistemov, povezanih z vodo. Glede na trenutno stanje na vodnem področju in kratek časovni okvir gre za zelo velikopotezne cilje, ki zahtevajo hitre spremembe v dosedanjem načinu upravljanja z vodo.

#### Visoki panel o vodi

Da bi pospešili spremembo dosedanjega načina upravljanja z vodo, sta generalni sekretar Združenih narodov Ban Ki-moon in predsednik Svetovne banke Jim Yong Kim aprila 2016 ustanovila Visoki panel o vodi (ang. High Level Panel on Water – HLPW). Cilj panela, ki ga sestavljajo predsedniki držav in vlad<sup>3</sup>, je zagotoviti celovit, vključujoč in sodelovalen način upravljanja vodnih virov ter izboljšanje storitev, povezanih z vodo, po drugi strani pa prispevati k uresničevanju cilja šest iz Agende 2030 za trajnostni razvoj. Osrednji poudarek panela je zaveza k zagotavljanju razpoložljivosti in trajnostnega upravljanja vode ter sanitarij za vse, kot tudi prispevati k doseganju drugih ciljev trajnostnega razvoja, ki temeljijo na razvoju in upravljanju vodnih virov. Panel je svoje cilje strnil v devet glavnih področij, med katerimi je tudi vrednost vode. Za vsako področje

<sup>3</sup> Visoki panel o vodi sestavlja 11 voditeljev držav in vlad iz Avstralije, Bangladeša, Madžarske, Jordanije, Mauritiusa (sopredsedujoči), Mehike (sopredsedujoči), Nizozemske, Peruja, Senegala, Južne Afrike in Tadžikistana ter posebni svetovalec panela (nekdanji premier Južne Koreje).



je odgovorna posamezna država; na primer za področje vrednosti vode je odgovorna Nizozemska, ki jo v Visokem panelu o vodi zastopa premier Mark Rutte.

Visoki panel o vodi je izpostavil, da ima voda različno socialno, ekonomsko in okoljsko vrednost ter je ključna za človekovo življenje in dostojanstvo. Potrebujemo jo za predelavo hrane, energijo, proizvodnjo in druge ekonomske aktivnosti, navsezadnje jo potrebuje tudi okolje. Pri vrednotenju vode je prisotnih veliko nejasnosti in pogosto tudi protislovnih odnosov ter pogledov. Vrednotenje vode mora temeljiti na socialnih in ekonomskih koristih, ki izhajajo iz njene rabe. Vrednost vode mora biti osnova za oblikovanje njene cene, ki mora spodbuditi učinkovitejšo rabo vode in obenem zagotoviti investicije v vodno infrastrukturo.

Marca 2018 je panel končal dvoletni mandat z odprtim pismom kolegom voditeljem in objavo zaključnega dokumenta z naslovom »Vsaka kapljica šteje«. Dokument povzema glavne ugotovitve in priporočila za ukrepanje, ki odražajo različne poglede in izkušnje članov panela kot voditeljev iz različnih regij sveta, s ciljem razviti nabor skupnih načel za motiviranje in spodbujanje vlad, podjetij in civilne družbe, da bi bolje razumeli, cenili in upravljali vodo kot dragocen vir.

#### **Bellagijska načela o vrednotenju vode**

Visoki panel o vodi se je maja 2017 pod okriljem Rockefellerjeve ustanove sestal v letovišču Bellagio v Italiji in razpravljal o vrednotenju vode. Na sestanku so sprejeli t. i. Bellagijska načela (HLPW, 2017), ki vrednotenje vode opredeljujejo kot prepoznavanje in upoštevanje vseh koristi, ki jih prinaša voda, ter zajemajo ekonomsko, socialno in ekološko razsežnost vode. Za razumevanje ozadja pobude za vrednotenje vode je pomembna preambula dokumenta, ki v sedmih točkah med drugim izpostavlja, da je voda dragocena, krhka in nevarna, po drugi strani pa lahko preživlja ali uničuje. Voda je temelj življenju, družbam in gospodarstvu. Je več kot le snov. Ima več vrednosti in pomenov, ki so izraženi z duhovnimi, kulturnimi in gospodarskimi pojmi, ki jih najdemo v jezikih, normah ter dediščini. To odraža globoko dožemanje vode, zaradi česar so potrebna povezovanja in sodelovanja vseh članov družbe. Da bo voda dostopna za številne rabe in uporabnike, je treba razviti orodja in ustanove, ki jo bodo transformirale iz naravnega vira v snov, ki bo, potem ko bo zagotovila osnovne storitve, obnovljena in varno vrnjena v naravo. Vodo in njene vire je treba spoštovati; če jih zanemarimo, imajo moč, da povzročijo škodo ter razdelijo ali celo uničijo družbo. Z eksplicitnim izražanjem vrednosti vode lahko prepoznamo vse njene dimenzije, ki jih sicer zlahka spregledamo, zato je vrednotenje vode več kot le analiza razmerja stroškov in dobrobiti.

Vrednotenje vode pomeni prepoznavanje in upoštevanje vseh dobrobiti in dimenzij – ekonomskih, socialnih in ekoloških –, ki jih zagotavlja voda. To zavzema številne oblike, ki so vezane na lokalne pogoje in kulture. Vrednotenje omogoča uravnoteženje raznolikih oblik uporabe in storitev, ki jih zagotavlja voda, omogoča z informacijami podprte odločitve, njeno umeščanje med različnimi uporabniki in storitvami z namenom povečevanja ekonomskega blagostanja. Alokacija vode lahko poteka v različnih oblikah, na primer z zakonodajnimi in ekonomskimi instrumenti, ki pravočasno opozarjajo na njeno pomanjkanje, spodbujajo varovanje ter preprečujejo izgube. Vrednotenje vode lahko izpostavi stroške onesnaževanja in vodnih izgub ter spodbudi večjo učinkovitost in boljše prakse.

Za kakršnokoli rabo vode je potrebna infrastruktura. Oblikovanje cene vode ni sinonim za vrednost vode, je le eden od načinov za pokrivanje stroškov, ki odražajo del teh vrednosti pri njeni

uporabi in zagotavlja ustrezne vire za financiranje potrebne infrastrukture. Učinkovito upravljanje voda predstavlja priložnost za preoblikovanje tveganja v odpornost, revščine v dobro počutje in propadajočih ekosistemov v trajnostne, kar zahteva iskanje načinov za sodelovanje med sektorji, skupnostmi in državami za učinkovitejše upravljanje voda.

Izhodišča iz preambule so povzeta v petih načelih, ki so vodilo za razumevanje in sporočanje vrednosti voda ter ključna v prizadevanjih za zaščito voda (HLPW, 2017):

1. Pripoznati in upoštevati različno vrednost vode za različne deležnike in interese ter pri vseh odločitvah, ki vplivajo na vodo.
2. Uskladiti vrednote, zgraditi zaupanje ter voditi vse procese, ki bodo omogočili pripoznavanje vrednosti vode na način, ki bo enakopraven, učinkovit, pregleden in vključujoč.
3. Zaščititi vodne vire, vključno s porečji, rekami, vodonosniki in z njimi povezanimi ekosistemi, za današnje in prihodnje generacije.
4. Izobraževati za opolnomočenje – spodbujati izobraževanja in ozaveščanje vseh deležnikov o vrednosti vode ter njeni bistveni vlogi v vseh vidikih življenja.
5. Vlagati in inovirati – zagotoviti ustrezne naložbe v institucije, infrastrukturo, informacije in inovacije, s ciljem izkoristiti številne koristi vode ter zmanjšati tveganja.

#### **Pobuda za vrednotenje vode**

Po sprejetju Bellagijskih načel o vrednotenju vode je bila ustanovljena Pobuda za vrednotenje vode (ang. Valuing Water Initiative – VWI) z namenom, da bi načela prenesla v prakso. Pobuda spodbuja prepoznavanje številnih vrednosti vode za vse, ki jo uporabljajo. To spoznanje je v vodni krizi še kako pomembno, saj je podcenjevanje vode pomemben dejavnik, ki prispeva k pomanjkanju vode.

Na Svetovnem gospodarskem forumu januarja 2019 je nizozemski premier Mark Rutte, ki predseduje pobudi, uradno predstavil pobudo, v okviru katere naj bi oblikovali načine vrednotenja vode in na podlagi študije praktičnih primerov prikazali izvajanje načel vrednotenja vode Združenih narodov. Pobuda za vrednotenje vode je februarja 2020 pripravila konceptualni zapis z naslovom Vrednotenje vode: konceptualni okvir za sprejemanje boljših odločitev, ki vplivajo na vodo. Cilj dokumenta je operacionalizacija petih načel vrednotenja vode, ki bi bila podlaga za sistemske spremembe v vodnem sektorju. Dokument temelji na številnih ključnih poročilih in dokumentih, pripravljenih v zadnjem desetletju, vključno s sklopom dokumentov o stališčih glede vrednotenja kulturne, duhovne in okoljske razsežnosti vode kot osnove za ekološko in človeško blaginjo. Pobuda za vrednotenje vode (VWI) tako predstavlja praktično uporabo načel vrednotenja vode v politikah, poslovnih praksah in vedenju v različnih kontekstih, sektorjih, organizacijah ter podjetjih.

Svetovna vodna kriza poleg nevarnosti, ki jo predstavlja za zdravje ljudi in ekosisteme, ponazarja tudi sistemsko, daljnosežno finančno tveganje za skoraj vsa gospodarstva. Medtem ko so vlagatelji dosegli velik napredek pri razumevanju tveganj v svojih portfeljih, povezanih s podnebnimi tveganji, in pri ukrepanju za njihovo zmanjšanje, so veliko počasneje dojeli, da je tudi voda sistemsko, a obenem globalno tveganje. Podjetjem namreč ni bilo treba izračunati resničnih stroškov vode, ker je bilo samoumevno, da bo vode dovolj in bo na voljo, ko jo bodo potrebovala. Ob



tem pa je bilo prezrto dejstvo, da če vodo napačno vrednotimo, jo bomo zagotovo tudi napačno upravljali. Ob upoštevanju teh dejavnikov ni presenetljivo, da vlagatelji niso mogli razviti jasnega razumevanja, kako vplivi industrije na vodo predstavljajo dolgoročna finančna tveganja.

### Pobuda kapitalskemu trgu za odziv na svetovno vodno krizo

Podnebni ukrepi so nekako tlakovali pot vodi, saj so razkrili spoznanje, da brez močnejšega sodelovanja zasebnega sektorja ne bo mogoče bistveno vplivati na podnebne spremembe in izboljšati varnost oskrbe z vodo. Čas, ko je voda samoumevna, se izteka. Kljub temu pa se večina največjih svetovnih institucionalnih vlagateljev ne zaveda negativnih vplivov gospodarske dejavnosti na vodo, še manj pa tega, kako okoljsko sporne so nekatere korporativne prakse. V resnici je zelo malo zahtev ali konkurenčne prednosti za podjetja, da se spopadejo s pomanjkanjem vode v regijah, v katerih delujejo. Čeprav take pogoje oblikujejo države, so ta prizadevanja pogosto premajhna ali zgolj lokalna, poleg tega pa so številne korporacije tako velike, da ni posamezne vlade, ki bi lahko vplivala in jih spodbudila k bolj trajnostnemu ravnanju. Po drugi strani pa imajo institucionalni vlagatelji in komercialne banke moč spodbujati ustrezne korporativne ukrepe, vendar se tega bodisi ne zavedajo bodisi ne vključujejo tveganj, povezanih z vodo v svoje naložbene odločitve.

Zato je še toliko bolj nujno spodbuditi akterje na kapitalskem trgu – vključno z velikimi institucionalnimi vlagatelji in večjimi korporacijami –, da se vključijo v reševanje perečih vprašanj, povezanih z vodo. Pobuda za vrednotenje vode (VWI) sodeluje z neprofitno in trajnostno usmerjeno organizacijo Ceres<sup>4</sup> z namenom, da bi spodbudili vplivne akterje na kapitalskem trgu k obravnavi finančnih tveganj vodne krize in jih pozvali k ukrepanju. V okviru teh prizadevanj je bila avgusta 2022 oblikovana pobuda Valuing Water Finance Initiative (VWFI), ki predstavlja prvo tovrstno prizadevanje vlagateljev, da bi podjetja z visokim vodnim odtisom spodbudili k prepoznavanju vode kot najdragocenejšega naravnega vira in k bolj strateškemu upravljanju z vodo. Pobudo je podpisalo 64 podpisnikov, ki predstavljajo 9,8 bilijona dolarjev sredstev v upravljanju; kot taka še naprej raste, saj zasebni sektor vedno bolj priznava materialna tveganja vodne krize.

S ciljem, da bi pomagala pri spodbujanju korporativnih ukrepov glede upravljanja finančnih tveganj, povezanih z vodo, in pri vključevanju vodilnih v podjetjih v trajnostno upravljanje vode, je bila ustanovljena posebna projektna skupina Valuing Water Finance Task Force, ki jo sestavljajo nekateri največji pokojninski skladi in banke. Delovna skupina ozavešča kapitalske trge o razširjenih negativnih vplivih korporativnih praks pri ravnanju z vodo in pomaga vzpostaviti sodelovanje s podjetji, ki so povezana z najresnejšimi in sistemskimi vplivi na vodne vire. Na podlagi novih raziskav in analiz je Ceres skupaj s člani projektne skupine ter predstavniki vlagateljev in nevladnih organizacij pripravil nabor akcijskih korakov, imenovanih Corporate Expectations for Valuing Water. Gre za niz šestih, znanstveno utemeljenih in izvedljivih akcijskih korakov, ki naj bi jih vlagatelji uporabili pri vrednotenju vode v sodelovanju s podjetji, v katera vlagajo, in so v skladu s ciljem trajnostnega razvoja Združenih narodov do leta 2030 za vodo (SDG6) in ukrepi, določenimi v načrtu Ceres 2030. »Čas je, da vlagatelji zahtevajo preglednejše poročanje in boljše načrtovanje za zaščito dolgoročnih naložb. Razpoložljivost in porabo vode

je treba obravnavati kot ključna elementa dobavne verige ter proizvodnega procesa v podjetjih po vsem svetu,« je dejala kalifornijska državna nadzornica Betty T. Yee in članica upravnega odbora družbe Ceres (2022).

## 5. VREDNOST VODE IN NJENA CENA

*»Vrednotenje vode pomeni veliko več kot preprosto določanje cene različnih vrst porabe vode. Če vemo, koliko je voda vredna za vsakega deležnika, lahko optimiziramo kompromise in povečamo skupno vrednost vode za družbo.«*

*Mark Rutte, predsednik nizozemske vlade  
in član Visokega panela o vodi*

Ob pomanjkanju vode pogosto rečemo, da je voda premalo cenjena in da moramo prepoznati njeno »pravo« vrednost, da bi sprejemali boljše odločitve o tem, kako jo varujemo, delimo in uporabljamo. Ob tem se porajata vprašanji, kakšna je vrednost vode in kako jo sploh ovrednotiti<sup>5</sup>. Na videz sicer enostavni vprašanji, a odgovor nanju še zdaleč ni preprost.

Z ekonomskega vidika je cena dobrine tista, ki jo nekdo plača zanjo, medtem ko je njena vrednost tista, ki jo dobi, ko jo uporablja. V preteklosti je bila razlika med obema pojmomoma eno najbolj nejasnih ekonomskih vprašanj, po drugi strani pa je povzročila veliko družbenih in političnih sporov. V primeru vode je ta dihotomija še posebej izrazita: voda je dobrina z zelo visoko vrednostjo, saj brez nje nihče ne bi mogel preživeti; vendar v industrializiranem svetu za vodo plačujemo veliko nižjo ceno kot za druge dobrine, ki niso nujno potrebne za življenje.

V skladu z ekonomsko teorijo je vrednost dobrine določena z njenim pomanjkanjem ali – povedano drugače – z razliko med omejenimi viri in neomejenimi potrebami. Ljudje v razvitem svetu uporabljamo vodo, kot da je neomejena. Naše naložbe so nezadostne in neučinkovite, hkrati pa porabimo preveč vode, kar povzroča njeno pomanjkanje, ki vse bolj povečuje njeno vrednost in ceno.

Vrednost ima subjektivni pomen, obenem pa je odvisna od osebnih, podnebnih in družbenih dejavnikov. Voda ni enako vredna za kmeta na podeželju kot za nekoga, ki živi v mestu, prav tako ni enako vredna za nekoga, ki živi v vodnati Skandinaviji, ali za nekoga, ki živi v vroči podsaharski Afriki. Veliko ljudi se ne zaveda vrednosti okolja, ki jih obdaja, in vode, ki ga vzdržuje.

<sup>5</sup> Vrednotenje je postopek, s katerim se nečemu pripiše vrednost. V kontekstu naravnih virov se vrednost izraža na več načinov:

- menjalna vrednost: cena blaga ali storitve na trgu (tj. tržna cena);
- uporabna vrednost: uporabna vrednost blaga ali storitve, ki se lahko zelo razlikuje od tržne cene (npr. tržna cena vode je zelo nizka, njena uporabna vrednost pa zelo visoka; velja tudi obratno, na primer za diamante ali drugo luksuzno blago);
- pomembnost: vrednotenje ali čustvena vrednost, ki jo pripisujemo določenemu blagu ali storitvi (npr. čustvena ali duhovna izkušnja, ki jo imajo nekateri ljudje ob pogledu na vodne pokrajine, ali pomen, ki ga vodi pripisujeta kultura ali religija).

<sup>4</sup> Ceres je neprofitna organizacija, ki se ukvarja s trajnostnim razvojem in si prizadeva preoblikovati gospodarstvo za izgradnjo pravične in trajnostne prihodnosti tako za ljudi kot planet. V svoji predstavitvi na spletni strani navajajo, da sodelujejo z najvplivnejšimi akterji kapitalskega trga pri reševanju največjih izzivov trajnosti na svetu. S pomočjo svojih vplivnih povezav in sodelovanjem globalnih vlagateljev, podjetij ter neprofitnih organizacij spodbujajo ukrepanje, obenem pa si prizadevajo za pravične tržne in politične rešitve (<https://www.ceres.org/about-us>).



Večina metod za vrednotenje vodne infrastrukture se osredotoča na stroške in koristi, navadno pa precenjuje koristi in podcenjuje stroške, ker ne vključuje vseh. Ena glavnih pomanjkljivosti je, da obravnavajo le finančne stroške (denarne tokove, investicijske in operativne izdatke) ter donose, ob tem pa po navadi spregledajo posredne stroške, zlasti socialne in okoljske. Določanje tarif za gospodinjstve in gospodarske uporabnike je v državah različno, v primeru kmetijstva pa cena vode pogosto sploh ni določena ali pa je zelo nizka. Cena vode mora odražati stroške izgradnje in uporabe infrastrukture, stroške zagotavljanja storitev, stroške zagotovljenega dostopa ter socialne in okoljske stroške, ki izhajajo iz rabe vode.

Stroške in koristi, povezane z vodo, je pogosto težko ovrednotiti, saj vseh ni mogoče količinsko opredeliti niti ovrednotiti. V takih primerih se lahko uporabijo druga orodja za vrednotenje, na primer analize stroškovne učinkovitosti, ki primerjajo stroške z neekonomskimi rezultati, kot so rešena življenja, oskrbljeni ljudje ali doseženi okoljski kazalniki. Pri določitvi koristi projekta za vodno infrastrukturo se je treba zavedati tudi tega, kaj bi se zgodilo, če se projekt ne bi izvajal.

Oblikovanje ustrezne tarifne strukture je izziv zaradi številnih političnih ciljev, ki so si pogosto nasprotujoči. Pri zagotavljanju storitev oskrbe s pitno vodo je treba zagotoviti tudi cenovno dostopnost za revnejše državljane, razširjeno pokritost za čim večje število ljudi ter zadostna finančna sredstva za zagotavljanje zanesljive in nemotene oskrbe kot tudi infrastrukturni razvoj. Zato mora biti cena za vodo zelo skrbno oblikovana, da se doseže čim več teh ciljev.

Povzamemo lahko, da cena vode, stroški oskrbe z vodo in njena vrednost niso sinonimi, cena je le eno od orodij, ki so na voljo za usklajevanje rabe vode in njene vrednosti. Iz tega sledi, da ne obstaja le ena vrednost vode. Voda ima neskončno število vrednosti, ki se lahko zelo razlikujejo glede na njeno lokacijo, stopnjo obilja ali pomanjkanja, kakovost ali razpoložljivost. Vrednosti so odvisne tudi od namenov, za katere se uporablja, in koristi, ki jih ta uporaba prinaša. Pri tem pa je jasno, da se globalni pomen tega življenjsko pomembnega vira v mnogih delih sveta ne odraža ustrezno v smislu politične pozornosti in finančnih naložb. To ne povzroča le neenakosti pri dostopu do vodnih virov in z vodo povezanih storitev, temveč tudi netrajnostno rabo in degradacijo samih vodnih virov, kar vpliva na izpolnjevanje skoraj vseh ciljev trajnostnega razvoja in osnovnih človekovih pravic.

### Vrednost vode v primerjavi s ceno

Pri vodi ni povsem jasne povezave med ceno in vrednostjo. Voda je naravni vir in zato pripada vsem. Kljub temu pa sta za njeno oskrbo, kakovost in okoljsko ravnovesje potrebni tako infrastruktura kot tehnologija, ki povzročata stroške, ki jih je treba plačati. Določitev pravične cene vode je zapleten proces, saj vključuje več dejavnikov, povezanih s stroški celotnega procesa vodnega kroga: to je cena njenega zajemanja, zbiranja, čiščenja, prečiščevanja, prevoza, uporabe, obdelave, ponovnega recikliranja in vračanja v okolje. V primerih, ko ima voda ceno, se pravi, ko se potrošnikom zaračuna njena uporaba, cena navadno odraža poskuse povračila stroškov, ne pa vrednosti vode. V večini držav ima torej voda neskončno vrednost, vendar ljudje za njeno uporabo ne plačujejo toliko, kot bi morali. Le države, ki nimajo dostopa do tega vira, so pripravljene plačati toliko, kolikor je zanje vreden. Voda sicer redkokdaj predstavlja neposreden, prvi in najodločilnejši razlog za vojno, je pa vselej del razlogov za vojno. Ko se konflikt začne, postanejo vodni viri bodisi cilj napadov bodisi voda postane orožje v vojskovanju, je izpostavil Danilo Türk kot predsedujoči Globalnemu visokemu panelu o vodi in miru.

Razmere na področju dostopa do vode in sanitarij se hitro spreminjajo. Pričakuje se, da bo do leta 2030 povpraševanje po vodi za 40 % presešlo razpoložljivo ponudbo. Zaradi prenaseljenosti, degradacije okolja in podnebne krize se vrednost vode iz dneva v dan povečuje. Kako pa to vpliva na ceno? Ta je namreč vključena v koncept dostopa do vode, ki je del deklaracije Združenih narodov o človekovi pravici do vode. Prvi podcilj šestega cilja trajnostnega razvoja tako določa, da je treba do leta 2030 vsem omogočiti enakopraven dostop do varne in cenovno dostopne pitne vode.

Cenovna dostopnost pomeni, da plačilo storitev ne predstavlja ovire za dostop in da ljudem ne preprečuje zadovoljevanja drugih osnovnih človeških potreb. Prav v zvezi s tem Združeni narodi navajajo, da računi za vodo ne bi smeli presežati 3 % gospodinjstevskega proračuna. Vendar ta pogoj v številnih državah v razvoju ni izpolnjen. Carlos Garriga, direktor fundacije We are Water, je ob svetovnem dnevu voda 2020 opozoril na velike neenakosti in izpostavil primer Port Moresbyja, glavnega mesta Papue Nove Gvineje. Tam namreč 50 litrov vode – dnevna količina, ki jo priporoča Svetovna zdravstvena organizacija za človeške potrebe – stane 1,84 funta, kar je več kot 50 % zaslužka družine z najnižjimi dohodki, medtem ko v Angliji 50 litrov stane 0,07 funta, kar je le 0,1 % povprečnega zaslužka gospodinjstev z najnižjimi dohodki.

Prebivalci v industrijsko razvitih državah so na splošno navajeni, da za vodo plačujejo malo, zato je zvišanje cene vode zanje nepriljubljen ukrep, po drugi strani pa za lokalne skupnosti, ki so navadno v vlogi regulatorja, tudi politično neugoden ukrep. Ta odnos po navadi spremlja pomanjkanje zavedanja o stroških vode, ki pride do uporabnikov, kot tudi o dolgoročnih razvojnih posledicah, ki jih povzroči podcenjena storitev oskrbe s pitno vodo. Zato nekateri strokovnjaki menijo, da bi bilo ustreznejše, da bi si namesto vprašanja, kakšna je pravična cena vode, postavili vprašanje, kakšna je cena tega, da vode nimamo. Cena pomanjkanja vode zajema razmere, ki se v razvitih gospodarstvih na splošno (še) ne upoštevajo. Na drugi strani pa po podatkih fundacije We Are Water v nerazvitem svetu zaradi pomanjkanja pitne vode vsako leto umre 500.000 otrok, mlajših od pet let, zato je upravičeno vprašanje, kakšno ceno bodo imeli mladi v svetu brez varne vode. Tudi otežen dostop do vode je povezan z ogromnimi človeškimi naporji in gospodarsko škodo. Na svetu se za zbiranje vode porabi približno 125 milijonov ur na dan. Samo v podsaharski Afriki večinoma ženske in dekleta porabijo 40 milijard ur na leto za hojo po vodo, kar je enakovredno enoletnemu delu delovno aktivnega prebivalstva države, na primer Francije. Prav tako ne gre prezreti stroškov, ki nastajajo zaradi visokega deleža neprečiščene odpadne vode. Študije ocenjujejo, da letni svetovni stroški zaradi neprečiščene vode znašajo okoli 220 milijard dolarjev.

### V vrednostni enačbi vode manjka naravni kapital

Vrednotenje naravnih virov je bistveno za varovanje okolja in skrb za ohranitev krhkega ekosistema, kot je voda. Koncept naravnega kapitala<sup>6</sup> je bil v ekonomijo uveden šele v devetdesetih letih prejšnjega stoletja. Naravne vire in ekosisteme je bilo treba obravnavati kot sredstva za proizvodnjo blaga in storitev, zato so imeli sami po sebi ekonomsko vrednost, po drugi strani pa

<sup>6</sup> Naravni kapital je skupek sredstev, ki proizvajajo ekosistemske storitve, ki vzdržujejo družbenoekonomsko dejavnost človeške populacije. Koncept in empirično merjenje kapitala sta razširjena na ekonomsko vrednotenje človeških sposobnosti (človeški kapital) ter koristi narave (naravni kapital).

Costanza in Daly sta leta 1992 v svojem članku »Naravni kapital in trajnostni razvoj« naravni kapital opredelila kot vsako zalogo, ki sčasoma ustvarja pretok naravnih dobrin in storitev. Ta naravna zaloga vključuje zaloge mineralne energije, raznolikost rastlin in živali v regiji; pa tudi rodovitnost tal, razpoložljivost sladke vode, kakovost zraka, vzdrževanje biogeokemičnih ciklov (ogljik, dušik ipd.) ter podnebna stabilnost.



jih je bilo treba tudi ohraniti. Sčasoma se je uveljavil koncept zelenega gospodarstva z načelom, da je naravni kapital z vidika trajnosti nenadomestljiv.

Ločnica med vrednostjo in ceno vode se relativizira z upoštevanjem stroškov biotske raznovrstnosti in njene povezanosti z vodo ter njene okoljske vrednosti v smislu storitev, ki jih zagotavlja. Ni dovolj upoštevati le družbenih vidikov ali proizvodnje dobrin. Popolno vrednotenje je težavno, vendar nujno, saj brez vrednotenja ni ekonomskega odločanja in skrbi za okolje, če ni nadomestila za škodo, ki je povzročena okolju. K temu nas vse bolj silijo podnebne spremembe, saj se bodo stroški suše, poplav in naraščajočih temperatur drastično povečali.

## 6. KAKO NAJ TOREJ VREDNOTIMO VODO?

*»Bistvo je, da ni nobene 'prave' vrednosti vode.«*

*Michela Miletto in Richard Connor,  
Poročilo Združenih narodov o  
svetovnem razvoju vode za leto 2021*

Vrednost se nanaša na to, kako pomembno je nekaj ali koliko se šteje za vredno. Vrednost, ki jo ljudje pripisujemo vodi, se razlikuje glede na življenjski standard, dohodek, kulturo, lokacijo in način uporabe vode. To pomeni, da imamo ljudje različna mnenja in poglede na vodo. Ljudje, ki živijo v razvitih državah z enostavnim dostopom do vode iz pipe, te morda ne cenijo toliko kot kmetje na podeželju v isti državi. Tisti, ki živijo v državah v razvoju in nimajo ali imajo omejen dostop do vode, vodi verjetno pripisujejo veliko večjo vrednost.

Dejstvo je, da tudi če se voda iz istega vira uporablja za isti namen v enakih okoliščinah, se lahko njena vrednost od uporabnika do uporabnika dojema različno. Osebne in socialno-kulturne razlike so pogosto vzrok za to, pri čemer imajo odločilno vlogo spremenljivke, kot so spol, starost, rasa, razred, status ali celo prepričanje. Zelo subjektivna narava koncepta vrednosti poudarja potrebo po upoštevanju različnih pogledov različnih deležnikov. Ti različni pogledi na vrednost vode in najboljši načini za njen izračun ter izražanje, skupaj z omejenim poznavanjem dejanskega vira, predstavljajo izziv za izboljšanje vrednotenja vode. Zaman je na primer poskušati kvantitativno primerjati vrednost vode za domačo rabo, človekovo pravico do vode, običajna ali verska prepričanja ter vrednost vzdrževanja tokov za ohranjanje biotske raznovrstnosti.

Vrednotenje vode je bila tudi osrednja tema ob lanskem svetovnem dnevu voda. Odprla je globalni pogovor o tem, kako ljudje cenimo raznoliko uporabnost vode. Brez celovitega razumevanja resnične, večdimenzionalne vrednosti vode namreč ne bomo mogli zaščititi tega ključnega vira v dobro vseh. Naše vrednotenje vode namreč določa, kako z njo upravljamo in jo uporabljamo. Vrednost vode je veliko večja od njene cene, saj ima voda izjemno in vsestransko vrednost za naše domove, kulturo, zdravje, izobraževanje, ekonomijo ter celovitost našega naravnega okolja. Če spregledamo katero koli od teh vrednot, tvegamo, da bomo ta nenadomestljivi vir slabo upravljali.

Tudi v središču poročila Združenih narodov o svetovnem razvoju vode za leto 2021 je vrednotenje vode. Michela Miletto, koordinatorka Unescovega programa za oceno svetovne vode, in Richard

Connor, glavni urednik poročila, sta v predgovoru nedvoumno zapisala: »Bistvo je, da ni nobene 'prave' vrednosti vode.« Voda ima namreč nešteto vrednosti, ki se lahko zelo razlikujejo glede na to, kje se voda nahaja, kakšna je njena razpoložljivost in kako kakovostna je. Vrednost vode je odvisna tudi od namena, za katerega se uporablja, in koristi, ki jih ta uporaba ustvari.

Vrednosti vode zato ni mogoče vezati samo na njeno ceno. Dejanska vrednost vode je bila pogosto prezrta, kar je vodilo v njeno neracionalno rabo in izkoriščanje s strani določenih interesov. Glavni razlog za omejene uspehe pri doseganju ciljev, povezanih z vodo, je pomanjkanje popolne zastopanosti vrednosti vode. Orodja in metodologije, ki se uporabljajo za vrednotenje vode, jo pogosto zmanjšujejo le na njeno ekonomsko vrednost. Medtem ko ima denarno vrednotenje prednost v priročnosti in razumljivosti, predstavlja pomanjkljivost podcenjevanja ali celo izključevanja drugih vidikov, ki jih je težje monetizirati. Neracionalna uporaba izhaja iz dejstva, da svet prepogosto razmišlja o vodi izključno v smislu njene stroškovne cene, ne da bi se zavedal njene izjemne vrednosti, ki ji je težko določiti ceno. Nezmožnost popolnega vrednotenja vode v vseh njenih različnih uporabah velja za glavni vzrok ali simptom političnega zanemarjanja vode in njenega slabega upravljanja. Vse prepogosto vrednost vode ali njen celoten nabor večvrednosti sploh nista pomembna pri odločanju. Čeprav sta izraz vrednost in postopek vrednotenja dobro opredeljena, obstaja več različnih pogledov o tem, kaj vrednost konkretno pomeni za različne skupine uporabnikov in deležnike.

Tradicionalno ekonomsko računovodstvo, ki je pogosto ključno sredstvo za informiranje o političnih odločitvah, po navadi omejuje vrednotenje vode na način, kot se vrednoti večina drugih proizvodov – z uporabo zabeležene cene ali stroškov vode, ko pride do gospodarskih transakcij. Vendar pa v primeru vode ni jasne povezave med njeno ceno in vrednostjo. Če ima voda določeno ceno, kar pomeni, da se potrošnikom zaračuna njena uporaba, cena pogosto odraža poskuse povračila stroškov, ne pa zagotovljene vrednosti. Kar zadeva vrednotenje, ekonomija kljub temu ostaja relevantna in vplivna, mora pa biti njena uporaba celovitejša. Prepoznati je treba večdimenzionalne vrednosti vode, jih na vključujoč način z vsemi deležniki uskladiti in razrešiti kompromise med njimi ter jih upoštevati v procesih načrtovanja in odločanja o vodi.

## 7. ZAKLJUČEK

*»V času, ko je človek pozabil na svoj izvor, ko je tako zaslepljen, da ne prepozna, kaj nujno potrebuje za svoje preživetje, je voda skupaj z drugimi viri postala žrtev njegove brezbržnosti.«*

*Rachel L. Carson, ameriška morska biologinja,  
pisateljica in okoljevarstvenica*

Trenutno stanje vodnih virov poudarja potrebo po izboljšanjem gospodarjenju z vodnimi viri. Prepoznavanje, merjenje in izražanje vrednosti vode ter vključevanje tega v odločanje so temeljnega pomena za doseganje tako trajnostnega kot pravičnega upravljanja z vodnimi viri, navsezadnje tudi ciljev trajnostnega razvoja Agende Združenih narodov za trajnostni razvoj do leta 2030.

Za razliko od večine drugih naravnih virov je pravo vrednost vode zelo težko določiti. Kot tak se splošni pomen tega ključnega naravnega vira ne odraža ustrezno v politični pozornosti in fi-



nančnih naložbah v mnogih delih sveta. To ne vodi le do neenakosti pri dostopu do vodnih virov in storitev, povezanih z vodo, ampak tudi do neučinkovite in netrajnostne rabe ter degradacije vodnih zalog, kar vpliva na izpolnjevanje skoraj vseh ciljev trajnostnega razvoja, s tem pa tudi osnovnih človekovih pravic.

Voda ima brez dvoma veliko vrednost, čeprav je vedno ne priznavajo vsi. V nekaterih perspektivah je vrednost vode neskončna, saj življenje brez nje ne more obstajati in je tudi ni mogoče nadomestiti. Da vodo razumemo kot pogoj za življenje, zgovorno ponazarjajo raziskave in visoke naložbe v iskanje nezemeljske vode ter navdušenje ob nedavnem odkritju vode na Luni in Marsu. Škoda le, da vodo vse prepogosto kot samoumevno razumemo tukaj na Zemlji.

Tveganja podcenjevanja vrednosti vode so prevelika, da bi jih prezrli. Pri tem ne gre pozabiti, da tisti, ki določajo, kako se voda vrednoti, nadzirajo tudi, kako se porablja. Način, kako ravnamo z vodo, navsezadnje ni zgolj tehnično vprašanje, ampak predvsem politično. V središču tega pa je vprašanje vrednot, morale in etike: za kaj nam je mar in kakšen svet želimo. Verjetno ne moremo odgovoriti na vprašanje, kako najbolje ravnati z vodo, če ne razvijemo kolektivnega razumevanja o njeni pravi vrednosti.

#### LITERATURA IN VIRI

- Boccaletti, G., 2021. *Water: A Biography*. Pantheon.
- Boretti, A. in Rosa, L., 2019. Reassessing the projections of the World Water Development Report. Dostopno na: <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9> [21. 7. 2022].
- Ceres, 2022. Corporate expectations for valuing water 2022. Dostopno na: <https://www.ceres.org/sites/default/files/Ceres%20Corporate%20Expectations%20for%20Valuing%20Water%202022.pdf> [10. 9. 2022].
- Ceres, 2022. Protecting Global Water Resources. Dostopno na: <https://ceres.org/water> [10. 9. 2022].
- Climate Action Tracker – CAT, 2022. The climate Action Tracker. Dostopno na: <https://climateactiontracker.org/about/> [11. 7. 2022].
- Costanza, R. in Daly, H. E., 1992. Natural Capital and Sustainable Development. *Conservation Biology*, 6(1), 37–46. Dostopno na: <http://www.jstor.org/stable/2385849> [20. 9. 2022].
- HLPW – High Level Panel on Water, 2016. Action plan. Dostopno na: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/11280HLPW\\_Action\\_Plan\\_DEF\\_11-1.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/11280HLPW_Action_Plan_DEF_11-1.pdf) [20. 8. 2022].
- HLPW – High Level Panel on Water, 2017. Bellagio principles on valuing water. Dostopno na: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/15591Bellagio\\_principles\\_on\\_valuing\\_water\\_final\\_version\\_in\\_word.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/15591Bellagio_principles_on_valuing_water_final_version_in_word.pdf) [30. 8. 2022].
- HLPW - High Level Panel on Water, 2018. Making Every Drop Count. An Agenda for Water Action. High-level panel on Water Outcome Document. Dostopno na: [sustainabledevelopment.un.org/content/documents/17825HLPW\\_Outcome.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/17825HLPW_Outcome.pdf) [20. 8. 2022].
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2018. Global Warming of 1.5 °C. Dostopno na: <https://www.ipcc.ch/sr15/> [12. 7. 2022].
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2022. Climate Change 2022. Adaptation and Vulnerability. Dostopno na: [https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf) [4. 7. 2022].
- OZN, 2015. Spremenimo svet: Agenda za trajnostni razvoj do leta 2030. Dostopno na [https://www.gov.si/assets/ministrstva/MZZ/Dokumenti/multilaterala/razvojno-sodelovanje/publikacije/Agenda\\_za\\_trajnostni\\_razvoj\\_2030.pdf](https://www.gov.si/assets/ministrstva/MZZ/Dokumenti/multilaterala/razvojno-sodelovanje/publikacije/Agenda_za_trajnostni_razvoj_2030.pdf) [20. 8. 2022].
- UNESCO, 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: Dostopno na: <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018> [20. 7. 2022].
- UNESCO, 2021. UN World Water Development Report 2021: Valuing Water.
- UNESCO, 2022. UN World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible.
- Valuing Water Initiative, 2021. What drives water scarcity? Dostopno na: <https://valuingwaterinitiative.org/what-drives-water-scarcity/> [20. 7. 2022].
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., van Vliet, M. T. H., Yillia, P., Ringler, P. in Wiberg, D., 2016. Modeling global water use for the 21st century: Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geosci. Model Dev.*, 9, 175–222 Dostopno na: doi:10.5194/gmd-9-175-2016 [20. 8. 2022].
- Water Europe, 2017. Water Europe Water Vision – The Value of Water. Dostopno na: [https://watereurope.eu/wp-content/uploads/2020/04/WE-Water-Vision-english\\_online.pdf](https://watereurope.eu/wp-content/uploads/2020/04/WE-Water-Vision-english_online.pdf) [10. 8. 2022].
- We Are Water Foundation, 2022. Spletna stran: Dostopno na: <https://www.wearewater.org/en/> [20. 9. 2022].
- World Economic Forum, 2022. Water: Valuing Water. Curation: Circle of Blue. Dostopno na: <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb00000015MLgEAM/key-issues/a1Gb00000015QvoEAE> [22. 8. 2022].
- World Economic Forum, 2022. Water: Water shortages must be placed on the climate-change agenda. This is why. Dostopno na: <https://www.weforum.org/agenda/2022/08/why-water-shortages-make-water-next-for-industry-reporting/> [24. 8. 2022].



## VODA – NEVIDNI FENOMEN V POLITIČNI MISLI

izr. prof. dr. ANDREJ A. LUKŠIČ, izr. prof. <sup>1</sup>

### Povzetek

Vprašanje upravljanja in menedžiranja z vodami je bilo v prvotnih agrarnih družbah vezano praviloma le na površinske vode, ki so bile zanimive za različne načine rabe. Upravljanje je bilo organizirano tako, da je bila glavni akter upravljanja država ali relativno avtonomna skupnost. Proces modernizacije, urbanizacije in industrializacije družb je upravljanje in menedžiranje z vodnimi viri modificiral na ta način, da se je kot glavni akter na zgodovinskem odru znova pojavila država, tokrat oblečena v nacionalne barve, ki se je prek upravljanja in menedžmenta ponudbe (usmerjen v izgrajevanje novih vodnih infrastrukturnih sistemov) tudi sama vzpostavljala kot taka. Na prelomni točki, ko ni več dovolj poskrbeti samo za nove infrastrukturne objekte in sisteme, s katerimi bi zadovoljevali rastoče potrebe po vodi, temveč je treba poskrbeti tudi za ukrepe, s katerimi se zaščitijo vodni viri in skupnosti pred ekstremnimi razmerami, je treba v določanje družbene prioritete glede rabe vode vključiti vse zainteresirane, pri tem pa upoštevati okoljsko in ekološko etiko ter deliberativna pravila komuniciranja in odločanja. Komunikacijski proces, ki bi zadovoljil vsem tem kriterijem, pa je mogoče speljati le s transcendiranjem obstoječih liberalno-demokratskih institucionalnih aranžmajev.

**Ključne besede:** država, industrializacija, modernizacija, nacionalna država, prvotne agrarne družbe, transcendiranje liberalno-demokratskega institucionalnega aranžmaja.

### Abstract

The issue of water governance and management in the original agrarian societies was usually confined to surface waters, which were of interest for different uses. Governance was organised in such a way that either the state or a relatively autonomous community was the main actor of governance. The process of modernisation, urbanisation and industrialisation of societies has modified the governance and management of water resources in such a way that the state, this time dressed in national colours, has reappeared as the main actor on the historical stage, and has established itself as such through governance and supply management (aimed at building new water infrastructure systems). At a turning point, when it is no longer enough to provide new infrastructure facilities and systems to meet growing water demands, but also to take measures to protect water resources and communities from extreme conditions, it is necessary to involve all stakeholders in setting societal priori



Be Right™

*Predstavljamo Hachovo najnovejšo tehnologijo na področju inteligentnega upravljanja voda – sistem Claros.*

### Claros zagotavlja

- popoln pregled delovanja merilne opreme,
- povezovanje laboratorijskih meritev z on-line meritvami,
- nadzor delovanja čistilne naprave,
- uporabo najnovejše tehnologije za pridobitev dragocenih operativnih podatkov, s pomočjo katerih boste procese na čistilni napravi upravljali v realnem času.



**Zmanjšajte negotovost.  
Povečajte pravilnost svojih odločitev.**

**Dobrodošli v svetu CLAROS-a.**

Hach Lange, d. o. o., je hčerinsko podjetje istoimenske ameriško-nemške multinacionalke v Sloveniji z več kot 85-letno tradicijo na področju analize vode. Dolga leta izkušenj, izumi in kontinuiran razvoj so omogočili, da danes svojim kupcem po vsem svetu nudimo širok nabor laboratorijskih, prenosnih in on-line izdelkov za analizo pitne, odpadne ali industrijske vode.

Hach Lange, d. o. o., Fajfarjeva 15, 1230 Domžale | www.si.hach.com | info-si@hach.com tel: 059 051 000 | faks: 059 051 010

<sup>1</sup> Izr. prof. dr. Andrej A. Lukšič, izr. prof. (predavatelj in raziskovalec), Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Center za politično teorijo



ties for water use, taking into account environmental and ecological ethics and deliberative rules of communication and decision-making. However, a communication process that satisfies all these criteria can only be achieved by transcending the existing liberal-democratic institutional arrangements.

**Keywords:** industrialisation, modernisation, original agrarian societies, state, nation-state, transcendence of liberal-democratic institutional arrangements.

## 1. UVOD

Kot ugotavljajo nekateri strokovnjaki in strokovnjakinje za vode, je težava z upravljanjem z vodami v Sloveniji velika. Menijo, da največjo težavo slovenske vodne polisi predstavljata razdrobljen sistem oskrbe in preveliko število upravljavcev. Prav mali upravljavci imajo marsikje težave pri zagotavljanju zadostne količine in kakovosti vode, posebno pitne, nimajo dovolj usposobljenega kadra ter premalo finančnih sredstev za financiranje njihove zaposlitve, investicij in vzdrževanja vodnih sistemov. V upravljanje je vpletena tako država prek različnih ministrstev kot lokalne skupnosti prek občin in upravljavcev vodovoda ter drugih sistemov. Njihove pristojnosti so na področju pitne vode zakonsko opredeljene, so pa neskladne in nedorečene tako na vsebinski, organizacijski kot tudi finančni ravni. Kljub temu imajo veliko jasno izoblikovanih predlogov, kako bi se lahko dosedanje prakse rabe voda spremenile (od uporabe sive vode v gospodinjstvih do izgradnje namakalnih sistemov za potrebe kmetijstva) (Power, 2022: 4–6).

Če je njihov opis stanja na področju voda v Sloveniji dejansko takšen (gre za ocene na podlagi izkušenj strokovnjaka, saj analize, ki bi pokazala na dejansko stanje stvari, še ni narejene), potem se mi kot politologu oziroma političnemu ekologu najprej zastavijo naslednja vprašanja: komu takšen sistem upravljanja ustreza in komu ne, kdo ima od njega koristi in kdo ne, kakšne so kratkoročne in kakšne dolgoročne posledice takega upravljanja, kdo je v sistem upravljanja vključen in kdo izključen, kdo določa razvojne in investicijske prioritete na vseh ravneh odločanja ter – ne nazadnje – kakšno konceptualno zaslombo so si kreatorji takšnega sistema upravljanja preskrbeli in ali se je v Sloveniji ta sistem uveljavil skozi avtonomne interdisciplinarne strokovne premisleke ali je morda šlo le za slepo sprejemanje mednarodno sprejetih in v Sloveniji apliciranih rešitev. To so vprašanja – če jih prevedem v politološki strokovni žargon –, ki se nanašajo tako na polisi (vsebinska raven) kot na politiki (institucionalni aranžma oziroma polisi arena) in na politiko (vzpostavljanje pravil komuniciranja in odločanja ter dejanska praksa merjenja moči med vključenimi akterji).

## 2. ZASTAVITEV PROBLEMA

Prispevek začnem s premislekom o nevidnosti vode kot predmetom premišljanja politične znanosti.

Nevidno je postalo nekaj, kar se je globoko pogreznilo v našo mentaliteto upravljanja in menedžiranja z vodami, tako globoko, da nismo več sposobni dojeti, da to ni nekaj, kar je dano po naravi, torej podvrženo logiki delovanja naravnih zakonov ali – z drugimi besedami – nekaj neodvisnega od nas samih in naših skupnih odločitev, temveč da se je način upravljanja in menedžiranja z vodami ukoreninil in naselil v naše predstave ter se skozi vsakdanjo rutinsko prakso nenehno potrjeval šele potem, ko so se očetje tega sistema upravljanja odločili, da bodo z vodami upravljali in jih menedžirali na neki določen način; v ta namen so v ustavo napisali ustrezne člene, sprejeli področne zakone in podzakonske akte; vzpostavili ustrezne institucije v državi in civilni družbi ter jih poskušali med seboj čim bolj kompatibilno povezati v neko delujočo mrežo, ki se bo sposobna vsakodnevno spoprijemati s takšnimi ali drugačnimi razvojnimi in/ali pragmatičnimi eksistenčnimi problemi, ki jih upravljanju in menedžiranju voda nalaga vsakodnevno življenje. Institucije so sčasoma okostenele, njihovo delovanje se je rutiniziralo, nekatere probleme se je z njimi in prek njih dalo rešiti, druge le reševati, spet tretje bi se lahko bolje rešilo oziroma reševalo, posamezni pa so ostali zunaj dosega delovanja tako vzpostavljene mreže institucij. Nezadovoljstvo z učinki upravljanja in menedžiranja je raslo ter se intenziviralo zaradi različnih razlogov pri različnih akterjih – od uporabnikov voda do akademske sfere. Povsem logično je, da so ti prihajali z različnimi novimi predlogi in terjali drugačne ukrepe, ki bi omogočali, da bi ta sistem upravljanja in menedžiranja deloval bolj učinkovito ter služil namenom, zaradi katerih je bil vzpostavljen. Sčasoma pa se odpirajo tudi vprašanja, ali ni morda treba preizpraševati tudi sam sistem upravljanja, ali morda določenih ukrepov obstoječi sistem upravljanja in menedžiranja sploh ne more sprejeti (sistemске prepreke), če jih sprejme, pa jih ne more spraviti v prakso (implementacijski defeciti), praksa sama oziroma eksistenčne potrebe pa jih terjajo. V tem prispevku želim preizprašati neke nevidne predpostavke, na katerih sta utemeljena sedanje upravljanje in menedžiranje z vodami ne samo pri nas, ampak tudi na globalni ravni.

### 2.1 Napačni način reševanja

Prejšnja vlada se je lotevala implementacijskih defecitov s spremembo zakona in skušala nakopičeno nezadovoljstvo določenih akterjev zaradi njihovih nerešenih problemov, ki so se sistemsko generirali, rešiti na tak način, da je iz komunikacijskega in odločevalskega procesa sistemsko iztisnila tiste akterje, ki jih je pripoznala kot krivce za obstoječe stanje. Kritična javnost, dobro organizirana civilna iniciativa, ki je povezovala različne civilnodružbene organizacije (tudi ob tihi podpori nekaterih opozicijskih strank), je državljane pozvala na referendum, kjer je bil izglasovan jasen »ne« predlaganemu vladnemu zakonu, sprejetemu v državnem zboru z večino glasov, sprejem izključevalnega zakona pa preprečen.

Tak način reševanja ni niti okoljsko pravičen niti demokratičen, saj skuša z izključevanjem akterjev, torej na ravni subjektov, reševati problem, ki na tej ravni sploh ni rešljiv, saj je sistemsko generiran. Se pa s pristopom izključevanja generira politični in javni konflikt tako med javno oblastjo kot civilnodružbenimi organizacijami, znotraj javne oblasti same kot tudi znotraj civilne družbe; med njima pa se poglobljajo medsebojno nezaupanje, napetosti in razklanosti, medtem ko možnosti za reflektivno ekološko modernizacijo kot enega od možnih načinov izhoda iz obstoječe večplastne krize postajajo vse manj verjetne, avtoritarna pot pa vse bolj sprejemljiva kot edina prava pot.



V poreferendumski politični situaciji se seveda postavlja vprašanje glede obstoječega načina upravljanja in menedžiranja z vodami v Sloveniji kot tudi o možnih drugačnih konceptualnih rešitvah, ki bodo omogočale transformacijo obstoječe mreže institucij, njihovo drugačno povezanost in sodelovanje, torej upravljanje in menedžiranje, s katerima bi bili bolj kos problemom, ki jih upravljanju in menedžiranju z vodami nalagajo vsakdanje življenje ter različne rabe vode, ki so njegov najbolj vitalni del, saj brez nje življenje preprosto ni mogoče.

### 3. TEORETSKA IZHODIŠČA

Voda se pretaka skozi vse človeške dejavnosti in naše interakcije z vodo kot naravnim virom so del širših narativov, ki govorijo o razmerju med ljudmi in naravo. Pričujoči premislek tako izhaja iz predpostavke, da je kontekst, v katerem ljudje in njihove družbe vstopajo v interakcijo z vodo (njihova realna vsakdanja praksa), tisti, ki uokvirja dojemljanja in opise njihovega razmerja do vode oziroma njihove narative. Po tem opisu oziroma narativu pa se nato določajo pravila in procesi, ki konstituirajo robne pogoje upravljanja z vodami. Ne nazadnje nam ta pristop pomaga razumeti in odgovoriti na vprašanje, zakaj so diskurzi o upravljanju z vodami tako različni in pogosto neuskkljeni (Woodhouse, 2017). To lahko povemo še z drugimi besedami: imaginariji o vodah so različni zaradi različnih vsakdanjih praks z vodami – te prakse pa se regulirajo prek zakonov in pravil javne oblasti, upravljaljskih in menedžerskih norm ter skozi institucije in njihovo vsakdanje delovanje – vse te prakse pa uokvirjajo različni imaginariji o vodah. Prav slednji se na tak način uveljavljajo v vsakdanjih praksah, medtem ko se vsakdanje prakse z vodami uveljavljajo v teh imaginarijih.

Iz tega si lahko zastavimo naslednje tri sklope vprašanj, ki so sicer v literaturi o upravljanju z vodami najpogostejše obravnavane: 1. Kdo bi moral participirati pri upravljanju (in kdo mora biti izključen)? 2. Na kateri geografski ravni bi morale institucije upravljanja delovati (območje, porečje ipd.), v kakšnem polisi obsegu naj vključeni participirajo (od informiranja do odločanja o polisi) in na kateri ravni naj bodo posamezni akterji vključeni (nacionalno, lokalno, mednarodno, mrežno ipd.)? ter 3. Kakšna naj bo ustrezna vloga tržnih in netržnih kriterijev pri alokaciji vode? (Woodhouse in Muller, 2017)

V tem prispevku se bomo posvetili le prvemu in drugemu vprašanju, in sicer na ravni zgodovinsko-konceptualne refleksije, ki nas bosta pripeljala do nove konceptualne zastavitve upravljanja z vodami v Sloveniji.

#### 3.1 Starodavne agrarne družbe

Napori po nadzoru, upravljanju in menedžiranju rabe vode so vsaj toliko stari kot agrikultura in človeška naselja. V teh družbah je bil izziv za upravljanje z vodami in njihov menedžment to, kako zagotoviti družbeno kooperacijo – četudi v formi vsiljenega kolektivnega delovanja, s katero bi lahko naredili korak naprej in omogočili določen nadzor nad vodo kot naravnim virom, sicer nujnim pogojem za razvoj agrikulturnih družb.

V literaturi sta se razvila dva pristopa: državocentrični in skupnostno centrični.

#### 3.1.1 Država kot ključni akter upravljanja z vodami

Državocentrični pristop je postavil državo kot glavnega in edinega akterja pri upravljanju z vodami. Nosilni avtor tega pristopa je bil Karl August Wittfogel, ki je bil sicer med prvimi avtorji, ki so poskušali preseči deskriptivni pristop ter razmerje med družbeno organizacijo in menedžiranjem vode tudi teoretizirati. Izhajal je iz observacij Kitajske, Indije in Šrilanke, tudi Srednje Amerike, Mezopotamije, Egipta in Vzhodne Afrike ter ugotovil, da je hierarhična formacija države bistvenega pomena za razvoj namakalne infrastrukture v regijah po vsem svetu. Vse to je opisal v svojem monumentalnem delu *Oriental Despotism: A Comparative Study of Total Power*, ki je bilo prvič objavljeno leta 1957. Delo je poudarilo vlogo namakalnih del in birokratskih struktur, ki so bile potrebne za njihovo vzdrževanje, ter tudi njihov vpliv, ki so ga te strukture imele na družbo. Mnoge družbe, predvsem v Aziji, so bile močno odvisne od gradnje obsežnih namakalnih objektov; gradnjo, vzdrževanje in upravljanje obsežnih namakalnih sistemov je lahko organizirala le centralizirana administracija, pri čemer je bil birokratski despotizem v tako imenovanih orientalskih deželah neizogiben; poleg tega je država morala organizirati tudi prisilno delo za vso populacijo. Seveda je bila takšna struktura v posebnem razmerju do (civilne) družbe; imela je moč in bila je sposobna razbiti ter nevtralizirati kakršno koli drugo družbeno silo, ki bi se mobilizirala proti državi. Takšna država je bila neizogibno despotska, močna, stabilna in bogata. Da bi opisal ta sistem, je Wittfogel skoval izraz »hidravlični imperij«.

Wittfoglova interpretacija »despotske« narave »orientalskega« vladovanja v »hidravličnih družbah« je bila otrok hladne vojne in tenzij, ki so se med velesilama pojavljale v 50. letih prejšnjega stoletja, ko je delo nastajalo. Zato niti ni presenetljivo, da je svojo hidravlično tezo (modificirano) razširil tudi na Sovjetsko zvezo, v kateri je prepoznaval elemente »hidravličnega imperija«. Bil je oster kritik sovjetskega socializma s pozicij miselne tradicije kritične teorije družbe, h kateri je nedvomno intelektualno pripadal.

Njegova teza o neizogibnosti birokratskega despotizma kot edini družbeni sili, ki je sposobna organizirati gradnjo tako velikih namakalnih sistemov, so problematizirali avtorji, kot sta sinolog Frederick W. Mote in John K. Fairbank, medtem ko se je njegova teza zdela stimulatívna predvsem avtorjem, kot so Barrington Moore, George Lichtheim in zlasti Pierre Vidal-Naquet (Woodhouse in Muller, 2017).

Vzporedno s kritiko Wittfoglove teze o hidravličnih družbah pa so se razvile tudi povsem drugačne interpretacije prvotnih agrikulturnih družb, predvsem zato, ker so v njih odkrivali drugačen sistem upravljanja.

#### 3.1.2 Skupnost kot glavni akter upravljanja z vodami

V prvotnih agrarnih družbah je mogoče najti tudi drugačne načine upravljanja z vodami, kjer država ni postavljena v ospredje in tudi ni nujni pogoj agrikulturne dejavnosti teh družb. Tu naj omenimo alternativno predstavitev Caponera, ki ponuja bolj pozitivno perspektivo upravljanja z vodami in namakalnimi sistemi, obenem pa presega Wittfoglov geografski determinizem.

Njegova osnovna ideja je, da je »takoj, ko so se človeške skupine naselile v bližini nekega izvira ali v rečni dolini, vzniknila potreba po tem, da bi vzpostavili vsaj minimalen nadzor nad



povpraševanjem po vodi ter da bi zagotovili pravično distribucijo vode med različnimi rabami in uporabniki» (Caponera, 1992).

Čeprav se je Caponera fokusiral sicer na formalno zakonske okvire, pa je priznaval tudi drugim dejavnikom, da so vplivali na oblikovanje specifičnih aranžmajev upravljanja z vodami v teh družbah; pomembno vlogo pri tem so imeli fizični pogoji in podnebje, družbeno-gospodarske okoliščine, ne nazadnje tudi razmerja moči v takratnih družbah ter religiozni in filozofski mentalni okviri.

Tej liniji razmišljanja o starodavnih agrarnih družbah, ki pa nekje še vedno vztrajajo vse do danes, pripada tudi Elinor Ostrom, politologinja, ki je leta 2009 postala prva ženska dobitnica prestižne Nobelove nagrade za ekonomijo. V delu *Governing of Commons* na pregleden način med drugim prikaže različne institucionalne aranžmaje v različnih kulturah v različnih zgodovinskih obdobjih. Jedro njene teorije je, da so lokalne skupnosti tisti najboljše akterji za menedžiranje naravnih virov; ob predpostavki, da so lokalne skupnosti tiste, ki jih uporabljajo, bi morale tudi te skupnosti same pisati in sprejemati pravila upravljanja, ne pa višje centralizirane oblasti, ki nimajo neposrednega stika in interakcij z naravnimi viri.

Zgodnje študije prvotnih agrarnih družb niso bile enovite; če so ene izpostavljale »despotsko« naravo pri »orientalskem« vladovanju ter poudarjale vlogo in pomen birokratsko organizirane države, so druge v teh družbah odkrivale drugačne, na skupnosti utemeljene aranžmaje vladovanja z vodami.

## 3.2 Industrijske družbe

Vodni menedžment pa ni imel pomembne vloge le v prvotnih agrarnih družbah v različnih delih sveta; upravljanje in menedžiranje z vodami sta igrala pomembno vlogo tudi v obdobju industrializacije; voda je poganjala stroje ali pa bila pomemben element pri parnih strojih (lokomobilah in lokomotivah), konec 19. stoletja je proizvajala električno energijo, reke pa so služile za prevoz razsutega tovora in drugih, za industrijo potrebnih naravnih virov, surovin ter energentov, navsezadnje tudi končnih izdelkov za trg ob tem, da se je ohranila in se nekoliko spremenila njena vloga v kmetijstvu, vse bolj pa je bila nepogrešljiva v mestih in gospodinjstvih. Upravljanje in menedžiranje z vodo sta se močno modificirala ter bila prilagojena novim družbenim potrebam vsakdanjega življenja v industrijskih družbah.

### 3.2.1 Modernizacija kot globalna tendenca

Novejši narativi, ki se ukvarjajo z razmerjem med upravljanjem z vodo ter družbenimi in političnimi spremembami, ugotavljajo, da je proces modernizacije, ki označuje prehod iz tradicionalne v moderno družbo, in upravljanje z vodami v času industrializacije povezano z razvojem in gradnjo vodne infrastrukture; ta je bila bolj ali manj zavestno strateško načrtovana in je tekla vzporedno z izgradnjo moderne nacionalne države v začetku 20. stoletja. Kako je ta proces potekal v postimperialni Španiji, je opisal Swyngedouw (1999) in kako v zahodnem delu Združenih držav Amerike Reisner (1986).

Velike modernizacijske cilje je imela tudi Sovjetska zveza po koncu prve svetovne vojne; dohiti in prehiteti je želela kapitalizem ter tako pokazati, da je socializem boljši kot kapitalizem. Ob jasnem cilju je bilo treba iznajti še način, ki je bil zapisan v obliki enačbe: socializem je elektrifikacija plus sovjeti, pri tem pa je bila elektrifikacija mogoča le z gradnjo hidrocentral. Ta modernistični duh v Sovjetski zvezi je bolj poetično ubesedil tudi Gorki, ki naj bi dejal, da je neukročena narava predstavljal »despota«; da sovjetski inženirji »nore reke naredijo razumne«; ter da so bili jezovi orožje v vojni med socialisti in njihovimi kapitalističnimi sovražniki (Rook, 2004).

Modernističnim težnjam se niso mogle izogniti niti države postkolonialne Azije in Afrike (Molle et al., 2009); v teh državah literatura odkriva svojevrstne posebnosti pri upravljanju z vodami. Tignor piše o pričevanju Arthurja Lewisa, ki je kot ekonomski svetovalec sodeloval s premierjem Gane Nkrumahom, v katerem spregovori o tem, kako je politična ekonomija poganjala gradnjo jezua na Akosombi in potem tudi kako je to vplivalo na politično strmoglavljenje premierja (Woodhouse in Muller, 2017). Podoben primer iz Afrike je tudi gradnja Asuanskega jezua v Egiptu. Hladna vojna politične ekonomije, ki se je bila v ozadju tega projekta, je obsežno dokumentirana, vendar pa v tej dokumentaciji nekatere tenzije niso dobro popisane; sprejeta je bila tehnično slabša opcija za nadzor Nila, zato da se je ohranila suverenost Egipta. Namreč če bi bila sprejeta kolonialna alternativa, osnovana na infrastrukturi v Sudanu, Etiopiji in Ugandi, bi spodkopala suverenost Egipta (Collins, 1994).

V južni Aziji so aktualni dramatični izzivi upravljanja in menedžiranja z vodo razumljeni v širšem zgodovinskem kontekstu; v veliko daljše in širše zgodbe političnih, družbenih, gospodarskih ter okoljskih sprememb je umeščen tudi razvoj namakalnih sistemov, kolonialno obdobje pa je dojeto le kot ena faza v tem razvoju (Stone, 1984; Venot, 2009).

Seveda so k državotvornim avanturam v teh predelih sveta aktivno prispevale tudi institucije iz svetovnega severa, kot je Tennessee Valley Authority (TVA) iz ZDA, ki je predstavljala simbol modernizacije nasploh; ta je vodo postavila v center večsektorskega razvojnega načrtovanja, kar je bila svojevrstna kontroverzna avantura (Ekblad, 2002; Rook, 2004).

Ob teh societalnih narativih, ki opisujejo specifično modernističnih teženj in tendenc po vsem svetu, pa obstajajo tudi mnogi drugi narativi, pripovedovalci zgodovine, ki zelo natančno pojasnjujejo specifične institucionalne aranžmaje; slednji so omogočali, da so se objektivne »razvojne« zahteve različnih družb srečevale s konkretno aplikabilno človeško genialnostjo in razpoložljivimi finančnimi viri (Mead, 1903).

### 3.2.2 Okoljski cilji v zrelih demokracijah versus razvojni izzivi v rastočih gospodarstvih

V nadaljevanju opisujem sočasno dvosmernost sodobnega sveta; na eni strani se v zrelih demokracijah na zahodu pojavljajo zahteve po doseganju okoljskih ciljev, na drugi pa se v rastočih gospodarstvih ostalega sveta vztraja na rastočem gospodarstvu.



»Postmoderni« svet razvitih držav z zreli gospodarstvi se je na splošno obrnil stran od inženiringa, ki je bil usmerjen k povečevanju oskrbe z vodo; obrnil se je stran od »menedžmenta proizvodnje in storitev« ter se usmeril k »menedžmentu povpraševanja«; v skladu s tem si je zastavljal vse manj veličastnih konstrukcijskih ciljev, ki pa so se pokrivali še s cilji po okoljski zaščiti (Postel, 1984).

Te nove usmeritve in cilje, ki so si jih zastavljale razvite zahodne države, je treba umestiti v širši narativ ekološke modernizacije, kot ga je poimenoval John S. Dryzek (2018); ekološka modernizacija, pravi, predvideva »razdvojitve« gospodarske rasti in rabe naravnih virov z namenom, da bi se zmanjšali vplivi družbenih in gospodarskih dejavnosti na okolje (UNEP, 2015).

Tej temeljni spremembi izhodiščne točke v konceptu družbenega razvoja logično sledijo, če se ekološka modernizacija prakticira v političnem prostoru, tudi ustrezne normativne in institucionalne modifikacije dosedanjega upravljanja in menedžiranja z vodami, in sicer na vseh ravneh odločanja.

Tako je EU s sklepi EP leta 2019 in pozneje z operativnimi odločitvami EK stopila na pot ekološke modernizacije, Slovenija pa se ji je s sedanjo vlado – vsaj deklarativno – pridružila. Niso pa vse države članice EU enako zavezane temu razvojnemu konceptu; tudi tu gre ločnica med okoljsko oziroma gospodarsko bolj usmerjenimi državami.

Države, za katere so sicer značilne hitra rast, urbanizacija in industrializacija, se že soočajo z velikimi izzivi upravljanja in menedžiranja s svojimi lastnimi vodnimi viri; ko hočejo razvijati ustrezno vodno infrastrukturo in slediti naraščajočim potrebam različnih uporabnikov po eni strani, so po drugi soočene z neželenimi okoljskimi učinki. Tako so mnoge države oziroma mnoga območja v njih zaradi povečanih zahtev po vodnih virih že prešle tisto točko, ko je bilo dovolj, da je bil njihov glavni cilj samo zagotoviti vodo različnim uporabnikom; ko se enkrat preide ta točka v razvoju, je treba na teh območjih sprejemati tudi ukrepe, ki so usmerjeni v zaščito vodnih virov pred onesnaževanjem in v varovanje skupnosti pred ekstremnimi razmerami, ki jih lahko med drugim povzročata tudi fizično pomanjkanje kakovostne vode.

Na tej stopnji razvoja je treba sprejemati kompromisne odločitve glede naslednjih vprašanj, ki pa so pravzaprav politična vprašanja in ne tehnično-administrativna: Kdo lahko (prioritetno) uporablja vodo? ter Za kakšen namen se (prioritetno) uporablja voda in pod kakšnimi pogoji jo lahko (po prioritetni listi določeni) uporabniki koristijo?

Seveda lahko na ta vprašanja arbitrarno odgovori aktualna javna oblast pod čim manjšim pritiskom organizirane civilne družbe in zeleno ozaveščene kritične javnosti; to si lahko zagotovi s tem, da spremeni zakonodajo, ki izključuje določene akterje, da postopa tako, da utiša določene akterje v javni sferi in/ali v odločevalskih institucijah, da ignorira predloge drugih akterjev, ki jih utemeljujejo na splošnih (ne zasebnih) interesih, in daje prednost le svojim lastnim predlogom, praviloma vezanim na kakšne parcialne interese ali v kakršni koli kombinaciji tega. Ko javna oblast postopa na tak način, je upravičena do javne in politične ocene, da ne krepi demokratičnih tendenc, da je zato s svojim ravnanjem usmerjena v izgrajevanje nedemokratičnega, v tendenci pa avtoritarnega komunikacijskega in odločevalskega reda.

Druga možnost pa je, da se lahko tovrstne kompromisne odločitve, ki sledijo okoljski in ekološki etiki (Gleeson in Low, 2021), sprejemajo le v ustrezno dizajniranih komunikacijskih in odločevalskih formah, utemeljenih v ekološko-deliberativni demokraciji, ki transcendirajo obstoječ liberalno-demokratski institucionalni aranžma, ki je bil dizajniran za drugačne namene in družbeno razvojne cilje.

Zdi se, da je Slovenija – kljub obilici vode, ki jo ima na razpolago za različne uporabnike – na tej prelomni točki, ko bo morala z izgrajevanjem novih infrastrukturnih objektov in sistemov za zadovoljevanje eksistenčnih potreb poskrbeti tudi za ukrepe, ki bodo bolj usmerjeni v zaščito vodnih virov pred onesnaževanjem in v varovanje skupnosti na različnih ravneh pred ekstremnimi razmerami (tudi zaradi podnebnih sprememb), ki so lahko tudi posledica fizičnega pomanjkanja vode na nekaterih območjih.

