



SLOVENSKO DRUŠTVO
ZA ZAŠČITO VODA

Simpozij
z mednarodno udeležbo

VODNI DNEVI 2017

ZBORNİK REFERATOV



5.–6. oktober 2017

Portorož, Kongresni center Portus



ZBORNİK REFERATOV SIMPOZIJA Z MEDNARODNO UDELEŽBO VODNI DNEVI 2017

Portorož, oktober 2017

Izdajatelj: Slovensko društvo za zaščito voda

Urednici zbornika: mag. Stanka Cerkenik, Enisa Rojnik

Programski odbor:

Predsednica: dr. Marjetka Levstek

Člani: prof. dr. Milenko Roš

prof. dr. Mihael J. Toman

dr. Brigita Jamnik

mag. Mojca Vrbančič

Nataša Uranjek Ževart

Roman Kramer

Lektoriranje: Joža Repar Lakovič

Oblikovanje in prelom: Melita Rak

Tisk: Božnar in partner, vizije tiska d. o. o.

Naklada: 150 izvodov

Ljubljana, 2017

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

628.1(082)

628.3(082)

VODNI dnevi (2017 ; Portorož)

Zbornik referatov : simpozij z mednarodno udeležbo / Vodni dnevi 2017, 5.-6. oktober 2017, Portorož ; [urednici Stanka Cerkenik, Enisa Rojnik]. - Ljubljana : Slovensko društvo za zaščito voda, 2017

ISBN 978-961-6631-11-2

1. Cerkenik, Stanka 2. Rojnik, Enisa
291885568

UVODNA BESEDA PREDSEDNICE SLOVENSKEGA DRUŠTVA ZA ZAŠČITO VODA

Spremembe v vodnem krogu, intenzivni padavinski dogodki, poplave, pa tudi suše. Degradirane površine, naraščajoče število prebivalcev v mestih, vpliv urbane rabe prostora in kmetijske dejavnosti na okolje in uresničljivi ukrepi za izboljšanje stanja. Vplivi na zdravje prebivalcev, učinkovito gospodarjenje s komunalno infrastrukturo, raba virov, strožje zakonodajne zahteve pri odvajanju in čiščenju odpadne vode, nove tehnologije pri čiščenju odpadne in pripravi pitne vode. To so le nekatere od tem, s katerimi se ukvarjajo strokovnjaki na področju zaščite voda.

Na letošnjem že 23. simpoziju Vodni dnevi 2017 so udeleženci razmišljali o stanju v družbi in vodnem okolju, izpostavili izzive ter priložnosti, ki se ponujajo, a hkrati zahtevajo naše skupno delovanje. Voda je vir življenja. Kljub temu da je Slovenija vodnata dežela, je voda količinsko in kakovostno ranljiv naravni vir. Voda v času pomanjkanja je kot najčistejši diamant: njena vrednost je neprecenljiva. V slovenskem prostoru si pristojnosti za vodo delijo številne institucije in nemalokrat imamo vtis, da celostnega pogleda na upravljanje vode in njeno zaščito nimamo. Sistem zaščite slovenskih voda ne deluje dovolj dobro tudi zato, ker deležniki sledijo le parcialnim interesom, ni pa širšega iskanja rešitev, sprejemljivih za več strani. Zapis pravice do vode v Ustavi RS ni nikakršno jamstvo za zaščito. Vsak poseg v prostor mora predstavljati uravnoteženo odločitev deležnikov. Le tako bomo v skladu z Vizijo Slovenije 2050 v sozvočju z okoljem in s časom dosegli raven kakovostnega življenja.

Hvala vsem, ki vam ni vseeno. Vsem, ki vidite izzive in gradite ter izkoriščate priložnosti za izboljšanje stanja naših voda.

Dr. Marjetka Levstek
predsednica SDZV



ZMANJŠAJTE OGLJIČNI ODTIS IN PRIHRANITE!

Sofinanciramo
vaše naložbe
v varstvo okolja
z ugodnimi krediti
in subvencijami.

Možnost kombinacije kredita
in subvencije!

KAZALO

- 7 **Voda je najdragocenejši vir, jo tako tudi vrednotimo?**
mag. Stanka Cerkvnik
- 23 **Odnos med vodo in družbo v Sloveniji**
izr. prof. dr. Mihael Brenčič
- 37 **Pravni vidiki trajnostnega upravljanja voda (aktualna vprašanja)**
prof. dr. Senko Pličanič
- 47 **Ali so podzemne vode res le vir pitne vode**
dr. Boris Kolar
- 57 **Pomen rastlin za kroženje vode na kopnem**
prof. dr. Alenka Gaberščik
- 65 **Pojavnost, kroženje in učinki protirakavih zdravil v vodnem okolju**
dr. Marjeta Česen, doc. dr. Tina Kosjek, prof. dr. Boris Kompare, doc. dr. Tina Eleršek, Matjaž Novak, doc. dr. Bojana Žegura, prof. dr. Metka Filipič, doc. dr. Francesco Busetti, prof. dr. Ester Heath
- 77 **Čiščenje odpadne vode s postopkom PVA-MBBR, napredek in poenostavitev**
Stanko Česen
- 89 **How to manage a water utility in a rapidly changing world - The Ruhrverband example**
prof. Dr.-Ing. Norbert Jardin
- 105 **Problematika načrtovanja sistemov kanalizacije v Sloveniji**
Radoslav Vodopivec
- 113 **Application of the ENERWATER methodology for the analysis of energy efficiency: a case study**
Stefano Longo, Miguel Mauricio-Iglesias, Juan M. Lema, Almudena Hospido
- 123 **Upravljanje onesnaženj podzemne vode na ravni funkcionalnega mestnega območja**
mag. Joerg Prestor, dr. Brigita Jamnik, Simona Pestotnik, Petra Meglič, dr. Sonja Cerar, dr. Mitja Janža, mag. Primož Auersperger, mag. Branka Bračič Železnik
- 135 **Sanacija vodnih virov Segovci in Podgrad**
dr. Goran Pipuš
- 145 **Patogeni virusi v vodi: določanje in ukrepanje**
Anja Pecman, dr. Denis Kutnjak, dr. Nataša Mehle, Katarina Bačnik, dr. Magda Tušek Žnidarič, izr. prof. dr. Matevž Dular, dr. Janez Kosel, prof. dr. Maja Ravnikar, dr. Ion Gutiérrez-Aguirre
- 155 **Morfološke in hidrološke spremembe na hudourniški reki Gradaščici in vpliv na diverzitetu združbe bentoških nevretenčarjev**
Tjaša Zimšek
- 169 **Vodni odtis lokalnega trga**
Brigita Leban, prof. dr. Zvone Balantič



VODA JE NAJDRAGOCENEJŠI VIR, JO TAKO TUDI VREDNOTIMO?

mag. STANKA CERKVENIK¹

Povzetek

»Zakaj mi odrekate vodo? Njena uporaba je skupna vsem. Narava ni ustvarila niti sonca, niti zraka in niti valov kot zasebno lastnino; to so javna darila,« je že pred našim štetjem preroško zapisal rimski pesnik Publij Ovidij Nazon. Dostop do pitne vode je danes temeljna človekova pravica in obenem kritični izziv za trajnostni razvoj. Konkurenčne zahteve po vodi so vedno večje, učinki podnebnih sprememb pa še povečujejo izzive, povezane s kakovostjo vode in njeno razpoložljivostjo. Ob tem pa se ne zavedamo njenega pomena in kako potrebna je za naše preživetje in razvoj. Njena neomejena razpoložljivost, dostopnost in cenenost so za vse nas postale povsem samoumevne. S svojim ravnanjem kažemo, da ne razumemo in ne priznavamo pomena vode za sodobni način življenja. Preprosto ne cenimo vloge, ki jo voda igra v našem življenju. Spremenjene razmere zahtevajo, da oblikujemo nov pogled na vodo in ji priznamo njeno pravo vrednost. Vrednost, ki bo upoštevala skupno ekonomsko vrednost vode, ki vključuje njeno uporabniško in neuporabniško vrednost.

Ključne besede: cena vode, vrednost vode, vrednotenje vode

Abstract

»Why are you denying me water? Its use is common to us all. Nature did not create the sun, the air, nor the waves as private property; they are public gifts,« prophetically wrote the ancient Roman poet Publius Ovidius Naso. Today access to drinking water is a fundamental human right, but also one of the critical challenges for sustainable development. Competing demands for water are increasing, and the effects of climate change make the challenges associated with water quality and its availability even harder to solve. Nevertheless, we are still not aware of its significance to our survival and development. Its unlimited availability, accessibility and affordability have become something we take for granted. Our actions show that we neither understand nor recognize the importance of water for the modern societies: we simply do not appreciate the role that it plays in our lives. The changes around us require that we form a new view of water and acknowledge its true value. A value that takes into account the total economic value of water, including both its user as well as non-user value.



JP CČN
DOMŽALE-KAMNIK
d.o.o.

SVETOVANJE NA
PODROČJU
ČIŠČENJA
ODPADNIH VOD

SPREJEM
V ČIŠČENJE

IZVAJANJE

IZOBRAŽEVANJA
SEMINARJI

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: Študijska 91,
1230 Domžale, Slovenija

¹ Mag. Stanka Cerkvenik, univ. dipl. ekon., strokovna direktorica, Inštitut za javne službe



1. UVOD

»Ko vodnjak presuši, spoznamo pravo vrednost vode.«

*Benjamin Franklin,
Poor Richard's Almanac, 1733*

V zadnjem stoletju smo bili v razvitem delu sveta prepričani, da je voda naravno neomejena, varna in poceni – da tako mora biti in da bo vedno tako. Da zgolj odpremo pipo in priteče čista voda. Rast prebivalstva, gospodarski razvoj in podnebne spremembe močno pritiskajo na oskrbo z vodo. Kruta dejstva, ki napovedujejo, da se zlata doba vode hitro bliža koncu.

Brez vode ne moremo živeti, a ker je sčasoma postala tako globoko vpeta v naše vsakdanje življenje in delo, je postala nevidna. Njena neomejena razpoložljivost, dostopnost in cenenost so za vse nas postale povsem samoumevne. Ob tem pa s svojim ravnanjem kažemo, da ne razumemo in ne priznavamo pomena vode za sodobni način življenja. Preprosto ne cenimo vloge, ki jo voda igra v našem življenju. Je razlog morda v tem, da se ne zavedamo njene vrednosti?

Vse široko uporabne dobrine, kot na primer voda, nimajo visoke vrednosti in tudi vsaka stvar, ki ima visoko vrednost, ni zelo uporabna, kot na primer diamant. Iz te primerjave lahko izluščimo dva pomembna izziva, s katerima se družba danes sooča. Prvič, še vedno služimo na račun »vrednosti narave«, saj razširjamo koncept kapitala na človeški družbeni in naravni kapital. S prepoznavanjem in ohranjanjem vrednosti narave bodo nedvomno uspešnejša tudi prizadevanja za trajnostni razvoj. In drugič, še vedno iščemo, kakšna je vrednost ekosistemov. Narava v našem vsakodnevem življenju predstavlja vir neprecenljive vrednosti, pa vendar njena vrednost večinoma zaobide trge, ni ovrednotena in nima cene. Ravno pomanjkanju vrednotenja naravnih dobrin se pripisuje osnovni razlog za vse večjo degradacijo ekosistemov in izgubo biološke raznovrstnosti.

Morda bo koga presenetilo, da gre v bistvu za dilemo, ki je starejša kot gospodarstvo. Gre za paradoks vrednosti, ki ga je že leta 1776 izpostavil škotski filozof in politični ekonomist Adam Smith. Preden si paradoks vrednosti podrobneje ogledamo, ne moremo mimo dejstva, da je človeštvo potrebovalo skoraj 250 let, da se je spoprijelo s tem izzivom.

2. PARADOKS VREDNOSTI VODE IN DIAMANTOV

»Voda govori nenehno in se nikdar ne ponavlja.«

*Octavio Paz Lozano, mehiški pesnik,
pisatelj in filozof, Svoboda v besedah, 1914*

Cena litrske steklenice izvirske vode Zale znaša v trgovini sredi Ljubljane 0,39 evra, medtem ko cena za 5-karatni diamant na trgu presega 500.000 evrov. Razlika je več kot očitna. Zakaj pravzaprav cena diamanta tako vrtoglavo presega ceno vode? Voda je bistvena za preživetje, diamant pa, gledano eksistenčno, popolnoma nepomemben.

To vprašanje je že v davni preteklosti begalo filozofe in druge znanstvenike, ki so se lotevali ekonomskih vprašanj. Med prvimi, ki se je ukvarjal s pojmom vrednosti, je bil Aristotel (384–322 pr.n.št.), ki v svojem manj znanem delu Topicorum Libri pravi, da se vrednost določene stvari najbolje oceni takrat, ko te stvari nimamo več v izboru danih dobrin, oziroma ko stvar dodamo takšnemu izboru (Pjanić, 1979). Leta 1588 je Bernardo Davanzati, predhodnik klasične politične ekonomije, skušal dokazati, da je vrednost dobrin odvisna od njihove koristnosti in redkosti. Pri tem ga je zanimala predvsem relativna koristnost, torej koristnost v odnosu do razpoložljive količine dobrin. Predpostavljal je, da večja redkost dobrin pomeni povečanje uporabne vrednosti teh dobrin in posledično višjo ceno, po kateri naj bi se te dobrine prodajale (Screpanti in Zamagni, 1993).

Največji prispevek k nadaljnjemu razvoju teorije vrednosti je dal Adam Smith, oče politične ekonomije, sicer pa predstavnik delovne teorije vrednosti, ki se je v svojih razmišljanjih dotaknil tudi koncepta koristnosti in redkosti dobrin. Adam Smith loči dva pojma besede vrednost, in sicer vrednost kot koristnost neke dobrine, t. i. uporabna vrednost; v drugem pomenu besede pa je to kupna moč neke dobrine v odnosu do ostalih dobrin, t. i. menjalna vrednost. V svojem raziskovanju narave in bogastva narodov je izpostavil, da »stvari, ki imajo največjo uporabno vrednost, imajo pogosto majhno ali nimajo nikakršne menjalne vrednosti, in obratno, tiste, ki imajo največjo menjalno vrednost, imajo pogosto majhno ali nimajo nikakršne uporabne vrednosti«. Kot primer, s katerim je podkrepil svojo trditev, je navedel vodo in diamant, ki je postal v ekonomiji splošno znani paradoks. V odmevni knjigi Wealth of Nations je namreč zapisal »Nič ni bolj koristno od vode, vendar težko, da bi lahko kaj dobili v menjavi zanj. Nasprotno, diamant nima skoraj nobene uporabne vrednosti, a se v menjavi zanj lahko običajno dobi zelo velika količina drugih dobrin.« (Smith, 1776)

Pojem koristnosti Adam Smith razume le kot lastnost dobrine, ki naj bi bila sposobna zadovoljevati človeške potrebe, in ne kot determinanto vrednosti; pri tem pa ga ne zanima, kakšne so te potrebe, niti, kakšen je odnos človeka do posamezne dobrine. Poleg koristnosti Smith opredeli tudi redkost dobrin in v primeru »vode in diamantov« redkost diamantov povezuje s stroški njihovega pridobivanja – če so le-ti visoki, potem je vsekakor pričakovati, da jih ne bo v izobilju. »Vrednost dragocenih kovin je v vseh obdobjih in narodih pogosto izvirala iz njihove redkosti, ta redkost pa je posledica zelo majhnih količin, ki jih je narava shranila na enem mestu ..., in posledično dela in stroškov, potrebnih za njihovo pridobitev,« je menil Adam Smith (1976).

Z razvojem kapitalizma so se razmere začele spreminjati in klasična teorija ni bila več zmožna dati rešitve za nastajajoče probleme v produkciji, zato je bila sprememba konceptov ekonomske teorije neizogibna. V zadnjih desetletjih 19. stoletja je prišlo do marginalistične revolucije in temeljnih sprememb v ekonomski teoriji. Predstavniki tega obdobja so v središče teorije postavili koncept mejne koristnosti kot glavno kategorijo in osnovno analitično orodje, s katerim razlagajo ekonomsko stvarnost.

Alfred Marshall, vidni ekonomist tega obdobja, je subjektivistično teorijo vrednosti, ki temelji na konceptu koristnosti in povpraševanja, in marginalistično analizo povezal s klasično tradicijo, ki izhaja iz koncepta stroškov in ponudbe. S tem je ustvaril temelje za paradigmo neokla-



sične ekonomske teorije, teorija koristnosti pa je s tem dobila ključno vlogo pri določevanju vrednosti. »Koristnost določa količino ponudbe; količina ponudbe določa produkcijske stroške; stroški produkcije določajo vrednost.« (Marshall, 1890)

Delovna teorija vrednosti notranjo vrednost dobrine omeji zgolj na njeno funkcijo. Nesorazmerje med ceno vode in ceno diamanta je paradoksalno le, če zelo ozko opredelimo vrednost obeh dobrin in pri tem ne upoštevamo potrošnikovega vedenja. Subjektivna teorija vrednosti razloži ceno na trgu s padajočo mejno koristnostjo dobrine. Preneseno na vodo, nam prvi kozarec vode poteši najhujšo žejo, drugi popolnoma zadovolji naše potrebe, tretji pa je morda že odveč in ga zato ne cenimo. Ker je vode v izobilju, je njena cena nizka, medtem ko diamantov prav nasprotno primanjkuje. Kljub temu pa sama redkost še ne pojasni visoke cene. Diamant sam po sebi nima nobene posebne uporabne vrednosti, pa smo kljub temu pripravljeni plačati vrtooglave zneske za njegovo ekskluzivnost.

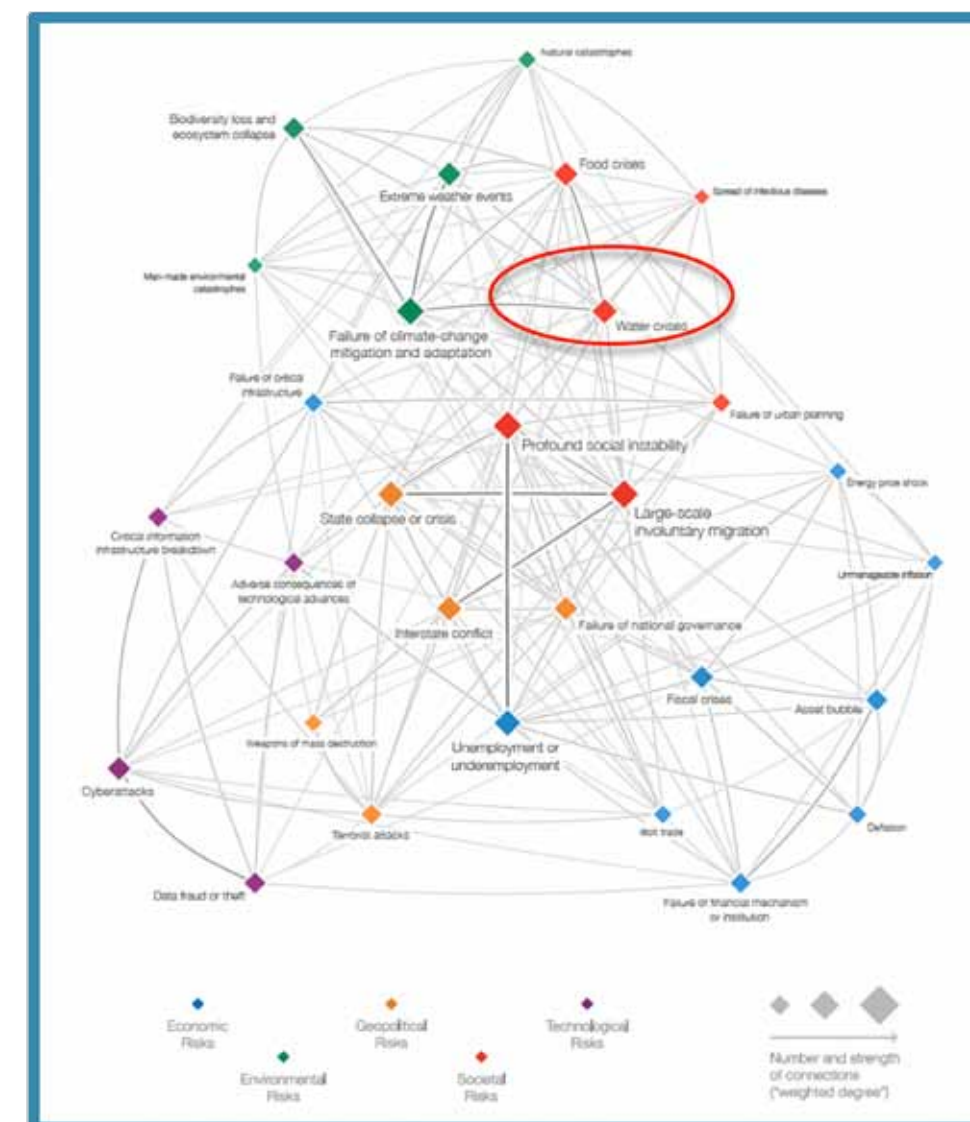
Ekonomist in sociolog Thorstein Veblen je visoke cene luksuznih dobrin razložil s priznanjem notranje vrednosti neuporabnih predmetov za družbeni položaj, ki ga predmet omogoči lastniku. S tem je ponudil rešitev paradoksa vode in diamanta v okviru subjektivne teorije vrednosti. Cena diamanta je razumljiva samo, če njegovo vrednost opredelimo tako z instrumentalno (notranjo) kot s ceremonialno (družbeno) komponento. Veblen je v dragem avtomobilu prepoznal tako sredstvo za transport kot izkaz položaja, v obleki tako sredstvo za toploto kot izraz družbene norme, v hrani tako sredstvo za energijo kot signalizacijo kultiviranega okusa. Diamant je dragocen, ker nosi estetsko in statusno vrednost. Njegova vrednost temelji na izkazovanju ekonomske moči, ki je opredeljena s potrošniškim (pre)obiljem. Vrednost diamanta je statusna. Diamant je simbol ekonomske moči zaradi svoje neuporabnosti. Voda pa nima te vrednosti — razen če je steklenica vode vredna 100.000 dolarjev².

3. KAKŠNA JE PRAVA VREDNOST VODE?

»Kaj je mehkejšo od vode? Kaj je trše od kamna?
Toda često mehka voda izpodjeda trd kamen.«

Publij Ovidij Nazon, rimski pesnik

Poročilo Svetovnega gospodarskega foruma o globalnem tveganju je prepoznalo vodo kot največjo socialno in gospodarsko tveganje z vidika vpliva na svetovno gospodarstvo do leta 2025 (World Economic Forum, 2016) in izpostavilo, da je dragocen vir, ki ga je treba odgovorneje upravljati.



Slika 1: Globalna tveganja in njihova povezanost

Vir: World Economic Forum, 2016.

Ironično je namreč, da z najdragocenejšim naravnim virom ravnamo, kot da bi bil brez vrednosti. Hitro smo razumeli vrednost zlata, nafte ali piva, vodo pa vse prej kot cenimo. Cena vode tradicionalno odraža zgolj omejen nabor stroškov za črpanje, pripravo in dobavo, vendar je vrednost vode veliko večja. Nizke in subvencionirane cene vode so pomembne za zagotovitev človekove pravice do vode, vendar pa nizka tržna vrednost vode povzroča čezmerno uporabo, onesnaženje in visoke stroške za družbo in naravo.

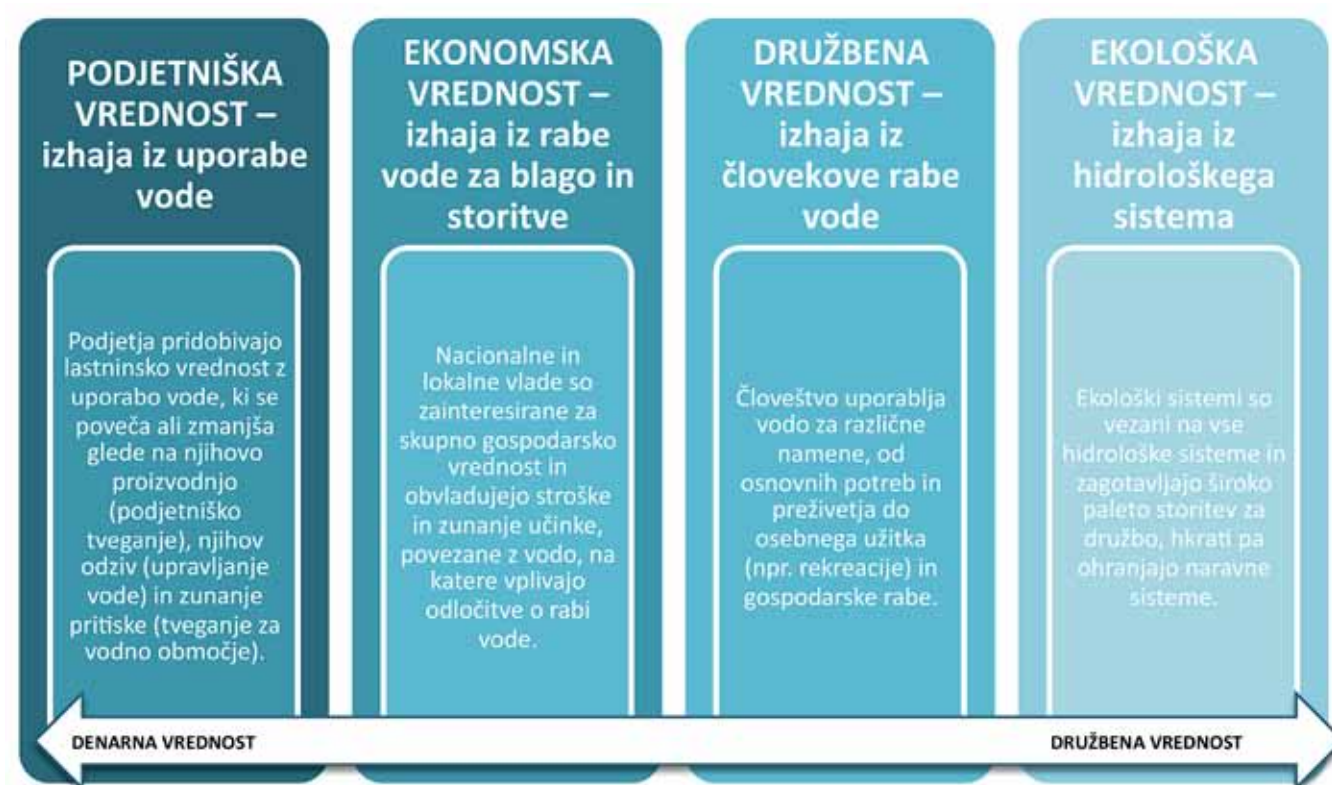
Kot bomo spoznali, je pravo vrednost vode težko določiti, ker jo različni deležniki konceptualizirajo in opredeljujejo njeno vrednost drugače. Rezultat tega so različna orodja, metode in pristopi, ki ustvarjajo določeno zmedo na področju vrednotenja vode. Tako na primer zasebni sektor razume vodo kot blago s tržno vrednostjo in jo obravnava predvsem s finančnega vidika. Gospodarstvo vrednoti vodo na širši družbeni ravni. Na tej ravni je moč razlikovati med stroški, ceno in vrednostjo vode, saj osredotočanje na dostopno ceno privede do pod-

² Toliko znaša cena za steklenico vode Beverly Hills 90H2O iz vrhunske kolekcije Diamond Edition Luxury Collection. Kolekcija je omejena na samo devet steklenic, vsaka ima pokrovček iz belega zlata z več kot 600 belimi in več kot 250 črnimi diamanti, s skupno 14 karati. V posebno varovanem paketu so poleg steklenice vode priloženi tudi štirje vgravirani kristalni kozarci Baccarat, ki jih osebno predstavi vodilni sommelier Martin Riese na zasebni degustaciji vode kjerkoli na svetu. Poleg tega paket Diamond Collection vključuje enoletno dobavo Lifestyle Collection iz Beverly Hills 90H2O. Vir: <http://beverlywater.com/shop/diamondedition/>.



cenjevanja vode pri odločanju podjetij. Države in lokalne skupnosti vse bolj priznavajo širši pomen vode za ustvarjanje nove vrednosti, kot tudi ekosistemske storitve in stroške slabega gospodarjenja z vodami, zlasti na področju zdravja ljudi. Pri vrednotenju vode na družbeni ravni se vse bolj upošteva vrsta okoljskih in socialnih vidikov. Civilna družba vrednoti vodo za osnovne zdravstvene in sanitarne namene, pa tudi z duhovnega in rekreativnega vidika. Nove raziskave opredeljujejo tudi manj oprijemljive vidike vode, kot so sreča in dobro počutje, in proučujejo njihov vpliv na družbeno vrednost vode.

Nesporo je, da imajo vsi deležniki legitimno pravico do vode in njene uporabe, zato je treba razumeti različne načine vrednotenja vode kot omejenega vira. Še posebno, ker omejenost vodnih virov povečuje negotovost, s tem pa se veča tudi zahteva za boljše razumevanje vode tako z vidika vrednotenja kot tudi tveganja.



Slika 2: Vrednost vode za podjetja, gospodarstvo, družbo in naravo

Vir: Morgan in Orr, 2015.

3.1. Podjetniški vidik – voda kot strošek, odgovornost in tveganje

Z vrednotenjem vode se skuša določiti denarna in nedenarna vrednost vodnih zalog in tokov na različnih prostorskih ravneh za različne ciljne skupine, z različno stopnjo gotovosti. Podjetniški vidik vrednotenja vode poskuša določiti denarno vrednost sredstev, obveznosti, prihodkov in stroškov pod različnimi stopnjami tveganja. Podjetje običajno vrednoti vodo bodisi kot vir (tj. stroški za porabo vode, ki so določeni s ceno vode) ali kot obveznost (tj. stroški zaradi onesnaževanja ali zmanjšanje predpisanih dajatev) in pri tem ni zanesljive povezave med vrednostjo vode in z njo povezanimi tveganji. Analize kažejo (Morgan in Orr, 2015),

da podjetja vodo zaznavajo predvsem kot strošek ali kot tveganje za prodajo in skladnost s predpisi. Zaradi spreminjajočih se okoliščin se podjetja v zadnjem času vse pogostejše soočajo z negativnimi posledicami, povezanimi z vodo. Tako lahko fizično pomanjkanje vode omeji proizvodnjo in razvoj podjetja ali poveča cene; slaba kakovost vode lahko povzroči višje stroške in zmanjšanje produktivnosti. Podjetja več sredstev porabijo za učinkovito upravljanje in tehnologijo, skladno z zahtevnejšimi okoljskimi predpisi. Vse pomembnejši vpliv ima tudi ustrezno vključevanje javnosti, ki v primeru kriznih dogodkov lahko nepopravljivo vpliva na ugled podjetja.

Več kot četrtnina podjetij je v letu 2016 poročala o negativnih vplivih, povezanih z vodo in s tem povezane stroške ocenila na 14 milijard \$, kar je za petkrat več kot leto prej. Več kot polovica podjetij (54 %) pa iz naslova vodnih tveganj pričakuje pomembne finančne posledice v naslednjih šestih letih. Kljub temu pa analize kažejo, da se podjetja še niso resno spoprijela s trajnostnim upravljanjem voda. Razkritja podjetij glede ključnih meritev, kot so evidentiranje porabe vode, ocena tveganja in zagotavljanje strateškega upravljanja, ne kažejo bistvenih sprememb. Podjetja vrednosti vode očitno (še) ne povezujejo z obvladovanjem tveganj in trajnostnim upravljanjem voda (CDP, 2016).

3.2. Gospodarski vidik – voda kot javno dobro in strošek upravljanja

V nasprotju s podjetji države in lokalne skupnosti vrednotijo vodo skozi cenovne signale kot osnovno pravico prebivalcev in mehanizem za konkurenčnost gospodarstva (npr., nizke cene omogočajo dostop do vode vsem državljanom, zagotavljajo, da so kmetijski proizvajalci stroškovno konkurenčni in da pritegnejo naložbe s cenovno ugodno energijo) ob hkratni porabi javnih sredstev za korekcijo eksternalij (npr. pokrivanje stroškov izgubljenih posevkov zaradi suše, poplav ali sanacije onesnaževanja vode itd.). Z drugimi besedami, vladna politika in lokalno upravljanje z vrednotenjem vode vplivata na gospodarsko učinkovitost.

Ob tem vlade vse bolj spoznavajo, da gospodarska konkurenčnost v okolju, omejenem z vodo, vpliva na nacionalno vodno bogastvo, upravljanje vodnih virov in zmožnost varovanja vode za lastno oskrbo. Alokacija kakovostne vode je stvar optimizacije njene rabe za družbene potrebe in gospodarske koristi. V tem pogledu si javni sektor že vrsto let prizadeva, da bi našel prave načine za vrednotenje vode. Vlade morajo na eni strani zagotoviti temeljno človekovo pravico svojih državljanov do varne in cenovno dostopne pitne vode in na drugi strani sprožiti ustrezne cenovne signale, ki bodo spodbudili trajnostno rabo vode in odpravili škodljive prakse.