#### 4. ZAKLJUČEK

Na prelomni točki, ko ni več dovolj poskrbeti samo za nove infrastrukturne objekte in sisteme, s katerimi bi zadovoljevali rastoče potrebe po vodi, temveč je treba poskrbeti tudi za ukrepe, s katerimi se zaščitijo vodni viri in skupnosti pred ekstremnimi razmerami, je treba v določanje družbene prioritete glede rabe vode vključiti vse zainteresirane, pri tem pa upoštevati okoljsko in ekološko etiko ter deliberativna pravila komuniciranja in odločanja. Komunikacijski proces, ki bi zadovoljil vsem tem kriterijem, pa je mogoče speljati le ob transcendiranju obstoječih liberalno-demokratskih institucionalnih aranžmajih (Eckersley, 2022).

Zato mora biti prvi korak pri spreminjanju vodne polisi, ki bo sposobna nagovoriti aktualna odprta vprašanja rabe voda, ne to, da se dodajajo vedno novi predlogi in zahteve po ukrepih, ki jih je treba sprejeti, temveč da se znotraj obstoječega institucionalnega aranžmaja zahteva uvajanje novih modalitet, ki izhajajo iz podmene o transcendiranju liberalno-demokratske države v zeleno državo; namreč šele te spremembe bodo lahko sploh omogočile sprejetje novih predlogov in polisi ukrepov, ki jih terja sedanji trenutek.

Zdi se, da je Slovenija na tej prelomni točki glede upravljanja in menedžiranja z vodami.

#### LITERATURA IN VIRI

1. Caponera, D. A., 1992. Principles of water law and administration. Rotterdam: Balkema.
2. Collins, R., 1994. History, hydropolitics and the Nile: myth or reality. In: Howell, P. and Allan, J. A. (Eds) The Nile: Sharing a Scarce Resource. Cambridge: Cambridge University Press (str. 109–36).
3. Dryzek, J. 2018. Politika zemlje. Okoljski diskurzi. OIKOS. Ljubljana: IČKZ.
4. Eckersley, R., 2019. Zelena država. Premišljanje demokracije in suverenost. OIKOS. Ljubljana: IČKZ.
5. Ekbladh, D., 2002. "Mr. TVA": grass-roots development, David Lilienthal, and the rise and fall of the Tennessee Valley Authority as a symbol for US Overseas Development, 1933–1973. DiplomaticHistory, 26(3), 335–374.
6. Le Goff, J., 2001. Mentalitete. Dvoumna zgodovina. Monitor ISH Vol. III / št. 1–2.
7. Low, N. in Gleeson, B., 2022. Pravičnost, družba, narava. Raziskovanje politične ekologije. OIKOS. Ljubljana: IČKZ.
8. Lukšič, A., 1999. Rizična tehnologija. Izziv demokraciji: k politični ekologiji. Ljubljana: ŠOU.

9. Mead, E., 1903, 2009. Irrigation Institutions: A Discussion of the Economic and Legal Questions Created by the Growth of Irrigated Agriculture in the West [1903]. Cornell University Library. Paperback 2009. Dostopno na: <https://archive.org/details/irrigationinsti01meadgoog> [6. 9. 2022].
10. Ostrom, E., 2022. Upravljanje skupnega. Evolucija institucij za kolektivno akcijo. OIKOS. Ljubljana: IČKZ.
11. Postel, S., 1984. Water: rethinking management in an age of scarcity. Dostopno na: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9013696> [6. 9. 2022].
12. Power, L., 2022. Privid nas pelje v pekel. Dnevnik. Objektiv, 27. avgust, str. 4–6.
13. Reisner, M., 1986, 1993. Cadillac Desert: The American West and Its Disappearing Water. NY: Penguin Books, 2nd edition.
14. Rook, R., 2004. Race, Water, and Foreign Policy: The Tennessee Valley Authority's Global Agenda Meets "Jim Crow". Diplomatic History, 28(1), 55–81.
15. Stone, I., 1984. Canal Irrigation in British India. Cambridge: CUP.
16. Swyngedouw, E., 1999. Modernity and Hybridity: Nature, Regenerationismo, and Production of the Spanish Waterscape, 1890–1930. Annals of Assoc. of American Geographers, 89(3), 443–465.
17. Swyngedouw, E., 2015. Liquid power. Water and Contested Modernities in Spain, 1898–2010. London: MIT Press.
18. UNEP, 2015. Options for decoupling economic growth from water use and water pollution. Report of the International Resource Panel Working Group on Sustainable Water Management. Nairobi: United Nations Environment Programme.
19. Venot, J. P., 2009. Rural Dynamics and New Challenges in the Indian Water Sector: The Trajectory of the Krishna Basin, South India. V: Molle, F. and Wester, P. (ur.): River Basin Trajectories. Societies, Environments and Development. Wallingford: CAB International.
20. Wittfogel, K., 1957. Oriental Despotism: A comparative Study of Total Power. New York: Random House.
21. Woodhouse, P. in Muller, M., 2017. Water Governance – an historical perspective on current debates. Dostopno na: [https://www.academia.edu/82181002/Water\\_Governance\\_An\\_Historical\\_Perspective\\_on\\_Current\\_Debates](https://www.academia.edu/82181002/Water_Governance_An_Historical_Perspective_on_Current_Debates) [6. 9. 2022].



## Celostne rešitve na področju procesne analitike

S procesnimi analizatorji optimiziramo učinkovitost procesa čiščenja odpadnih vod. S hitrim in zanesljivim zajemom podatkov pravočasno zaznamo spremembe v delovanju čistilne naprave, na katere ustrezno ukrepamo.

Za več informacij nas kontaktirajte na [info@metrohm.si](mailto:info@metrohm.si) ali obiščite našo spletno stran [www.primalab.si](http://www.primalab.si)





## SPREGLEDAN MEDNARODNOPRAVNI VIDIK UREDITVE POSEGOV V VODE IN VODNA OKOLJA PRI NJIHOVEM IZVAJANJU

prof. dr. VASILKA SANCIN<sup>1</sup>, URŠKA STOPAR<sup>2</sup>

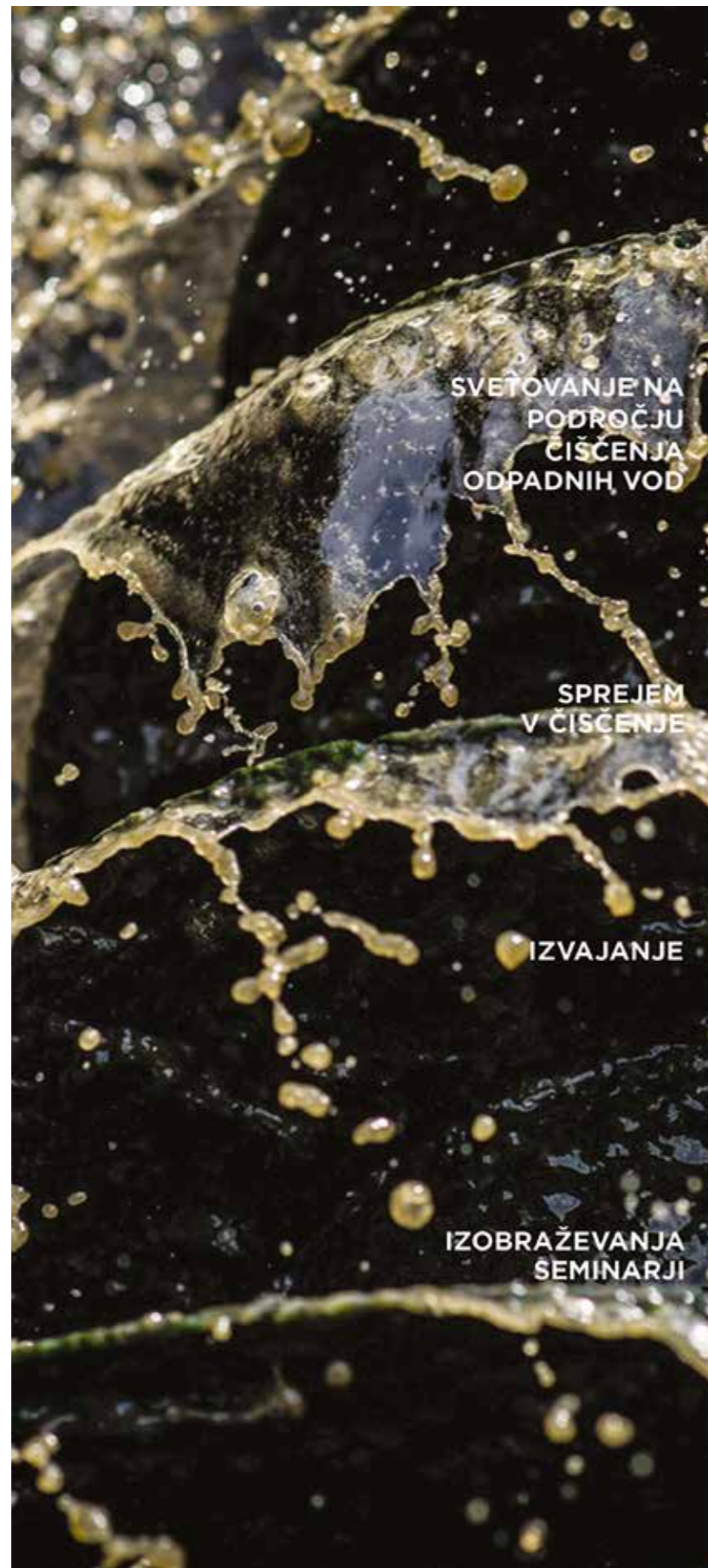
### Povzetek

Varstvo voda zahteva ustrezno pravno urejanje posegov v vodo in vodna okolja. Pri sprejemanju odločitev o takih posegih ni dovolj le preučitev nacionalne pravne ureditve, temveč je v Sloveniji pomembno upoštevati tudi pravno ureditev Evropske unije ter za Slovenijo zavezujoče mednarodno pogodbeno in običajno pravo. Ta vidik se zdi, čeprav Ustava Republike Slovenije skladno s 3.a členom priznava poseben položaj pravnemu redu EU ter v 8. in 153. členu določa primat mednarodnemu pravu nad slovensko zakonodajo, v slovenski praksi pogosto spregledan. Namen tega prispevka je tako osvetliti izbrane vidike »mednarodnega prava voda« in relevantne vidike pravne ureditve EU glede varstva površinskih sladkovodnih virov, da bi tako slovenski odločevalci kot izvajalci različnih posegov v vodo in vodna okolja te (dosledneje) upoštevali pri svojem ravnanju.

**Ključne besede:** mednarodno pravo, načelo pravične in razumne uporabe, ocena vplivov na okolje, okoljevarstveno dovoljenje, površinske vode, pravno varstvo voda, pravo Evropske unije, vodno okolje.

### Abstract

Water protection requires appropriate regulation of interventions in water and aquatic environments. When taking decisions on such interventions, it is not sufficient to examine national legislation, but in the case of Slovenia, it is also important to take into account the legal framework of the European Union and the international treaty and customary law binding on Slovenia. This aspect, although the Constitution of the Republic of Slovenia, in accordance with its Article 3a, recognises the special position of the EU legal order and, in Articles 8 and 153, establishes the primacy of international law over Slovenian legislation, often seems to be overlooked in Slovenian practice. The purpose of this paper is thus to highlight selected aspects of "international water law" and relevant EU legislation on the protection of surface freshwater resources, in order to ensure that Slovenian decision-makers and operators of various interventions in water and aquatic environments take these into account (more consistently) in their conduct.



JP CCN  
DOMŽALE-KAMNIK  
d.o.o.

nadgradnja ali izgradnja novih čistilnih naprav  
optimizacija procesov  
reševanje težav pri obratovanju  
izračuni obremenitve, zmogljivosti, sprejemljivosti specifičnih odpadnih vod

greznične gošče  
blato iz malih čistilnih naprav  
biološko razgradljivi tekoči odpadki  
industrijske odpadne vode

pilotni poskusi  
zahtevnejše laboratorijske analize  
mikrobiološke preiskave aktivnega blata  
simulacije procesev čiščenja aktivnega blata

vodenje procesa večje ČN  
problematika malih ČN  
individualna izobraževanja seminarji tujih strokovnjakov

T: +386 (0)1 724 65 00  
F: +386 (0)1 722 04 90  
E: info@ccn-domzale.si  
W: www.ccn-domzale.si  
A: Studijanska 91,  
1230 Domžale, Slovenija

<sup>1</sup> Prof. dr. Vasilka Sancin, univ. dipl. prav., predstojnica Katedre za mednarodno pravo na Pravni fakulteti Univerze v Ljubljani

<sup>2</sup> Urška Stopar, mag. prav.



**Keywords:** aquatic environment, environmental impact assessment, environmental permit, European Union law, international law, legal protection of water, principle of equitable and reasonable utilisation, surface water.

## 1. UVOD

Naš planet prekriva več kot dve tretjini vode, pri čemer je 96,54 % morij in oceanov, 0,0142 % rek in jezer ter 1,69 % podzemnih voda, preostala voda pa se nahaja v drugih agregatnih stajanjih (Shiklomanov, 1993). Čeprav je uporaba vseh voda, morskih in sladkovodnih, tesno povezana z življenjem ljudi, je zlasti voda, bistvena za preživetje ljudi, v zelo omejenem obsegu.

Varstvo voda zato zahteva tudi ustrezno pravno urejanje posegov v vodo in vodna okolja. Tega se zaveda tudi mednarodna skupnost, zato je bilo na mednarodni globalni ravni in v okviru različnih regionalnih dogovorov že doseženih več sporazumov z namenom urejanja in varovanja voda, prav tako pa države to problematiko urejajo tudi v okviru bilateralnih ali večstranskih dogovorov. Poleg mednarodnopravnega pogodbenega urejanja je pomemben tudi pravni razvoj na ravni mednarodnega običajnega prava, zlasti glede nekaterih temeljnih mednarodnopravnih okoljskih načel in norm, ki so se razvile iz prakse držav, ki jo slednje priznavajo kot pravno obvezno (*opinio juris sive necessitatis*). Čeprav so podzemne vode najbolj izkoriščan naravni vir na svetu, se države le redko odločajo za pravno urejanje (uporabe) čezmejnih vodonosnikov, kar je predvsem posledica znanstvene kompleksnosti fenomena podzemnih voda, pa tudi izrazito poudarjene ozemeljske suverenosti, ki jo nad podzemnimi vodnimi viri izvršujejo države. O slednji problematiki je bilo v slovenskem prostoru že napisane nekaj kakovostne literature (Bohte, 2008; Burkeljc, 2018; Turšič, 2020), zato se v tem prispevku osredotočamo predvsem na pravno urejanje površinskih sladkovodnih virov, saj bi celovita obravnava, ki bi vključevala tudi morje in morsko vodno okolje,<sup>3</sup> preseгла omejitve tega prispevka.

Površinski sladkovodni viri se izkoriščajo na različne načine, predvsem pa za številne gospodarske dejavnosti, kot so gradnja hidroelektrarn, zasneževanje, namakanje, navsezadnje tudi za turizem in izvajanje turističnih dejavnosti. Pri ugotavljanju ustreznosti in dopustnosti posegov v vodo in vodna okolja ter njihovem izvajanju ni dovolj le preučitev nacionalne pravne ureditve, temveč je treba v članicah Evropske unije (EU) upoštevati tudi pravno ureditev EU ter zavezujoče mednarodne pogodbe in mednarodno običajno pravo. Ta vidik se zdi, čeprav Ustava Republike Slovenije skladno s 3.a členom priznava poseben položaj pravnemu redu EU ter v 8. in 153. členu primat mednarodnemu pravu nad slovensko zakonodajo, v slovenski praksi pogosto spregledan.

<sup>3</sup> Na tem mestu zgolj omenjamo, da je temeljna globalna mednarodna pogodba, ki ureja varstvo morja in morskega okolja, Konvencija Združenih narodov o pomorskem mednarodnem pravu (t. i. Jamajška ali konvencija UNCLOS), katere pogodbenica je tudi Slovenija (Akt o nasledstvu Konvencije Združenih narodov o pomorskem mednarodnem pravu (Ur. l. RS – Mednarodne pogodbe, št. 22/94), zlasti XII. del konvencije UNCLOS. Posebej pa je za Slovenijo v tem oziru relevantna še Konvencija za varstvo morskega okolja in obalnega območja Sredozemlja (t. i. Barcelonska konvencija) z njenimi protokoli, ki nadalje urejajo posamezno področje varstva območja Sredozemskega morja (Slovenija jih je ratificirala pet).

Niti na mednarodnopravni ravni niti na regionalni ali nacionalni pravni ravni ne obstaja le en sam pravni dokument, ki bi zajel in urejal vse, kar je povezano s površinskimi sladkovodnimi viri. Pravna ureditev je razdrobljena na številna posamezna področja, v tem prispevku pa so predstavljeni le najpomembnejši pravni akti, ki se nanašajo na urejanje voda in posege vanje.

Namen tega prispevka je tako osvetliti izbrane vidike »mednarodnega prava voda« in relevantne pravne ureditve EU, da bi tako slovenski odločevalci kot izvajalci različnih posegov v vodo in vodna okolja te (dosledneje) upoštevali pri svojem ravnanju.

## 2. TEMELJI »MEDNARODNEGA PRAVA VODA«

»Mednarodno pravo je sistem pravnih načel in norm, s katerimi so določene pravice in obveznosti subjektov mednarodnega prava v njihovih medsebojnih odnosih in v mednarodni skupnosti.« (Türk, 2007: 19) Med njegovimi podpanogami je tudi mednarodno okoljsko pravo, ki vsebuje materialna, postopkovna in institucionalna pravila mednarodnega prava varovanja okolja (Sands in Peel, 2018). Za doseganje cilja varovanja okolja je ključnega pomena, da sodelujejo vse države, na katere ima vpliv določen poseg v okolje. Ker posledice posameznih ravnanj subjektov, ki posegajo v okolje, niso omejene na teritorialne meje posameznih držav, morajo države delovati usklajeno, da se doseže zelena stopnja varovanja okolja (Koivurova, 2014). V okviru mednarodnega okoljskega prava se posebej razvija tudi področje, ki bi ga lahko imenovali »mednarodno pravo voda«. Čeprav še ni splošno sprejeto kot samostojno znanstveno področje preučevanja, velja za namene tega prispevka, poleg relevantnih načel in norm splošnega mednarodnega okoljskega prava, kratko orisati tudi njegovo vsebino.

### 2.1 Mednarodno okoljsko pravo

Mednarodno okoljsko pravo se je začelo razvijati kot odziv na posamezne težave varovanja rek, jezer in s tem povezanih ekosistemov (Sands in Peel, 2018). Zavedanje posameznikov glede škodljivih vplivov, ki jih puščamo na okolje, je povzročilo, da se je s pravnimi normami začelo urejati tudi to področje (Kiss in Shelton, 2004).

Pomembno je pravno opredeliti pojem okolje, da se na tej podlagi lahko določi, v kakšnem obsegu bo pravo urejalo to področje in kdaj bo podana odgovornost, če se povzroči škoda. V mednarodnem pravu se okolje v večini primerov definira široko, prav tako pa je zelo prepleteno z vsemi ostalimi področji (Kiss in Shelton, 2004).

Za varovanje okolja je pomembno, da so sprejeta pravila zavezujoča za čim širšo skupnost, ker se le tako lahko preprečijo škodljivi vplivi, ki jih ima določen poseg na okolje. Posamezne nacionalne pravne ureditve namreč ne zadostujejo za doseganje skupnega cilja varovanja okolja, kamor spadajo tudi ozonska plast, migracijske vrste, habitati in ekosistemi (Kiss in Shelton, 2004).

V mednarodnem okoljskem pravu so pomembna splošna načela, ki so se začela oblikovati predvsem skozi prakso arbitražnih postopkov. Razvoj splošnih načel se je nadaljeval z vklju-



čevanjem v deklaracije in druge mednarodne instrumente, prav tako pa tudi v mednarodne pogodbe, ki so nastajale med državami. Med najpomembnejšimi pravnimi načeli na področju okoljskega prava so: *načelo preprečevanja okoljske škode (načelo sic utero tuo)*, *načelo skupnih, a različnih odgovornosti* (slednje določa, da morajo razvite države, ki so nesorazmerno vplivale na stanje okolja, nositi tudi več s tem povezanih stroškov), *previdnostno načelo* (države morajo pri svojih posegih v okolje ravnati previdno ter tako tudi sprejemati odločitve, ki bi potencialno lahko imele vpliv na okolje (Sands in Peel, 2018)), *načelo onesnaževalca plača* (onesnaževalec mora plačati stroške odprave škode, ki nastane iz njegove dejavnosti), *načelo medgeneracijske pravičnosti* (za prihodnje generacije je treba ohraniti obilje in kakovost okolja) ter *načelo trajnostnega razvoja* (države morajo zagotoviti, da se naravni viri uporabljajo trajnostno) (Nafziger, 2011).

Vsa našeta načela pa so uporabljiva tudi za vode in so kot taka del »mednarodnega prava voda«.

## 2.2 Mednarodno pravo voda

Razvijajoče se področje mednarodnega prava voda obsega običajno pravo in multilateralne mednarodne pogodbe, sprejete v okviru Združenih narodov, kot tudi večstranske ter bilateralne mednarodne pogodbe za določene vodne vire.

### 2.2.1 Konvencija o pravu neplovnih uporab mednarodnih vodotokov

*Konvencija o pravu neplovnih uporab mednarodnih vodotokov*<sup>4</sup> se uporablja za vodotoke, katerega deli so v različnih državah, pri čemer pa pojem uporabe pokriva številne vidike rabe vode, tako gospodarske, družbene kot okoljske (člen 2(b)). Prav tako je konvencija uporabna tudi za tiste podzemne vode, kjer je vodonosnik hidrološko povezan s sistemom površinskih voda in so njegovi deli v različnih državah (člen 2(a) in (b)).

Slovenija sicer (še) ni pogodbenica te konvencije, kljub temu pa jo zavezujejo podrobnejše in strožje obveznosti od slednje, saj so takšne zahteve predvidene v zakonodaji EU in konvencijah ter protokolih Ekonomske komisije Združenih narodov za Evropo (UNECE).

### 2.2.2 Konvencija o varstvu in uporabi čezmejnih vodotokov in mednarodnih jezer

*Konvencija o varstvu in uporabi čezmejnih vodotokov in mednarodnih jezer*<sup>5</sup> je bila sprejeta v Helsinkih leta 1992 in predstavlja pravni okvir za regionalno sodelovanje na področju vodnih virov, kot so reke, jezera in podtalnice. Na njeni podlagi so bili sprejeti številni sporazumi med posameznimi državami.<sup>6</sup> Od leta 2003 je možno pristopiti h konvenciji tudi državam zunaj regije UNECE.

4 Ang. Convention on the Law of the Non-Navigational Uses of International Watercourses.

5 Ang. Convention on the protection and use of transboundary watercourses and international lakes. Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 5/99.

6 Konvencija o varstvu reke Donave iz leta 1994, posamezni sporazumi o rekah Bug, Meuse, Ren in Šelda, o Pejpskem jezeru ter o kazahstansko-ruskih in rusko-ukrajinskih čezmejnih vodah, prav tako pa Okvirna direktiva Evropske unije o vodah.

Njen namen je okrepitev lokalnih, nacionalnih in regionalnih ukrepov za zaščito čezmejnih rek in podzemnih vod, saj se slednje lahko doseže samo s sodelovanjem udeleženih držav. Slednje morajo namreč pri urejanju vod na nacionalni ravni, če gre za čezmejne vode, upoštevati tudi načela, vsebovana v konvenciji. Pravila v konvenciji upoštevajo dejstvo, da so vode del kompleksnega ekosistema in se na ureditev posegov v vode ne gleda zgolj parcialno. V prvem delu so določbe, ki pogodbenice obvezujejo, da sprejmejo ustrezne ukrepe za preprečevanje, nadzor in zmanjšanje čezmejnih vplivov. Pri tem so kot glavni izpostavljeni ukrepi, da se zmanjša onesnaževanje voda, da se slednje uporabljajo smotrno in ekološko sprejemljivo (člen 2). Pomembni ukrepi so še ohranitev ekosistemov in njihova ponovna vzpostavitev kot tudi ekološko sprejemljiva ter smotrna uporaba čezmejnih voda, ohranitev vodnih virov in varovanje okolja (člen 2). Predvideno je tudi, da države pogodbenice med sabo poskrbijo za najširšo in čimprejšnjo izmenjavo informacij o pomembnih zadevah, ki izvirajo iz te konvencije (člen 6).

Drugi del konvencije je namenjen obrežnim pogodbenicam, torej državam, ki mejijo na iste čezmejne vode z državami pogodbenicami te konvencije. Predvideno je, da se ustanovijo skupna telesa, ki sodelujejo pri upravljanju z vodami, prav tako pa tudi, da se ti subjekti medsebojno posvetujejo in izvajajo skupni monitoring. Za vzdrževanje dogovorjenih ciljev o kakovosti vode in meril se izvajajo skupne raziskovalne dejavnosti. Izmenjevati morajo tudi ustrezne informacije o stanju voda in upravljanju z njimi (členi 2, 3, 4 in 5 drugega dela).

### 2.2.3 Običajno pravo

Poleg formalnih sporazumov, ki nastajajo med državami, pa mednarodno pravo pozna tudi običajno pravo, ki je bolj kompleksno in nepredvidljivo, saj je odvisno od ravnanj posameznih držav (Dellapenna, 2001). Pomembno je predvsem to, da morata biti podana tako objektivni kriterij, torej, da obstaja neka obča praksa držav, prav tako pa tudi subjektivni kriterij ali *opinio juris sive necessitatis*, torej, da država meni, da je neko ravnanje kot tako določeno s pravom (Škrk, 1985). Pri tem se presoja, kako dolgo, predvsem pa, kako dosledno se takšna praksa izvaja. Običajno mednarodno pravo lahko zavezuje samo nekaj držav (partikularno običajno pravo), medtem ko se splošno običajno pravo nanaša na vse države, razen tistih, ki bi posameznemu ravnanju izrecno nasprotovale.

K oblikovanju običajnega prava v veliki meri prispeva tudi ravnanje držav, ki se izraža v procesu oblikovanja mednarodnih pogodb (Sands in Peel, 2018). Določitev običajnega prava je zahtevna, saj se v tem procesu vedno pojavljajo pomanjkljivosti, ker se vseh vprašanj, ki bi jih sicer bilo treba urediti, ne dá zapolniti s prakso. V veliko primerih je njegov obstoj težko dokazati, zaradi česar se predvsem pri odločitvah, kako bi v nekem primeru moralo biti, odločevalci oprejo na tako imenovana splošna običajnopravna načela (Sands in Peel, 2018).

V nadaljevanju bodo predstavljena tista načela, ki se nanašajo na uporabo voda in posege vanje ter jih najdemo tudi v pravnih aktih, ki zavezujejo večino držav.

#### 2.2.3.1 Pravična in razumna uporaba

Eno temeljnih načel mednarodnega vodnega prava je načelo pravične in razumne uporabe. Predstavlja temeljno načelo za urejanje uporabe deljenih naravnih virov in ima danes že status mednarodnega običajnega prava, kot tako pa zavezuje tudi Slovenijo.



Vse države morajo ravnati v skladu z načelom pravične in razumne uporabe, pri čemer je del teh pravil namenjen tudi preprečevanju onesnaževanja sladkih vod in ekosistemov, prav tako pa je v primeru kršitev podana tudi odgovornost posameznih držav (Sands in Peel, 2018).

Države, ki si delijo vodni vir, ne morejo nad njim izvajati svoje suverene pravice v celoti, saj morajo upoštevati tudi pravice drugih držav, s katerimi si vodni vir delijo, tako da ima vsaka država pravico do razumnega in pravičnega deleža tega vira.

Načelo je med drugim opredeljeno tudi v *Konvenciji o pravu neplovnih uporab mednarodnih vodotokov* (člen 5), ki prav tako določa, da morajo države mednarodne vodotoke uporabljati na razumen in pravičen način ter medsebojno sodelovati.

### 2.2.3.2 Obveznost nepovzročanja škode

Države kljub načelu suverenosti nad njihovim ozemljem pri njihovih ravnanjih omejuje to, da ne smejo drugi državi povzročati škode. To pomeni, da morajo skladno z že prej omenjenim načelom »*sic utere tuo ut alienum non laedas*« svoje ozemlje uporabljati na način, da s tem ne škodijo drugi državi. Države lahko nasprotujejo uporabi skupnih sladkovodnih virov s strani druge države samo, če povzročijo materialno škodo njim samim.

Obstoj nastanka škode je odvisen od vsakega posameznega primera. Zaradi tega je treba v primeru vsakega posega v vodni vir ali vodna območja presoditi vse vplive, ki bi s tem lahko nastali, torej izvesti celovito presojo vplivov na okolje. Samo s preučitvijo vseh posledic, ki jih posamezen poseg pusti na okolje, je mogoče videti, kakšni vplivi bi s tem nastali in kateri od teh bi lahko drugi državi predstavljali škodo.

Načelo je vsebovano v *Konvenciji o pravu neplovnih uporab mednarodnih vodotokov*, ki določa, da bi morale države za preprečevanje povzročanja znatne škode drugim državam vodotoka sprejeti vse ustrezne ukrepe pri uporabi mednarodnega vodotoka. Načelo pa je mogoče zaslediti tudi v dokumentih, ki urejajo okoljsko pravo, in sicer Rio Deklaraciji o okolju in razvoju<sup>7</sup> iz leta 1992 (*Rio deklaracija*), Deklaraciji Konference ZN o človekovem okolju<sup>8</sup> iz leta 1972 (*Stockholmska deklaracija*) in drugih.

### 2.2.3.3 Obveznost sodelovanja

Zaradi deljenih vodnih virov so države med seboj obvezane sodelovati, da se zagotovi ohranjanje teh naravnih virov.

Mednarodno pravo, ki ureja vode, določa konkretne ukrepe za sodelovanje med državami, ki so postali vse bolj formalizirani, dolžnost sodelovanja pa je ena od ključnih v mednarodnem okoljskem pravu.

Tudi to načelo je vključeno v *Konvencijo o pravu neplovnih uporab mednarodnih vodotokov*, ki določa, da lahko za doseganje cilja optimalne uporabe in ustrezne zaščite mednarodnega

vodotoka države ustanovijo skupne komisije, če jim takšno sodelovanje olajša doseganje cilja. Načelo je, med drugim, vključeno tudi v *Rio deklaraciji* in *Stockholmski deklaraciji*.

### 2.2.3.4 Načela obveščanja, posvetovanja in pogajanj

Države, ki si delijo vodni tok, imajo skladno z mednarodnim pravom tudi pravico, da so obveščene o nameravanem posegu v vodotok, prav tako pa imajo pravico do posvetovanja in pogajanj. Slednje je najbolj relevantno v primeru, ko bi lahko poseg v vodno telo v eni državi povzročil škodljive posledice njenim pravicam ali interesom tudi na njenem ozemlju ali samem vodotoku. Temu načelu velikokrat nasprotujejo države, ki ležijo v zgornjem delu toka (Rahman, 2009).

Načela, ki dajejo podlago za uveljavljanje pravice do obveščeniosti, posvetovanj in pogajanj, so splošno sprejeta v mednarodnih dokumentih, kot so *Helsinška pravila o uporabi voda mednarodnih rek*<sup>9</sup>, *Konvencija o varstvu in uporabi čezmejnih vodotokov in mednarodnih jezer*, *Sporazum o Savskem bazenu*<sup>10</sup> in *Konvencija o pravu neplovnih uporab mednarodnih vodotokov*. Načelo je priznано tudi v *Rio deklaraciji* in *Stockholmski deklaraciji*.

### 2.2.3.5 Mirno reševanje sporov

V skladu z načelom mirnega reševanja sporov si morajo vse države prizadevati, da medsebojne spore rešujejo po mirni poti, če ne morejo že s pogajanjem doseči medsebojnega dogovora.

To načelo je vključeno tudi v *Helsinška pravila o uporabi voda mednarodnih rek*, *Konvencijo o varstvu in uporabi čezmejnih vodotokov in mednarodnih jezer*, *Sporazum o Savskem bazenu* ter *Konvencijo o pravu neplovnih uporab mednarodnih vodotokov*. Slednja določa, da se v primeru, če med državami ni veljavnega drugega sporazuma, poskuša spor rešiti na miren način, sprva s pogajanjem, če pa ta niso uspešna, pa državi za pomoč zaprosita tretjo osebo, ki bi sodelovala pri posredovanju ali pomiritvi. Državi pa se lahko tudi dogovorita, da spor predložita arbitraži ali sodišču za reševanje sporov (člen 33). Načelo pa se med drugim najde tudi v drugih mednarodnih okoljskih konvencijah ter aktih, kot sta *Rio deklaracija* in *Stockholmska deklaracija*.

### 2.2.4 Judikatura mednarodnih sodišč

Judikatura mednarodnih sodišč je na področju voda dokaj obsežna, saj so države že od nekdaj posegale v vode, ob čemer so se zastavljala različna mednarodnopravna vprašanja.

Stalno meddržavno sodišče<sup>11</sup> je odločalo v več različnih primerih, ki se nanašajo na vode in njihovo urejanje. V zadevi *Odvod vode iz reke Meuse*<sup>12</sup> je v sporu med Nizozemsko in Belgijo odločalo glede odvzema vode iz reke Meuse in širjenja vodnih poti obeh držav ter njunih kršitev, pri čemer je zaključilo, da v mednarodni pogodbi, ki sta jo sklenili, nobeni državi njuna

<sup>7</sup> Ang. Rio Declaration on Environment and Development, U.N. Doc. A/CONF.151/26 (vol. I), 13. junij 1992.

<sup>8</sup> Ang. Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm declaration, U.N. Doc. A/Conf. 48/14/Rev. 1, 15. december 1972.

<sup>9</sup> Ang. The Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers, 1966.

<sup>10</sup> Zakon o ratifikaciji Okvirnega sporazuma o Savskem bazenu, Protokola o režimu plovbe k Okvirnemu sporazumu o Savskem bazenu in Sporazuma o spremembah in dopolnitvah Okvirnega sporazuma o Savskem bazenu in Protokola o režimu plovbe k Okvirnemu sporazumu o Savskem bazenu, Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 19/04.

<sup>11</sup> Permanent Court of International Justice – PCIJ.

<sup>12</sup> [1937], P.C.I.J. (Ser. A/B) št. 70.



ravnanja niso bila prepovedana. Iz tega izhaja, da morajo države pri posegu v vode in vodna zemljišča poleg drugih pravnih pravil upoštevati tudi mednarodne pogodbe, ki jih sklenejo z drugimi državami. V Sloveniji je torej potrebna posebna pozornost glede posegov v vode, ki se razširjajo tudi na sosednje države. Ena od takšnih je na primer *Pogodba med Vlado Republike Slovenije in Vlado Republike Hrvaške o urejanju vodnogospodarskih razmerij (BHRUVR)*<sup>13</sup>. V zadevi *Oscar Chinn*<sup>14</sup>, v sporu med Veliko Britanijo in Belgijo, je bilo odločeno, da belgijska vlada svojih obveznosti glede rečnega prevoza po vodnih poteh ni kršila, saj sprejeti ukrepi glede rečnega prevoza niso bili v nasprotju z mednarodnopravnimi obveznostmi do Velike Britanije. Nadalje je sodišče v zadevi v zvezi z *ozemeljsko pristojnostjo Mednarodne komisije za reko Odre*<sup>15</sup> razsodilo, da se Versajska pogodba, glede reke Odre, razširi tako, da zajema tudi plovne pritoke reke. *Zadeva v zvezi s pristojnostjo Evropske komisije za Donavo med krajeva Galatz in Braila*<sup>16</sup> predstavlja svetovalno mnenje glede pristojnosti Evropske komisije nad tistimi deli Donave, ki so bili pod njenim nadzorom že pred prvo svetovno vojno, in v njem je sodišče zapisalo, da je lahko nadzor komisije še vedno dovoljen, kljub temu da so nekdanji komisiji sodelovali le predstavniki Velike Britanije, Francije, Italije in Romunije.

Tudi Meddržavno sodišče je že večkrat odločalo v sporih v zvezi z vodami. Glede uporabe reke Silla je v zadevi *Spor o statusu in uporabi voda reke Sille (Čile proti Boliviji)* presojalo o statusu reke kot mednarodne. Glede erozije rečnih bregov in škode okolja zaradi gradnje ceste je sodišče odločalo v zadevi *Gradnja ceste v Kostariki ob reki San Juan (Nikaragva proti Kostariki)* ter presodilo, da je Kostarika kršila svoje obveznosti glede izvedene presoje vplivov na okolje, saj je šlo za projekt, ki bi lahko povzročil čezmejno škodo, vendar pa Nikaragvi ni uspelo dokazati obsega škode. Kot izhaja iz tega primera, mora tudi Slovenija pri posegih v vode biti pozorna na to, ali je takšna dejavnost dovoljena in skladna s tem, da ne bo povzročila čezmejne škode, kar je treba v okviru presoje vplivov na okolje posebej preveriti. Glede poglobljanja reke ob gradnji kanala v zadevi *Nekatere dejavnosti, ki jih izvaja Nikaragva na obmejnem območju (Kostarika proti Nikaragvi)* pa je zapisalo, da ima na spornem ozemlju suverenost Kostarika in je dejanje Nikaragve pomenilo nezakonit poseg na to območje. O gradnji tovarne celuloze, v povezavi s kakovostjo rečne vode, je bilo presojano v zadevi *Obrati za proizvodnjo celuloze na reki Urugvaj (Argentina proti Urugvaju)*, kjer je bilo odločeno, da je Urugvaj kršil svoje mednarodne postopkovne obveznosti obveščanja in posvetovanja z Argentino pred odobritvijo in začetkom gradnje tovarne celuloze. Tudi Slovenija se mora pred večjimi posegi v vodna zemljišča in vode prepričati, da slednje ne bi ogrozilo kakovosti vode. Posebej pomemben v tej zadevi je bil tudi zaključek sodišča, da je obveznost izvedbe presoje vplivov na okolje obveznost mednarodnega običajnega prava. Plovne pravice na reki San Juan so bile predmet zadeve *Spor glede navigacijskih in sorodnih pravic (Kostarika proti Nikaragvi)*, glede urejanja meje pa je bil predmet v *Zadevi v zvezi z mejnim sporom (Republika Benin proti Republiki Niger)* ter *Spor o kopnem, otokih in morski meji (Honduras proti Salvadorju) 1986, 2003*. Meja, ki je določena z mejnimi znamenji v naravi, kot so reke, je lahko problematična, saj reke naravno nekoliko spreminjajo svoj tok. Tudi v Sloveniji je težavo predstavljalo ureja-

nje meje s Hrvaško, ki v delu poteka po rekah, kar pa ni bilo skladno s katastrskimi mejami. Izgradnja zapornic za hidroelektrarno na reki Donavi je bila predmet presoje v zadevi *Projekt Gabčikovo-Nagygyaros*, kjer je Meddržavno sodišče med drugim prvič opredelilo načelo trajnostnega razvoja in varstvo okolja priznalo kot vrednoto, ki v upravičenih primerih lahko pomeni okoliščino, ki opraviči neizpolnjevanje pogodbenih obveznosti po pravu o odgovornosti držav. Primer je lahko aktualen tudi za Slovenijo, če bi na svojih rekah, ki si jih deli z drugimi državami, gradila različne projekte, kot so hidroelektrarne, saj bi morala pri takšnih posegih upoštevati tudi mednarodnopravno ureditev, saj bi sicer v primeru mednarodnopravnih kršitev obveznosti, ki jim ima Slovenija, sosednje države lahko uveljavljale odgovornost in zahtevale povrnitev škode. Prav tako pa bi lahko Slovenija podobno zahtevala od drugih držav, če bi dokazala, da pri posegih v reke, ki si jih delijo s Slovenijo, niso upoštevale svojih mednarodnopravnih obveznosti.

### 2.2.5 Mehko pravo

Mehko pravo, čeprav nezavezujoče, lahko državam postavlja določene standarde ravnanja. Na področju okolja se je začelo razvijati po Stockholmski konferenci, predvsem z ustanovitvijo specialnega subsidiarnega organa, Programa Združenih narodov za okolje (UNEP) (Dupuy, 1990). V okviru UNEP so bila sprejeta tudi *Načela ravnanja na področju okolja za usmerjanje držav pri ohranjanju in skladni rabi naravnih virov, ki si jih delita dve ali več držav*,<sup>17</sup> ki veljajo tudi za mednarodne vodotoke. Eno glavnih načel je načelo pravičnega koriščenja virov, na podlagi katerega morajo države medsebojno sodelovati in enakopravno upravljati deljen naravni vir.

Tudi različne nevladne organizacije prispevajo k razvoju mehkega prava. Ena od njih je Združenje za mednarodno pravo,<sup>18</sup> ki je leta 1996 sprejelo vplivna *Helsinška pravila o uporabi voda mednarodnih rek*, ki so pomenila začetek oblikovanja prizadevanj za mednarodno zaščito sladkovodnih virov. Nastala so na podlagi prejšnjih posameznih prizadevanj za ureditev področja vod in posegov vanje ter predvidevajo ureditev za ravnanje s sladkimi vodami, kadar uporaba posameznih voda ni že drugače urejena z mednarodno pogodbo ali običajnim pravom. V omenjenih pravilih je določeno, da lahko vsaka država svoj del rečnega bazena razumno in pravično uporablja, pri čemer se takšna uporaba presoja v vsakem konkretnem primeru posebej. Kriteriji, ki vplivajo na to, kaj je pravična in razumna uporaba, so geografske, hidrološke, podnebne, ekonomske, društvene in druge značilnosti, naštetje v členu 5 *Helsinških pravil o uporabi voda mednarodnih rek*. Države so na podlagi načela pravične uporabe vodotoka dolžne tudi preprečiti vsako škodljivo spremembo, ki nastane na podlagi človekovega ravnanja in ima za posledico, da se naravna sestava, vsebnost ali kakovost vode na določenem območju onesnaži. Pozneje so bila v okviru ILA sprejeta tudi *Berlinska pravila*, ki naj bi posodobila in zamenjala obstoječa pravila. Kljub temu da mednarodne organizacije niso sledile Berlinskim pravilom, je njihova posamezna vsebina vključena v številnih priporočilih in usmeritvah, ki so jih oblikovale mednarodne organizacije.

13 Zakon o ratifikaciji Pogodbe med Vlado Republike Slovenije in Vlado Republike Hrvaške o urejanju vodnogospodarskih razmerij (BHRUVR), med Savo in Dravo. Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 23/97.

14 [1937], P.C.I.J. (Ser. A/B) št. 70.

15 [1929], P.C.I.J. (Ser. A) št. 23, (10. september).

16 Svetovalno mnenje, [1927], P.C.I.J. (Ser. B) št. 14.

17 Ang. Principles of Conduct in the Field of the Environment for the Guidance of States in the Conservation and Harmonious Utilization of Natural Resources Shared by Two Or More States.

18 Ang. International Law Association (ILA).



Komisija za mednarodno pravo<sup>19</sup> je v letu 1994 v Ženevi sprejela Osnutek členov o pravu ne-plovne rabe mednarodnih vodotokov<sup>20</sup>, ki določa relevantna načela in osnovna pravila, kar bi lahko služilo kot osnova za sprejem podrobnejših sporazumov med zainteresiranimi državami.

Prav tako pa je tudi Inštitut za mednarodno pravo<sup>21</sup> sprejel dokument, poimenovan *Onesnaževanje rek in jezer ter mednarodno pravo*. Onesnaževanje je v omenjenem dokumentu opredeljeno kot vsaka fizikalna, kemična ali biološka sprememba v sestavi ali kakovosti voda, ki nastane kot posledica (posredna ali neposredna) človekovega ravnanja ter vpliva na zakonito rabo teh voda in povzroča škodo.

Med drugim pa je poznana še *Deklaracija o sodelovanju donavskih držav pri vprašanih gospodarjenja z vodami reke Donave (Bukareška deklaracija)*, ki so jo leta 1985 sprejele Avstrija, Bolgarija, nekdanja Češkoslovaška, Nemčija, nekdanja Jugoslavija, Romunija, Madžarska in nekdanja Sovjetska zveza. Namenjena je predvsem varstvu reke Donave pred onesnaževanjem in ohranjanju kakovosti njene vode. Na njej temelji *Konvencija o sodelovanju pri varovanju in trajnostni uporabi reke Donave*.

### 3. PRAVNI RED EU IN VARSTVO VODA

Evropska okoljska politika vključuje tudi vodno politiko. Mednarodni sporazumi, katerih pogodbenice so EU in njene države članice, so skladno s prakso Sodišča EU sestavni del prava EU.

Med najpomembnejšimi pravnimi akti na področju vodne zakonodaje sta *Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike* (ali tako imenovana *Okvirna direktiva o vodah*) ter *Direktiva 2007/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2007 o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti* (imenovana tudi *Direktiva o poplavah*).

*Okvirna direktiva o vodah* je bila sprejeta že leta 2000. Predvideva urejanje in varstvo celinskih površinskih voda, somornic, obalnega morja ter podzemne vode. Z njo se želi preprečiti slabšanje stanja vodnih in tistih ekosistemov, ki so neposredno odvisni od njih, kot so kopenski ekosistemi in močvirja. Njen cilj je prav tako večje varstvo in izboljšanje vodnega okolja, trajnostna raba vode, dolgoročno varstvo razpoložljivih vodnih virov, postopno zmanjševanje ter preprečevanje onesnaženosti podzemne vode. Ker gre za direktivo, to pomeni, da jo morajo države članice implementirati v svoj pravni red. Kljub temu pa je direktiva tako široka, da imajo države članice pri prenosu slednje v svoj pravni red veliko mero avtonomije. *Okvirno direktivo o vodah* je Slovenija v nacionalni pravni red prenesla z Zakonom o vodah<sup>22</sup> (ZV).

Dodatni direktivi k *Okvirni direktivi o vodah* pa sta še izvedbeni direktivi, in sicer *Direktiva 2006/118/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. decembra 2006 o varstvu podzemne*

*vode pred onesnaževanjem in poslabšanjem*, ki določa različna merila za opredelitev stanja vode ter *Direktiva 2008/105/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. decembra 2008 o okoljskih standardih kakovosti na področju vodne politike*, ki določa okoljske standarde kakovosti za prednostne snovi in nekatera druga onesnaževala. Pred sprejetjem *Okvirne direktive o vodah* sta bili med pomembnejšimi *Direktiva Sveta 91/676/EGS z dne 12. decembra 1991 o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov* in *Direktiva Sveta 91/271/EGS z dne 21. decembra 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode*.

*Direktiva o poplavah* je namenjena vzpostavitvi okvirja, s katerim se oceni in obvladuje poplavna ogroženost, da bi se zmanjšale škodljive posledice poplav, tako na zdravje ljudi kot tudi okolje in gospodarstvo.

Na ravni EU pa je urejena tudi kakovost vode, ki se ureja z dvema pomembnejšima direktivama, in sicer *Direktivo (EU) 2020/2184 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. decembra 2020 o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi (prenovitev)* ter *Direktivo 2006/7/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 15. februarja 2006 o upravljanju kakovosti kopalnih voda*.

Z urejanjem vod pa sta, tako posredno kot tudi neposredno, povezani na primer tudi *Direktiva Sveta z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode, ki ureja zbiranje, čiščenje in odvajanje komunalne odpadne vode*, ter *Direktiva 2014/23/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 26. februarja 2014 o podeljevanju koncesijskih pogodb*, ki med drugim ureja podelitev koncesij za vodna okolja. Še več določb, ki se nanašajo na vode, pa je v raznih drugih direktivah<sup>23</sup>, katerih primarni cilj ni urejanje vod, a kljub temu vsebujejo določbe, ki se nanašajo na vode in jih je treba pri izvajanju različnih posegov upoštevati.

Poleg zakonodajne vloge EU pa je pomembna tudi praksa sodišč, in sicer Sodišča EU, ki nudi razlago zakonodaje na področju EU in jo je treba pri upravljanju z vodami prav tako upoštevati. Pomembna pa je tudi praksa Evropskega sodišča za človekove pravice (ESČP), za Slovenijo še posebej primer iz leta 2020, ko je ESČP v zadevi *Hudorovič in drugi proti Sloveniji* odločalo glede dostopa do pitne vode in pri tem ni ugotovilo kršitev Slovenije.

### 4. REGIONALNI MEDNARODNI DOGOVORI VARSTVA VODA

Države sprejemajo tudi mednarodne pogodbe, ki se nanašajo na ureditve jezer, kot so *Konvencija o plovbi po Bodenskem jezeru*, *Sporazum o urejanju jezera Inari s pomočjo hidroelektrarne in jezera Kaitakoski*, *Sporazum med vlado Francoske republike in špansko vlado o jezeru Lanoux* in drugi, na ureditve na področju vodonosnikov, kot je *Konvencija o varstvu, rabi, napajanju in spremljanju Ženevskega čezmejnega vodonosnika*, ter ureditve na področju rek, kot so reka Donava, Laba, Odra, Ren in druge.

Slovenija je ena od enajstih pogodbenic<sup>24</sup> *Konvencije o sodelovanju pri varstvu in trajnostni uporabi reke Donave*, ki daje podlago za sodelovanje in čezmejno upravljanje z vodami reke

19 Ang. International Law Commission (ILC).

20 Ang. The law of the non-navigational uses of international watercourses: draft articles on the law of the non-navigational uses of international watercourses and commentaries thereto.

21 Ang. The Institute of International Law ali fr. Institut de droit international.

22 Uradni list RS, št. 67/02.

23 Predvsem so v tej zvezi pomembni vsi pravni akti, ki urejajo okolje in posege vanj.

24 Konvencija je bila podpisana 29. junija 1994 v Bolgariji. Podpisnice so države iz donavskega povodja, in sicer poleg Slovenije še Avstrija, Bolgarija, Hrvaška, Češka, Nemčija, Madžarska, Moldavija, Romunija, Slovaška ter Ukrajina. Veljavna je postala oktobra 1998, ko jo je ratificiralo devet podpisnic.



Donave. Z njo želi zagotoviti upravljanje in izkoriščanje površinskih in podzemnih vod na trajnosten in pravičen način kot tudi varovanje ter izboljšanje površinskih in podzemnih voda, hkrati pa izvajati preventivne ukrepe za kontrolo nevarnosti, kot so poplave.

Slovenija je tudi pogodbenica<sup>25</sup> *Okvirnega sporazuma o Savskem bazenu*, s katerim so obrežne države reke Save želele vzpostaviti mednarodni režim za plovbo po reki in njenih pritokih, da se vzpostavi trajnostno upravljanje z vodami in da se odpravijo oziroma zmanjšajo škodljive posledice za reko.

## 5. ZAKLJUČEK

Mednarodno pravo ureja širok nabor vprašanj, ki se nanašajo na posege v vode in njihovo urejanje. V praksi pa se včasih zdi, da se mednarodnopravni vidik ureditve posegov v vode kar nekoliko spregleda.

Poleg zgoraj obravnavanega mednarodnopravnega okvirja pa ne gre pozabiti na *Konvencijo o dostopu do informacij, udeležbi javnosti pri odločanju in dostopu do pravnega varstva v okoljskih zadevah*<sup>26</sup> (*Aarhuško konvencijo*), ki javnosti zagotavlja dostop do okoljskih informacij, omogoča sodelovanje pri odločanju in zahteva dostop do pravnih sredstev v postopkih, s katerim se posega v okolje, kar pomeni, da je ta pravica na voljo tudi takrat, ko se posega v vode in vodna okolja. Pogodbenica te konvencije je tudi EU, zato so tudi na ravni EU na voljo postopki, kadar obstaja sum, da se domnevno kršijo pravila EU. V ta namen je sprejeta tudi *Uredba (EU) 2021/1767 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 6. oktobra 2021 o spremembi Uredbe (ES) št. 1367/2006 o uporabi določb Aarhuške konvencije o dostopu do informacij, udeležbi javnosti pri odločanju in dostopu do pravnega varstva v okoljskih zadevah v institucijah in organih Skupnosti (Aarhuška uredba)*, s katero se prispeva k izvajanju obveznosti na ravni EU, ki so določene z *Aarhuško konvencijo*, tako da se javnosti zagotovi pravica do informacij o okolju in da se te javno razširijo ter da lahko javnost sodeluje pri okoljskih projektih in načrtih. Vsakdo lahko torej v primeru, ko se posega v vodna okolja, uveljavlja svoje pravice, sodeluje v postopkih in opozarja na morebitne nepravilnosti. Predvsem zavedanje razsežnosti, ki jih pusti posamezen poseg v vodna okolja, lahko pripomore k temu, da se na splošni ravni stanje voda izboljša.

Čeprav se morda mednarodno pravo in pravo EU zdita večini posameznikom nekoliko oddaljena in precej kompleksna, pa ju ne gre spregledati. Vsekakor je treba vložiti več navora, da se posameznim odločevalcem in tudi posameznikom na ustrezen način približata, tudi v sklopu dodatnih izobraževanj, usposabljanj ter kampanj ozaveščanja.

Ob poseganju v vode in vodna okolja je vsekakor potrebna posebna previdnost zaradi razsežnosti, ki jih posamezen poseg lahko pusti na okolje in vode ter posledično tudi življenja ljudi. Zaradi naše odvisnosti od vode in vodnih virov ni odveč, da se posegi izvajajo premišljeno in postopoma. Z upoštevanjem celovitega mednarodnopravnega okvirja in pravnega reda EU se lahko potencialni škodni ukrepi pravočasno preprečijo, saj je škodo vodam in vodnim sistemom težko odpraviti.

25 Poleg Bosne in Hercegovine, Srbije (prej Zvezne republike Jugoslavije) ter Hrvaške.

26 Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 17/04.

## LITERATURA IN VIRI

- Berlin Rules on Water Resources Law, 2004. V: Report of the Seventy-First Conference.
- Bohte, B., 2008. Deljeni naravni viri – predlog Komisije za mednarodno pravo o pravu čezmejnih vodonosnikov. V: Drenik Bavdek, S. (ur.), Sancin, V. (ur.), Jazbec, M. (ur.). Zbornik znanstvenih razprav ob 60. obletnici Komisije Združenih narodov za mednarodno pravo. Ljubljana: Ministrstvo za zunanje zadeve Republike Slovenije. Str. 135–146.
- Burkeljc, M., 2018. Načelo pravične in razumne uporabe v mednarodnem pravu čezmejnih vodonosnikov, magistrsko diplomsko delo, Ljubljana.
- Deklaracija Konference ZN o človekovem okolju (ang. Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment), Stockholm declaration, U.N. Doc. A/Conf. 48/14/Rev. 1, 15. december 1972.
- Deklaracija o sodelovanju donavskih držav pri vprašanih gospodarjenja z vodami reke Donave, predvsem pri varstvu reke Donave pred onesnaževanjem, 13. december 1985, Bukareška deklaracija.
- Dellapenna, J. W., 2001. The customary international law of transboundary fresh waters. International journal of global environmental issues. Let. 1, št. 3–4. Str. 264–305.
- Direktiva 2006/118/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. decembra 2006 o varstvu podzemne vode pred onesnaževanjem in poslabšanjem.
- Direktiva 2007/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2007 o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti.
- Direktiva 2008/105/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. decembra 2008 o okoljskih standardih kakovosti na področju vodne politike.
- Direktiva 2014/23/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 26. februarja 2014 o podeljevanju koncesijskih pogodb.
- Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike.
- Direktiva Sveta 91/676/EGS z dne 12. decembra 1991 o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov in Direktiva Sveta 91/271/EGS z dne 21. decembra 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode.
- Direktiva Sveta z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode, ki ureja zbiranje, čiščenje in odvajanje komunalne odpadne vode.
- Direktiva 2006/7/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 15. februarja 2006 o upravljanju kakovosti kopalnih voda.
- Direktiva (EU) 2020/2184 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. decembra 2020 o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi (prenovitev).
- Dupuy, P. M., 1990. Soft law and the international law of the environment. Michigan journal of international law. Let. 12. Str. 420–435.
- Kiss, A. C. in Shelton, D., 2004. International environmental law. Ardsley (N.Y.): Transnational.
- Koivurova, T., 2014. Introduction to international environmental law. London, New York: Routledge.
- Konvencija o pravu neplovnihi uporabi mednarodnih vodotokov (ang. Convention on the Law of the Non-Navigational Uses of International Watercourses), G.A. Res. 51/229, U.N. Doc. A/RES/51/229 (1997), 12. maj 1997.
- Nafziger, J. A., 2011. Basic Functions and Principles of International Environmental Law in the Context of Managing Water Resources. Denver Journal of International Law & Policy. Let. 39, št. 3. Str. 381–395.
- Rahaman, M. M., 2009. Principles of international water law: creating effective transboundary water resources management. International Journal of Sustainable Society. Let. 1, št. 3. Str. 207–223.
- Rio Deklaracija o okolju in razvoju (ang. Rio Declaration on Environment and Development), U.N. Doc. A/CONF. 151/26 (vol. I), 13. junij 1992.
- Sands P. in Peel J., 2018. Principles of International Environmental Law. 4. izdaja. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shiklomanov, V. I., 1993. World fresh water resources. V: GLEICK P. (ur.). Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. New York, Oxford University Press. Str. 13–24.
- Škrk, M., 1985. Pojem virov v mednarodnem pravu. Ljubljana: Zbornik znanstvenih razprav PF. Str. 45–147.
- The Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers, v: Report of the Fifty-Second Conference, 1966, str. 484.



27. The Pollution of Rivers and Lakes and International Law, Fifteenth Commission, Rapporteur: Mr. Jean Salmon; Session of Athens, 1979.
28. Türk, D., 2007. Temelji mednarodnega prava. Ljubljana: GV Založba.
29. Turšič, D., 2020. O vodonosnikih, vodotokih in sistemski umeščenosti v mednarodno pravo. Časopis za kritiko znanosti. Let. 48, št. 279. Str. 290–305.
30. Zakon o ratifikaciji Konvencije o dostopu do informacij, udeležbi javnosti pri odločanju in dostopu do pravnega varstva v okoljskih zadevah (Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 17/04).
31. Zakon o ratifikaciji Konvencije o sodelovanju pri varstvu in trajnostni uporabi reke Donave (Konvencija o varstvu reke Donave), Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 12/98.
32. Zakon o ratifikaciji Konvencije o varstvu in uporabi čezmejnih vodotokov in mednarodnih jezer, Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 5/99.
33. Zakon o ratifikaciji Okvirnega sporazuma o Savskem bazenu, Protokola o režimu plovbe k Okvirnemu sporazumu o Savskem bazenu in Sporazuma o spremembah in dopolnitvah Okvirnega sporazuma o Savskem bazenu in Protokola o režimu plovbe k Okvirnemu sporazumu o Savskem bazenu, Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 19/04.

## VPLIV DRUŽBE NA KOLIČINSKO STANJE PODZEMNE VODE V SLOVENIJI

**dr. PETER FRANTAR<sup>1</sup>, dr. MIŠO ANDJELOV<sup>2</sup>, dr. URŠKA PAVLIČ<sup>3</sup>,  
dr. PETRA SOUVENT<sup>4</sup>, DEJAN ŠRAM<sup>5</sup>, mag. FLORJANA ULAGA<sup>6</sup>**

### Povzetek

Podzemna voda je glavni vir pitne vode v Sloveniji. Količinsko stanje podzemnih voda je večinoma dobro, na vire podzemne vode pa ima družba vse večji vpliv. Vplivi antropogenih dejavnosti v pokrajini se tako odražajo posredno ali neposredno tudi na podzemni vodi.

V članku obravnavamo glavne vplive družbe na količinsko stanje podzemne vode v Sloveniji. Osnova analize vpliva je ocena naravnega stanja količin podzemne vode na podlagi modela vodne bilance mGROWA, analize gladin podzemne vode ali vodostajev in pretokov izvirov oz. vodotokov. Prikazan je pregled rabe podzemne vode po vodnih telesih, opredeljen delež rabe razpoložljivih vodnih virov in ocenjeni vplivi družbe na količine vode v Sloveniji na izbranih primerih.

**Ključne besede:** hidromorfologija, odvzemi podzemne vode, pitna voda, podnebne spremembe, podzemna voda, raba prostora, vplivi družbe na vode.

### Abstract

Groundwater is the main source of drinking water in Slovenia. The quantitative status of groundwater is mainly good despite the fact that the society has an increasing influence on groundwater resources. The impacts of anthropogenic activities on land are thus reflected indirectly or directly also on the groundwater. The article discusses the main influences of society on the quantitative state of underground water in Slovenia. The basis of the impact analysis is the assessment of the natural state of groundwater quantities of the mGROWA water balance model results, the analysis of groundwater levels, surface water levels, spring or stream discharges. An overview of the use of groundwater by water bodies is presented,

<sup>1</sup> Dr. Peter Frantar, univ. dipl. geog., Agencija Republike Slovenije za okolje

<sup>2</sup> Dr. Mišo Andjelov, univ. dipl. inž. geol., Agencija Republike Slovenije za okolje

<sup>3</sup> Dr. Urška Pavlič, univ. dipl. inž. geol., Agencija Republike Slovenije za okolje

<sup>4</sup> Dr. Petra Souvent, univ. dipl. inž. geol., Agencija Republike Slovenije za okolje

<sup>5</sup> Dejan Šram, univ. dipl. inž. geol., Agencija Republike Slovenije za okolje

<sup>6</sup> Mag. Florjana Ulaga, univ. dipl. geog., Agencija Republike Slovenije za okolje



the use of available water resources is defined and the estimated impact of society on the amount of water in Slovenia in selected cases is presented.

**Keywords:** climate change, drinking water, groundwater, groundwater abstracts, hydro-morphology, society impact on waterspatial planning.

## 1. UVOD

Podzemna voda predstavlja največjo zalogo sladke vode na svetu (brez ledenikov) in nad 75 % vse pitne vode v Evropi (EK, 2008). Je tudi najpomembnejši vir pitne vode v Sloveniji, iz katerega pridobimo kar 98 % pitne vode (Slika 1). V Sloveniji načrpamo za pitno vodo skoraj 170 milijonov m<sup>3</sup> vode, to pomeni 80 m<sup>3</sup> na prebivalca letno ali 220 litrov na dan (SURs, 2022).

Podzemna voda je voda pod površjem Zemlje, v porah, razpokah in kraških kanalih kot tudi voda v nezasičeni in zasičeni coni ne glede na njeno agregatno stanje (Brands et al., 2016). Gibanje podzemne vode je razmeroma počasno, viri podzemne vode so v primerjavi s površinskimi vodami stabilnejši in dolgotrajnejši, zato ima podzemna voda ključno vlogo tako pri preskrbi z vodo kot pri blaženju sušnih razmer.

Razlike v poseljenosti in družbenih dejavnostih (npr. industrija, kmetijstvo, turizem) v kombinaciji z naravno variabilnostjo podzemne vode v vodnem krogu ter porazdelitvijo vodnih količin marsikje privedejo do sprememb obnovljivih količin podzemne vode, ne nazadnje tudi do problemov pri dostopu do razpoložljivih količin podzemne vode (npr. sezonske suše, preveč porabnikov).

Geografska razporeditev količin podzemne vode v Sloveniji je najbolj odvisna od količine padavin in kamninske zgradbe (Uhan et al., 2003; Andjelov et al., 2016; Frantar et al., 2017; Frantar et al., 2018; Frantar ur., 2008 in drugi). V Sloveniji imamo tretjino ozemlja z geološko zgradbo, kjer imamo kamnine z manjšo izdatnostjo in slabšo poroznostjo, približno petina Slovenije ima dobro prepustne sedimentne kamnine z medzrnskimi (aluvialnimi) vodonosniki, dobri dve petini pa predstavljajo kraški in razpoklinški vodonosniki (Uhan et al., 2003 po Prestor et al., 2002).

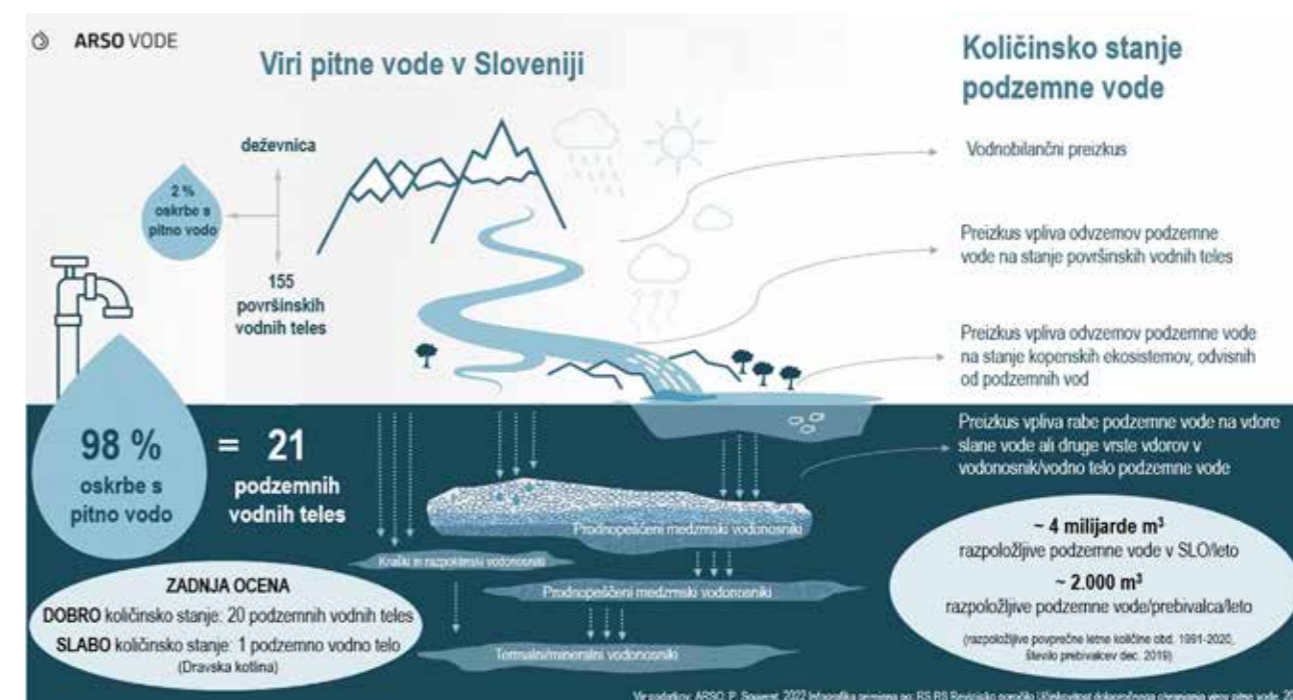
## 2. PODZEMNA VODA V SLOVENIJI

Ocena obnovljivih in razpoložljivih količin podzemne vode v Sloveniji je izdelana na podlagi smernic Vodne direktive (2000) z glavnim ciljem zagotavljanja vzdržnega sistema rabe podzemne vode, ki ne vpliva na poslabšanje količinskega stanja vodnega telesa. Na kratko, količina odvzema ne sme presegati razpoložljivih količin podzemne vode (Andjelov et al., 2021). Delež napajanja podzemnih voda je ocenjen z državnim vodnobilančnim modelom mGROWA

(Frantar et al., 2018). Ocena povprečnega letnega napajanja kaže, da je bilo to v obdobju od leta 1991 do 2020 187,6 m<sup>3</sup>/s, od tega večina (130 m<sup>3</sup>/s) na kraških vodonosnikih, na razpoklinških 34 m<sup>3</sup>/s in medzrnskih dobrih 17 m<sup>3</sup>/s. Najmanjše količine napajanja podzemne vode so v štirih telesih z mešano poroznostjo (6,3 m<sup>3</sup>/s) (Andjelov et al., 2021).

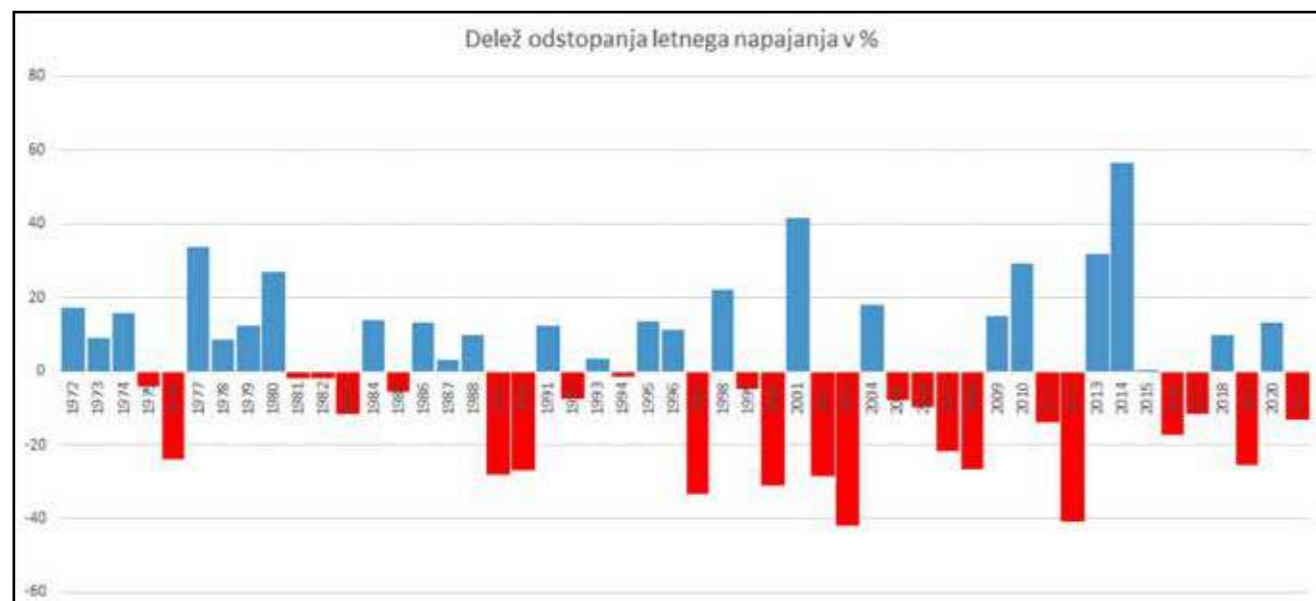
V povprečju imamo v Sloveniji letno 4 milijarde m<sup>3</sup> razpoložljivih količin podzemne vode, kar pomeni 2000 m<sup>3</sup> na prebivalca. Raba podzemne vode v Sloveniji je v obdobju od leta 2014 do 2019 ocenjena na dobrih 189 milijonov m<sup>3</sup>, od tega je 54 milijonov odvzetih na izviri in 135 milijonov m<sup>3</sup> prek črpanj.

Hiter pregled kaže, da je v povprečju porabljene manj kot 5 % razpoložljive količine podzemne vode. Moramo pa opozoriti, da količine napajanja v Sloveniji niso enakomerno razporejene. Pri tem gre za velike regionalne razlike kot tudi za razlike v sezonski razpoložljivosti vodnih virov (Sliki 2 in 3). Splošna slika povprečnega napajanja in razpoložljivih količin je torej lahko tudi zavajajoča, saj v času suš in pomanjkanja vode ne odraža realnega stanja na terenu oz. v naravi.



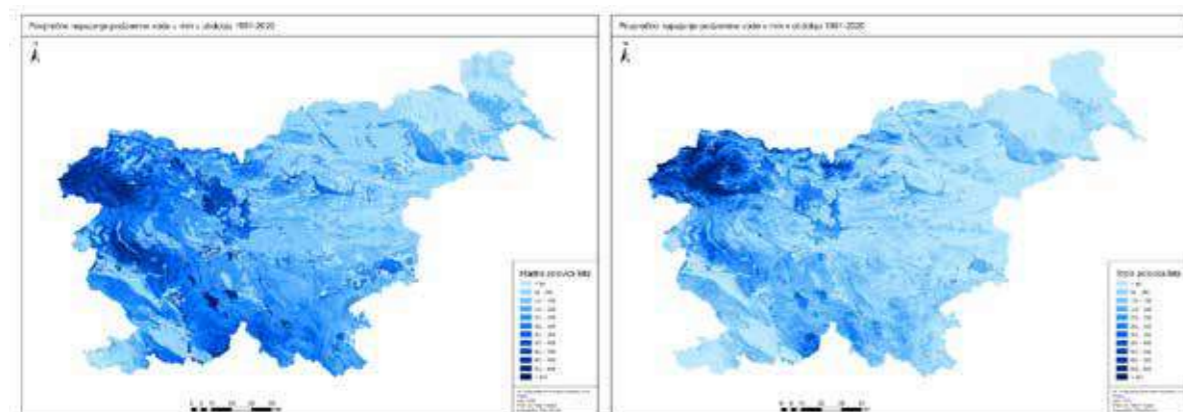
**Slika 1:** Viri pitne vode in količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji.

Vir: ARSO, 2022.



**Slika 2:** Letno odstopanje napajanja podzemne vode kaže na velika medletna odstopanja.

Vir: ARSO, 2022.



**Slika 3:** Povprečno napajanje podzemne vode, izračunano z modelom mGROWA, v hladni in topli polovici leta kaže, da imamo predvsem v južni polovici države glavnino napajanja vodonosnikov v hladni polovici leta.

Vir: ARSO, 2022.

### 3. VPLIVI DRUŽBE NA PODZEMNE VODE

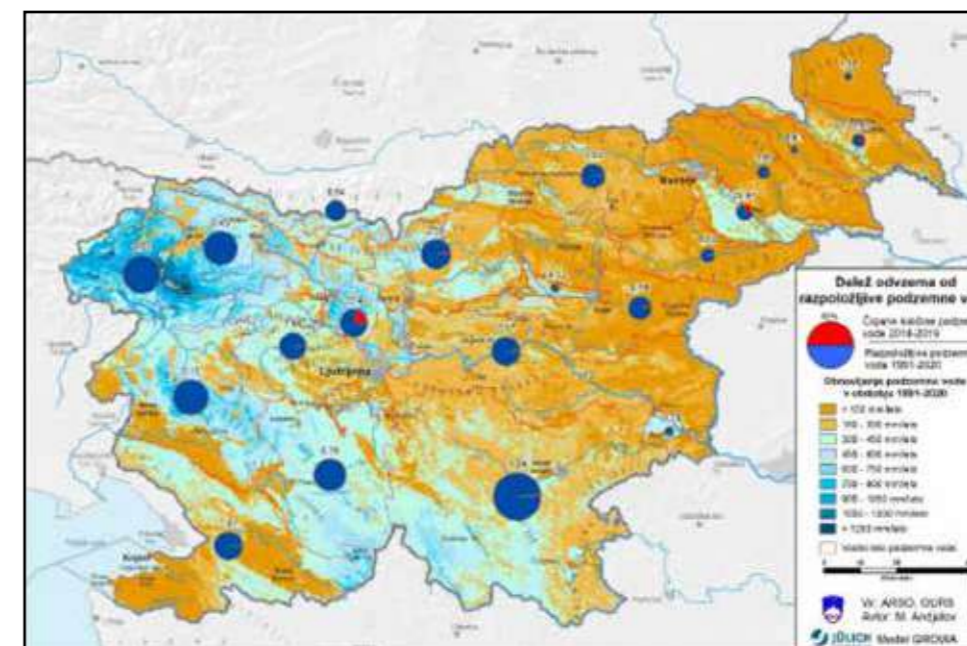
Skozi zgodovino je družba na podzemno vodo vplivala na različne načine. Vplivi družbe na okolje in s tem tudi na podzemno vodo so bili v preteklosti zanemarljivo majhni, z razvojem te in s tehnološkim razvojem pa so se vplivi povečevali ter postajajo vse pomembnejši dejavnik (Plut, 2003; Frantar, 2011). Neposredni vplivi v preteklosti so bili povezani predvsem z rabo pitne vode na izviri ali arteških studenih, sledilo je kopanje vodnjakov v plitvih vodonosnikih. V stoletjih se je tehnologija razvijala in nadgrajevala, tudi z razvojem vodovodnih sistemov,

tako da imamo danes odvzeme pomembnih količin podzemne vode na izviri ali prek vrtin. Črpanje vode je postalo stalnica. V času demografskega porasta se je v 20. in 21. stoletju povečala raba vode, ki je v marsikaterem predelu sveta prinesla tudi velike količine odvzema ter povzročila tudi t. i. vodni stres v samih vodonosnikih (Brands et al., 2016). Črpanje iz vodonosnikov je marsikje po svetu preseglo naravno obnovljive količine podzemne vode.

Vpliv družbe na količine podzemne vode lahko delimo na neposredne in posredne. Neposredno so to sami odvzemi vode bodisi na izviri bodisi na vodnjakih oz. danes prek črpalnih vrtin. Posrednih vplivov je veliko več, so pa družbeno manj zaznani (nevidni) ali prepoznani, saj gre za posreden poseg v vode. Ti vplivi so najbolj povezani z infiltracijo padavin, vplivom na kontakt, interakcijo površinske in podzemne vode ter s spremembami toka podzemne vode.

### 4. PRIMERI NEPOSREDNIH VPLIVOV RABE VODE V SLOVENIJI

**Odvzemi podzemne vode** po vodnih telesih v primerjavi z razpoložljivimi količinami so na letni ravni razmeroma majhni. Deleži rabe razpoložljivih količin so v Sloveniji od manj kot 1 do 26 %. Največji deleži so na območju gostejših poselitev, predvsem na območju aluvialnih vodonosnikov (npr. Ljubljansko polje, Dravska kotlina, Murska kotlina). Ti deleži pa so včasih lahko podcenjeni, kar je vidno zlasti na Primorskem, kjer je združenih več manjših vodonosnih sistemov v enotno vodno telo Obala in Kras z Brkini (Slika 4).



**Slika 4:** Razmerja med razpoložljivo količino podzemne vode (1991–2020) in črpanimi količinami podzemne vode (2014–2019).

Vir: Andjelov et al., 2021.

Kot primer vpliva rabe podzemne vode izpostavljamo primer **slabega količinskega stanja na vodno telo Dravska kotlina** (Andjelov et al., 2020). Konceptualno se na območju vodnega



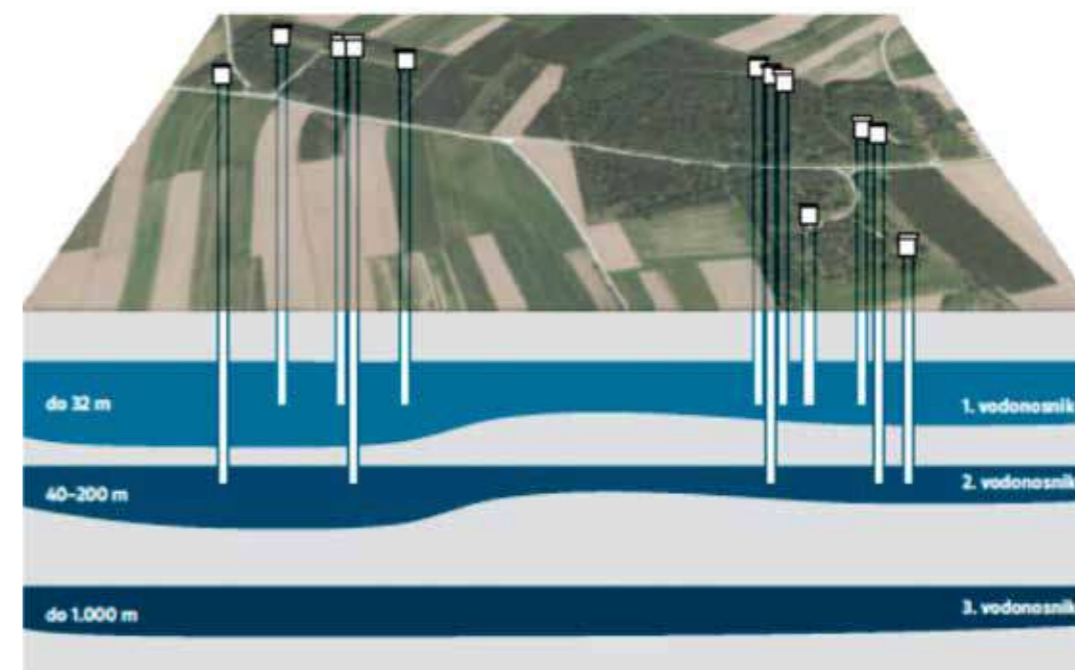
telesa Dravska kotlina po globini nahajajo trije glavni vodonosniki. Zgoraj je najmlajši odprt medzrnski vodonosnik kvartarne starosti s povprečno debelino dobrih 30 metrov. Drugi, medzrnski vodonosnik je pliocenske starosti debeline dobrih 40 metrov. Najgloblji vodonosnik je mešanega tipa poroznosti s starostjo od terciarja do paleozoika, povprečna debelina pa sega tudi več kot 200 metrov (Slika 5).

Napajanje zgornjega vodonosnika je prek padavin in ponikanja površinskih voda. Obnavlja se precej hitro, zaradi tega je tudi bolj ranljiv na onesnaženje, saj se vanj neposredno izpirajo snovi iz tal. Drugi vodonosnik nima neposrednih povezav s površinskimi vodami, po oceni pa naj bi bil na določenih mestih povezan s prvim vodonosnikom. Količinsko obnavljanje je veliko počasnejše. Pliocenski vodonosnik je manj ranljiv, saj ga slabše prepustne glinaste plasti varujejo pred neposrednim onesnaženjem. Z vidika kakovosti vode je torej bolj občutljiv prvi vodonosnik, z vidika količine vode pa drugi.

Območje Dravskega polja je regionalnega pomena za oskrbo s pitno vodo. Do leta 1997 je oskrba s pitno vodo potekala večinoma iz prvega, kvartarnega vodonosnika, po letu 1997 pa so na tem območju začeli izkoriščati podzemno vodo tudi iz globljega, drugega vodonosnika vodnega telesa Dravska kotlina. Razlog za začetek črpanja iz pliocenskega vodonosnika je bil predvsem v slabi kakovosti vode zgornjega vodonosnika, ki je bila onesnažena z nitrati. V sistemu oskrbe s pitno vodo se voda iz spodnjega vodonosnika meša z vodo iz zgornjega vodonosnika za zagotavljanje standardov kakovosti pitne vode (Klasinc et al., 2018). Sčasoma je koncentracija antropogenih onesnaževal v spodnjem pliocenskem vodonosniku vodnega telesa Dravska kotlina začela naraščati (Dobnikar Tehovnik et al., 2020), kar je vodilo v vključitev vodnega telesa v oceno količinskega stanja podzemne vode z vidika testa vdora druge vode slabše kakovosti v vodonosnik. Na ARSO smo skladno z Vodno direktivo že za NUV 2016-2021 izpostavili tveganje za nedoseganje dobrega stanja v globokem pliocenskem vodonosniku Dravskega polja (Andjelov et al., 2015), v okviru preizkusa vpliva odvzemov podzemne vode na pojav slanosti in drugih vdorov vode slabše kakovosti pa smo za obdobje od leta 2017 do 2019 ugotovili, da je prišlo zaradi vdora vode iz zgornjega, kvartarnega vodonosnika do poslabšanja stanja v spodnjem, pliocenskem vodonosniku na tem vodnem telesu. Količinsko stanje je zato ocenjeno kot SLABO (Andjelov et al., 2021), problematično stanje pa je bilo ugotovljeno tudi v poročilu Računskega sodišča RS (2019).

Glavni vzrok za slabo stanje vodnega telesa in neizpolnjevanje preizkusa je v preseganju naravnega ozadja vsebnosti nitrata v podzemni vodi ter v statistično značilnem trendu naraščanja indikativnih parametrov specifične električne prevodnosti vode in nitrata v podzemni vodi v pliocenskem vodonosniku na območju črpalnice Skorba. Način vdora vode slabše kakovosti iz zgornjega vodonosnika v spodnji, kljub številnim analizam, še ni z gotovostjo pojasnjen, razlog pa je nedvomno črpanje vode.

Globoki in plitvi vodnjaki v črpalnici Skorba ter vodonosniki, iz katerih črpajo vodo za oskrbo prebivalcev s pitno vodo



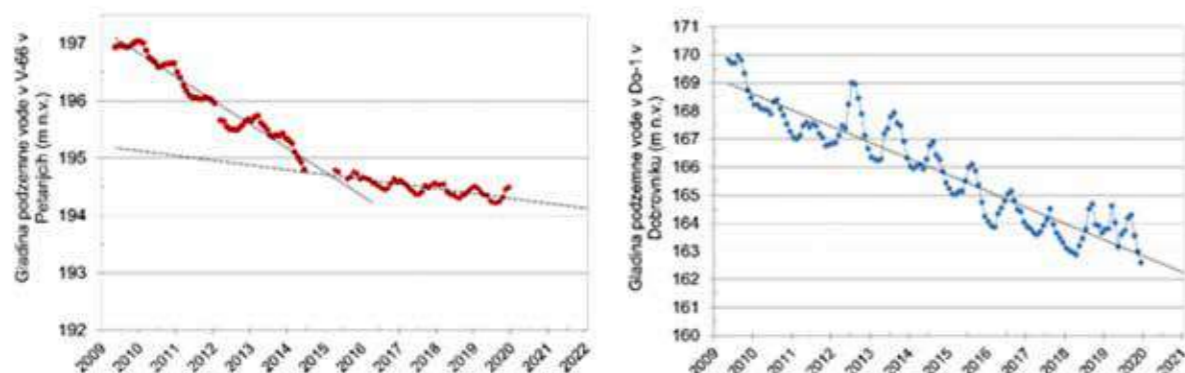
**Slika 5:** Črpanje podzemne vode iz drugega pliocenskega vodonosnika povzroča zatekanje onesnažene vode iz zgornjega vodonosnika.

Vir: RSRS, 2019.

Drugi primer so **geotermalni vodonosniki**. V okviru ocene količinskega stanja se izvaja test (Andjelov et al., 2021), ki kaže, da vpliv črpanja geotermalnih voda na količinsko stanje nedvomno imamo, po oceni pa še ne ogroža razpoložljivih količin. Vpliv na količinsko najbolj obremenjeno Mursko formacijo se opazuje na dveh opazovalnih vrtinah, ki ju spremlja Geološki zavod Slovenije, rezultati meritev pa odražajo sezonsko spreminjanje gladine zaradi spremenljivega regionalnega odvzema termalne vode ter padajoče trende gladin. To potrjujejo tudi obratovalni monitoringi večine koncesionarjev. V obdobju od leta 2009 do 2019 se je piezometrična gladina termalne podzemne vode v vrtinah Do-1 in V-66 statistično značilno zniževala, prav tako so bile v letu 2019 glede na obdobje od leta 2009 do 2019 izmerjene najnižje piezometrične gladine v obeh vrtinah (Slika 6).

Simulacija modela vodne bilance naravnega stanja geotermalnega vodonosnika Murske formacije, ki jo je v letih od 2014 do 2019 izvedel Geološki zavod Slovenije, nakazuje letno napajanje okoli 5,6 milijona m<sup>3</sup>. Povprečni odvzemi termalne vode so bili v obdobju od leta 2014 do 2019 okoli 2,5 milijona m<sup>3</sup> letno, kar predstavlja 44 % z modelom ocenjenih letno obnovljivih količin termalne vode.

Glede na modelske rezultate in simulacije se stanje kljub nižanju gladin ocenjuje kot dobro (ibid.).



**Slika 6:** Grafa gladin geotermalne vode na opazovalnih vrtinah.

Vir: Andjelov et al., 2021.

Kot primer neposrednega vpliva na podzemno vodo lahko omenimo tudi **umetno bogatenje vodonosnikov**, ki je v Sloveniji aktivno na Urbanskem platoju in Ptujskem polju. Prav to umetno bogatenje poteka v neposredni bližini črpalnišča Urbanski plato in Ormož, kjer se odvzema voda iz Drave, nato pa se prek ponikovalnih polj, ki stojijo gorvodno od črpanja podzemne vode, napaja vodonosnik.

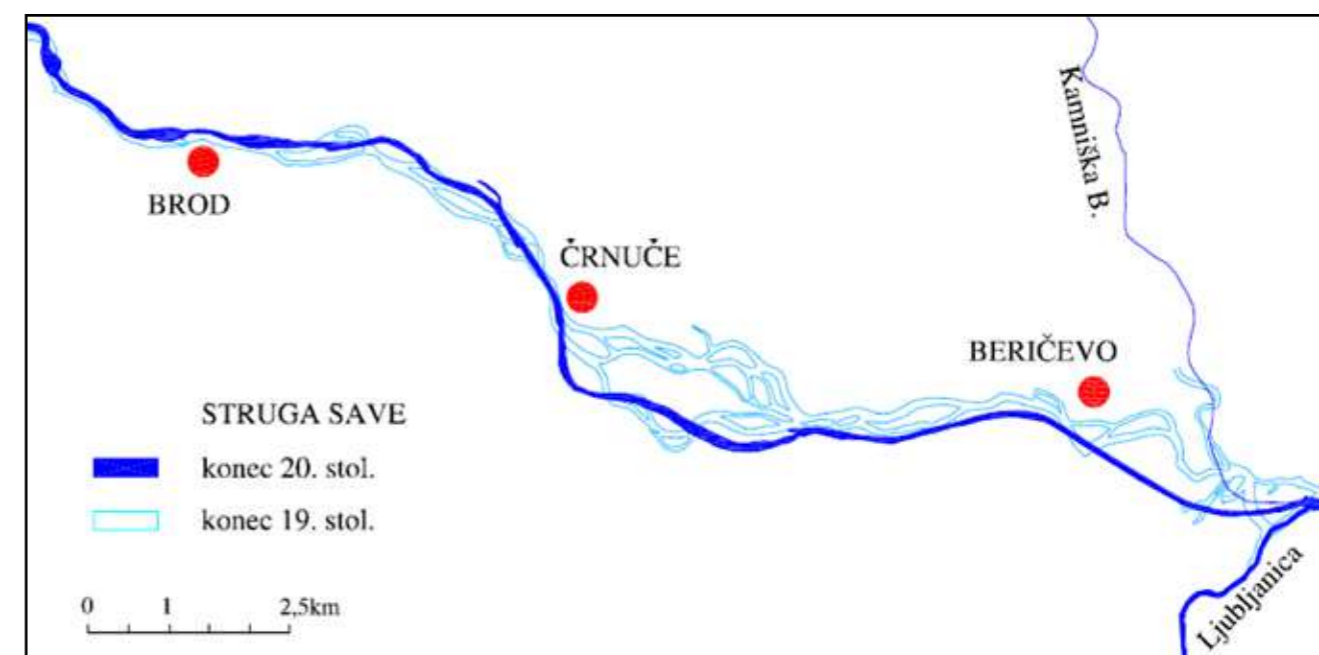
## 5. PRIMERI POSREDNIH VPLIVOV RABE VODE V SLOVENIJI

### Sprememba rabe tal

Sprememba rabe tal povzroči spremenjen način infiltracije, pronicanja padavin skozi prst in nezasičene cone do podzemne vode. Zgodovinsko je sprememba vezana na razvoj družbe in spremembe v pokrajini – sprememba vegetacije iz potencialne, naravne v preoblikovano (npr. iz gozda v kmetijsko površino) pomeni že časovno kot tudi količinsko spremembo infiltracije. Še večji lokalni vpliv imajo urbane površine. Na teh površinah velikokrat pride do zatesnjenosti zgornje plasti in umetnega površinskega odtoka. Padavine s streh zgradb, dvorišč, prometnih površin ne pronicajo skozi tla do podzemne vode po naravni poti, ampak jim spremenimo količinsko, časovno in prostorsko komponento interakcije te vode s podzemno vodo. V mestih je infiltracija manjša, časovno spremenjena in velikokrat vodo padavin pretočimo prek omrežja kanalov v drug del ali celo zunaj vodonosnika. Pod nekaterimi površinami infiltracije celo ni.

### Hidromorfološke spremembe strug

Površinska in podzemna voda sta pomembno povezani, obenem pa tudi soodvisni. Napajata ali drenirata druga drugo. Z razvojem družbe so se zgodile pomembne spremembe. V preteklosti se je razvoj družbe sprva prilagajal tudi naravnim razmeram, z večjim tehnološkim napredkom pa je družba postajala vse bolj »neodvisna« in je naravne procese (tudi rečno mrežo) prilagajala družbenim dejavnostim. Tako je postajalo razumevanje voda velikokrat zgolj tehnično in antropocentrično. Na vodotoke se je večinoma gledalo s samo enega vidika, bodisi vira vode, drenaže, osuševanja in podobno. Celostni pogledi so bili vse manj upoštevani. K sreči je to spremenila Vodna direktiva (2000), a se njene usmeritve v načrtovanju rabe obvodnega prostora in porečja upoštevajo zelo počasi.



**Slika 7:** Struga reke Save na Ljubljanskem polju.

Vir: Uhan et al., 2003.

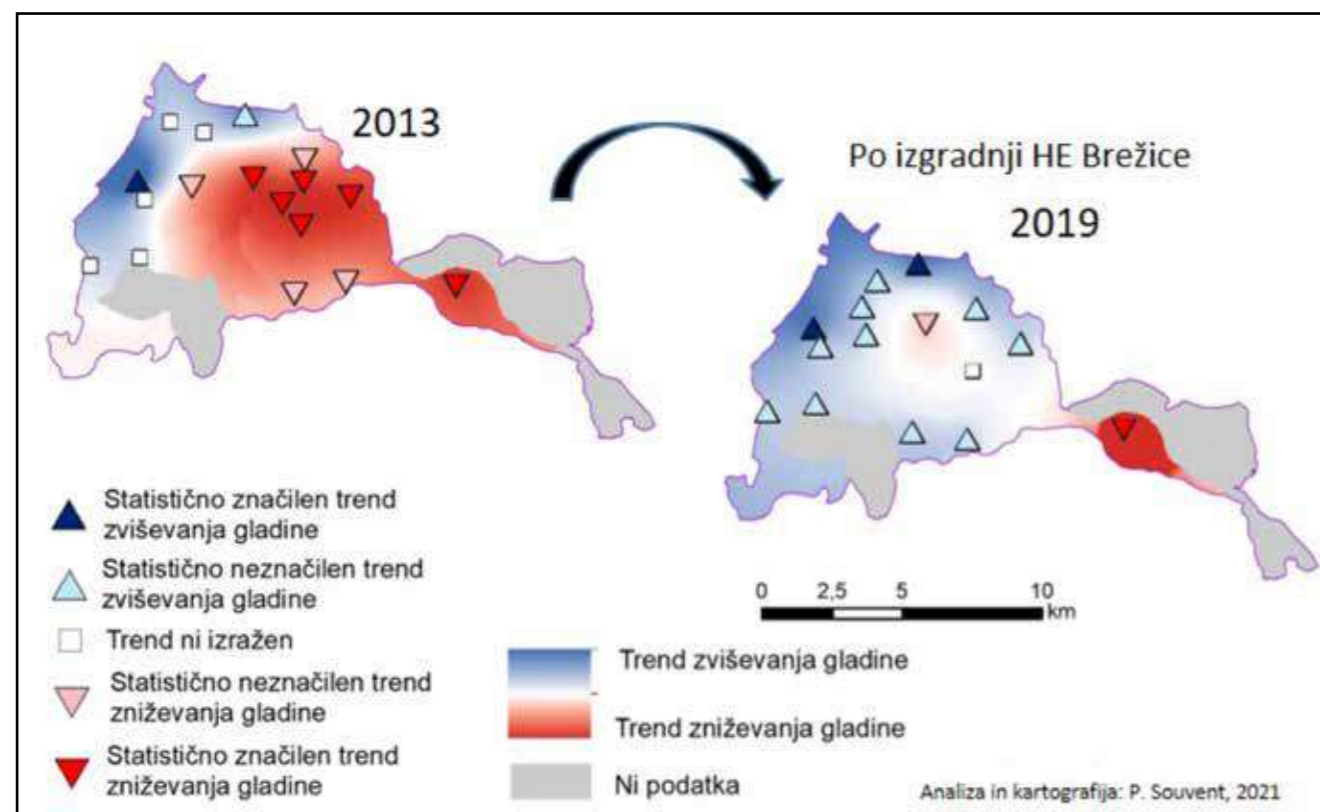
V zadnjih nekaj stoletjih in desetletjih so velikokrat spreminjali rečne struge v odvodne kanale. Z gradbenimi posegi z veliko uporabo betona sta se spremenili tako površina kot intenzivnost stika podzemne in površinske vode. Z nepremišljenim načrtovanjem urejanja rečnih strug lahko ustvarimo neprepustne kanale, ki poleti hitro presušijo, ob viških pa voda po njih hitro odteka, zato ne napajajo podzemne vode. Neprepustne so lahko tako brežine kot dna strug. Obstajajo bolj trajnostne metode, kot je uporaba kranjske stene, ki omogoča uporabo lokalnih materialov in odprt stik vodonosnika z reko (Bricelj, 2013). Poleg jasno začrtanih mikrolokalnih ukrepov se z obsežnejšimi regulacijami (Slika 7) velikokrat skrajšujejo dolžine rečnih strug. Tudi to vpliva na površino stika med površinsko in podzemno vodo kot tudi na hitrost odtoka, ki ga imata v naravnih pogojih tovrstni vodi. Konkretni primer tega je Ljubljansko polje, kjer reka Sava pomembno napaja glavni vir pitne vode Ljubljane (Savič, 2009; Bračič Železnik, 2002). Z gradnjo jezov na rekah je pogosto onemogočen tudi transport rečnih sedimentov, ki zastajajo za pregrado, zaradi česar se pogloblja dno rečne struge pod pregrado ali prekinja stik s podzemno vodo (Ulaga, 2021).

### Hidroelektrarne

To so vrsta hidromorfoloških sprememb, ki pa jih zaradi velikega vpliva opisujemo posebej. Objekti zajezev vodotokov pomenijo velike spremembe pri interakciji podzemnih in površinskih voda. Hidroelektrarne vplivajo na infiltracijo oz. dreniranje, vplivi pa segajo v celotno gorvodno območje zajeze hidroelektrarne kot tudi v dolvodno območje. V zajezbi HE tako pride praviloma do zvišanja infiltracije in višjih gladin podzemne vode. Ti učinki so lahko hitrejši ali počasnejši, kratkotrajni ali dolgotrajni. Za relativno počasnejše spremembe gladin podzemne vode lahko navedemo HE Mavčiče in HE Brežice. V zaledju HE Mavčiče se je dvignila gladina podzemne vode na Sorškem polju. Zaradi kolmatacije jezov se stik spreminja –



infiltracija Save v podzemno vodo se zmanjšuje, a stanje še vedno ostaja visoko nad naravnimi gladinami. Enako se dogaja na Krškem polju zaradi zajezbe HE Brežice (Slika 8). Dolvodno od HE praviloma dobimo spremenjen vodni režim, ki časovno spreminja potek in tudi površino infiltracije. To se pozna še posebej na območjih s t. i. »hydropeakingom« (zaradi spremenjenih pretokov). Lahko pa pod pregrado sploh ni površinskega toka zaradi popolnega odvzema površinske vode. Drugi dolvodni vpliv zajezitev je povezan s prodonosnostjo. Zaradi zajezbe pride do spremembe prodonosnosti in posledično do dolvodnih poglobitev struge, kar pomeni tudi znižanje gladin podzemne vode na teh območjih, predvsem zaradi večjega dreniranja podzemne vode v reko pod pregrado, kot tudi do spremembe interakcije. Tak primer smo imeli na Ljubljanskem polju, ki so ga tehnično rešili z gradnjo manjših pretočnih pregrad na Savi na Ljubljanskem polju (Savić, 2009). Podobna sta primera na reki Savi pri Brežicah in tudi na reki Muri.



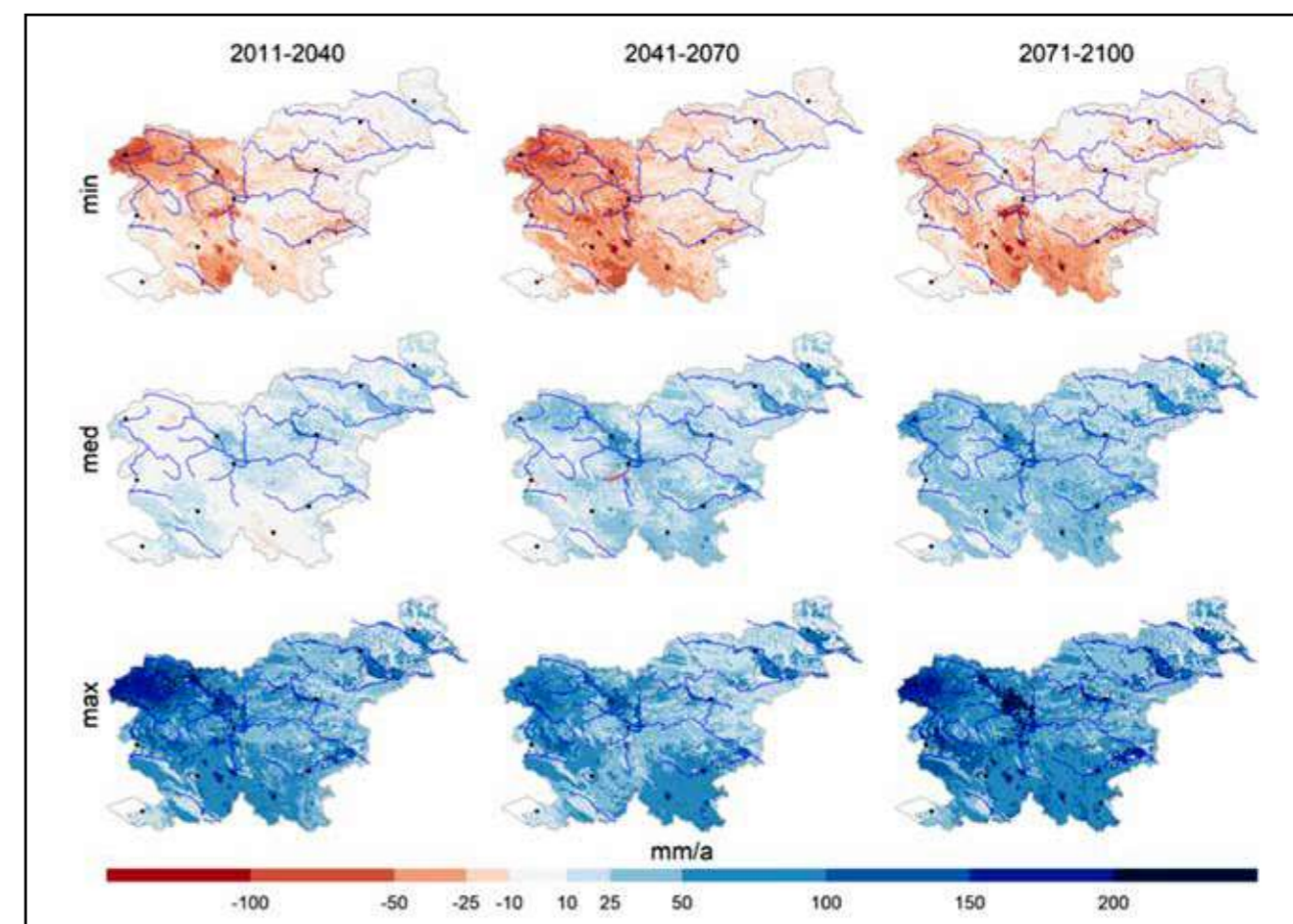
**Slika 8:** Vpliv HE Brežice na gladine podzemne vode Krškega in Brežiškega polja.

#### Drugi gradbeni posegi, pretočitve in spremembe toka površinskih voda

To so drenaže, regulacije, odvzemi površinskih voda in gradbeni posegi. Posredni vplivi na podzemno vodo imajo lahko zelo velik vpliv pri gradnjah večjih ali manjših objektov. Gradnja prometnice (ceste, predori) lahko preseka podzemne vodne tokove in preusmeri vodo, gradnja objektov z globokimi kletnimi etažami pa lahko deluje kot pregrada oz. zajezba toka podzemne vode. Posegi v plitvejši vodonosnike (do globine npr. 5 do 10 metrov) so zelo intenzivni in mnogovrstni. Lahko prekinejo dotok vode s pobočij, lahko se presekajo medsebojno ločeni vodonosniki in podobno. Posledice so velikokrat vidne šele čez nekaj let, ko se stanje v podzemni vodi znova stabilizira.

#### Podnebne spremembe

Vpliv podnebnih sprememb na podzemne vode je bil predstavljen že na simpoziju 2022 (Kobold et al., 2021), kljub vsemu pa je treba te spremembe omeniti kot posreden in neposreden dejavnik družbe (Slika 9); neposredno s spremembo količine padavin in izhlapevanja, posredno pa prek vpliva na druge elemente vodnega kroga. Nedvomno je podzemna voda prepoznana kot glavni in razmeroma stabilen vir pitne vode v prihodnosti.



**Slika 9:** Z modelom mGROWA izračunano odstopanje napajanja podzemne vode v mm po 30-letnih obdobjih v primerjavi z obdobjem od leta 1981 do 2010 po srednjem podnebnem scenariju RCP 4.5.

Vir: Frantar et al., 2018.

## 6. ZAKLJUČEK

Vplivi družbe na vodni krog in s tem tudi na podzemno vodo so vse večji. Prav zato, ker podzemne vode dejansko ne vidimo, pa se vplivov nanjo kot družba večinoma ne zavedamo. Kljub temu v zadnjih desetletjih počasi naraščata ozavešenost in spoznanje o vse večjem pomenu podzemne vode, predvsem zato, ker je to glavni vir pitne vode, njen pomen pa se še povečuje zlasti v času suš.



Pomen podzemne vode se veča tudi zaradi več direktiv EU in Združenih narodov. Direktiva o podzemni vodi namreč pravi, da je dragocen naravni vir, ki ga je treba zavarovati pred poslabšanjem in onesnaževanjem. Še posebej je poudarjen pomen pri ekosistemih, ki so odvisni od podzemne vode, in pri uporabi podzemne vode za oskrbo z vodo (EU GWD, 2006). Vodna direktiva namenja podzemni vodi več poglavij, vezanih na upravljanje podzemne vode (Vodna direktiva, 2000).

Ne glede na direktive in zakonodajo je po našem mnenju pomemben stalen proces ozaveščanja kot tudi informiranja družbe o podzemni vodi. Še posebej je pomembno zavedanje, da je podzemna voda povsod pod nami, pri čemer vse družbene dejavnosti in dejavnosti posameznika lahko povzročijo vpliv tako na količino kot kakovost podzemne vode kot glavnega vira pitne vode v Sloveniji ter kot glavnega vira vode v času pomanjkanja.

Spremembe podnebja se že kažejo, zato bo treba še več časa posvetiti dolgoročnim rešitvam, trajnostni rabi vodnih virov in prilagajanju na vplive podnebnih sprememb, predvsem pa v okviru Načrtov upravljanja z vodami izdelati celovit pristop rabe porečja, ki na celotnem vodozbornem območju vključuje tudi vplive na podzemno vodo.

#### LITERATURA IN VIRI

- Andjelov, M., Frantar, P., Mikulič, Z., Pavlič, U., Savič, V., Souvent, P., Trišič, N. in Uhan, J., 2015. Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji, Osnove za NUV 2015-2021. Agencija RS za okolje. Dostopno na: [http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%4%8dila/Kolicinsko\\_stanje\\_podzemnih\\_voda\\_v\\_Sloveniji\\_OSNOVE\\_ZA\\_NUV\\_2015\\_2021.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%4%8dila/Kolicinsko_stanje_podzemnih_voda_v_Sloveniji_OSNOVE_ZA_NUV_2015_2021.pdf) [25. 8. 2022].
- Andjelov, M., Frantar, P., Pavlič, U. in Souvent, P., 2020. Problematika količinskega stanja podzemne vode v vodnem telesu Dravska kotlina. Mišičev vodarski dan 2020. Maribor. Dostopno na: <http://www.mvd20.com> [25. 8. 2022].
- Andjelov, M., Frantar, P., Pavlič, U. in Souvent, P., 2021. Vpliv rabe podzemne vode na vodne vire v Sloveniji. Mišičev vodarski dan 2021. Str. 202–209. Maribor. Dostopno na: <http://www.mvd20.com> [25. 8. 2022].
- Andjelov, M., Frantar, P., Pavlič, U., Rman, N. in Souvent, P., 2021. Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji: osnove za NUV 2022-2027. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje. Dostopno na: <https://bit.ly/3tNI2mE> [25. 8. 2022].
- Andjelov, M., Mikulič, Z., Tetzlaff, B., Uhan, J. in Wendland, F., 2016. Groundwater recharge in Slovenia. Results of a bilateral German-Slovenian Research project. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment Band / Volume 339. Jülich, Germany.
- Brands, E., Rajagopal, R., Eleswarapu, U. in Li, P., 2016. Groundwater. International Encyclopedia of Geography. Dostopno na: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118786352.wbieg0677> [25. 8. 2022].
- Bricelj, M., 2013. Kranjska stena – primer dobre prakse v šoli. Geografija v šoli, 22-2/3, str. 51–56.
- Dobnikar Tehovnik, M., Gacin, M. in Mihorko, P., 2020. Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji. Poročilo za leto 2019. Agencija RS za okolje, Ljubljana, 48 str.
- EU GWD – DIREKTIVA 2006/118/ES EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA z dne 12. decembra 2006. Dostopno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:02006L0118-20140711&from=EN> [25. 8. 2022].
- Evropska komisija, 2008. Varstvo podzemne vode v Evropi. Luksemburg: Urad za uradne publikacije Evropskih skupnosti. Dostopno na: <https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/groundwater/resource.htm> [25. 8. 2022].
- Frantar, P., 2011. Geoinformacijska zasnova preučevanja virov obremenjevanja porečij. Doktorsko delo. Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- Frantar, P., Andjelov, M., Uhan, J., Herrmann, F. in Wendland, F., 2017. Vodnobilančni model mGROWA-SI. Drugi slovenski kongres o vodah. Podčetrtek 19.–20. 4. 2017, str. 304–309.
- Frantar, P., Herrmann, F., Andjelov, M., Draksler, A. in Wendland, F., 2018. Vodnobilančni model mGROWA-SI. 29. Mišičev vodarski dan. Maribor. Dostopno na: [www.mvd20.com](http://www.mvd20.com) [25. 8. 2022].
- Frantar, P., ur., 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. MOP-ARSO.
- Klasinc, M., Rman, N. in Lapanje, A., 2018. Raziskave hidrogeološke problematike južnega dela Dravskega polja. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, 45 str.
- Kobold, M. in Frantar, P., 2021. Ocena vodnih količin v Sloveniji do konca 21. stoletja. Vodni dnevi 2021. Simpozij z mednarodno udeležbo. Dostopno na: <https://sdzv-drustvo.si/wp-content/uploads/2021/10/zbornik-vd-2021-kobold.pdf> [25. 8. 2022].
- Plut, D., 2003. Geografske teoretične in metodološke zasnove proučevanja degradacije okolja. Študijsko gradivo za Varstvo geografskega okolja. Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, 246 str.
- Računsko sodišče Republike Slovenije, 2019. Porevizijsko poročilo, Popravljalni ukrepi pri reviziji učinkovitosti dolgoročnega ohranjanja virov pitne vode. Številka: 320-7/2017/35. Dostopno na: [http://www.rs-rs.si/fileadmin/user\\_upload/Datoteke/Revizije/2019/PitnaVoda\\_porev/PitnaVoda\\_RSP\\_PorevizijskoP.pdf](http://www.rs-rs.si/fileadmin/user_upload/Datoteke/Revizije/2019/PitnaVoda_porev/PitnaVoda_RSP_PorevizijskoP.pdf) [25. 8. 2022].
- Savič, V., 2009. Analiza podatkov opazovanj in optimizacija merilne mreže glede na različne potrebe izkoriščanja vode. Diplomsko naloga – VSŠ, Ljubljana, UL, FGG, Oddelek. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.
- SURS, 2022. Javni vodovod, Slovenija, 2019. Dostopno na: <https://www.stat.si/StatWeb/news/Index/9152> [25. 8. 2022].
- Uhan, J. in Krajnc, M., 2003. Podzemna voda. V: Vodno bogastvo Slovenije, M. Bat., ur. J. Uhan, Agencija RS za okolje, Ljubljana. Dostopno na: [http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%4%8dila/vodno\\_bogastvo\\_slovenije.html](http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%4%8dila/vodno_bogastvo_slovenije.html) [25. 8. 2022].
- Uhan, J. in Krajnc, M., 2003. Podzemna voda. V: Vodno bogastvo Slovenije, ur. Uhan, J. in Bat, M. Agencija RS za okolje, Ljubljana. Dostopno na: [https://www.gomurra.eu/wp-content/uploads/2021/11/goMU-Rra\\_T1.2\\_studij\\_baza-podatkov\\_hidromorfoloskih-elementov\\_SI.pdf](https://www.gomurra.eu/wp-content/uploads/2021/11/goMU-Rra_T1.2_studij_baza-podatkov_hidromorfoloskih-elementov_SI.pdf) [25. 8. 2022].
- Vodna direktiva, 2000. Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 23. oktobra 2000, ki določa okvir za delovanje Skupnosti na področju vodne politike. Dostopno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0060&from=EN> [25. 8. 2022].



## NOVA METODA ZA DOLOČANJE VIROV FEKALNEGA ONESNAŽENJA VODA

mag. MATJAŽ RETELJ<sup>1</sup>

### Povzetek

Fekalna onesnaženost voda predstavlja nevarnost za javno zdravje. Tovrstno onesnaženje laboratorijsko dokazujemo s fekalnimi indikatorskimi bakterijami. Ker naseljujejo prebavila zelo različnih živalskih vrst, njihova prisotnost v vodi ne daje informacije o viru onesnaženja. Prepoznavanje virov onesnaženja je ključno za uvedbo ukrepov za odpravo in vrednotenje tveganja, zato so se razvile metode MST (ang. Microbial Source Tracking). Najzanesljivejše med njimi so molekularne metode, ki dokazujejo mikrobe, ki so zelo povezani z gostiteljskimi živalskimi vrstami. V naši ustanovi smo uvedli novo molekularno metodo MST, ki temelji na digitalni verižni reakciji s polimerazo in lahko v vodah opredeli živalske vrste, ki so prispevale fekalno onesnaženje. Z metodo lahko dokažemo in količinsko opredelimo prispevke človeka, prežvekovalcev (govedo, ovce, jelenjad, koze), goveda, prašičev ter ptic. Metodo smo validirali na 84 vzorcih iztrebkov različnih živali in več vzorcih voda. Nova metoda lahko prispeva k ureditvi fekalno onesnaženih vodnih virov in vodnih teles.

**Ključne besede:** fekalna kontaminacija, metode, voda.

### Abstract

Faecal pollution of water presents a public health risk. Faecal pollution is determined using laboratory analyses for faecal indicator bacteria. However, the presence of these bacteria in water does not provide any information about the source of pollution as they are present in various animal species. Identifying the sources of pollution is key for the implementation of remedial action and risk assessment. For that reason, microbial source tracking (MST) methods have been developed. The most reliable of them are molecular methods that target microbes that are closely associated with particular host animal species. We have validated a new molecular method based on digital polymerase chain reaction that can identify the animal species that contributed to faecal pollution in water. The MST method can detect and quantify the faecal contributions of humans, ruminants (cattle, sheep, deer, goats), cattle, pigs, and birds. The validation included 84 faecal samples from different animals and several water samples. The method can assist in the remediation of faecally polluted water sources and water bodies.

**Keywords:** faecal pollution, methods, water.



## Učinkovito upravljanje in zeleni prehod urbanega vodnega kroga

- Napredne tehnološke rešitve
- Rešitve digitalne transformacije
- Vrhunska tehnološka oprema



www.kolektorsisteh.com  
Kolektor Sisteh d.o.o.

# KOLEKTOR

<sup>1</sup> Mag. Matjaž Retelj, univ. dipl. mikrobiolog, Center za mikrobiološke analize živil, vod in drugih vzorcev okolja, Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano



## 1. UVOD

Mikrobi fekalnega izvora so poglaviti onesnaževalci vode po vsem svetu (Santo Domingo et al., 2007). Večino bakterijskih, virusnih in protozojskih bolezenskih povzročiteljev, ki se prenašajo z vodo, primarno najdemo v iztrebkih višjih sesalcev, zato moramo preprečiti onesnaženje vodnih teles z iztrebki teh živali (Leclerc et al., 2002). Posledično se v vseh državah stopnjujejo prizadevanja za celovitejše spremljanje kakovosti in varnosti vode z namenom obvladovanja tveganj za zdravje prebivalstva (Taylor et al., 2004).

Spremljanje vseh bolezenskih povzročiteljev v vodah ni izvedljivo zaradi dolgega seznama potencialnih povzročiteljev bolezni, tehnično zahtevnih metod za koncentriranje in analiziranje ter občutljivosti določenih mikrobov za umetno, laboratorijsko okolje. Na drugi strani bi z odločitvijo za testiranje za manjše število povzročiteljev dobili lažjen vtis varnosti (Field in Samadpour, 2007). Zaradi naštetih težav se že 130 let zanašamo na spremljanje označevalcev fekalnega onesnaženja, ki jim pravimo fekalne indikatorske bakterije (FIB). Standardno uporabljene FIB so *Escherichia coli*, enterokoki in *Clostridium perfringens*. Praviloma so bile FIB izbrane, ker so prisotne v iztrebkih v velikih koncentracijah in ker ne povzročajo bolezni (National Research Council, 2004). Omogočajo odkrivanje onesnaženih vodnih virov in naravnih voda za rekreacijo, ki predstavljajo tveganje za javno zdravje. Njihova lastnost, da naseljujejo prebavila zelo različnih živalskih vrst, je po eni strani prednost, ker jih naredi za zelo občutljivega pokazatelja fekalnega onesnaženja, po drugi pa je pomanjkljivost, saj z rezultati analize ne moremo natančno usmerjati naporov za sanacijo onesnaženja (Field in Samadpour, 2007).

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

Osnovni predpostavki metod MST sta dve. Prva predpostavka temelji na spoznanjih, da določene vrste mikrobov izključno ali preferenčno naseljujejo prebavila točno določene vrste živalskega gostitelja. Te živali nato v iztrebkih izločajo zanje specifične mikrobove. Če odkrijemo neko specifično značilnost ali označevalec teh mikrobov in jih dokažemo v vodi, lahko nedvoumno identificiramo živalskega gostitelja (Field in Samadpour, 2007).

Druga predpostavka je, da je označevalce sploh mogoče zaznati v vodi. Zaželeno je, da koncentracija označevalca ostane enaka dovolj dolgo po tem, ko iztrebki preidejo v vodo, da lahko določimo tudi sorazmeren prispevek vsake posamezne vrste gostitelja (Field in Samadpour, 2007).

Idealni označevalci za MST: (a) so prisotni le pri živalski vrsti, ki je prispevala fekalno onesnaženje (tj. visoka specifičnost oz. ekskluzivnost za živalsko vrsto); (b) so enakomerno porazdeljeni v populaciji živali, kar pomeni, da na njihovo prisotnost ne vplivajo sestava populacije, prehrana, podnebje, geografska lokacija (tj. visoka občutljivost); (c) so v iztrebkih prisotni v visoki koncentraciji, da je zaznavanje v vodi lažje; (d) njihova koncentracija v vodi se v odvisnosti od časa ne spreminja ali pa se spreminja predvidljivo, da lahko prispevke posameznih

živalskih vrst k onesnaženju tudi kvantificiramo (številsko ovrednotimo) (Harwood in Stoeckel, 2011; Reischer et al., 2013; Shanks et al., 2012).

V primerjalnih študijah različnih metodologij so se najbolj odrezale metode ribotipizacije, gelske elektroforeze v pulznem polju in različni gostiteljsko specifični testi z verižno reakcijo s polimerazo (ang. Polymerase Chain Reaction – PCR) (Preglednica 1). Tem metodam je skupno dokazovanje specifičnih molekul (zaporedij DNA) iz gostiteljsko specifičnih mikrobov, zato jih imenujemo molekularne metode MST. V zadnjem času se največ uporabljajo metode z gostiteljsko specifičnim PCR, saj so najhitrejše, najcenejše in zelo občutljive, vendar se pri teh metodah, tako kot pri vseh novih metodah, porajajo številna vprašanja. Za te teste še nimamo dokončnih odgovorov glede specifičnosti za gostiteljsko vrsto, porazdelitve v populaciji gostiteljske živalske vrste, geografski stabilnosti in časovni stabilnosti, glede mej detekcije ter korelacij z indikatorji in javnim zdravjem (Santo Domingo et al., 2007).

**Preglednica 1:** Nekaterne metode MST, ki so bile ovrednotene v primerjalnih študijah.

Metoda	Opredelitev izvora		Ocena natančnosti od 1 (največja) do 3 (najmanjša)	
	Človek da/ne	Posamezne živalske vrste	Proti drugim metodam	Proti slepim vzorcem
Ribotipizacija		Vse	1-2	1
Gelska elektroforeza v pulznem polju		Vse	1	1
Občutljivost za antibiotike	Da	Človek/domače/divje	3	3
Kolifagi	Da	Ne	1	
Gostiteljsko specifični PCR	Da	Nekatere	1	1

Vir: Prilagojeno po Field in Samadpour, 2007.

Opravljenih je bilo veliko študij, v katerih so iskali zaporedja DNA, ki bi bila najprimernejši označevalci za metode MST z gostiteljsko specifičnim testom PCR. V študijah so ugotovili, da se uspešnost zaznavanja posameznih zaporedij DNA spreminja glede na geografsko lokacijo, saj v različnih predelih sveta živijo različne podvrste oz. pasme živalskih gostiteljev, ki se prehranjujejo z lokalno razpoložljivo hrano. Zato je treba vse označevalce za MST validirati na območju uporabe (Harwood in Stoeckel, 2011).

V tem delu smo želeli napraviti prvi korak k uvedbi MST z gostiteljsko specifičnimi testi PCR v Sloveniji. Natančneje, želeli smo: (a) ovrednotiti metodo MST z naborom gostiteljsko specifičnih testov PCR v smislu specifičnosti in občutljivosti za dokaz vira fekalne kontaminacije v Sloveniji; (b) za teste vzpostaviti metodo digitalnega PCR, ki omogoča enostavno kvantifikacijo iskanih molekul; (c) primerjati natančnost metode s certificiranim referenčnim materialom (RM) ameriškega nacionalnega inštituta za standardizacijo NIST, ki je namenjen harmonizaciji gostiteljsko specifičnih testov PCR za MST; (d) ovrednotiti izvedljivost metode na vzorcih površinskih voda.



## 2. MATERIALI IN METODE

### 2.1 Specifičnost in občutljivost gostiteljsko specifičnih testov PCR v Sloveniji

S pregledom literature smo izbrali 16 kandidatnih testov PCR, ki potencialno nakazujejo fekalno onesnaženje s strani različnih živalskih skupin, in 1 kandidatni test PCR, ki je potencialni splošni indikator fekalnega onesnaženja (Preglednica 3).

Vseh 17 testov PCR smo preverili *in silico* z aplikacijo Multiple Primer Analyzer (Thermo Fisher) ter *in vitro* v reakcijah PCR z barvilom EvaGreen (Biotium) za lažno pozitivne rezultate zaradi medsebojnega naleganja.

Z vsemi izbranimi testi PCR smo z namenom določitve njihove specifičnosti (navzkrižne reaktivnosti) za živalske vrste in občutljivosti testirali vzorce iztrebkov različnih živalskih vrst. Uporabili smo 83 vzorcev DNA iz zbirke v naši ustanovi (Preglednica 2), ki so bili osamljeni iz iztrebkov ljudi z boleznimi prebavil, zdravih ljudi ter domačih in divjih živali z območja Slovenije, pridobljenih v okviru drugih projektov (Tanja Žlender, Aleksander Mahnič, osebna komunikacija). Pripravili smo 12- $\mu$ L zmesi za PCR v realnem času, ki so vsebovale QIAcuity Probe 4x Master Mix (Qiagen), ustrezne oligonukleotidne začetnike (800 nM; Tib Molbiol) in sonde (400 nM; Biosynth) ter 2,4  $\mu$ L vzorca DNA, normaliziranega na koncentracijo 3–8 ng/ $\mu$ L. Reakcije smo izvedli na sistemu CFX96 Dx (Bio-Rad) z režimom: 120 s pri 95 °C ter 40 ciklov s 15 s pri 95 °C in 30 s pri 60 °C.

Tako specifičnost kot občutljivost posameznih testov PCR smo izračunali v aplikaciji MedCalc (MedCalc Software). Specifičnost posameznega testa smo definirali kot 1 – delež vzorcev neciljnih živalskih vrst med vsemi vzorci neciljnih živalskih vrst. V izračunih specifičnosti testov PCR, ki nakazujejo onesnaženje s človeškimi iztrebki, med neciljne živalske

**Preglednica 2:** Število uporabljenih vzorcev DNA iz iztrebkov po živalskih vrstah.

Skupina vzorcev	Podskupina vzorcev	N
Človek	Bolniki	12
	Zdrave osebe	12
Prežvekovalci	Ovce	3
	Koze	2
	Jeleni	4
	Govedo	9
Prašiči	Divji prašič	1
	Domači prašič	8
Ptice	Domača kokoš	7
	Domači golob	2
	Labod grbec	2
	Močvirska sinica	1
	Raca mlakarica	1
	Rečni galeb	1
Velika sinica		1
Ostale živali	Betoprski jež	1
	Domača mačka	2
	Domači konj	6
	Domači pes	5
	Mali podkovnjak	1
	Nutrija	2

Vir: Lastni.

vrste nismo šteli psov in mačk, saj menimo, da je prisotnost iztrebkov teh dveh živalskih vrst pokazatelj dejavnosti človeka. Občutljivost smo definirali kot delež vzorcev ciljnih živalskih vrst med vsemi vzorci ciljnih živalskih vrst. V izračunih specifičnosti in občutljivosti nismo upoštevali rezultatov bolnikov, ker njihova črevesna mikrobiota ni reprezentativna za prevladujočo populacijo zdravih ljudi. Za vsak test PCR smo izračunali Youdenov indeks (specifičnost in občutljivost – 1).

### 2.2 Izvedba digitalnega PCR in primerjava s certificiranim referenčnim standardom

Za teste z najvišjim Youdenovim indeksom za posamezne skupine živali smo uporabili metodo digitalnega PCR v skladu s priporočili (Qiagen, 2022; The dMIQE Group in Huggett, 2020). V biološko varni komori smo pripravili 15- $\mu$ L zmesi za digitalni PCR, ki so vsebovale QIAcuity Probe 4x Master Mix (Qiagen), ustrezne oligonukleotidne začetnike (800 nM; Tib Molbiol) in sonde (400 nM; Biosynth) ter 7,0  $\mu$ L vzorca DNA. Reakcije smo izvedli v ploščah Nanoplate 8.5k (Qiagen) na sistemu Qiacuity One (Qiagen) z režimom: 120 s pri 95 °C ter 40 ciklov s 15 s pri 95 °C in 60 s pri 60 °C, in standardnimi nastavitvami detekcije fluorescence.

Uspešnost prenosa metode na digitalni PCR sistem smo potrdili s testiranjem certificiranih RM. Testirali smo štiri certificirane RM 2917 različnih nazivnih vrednosti iz ameriškega nacionalnega inštituta za standardizacijo NIST, ki ima certificirane vrednosti, sledljive do enot sistema SI za volumen (Kralj et al., 2021). RM smo testirali v trojnikih.

Nato smo izbrane teste PCR združili v multipleksne reakcije ter s testiranjem certificiranih RM primerjali izmerjene vrednosti pri izvedbi samostojne in multipleksne reakcije.

### 2.3 Vrednotenje izvedljivosti metode na vzorcih površinskih voda

S pripravljeno metodo MST smo nato testirali vzorce površinskih voda z območij, kjer lahko relativno dobro predvidimo vir fekalnega onesnaženja, in območij, kjer je vir fekalnega onesnaženja neznan. Vzorce voda smo vzporedno testirali tudi na FIB enterokoki, *Escherichia coli* in *Clostridium perfringens* s standardnimi bakteriološkimi metodami v laboratoriju, akreditiranem po ISO 17025. Skupno smo testirali 10 vzorcev. Dva vzorca sta bila iz voda na območjih, ki so odmaknjena od človeške dejavnosti, in sicer izvir Minutnik ter mokrišče Gorjansko jezero, oba v pogorju Gorjancev. Štiri vzorce smo odvzeli iz voda v neposredni bližini človeških oz. kmetijskih dejavnosti, in sicer potok pod vasjo Veliki Slatnik, potok v urbanizirani vasi Ratež ter potok gorvodno in dolvodno od deponije farme sokolov. Testirali smo še štiri vzorce vode z naravnih kopališč, ki so fekalno onesnažena z nejasnim virom onesnaženja: Griblje in Adlešiči na Kolpi, Straža na Krki ter Mala Zaka na Blejskem jezeru. Ovrednotili smo skladnost rezultatov nove metode MST z rezultati preiskav za standardne FIB in pričakovanimi najverjetnejšimi viri fekalnega onesnaženja na območju vzorčnega mesta.



### 3. REZULTATI

#### 3.1 Specifičnost in občutljivost gostiteljsko specifičnih testov PCR v Sloveniji

Pri preverjanju 17 kandidatnih testov PCR tako *in silico* kot *in vitro* smo potrdili, da so oligonukleotidni začetniki in sonde ustrezni ter dobili podatke, potrebne za ustrezno poznejšo zasnovo multipleksnega testa PCR.

Posameznim kandidatnim testom smo določili specifičnost in občutljivost z naborom vzorcev DNA iz iztrebkov zdravih ljudi ter domačih in divjih živali (Preglednica 3). Test GenBac3 je bil pozitiven na vseh vzorcih iz iztrebkov in je imel 100-% občutljivost. Ker je njegova vloga potrditev fekalnega onesnaženja in ne opredelitev prispevne živalske vrste, izračun njegove specifičnosti ni smiseln.

Noben drug kandidatni test PCR ni imel idealne natančnosti. Testi so imeli pomanjkljivosti pri zaznavanju vzorcev bodisi ciljnih bodisi neciljnih živalskih vrst. Testi BacHC, BtH in BovPyV niso reagirali z nobenim vzorcem DNA.

V nadaljevanju smo med »kandidati« izbrali teste, ki so bili najbolj natančni oz. so imeli najvišji Youdenov indeks za posamezno skupino živali, in sicer (a) testa BacHT in BacHum, ki nakazujeta onesnaženje s človeškimi iztrebki; (b) test Rum2Bac, ki nakazuje onesnaženje z iztrebki prežvekovalcev; (c) test CowM3, ki nakazuje onesnaženje z iztrebki goveda; (d) test Pig2Bac, ki nakazuje onesnaženje z iztrebki domačih in divjih prašičev; (e) test AV4143, ki nakazuje onesnaženje z iztrebki domačih in divjih ptic. Odločili smo se, da bomo testa BacHT in BacHum uporabljali sočasno, zato smo izračunali še občutljivost in specifičnost za kombinacijo obeh. Kombinacija ima specifičnost 98-% in občutljivost 100-%.

**Preglednica 3:** Občutljivost in specifičnost testiranih kandidatnih gostiteljsko specifičnih testov PCR.

Živalska vrsta	Oznaka testa	Mikrobna tarča testa	Vir	Specifičnost [%]*	Občutljivost [%]*	Youdenov indeks
Univerzalni indikator fekalnega onesnaženja	GenBac3	številne bakterijske vrste	(Getooj et al., 2008)	/	100	/
Človek	BacHC	nevzgojena bakterija	(Reischer et al., 2007)	0**	0	0
	BacHT	nevzgojena bakterija	(Reischer et al., 2007)	98**	67	0,65
	BacHum	<i>Phocaeicola dorei</i>	(Kidare et al., 2007; Reischer et al., 2013)	100**	100	1,00
	BtH	<i>Bacteroides thetaiotaomicron</i>	(Yampara-Iguise et al., 2008)	0**	0	0,00
	crAssphage	bakteriofag CrAss	(Stachler et al., 2017)	100**	58	0,58
Prežvekovalci	BacR	nevzgojena bakterija	(Reischer et al., 2008)	100	78	0,78
	Rum2Bac	nevzgojena bakterija	(Meskin et al., 2010)	100	89	0,89
Govedo	Bac3	<i>Macrobacchium nipponense</i>	(Shanka et al., 2008)	95	89	0,84
	BovPyV	poliomavirus goveda 1	(Hundesa et al., 2006)	0	0	0,00
	CowM2	neznano	(Shanka et al., 2008)	100	22	0,22
	CowM3	neznano	(Shanka et al., 2008)	100	89	0,89
Prašiči	Pig2Bac	<i>Bacteroidales</i>	(Meskin et al., 2009)	98	100	0,98
	PorAdV	adenovirus prašičev 3	(Rusfizi et al., 2014)	100	67	0,67
Ptice	AV4143mod	nevzgojen laktobacilus	(Liang et al., 2020)	93	67	0,60
	AV4143	nevzgojen laktobacilus	(Ohad et al., 2018)	98	73	0,72
Kokoši in race	ND5-CD	mtDNA	(Zhuang et al., 2017)	79	100	0,79

\*Iz izračuna so izključeni vzorci bolnikov; \*\* Iz izračuna so izključeni vzorci psov in mačk

Vir: Lastni.

#### 3.2 Izvedba digitalnega PCR in primerjava s certificiranim referenčnim standardom

Referenčni material NIST 2917 ima certificirane vrednosti za teste Rum2Bac, CowM3 in Pig2Bac (Preglednica 4). Izvedba teh gostiteljsko specifičnih testov na digitalnem PCR je pokazala, da so natančni, saj so se izmerjene koncentracije ujemale z nazivnimi vrednostmi RM (Preglednica 4, Slika 1).

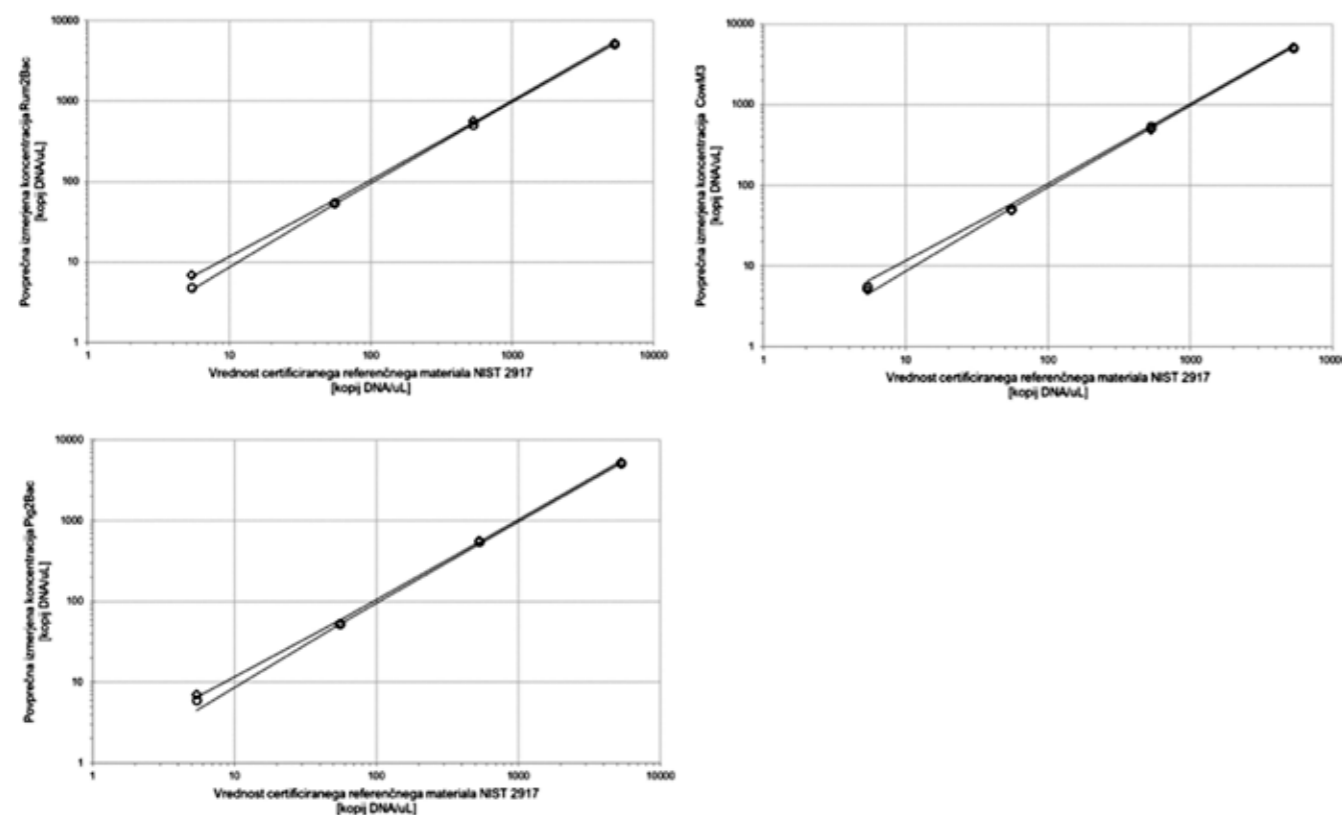
Navedenih šest najbolj natančnih gostiteljsko specifičnih testov PCR smo združili v dve multipleksni reakciji po tri gostiteljsko specifične teste PCR. S testiranjem certificiranega RM z multipleksnimi reakcijami smo dokazali, da se z multipleksiranjem natančnost ne zmanjša (Slika 1).



**Preglednica 4:** Primerjava certificiranih vrednosti referenčnega materiala NIST 2917 in izmerjenih koncentracij s testi Rum2Bac, CowM3 ter Pig2Bac pri izvedbi z digitalnim PCR v samostojnih reakcijah.

Vrednost certificiranega referenčnega materiala [kopij DNA/ $\mu$ L]	Povprečna izmerjena koncentracija v samostojni reakciji [kopij DNA/ $\mu$ L]		
	Rum2Bac	CowM3	Pig2Bac
5,4 $\pm$ 1,0	4,8 $\pm$ 1,8	5,6 $\pm$ 0,8	6,0 $\pm$ 1,6
55,5 $\pm$ 3,2	54,0 $\pm$ 3,8	50,4 $\pm$ 3,0	52,9 $\pm$ 9,4
530,0 $\pm$ 14,0	507,9 $\pm$ 22,9	536,8 $\pm$ 22,5	549,6 $\pm$ 31,9
5314,0 $\pm$ 142,0	5116,3 $\pm$ 260,9	5061,9 $\pm$ 60,7	5122,7 $\pm$ 148,6

Vir: Lastni.