Nekatere vlade so začele upoštevati vrednost naravnega kapitala, t. i. »zeleno infrastrukturo« za ekosistemske storitve, ki jih zagotavlja. Dejansko so ekosistemske storitve pomembnejše za države kot za podjetja, saj so običajno države tiste, ki nadzirajo in imajo v lasti naravni kapital, in jih tudi bremenijo stroški, ki jih povzročajo eksterni učinki.

3.3. Družbeni vidik – voda kot skupek družbenih vrednot

Voda nesporno predstavlja izjemno vrednost za družbo in naravo, vendar jo je s tega zornega kota zelo težko ovrednotiti (monetizirati). Družbeno vrednotenje vode je pomembno tudi za



podjetja, saj lokalne skupnosti in okoljske nevladne organizacije s svojim odnosom in stališči povratno vplivajo na ustrezno ravnanje podjetij z vodo. V središču izziva družbenega ovrednotenja vode je dejstvo, da tržna cena vode ne odraža vrednosti vode za družbo. Ohranjanje nizkih cen vode omogoča zagotavljanje dostopa do pitne vode, hkrati pa lahko povzroči neučinkovito rabo vode in slabe alokacijske odločitve.

Nekatere družbene vrednote, kot sta zdravje in rekreacija, lahko opredelimo z denarnim merilom, tudi nekatere družbene stroške, kot so npr. stroški zdravljenja pacientov z obolenji, ki so posledica onesnažene vode, lahko primerno denarno ovrednotimo, medtem ko je vrednost vode za duhovne namene, kot je kopanje v zdravilnih vrelih, ali za ohranjanje zgodovinsko znanega prečkanja reke s splavi mnogo težje ovrednotiti. Dejstvo je, da ekosistemske storitve danes niso vključene v tržni tip gospodarstva, zato jih družba ignorira in finančno podcenjuje.

Metode in orodja za ocenjevanje koristi, stroškov in storitev ekosistema so predmet številnih razprav že vrsto let. Pristopi so bili sprva namenjeni predvsem večji jasnosti in ozaveščenosti o »neugodnih« koristih, ki izvirajo iz naravnih sistemov za gospodarstvo in družbo. Sčasoma pa sta bila sprejeta večja vloga storitev ekosistemov in razvoj novih praks, ki v poslovno odločanje vključujejo t. i. »naravno računovodstvo«. V zadnjih letih so se pojavila nekatera pomembna poročila, kot npr. The Economics of the Environment and Biodiversity - TEEB ali MEA - Millennium Ecosystem Assessment, vse večja so tudi prizadevanja za standardizacijo, kot npr. Natural Capital Protocol³, ki opredeljuje poslovodno računovodstvo naravnega kapitala kot proces sistematičnega evidentiranja poslovnega učinka ter upošteva vpliv in soodvisnost naravnega kapitala, sredstev in obveznosti na dosleden in primerljiv način. Velja izpostaviti, da so pobude za vrednotenje naravnega kapitala pomemben dejavnik za celovito vrednotenje vode. Ne glede na ustreznost pristopa pa ne gre prezreti, da je računovodstvo naravnega kapitala osredotočeno predvsem na ovrednotenje vplivov podjetja na ekosistemske storitve in manj na to, kakšno vrednost naravni kapital prinaša delničarjem.

4. CENA, STROŠKI IN VREDNOST VODE

»Cena je to, kar plačamo, vrednost je to, kar dobimo.«

*Warren E. Buffett, ameriški magnat,
investitor in filantrop*

Različne interesne skupine pogosto ne najdejo skupnega jezika, ko razpravljajo o vrednotenju vode in njenem pomenu. Izrazi cena, stroški in vrednost vode se pogosto zamenjujejo, čeprav se po vsebini dokaj razlikujejo. Teoretično ceno razumemo kot znesek, ki ga je treba plačati, da bi nekaj dobili. Strošek je v denarju izražen potrošek prvin poslovnega procesa, tj. denarna vrednost sredstev, ki sodelujejo pri proizvodnji izdelka ali izvajanju storitve. Nasprotno pa vrednost določa uporabnost in koristnost blaga ali storitve za posameznika. Stroške določa dejanska poraba prvin, opredeli jih proizvajalec skladno z računovodskimi standardi. Cena se

oblikuje glede na stališče potrošnikov in skladno s cenovno politiko. Stroški in cena se lahko vrednostno določijo, spremembe na trgu pa vplivajo na to, da se stroški ter cena blaga in storitev povečajo ali zmanjšajo. Nasprotno pa na vrednost vpliva mnenje porabnika in jo je težko vrednostno izraziti.

Nekoliko drugače velja za ceno, stroške in vrednost vode. Vrednost vode se spreminja, ko se iz denarne vrednosti na podjetniški ravni pomikamo po osi proti družbeni vrednosti (slika 2). Voda je nujna dobrina za življenje, zato je vrednost količine vode, potrebne za preživetje, neskončna – ljudje bi plačali kakršno koli ceno. Toda, ko so zadovoljene osnovne potrebe, ljudje kupujejo vodo glede na ceno v primerjavi z drugim blagom, ki ga lahko kupijo.

Vrednost vode je izhodiščno običajno opredeljena s tržno ceno, ki je oblikovana skladno z vladnimi predpisi in opredeljena prek lokalnega izvajalca storitev oskrbe z vodo, ki je bodisi javna ali zasebna družba. Cena na tej ravni je natančno določljiva na podlagi trenutnih stroškov zagotavljanja oskrbe z vodo. Poleg dejanskih stroškov lahko cena vključuje tudi pričakovane stroške in tveganja v prihodnjem kratkoročnem ali dolgoročnem obdobju. Daljše kot je prihodnje obdobje, večja je tudi negotovost glede določanja cene. Cena na podjetniški ravni je dejansko ugnezdjena v gospodarski vrednosti, le-ta pa v družbeni in ekološki vrednosti. Cena ima tudi pomembno vlogo cenovnega signala, ki vpliva na obseg in alokacijo porabe vode.

S ceno vode so povezani stroški vode. Z izrazom stroški vode razumemo vse neposredne stroške, ki so povezani s pridobivanjem, obdelavo in distribucijo vode. Poleg tega stroškovna cena vode vključuje tudi kapitalske stroške vodnih infrastrukturnih objektov in naprav ter tudi druge upravne in splošne stroške. Ti t. i. »mehki stroški« so običajno višji, če se povečajo tveganja, povezana z vodo. Kljub temu da so trenutni stroški vode natančno določljivi, so v prihodnosti prav tako izpostavljeni določenemu tveganju in negotovostim, ki jih lahko upoštevamo v stroškovni ceni.

Tako kot cena in stroški lahko tudi vrednost vode vključuje sedanjo (določeno) vrednost kot tudi prihodnjo (negotovo) vrednost, ki vključuje tveganja. Poleg tveganja na vrednost vode vpliva tudi razsežnost vrednotenja. Voda je ključna v številnih sektorjih, zlasti v kmetijstvu, industriji, energetiki in prometu. Potrebne so naložbe v vodni sektor, da se zagotovijo ustrezna infrastruktura, varnost voda in zaščita družbe pred tveganji, povezanimi z vodo. Vrednost vode na tej ravni je merilo, kako voda soustvarja novo vrednost, zagotavlja socialno blaginjo in podpira gospodarsko rast. Toda gospodarska rast ima svoje prednosti in slabosti. Po eni strani lahko povzroči pomanjkanje vode, po drugi strani pa lahko zagotovi sredstva, potrebna za zagotavljanje razpoložljivosti vode in reševanje različnih tveganj, povezanih z vodo.

Najvišjo vrednost vode predstavlja skupna ekonomska vrednost, ki ne pokriva samo vrednosti, ki jo voda predstavlja za gospodarstvo, temveč tudi za družbo in naravo. Vrednotenje vode na tej ravni vključuje vsa navedena področja in tudi vrsto nemonetarnih ukrepov, povezanih z vodo. Celovito vrednotenje naravnih virov je bistveno za varovanje okolja in skrb za ohranitev krhkega ekosistema, kot je vodni. Vrednotenje vseh vidikov zahteva uporabo različnih metod vrednotenja, da se skupna vrednost vode lahko tudi denarno opredeli.

³ Protokol o naravnem kapitalu je okvir, ki je namenjen ustvarjanju zaupanja vrednih, verodostojnih in uporabnih informacij za poslovodje. Namen protokola je podpreti boljše poslovne odločitve z upoštevanjem interakcije narave oz. naravnega kapitala. Vir: <https://naturalcapitalcoalition.org/protocol/>.



Iz tega lahko povzamemo ključni poudarek, da je cena vode, čeprav uveljavljena in dobro poznana, zelo omejen element vrednosti vode ter zato običajno tudi zelo nizka. Cena vode pogosto ne odraža niti celotnih stroškov oskrbe z vodo, na kar vplivajo njena pomembnost za življenje, status javnega dobra in značilnost naravnega monopola. Ko ljudje razmišljajo o tem, koliko plačajo za vodo, in menijo, da so stroški enaki vrednosti vode, delajo vodi medvedjo uslugo, saj tako ostaja vrednost vode z gospodarskega, družbenega in naravnega vidika neprepoznana. Zato je izrednega pomena razlikovati med ceno, stroški in vrednostjo vode, saj osredotočanje zgolj na ceno ali stroške privede do znatnega podcenjevanja vode pri ravnanju z vodo in njenem upravljanju.

Vrednotenje vode je predvsem povezano z negotovostjo (tj. vodnim tveganjem), ki se kaže na različnih področjih ter ugotavlja in vrednoti z uporabo različnih metodologij. Na vrednost vode vplivata tudi čas in raven vrednotenja. V nasprotju s tradicionalnimi pristopi vrednotenja vode, ki upoštevajo zgolj sedanje stroške vode, sodobni pristopi vrednotenja vključujejo tveganja na vodnem področju in poleg ustvarjanja dolgoročne podjetniške vrednosti upoštevajo tudi dolgoročno družbeno vrednost vode.

4.1. Ekonomska vrednost vode

Verjetno bi večina ljudi pritrdila, da je ekonomska vrednost neke dobrine določena z njeno tržno vrednostjo. Pogledi glede ekonomske vrednosti vode se razlikujejo. Nekateri menijo, da ima voda ekonomsko vrednost le, če je njena ponudba v primerjavi s povpraševanjem omejena. Kadar je voda na voljo v neomejenem obsegu, je v gospodarskem pogledu brez vrednosti. Omejeno razpoložljiva voda pa prevzame ekonomsko vrednost, ker številni uporabniki tekmujejo za njeno uporabo. V tržnem sistemu ekonomska vrednost vode, ki jo določa cena, služi kot vodilo za njeno alokacijo med alternativne načine uporabe, tako da se zagotavlja največja gospodarska rast. Drugi menijo, da voda pripada Zemlji in vsem vrstam, zato se ne sme obravnavati kot zasebno blago, s katerim se trguje in ustvarja dobiček. Svetovne zaloge vode so skupna dediščina, temeljna človekova pravica ter kolektivna odgovornost. (Barlow, M. in Clark, T., 2002)

Na Konferenci o vodi in okolju, ki je leta 1992 potekala v Dublinu na Irskem, je bilo sprejeto načelo, da ima voda ekonomsko vrednost v vsej svoji konkurenčni uporabi in jo je treba priznati kot gospodarsko dobrino. V okviru tega načela je treba najprej priznati osnovno pravico vseh ljudi do dostopa do pitne vode in sanitarij po primerni ceni. Izpostavljeno je bilo, da je pretekla nezmožnost prepoznavanja gospodarske vrednosti vode povzročila okoljsko škodljivo uporabo virov. Upravljanje vode kot gospodarske koristi je zato pomemben način za doseganje učinkovite in pravične uporabe ter spodbujanje ohranjanja in zaščite vodnih virov.

V praksi cena, ki jo večina uporabnikov plača za vodo, v najboljšem primeru odraža zgolj kapitalne stroške infrastrukture za oskrbo z vodo ter obratovalne stroške za njeno zagotavljanje, voda kot dobrina pa se ne zaračunava. Enako velja tudi pri nas, cena voda vključuje stroške javne infrastrukture in zagotavljanja storitve oskrbe, voda pa je v bistvu zastonj. Uvodoma smo izpostavili neprimerljivo razliko med ceno vode in diamanta. Podobno razmerje velja tudi med vodo in njeno ustekleničeno različico. Steklenica izvirske vode Zale, ki jo črpajo in polnijo sredi Ljubljane, znaša 0,39 evra, liter vode iz pipe v bližnji stanovanjski hiši pa 0,0018 evra.

Za razliko v vrednotenju ene in druge oblike vode bomo težko našli pojasnilo, še manj pa, da smo brez pomisleka za ustekleničeno različico vode pripravljeni plačati 200-krat več.

V zadnjih desetletjih se je mišljenje o vodi začelo spreminjati. Zaradi povečanja števila prebivalstva potreba po pitni vodi nenehno narašča, razpoložljiva količina pitne vode pa je zaradi negospodarne rabe in vplivov podnebnih sprememb vedno manjša. Trije od desetih oziroma 2,1 milijarde ljudi na svetu nima dostopa do čiste pitne vode v svojem domu, od tega jih 263 milijonov za pot do čiste pitne vode in nazaj potrebuje več kot 30 minut. 159 milijonov ljudi ima na voljo le oporečno vodo iz virov, kot so potoki ali jezera, kažejo prve globalne ocene Unicefa o dostopu do čiste pitne vode. Obenem pa se je poraba vode globalno od leta 1950 potrojila in povpraševanje hitro narašča.

Oskrba s pitno vodo postaja vse bolj pereč problem, s tem pa se povečuje tudi ekonomska vrednost vode. Medtem ko je bila voda v preteklosti obravnavana kot skupna blaginja človeštva, se danes vse bolj obravnava kot dobro trgovsko blago, kot nekaj za prodajo. Privatizacija vodnih virov in storitev, ki poteka na svetovni ravni, je odprla vrata za koncept vode kot storitve. »Vode ne jemljemo več kot od boga dano darilo, ampak kot dobrino, za katero je treba plačati,« in »voda bo nekega dne brez dvoma postala kot nafta,« je prepričana dr. Isabel Al-Assar, strokovnjakinja za mednarodno trgovino s škotske univerze Dundee.

Dostop do pitne vode je temeljna človekova pravica in kritični izziv za trajnostni razvoj. Konkurenčne zahteve po vodi so vedno večje, učinki podnebnih sprememb pa še povečujejo izzive, povezane s kakovostjo vode in njeno razpoložljivostjo. Zaostrene okoliščine ustvarjajo nova tveganja za podjetja, gospodarstvo, družbo in okolje. Vse glasnejša so mnenja, da bo voda v prihodnosti pomemben gospodarski vir, ki bi ga lahko primerjali z nafto danes. Zaradi vse slabših razmer v ekološkem stanju na našem planetu bi bilo mogoče, da bo osnovna dobrina in glavni ekonomski vir postala prav voda. Njena vrednost skozi zadnje stoletje neprestano narašča. Voda je v ozadju mednarodnih sporov in povod za številne vojne. Mark Twain, ameriški pisatelj in humorist, je že pred stotimi leti preroško zapisal: »Whisky je za pitje; voda je za boj.«

5. KAKO OVREDNOTITI VODO?

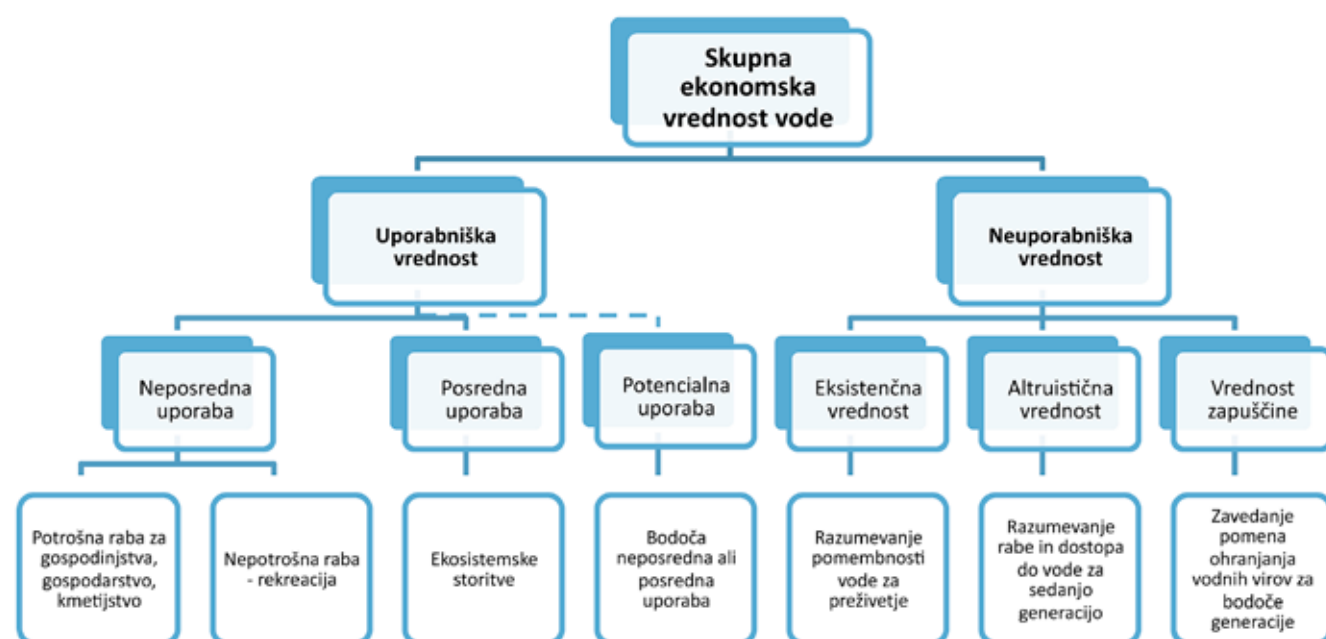
Vrednotenje vode se je v zadnjem obdobju osredotočalo predvsem na vrednotenje za namene določanja cen (tj. določanje cen vode za gospodinjski, industrijskih in kmetijski odjem) ali vrednotenje vode kot ekosistemske storitve skozi njeno skupno ekonomsko vrednost. Vrednost vode je lahko denarna in družbena (tj. nedenarna), lahko zaščiteni samo za določene uporabnike ali porazdeljena med različne uporabniške skupine na oskrbovalnem območju. Vodo različne skupine ocenjujejo z različnih zornih kotov. Raznolikost pogledov vpliva na to, da so se na področju vrednotenja vode oblikovala različna stališča.

Svetovni poslovni svet za trajnostni razvoj (WBCSD – World Business Council for Sustainable Development) je izdelal smernice in vodnik za vrednotenje vode, ki so namenjeni predvsem podjetjem z namenom, da se področje vrednotenja vode jasneje opredeli. Koncept WBCSD opredeljuje pet področij, na katere vpliva vrednost vode, pri čemer se odločanje kot ključno



odraža na ostalih štirih področjih: ohranitvi in povečanju prihodkov, zmanjševanju stroškov, upravljanju tveganj in povečanju ugleda. Ta pristop pojasnjuje, kako voda vpliva na vrednost znotraj podjetij, ne zagotavlja pa dovolj argumentirane analize in se osredotoča le na izbrane korporacijske vrednote.

V zvezi z vrednotenjem vode se vse bolj izpostavlja tudi koncept opredelitve skupne ekonomske vrednosti vode. Ta pristop razlikuje med uporabniško vrednostjo vode ter njeno neuporabniško vrednostjo. Uporabna vrednost vode se razčlenjuje na njeno neposredno uporabo (poraba pitne vode za gospodinjstva, poraba v industriji, kmetijstvu) ter posredno uporabo vode (ekosistemske storitve) in kot možno vrednost njene bodoče neposredne in posredne uporabe. Neuporabniška vrednost upošteva razumevanje in pripoznavanje pomembnosti vodnih virov, razumevanje rabe in dostopa do pitne vode za sedanjo generacijo in pomena ohranjanja vodnih virov za prihodnje generacije.



Slika3: Skupna ekonomska vrednost vode

Vir: Morgan in Orr, 2015.

Model nudi ustrezen okvir vrednotenja predvsem za vlade in lokalne skupnosti, ko razmišljajo o tem, kako določiti cene vode in urejati vodne vire. Podjetja običajno uporabljajo prilagojene načine vrednotenja, saj (vsaj za zdaj) ne prejemajo denarnih nadomestil iz neuporabniške vrednosti vode.

Oba pristopa sta koristna; medtem ko pristop WBCSD ponuja nekatere posebnosti, je okvir skupne ekonomske vrednosti vode relativno celovit. Obenem pa pristopa odpirata širši pogled na vrednotenje vode in potrebo po celovitem okviru, ki bo upošteval različne vidike in načine vrednotenja ter razlikoval med sedanjo in prihodnjo vrednostjo vode z upoštevanjem vseh tveganj, ki jim je izpostavljena. Pristop mora zagotavljati jasno metodologijo vrednotenja vseh vplivov vode na poslovanje podjetij in to vrednost postaviti v finančne in računovodske

okvire poročanja. Obenem pa mora biti dovolj prilagodljiv, da ni uporaben le za poslovne namene, ampak za potrebe gospodarskega razvoja javnega sektorja in za ocenjevanje družbene in okoljske vrednosti vode.

Naše naravno bogastvo, t. i. naravni kapital je prav tako pomemben kot kapital, ki ga je ustvaril človek, t. i. fizični kapital. Mednarodna skupina različnih strokovnjakov pripravlja neodvisno študijo o ekonomski vrednosti izgubljene biološke raznovrstnosti na svetovni ravni (TEEB). Vodja študije, ugleden finančnik Pavan Sukhdev, pravi: »Neopaznost ekosistemov in biološke raznovrstnosti na gospodarski ravni je eden glavnih vzrokov, da jih uničujemo, čeprav imajo izredno veliko gospodarsko vrednost za našo družbo.«

Krepi se prepričanje, da bo ekonomsko vrednotenje narave povzročilo spremembo v odnosu do nje – da jo bomo opazili in cenili. Zato so znanstveniki v zadnjih letih začeli raziskovati finančno vrednost narave. Predvsem zato, da obveščajo, kako lahko najučinkoviteje ohranjamo naravni svet, in razširijo razpravo o tem, kako in zakaj je treba ohraniti naravo. Danes človeške dejavnosti povzročajo okoljske spremembe, ki se pojavljajo prehitro, da bi se rastlinske in živalske vrste lahko prilagodile, zato je stopnja izumiranja posameznih vrst hitra, tudi od 100- do 1000-krat večja od naravne (EESO, 2006).

BBC Earth je objavil Indeks Zemlje, ki v središče postavlja ekonomsko vrednost koristi narave, pridobljeno s pretokom številnih ekosistemskih storitev. Zaloge naravnega kapitala vključujejo tako biotične kot abiotske elemente naravnega okolja, npr. rastline in živali ter vodo in minerale, ki jih uporabljajo. V kombinaciji z drugimi vložki, kot so človeški, družbeni in fizični kapital, pretok ekosistemskih storitev, ki jih ustvarja naravni kapital, prinaša ljudem koristi, kot so hrana, čista voda ... Indeks Zemlje se osredotoča tudi na vrednost posebnih ekosistemskih storitev, kot so izboljšana zmogljivost shranjevanja vode, čistost vode in zmanjšanje tveganja poplav. Z globalnega vidika je obnovitev sladke vode najvrednejša ekosistemska storitev glede na zemeljski indeks. Obnova oskrbe z vodo je odvisna od vrste naravnih dobrin, na primer zdravih tal, mokrišč in gozdov. Brez nove sladke vode kmalu ne bo gospodarstva, zato je skupna agregatna vrednost storitev, povezanih z vodo, ki jih zagotavlja narava, enakovredna svetovnemu bruto družbenemu produktu in je ocenjena na 73,48 bilijonov dolarjev (WCMC-UNEP, 2015).

6. ZAKLJUČEK

»Nikomur ne odrekaj vode, ki teče mimo.«

Mark T. Cicero,
rimski državnik, pravnik in filozof

Voda kot naravna prvina je pogoj za nastanek in obstoj življenja. Količina vode in njena pojavna oblika ter časovna razporeditev predstavljajo pomembno izhodišče načrtovanja razvoja družbe ter vplivajo na raznovrstnost živalskih in rastlinskih vrst ter na življenje ljudi, njihovo blaginjo, življenjske vzorce, pa tudi na človekov odnos do vode. Vse bolj se zavedamo, da so ekosistemske storitve zaradi človekovih dejavnosti omejene in ogrožene.



Voda, ki prihaja iz kuhinjske pipe, je stara štiri milijarde let, morda jo je pil tiranozaver. Voda teče v svet s številnimi strastno navdihujočimi načini, vendar jo vzamemo popolnoma samoumevno. Obdobja, ko je bila raba vode neomejena, nepremišljena in poceni, je konec, je prepričan Charles Fishman, avtor knjige *The Big Thirst*. Voda v prihodnje ne bo samoumevno razkošje, zagotavljanje vode uporabnikom pa bo še težavnejše.

Tudi pri nas še vedno velja prepričanje, da je območje Slovenije bogato z vodami ne glede na njihovo neugodno časovno in prostorsko razporeditev ter veliko geološko ranljivost. To se odraža tudi v našem zapletenem odnosu do vode. Veseli smo, ko gledamo valove morja, uživamo v vroči kopeli; in za najljubšo znamko ustekleničene pitne vode smo pripravljeni plačati tisočkratno ceno vode iz pipe. Nenehno ponavljamo, da je voda vir življenja, njena vrednost pa neprecenljiva – toda trenutno je ne cenimo in ne spoštujemo. Morali se bomo premakniti iz obdobja nezavedne vode v dobo pametne vode. Smo v prednosti pred našimi predniki, saj razumemo pomembnost vode in imamo znanje, da jo lahko uporabimo pametno. Verjetno pa bo večji izziv, da oblikujemo nov pogled na vodo in ji priznamo njeno pravo vrednost. Vrednost, ki bo upoštevala skupno ekonomsko vrednost vode, ki vključuje njeno uporabniško in neuporabniško vrednost.

LITERATURA IN VIRI

1. Bach, F. C., 2017. What is the real value of forests and water? Dostopno na: <https://www.unece.org/mc/info/media/blog/previous-blogs/what-is-the-real-value-of-forests-and-water.html> [1. 8. 2017].
2. Barlow, M., Clark, T., 2002. *Blue Gold: The Fight to Stop Corporate Theft of the World's Water*. The New Press.
3. CDP, 2016. Thirsty business: Why water is vital to climate action. 2016 Annual Report of Corporate Water Disclosure. Dostopno na: <https://www.cdp.net/en/research/global-reports/global-water-report-2016> [20. 7. 2017].
4. EESO (European Economic and Social Committee), 2008. Mnenje Evropskega ekonomsko-socialnega odbora o sporočilu Komisije: Zaustavitev izgube biotske raznovrstnosti do leta 2010 in pozneje — Ohranjanje storitev ekosistemov za blaginjo ljudi.
5. European Communities, 2008. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. Welzel+Hardt, Wesseling, Germany.
6. Fishman, C., 2012. *The Big Thirst: The Secret Life and Turbulent Future of Water*. New York: Free press.
7. Marshall, A., 1890. *Principles of Economics*. Dostopno na: http://files.libertyfund.org/files/1676/Marshall_0197_EBk_v6.0.pdf [15. 7. 2017].
8. Morgan, J. A., Orr, S., 2015. *The Value of Water - A framework for understanding water valuation, risk and stewardship*. IFC – International Finance Corporation, WWF International. World Bank Group.
9. Pjanič, Z., 1979. *Savremene buržoaske teorije vrednosti i cena*. Beograd: Institut društvenih nauka.
10. Screpanti, E., Zamagni, S., 1993. *The Outline of the History of Economic Thought*. Oxford: Oxford University press.
11. Smith, A., 1776. *An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*. Dostopno na: http://www.online-literature.com/adam_smith/wealth_nations/0/ [1. 7. 2017].
12. UNEP-WCMC, 2015. *Earth Index – Cost the Earth sources*. Dostopno na: <http://www.bbc.com/earth/story/cost-the-earth-sources> [28. 7. 2017].
13. Veblen, T., 1899. *The Theory of the Leisure Class*. New York: B. W. Huebsch. Dostopno na: http://files.libertyfund.org/files/1657/1291_Bk.pdf [15. 7. 2017].
14. World Economic Forum, 2016. *Global Risks Report 2016*. Dostopno na: http://www3.weforum.org/docs/GRR/WEF_GRR16.pdf [17. 7. 2017].



V O D O V O D
K A N A L I Z A C I J A

JP VODOVOD-KANALIZACIJA opravlja dejavnost oskrbe s pitno vodo in odvajanje ter čiščenje odpadne vode v Mestni občini Ljubljana in v občinah Brezovica, Dobrova - Polhov Gradec, Dol pri Ljubljani in Škofljica, v občinah Horjul in Medvode pa odvajanje in čiščenje odpadne vode.

Z učinkovitim upravljanjem vodovodnih in kanalizacijskih sistemov vsakodnevno izkazujemo spoštovanje do vode kot neprecenljivega naravnega vira. Naše poslovne odločitve so sprejete z zavedanjem, da aktivno sooblikujemo kakovost bivanja prihodnjih generacij.

Voda je naravni vir, brez katerega ni življenja. Vir, ki zahteva pozornost vseh. Voda je naša skupna odgovornost. Z njo ravnajmo odgovorno, preudarno in premišljeno. Za dobro nas in prihodnjih generacij.

Spoštujmo vodo. Spoštujmo življenje.

Vodovod prečka reko Ljubljanico pri Črni vasi (Domen Pal, Branko Čeak, Jože Maček).



ODNOS MED VODO IN DRUŽBO V SLOVENIJI

izr. prof. dr. MIHAEL BRENČIČ¹

*Aqua currit et debet currere ut currere solebat.
(Voda teče in naj še naprej teče tam, kjer je vedno tekla.)*

Justinijanov zakonik

Povzetek

Obdelana je problematika odnosa med vodo in družbo v Republiki Sloveniji. Voda po naravi kompleksnosti svojih odnosov z okoljem in družbo ustvarja številne interakcije, zato je ni mogoče obravnavati zgolj kot snov. Prikazane so različne kategorije razumevanja vode; materialnost, elementarnost in antropičnost vode. Obdelana so razmerja med strukturo države in vodo, med državljani in vodo ter odnos med stroko in vodo.

Ključne besede: antropičnost, država, državljani, elementarnost, materialnost, stroka, voda, vodna telesa

Abstract

Relationships between water and society in the Republic of Slovenia are discussed. By the nature of these relationships several interactions are established, and water can not be regarded as merely a compound. Different categories of water properties can be defined: materiality, elementality and anthropic nature. The relationships between the structure of the state and water, between citizens and water, and the relationship between the profession and water are considered.



Hach Lange, d. o. o. je hčerinsko podjetje istoimenske ameriško-nemške multinacionalke v Sloveniji z več kot 80-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.*



Bogat nabor merilnih tehnologij zadovolji širok razpon zahtev. Vsi izdelki, tako za on-line nadzor kot za laboratorijsko analizo, nosijo pečat istega dobavitelja in so med seboj povsem združljivi. Svojim kupcem nudimo **najnaprednejše komunikacijske tehnologije**, ki omogočajo npr. umerjanje procesnih merilnih instrumentov neposredno s fotometrom v laboratoriju, **oddaljen nadzor** delovanja čistilne naprave, **optimizacije delovanja sistemov** in še veliko več.

Hach Lange, d. o. o., Fajfarjeva 15, 1230 Domžale

www.hach-lange.si, info@hach-lange.si, tel: 059 051 000, faks: 059 051 010

¹ Izr. prof. dr. Mihael Brenčič, univ. dipl. inž. geol., Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, in Geološki zavod Slovenije



1. UVOD

Voda je ključni vir za človekovo preživetje in razvoj, je nepogrešljiva za življenje in zdravje ter vzpostavljanje človekovega dostojanstva. Zaradi neprestanega ponavljanja izrek »Voda je vir življenja« zveni kot floskula, ki je v današnjem medijsko pregretem svetu izgubila svoj prvinski pomen. Kljub temu lahko ta izrek znova in znova zapišemo ne glede na to, kako se do vode obnašamo in kako z vodo ravnamo. Ostal bo vedno aktualen in kljub le nekaj besedam izraža bistvo človekovega odnosa do vode. Zaradi biološke danosti vode sta narava odnosa med posameznikom in vodo ter narava odnosa med družbo in vodo osrednji politični vprašanji sodobnosti, pravzaprav sta to ključni in osrednji politični vprašanji kateregakoli časa; v preteklosti, danes in v prihodnje. Žal teh vprašanj kot takšnih v širši družbeni razpravi ne razumemo in o njih na ta način redko razpravljamo; zaradi tega, ker je voda tako vsakdanja in samoumevna komponenta tistega, kar nas obdaja, in je tisto, od česar smo tako esencialno odvisni. Misliti in razumeti vodo ter misliti o vodi, je prav tako prvovrstno politično vprašanje, ne glede na to, v kateri točki začnemo premislek, in če je naš premislek o vodi še tako kompleksen in razvejan, je vedno njegov končni rezultat vodna bilanca; kakšne so razpoložljive količine vode (pri tem mislimo na količine v najširšem fizikalno-kemijskem pomenu, od volumna in mase do kemijskega stanja), kje so te količine vode in kdo ima do njih pravico ter zakaj.

Ko se sprašujemo, kakšen je odnos med vodo in družbo, si lahko to vprašanje zastavimo zelo široko ali pa se pri premisleku o tem omejimo. Ker ne želimo posegati v globalna razmerja med družbo in vodo, ostanimo le pri »domačem« razumevanju. V naslovu prispevka smo si zastavili nalogo, da bomo obravnavali ta odnos na ravni Slovenije, toda ali s tem analiziramo ta razmerja »le« na ravni države, to je Republike Slovenije, ali pa na ravni vseh segmentov družbe, ki niso zgolj država, temveč tudi tisto, kar ni artikulirano preko države, ampak na ravni geografije. Ali povedano drugače, kaj vse se na ravni odnosa med družbo in vodo dogaja v prostoru, ki ga označuje geografski pojem Slovenije. Ali o tem govorimo v kontekstu politične Slovenije, v kontekstu etnične Slovenije ali le o geografski Sloveniji?

Analiza odnosa med družbo in vodo je le težko objektivna, temelječa zgolj na dejstvih, kakor jih razumeta naravoslovje in tehnika, tudi če je preiščevallec doma iz teh logov. Takšen premislek je vedno obremenjen z vrednostnimi sodbami, te pa nikakor ne morejo biti absolutne in dokončne. Vrednostne sodbe so vedno posledica etičnih, političnih in ideoloških pogledov na probleme, pa čeprav ne etična, politična in ne ideološka komponenta niso definirane ter jasno artikulirane. Če delujemo kot strokovnjaki na področju vode (o tem več v nadaljevanju), smo kljub svoji »objektivnosti« izpostavljeni tistemu, kar se dogaja zunaj naše ožje specialnosti. Pri tem se nehote srečamo s problemom tega, da se s čim ne strinjamo ali pa imamo o tem svoje mnenje, ki je drugačno od prevladujočega, tudi zaradi tega, ker o tem vemo več, ali pa zato, ker si domišljamo, da o tem vemo več. Sistematičnost in analitičnost, ki sta nam z naravoslovno ali tehnično stroko privzgojeni, tako s sistematično organiziranim znanjem vede, ki ji pripadamo, kot tudi s kasnejšimi formativnimi izkušnjami, nas silita, da analiziramo in sistematiziramo tudi vprašanja nestrinjanja, ki segajo preko našega ožjega področja. Del teh premislekov, do katerih se je dokopal avtor prispevka v preteklosti med svojim profesionalnim delom hidrogeologa, strokovnjaka za podzemne vode, je na esejističen način prikazan v

nadaljevanju. Vsako od obravnavanih poglavij bi si zaslužilo samostojno obravnavo, zato je problematika tudi zaradi omejitve s prostorom predvsem nakazana.

2. KAJ JE VODA?

Če se želimo približati odgovoru na vprašanje, kakšen je odnos med vodo in družbo, moramo najprej odgovoriti na vprašanje: »Kaj je voda?« Na začetku 21. stoletja je to pravzaprav paradoksalno vprašanje, za katerega pa se izkaže, da ni zgolj retorično, kot nekakšen uvod v razpravo, ampak kljub enostavnosti odraža vso kompleksnost vode ter odnosov do nje. Tega vprašanja si tudi ne zastavljamo zaradi tega, ker ne bi vedeli, da je voda spojina, katere kemijski simbol je H_2O in ki je glede na svoje fizikalno-kemijske značilnosti skoraj idealno topilo; da je voda spojina s številnimi nenavadnimi lastnostmi, ki omogočajo, da se je na Zemlji razvilo ter znova in znova ohranilo življenje kljub številnim katastrofam v geološki zgodovini. Tudi zaradi tega ne, ker ne bi vedeli tega, kar vedo že otroci v vrtcu, da je to tekočina brez barve, vonja in okusa; čeprav v naravi in v okolju, v katerem živimo, ni nikoli takšna. Na to vprašanje moramo odgovoriti zaradi potrebe po tem, da lahko natančneje opredelimo svoj odnos do vode, zato da lahko začnemo opredeljevati in bolje razumeti zelo zapleten in kompleksen odnos družbe do vode.

Voda je spojina s številnimi fizikalno-kemijskimi lastnostmi, ki sta jih sodobna kemija in fizika natančno raziskali, vendar kljub stoletjem raziskav še vedno odkrivata njene do sedaj neznane lastnosti. A voda ni zgolj to, voda ima zaradi interakcij z živo in neživo naravo še številne druge lastnosti in značilnosti, ki jih ni mogoče meriti, med razmislekom o njej pa jih je možno deducirati ali inducirati. Pri tem nikakor nimamo v mislih interpretacij, ki jih podajajo sodobna psevdoznanstvena ali družbena gibanja, ki jih lahko, čeprav so med seboj zelo različna, stlačimo v koš, imenovan »New age«. V oklepaju lahko dodamo, da so takšne ali drugačne »novodobne« interpretacije vloge in pomena vode prav posledica njenih lastnosti v najširšem pomenu. Da bi se izognili morebitnim nesporazumom, je treba poudariti, da avtor prispevka trdno stoji na okopih dognanja naravoslovno-tehničnih ved o vodi. Kljub temu se je treba zavedati, da se tako naravoslovci kot tehniki pri širšem preiščevanju o vodi, ki so zunaj našega ožjega strokovnega področja, pogosto znajdemo na spolzkih tleh, kjer nam zlahka spodrsne.

Lastnosti vode niso zgolj tisto, kar lahko merimo. Ko govorimo o lastnostih vode, jih lahko v grobem razdelimo na tri skupine, nekatere od teh pa še na podskupine. Pri vodi govorimo o njeni *materialnosti*, *elementarnosti* in *antropičnosti*. Te lastnosti so med seboj povezane v vzročno-posledični liniji; materialnost vode pogojuje njeno elementarnost, njena elementarnost pa pogojuje njeno antropičnost. To je niz, ki bi ga lahko opredelili v pomenski verigi fizikalno – biološko – zavestno.

2.1. Materialnost vode

Pojem materialnosti vode izhaja iz antropologije. Orlove in Caton (2010) jo definirata kot fizikalne značilnosti vode, ki vplivajo na razmerja ljudi do telesa in okolja ter oblikujejo njeno



uporabo. V kontekstu materialnosti vode avtorja govorita tudi o elementarnosti (angl. elementality) in bistvenosti (angl. essentiality). Čeprav koncept materialnosti, kakor je definiran v antropološki literaturi, za potrebe naših premišljevanj ni povsem ustrezen, je odlično izhodišče za nadaljnji razmislek o tem, kaj je voda. Definicijo Orlovea in Catona lahko izkoristimo kot primerno izhodišče za preoblikovanje in nadgradnjo.

Fizikalno-kemijske značilnosti molekule vode H_2O v njenem čistem stanju brez katerih koli drugih raztopljenih elementov, molekul ali kompleksov ter prisotnosti snovi v suspenziji opredelimo kot *osnovno materialnost vode*. Vendar voda na Zemlji ni nikoli in nikjer prisotna v svoji čisti molekularni obliki. V naravi ni nikdar prisotna v svoji osnovni materialni obliki. Izjema so le strogo kontrolirani laboratorijski pogoji, ki pa so za presojo vode in razmišljanje o njej pomembni le toliko, da se zavedamo osnovne materialnosti vode. Odsotnost osnovne materialnosti vode na Zemlji je posledica tega, da je voda izredno dobro, rekli bi lahko, da je univerzalno topilo. Skorajda ni snovi, ki ne bi bila v vodi vsaj malo topna. To je tista njena materialna lastnost, zaradi katere je življenje na Zemlji nastalo in zaradi katere življenje tudi obstaja.

Če stojimo ob bregu reke ali jezera, pogosto rečemo, da stojimo ob vodi. Toda dejansko ne stojimo ob vodi v smislu njene osnovne materialnosti, ampak ob tistem, kar je voda zaradi svoje osnovne materialnosti v interakciji z drugimi snovmi v okolju povzročila. Ob bregu reke, jezera, morja imamo opraviti z drugačno vodo, kot je voda v svoji osnovni materialnosti. Materialnost vode, ki presega njeno osnovno materialnost, je tisto, kar opazujemo v rekah, jezerih in morjih ter drugih vodnih telesih. To njeno značilnost imenujemo *komplementarna materialnost vode*. Preprosto povedano, to je voda, kakor jo opažamo v vseh njenih pojavnih oblikah na Zemlji.

2.2. Elementarnost vode

Najprej se nekoliko dotaknimo pojmov elementarnost in element. Zasnova koncepta izvira iz starogrške filozofije, poznale pa so ga tudi ostale sočasne (vzhodnjaške) filozofije. V skladu s starogrškim razumevanjem snovi je materijo možno razgraditi na gradnike, dokler ne pride do snovi – materije, ki je ni mogoče več deliti. Tako pridemo do osnovnega gradnika ali elementa. Aristotel je v svoji Meteorologiji na podlagi razmislekov in teorije starejših grških filozofov opredelil štiri elemente: zemljo, ogenj, zrak in vodo. Novoveška znanost je to pojmovanje presegla in poglobila. Moderna kemija je redefinirala pojem elementa, in sicer kot kemijski element, to je tista snov, ki jo s kemijskimi postopki ni mogoče več razgraditi.

Z razvojem moderne kemijske analitike je bila voda z metodologijo in razumevanjem moderne znanosti detronizirana s položaja elementa. Kljub temu ostaja zanimivo vprašanje, zakaj je starogrška filozofija opredelila vodo kot element? Pri razumevanju opredelitve vode kot starogrškega elementa ne gre le za golo elementarnost, kakor jo razumemo danes v kemijskem pomenu, temveč za elementarnost v razširjenem pomenu. Starogrška filozofija je vodo razumela kot element, ki predstavlja temelj vsega. Ne le nečesa, kar omogoča nadaljnjo sintezo, temveč nečesa, kar omogoča povsem določene procese. S sodobnim premislekom bi to opredelili kot življenje v vsej svoji kompleksnosti.

Tudi v prihodnje bo življenje na Zemlji obstajalo, s človekom ali brez njega. Življenje bo na Zemlji prisotno, dokler bo prisotna tudi voda. Človek lahko z onesnaževanjem vode v naravnem okolju spravi tako daleč, da za njegovo rabo ne bodo več primerne in lahko zaradi tega v najbolj radikalni varianti povzroči svoje izumrtje. Toda ne glede na to, kakšno bo vodno okolje zaradi človekovega onesnaževanja v prihodnosti, bo vedno primerno za neko obliko življenja. Izkušnje kažejo, da se v še tako onesnaženih vodah vedno vzpostavi nekakšna oblika življenja. Že obstoječi kandidati za preživetje v takšem okolju so ekstremofilni organizmi, zaradi katerih se je kljub geološkim katastrofam, ki so se dogajale v najzgodnejšem obdobju po nastanku Zemlje, življenje periodično vedno znova vzpostavljalo.

Lastnost vode, ki znova in znova vzpostavlja in vzdržuje življenje na Zemlji, imenujemo *elementarnost vode*.

2.3. Antropičnost vode

Antropičnost je v svojem izhodišču filozofski koncept, ki se je razvil v kozmologiji in se ukvarja z razmerji med značilnostmi vesolja, torej sveta in obstojem inteligentnega, samozavedajočega se življenja. Ne ozirajmo se na razprave o ustreznosti tega koncepta in različnih definicij, ki izhajajo iz konsistentnosti v povezavi s formalno logiko, ki presegajo naš namen. Za naš razmislek uporabimo le tisti del tega koncepta, ki pravi, da samo takšno vesolje, kot je, omogoča obstoj samozavedajočega se uma. Razmišljanje lahko tudi zasukamo, mišljenje je možno samo zaradi tega, ker obstaja vesolje – svet takšen, kakršen je. Enak razmislek lahko uporabimo tudi pri vodi. Ta omogoča obstoj samozavedajočega se uma, mišljenje pa je mogoče le zaradi obstoja vode. Iz antropičnosti vode izvira vse tisto, kar v povezavi z vodo razumemo kot simbolno, kulturno, družbeno, socialno, ekonomsko idr.

Človek drastično posega v »delovanje« Zemlje kot sistema, spreminja snovne in energetske tokove. To se odraža v spremembah klime, s čimer se najizraziteje soočamo na globalni ravni, ker pa je Zemlja povezan sistem, se ti vplivi kažejo tudi drugod, čeprav se tega ne zavedamo tako kot sprememb v klimi. Človek je med drugim posegel v vodni krog, znatno je spremenil njegovo dinamiko in porazdelitev količin vode znotraj njega. Letno človeštvo s svojo dejavnostjo premesti večje količine snovi, kot jih premestijo naravni procesi z erozijo, kar ima za posledico preoblikovanje celih pokrajin. Kot je že pred skoraj sto leti ugotovil ruski geolog in filozof Vladimir Vernadsky, je človek geološki dejavnik. Njegova dejavnost bo ostala zapisana v geoloških arhivih, to je v kamninah in sedimentih, tako kot so ostale zapisane sledi dinosavrov in drugih živih bitij, ki so nekoč živela na Zemlji. Sodobna geologija zato govori o novi geološki dobi, imenovani antropocen.

Človekovo geološko vlogo omogoča dostop do virov energije, ker človek fizikalno gledano zaradi zakona o ohranitvi energije pretvarja obliko energije enega vira v drugo obliko energije, kar lahko imenujemo tudi ponor. Toda ali gre pri tem samo za energijo? Ne, vse to omogoča voda, bodisi tako, da je v takšni ali drugačni obliki uporabljena kot transportni medij ali kot medij, znotraj katerega se ti procesi odvijajo. Zaradi tega se vsi ti procesi in dogodki konceptualno gledano odvijajo znotraj vodnega kroga, ki se spreminja posledično s časom. Ta odnos opredelimo kot vzajemno povratno zanko med delovanjem vode in človeka; človek vpliva na



vodni krog in vodni krog vpliva na človeka. Sodobna hidrološka znanost je to prepoznala kot koevolucijo človeka in vodnega kroga (Sivapalan idr., 2012); nekoliko poenostavljeno povedano, človeštvo spreminja vodni krog in vodni krog vpliva na človeštvo. Brez evolucije v vodnem krogu ni evolucije človeštva. Do koevolucije vodnega kroga in človeštva pa prihaja prav zaradi antropičnosti vode.

2.4. Med teorijo in prakso

Zakaj je bilo treba ob obravnavi odnosa med vodo in družbo opraviti tako temeljit premislek o tem, kaj je voda? Ker je ena od temeljnih značilnosti odnosa med vodo in družbo prav nerazumevanje tega, kaj je voda v vsej svoji kompleksnosti. Voda ni zgolj spojina, voda ni zgolj živilo, voda ni zgolj komponenta okolja, ki nas včasih tudi ogroža, voda je več kot to. Voda je entiteta, ki predstavlja in povzroča kompleks vzrokov in posledic zelo širokega spektra.

Če smo žejni, vstanemo in si, vsaj v Sloveniji, natočimo vodo iz pipe. To je samoumevno dejanje, ki skorajda meji na Pavlov pogojni refleks, vodo pijemo in se o njej ne sprašujemo. Zakaj in kdo je tisti, ki nam omogoča, da iz pipe teče zdravstveno neoporečna pitna voda? Poplave v Sloveniji so pogost pojav in vedno, kadar pride do njih, ne glede na to, za kakšno pojavno obliko poplave gre, se v medijih vsuje plaz obtožb čez državo, ki spet ni pravočasno poskrbela za protipoplavne ukrepe. Toda kdo je tisti, ki bi moral ukrepati? Ali bi ta, ki je odgovoren, moral ukrepati pred tem ali po dogodku? Ali pa bi sploh moral ukrepati, saj so poplave vendar pojav, ki ga ni mogoče v celoti preprečiti? Velik del družbenega prihodka v Sloveniji ustvarijo naravna zdravilišča, od poletja pa do zime se v njih tarejo množice kopalcev iz domovine in tujine. Toda ali se med tem, ko se v poletni vročini hladimo v prijetno osvežujoči vodi ali ko pozimi počasi plavamo v topli vodi, zunaj pa reže bridek mraz, sprašujemo, od kod prihaja voda, v kateri uživamo, ali se sprašujemo, kakšne posledice ima naš užitek. Ustrezni sanitarni pogoji so temelj solidnega standarda ter dostojanstvenega življenja. Toda ali se vprašamo, kam je odtekla umazana voda, ki smo jo zlili v korito. Voda je pač nekam odtekla, stran od nas.

Verjetno bi lahko še naštevali takšne ali drugačne konfliktne ali pa samoumevne situacije, povezane z vodo, o katerih se ne sprašujemo. Ali je voda, ki priteče iz pipe, enaka vodi, ki nas poplavi, ali je voda, v kateri plavamo, enaka vodi, ki odteče po kanalizacijskih ceveh? Ali so to različne vode, pa jih z eno besedo poimenujemo samo zaradi tega, ker ne poznamo boljšega izrazoslovja? Ali pa gre samo za eno samo vodo, ki je tako kompleksna in je zaradi tega ne obvladujemo?

Odnos med vodo in družbo ni le odnos med »samo« vodo in družbo, je odnos med vodo, katere značilnosti so kompleksne - polikavzalne ter polivalentne, in zdi se, da vzpostavljamo odnos do vsake od teh značilnosti vode posebej, celote pa ne znamo, ne moremo ali nočemo razumeti. Ta kompleksnost se izkazuje v odnosu države do vode, v odnosu državljanov do vode in v odnosu stroke do vode.

3. VODA IN DRŽAVA

Država do vode, hote ali nehote, vzpostavlja svoj odnos. V to jo silita njeno naravno okolje in narava njenega delovanja. Tako kot druge države tudi Republika Slovenija pri tem ni nobena izjema.

Ob zamenjavi vlade vladajoča koalicija na začetku mandata dopolni Zakon o Vladi Republike Slovenije, v katerem v skladu s svojimi načrti in vizijo določi organizacijsko delovanje vlade in ministrstev. Organizacija dela se od vlade do vlade nekoliko razlikuje, včasih se pod pezo varčevanja in učinkovitosti ministrstva združujejo, včasih pa spet razdružujejo in reorganizirajo, ker se predhodne organizacijske oblike iz takšnih ali drugačnih razlogov niso izkazale za ustrezne. Ne glede na takšno organizacijsko spreminjanje vladne organiziranosti se vladovanje (angl. governance) vodi s časom v okviru delovanja različnih vlad Republike Slovenije znatno ne spreminja. Kdo v Republiki Sloveniji je odgovoren za vodo? Voda v Republiki Sloveniji nima enega skrbnika ali samo enega ministrstva, ki bi se ukvarjalo z njo in bilo odgovorno zanjo. To dejstvo nam pokaže, da vode v Republiki Sloveniji z upravnega in upravljalnega vidika ne obravnavamo kot ene same entitete. Vodo razumemo kot polikavzalno, to je z različnimi posledicami in interakcijami, zato je pristojnost nad njo razpršena po različnih ministrstvih in agencijah. Odgovornost v odnosu do vode v Republiki Sloveniji je deljena. Zaradi tega v odnosu do nje prihaja do sektorskih interakcij, te pa imajo zaradi svoje narave vedno za posledico konfliktnost, ki se odvija na različnih ravneh. V skladu z naravo države in njenih organov se ti konflikti bolj ali manj uspešno razrešujejo z raznovrstnimi pristopi.

3.1. Struktura vlade in voda

Pristojnosti za vodo znotraj delovanja Vlade Republike Slovenije lahko razdelimo v dve skupini, v prvi skupini so ministrstva, ki nosijo večino in najpomembnejše pristojnosti. V tej skupini so: Ministrstvo za okolje in prostor, Ministrstvo za zdravje in Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. V drugi skupini so ministrstva, ki se z vprašanji vode srečujejo, a so zanje ta vprašanja sporadična in znotraj svoje organizacijske sheme nimajo posebnih teles ali pisarn, ki bi se ukvarjala z vodo neposredno. Kot bomo pokazali v nadaljevanju, se s problematiko voda na posreden način ukvarja večina preostalih ministrstev v sestavi Vlade Republike Slovenije.

Ministrstvo, ki se ukvarja z najširšim vidikom vladovanja vodi v Republiki Sloveniji, je Ministrstvo za okolje in prostor. V okviru tega ministrstva so pristojnosti, ki izhajajo iz pojavljanja vode v naravi, okolju in prostoru. Pri tem velja opozoriti, da je takšna delitev pojavljanja vode pogojno sprejemljiva z administrativnega vidika, vsekakor pa je problematična z vidika razumevanja vode in vodnega okolja. Za vprašanja pitne vode in za zdravstveno ustreznost živil, v katerih se nahaja voda, je pristojno Ministrstvo za zdravje. Morda manj znan, a prav tako pomemben vidik vladovanja vodi, je v pristojnosti Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, ki je neposredno odgovorno za vprašanje mineralnih in izvirskih vod, posredno pa tudi za vrsto drugih vidikov vode in vodnega okolja, saj je voda pomemben del številnih prehranskih proizvodov in temelj kmetijske pridelave. Pri tem naj omenimo predvsem probleme v povezavi s sušo in namakanjem.



Od ostalih ministrstev, ki se srečujejo z vodo, velja najprej omeniti Ministrstvo za obrambo, ki je odgovorno za vprašanja različnih nesreč in katastrof; voda je eden od pomembnejših generatorjev naravnih tveganj in nesreč. Ker je pomemben delež gospodarskih dejavnosti v Sloveniji neposredno odvisen od vode (npr. zdraviliški turizem), se z vprašanji vode srečuje Ministrstvo za gospodarstvo; izkušnje kažejo, da to vodo obravnava predvsem kot surovino. Energetika je v pristojnosti Ministrstva za infrastrukturo, voda je pomemben del tako imenovanih obnovljivih virov, kamor sodijo hidroelektrarne in izraba geotermalne energije. Pomemben vpliv na družbeno relevantnost vode bi moralo imeti tudi Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport, pod okvir katerega sodijo raziskave in razvoj. Žal lahko ugotovimo, da raziskave vode in vodnega okolja iz lastnih virov skorajda niso več financirane. Skoraj vse novo znanje, ki ga v povezavi z vodo generiramo v Sloveniji, je vezano na evropske projekte. Tudi Ministrstvo za zunanje zadeve se vprašanjem v zvezi z vodo ne more izogniti. Republika Slovenija je hkrati vzvodna – povirna država, kot tudi nizvodna država. Tako preko vode prihaja do interakcij s sosednjimi državami in na podlagi tega smo zavezani k ravnanju, ki izhaja iz mednarodnih sporazumov (konvencije Združenih narodov), dvostranskih sporazumov (npr. delovanje Dravske in Murske komisije v povezavi z Republiko Avstrijo) in iz večstranskih sporazumov (npr. sporazum o Savskem bazenu). Pred leti je Ministrstvo za zunanje zadeve tudi vodilo iniciativo, da bi se z različnimi vprašanji, povezanimi z vodo, izboljšala tudi globalna prepoznavnost Republike Slovenije. Presenetljivo, z vprašanjem vode se je nedolgo tega moralo srečati tudi Ministrstvo za kulturo, ko je prišlo do spora o upravljanju z Rudnikom živega srebra v Idriji, ki sodi pod UNESCO-vo kulturno dediščino, ker je obstoj rudnika v veliki meri odvisen od uspešnosti dreniranja vode v rudniku. Nedvomno bi tudi pri ostalih ministrstvih, ki jih nismo navedli, našli še kakšno povezavo z vodo.

3.2. Zakonodaja

Država svoj odnos do vode ureja na podlagi zakonodaje. Analiza družbene relevantnosti zakonodaje, povezane z vodo, presega okvir tega prispevka, vsekakor pa je to kompleksna in zanimiva problematika, ki sega preko pravniške obravnave. Dotaknimo se na kratko le diverzitete in zapletenosti ter medsebojne prepletenosti zakonodaje, ki ureja odnos družbe do vode. Zakonodaja o vodi ima v centralni Evropi že zelo dolgo tradicijo. Voda in relacije do nje so zapisane že v prvih kodifikacijah prava, na primer že v Justinijanovem zakoniku. V večini držav je bil odnos do vode podrobneje opredeljen v 19. stoletju. Avstro-Ogrska je za avstrijski del države leta 1869 sprejela prvi Zakon o rabi, usmerjanju in obrambi pred vodami, nato pa so bili sprejeti še posamezni deželni zakoni. Kasneje so bili ti zakoni dopolnjeni ali pa so bili sprejeti novi. Tej praksi so bolj ali manj uspešno sledile vse države naslednice, ki so kasneje nastajale na tem območju. Vse do Republike Slovenije, ki je na tem področju sprva podedovala zakonodajo socialističnega sistema, kaj kmalu pa je vsakdanja praksa zahtevala sprejem nove, aktualnejše zakonodaje. Glavna spodbuda za razvoj na področju zakonodaje v povezavi z vodo je bilo približevanje Evropski uniji. Ta je leta 2000 sprejela Evropsko okvirno direktivo o vodah, ki temelji na načelih integriranega upravljanja vodnih virov (angl. Integrated Water Resources Management – IWRM), do vstopa v Evropsko unijo leta 2004 jo je Slovenija morala vključiti v svoj pravni red. Tako je bil leta 2002 sprejet Zakon o vodah. Brez zadržkov lahko zapišemo, da je sprejem načel te direktive v slovenski pravni red pomembno prispeval k razvoju številnih strokovnih področij in ne nazadnje ustvaril kar nekaj delovnih mest. Iz zahtev

Zakona o vodah in tudi direktive neposredno ter iz sestrskih direktiv se je razvila vrsta zakonskih in podzakonskih aktov.

Poleg zakonodaje, ki izhaja iz implementacije Evropske okvirne direktive o vodah, imamo še vrsto druge zakonodaje, ki ureja vprašanje odnosa do vode in ki prav tako izvira iz vrste drugih evropskih direktiv (npr. iz Direktive o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi, ali pa iz Direktive o mineralnih vodah ipd.). Točne evidence o tem, koliko zakonskih in podzakonskih aktov, ki urejajo vprašanja, povezana z vodo, imamo v Sloveniji, ni. A nesporno je, da je ta zakonodaja izredno zapletena, tako zelo, da so za tolmačenja posameznih področij te zakonodaje in njeno implementacijo potrebni specialisti, ozko usmerjeni strokovnjaki. Ta zakonodaja se z nadaljnjim razvojem še naprej diverzificira in postaja kljub želji po poenostavitvi in nekaterim naporom v tej smeri vedno bolj kompleksna in zapletena, s tem pa tudi nepregledna. Pojavljajo se težave pri usklajenosti te zakonodaje v vertikalni in horizontalni smeri. V vertikalni smeri pogosto nastopijo težave pri hierarhiji odnosov, v horizontalni smeri pa se pogosto dogaja, da posamezne veje zakonodaje drugače razumejo naravne entitete ali tehnološke entitete. Primer tega je, da je treba isto vrsto pojavljanja vode v naravi obravnavati drugače v enem sklopu zakonodaje kot v drugem sklopu.

Ob omembi zakonodaje v odnosu do vode ne moremo mimo ustavnega zakona, ki je v novembru 2016 vpisal človekovo pravico do pitne vode v ustavo. To je nedvomno zakon, ki je bil do sedaj v državnem zboru sprejet z najvišjo stopnjo soglasja, po konsenzu ga verjetno prekaša le še odločitev za osamosvojitve. Nesporno je to pomemben civilnodružbeni dosežek, vendar v obliki, kot je sprejet, sproža več vprašanj kot odgovorov. Več kot pol leta po njegovem sprejemu se nelagodje v strokovnih krogih kaže tudi v tem, da v javni razpravi še ni nobenih osnutkov zakonskih in podzakonskih predpisov, ki bi zahteve ustavnega zakona prevajale tudi v vsakdanjo prakso. Prav tako razen sporadičnih okruškov na nekaterih strokovnih posvetovanjih na to temo ne teče nobena javna razprava.

Le na kratko se dotaknimo vzrokov za kompleksnost in naraščajočo diverzifikacijo zakonodaje, povezane z vodo, in pravzaprav vse zakonodaje, ki se nanaša na okolje – naravo. Slovenski pravni red v veliki meri sledi germanski pravni tradiciji, za katero je značilna visoka stopnja normiranosti. Iz tako zasnovanega pravnega reda sledi tudi predpostavka, da so relacije, ki jih regulirajo pravna pravila, postavljene v vzročno-posledično verigo, ki jo je možno predvideti vnaprej ter jo opredeliti. Morebitna odstopanja od te predvidene vzročno posledične verige so razumljena kot odstopanja od pravil, ki jih je treba regulirati in omejiti, v primeru znatnega odstopanja pa tudi sankcionirati. Zakonodaja, ki se ukvarja z vprašanji vode v najširšem pomenu besede, je vedno zakonodaja, ki bolj ali manj neposredno obravnava razmerja med človekovimi dejavnostmi in naravo – okoljem. Zato je takšna zakonodaja vedno odraz aktualnega strokovno-znanstvenega razumevanja narave – okolja. Zaradi narave znanstvenoraziskovalnega in strokovnega dela je zakonodajno normiranje vedno korak ali dva za aktualnim razvojem znanja (ne glede na to, ali v nekem predpisu piše, da je treba uporabljati najboljšo razpoložljivo tehnologijo ali zadnje dosežke stroke). Tako velja tudi v povezavi znanja z vodo in prenosom tega znanja v zakonodajo. Pri zakonodajni obravnavi razmerja med človekovimi dejavnostmi in naravo – okoljem se je treba zavedati še kompleksnosti razmerij, ki jih ni mogoče v celoti predvideti vnaprej. Tako je na primer z nekim podzakonskim aktom nemogoče



predvideti vse dogodke in situacije v povezavi s potencialnim onesnaženjem vode, ki bi se lahko pojavile znotraj vodnih teles, ki nastopajo na območju Slovenije.

Zaradi narave našega pravnega sistema in reda skušamo vse možne situacije predvideti vnaprej, kar pa je zaradi kompleksnosti sistema v odnosu človek okolje – narava nemogoče. V okolju – naravi lahko relacije med posameznimi komponentami opredelimo kot nelinearne, to je kot takšne, kjer enak impulz in ponovljen impulz ne sprožita nujno tudi enakega odziva. To še toliko bolj velja za odnos med človekovimi dejavnostmi in okoljem – naravo. To nas privede do tega, da so pravila v zakonodajnem odnosu človekovih dejavnosti do okolja – narave in v našem primeru do vode *a priori* neuravnoteženo normirana. Okoljski problemi in nesreče, ki smo jim bili priča v zadnjem času, so najverjetneje prav posledica te neuravnotežene normiranosti.

Neuravnoteženo normirani sistem pravnih pravil vsebuje tako pravila, ki so podnormirana, kot pravila, ki izkazujejo prenormiranje. V težnji, da bi bili v sistemu norm čim bolj natančni, nizamo številna pravila, ki skušajo zajeti tudi izjeme, zato je teh norm veliko in postanejo nepregledne. Ker pa smo v našem razumevanju okoljskih – naravnih sistemov in s tem tudi vode zaradi obsega znanja vedno omejeni, vseh možnih razmerij in stanj, ki se pojavijo, ne moremo zajeti. Tako imamo za določena razmerja na voljo zelo veliko norm, za druga razmerja pa premalo. Najdemo se v situacijah, ko se na eni strani zaradi obilice norm in pravil ne moremo odločiti, na drugi strani pa v situacijah, ko je pravil premalo in se prav tako ne moremo kvalificirano odločiti. V primeru slednjih vedno obstaja dvom o pravilnosti sprejetih odločitev.

Idealno zakonodajo, ki bi urejala področje voda v najširšem pomenu, bi lahko opredelili kot tisto, ki je uravnoteženo normirana. Vendar takšnih predpisov ni mogoče uveljaviti, dokler bo celoten pravni red temeljil na natančni normiranosti. Takšna zakonodaja s področja interakcije med človekovo dejavnostjo in okoljem – naravo, torej tudi vodo, je možna le v primeru spremembe teh splošnih in temeljnih načel pri vzpostavljanju zakonodaje, ali pa vsaj na ožjem področju okoljske zakonodaje. Spremeniti je treba razmerja med odgovornostjo zavezancev in zapisanimi pravnimi normami. Te je treba premakniti od taksativno napisanih (tehničnih) norm proti splošno veljavnim bolj ali manj odprtim načelom. Le tako se bo možno prilagoditi kompleksnosti razmerij, ki jih ustvarjajo voda in njene interakcije.