**Slika 1:** Izmerjene koncentracije certificiranega referenčnega materiala NIST 2917 s testi Rum2Bac, CowM3 in Pig2Bac pri izvedbi z digitalnim PCR; krožci – meritve v samostojnih reakcijah; rombi – meritve v multipleksnih reakcijah; črte – 95-% interval zaupanja vrednosti certificiranega referenčnega materiala.

Vir: Lastni.

### 3.3 Vrednotenje izvedljivosti metode na vzorcih površinskih voda

Metodo MST z digitalnim PCR smo uspešno izvedli na vzorcih površinskih voda. Rezultati splošnega molekularnega označevalca fekalnega onesnaženja GenBac3 so se skladali s prisotnostjo standardnih FIB tako v dveh vzorcih z območij, ki so odmaknjena od človeške dejavnosti, kot tudi v štirih vzorcih, ki so v neposredni bližini človeških oz. kmetijskih dejavnosti. V vzorcu iz mokrišča Gorjansko jezero omenjenega molekularnega označevalca nismo zaznali, vendar smo od FIB zaznali nizko raven *C. perfringens*, kar se ujema z znano slabo specifičnostjo tega bakterijskega indikatorja v naravnih okoljih (National Research Council, 2004). V vzorcu iz mokrišča smo dokazali samo označevalec ptic. V vzorcu iz izvira Minutnik smo poleg nizke ravni splošnega molekularnega označevalca fekalnega onesnaženja GenBac3 dokazali samo še molekularni označevalec prežvekovalcev, kar se ujema z lego izvira sredi obsežnega gozda in poseljenostjo območja z jelenjadjo (Cizel, 2007).

V vzorcih obeh potokov z območja človeške dejavnosti so bile koncentracije standardnih FIB visoke. Dokazali smo tudi visoke ravni molekularnega označevalca fekalnega onesnaženja GenBac3 in molekularne označevalce, ki nakazujejo fekalne prispevke človeka oz. prašičev.

Na območju farme ptic smo prisotnost molekularnih označevalcev, ki nakazujejo iztrebke ptic, dokazali v vzorcu dolvodno od deponije farme, ne pa tudi gorvodno. Prisotnost človeškega in prašičjega označevalca je skladna s tokom potoka skozi vas.

V vseh testiranih vzorcih iz naravnih kopališč smo dokazali standardne FIB in molekularni označevalec fekalnega onesnaženja GenBac3. Ostali molekularni označevalci so nakazali onesnaženje s strani človeka in ptic.

**Preglednica 5:** Rezultati testiranja vzorcev površinskih voda.

Mesto vzorčenja	Standardne fekalne indikatorske bakterije			Označevalci MST (indicirane živalske vrste)						
	Intestinalni enterokoki ISO 7899-2 [CFU/100 mL]	Escherichia coli ISO 9308-1 [CFU/100 mL]	Giardia lamblia ISO 14189 [CFU/100 mL]	GenBac3 (splošni fekalni indikator) [kopij DNA/100 mL]	BacHT (človek)	BacHum (človek)	Rum2Bac (prežvekovalci)	CowM3 (govedo)	Pig2Bac (prašiči)	AV4143 (ptice)
Mokrišče Gorjansko jezero (Gorjanci)	0	0	2	0Z	0Z	0Z	0Z	0Z	0Z	13
Izvir Minutnik (Gorjanci)	12	1	0	663	0Z	0Z	6	0Z	0Z	0Z
Potok pod vasjo (Veliki Slatnik)	250	540	252	380.000	3.300	4.100	0Z	0Z	470	0Z
Potok v urbanizirani vasi (Ratež)	/	14.000	/	180.000	9.600	12.000	0Z	0Z	0Z	0Z
Potok <del>gonyodno</del> od deponije farme sokolov	63	106	55	/	6	0Z	0Z	0Z	46	0Z
Potok <del>dolvodno</del> od deponije farme sokolov	350	116	85	/	6	0Z	0Z	0Z	100	8
Kopališče Griblje (Kolpa)	53	70	/	31.000	2.500	2.600	0Z	0Z	0Z	24
Kopališče Adlešiči (Kolpa)	40	61	/	13.000	12	24	0Z	0Z	0Z	24
Kopališče Straža (Krka)	26	310	/	47.000	1.400	1.600	0Z	0Z	0Z	0Z
Kopališče Mala Zaka (Blejsko jezero)	33	90	/	19.000	470	610	0Z	0Z	0Z	0Z

/ - ni izvedeno; 0Z - nezaznavno

Vir: Lastni.

#### 4. RAZPRAVA

V tem delu smo preverili primernost 17 testov PCR za odkrivanje vira fekalnega onesnaženja voda v Sloveniji. Testirali smo 16 gostiteljsko specifičnih testov PCR, ki bi lahko nakazali onesnaženje s strani različnih živalskih skupin, in 1 test PCR, ki bi lahko služil kot splošni indikator fekalnega onesnaženja. Preverjanje slednjega na naboru vzorcev DNA iz iztrebkov iz Slovenije je pokazalo, da ima idealno občutljivost (100 %) in lahko služi kot potrditev fekalnega onesnaženja vode z molekularnimi metodami MST. Ta podatek se ujema tudi s študijami na drugih geografskih območjih (Odagiri et al., 2015).

V naši študiji sta bila najbolj natančna molekularna označevalca iztrebkov človeka BacHum in BacHT. Test BacHum je imel specifičnost in občutljivost 100 %, kar je precej višje od vrednosti, objavljenih v študiji, ki je zajemala 16 držav na 6 celinah (specifičnost 68 % in občutljivost 77 %). V študiji iz Peruja je imel specifičnost 62 % in občutljivost 80 %, v študiji iz Indije pa specifičnost 78 % in občutljivost 49 %. Tudi test BacH je imel v našem delu precej boljšo specifičnost (98 %) in občutljivost (67 %) kot v drugih študijah (globalno 53 %/77 %, Indija 83 %/17 %) (Odagiri et al., 2015; Reischer et al., 2013; Schiaffino et al., 2020).

Ta odstopanja v natančnosti označevalcev onesnaženja s strani človeka med našimi rezultati in preteklimi študijami lahko odražajo razlike med geografskimi območji, ki so posledica različne prehrane ljudi. Na drugi strani pa so morda posledica premajhnega števila vzorcev, vključenih

v našo študijo. Majhno število vzorcev je gotovo slabost tega dela, zato bi morali v prihodnje pridobiti še več dobro okarakteriziranih vzorcev.

Omenjena dva testa sta v naši študiji reagirala s posameznimi vzorci iz iztrebkov psov in mačk, vendar to ne zmanjša njunih specifičnosti, saj menimo, da je prisotnost teh dveh živalskih vrst pokazatelj dejavnosti človeka.

V študiji molekularnih označevalcev iztrebkov prežvekovalcev, ki je zajemala 16 držav na 6 celinah, je imel test BacR dobro natančnost (specifičnost 84 % in občutljivost 90 %). Mi smo dokazali višjo specifičnost, vendar se je test Rum2Bac odrezal nekoliko bolje, zato smo izbrali prav tega (Reischer et al., 2013).

Molekularni označevalec iztrebkov goveda CowM2 je imel pri preverjanju z našimi vzorci visoko specifičnost in nizko občutljivost, kar so dokazali tudi v Indiji (Odagiri et al., 2015). V vzorcih iz Slovenije je imel drugi označevalec CowM3 enako visoko specifičnost, vendar višjo občutljivost kot CowM2.

Molekularni označevalec iztrebkov domačih in divjih prašičev Pig2Bac je imel visoko natančnost, kar se ujema z ugotovitvami drugih raziskovalcev (Schiaffino et al., 2020).

Šest ovrednotenih gostiteljsko specifičnih testov smo izvedli v obliki digitalnega PCR, ki se je v zadnjih letih na različnih področjih pokazal kot zelo natančna in obnovljiva analitska metoda (Devonshire et al., 2016; Dobnik et al., 2019). Izvedba izbranega nabora testov v obliki multipleksnega digitalnega PCR se je izkazala za zelo natančno, kar smo dokazali s preverjanjem s certificiranim RM.

Pri metodah MST s pomočjo gostiteljsko specifičnih testov PCR je še nekaj pomembnih vprašanj brez dokončnih odgovorov, ki jih tudi v naši študiji nismo natančno obravnavali. Eno področje je korelacija molekularnih označevalcev s koncentracijami FIB in bolezenskimi povzročitelji v vodi. V našem vrednotenju metode na vzorcih površinskih voda v Sloveniji se je pokazalo, da je prisotnost molekularnih označevalcev skladna s pričakovanimi in najverjetnejšimi viri fekalnega onesnaženja na območju vzorčnih mest. V prihodnje je treba z MST preveriti še več dobro okarakteriziranih vodnih okolij.

Pomembna je tudi stabilnost molekularnih označevalcev v vodi. Čeprav lahko izmerimo njihovo koncentracijo, metoda MST ne more biti povsem kvantitativna, če ne poznamo, kako se ravni označevalcev v vodi spreminjajo v odvisnosti od časa. Zadnje ugotovitve kažejo, da molekularni označevalci, ki smo jih vključili v študijo, dolgo vztrajajo v vodi oz. vsaj toliko časa kot FIB, kar potrjuje primernost nove metode MST s tega vidika (Ahmed et al., 2019; Ballesté et al., 2019; Gourmelon et al., 2019).



## 5. ZAKLJUČEK

Odkrivanje virov onesnaženja je pomembno pri odločanju o obvladovanju tveganj, povezanih s fekalnim onesnaženjem vode. Če ne najdemo vira, težko izberemo učinkovite remediacijske strategije. Metode MST, ki so se razvile v zadnjih desetletjih, lahko pomembno prispevajo k reševanju te težave. V našem delu smo uvedli in validirali prvo metodo MST z digitalnim PCR v Sloveniji. Nova metoda 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.

## Zahvala

Zahvaljujem se Tanji Žlender, Aleksandru Mahničju in Maji Rupnik za poslane vzorce DNA ter Petri Vovko za pregled rokopisa.

## LITERATURA IN VIRI

- Ahmed, W., Zhang, Q., Kozak, S., Beale, D., Gyawali, P., Sadowsky, M. J. in Simpson, S., 2019. Relative decay of sewage-associated marker genes and traditional fecal indicator bacteria in recreational water and sediment. Povzetek na 20th Symposium on Health-Related Water Microbiology (HRWM), 2019, str. 146–147.
- Ballesté, E., Pascual-Benito, M., Martín-Díaz, J., Blanch, A. R., Lucena, F., Muniesa, M., Jofre, J. in García-Aljaro, C., 2019. Dynamics of crAssphage as a human source tracking marker in potentially faecally polluted. Povzetek na 20th Symposium on Health-Related Water Microbiology (HRWM), 2019, str. 12–13.
- Cizel, M., 2007. Volk na Gorjancih. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani.
- Devonshire, A. S., O'Sullivan, D. M., Honeyborne, I., Jones, G., Karczmarczyk, M., Pavšič, J., Gutteridge, A., Milavec, M., Mendoza, P., Schimmel, H., Van Heuverswyn, F., Gorton, R., Cirillo, D. M., Borroni, E., Harris, K., Barnard, M., Heydenrych, A., Ndusilo, N., Wallis, C. L. in Huggett, J. F., 2016. The use of digital PCR to improve the application of quantitative molecular diagnostic methods for tuberculosis. *BMC Infectious Diseases*, 2016, 16(1), 366. Dostopno na: <https://doi.org/10.1186/s12879-016-1696-7> [26. 8. 2022].
- Dobnik, D., Kogovšek, P., Jakomin, T., Košir, N., Žnidarič, M. T., Leskovec, M., Kaminsky, S. M., Mostrom, J., Lee, H. in Ravnikar, M., 2019. Accurate quantification and characterization of adeno-associated viral vectors. *Frontiers in Microbiology*, 2019, 10 (July). Dostopno na: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01570> [26. 8. 2022].
- Field, K. G. in Samadpour, M., 2007. Fecal source tracking, the indicator paradigm, and managing water quality. *Water Research*, 2007, 41(16), 3517–3538. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.06.056> [26. 8. 2022].
- Gourmelon, M., Moussard, H., Quenot, E., Boukerb, A., Lesne, M., Loiseau, V., Bourasseau, L., Vitte, I. in Garabetian, F., 2019. Persistence of Microbial Source Tracking markers, *E. coli* genotypes and fecal indicator bacteria in seawater and freshwater microcosms. Povzetek na 20th Symposium on Health-Related Water Microbiology (HRWM), 2019, str. 11–12.
- Harwood, V. J. in Stoeckel, D. M., 2011. Performance criteria. V: Hagedorn C, Blanch A. C., Harwood V. J. (ured.). *Microbial source tracking: Methods, applications, and case studies*. New York: Springer. str. 7–30.
- Hundesda, A., Maluquer De Motes, C., Bofill-Mas, S., Albinana-Gimenez, N. in Girones, R., 2006. Identification of human and animal adenoviruses and polyomaviruses for determination of sources of fecal contamination in the environment. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, 72(12), 7886–7893. Dostopno na: <https://doi.org/10.1128/AEM.01090-06> [26. 8. 2022].
- Kildare, B. J., Leutenegger, C. M., McSwain, B. S., Bambic, D. G., Rajal, V. B. in Wuertz, S., 2007. 16S rRNA-based assays for quantitative detection of universal, human-, cow-, and dog-specific fecal Bacteroidales: a Bayesian approach. *Water Research*, 2007, 41(16), 3701–3715. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.06.037> [26. 8. 2022].
- Kralj, J., Servetas, S., Hunter, M., Jackson, S. in Toman, B., 2021. Certification of Standard Reference Plasmid DNA for Fecal Indicator Identification NIST. NIST Special Publication, 2021, 260–221.
- Leclerc, H., Schwartzbrod, L. in Dei-Cas, E., 2002. Microbial agents associated with waterborne diseases. *Critical Reviews in Microbiology*, 2002, 28(4), 371–409. Dostopno na: <https://doi.org/10.1080/1040-840291046768> [26. 8. 2022].
- Liang, H., Yu, Z., Ndayisenga, F., Liu, R., Zhang, Y., Zhang, H. in Wu, G., 2020. A combination of mitochondrial DNA markers Ckmito and ND5-CD is recommended as the most reliable indicator for microbial source tracking to identify faecal pollution from poultry in China. *Ecological Indicators*, 2020, 115(December 2019). Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106334> [26. 8. 2022].
- Mieszkin, S., Furet, J. P., Corthier, G. in Gourmelon, M., 2009. Estimation of pig fecal contamination in a river catchment by real-time PCR using two Pig-Specific Bacteroidales 16S rRNA genetic markers. *Applied and Environmental Microbiology*, 2009, 75(10), 3045–3054. Dostopno na: <https://doi.org/10.1128/AEM.02343-08> [26. 8. 2022].
- Mieszkin, S., Yala, J. F., Joubrel, R. in Gourmelon, M., 2010. Phylogenetic analysis of Bacteroidales 16S rRNA gene sequences from human and animal effluents and assessment of ruminant faecal pollution by real-time PCR. *Journal of Applied Microbiology*, 2010, 108(3), 974–984. Dostopno na: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04499.x> [26. 8. 2022].
- National Research Council, 2004. Indicators for Waterborne Pathogens. In National Research Council (Ed.), *Indicators for Waterborne Pathogens*. Washington: The National Academies Press. Dostopno na: <https://doi.org/10.17226/11010> [26. 8. 2022].
- Odagiri, M., Schriewer, A., Hanley, K., Wuertz, S., Misra, P. R., Panigrahi, P. in Jenkins, M. W., 2015. Validation of Bacteroidales quantitative PCR assays targeting human and animal fecal contamination in the public and domestic domains in India. *Science of the Total Environment*, 2015, 502, 462–470. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.040> [26. 8. 2022].
- Ohad, S., Ben-Dor, S., Prilusky, J., Kravitz, V., Dassa, B., Chalifa-Caspi, V., Kashi, Y. in Rorman, E., 2016. The development of a novel qPCR assay-set for identifying fecal contamination originating from domestic fowls and waterfowl in Israel. *Frontiers in Microbiology*, 2016, 7(Feb), 1–8. Dostopno na: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00145> [26. 8. 2022].
- Qiagen, 2022. Application Note: Transferring and optimizing assays from quantitative PCR to digital PCR on the QIAcuity® system. Hilden: Qiagen, str. 1–12.
- Reischer, G. H., Ebdon, J. E., Bauer, J. M., Schuster, N., Ahmed, W., Åström, J., Blanch, A. R., Blöschl, G., Byamukama, D., Coakley, T., Ferguson, C., Goshu, G., Ko, G., de Roda Husman, A. M., Mushi, D., Poma, R., Pradhan, B., Rajal, V., Schade, M. A., Sommer, R., Taylor, H., Toth, M. E., Vrajmasu, V., Wuertz, S., Mach, R. L. in Farnleitner, A. H., 2013. Performance characteristics of qPCR assays targeting human- and ruminant-associated bacteroidetes for microbial source tracking across sixteen countries on six continents. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(15), 8548–8556. Dostopno na: <https://doi.org/10.1021/es304367t> [26. 8. 2022].
- Reischer, G. H., Kasper, D. C., Steinborn, R., Farnleitner, A. H. in Mach, R. L., 2007. A quantitative real-time PCR assay for the highly sensitive and specific detection of human faecal influence in spring water from a large alpine catchment area. *Letters in Applied Microbiology*, 2007, 44(4), 351–356. Dostopno na: <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2006.02094.x> [26. 8. 2022].
- Reischer, G. H., Kasper, D. C., Steinborn, R., Mach, R. L. in Farnleitner, A. H., 2006. Quantitative PCR method for sensitive detection of ruminant fecal pollution in freshwater and evaluation of this method in alpine karstic regions. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, 72(8), 5610–5614. Dostopno na: <https://doi.org/10.1128/AEM.00364-06> [26. 8. 2022].
- Rusiñol, M., Fernandez-Cassi, X., Hundesa, A., Vieira, C., Kern, A., Eriksson, I., Ziros, P., Kay, D., Miagostovich, M., Vargha, M., Allard, A., Vantarakis, A., Wyn-Jones, P., Bofill-Mas, S. in Girones, R., 2014. Application of human and animal viral microbial source tracking tools in fresh and marine waters from five different geographical areas. *Water Research*, 2014, 59, 119–129. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.04.013> [26. 8. 2022].
- Santo Domingo, J. W., Bambic, D. G., Edge, T. A. in Wuertz, S., 2007. Quo vadis source tracking? Towards a strategic framework for environmental monitoring of fecal pollution. *Water Research*, 2007, 41(16), 3539–3552. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.06.001> [26. 8. 2022].
- Schiaffino, F., Pisanic, N., Colston, J. M., Rengifo, D., Paredes Olortegui, M., Shapiama, V., Peñataro Yori, P., Heaney, C. D., Davis, M. F. in Kosek, M. N., 2020. Validation of microbial source tracking markers for the attribution of fecal contamination in indoor-household environments of the Peruvian Amazon. *Science of the Total Environment*, 2020, 743. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140531> [26. 8. 2022].



26. Shanks, O. C., Atikovic, E., Blackwood, A. D., Lu, J., Noble, R. T., Domingo, J. S., Seifring, S., Sivaganesan, M. in Haugland, R. A., 2008. Quantitative PCR for detection and enumeration of genetic markers of bovine fecal pollution. *Applied and Environmental Microbiology*, 2008, 74(3), 745–752. Dostopno na: <https://doi.org/10.1128/AEM.01843-07> [26. 8. 2022].
27. Shanks, O. C., Sivaganesan, M., Peed, L., Kelty, C. A., Blackwood, A. D., Greene, M. R., Noble, R. T., Bushon, R. N., Stelzer, E. A., Kinzelman, J., Anan'eva, T., Sinigalliano, C., Wanless, D., Griffith, J., Cao, Y., Weisberg, S., Harwood, V. J., Staley, C., Oshima, K. H. in Haugland, R. A., 2012, Interlaboratory comparison of real-time PCR protocols for quantification of general fecal indicator bacteria. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(2), 945–953. Dostopno na: <https://doi.org/10.1021/es2031455> [26. 8. 2022].
28. Siefring, S., Varma, M., Atikovic, E., Wymer, L. in Haugland, R. A., 2008. Improved real-time PCR assays for the detection of fecal indicator bacteria in surface waters with different instrument and reagent systems. *Journal of Water and Health*, 2008, 6(2), 225–237. Dostopno na: <https://doi.org/10.2166/wh.2008.022> [26. 8. 2022].
29. Stachler, E., Kelty, C., Sivaganesan, M., Li, X., Bibby, K. in Shanks, O. C., 2017. Quantitative CrAssphage PCR Assays for Human Fecal Pollution Measurement. *Environmental Science and Technology*, 2017, 51(16), 9146–9154. Dostopno na: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02703> [26. 8. 2022].
30. Taylor, H. D., Wallis, J. L. in Ebdon, J. E., 2004. Pollution source tracking to meet the demands of a revised European Union bathing water directive. *Environmental Studies*, 2004, 10, 135–143.
31. The dMIQE Group in Huggett J. F., 2020. The Digital MIQE Guidelines Update: Minimum Information for Publication of Quantitative Digital PCR Experiments for 2020. *Clinical Chemistry*, 2020, 66(8), 1012–1029. Dostopno na: <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvaa125> [26. 8. 2022].
32. Yampara-Iquise, H., Zheng, G., Jones, J. E. in Carson, C. A., 2008. Use of a *Bacteroides* thetaiotaomicron-specific  $\alpha$ -1-6, mannanase quantitative PCR to detect human faecal pollution in water. *Journal of Applied Microbiology*, 2008, 105(5), 1686–1693. Dostopno na: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03895.x> [26. 8. 2022].
33. Zhuang, F. F., Li, H., Zhou, X. Y., Zhu, Y. G. in Su, J. Q., 2017. Quantitative detection of fecal contamination with domestic poultry feces in environments in China. *AMB Express*, 2017, 7(1). Dostopno na: <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0379-0> [26. 8. 2022].

## DANISH APPROACH TO HANDLING OF HOSPITAL WASTEWATER - FROM A POLLUTION PROBLEM TO NEW WATER RESOURCES

KRISTINA BUUS KJÆR<sup>1</sup>

### Abstract

Significant quantities of specialized pharmaceuticals are used in hospitals. These pharmaceuticals are excreted by patients via urine and faeces and end up in the wastewater, which also contains a mix of chemicals, viruses and resistant bacteria. For these reasons, the Danish environmental authorities want wastewater from hospitals with significant discharges of harmful substances to be treated at the source.

**Keywords:** environmental and health risk, hospital wastewater, public sewer, wastewater treatment plant.

### 1. INTRODUCTION

Many pharmaceuticals, such as antibiotics and cancer drugs, are toxic to aquatic organisms. Municipal treatment plants are not designed to remove these types of substances, which results in discharges to the aquatic environment. Also, harmful bacteria and viruses from patients can be spread via combined sewer overflows and flooding during heavy rainfall. Sewage workers as well as bathing visitors in the water areas may be infected.

For these reasons, the Danish environmental authorities want wastewater from hospitals with significant discharges of harmful substances to be treated at the source. But hospitals as well as municipalities need documentation of how hospital wastewater can be treated and whether it is technically/economically feasible.

<sup>1</sup> Kristina Buus Kjær, MSc, DHI A/S, Danska



## 2. OBJECTIVE

Pre-tests in laboratory scale on possible innovative technologies were carried out by DHI for the Danish Environmental Protection Agency (EPA) in 2010-2011. These pre-tests were followed by targeted pilot and laboratory tests of the wastewater from Herlev Hospital. The laboratory tests showed that membrane bio-reactor (MBR) technology combined with activated carbon, ozonation and UV was efficient in relation to the critical pharmaceuticals and pathogens in the hospital wastewater.

But the pre-tests did not show how the technologies should be combined and adjusted to the continuous flow of hospital wastewater in full scale. At the same time, the treatment efficiency needed to be tested for the removal of a large number of pharmaceuticals and xenobiotics, toxic effects on algae, daphnia, fish as well as hormone effects. Furthermore, the effectiveness of the treatment needed to be tested in relation to viruses and antibiotic-resistant bacteria.

On this background, the Capital Region of Denmark and Herlev Hospital decided in 2012 to initiate a private-public innovation project with the first full scale test of treatment of hospital wastewater in Denmark. Herlev Hospital is the plant owner and Grundfos BioBooster A/S has been responsible for the overall project. DHI has been responsible for the tests, development, evaluation, and reporting.

The overall objective of the project was to provide in-depth knowledge to Danish hospitals and environmental authorities, offering them a more solid basis for deciding whether hospital wastewater treatment is a viable solution in their local area. At the same time, the intention was to create a complete solution with treatment of wastewater, air emissions and sludge (drying) on site, having the potential to be exported worldwide.

## 3. METHOD

### 3.1 Working Area

Herlev Hospital is a large scale university hospital with 700 beds and a yearly wastewater volume of 150,000 m<sup>3</sup>. The hospital is now under expansion and in 2020, the hospital will have 900 beds and discharge 200,000 m<sup>3</sup> per year. The hospital serves 700,000 citizens within a large variety of medical specialities. Within cancer treatment, the hospital treats patients from all Zealand.

### 3.2 The Herlev Hospital wastewater treatment plant

The Herlev Hospital wastewater treatment plant (WWTP) was constructed from 2013 to 2014 and has been operated since May 2014. The test period covered a period of 1.5 years from May 2014 to November 2015. The plant consists of a membrane bioreactor (MBR) with nitrogen and phosphorus removal, followed by a combination of polishing technologies. During the test period, the polishing step was split into two separate lines with different configurations, Line 1 and Line 2, which were operated in parallel. Line 1 consisted of granular activated carbon

(GAC) treatment, followed by ozone and UV. Line 2 consisted of ozone, followed by GAC treatment and UV. Operation of the different setup of the two lines allowed for comparison of GAC and ozone treatment. After the test period, Line 1 was reconstructed to the same setup as Line 2, because the evaluation showed that Line 2 performed most efficiently on removal efficiency as well as on GAC consumption.

All solid waste streams (screenings, sludge and spent GAC) are sent to incineration at the local household waste incineration plant (850-1,200 °C), where 80 % of the energy produced is turned into district heating while 20 % is used for power supply.

A central air treatment unit with a photoionization process based on UV-light treats all vent air from the plant (vacuum in the building). Microbiological risk investigations of the air emissions showed that treatment worked efficiently. No complaints from neighbors or others concerning odour problems were registered.

## 4. RESULTS OF ANALYSIS

### 4.1 Effluent discharge criteria

The wastewater treatment performance was evaluated in-depth through a monitoring and testing programme. 118 samples were analysed for active pharmaceutical substances and in total, 122 substances were analysed. In addition, tests were performed for bacteria, virus and toxicity on water living organisms. An overview of analyse and test results from raw wastewater to final treated effluent is presented in Table 1.

**Table 1:** Overview of treatment performance. From raw hospital wastewater to final treated effluent.

Parameters	Raw untreated wastewater	Treated wastewater
Toxic and persistent antibiotics (e.g. ciprofloxacin, clarithromycin and sulfamethoxazole), painkillers (diclofenac) and cytostatics (e.g. capecitabine)	Factor 10-300 exceeding of effect limits PNECFreshwater) for water living organisms	99.9 % removal and no exceeding of effect limits PNECFreshwater) for water living organisms
Contrast media (e.g. iomeprol)	High concentration (2,5-7 mg/l)	99 % removal
Antibiotic resistant bacteria	High occurrence of antibiotic resistant bacteria	No fecal or antibiotic resistant bacteria
Water born viruses (norovirus)	High concentration (1.7·10 <sup>5</sup> )	Under limit of detection (<26 GC/l)
Fish fry (zebra fish)	100 % mortality within 96 hours	0 % mortality within 96 hours
Crustacean (daphnies)	No offspring (all test animals died)	Offspring survives as in clean control water
Estrogenic activity (A-YES)	Estrogen effects	No estrogen effects



Table 1 shows that the load of pharmaceutical substances were removed by 99.9 % and that the substances still measurable in the effluent were below the effect concentrations for freshwater living organisms (PNECFreshwater) without dilution. The highly persistent, but less toxic, contrast media were removed by 99 %. Fecal and antibiotic resistant bacteria were removed and viruses, represented by norovirus, could not be detected. Ecotoxicity effects on fish and daphnies as well as estrogenic effects could not be measured in the final treated effluent.

Treatment performance in relation to general organic substances and nutrients was high compared to typical emission requirements. At the end of the test period, where the biological and chemical processes were optimized, COD, Total-N and Total-P were measured to respectively 10-20, 2-3 and 0.2 mg/l in the effluent.

The evaluation of the treatment setup showed that the MBR-ozone-GAC setup was the most efficient setup compared to MBR-GAC-ozone. The tests showed that the ozonation had a higher pharmaceutical removal efficiency when it was applied before GAC and at the same time, it made the GAC more efficient. The MBR-ozone-GAC was also observed to result in less GAC usage, most likely because the general organic matter is transformed into more water soluble compounds by the ozonation. No critical formation of ozone by-products, such as bromate or NDMA, was observed.

#### 4.2 Investment and Environmental costs

The assessment of the overall economy was based on a registration of all operational expenditures. This included consumption of energy, chemicals, GAC and the costs for handling of by-products as well as man-hours for service. In addition, there is also maintenance costs for general maintenance of the plant. This was calculated as 2-3 % of the investment cost per year.

The investment cost of a fully operational WWTP is assumed to 25-35 million DKK. The investment depends highly on the construction of the building for the WWTP. The actual investment at Herlev Hospital was high due to a wish to construct a building for the WWTP with special architectural features. The economical key figures are presented in Table 2.

**Table 2:** Overall economical key figures for the Herlev Hospital WWTP.

Type of cost	DKK	EUR
Investment cost	25 - 35 mill. DKK	3.3 - 4.7 mill EUR
Operation & Maintenance costs	10.87 DKK/m <sup>3</sup>	1.45 EUR/m <sup>3</sup>
Fee for discharge to public sewer	25.54 DKK/m <sup>3</sup>	3.41 EUR/m <sup>3</sup>

Herlev Hospital is presently paying a discharge fee of 25.54 DKK/m<sup>3</sup> for discharge of wastewater to public sewer. If, in the future, the wastewater is discharged directly to the nearby local

stream (Kagså), this fee will no longer be applied, which will result in possible savings of running costs of 15 DKK/m<sup>3</sup> (25.54 - 10.87 = 15 DKK/m<sup>3</sup>). A win-win situation can be achieved, where pollutants are removed, the treated water is used for conservation of the local stream and overall wastewater costs are saved. It should be noted that depending on the specific future solution, there will be other costs related to the direct discharge, such as construction of a dedicated pipeline or costs for using the rainwater pipeline of the water company.

#### 5. CONCLUSION

If the treated water is released directly to the local stream (Kagså) and from here further on to the marine bathing water area (Lodsparken), possible environmental and health risks have to be assessed. Therefore, risk assessments were carried out in the local water areas based on hydrodynamic modelling of spreading and fate of chemical and microbiological parameters. The results showed that the estimated risks were negligible during normal operation of the WWTP.

The high water quality of the final effluent opens up many options for reuse. Presently, reuse of the treated water in the existing cooling towers at the hospital is planned. Around 10,000 m<sup>3</sup>/y are expected to be reused here. Practical planning for the implementation of the direct release to Kagså is being carried out at the time of writing.



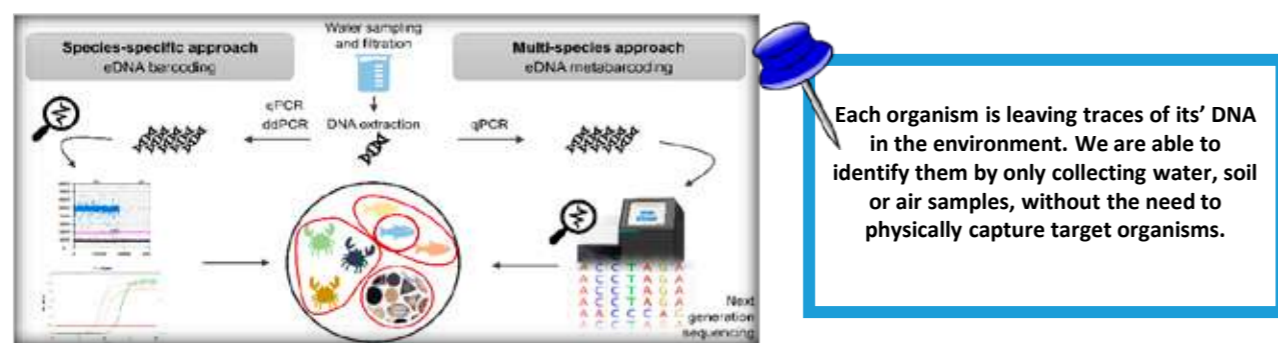
Labena's BIA Separations CRO laboratory has over 20 years of experience working in the field of pharmaceutical analytical services, in accordance with international FDA and GMP guidelines.



Molecular Biology Laboratory (MBL) - providing services, solutions and support to local and global biopharmaceutical, biotechnology and environmental companies as well as to clinical, research and academic institutions.

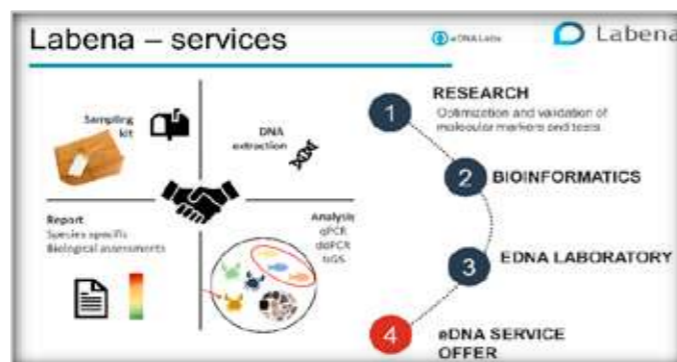


Novel environmental DNA laboratory, offers molecular ecology expertise. We are able to cover biodiversity monitoring needs through species-specific or community based environmental DNA approach.



**What we offer:**

- eDNA sampling
- eDNA isolation
- eDNA quantification with quantitative PCR and digital droplet PCR
- eDNA assessment with high-throughput sequencing
- *In silico* assay design
- Bioinformatic analysis



**What we cover:**

- Water management decision support system
- Monitoring restoration success measures
- Biodiversity monitoring
- Environmental impact assessments
- Science-Policy Interface for conservation purposes
- Spatial ecology
- Support towards EU directives implementations
- Environmental genomics



Labena Ltd  
BIA Separations CRO Laboratory  
Teslova ulica 30  
1000 Ljubljana  
Slovenia  
t: + 386 (0) 59 342 680  
e: info@biaseparationscro.com  
e: info@labena.si  
www.biaseparationscro.com  
www.labena.si

Labena d.o.o.  
eDNA labs  
Jarušćica 7  
10000 Zagreb  
Croatia  
t: +385 1 655 06 01  
e: info@labena.hr  
www.labena.hr



# TESTING OF PRIVATE SEWER CONNECTIONS – WHY AND HOW?

WENDY FRANCKEN<sup>1</sup>

## Abstract

Correct separation and connection of wastewater is necessary to improve the purification efficiency of the sewage treatment plants and to prevent flooding and drought.

In Flanders, an inspection of the private water discharge is mandatory to check whether this separation is done correctly. Municipalities that construct sewers must build a separate system. When building constructions, it is obligatory to collect rainwater from the roof into a rainwatertank for reuse. The collected water from paved areas such as driveways and terraces must go to an infiltration facility on site. Existing buildings where new sewers are being constructed or reconstructed on public property are also required to disconnect their rainwater on their property. These principles are translated into Flemish law. More info about the proces and the implementation will be given during the presentation.

**Keywords:** drought, flooding, infiltration, inspection private sewer connection, rainwater, wastewater.

## 1. INTRODUCTION

### Why is an inspection of the private sewerage system necessary?

In Flanders (Belgium), we are facing several challenges: drought, flooding, too many paved surfaced, increasing population, overflow of sewers in case of heavy rain and the groundwater table is low. Flanders knows the most waterstress in northern Europe. A lot of the sewage systems transport rainwater and wastewater together. One of the solutions is to build separate systems and keeping rainwater on site through reuse of rainwater for toilets, washing machine, cleaning and the garden as well as infiltrating the rain water, instead of draining them into streams and rivers where it eventually end up in the sea.

These principles are translated into Flemish law. Municipalities that construct sewers must build a separate system. When building constructions, it is obligatory to collect rainwater from the roof into a rainwatertank for reuse. The collected water from paved areas such as driveways and terraces must go to an infiltration facility on site. If infiltration is not possible, or for

<sup>1</sup> Wendy Francken, VLARIO, Belgija



bigger constructions, a buffer facility should be installed with delayed discharge to delay peak downpours. The final step is disposal to the sewage system on public domain. The minimum sizing of these facilities is also established by law.

Existing buildings where new sewers are being constructed or reconstructed on public property are also required to disconnect their rainwater on their property.

As for wastewater, all wastewater should be properly connected to the house connection of the public domain. For buildings where sewerage is not yet present on public property, proper wastewater pretreatment should be done on private property. There are also 400.000 buildings still to be connected to a waste water treatment plant. Buildings where sewers will never be constructed must provide their own water treatment facilities.

Also on the level of provinces of municipalities this law can be stricter. Nowadays, there are even municipalities that do not allow a connection of stormwater to public domain. In one province, it is only permitted to construct permeable pavements.

Failure to follow this legislation has environmental consequences. This is why an inspection is necessary.

## 2. CONTROLLING IMPLEMENTATION OF LEGISLATION

Inspection of the sewage system in Flanders is obligated since 2011. The organisation of these inspections and follow-up are the responsibility of the sewerage operators. They have a partnership with Vlario for the inspections, execution of inspections, quality assurance and digital database. Vlario is accredited by Belac for ISO/CEN 17020. Sewerage operators/municipalities have access to the Vlario database and tools for follow-up.

If one does not wish to have an inspection performed, the sewer operator may refuse the connection. If the inspection is non-compliant, the sewer operator may suspend or restrict the connection.



Picture 1: Testing of private sewer connections

Proper separation and connection of wastewater is necessary to improve the treatment efficiency of sewage treatment plants and to prevent flooding and droughts.

The inspection of private sewage has the purpose of checking whether:

- the wastewater is connected to the sewage system on the public domain or to the individual treatment plant (connection and pretreatment according to the zoning plans),
- waste water and rain water are discharged separately,
- the drains from the sewerage system components, indoor devices, roofs and paved surfaces are properly connected;
- the rainwater tank, infiltration facility, buffer facility and septic tank for black water are present where required.

The legal framework of the inspection is regulated by the General Water Supply Regulations and the Ministerial Decree on inspections.

In this brochure, you will find more information on what the inspection of the private water drainage system exactly entails.

Vlario is an ISO/IEC 17020 accredited inspection body.  
See also [www.vlario.be/keuring](http://www.vlario.be/keuring).



Picture 2: Connections on separate sewer system

## 3. METHOD

### 3.1 When is an inspection mandatory?

The private water discharge must be inspected in the following cases:

- In the event of new construction or reconstruction;
- When you request a new additional connection;
- When installing an IBA (individual purification system);
- After an infringement has been established;



- When constructing separate sewers on the public domain (disconnection project), unless an inspection has been carried out for new construction or reconstruction that is no more than five years old;
- After remedial action has been taken following a previous non-conformity inspection of the private water drainage system (re-inspection).

### 3.2 When do I apply for the inspection?

You can apply for an inspection when the building is ready to be inspected. In practice, this means that:

- the sewerage system has been fully installed from the discharge point to the building line/discharge point. The appliances themselves do not have to be installed yet (e.g. WC, cistern, bath,...);
- The drainage system on private property is accessible and reachable. All drains must be visible and open in a normal way. Beforehand, inspect the connecting manholes at the plot boundary and check whether there is any blockage. If this is the case, the inspection cannot take place. In this case, you have the problem solved before the inspection is carried out. If the house connection pits have not yet been installed, then the drainage pipes must be accessible at the height of the building line.

Collect the necessary documents. If applicable, the following documents must be submitted before the start of the inspection. If the necessary documents are not available at the start of the inspection, this can lead to the inspection not being started or to a re-inspection:

- as-built plan, construction plan or sewerage plan,
- environmental permit,
- copies of invoices for sewerage components (e.g. rainwater well, septic tank, infiltration facility, etc.),
- Initial list GSV rainwater,
- photographs of the construction of the drainage system.

You can search for an inspector via [www.vlario.be](http://www.vlario.be). By entering your postcode, you can see which inspectors are active in your area.

### 3.3 What is checked?

The inspector checks the sewerage plan and the necessary documents. The inspector will declare the property »compliant« or »non-compliant«, taking into account the requirements laid down in the general water sales regulations and according to the Ministerial Decree on the inspection of private water drainage.

### 3.4 When is the inspection non-compliant?

- Incorrect separation of rainwater and wastewater
- Non-compliance with the waste water connection obligation and/or pre-treatment according to the zoning plans.
- Absence of a rainwater pit, infiltration facility and/or buffer facility if required by the environmental permit.
- Absence of septic tank for black water if required by the municipality/sewer manager.

The necessary points of attention are noted. These are based on existing regulations and/or conditions imposed in the environmental permit and/or clarifications during the inspection.

Attention: the hydraulic operation (i.e. drainage capacity) of the private water drainage system is not checked or tested. This is the responsibility of the contractor involved.

### 3.5 How does the inspection work?

1. You search for and contact a VLARIO inspector at [www.vlario.be](http://www.vlario.be).
2. The necessary documents are requested and the conditions for carrying out the inspection are provided for signing.
3. You return the signed documents and conditions to the inspector. The inspector comes at the agreed time. The inspector must have access to the premises in order to carry out the inspection. Make sure that all lids/pits are accessible.
4. The inspector checks the necessary documents supplied to determine which regulations/requirements apply.

The inspector makes on-site determinations based on a number of tests with water flow/smoke/camera/sound. Based on the findings, the inspector decides whether the system is compliant or not.

## 4. RESULT OF INSPECTION

### CONFORM

If the private water drainage system is correctly connected and separated as required by the Ministerial Decree on inspections, you will receive a conforming inspection certificate. This certificate may be required to obtain a connection to the public drainage system.

### NOT CONFORMING

If the private water discharge is found not to be compliant, remedial measures will be noted. The remedial measures must be carried out within the proposed repair period which is also stated on the inspection certificate. After the remedial measures have been taken, a re-inspection must be requested. If the re-inspection is carried out by the same inspector, the re-inspection is limited to the remedial measures.



#### POINTS OF ATTENTION

Points of attention do not lead to rejection, remedial measures and a re-inspection, but the municipality and/or sewerage manager can take further action if you do not comply with the conditions, legislation or regulations imposed.

#### INSPECTION CERTIFICATE

The inspector will provide you with the inspection certificate. As provided for in the general water sales regulations, the inspection certificate is sent directly to the sewerage manager.

### 4.1 Preparation for a compliant inspection

Consult the zoning plans to find out if there is a connection obligation and if you have to pre-treat/clean your wastewater yourself by means of a septic tank for black and grey water or an IBA.

Some municipalities also require a septic tank for faecal water. Check with the municipality/ via the environmental permit whether a septic tank is compulsory for black water.

The GSV Rainwater determines whether a rainwater pit, infiltration facility and/or buffer facility is compulsory.

If applicable, carefully read the obligations regarding wastewater and rainwater in the environmental permit.

#### Useful links

1. Vademecum on the practical disconnection of rainwater: [www.vlario.be/vademecum-afkoppelen](http://www.vlario.be/vademecum-afkoppelen)
2. Construction of sewerage system and conditions: [www.vlario.be/burger](http://www.vlario.be/burger)
3. Info about the inspection: [www.vlario.be/keuring](http://www.vlario.be/keuring)

## OBVLADOVANJE PADAVINSKIH ODPADNIH VODA S PRILAGAJANJEM URBANIH OBMOČIJ NA EKSTREMNE PADAVINE

asist. dr. MATEJ RADINJA<sup>1</sup>, mag. MAJA ŠTAJDOHAR<sup>2</sup>, NATAŠA ŠUŠTERŠIČ<sup>3</sup>,  
MARTIN ZIBELNIK<sup>4</sup>, izr. prof. dr. NATAŠA ATANASOVA<sup>5</sup>

#### Povzetek

Urbanizacija v kombinaciji s podnebnimi spremembami, ki prinašajo pogostejše in intenzivnejše padavinske dogodke, povzroča dodatne pritiske na obstoječe sisteme urbane odvodnje. Posledično slednji pogosto ne opravijo svoje osnovne funkcije, kar vodi v poplave padavinskih voda in razbremenjevanje mešanih kanalizacijskih sistemov. V prispevku bomo najprej prikazali nedavne padavinske dogodke, ki so v Ljubljani povzročili poplave padavinskih odpadnih voda. Ker kanalizacijski sistem ni dimenzioniran za odvajanje ekstremnih padavin, moramo za zmanjševanje poplavne nevarnosti v urbanih območjih vzpostaviti komplementarne ukrepe za obvladovanje padavinskih voda. Tovrstno rešitev predstavlja modro-zelena infrastruktura, ki za razliko od tradicionalnega pristopa, ki obvladuje padavinske vode centralizirano (s sivo infrastrukturo), stremi k decentraliziranemu obvladovanju padavin na samem izvoru. V drugem delu prispevka bomo osvetlili različne vidike vpeljave modro-zelene infrastrukture v urbana območja z namenom obvladovanja padavinskih voda.

**Ključne besede:** ekstremne padavine, modro-zelena infrastruktura, padavinske odpadne vode, podnebne spremembe, prilagajanje urbanih območij, urbana odvodnja.

#### Abstract

Growing urbanization combined with climate change consequences, i.e., more frequent and intensive rain events, puts additional pressure on existing urban drainage systems. Consequently, these systems frequently fail to effectively perform their function, resulting in pluvial floods and combined sewer overflows. In this article, we will first present recent rain events that caused stormwater floods in Ljubljana. Since the sewer systems are not designed for extreme rainfall, complementary measures for stormwater control should be implemented to reduce flood risk. Blue-green infrastructure presents this type of a solution

- 1 Mag. Matjaž Retelj, univ. dipl. mikrobiolog, Center za mikrobiološke analize živil, vod in drugih vzorcev okolja, Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano
- 2 Mag. Maja Štajdohar, JP VOKA SNAGA, d. o. o.
- 3 Nataša Šušteršič, JP VOKA SNAGA, d. o. o.
- 4 Martin Zibelnik, JP VOKA SNAGA, d. o. o.
- 5 Izr. prof. dr. Nataša Atanasova, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo



and is based on the decentralized control of rainfall at its origin, in contrast the traditional approach applies grey infrastructure in a centralized way. In the second part of the article, we will highlight different aspects of applying blue-green infrastructure in urban areas for stormwater control.

**Keywords:** blue-green infrastructure, climate change, extreme rainfall, stormwater, urban areas adaptation, urban drainage.

## 1. UVOD

Učinki podnebnih sprememb in zatečeno stanje v urbanih naseljih oblikujejo razmere, ki jim kanalizacijski sistemi v kritičnih trenutkih (npr. ekstremne padavine) vse pogosteje niso več kos (Krajnc, 2019). Tudi za Slovenijo projekcije podnebnih sprememb napovedujejo, da lahko do sredine stoletja pričakujemo večje število ekstremnih vremenskih dogodkov: več močnih padavinskih dogodkov, okrepitev hidrološkega cikla, pogostejše bodo zdajšnje stoletne poplave, verjetno povečanje števila dni z ugodnimi razmerami za nastanek poletnih neurij, znatno povečanje pogostosti poletne suše, večjo spremenljivost temperature in padavin poleti (ARSO, 2021a). Prilagajanje oz. večanje odpornosti mest na ekstremne dogodke je kompleksen proces, ki zahteva vključitev in sodelovanje vseh deležnikov, ki (so)oblikujejo in upravljajo mestni prostor (Klemen et al., 2020). V praksi deležniki pogosto delujejo samostojno in nepovezano, kar se vse bolj kaže kot ena od največjih ovir pri upravljanju z vodo v mestih (Globevnik in Simoneti, 2020). Pri tem še posebej izstopajo vsebine, ki se šele uvajajo in (v Sloveniji) še nimajo ustaljenih načrtovalskih in upravljaljskih pristopov, kot je modro-zelena infrastruktura (v nadaljevanju MZI) (Ravnikar in Goličnik Marušić, 2019).

Kanalizacijski sistemi v slovenskih mestih so praviloma dimenzionirani na nizke povratne dobe padavin (1 do 10 let), saj je njihova primarna funkcija odvajanje sušnega odtoka (tj. komunalne odpadne vode) in pogostih padavin z urbanih območij. Odvajanje presežnih padavinskih voda pa je prepuščeno stihijskemu razlivanju po cestah do najnižje točke v okolici. Ob odsotnosti sistemskih ukrepov države in občin, ki bi naslavljali ekstremne padavine v urbanih območjih, smo priča ponavljajočim se urbanim poplavam po vsej Sloveniji. V prispevku bomo najprej prikazali nedavne padavinske dogodke, ki so v Ljubljani povzročili poplave padavinskih odpadnih voda, ter v drugem delu prispevka osvetlili različne vidike vpeljave modro-zelene infrastrukture v urbana območja z namenom obvladovanja padavinskih voda.

## 2. NEDAVNE EKSTREMNE PADAVINE V LJUBLJANI

### 2.1 Padavinski dogodek 29. septembra 2021

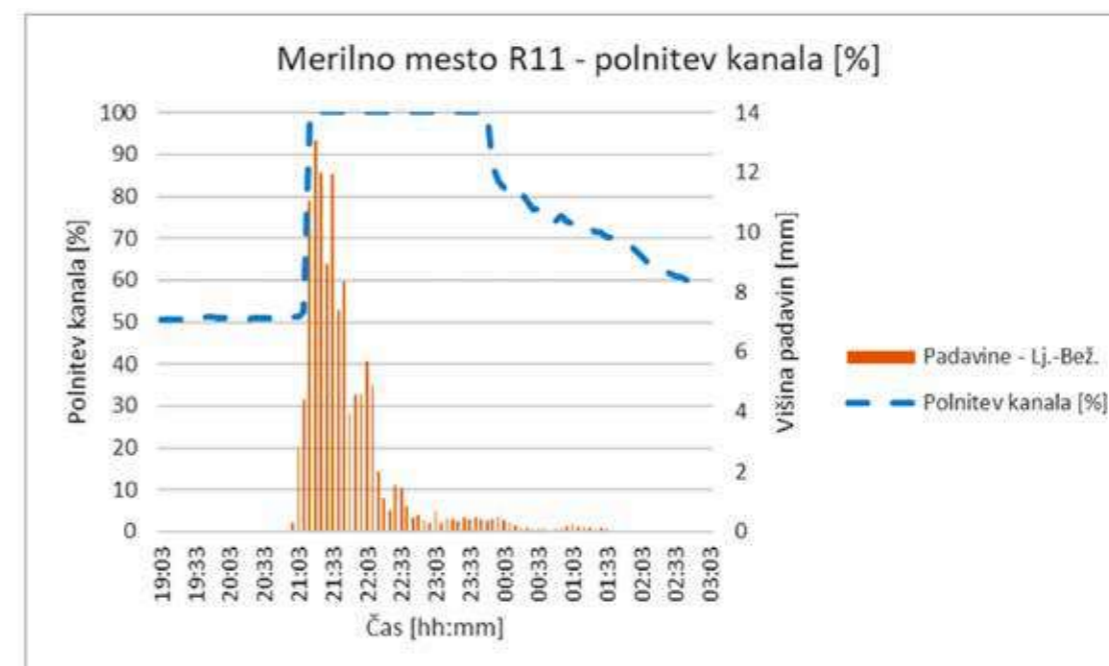
Ekstremnemu padavinskemu dogodku smo bili priča 29. septembra 2021, ko so na merilni postaji Ljubljana Bežigrad izmerili rekordno močan naliv, 101 mm v 65 minutah (ARSO, 2021b). Glede na meritve zadnjih desetletij lahko tako močan naliv na tem mestu pričakujemo enkrat

na nekaj stoletij (povratna doba > 250 let) (ARSO, 2022a). Na območju Bežigrada so se padavine pojavile malo pred 21. uro in v približno eni uri jih je zapadlo čez 100 mm (ARSO, 2021a). Padavine so bile v obravnavanem dogodku prostorsko izrazito neenakomerno razporejene, na kar kažejo tudi podatki sosednjih merilnih postaj. Na postaji Ljubljana Hrastje je v tem času zapadlo le 25 mm, na postaji Ljubljana Moste I pa okoli 50 mm padavin.

V Ljubljani se odpadna padavinska voda steka v javno kanalizacijo, ki je večinoma mešanega tipa. Kanalizacija gravitira proti glavnemu zbiralniku A0, ki ob levem bregu Ljubljanice odvaja odpadno vodo proti CČN Ljubljana v Zalogu. Na zbiralniku A0 so umeščeni razbremenilniki, ki z namenom hidravlične zaščite kanalizacijskega sistema in CČN Ljubljana prelivajo viške odpadne vode v Ljubljanico. Z namenom spremljanja delovanja kanalizacijskega sistema se na nekaterih razbremenilnikih izvajajo meritve pretokov. Na grafu 1 je prikazana polnitev kanala na razbremenilniku R11, ki odvaja presežno vodo v Ljubljanico pri Moščanskem mostu (Grablovičeva ulica). Razbremenilnik se nahaja na delu zbiralnika A0, v katerem se mu pridruži stranski zbiralnik (ZB-A2) iz smeri Bežigrada (ob dolenski železnici). Pred padavinskim dogodkom je bila polnitev kanala približno 51%. Po nastopu padavin je znotraj enega 5-minutnega intervala prišlo do 100-% polnitve kanala (ob 21:13). Polnitev kanala je začela padati šele ob 23:53 (87-% polnitev). Razbremenilnik je bil torej zapolnjen 2 uri in 40 minut.

V Sistemu za Poročanje o Intervencijah in Nesrečah (SPIN, 2022) je bilo na območju Mestne občine Ljubljana v času dogodka zabeleženih 388 intervencij zaradi poplave meteorne vode. V največji meri je šlo za črpanja vode iz poplavljenih kleti stanovanjskih in javnih stavb (šole, zdravstveni domovi). Padavinska voda je zalila številne javne stavbe in poškodovala javno infrastrukturo (24ur.com, 2021).

**Graf 1:** Polnitev razbremenilnika R11 pri Moščanskem mostu za dogodek na dan 29. septembra 2021.



Vir: JP VOKA SNAGA d. o. o., 2022.



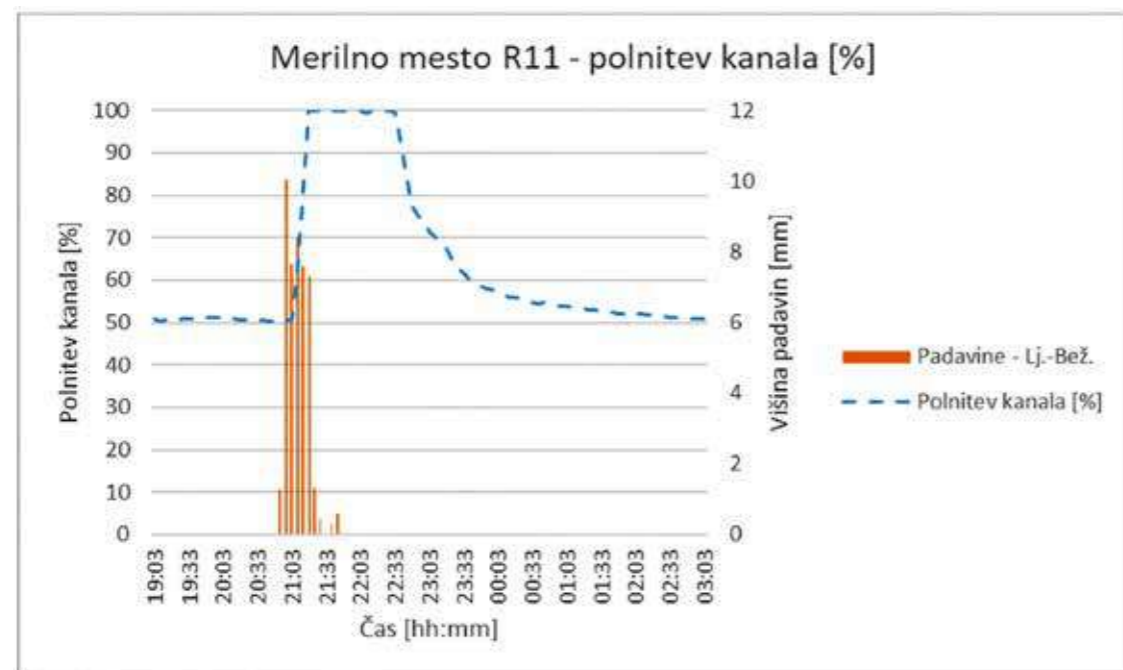
## 2.2 Padavinski dogodek 5. julija 2022

Preplavitvam kanalizacijskih sistemov pa smo bili letos priča tudi pri manjših padavinskih dogodkih, kot je bil naliv 5. julija 2022 zvečer. Izrazite nevihtne celice so nad širšim ljubljanskim območjem nastale po 20. uri. Zaradi počasnega pomikanja padavin je v predelih Ljubljane padla velika količina dežja, nevihtno območje pa je do 22. ure južno od Ljubljane razpadlo (ARSO, 2022a). Na območju Bežigrada se je naliv začel malo pred 20. uro, v dvajsetih minutah pa je zapadlo 41 mm padavin, kar glede na meritve zadnjih desetletij predstavlja dogodek z > 50-letno povratno dobo (ARSO, 2022a). Na postaji Ljubljana Hrastje so v tem času zabeležili 16 mm padavin, kar spet kaže na zelo neenakomerno porazdelitev padavin tudi v primeru tega dogodka.

Na grafu 2 je prikazana polnitev kanala na razbremenilniku R11 za padavinski dogodek 5. julija 2022. Pred padavinskim dogodkom je bila polnitev kanala znova približno 51%. Po nastopu padavin je tokrat ob manj intenzivnih padavinah do 100-% polnitve kanala prišlo »še« po petnajstih minutah (prav neverjetno, znova ob 21:13). Polnitev kanala pa je začela padati že ob 22:33 (93-% polnitev). Razbremenilnik je bil torej zapolnjen 1 uro in 20 minut.

V Sistemu za Poročanje o Intervencijah in Nesrečah (SPIN, 2022) je bilo na območju Mestne občine Ljubljana v času dogodka zabeleženih 76 intervencij zaradi poplave meteorne vode. Tudi tokrat je šlo v največji meri za črpanja vode iz poplavljenih klet stanovanjskih in javnih objektov (šole, zdravstveni domovi). Značilnost poplav padavinskih voda v Ljubljani so tudi poplave številnih cestnih podvozov pod železnico. K sreči se je do zdaj vedno končalo samo z »utopljenimi« vozili. Zaradi pogostosti in kritičnosti poplavljanja podvozov bi lahko ustrezno rešitev predstavljal sistem spremljanja nivoja voda v vplivnih kanalih in samodejnega zaprtja podvozov za promet ob preseganju kritičnega nivoja vode.

**Graf 2:** Polnitev razbremenilnika R11 pri Moščanskem mostu za dogodek na dan 5. julija 2022.



Vir: JP VOKA SNAGA d. o. o., 2022.

## 3. LJUBLJANSKI KANALIZACIJSKI SISTEM

Mesto Ljubljana se je skozi zgodovino, predvsem po drugi svetovni vojni, intenzivno širilo, česar v urbanističnih planih na začetku stoletja niso mogli predvideti. Zato je razumljivo, da dimenzije nekaterih temeljnih kanalov in objektov, ki so bili zgrajeni na začetku prejšnjega stoletja (npr. zbiralnik A0 in spremljajoči razbremenilniki), ne zadostujejo sedanjim obremenitvam. Po podatkih Hidravlične študije kritičnih pretokov na zbiralniku A0 so že leta 1986 ugotovili, da jih od 9 razbremenilnikov kar 7 ob kritičnem nalivu preliva v Ljubljano ter da je na določenih odsekih zbiralnik A0 pod tlakom (Panjan, 1986). V 90. letih je Danski hidravlični inštitut (DHI) izdelal hidravlični model ljubljanskega kanalizacijskega sistema v okviru študije »Ljubljana sewerage system master plan«. S pomočjo simulacije padavin za izbrano »povprečno leto« so ugotovili, da je delovanje razbremenilnikov zelo neusklajeno in da nekateri začnejo razbremenjevati že pri intenziteti dežja 2 l/s/ha, kar pomeni skoraj pri vsakem dežju, frekvenca delovanja pa je tako več kot 50-krat letno (Šušteršič, 2012). S hidravličnim modelom so za statistični naliv z 10-letno povratno dobo preverili tudi kritične točke, kjer pride do preplavitve kanalizacijskega sistema. Na podlagi teh ugotovitev so predlagali nabor ukrepov za izboljšanje delovanja kanalizacijskega sistema in zmanjšanje negativnih vplivov na okolje. V grobem naj bi s temi ukrepi dosegli, da pri izbranem statističnem nalivu s povratno dobo 10 let ne bi prišlo do preplavitve terena na trasah glavnih zbiralnikov in da razbremenilniki ne bi prelivali več kot 10-krat na leto. Leta 2010 so bili na podlagi teh ugotovitev v okviru kohezijskega projekta »Hidravlične izboljšave kanalizacijskega sistema mesta Ljubljana« zgrajeni zadrževalni bazeni ob Stolpniški ulici, na Kajuhovi cesti in pred CČNL v Zalogu ter zadrževalni kanal DN 1200 na Kodeljevem.

DHI je v študiji predlagal tudi lokalno ponikanje padavinske odpadne vode v čim večji meri, saj bi lahko s tem maksimalne odtokove zmanjšali tudi do 80 %. Na primeru manjšega prispevnega območja v strogem mestnem središču Ljubljane je bilo v sklopu magistrskega dela (Štajdohar, 2016) ugotovljeno, da lahko s kombinacijo ukrepov za ponikanje padavinske odpadne vode s streh in utrjenih površin ter ob upoštevanju vseh prostorskih omejitev od kanalizacije odklopimo 24 % celotne površine obravnavanega območja in s tem maksimalne odtokove pri dogodkih s povratno dobo, manjšo od enega leta, zmanjšamo do 32 %, pri dogodkih s povratno dobo 2 leti za 17 %, pri dogodku s povratno dobo 100 let pa le še za 7 %.

Kljub vsemu pa se pri določenih padavinskih dogodkih preplavitvam v nobenem primeru ne moremo povsem izogniti. Glavni razlog za to je osnovni pristop dimenzioniranja kanalizacijskega sistema, ki temelji na izbiri kritičnega naliva glede na pričakovane stroške in koristi oz. pričakovana tveganja za škodo. V 70. letih, ko je bil razvoj mesta Ljubljane še posebej intenziven, je Pravilnik o smernicah za projektiranje in gradnjo kanalizacije za dimenzioniranje mešane in padavinske kanalizacije zahteval upoštevanje »statistično gospodarsko enakovrednega naliva s pogostostjo 1«. Tako je večina kanalizacijskega omrežja v Ljubljani dimenzionirana na 15-minutni naliv z 1-letno povratno dobo, kar v praksi pomeni intenziteto (jakost naliva) 160 l/s/ha. Od leta 1999 pa je v Tehničnih navodilih za kanalizacijo podjetja JP VOKA SNAGA za dimenzioniranje kanalizacije zahtevana uporaba evropskega standarda SIST EN 752-2 (Voda, 2003). Po tem pravilniku za dimenzioniranje mešanih in padavinskih kanalov izberemo pogostost naliva glede na tip poselitve. Za stanovanjska območja je to povratna doba 2 leti, za



dimenzioniranje prometnih podzemnih objektov in podvozov pa je treba upoštevati povratno dobo 10 let. Pri tem je treba za določeno povratno dobo projektirano kanalizacijo preveriti tudi na preplavitih. Zaradi takšnega pristopa dimenzioniranja kanalizacijskega omrežja začne pri ekstremnih dogodkih na nekaterih odsekih kanalizacije odpadna voda teči pod tlakom ter lahko prek revizijskih jaškov in požiralnikov preplavi teren, ogroža pa tudi neposredno priključene kletne etaže (Voda, 2003).

#### 4. ZAKONODAJA

Zakon o vodah je v 92. členu pristojnost za varstvo pred škodljivim delovanjem padavinskih voda v ureditvenih območjih naselij podelil lokalnim skupnostim. Slednje obsega zlasti ukrepe za zmanjšanje odtoka padavinskih voda z urbanih površin ter ukrepe za omejevanje izlita komunalnih in padavinskih voda. Podrobnejše ukrepe, ki naj bi jih predpisal minister, čakamo že od sprejetja zakona leta 2002. Svetla luč na tem področju je zakonodaja s področja varstva okolja, ki ureja odvajanje odpadne vode v javno kanalizacijo. Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode tako v 24. členu nalaga, da mora biti pri načrtovanju, gradnji, rekonstrukciji ali vzdrževanju objektov v aglomeraciji zagotovljeno, da se predvidijo in izvajajo ukrepi za zmanjševanje količin padavinske odpadne vode, ki se odvaja v javno kanalizacijo. Izvajalcem istoimenske obvezne občinske gospodarske javne službe je v 26. členu naložena tudi izdelava programa izvajanja javne službe, ki vključuje načrt ukrepov za zmanjševanje količin padavinske odpadne vode, ki se odvaja v javno kanalizacijo. Ukrepi za zmanjševanje količine padavinske vode, ki se odvaja v javno kanalizacijo, navaja tudi Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode. Vendar za razliko od komunalne odpadne vode za padavinsko vodo ni definirano, kaj je cilj ravnanja z njo.

Lokalne skupnosti na podlagi občinskih prostorskih načrtov in odlokov o odvajanju in čiščenju komunalne in padavinske vode predpisujejo ukrepe oz. pogoje za zmanjšanje odtoka padavinskih odpadnih voda. Tovrstni odlok Mestne občine Ljubljana, ki je bil sprejet leta 2018, namenja pozornost tudi izločanju padavinskih odpadnih voda iz kanalizacijskega sistema. Tako v 30. členu predpisuje, da mora uporabnik zagotoviti odvajanje padavinske odpadne vode s strehe in utrjenih površin v ponikanje, kjer je to možno in dopustno. V primeru priključitve na javni kanalizacijski sistem je treba odtok padavinske odpadne vode zmanjšati v čim večji možni meri z zadrževanjem pred priključitvijo na kanalizacijski sistem ali z ukrepi za ponovno uporabo padavinske vode. Tehničnih smernic in standardov za te ukrepe pa ni, prav tako ne obstajajo nikakršni kazalniki, ki bi pokazali, kako uspešni smo pri tem.

#### 5. MODRO-ZELENA INFRASTRUKTURA

Modro-zelena infrastruktura (MZI) lahko opredelimo kot naravne in polnaravne (od tod zelena) decentralizirane sisteme, namenjene upravljanju s padavinskimi vodami (od tod modra) v mestih, ki hkrati opravljajo širok nabor ekosistemskih storitev (Liao et al., 2017; Lamond in Everett, 2019). Njihova osnovna filozofija je posnemanje naravnih hidroloških procesov (tj. zadrževanje, infiltracija, evapo(transpi)racija), katerih cilj je poskrbeti za padavinsko vodo na

mestu nastanka ter preprečiti mešanje čiste padavinske vode s sanitarno vodo. Gre za pristop, ki prinaša izboljšave ne le na področju upravljanja z vodami, temveč tudi na številnih drugih področjih, kot so podnebne spremembe, kmetijstvo, gozdarstvo, urbanistično načrtovanje, varstvo narave, preprečevanje nesreč in podobno. Gre torej za izrazito interdisciplinaren koncept, ki pa v slovenski praksi še ni polno zaživel. Elementi MZI v urbanem prostoru najpogosteje predstavljajo del zelenih površin in tako v prostorsko načrtovalskem kontekstu tvorijo del zelenega sistema naselja oz. zelene infrastrukture, kot jo uvaja Strategija prostorskega razvoja Slovenije do 2050 (MOP, 2020). V Preglednici 1 so predstavljeni elementi MZI glede na njihov osnovni namen: zmanjševanje površinskega odtoka, zmanjševanje konice pretoka ali izboljšanje kakovosti vode. Hkrati je predstavljeno tudi, s katerim procesom (npr. infiltracija) in v kolikšni meri ukrep dosega posamezen namen ter katere ekosistemske storitve nudi.