3.3. Tok vode skozi državo in družbo

Če struktura ministrstev v Republiki Sloveniji odraža vse bistvene vidike delovanja države in družbe, lahko vidimo, da je voda tako rekoč prisotna povsod, zato se vprašanjem in problemom, ki se povezujejo z njo, ni mogoče izogniti na nobenem področju. Če govorimo o vodnem krogu in o tem, kako se voda giblje v naravi, bi lahko podobno prispodobo uporabili tudi o toku vode skozi družbo in tudi o toku vode skozi državno upravo in administracijo, čeprav je to le navidezni tok. Podobne koncepte navidezni tokov iz literature že poznamo, na primer pri trgovanju s kmetijskimi, pa tudi z drugimi pridelki, kjer dobesedno govorimo o navidezni ali virtualni vodi.

Pri obravnavi odnosa med vodo in državo se seveda zastavi kritično vprašanje, ali je ureditev vprašanj v povezavi z vodo v Republiki Sloveniji ustrezna ali ne. Ali lahko obstoječi sistem kri-

tiziramo, v celoti ali v samo nekaterih delih, ali pa takšna kritika morda sploh ni potrebna? Ali bi voda potrebovala agencijo ali neki drug organ, ki bi se v celoti ukvarjal z vprašanji vode in ne le s posameznimi segmenti? Organ, ki ta vprašanja do neke mere že pokriva, je Direkcija za vode Republike Slovenije, ki je organ v sestavi Ministrstva za okolje in prostor. Kljub temu lahko ugotovimo, da je njeno delovanje relativno ozko; teža njene dejavnosti je predvsem na področju urejanja površinskih voda, posega tudi na področje podzemnih voda, predvsem pa je zavezana tistim dejavnostim, ki izhajajo iz določil Zakona o vodah. Izven določil Zakona o vodah ni organa, ki bi se ukvarjal z drugimi vidiki vode. Verjetno bi v Republiki Sloveniji potrebovali neko koordinacijsko telo, ki bi bilo zadolženo za oblikovanje politike do vode v širšem pomenu in ne le v prostorsko okoljskem smislu.

4. VODA IN DRŽAVLJANI

Če razmišljamo o odnosu med vodo in državo, moramo v skladu z uveljavljeno (družboslovno – filozofsko) tradicijo razmišljati tudi o drugem polu države, to je o ljudstvu – državljanih, ki tvorijo to državo, in njihovem odnosu do vode.

Če zasledujemo svetovno literaturo, ki se ukvarja z različnimi družboslovnimi in humanističnimi raziskavami o odnosu do vode in njenem pomenu (mimogrede, ta literatura je izredno bogata, medtem ko v slovenščini zasledimo komaj kaj del s tega področja), bomo ugotovili, da je ta odnos do vode v Sloveniji nekoliko drugačen, morda celo nenavaden. Verjetno smo eden redkih narodov, ki ima star ljudski pregovor: »Voda še za v čevelj ni dobra.« Čeprav so bile v nekaterih predelih Slovenije v preteklosti težave z oskrbo z vodo (ponekod še vedno niso v celoti odpravljene), v splošnem velja, da je za območje, na katerem živimo, značilno obilje vode. In takrat, ko je nečesa preveč, do tega ne vzpostaviš pozitivnega in afirmativnega odnosa, ampak je to nekaj, kar je samoumevno, kot zrak, ki ga dihamo.

Ljudstvo v Sloveniji se do vode obnaša prav na ta način. Voda je samoumevna. Samoumevno je, da imamo doma na razpolago zdravstveno ustrezno pitno vodo. Samoumevno je, da na osebni in poslovni ravni uporabimo toliko vode, kot mislimo, da jo potrebujemo. Samoumevno je, da je voda brezplačna. Samoumevno je, da je voda moja. Samoumevno je, da kanalizacija deluje. Samoumevno je, da se lahko kopamo kjerkoli. Samoumevno je, da lahko peremo avtomobil ob reki. Samoumevna je zaščita pred poplavami, zato lahko gradimo kjerkoli. Samoumevno je ...

In ker je vse to samoumevno, je ljudstvo zelo nestrpno do tega, kadar ta samoumevnost ni izpolnjena. Voda iz pip je zanič, zato moramo kupovati ustekleničeno vodo (zaradi tega njena proizvodnja v Sloveniji še vedno raste). Voda je predraga in neprestano jo dražijo. Vode bo zmanjkalo, samo še vprašanje časa je, kdaj se bodo pipe posušile. Neprestano nam omejujejo dostop do vode, pa še tisto, kar je imamo, nam bodo odvzeli ter prodali tujim korporacijam in multinacionalkam. Iz kanalizacije neprestano smrdi, čistilne naprave pa onesnažujejo še bolj, kot je bilo onesnaženo pred tem, ko jih še ni bilo, pa tako ali tako predstavljajo samo strošek. Kopati pa se skorajda nikjer več ne moreš. En avto pa bi se že lahko opral ob vodi, saj eden ni nobeden. Država spet ni poskrbela za poplavno varnost in njene službe spet niso poskrbele za čiščenje korit vodotokov. In tako dalje in tako dalje.



Kar smo nekoliko karikirano zapisali v prejšnjih dveh odstavkih, je le kratek povzetek tega, kar najdemo na forumih pod novicami na novičarskih spletnih portalih, ko se tam pojavi kakšen članek v povezavi z vodo. Vsekakor spletni portali niso veren in reprezentativen vzorec javnega mnenja, kljub temu pa dokaj dobro odražajo realnost problemov v zvezi z vodo.

Vprašanja, povezana z vodo, so vedno zelo aktualna, vendar odgovori nanje pogosto niso kvalificirani ali pa so celo povsem napačni. Tudi raven znanja v povezavi z vodo je dokaj slaba. S takšnimi trditvami se nehoti postavljamo na stališče, da je naše mnenje pravilno in relevantno, vendar pri tem nimamo v mislih toliko ustreznosti in pravilnosti informacij, ki so v javnem obtoku, kot način reševanja teh problemov in odgovorov na ta vprašanja.

V Sloveniji smo z uveljavitvijo Evropske okvirne direktive o vodah privzeli tako imenovano integrirano upravljanje vodnih virov – IWRM. Temeljna komponenta takšnega pristopa je tudi sodelovanje deležnikov na vseh ravneh upravljanja vodnih virov. Podobne pristope v povezavi z vodo bi bilo treba uveljaviti tudi takrat, ko problematika sega zunaj gospodarjenja z vodnimi viri. Smelo in brez slabe vesti lahko zapišemo, da sodelovanje med deležniki po načelih IWRM-ja v Sloveniji ne deluje. Zakon o vodah, ki je bil sprejet leta 2002, je temu vprašanju posvečal posebno pozornost. Določal je delovanje tako imenovanih konferenc za vode, katerih naloga je bila »... omogočanje vpliva lokalnih skupnosti, imetnikov vodnih pravic in nevladnih organizacij na upravljanje voda ...«. V dopolnitvah zakona iz leta 2012 so bile te določbe črtane in od takrat dalje tega mehanizma Zakon o vodah ne pozna več in se ga v takšni ali drugačni obliki tudi ne izvaja. Ob pripravi zadnjega Načrta za upravljanje z vodami – NUV se je razpravo s strokovno javnostjo sicer opravilo, vendar je bila ta razprava daleč od tega, kakršna bi morala biti v skladu z načeli IWRM-ja participacija javnosti pri pripravi takšnega načrta. Sodelovanje javnosti pri pripravi NUV-a ni pomembna zgolj z vidika priprave samega načrta, temveč tudi z vidika širšega sodelovanja ljudstva – državljanov pri odločanju v povezavi z vodo, predvsem pa pri njeni zaščiti. Le z ustreznim pretokom informacij, kar pa je možno le z aktivnim sodelovanjem ljudi, se bo dvignila raven zavedanja o teh problemih in s tem tudi izobraženost v povezavi z vodo.

5. VODA IN STROKA

Ko obravnavamo odnos med družbo in vodo, je ena od ključnih relacij za razumevanje tega odnosa relacija do stroke, ki se srečuje in ukvarja z vodo, in kako stroka razume vodo. V splošnem je stroka tista, ki razume probleme, predvsem pa naj bi jih znala reševati objektivno, učinkovito in neodvisno od vsakdanjih družbeno pogojenih razmerij. Vendar je takšno gledanje naivno. Neredko zasledimo izjavo pomembnih politikov, da je neko vprašanje v celoti usklajeno s stroko, in prav tako neredko se strokovnjake na različnih ravneh obravnava kot objektivne in neodvisne. Toda ali je res tako? Kdo in kaj je stroka? Ali je to posamezna znanstvena ali tehnična disciplina, ki se ukvarja z vodo? Ali pa je to več disciplin, ki se ukvarjajo tudi z vodo in se pri tem srečujejo v okviru različnih družbeno pogojenih interakcij? Ali je strokovnjak posameznik, ki ima sebe za kompetentnega, ali je to nekdo, ki mu kompetence priznavajo drugi? Ali je stroka skupnost posameznikov, ki imajo enako izobrazbo, ali pa je stroka formalno ali neformalno združenje posameznikov z enakimi strokovnimi – usmerjenimi interesi?

V Republiki Sloveniji pojem enotne stroke, ki se ukvarja z vodo, ne obstaja, tudi če se na to kdo sklicuje. Prav tako ne obstaja formalna kvalifikacija, na podlagi katere bi se lahko nekdo ukvarjal z vodo. Obstaja le neformalna skupnost ljudi, ki jih kot strokovnjake različnih strokovnih profilov določa njihova izobrazba ter njihovo ukvarjanje z vodo, ali pa jim strokovno odličnost na tem področju na podlagi njihovih izkušenj priznavajo drugi, to je tako laična kot tudi strokovna javnost. V Sloveniji pogosto naletimo na pojem vodarska stroka ter na pojem vodarja. Na oba pojma se sklicuje tudi politika v zvezi s politiko do vode. Ali je pri tem mišljena enotna stroka, ki se ukvarja z vodo v vseh njenih segmentih? Etimološko bi besedo vodarstvo razložili kot stroko, ki se ukvarja z vodo, in kot vodarja tistega, ki se ukvarja z vodo. Vendar to drži le deloma. Tradicionalno je v Sloveniji to poimenovanje namenjeno gradbeni stroki, ki se ukvarja z vodo, predvsem z urejanjem vodotokov in drugih vodnih teles površinskih vod. V ta okvir sodi tudi hidrotehnika. V zadnjih desetletjih se je to pojmovanje razširilo še na tako imenovano okoljsko gradbeništvo, to je na gradbeniške posege pri sanaciji določenih okoljskih problemov. Vsekakor pa je ta segment ukvarjanja z vodo le del zelo širokega spektra strokovnih problemov, ki se povezujejo z vodo in ki jih gradbeništvo ne pokriva. Zato je nujno potrebno sodelovanje med različnimi strokami, katerih znanstveni izvor je raznolik.

Zaradi narave vodnega kroga, v katerem so posamezne komponente soodvisne, mora posamezni strokovnjak posegati tudi na sosednja področja, kjer se srečuje z drugimi strokovnjaki. Takšno križanje strok na presečnih območjih izboljšuje in bogati znanje o vodi, hkrati pa ustvarja konflikte, ki so praviloma ustvarjalni, včasih pa tudi zaviralni. To zaviranje je lahko najprej posledica medsebojnega nerazumevanja jezika različnih strok, kar je predvsem posledica odsotnosti ustrezne in vzajemno razumljene terminologije, to pa vodi v mimobežno komunikacijo ter razpršitev energije in sredstev, namenjenih reševanju problemov. Zaviralni momenti razvoja so zelo pogosto tudi posledica apriornega konfliktnega odnosa med strokami. Stroke in disciplinarne znanosti, tudi tiste, ki se ukvarjajo z vodo, pri tem niso izjema, predstavljajo »interesne« skupnosti z ozko in pogosto zelo jasno izraženo željo po nadzoru vanju materialnih in ekonomskih virov ter svojega družbenega vpliva. Vprašanje upravljanja in gospodarjenja z vodo in vodnim okoljem predstavlja relativno široko nišo, v kateri se učinkovito ugnezdi interesi posamezne skupnosti. Morda se tega dejstva v Sloveniji premalo zavedamo. Drobljenje pri upravljanju in gospodarjenju s komponentami vodnega kroga zaradi uveljavljanja interesov posameznih strok povzroča širšo družbeno neučinkovitost in nepotrebne stroške. Hkrati ima uveljavljanje interesov različnih strok za posledico, da so nekateri segmenti upravljanja vodnega kroga, če že ne zanemarjeni, pa vsaj potisnjeni na stranski tir in deležni manjše finančne ter upravljalvske podpore (Brenčič, 2017).

6. SKLEP

Ne glede na izobilje vode v Sloveniji (na ravni države, ne pa tudi v vseh njenih posameznih pokrajinskih enotah) so vprašanja vladovanja in upravljanja z vodo (v najširšem pomenu) pomembna. V prispevku smo se dotaknili nekaterih razmerij med vodo in družbo, ki se pojavljajo tako v globalnem merilu kot na ravni Republike Slovenije. Premislek o teh razmerjih temelji na izkušnjah avtorja, ta razmerja pa bi bilo treba podrobneje raziskati tudi z empiričnimi raziskavami. Pri teh zaostajamo za drugimi državami in družbami, ne le na področju družboslov-



no-humanističnega razumevanja odnosa med vodo in družbo, temveč tudi na tistem področju raziskav o vodi in vodnem okolju, ki izhajajo iz naravoslovno-tehnične tradicije. To je posledica tega, da kot država in kot družba kljub pomenu vode tem vprašanjem namenjamo premalo pozornosti. Zaostajamo pa tudi na področju, ki bi ga lahko opredelili kot teoretično akademski diskurz o vodi. Zato naj bo pričujoči prispevek droben prispevek v tej smeri.

LITERATURA IN VIRI

1. Brenčič, M., 2017. Podzemne vode – med naravoslovjem, tehniko, družbenim in političnim. V: Globevnik, L. in Širca, A. (ur.): Drugi slovenski kongres o vodah, 34-40.
2. Orlove, B., Caton, S., 2010. Water sustainability: Anthropological approaches and prospects. *Annual Review of Anthropology* 39: 401-415.
3. Sivapalan, M., Savenije, H. G., Blöschl, G., 2012. Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrological Processes* 26, 1270–1276.

PRAVNI VIDIKI TRAJNOSTNEGA UPRAVLJANJA VODA (AKTUALNA VPRAŠANJA)

prof. dr. SENKO PLIČANIČ¹

Povzetek

V prispevku avtor obravnava aktualna pravna vprašanja trajnostnega upravljanja voda na globalni ravni in v Sloveniji. Ugotavlja, da je ključnega pomena za uspešno upravljanje voda (in nasploh vseh naravnih virov) ciljno upravljanje, to je upravljanje na podlagi jasnih in konkretno določenih ciljev. Gre za nov pristop upravljanja države, ki se nanaša na vse njene pristojnosti. Z vidika uresničevanja trajnostnega razvoja, kar je eden glavnih ciljev EU-ja in s tem tudi Slovenije, pa je še posebej pomembno ciljno vodenje oziroma upravljanje naravnih virov. Na njihovem izkoriščanju namreč temelji gospodarska dejavnost – uresničitev trajnostnega razvoja je zato v veliki meri odvisna od uspešnosti uveljavitve trajnostnega modela upravljanja vseh naravnih virov, torej tudi voda. Avtor z vidika omenjenih ciljev analizira obstoječ (pravno-politični) sistem upravljanja voda in predlaga njegove izboljšave.

Avtor v svojem prispevku obravnava tudi vlogo stroke pri (trajnostnem) upravljanju voda in ugotavlja, da bi morala imeti stroka ključno vlogo pri upravljanju voda – tako pri upravljanju voda kot samostojnega sistema kot tudi v okviru prostorskega načrtovanja (v okviru katerega se usklajujejo interesi glede posegov v prostor oziroma na/v zemljišča, tudi vodna in priobalna ter druga zemljišča, pomembna za upravljanje voda).

Avtor prav tako analizira določbe Ustave, ki se nanašajo na pravico do pitne vode in na oskrbo prebivalstva s pitno vodo.

Ključne besede: ciljno upravljanje voda, oskrba s pitno vodo, pravica do pitne vode, trajnostno upravljanje voda

Abstract

In his article, the author analyses some contemporary issues regarding sustainable water management in Slovenia. His starting premise is that water management and the management of all natural resources should be goal-oriented and based on comprehensive national sustainable development plan. In Slovenia, the modern system of policy-making is still to be developed.

¹ Prof. dr. Senko Pličanič, Pravna fakulteta v Ljubljani



Author also deals with the new article 70. a of the Constitution, which regulates the right to drinking water and suggests the legislative changes needed.

1. UVOD

Upravljanje voda zajema varstvo voda pred onesnaževanjem in pretirano rabo, urejanje voda (v ta okvir sodi zlasti varstvo pred škodljivim delovanjem voda) in rabo voda.

Bistvo **trajnostnega** upravljanja voda je zagotavljanje ravnovesja med poseganjem v vode (zaradi njihove rabe in/ali zaradi urejanja voda) in njihovim varstvom.

Temelj za učinkovito in trajnostno upravljanje voda je (tako kot to velja za vsako drugo bolj kompleksno človekovo dejavnost) **načrtovanje** (upravljanja).

V Sloveniji Zakon o vodah² ustrezno ureja sistem načrtovanja upravljanja voda.³ Problematična pa je njegova povezanost in usklajenost s širšim sistemom načrtovanja upravljanja naravnih virov in še širšim načrtovanjem trajnostnega razvoja. Načrtovanje upravljanja voda bi namreč moralo biti del širšega sistema načrtovanja trajnostnega upravljanja naravnih virov, to pa bi moralo temeljiti na temeljnem načrtu trajnostnega razvoja Slovenije. Gre za jasen sistem določanja ciljev in načinov za njihovo uresničevanje oziroma sistem t. i. življenjskega kroga politike (angl. policy-making) in ciljnega vodenja, ki postaja v sodobnem svetu temelj za upravljanje držav.

Z oblikovanjem takšnega sistema imamo v Sloveniji velike težave, kar podrobneje obravnavam v nadaljevanju kot prvo od aktualnih vprašanj, ki se nanašajo (tudi) na upravljanje voda.

Upravljanje voda mora izhajati iz pomembnosti vode kot naravnega vira. Ta se mora odražati v ustrezni in jasni pravni ureditvi voda. Nedavna sprememba Ustave⁴ je, žal, povzročila vrsto nejasnosti glede vrste za upravljanje voda zelo pomembnih vprašanj, kar podrobneje obravnavam v nadaljevanju kot drugo od aktualnih vprašanj upravljanja voda.

2. NAČRTOVANJE TRAJNOSTNEGA RAZVOJA – VLOGA DRŽAVE IN PRAVA

V svetu danes prevladuje spoznanje, da je za uveljavitev trajnostnega razvoja nujna **aktivna vloga države in lokalnih samoupravnih skupnosti**.⁵

V Sloveniji takšna vloga države pri uresničitvi trajnostnega razvoja izhaja iz Ustave. Čeprav v Ustavi ni eksplicitne določbe, menim, da nekatere določbe Ustave dajejo dovolj trdno podlago za takšno razlago Ustave. Tu mislim zlasti na določbo drugega odstavka 72. člena Ustave, ki določa, da država zagotavlja zdravo življenjsko okolje in v ta namen določa pogoje za opravljanje gospodarskih in negospodarskih dejavnosti. Ob tem pa Ustava hkrati »uzakonja« go-spodarsko rast kot pravno vrednoto (posredno to po mojem mnenju izhaja iz 74. člena Ustave, ki v Sloveniji zagotavlja svobodo gospodarske pobude). V povezavi z jasno usmeritvijo EU-ja, katere člani smo, v trajnostni razvoj menim, da imamo dovolj trdno podlago za ugotovitev, da nam takšno usmeritev »zapoveduje« že sama Ustava.

V Sloveniji imamo zelo dobre, pravzaprav kar izjemne (v primerjavi z drugimi državami, članicami EU-ja, pa tudi gledano globalno) možnosti za trajnostni razvoj. Imamo relativno neokrnjeno in pestro okolje, hkrati pa tudi velik človeški potencial – visoko stopnjo visoko izobraženih ljudi in precej uspešnih posameznikov ter podjetij z različnih področij, ki so pomembna za razvoj uspešnega zelenega gospodarstva. Zato menim, da imamo vse možnosti doseči preobrat in uresničiti trajnostni razvoj v praksi.

Prvi korak bi moral biti zato oblikovanje in sprejem **celovitega načrta trajnostnega gospodarskega razvoja Slovenije**. Temeljno podlago zanj najdemo prav v navedeni določbi Ustave. Če naj država zagotovi zdravo življenjsko okolje ob hkratni gospodarski rasti (z določanjem pogojev za opravljanje gospodarskih in negospodarskih dejavnosti), je logično, da mora imeti jasno vizijo (načrt), kako naj ta dva cilja uresniči. Takšen načrt bi morali sprejeti izvršilna in zakonodajna veja državne oblasti. Predstavljati bi moral kompromis med omejitvami pri poseganju v okolje, ki so nujne zaradi njegovega varstva, in posegi v okolje, ki so potrebni zaradi gospodarske rasti. Pri tem je bistvenega pomena, da se pri pripravi razvojnega načrta **enakovredno** obravnavajo na eni strani razvojni (usmerjeni v gospodarski razvoj) in na drugi strani varstveni interesi (usmerjeni v varstvo okolja).

V Sloveniji je približek takega načrta Razvojna strategija Slovenije. Vendar menim, da je veliko preveč splošna in premalo usmerjena v trajnostni razvoj. Pravna podlaga zanjo je Uredba o dokumentih razvojnega načrtovanja in postopkih za pripravo predloga državnega proračuna.⁶ Ta Razvojno strategijo določa zgolj kot enega od vladnih dokumentov. Menim, da bi razvojni načrt Slovenije morali **povzdigniti na višjo raven**. V pravni sistem bi ga morali umestiti z zakonom, sprejeti pa bi ga morala (poleg Vlade) tudi Državni zbor in Državni svet. **Zakon bi moral razvojni načrt Slovenije določiti kot temeljni akt razvojnega načrtovanja v državi**. Prvi korak v tej smeri predstavlja Vizija Slovenije 2050 – zasnova celovitega razvojnega načrta Slovenije, ki ga je Vlada RS pripravila v letošnjem letu.⁷

Načrt bi moral jasno določiti, katere so tiste gospodarske dejavnosti, ki jih bomo v Sloveniji spodbujali: to so tiste, s katerimi lahko dolgoročno ustvarjamo gospodarsko rast in zagotovimo zaposlitev večini prebivalcev Slovenije, hkrati pa ohranjamo okolje, čeprav tudi te dejavnosti pomenijo poseganje v okolje. To so »zeleno gospodarske dejavnosti« (»zeleno gospodarstvo«).

² Uradni list RS, št. 67/2002, 110/2002 - ZGO-1, 2/2004 - ZZdrI-A, 10/2004 - odl. US, 41/2004 - ZVO-1, 57/2008, 57/2012, 100/2013, 40/2014, 56/2015 - v nadaljevanju: ZV-1.

³ ZV-1 načrtovanje upravljanja voda ureja v 52.–61. členu.

⁴ 70. a člen Ustave.

⁵ Glej podrobneje v Pličanič, 2014. Trajnostno prostorsko načrtovanje in trajnostni gospodarski razvoj Slovenije – vloga prava in države. Javna Uprava, št. 3-4/2014, str. 141–145.

⁶ Uredba o dokumentih razvojnega načrtovanja in postopkih za pripravo predloga državnega proračuna. Uradni list RS, št. 54/10.

⁷ Vizija Slovenije 2050. Dostopno na: <https://slovenija2050.si/> [16. 8. 2017].



Te dejavnosti in posege v okolje, ki so z njimi povezani, je treba v naslednjem koraku **umestiti v »prostor«**. To pomeni, da je treba določiti območja (zemljišč oziroma parcel), na katerih bo možna gradnja objektov, povezanih z opravljanjem teh dejavnosti. Če gre za zeleno kmetijstvo, pa bo treba določiti območja (zemljišč oziroma parcel), na katerih bo možno opravljati to dejavnost. Pri določitvi omenjenih zemljišč bo treba po eni strani upoštevati potencial, ki ga ponujajo za razvoj omenjenih dejavnosti (torej bo treba predvideti za razvoj teh dejavnosti tista zemljišča, ki so za razvoj teh dejavnosti najbolj optimalna), po drugi strani pa seveda paziti na varstvo okolja.⁸

Razvojni načrt bi moral predstavljati kompromis med omejitvami pri poseganju v okolje, ki so nujne zaradi njegovega varstva, in posegi v okolje, ki so potrebni zaradi gospodarske rasti.

Kompromis med nujnimi omejitvami posegov v okolje in posegi v okolje, ki so potrebni za gospodarsko rast, pa se konkretizira kot *raba zemljišč* (oziroma poseg v zemljišča)⁹, to je kot gradnja objekta (v katerem potem podjetnik začne opravljati gospodarsko dejavnost) ali kot kmetijska dejavnost ali kot odločitev, da na nekem zemljišču ni možna (zaradi varstva okolja) nobena vrsta rabe oz. dejavnost.

»Prostorska umestitev« gospodarskih (in drugih) dejavnosti je v bistvu pravna regulacija. Do prostorske umestitve dejavnosti namreč lahko pride le v pravno reguliranem procesu sprejemanja odločitev glede **rabe zemljišč**, ki ga danes poznamo kot **pravni sistem prostorskega načrtovanja**. Gre za pravni sistem, ki ureja postopek sprejemanja odločitev glede **rabe zemljišč**. V tem postopku se soočijo razvojni interesi (ti se nanašajo na poseganje v/na zemljišča – bodisi **za gradnjo objektov** ali **opravljanje kmetijske dejavnosti**) in varstveni interesi (ti pa se nanašajo na varstvo zemljišč, to je na omejevanje posegov v/na zemljišča, ko je to potrebno zaradi varstva okolja, na primer varstva podzemnih voda, ki se nahajajo pod zemljišči, varstvo zraka, če bi se v zgrajenem objektu opravljal na primer dejavnost proizvodnje električne energije v termoelektrarni itd.).

3. POVEZANOST NAČRTOVANJA TRAJNOSTNEGA RAZVOJA, PROSTORSKEGA NAČRTOVANJA IN NAČRTOVANJA UPRAVLJANJA VODA (IN DRUGIH NARAVNIH VIROV)

Ključnega pomena za uspešno upravljanje voda (in nasploh vseh naravnih virov) je torej ciljno upravljanje, to je upravljanje na podlagi jasnih in konkretno določenih ciljev. Gre

za nov pristop upravljanja države in se nanaša na vse njene pristojnosti. Z vidika uresničevanja trajnostnega razvoja, kar je eden glavnih ciljev EU-ja in s tem tudi Slovenije, pa je še posebej pomembno ciljno vodenje oziroma upravljanje naravnih virov. Na njihovem izkoriščanju namreč temelji gospodarska dejavnost – uresničitev trajnostnega razvoja je zato v veliki meri odvisna od uspešnosti uveljavitve trajnostnega modela upravljanja vseh naravnih virov, tudi voda.

Sistem načrtovanja upravljanja voda (in drugih naravnih virov) ter drugi sistemi načrtovanja (na primer energetike, prometa idr.) bi zato morali biti urejeni in izvajani tako, da bi po eni strani vstopali v omenjeni temeljni načrt trajnostnega razvoja Slovenije – na ravni življenjskega kroga politike (angl. policy-making), po drugi strani pa tudi v sistem prostorskega načrtovanja, kjer gre za pravno regulacijo (angl. law-making).

Načrtovanje upravljanja voda bi moralo predstavljati podlago za sistem prostorskega načrtovanja – po eni strani z vidika različnih omejitev posegov v prostor, ki bi lahko vplivali na vode (»vodnovarstveni interesi«), po drugi strani pa z vidika različnih posegov v prostor, ki so povezani bodisi z urejanjem voda (varstvo pred poplavami idr.) ali rabo voda.

Tudi z opisano povezanostjo imamo v Sloveniji težave tako na normativni ravni kot (še bolj) na dejanski ravni. Veljavna pravna ureditev prostorskega načrtovanja namreč teh povezav ne ureja dovolj jasno, največji problem pa predstavlja premajhna vpetost stroke v prostorsko načrtovanje zlasti na občinski ravni.

4. PRAVICA DO PITNE VODE IN OSKRBA S PITNO VODO, 70. a ČLEN USTAVE

4.1. Izhodišče

70. a člen Ustave odpira številna vprašanja, ki terjajo spremembo veljavne zakonodaje v Republiki Sloveniji. Te bom predstavil po posameznih odstavkih 70. a člena.

70.a člen

(pravica do pitne vode)

- (1) Vsakdo ima pravico do pitne vode.
- (2) Vodni viri so javno dobro v upravljanju države.
- (3) Vodni viri služijo prednostno in trajnostno oskrbi prebivalstva s pitno vodo in z vodo za oskrbo gospodinjstev in v tem delu niso tržno blago.
- (4) Oskrbo prebivalstva s pitno vodo in z vodo za oskrbo gospodinjstev zagotavlja država preko samoupravnih lokalnih skupnosti neposredno in neprofitno.

Uvodoma naj poudarim, da, čeprav so bili nameni zakonodajalca očitno dobri (argument za uvrstitev te materije v Ustavo, to je večja varnost pred spremembami, je sicer demantiral prav zakonodajalec sam s to spremembo, kar pomeni, da lahko vsakokratni sklic Državnega zbora poljubno poseže v Ustavo, kar je nesprejemljivo z vidika »tresoče roke«, s katero naj

⁸ Ko gre za druge, torej »klasične« gospodarske dejavnosti (tiste, ki temeljijo na posegih v okolje), je jasno, da jih v Sloveniji ne bi smeli posebej spodbujati, jih pa moramo omogočiti, če jih je mogoče uokviriti v omejitve, ki jih terja varstvo okolja. Zato je treba tudi te dejavnosti in posege v okolje, ki so z njimi povezani, umestiti v »prostor«. To pomeni, da je treba določiti območja (zemljišč oziroma parcel), na katerih bo možna gradnja objektov, povezanih z opravljanjem teh dejavnosti.

⁹ V bistvu se praktično vsi (večji) posegi v okolje izvajajo v objektih (razen kmetijstva) – ni torej posega v okolje, ne da bi imeli gradnje objekta kot vrste rabe zemljišča (seveda je tudi gradnja objekta na zemljišču vrsta posega v okolje). Vsa večja onesnaževanja okolja in vrsta rabe okolja potekajo iz objektov. Gospodarska dejavnost, s katero lahko tudi zelo onesnažujemo okolje, pa zanjo niso potrebni objekti, je kmetijstvo.



bi spreminjali Ustavo), pa je rezultat slab: določba 70. a člena je v večjem delu nerazumljiva in nomotehnično pomanjkljiva, zato predstavlja korak nazaj in ne naprej k večjemu varstvu naših voda.

Pojdimo po vrsti.

4.2. Pravica do pitne vode

Ni jasno, katera pravica naj bi to bila. Po eni strani gre lahko za pravico do rabe vode za pitje, ki sodi v okvir t. i. splošne rabe vodnega javnega dobra. Vodno javno dobro in njegova splošna raba, do katere ima pravico vsakdo, v katero sodi tudi pitje vode, sta že ustrezno urejena v Zakonu o vodah, zato takšna razlaga pravice do pitne vode iz prvega odstavka 70. a člena ne terja spremembe oziroma dopolnitev Zakona o vodah.

Po drugi strani bi lahko pravico vsakogar do pitne vode razlagali tudi kot pravico vsakogar do vodooskrbne javne storitve (ta je sestavljena iz vode same in storitve dostave vode do objekta). Menim, da tudi takšna razlaga te pravice ne terja spremembe oziroma dopolnitve zakonodaje. Jasno je namreč, da te pravice v tej smeri ni mogoče razlagati drugače, kot da Ustava to pravico zagotavlja vsakomur, vendar **pod pogoji, ki jih določa zakon**. Eden teh pogojev je na primer plačilo za pitno vodo kot vodooskrbno javno storitev (kar pomeni, da ceno pitne vode regulirajo država in občine tako, da je dostopna vsakomur). Vse to slovenska zakonodaja že ustrezno ureja, in sicer Zakon o varstvu okolja in na njegovi podlagi izdani podzakonski predpisi (Uredba o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih javnih služb).¹⁰

Omenjeno nejasnost določbe prvega odstavka 70. a člena Ustave je treba odpraviti z ustrezno spremembo Zakona o vodah (ZV-1), ki bi moral jasno razmejiti med pravico do rabe vode za pitje, ki sodi v okvir t. i. splošne rabe vodnega javnega dobra, in pravico vsakogar do vodooskrbne javne storitve. V zvezi z zadnjo bi moral ZV-1 odkazati podrobnejšo ureditev pogojev zanj v zakonu, ki bo urejal vodooskrbo (v nadaljevanju predlagam, da se to in tudi vsa druga vprašanja lokalnih javnih služb varstva okolja, pa tudi državnih javnih služb varstva okolja uredijo v posebnem zakonu o javnih službah varstva okolja, s katerim bi bilo treba posodobiti celoten sklop lokalnih javnih služb varstva okolja, kamor sodi tudi oskrba s pitno vodo (prav tako pa tudi državne javne službe varstva okolja)): uskladiti ga je treba z evropskim pravom ter hkrati urediti posebnosti teh dejavnosti v razmerju do splošnega (novega) Zakona o go-spodarskih javnih službah.

4.3. Vodni viri so javno dobro v upravljanju države (drugi odstavek 70. a člena Ustave)

Javno dobro so lahko le površinske vode, podzemne vode (ki so glavni vir za pitno vodo) pa ne morejo biti javno dobro. Javno dobro je namreč lahko le stvar (nepremičnina), na kateri imamo vsi pravico do njene splošne rabe – to pa imamo lahko le na vodnih zemljiščih (in vodi na njej) površinskih voda, ker so te dostopne vsakomur. To seveda ne pomeni, da država pod-

zemne vode upravlja drugače ali da so deležne manjšega pravnega varstva, ne morejo pa biti javno dobro.

Zaradi omenjenega je treba z ustrezno spremembo Zakona o vodah (ZV-1), v katerem je že določeno, da so površinske vode naravno vodno javno dobro, z ustreznimi določbami okrepiti pravno varstvo podzemnih voda in s tem pravno varstvo podzemnih voda čim bolj približati pravnemu režimu vodnega javnega dobra in s tem duhu omenjene določbe Ustave.

4.4. Vodni viri služijo prednostno in trajnostno oskrbi prebivalstva s pitno vodo in z vodo za oskrbo gospodinjstev in v tem delu niso tržno blago (tretji odstavek 70. a člena Ustave)

Raba vode za oskrbo prebivalstva s pitno vodo je v Zakonu o vodah (ZV-1) že določena kot raba, ki ima prednost pred drugimi vrstami rabe vode. Besedo »trajnostno« je treba po mojem mnenju razlagati kot usmeritev k racionalnejši rabi vode (v okviru vodooskrbe, pa tudi sicer).

V zvezi s tem delom določbe tretjega odstavka menim, da je treba Zakon o vodah (ZV-1) dopolniti in urediti vprašanje »trajnostne« vodooskrbe.

Določba tretjega odstavka, ki določa, da vodni viri v delu, v katerem so namenjeni vodooskrbi, niso tržno blago, pa je povezano z zadnjim, četrtem odstavkom 72. a člena Ustave in bom zato potrebne zakonodajne spremembe predstavil v okviru sprememb, povezanih s četrtem odstavkom 70. a člena Ustave.

4.5. Vodooskrbo zagotavlja država preko samoupravnih lokalnih skupnosti neposredno in neprofitno

Menim, da je treba določbo četrtega odstavka razlagati takole:

1. Vodooskrba je še vedno v pristojnosti občin, vendar ne več v izvirni, temveč v njihovi preneseni pristojnosti (izvirno je za vodooskrbo pristojna država). Odprto ostaja vprašanje, ali je vodooskrba javna služba ali neposredna naloga države, ki jo ta z Ustavo prenaša na lokalne skupnosti.

V zvezi s temi vprašanji bo treba v zakonu (predlagam, da v posebnem Zakonu o javnih službah varstva okolja) določiti oziroma urediti:

- ali gre pri vodooskrbi za javno službo ali neposredno nalogo države, ki jo ta z Ustavo prenaša na lokalne skupnosti;
- razmerja med državo in občino v zvezi s to preneseno pristojnostjo (financiranje, nadzor idr.).

Menim, da je treba omenjeno določbo Ustave razlagati tako, da je vodooskrba javna služba. Ustava po mojem mnenju dopušča takšno razlago, ki je glede na obstoječe stanje v Sloveniji edina smiselna: vodooskrba se izvaja kot javna služba v glavnem preko javnih podjetij, nekaj je tudi koncesionarjev.

¹⁰ Uradni list RS, št. 87/12 in 109/12.



2. Glede na omenjeno določbo Ustave je jasno, da vodooskrba ni (več) tržna dejavnost (oziroma ne gre za storitve splošnega gospodarskega interesa) v smislu prava EU.

To vprašanje bi moralo biti del že omenjenih zakonodajnih sprememb, povezanih z uskladitvijo sistema javnih služb v Sloveniji z evropskim pravom in s posebnostmi javnih služb varstva okolja.

3. Besedo »neposredno« je treba po mojem mnenju razlagati tako, da lahko občine vodooskrbo zagotavljajo:

- preko režijskega obrata ali
- preko podjetij, v katerih bodo imele prevladujoč vpliv – lastniški, upravljavski ...

Opravljanje vodooskrbe s strani zasebnih izvajalcev (na podlagi koncesije ali drugih oblik javno-zasebnega partnerstva) je izključeno. Navedeni način izvajanja dejavnosti vodooskrbe kot javne službe (neposredno) bi moral biti urejen v že omenjenem posebnem zakonu o (lokalnih in državnih) javnih službah varstva okolja, v katerem bi bilo treba urediti posebnosti teh dejavnosti v razmerju do splošnega Zakona o gospodarskih javnih službah.

4. Določbo Ustave o neprofitnosti opravljanja vodooskrbe pa je treba razlagati tako, da v primeru presežka (profita) z njim ni mogoče (prosto) razpolagati (kot v primeru tržnih dejavnosti), temveč ga je treba uporabiti le za namene, povezane z dejavnostjo vodooskrbe.

Ob tem naj omenim, da neprofitna usmeritev pri opravljanju vodooskrbe že zdaj izhaja iz načina oblikovanja cene storitve javne službe oskrbe s pitno vodo (ki jo določa Uredba o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih gospodarskih javnih služb).

Kljub temu menim, da bi bilo treba v zakonu, v katerem bo urejena dejavnost vodooskrbe (kot že omenjeno, predlagam posebni zakon o javnih službah varstva okolja), jasno določiti, kaj pomeni »neprofitnost«, o kateri govori Ustava v omenjeni določbi.

5. V zakonu bo treba urediti tudi preoblikovanje načinov izvajanja dejavnosti vodooskrbe ter vprašanje posega v pridobljene pravice za vse tiste subjekte, ki to dejavnost opravljajo na podlagi koncesije ter za vsa tista javna podjetja, v katerih občina nima prevladujočega vpliva.

5. Zakon o vodah. Uradni list RS, št. 67/2002, 110/2002 - ZGO-1, 2/2004 - ZZdrI-A, 10/2004 - odl. US, 41/2004 - ZVO-1, 57/2008, 57/2012, 100/2013, 40/2014, 56/2015.

LITERATURA IN VIRI

1. Pličanič, S., Trajnostno prostorsko načrtovanje in trajnostni gospodarski razvoj Slovenije – vloga prava in države. Javna Uprava, št. 3-4/2014, str. 141-145.
2. Služba Vlade Republike Slovenije za razvoj in evropsko kohezijsko politiko, 2017. Vizija Slovenije 2050. Dostopno na: <https://slovenija2050.si/> [16. 8. 2017].
3. Uredba o dokumentih razvojnega načrtovanja in postopkih za pripravo predloga državnega proračuna. Uradni list RS, št. 54/10.
4. Uredba o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih javnih služb. Uradni list RS, št. 87/12 in 109/12.



OMNIS
A WHOLE NEW LEVEL OF PERFORMANCE

ALI SO PODZEMNE VODE RES LE VIR PITNE VODE

dr. BORIS KOLAR¹

Povzetek

Zakonodaja na področju vodne politike in registracije kemijskih snovi podzemne vode ne obravnava kot ekosistem, temveč kot vir pitne vode.

Direktiva o varstvu podzemne vode določa le dve koncentraciji kot mejni vrednosti: za nitrat (50 mg/L) ter za pesticide (0,1 µg/L za aktivne snovi/relevantne metabolite, vsota < 0,5 µg/L). Slednja očitno ne varuje vodnih organizmov, saj so mejne vrednosti za pesticide v površinskih vodah zaradi občutljivosti vodnih organizmov lahko mnogo nižje od koncentracije 0,1 µg/L.

Potreba po zaščiti ekosistemov podzemnih voda je bila prvič prepoznana v registracijskih postopkih veterinarskih zdravil in dodatkov krmi. Obe skupini snovi se z gnojem ali gnojevko odlagata na kmetijskih površinah in se lahko spirata v podzemne vode. V tehničnih navodilih za oceno okoljskih tveganj so kot cilj zaščite predlagani tudi ekosistemi podzemnih voda. Podobno mora veljati tudi pri zaščiti ekosistemov podzemnih voda pred škodljivimi učinki nitrata.

Ključne besede: ekosistemi podzemnih voda, mejna vrednost 0,1 µg/L, ranljivost podzemnih voda, stigofavna

Abstract

The regulation in the frame of water policy and regulative procedures within registration of chemicals, the groundwater is not considered as an ecosystem, but primarily as a source of a drinking water.

Directive on the protection of groundwater is setting two environmental quality standards: for nitrate 50 mg/L and for pesticides 0,1 µg/L (for active substances/relevant metabolite and their sum of < 0,5 µg/L). The latter is obviously not protective for aquatic organisms as environmental quality standards in surface water can be, due to sensitivity of aquatic organisms, significantly lower in comparison with threshold concentrations of 0,1 µg/L.

¹ Dr. BORIS KOLAR univ. dipl. biol., Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Maribor



The need for the groundwater ecosystem protection was identified in regulatory frameworks for registration of veterinary medicinal products and registration of feed additives. Both of these groups of chemicals can be emitted to the agricultural land by applying animal manure and latter washed to the groundwater. In the update of guidance for assessment of environmental risk, the need for the protection of groundwater ecosystems is proposed as well as additional safety factor in assessment of affect of chemicals due to vulnerability of ecosystems.

1. UVOD

Ob emisijah snovi iz komunalnih in industrijskih virov ter izcednih vod iz deponij odpadkov je kmetijstvo z živinorejo pomemben vir novih onesnaževal ter nitrata v podzemnih vodah. Gnoj in gnojevka vsebujeta ob hranilih v obliki dušikovih spojin in fosfatov tudi ostanke veterinarskih zdravil in ostanke dodatkov k živalski krmli. Te snovi lahko nastopajo kot kemijski stresorji, ki lahko imajo dolgodobne učinke na ekosisteme podzemnih voda. Količine gnojil živalskega izvora, ki so sicer še v skladu z nitrarno direktivo (91/676/EGS, 1991), lahko ob nepravilni aplikaciji onesnažijo podzemne vode z nitrati pa tudi s pesticidi, hormonskimi motilci, antibiotiki, težkimi kovinami ali kokcidiostatiki.

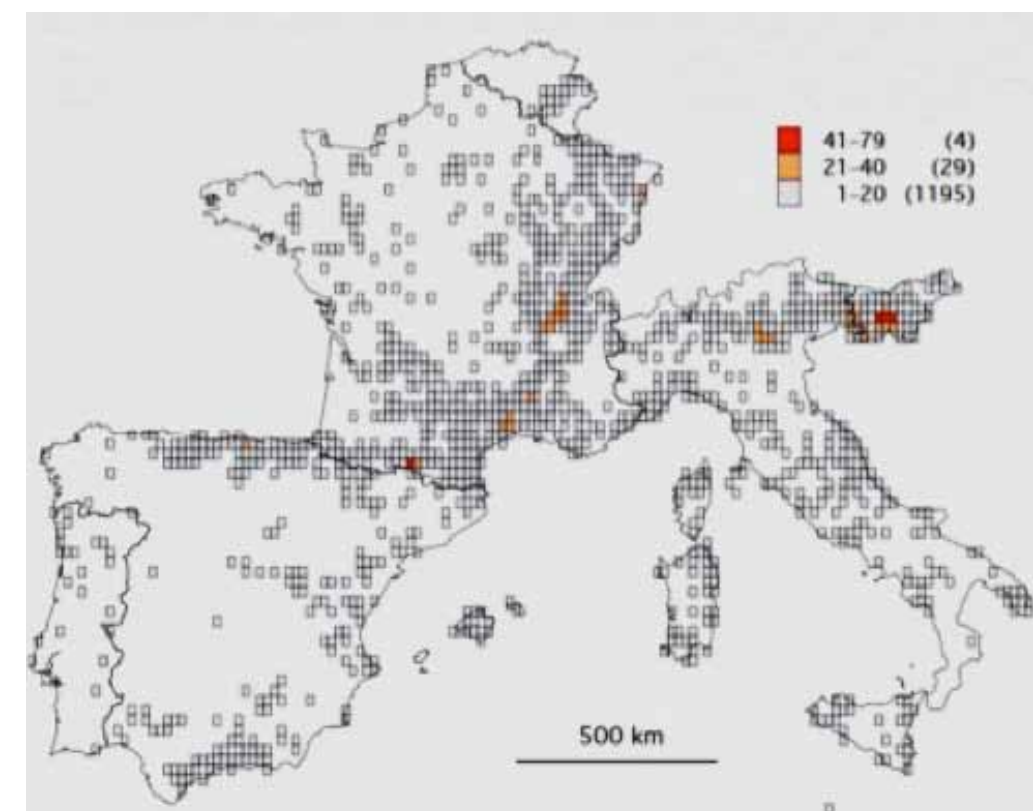
Evropska okoljska zakonodaja na področju vodne politike podobno kot zakonodaja na področju kemijskih snovi ne obravnava podzemnih voda kot ekosistem. V okviru vodne direktive (2000/60/ES, 2000) in hčerinske direktive o varstvu podzemne vode (2006/118/ES, 2006a) je stanje voda treba ugotavljati le na osnovi kemijskih parametrov. V zakonodaji je sicer prepoznana povezava z ekosistemi površinskih voda, na katere podzemne vode naj nimajo negativnega vpliva, sicer pa je podzemna voda obravnavana le kot potencialni vir pitne vode. Direktiva o varstvu podzemne vode v EU-ju določa le dva okoljska standarda kakovosti za ocenjevanje kemijskega stanja podzemne vode, in sicer za nitrat (50 mg/L) ter za pesticide (0,1 µg/L za aktivne snovi, vključno z relevantnimi metaboliti, katerih vsota ne sme presegati koncentracijo 0,5 µg/L).

Zakonodaja na področju registracije biocidov (528/2012/ES, 2012) in fitofarmacevtskih sredstev (91/414/EGS, 1991) sledi vodni direktivi in hčerinski direktivi o varstvu podzemne vode. V okoljski oceni tveganja, ki je del registracijskega postopka, je varna koncentracija za aktivne snovi in relevantne metabolite v podzemni vodi postavljena na mejo 0,1 µg/L.

Vendar pa številni primeri kažejo, da so vodni organizmi občutljivejši za delovanje strupenostnih učinkov, kot je človek, zato zanje arbitrarno postavljena koncentracija 0,1 µg/L ni varna.

V Sloveniji se ne moremo strinjati s predpostavko, da je podzemna voda le vir pitne vode. Kraško podzemlje je biotsko pester in v svetovnem merilu enkraten ekosistem (Stoch, 1995; Camacho, 2003). Slika 1 kaže izjemen položaj Slovenije glede na biotsko pestrost v ekosistemih podzemnih voda. Slovenija se lahko pohvali z največjo biotsko pestrostjo podzemnih voda

na vsem prikazanem območju (Deharveng idr., 2009). Podobno se kažejo podzemne vode aluvialnih nanosov kot življenjski prostor favne z veliko stopnjo endemizma. Tudi problema nitrata v podzemnih vodah ne moremo obravnavati zgolj z vidika učinkov na človekovo zdravje, saj po preliminarnih ocenah še dovoljene koncentracije nitrata ogrožajo obstoječe populacije močerila (*Proteus anguinus*).



Slika 1: Biotska pestrost v nekaterih deželah osrednjega in zahodnega Sredozemlja, na Portugalskem in v Belgiji

Ob dopolnitvah oziroma prenovi tehničnih navodil za okoljsko oceno tveganja za veterinarska zdravila (European Medicines Agency, 2007) in tehničnih navodil za pripravo okoljske ocene tveganja za dodatke živalski hrani (European Food Safety Authority, 2008) strokovni sodelavci predlagamo, da se v primerih avtorizacije zelo strupenih snovi, za katere mejna vrednost 0,1 µg/L ne nudi zadostnega varovanja ekosistemov podzemne vode, določijo varne koncentracije na osnovi ocene okoljskih tveganj z vrednotenjem ekotoksikoloških podatkov. Ob tem predlagamo dodatni varnostni faktor (10) zaradi ranljivosti ekosistemov podzemnih voda. Evropska komisija in nacionalni določevalci pa lahko tako določene varne koncentracije prevedejo v okoljske standarde kakovosti (European Medicines Agency, 2017).

Podobno kot za pesticide bo treba ponovno ovrednotiti mejno vrednost za koncentracijo nitrata v podzemni vodi. Številni pokazatelji namreč kažejo, da je obstoječa mejna vrednost 50 mg/L za stigofavno mnogo previsoka. Glede na preliminarne rezultate je varna koncentracija za močerila 5- do 10-krat nižja, kot je dovoljena mejna vrednost za nitrat v pitni vodi.



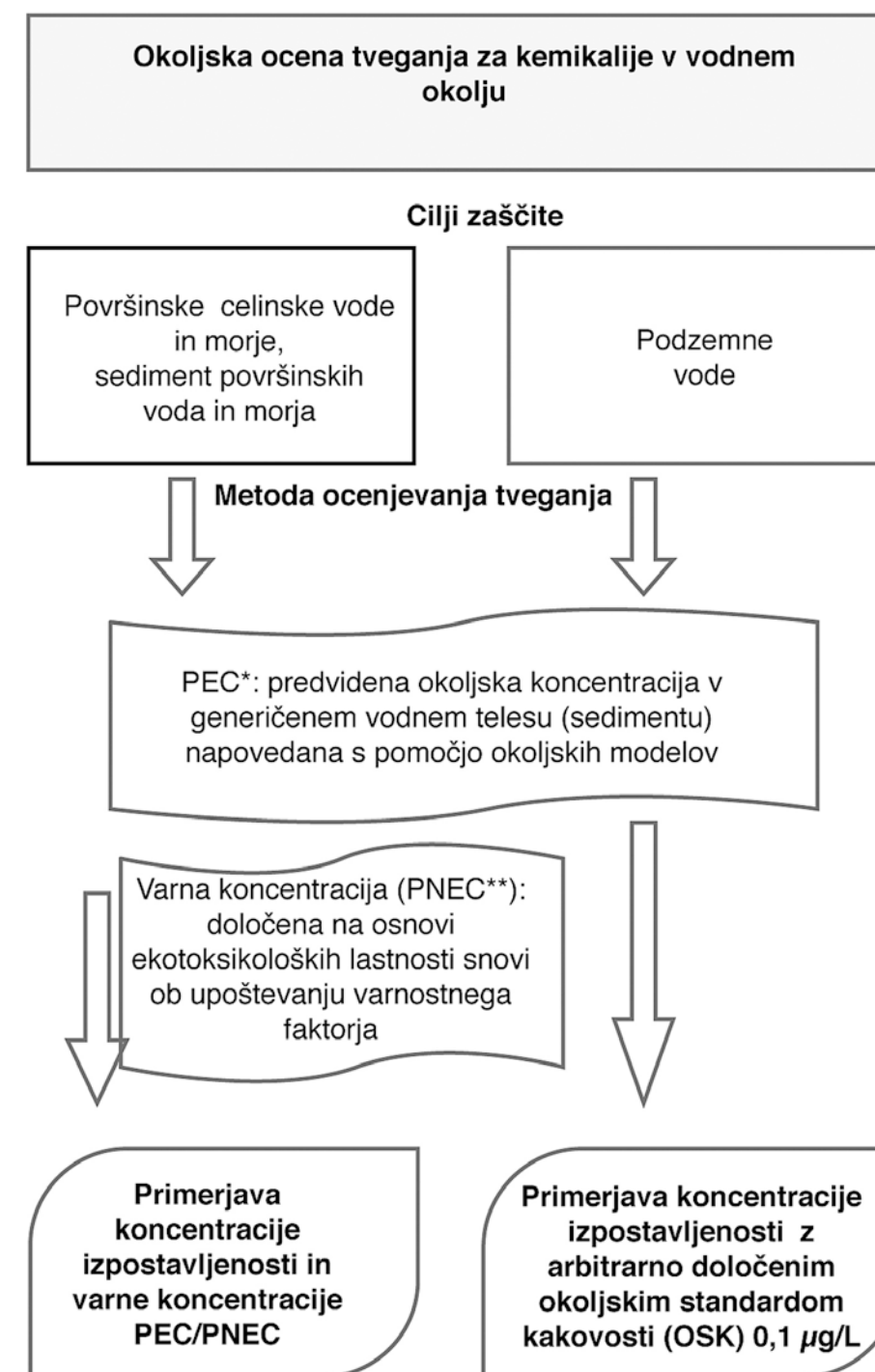
2. REGULATIVNI POSTOPKI

2.1. Okoljska ocena tveganja in okoljski standardi kakovosti za podzemne in površinske vode

Okoljska ocena tveganja temelji na primerjavi koncentracije izpostavljenosti kemijski snovi s koncentracijo njenega učinka na organizem ali združbo. Izpostavljenost je podana kot predvidena okoljska koncentracija (PEC – predicted environmental concentration). Izračun s pomočjo okoljskih modelov temelji na masi emisije snovi, na lastnostih, ki opisujejo usodo in obnašanje snovi v okolju, ter na značilnostih sprejemnega segmenta okolja. Toksični učinek kemijske snovi na strukturo in funkcijo ekosistema se določi z vrednotenjem ekotoksikoloških podatkov ter uporabo ustreznega varnostnega faktorja. Tako dobljena varna koncentracija snovi (PNEC – predicted no effect concentration) je določena za vsak posamezni segment okolja (vodo, tla, sediment). Praviloma je ta tudi osnova za določitev okoljskih standardov kakovosti, ki jih sprejme določevalec (Evropska Komisija, nacionalne odgovorne ustanove).

Mejna vrednost za pesticide v podzemni vodi je arbitrarno izbrana vrednost (nekoč je bila to spodnja meja analitskega določanja), ki ni bila sprejeta na osnovi vrednotenja toksikoloških in ekotoksikoloških podatkov. Pesticidi v koncentraciji, manjši od 0,1 µg/L (ali/in v vsoti, manjši od 0,5 µg/L), naj ne bi imeli negativnih kratkodobnih ali dolgodobnih učinkov na človeka. Ta mejna koncentracijska vrednost pa naj bi bila varna tudi za vodne ekosisteme.

V nasprotju z mejnimi vrednostmi za pesticide v podzemni vodi so vrednosti okoljskih standardov kakovosti za prednostne, prednostne nevarne snovi ter posebna onesnaževala v površinskih vodah določene na osnovi tveganj, ki jih te snovi predstavljajo za vodno okolje. Za izbrane snovi so bili ovrednoteni ekotoksikološki podatki ter določene varne koncentracije za njihove akutne ter dolgodobne učinke. Okoljsko oceno tveganja v vodnem okolju prikazuje slika 2.



* PEC: Predicted Environmental concentration

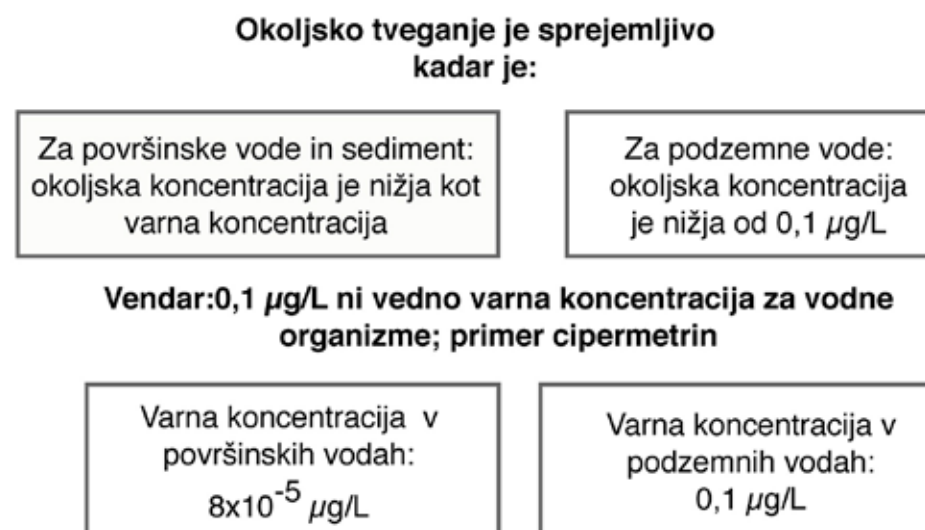
** PNEC: Predicted No Effect Concentration

Slika 2: Primerjava postopka ocene tveganja in določitve varne koncentracije za kemikalije v površinskih vodah, morju in podzemnih vodah

Predpisane dovoljene koncentracije za številne nevarne snovi v površinskih vodah so znatno nižje, kot pa za iste snovi v podzemni vodi, kjer velja enotna mejna vrednost 0,1 µg/L. Tako je na primer okoljski standard za letno povprečje za aktivno snov cipermetrin (v rabi je kot pesticid, biocid, pa tudi kot veterinarsko zdravilo) v površinskih vodah 8×10^{-5} µg/L (Direktiva



2013/39/EU, 2013), kar je za več velikostnih razredov nižje, kot je dovoljena koncentracija v podzemni vodi (slika 3).



Slika 3: Odločanje o sprejemljivosti okoljskih tveganj; okoljski standard kakovosti (OSK) za podzemne vode ne predstavlja vedno varne koncentracije tudi za podzemne vode; primer cipermetrin

Koncentracije, ki so varne za človeka, torej niso nujno varne tudi za vodne ekosisteme. Medtem ko so človek in sesalci (kot testne živali pri določanju varnih koncentracij) le oralno izpostavljeni onesnaževalom v pitni vodi, so vodni organizmi izpostavljeni ves življenjski cikel (od jajčeca do odraslega organizma), ob tem pa so ob oralno izpostavljeni še preko dihal in kože.

3. ZNAČILNOST IN RANLJIVOST EKOSISTEMOV PODZEMNIH VODA

3.1. Reprezentativni ekosistemi podzemnih voda

V registracijskih postopkih za kemijske snovi v EU-ju ni mogoče oceniti okoljskega tveganja za vsa obstoječa, potencialno izpostavljena okolja podzemnih voda, zato sta predlagana dva reprezentativna ekosistema ter ekoton:

- vode plitvega krasa,
- intersticielne vode aluvialnih nanosov ob rekah,
- vode izvirov kot ekoton med podzemnimi in površinskimi vodami.

Kras prekriva približno 25 % ozemlja EU-ja (Hollingsworth, 2006) z reprezentativnimi habitati, kot so kraške jame s podzemnimi kavernami ter razpokami in kanali, napolnjenimi s podzemno vodo. Intersticielne vode aluvialnih ali drugih nanosov ob rekah so v večjem delu EU-ja nezanemarljivi viri pitne vode, ki so praviloma pod vplivom intenzivnega kmetijstva, urbanizacije, infrastrukture in industrije (Di Guardo in Finizio, 2015).

Voda izvirov je ob vodah, ki napajajo površinske vodotoke, obravnavana v kontekstu, ko se podzemna voda prikaže na površju zaradi odkrivanja pokrivnega sloja. Tak primer je voda v gramoznicah oziroma podzemni dotok jezer oziroma rek. V skladu z vodno direktivo mora biti voda izvirov primerne kakovosti, da ne poslabša statusa površinskih voda.

3.2. Značilnost podzemnih voda in stigofavne²

Ekosistemi podzemnih voda so odprti sistemi, skozi katere teče tok snovi in energije. Vir zadnje je v največji meri organski ogljik, ki nastaja na površju. Skupna značilnost ekosistemov podzemnih voda je odsotnost sončne svetlobe in posledično odsotnost fotosintetskih organizmov. Ekosistemi podzemnih voda so alotropni in heterotrofni, saj so praviloma v celoti odvisni od energijskega toka (pretok hranil) s površja (Culver in Pipan, 2009). Medtem ko je za podzemne vode krasi pretok ogljika kot vira energije praviloma omejujoč dejavnik, pa to nujno ne velja za intersticielne vode aluvialnih nanosov. Za vse podzemne ekosisteme lahko tudi ugotovljamo manjšo variabilnost abiotskih dejavnikov (na primer temperature) v primerjavi z ekosistemi površinskih voda. Pretok organskih snovi je odvisen od količine razpoložljivih organskih snovi v epigeičnem ekosistemu, dinamiki pretoka vode in filtracijskih sposobnostih tal.

Stigofavno predstavljajo prvenstveno členonožci (nižji raki), nečlenarji (polži), med vretenčarji pa razen močerila in ribje vrste nima predstavnikov (slika 4). Značilnost stigofavne je fragmentiranost populacij, velika stopnja endemizma, stigofavna slovenskega krasi pa je tudi med najbolj vrstno pestrimi na svetu (Sket, 2005). Fiziološke prilagoditve se kažejo kot odsotnost pigmenta in pogosto oči ter sposobnost preživetja ob pomanjkanju hrane, torej dolgotrajno stradanje, ki mu sledi hitra reaktivacija metabolizma ob občasni ponudbi hrane. Vrste so pogosto dolgožive (povprečna življenjska doba močerila je približno 70 let, pogosto preživijo več kot 100 let), z malim številom potomcev in pozno spolno zrelostjo (močerili so spolno zreli pri 13 do 15 letih) (Voituron idr., 2011).



Slika 4: Rod slepih postranic (*orodo Niphargus*) je v podzemnih vodah zastopan z 200 vrstami, medtem ko vretenčarje kot stalno podzemno vrsto predstavlja močeril (*P. anguinus*) in nedavno odkrita ribja vrsta iz rodu činkelj (Kolar in Finizio, 2017)

² Organizmi začnejo in zaključijo ves življenjski cikel v podzemni vodi.



3.3. Ranljivost ekosistemov podzemnih voda in stigobiontskih vrst

Za varovanje podzemnih ekosistemov ne zadostuje določanje varnih koncentracij kemikalij na osnovi njihove strupenosti, kot to velja za ekosisteme površinskih vodah. Za oceno skupnega negativnega učinka kemijskega stresorja na stigofavno jo je treba ovrednotiti tudi z vidika ekosistemske ranljivosti.

Ranljivost ekosistema ali združbe smo opredelili:

- z izpostavljenostjo ekosistema,
- z občutljivostjo vrst za strupenostne učinke,
- s trdoživostjo združb.

Izpostavljenost ekosistema: podzemne vode so v toplem delu leta hladnejše od površinskih voda. Hladnejše okolje v povezavi z odsotnostjo sončne svetlobe praviloma pomeni počasnejšo biotično in abiotično razgradnjo snovi. Zato je izpostavljenost ekosistema kemijskim stresorjem daljša. Počasnejša biodegradacija je tudi posledica omejene raznovrstnosti, aktivnosti ter velikosti mikrobnih združb v podzemni vodi.

Občutljivost vrst za kemijske stresorje: ekotoksikološki testi na predstavnikih stigofavne so zelo zahtevni, zlasti dolgodobni testi kroničnih učinkov kemikalij. Maloštevilni podatki o občutljivosti vrst za kemikalije kažejo, da je stigofavna za akutne učinke kemikalij podobno občutljiva, kot so površinske vrste. Vendar pa lahko na osnovi raziskav prilagoditev stradanju predvidevamo, da je občutljivost stigofavne na dolgodobne vplive kemijskih stresorjev večja, kot je občutljivost vrst iz ekosistemov površinskih voda (Kolar in Finizio, 2017).

Trdoživost združb: vrste, ki živijo v podzemnih vodah, označujejo nekatere skupne ekološke prilagoditve, ki se pogosto pojavljajo zlasti pri vrstah kraškega podzemlja. Vrste kažejo visoko stopnjo endemizma, dolgoživost in nizko reproduktivno sposobnost. Ob zastrupitvi podzemnih voda s snovmi, kot so pesticidi, veterinarska zdravila ali nitrat, je ponovna naselitev pogosto nemogoča. Medtem ko površinske vode sčasoma ponovno naselijo iste združbe, kot so bile tam pred havarijo, pa je v podzemlju to pogosto nemogoče. Živalske vrste po zastrupitvi pogosto popolnoma izginejo, saj površina pomeni nepremagljivo oviro za rekolonizacijo podzemnih voda (van Beelen, 2007). Posledice ranljivosti ekosistemov podzemnih voda se kažejo v neugodnem konservatorskem statusu stigofavne, saj so številne vrste, vključno z močerilom, na rdečem seznamu ogroženih živalskih vrst (Prelovšek in Hajna, 2011).