**Preglednica 1:** Elementi modro-zelene infrastrukture ter njene funkcije in koristi.

Primarna funkcija ✓ Sekundarna funkcija ♦ Naključno + Dodatna korist	Zmanjšanje površinskega odtoka							Zmanjšanje konice površinskega odtoka		Izboljšanje kakovosti vode		
	Zbiranje deževnice	Prepustne utrjene površine	Zelena streha	Drevo	Deževni vrt	Ponikov-alnice	Zadrževalna kotanja	Ribnik	Grajeno mokrišče	Zatravljeni jarek	Filterni pas	Mehansko čiščenje
Količina površ. odtoka	Kratkotrajno zadrževanje	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Infiltracija	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
	Dolgotrajno zadrževanje			+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Evapotranspiracija	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hidrološka funkcija	Sedimentacija	+	+			+	+	+	+	+	+	+
	Filtracija	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Precejanje	+				+	+	+	+	+	+	+
	Nadaljnja obdelava (kemična)			+			+	+	+	+	+	+
Kakovost površ. odtoka	Nadaljnja obdelava (biološka)			+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Zivljenjsko okolje za živali				+	+	+	+	+	+	+	+
Ekosistemske storitve	Prijeten videz	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Ponovna uporaba površinskega odtoka	+					+	+	+	+	+	+
	Zagotavljanje dodatnih prepustnih površin		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Izboljšuje kakovost zraka		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Omogoča izobraževanje		+	+		+	+	+	+	+	+	+

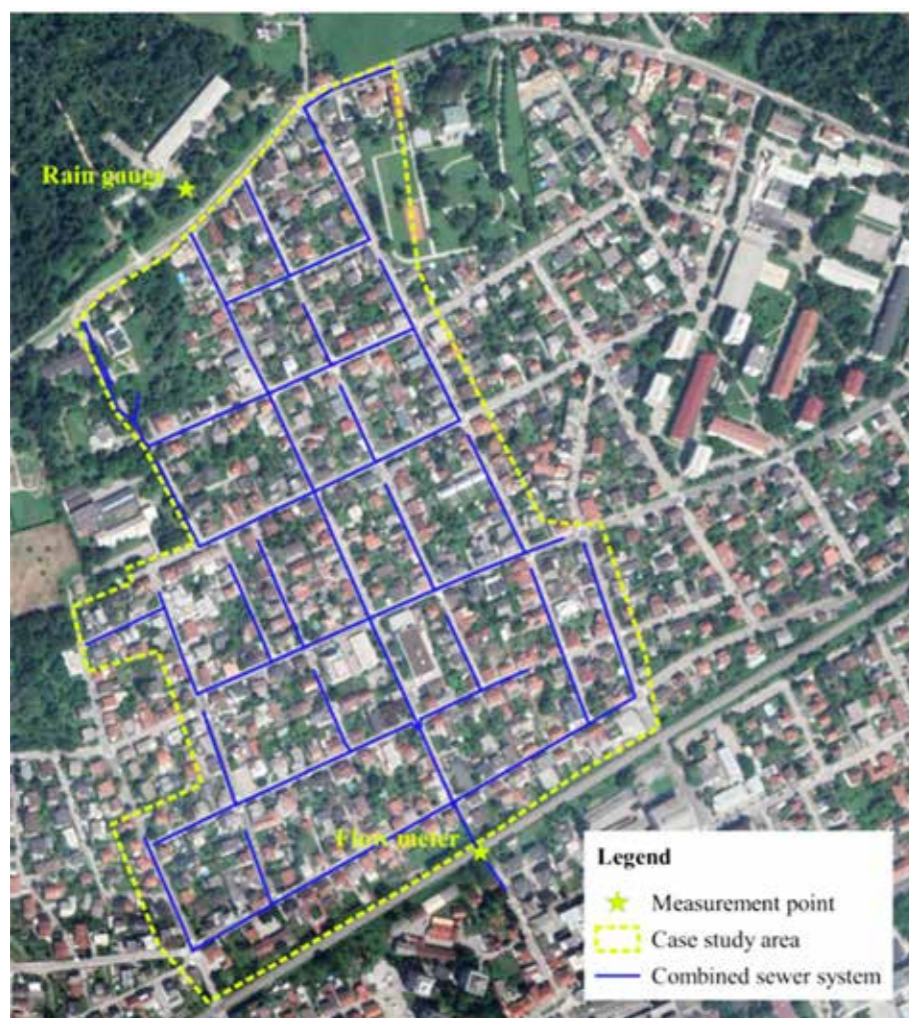
Vir: Povzeto po Collet et al., 2013.

#### 5.1 Modeliranje in vrednotenje modro-zelene infrastrukture

Za razliko od tradicionalnega pristopa, ki temelji na odvajanju in zadrževanju vode znotraj kanalizacijskega sistema, za MZI še niso uveljavljene smernice ter programska orodja, namenjena odločevalskemu procesu. Posledično so dodatne koristi MZI lahko spregledane, saj so procesi ocenjevanja variant različnih rešitev nejasni, poleg tega dolgoročno delovanje teh sistemov predstavlja za deležnike negotovost oz. tveganje. Čeprav nekatera modelska orodja že vključujejo module za modeliranje MZI z vidika hidravlike (npr. EPA-SWMM) in kakovosti vode, je področje dodatnih koristi, kot so dodana vrednost, biodiverziteteta ter dolgoročni vidiki stroškov in koristi, v ta orodja nezadostno vključeno (Chow et al., 2014).



V okviru doktorske raziskave (Radinja, 2022) je bila z namenom učinkovite avtomatizacije dveh kompleksnih nalog na področju urbane odvodnje, to sta kalibracija modelov površinske odvodnje in enokriterijska optimizacija ukrepov za obvladovanje padavinskih voda, zapisana domenska knjižnica znanja, ki omogoča uporabo orodja »Process-Based Modelling Tool« (ProBMoT). Za testno območje v Rožni dolini, Ljubljana (Slika 1), je bilo z orodjem ProBMoT načrtovanih 6 scenarijev ukrepov za obvladovanje padavinskih voda: bioretenzijske enote, deževni vrtovi, zelene strehe, infiltracijski jarki, suhi zadrževalniki in zadrževalni bazeni. Namen je bil zmanjšanje konice in skupnega volumna odtoka iz prispevnega območja glede na ciljni odtok; na primer enourne padavine s povratno dobo 25 let lahko povzročijo odtok, značilen le za enourne padavine s povratno dobo 5 let. Razliko zadržijo dimenzionirani ukrepi.



**Slika 1:** Obravnavano območje v Rožni dolini, Ljubljana.

Vir: Radinja, 2022.

Razvit je bil tudi pristop, ki uporabi kalibrirane vrednosti parametrov posameznih ukrepov za njihovo večkriterijsko vrednotenje (Preglednica 2). Rezultati so pokazali, da dosegajo v krajino vključeni ukrepi za obvladovanje padavinskih voda (tj. suhi zadrževalniki, infiltracijski jarki, deževni vrtovi, bioretenzijske enote) boljše ocene (1,44–2,24) od v objekte vključenih ukrepov za obvladovanje padavinskih voda (tj. zelene strehe in zbiralniki deževnice) (2,57–2,73)

ter sive infrastrukture (tj. podzemni zadrževalni bazeni) (3,48). Rezultati so potrdili učinkovitost uporabe avtomatiziranega modeliranja na področju modeliranja površinskega odtoka in optimalnega načrtovanja ukrepov za obvladovanje padavinskih voda.

**Preglednica 2:** Uspešnost ukrepov za obvladovanje padavinskih voda, ocenjenih z dodatnimi kriteriji.

Ukrep za obvladovanje padavinskih voda	Kriterij						Ocena večkriterijske analize (nižja vrednost – boljša ocena)
	Ekonomski vidik		Dodatne koristi				
	Investicijski stroški [€]	Stroški vzdrževanja [€]	Površina ukrepa [m <sup>2</sup> ]	Zadržana voda – ponovna uporaba [m <sup>3</sup> ]	Zadržana voda – vodni krog [m <sup>3</sup> ]	Prostor za rastline [%]	
Suhi zadrževalniki	330.012,29	16.448,93	1687	0	3765	10,0	1,44
Deževni vrtovi	775.704,87	29.169,53	4806	0	3271	20,0	1,83
Infiltracijski jarki	703.671,26	1.421,59	2347	0	3314	0,0	1,89
Bioretenzijske enote	1.368.431,32	39.448,29	6500	0	3382	20,0	2,24
Zbiralniki deževnice	1.178.101,23	96.617,57	1500	3300	0	0,0	2,57
Zelene strehe	8.448.316,37	38.636,78	0	0	0	20,0	2,73
Podzemni zadrževalni bazeni	3.465.287,91	114.527,50	0	0	0	0,0	3,48

Vir: Radinja, 2022.

## 6. STRATEŠKO UVAJANJE MODRO-ZELENE INFRASTRUKTURE

Da gre pri uvajanju MZI za svetovni trend, dokazujejo tuji primeri systemskega uvajanja MZI na mestni oz. nacionalni ravni iz Danske, Nizozemske, Kitajske ter ZDA. Skupno vsem primerom je povezovanje med vodarskim in prostorskim sektorjem z namenom celovitega načrtovanja MZI (Preglednica 3). Za oba evropska primera so glavni povod za spremembe predstavljale preteče podnebne spremembe ter obet vse pogostejših in intenzivnejših padavin, ki bodo povzročale poplave. Na drugi strani je bil povod za primera iz Kitajske in ZDA kakovost vodnih teles oz. negativen vpliv urbanizacije nanje. Vsem primerom je skupno spoznanje, da siva infrastruktura ne more ponuditi odgovorov za vse nastale in porajajoče se težave, kakor tudi, da ne prinaša ekosistemskih koristi. Uspešnost predstavljenih mest pri uvajanju MZI je pogojena tudi z razvojem ustreznih smernic in načrtovalskih orodij, ki nudijo strokovno pomoč njihovim načrtovalcem. Poleg tega jim je skupno tudi vključevanje vodarske stroke v proces prostorskega načrtovanja, ki z uporabo hidrološko-hidravličnih modelov: 1) identificira (trenutne in potencialne) kritične točke poplavne ogroženosti v urbanem prostoru ter s simulacijami ovrednoti vpliv posameznih scenarijev MZI na urbani vodni krog; 2) ovrednoti vpliv MZI na kakovost urbanega površinskega odtoka in posledično ekološko stanje odvodnikov (vodnih teles).

V slovenskem kontekstu zakonsko podlago za izdelavo strokovnih podlag ob pripravi občinskih prostorskih načrtov, ki bi identificirale ustrezne ukrepe in jih umestile v prostor, že omogoča Zakon o urejanju prostora. Vendar se v praksi tovrstne študije za področje urbane odvodnje praviloma ne izdelujejo. Poleg tega lahko predlog ukrepov, predvsem pri posegih zunaj kana-



lizacijskega omrežja, vpliva na pogoje gradnje novih objektov v prostorskih aktih (npr. delež zelenih površin, zadrževanje in ponovna uporaba padavinske vode s streh). A ravno rezervacija prostora za izvedbo MZI pogosto ni zaželena, saj je prostor za investitorje dragocen.

**Preglednica 3:** Elementi modro-zelene infrastrukture (MZI) ter njene funkcije in koristi.

	Kopenhagen, Danska	Rotterdam, Nizozemska	Kitajska, 30 pilotnih mest	Filadelfija, ZDA
<b>Povod</b>	Poplave, podnebne spremembe (PS)	Poplave, podnebne spremembe	Onesnaženost vodnega okolja, poplave	Onesnaženost vodnega okolja
<b>Ime in leto sprejetja programa</b>	Copenhagen Climate Adaptation Plan, 2011; Cloudburst Management Plan, 2012	Rotterdam Climate Change Adaptation Strategy, 2013	Sponge City Programme, 2014	Green City, Clean Waters, 2011
<b>Cilj</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preprečiti odtok iz več kot 1/3 utrjenih površin v kanalizacijski sistem.</li> <li>Ob 100-letnem naliivu maks. 10 cm vode na površju.</li> </ul>	Popolna odpornost mesta na PS do leta 2025.	Do leta 2030 naj bi se na 80 % urbanih območjih najmanj 70 % padavin infiltriralo ali ponovno uporabilo.	V 25 letih preprečiti odtok iz več kot 1/3 utrjenih površin v kanalizacijski sistem.
<b>Razvite smernice in načrtovalska orodja kot odziv na zaznane probleme</b>	1) <i>Copenhagen Cloudburst Formula</i> (smernice za strateško načrtovanje MZI); 2) <i>Copenhagen Cloudburst Toolkit</i> (katalog tipskih elementov MZI).	1) <i>Interactive Climate atlas</i> (atlas prikazuje predvidene posledice PS za posamezno lokacijo ob različnih scenarijih); 2) <i>Climate adaptation barometer</i> (orodje, namenjeno mestni upravi za oblikovanje strategije prilagajanja PS in sledenje njenemu izvajanju); 3) <i>Climate adaptation toolbox</i> (načrtovalsko orodje, ki nudi potencialne prilagoditvene ukrepe, na različnih ravneh urejanja prostora).	1) <i>Code of the Design of Urban Green Space</i> (zakon, usklajen s smernicami za spužvasta mesta, s poudarkom na usklajenem pristopu za načrtovanje urbanih zelenih površin); 2) <i>Code for Design of Urban Road Engineering</i> (zakon, usklajen s smernicami za spužvasta mesta, vsebuje poglavje o MZI); 3) <i>Assessment Standard for Sponge City Effects</i> (tehnični standard za vrednotenje učinkov spužvastih mest).	1) <i>Stormwater Management Guidance Manual</i> (smernice za načrtovanje MZI, katalog tipskih elementov MZI); 2) <i>A Homeowner's Guide to Stormwater Management</i> (priporočila gospodinjstvom za upravljanje s padavinsko vodo).

Vir: Radinja, 2021.

## 7. ZAKLJUČEK

Odvajanje padavinske vode z urbanih površin je kompleksno, njegovo celovito urejanje pa zahteva predvsem ukrepe zunaj kanalizacijskega sistema, ki jih v Sloveniji sistemsko še ne vključujemo v prostorsko načrtovanje. Za konec prispevka Ministrstvu za okolje in prostor podajamo predloge sistemskih rešitev, ki bi omogočili nadgradnjo obstoječih kanalizacijskih sistemov z modro-zelena infrastrukturo (MZI):

- Določitev ukrepov za varstvo pred škodljivim delovanjem padavinskih voda (vključno z MZI), ki bodo podprti s standardi in tehničnimi smernicami, v skladu z 92. členom Zakona o vodah.

- Sprejetje operativnega programa za »nadgradnjo« trenutnih sistemov urbane odvodnje z mehanizmi za zagotavljanje evropskih in nacionalnih finančnih sredstev.
- Določitev kazalnikov za spremljanje stanja urbane odvodnje in njihove ciljne vrednosti (npr. delež utrjenih površin, ki ne prispevajo površinskega odtoka v kanalizacijo) ter njihova vključitev v poročevalske sisteme javnih služb varstva okolja kot tudi v Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode. Obstoječe baze podatkov bi kazalo ustrezno nadgraditi za uporabo pri določanju kazalnikov.
- Predpisati hidrološko-hidravlične študije urbane odvodnje za različne scenarije podnebnih sprememb kot obvezno strokovno podlago za izdelavo ali novelacijo občinskih prostorskih načrtov (OPN) na območju naselij. Na podlagi teh študij lahko tudi občine prilagodijo pogoje za gradnjo (npr. faktor zazidanosti, delež zelenih površin) tako, da bi pri novogradnjah vedno lahko zagotovili dovolj prostora za implementacijo MZI.
- Preverjanje pripravljenosti lokalnih skupnosti na nevarne dogodke zaradi padavinskih voda, skladno z zakonodajo o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami, ter ali se pripravljenost izboljšuje.

Ob odsotnosti systemskega urejanja tega področja na nacionalni ravni naj občine v čim večji meri samoiniciativno pristopijo k izvajanju ukrepov, ki jih lahko izvajajo/zahtevajo v okviru svojih pristojnosti (npr. izdelava hidrološko-hidravličnih študij urbane odvodnje) ob umeščanju objektov v prostor.

## Zahvala

Zahvaljujemo se Agenciji Republike Slovenije za okolje za posredovane podatke in slikovno gradivo obravnavanih padavinskih dogodkov.

## LITERATURA IN VIRI

- 24ur.com, 2021. Dostopno na: <https://www.24ur.com/novice/slovenija/v-neurju-poskodovane-sole-in-vrtci-na-ljubljanskih-cestah-za-100000-evrov-skode.html> [20. 7. 2022].
- Agencija Republike Slovenije za okolje, 2021a. Podnebne spremembe 2021, Fizikalne osnove in stanje v Sloveniji, Poročilo IPCC 2021. Ljubljana, ARSO. Dostopno na: [https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/2021\\_11-Poro%C4%8Dilo%20IPCC%20Podnebje%202021.pdf](https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/2021_11-Poro%C4%8Dilo%20IPCC%20Podnebje%202021.pdf) [12. 10. 2021].
- Agencija Republike Slovenije za okolje, 2021b. Neurja 29. septembra 2021. Dostopno na: [https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather\\_events/neurja\\_29sep2021.pdf](https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/neurja_29sep2021.pdf) [12. 10. 2021].
- Agencija Republike Slovenije za okolje, 2022a. Povratne dobe za ekstremne padavine (Projekt CROS-SRISK). Dostopno na: <https://crossrisk.eu/sl/climate> [20. 7. 2022].
- Agencija Republike Slovenije za okolje, 2022b. Vročina in neurja med 26. junijem in 5. julijem 2022. Dostopno na: [https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather\\_events/vrocina-neurja\\_26jun-5jul2022.pdf](https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/vrocina-neurja_26jun-5jul2022.pdf) [20. 7. 2022].
- Chow, J. F., Savić, D., Fortune, D., Kapelan, Z. in Mebrate, N., 2014. Using a systematic, multi-criteria decision support framework to evaluate sustainable drainage designs. *Procedia Engineering*, 70, pp. 343–352. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.02.039.
- Collett, B., McCown, K. in Wall, S., 2013. Low impact development: Opportunities for the PlanET region. Dostopno na: [https://issuu.com/utkcoad/docs/2013\\_0807\\_-\\_lid\\_opportunities\\_for\\_t](https://issuu.com/utkcoad/docs/2013_0807_-_lid_opportunities_for_t) [19. 9. 2019].



8. Globevnik, L. in Simoneti, M., 2020. Obvladovanje vode v mestih – naša skupna skrb. Slovenski vodar, 30, str. 11–14.
9. Klemen, K., Pergar, P., Futar, M., Bevc Šekoranja, B. in Konda, K., 2020. Problematika načrtovanja sonaravnih ukrepov za celovito upravljanje padavinskih voda na urbanih območjih. Gradbeni vestnik, 69, str. 61–92.
10. Krajnc, U., 2019. Podnebne spremembe in poplavna ogroženost urbanih območij z lastnimi padavinskimi vodami. Gradbeni vestnik, 68, str. 109–132.
11. Lamond, J. in Everett, G., 2019. Sustainable Blue-Green Infrastructure: A social practice approach to understanding community preferences and stewardship. Landscape and Urban Planning, 191, 103639. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2019.103639.
12. Liao, K-H., Deng, S. in Tan, P., 2017. Blue-green infrastructure: New frontier for sustainable urban stormwater management. In: Tan, P. in Jim, C. (eds.) Greening cities. Forms and Functions, pp. 203–226. Singapore, Springer. DOI: 10.1007/978-981-10-4113-6\_10.
13. Liu, H., Jia, Y. in Niu, C., 2017. "Sponge city" concept helps solve China's urban water problems. Environmental Earth Sciences, 76, 473. DOI: 10.1007/s12665-017-6652-3.
14. Ministrstvo za okolje in prostor, 2020. Strategija prostorskega razvoja Slovenije 2050: Osnutek dokumenta v javni razpravi. Ljubljana. Dostopno na: [https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Prostorski-razvoj/SPRS/SPRS-2050\\_gradivo-za-javno-razpravo.pdf](https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Prostorski-razvoj/SPRS/SPRS-2050_gradivo-za-javno-razpravo.pdf) [20. 1. 2020].
15. Panjan, J., 1986. Hidravlična študija kritičnih pretokov na zbiralniku A0, št. proj. 1235/5, DO VODOVOD-KANALIZACIJA Ljubljana.
16. Philadelphia Water Department, 2011. Green city, clean waters – implementation and adaptive management plan. Filadelfija, Pensilvanija, ZDA.
17. Philadelphia Water Department, 2014. Stormwater management guidance manual. Philadelphia. Filadelfija, Pensilvanija, ZDA.
18. Radinja, M., 2022. Avtomatizirano modeliranje in načrtovanje ukrepov za obvladovanje padavinskih voda v urbanih območjih: doktorska disertacija. Ljubljana: UL FGG.
19. Radinja, M., Atanasova, N. in Zavodnik Lamovšek, A., 2021. Vodarski pogled na uvajanje modro-zelene infrastrukture v mestih. Urbani izziv, leto 32, št. 1, junij 2021: 28–39.
20. Ravnikar, Ž. in Goličnik Marušič, B., 2019. Na naravi temelječe rešitve: predstavitev projekta Connecting nature. Urbani izziv, 30, str. 72–74.
21. Rotterdam Climate Initiative, 2013. Climate change adaptation strategy. Dostopno na: [http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/UB\\_RAS\\_EN\\_lr.pdf](http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/UB_RAS_EN_lr.pdf) [20. 1. 2021].
22. Sistem za Poročanje o Intervencijah in Nesrečah (SPIN), 2022. Dostopno na: <https://spin3.sos112.si/javno/zemljevid> [10. 7. 2022].
23. Štajdohar, M., 2016. Vpliv sonaravnih ukrepov na hidrogram odtoka z urbaniziranega prispevnega območja. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, FGG, 115 str.
24. Šušteršič, N., 2012. Zadrževanje prvega vala padavinske vode v kanalizacijskem sistemu. Zbornik druge problemske konference komunalnega gospodarstva. Podčetrtak, 27. in 28. september 2012.
25. The City of Copenhagen, 2011. Copenhagen climate adaptation plan. Dostopno na: [https://en.klimatilpasning.dk/media/568851/copenhagen\\_adaption\\_plan.pdf](https://en.klimatilpasning.dk/media/568851/copenhagen_adaption_plan.pdf) [12. 4. 2019].
26. The City of Copenhagen, 2012. The city of Copenhagen. Cloudburst management plan 2012. Dostopno na: [https://en.klimatilpasning.dk/media/665626/cph\\_-\\_cloudburst\\_management\\_plan.pdf](https://en.klimatilpasning.dk/media/665626/cph_-_cloudburst_management_plan.pdf) [12. 4. 2019].
27. Voda, Glasilo javnega podjetja Vodovod-Kanalizacija Ljubljana: Kanalizacija in padavine, letnik 10, št. 38, december 2003. Dostopno na: [https://www.vokasnaga.si/sites/www.jhl.si/files/vo\\_ka\\_si/stran/dato-teke/467\\_bilte\\_voda\\_st\\_38\\_december\\_2003.pdf](https://www.vokasnaga.si/sites/www.jhl.si/files/vo_ka_si/stran/dato-teke/467_bilte_voda_st_38_december_2003.pdf) [16. 8. 2022].
28. Yin, D., Chen, Y., Jia, H., Wang, Q., Chen, Z., Xu, C. et al., 2021. Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. Journal of Cleaner Production, 280(2921), 124963. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124963.

## LITERATURA IN VIRI

1. ARSO, 2021. Monitoring vodotokov za iztoki iz komunalnih in industrijskih čistilnih naprav. Poročilo za leto 2020. Dostopno na: <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/ARSO/Vode/Stanje-voda/Porocilo-o-ekoloskem-stanju-vodotokov-za-iztoki-iz-cistilnih-naprav-za-leto-2020.pdf> [22. 7. 2022].
2. Lapanje, A. 2006. Izvor in kemijska sestava termalnih in termomineralnih vod v Sloveniji. V: Zbornik povzetkov. 2. slovenski geološki kongres, Idrija, 26.–28. september 2006. Idrija, Rudnik živega srebra v zapiranju: 347–370.
3. Štupnikar, N. in Urbanič, G., 2007. Dopolnitev mejnih vrednosti BPK<sub>5</sub> za vrednotenje ekološkega stanja rek. V: Urbanič, G. Ekološko stanje rek, poročilo o delu za leto 2007. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije, 4–32.
4. Štupnikar, N. in Urbanič, G., 2012. Metodologija vrednotenja ekološkega stanja s podpornimi splošnimi fizikalno-kemijskimi elementi za vrednotenje stanja hranil (celotni fosfor). Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije.
5. Štupnikar, N. in Urbanič, G., 2014. Predlog določitve mejnih vrednosti za parameter nitrat. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije.



## METTLER TOLEDO



## Intelligentne rešitve za vse laboratorijske aplikacije

METTLER TOLEDO precizni instrumenti so bistvo laboratorijev povsod po svetu. Naš širok izbor izdelkov vam omogoča fleksibilnost in preciznost pri vsaki aplikaciji.

- Tehtanje
- Titracije
- Meritve pH
- Karakterizacija materialov
- Fizične lastnosti
- Pipetiranje
- UV/VIS spektroskopija
- Avtomatizirana kemija
- Programska oprema
- Servisne storitve in kalibracija



► [www.mt.com/lab](http://www.mt.com/lab)

## SPREMLJANJE VPLIVA KOMUNALNIH IN INDUSTRIJSKIH ČISTILNIH NAPRAV NA EKOLOŠKO STANJE VODOTOKOV V SLOVENIJI

dr. ALEKSANDRA KRIVOGRAD KLEMENČIČ<sup>1</sup>, TADEJA ŠTER<sup>2</sup>,  
dr. URŠKA KUCHAR<sup>3</sup>, BERNARDA ROTAR<sup>4</sup>, KATARINA NOVAK<sup>5</sup>, TJAŠA MUC<sup>6</sup>,  
BRIGITA JESENOVEC<sup>7</sup>, IRENA CVITANIČ<sup>8</sup>, dr. NATAŠA DOLINAR<sup>9</sup>

### Povzetek

V letu 2020 smo na Agenciji Republike Slovenije za okolje spremljali vpliv 30 komunalnih čistilnih naprav in 7 industrijskih čistilnih naprav na 55 vzorčnih mestih na vodotokih, ki se nahajajo na 19 različnih vodnih telesih površinskih voda. Glede na splošne fizikalno-kemijske elemente kakovosti so rezultati na 21 vzorčnih mestih pokazali zmerno ekološko stanje, na 9 dobro ekološko stanje in na 7 zelo dobro ekološko stanje. Na 18 vzorčnih mestih ekološkega stanja ne moremo oceniti, ker nimajo določenega ekološkega tipa. Rezultati monitoringa so pokazali najslabše stanje v severovzhodni Sloveniji, kjer so vodotoki zaradi kmetijstva že sicer čezmerno obremenjeni z organskimi snovmi in hranili ter drugo rabo voda, kar se odraža v zmernem ali slabšem ekološkem stanju voda v regiji. V prispevku predstavljeni rezultati so v podporo, da se ugotovijo vzroki za nedoseganje ciljev vodne direktive in s tem načrtujejo ustrezni ukrepi za doseganje dobrega ekološkega stanja voda.

**Ključne besede:** ekološko stanje, industrijske čistilne naprave, komunalne čistilne naprave, posebna onesnaževala, splošni fizikalno-kemijski elementi kakovosti, vodotoki.

### Abstract

In 2020, Slovenian environment agency monitored the impact of 30 municipal and seven industrial wastewater treatment plants at 55 sampling sites on watercourses located on 19

- 1 Dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič, Urad za stanje okolja, Sektor za ekološko stanje voda, Agencija Republike Slovenije za okolje
- 2 Tadeja Šter, Urad za stanje okolja, Sektor za ekološko stanje voda, Agencija Republike Slovenije za okolje
- 3 Dr. Urška Kuhar, Urad za stanje okolja, Sektor za ekološko stanje voda, Agencija Republike Slovenije za okolje
- 4 Bernarda Rotar, Urad za stanje okolja, Sektor za ekološko stanje voda, Agencija Republike Slovenije za okolje
- 5 Katarina Novak, Urad za stanje okolja, Sektor za ekološko stanje voda, Agencija Republike Slovenije za okolje
- 6 Tjaša Muc, Urad za stanje okolja, Sektor za ekološko stanje voda, Agencija Republike Slovenije za okolje
- 7 Brigita Jesenovec, Urad za stanje okolja, Sektor za kemijsko stanje voda, Agencija Republike Slovenije za okolje
- 8 Irena Cvitanič, Urad za stanje okolja, Sektor za kemijsko stanje voda, Agencija Republike Slovenije za okolje
- 9 Dr. Nataša Dolinar, Urad za stanje okolja, vodja Sektorja za ekološko stanje voda, Agencija Republike Slovenije za okolje



different surface water bodies. Regarding the physico-chemical quality elements the results showed moderate ecological status at 21 sampling sites, good ecological status at nine and very good ecological status at seven sampling sites. At 18 sampling sites the ecological status cannot be assessed due to the absence of ecological type. The results of the monitoring showed the worst situation in northeastern Slovenia, where watercourses are, due to agriculture, already excessively loaded with organic compounds and nutrients and other water use, which is reflected in moderate or worse ecological status of the waters in the region. The results presented in this paper are in support of determining the reasons for not achieving the goals of the water directive and in planning appropriate measures to achieve a good ecological status of surface waters.

**Keywords:** ecological status, general physico-chemical quality elements, industrial treatment plants, municipal treatment plants, rivers, specific pollutants.

## 1. UVOD

Na podlagi 12. člena Uredbe o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (Uradni list RS, št. 98/15, 76/17, 81/19, 194/21) ter 11. člena Pravilnika o monitoringu stanja površinskih voda (Uradni list RS, št. 10/09, 81/11, 73/16) na Agenciji Republike Slovenije za okolje izvajamo letni monitoring splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti in posebnih onesnaževal za vrednotenje ekološkega stanja vodotokov nad in pod iztoki iz komunalnih (KČN) in industrijskih čistilnih naprav (IČN). Namen monitoringa je spremljanje vpliva izbranih KČN in IČN na ekološko stanje vodotokov ter na ta način ugotoviti vzroke za nedoseganje ciljev vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES) oziroma za nedoseganje dobrega ekološkega stanja vodotokov. V prispevku so predstavljeni rezultati letnega monitoringa splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti in posebnih onesnaževal za spremljanje vpliva KČN in IČN na vodotoke za leto 2020.

## 2. VZORČNA MESTA

Monitoring ekološkega stanja vodotokov za namen spremljanja vpliva KČN in IČN je v letu 2020 potekal na 55 vzorčnih mestih vodotokov (Preglednica 3), v katere se odvajajo odpadne vode KČN in IČN. Vzorčna mesta se nahajajo na 19 različnih vodnih telesih. Do vključno leta 2018 je monitoring ekološkega stanja za namen spremljanja KČN potekal le na vzorčnih mestih dolvodno od spremljane KČN. Za namen pridobitve informacije o dejanskem vplivu KČN na vodotok smo v letu 2020 vzpostavili 18 vzorčnih mest tudi nad KČN. Vzorčna mesta za spremljanje vpliva IČN se nahajajo le dolvodno od spremljane IČN. Monitoring je zajemal splošne fizikalno-kemijske elemente kakovosti ter posebna onesnaževala. Vzorčna mesta pod iztoki čistilnih naprav smo določili vsaj 200 metrov dolvodno od iztoka, kjer je predvidoma doseženo premešanje (iztoka) odpadnih vod z vodotokom oziroma je dosežena cona premešanja.

## 3. VREDNOTENJE EKOLOŠKEGA STANJA VODOTOKOV

Ekološko stanje vodotokov skladno z vodno direktivo vrednotimo na podlagi bioloških, hidromorfoloških ter kemijskih in fizikalno-kemijskih elementov kakovosti, ki se delijo na splošne fizikalno-kemijske elemente kakovosti ter posebna onesnaževala.

Vodno telo oziroma vzorčno mesto na podlagi bioloških elementov kakovosti razvrstimo v enega od petih razredov kakovosti ekološkega stanja (zelo dobro, dobro, zmerno, slabo in zelo slabo ekološko stanje) ter na podlagi splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti in posebnih onesnaževal v enega od treh razredov kakovosti ekološkega stanja (zelo dobro, dobro in zmerno ekološko stanje). Kombiniranje ocen ekološkega stanja, določenih s posameznimi elementi kakovosti, poteka po načelu »slabši določi stanje«, kar pomeni, da je končna ocena ekološkega stanja najslabša med ocenami, določenimi s posameznimi elementi kakovosti.

Za namen spremljanja vplivov točkovnih virov obremenitev so najprimernejši splošni fizikalno-kemijski parametri in posebna onesnaževala, izbrani na podlagi poznavanja obremenitev. Na vzorčnih mestih, navedenih v preglednici 3, smo v letu 2020 spremljali naslednje splošne fizikalno-kemijske parametre in onesnaževala: temperatura vode, vsebnost kisika v vodi, nasičenost vode s kisikom, kemijska potreba po kisiku, biokemijska potreba po kisiku (BPK<sub>5</sub>), električna prevodnost, pH, suspendirane snovi po sušenju, celotni dušik, amonijak, amonij, nitrit, nitrat, sulfat, klorid, fluorid, celotni fosfor in ortofosfat.

Vzorčenje in analize so bile v letu 2020 na posameznem vzorčnem mestu izvedene vsaj šestkrat v enakomernih časovnih presledkih. Izjemi sta VM Kopica – pod IČN Petišovci, kjer je bilo zaradi nizkega vodostaja in zastajanja vode v strugi vzorčenje izvedeno le trikrat, ter VM Črnc-Beltinci, kjer je bilo zaradi presihanja potoka vzorčenje izvedeno štirikrat.

Oceno ekološkega stanja vodotokov na podlagi splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti in posebnih onesnaževal podajamo na podlagi parametrov, za katere so določene mejne vrednosti za vrednotenje ekološkega stanja (Preglednici 1 in 2), skladno z metodologijami vrednotenja ekološkega stanja vodotokov ter Uredbo o stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13 in 24/16). Mejne vrednosti so določene za splošne fizikalno-kemijske parametre kakovosti BPK<sub>5</sub>, celotni fosfor in nitrat ter posebni onesnaževali sulfat in fluorid.



**Preglednica 1:** Mejne vrednosti za zelo dobro/dobro (ZD/Z) in dobro/zmerno (D/Z) ekološko stanje za splošne fizikalno-kemijske parametre biokemijska potreba po kisiku (BPK<sub>5</sub>), celotni fosfor in nitrat za ekološke tipe vodotokov, na katerih je bil v letu 2020 izveden monitoring nad in pod iztoki čistilnih naprav.

Ekološki tip	BPK <sub>5</sub> (mg/L)		Celotni fosfor (mg P/L)		Nitrat (mg NO <sub>3</sub> /L)	
	ZD/D	D/Z	ZD/D	D/Z	ZD/D	D/Z
R_SI_3_Vip-Brda_1	1,9	4,4	0,05	0,15	4	20
R_SI_4_PA-hrib-D_1	1,9	4,4	0,02	0,05	3	11
R_SI_4_SI-AL_1	1,9	4,4	0,02	0,05	3	11
R_SI_4_VR1-AL-Sa	1,9	4,4	0,05	0,1	6	25
R_SI_5_PD-hrib-ravni_1	1,9	4,4	0,02	0,1	4	20
R_SI_11_PN-gric_1	1,9	4,4	0,05	0,15	4	20
R_SI_11_PN-gric_2	1,9	4,4	0,1	0,2	6	25
R_SI_11_PN-KrBr-kotl_1	1,9	4,4	0,05	0,15	4	20
R_SI_11_PN-zALvpliv_1	1,9	4,4	0,05	0,15	4	20
R_SI_11_VR7-Kk	1,9	4,4	0,05	0,1	6	25
R_SI_11_VR8-medAL-Dr	2,4	5,4	0,05	0,1	6	25
R_SI_11_VR9-Mu-ravDr	2,4	5,4	0,05	0,1	6	25

**Preglednica 2:** Mejne vrednosti razredov ekološkega stanja za posebni onesnaževali – fluorid in sulfat.

	Zelo dobro	Dobro	Dobro
	LP	LP	NDK
Fluorid (µg/L)	68	680	6800
Sulfat (mg SO <sub>4</sub> /L)	15	150	ni določena

Opomba: LP – letna povprečna vrednost parametra v vodi, NDK – največja dovoljena koncentracija parametra v vodi.

#### 4. REZULTATI MONITORINGA IN OCENA EKOLOŠKEGA STANJA

Rezultati meritev izbranih splošnih fizikalno-kemijskih parametrov in posebnih onesnaževal na vzorčnih mestih iz preglednice 3 so podrobneje prikazani v poročilu Monitoring vodotokov za iztoki iz komunalnih in industrijskih čistilnih naprav, poročilo za leto 2020 (ARSO, 2021).

Biokemijska potreba po kisiku (BPK<sub>5</sub>) je eden glavnih pokazateljev organskega onesnaženja vode. Njene vrednosti v vodotokih so navadno povišane zaradi vpliva izpustov komunalne in industrijske odpadne vode ter spiranja s kmetijskih površin. Značilne vrednosti BPK<sub>5</sub> za slovenske vodotoke so do 1,4 mg O<sub>2</sub>/L (Štupnikar in Urbanič, 2007). Nitrat in fosfor sta glavni hranili, potrebni za rast alg, mahov in vodnih rastlin v vodotokih. V neobremenjenih vodnih telesih sta omenjeni hranili prisotni v zelo nizkih koncentracijah, ki so odvisne od geološke sestave in tipa prsti v porečju. Značilne vrednosti nitrata za slovenske vodotoke so do 3,9 mg NO<sub>3</sub>/L (Štupnikar in Urbanič, 2014) in celotnega fosforja do 0,04 mg P/L (Štupnikar in Urbanič, 2012). Presežki hranil v vodah povzročajo evtrofikacijo, kar je bolj izrazito v stoječih in počasi tekočih vodah.

Kar 18 vzorčnih mest (Preglednica 3) leži na vodotokih s prispevno površino, manjšo od 10 km<sup>2</sup>. Ker je to meja, pod katero ekološkega tipa vodotoka ne določamo, na teh vzorčnih mestih ekološkega stanja na podlagi splošnih fizikalno-kemijskih parametrov nismo mogli oceniti. V preglednici 3 smo tako oceno ekološkega stanja na podlagi parametrov BPK<sub>5</sub>, nitrat in celotni fosfor podali za 37 vzorčnih mest, medtem ko smo oceno ekološkega stanja na podlagi posebnih onesnaževal podali za vsa vzorčna mesta.

Zmerno ekološko stanje na podlagi splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti smo ugotovili na 21 vzorčnih mestih, na katerih smo spremljali vpliv 15 KČN oziroma IČN. Od tega se 19 vzorčnih mest (91 %) nahaja v severovzhodnem delu Slovenije v porečjih Mure in Drave ter po eno vzorčno mesto v porečju Save in Soče (Slika 1). Na 18 vzorčnih mestih smo ugotovili presežanje mejnih vrednosti za dobro stanje za parameter BPK<sub>5</sub>, na 14 vzorčnih mestih presežanje mejnih vrednosti za dobro stanje za parameter celotni fosfor in na 3 vzorčnih mestih presežanje mejnih vrednosti za dobro stanje za parameter nitrat.

Glede na parameter BPK<sub>5</sub> smo 18 vzorčnih mest (33 %) uvrstili v zmerno, 2 vzorčni mesti v dobro (4 %) in 17 vzorčnih mest (31 %) v zelo dobro ekološko stanje. Glede na parameter celotni fosfor smo 14 vzorčnih mest (26 %) uvrstili v zmerno, 14 vzorčnih mest v dobro (26 %) in 9 vzorčnih mest (16 %) v zelo dobro ekološko stanje. Glede na parameter nitrat smo tri vzorčna mesta uvrstili v zmerno (6 %), 18 vzorčnih mest v dobro (33 %) in 16 vzorčnih mest v zelo dobro (29 %) ekološko stanje.

Na podlagi analiz posebnih onesnaževal, sulfata in fluorida, za katera so določene mejne vrednosti za vrednotenje ekološkega stanja v skladu s predpisi, ki urejajo monitoring površinskih voda, smo dve vzorčni mesti uvrstili v zmerno ekološko stanje, in sicer zaradi presežanja mejne vrednosti za fluorid. To sta vzorčni mesti nad in pod KČN Terme Banovci. Presežanje mejne vrednosti za fluorid je najverjetneje posledica izkoriščanja s fluoridom bogatega termalnega vrelca v Termah Banovci (Lapanje, 2006). Na podlagi sulfata smo vsa vzorčna mesta uvrstili v dobro ali zelo dobro ekološko stanje.

Z namenom lažjega ovrednotenja dejanskega vpliva KČN na ekološko stanje vodotokov smo v letu 2020 izvedli monitoring na 18 vzorčnih mestih nad KČN. Rezultati monitoringa so pokazali čezmerno onesnaženje oziroma zmerno ekološko stanje nad in pod KČN Turnišče, KČN Murska Sobota, KČN Radenci, KČN Odranci in KČN Dornava, kar kaže na prisotnost dodatnih virov onesnaženja Ledave, Boračevskega potoka, vodotokov Črnc in Pesnice, poleg iztokov KČN.



**Preglednica 3:** Ekološko stanje na podlagi splošnih fizikalno-kemijskih parametrov kakovosti ter posebnih onesnaževal (PO) za vzorčna mesta, vključena v program monitoringa za leto 2020 za namen spremljanja vpliva komunalnih (KČN) in industrijskih čistilnih naprav (IČN) na ekološko stanje vodotokov.

Šifra VT	Vodotok	Vzorčno mesto	Ekološki tip	Spremljana KČN/IČN	BPK <sub>5</sub>	Celotni fosfor	Nitrat	PO
SI43VT10	SELNICA	nad KČN Selnica ob Muri	nima tipa	KČN Selnica ob Muri	+	+	+	dobro
SI43VT10	SELNICA	Selnica	nima tipa	KČN Selnica ob Muri	+	+	+	dobro
SI43VT30	MURICA	nad KČN Terme Banovci	nima tipa	KČN Terme Banovci	+	+	+	zmerno
SI43VT9	MURICA	Banovci	nima tipa	KČN Terme Banovci	+	+	+	zmerno
SI442VT91	LEDAVA	nad Mursko Soboto	R_SI_11_PN-gric_2	KČN Murska Sobota	zmerno	dobro	zelo dobro	dobro
SI442VT91	LEDAVA	pod KČN Murska Sobota	R_SI_11_PN-gric_2	KČN Murska Sobota	zmerno	zmerno	dobro	dobro
SI442VT91	LEDAVA	nad KČN Turnišče	R_SI_11_PN-gric_2	KČN Turnišče	zmerno	zmerno	dobro	dobro
SI442VT91	LEDAVA	Nedelica	R_SI_11_PN-gric_2	KČN Turnišče	zmerno	zmerno	dobro	dobro
SI3VT359	DRAVA	nad KČN Muta (Industrijska cona)	R_SI_11_VR8-medAL-Dr	KČN Muta (Industrijska cona)	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro	dobro
SI3VT359	DRAVA	Muta	R_SI_11_VR8-medAL-Dr	KČN Muta (Industrijska cona)	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro	dobro
SI3VT359	SLEPNICA	Lovrenc na Pohorju	R_SI_4_SI-AL_1	KČN Lovrenc na Pohorju	zelo dobro	zmerno	dobro	zelo dobro
SI3VT359	RADOLJNA	nad KČN Lovrenc na Pohorju	R_SI_4_SI-AL_1	KČN Lovrenc na Pohorju	zelo dobro	dobro	zelo dobro	zelo dobro
SI3VT359	RADOLJNA	Puščava	R_SI_4_SI-AL_1	KČN Lovrenc na Pohorju	dobro	zmerno	dobro	zelo dobro
SI3VT359	BISTRICA	nad KČN Bistrica ob Dravi	R_SI_4_SI-AL_1	KČN Bistrica ob Dravi	zelo dobro	dobro	dobro	zelo dobro
SI3VT359	BISTRICA	Bistrica ob Dravi	R_SI_4_SI-AL_1	KČN Bistrica ob Dravi	zmerno	zmerno	dobro	zelo dobro
SI3VT970	PUŠENSKI POTOK	nad KČN Ormož	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Ormož	zelo dobro	dobro	dobro	dobro
SI3VT970	PUŠENSKI POTOK	Pušenci	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Ormož	zmerno	zmerno	dobro	dobro
SI36VT90	ROGATNICA	nad KČN Žetale	nima tipa	KČN Žetale	+	+	+	dobro
SI36VT90	ROGATNICA	Žetale	nima tipa	KČN Žetale	+	+	+	dobro
SI38VT90	PESNICA	nad KČN Dornava	R_SI_11_PN-gric_2	KČN Dornava	zmerno	dobro	zelo dobro	dobro
SI38VT90	PESNICA	Dornava	R_SI_11_PN-gric_2	KČN Dornava	zmerno	dobro	zelo dobro	dobro
SI38VT90	DRVANJA	nad KČN Benedikt	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Benedikt	zelo dobro	dobro	dobro	dobro
SI38VT90	DRVANJA	Obrat	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Benedikt	zmerno	zmerno	zelo dobro	dobro
SI1VT310	SAVA	nad KČN Brod	R_SI_4_VR1-AL-Sa	KČN Brod	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro
SI1VT310	SAVA	Gameljne	R_SI_4_VR1-AL-Sa	KČN Brod	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro
SI148VT5	GRADAŠČICA	nad KČN Šujica	R_SI_4_PA-hrib-D_1	KČN Šujica	zelo dobro	zelo dobro	dobro	zelo dobro
SI148VT5	GRADAŠČICA	Stranska vas	R_SI_4_PA-hrib-D_1	KČN Šujica	zelo dobro	zelo dobro	dobro	zelo dobro
SI681VT	REKA	nad KČN Dobrovo (Vinska klet)	nima tipa	KČN Dobrovo (Vinska klet)	+	+	+	dobro
SI681VT	REKA	Fojana	R_SI_3_Vip-Brda_1	KČN Dobrovo (Vinska klet); IČN Vinska klet Goriška Brda	zmerno	dobro	zelo dobro	dobro
SI43VT30	BORAČEVSKI POTOK	nad KČN Radenci	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Radenci	zmerno	dobro	dobro	dobro
SI43VT30	BORAČEVSKI POTOK	Radenci	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Radenci	zmerno	zmerno	zelo dobro	dobro
SI442VT91	MARTJANSKI POTOK	nad KČN Lukačevci	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Lukačevci	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro
SI442VT91	MARTJANSKI POTOK	Mlajtinci	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Lukačevci	zmerno	zmerno	dobro	dobro
SI442VT91	ČRNEC	Beltinci	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Odranci	zelo dobro	dobro	zmerno	dobro
SI442VT91	ČRNEC	pod KČN Odranci 1	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Odranci	zmerno	zmerno	zmerno	dobro

Šifra VT	Vodotok	Vzorčno mesto	Ekološki tip	Spremljana KČN/IČN	BPK <sub>5</sub>	Celotni fosfor	Nitrat	PO
SI442VT91	ČRNEC	pod KČN Črenšovci	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Črenšovci	zmerno	zmerno	dobro	dobro
SI442VT91	ČRNEC	pod KČN Velika Polana	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Velika Polana	zmerno	zmerno	zmerno	dobro
SI144VT2	STRŽEN	nad KČN Postojna	nima tipa	KČN Postojna	+	+	+	zelo dobro
SI144VT2	STRŽEN	pod KČN Postojna	nima tipa	KČN Postojna	+	+	+	dobro
SI43VT10	MURA	pod KČN Apače	R_SI_11_VR9-Mu-ravDr	KČN Apače	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro	dobro
SI3VT970	PAVLOVSKI POTOK	pod KČN Ivanjovci	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Ivanjovci	dobro	dobro	dobro	zelo dobro
	TRNAVA	pod KČN Središče ob Dravi	R_SI_11_PN-gric_1	KČN Središče ob Dravi	zmerno	dobro	dobro	dobro
SI36VT90	ROGATNICA	pod KČN Podlehnik 500	R_SI_11_PN-zALvpliv_1	KČN Podlehnik 500	zelo dobro	dobro	zelo dobro	dobro
SI14VT77	DROBTINKA	pod KČN Vnanje Gorice	nima tipa	KČN Vnanje Gorice	+	+	+	dobro
SI148VT5	HORJULŠČICA	pod KČN Podolnica	R_SI_5_PD-hrib-ravni_1	KČN Podolnica	zelo dobro	dobro	dobro	zelo dobro
SI14VT93	GLINŠČICA	pod KČN Smodinovec	nima tipa	KČN Smodinovec	+	+	+	zelo dobro
SI144VT2	NANOŠČICA	pod KČN Turistična kmetija Hudičevci	nima tipa	KČN Turistična kmetija Hudičevci	+	+	+	zelo dobro
SI18VT97	KRKA	pod KČN Kostanjevica na Krki	R_SI_11_VR7-Kk	KČN Kostanjevica na Krki	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro	zelo dobro
SI62VT70	CERKNICA	pod KČN Restavracija SC Cerčno	nima tipa	KČN Restavracija SC Cerčno	+	+	+	zelo dobro
SI43VT10	ČREŠNJEVSKI POTOK	pod IČN Panvita MIR	nima tipa	IČN Panvita MIR	+	+	+	dobro
SI442VT91	KOPICA	pod IČN Petišovci	nima tipa	IČN Petišovci	+	+	+	dobro
SI36VT90	BEZINA	pod IČN Strašek	nima tipa	IČN Strašek	+	+	+	zelo dobro
SI1324VT	MLINŠČICA	pod IČN Količevo Karton	nima tipa	IČN Količevo Karton	+	+	+	zelo dobro
SI1VT913	DVORCE	pod IČN Terme Čatež	R_SI_11_PN-KrBr-kotl_1	IČN Terme Čatež	zmerno	zmerno	zelo dobro	dobro
SI64VT90	BAZARŠČEK	pod IČN Šampionka	nima tipa	IČN Šampionka	+	+	+	dobro

Opomba: VT – vodno telo, BPK<sub>5</sub> – biokemijska potreba po kisiku.

Znak + pomeni, da se je monitoring izvajal, vendar vzorčno mesto nima ekološkega tipa, zaradi česar ekološko stanje ni ocenjeno.

Čezmerno onesnaženje oziroma zmerno ekološko stanje pod KČN Bistrica ob Dravi, KČN Ormož, KČN Benedikt in KČN Lukačevci lahko pripišemo dejanskemu negativnemu vplivu KČN, saj je bilo ekološko stanje nad omenjenimi KČN dobro ali zelo dobro, kar pomeni poslabšanje ekološkega stanja za enega do dva razreda zaradi izpustov KČN.

Monitoring na vzorčnih mestih za spremljanje vpliva KČN Selnica ob Muri, KČN Terme Banovci, KČN Dobrovo in KČN Postojna je pokazal povišano vrednost merjenih parametrov pod KČN v primerjavi z vzorčnimi mesti nad vplivnim območjem KČN, kar kaže na čezmerno obremenjevanje vodotokov zaradi izpustov KČN (ARSO, 2021).

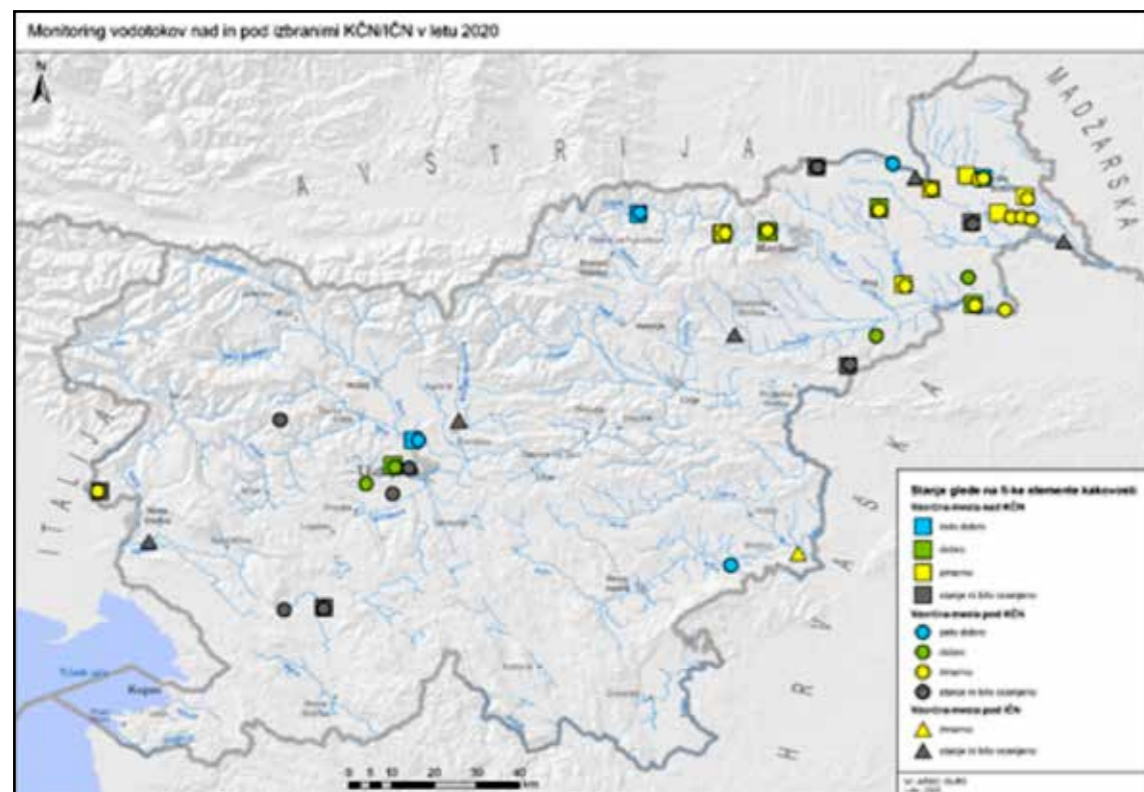
Na vzorčnih mestih nad in pod KČN Muta (Industrijska cona), KČN Brod in KČN Šujica je bilo ekološko stanje nad in pod KČN nespremenjeno (zelo dobro ali dobro), iz česar lahko sklepamo, da je vpliv omenjenih KČN na ekološko stanje vodotokov minimalen.

Za spremljanje vpliva KČN Lovrenc na Pohorju smo izbrali dve vzorčni mesti nad vplivnim območjem KČN, in sicer na vodotoku Slepnicca (vzorčno mesto Lovrenc na Pohorju) ter na vodotoku Radoljna (vzorčno mesto nad KČN Lovrenc na Pohorju). Slepnicca je pritok Radoljne, ki



se vanjo izliva tik pod iztokom KČN Lovrenc na Pohorju ter nad vzorčnim mestom za vrednotenje vpliva KČN (Puščava). Rezultati monitoringa so pokazali dobro ekološko stanje Radoljne nad KČN ter zmerno ekološko stanje Slepnice in Radoljne pod KČN, na podlagi česar lahko sklepamo, da je zmerno stanje Radoljne na vzorčnem mestu Puščava najverjetneje posledica povečanega onesnaženja pritoka Slepnicca, ne pa vpliva KČN.

Na vodotoku Črnc so bila v letu 2020 v program monitoringa vključena štiri vzorčna mesta za spremljanje vpliva treh KČN (KČN Odranci, KČN Črenšovci in KČN Velika Polana). Rezultati monitoringa so pokazali zmerno ekološko stanje že na referenčnem vzorčnem mestu Beltinci, ki leži nad vplivnim območjem KČN. Rezultati merjenih parametrov so pokazali močno povišane vrednosti na vzorčnih mestih pod posameznimi KČN v primerjavi z referenčnim vzorčnim mestom (ARSO, 2021), kar kaže na čezmerno obremenjevanje vodotoka Črnc zaradi delovanja prej navedenih KČN.



**Slika 1:** Ekološko stanje na podlagi splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti na vzorčnih mestih za spremljanje vpliva komunalnih (KČN) in industrijskih čistilnih naprav (IČN) na ekološko stanje vodotokov v letu 2020.

Vir: ARSO, 2021.

## 5. ZAKLJUČEK

Od 55 vzorčnih mest, vključenih v program monitoringa za spremljanje vpliva komunalnih (KČN) in industrijskih čistilnih naprav (IČN) na ekološko stanje vodotokov v letu 2020, smo

zmerno ekološko stanje na podlagi splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti ugotovili na 21 vzorčnih mestih, na katerih smo spremljali vpliv 16 KČN oziroma IČN. Na 18 vzorčnih mestih ekološkega stanja na podlagi splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti ne moremo oceniti. Kar 19 vzorčnih mest z zmernim ekološkim stanjem se nahaja v severovzhodnem delu Slovenije v porečjih Mure in Drave ter po eno vzorčno mesto v porečjih Save in Soče. Na 18 vzorčnih mestih smo ugotovili preseganje mejnih vrednosti za dobro stanje za parameter biokemijska potreba po kisiku ( $BPK_5$ ), na 14 vzorčnih mestih preseganje mejnih vrednosti za dobro stanje za parameter celotni fosfor in na 3 vzorčnih mestih preseganje mejnih vrednosti za dobro stanje za parameter nitrat.

Na vzorčenih vodotokih smo ugotovili pogosto obremenjevanje voda z organskimi snovmi, še posebej na vzorčnih mestih pod KČN, ki smo jih lahko primerjali z vzorčnimi mesti gorvodno od preiskovanih KČN. Organske snovi se v čistilni napravi odstranijo v primarni in sekundarni stopnji čiščenja, z namenom zmanjšanja vpliva odpadnih voda na ekološko stanje vodotoka. V program monitoringa so bila vključena vzorčna mesta pod štirimi KČN s terciarno stopnjo čiščenja (KČN Dobrovo (Vinska klet), KČN Postojna, KČN Središče ob Dravi in KČN Kostanjevica na Krki), za katera smo pričakovali dobro ali zelo dobro ekološko stanje na podlagi hranil. Ugotovili smo, da se dve vzorčni mesti (pod KČN Dobrovo (Vinska klet) in pod KČN Središče ob Dravi) uvrščata v zmerno ekološko stanje na podlagi parametra  $BPK_5$ , na vzorčnem mestu pod KČN Postojna, ki nima ekološkega tipa, pa so bile izmerjene močno povišane vrednosti hranil, predvsem fosforja. Posamezne preiskovane KČN tako ne dosegajo cilja varstva okolja pred škodljivimi vplivi odvajanja odpadne vode.

Glede na ekološko stanje izstopajo vzorčna mesta za spremljanje vpliva KČN Turnišče, KČN Murska Sobota, KČN Radenci, KČN Odranci in KČN Dornava, saj so bila v zmerno ekološko stanje uvrščena vzorčna mesta nad in pod omenjenimi KČN, iz česar lahko sklepamo na prisotnost dodatnega onesnaženja vodotokov poleg KČN.

Monitoring nad in pod KČN Bistrica ob Dravi, KČN Ormož, KČN Benedikt in KČN Lukačevci je pokazal na dejanski negativni vpliv delovanja naštetih KČN, saj se je ekološko stanje pod naštetimi KČN poslabšalo za enega do dva razreda v primerjavi z referenčnim stanjem nad KČN. Čezmerno onesnaževanje vodotokov povzročajo tudi KČN Selnica ob Muri, KČN Terme Banovci, KČN Dobrovo in KČN Postojna, na kar kažejo povišane vrednosti izmerjenih parametrov, predvsem ortofosfata in celotnega fosforja, pod omenjenimi KČN v primerjavi z vzorčnimi mesti nad KČN.

KČN Muta (Industrijska cona), KČN Brod in KČN Šujica so imele v letu 2020 minimalen vpliv na vodotoke, saj je bilo ekološko stanje nad in pod KČN enako, in sicer dobro ali zelo dobro.

Rezultati monitoringa so pokazali najslabše stanje v severovzhodni Sloveniji, kjer so vodotoki zaradi kmetijstva že sicer čezmerno obremenjeni z organskimi snovmi in hranili ter drugo rabo voda, kar se odraža v zmernem ali slabšem ekološkem stanju voda v regiji. Predstavljeni rezultati so v podporo, da se ugotovijo vzroki za nedoseganje ciljev vodne direktive in načrtujejo ustrezni ukrepi za doseganje dobrega ekološkega stanja vodotokov.



## LITERATURA IN VIRI

1. ARSO, 2021. Monitoring vodotokov za iztoki iz komunalnih in industrijskih čistilnih naprav. Poročilo za leto 2020. Dostopno na: [HYPERLINK »https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavu/ARSO/Vode/Stanje-voda/Porocilo-o-ekoloskem-stanju-vodotokov-za-iztoki-iz-cistilnih-naprav-za-leto-2020.pdf%20%5b22%20https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavu/ARSO/Vode/Stanje-voda/Porocilo-o-ekoloskem-stanju-vodotokov-za-iztoki-iz-cistilnih-naprav-za-leto-2020.pdf](https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavu/ARSO/Vode/Stanje-voda/Porocilo-o-ekoloskem-stanju-vodotokov-za-iztoki-iz-cistilnih-naprav-za-leto-2020.pdf%20%5b22%20https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavu/ARSO/Vode/Stanje-voda/Porocilo-o-ekoloskem-stanju-vodotokov-za-iztoki-iz-cistilnih-naprav-za-leto-2020.pdf) [22. 7. 2022].
2. Lapanje, A. 2006. Izvor in kemijska sestava termalnih in termomineralnih vod v Sloveniji. V: Zbornik povzetkov. 2. slovenski geološki kongres, Idrija, 26.–28. september 2006. Idrija, Rudnik živega srebra v zapiranju: 347–370.
3. Štupnikar, N. in Urbanič, G., 2007. Dopolnitev mejnih vrednosti BPK5 za vrednotenje ekološkega stanja rek. V: Urbanič, G. Ekološko stanje rek, poročilo o delu za leto 2007. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije, 4–32.
4. Štupnikar, N. in Urbanič, G., 2012. Metodologija vrednotenja ekološkega stanja s podpornimi splošnimi fizikalno-kemijskimi elementi za vrednotenje stanja hranil (celotni fosfor). Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije.
5. Štupnikar, N. in Urbanič, G., 2014. Predlog določitve mejnih vrednosti za parameter nitrat. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije.

## IZZIVI VAROVANJA SKRITE NARAVNE DEDIŠČINE PODZEMNIH VODA SLOVENIJE

**doc. dr. CENE FIŠER<sup>1</sup>, dr. ŠPELA BORKO<sup>2</sup>, dr. TEO DELIČ<sup>3</sup>, ANJA KOS<sup>4</sup>,  
ESTER PREMATE<sup>5</sup>, prof. dr. PETER TRONTELJ<sup>6</sup>,  
doc. dr. MAJA ZAGMAJSTER<sup>7</sup>, doc. dr. VALERIJA ZAKŠEK<sup>8</sup>**

### Povzetek

Favna podzemnih vod predstavlja pomemben del slovenske naravne dediščine ter ima pomembno vlogo pri vzdrževanju ekosistemskih funkcij in storitev, kot je oskrba s pitno vodo. Cena prilagoditev, ki omogočajo življenje pod zemljo, je visoka, saj so te vrste zelo občutljive na motnje v okolju. Učinkovite varstvene ukrepe spremljajo številni izzivi, zlasti zahtevno vzorčenje te favne, nezadostno poznavanje njihove biologije in populacijsko genetske strukture ter gospodarjenje s prostorom, ki ne upošteva negativnih vplivov na podzemlje. Predpogoj učinkovitemu varstvu teh vrst vključuje sistematično zbiranje podatkov o njihovi razširjenosti in biologiji v urejenih in centraliziranih zbirkah, vključitev teh organizmov v monitoring podzemnih voda ter vrednotenje morebitnih negativnih vplivov posegov na površju.

**Ključne besede:** endemizem, monitoring, podzemna favna, zbirke podatkov.

### Abstract

Groundwater fauna represents an important part of the Slovenian natural heritage and plays a crucial role in maintaining ecosystem functions and ecosystem services, like provisioning of the drinking water. Adaptations to subterranean environment make these species vulnerable to anthropogenic stressors. The conservation of these species is challenging due to physically and technically demanding field work, taxonomic incompleteness, incomplete knowledge on species' biology, unknown genetic structure of populations, and inappropriate management of anthropogenic activities on the surface. A prerequisite for its effective

- 1 Doc. dr. Cene Fišer, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 2 Dr. Špela Borko, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 3 Dr. Teo Delič, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 4 Anja Kos, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 5 Ester Premate, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 6 Prof. dr. Peter Trontelj, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 7 Doc. dr. Maja Zagmajster, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo
- 8 Doc. dr. Valerija Zakšek, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za podzemno biologijo



conservation requires additional research, implementation of biological monitoring, centralized data collection and identification of the harmful anthropogenic activities on the surface.

**Keywords:** databases, endemism, monitoring, subterranean fauna.

## 1. UVOD

Podzemna voda obsega več kot 97 % utekočinjene neslane vode na svetu in tako predstavlja največji sladkovodni ekosistem (Gibert in Deharveng, 2002). Zaradi odsotnosti svetlobe in skromnih hranil je ta prostor reven z vrstami; ocenjujejo, da ga naseljuje le 5 do 10 % vseh znanih vrst večceličarjev (Gibert in Deharveng, 2002). Vendar štejejo podrobnosti: podzemna favna predstavlja zbirko ranljivih, a biološko zelo zanimivih in varstveno pomembnih vrst. Ljudje smo od ekosistema podzemne vode eksistencialno odvisni. Tega ekosistema ne znamo obnoviti, zato ga moramo skrbno varovati, kar je navsezadnje povezano s številnimi izzivi. V tem prispevku predstavljamo pomen in ranljivost podzemne favne, naslovimo raziskovalne in družbene izzive, ki spremljajo njeno varovanje, ter predlagamo korake za njeno učinkovitejše varovanje.

## 2. POMEN IN RANLJIVOST PODZEMNE FAVNE

Podzemne živali niso le naključen podvzorec svetovne vrstne pestrosti. V primerjavi s površjem pod zemljo najdemo manjše število vrst žuželk in vretenčarjev, sicer pa med večceličarji prevladujejo predvsem raki (Sket, 1999; Gibert in Deharveng, 2002). Med njimi najdemo številne skupine, ki živijo le pod zemljo in jih danes obravnavamo kot preživele predstavnike starodavnih skupin (Humphreys, 2000; Borko et al., 2021). Nekatere pomembne skupine, kot so postrance ali ceponožni raki, so v podzemlju zastopane celo v večjem številu kot na površju (Stoch in Galassi, 2010), tudi pri nas. Ob tem ne smemo prezreti, da so med prebivalci podzemlja številne vrste, ki živijo le znotraj meja Slovenije, torej t. i. nacionalni endemiti. Preživetje teh vrst je odvisno izključno od primernih strategij upravljanja s prostorom in naravnimi dobrinami, ki jih ureja zakonodaja.

Preživetje prebivalcev podzemnih voda nas še kako zadeva, saj ti zagotavljajo nemotene biotske procese v podzemni vodi. Kamnita podlaga, naj si bodo to skale ali prodniki, deluje kot orjaški filter, na katerem nastajajo bakterijski biofilmi, te pa objedajo večcelični organizmi (Schmidt et al., 2017). Tako potekata razgradnja in privzem organskih snovi iz vode, kar je osnova samočistilnim procesom ter zagotavljanju daleč najpomembnejše ekosistemske storitve – pitne vode (Griebler in Avramov, 2015).

Podzemne vrste so prilagojene na stabilno okolje brez svetlobe, ki je v primerjavi s površinskimi okolji revno s hranili (Culver in Pipan, 2019). V primerjavi s površinskimi sorodniki so metabolizem, rast in razmnoževanje teh vrst počasni, življenjska doba pa včasih osupljivo dolga (Fišer, 2019; Lunghi in Bilandžija, 2022). Številne vrste, zlasti v globljih delih vodo-

nosnikov, so občutljive na okoljska nihanja, npr. v temperaturi (Mermillod-Blondin et al., 2013). Disperzijski potencial in območja razširjenosti vrst so majhni (Bregović et al., 2019). Zaradi prilagoditev na okolje, v katerem živijo, so vrste iz podzemnih voda dovzetne za antropogene motnje.

Probleme, povezane z ranljivostjo podzemnih vrst, najlažje ilustriramo z izmišljenim, a verjetnim primerom, ko zaradi izlitja strupene snovi v podzemlje izumre lokalna favna. Zlasti v nekraških podzemnih vodah lahko strupi ostanejo zelo dolgo. Obnova združbe je odvisna od priseljevanje iz okolice, kar lahko traja več let, ter ponovne vzpostavitve lokalnih populacij, kar zaradi počasnega razmnoževanja in rasti dodatno podaljša čas obnove. Ti procesi so počasnejši v primerjavi s podobnimi procesi v površinskih vodah, kjer voda razredči in odnese strupe, organizmi pa razmeroma hitro naselijo prostor ter populacije v nekaj letih dodobra okreva. V času, ko se obnavljajo podzemna združba in biotski procesi, so ekosistemske storitve podzemne vode omejene.

## 3. RAZISKOVALNI IZZIVI

Raziskovanje podzemnih voda je težavno, saj je dostop do podzemne vode omejen. V kraški Sloveniji do podzemnih voda dostopamo prek jam in kraških izvirov, kar zahteva veliko časa kot tudi tehnične usposobljenosti. Dostop do nekraških podzemnih voda je še težavnejši, saj zahteva posebno opremo, s katero lahko črpamo vodo in njene prebivalce iz globin. Zahtevno in časovno zamudno vzorčenje pa je le vrh ledene gore, ki orje globoke vrzeli v našem poznavanju podzemne favne.

Taksonomska slika domala vseh skupin podzemnih živali je nepopolna. Genetske analize so nedvoumno pokazale, da je vrst znatno več, kot smo domnevali ob prelomu tisočletja; nedavna študija evropskih podzemnih rakov je ocenila, da se za vsakim vrstnim imenom skrivajo 2 do 3 še neopisane vrste (Eme et al., 2017). Tudi najbolj znane živali, kot je močeril, pri tem niso izjema, saj le v Sloveniji živi kar 5 potencialno samostojnih vrst (Trontelj et al., 2017). Vzrokov za neurejeno taksonomijo je veliko, izpostaviti pa velja izjemno morfološko podobnost med vrstami (Fišer et al., 2018). Ta je posledica okoljskih razmer, v katerih najdemo živali. Seleksijski pritiski v podzemnih vodah so podobni, zato so lahko tudi popolnoma nesorodne neverjetno podobne. Posledice nerazrešene taksonomije so daljnosežne, pri čemer ovirajo načrtovanje ohranjanja in spremljanja prostoživečih populacij.