4. ZAKLJUČEK

Podzemne vode na območju Evropske unije niso le vir pitne vode, temveč so zelo poseben, biotsko pester in ranljiv ekosistem, ki ga ob odpadnih in slabo očiščenih vodah iz komunalnih virov in industrije ter izcednih vod iz deponij odpadkov ogrožajo tudi emisije iz kmetijstva, zlasti živinoreje. Gnoj in gnojevka nista le vir hranil v obliki nitrata in fosfatov, temveč tudi vir ostankov veterinarskih zdravil in dodatkov živalske krme.

Evropska zakonodaja na področju registracije kemikalij podzemne vode obravnava kot vir pitne vode, ne pa tudi kot ekosistem. V prenovljenih navodilih za okoljsko oceno tveganja za veterinarska zdravila in dodatke k živalski krmi je kot cilj zaščite predlagana tudi podzemna voda kot ekosistem. Podzemne vode plitvega krasa, intersticijske vode aluvialnih nanosov ob rekah ter vode izvirov so reprezentativni ekosistemi, ki jih bo treba v bodoče upoštevati pri okoljski oceni tveganja, potrebni za varno rabo kemikalij, preden le-te pridejo na trg v članicah Evropske unije.

Zaščito ekosistemov podzemnih voda in v njih živeče stigofavne je treba uveljaviti tudi na zakonodajnem področju vodne politike, dobre kmetijske prakse v zvezi z uporabo gnojil živalskega izvora ter zakonodajnem področju registracije in avtorizacije industrijskih kemikalij, biocidov, fitofarmacevtskih sredstev.

LITERATURA IN VIRI

1. Camacho, A. I., 2003. An overview of the distribution of the Parabathynellidae (Crustacea, Syncarida Bathynellacea) on the Iberia Peninsula and Balearic Islands. *Graellsia*, 59(1), 63–78.
2. Culver, D. C., Pipan, T., 2009. *The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*, 273. Dostopno na: http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2Bg5BG_z12AC&pgis=1
3. Deharveng, L., Stoch, F., Gibert, J., Bedos, A., Galassi, D., Zagamajster, M., ... Marmonier, P., 2009. Groundwater biodiversity in Europe. *Freshwater Biology*, 54(4), 709–726. doi:10.1111/j.1365-2427.2008.01972.x
4. Di Guardo, A., Finizio, A., 2015. A client-server software for the identification of groundwater vulnerability to pesticides at regional level. *The Science of the Total Environment*, 530–531, 247–56. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.05.112
5. Direktiva 2006/118/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. decembra 2006 o varstvu podzemne vode pred onesnaževanjem in poslabšanjem. Uradni list Evropske unije, (372), 19–31.
6. Direktiva 2013/39/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. avgusta 2013 o spremembi direktiv 2000/60/ES in 2008/105/ES v zvezi s prednostnimi snovmi na področju vodne politike. Uradni list Evropske unije, 2013, 1–17.
7. Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike, 2000. Uradni list Evropske unije, L327(1), 275–346.
8. Direktiva Sveta o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov (91/676/EGS, 1991). Uradni list Evropske unije, L375/1, 68–77.
9. Direktiva Sveta z dne 15. julija 1991 o dajanju fitofarmacevtskih sredstev v promet (91/414/EGS). Uradni list Evropske unije, 11, 332–367.
10. European Food Safety Authority, 2008. Guidance for the preparation of dossiers for technological additives Prepared by the Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed Adopted on 16 July 2008, 1–21.
11. European Medicines Agency, 2007. The guideline on environmental impact assessment for veterinary medicinal products in support of the VICH guidelines GL6 and GL3.
12. European Medicines Agency, 2017. Guideline on assessing the toxicological risk to human health and groundwater communities from veterinary pharmaceuticals in groundwater, 44(February), 1–11.
13. Hollingsworth, E., 2006. Karst Regions of the World, 1–139.
14. Kolar, B., Finizio, A., 2017. Assessment of environmental risks to groundwater ecosystems related to use of veterinary medicinal products. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 88, 303–309. doi:10.1016/j.yrtph.2017.02.009
15. Prelovšek, M., Hajna, N. Z., 2011. Pressures and Protection of the Underground Karst; Cases from Slovenia and Croatia. Sazu, Z R C.
16. Sket, B., 2005. Diversity in Dinaric Karst. V Culver D.C. (ur.), White W. B. (ur.), *Encyclopedia of Caves* (str. 158–165).



17. Stoch, F., 1995. The ecological and historical determinants of crustacean diversity in groundwaters, or: why are there so many species. *Mémoires de Biospéologie*. Dostopno na: <http://www.faunaitalia.it/fstoch/pdf/Stoch, 1995b.pdf>
18. Uredba (EU) št. 528/2012 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 22. maja 2012 o dostopnosti na trgu in uporabi biocidnih proizvodov. Uradni list Evropske unije, 167, 1–123.
19. Van Beelen, P., 2007. Ecologische risicobeoordeling van grondwater. RIVM rapport 711701055/2007.
20. Voituron, Y., de Fraipont, M., Issartel, J., Guillaume, O., Clobert, J., 2011. Extreme lifespan of the human fish (*Proteus anguinus*): a challenge for ageing mechanisms. *Biology Letters*, 7(1), 105–107. Dostopno na: <http://rsbl.royalsocietypublishing.org/content/7/1/105.abstract>

POMEN RASTLIN ZA KROŽENJE VODE NA KOPNEM

prof. dr. ALENKA GABERŠČIK¹

Povzetek

Rastline imajo pomembno vlogo pri kroženju vode. Vodo sprejemajo skozi korenine in jo v procesu transpiracije sproščajo skozi listne reže. Oddana voda vpliva na klimatske razmere v krajini. Če je vode dovolj, je prehajanje vode skozi rastlino neprekinjeno. Kadar vode primanjkuje, rastline delno ali popolnoma zaprejo listne reže in tako uravnavajo oddajanje. Količina vode, ki prehaja skozi rastlino, je odvisna od dostopnosti vode in prilagoditve rastlin. Rastline vplivajo na kroženje vode tudi posredno, s tem da ugodno vplivajo na kakovost in količino tal, znižujejo lokalne temperature ter prestrezajo padavine in zmanjšujejo odtekanje vode in njen fizični vpliv na tla. Odstranjevanje rastlinstva povzroči zmanjšanje količine vode na območju. Pomemben dejavnik, ki vpliva na zadrževalno sposobnost vode v krajini, je tudi sestava tal. Danes so tla zaradi intenzivne obdelave večinoma spremenjena. Zmanjšani delež organskih snovi in spremenjena tekstura tal se odražata v povečanem odtekanju vode iz krajine.

Ključne besede: klima, rastline, tla, transpiracija, vodni krog

Abstract

Plants are an important element of water cycle. They take up water through roots and release it through stomata in the process of transpiration. The water released affects climatic conditions in the landscape. Sufficient amount of water assures undisturbed water flow through the plant. During water shortage, plants partially or completely close stomata and thus reduce transpiration. The amount of water passing through the plant depends on water availability and plant's adaptations. Plants also affect water cycle indirectly by lowering local temperatures, by their contribution to soil quality and quantity, and by intercepting precipitation and thereby reducing runoff and physical effect on soil. Vegetation removal therefore reduces the amount of water in the region. Another important factor that also affects water retention capacity of the landscape is soil quality. Nowadays, due to intensive agriculture, the majority of soils are degraded. Reduced organic matter content and altered soil texture increases water drainage from the landscape.

¹ Prof. dr. Alenka Gaberščik, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo



1. UVOD

Zemlja se od drugih planetov našega osončja razlikuje po veliki količini vode. Voda je vir življenja, zato lahko rečemo, da naš odnos do vode odraža naš odnos do življenja. Zadostna količina in dobra kakovost vode pomenita obilje, pomanjkanje in obremenjenost vode pa ogrožata življenje. Zavedanje o pomenu kakovostne vode v človeku obstaja že od nekdaj. Hvalospeve vodi najdemo v svetih knjigah. Za antične filozofe je bila voda princip in osnovni element. Vodo opevajo pesniki in o njej pišejo pisatelji (Haslam, 1991). In čeprav ista dragocena voda teče iz pip v naših stanovanjih, ji ne izkazujemo spoštovanja, ki si ga zasluži.

Kroženje vode, ki ga poganja sončna energija, omogoča stalno dostopnost vode. Stalna dostopnost je nujno potrebna, saj voda predstavlja osnovni vir za organizme in zagotavlja hrano. Voda omogoča rast rastlin; ne samo zato, ker je gradnik vsega živega, ampak tudi zato, ker je nujni del v procesu fotosinteze, v katerem nastaja večina organskih snovi na našem planetu. Kroženje vode obenem skupaj s sončevim sevanjem ustvarja klimatske razmere, ugodne za življenje. Pomemben del kroženja vode na kopnem so tudi rastline, ki s svojo dejavnostjo blažijo skrajnosti toplotnih razmer in količine vode v krajini.

2. FIZIKALNA IZHODIŠČA KROŽENJA VODE

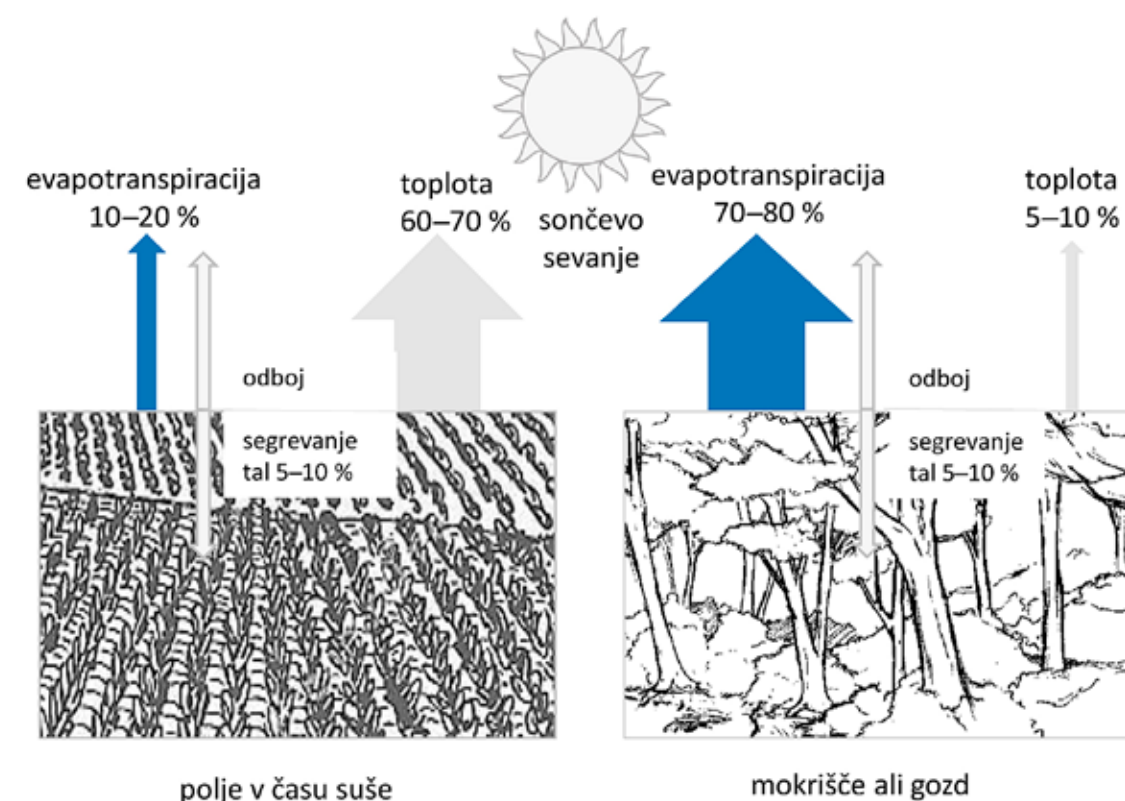
Za razumevanje vloge rastlin pri kroženju vode so pomembne nekatere fizikalne lastnosti vode. Voda ima visoko toplotno zmogljivost. Lahko veže in sprošča, prenese, odbije ali razprši energijo in na ta način hladi ali pa segreva naš planet. Ta lastnost ji daje pomembno vlogo pri uravnavanju dnevnih in sezonskih sprememb temperature ter blaženju vremenskih skrajnosti. Vodna para je najbolj zastopan toplogredni plin v ozračju, katerega koncentracije so med 1 in 4 %. Ob izhlapevanju vode v ozračje vodne molekule absorbirajo toploto in s tem hladijo Zemljino površje, ob utekočinjanju pa se toplotna energija sprosti in ozračje ogreje (Kravčik idr., 2008). V primeru pomanjkanja vode v ozračju in v tleh na določenem območju se zato lahko pojavijo visoke temperature in velika temperaturna nihanja. Količina vodne pare v ozračju je v ravnovesju s tekočo vodo na Zemlji. To ravnovesje je odvisno od temperature. Glede na Clasius-Claypertonoovo enačbo se količina vodne pare v ozračju podvoji, če se temperatura poveča za 10 °C (Raval in Ramanathan, 1989). Višje temperature pomenijo nižjo relativno vlago v ozračju. Večanje razlike med vodnim potencialom tal in ozračja povzroči izsuševanje kopnine in njeno nadaljnje segrevanje (Gorshkov idr., 2004). Pomembno vlogo pri uravnavanju toplote imajo tudi oblaki, saj odbijajo del kratkovalovnega sevanja. Obenem zadržijo del odbitega dolgovalovnega sevanja, ki bi sicer šlo v vesolje, in ustvarjajo učinek tople grede.

Voda se pojavlja v treh agregatnih stanjih, kar omogoča kroženje vode, ki je najobsežnejši masni pretok na našem planetu. Voda iz oceanov izhlapeva v ozračje, kjer se obori in vrne na Zemljo v obliki dežja ali snega. Od tam spet izhlapeva, pronica v tla, ali pa odteka po površini in se končno spet znajde v oceanih. Iz oceanov izhlapi 84 % vse padavinske vode, s kopnega pa 16 %. Od tega nad oceani pade 75 % padavin, nad kopnino pa 25 %. Razlika v padavinah odteka v morje z vodotoki. Za življenje na kopnem je zelo pomembno, koliko časa in koliko vode ostaja na celinah ter koliko jo s kopnine izhlapeva neposredno v ozračje. Na območju obsežnih gozdov in mokrišč se večina Sončeve energije porabi za evapotranspiracijo, medtem

ko se na kmetijskih površinah, kjer vode primanjkuje, večina energije sprosti kot toplota (slika 1). To se odraža v nižji relativni vlažnosti zraka in višjih temperaturah, kar negativno vpliva na rast rastlin in ostalo biocenozo. V zimskem času je na hladnejših območjih pomembno kopičenje vode v obliki snega, ki pomeni zaščito za rastline in talne organizme ter omogoča bujno rast rastlinam v spomladanskem času, ko se sneg tali.

Za premeščanje vode v tleh in po rastlinah so pomembne tudi adhezija, kohezija in kapilarnost. Kapilarnost je odvisna od zgradbe in teksture tal in omogoča dvigovanje vode po prostorskih velikosti 10–60 µm (Larcher, 2001). Tla, podvržena intenzivnemu kmetijstvu, imajo navadno manjšo zmogljivost za zadrževanje vode.

Izhlapevanje vode omogoča spremembo kakovosti vode, saj primesi in raztopljene snovi ne izhlapijo. Izhlapijo le molekule vode in s tem se voda očisti. Ker kemijsko čista voda ni ustrezna za organizme, je pomembno pretakanje vode po površju in njeno pronicanje v tla.



Slika 1: Energijska bilanca dveh različnih tipov krajin

Vir: Povzeto po Kravčik idr., 2008.

Voda spet pride na površino v izvirih ali pa se zbira kot podtalnica v tleh. Na tej poti se obogati z minerali, ki so potrebni za življenje. Na območjih, kjer sta človekova dejavnost in vnos tujih snovi v okolje povečana, se kakovost vode lahko poslabša. Nemalokrat se kakovost spremeni že v ozračju, saj voda spira in raztaplja snovi, ki se tam pojavljajo.

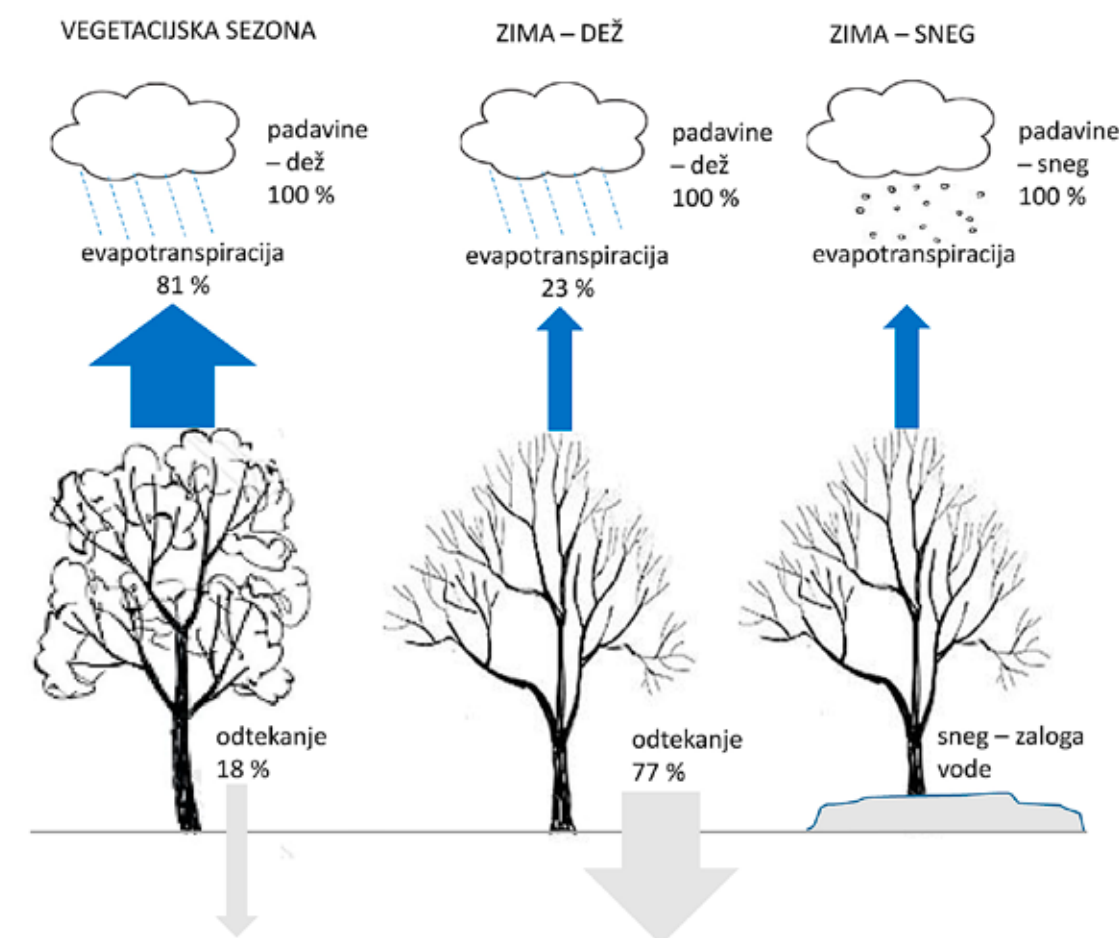


3. KROŽENJE VODE IN RASTLINE

Voda se vrača v ozračje v procesu izhlapevanja (evaporacije). V primeru krajine za izhlapevanje uporabljamo izraz evapotranspiracija, ki je skupen izraz za evaporacijo in transpiracijo. Dejanska evapotranspiracija je količina vode, ki se pretvori v vodno paro in izhlapi iz ekosistema (iz različnih vlažnih in odprtih vodnih površin (evaporacija) in iz rastlin v procesu transpiracije). Ta količina vode je enaka količini vode, ki prihaja v ekosistem zaradi padavin, skupaj s tisto, ki zapusti sistem s pronicanjem v tla in odtekanjem po površini. Neposredno je odvisna od strukture in funkcije ekosistemov, predvsem od rastlinske biomase in lastnosti tal (Schlesinger idr., 1990). Transpiracija pa je tisti del vode, ki prehaja iz rastlin v ozračje skozi listne reže (stomatna transpiracija), skozi kutikulo (kutikularna transpiracija) in skozi periderm (peridermalna transpiracija). Raziskave v različnih ekosistemih so pokazale pozitivno razmerje med biomaso rastlin in transpiracijo, čeprav se zaradi specifičnih prilagoditev raven transpiracije razlikuje med vrstami in ekološkimi skupinami rastlin (Larcher, 2001). Pri nekaterih vrstah so prilagoditve rastlin vgrajene (stalne), pri drugih pa so posledica visoke fenotipske plastičnosti, ki omogoča prilagajanje rastočih rastlin in razvijajočih se rastlinskih tkiv trenutnim okoljskim razmeram (Schulze idr., 2005).

Rastline predstavljajo večino kopenske biomase in pomembno vplivajo na kroženje vode in podnebje. Po drugi strani pa temperature in razpoložljivost vode določajo njihovo razširjenost. Čeprav rastline vsebujejo od 80 do 95 % vode, je v rastlinah in ostalih organizmih shranjen neznaten delež svetovnih zalog vode (le približno 0,00004 %). Voda v rastlinah je pomembna za obstoj in delovanje rastlin ter za organizme, ki se hranijo z njimi. Za ustvarjanje ugodnih okoljskih razmer pa je ključen delež vode, ki prehaja skozi rastline. Rastline vodo sprejemajo skozi korenine in jo sproščajo v procesu transpiracije skozi listne reže. Gonilna sila tega procesa je razlika med vodnim potencialom tal, rastlin in ozračja (Schulze idr., 2005). Sproščanje vode v tem procesu je lahko izjemno veliko. Na primer, drevo sprosti od nekaj litrov do nekaj sto litrov vode na dan, odvisno od vrste in velikosti rastline ter okoljskih razmer (Larcher, 2001). Rezultat transpiracije je hlajenje rastlin ter nižanje lokalnih temperatur in povečanje relativne vlažnosti zraka, kar ugodno vpliva na lokalno klimo. Količina vode, ki izhlapi skozi listne reže, je precej višja od tiste, ki izhlapi skozi druge strukture (npr. periderm, kutikulo), zato imajo listne reže ključno vlogo pri uravnavanju izhlapevanja vode iz kopenskih rastlin (Buckley, 2005). Rastline oddajanje vode dejavno nadzorujejo; ob zadostni količini vode je njeno prehajanje skozi rastlino neprekinjeno, ob primanjkljaju vode pa rastline z vodo varčujejo na ta način, da delno ali popolnoma zaprejo listne reže. Pomen rastlin za sproščanje vode je odvisen od celovitosti rastlinstva in je na različnih območjih različen. Na primer, padavine v Kaliforniji so v glavnem odvisne od vode, ki izhlapi iz Pacifika, medtem ko je tudi do 50 % padavin v Amazoniji posledica prisotnosti tropskih gozdov (Gurevitch idr., 2002). Raziskave so pokazale, da odstranjevanje rastlin povzroči zmanjšanje količine padavin in pregrevanje območja. Na polsušnih in sušnih območjih razvrednotenje ekosistemov in odstranitev vegetacije povzročata prerazporeditev padavin, izgubo finih delcev tal in zmanjšano produktivnost ter vodita v širjenje puščav (Schlesinger idr., 1990). Primerjava povodij z različno rabo tal razkriva blažilno vlogo vegetacije pri spremembah pretokov vodotokov v povodjih z večjim odstotkom gozdnih površin ter postopnejše zmanjševanje pretokov vodotokov v sušnem obdobju v povodjih z visokim deležem mokrišč (Roa-Garcia idr., 2011). Daljše in ponavljajoče se pomanj-

kanje vode ima tudi negativni učinek na lokalno vegetacijo. Na območju Sredozemlja opažajo spremembe v prevladujoči vegetaciji zaradi vse pogostejših suš (Anav in Marotti, 2011).



Slika 2: Sezonske spremembe evapotranspiracije in odtekanja vode v zmernem listopadnem gozdu

Vir: Povzeto po Larcher, 2001.

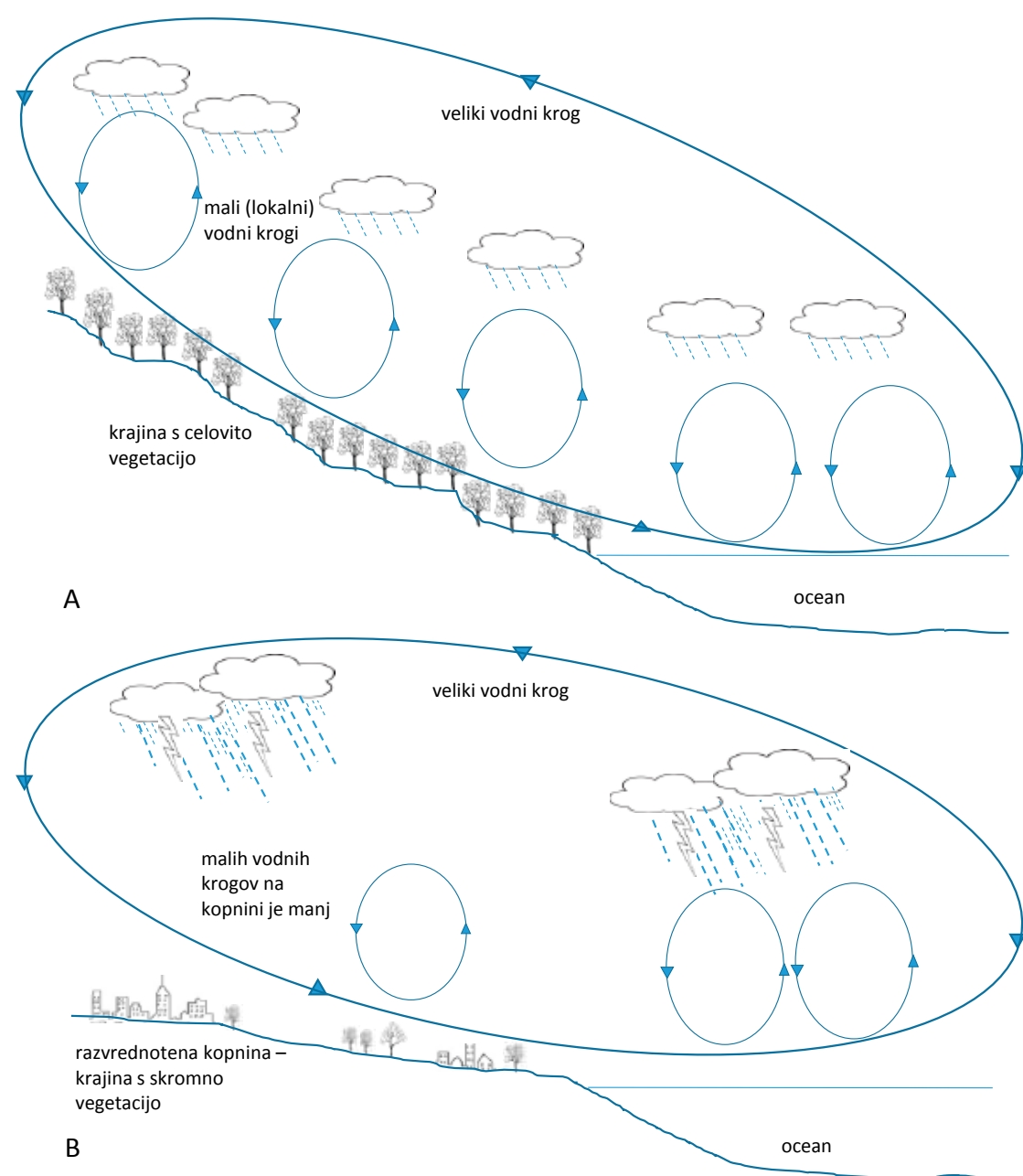
Rastline vplivajo na kroženje vode tudi posredno, tako da prestrezajo padavine in na ta način zmanjšujejo njihov neposredni mehanski vpliv na tla (spiranje in odnašanje tal) ter zmanjšujejo tveganje za poplave. Če rastlinsko odejo odstranimo, se spiranje in odnašanje tal močno povečata predvsem v hribovitih območjih. Zaradi tega se prožijo zemeljski plazovi in nastajajo poplave, kar še dodatno negativno vpliva na naravo.

Pomemben dejavnik, ki prav tako vpliva na zadrževalno sposobnost vode v krajini, je sestava tal. Zmogljivost tal za vodo (ali tako imenovana poljska kapaciteta) se spreminja glede na tip tal (Larcher, 2001). Drobnozrnata tla, tla z veliko vsebnostjo koloidov in tla, bogata z organskimi snovmi, zadržijo veliko vode, medtem ko iz grobih tal z malo organskimi snovmi voda hitro odteče. Za rastline so tla z veliko zadrževalno sposobnostjo ključnega pomena, saj jim olajšajo preživetje suše. Danes so tla zaradi intenzivne obdelave večinoma že zelo spremenjena. Največje težave vseh obdelovalnih površin so zmanjšanje deleža organskih snovi in spremenjena zgradba in tekstura tal. Površinsko odtekanje vode povečuje tudi zbijanje in



skorjavost tal, kar je posledica delovanja težke mehanizacije na kmetijskih površinah. Duran in Pleguezuelo (2008) sta povzela rezultate različnih raziskovalcev in pokazala, da je odtekanje vode pri 60-% pokritosti tal z rastlinami od 1–65 %, pri 100-% pa od 0–37 %.

Kroženje vode na našem planetu je odvisno od vodnih tokov v oceanih, od celinskih vodnih teles ter od zgradbe in delovanja kopenskih ekosistemov, vključno s prevladujočimi rastlinskimi vrstami in značilnostmi tal. Globalno kroženje vode je sestavljeno iz malih in velikih vodnih krogov (slika 3). Veliki vodni krog predstavlja izmenjavo vode med oceani in kopnim (Kravčik idr., 2008).



Slika 3: Kroženje vode v celoviti (A) in razvrednoteni krajini (B)

Vir: Povzeto po Kravčik idr., 2008.

V uravnoteženih razmerah naj bi bila količina po kopnem odtekle vode enaka količini padavin, ki so nastale zaradi izhlapevanja oceanske vode. Takšno kroženje bi bilo popolno in brez izgub. Neugoden vpliv človeka na zadrževalno sposobnost krajine za vodo povzroča odtekanje vode po najkrajši možni poti v reke in nato v morja, zaradi česar je odtekanje vode s kontinentov večje od količine padavin, nastalih z izhlapevanjem oceanske vode. Posledično se kopno izsušuje, raven podtalnice pa se niža. Mali vodni krog je lokalno kroženje vode, ki poteka tako na kopnem kot tudi na območju oceanov. V malem vodnem krogu se z določenega območja izhlapela voda v obliki padavin tja tudi vrne. Na kopnem je lokalno kroženje vode odvisno od celovitosti vegetacijske odeje ter prisotnosti vodnih površin v krajini (Kravčik idr., 2008). V krajini s celovito rastlinsko odejo in s številnimi vodnimi telesi se padavinska voda v veliki meri vrača na območje svojega izhlapevanja, kar zagotavlja zadostno količino zmernih padavin in ugodne temperature. Najvplivnejši ekosistemi so gozdovi, ki uravnavajo 1/3 vodotokov našega planeta (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), ter mokrišča z neprekinjeno dostopnostjo vode za rastline. Tropski gozdovi so še posebej učinkoviti; pokrivajo le 6 % površine planeta, vendar prejmejo skoraj polovico svetovnih padavin. V razvrednoteni krajini z revno vegetacijo in redkimi vodnimi telesi se padavinska voda zadržuje manj časa in hitro odteče oziroma izhlapi, kar se odraža v pomanjkanju padavin in ekstremnih razmerah, kot so nevihte s poplavi ter pogosta suša in visoke temperature.

Poleg privzemanja in sproščanja vode imajo rastline tudi druge neposredne in posredne vplive na vodni krog. Delujejo kot fizična past za padavine (dež, sneg), kar je še posebej pomembno ob lahkih in zmernih padavinah, ter omogočajo premeščanje vode po rizosferi. Posredno pa rastline vplivajo na kroženje vode s spreminjanjem energijskega ravnovesja (s spreminjanjem albeda in pretvorbo toplote v latentno toploto), s sproščanjem različnih snovi, ki služijo kot kondenzacijska jedra za padavine, kot so terpeni in metil halogenidi, ter z vplivom na kakovost tal (udeležnost pri nastajanju tal, vpliv na kakovost in utrjevanje tal).

Vodni režim v krajini lahko spremenijo tudi invazivne vrste. Takahashi in sodelavci (2011) so primerjali domorodne gozdove z vrsto *Metrosideros polymorpha* in gozdove z invazivno vrsto *Psidium cattleianum* v nacionalnem parku na Havajih ter ugotovili, da je bila zmogljivost zadrževanja vode naravnega dela gozda dvakrat večja v primerjavi z deli gozda, kjer se je pojavljala invazivna vrsta.

4. ZAKLJUČEK

Zemlja je biogeni sistem, kjer pretok energije in kroženje snovi potekata skozi prehranjevalne mreže organizmov. S tem organizmi vplivajo na vse sfere našega planeta: ozračje, vodo, tla in biosfero. Spremembe v eni sferi vplivajo na druge, kar se je izkazalo tudi pri medsebojnem vplivu kroženja vode in lastnosti krajine ter posledično spreminjanju padavinskega režima. Ker vsaj delno poznamo medsebojne vplive, lahko današnje razmere nekoliko ublažimo. Ključni ukrep je krepitev lokalnega kroženja vode in povečanje zmogljivosti krajine za zadrževanje vode. To nam omogočajo povečanje deleža gozda in mokrišč v krajini, izboljšanje zgradbe in delovanja vodotokov, gradnja mokrišč za čiščenje odpadnih voda, spreminjanje kmetijskih praks v smeri povečanja deleža organskih snovi v tleh ter zmanjšanje obsega tlakovanih povr-



šin in povečevanje zelenih površin v mestih, vključno s parki in zelenimi strehami. Vsi ti ukrepi bi hkrati ugodno vplivali tudi na kroženje ogljika in blažili učinek tople grede.

LITERATURA IN VIRI

1. Anav, A., Mariotti, A., Sensitivity of natural vegetation to climate change in the Euro-Mediterranean area. *Climate Research*, 2011, 46, 3, 277–292.
2. Buckley, T. N., The control of stomata by water balance. *New Phytologist*, 2005, 168, 2, 275–291.
3. Duran, Z. H. V., Pleguezuelo, C. R. R., Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomic Sustainable Development*, 2008, 28, 65–86.
4. Gorshkov, V. G., Makarieva, A. M., Gorshkov, V. V., Revising the fundamentals of ecological knowledge: the biota-environment interaction. *Ecological Complexity*, 2004, 1, 17–36.
5. Gurevitch, J., Scheiner, S. M., Fox, G., 2002. *The Ecology of Plants*. Sinauer Associates.
6. Haslam, S. M., 1991. *The Historic River. Rivers and culture down the ages* Cobden of Cambridge Press, Cambridge, England.
7. Kravčík, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kováč, M., Tóth, E., 2008. *Water for the Recovery of the Climate - A New Water Paradigm*. Krupa Print, Žilina.
8. Larcher, W., 2001. *Physiological Plant Ecology*, 4th edition. Springer Verlag, pp 232–295.
9. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.
10. Raval, A., Ramanathan, V., Observational determination of the greenhouse-effect. *Nature*, 1989, 342, 6251, 758–761.
11. Schlesinger, W. H., Reynolds, J. G., Cuninghame, G. L., Huenneke, W. M., Jarrell, W. M., Virginia, R. A., Withford, W. G., Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 1990, 247, 1043–1048.
12. Schulze, E. D., Beck, E., Müller-Hohenstein, K., 2005. *Plant Ecology*. Springer, Heidelberg.
13. Takahashi, M., Giambelluca, T. W., Mudd, R. G., Delay, J. K., Nullet, M. A., Asner, G. P., Rainfall partitioning and cloud water interception in native forest and invaded forest in Hawai'i Volcanoes National Park. *Hydrological processes*, 2011, 25, 3, 448–464.

POJAVNOST, KROŽENJE IN UČINKI PROTIRAKAVIH ZDRAVIL V VODNEM OKOLJU

**dr. MARJETA ČESEN¹, doc. dr. TINA KOSJEK², prof. dr. BORIS KOMPARE³,
doc. dr. TINA ELERŠEK⁴, MATJAŽ NOVAK⁵, doc. dr. BOJANA ŽEGURA⁶,
prof. dr. METKA FILIPIČ⁷, doc. dr. FRANCESCO BUSETTI⁸,
prof. dr. ESTER HEATH⁹**

Povzetek

Preverjali smo pojavnost citostatikov ciklofosfamida (CP), ifosfamida (IF) in transformacijskih produktov (TP) ketociklofosfamida (keto-CP), N-dekloroetilciklofosfamida (N-decl-CP) in karboksiciklofosfamida (karboksi-CP) v slovenskih odpadnih vodah (OV). CP smo zaznali v bolnišnični OV (14–22000 ng/L), v vtoku v čistilno napravo (ČN; 19–27 ng/L) in iztoku iz ČN (17 ng/L), medtem ko smo IF določili samo v bolnišnični OV (48–6800 ng/L). Koncentracije karboksi-CP, N-decl-CP in keto-CP so znašale 213–13202 ng/L, 60–2099 ng/L in <LOD–178 ng/L v bolnišnični OV. Na ČN so bile koncentracije TP-jev <LOD. Proučevali smo tudi biološko in abiotsko odstranitev CP-jev in IF-ja. Najvišja odstranitev (99 % za CP-je in 94 % za IF) je bila dosežena z UV/O₃/H₂O₂. Med UV-obsevanjem smo identificirali TP-je (CP: N-decl-CP, keto-CP, imino-fosamid, CP-TP138a, CP-138b; IF: N-dechloroethyl-ifosamid, keto-ifosamid, imino-ifosamid, IF-TP138). Karboksi-CP je izkazal inhibicijo rasti *Synecococcus leopoliensis* (EC₅₀ = 17,1 mg/L). Genotoksičnost smo potrdili za CP, karboksi-CP in zmes (z metabolno aktivacijo +S9) in za karboksi-CP (brez -S9).

Ključne besede: abiotsko čiščenje, biološko čiščenje, citostatik, ekotoksičnost, genotoksičnost, metaboliti, odpadne vode, pojavnost, transformacijski produkt

- 1 Dr. Marjeta Česen, asistent z doktoratom, Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
- 2 Doc. dr. Tina Kosjek, znanstvena sodelavka, Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
- 3 Prof. dr. Boris Kompare, profesor, Oddelek za okoljsko gradbeništvo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
- 4 Doc. dr. Tina Eleršek, znanstvena sodelavka, Oddelek za genetsko toksikologijo in biologija raka, Nacionalni inštitut za biologijo
- 5 Matjaž Novak, doktorski študent, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Oddelek za genetsko toksikologijo in biologija raka, Nacionalni inštitut za biologijo
- 6 Doc. dr. Bojana Žegura, znanstvena sodelavka, Oddelek za genetsko toksikologijo in biologija raka, Nacionalni inštitut za biologijo
- 7 Prof. dr. Metka Filipič, profesor, Oddelek za genetsko toksikologijo in biologija raka, Nacionalni inštitut za biologijo
- 8 Doc. dr. Francesco Buseti, znanstveni sodelavec, Curtin University, Curtin Water Quality Research Centre (CWQRC)
- 9 Prof. dr. Ester Heath, profesor, Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana



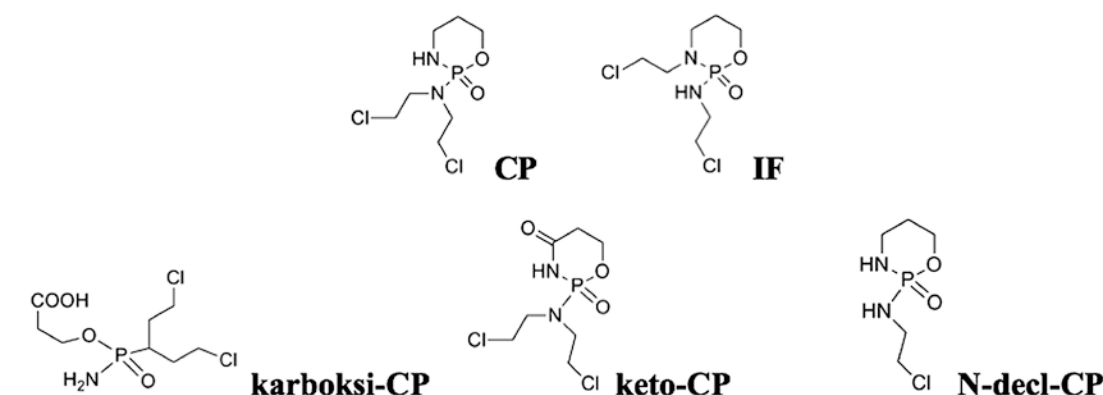
Abstract

The occurrence of cytostatics cyclophosphamide (CP), ifosfamide (IF) and transformation products (TPs) ketocyclophosphamide (keto-CP), N-dechloroethylcyclophosphamide (N-decl-CP) and carboxy-cyclophosphamide (carboxy-CP) in Slovene wastewaters (WWs) was studied. CP was detected in hospital WWs (14-22,000 ng/L), wastewater treatment plant (WWTP) influent (19-27 ng/L) and effluent (17 ng/L). IF was detected in hospital WW (48-6,800 ng/L). Carboxy-CP, N-decl-CP and keto-CP concentrations were 213-13,202 ng/L, 60-2,099 ng/L and <LOD-178 ng/L in hospital WW, respectively. At WWTPs they were <LODs. The biological and abiotic removal of CP and IF was also studied. The highest removal (99 % for CP and 94 % for IF) was achieved by UV/O₃/H₂O₂. The formation of TPs (CP: N-decl-CP, keto-CP, imino-phosphamide, CP-TP138a, CP-138b; IF: N-dechloroethyl-ifosfamide, keto-ifosfamide, imino-ifosfamide, IF-TP138) was confirmed during UV-irradiation. Growth inhibition of *Synecococcus leopoliensis* was observed for carboxy-CP (EC₅₀=17.1 mg/L). CP, carboxy-CP and mixture were genotoxic (with metabolic activation +S9) and carboxy-CP was genotoxic also without -S9.

1. UVOD

Povečanje incidence raka je povezano z naraščajočo porabo zdravilnih učinkovin (ZU) za zdravljenje raka, ki se izločajo iz telesa predvsem z urinom kot zmesi starševskih spojin in njihovih metabolitov. Tovrstne mešanice se odplaknejo v kanalizacijsko omrežje in preko iztokov iz čistilne naprave (ČN) lahko pridejo v površinske vode. Med številnimi registriranimi zdravilnimi učinkovinami za zdravljenje raka sta dva izmed najstarejših predstavnikov ciklofosfamid (CP) in ifosfamid (IF) še vedno pogosto predpisana, kljub poznanim neželenim učinkom. Koncentracije CP in IF v bolnišničnih odpadnih vodah (OV), OV iz ČN ter površinskih vodah se gibljejo v območju ng/L do µg/L, njihovi aktivni metaboliti in transformacijski produkti (TP) pa ostajajo v veliki meri neproučeni, predvsem zaradi zahtevnosti problematike in nizkih koncentracij (Kosjek in Heath, 2011). Za zniževanje prisotnosti ostankov CP-jev in IF-ja v OV in posledično površinskih vodah je pomemben razvoj novih tehnologij čiščenja OV. Poleg tega je tudi poznavanje njihovih razgradnih poti izrednega pomena, saj so lahko TP-ji, ki se tvorijo v času določenega čiščenja OV, še bolj strupeni za vodne organizme kot starševske spojine.

V okviru te študije smo proučevali pojavnost, kroženje in učinke citostatikov CP-jev, IF-ja in njihovih izbranih metabolitov/TP-jev: 4-ketociklofosfamid (keto-CP), N-dekloroetilciklofosfamid ali 3-dekloretilifosfamid (N-decl-CP) in karboksi-ciklofosfamid (karboksi-CP, slika 1). V ta namen smo razvili analize metode za njihovo določitev v različnih vrstah OV. Validirane metode smo nato uporabili za analizo različnih bolnišničnih OV ter vtokov in iztokov iz pripadajočih ČN. Raziskovali smo tudi odstranjevanje in transformacije starševskih spojin med različnimi biološkimi in abiotskimi postopki čiščenja ter preverili ekotoksičnost in genotoksičnost vseh preiskovanih spojin in njihovih mešanic.



Slika 1: Kemijska struktura preiskovanih spojin

2. MATERIALI IN METODE

2.1. Standardi, reagenti in kemikalije

CP, IF in derivatizacijsko sredstvo za TP-je, N-(terc-butildimetilsilil)-N-metil-trifluoroacetamid z 1-% terc-butildimetilklorosilanom (MTBSTFA z 1-% TBDMCS) smo kupili pri Sigma-Aldrich (Steinheim, Nemčija). Derivatizacijsko sredstvo za CP in IF, trifluoroocetni anhidrid (TFAA) smo kupili pri Fluki (Buchs, Švica). Karboksi-CP, 4-keto-CP, N-decl-CP in devteriran ciklofosfamid-d₆ (interni standard za CP in IF analizo) smo kupili pri podjetju Niomech-IIT GmbH (Bielefeld, Nemčija), devteriran ibuprofen-d₃ (interni standard za TPje) pa pri CDN Isotopes (Quebec, Kanada). Vsa uporabljena topila so imela analitsko čistost.

2.2. Priprava vzorcev

Za analizo na osnovi plinske kromatografije sklopljene z masno spektrometrijo smo 100 mL vzorca OV, ki je vseboval CP, IF in keto-CP, koncentrirali s postopkom ekstrakcije na trdnem nosilcu (SPE) s kartušami Oasis™ HLB (60 mg, 3 mL). Kartuše smo kondicionirali s 3 mL etil acetata (EtAc), 3 mL metanola (MeOH) in 3 mL vode. Po nanosu vzorca in sušenju sorbenta smo analite eluirali s 3 mL EtAc (Česen idr., 2015). SPE za karboksi-CP in N-decl-CP smo izvedli s kartušami Isolute ENV + (100 mg, 3 mL). Kondicioniranje, nanos vzorca in sušenje sorbenta smo izvedli na enak način kot za CP, IF in keto-CP. V tem primeru smo analite eluirali s 6 mL 5-% ocetne kisline v EtAc (Česen idr., 2016). Derivatizacijo CP-ja in IF-ja smo izvedli s 100 µL TFAA v 100 µL EtAc. Vzorce smo derivatizirali 1 uro pri 60 °C. Metabolite/TP-je smo derivatizirali s 30 µL MTBSTFA z 1 % TBDMCS v 220 µL ACN, kjer smo ekstrakte segrevali 20 ur pri 90 °C (Česen idr., 2016).

Za identifikacijo TP-jev, ki so se tvorili med obsevanjem z UV in UV/H₂O₂, smo vzorce direktno injicirali na tekočinski kromatograf, sklopljen z masnim spektrometrom visoke ločljivosti (LC-HRMS).



2.3. Kemijska analiza

2.3.1. GC/MS

Za kemijsko analizo realnih vzorcev OV in vzorcev OV iz laboratorijskih eksperimentov (biološko in abiotsko čiščenje) smo uporabili plinski kromatograf serije HP 6890 s kvadrupolnim masnim spektrometrom (Hewlett-Packard, Waldbron, Nemčija). Kromatografsko ločbo smo izvedli na kapilarni koloni DB-5 MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 μm, Agilent, ZDA) in s He kot nosilnim plinom. Za optimalno kromatografsko ločbo smo uporabili dva različna temperaturna programa (Česen idr., 2015; Česen idr., 2016). Identifikacijo analitov smo opravili v načinu selektivnega ionskega spremljanja (SIM mode) s primerjavo retencijskega časa standardov in vzorcev ter s spremljanjem izbranih ionov derivatiziranih analitov (Česen idr., 2016; Česen idr., 2015).

2.3.2. LC/HRMS

Neznane strukture TP-jev smo identificirali s pomočjo kemijske analize na LC-HRMS sistemu Thermo Accela 600 LC, ki je sklopljen z masnim spektrometrom LTQ Orbitrap XL (Thermo Fisher Scientific Corporation, Waltham, MA, ZDA). Sistem je bil opremljen z ionizacijo z elektrosprejem. Kromatografsko ločbo smo dosegli z uporabo kolone Kinetex C18 (100 mm × 2,1 mm, 3 μm, 100 Å, Phenomenex, Sydney, Avstralija). Kot mobilno fazo smo uporabili ultra čisto vodo in metanol z dodatkom 0,1-% mravljinčne kisline. Strukturo TP-jev smo določili v načinu »data dependent mode« na osnovi petih najintenzivnejših ionov v MS spektru (Česen idr., 2016).

2.4. Vzorčenje

V okviru raziskave smo izvedli dve vzorčnji OV. Med prvim vzorčenjem smo zbrali vzorce OV iz petih slovenskih bolnišnic in pripadajoče vtoke in iztoke iz ČN (april, 2013–junij, 2014; tabela 1) in v njih določili koncentracije starševskih spojin (CP in IF). Drugo vzorčenje (15. 12. 2014–21. 12. 2014) smo izvedli v 7 zaporednih dneh v bolnišnici A (tabela 1) in sredi tedna na pripadajoči ČN, kjer smo preverjali prisotnost tako starševskih spojin kot tudi izbranih metabolitov/TP-jev. Vsi vzorci OV iz bolnišnice so bili vzorčeni trenutno, vzorci iz ČN pa so bili časovno povprečni 24-urni. Tehnologija čiščenja OV na ČN, vključenih v to študijo, je temeljila na čiščenju s suspendirano biomaso (ČN, ki prejme OV iz bolnišnic A, B in C) ali na čiščenju z membransko biofiltracijo (ČN, ki prejme vodo iz bolnišnice D).

Tabela 1: Seznam vzorcev OV in določene koncentracije CP-ja in IF-ja

Vzorec	Datum	CP (ng/L)	IF (ng/L)
A: bolnišnična OV	15. 4. 2013	754 ± 28,2	2040 ± 136
	5. 12. 2013	14,6 ± 0,351	<LOD
	16. 1. 2014	1080 ± 200	47,9 ± 10,3
	9. 5. 2014	5320 ± 33,2	6810 ± 0,619
	4. 6. 2014	22100 ± 764	<LOD
B: bolnišnična OV	21. 11. 2013	129 ± 16,3	<LOD
	21. 11. 2013	125	<LOD
A and B: pripadajoči vtoki v ČN	9. 12. 2013	<LOD	<LOD
	29. 1. 2014*	27,4 ± 7,35	<LOD
	2. 6. 2014	19,0 ± 3,44	<LOD
A and B: pripadajoča iztoka iz ČN	10. 12. 2013	<LOD	<LOD
	3. 6. 2014	17,4 ± 5,02	<LOD
C: bolnišnična OV/vtok ČN	28. 11. 2013	<LOD	<LOD
C: pripadajoč iztok iz ČN	28. 11. 2013	<LOD	<LOD
D: bolnišnična OV	14. 11. 2013	<LOD	<LOD
D: pripadajoč vtok na ČN	14. 11. 2013	<LOD	<LOD
D: pripadajoč iztok iz ČN	15. 11. 2013	<LOD	<LOD
E: bolnišnična OV (brez ČN)	7. 11. 2013	<LOD	<LOD

* V tem primeru ni bil vzorčen iztok iz ČN.

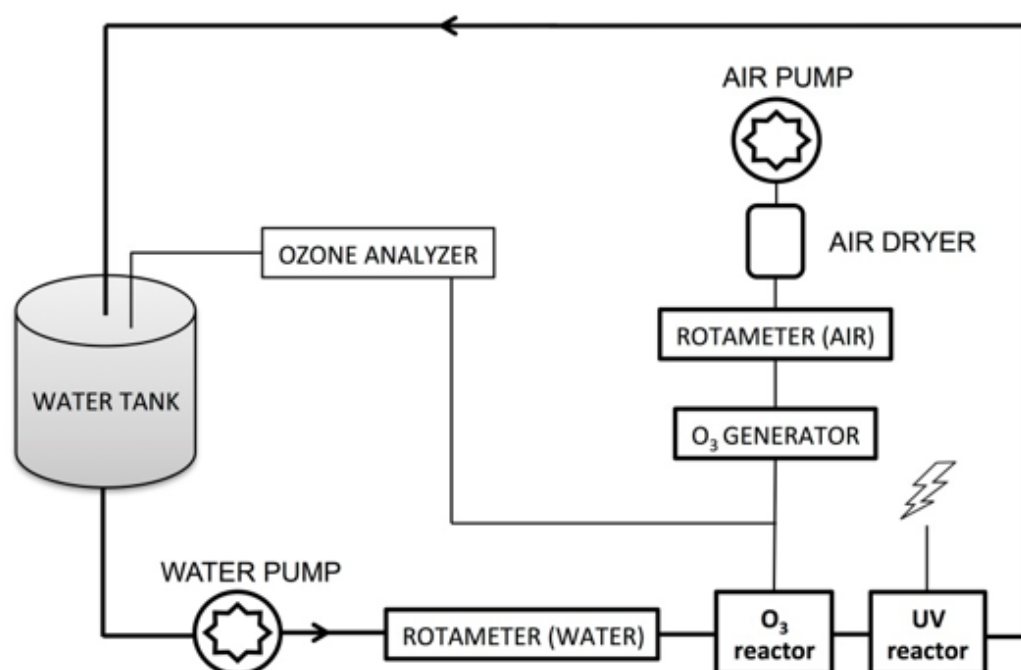
2.5. Čiščenje OV na laboratorijskem nivoju

Odstranitev CP-jev in IF-ja smo proučevali v prezračevanih pretočnih bioreaktorjih s pritrjeno biomaso na nosilcih Mutag Biochip™. CP in IF smo dodajali v umetno pripravljeno OV s končno koncentracijo 10 μg/L, ki smo jo uvajali v dva bioreaktorja med 3-mesečnim eksperimentom (pretok: 4 L/dan). Tretji bioreaktor je služil kot kontrolni bioreaktor (slika 2).



Slika 2: Pretočni bioreaktorji s pritrjeno biomaso

Uspešnost odstranjevanja CP-ja in IF-ja smo poleg biološkega čiščenja proučevali tudi pri naslednjih abiotičnih postopkih čiščenja OV: UV-obsevanje, ozonacija (O_3) ter napredni oksidacijski postopki (AOP), kot so UV/O_3 , UV/H_2O_2 , O_3/H_2O_2 in $UV/O_3/H_2O_2$. Vzorec OV (4,8 L) s koncentracijo 10 $\mu g/L$ CP ali IF smo izpostavili posameznemu postopku čiščenja, pri čemer je vzorec krožil po sistemu s pretokom 60 L/uro (slika 3). Vzorce smo izpostavili posameznemu postopku za 0–120 min in eksperimente izvedli pri različnih začetnih koncentracijah H_2O_2 (0–5 g/L). Generator ozona je proizvajal O_3 v končni koncentraciji 10 mg/L. Za UV-obsevanje vzorca smo uporabili nizkotlačno bakreno UV sijalko (12 W, UV-doza: 44 mJ/cm^2). Da bi povečali uspešnost odstranitve izbranih spojin, smo najučinkovitejši AOP ($UV/O_3/H_2O_2$) zaporedno vezali z biološkim čiščenjem.



Slika 3: Shema naprave abiotičnega postopka čiščenja OV

Tvorbo TP-jev smo proučevali med postopkoma čiščenja UV in UV/H_2O_2 (koncentracija H_2O_2 8,5 mg/L) v steklenem reaktorju pri koncentraciji 26,1 mg/L CP oziroma IF ($V = 500$ mL deionizirane vode). Vsebino reaktorja smo mešali z magnetnim mešalom (500 rpm), za obsevanje pa smo uporabili nizkotlačno živosrebrno sijalko (15 W, intenziteta $UV = 4,5 \times 10^{-6}/Ein$). Poskusi so trajali 60 min (UV) oziroma 36 min. (UV/H_2O_2).

2.6. Ocena strupenosti

Ocenili smo ekotoksičnost in genotoksičnost preiskovanih posameznih spojin (CP, IF, karboksi-CP, keto-CP in N-decl-CP) ter njihove mešanice. Za oceno ekotoksičnosti smo kot testne organizme uporabili zelene alge *Pseudokirchneriella subcapitata* SAG 61.81 in cianobakterije *Synechococcus leopoliensis* SAG 1402-1, ki so bile gojene in izpostavljene posamezni spojini ali zmesi, kot je opisano v OECD TG 201. Rast celic smo določili s pretočnim citometrom (BD FACSCalibur, Sparks, MD, USA). Testirane koncentracije posameznih spojin so bile 3,05; 9,77; 31,25; 100 in 320 mg/L, medtem ko smo koncentracije vsake spojine v zmesi določili na podlagi vrednosti EC_{5-90} spojine karboksi-CP (6,0; 7,9; 10,5; 17,1 in 37,2 mg/L, tabela 2).

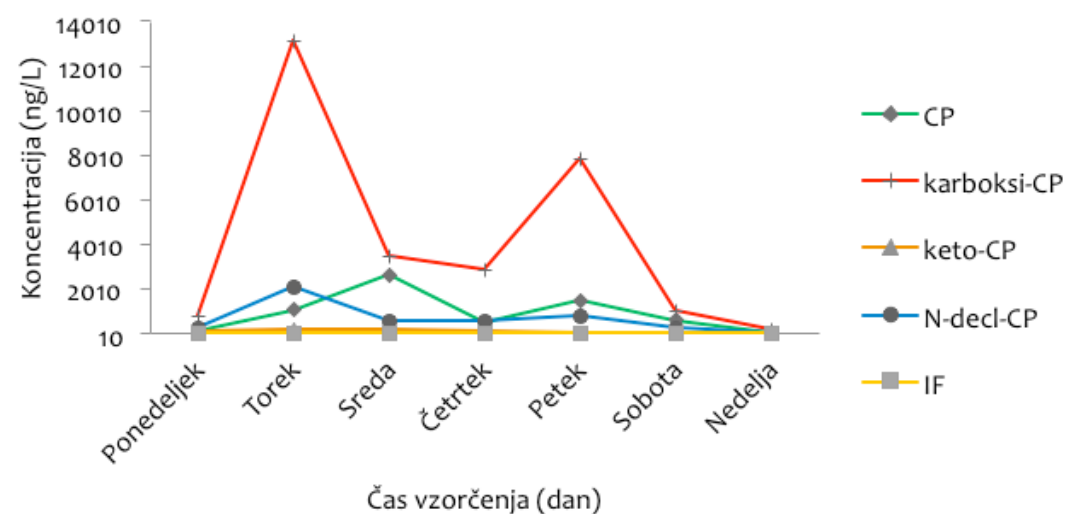
Genotoksičnost preiskovanih spojin in zmesi smo ocenili s testom SOS/*umuC* (Reifferscheid idr., 1991). Testne koncentracije spojin so bile enake kot pri ekotoksikološkem testiranju. Eksperimente smo izvedli na genetsko spremenjenem organizmu *S. typhimurium* TA1535/pSK1002 v prisotnosti metabolne aktivacije (+S9) in v njeni odsotnosti (–S9). Genotoksično aktivnost smo določili z indukcijskim razmerjem (IR), pri čemer je bil $IR \geq 2$ prag, pri katerem je bila spojina/zmes spoznana kot genotoksična (Reifferscheid idr., 1991). Analize podatkov smo izvedli z uporabo programske opreme Prism 5 (GraphPad Inc., La Jolla, ZDA).

3. REZULTATI

3.1. Kemijska analiza realnih OV

V sklopu prvega vzorčenja sta dva vzorca OV vsebovala CP v koncentracijah med 14,6 in 22100 ng/L, IF pa smo določili le v eni bolnišnični OV (< LOD do 6810 ng/L; tabela 1). CP smo določili tudi v dveh vzorcih vtoka v ČN (19–27 ng/L) in enkrat v pripadajočem iztoku iz ČN (17 ng/L). Koncentracije IF-ja so bile < LOD v vseh vtokih in iztokih iz ČN, ki smo jih vključili v to študijo (tabela 1).

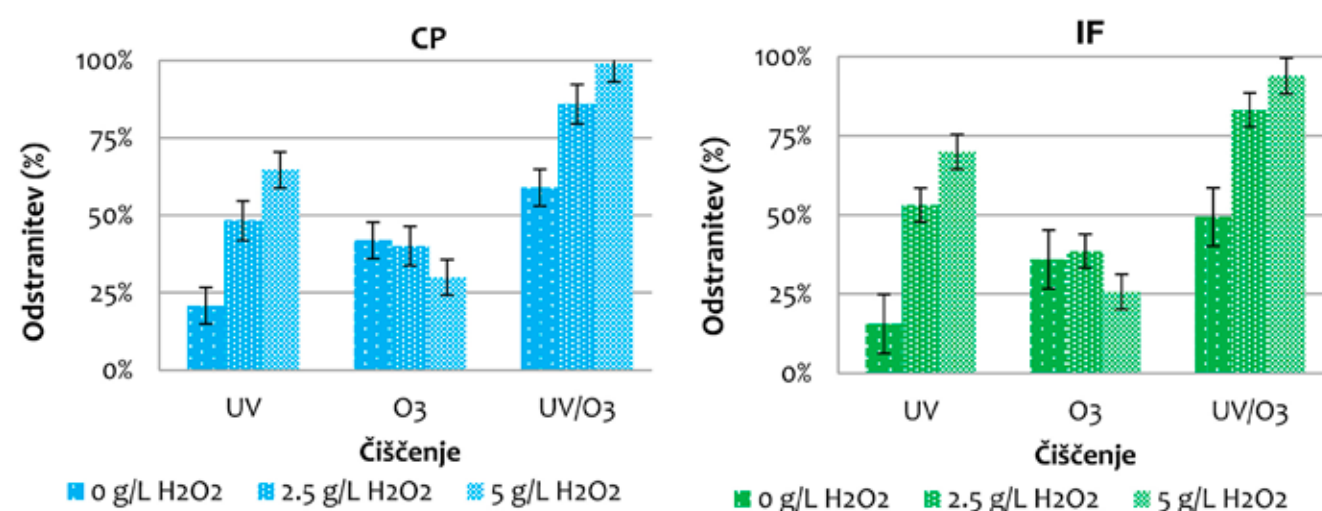
Analiza vzorcev OV iz bolnišnice v okviru drugega vzorčenja je pokazala naslednje najvišje koncentracije: CP = 2690 ng/L, IF = 47,9 ng/L, karboksi-CP = 13200 ng/L, N-decl-CP = 2100 ng/L in keto-CP = 178 ng/L, medtem ko so bile koncentracije v pripadajočem vtoku in iztoku iz ČN < LOD. Karboksi-CP smo zaznali v najvišjih koncentracijah, IF pa v najnižjih (25–47 ng/L, slika 4). Najvišje koncentracije analitov so bile določene v vzorcih, zbranih med torkom in petkom. Koncentracije CP-ja in IF-ja so primerljive z literaturnimi podatki, medtem ko je bila prisotnost preiskovanih metabolitov/TP-jev v OV prvič kvantitativno ovrednotena v naši raziskavi (Kosjek in Heath, 2011; Česen idr., 2016).



Slika 4: Dnevne koncentracije preiskovanih spojin v bolnišnični OV (15. 12. 2014–21.12.2014; SD < 15,9 % za vse spojine)

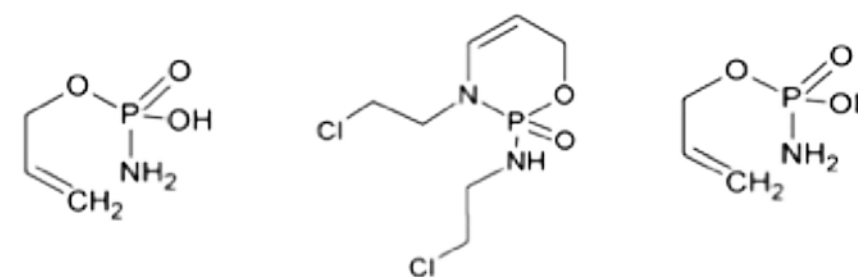
3.2. Čiščenje OV

Povprečni delež odstranitve CP-ja in IF-ja med biološkim čiščenjem je znašal 42 % za CP in 18 % za IF, kar smo pričakovali, saj sta CP in IF iz literaturnih podatkov znani kot biološko slabo razgradljivi spojini (Česen idr., 2015). Uspešnost odstranitve CP-ja in IF-ja po 120 min različnih abiotskih čiščenj je prikazana na sliki 5. Višanje koncentracije H_2O_2 je povečalo odstotek odstranitve CP-ja in IF-ja v primeru čiščenja z UV/ H_2O_2 , medtem ko smo opazili obraten pojav pri postopku z O_3 . Kljub temu smo dosegli najvišji odstotek odstranitve, npr. 99 % za CP in 94 % za IF s kombinacijo UV/ O_3 / H_2O_2 pri 5 g/L (slika 5). Z zaporedno vezanim postopkom čiščenja (biološko čiščenje ter UV/ O_3 / H_2O_2 pri 5 g/L) pa smo prvi dosegli zelo visoko odstranitev (> 99 %) CP-ja in IF-ja (Česen idr., 2015).