Med drugim je posledica nerazrešene taksonomije tudi nepopolno razumevanje razširjenosti vrst. Če vrsta ni znana in opisana, njene razširjenosti v prostoru ne moremo raziskovati. Še več, zaradi morfološke podobnosti lahko območja razširjenosti posameznih vrst zanesljivo prepoznamo le z genetskimi metodami. Genetske analize razkrivajo, da imajo podzemne vrste večinoma majhna območja razširjenosti, ki neredko obsegajo le nekaj kvadratnih kilometrov (Delić et al., 2017; Bregović et al., 2019). Če take vrste zmotno obravnavamo kot splošno razširjene, lahko dovolimo posege, ki pripeljejo do nepovratnega izumiranja vrst. Taka izumiranja sicer ostanejo neopažena, vendar lahko občutimo posledice, ki jih ne znamo pojasniti.



Šele v zadnjem desetletju smo se začeli zavedati velikih razlik v ekologiji podzemnih vrst. Podzemne vode niso enoten habitat. V grobem jih lahko razdelimo v kraške in nekraške, vendar mnoge študije kažejo, da so številne podzemne vrste še bolj specializirane. Tako npr. na krasu najdemo vrste, ki živijo v epikrasu, potokih neprežete cone, izviri in stalnih vodah prežete cone (Trontelj et al., 2012). Ti habitati so različno fragmentirani, zato imajo ekološki specialisti različno velika območja razširjenosti. Zaradi medsebojnih ekoloških razlik so podzemne vrste izpostavljene različnim dejavnikom tveganja oz. so različno občutljive za posamezne grožnje. Po eni strani je raba prostora v kraški in nekraški Sloveniji drugačna. Pomembne so zlasti razlike v obsegu intenzivnega kmetijstva, ki prevladuje v nekraški Sloveniji. V tem primeru predstavljajo glavne grožnje črpanje podtalnice (npr. namakanje, zalivanje), uporaba pesticidov in čezmerno gnojenje. Varovanje teh vrst zahteva ustrezen pregled in inšpekcijski nadzor nad dejavnostmi (Kostanjšek et al., 2022). Drugačne so grožnje vrstam v kraški Sloveniji. Kot primer, vrste v neprežeti coni kraških masivov so odvisne od zadostne količine vode. Te vrste so bolj izpostavljene vremenskim ujmam, zlasti suši, in jih utegnejo v prihodnje prizadeti tudi podnebne spremembe. Zadostne količine vode zagotavlja ustrezen vegetacijski pokrov, torej varovanje teh vrst zahteva smiselno gospodarjenje z gozdom. Navsezadnje redke razpoložljive študije kažejo, da se ekološko različne vrste razlikujejo v občutljivosti na kemične stresorje. Na kopičenje soli v podzemnih vodah, npr. zaradi soljenja cest (Zagmajster in Delić, 2021), so se izkazale bolj ranljive živali iz izvirov kot tiste iz globljih delov jam (Jemec Kokalj et al., 2022). Četudi imamo splošen vpogled v grožnje podzemni favni (Mammola et al., 2019), nam manjka lokalnih raziskav, ki bi omogočale identifikacijo groženj in ustrezne odzive nanje.

Še večji so izzivi, povezani z razumevanjem delovanja podzemnega ekosistema kot celote. Primarni viri hrane v podzemnih združbah so skromni, večinoma v obliki raztopljenega organske snovi in večjih ali manjših kosov odmrlega organskega materiala (Gibert in Deharveng, 2002). Posledica so preprosti prehranjevalni spleti, ki jih tvori razmeroma majhno število vrst, organiziranih v največ štiri trofične nivoje (Hutchins et al., 2016; Premate et al., 2021). Celotna združba je tako odvisna od detrita s površja in bakterijskega biofilma, ki uspeva na račun v vodi raztopljenih organskih snovi. Detritivori, večinoma raki, se hranijo tako z detritom kot biofilmom. Ti so hrana plenilcem prvega in drugega reda. Prav slednji so odvisni od zdrave združbe detritivorov (npr. rakov), ustreznega vnosa organske snovi in rasti biofilmov. Varovanje podzemnih ekosistemov zahteva dobro razumevanje funkcionalnih skupin organizmov v podzemlju, predvsem katere so te skupine in koliko jih je potrebnih, da pride do vzpostavitve ekosistemskih procesov.

#### 4. DRUŽBENI IZZIVI

Vrzeli v razumevanju biologije podzemnih organizmov so le del izzivov. Varovanje podzemnih voda in organizmov v njih je tesno povezano z upravljanjem prostora. Družba je odvisna od številnih dejavnosti, kot so kmetijstvo, ohranjanje pitne vode, pridobivanje energije, umeščanje infrastrukture v prostor in ohranjanje kritičnega dela biodiverzitete, ki vzdržuje stabilnost ekosistemov. Umeščanje objektov in aktivnosti v prostor je v svoji srži nasprotujoče si, kjer varstvo biodiverzitete prepogosto potegne krajšo.

Ustrezno razreševanje konfliktov zahteva celovit pregled nad naravnimi danostmi, torej, kaj je smiselno umestiti kam, ter medresorsko usklajene strategije razvoja posameznih področij, torej, katero od možnih aktivnosti bomo umestili v izbrano območje. Zdi se, da celovite vizije upravljanja prostora pri nas ni. Najočitnejši primer je gradnja hidroelektrarn na območjih z visoko vrstno pestrostjo. O škodljivih učinkih hidroelektrarn je bilo prelitega veliko črnih. Negativne učinke jezov so zaznali gor- in dolvodno, tako v obrežjih kot tudi v podzemnih vodnih telesih (Poff in Zimmerman, 2010; Fan et al., 2022). Eden ključnih dokumentov evropskega zelenega dogovora, Strategija za biotsko raznovrstnost do leta 2030 (European Commission, 2020), med drugim načrtuje odstranjevanje jezov, kar naj bi zagotovilo vsaj 25.000 kilometrov prosto tekočih rek po vsej Evropi. Isti dokument predlaga tudi znatno razširitev območij Nature 2000 in obnovo prostoživečih populacij. Ob tem evropski dokumenti ne izpostavljajo hidroelektrarn kot pomembnega vira zelene energije. V Sloveniji tem smernicam ne sledimo. Še več, nekatere hidroelektrarne so načrtovane znotraj območij Nature 2000, kar je v neskladju s smernicami Strategije za biotsko raznovrstnost do 2030. Podobno in manj znano je, da so nekatere hidroelektrarne načrtovane na območjih z izjemno visoko pestrostjo podzemnih vrst. Severni Dinaridi (južna Slovenija, del Hrvaške) so ena globalnih vročih točk podzemne biotske pestrosti, načrti za hidroelektrarne pa so umeščeni neposredno v »vroče točke znotraj vročih točk« (Fišer et al., 2022). Podobne težave se nanašajo tudi na druge dejavnosti, med drugim je zlasti zahtevno usklajevanje s kmetijstvom.

Verjetno je temeljna težava pri varstvu narave usmerjenost družbe v dobiček, četudi so že številne študije pokazale, da varstvo narave ustvarja ogromne prihranke (Balmford et al., 2002). Navkljub številnim opozorilom se ob tem premalo zavedamo, da so posegi v prostor nepovratni ali le delno povratni, podzemna favna pa je v tem oziru med najbolj ranljivimi.

#### 5. STROKOVNI PREDLOGI REŠITEV

Del nakopičenih izzivov lahko razrešimo z dodatnim raziskovanjem in spremljanjem prostoživečih populacij, centralizacijo zbirk podatkov ter učinkovitim posodabljanjem smernic varovanja. V nadaljevanju obravnavamo vse tri smeri rešitev.

Večina podatkov izvira iz raziskovalnega dela oz. manjših praktičnih nalog. Tovrstno zbiranje podatkov je razmeroma nesistematično, kar otežuje objektivno kartiranje podzemne biotske pestrosti. Varovanje podzemnih habitatov najprej zahteva sistematično kartiranje podzemne favne ter trajni monitoring izbranih območij in vrst. Trenutni monitoring podzemnih vod vključuje le spremljanje njihove količine in kakovosti, biotska komponenta pa je v celoti izvzeta. V okviru projekta LIFE IP NATURA.SI (LIFE17 IPE/SI/000011) trenutno izvajamo raziskave, v kakšni obliki bi lahko implementirali dva tipa monitoringa: i) monitoring habitatnega tipa jam, ki vključuje tudi monitoring podzemnih kraških voda, in ii) monitoring izbranih podzemnih vrst. Izvedljivost obeh monitoringov zahteva prostorsko opredelitev vzorčnih točk, frekvenco vzorčenja, cenovno sprejemljiv način identifikacije nabranih vrst in ustrezno interpretacijo podatkov. Trenutni razvoj shem monitoringov je usmerjen v kraški del Slovenije. Ob njegovi vzpostavitvi sta možni nadgradnja in razširitev na nekraška območja.



Prostorska opredelitev vzorčnih točk monitoringa zahteva identifikacijo naravnih geografskih enot, v okviru katerih se lahko vrste razmeroma neovirano premikajo. Jame kot take ne predstavljajo edinega habitata, ki ga podzemne vrste naseljujejo, temveč le okno v habitat, kjer te lahko vzorčimo. Identifikacija takih enot je možna na več načinov. Poleg sledenja vode lahko analiziramo strukturo podzemnih združb oz. za posamezne vrste lahko analiziramo genetsko strukturo populacij. Taka območja so osnova, kjer lahko natančneje odredimo območja vzorčenja oz. vzorčne točke. Analize so v teku.

Monitoring habitatnega tipa jame je zahtevnejši od obeh monitoringov. Letni čas vzorčenja ni nepomemben. Predhodne študije kažejo, da sestava združb v jamah niha skozi leto. V teku so tudi raziskave, ki preizprašujejo, ali je učinkovitejše večkratno vzorčenje manjšega števila jam ali enkratno vzorčenje večjega števila jam. Prav tako potekajo analize, ki bodo ocenile, pri kolikšnem deležu biotske pestrosti izbranega območja in ob znanem naporu vzorčenja (ang. *sampling effort*) smemo sklepati, da je habitat v dobrem stanju. Zbiranje vzorcev predstavlja le terenski del monitoringa. V laboratoriju je treba vrste identificirati. Četudi se omejimo na identifikacijo izbranih vrst, je treba v delo vključiti strokovnjake, ki lahko identificirajo organizme. Alternativno lahko vrste prepoznamo s pomočjo genetskih metod in uporabo t. i. črtnih kod, tj. odčitavanjem sekvenc, značilnih za posamezno vrsto. Žal to delo ni brez omejitev, saj zahteva predhodno vzpostavitev knjižnic kod, v katerih so imena opisanih vrst povezana s pripadajočimi diagnostičnimi sekvencami. Trenutno so te knjižnice delno vzpostavljene za nekatere skupine podzemnih rakov (Zagmajster et al., 2022), žal pa je več pomembnih skupin, za katere nimamo ne strokovnjakov ne knjižnic črtnih kod. Prav vse obstoječe knjižnice kod so stranski produkt raziskovalnega dela, kar onemogoča napoved, kdaj bodo te zbirke podatkov izpopolnjene. Dolgoročno bi bilo smiselno podpreti ciljne projekte in raziskave za oblikovanje tovrstnih knjižnic.

Evropska Direktiva o habitatih države EU zavezuje k ustreznemu upravljanju prostora za varstvo evropsko pomembnih vrst. Ta vključuje tudi dve vrsti iz podzemnih voda, močerila (*Proteus anguinus*) in jamsko školjko (*Congeria jalzici*). Močeril je po Direktivi prednostna vrsta za ohranjanje, naveden v prilogah II in IV Direktive o habitatih. Jamska školjka je prav tako navedena v prilogi II in IV Direktive o habitatih. Prostoživeče populacije vrst s teh seznamov je treba spremljati. Monitoring posameznih vrst je lahko specifičen in možen z različnimi metodami oz. s kombinacijo metod. Pri močerilu so doslej uspešno testirali dve neinvazivni metodi. Za ugotavljanje velikosti populacij so z neinvazivnimi genetskimi metodami posodobili klasično metodo ulova-označevanja-ponovnega ulova (Trontelj et al., 2017). Za ugotavljanje prisotnosti vrste so testirali postopke, ki temeljijo na vzorčenju okoljske DNK, torej DNK, ki jo organizmi puščajo kot sled v okolju (Gorički et al., 2017). Pripravljamo tudi metodologijo za spremljanje jamske školjke.

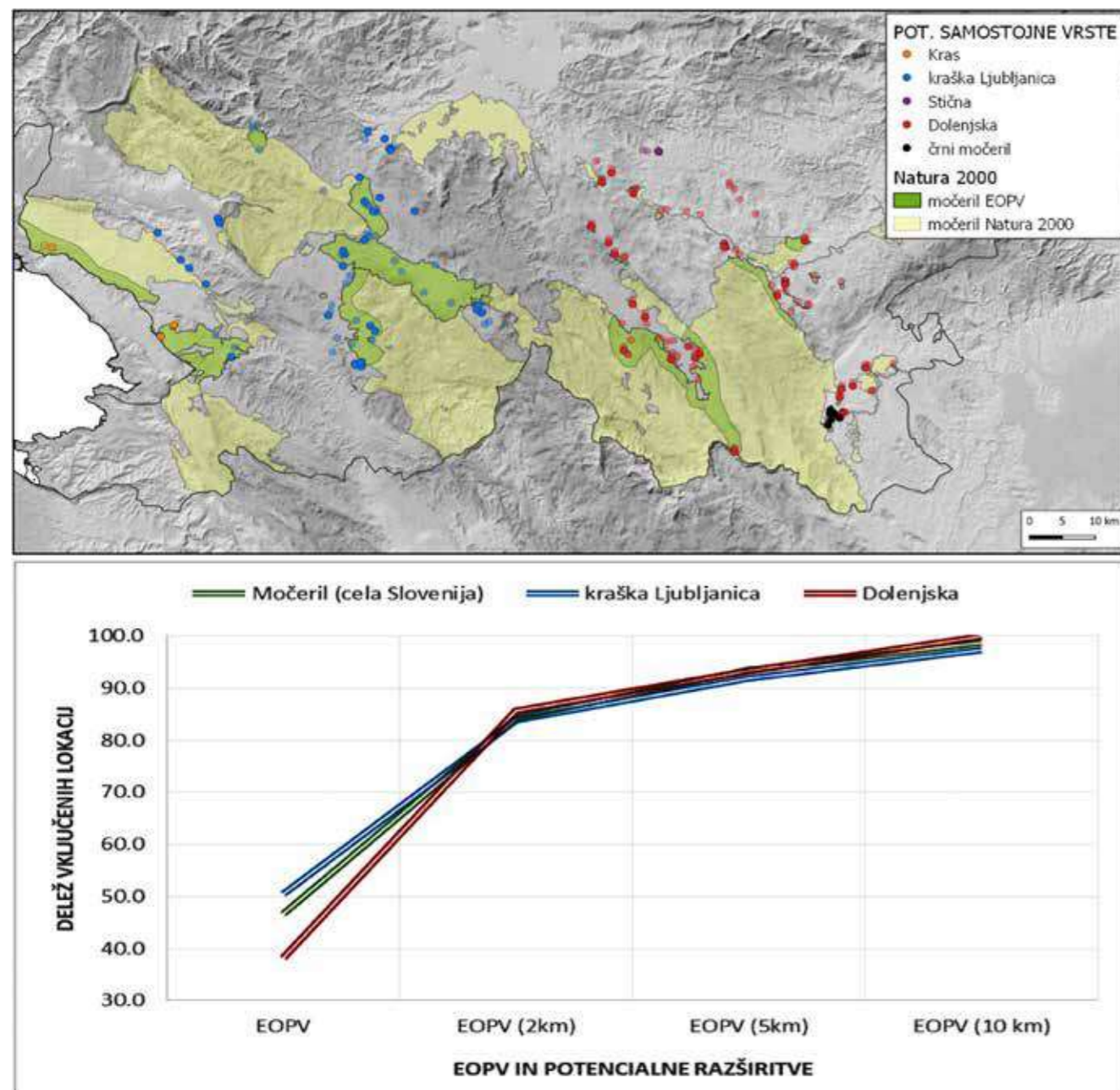
Zbiranje podatkov je le prvi korak k učinkovitejšemu upravljanju s prostorom. Podatke je treba hraniti tako, da do njih dostopamo enostavno in jih nato lahko znova uporabimo. Trenutno so podatki zbrani v več lokalnih zbirkah, v naši skupini vzdržujemo zbirko SubBioDB. Zbirka pokriva zlasti območje Dinarskega krasa in vzhodnih apneniških Alp, za določene skupine pa celoten evropski prostor. Vključuje lastne terenske in literaturne podatke. Trenutno celotna zbirka obsega več kot 63.000 podatkov (podatek označuje kombinacijo takson-lokaliteta-vir).

V Sloveniji poteka projekt za vzpostavitev centraliziranega naravovarstvenega informacijskega sistema, imenovan Life NarcIS (LIFE19 GIE/SI/000161), ki ga vodi Agencija RS za okolje skupaj s še osmimi partnerji. Naravovarstveni informacijski sistem združuje tri tipe dodatkov: podatke o naravi in njenem stanju, naravovarstvene ter podporne podatke. Sistem bo zajemal podatke iz 70 zbirk, vključno s podatki iz SubBioDB. Trenutno obsega informacije o več kot 18.000 vrstah in več kot 200.000 podatkov o vrstah. Dostop do podatkov bo omogočen prek uporabniškega vmesnika. Pod vnaprej določenimi pogoji bo podatke mogoče tudi naložiti in jih analizirati s pomočjo programov za obdelavo prostorskih podatkov.

Tak informacijski sistem bo omogočal učinkovitejši dostop do informacij, potrebnih za upravljanje s prostorom, upoštevajoč ustrezno varovanje vrst in habitatov. Nazoren primer prikazuje načrtovanje opredelitve Ekosistemov, odvisnih od podzemne vode (EOPV). Prvotni načrti so sledili območjem Nature 2000. Tako opredeljeni EOPV povzamejo približno 40 % znanih lokacij močerila. Razširitev območja le za 2 oz. 5 kilometrov bi vključila že približno 80 oz. 95 % znanih lokacij in znatno izboljšala varovanje te vrste (Slika 1). Primer nazorno ilustrira, kako učinkoviteje lahko varujemo podzemno vrstno pestrost, če pomembne podatke o vrstah zbiramo in posodabljammo v centralni zbirki podatkov.

## 6. ZAKLJUČEK

Podzemna favna je svetovna naravna in slovenska kulturna dediščina, ki smo jo dolžni varovati. Ta obveza ni le moralna in zakonska, temveč je povezana tudi z ohranjanjem ekosistemskih storitev podzemne vode ter našim preživetjem. Kot tako je varstvo podzemne favne prednostna naloga, ki še zdaleč ni enostavna. Prepreke so tako tehnično raziskovalne narave kot tudi v premajhnem zavedanju o njenem pomenu. Ob tem lahko optimistično sklenemo, da razvoj metodologije in digitalne infrastrukture omogoča, da bi lahko v razmeroma kratkem času vzpostavili ustrezno spremljanje in varovanje podzemne favne. Nikoli ni prepozno, vendar bi bil dobrodošel kanec dobre volje.



**Slika 1:** Zgoraj: Razširjenost močerila in cone vrste, ki so skladne z EOPV. Razširjenost močerila prikazujemo le s potrjenimi ali zanesljivimi podatki o pojavljanju (točke predstavljajo lege vhodov v jame, kraških izvirov ali naplavljenih osebkov). Barva točk označuje pripadnost različnim potencialno samostojnim vrstam (PSV). Točke intenzivnih barv predstavljajo genetsko preverjeno pripadnost posamezni PSV, svetlejši odtenki pa verjetno pripadnost, ocenjeno glede na geografijo in hidrografijo lokacije. Spodaj: Delež vključenih lokacij o pojavljanju močerila v obstoječa EOPV območja ter hipotetično razširjena EOPV z razdaljo 2, 5 in 10 kilometrov. Zelena črta prikazuje vse podatke, modra le podatke za vrsto *kraška Ljubljana* in rdeča za vrsto *kraška Dolenjska*. Povzeto po Zakšek in Fišer (2021).

## LITERATURA IN VIRI

- Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R. E., Jenkins, M., Jefferiss, P., Jessamy, V., Madden, J., Munro, K., Myers, N., Naeem, S., Paavola, J., Rayment, M., Rosendo, S., Roughgarden, J., Trumper, K. in Turner, R. K., 2002. Ecology: Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, 2002, 297, 950–953.
- Borko, Š., Trontelj, P., Seehausen, O. in Fišer, C., 2021. A subterranean adaptive radiation of amphipods in Europe. *Nature communications*, 2021, 12: 3688.
- Bregović, P., Fišer, C. in Zgamažster, M., 2019. Contribution of rare and common species to subterranean species richness patterns. *Ecology and Evolution*, 2019, 9, 11606–11618.
- Culver, D. C. in Pipan, T., 2019. *The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*. Oxford: Oxford University Press.
- Delić, T., Trontelj, P., Rendoš, M. in Fišer, C., 2017. The importance of naming cryptic species and the conservation of endemic subterranean amphipods. *Scientific Reports*, 2017, 7: 3391.
- Eme, D., Zgamažster, M., Delić, T., Fišer, C., Flot, J. F., Konecny-Dupre, L., Palsson, S., Stoch, F., Zakšek, V., Douady, C. J. in Malard, F., 2017. Do cryptic species matter in macroecology? Sequencing European groundwater crustaceans yields smaller ranges but does not challenge biodiversity determinants. *Ecography*, 2017, 40, 1–13.
- European Commission, 2020. Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions: EU Biodiversity Strategy for 2030. Brussels.
- Fan, P., Cho, M. S., Lin, Z., Ouyang, Z., Qi, J., Chen, J. in Moran, E. F., 2022. Recently constructed hydropower dams were associated with reduced economic production, population, and greenness in nearby areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2022, 119.
- Fišer, C., 2019. Life histories. V: White, W. B., Culver, D. C., Pipan, T. (ur.). *Encyclopedia of Caves*. London, San Diego, Cambridge, Oxford: Academic Press 652–657.
- Fišer, C., Borko, Š., Delić, T., Kos, A., Premate, E., Zgamažster, M., Zakšek, V. in Altermatt, F., 2022. The European Green Deal misses Europe's subterranean biodiversity hotspots. *Nature Ecology and Evolution*, 2022, v tisku.
- Fišer, C., Robinson, C. T. in Malard, F., 2018. Cryptic species as a window into the paradigm shift of the species concept. *Molecular Ecology*, 2018, 27, 613–635.
- Gibert, J. in Deharveng, L., 2002. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. *BioScience* 2002, 52, 473–481.
- Gorički, Š., Stanković, D., Snoj, A., Kuntner, M., Jeffery, W. R., Trontelj, P., Pavičević, M., Grizelj, Z. in Năpăruș-Aljančić, M., 2017. Environmental DNA in subterranean biology: range extension and taxonomic implications for . *Scientific Reports*, 2017, 91–93.
- Griebler, C. in Avramov, M., 2015. Groundwater ecosystem services: a review. *Freshwater Science*, 2015, 34, 355–367.
- Humphreys, W. F., 2000. Relict faunas and their derivation. V: Wilkens, H., Culver, D. C., Humphreys, W. F. (ur.), *Ecosystems of the World: Subterranean ecosystems*. Amsterdam [etc.]: Elsevier. 417–432.
- Hutchins, B. T., Summers Engel, A., Nowlin, W. H. in Schwartz, B. F., 2016. Chemolithoautotrophy supports macroinvertebrate food webs and affects diversity and stability in groundwater communities. *Ecology*, 2016, 97, 1530–1542.
- Jemec Kokalj, A., Fišer, Ž., Dolar, A., Novak, S., Drobne, D., Bračko, G. in Fišer, C., 2022. Screening of NaCl salinity sensitivity across eight species of subterranean amphipod genus . *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2022, 236, 113456.
- Kostanjšek, R., Aljančić, G., Bizjak Mali, L., Fišer, C., Hudoklin, A., Mulec, J., Năpăruș-Aljančić, M., Pipan, T., Prelovšek, M., Zgamažster, M., Zakšek, V. in Žvikart, M., 2022. Podzemni ekosistemi. V: Šumrada, T., Rac, I., Udovč, A., Čelik, T. (ur.). *Varstvo okolja in biotske pestrosti v kmetijski krajini: Kmetijsko-okoljska politika v Sloveniji*. Ljubljana: ZRC SAZU. V tisku.
- Lunghi, E. in Bilandžija, H., 2022. Longevity in Cave Animals. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2022, 10, 1–7.
- Mammola, S., Cardoso, P., Culver, D. C., Deharveng, L., Ferreira, R. L., Fišer, C., Galassi, D. M. P., Griebler, C., Halse, S., Humphreys, W. F., Isaia, M., Malard, F., Martinez, A., Moldovan, O. T., Niemiller, M. L., Pavlek, M., Reboleira, A. S. P. S., Souza-Silva, M., Teeling, E. C., Wynne, J. in Zgamažster, M., 2019. Scientists' warning on the conservation of subterranean ecosystems. *BioScience*, 2019, 69, 641–650.



21. Mermillod-Blondin, F., Lefour, C., Lalouette, L., Renault, D., Malard, F., Simon, L. in Douady, C. J., 2013. Thermal tolerance breadths among groundwater crustaceans living in a thermally constant environment. *The Journal of Experimental Biology*, 2013, 216, 1683–1694.
22. Poff, N. L. in Zimmerman, J. K. H., 2010. Ecological responses to altered flow regimes: A literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 2010, 55, 194–205.
23. Premate, E., Borko, Š., Delić, T., Malard, F., Simon, L. in Fišer, C., 2021. Cave amphipods reveal co-variation between morphology and trophic niche in a low-productivity environment. *Freshwater Biology*, 2021, 66: 1876–1888.
24. Schmidt, S. I., Schwientek, M. in Cuthbert, M. O., 2017. Towards an integrated understanding of how micro scale processes shape groundwater ecosystem functions. *Science of the Total Environment*, 2017, 592, 215–227.
25. Sket, B., 1999. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. *Biodiversity and Conservation* 1999, 8, 1319–1338.
26. Stoch, F. in Galassi, D. M. P., 2010. Stygobiotic crustacean species richness: A question of numbers, a matter of scale. *Hydrobiologia* 2010, 653, 217–234.
27. Trontelj, P., Blejec, A. in Fišer, C., 2012. Ecomorphological Convergence of Cave Communities. *Evolution*, 2012, 66, 3852–3865.
28. Trontelj, P., Zakšek, V., Skrbinšek, T., Gabrovšek, F. in Kostanjšek, R., 2017. Znanstveni temelji za varstvo človeške ribice (*Proteus anguinus*): metodologija monitoringa, ocena izhodiščnega stanja ter identifikacija varstveno pomembnih enot. Zaključno poročilo projekta.
29. Zagmajster, M. in Delić, T., 2021. Discovery of subterranean amphipod (*Schiødte*, 1847) (Amphipoda: Niphargidae) in a cave drip pool with increased salinity. *Natura Sloveniae*, 21, 57–59.
30. Zagmajster, M., Borko, Š., Delić, T., Douady, C. J., Eme, D., Malard, F., Trontelj, P. in Fišer, C., 2022. Availability of DNA barcodes in subterranean amphipods of Europe. V: Malard F., Deharveng, L. (ur.). 18th International Congress of Speleology – Symposium 07 – Biology, Subterranean Life. *Karstologia Mémoires, Savoie Mont Blanc*. 163–166.
31. Zakšek, V. in Fišer, C., 2021. Vključevanje biotske komponente v priporočila glede kvalitete podzemne vode za spremljanje izbranih ekosistemov, odvisnih od podzemne vode. Interno poročilo.

# King.Prostor

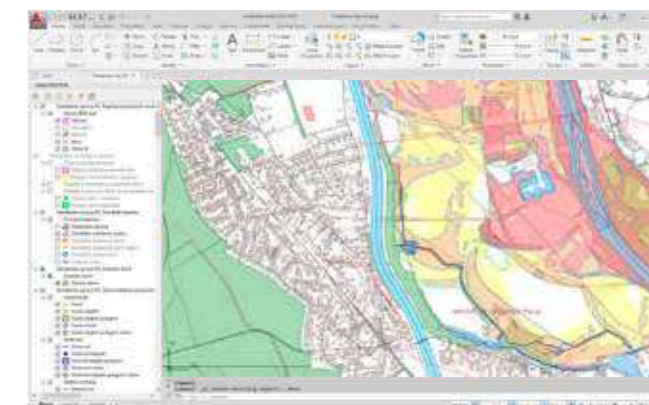
powered by GeoSX



## Začnite projekt z natančno informacijo

Urejen in pregleden prikaz podatkov katastra nepremičnin, GJI, eVode, kulturne dediščine, kmetijskih površin, rabe prostora, ortofotov...

Uporabimo lahko preko 450 slojev na poljubno izbranem območju.



## Celovit vpogled za tehtne odločive

Preverimo poseg predvidene gradnje na območja dejanske rabe zemljišč. Izdelamo poročila o posegih na parcele ter presek parcel in območij dejanske rabe.

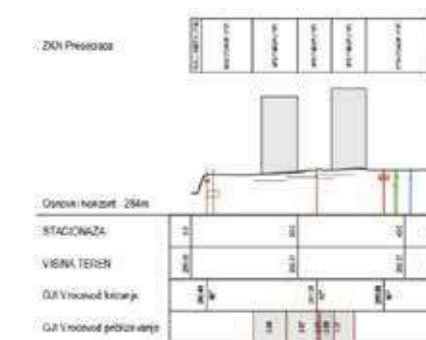
Seznam vseh soglasodajalcev za izbrano območje posega pridobimo že ob pričetku načrtovanja.



## Prerezi za lažjo predstavo

Izrišemo poljuben prerez, ki prikaže presek z ARSO Lidar terenom, katastrom stavb in parcelami ter križanja in približevanja z GJI infrastrukturo.

Vizualiziramo nagibe terena, stavbe, položaje parcel ter križanja in približevanja jaškov, cevi, kablov in drugih objektov.



## Informacijsko podprto načrtovanje in sodelovanje

King.Prostor predstavlja nepogrešljivo orodje za dobro umestitev vaših projektov v prostor ter izmenjavo podatkov med vsemi sodelujočimi v projektu.

King.Prostor je tudi del Sewer+ Pro kjer s pomočjo obstoječih GJI vodov in ARSO Lidar podatkov v BIM podprtem okolju načrtujemo nove komunalne vode in obnove obstoječih vodov. Iz načrta enostavno pripravimo GJI elaborat sprememb.

[www.kingprostor.si](http://www.kingprostor.si)

En klik do GURS, ZKP, GJI, ARSO, RKD, GERK ... v dwg





EKO SKLAD

SLOVENSKI OKOLJSKI  
JAVNI SKLAD

WWW.EKOSKLAD.SI

## UGODNI KREDITI ZA NALOŽBE V RABO VODE

Za smotrno rabo vode je možno pridobiti ugoden kredit Eko sklada.

Kredit je na voljo za:

- odvajanje in čiščenje odpadnih in padavinskih voda,
- učinkovito rabo vodnih virov,
- oskrbo s pitno vodo.

Obrestna mera je **trimesečni EURIBOR + 1,3 %**.

Odplačilna doba znaša največ 10 let za vse ukrepe za občane in največ 15 let za pravne osebe.

Kredit za posamezni ukrep se lahko odobri do višine priznanih stroškov naložbe.

Kredit je potrebno zavarovati.

### EKO SKLAD

Bleiweisova cesta 30  
1000 Ljubljana  
01 241 48 20  
ekosklad@ekosklad.si

### URADNE URE

Po telefonu: v ponedeljek, sredo  
in petek med 12. in 14. uro.  
Osebnostno: od ponedeljka do  
petka med 9. in 14. uro.

### VSE LETO

Spodbude Eko sklada niso časovno omejene, vlogo zanje lahko oddate kadarkoli v letu.

### 159 L VODE NA DAN

oz. 58,2 m<sup>3</sup> letno za domače potrebe povprečno porabi prebivalec Slovenije.\*

Največ vode porabimo za osebno higieno, splakovanje.

\* VIR: Statistični urad RS, podatki za leto 2020.

## 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 atmosfere, 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.

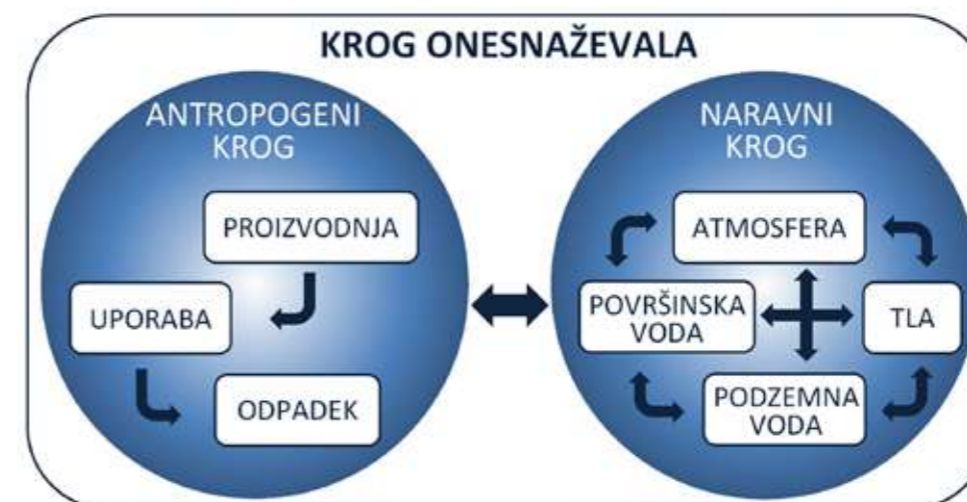
## 2. VODNI KROG NOVODOBNIH ONESNAŽEVAL

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 nepreštevne 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 odpadke. 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.

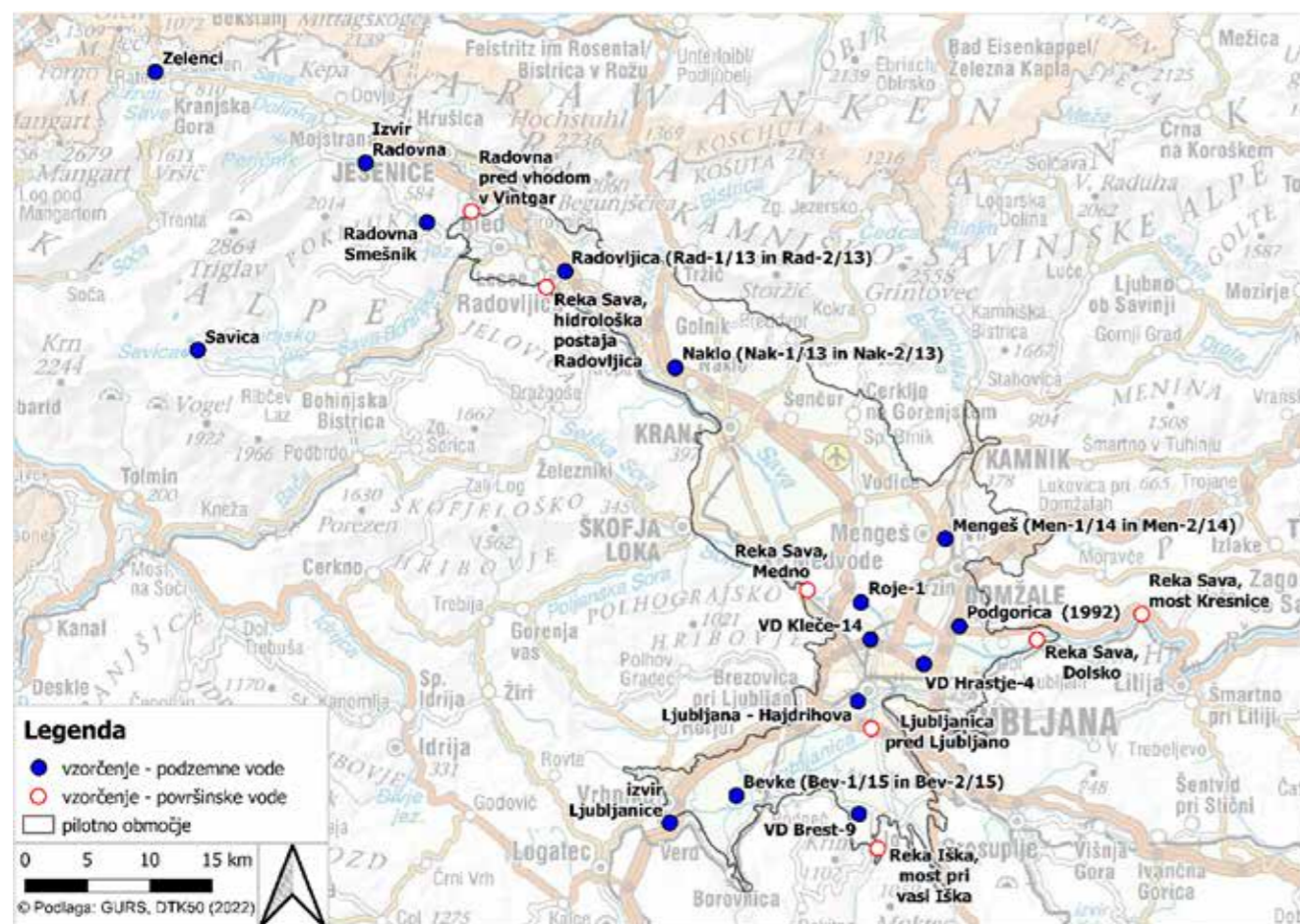
Vir: Brenčič et al., 2022.



### 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 razpored 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 odnjaku 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

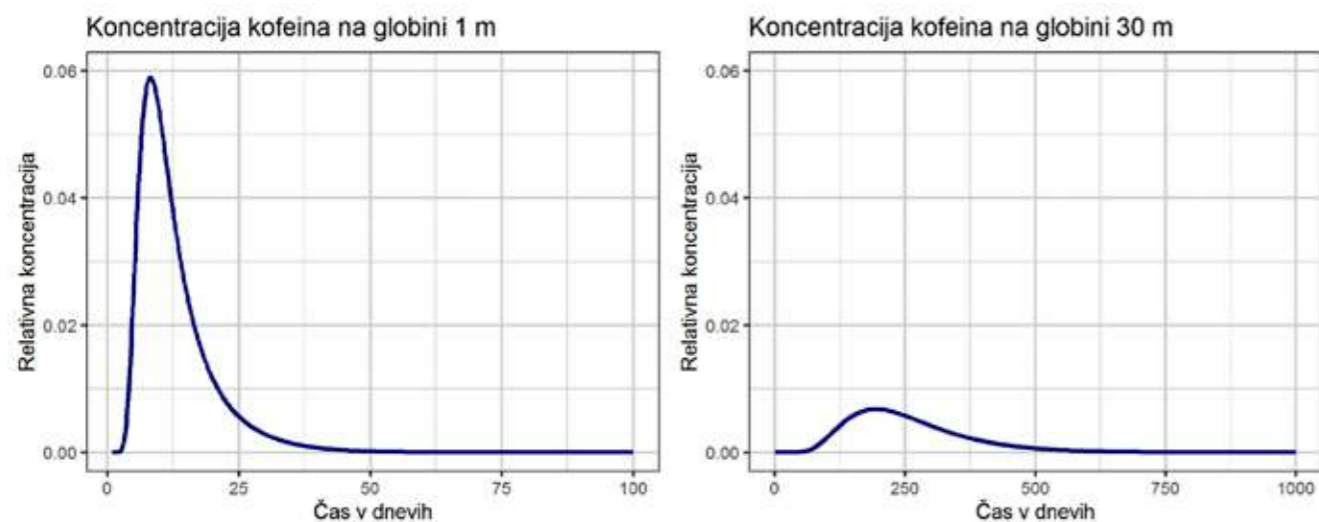
Vir: Brenčič et al., 2022.

### 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.

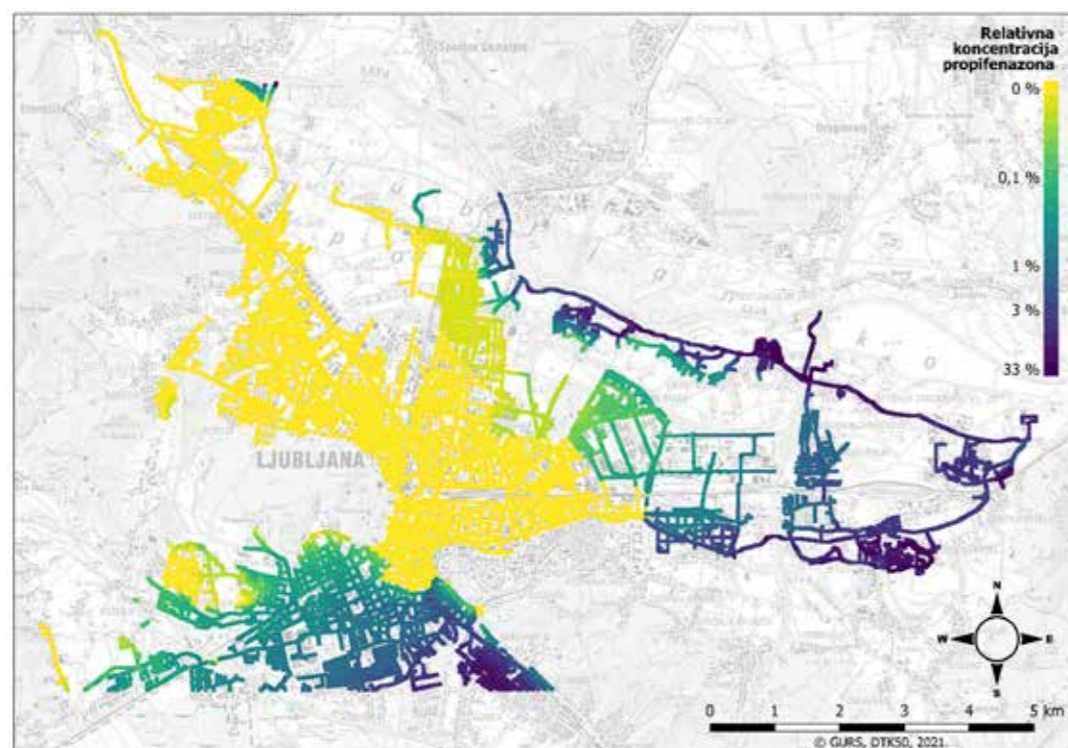
Za izračun transporta onesnaževal smo uporabljali adveksijsko disperzijsko enačbo ob upoštevanju sorpcije in razpada prvega reda. Slika 3 prikazuje rezultata simulacij potovanja kofeina v nezasičenem območju debeline 1 m in 30 m.



**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].



## ZNANOST O CELINSKIH VODAH, KI VKLJUČUJE DRŽAVLJANE

doc. dr. TINA ELERŠEK<sup>1</sup> in MAŠA ZUPANČIČ<sup>2</sup>



### Voda iz pipe. Najboljša izbira.

Certifikat Voda iz pipe je doslej pridobilo že 67 organizacij, ki v svojih prostorih strežejo le pitno vodo iz pipe.



Gospodarska  
zbornica  
Slovenije

Zbornica komunalnega  
gospodarstva

www.gzs.si/zkg

### Povzetek

**Platforma Ciano SLO oz. spletna stran [www.ciano.si](http://www.ciano.si)** je spletno mesto, kjer lahko državljani izvejo vse o cianobakterijah v Sloveniji ter se obenem vključijo v popisovanje njihove razširjenosti. Obiskovalcem ponuja informacije o cianobakterijah in cianotoksinih, interaktivni zemljevid območij v Sloveniji, ki so podvržena pojavljanju strupenih cianobakterij, smernice, kako prepoznati čezmerno namnožitev cianobakterij v okolju, ter nasvete, kako se zaščititi pred negativnimi učinki cianotoksinov. Vsi prebivalci lahko **pošljejo fotografijo območja**, za katerega menijo, da ima potencial za pojavljanje strupenih cianobakterij. Ta območja v najkrajšem možnem času vzorčimo, analiziramo v laboratoriju in preverimo, kakšen je potencial za prisotnost strupenih cianobakterij. Podatke analiz objavljamo **na interaktivnem zemljevidu** skupaj s semaforjem tveganja. Z zbiranjem lokacij in fotografij s pomočjo državljanov lahko bolje raziščemo razsežnosti tega potencialno nevarnega pojava v Sloveniji ter posledično lahko bolj učinkovito **zaščitimo tako zdravje voda kot tudi ljudi v Sloveniji**.

**Ključne besede:** celinske vode, cianobakterije, cianotoksini, državljanska znanost, družbena omrežja, ljubiteljska znanost, skupnostna znanost, spletna platforma, strupenost, vključevanje državljanov.

### Abstract

**The Ciano SLO platform or website [www.ciano.si](http://www.ciano.si)** is a website where citizens can find everything they need to know about cyanobacteria in Slovenia and participate in cyanobacteria distribution studies. Visitors can find: information about cyanobacteria and cyanotoxins; an interactive map of areas in Slovenia with toxic cyanobacteria; guidelines on how to recognise cyanobacteria overgrowth in the environment; and tips on how to protect themselves from the negative effects of cyanotoxins. All residents can **upload a photo of an area** they believe has the potential for toxic cyanobacteria. These areas are sampled as soon as possible, analysed in the laboratory and tested for the presence of toxic cyanobacteria. We publish the data analysis on an interactive map along with a risk traffic light. By collecting locations and photos with the help of citizens, we can better study the extent of

<sup>1</sup> Doc. dr. Tina Eleršek, Oddelek za genetsko toksikologijo in biologijo raka, Nacionalni inštitut za biologijo

<sup>2</sup> Maša Zupančič, Oddelek za genetsko toksikologijo in biologijo raka, Nacionalni inštitut za biologijo

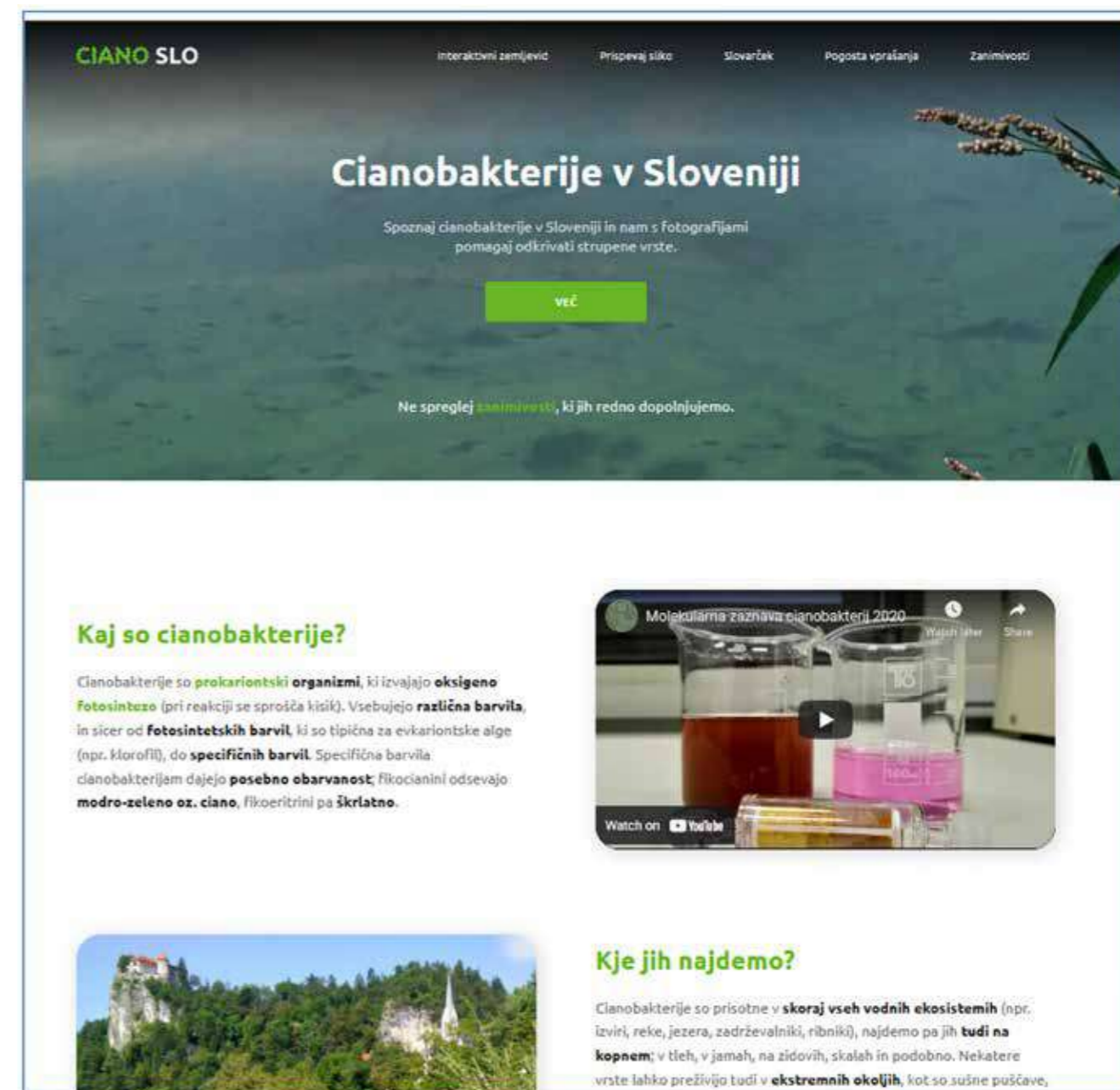


this potentially dangerous phenomenon in Slovenia and later more effectively **protect the health of Slovenia's water and people.**

**Keywords:** citizen participation, citizen science, community science, crowd science, crowd-sourced science, cyanobacteria, cyanotoxins, online platform, social media, surface water, toxicity.

## 1. UVOD

Podnebne spremembe in evtrofikacija močno ogrožajo delovanje celinskih vodnih ekosistemov, v prihodnosti pa se bo ta grožnja le še povečala. Glavna problema sta povišanje temperature in čezmerna antropogena obremenitev s fosforjem ter dušikom (predvsem na območjih kmetijskih površin). Kombinacija obeh dejavnikov lahko ob slabši pretočnosti vodnega telesa vodi v povečanje obsega čezmernih namnožitev cianobakterij in s tem poslabšanje kakovosti vode. Obsežnejše razrasti cianobakterij na eni strani in povečana potreba po vodi na drugi zahtevata tako hiter kot učinkovit način zaznave potencialno strupenih cianobakterij. Neustrezna in nekontrolirana izraba vodnih virov namreč omogočata prenos cianotoksinov po prehranjevalni verigi, katere del je tudi človek. Poleg tega pa v Sloveniji predstavlja veliko vrzel prav nepoznavanje obsežnosti tega pojava.



**Slika 1:** Uvodna stran spletne informacijske platforme Ciano SLO na [www.ciano.si](http://www.ciano.si).

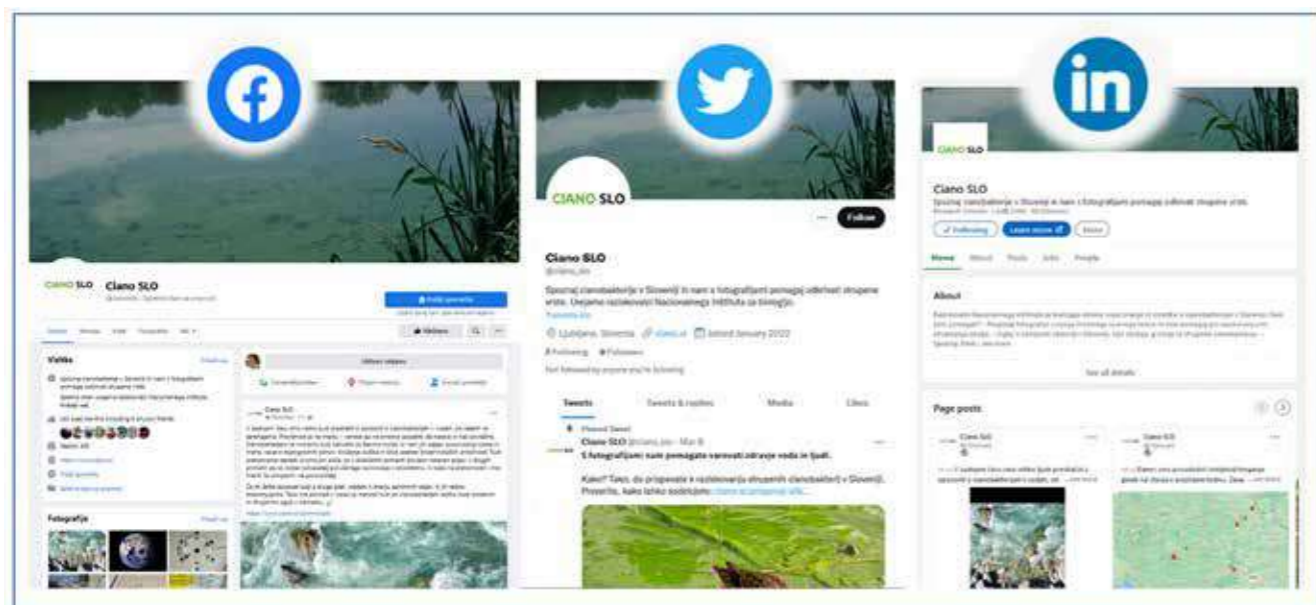
Vir: [www.ciano.si](http://www.ciano.si), 2022.

V začetku leta 2022 smo javnosti predstavili spletno informacijsko platformo [www.ciano.si](http://www.ciano.si) (Slika 1) ter objave na družbenih omrežjih, kjer tedensko objavljamo zanimive in aktualne informacije (Slika 2). Platforma je namenjena digitalnemu komuniciranju in vključevanju vseh prebivalcev Slovenije v zaznavanje te toksične grožnje. Ker v Sloveniji prisotnost potencialno strupenih cianobakterij ni bila še nikoli sistematično raziskana, zdaj s pomočjo državljanov odkrivamo ogrožena območja. Stanje na terenu se namreč hitro spreminja; če bi želeli sami odkriti vsa vodna telesa s tveganjem za pojav cianotoksinov, bi bilo potrebno vzorčenje po vsej državi v zelo kratkih časovnih intervalih. Lokalni prebivalci tako ključno pripomorejo k obveščanju o stanju okolja, tako da na spletno platformo naložijo fotografije s sumljivih območij (na primer takih,



kjer se pojavlja sloj na površini, ki bi lahko nakazoval na razrast cianobakterij, ali pa takih, kjer pride do množičnega pogina živali). Vsi rezultati so javnosti dostopni v obliki zemljevida ogroženih območij (Slika 3). Kadar z mikroskopijo zaznamo potencialno nevarnost, v nekaj dneh na spletni strani objavimo semafor na fotografiji lokacije, kjer rdeča luč pomeni »pozor, voda ima toksičen potencial«, zelena luč pa »trenutno voda nima toksičnega potenciala« (Slika 4). Poleg tega na platformi [www.ciano.si](http://www.ciano.si) prebivalce ozaveščamo o problematiki cianobakterij in jim podajamo informacije za lažje prepoznavanje tveganja v njihovem okolju (Sliki 5 in 6). Na ta način pomembno in aktivno prispevamo k ozaveščanju in zdravju ljudi, ohranjanju in varovanju okolja ter ekosistemskih storitev, ki jih imajo slovenski potoki, reke in jezera.

1 Konvencije o kemičnem orožju. Vse več je dokazov o njihovih genotoksičnih in potencialno raketovornih učinkih (Žegura et al., 2011). Na Nacionalnem inštitutu za biologijo razvijamo inovativne molekularne metode za zgodnje zaznavanje strupenih cianobakterij v celinskih vodah, ki temeljijo na podlagi okoljske DNK (eDNK). Te metode so v primerjavi s tradicionalnimi pristopi (npr. določanje vrst po morfoloških merilih) hitrejše in cenejše ter manj odvisne od subjektivne presoje izvajalca analiz. Glavno pa je to, da ob ustrezno vzpostavljenem sistemu monitoringa omogočajo zgodnje zaznavanje grožnje cianotoksinov, kar je podlaga za pravočasno in ustrezno ukrepanje tako za zaščito zdravja ljudi kot tudi ekosistemov.



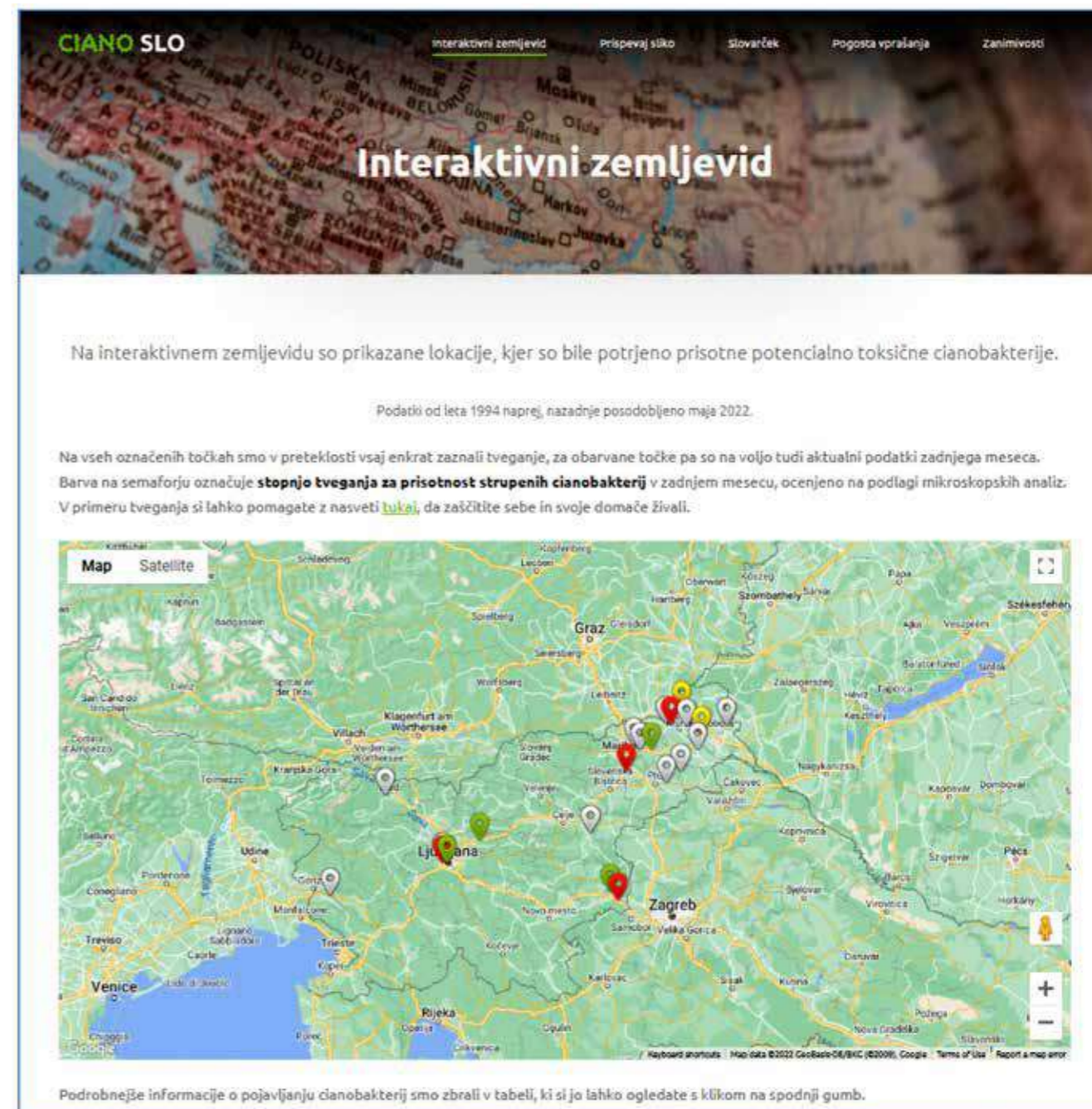
Slika 2: Ciano SLO na različnih priljubljenih družbenih omrežjih – Facebook (levo), Twitter (sredina) in LinkedIn (desno).

Viri: [www.facebook.com/cianoslo](http://www.facebook.com/cianoslo), 2022; [www.twitter.com/ciano\\_slo](http://www.twitter.com/ciano_slo), 2022; [www.linkedin.com/company/ciano-slo/](http://www.linkedin.com/company/ciano-slo/), 2022.

## 2. OZAVEŠČANJE O POMENU CELINSKIH VODA IN TVEGANJIH

### 2.1 Pomen celinskih voda in cianotoksini

Celinske vode predstavljajo le majhen delež vseh voda na Zemlji, vendar imajo za človeštvo izjemno in nenadomestljivo vlogo. Kljub številnim velikopoteznim evropskim ciljem (npr. WFD 2000/60/ES, EEA 2020, Natura 2000, Strategija za biotsko raznovrstnost do leta 2030) je velik delež celinskih vodnih teles v Evropi še vedno med najbolj ogroženimi habitati (Zavod RS za varstvo narave, 2019). V plitvih vodnih telesih z nizkim pretokom je najpogostejši problem evtrofikacija; v Sloveniji je kar 83 % registriranih vodnih teles evtrofnih (Evropska komisija za okolje, 2020). Visoke koncentracije fosforja in organskih snovi v evtrofnih vodah spodbujajo čezmerno razrast cianobakterij, ki so lahko strupene. Njihovi strupi, cianotoksini, imajo zelo škodljive učinke na zdravje okolja, biote in ljudi (Meriluoto et al., 2017). Nekateri so uvrščeni na seznam potencialno raketovornih snovi, nekateri drugi pa vključeni celo na seznam



Slika 3: Interaktivni zemljevid ogroženih območij.

Vir: [www.ciano.si/interaktivni-zemljevid/](http://www.ciano.si/interaktivni-zemljevid/), 2022.



## 2.2 Preventivne dejavnosti

Celinska vodna telesa so podvržena antropogenim vplivom (kot že prej omenjene podnebne spremembe in eutrofikacija), kar škodljivo učinkuje na vodo (npr. izguba biotske raznovrstnosti, bolj strupene in invazivne vrste). V prihodnosti se bosta grožnji podnebnih sprememb in eutrofikacije še povečali (npr. Paerl et al., 2011), zaradi česar bodo čezmerne namnožitve cianobakterij še pogostejše (Elliott, 2012). Zato je pomembno, da smo pripravljeni na povečano tveganje cianotoksinov, ki nas morda čaka, ter vzpostavimo učinkovit sistem spremljanja in nadzora okolja za zaščito zdravja ljudi. V to so usmerjene naše raziskave molekularnega monitoringa, s katerimi prispevamo k zdravemu življenjskemu okolju državljanov. Poleg tega preventivo pred tveganjem cianotoksinov zagotavljamo tudi z ozaveščanjem prebivalcev o tej problematiki na novi spletni platformi [www.ciano.si](http://www.ciano.si) (Slike 1–6). Ta med drugim vključuje zemljevid ogroženih območij in nasvete za zmanjšanje izpostavljenosti cianotoksinom z namenom zaščite prebivalstva.

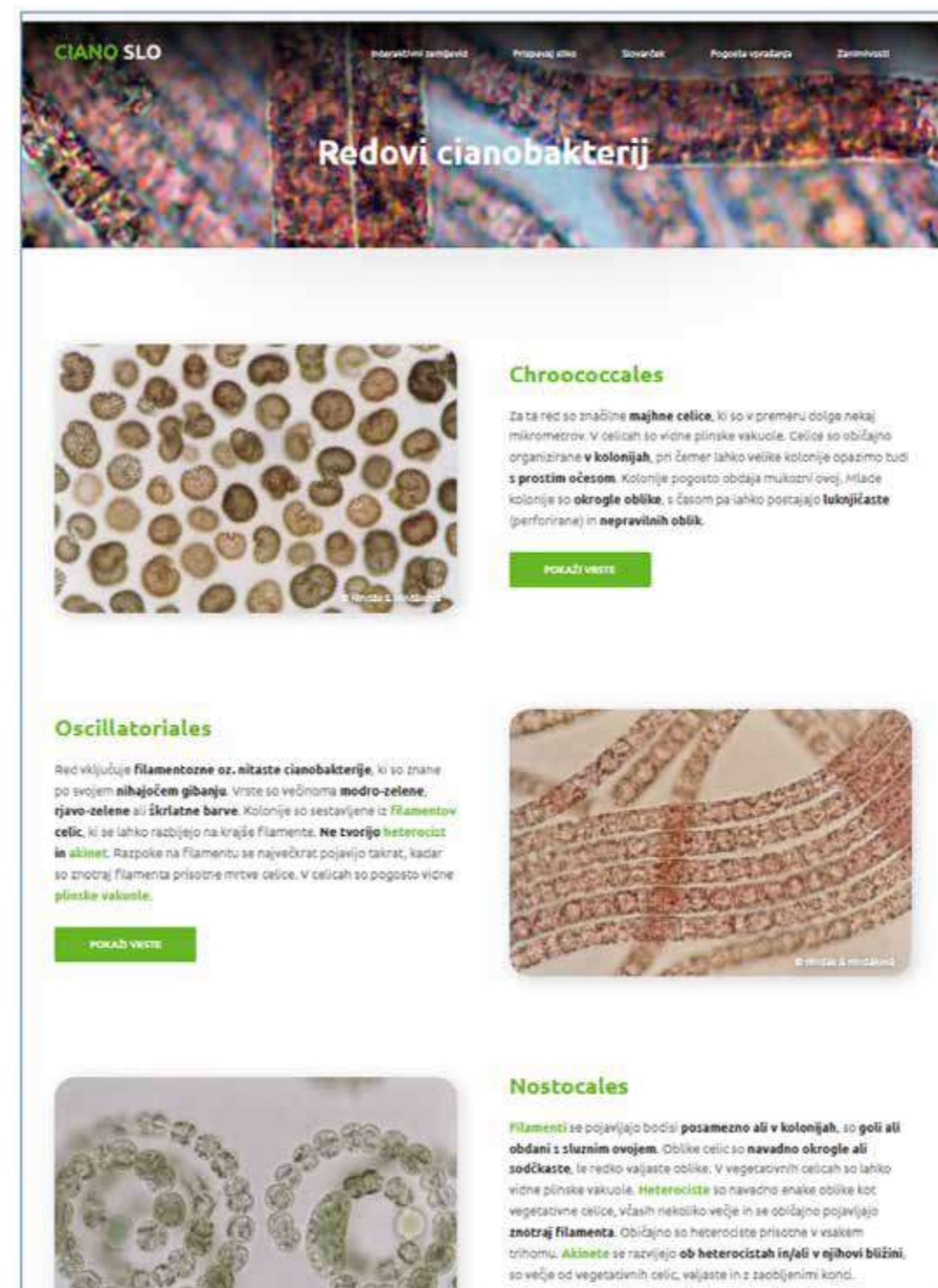


**Slika 4:** Primer semaforja na izbrani lokaciji »ribnik Hotinja vas«; rdeča luč na cianosemaforju pomeni »pozor, voda ima cianotoksičen potencial«.

Vir: [www.ciano.si/interaktivni-zemljevid/](http://www.ciano.si/interaktivni-zemljevid/), 2022.

## 2.3 Struktura spletne platforme

Spletna platforma Ciano SLO na uvodni strani (Slika 1) ponuja kratke opise in video, ki na poljuden način razložijo, kaj so cianobakterije, kje jih najdemo, kaj so cianotoksini, kako jih delimo, pomen cianobakterij v naravi in tudi uporabo cianobakterij v biotehnologiji. V letu 2022 je platforma razdeljena na pet podstrani: Interaktivni zemljevid, Prispevaj sliko, Slovarček, Pogosta vprašanja in Zanimivosti.



**Slika 5:** Splošne informacije o redovih cianobakterij.

Vir: [www.ciano.si/redovi-cianobakterij/](http://www.ciano.si/redovi-cianobakterij/), 2022.



**Kako izgleda potencial za cianobakterije?**

Če opazite:

- zeleno, rjavo oziroma škrlatno plast na površini vode ali
- večje število poginulih rib ali drugih organizmov v ali ob vodi,

je to lahko znak, da se tam pojavljajo cianobakterije.

Za lažjo prepoznavo si oglejte **nekaj slikovnih primerov.**

Hkrati smo pripravili tudi **opise nekaterih drugih pojavov**, ki na prvi pogled spominjajo na cianobakterijsko razrast, pa to niso.

Ob opazovanju in fotografiranju območij s cianobakterijami pazite, da se vi ali vaše domače živali **ne izpostavljate cianotoksinom**. Za vas smo pripravili **priporočila, kako ravnati ob prekomerni razrasti cianobakterij.**

**Slika 6:** Informacije za lažje prepoznavanje cianobakterijskega tveganja v celinskih vodah.

Vir: [www.ciano.si/prispevaj-sliko/](http://www.ciano.si/prispevaj-sliko/), 2022.

### 3. ZAKLJUČEK

Cianobakterije so nujne za naše preživetje, saj so primarni proizvajalci v celinskih vodah. Kljub temu pa so nekatere cianobakterije strupene, ker proizvajajo cianotoksine, in je zato koristno, da vemo, kdaj in kje so te vrste prisotne. Pri tem nam v Sloveniji najbolj pomaga platforma Ciano SLO, kjer skupaj z državljani raziskujemo razsežnosti tega pojava, kar je koristno tako za znanost kot za državljane. Z neposrednim nagovarjanjem državljanov širimo ozaveščenost o okoljskih problematikah in med civilnim prebivalstvom spodbujamo željo po ukrepanju, ne le v povezavi s cianobakterijami, temveč tudi s širšimi problemi onesnaževanja okolja. Odzivi na platformo v prvem polletju njenega delovanja kažejo, da prebivalce ta tematika zanima in se zaradi tesne povezave ljudi z vodnimi okolji čutijo vanjo tudi osebno vpletene, po drugi strani pa so pripravljeni pomagati tako pri raziskovanju kot rešitvi problema.

### LITERATURA IN VIRI

1. Elliott, J. A., 2012. Is the future blue-green? A review of the current model predictions of how climate change could affect pelagic freshwater cyanobacteria. *Water Research*, 46(5), 1364–1371. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.018>. [25. 8. 2022].
2. Evropska agencija za okolje, 2020. Spletna stran. Dostopno na: <https://www.eea.europa.eu/> [9. 1. 2022].
3. Evropska agencija za okolje, 2020. Biodiversity strategy 2030. Dostopno na: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/eu-biodiversity-strategy-for-2030-1> [9. 1. 2022].
4. Evropska komisija, 2000. Natura 2000. Dostopno na: [https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm) [9. 1. 2022].
5. Llewellyn, L. E., 2006. Saxitoxin, a toxic marine natural product that targets a multitude of receptors. *Nat Prod Rep*. 23: 200–222.
6. Meriluoto, J., Blaha, L., Bojadzija, G., Bormans, M., Brient, L., Codd, G. A., Drobac, D., Faassen, E. J., Fastner, J., Hiskia, A., Ibelings, B. W., Kaloudis, T., Kokocinski, M., Kurmayer, R., Pantelić, D., Quesada, A., Salmaso, N., Tokodi, N., Triantis, T. M., Visser, M. P. in Svirčev, Z., 2017. Toxic cyanobacteria and cyanotoxins in European waters - recent progress achieved through the CYANOCOST action and challenges for further research. *Adv Oceanogr Limnol*, 8(1): 161–178. Dostopno na: doi: 10.4081/aiol.2017.6429 [27. 9. 2022].
7. Paerl, H. W., Hall, N. S. in Calandrino, E. S., 2011. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. *Sci Tot Env*, 409(10): 1739–1745. Dostopno na: doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.02.001 [27. 9. 2022].
8. WFD 2000/60/EC Article 175(1), Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, Establishing a framework for Community action in the field of water policy, OJL 327, 1–73.
9. Zavod RS za varstvo narave, 2019. Poročilo o stanju habitatnih tipov na območjih Nature 2000. Dostopno na: [https://zrsvn-varstvonarave.si/wp-content/uploads/2019/10/Porocilo\\_12cien\\_PD\\_2019.zip](https://zrsvn-varstvonarave.si/wp-content/uploads/2019/10/Porocilo_12cien_PD_2019.zip) in [https://zrsvn-varstvonarave.si/wp-content/uploads/2019/09/HD\\_zbirno\\_porocilo\\_2013\\_2018-2.xlsx](https://zrsvn-varstvonarave.si/wp-content/uploads/2019/09/HD_zbirno_porocilo_2013_2018-2.xlsx) [24. 11. 2021].
10. Žegura, B., Štraser, A. in Filipič, M., 2011. Genotoxicity and potential carcinogenicity of cyanobacterial toxins – a review. *Mutat Res – Rev Mutat Res* 727:16–41. Dostopno na: doi: 10.1016/j.mrrev.2011.01.002. [27. 9. 2022].

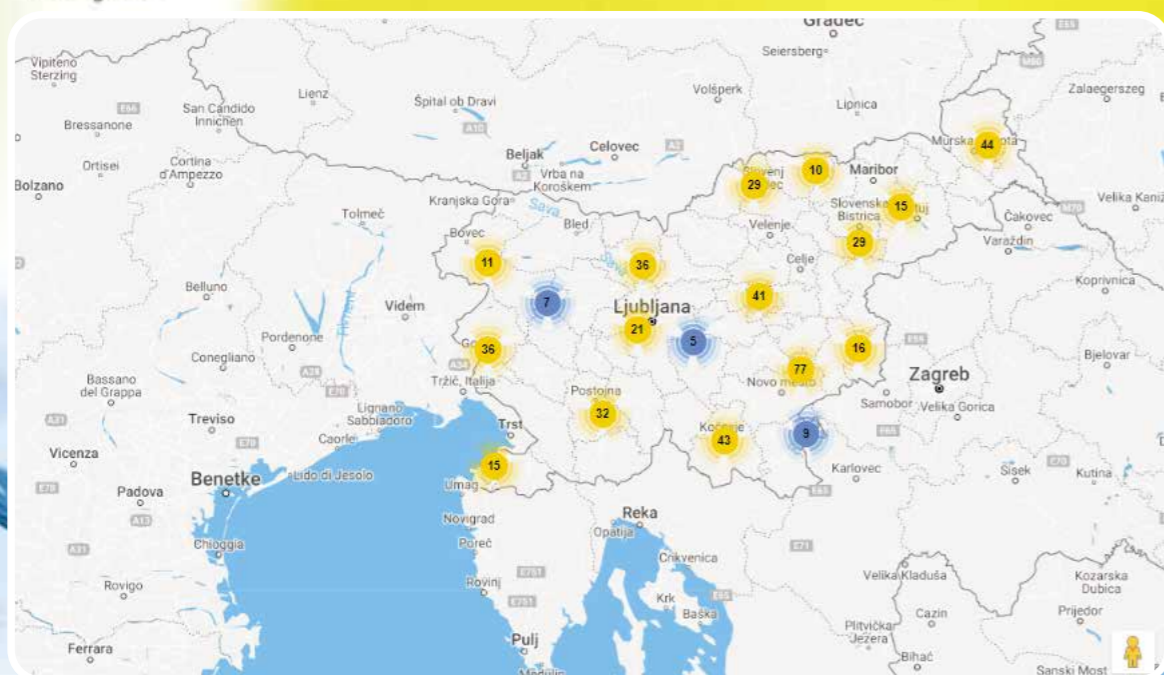


## Z ZBIRANJEM ODPADNEGA JEDILNEGA OLJA OHRANIMO NAŠE VODOTOKE

Zlivanje odpadnega jedilnega olja v straniščno školjko maši mestni kanalizacijski sistem, obremenjuje čistilne naprave in onesnažuje naše vodotoke.



**ODPADNO JEDILNO OLJE**  
Ko odpadek postane rešitev



OBIŠČITE NAŠO SPLETNO STRAN s ponudbo na enem mestu <http://www.bi-mas.com/sl/oliva.php>  
OGLEJTE SI NAŠO APLIKACIJO z vsemi trenutnimi lokacijami za oddajo odpadnega jedilnega olja  
<https://www.ojo.si>

## RAZUMEVANJE SPREMENB V REČNIH OKOLJIH S PREPLETANJEM DALJINSKEGA ZAZNAVANJA IN ANTROPOLOŠKIH RAZISKAV

LIZA STANČIČ<sup>1</sup>, doc. dr. NATAŠA GREGORIČ BON<sup>2</sup>, dr. DAMIR JOSIPOVIČ<sup>3</sup>,  
dr. NEJC ČOŽ<sup>4</sup>, dr. URŠA KANJIR<sup>5</sup>

### Povzetek

Rečna okolja se nenehno spreminjajo in satelitski posnetki nam omogočajo podrobno spremljanje te dinamike. Za boljše razumevanje vzrokov in posledic sprememb je nujno poglobljeno terensko delo. Z združevanjem metod daljinskega zaznavanja in antropoloških raziskav si prizadevamo za celostno opazovanje rečnih okolij. Pristop smo razvili skozi analizo reke Mure v Sloveniji in reke Vjose v Albaniji, fizično-geografsko primerljivih rek, ki imata zelo različno intenziteto upravljalnih posegov. Primerjava rek na podlagi strokovnih analiz in lokalnega znanja omogoča pojasnjevanje vpliva infrastrukturnih posegov ter hidrogeomorfoloških značilnosti na rečno okolje. Za zaznavanje sprememb tako v rabi obrečnega prostora kot v obsegu odlaganja plavin v obliki prodišč smo uporabili optične satelitske posnetke Landsat in Sentinel-2, ki skupaj pokrivajo časovno obdobje štirih desetletij. Za prikaz pretekle dinamike reke smo pripravili vizualizacijo na podlagi digitalnega modela višin. Z etnografskim gradivom, ki temelji na večdesetletnih terenskih izkušnjah, smo razložili in umestili opažanja v širši kontekst. Rezultate daljinskega zaznavanja in antropoloških raziskav smo združili v tako imenovani StoryMap ali bazo znanja, kjer so na voljo širšemu krogu uporabnikov iz vrst nevladnih organizacij in lokalnih skupnosti. Zbrani strokovni rezultati in lokalna znanja bodo prispevali k razkrivanju procesov, ki do zdaj niso bili dovolj dobro vidni, s tem pa k boljšemu razumevanju rečnih okolij ter bolj smotrnim upravljalnim odločitvam.

**Ključne besede:** antropologija vode, daljinsko zaznavanje, lokalna znanja, pokrovnost, prodišča, prostorske spremembe, raba tal, reke, satelitski posnetki.

### Abstract

River environments are constantly changing and satellite images allow us to monitor these dynamics in detail. For a better understanding of the causes and consequences of changes,

- 1 Liza Stančič, asistentka, ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije
- 2 Doc. dr. Nataša Gregorič Bon, znanstvena sodelavka ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije
- 3 Dr. Damir Josipovič, Inštitut za narodnostna vprašanja
- 4 Dr. Nejc Čož, asistent z doktoratom, ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije
- 5 Dr. Urša Kanjir, asistentka z doktoratom, ZRC SAZU, Inštitut za antropološke in prostorske študije



in-depth field work is necessary. By combining the methods of remote sensing and anthropological research, we strive for a comprehensive observation of fluvial environments. We developed the approach through the analysis of the Mura river in Slovenia and the Vjosa river in Albania. The rivers are similar in terms of physical geography but they have very different intensities of management interventions. Comparison of rivers based on expert analyses and local knowledge makes it possible to explain the impact of infrastructural interventions and hydrogeomorphological characteristics on the fluvial environment. We used Landsat and Sentinel-2 optical satellite images, which together cover a time period of four decades, to detect changes in the use of riparian areas and the extent of bedload deposits in the form of gravel bars. To show the past dynamics of a river, we have prepared a visualization based on a digital elevation model. Using ethnographic material based on several decades of field experience, we explained and placed the observations in a wider context. The results of remote sensing and anthropological research were combined in the so-called StoryMap or a knowledge base where they are available to a wider range of users from non-governmental organizations and local communities. The collected results and local knowledge will contribute to revealing processes that have not been sufficiently visible until now, and thus to a better understanding of river environments and more expedient management decisions.

**Keywords:** anthropology of water, gravel bars, land cover, land use, local knowledge, remote sensing, rivers, satellite images, spatial changes.

## 1. UVOD

Dinamiko rečnih okolij je mogoče proučevati z neposrednim opazovanjem s terenskimi meritvami, na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja ali z zbiranjem zgodovinskega lokalnega znanja (Spada et al., 2018; Stecca et al., 2018). V luči pozivov k uporabi različnih novih virov podatkov za analizo hidroloških tematik smo združili metodološke pristope antropoloških raziskav in obdelave satelitskih posnetkov za boljše razumevanje rečnih okolij (Blöschl et al., 2019).

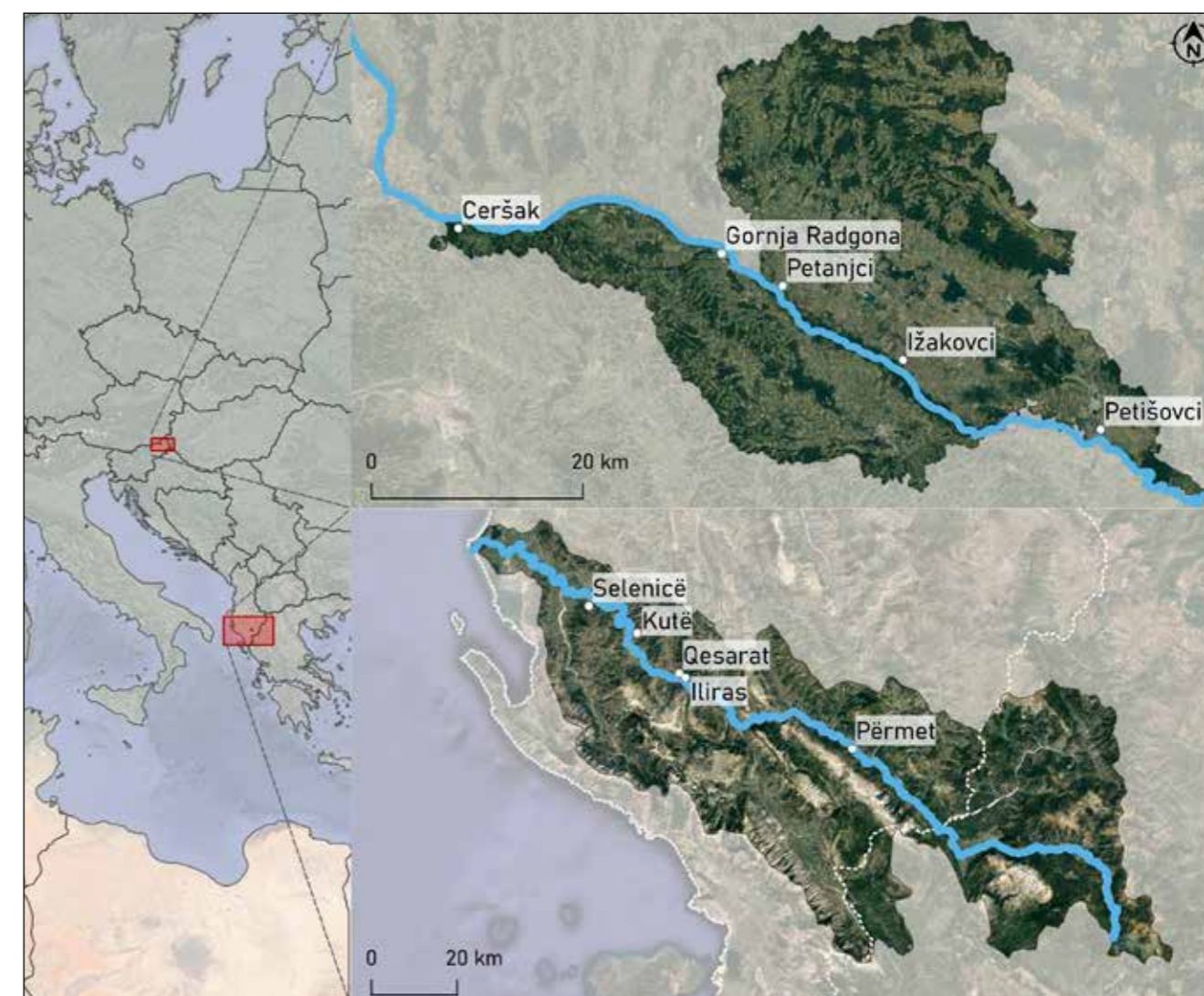
Metodo smo uporabili za celostno obravnavo dveh različnih rek – Muro v Sloveniji in Vjoso v Albaniji. Zanimalo nas je, kako nam lahko novi podatki pomagajo pri primerjavi dveh rečnih okolij z zelo različno zgodovino posegov. Razumevanje poteka sprememb in lokalnega dožemanja tovrstnih sprememb lahko pomaga pri boljših upravljaljskih odločitvah kot tudi okoljskih politikah v prihodnosti.

## 2. ZAZNAVANJE PROSTORSKIH SPREMEMB

Obravnavali smo različne vidike sprememb v rečnih okoljih. V intervjujih in spontanah pogovorih z lokalnimi prebivalci nas je zanimalo, ali prebivalci omenjenih rek zaznavajo spremembe, ki jih opažamo s satelitskimi posnetki, in katere spremembe sploh opažajo, vključno z vegetacijo. Z daljinskim zaznavanjem smo obravnavali spremembe v pokrovnosti v rečnem okolju, dinamiko prodišč in ostanke preteklih meandrov.

## 2.1 Študijski območji

V raziskavi smo se osredotočili na reko Muro v Sloveniji (vključno z mejnima odsekoma z Avstrijo in Hrvaško) ter na reko Vjoso v Grčiji in Albaniji (Slika 1). Gre za primerljivi reki, ki izvirata v mladonagubanih gorovjih na visoki nadmorski višini in imata tako visoko potencialno energijo za prenašanje plavin. Obe imata snežno-dežni rečni režim in povprečni pretok znotraj študijskega območja okrog 150 m<sup>3</sup>/s. Reki prečkata več držav, zato je njuno smotrno upravljanje zelo pomembno.



**Slika 1:** Pregledna karta študijskih območij v Evropi – Mura desno zgoraj in Vjosa desno spodaj.

Vir: ZRC SAZU. Viri podlag: Bing, 2021; DRSV, 2021; Natural Earth, 2020; OSM, 2021.

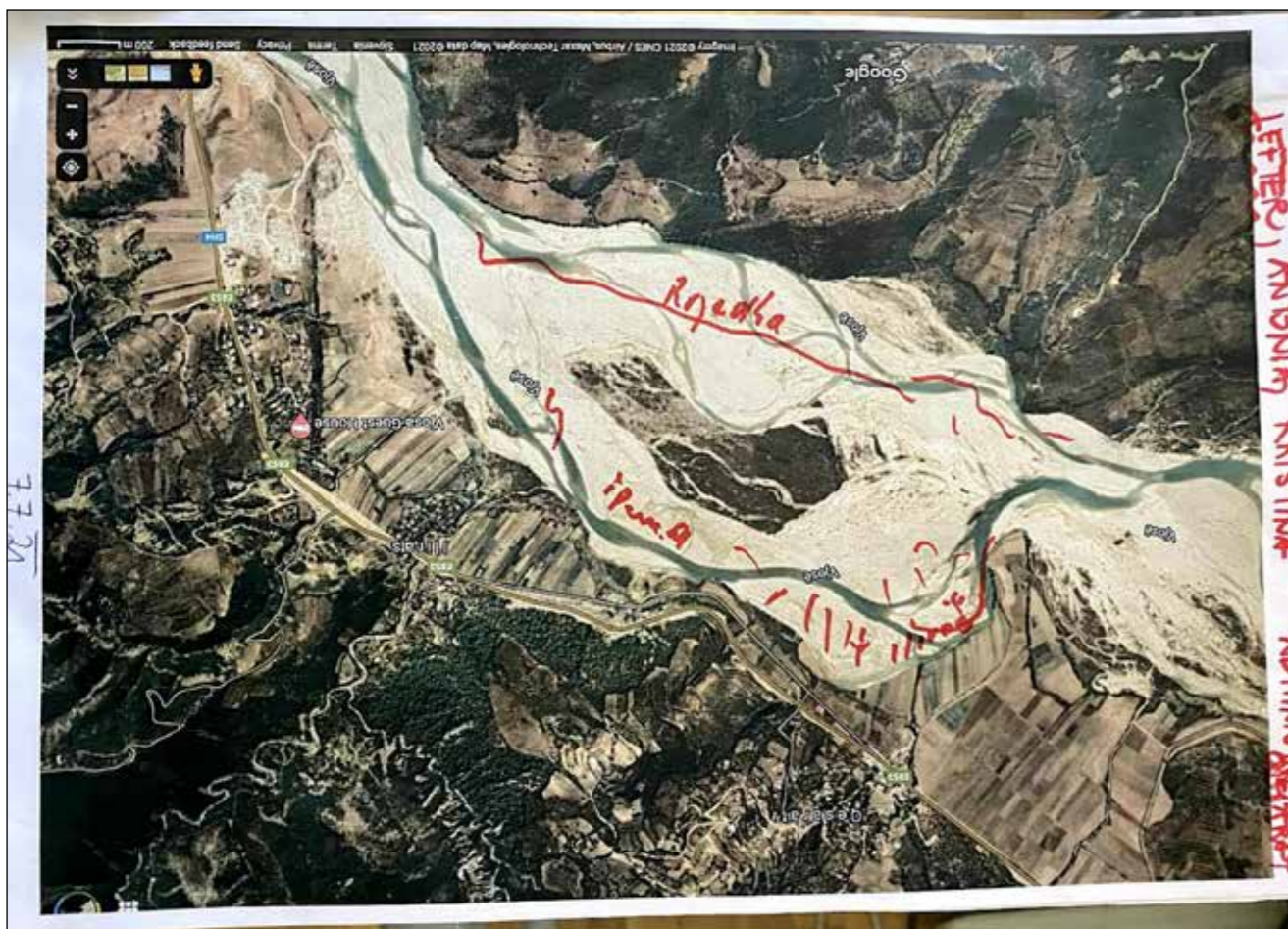
Pomembna razlika med Muro in Vjoso je obseg infrastrukturnih posegov v rečni prostor. Na Muri obratuje 26 hidroelektrarn. Poleg tega je bilo na njeni strugi od 19. stoletja naprej izvedenih več projektov regulacije in gradnje protipoplavnih nasipov, s katerimi so utrdili rečne bregove, zmanjšali bočno erozijo ter lokalno omejili obseg poplav. Vjosa je nezajezena in neregulirana; poznana je kot zadnja večja »divja« reka v Evropi. Edina izjema pri posegih na Vjosi je



hidroelektrarna z akumulacijo na samem izviru reke. V zadnjih desetletjih je bilo na Vjosi več načrtov za izgradnjo novih hidroelektrarn. V najbolj napredni fazi je projekt, ki se izvaja blizu kraja Kalivač, kjer so bila že narejena pripravljala dela, nato pa je zaradi pravnih in finančnih težav zastal. S tem ko je 13. junija 2022 albanska vlada podpisala namero o ustanovitvi Narodnega parka reke Vjose, se zdi možnost za prihodnost Vjose brez jezov še verjetnejša.

## 2.2 Etnografsko delo

V izbranih skupnostih ob obeh rekah sta geograf in antropologinja opravila številne intervjuje s prebivalci. Spraševala sta jih o njihovem doživljanju in uporabi rečnega okolja ter spremembah, ki jih zaznavajo v rečnem okolju. Oba raziskovalca imata večdesetletne izkušnje s terenskim delom na študijskem območju, zato sta lahko interpretirala poglede sogovorcev ter jih umestila v širši zgodovinski, družbeni, kulturni, okoljski in ekonomski kontekst. Sogovorci so zaznane spremembe zarisali na satelitskih posnetkih študijskega območja (Slika 2).



**Slika 2:** Primer satelitskega posnetka reke Vjose v bližini naselij Qesarat in Iliras s spremembami, ki jih je vrisal eden od sogovorcev iz naselja, ki leži ob reki.

Vir: ZRC SAZU.

Nekateri pogovori so bili tudi posneti in so predstavljeni v javno dostopni bazi znanja (v nadaljevanju).

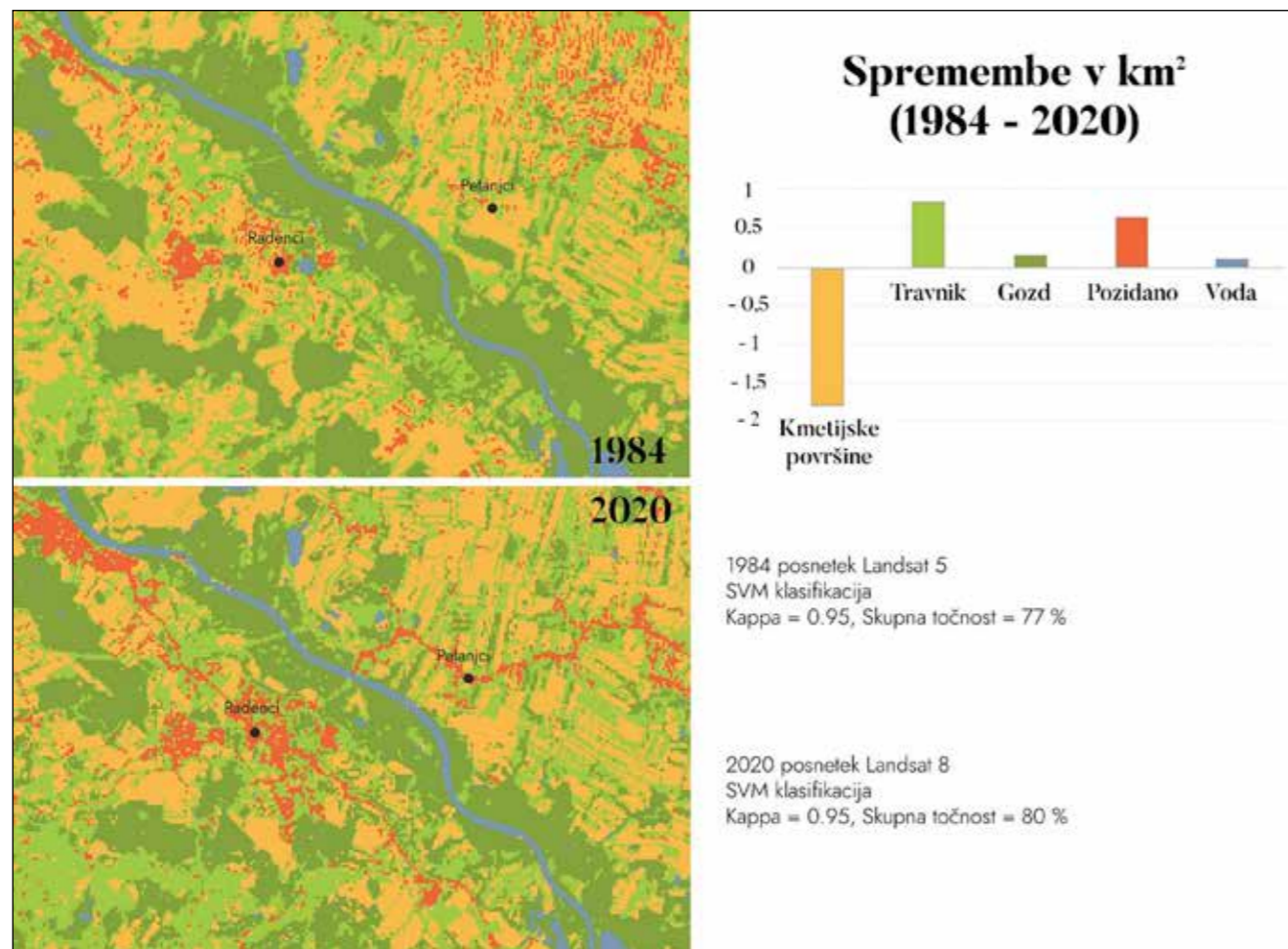
## 2.3 Daljinsko zaznavanje

Za zaznavanje prostorskih sprememb smo uporabili satelitske posnetke sistemov Landsat in Sentinel-2. Optična multispektralna sistema za opazovanje Zemlje snemata površje v primerljivih spektralnih pasovih. Posnetki Landsat so na voljo od leta 1984 vsakih 16 dni v prostorski ločljivosti 30 m. Sentinel-2 je dostopen od leta 2015 in lahko isto območje opazuje vsakih pet dni. Snema v prostorskih ločljivostih 10, 20 in 60 m, odvisno od spektralnega pasu. Časovna vrsta je sicer zaradi oblakov, meglic in senc, ki se lahko pojavijo na posnetkih, redkejša. Pretekle tokove rek smo zaznavali tudi z uporabo digitalnega modela površja (DMP) s prostorsko ločljivostjo 1 m. DMP je bil izdelan na podlagi aerolaserskega skeniranja Slovenije med letoma 2014 in 2015.

### 2.3.1 Spremembe v obrečni pokrovnosti

Pokrovnost obrečnih okolij smo zaznavali s klasifikacijo satelitskih posnetkov z uporabo metode podpornih vektorjev (ang. *Support Vector Machine*). Zaznavali smo naslednje razrede pokrovnosti: kmetijska površina, travnik, gozd, pozidana površina in voda. Učne vzorce smo pridobili na podlagi referenčnih podatkov z višjo prostorsko ločljivostjo. Spremembo v rabi tal smo zaznavali s primerjavo izdelanih kart pokrovnosti iz različnih let.

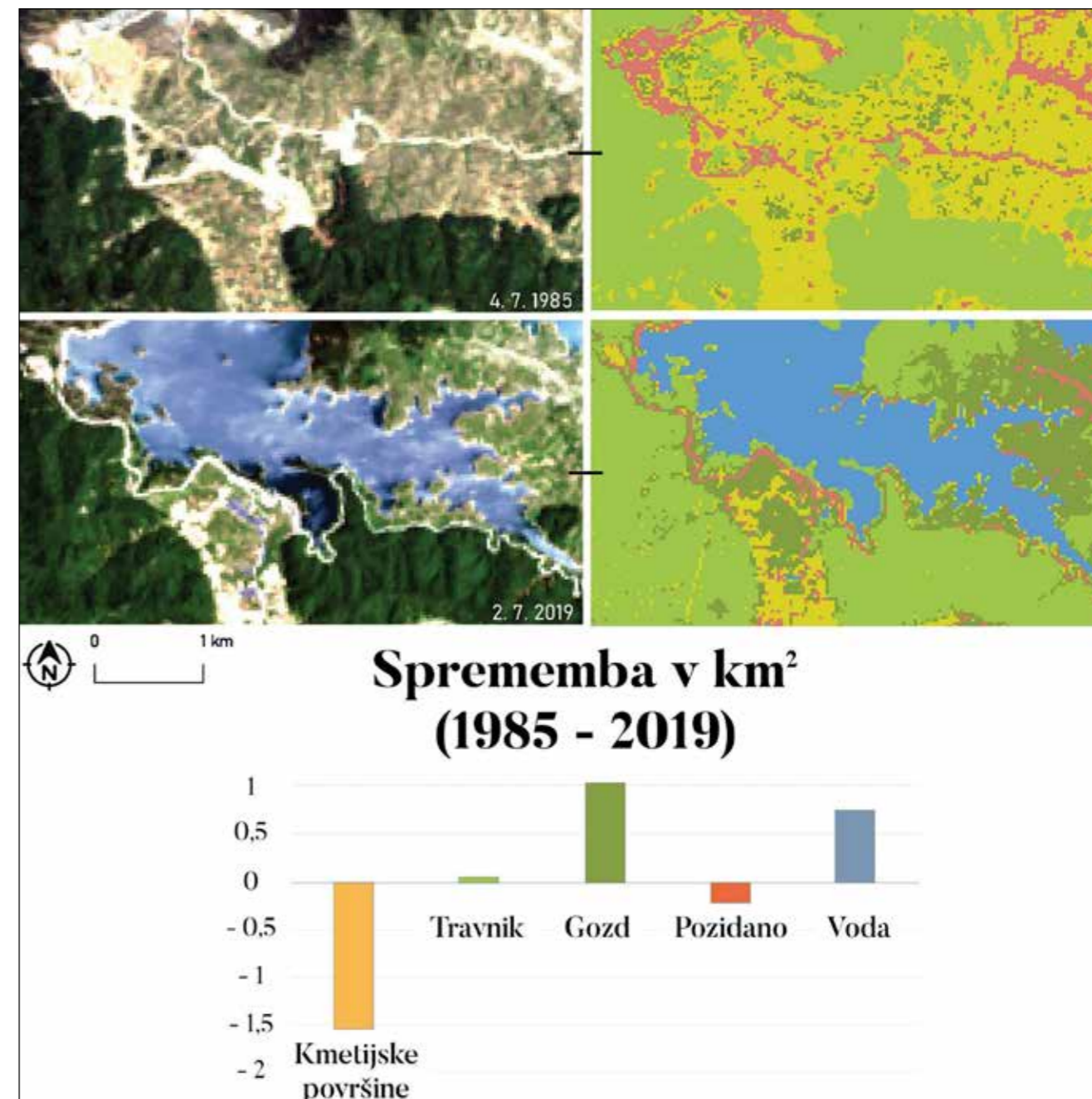
Na območju Mure smo primerjali karte iz let 1984 in 2020 (Slika 3). Opazno je zmanjšanje kmetijskih površin na račun travnikov in pozidanih površin v širšem obrečnem okolju. Večjih sprememb bližje reki ni opaziti, saj je struga stabilizirana.



**Slika 3:** Pokrovnost in spremembe ob Muri na območju Petanjcev in Radencev med letoma 1984 in 2020.

Vir: ZRC SAZU.

Vjosa je zaradi odsotnosti infrastrukturnih posegov precej bolj dinamična kot Mura. Rečni tok se pogosto premešča. Kljub temu pa so največje spremembe v pokrovnosti na območju Vjose antropogenega izvora. Na izviru reke v Grčiji so leta 1984 začeli z gradnjo jezusa za akumulacijsko jezero za hidroelektrarno. Opazovali smo pokrovnost na območju ob izviru Vjose v letih od 1985 (pred napolnitvijo akumulacije) do 2019 (Slika 4). S kart pokrovnosti je razvidno, da je akumulacijsko jezero zalilo predvsem kmetijske površine. Njive, ki niso bile zalite z vodo, so se zarasle z gozdom.



**Slika 4:** Pokrovnost in spremembe ob izviru Vjose med letoma 1985 in 2019.

Vir: ZRC SAZU.

Klasifikacija obrečne pokrovnosti nam omogoča spremljanje stanja v okolju za poljubno obdobje od prvih dostopnih satelitskih posnetkov naprej. Na ta način lahko s pristopom, ki je enak za vse obravnavane posnetke, opazujemo spremembe v prostoru.

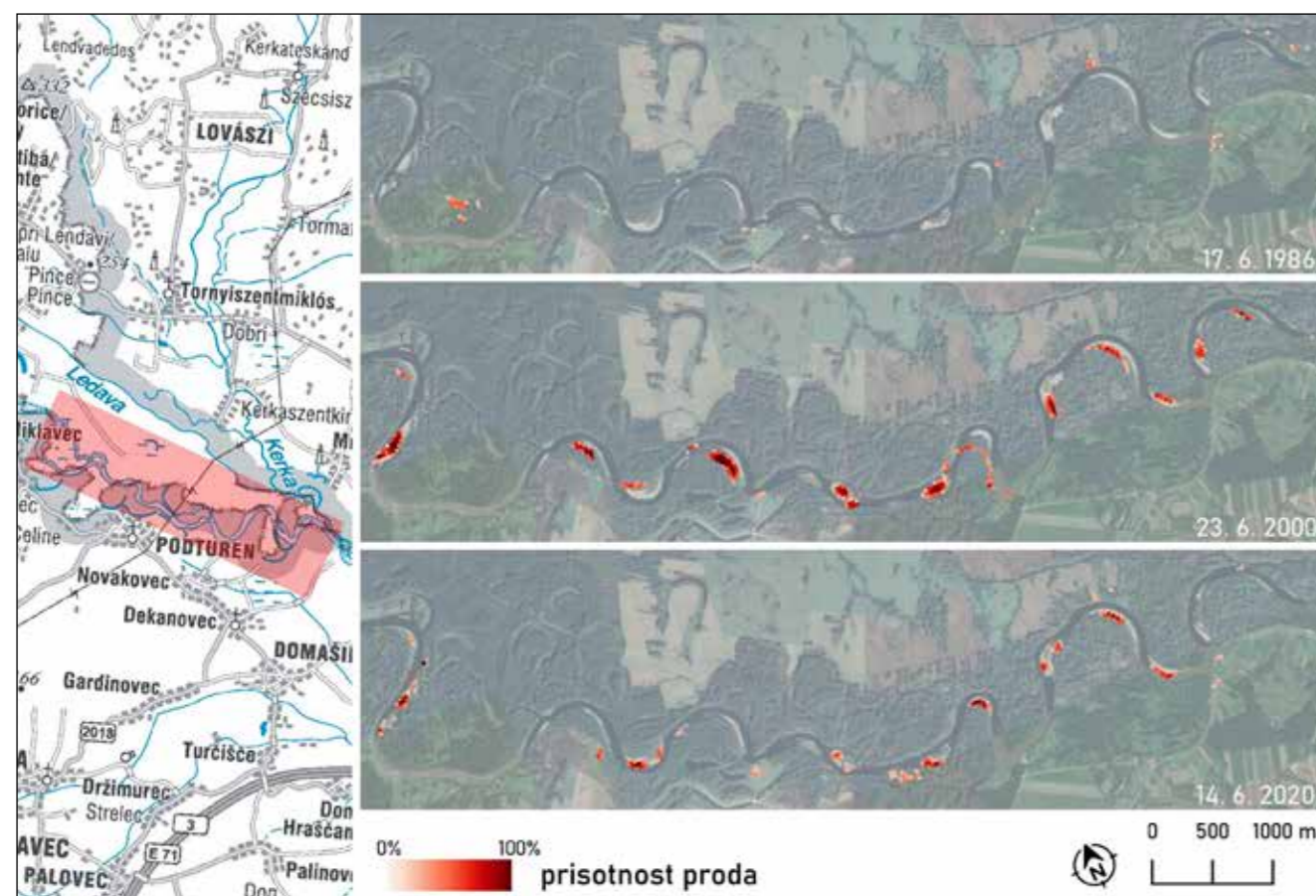
### 2.3.2 Odlaganje proda

Plavine se na študijskih rekah, predvsem na Muri, pogosto odlagajo v obliki manjših prodišč. Takšna prodišča je na satelitskih posnetkih z večdesetmetrsko prostorsko ločljivostjo težko



zaznati. Za spremljanje prodišč smo zato razvili podpikselsko metodo kartiranja, ki temelji na analizi vsebnosti spektralnega signala. Rezultat analize so karte deležev pokrovnosti, ki za vsak vhodni piksel podajo delež, ki ga zaseda vsak od vnaprej izbranih razredov pokrovnosti. Za natančne rezultate moramo izbrati razrede pokrovnosti, ki imajo zelo različne spektralne značilnosti, zato smo kartirali prod, vegetacijo in vodo.

Časovna vrsta kart deležev proda jasno kaže spremembe v dinamiki odlaganja plavin. Na Muri so se na primer po dokončanju regulacij rečnih bregov plavine začele odlagati bolj dolvodno. Na mejnem odseku med Slovenijo in Hrvaško prodišča v preteklosti niso bila prisotna, po regulaciji pa so se na tem območju začele plavine pospešeno odlagati (Slika 5). Prav te plavine so se pred regulacijo odložile bolj gorvodno, zaradi izravnane struge in gladkih bregov pa je Mura dobila dodatno nosilno zmogljivost, tako da je lahko plavine nosila naprej.



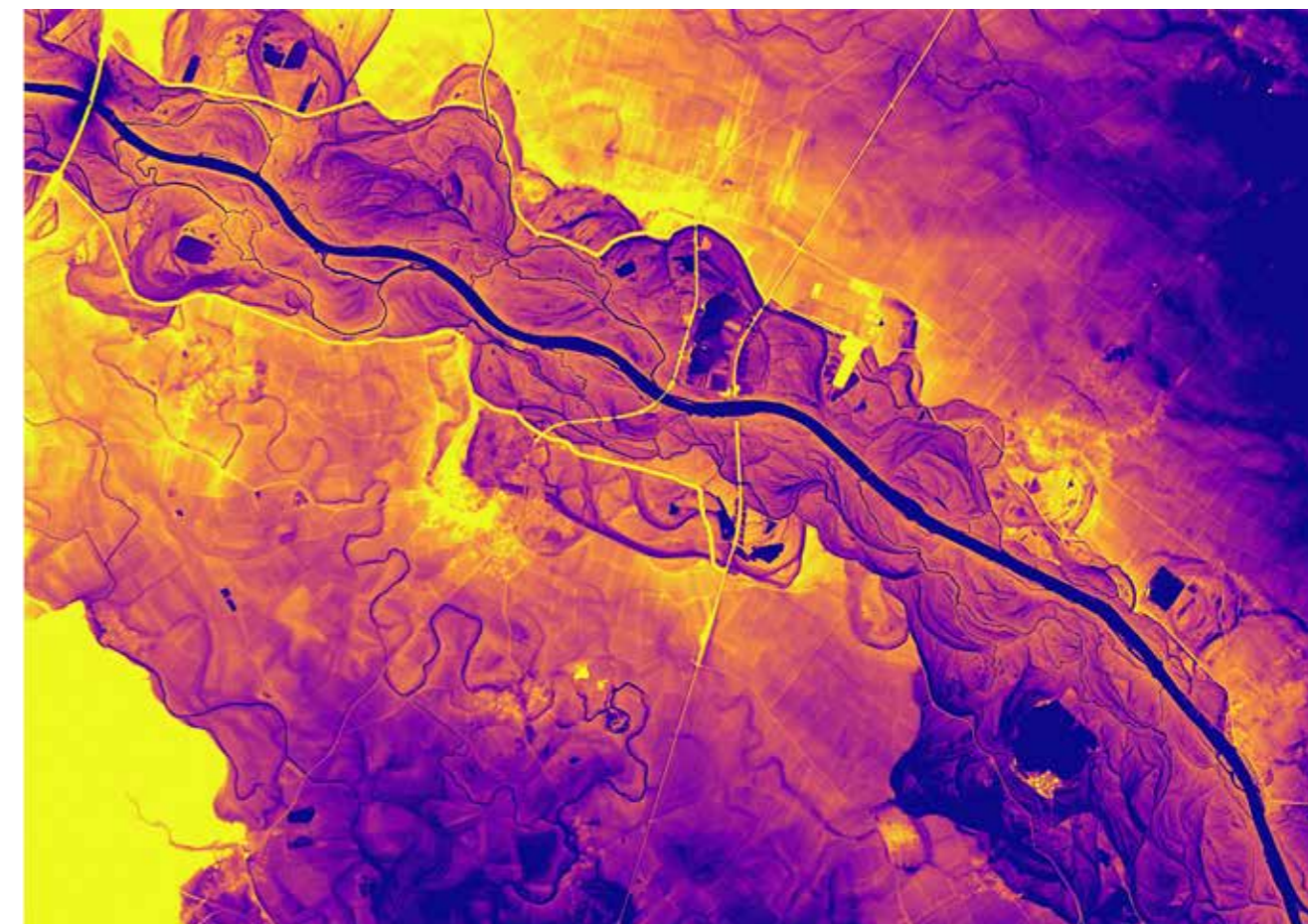
**Slika 5:** Prisotnost proda na reki Muri v okolici Podturna na podlagi analize vsebnosti spektralnega signala posnetkov Landsat za tri različna časovna obdobja.

Vir: ZRC SAZU. Viri podlag: Bing, 2021; GURS, 2021.

S podpikselsko klasifikacijo pridobimo podatke o oblikah na površju, ki so premajhne, da bi jih lahko zaznali s tako imenovano trdo klasifikacijo. Na ta način lahko spremljamo procese, ki bi sicer ostali neopaženi. Enako kot pri trdi klasifikaciji je prispevek metode tudi to, da lahko z njo opazujemo zelo dolgo časovno obdobje.

### 2.3.3 Sledi preteklega rečnega okolja

Poleg optičnih satelitskih posnetkov in podatkov o pokrovnosti smo za analizo rečnih okolij uporabili tudi lidarske posnetke z informacijami o višini površja. Z izbrano vizualizacijo DMP smo prikazali relativno višino površja glede na najbližjo rečno gladino (Slika 6). S takim prikazom so postali jasno vidni pretekla dinamičnost reke, njene stare struge in meandri.



**Slika 6:** Relativni model višin glede na gladino vode na najbližji točki. Vizualizacija prikazuje Muro med Krogom in Melinci.

Vir: ZRC SAZU.

Namenske vizualizacije lidarskih podatkov jasno pokažejo sledi preteklega rečnega okolja, ki z drugimi načini opazovanj niso vidne. S takšno vizualizacijo si lahko lažje predstavljamo, kako spremenljiv je bil v preteklosti tok reke, ki je danes regulirana in stabilizirana.

## 3. PREPLETANJE REZULTATOV

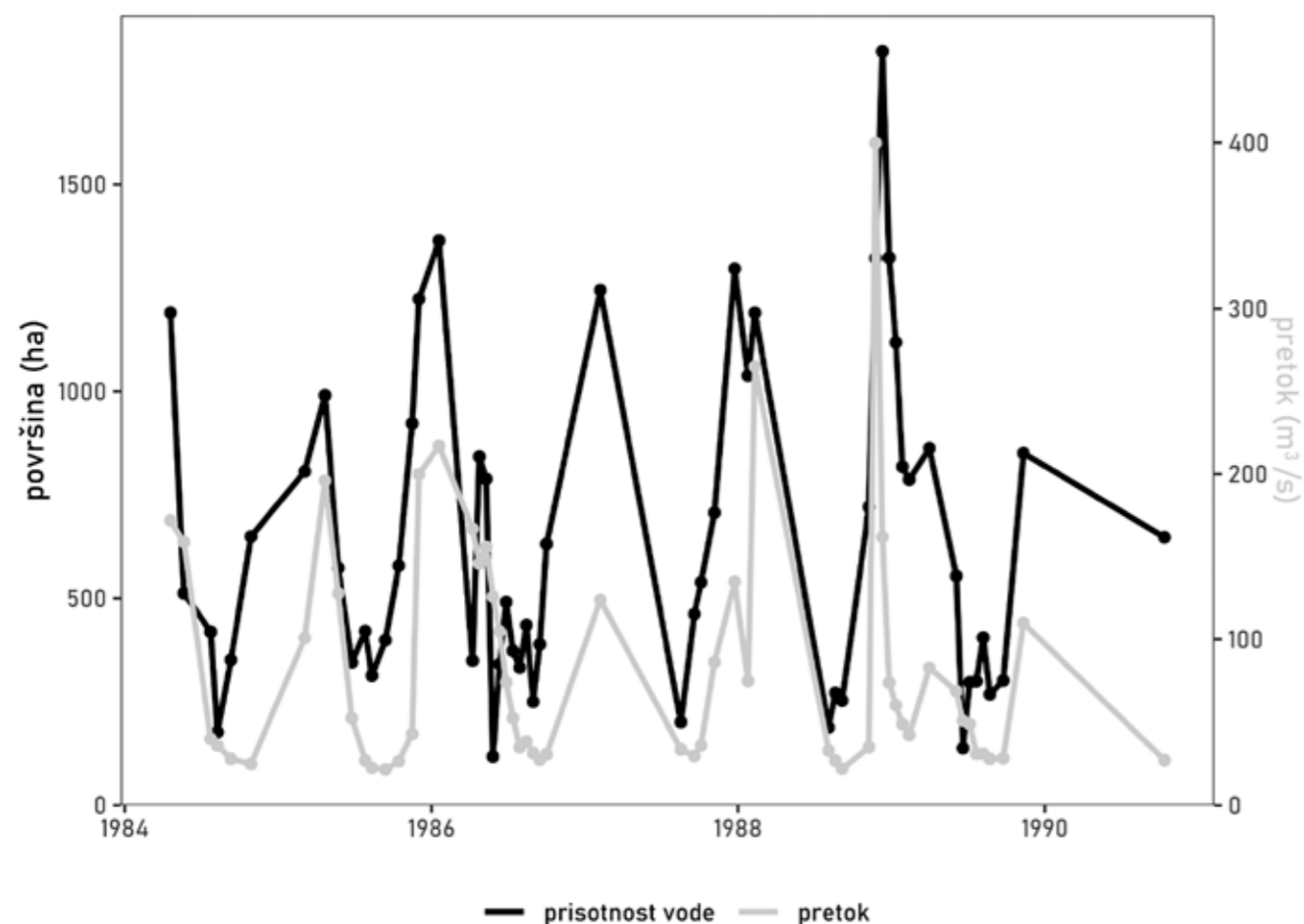
Ključni poudarek našega raziskovanja rečnih okolij je bila kombinacija rezultatov različnih pristopov za pridobitev novih informacij in boljše razumevanje opazovanih procesov. Rezultate daljinskega zaznavanja smo najprej primerjali s hidrološkimi podatki. V naslednjem koraku



smo procese, vidne na satelitskih posnetkih, primerjali s spremembami, ki so jih lokalni prebivalci opazili v lastnem okolju. Rezultate primerjav smo združili v bazo znanja v obliki spletne strani, ki je na voljo širši zainteresirani javnosti.

### 3.1 Satelitski posnetki in talne meritve

Najprej nas je zanimalo, kolikšno je ujemanje med informacijami, pridobljenimi iz satelitskih posnetkov, in podatki, izmerjenimi na terenu. Pretoke Vjose, izmerjene na hidrološki postaji Dorez, v bližini mesta Počem, smo primerjali s površino, ki jo pokriva voda, na podlagi posnetkov Landsat istega območja (Hauer et al., 2019). Podatki o pretokih so bili na voljo za vsak dan, v analizo pa smo vključili le tiste, ki so bili izmerjeni na dan, ko je bil narejen tudi satelitski posnetek (Slika 7).



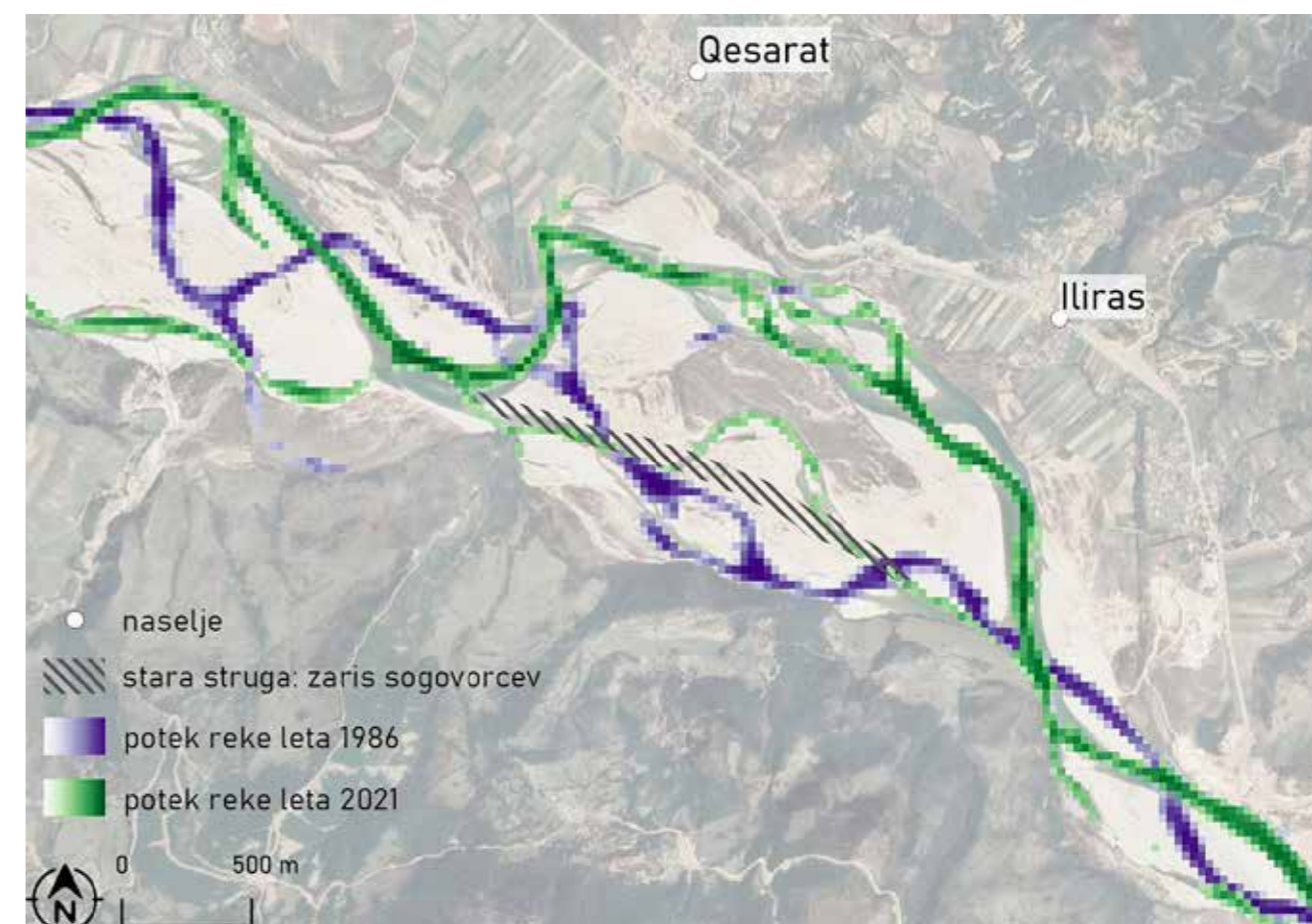
**Slika 7:** Časovna vrsta pretokov, izmerjenih na reki Vjosi, in površine vode, zaznane na satelitskih posnetkih Landsat.

Vir: ZRC SAZU.

Vizualno je mogoče oceniti, da se časovni vrsti pretokov in prisotnosti vode dobro ujemata. To smo potrdili tudi s statističnimi testi (Pearsonov koeficient korelacije  $r = 0,63$ ,  $p < 0,001$ ). Dobro ujemanje daljinsko zaznanih podatkov z meritvami na terenu potrjuje, da so satelitski posnetki uporabni za natančno spremljanje procesov na Zemljinem površju.

### 3.2 Kartiranje sprememb

Lokacijo sprememb, zaznanih na satelitskih posnetkih, smo primerjali tudi s spremembami, ki so jih na satelitske posnetke vrisali lokalni prebivalci (Slika 8).



**Slika 8:** Sprememba rečnega toka, kot so jo označili lokalni prebivalci, in potek reke v preteklosti glede na satelitske posnetke.

Vir: ZRC SAZU. Vir podlage: Bing, 2021.

Primerjava je pokazala zelo dobro ujemanje lokalnega znanja in podatkov daljinskega zaznavanja. Prebivalci sicer niso zarisali vseh meandrov, ki so vidni na starejših satelitskih posnetkih, se pa lokacija toka zelo dobro ujema. Na Vjosi ribarjenje, mlinarstvo in čolnarjenje niso razviti, prebivalci reko predvsem vidijo kot vir vode za namakanje kmetijskih površin. Kljub manjšemu stiku z reko so prebivalci pozorni na spremembe in v spominu ohranjajo stanje rečnega toka izpred skoraj štirih desetletij in več.

### 3.3 Skupna baza znanja

Različne vidike Mure in Vjose, ki smo jih obravnavali v raziskavi, smo želeli prikazati čim bolj dostopno kot tudi pregledno. Oblikovali smo spletno stran, ki omogoča pregled ugotovitev na posameznih izbranih lokacijah na vsaki reki. Poleg lokalnega znanja in podatkov, pridobljenih



na podlagi satelitskih posnetkov, smo predstavili tudi ključne zgodovinske, etnološke, biološke in hidrološke vidike obeh rek.

Spletna stran je namenjena širši zainteresirani javnosti. Nahaja se na spletnem naslovu <https://riverchange.zrc-sazu.si/>. Vsebuje veliko slikovnega gradiva in videoposnetkov ter jedrnatih opisov rezultatov. Opisi izbranih lokacij na eni reki vsebujejo povezave na lokacije s podobnimi tematikami na drugi reki. Na ta način skupna baza znanja v obliki spletne strani omogoča jasno primerjanje procesov na fizično-geografsko primerljivih rekah z zelo različnimi upravljavskimi režimi.

#### 4. ZAKLJUČEK

Rečna okolja so lahko zelo pestra in dinamična. Za čim bolj celostno razumevanje procesov in sprememb v rečnih okoljih smo prepletli tako antropološke raziskave kot tudi podatke daljinskega zaznavanja. Pristopi obeh disciplin so med raziskavo usmerjali drug drugega. Ugotovitve etnografskega gradiva so določile zanimiva območja, na katera smo se osredotočili z daljinskim zaznavanjem. Prostorske spremembe, zaznane na satelitskih posnetkih, so bile hkrati povod za intervjuje in predmet, ki je omogočil zelo konkretne pogovore o prostorskih procesih. Sprotno prepletanje pristopov je omogočilo umestitev dogajanja v družbeno-kulturni in okoljski okvir ter s tem boljše razumevanje procesov v rečnih okoljih.

V raziskavi smo vzpostavili metodo spremljanja rečnih okolij s kombinacijo antropoloških in satelitskih podatkov. Poleg tega smo razvili pristop za jasno primerjavo dveh obravnavanih rek. Predstavljeni potek dela se lahko uporabi za analizo različnih drugih rečnih okolij, ki so pod pritiski infrastrukturnih projektov. S primerjavo naravne in antropogene spremenjene reke lahko bolje ocenimo posledice posegov. Po drugi strani metoda omogoča bolj smotrno usmerjanje prizadevanj za renaturacijo rečnih okolij (European Commission, 2022). S primerjavo lahko poiščemo reke, ki so bile v preteklosti močno spremenjene, a imajo fizično-geografske značilnosti, ki omogočajo razvoj pestrih in stabilnih naravnih okolij.

#### Zahvala

Raziskavo je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru raziskovalnih programov številka P2-0406 Opazovanje Zemlje in geoinformatika in P6-0079 Antropološke in prostorske raziskave ter raziskovalnih projektov številka J6-1803, J6-9395, J2-9251 in J2-3055.

#### LITERATURA IN VIRI

1. Bing, 2021. VirtualEarth. Dostopno na: <https://www.bingmapsportal.com/> [15. 11. 2021].
2. Blöschl, G., Bierkens, M. F. P., Chambel, A. et al., 2019. Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH) – a community perspective. *Hydrological Sciences Journal*, 64, 1141–1158. Dostopno na: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1620507> [26. 8. 2022].

3. Direkcija Republike Slovenije za vode, 2021. Linijski podatkovni sloj hidrografije – površinske vode. Dostopno na: [http://www.statika.evode.gov.si/fileadmin/vodkat/DRSV\\_HIDRO5\\_LIN\\_PV.zip](http://www.statika.evode.gov.si/fileadmin/vodkat/DRSV_HIDRO5_LIN_PV.zip) [25. 8. 2021].
4. European Commission, 2022. Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on nature restoration. Dostopno na: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f5586441-f5e1-11ec-b976-01aa75ed71a1/language-en> [26. 8. 2022].
5. Hauer, C., Aigner, H., Fuhrmann, M. et al., 2019. Measuring of sediment transport and morphodynamics at the Vjosa River / Albania.
6. Geodetska uprava Republike Slovenije, 2021. Državna pregledna karta merila 250.000 – rastrski podatki. Dostopno na: <https://ipi.eprstor.gov.si/jgp/data> [26. 8. 2022].
7. Natural Earth, 2020. 1 : 10m cultural vectors. Admin 0 – countries. Dostopno na: [https://www.naturalearthdata.com/http://www.naturalearthdata.com/download/10m/cultural/ne\\_10m\\_admin\\_0\\_countries.zip](https://www.naturalearthdata.com/http://www.naturalearthdata.com/download/10m/cultural/ne_10m_admin_0_countries.zip) [25. 8. 2021].
8. OSM, 2021. Podatki OpenStreetMap. Dostopno na: <https://download.geofabrik.de/> [25. 8. 2021].
9. Spada, D., Molinari, P., Bertoldi, W., Vitti, A. in Zolezzi, G., 2018. Multi-temporal image analysis for fluvial morphological characterization with application to Albanian rivers. *International Journal of Geo-Information*, 7, 8, 314–335. Dostopno na: <https://doi.org/10.3390/ijgi7080314> [26. 8. 2022].
10. Stecca, G., Zolezzi, G., Hicks, D. M. in Surian, N., 2018. Reduced braiding of rivers in human-modified landscapes: Converging trajectories and diversity of causes. *Earth-Science Reviews*, 188, 291–311. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.10.016> [26. 8. 2022].



## INFORMACIJSKI SISTEM ZA NAMAKANJE ZELENJAVE

Luka HONZAK<sup>1</sup>, Maja BRAJNIK<sup>2</sup>, Luka ŽVOKELJ<sup>3</sup>, Gregor HRIBAR<sup>4</sup>,  
Boštjan KRISTAN<sup>5</sup>, Marko LEVIČNIK<sup>6</sup>, prof. dr. Marina PINTAR<sup>7</sup>

### Povzetek

Namakanje v rastlinski pridelavi v Sloveniji večinoma še vedno poteka na pamet, po občutku, zato se izvaja prezgodaj ali prepozno, prereditko ali prepogosto in v premajhnih ali prevelikih namakalnih obrokih. V okviru projekta EIP Digitalizacija namakanja zelenjave (2019–2022) smo razvili informacijski sistem za namakanje zelenjave, ki izračuna količino vode, potrebne za namakanje, in čas trajanja namakanja na strokovno pravilen način, tj. na podlagi potrebe rastlin po vodi, lastnosti tal, trenutne količine vode v tleh ter večdnevne vremenske napovedi. Sistem poda namakalni nasvet večkrat dnevno in je primeren tako za pridelovalce na prostem kot v rastlinjakih. Informacijski sistem je v uporabi od leta 2020. Kmetovalci ugotavljajo, da je treba namakati pogosteje in v manjših obrokih, kot so to sami delali prej.

**Ključne besede:** digitalizacija namakanja, digitalizacija namakanja zelenjave, EIP, namakalni nasvet, namakanje, napoved namakanja, vodna bilanca.

### Abstract

Irrigation in crop production in Slovenia is still largely done by feeling, which is why it is carried out too early or too late, too rarely or too often, and in too few or too many irrigation installments. As a part of the EIP project Digitalization of vegetable irrigation (2019–2022), we developed an information system for vegetable irrigation, which calculates the amount of water needed for irrigation and the duration of irrigation in a professionally correct way, based on the plants' water needs, soil properties, current amount of water in the soil and multi-day weather forecasts. The system provides irrigation advice several times a day and is suitable for both outdoor and greenhouse growers. The information system has been

- 1 Luka Honzak, univ. dipl. meteorol., BO-MO, d. o. o.
- 2 Maja Brajnik, univ. dipl. fiz., Sedem čez devet, d. o. o.
- 3 Luka Žvokelj, mag. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- 4 Gregor Hribar, univ. dipl. inž. stroj., Čarna, d. o. o.
- 5 Boštjan Kristan, univ. dipl. inž. kmet., Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije –Kmetijsko gozdarski zavod Maribor
- 6 Marko Levičnik, univ. dipl. inž. el., Solvera Lynx, d. o. o.
- 7 Prof. dr. Marina Pintar, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

## F3m ▶ SISTEMI ZA ČIŠČENJE ODPADNIH VODA



▶▶▶ Za male obrti (1 m<sup>3</sup>/dan) do velikih industrijskih obratov (več 100 m<sup>3</sup>/dan).

Izdelane po meri naročnika

Različne kombinacije fizikalno - kemijskega in biološkega čiščenja odpadne vode (nevtralizacija, egalizacija z zračenjem, flotacija, flotacija z ozonom, elektrokoagulacija, ultrafiltracija, ozonacija, dezinfekcija bolnišničnih odpadnih voda, strojno zgoščanje, biološko čiščenje).

**Možne aplikacije:** PREHRAMBNA INDUSTRIJA | MLEKO IN MLEČNI IZDELKI | OBDELAVA ODPADKOV | KOVINSKA INDUSTRIJA | AVTOPRALNICE | KEMIČNA INDUSTRIJA IN DETERGENTI | TEKSTILNA INDUSTRIJA | LES IN LESNI IZDELKI | BARVE IN LAKI | BOLNIŠNICE IN ZDRAVSTVENE USTANOVE.



od 10 do 3000 PE

Standardna izvedba ali izdelana po meri naročnika

▶▶▶ Biološko čiščenje z MBBR SAF tehnologijo po SIST EN 12255-7, skladnost (do 50 PE) po SIST EN 12566-3. Različne kombinacije čiščenja (odstranjevanje organske obremenitve, nitrifikacija, denitrifikacija, kemijsko obarjanje fosforja, mikro sita, dezinfekcija).

**Možne aplikacije:** INDIVIDUALNE HIŠE | SKUPEK HIŠ | VEČJA NASELJA | HOTELI | DOMOVI STAREJŠIH OBČANOV | KAMPI.



www.f3m.si | e-mail: info@f3m.si



▶▶▶ F3m Levstek d. o. o.  
Podgorica 86  
1230 Ljubljana - Črnuče



in use since 2020. Farmers find that it is necessary to irrigate more often and apply less amount of water than they did before.

**Keywords:** digitalization of irrigation, digitalization of vegetable irrigation, EIP, irrigation, irrigation advice, water balance.

## 1. UVOD

Suša postaja globalno ena od najhujših naravnih nesreč, ki vpliva tako na socioekonomski razvoj kot na prehransko varnost (WMO, 2021). V Sloveniji v vegetacijski dobi skoraj vsako leto nastopijo različno dolga sušna obdobja, prav tako se pojavljajo vse pogostejši vročinski valovi, ki povzročajo sušni stres rastlin. Zaradi podnebnih sprememb prihaja tudi do vedno bolj neugodne razporeditve in pomanjkanja padavin v rastni sezoni.

Namakanje je eden od agrotehničnih ukrepov, s katerim lahko odpravimo ali vsaj omilimo posledice suše v kmetijstvu. V Sloveniji se nahaja relativno veliko vodnih virov, ki so primerni za namakanje kmetijskih površin. Za kakovosten in obilen pridelek ni dovolj, da z namakanjem začnemo, ko rastlina že kaže znake pomanjkanja vode, ampak moramo s tem začeti prej, najbolje takrat, ko v tleh ni več na voljo lahko dostopne vode. Raziskave in pretekli projekti v Sloveniji so pokazali, da namakanje v Sloveniji večinoma poteka na pamet, brez uporabe informacij o ključnih dejavnikih za strokovno pravilno namakanje (več o tem v podpoglavju 1.1); tako se namakanje izvaja prezgodaj ali prepozno, prereditveno ali prepogosto in v premajhnih ali prevelikih namakalnih obrokih (Cvejić et al., 2020). Če je namakalni obrok prevelik, lahko zaradi čezmerne rabe vode povzročimo spiranje hranil skozi talni profil, slabšo kakovost pridelkov in slabše zdravstveno stanje rastlin. S premajhno dodano količino vode ta postane rastlinam nedostopna, kar povzroči dehidracijo rastlin, s tem pa zmanjšano sposobnost izvajanja fotosinteze, slabšo rast in razvoj rastlin ter otežen prevzem hranil s tal (Moradi, 2016). Poleg tega nepravilno izvajanje namakanja po nepotrebnem obremenjuje okolje in ni okoljsko trajno.

Kmetijstvo je velik porabnik vode, zato je, tudi v luči prihajajočih podnebnih sprememb, smotrna raba vodnih virov zelo pomembna. Raziskave kažejo, da vodenje namakanja z uporabo merilnikov količine vode v tleh zmanjša potrebe po namakanju, hkrati pa izboljša pridelek (Spencer et al., 2019). Za to so potrebni sistemi za napoved namakanja, ki nam pomagajo pri optimizaciji porabe vode v pridelavi rastlin.

Digitalizacija pridelovanja lahko kmetijskim gospodarstvom nudi pomoč pri sprejemanju odločitev glede namakanja, ki posledično vplivajo na kakovost pridelka, učinkovitost rabe naravnih virov in ekonomiko gospodarstva. Z uporabo digitalizacije se je enostavneje držati vodil strokovno pravilnega namakanja in s tem poskrbeti za bolj trajnostno rabo vodnih virov. Rešitve za izračun namakalnih potreb v Sloveniji že obstajajo, a imajo kar nekaj omejitev (več v podpoglavju 1.2).

V tem prispevku predstavljamo informacijski sistem za namakanje zelenjave, razvit v okviru EIP projekta Digitalizacija namakanja zelenjave (2019–2022).

### 1.1 Strokovno pravilno namakanje

Nujno potrebne informacije za strokovno pravilno namakanje so: (i) *lastnosti tal* (poljska kapaciteta (PK), tj. največja količina vode, ki jo tla lahko zadržijo, in točka venenja (TV), kjer rastline lahko trajno ovenejo), (ii) *trenutna količina vode v tleh*, ki jo pridobimo z meritvami na terenu, (iii) *v kateri rastni fazi se rastlina nahaja* (fenofaza), saj se potrebe rastlin po vodi med rastno dobo spreminjajo, (iv) *vremenske razmere v prihodnjih dneh* (padavine in evapotranspiracija) ter (v) *tehnologija namakanja*. Ob upoštevanju vseh omenjenih podatkov lahko natančno izračunamo obrok namakanja, ki ne sme presežati poljske kapacitete, niti ne sme pasti pod kritično točko, tj. točke, kjer začne rastlina del energije, ki bi jo sicer porabila za oblikovanje pridelka, porabljati za premagovanje tenzije vode. Rastline imajo različno sposobnost odvzema vode iz tal in so različno odporne proti suši, zato je kritična točka vrstno kot tudi sortno specifična.

S strokovno pravilnim namakanjem rastlinam vodo priskrbimo pravočasno in v zadostni količini.

### 1.2 Obstoječi sistemi za napoved namakanja v Sloveniji

V Sloveniji imamo z napovedmi namakanja že nekaj desetletne izkušnje. Preprostejše nasvete za namakanje, ki temeljijo na izračunu potreb po namakanju na podlagi določitev vsebnosti vode v tleh po gravimetrični metodi (tj. s tehtanjem vzorca pred in po sušenju do konstantne mase), izvajajo na Inštitutu za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije ter so že nekaj časa v uporabi v Savinjski dolini. Šibka točka tega sistema so rezultati z dnevnim zamikom in veliko potrebnega ročnega dela zaradi odvzema ter sušenja vzorcev. Poleg tega ne vključujejo vremenske napovedi. Že dalj časa na Agenciji za okolje Republike Slovenije (ARSO) pripravljajo napoved namakanja z vodnobilančnim modelom IRRFIB. Pomanjkljivost tega sistema je, da temelji le na modelirani vodni bilanci in ne vključuje meritev količine vode v tleh.

#### 1.2.1 Sistem podpore odločanju o namakanju (SPON)

SPON (Glavan et al., 2020) je orodje, ki nam poda priporočeni čas in obrok namakanja tako v količini kot v času trajanja namakanja za 5 dni vnaprej, pri čemer uporabi informacije o ključnih dejavnikih strokovno pravilnega namakanja.

SPON je bil razvit v okviru projekta LIFE ViVaCCAdapt (2016–2021) za območje Vipavske doline in pozneje nadgrajen v EIP projektu PRO-PRIDELAVA (2018–2021) za območje celotne Slovenije. SPON je v operativni rabi od leta 2019, od konca leta 2021 pa je na voljo na ARSO. Osnova računskega dela SPON temelji na izračunu vodne bilance z modelom IRRFIB (Sušnik, 2014; Valher, 2016).

SPON ima nekatere tehnične omejitve oz. pomanjkljivosti, kot so (i) en uporabnik v sistemu upravlja in spremlja samo eno namakalno površino, (ii) namakalna priporočila se izračunajo le enkrat dnevno, in sicer dopoldne, (iii) pri izračunu nasveta za trenutni dan se upošteva le napoved

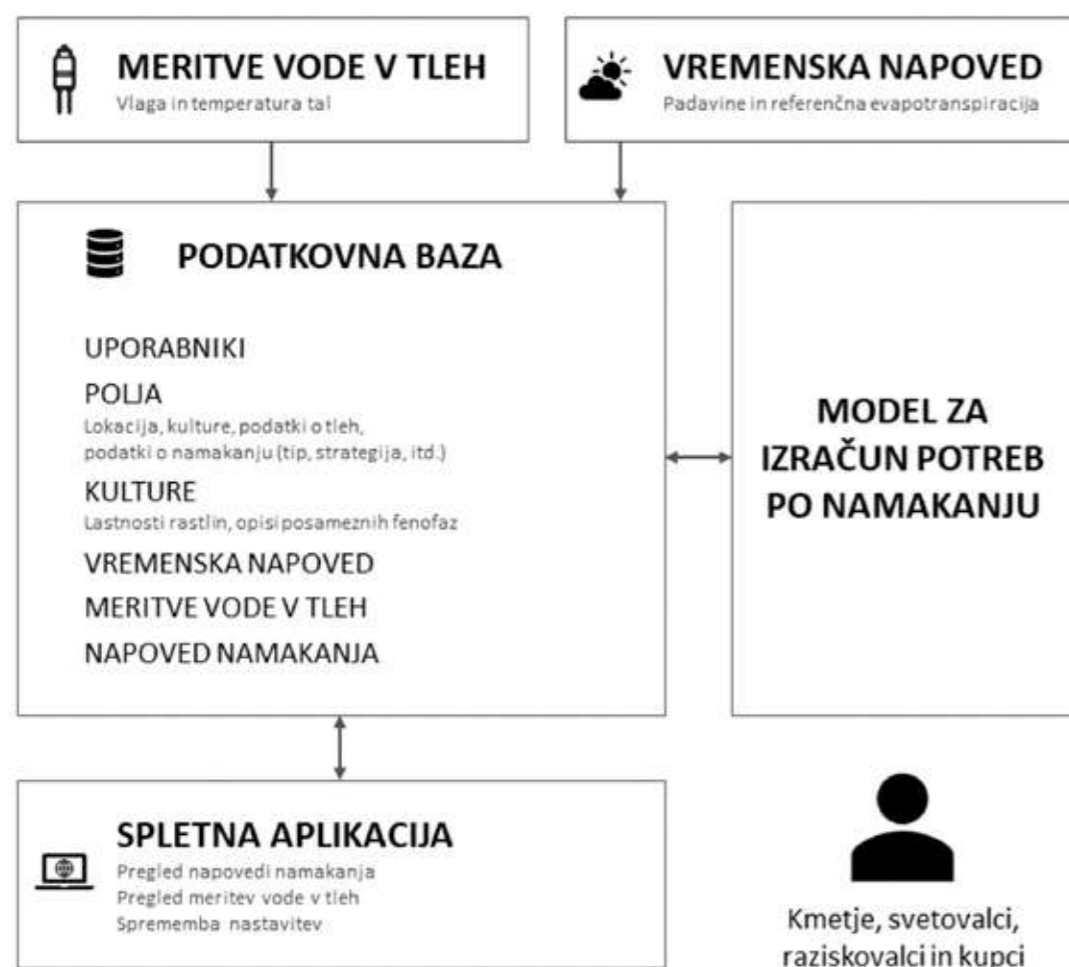


za ta dan, ne pa tudi vremenske napovedi za prihodnje dni, (iv) vremenske napovedi so pripravljene le za 15 regij in ne za prostorsko manjša območja, (v) primernejši je za trajne nasade. Poleg tega ima SPON omejitve na do nekaj 100 uporabnikov. Za upravljavca SPON je pomanjkljivost tudi zapletena administracija sistema zaradi odsotnosti administratorskega vmesnika.

## 2. INFORMACIJSKI SISTEM ZA NAMAKANJE ZELJAVE

V EIP projektu Digitalizacija namakanja zelenjave smo razvili uporabniško osredotočeno aplikacijo, prilagojeno za uporabo na računalnikih in mobilnih napravah. Ta vsebuje informacijski sistem, ki pridelovalcem zelenjave, na podlagi smernic strokovno pravnega namakanja, svetuje primeren čas namakanja in količino potrebne vode oz. čas trajanja namakanja. Sistem je v osnovi podoben SPON, le da odpravlja omejitve oz. pomanjkljivosti SPON ter dodaja še nekaj dodatnih funkcionalnosti, kot je izračun namakalnega nasveta v primeru več kultur na isti namakalni površini.

Informacijski sistem za namakanje zelenjave je v osnovi sestavljen iz podatkovne baze in štirih modulov, kot je prikazano na sliki 1.



Slika 1: Shema informacijskega sistema za namakanje zelenjave.

Vir: Lastni.

V **podatkovni bazi** so shranjeni podatki o (i) uporabnikih, (ii) poljih, kot so lokacija, kulture, ki so trenutno na polju, podatki o tleh (PK, TV), podatki o obdelovalni površini (npr. velikost), namakanju (tip namakalnega sistema, strategija namakanja ipd.), (iii) (trenutno) 17 kulturah in s tem povezanih parametrih (koeficienti rastline in efektivna globina korenin po fenoloških fazah; faktor  $p$ , ki označuje delež vode med PK in TV, ki je v tleh rastlini lažje dostopen; trajanje posamezne fenofaze v % celotne rastne dobe), (iv) vremenske napovedi za vsako polje, (v) meritve vsebnosti vode v tleh in temperature tal ter (vi) napovedi namakanja.

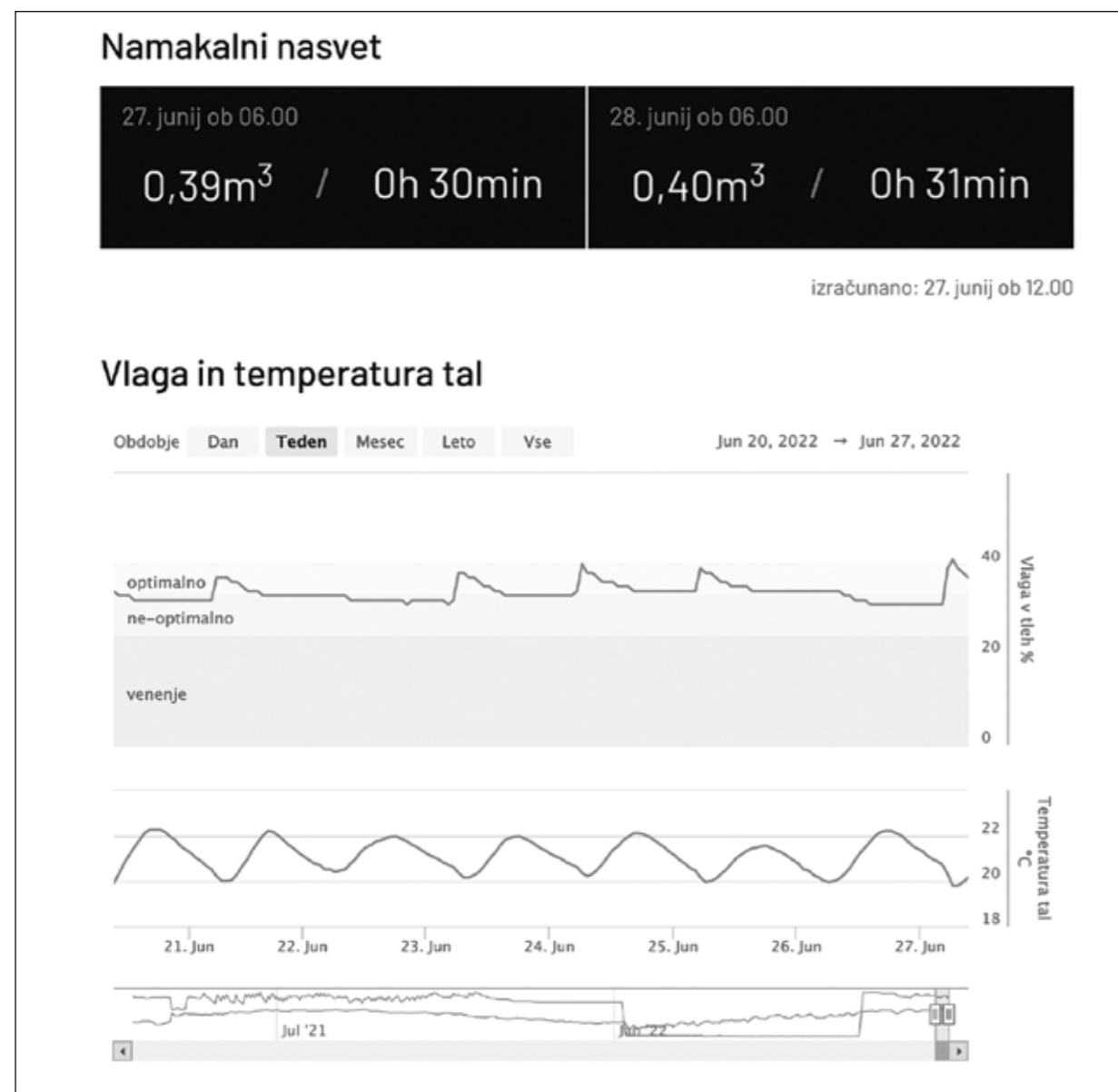
Modul »**meritve vode v tleh**« vsako uro prenese podatke z merilnikov (SM150T proizvajalca Delta-T) in jih shrani v podatkovno bazo. Merilniki merijo vsebnost vode v tleh posredno, in sicer prek relativne dielektričnosti tal, ki je močno odvisna od vsebnosti vode v tleh. Vsak merilnik je priklopljen na baterijsko komunikacijsko napravo LoRaWAN, ki poleg odčitavanja vrednosti temperature in vlage zagotavlja tudi napajanje merilnika. Naprave na komunikaciji LoRaWAN so bile izbrane predvsem zaradi nizke porabe energije, majhnih stroškov in sposobnosti prenosa podatkov na velikih razdaljah.

Informacijski sistem pri izračunih uporablja urne **vremenske napovedi** Nemške meteorološke službe (nem. Deutscher Wetterdienst – DWD) ICON-D2 v prostorski ločljivosti 2,2 km za 1 dan vnaprej, ki se posodablja vsake tri ure, in ICON-EU v prostorski ločljivosti 6,5 km za do 3 dni vnaprej, ki se posodablja vsakih šest ur. Referenčna evapotranspiracija na prostem se izračuna po Penman-Monteithovi metodi (Allen et al., 2005) iz geografske dolžine in širine, nadmorske višine, ure, dneva v letu, temperature zraka, zračne vlage, hitrosti vetra ter sončnega sevanja. Za rastlinjake je uporabljena t. i. sevalna metoda Almeria (ang. Almeria radiation method – Fernandez et al., 2010), ki evapotranspiracijo izračuna na podlagi dneva v letu, sončnega sevanja na prostem ter prepustnosti rastlinjaka za sončno sevanje (na podlagi pregleda literature smo za prepustnost privzeli 60 %).

Najpomembnejša modula sistema sta **spletna aplikacija** in **model za izračun potreb po namakanju**, ki sta predstavljena v ločenih podpoglavjih.

### 2.1 Spletna aplikacija

Spletna aplikacija je prilagojena za uporabo na računalnikih in mobilnih napravah. Kmetje do nje dostopajo dnevno, na grafih preverjajo gibanje vsebnosti vode in temperature v tleh ter prejmejo dnevni namakalni nasvet za naslednja dva dneva, ki je izračunan za uro, ki si jo izberejo sami. Na grafih so za vrednosti vlage v tleh jasno označeni pasovi, in sicer zelen pas med poljsko kapaciteto in kritično točko, v katerem je voda za rastline optimalno dostopna, ter rdeč pas med kritično točko in točko venenja (Slika 2).



**Slika 2:** Primer namakalnega nasveta in grafov, ki kažejo gibanje vsebnosti vode in temperature v tleh, v spletni aplikaciji.

Uporabniki lahko s pomočjo aplikacije spreminjajo, katere rastline se nahajajo na polju in v kateri fenofazi so. Podatkovna baza s fenofazami je opremljena tudi s fotografijami, kar kmetom omogoča enostavno identifikacijo pravilne fenofaze. Sistem kmetu napove datume nastopa posameznih faz. Kmet lahko fenofaze enostavno spremeni, če se te zaradi vremenskih razmer ali lokacije razlikujejo od napovedanih.

Uporabniki lahko urejajo vse svoje podatke, ki so potrebni za določanje nasvetov: podatke o lokaciji namakalne površine, namakalni napravi in lastnostih tal (Slika 3). Vsak uporabnik lahko v sistem vnese poljubno število namakalnih površin oz. polj in na vsako eno ali več kultur, ki jih bo namakal.

### Podatki o polju

#### Lokacija:

Straža pri Raki 29, 8274 Raka

Velikost: 250 m<sup>2</sup>

Velikost netto: 90 m<sup>2</sup>

#### Podatki o tleh:

Poljska kapaciteta: 40,0 vol. %

Točka venenja: 24,0 vol. %

Tekstura tal: MGI - meljasto-glinasta ilovica

#### Namakanje:

Ura namakanja: 06:00

Rastlinjak: da

Zastirka: da

Tehnologija namakanja: kapljično

Pretok namakalne naprave: 0,75 m<sup>3</sup>/h

Minimalna količina: 0,38 m<sup>3</sup>

Maksimalna količina: 1,08 m<sup>3</sup>

Strategija namakanja: do 70% PK-KT

Globina senzorja: 20 cm

[Uredi podatke](#)

**Slika 3:** Primer prikaza podatkov o polju oz. pridelovalni površini v spletni aplikaciji.

## 2.2 Model za izračun potreb po namakanju

Namakalni nasvet izračunavamo vsaki dve uri z vodnobilančnim modelom na urni časovni skali na globini glavne mase korenin, pri čemer kot začetni pogoj uporabimo meritev količine vode v tleh. Pri izračunu vodne bilance upoštevamo dva parametra, in sicer (i) infiltrirane padavine (razen v rastlinjaku) ter (ii) evapotranspiracijo, ki jo izračunamo kot produkt koeficienta rastline in referenčne evapotranspiracije. Ker so merilniki večinoma nameščeni na globini 15 do 20 cm, smo kot minimalno globino za izračun določili 15 cm, četudi se globina korenin nahaja bližje površju.

Namakalni obrok izračunamo s primerjavo izračunane in zelene vodne bilance, ki je določena z namakalno strategijo. Odločili smo se, da uporabimo strategijo do 70 % lahko razpoložljive vode; lahko razpoložljiva voda je razlika med poljsko kapaciteto in kritično točko. Če je izračunana vodna bilanca manjša kot meja, določena s strategijo, je namakanje potencialno potrebno. Za odločitev, ali je namakanje resnično potrebno in kakšna naj bo količina, pa dodatno upoštevamo še: (i) minimalni in maksimalni obrok namakanja, (ii) vremensko napoved za 48 ur vnaprej (ob vsakem časovnem koraku preverimo za 48 ur vnaprej, ali bo količina vode v tleh presegla poljsko kapaciteto) ter (iii) minimalni čas med dvema obrokom (12 ur). Pri izračunu upoštevamo tudi učinkovitost namakalnega sistema glede na tehnologijo namakanja.



V primeru več kultur na isti namakalni površini namakalni nasvet izračunamo s preprostim algoritmom: model poženemo za vsako kulturo s štirimi različnimi namakalnimi strategijami in na podlagi primerjave vsot simulacij od vseh simulacij izberemo tako, da ustreza vsem kulturam; če take simulacije ni, izberemo tisto, pri kateri nobena od kultur ne trpi sušnega stresa, četudi s tem pri kakšni presežemo poljsko kapaciteto.

### 3. RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

Informacijski sistem za namakanje zelenjave smo vzpostavili v letu 2020 in ga najprej testirali na petih zelenjadarskih kmetijah v različnih slovenskih regijah, v zadnjem letu pa smo testiranje razširili tudi na druge zainteresirane kmetije. Večina namakalnih površin je v rastlinjakih.

Na podlagi pogovorov s partnerskimi kmetijami ob začetku projekta smo ugotovili, da se pri izvajanju namakanja zanašajo le na svoj občutek, namakajo bolj poredko in takrat bolj obilno. Rastline so tako pogosteje izpostavljene sušnemu stresu, hkrati pa je ob čezmernem namakanju presežna voda izgubljena, saj takoj odteče iz talnega profila in ob tem še izpira hranila.

Za izračun pravočasnih in ustreznih priporočil za namakanje je treba ustrezno namestiti merilno opremo. Ob pravilni vgradnji merilniki vsebnosti vode v tleh delujejo zanesljivo in dovolj natančno. Komunikacijska oprema je presegla pričakovanja, saj merilniki že dve leti vsako uro merijo in nato pošiljajo podatke s pomočjo dveh standardnih baterij. Na razdalji med merilniki in sprejemnikom je navadno nekaj sto metrov, prav tako na tej razdalji deluje prenos meritev brezhibno.

Pri izračunu namakalnega nasveta so večji vir negotovosti kot merilniki v urah vhodni podatki o namakalnem nasvetu. Med projektom smo ugotovili naslednje vzroke za neustrezen izračun namakalnega obroka: (i) pretok namakalnega sistema pogosto niha zaradi sprememb tlaka v namakalnem sistemu, zato, poleg popisa namakalne opreme, potrebujemo tudi opremo za spremljanje dejanske porabe vode, (ii) v laboratoriju določena poljska kapaciteta lahko precej odstopa od dejanske, ki smo jo določili iz meritev količine vode v tleh na terenu, (iii) zaradi površinske obdelave tal se lahko spremeni globina, na kateri je nameščen merilnik.

Večina kmetov zdaj redno uporablja prek sistema dobljen namakalni nasvet kot pomoč pri odločitvi glede izvajanja namakanja. Nekateri se strogo držijo namakalnega nasveta in namakajo točno toliko, kot jim svetuje sistem, drugi vzamejo nasvet kot okvir, ki ga nato prilagodijo svojim delovnim procesom in izkušnjam.

### Zahvala

Pripravo prispevka je omogočil projekt EIP Digitalizacija namakanja zelenjave, ki ga financirata Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja (80 %) ter Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije (20 %).

### LITERATURA IN VIRI

1. Allen, R. G., Walter, I. A., Elliott, R. L., Howell, T. A., Itenfisu, D., Jensen, M. E. in Snyder, R. L., 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Reston: American Society of Civil Engineers. DOI: 10.1061/9780784408056.
2. Cvejić, R., Černič-Istencič, M., Honzak, L., Pečan, U., Železnikar, Š. in Pintar, M., 2020. Farmers try to improve their irrigation practices by using daily irrigation recommendations – The Vipava Valley case, Slovenia. *Agronomy*, 2020, 10 (9), 1238, str. 1–27. DOI: 10.3390/agronomy10091238.
3. Fernández, M. D., Bonachela, S., Orgaz, F., Thompson, R., López, J. C., Granados, M. R., Gallardo, M. in Fereres, E., 2010. Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. *Irrigation Science*, 2010, 28, str. 497–509. DOI: 10.1007/s00271-010-0210-z.
4. Glavan, M., Cvejić, R., Honzak, L., Pečan, U., Železnikar, Š. in Pintar, M., 2020. Izboljšanje odziva kmetijstva na podnebne spremembe s sistemom za podporo o odločanju o namakanju. V Cerkvnik, S. *Vodni dnevi 2020: simpozij z mednarodno udeležbo*. Rimske Toplice. Slovensko društvo za zaščito voda, str. 123–134.
5. Moradi, P., 2016. Key plant products and common mechanisms utilized by plants in water deficit stress responses. *Botanical Sciences*, 2016, 94 (4), str. 657–671. DOI: 10.17129/botsci.709.
6. Spencer, G. D., Krutz, L. J., Falconer, L. L., Henry, W. B., Henry, C. G., Larson, E. J., Pringle, H. C., III, Bryant, C. J. in Atwill, R. L., 2019. Irrigation Water Management Technologies for Furrow-Irrigated Corn that Decrease Water Use and Improve Yield and On-Farm Profitability. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 2019, 5 (1), str. 1–8. DOI: 10.2134/cftm2018.12.0100.
7. Sušnik, A., 2014. Zasnove kazalcev spremljanja suše na kmetijskih površinah. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
8. Valher, A., 2016. Primerjava modelov za računanje vodne bilance tal. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko.
9. WMO, 2021. WMO Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (WMO-No. 1267). Geneva. World Meteorological Organization.



## GRAJENI EKOSISTEMI ZA BLAŽENJE VPLIVA KMETIJSTVA NA OKOLJE OZ. ZAŠČITO KMETIJSKIH ZEMLJIŠČ

LUKA ŽVOKELJ<sup>1</sup>, MIRAN RENČELJ<sup>2</sup>, MILAN VOGRIN<sup>3</sup>, URŠA BRODNIK<sup>4</sup>,  
MATIC NOČ<sup>5</sup>, prof. dr. MARINA PINTAR<sup>6</sup>

### Povzetek

Naravni vodni ekosistemi imajo samočistilno sposobnost, saj se onesnažila v njih s procesi sedimentacije, absorpcije, privzema v biomaso, nitrifikacije in denitrifikacije razgrajujejo ter porabljajo v življenjskih procesih. Količina onesnažil lahko presega samočistilno sposobnost naravnih vodnih ekosistemov, obenem pa negativno vpliva na vodno okolje in življenje v njem. Grajeni ekosistemi, vzpostavljeni v projektu EIP GREKO, temeljijo na samočistilnih sposobnostih naravnih ekosistemov ter predstavljajo sonaravni in trajnostni pristop blaženja obremenitev vodnih virov. Delujejo brez uporabe električne energije in strojnih delov, pri čemer predstavljajo ekonomsko in ekološko sprejemljivo tehnologijo čiščenja voda ter zaščite vodnih virov po vzoru narave. Po drugi strani pa nudijo možnost razvoja novih oz. ohranitev že obstoječih habitatov. V obdobju projekta (2019–2022) smo spremljali učinkovitost grajenih ekosistemov z vidika zmanjševanja onesnaženja odtoka s petih površin kmetijskih gospodarstev z različnih krajev Slovenije in vpliv grajenega ekosistema na delovanje osuševalnega sistema ter rast njivskih posevkov.

**Ključne besede:** EIP GREKO, grajeni ekosistemi, habitat, okolje, onesnaževanje vodnih virov, površinske vode, zaščita vodnih virov.

### Abstract

Natural aquatic ecosystems have a self-cleansing function of degrading and assimilating pollutants through processes of sedimentation, absorption, biomass uptake, nitrification and denitrification. The amount of pollution can exceed the self-cleansing capacity of natural aquatic ecosystems and negatively affect the aquatic environment and life in it. The built ecosystems established in the EIP GREKO project are based on nature's self-cleansing

- 1 Luka Žvokelj, mag. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- 2 Miran Renčelj, univ. dipl. biolog, LIMNOS Podjetje za aplikativno ekologijo, d. o. o.
- 3 Milan Vogrin, zasebni raziskovalec ornitologije in ekologije
- 4 Urša Brodnik, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž., LIMNOS Podjetje za aplikativno ekologijo, d. o. o.
- 5 Matic Noč, mag. med. fiz., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- 6 Prof. dr. Marina Pintar, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo



Prenosni in laboratorijski multimerilci  
(pH, ORP/redox, elektroprevodnost, kisik, ISE,  
temperatura)

Merilci motnosti skladni z DIN 27027 / ISO 7027

Oxiotop sistemi za določitev BPK5 vrednosti

ON-LINE analizatorji in merilno regulacijska  
oprema (pH, O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>/NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, totP, TSS ...)  
za čistilne naprave



Širok nabor filter papirjev

Hitri testi za analizo voda  
(testni lističi in kolorimetrični testi)

Spektrofotometrija

Predpripravljeni kivetni testi (KPK, totP, totN, ...)  
za celovito kemijsko analizo voda

Kromatografske kolone



TOC/TN laboratorijski analizatorji

UV/VIS dvožarkovni sistemi

AAS

ICP MS

ICP OES



Profesionalni laboratorijski  
pomivalno/sušilni stroji  
(podputni ali prostostoječi)



CELOVITE REŠITVE ZA LABORATORIJE



MIKRO+POLO d. o. o. | Zagrebška cesta 22 | 2000 Maribor  
T 080 61 40 | T 02 614 33 00 | F 02 614 33 20  
www.mikro-polo.si | podpora@mikro-polo.si



market.mikro-polo.si



abilities and represent a sustainable approach to reduce the burden on water resources. They operate without the use of electricity and machinery and represent economically and ecologically acceptable nature-based water treatment and water resource protection technology. They also offer the possibility of developing new or preserving existing habitats. During the project period (2019-2022), the effectiveness of built ecosystems was monitored in terms of reducing pollution from run-off in five different agricultural areas in Slovenia and their impact on functioning of the draining system and growth of nearby field crops.

**Keywords:** built ecosystems, EIP GREKO, environment, ground waters, habitats, protection of water resources, water pollution.

## 1. UVOD

Zaradi vse večjih potreb ljudi po hrani se povečujejo pritiski na kakovost vode. Ti med drugim izvirajo iz razširjenih in okrepljenih intenzivnih sistemov živinoreje ter poljedelstva. Naravni vodni ekosistemi imajo tako imenovano samočistilno sposobnost vode oz. vodnega ekosistema, saj se onesnažila s procesi sedimentacije, absorpcije, privzema v biomaso, nitrifikacije in denitrifikacije razgrajujejo ter ponovno porabljajo v življenjskem krogu. Z intenzifikacijo kmetijske pridelave se je povečala raba sredstev za varstvo rastlin in mineralnih gnojil. S preobremenjevanjem večinoma že tako zelo okrnjenih naravnih vodnih ekosistemov ti niso več sposobni razgraditi in porabiti vnesenih onesnažil, zato ta onesnažujejo vodna telesa ter negativno vplivajo tako na vodno okolje kot življenje v njem.

Z namenom blaženja posledic kmetijskih praks na okolje je nastal projekt EIP (Evropsko partnerstvo za inovacije), ki sta ga financirala Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja ter Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, poimenovan »Grajeni ekosistemi za blaženje vpliva kmetijstva na okolje oz. zaščito kmetijskih zemljišč (GREKO)«. Namen projekta je povezati izkušnje kmetijstva in okoljskega inženirstva za zmanjševanje obremenitev površinskih voda s strani kmetijstva.

Splošni cilj projekta je dokazovanje učinkovitosti grajenih ekosistemov (GE) z vidika zmanjševanja onesnaženja z različnih površin kmetijskih gospodarstev in njihov vpliv na delovanje osuševalnega sistema ter rast njivskih posevkov. S tem bomo prispevali k manjšim obremenitvam površinskih voda in vodnih habitatov s strani kmetijstva.

Vodilni partner projekta je LIMNOS Podjetje za aplikativno ekologijo, ki se ukvarja z raziskovanjem, razvojem in uporabo naravnih ekosistemov za zaščito in obnovo okolja ter svetovanjem na področju varovanja okolja (primarno vodnih ekosistemov). Ostali partnerji so Univerza v Ljubljani (Biotehniška fakulteta), Meja Šentjur, Infrastrukturni Center Jable, Društvo za proučevanje ptic in varstvo narave, Razvojna agencija Kozjansko, KGZS Zavod Novo mesto, KGZS Zavod Murska Sobota in kmetijska gospodarstva Dejan Küčan, Andrej Grabnar ter Majda Veselič.

GE temeljijo na samočistilnih sposobnostih narave in s tem razbremenjujejo površinske vode ter vodne habitate oz. čistijo odcedne vode s kmetijskih površin. Predstavljajo sonaravni in trajnostni pristop, saj delujejo brez uporabe električne energije in strojnih delov ter predstavljajo ekonomsko in ekološko sprejemljivo tehnologijo čiščenja voda in zaščite vodnih virov po vzoru narave. Obenem nudijo možnost razvoja novih oz. ohranitev že obstoječih habitatov. Večja količina rastlin in drugih organizmov omogoča večjo sekvestracijo CO<sub>2</sub> ter vgrajevanje dušikovih spojin in fosforja, ki sta rastlinski hranili, v biomaso. Z umestitvijo GE v območje osuševalnih sistemov se ustvarijo novi habitati in izboljša stanje biotske raznovrstnosti. Novi habitati posebno dobro vplivajo na dvoživke, v določenih primerih lahko tudi na ptice.

V projektu smo razvili, umestili in testirali učinek GE na petih lokacijah na kmetijskih gospodarstvih v različnih krajih po Sloveniji (osrednjeslovenska regija – Jable, savinjska regija – Ponikva, pomurska regija – Tešanovci, jugovzhodna Slovenija – Golek v Beli krajini ter Ardro pri Raki).

## 2. OPIS GRAJENIH EKOSISTEMOV

GE lahko prištevamo k revitalizacijskim ukrepom, saj imajo večstranski pozitiven učinek na ekološko stanje okolja. Delujejo kot mediatorji med varovanjem in sanacijo okolja na eni strani ter gospodarskim razvojem in posledičnimi obremenitvami na okolje na drugi. Predstavljajo sonaravni in trajnostni pristop za čiščenje voda ter zaščito vodnih virov po vzoru narave. Zagotavljajo učinkovito razbremenjevanje vode organskih snovi, rastlinskih hranil in sedimentov. GE v območju osuševalnega sistema brez uporabe električne energije in strojnih delov predstavljajo tako ekonomsko kot ekološko sprejemljivo tehnologijo čiščenja vodnih teles.

V projektu EIP GREKO smo se osredotočili na razbremenjevanje vode nekaterih snovi (trdi delci, organske snovi, amonij, nitrat, fosfat), ki se pojavljajo v odtoku s kmetijskih površin. Te snovi so del naravnih procesov, naravnega kroženja snovi oz. biokemičnih pretvorb, vendar v preveliki koncentraciji negativno vplivajo na vodno okolje in življenje v njem. Naravni ekosistemi imajo tako imenovano samočistilno sposobnost vode oz. vodnega ekosistema, saj se v njih te snovi razgrajujejo in porabljajo v življenjskih procesih. Ti procesi so sedimentacija, absorpcija, privzem v biomaso, nitrifikacija in denitrifikacija. GE temeljijo na teh samočistilnih sposobnostih naravnih ekosistemov. Kot je prikazano na sliki 1, so GE zgrajeni predvsem iz naravnih materialov (pesek, les, kovinska mreža) in so načrtovani tako, da omogočajo ustvarjanje optimalnih pogojev za uspevanje organizmov (najpomembnejše so bakterije in rastline), ki izvajajo procese tako razgradnje kot tudi pretvorbe.



**Slika 1:** Gradnja grajenega ekosistema; od leve usedalnik, odsek umetnega meandriranja, čistilna greda; Meja Šentjur, Ponikva.

Vir: Limnos, 2020.

GE so v tem projektu umeščeni v obstoječe osuševalne jarke. V preteklosti je bila izgradnja teh jarkov pomemben ukrep za odvajanje vode s kmetijskih površin za doseganje primerne okolja za rast gojenih rastlin. Danes vemo, da s temi ukrepi odvajamo v vode tudi velike količine sedimenta in hranil iz obdelovalnih površin, kar obremenjuje okolje. GE povečajo samočistilno sposobnost ekosistema jarka. V tem projektu grajene ekosisteme sestavljajo naslednji strukturni elementi: usedalnik, odsek umetnega meandriranja, dvostopenjska in čistilna greda (Slika 2). Na konkretni lokaciji se zgradi primerno zaporedje teh elementov v primerni velikosti.

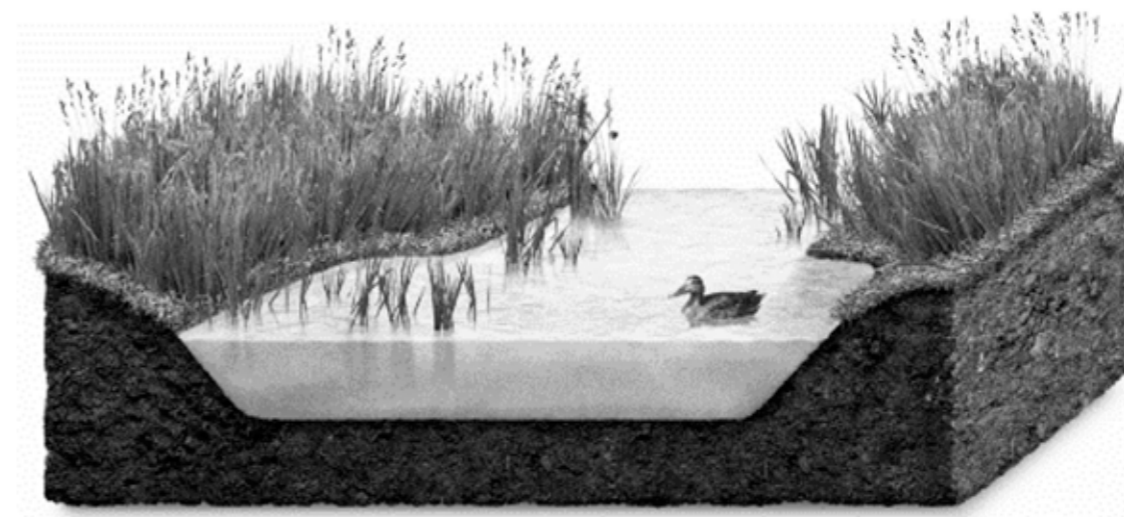


**Slika 2:** Tloris grajenega ekosistema, pri katerem si sledijo usedalnik, nato odsek meandriranja in na koncu čistilna greda s podpovršinskim tokom vode.

Vir: Limnos, 2022.

Usedalnik (Slika 3) je samo nekoliko razširjen in poglobljen osuševalni jarek. Objekt je namenjen prestrezanju in usedanju grobih delcev ter je vedno nameščen na začetku (gorvodno) grajenega ekosistema. Njegova funkcija je, da zaščiti čistilni del ekosistema pred zamašitvijo z organskimi delci. Na iztoku je narejena prečna lesena pregrada, s čimer se vzdržuje dovolj visok nivo vode.

**Slika 3:** Prečni prerez usedalnika gorvodno od grajenega ekosistema.



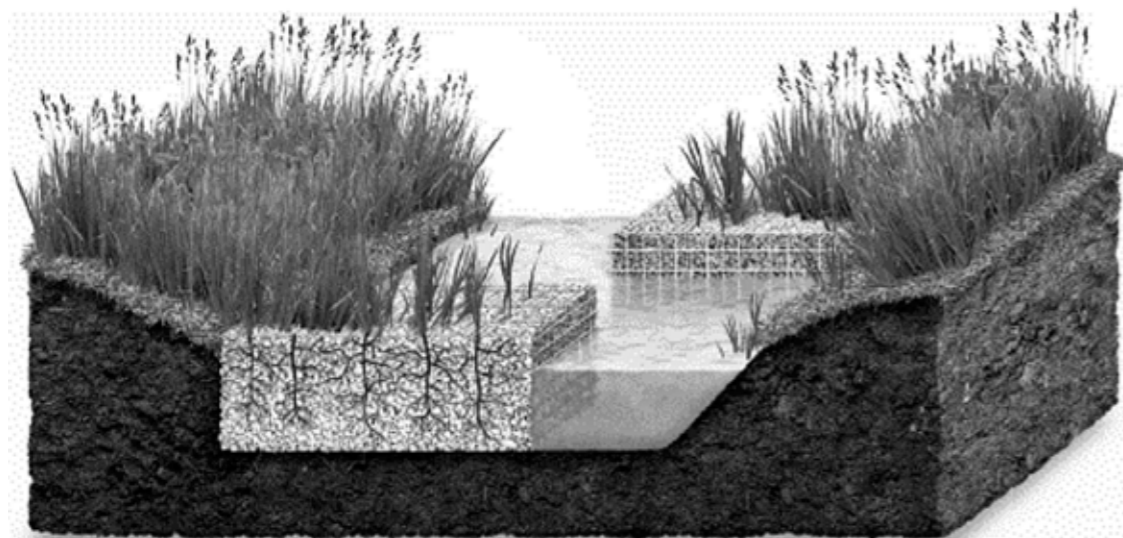
Vir: Limnos, 2022.

Odsek umetnega meandriranja (Slika 4) sestavljajo prečni objekti in gramozni odbijači, napol-



njeni z različnimi frakcijami peska, ki vodo prisilijo, da meandrira. Odsek umetnega meandriranja deluje po načelu polirne grede, nizka globina odseka in fotosinteza pa prispevata k čistilnemu procesu. Zrak v telo vode prihaja iz atmosfere. Ukrep prispeva k povečanju biodiverzitete, saj odbijači toka jarku povrnejo osnovne funkcije in preprečujejo monotonost toka. Sčasoma bodo za odbijači naravno nastali manjši tolumni za počivališče in skrivališče organizmov.

**Slika 4:** Prečni prerez odseka grajenega ekosistema z meandriranjem.

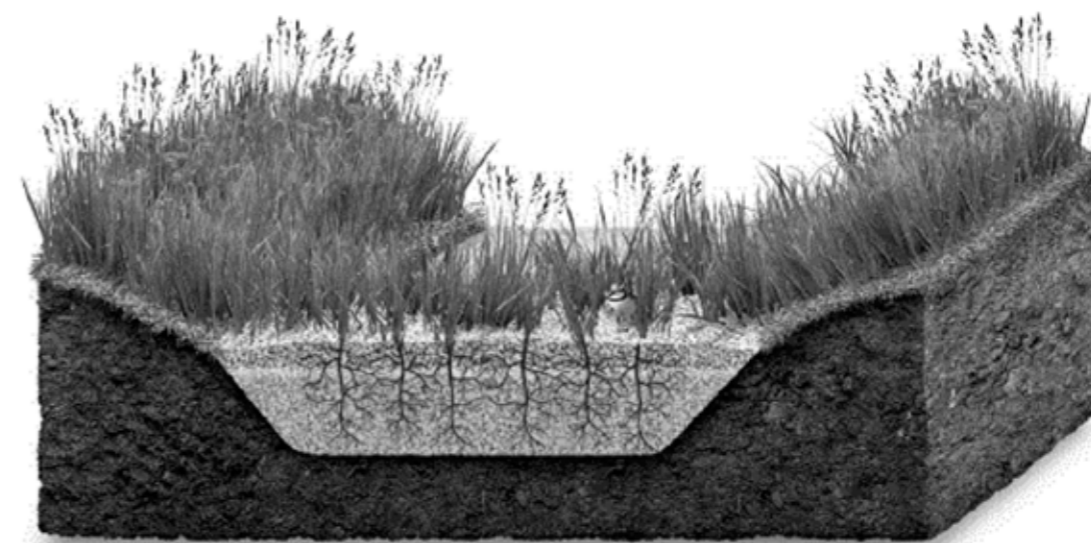


Vir: Limnos, 2022.

Dvostopenjski drenažni jarek je preoblikovanje obstoječega v vegetacijske terase, ki služijo kot poplavne ravnice na vsaki strani globljega osrednjega dela struge. Z izvajanjem dvostopenjskega jarka se energija površinskega odtoka razprši, kar vzdržuje pretočnost kanala, s čimer se izboljša kakovost vode.

Čistilna greda deluje po vzoru rastlinske čistilne naprave (RČN). Greda s podpovršinskim tokom, kot je prikazano na sliki 5, je sestavljena iz substrata in močvirnih rastlin, katerih glavno vlogo imajo korenine, voda pa se pretaka skozi ta porozni medij. Glavni nosilci čiščenja so mikroorganizmi (predvsem bakterije), ki prispevajo največji del čiščenja v sistemu. Korenine rastlin z različnimi mehanizmi (npr. izločki korenin) spodbujajo naselitev koristnih aerobnih bakterij na površino korenin in njihovo uspevanje. Kombinacija rastlinskih korenin, nanje naseljenih bakterij in pretoka vode ustvarijo pogoje za zelo učinkovito potekanje procesov razgradnje oz. tako imenovanih samočistilnih procesov. Rastline prek korenin v podlago dovajajo kisik, s tem pa pospešujejo fizikalno-kemijske in biološke procese, ki razgrajujejo in odstranjujejo organske snovi, amonij, nitrite, nitrate ter težke kovine in druge nevarne snovi. Iz tal absorbirajo dušik in fosfor, ju uporabijo za svojo rast, obenem pa sekvestrirajo ogljik (ga odstranijo iz ozračja). Sistem čistilnih gred lahko vključuje tudi predele, ki nudijo ugodno življenjsko okolje denitrifikacijskim bakterijam. Te porabljajo nitrat in uspevajo v okolju brez kisika. Prostor za njihovo naselitev so podpovršinske ali denitrifikacijske grede, kjer je koncentracija kisika tako nizka, da te bakterije namesto kisika za dihanje porabljajo nitrat in tako nižajo njegovo koncentracijo v vodi.

**Slika 5:** Prečni prerez dvostopenjskega drenažnega jarka v funkciji grajenega ekosistema.



Vir: Limnos, 2022.

### 3. OCENA UČINKOVITOSTI EKOSISTEMOV

V okviru projekta izvajamo meritve, s katerimi ugotavljamo, ali oziroma kako GE vplivajo na vsebnost bremen v vodi na vtoku in iztoku iz GE, obenem pa s tem raziskujemo učinkovitost oz. izkoristek sistema, ki je glavno merilo za ugotavljanje izpolnjevanja nalog, ki naj bi jih ekosistem opravljal. Osredotočamo se na razbremenjevanje vode naslednjih bremen oz. onesnažil, ki se pojavljajo v odtoku s kmetijskih površin: (i) Razgradljive organske snovi (KPK): Zmanjšanje koncentracije kisika v vodi, posledično pomor rib in drugih organizmov; (ii) Rastlinska hranila (dušik, fosfor): Evtrofikacija – večja tvorba organskih snovi (predvsem alge), posledično vpliv na vsebnost kisika; (iii) Amonijev dušik: Strupenost za ribe in druge organizme; (iv) Usedljive trdne snovi in neraztopljene organske snovi (suspendirani delci, TSS): Akumulacija mulja, razgradnja, pomanjkanje kisika, evtrofikacija, dušenje biofilmov.

Na podlagi do zdaj opravljenih meritev lahko sklepamo, da sta razgradnja organskih snovi in sedimentacija najučinkovitejši funkciji GE. Na lokaciji Jable, kjer je voda močno obremenjena z organskimi snovmi oz. gnojevko (visoka vrednost KPK in TSS) kot tudi hranili (N, P), je učinkovitost odstranjevanja vseh bremen oz. onesnažil največja, kar je zelo pozitivno, saj je obremenjevanje najbolj problematično v primerih visokih obremenitev. Očitno v tem primeru visoke koncentracije snovi (organske snovi – KPK, amonij, nitrat) sprožijo intenziven razvoj in aktivnost mikroorganizmov, da je s tem učinkovitost visoka. Odstranilo se je tudi veliko fosforja, ki se veže v organizme (prehranska veriga oz. kroženje snovi) ali na nekatere spojine, ki sedimentirajo.



**Tabela 1:** Učinkovitosti delovanja vzpostavljenih grajenih ekosistemov med letoma 2021 in 2022 v okviru projekta EIP GREKO.

Parameter oz. dejavnik	Enota	Lokacija	Število meritev	VTOK (povprečna vrednost vseh meritev)	IZTOK (povprečna vrednost vseh meritev)	Učinkovitost [%]
KPK	mg/L	Jable	4	13718	1299	91
		Ponikva	3	24,5	11,1	55
		Tešanovci	3	14,4	11,4	21
		Ardro	2	3,22	7,9	/
TSS	mg/L	Jable	4	48,3	27,7	43
		Ponikva	3	560	210	63
		Tešanovci	3	12	14	/
		Ardro	2	5	7	/
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	Jable	4	117	26,2	78
		Ponikva	3	0,26	0,18	31
		Tešanovci	3	0,38	0,36	5
		Ardro	2	0,125	0,135	/
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	Jable	4	17,5	6,05	65
		Ponikva	3	2,3	4,37	/
		Tešanovci	3	2,73	2,73	/
		Ardro	2	0,25	0,1	60
P-PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/L	Jable	4	67,4	18,1	73
		Ponikva	3	0,15	0,23	/
		Tešanovci	3	0,42	0,63	/
		Ardro	2	0,3	0,22	25

Vir: Limnos, 2022.

Glede na dosedanje meritve je učinkovitost GE pri vseh opazovanih parametrih sorazmerna z relativno vrednostjo bremena oz. onesnažila. Bolj ko je voda na začetku obremenjena, večja je učinkovitost oz. se odstrani večji relativni delež bremena, kar velja predvsem za odstranjevanje organskih snovi, amonijaka in trdih delcev. Iz dosedanjih meritev je razvidno, da vzpostavljeni GE dobro delujejo pri različnih pretokih vode. Koncentracija merjenih snovi se v GREKO zmanjšuje in voda na iztoku je s temi dejavniki precej manj obremenjena kot vtočna voda. Ob sodelovanju mikroorganizmov in močvirskih rastlin tako izboljšamo stanje vodnega telesa dolvodno, obenem pa tudi preprečimo nadaljnje linijsko onesnaženje. Pričakujemo lahko, da se bo sčasoma učinkovitost še povečala, saj rastline in združbe mikroorganizmov v času meritev (nekaj mesecev po postavitvi) še niso bile polno razvite.

Za zagotovitev trajno učinkovitega stanja in delovanja GE potrebuje redno vzdrževanje. Po potrebi se odstranjuje sediment, ki se lahko odloži na obdelovalne površine, saj vsebuje veliko hranil in organske snovi. Pri vzdrževanju je potrebno tudi letno odstranjevanje vegetacije, ki ob bujnem razvoju lahko zapolni in maši GE, hranila pa se ob razpadu spet sprostijo v vodo. To se navadno opravi pozimi, da je s tem vpliv na organizme čim manjši. Temu je treba nameniti čim večjo pozornost, na primer del vegetacije se pri košnji pusti nepokošen. Pokošeno

biomaso je smiselno koristno uporabiti za krmo (če se kosi še zelena biomasa), za bioogljje, kot dodatek kompostu ali gnoju, za biomaso za sežig in podobno. Z uporabo biomase dobijo GE novo dodano vrednost in njim namenjena površina ni več takšno breme pridelavi. S tem se tudi z območja odstrani določena količina hranil, ki bi sicer končala v vodotoku.

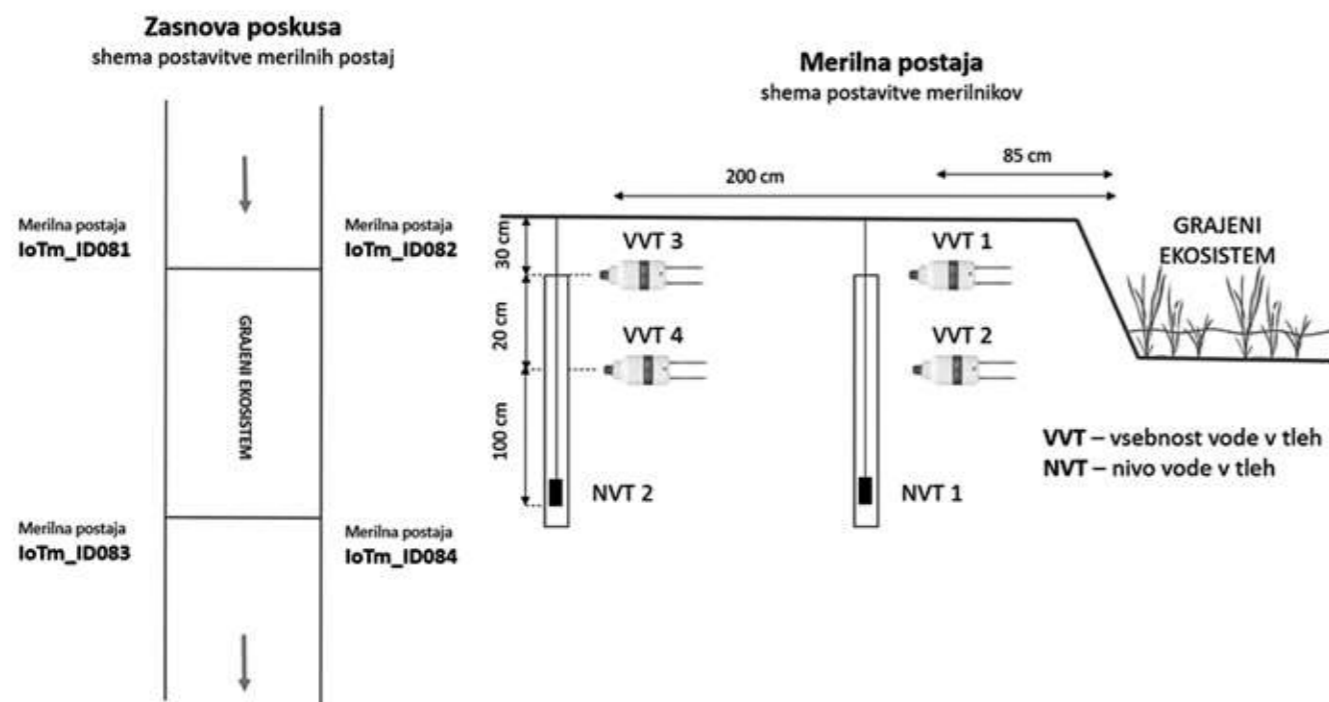
#### 4. VPLIV GRAJENIH EKOSISTEMOV NA GIBANJE VODE V TLEH

Osuševalni jarki odvajajo odvečno površinsko in talno vodo. Z osuševanjem lahko izboljšamo zračnost, zvišamo temperaturo in izboljšamo strukturo tal. Te fizikalne spremembe v tleh izboljšajo pogoje za rast rastlin tako, da omogočajo normalno kalitev, globlji razvoj korenin, daljšo vegetacijsko dobo in zmanjšujejo nevarnost pozebe (Spaling in Smith, 1995).

Če pride do zamašitve takšnega sistema, se lahko pojavijo težave, kot je ponovno zastajanje vode na površini in v tleh, kar negativno vpliva na kmetijsko pridelavo, obenem pa pod vprašaj postavlja smiselnost preteklega gradnje kot tudi današnjo funkcionalnost osuševalnega sistema (Slika 6). Po drugi strani lahko s premišljenim kontroliranjem vegetacije v jarkih zmanjšamo odnašanje brežin jarkov, stabiliziramo profil jarkov in izboljšamo ekološke funkcije ter slike krajine (Cvejić, 2007).

Da bi preverili vpliv vgradnje GE na gibanje in zastajanje vode v tleh ter njihov vpliv na tamkajšnje poljščine, smo si v okviru projekta EIP GREKO izbrali lokacijo Meja Šentjur v Ponikvi. Na tej lokaciji smo v letu 2020 izvedli analize tal. Prav te so ključne za opazovanje in interpretacijo gibanja vode v tleh. Naredili smo pedološke analize (tekstura tal in vsebnost organskega ogljika ter organske snovi v tleh) in analize vodozadrževalnih lastnosti tal (izračun točke venenja s sistemom Richard in sile vezave vode s sistemom HYPROP).

Na poskusnem polju smo vzpostavili sistem za spremljanje količine in nivoja gladine vode v tleh.



**Slika 6:** Zasnova poskusa opazovanja gibanja vode v okolici grajenega ekosistema (levo) v osuševalnem jarku Meja Šentjur v Ponikvi in shema postavitve merilnikov na merilni postaji (desno).

Vir: Biotehniška fakulteta, 2022.

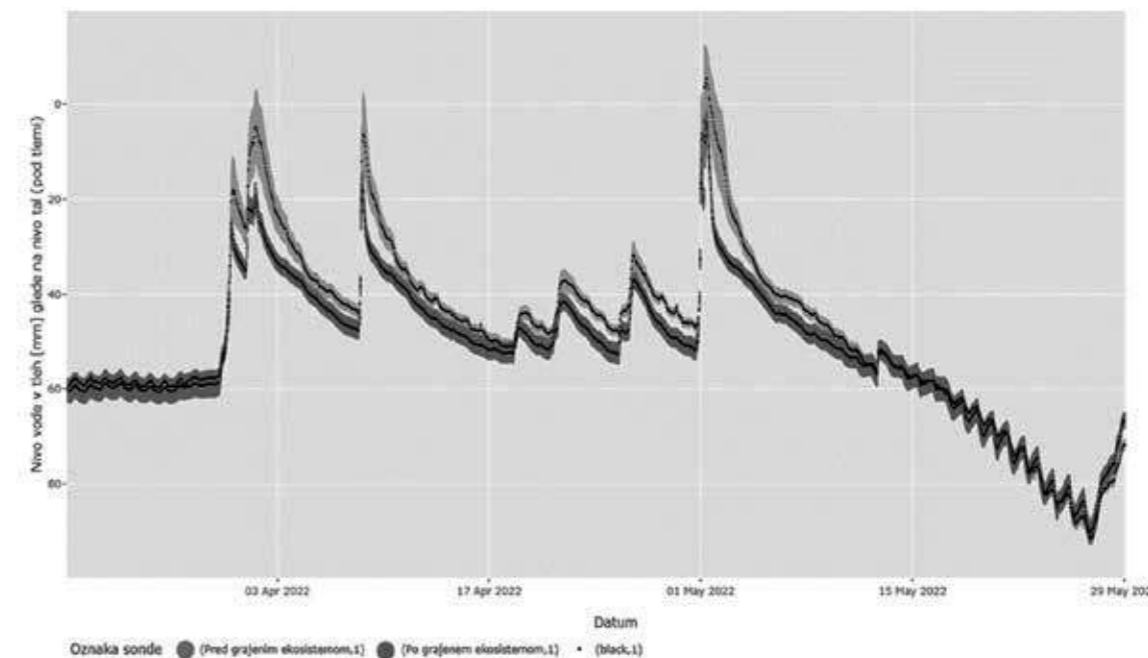
Na vsaki strani jarka so, pred in po grajenem ekosistemu, nameščene merilne postaje (Slika 6). Na te so vezani štirje merilniki za zaznavanje vsebnosti vode in temperature tal na globinah 30 in 50 cm, oddaljenih od jarka 85 in 200 cm. Prav tako sta na razdalji 85 in 200 cm od brežine jarka nameščena dva merilnika nivoja vode v tleh.

V projektu nas zanima predvsem gibanje nivoja vode pred in po umeščenem grajenem ekosistemu. S tem namenom smo se najprej posvetili pridobljenim meritvam nivoja podtalne vode. Pričakujemo, da je v suši gladina vode pred in po grajenem ekosistemu izenačena ter da v času večjih padavin voda gorvodno odteče počasneje kot dolvodno.

Za primerjavo višine podtalne vode je bilo treba najprej skalibrirati višine vgrajenih merilnikov nivoja gladine vode, saj površina na mestu vgradnje ni popolnoma vodoravna, zato lahko pričakujemo manjše napake pri namestitvi merilne opreme v tla. Kalibracijo smo dosegli z uporabo nivelirja, ki od fiksne izbrane točke nad tlemi izmeri razdaljo do vrha v tleh vgrajene cevi, v kateri je 120 cm globoko nameščena sonda. Za analizo vpliva GE na gibanje nivoja vode v nasičeni coni v tleh smo si izbrali reprezentativno obdobje v času izvajanja meritev, in sicer v spomladanskem času od marca 2022 do junija 2022.

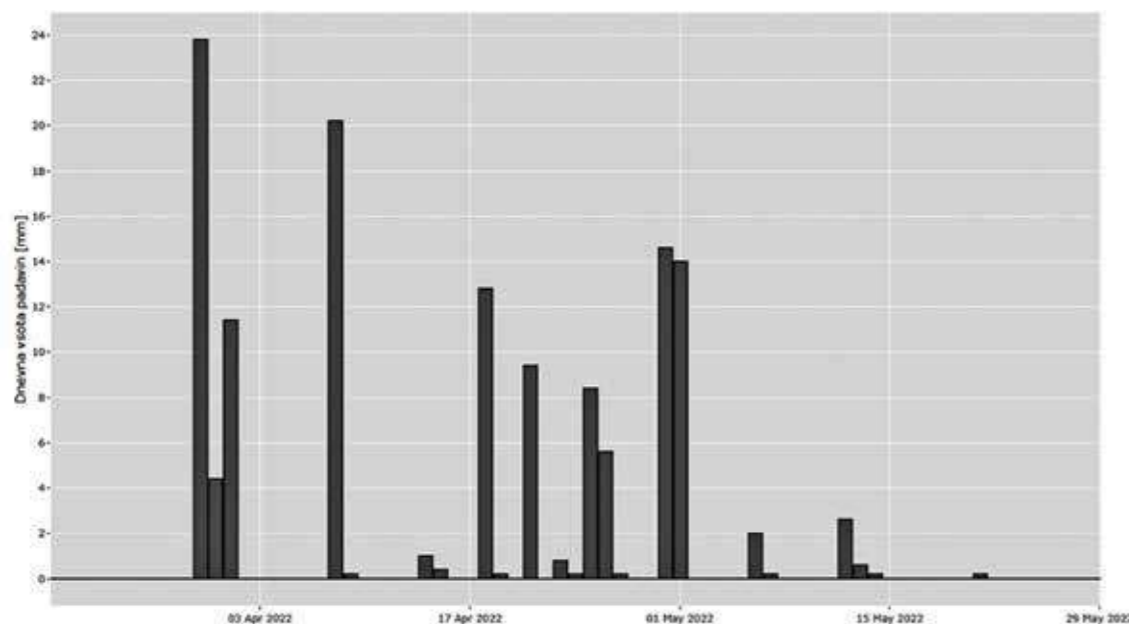
Za lažjo interpretacijo podatkov smo izračunali povprečno vrednost s standardnim odklonom merilnikov pred in po grajenem ekosistemu ter rezultate skalibrirali na predpostavki, da je v daljšem sušnem obdobju gladina vode pred in po grajenem ekosistemu izenačena (Slika 7).

V opazovanem obdobju od marca do junija 2022 je bilo na opazovani lokaciji sedem večjih padavinskih dogodkov (31. 3. – 24 mm; 2. 4. – 11 mm; 9. 4. – 20 mm; 19. 4. – 13 mm; 22. 4. – 10 mm; 26. in 27. 4. – 14 mm; 1. in 2. 5. – 29 mm) (Slika 8). Pri vsakem od teh dogodkov je iz grafa nivoja vode v tleh razvidno, da voda odteče hitreje za njim. Razlike v nivoju vode v tleh so v povprečju 10 cm med obilnejšimi padavinami in v povprečju 5 cm po manjših padavinah. Vpliv grajenega ekosistema je zaznan vse do bolj sušnih pogojev, približno 10 dni po zadnjem padavinskem dogodku. Torej ima ta tip GE, v opazovani coni do 2 m od roba jarka, negativen vpliv na funkcionalnost osuševalnega jarka. Globina oranja in glavina korenin sta 30 cm pod tlemi. Za njivska tla velja, da naj bi bila v času vegetacije zasičena cona 50 cm pod površjem tal. Pri primerjavi časa zadrževanja vode nad to mejo pred in po GE je razvidno, da se v obdobju od 4. 1. do 4. 5. zadržuje voda pred GE približno 2,5 dneva dlje in v obdobjih od 4. 9. do 4. 11. ter 5. 2. do 5. 5. približno 1,5 dneva dlje kot dolvodno od GE. Ta razlika v času odtoka gravitacijsko odcedne vode iz talnega profila lahko predstavlja negativen vpliv GE na rast in razvoj rastlin v njegovi neposredni bližini. Korenine rastlin so zelo občutljive na brezračne razmere, ki nastanejo v primeru nasičenosti tal, in propad korenin se v času vegetacije lahko pojavi že v enem do dveh dneh. Z odmrtnjem dela korenin je prizadet pridelek rastline, v najslabšem primeru je rastlina obsojena na propad (Matičič, 1984). Natančnejši vpliv spremembe nivoja podtalne vode pred in po GE tako na rast kot razvoj rastlin bo znan po nadaljnjih opazovanjih ter obdelavi podatkov volumske vsebnosti vode v tleh.



**Slika 7:** Povprečne razdalje gladine vode v tleh do površja tal (mm) s standardno napako (N = 3) gorvodno in dolvodno od grajenega ekosistema v osuševalnem jarku na lokaciji Meja Šentjur v Ponikvi.

Vir: Biotehniška fakulteta, 2022.



**Slika 8:** Dnevne količine padavin (mm) v opazovanem obdobju na lokaciji Meja Šentjur v Ponikvi.

Vir: Biotehniška fakulteta, 2022.

## 5. BIOLOŠKI MONITORING

Obsežna polja brez robne grmovne ali drevesne vegetacije za favno niso najbolj zanimiva. Le malo je živalskih vrst, ki živijo na takšnih monokulturah. Pogosto so odvodniki oz. osuševalni jarki tisti, ki nekaterim živalskim vrstam nudijo primerno zatočišče (Vogrin, 2003). Nekaterim vrstam ptic so dovolj že suhi odvodniki z zeliščnim slojem in posameznim grmom (npr. prosnik *Saxicola torquata*, rjava penica *Sylvia communis*), medtem ko druge zahtevajo prisotnost vode (npr. močvirna trstnica *Acrocephalus palustris*). Še posebej so na odsotnost vode občutljive dvoživke, ki so veliko manj premikajoče se kot ptice. GE so lahko pomembni za različne nevretenčarje (npr. vodni hrošči, kačji pastirji), dvoživke in celo nekatere vrste ptic. Pogoje je seveda prisotna voda, ki ne sme (prehitro) odteči ali ponikniti, saj bi v takem primeru lahko delovala kot past za dvoživke, ki bi v takšen habitat odložile mrest.

V sklopu projekta opravljamo tudi monitoring biodiverzitete, s katerim ugotavljamo vpliv GE na stanje biotske raznovrstnosti na habitatih, vezanih na kmetijsko krajino in kmetijsko biodiverziteteto. Novi habitatni posebej dobro vplivajo na dvoživke, v določenih primerih lahko tudi na ptice. GE so se izkazali kot ustrezni nadomestni habitat na lokacijah, vključenih v ta projekt. Kot stalni nadomestni habitat za dvoživke in ptice sta se izkazala predvsem GE Ponikva in Ardro pri Raki.

Na lokaciji Ponikva je bilo pred posegom v odvodniku le nekaj vode na posameznih mestih, prisotni sta bili dve dvoživki (ena zelena žaba in 15 odloženih mrestov rosnice *Rana dalmatina*). Po posegu je bilo zelenih žab več kot 20, odloženih mrestov rosnice 22 in belouška *Natrix natrix*. V GE v Ardrem pri Raki je bila ob ogledu maja 2022 v jarku voda prisotna. Za prelivu so nastale manjše mlake oz. tolmeni, ki so najugodnejši in najbolj naseljen vodni habitat GE. Brežine so zarasle z zeliščno in delno grmovno vegetacijo. V vodi je bilo prisotnih več vrst ne-

vretenčarjev, vodni hrošči, ličinke mladoletnic, vodni drsalci in ličinke kačjih pastirjev. Slednji so bili prisotni tudi v odrasli obliki, ugotovljenih je bilo vsaj šest vrst, kot so modri ploščec *Libellula depressa*, modri bleščavec *Calopteryx virgo* in rani plamenec *Pyrrhosoma nymphula*. V tolmunih je bilo prisotnih več osebkov navadnega pupka *Lissotriton vulgaris* in več ličink te vrste. Prisotnih je bilo tudi nekaj deset larv žabe rosnice *Rana dalmatina*. Na bregu je bil najden martinček *Lacerta agilis*. Svoj teritorij ob jarku pa je imel tudi rjavi srakoper *Lanius collurio*. Glede na lansko leto, ko je bil izveden poseg, je jarek znova zaživel in tako nudi življenjski prostor predvsem nevretenčarjem ter dvoživkam.

## 6. ZAKLJUČEK

Grajeni ekosistemi temeljijo na samočistilnih sposobnostih narave, s čimer zmanjšujejo obremenitve površinskih vod in vodnih habitatov s strani kmetijskih površin. Predstavljajo sonaravni in trajnostni pristop tako za čiščenje voda kot zaščito vodnih virov po vzoru narave. Med projektom smo GE umestili na pet lokacij.

V projektu EIP GREKO smo se osredotočili na razbremenjevanje vode trdih delcev, organske snovi, amonijaka, nitrata in fosfata, ki se pojavljajo v odtoku s kmetijskih površin. V vseh primerih se je zmanjšala količina trdih delcev v vodi (TSS). Večja kot je obremenitev ekosistema, večja je učinkovitost delovanja GE.

Grajeni ekosistemi so v tem projektu umeščeni v različne tipe obstoječih osuševalnih jarkov, zaradi česar lahko povzročijo zastajanje vode na površini in v tleh, kar negativno vpliva na kmetijsko pridelavo. Za preučevanje vpliva GE na delovanje osuševalnega jarka smo na lokaciji Meja Šentjur v Ponikvi vgradili merilnike za spremljanje gibanja in vsebnosti vode v tleh. Voda po obilnejših padavinah v coni glavnine korenin (30 cm pod vrhom tal) in neposredni okolici GE (do razdalje 2 m od ekosistema) odteče pred ekosistemom od 1,5 do 2,5 dneva počasneje, kar lahko škodi rasti in razvoju rastlin na tem območju. Za dejanski vpliv GE na rast in razvoj rastlin so potrebne nadaljnje raziskave.

GE lahko na poljskih površinah služijo tudi kot nadomestni habitat. V kraju Ardro pri Raki je bil še v istem letu po umestitvi viden vpliv GE, saj so bile v njem prisotne zelene žabe *Pelophylax* sp., zelena rega *Hyla arborea* in sekulje *Rana temporaria*. V GE Ponikva se je vanj naselilo več kot 20 zelenih žab, vidnih je bilo 22 mrestov rosnice ter belouška *Natrix natrix*.

## LITERATURA IN VIRI

1. Cvejić, R., 2007. Pregled stanja osuševalnega sistema »hidromelioracija doline Podturnščice«. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
2. Matičič, B., 1984. Agrohidrologija. V: Izvajanje drenažnih sistemov, (ur.) Matičič, B. Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, 358 s. of agricultural land drainage. Agricultural, Ecosystems and Environment, 53: 99–108.
3. Spaling H. in Smith B., 1995. A conceptual model of cumulative environmental effects
4. Vogrin, M., 2003. Melioracijski jarki sredi intenzivnih polj kot zatočišče za živali. Proteus 65, št. 9–10: 402–407.



## SIST EN 14614:2021

### Kakovost vode – Navodilo za ocenjevanje hidromorfoloških značilnosti vodotokov

Standard vsebuje smernice o značilnostih in procesih, ki jih je treba upoštevati pri opisovanju in ocenjevanju hidromorfologije rek. Temelji na metodah, ki so bile razvite in preskušene v Evropi in so medsebojno primerljive. Glavni cilj je izboljšati primerljivost metod hidromorfološkega ocenjevanja, obdelave in interpretacije podatkov. Čeprav ima standard poseben pomen za evropsko direktivo o vodah, saj zagotavlja smernice za ocenjevanje hidromorfološke kakovosti, je njegov pomen precej širši, saj morfologija pomembno vpliva tudi na ekologijo rastlin in živali.

### NOVI SIST STANDARDI ZA KAKOVOST VODE

- SIST EN ISO 20236:2022
- SIST EN ISO 5667-1:2022

### SLOVENSKI INŠTITUT ZA STANDARDIZACIJO

Ulica gledališča BTC 2  
1000 Ljubljana  
sist@sist.si

**WWW.SIST.SI**

### ZBORNİK REFERATOV SIMPOZIJA VODNI DNEVI 2022 Z MEDNARODNO UDELEŽBO

Rimske Toplice, oktober 2022

Izdajatelj: Slovensko društvo za zaščito voda

Urednica zbornika: mag. Stanka Cerkvenik

Programski odbor

Predsednica: dr. Marjetka Levstek

Člani: prof. dr. Mihael J. Toman

dr. Brigita Jamnik

dr. Polona Pengal

mag. Mojca Vrbančič

Nataša Uranjek

dr. Pavel Gantar

Lektoriranje: Anja Miklavčič

Oblikovanje in prelom: Melita Rak

Elektronska izdaja

Dostopno na: <https://sdzv-drustvo.si/vodni-dnevi/>

Brezplačni izvod

Ljubljana, 2022

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

COBISS.SI-ID 125265923  
ISBN 978-961-6631-18-1 (PDF)