Slika 5: Delež odstranitve CP-ja in IF-ja med različnimi abiotskimi postopki čiščenja

Med abiotskim čiščenjem (UV in UV/ H_2O_2) smo identificirali več TP-jev. S kemijsko analizo smo potrdili nastanek štirih TP-jev iz CP-ja (N-decl-CP, keto-CP, CP-TP138a in CP-TP138b) in štirih TP-jev iz IF-ja (N-dekloroetil-ifosfamid, keto-ifosfamid, imino-ifosfamid in IF-TP138) med UV-obsevanjem. Med čiščenjem z UV/ H_2O_2 smo poleg vseh TP-jev, ki smo jih zaznali pri UV obsevanju, identificirali še dodatni TP iz CP-ja, imino-fosfamid. Z identifikacijo navedenih TP-jev smo potrdili, da so nekateri TP-ji, ki se tvorijo med abiotskimi postopki čiščenja, lahko strukturni analogi humanih metabolitov (Li idr., 2010). Poleg tega smo kot prvi identificirali tri TP-je (CP-TP138a, imino-ifosfamid in IF-TP138), ki so prikazani na sliki 6 (Česen idr., 2016).



Slika 6: Novi TP-ji (od leve proti desni: CP-TP138a, imino-ifosfamid in IF-TP138)

3.3. Ocena toksičnosti

Ugotovili smo, da sta CP in IF nestrupena za organizma *P. subcapitata* in *S. leopoliensis* pri koncentracijah do 320 mg/L (tabela 2). Dobljeni rezultati so v skladu z literaturo za CP, medtem ko za IF tovrstni podatki niso na voljo (Grung idr., 2008; Zounkova idr., 2007). Kot prvi smo proučevali ekotoksičnost izbranih metabolitov/TP-jev na *S. leopoliensis*, kjer je le spojina karboksi-CP signifikantno inhibirala rast cianobakterij ($EC_{50} = 17,1$ mg/L; tabela 2).

Tabela 2: **ECx in NOEC (no observed effect concentration) vrednosti za vsako spojino na organizmu *S. leopoliensis*; n.c. = not converged (program Prism 5)**

Spojina	EC5-90 in 95 % CI (mg/L)	NOEC (mg/L)
CP	n.c.	> 320
IF	n.c.	> 320
karboksi-CP	EC ₅ : 6,0 (4,4 – 8,3) EC ₁₀ : 7,9 (6,0 – 10,2) EC ₂₀ : 10,5 (8,5 – 12,9) EC ₅₀ : 17,1 (14,4 – 20,3) EC ₉₀ : 37,2 (27,8 – 49,7)	9,8
Keto-CP	n.c.	> 320
N-decl-CP	n.c.	> 320



Eksperimentalno določeno toksičnost zmesi smo primerjali z modelom »concentration addition« (CA). Ugotovili smo, da je toksičnost, napovedana po modelu CA ($EC_{50} = 21,1$ mg/L) nižja od eksperimentalno določene ($EC_{50} = 11,5$ mg/L). S tem smo dokazali potencirajoči učinek preiskovane mešanice. Test SOS/*umuC* je pokazal genotoksično aktivnost spojin CP-ja, karboksi-CP pri 320 mg/L in zmesi pri posameznih koncentracijah 37,2 mg/L v prisotnosti +S9, medtem ko je bila spojina karboksi-CP (320 mg/L) genotoksična tudi v odsotnosti –S9.

4. ZAKLJUČEK

V okviru študije smo potrdili prisotnost CP-ja in IF-ja v dveh od petih preiskovanih slovenskih bolnišničnih OV. CP smo zaznali tudi v vtokih in iztoku iz ene ČN, medtem ko so bile koncentracije IF-ja v vseh OV iz ČN < LOD. Analiza bolnišnične OV iz enotedenskega vzorčenja je pokazala prisotnost spojine karboksi-CP v najvišjih koncentracijah (predvsem med torkom in petkom). Z biološkim čiščenjem smo le delno odstranili CP in IF iz OV, najvišjo učinkovitost odstranjevanja pa smo dosegli z UV/O₃/H₂O₂ (pri 5 g/L; > 94 % za CP in IF). Ko smo izbrani AOP zaporedno povezali z biološkim čiščenjem, smo dosegli še višji odstotek odstranitve (> 99 %) za obe spojini. Med postopkoma UV in UV/H₂O₂ smo identificirali 3 nove TP-je iz CP-ja oziroma IF-ja: CP-TP138a, imino-ifosfamid in IF-TP138. Ocena ekotoksičnosti je pokazala, da je karboksi-CP škodljiv za testne organizme pri izbranem delovnem koncentracijskem območju. Prav tako je bila mešanica ekotoksična in genotoksična z opaženim potencirajočim učinkom.

ZAHVALA

Raziskovalno nalogo je delno financirala Evropska unija v okviru Evropskega projekta EU FP7 CytoThreat. Finančna podpora raziskave je tekla tudi v okviru programske skupine P1-0143, projektov L1-5457, J1-6744 in L1-7544, štipendije AdFutura za izobraževanje doktorskih študentov v tujini ter usposabljanja in financiranja M. Česen preko ARRS. Vsem sodelujočim ČN in bolnišnicam se zahvaljujemo za sodelovanje in podporo pri vzorčenju.

LITERATURA IN VIRI

1. Česen, M., Kosjek, T., Buseti, F., Kompare, B., Heath, E., 2016. Human metabolites and transformation products of cyclophosphamide and ifosfamide: analysis, occurrence and formation during abiotic treatments. Environmental Science and Pollution Research electronic version.
2. Česen, M., Kosjek, T., Laimou-Geraniou, M., Kompare, B., Širok, B., Lambropoulou, D., Heath, E., 2015. Occurrence of cyclophosphamide and ifosfamide in aqueous environment and their removal by biological and abiotic wastewater treatment processes. Science of The Total Environment 527–528, 465–473.
3. Grung, M., Källqvist, T., Sakshaug, S., Skurtveit, S., Thomas, K. V., 2008. Environmental assessment of Norwegian priority pharmaceuticals based on the EMEA guideline. Ecotoxicology and Environmental Safety 71, 328–340.
4. Kosjek, T., Heath, E., 2011. Occurrence, fate and determination of cytostatic pharmaceuticals in the environment. TrAC Trends in Analytical Chemistry 30, 1065–1087.
5. Li, F., Patterson, A. D., Höfer, C. C., Krausz, K. W., Gonzalez, F. J., Idle, J. R., 2010. Comparative metabolism of cyclophosphamide and ifosfamide in the mouse using UPLC–ESI–QTOFMS-based metabolomics. Biochemical Pharmacology 80, 1063–1074.

6. OECD TG 201, 2011. Test No. 201: Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test: OECD Publishing.
7. Reifferscheid, G., Heil, J., Oda, Y., Zahn, R. K., 1991. A microplate version of the SOS/umu-test for rapid detection of genotoxins and genotoxic potentials of environmental samples. Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects 253, 215–222.
8. Zounkova, R., Odraska, P., Dolezalova, L., Hilscherova, K., Marsalek, B., Blaha, L., 2007. Ecotoxicity and genotoxicity assessment of cytostatic pharmaceuticals. Environmental Toxicology and Chemistry 26, 2208–2214.



Združeni v en team.

Waters
THE SCIENCE OF
WHAT'S POSSIBLE™

www.waters.com



UPLC/MS/MS ACQUITY UPLC I-Class System with Xevo TQ-XS

UPLC/MS/MS system for water testing with direct injection

Drinking water testing with direct injection UPLC/MS/MS ACQUITY UPLC I-Class System with Xevo TQ-XS provides the ultimate in quantitative capabilities, allowing for the direct injection of drinking water samples with no sample preparation.

The system is designed to enable uncomplicated access to superior UPLC/MS/MS performance, delivering the highest levels of sensitivity, selectivity, robustness, speed, and accuracy.



www.horizontechnic.com

Horizon Technology SPE-DEX 4790 coupled with DryVap evaporation system



Workflow for the SPE-DEX 4790 Extractor with DryVap.

Horizon Technology SPE-DEX 4790 Automated Extraction System is a SPE system, capable of processing aqueous samples directly from their original containers. Extractions of aqueous samples such as:

- drinking waters
- waste waters
- surface waters
- solid waste waters
- beverages



www.merckmillipore.com

Milli-Q® IQ 7000 Water Purification system

Milli-Q® IQ 7000 is an ergonomically built water purification system, which provides ultra-pure water for many applications, making it a must-have instrument in different types of labs.



Milli-Q® IQ 7000

ČIŠČENJE ODPADNE VODE S POSTOPKOM PVA-MBBR, NAPREDEK IN POENOSTAVITEV

STANKO ČESEN¹

Povzetek

Postopek MBBR-ja se kljub velikemu interesu in priznanim prednostim ne uspe uveljaviti kot prevladujoča aplicirana tehnologija na trgu čiščenja odpadnih vod. Še posebno ne na področju čiščenja komunalnih odpadnih vod. Prednosti večje prilagodljivosti biomase v postopku čiščenja, manjšo proizvodnjo biološkega blata in odpravo povratka blata v postopku čiščenja izniči nekaj slabosti, kot so kontrola dotoka suspendiranih snovi in predvsem večje zahteve po vpihovanju zraka ter z njo kontrola kisika v fazi prednitrifikacije. Z novo generacijo poroznih nosilcev biomase je možno postopek čiščenja spremeniti tako, da se odpravijo nekatere zahteve standardnega postopka MBBR-ja. Z nosilcem biomase PVA, uporabljenim v postopku simultane ali intermitentne nitri-denitrifikacije, se postopek izogne povečanemu nadzoru suspendiranih snovi ter povečanemu vpihovanju zraka. Sočasno pa tudi poenostavi postopek čiščenja z enim bazenom in brez internih povratkov ali povratkov blata. Prispevek obravnava tri primere prakse postopka PVA-MBBR.

Ključne besede: MBBR, porozni nosilec biomase, postopek, PVA, PVA-MBBR

Abstract

MBBR process, despite some accepted advantages, can not enforce itself as a main stream solution for wastewater treatment. Even more so in municipal wastewater treatment. Advantages of biomass adaptability, lower sludge production and independence to secondary clarifier are often nullified by suspended solids control, larger air demand and oxygen control. With the new generation of porous biomass carriers, it is possible to change the process. Process is changed in a way some standard MBBR process demands are not being taken into an account any more. With PVA biomass carrier in simultaneous or intermitent process suspended solids control and extra air delivery is no more needed. In the same time process is simplified to work in one tank with no internal flow returns or activated sludge returns. Article describes three practical examples with PVA-MBBR process.





1. UVOD

MBBR, (angl. movin bed biofilm/biological reactor; v nadaljevanju samo MBBR) predstavlja uveljavljeni postopek čiščenja odpadnih voda. Začetki so v 80. letih prejšnjega stoletja v delu profesorja Hallvarda Odegaarda.

Gre za bistveni napredek v postopkih čiščenja odpadne vode. Napredek se je pokazal predvsem v (Wikipedija):

- večji starosti blata (SRT – sludge retention time), kar pozitivno vpliva na razpoložljive procese v biomasi, s čimer mislimo na nitrifikacijo;
- večji prilagodljivosti biomase in s tem procesom nihanja v obremenitvah čistilne naprave;
- večji odpornosti proti toksičnim dogodkom;
- nižji proizvodnji oz. prirastu biomase;
- manjših prostorskih zahtevah pri gradnji biološkega reaktorja;
- neodvisnosti od delovanja naknadnega usedalnika oz. povratka blata.

Iz navedenega je razvidno, da MBBR ponuja nezanemarljive prednosti v primerjavi s tehnologijami z aktivnim blatom. Vsak upravljavec naprave, ki je doživel izpad svoje naprave zaradi nihanja obremenitev, toksičnega dogodka in izplavljanja blata, bi si v tistem trenutku želel te prednosti. Večjo odpornost sistema, manjši napor pri njegovem nadzoru in ponovni vzpostavitvi delovanja. K obvladljivosti objekta lahko pripomorejo tudi manjše velikosti objektov po tem postopku.

MBBR je v svojih 40-ih letih. Ne zdi se logično, zakaj potem v ponudbi trga tehnologije z aktivnim blatom še vedno prevladujejo?

2. RAZLOGI

Razlogov je več. Morda je poleg procesnih razlogov, ki jih prispevek obravnava, razlog enostavno čas. Vpliv systemske ureditve okolja, ki pogojuje investicije. V sistemu, kjer se investicije pred realizacijo načrtujejo tudi 10 let, jih enostavno že povozi čas in investitor v aplikaciji zaostaja za razvojem, kar je del inercije aplikacije starega znanja na trgu. Drugi del pa je sama inercija aplikacije starih tehnologij s strani svetovalcev in investitorjev zaradi počasnega prenosa novih znanj oz. »know-how«. Lahko se ugotovi, da so za neki postopek 40. leta še zelo adolescentska.

MBBR ima tudi slabe strani postopka. Postopek zahteva kvalitetno odstranjevanje suspendiranih snovi zaradi možnosti nabiranja le-teh na nosilcih biomase. Posledično zmanjševanje zmogljivosti in prezgodnja odstranitev biomase z nosilca. Zato je v postopku priporočljiva uporaba primarnega usedalnika ali primerljivega mikrosita normalen del postopka. Vseeno pa se izgublja argument manjše proizvodnje blata. MBBR ima manjšo proizvodnjo ali prirast biološkega blata, vendar pa to prednost z uporabo primarnega usedalnika v primerjavi s tehnolo-

gijo z aktivnim blatom in podaljšano aeracijo izgubi. V primeru 25-% prirasta biomase glede na dotočni BPK5 je treba prišteti še blato primarnega usedalnika. Na koncu sta proizvodnja blata s postopkom MBBR s primarnim usedalnikom in postopkom podaljšane aeracije brez primarnega usedalnika podobni. Večina klasičnih sistemov nekje do 100.000 PE se projektira s podaljšano aeracijo aktivnega blata in brez primarnih usedalnikov. Nekje tu je meja upravičenosti uporabe biometanizacije v liniji blata. Torej je racionalna uporaba primarnega usedalnika pri komunalni čistilni napravi nekje okoli 100.000 PE naprej, odvisno od pogojev investicije. Pomemben je še podatek, da je MBBR biološko blato za biometanizacijo manj uporabna surovina. MBBR blato je zaradi večje starosti biološko bolj izčrpano. Zaključek je lahko, da je meja uporabnosti postopka MBBR omejena na investicijsko upravičenost energetskega izkoristka primarnega blata. Ta se zaradi siromašnega biološkega blata pomika samo navzgor.

Postopek MBBR se običajno projektira v postopku s prednitrifikacijo. Za delovanje prednitrifikacije je treba zagotoviti interni povratek nitratov, ki se tvorijo v aeracijskem bazenu s procesom nitrifikacije. Tu se sistemi MBBR srečajo s težavo vnosa zadostne količine kisika v globoke sloje pripete biomase. Učinkovit proces nitrifikacije se zato zagotovi s visokimi koncentracijami raztopljenega kisika. Posledično preveč kisika pripeljanega z internim povratkom lahko omeji ali zavre proces denitrifikacije. Rešitev je v iskanju ravnotežja v procesu s strani upravljavca, kar ni enostavno, ali bolje vmesni reaktor na internem povratku za znižanje nivoja kisika. Doda se procesni element.

Postopek MBBR velja zaradi zahteve po vzdrževanju visokih koncentracij kisika kot za energetsko potratnega. Pri dvigu zahtevane količine zraka za dvig koncentracije kisika z 2 mg/l na 5 mg/l se lahko zahteva po vpihovanju zraka poveča za 40 %. Ker so puhala že tako velik porabnik, je vsako povečanje porabe energije pomembno. In je torej ovira pri aplikaciji postopka.

Navedeno velja za MBBR kot celovite samostojne sisteme. Uporabnost postopka MBBR v delnih nadgradnjah obstoječih naprav s težavami je velika in uspešna. V številnih primerih pa ne prevzema celotnega postopka čiščenja. Razlog je tako v času, ki ga rabi za uveljavitev nova tehnologija, kot tudi njenih omejitvah. Potencial uporabe MBBR-ja kot samostojnega postopka ali nadgradnje obstoječih je velik.

3. NOVA GENERACIJA NOSILCEV BIOMASE IN SPREMEMBE POSTOPKA

Opisane omejitve MBBR-ja izhajajo iz narave nosilcev in površinskega pripenjanja biomase. Na trgu se pojavlja nova generacija nosilcev biomase, ki lahko odpravi zahtevo po predčiščenju suspendirane snovi ter povečani potrebi prezračevanja. Pionir te generacije je nosilec biomase PVA-GEL. Ime pove, da gre za material iz polivinil alkohola v obliki gela. Izdelan je z mikrostrukuro mreže, če jo malo povečamo, podobno tisti pri membranski filtraciji. Nosilec ne ščiti več kosmov, celovite mikrobne združbe znotraj svojih plastičnih prostorčkov. Površina kroglice je popolnoma izpostavljena. Omogoča pa vraščanje izbrane biomase v sam nosilec. Biomasa je izbrana zaradi mikropor mreže nosilca velikosti 2–20 µm. Omejuje prirast prazni in kopičenja suspendiranih snovi. S tem se pridobi optimalno mikrobno združbo za delo v biološkem bazenu čistilne naprave. V raziskavah (Levstek in Plazl, 2009) je bila z izračunom



ocenjena 4,3-krat večja koncentracija autotrofnih mikroorganizmov na nosilec v primerjavi s standardnim nosilcem. Primerljiva vsebnost aktivne biomase pri 15-% s PVA ali 67-% polnitvi s plastičnim nosilcem.

Z novo generacijo nosilca biomase, kot je PVA, zmanjševanje suspendirane snovi v odpadni vodi pred vstopom v fazo biološkega čiščenja ni več potrebno. Primarnega blata v postopku ni več. Nova ocena proizvodnje blata se lahko izvede na osnovi ocene prirasta biomase v biološkem procesu in vstopu inertnih suspendiranih snovi na dotoku. S prispevkom (Rouse idr., 2007) je bila podana ocena prirasta 0,15 g biomase na 1 g vhodnega BPK5. Druge ocene nihajo v odvisnosti od aplikacije, predvsem industrijske, do 0,35 g biomase na 1 g vhodnega BPK5. Koncentracija vhodnih inertnih snovi (iTSS) pa je odvisna od komunalne ali lastnosti različnih industrijskih odpadnih vod. Pri komunalnih vodah je ta 20 % do 40 % glede na določeno vrednost TSS, odvisno od izmerjenega razmerja VSS : TSS, ki je običajno med 0,6 in 0,8.

Prve aplikacije z novo generacijo nosilca sledijo praksi standardnega postopka MBBR-ja. To je z zaporedjem bazenov denitrifikacija-nitrifikacija ter vzdrževanje večjih koncentracij kisika in s tem večje potrebe po prezračevanju. Bistvena ovira tako ni bila presežena. Zadnja praksa pa kaže uspešno uporabo prilagojenega postopka MBBR s primerljivimi zahtevami po vzdrževanju nivoja kisika. Kisik se glede na obremenitev naprave vzdržuje pri 1,5 do 3 mg/l, kar je primerljivo s prakso postopkov z aktivnim blatom. S tem se bistveno zmanjša poraba energije v primerjavi s klasičnim MBBR-jem in se jo lahko primerja s porabo pri postopku s podaljšano aeracijo aktivnega blata. Vendar pa ta sprememba v racionalni obliki ni možna v prednitrifikacijskem postopku MBBR. Možna je samo s spremembo v simultani ali intermitentni postopek čiščenja znotraj enega bazena. Postopek vključuje vzdrževanje nižje ravni kisika za doseg nitrifikacije in denitrifikacije simultano in/ali menjavanje časa aeracije in časa brez aeracije. Prve možnosti razmišljanja v tej smeri nakazuje že prispevek (Rouse idr., 2006), ki je zaznal določeno stopnjo denitrifikacije v aeraciji tudi pri visoki koncentraciji kisika. Razmišljanje se je potrjevalo kasneje v okviru kontejnerskega pilotiranja v Veliki Gorici pri dejansko nižjih koncentracijah kisika.

Čiščenje v enem bazenu prinese še eno optimizacijo. Ker se vse dogaja v enem bazenu, v postopku čiščenja, odpade še interni povratek. Gre za dodatno poenostavitev postopka, ki je pomemben pri zmanjševanju stroškov ter poenostavljanju upravljanja naprave. Manj elementov in manj parametrov upravljanja.

Poleg navedenih prednosti klasičnega postopka MBBR napredek v uporabi ideje odpravlja nekaj bistvenih ovir pri dejanski uporabi v inženirski praksi. Optimizacije omogoča koncept nove generacije nosilca biomase. Ta ne vzdržuje neproduktivne biomase v postopku čiščenja, kar se izvaja s povratkom aktivnega blata. Suspendirane snovi in neproduktivna biomasa praživali se s tokom vode nosijo v lamelarni naknadni usedalnik, kjer se odstranijo iz postopka in nanj ne vplivajo.

MBBR z novo generacijo nosilca, kot je PVA, je sedaj lahko zelo podoben postopkom z aktivnim blatom, ki se aplicirajo v območju čistilnih naprav okvirno med 2.000 in 100.000 PE. Mišljeno na zaporedje dotok-mehansko predčiščenje-biološko čiščenje-posedanje-iztok. Ključen je napredek v fazi biološkega čiščenja, ki je obdržal prednosti osnovnega postopka MBBR, dodal pa nove, ki generalno odpravljajo negativne pomisleke.

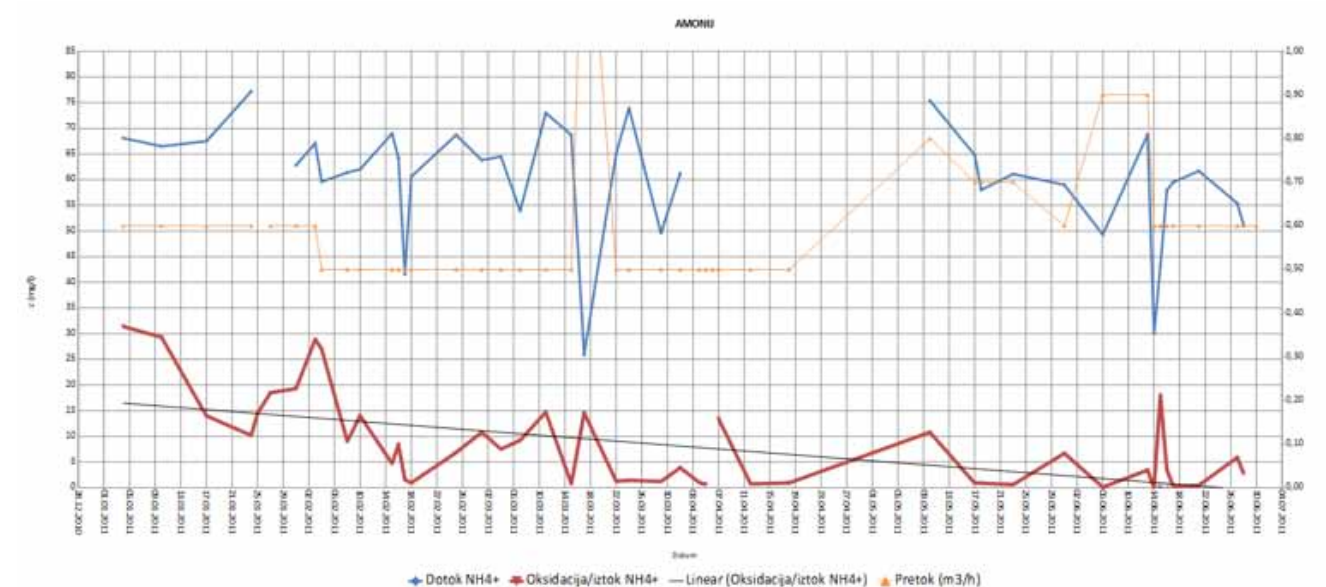
4. PRAKTIČNI PRIMERI

PVA-MBBR je bil podrobneje preverjen in testiran v klasični postavitvi postopka s prednitrifikacijo v okviru testiranja z laboratorijsko pilotno napravo na lokaciji CČN Domžale - Kamnik. Rezultati so bili objavljeni v različnih publikacijah (Levstek, 2009; Rouse idr., 2009; Rouse idr., 2006; Levstek idr., 2010). Prvič je bil na območju EU-ja v večjem merilu kontejnerske pilotne naprave preverjen v Veliki Gorici na Hrvaškem. Na osnovi izhodišč in prakse proizvajalca ter ne nazadnje novega izpeljanega postopka s poenostavitvami se je uspešno izvedlo nekaj referenčnih objektov. MBBR z novo generacijo nosilca PVA je bil izveden v okviru nekaj projektov. Največji je KČN Zreče z zmogljivostjo 8.500 PE, sledi mu UPOV Benkovac s 7.000 PE. Manjša projekta sta še Semič z 2.500 PE in Dolnje Brezovo s 1.500 PE. V nadaljevanju so predstavljeni rezultati pilotiranja v Veliki Gorici, delovanje KČN Zreče in UPOV Benovac.

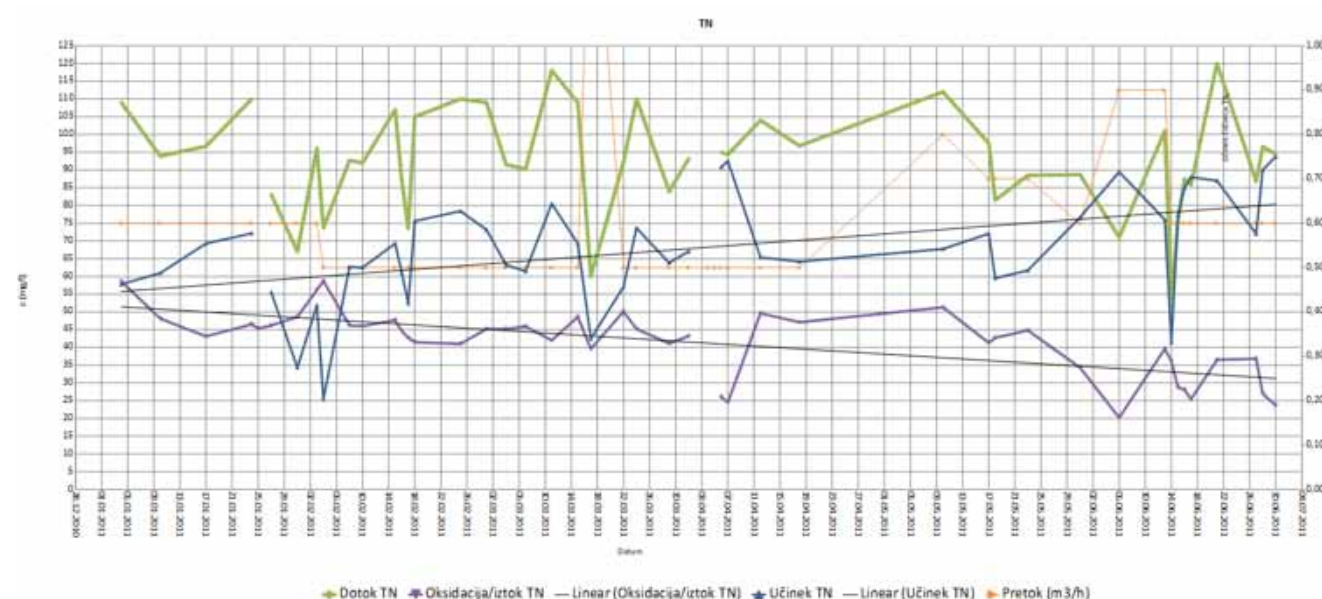
Podatki, ki so predstavljeni, niso rezultat znanstvenoraziskovalnega dela, kot je bil to primer za delo okoli laboratorijskega pilotiranja v CČN Domžale - Kamnik. Merjenja so bila izvedena v obsegu možnosti posameznega upravljavca na sami lokaciji in ne kot priprava za objavo strokovnega prispevka raziskave. Podatki vključujejo interne meritve in/ali meritve pooblašene institucije za izvedbo obratovalnega monitoringa.

Pilotiranje v Veliki Gorici je potekalo do junija 2011. Pilotna naprava je bila povezana z dotokom odpadne vode za obstoječo mehansko fazo čiščenja, ki je vključevala grobe grablje, fino sito ter peskolov. Bistvene značilnosti odpadne vode so bile: velik delež maščob, povprečno slabo razmerje TN : BPK5 = 1 : 3,5, visoke koncentracije parametrov in nizke temperature vode do marca, do 9,5 °C.

Sliki 1 in 2 prikazujeta rezultate nitrifikacije in denitrifikacije oz. čiščenje skupnega dušika.



Slika 1: Pilotna naprava Velik Gorica – NITRIFIKACIJA



Slika 2: Pilotna naprava Velik Gorica – SKUPNI DUŠIK

Pogoji obratovanja so dinamični, odvisni od sprememb na dotoku in zunanjih dejavnikov. Zimske temperature vode v reaktorju so bile pod 12 °C, najnižja izmerjena 25. 2. 2011 sicer 9,5 °C. pH-vrednosti v normalnih mejah, pretok 0,5 m³/h. V maju in juniju je bilo več ponastavitev pretoka do 0,9 m³/h. Postopek brez internega povratka in dve coni, ki se prosto mešata. V prvi 2–3 mgO₂/l, v drugi 4–5 mgO₂/l. 10. 5.; ponastavitev na 3,5 mg O₂/l in 17. 5. na 3 mgO₂/l. Od 14. 6. naprej nemerjeno dodajanje glicerola zaradi slabega razmerja med TN in BPK5 na dotoku.

Bolje bi bilo vsak učinek pretoka, kisika in glicerola meriti posebej, a smo bili prisiljeni končati zaradi preteka izvoznega dovoljenja pilotne naprave. Vseeno pa je prišlo do nekaj sklepov. Postopek lahko deluje v enotnem reaktorju brez internega povratka, primarno posedanje v postopku ni pomembno, z zmanjšanjem koncentracije kisika se je pravzaprav učinek čiščenja dušika povečeval v zadnjih merjenjih do 70–75-% učinka čiščenja. Da se je pozitiven trend učinka nadaljeval tudi s povečanim pretokom nekje do 0,7 m³/h. Za točnejšo proučitev vpliva kisika, pretoka in tudi vzpostavitev ustreznega razmerja hranil bi potrebovali več časa, ki se je iztekel. Masna bilanca suhe snovi postopka se z meritvami ni spremljala.

Komunalna čistilna naprava Zreče je bila zgrajena in puščena v obratovanje 2013, z zaključnim poskusnim obratovanjem v 2014. Delovanje je razvidno iz internih in pooblaščenih meritev obratovalnega monitoringa. Masna bilanca skozi postopek ni bila raziskana, obstaja pa podatek o letnih odvozih blata. Priključitve kanalizacije na napravo so se izvajale fazno. V prvem letu je večji del obremenitev predstavljal sprejem grezniških vsebin. Sedaj je stanje priključitev normalno in greznice predstavljajo samo še del obremenitev.

KČN Zreče je prva komunalna čistilna naprava po tem postopku in z novo generacijo nosilca, ki jo predstavlja nosilec PVA. Kot taka je še vedno predmet analiz in optimizacije delovanja. V 2016 se je preizkušalo delovanje naprave z nastavitvami zahteve raztopljenega kisika in v 2017 z intermitentnim prezračevanjem. Paziti je bilo treba, da se mejne vrednosti ne prekoračijo in vzdržuje delovanje naprave. Preveliki koraki v testiranjih niso bili možni.

V tabelah 1, 2 in 3 so predstavljene meritve delovanja naprave.

Tabela 1: Meritve obratovalnega monitoringa za leto 2016

Datum	pretok	dotok KPK	BPK5	TN	iztok KPK	BPK5	TN	NH4	UČINEK TN	UČINEK BPK5	UČINEK KPK
13.01.16	1205	155	132	22,8	30	9	10,6	4,2	53,51 %	93,18 %	80,65 %
17.02.16	1207	75	45	15,2	30	9	9,8	1	35,53 %	80,00 %	60,00 %
10.03.16	1231	133	75	20,7	30	9	12,2	3,4	41,06 %	88,00 %	77,44 %
14.04.16	1216	422	350	40,4	32	9	14,6	2,4	63,86 %	97,43 %	92,42 %
12.05.16	1396	118	107	23,8	34	9	14,2	5,9	40,34 %	91,59 %	71,19 %
15.06.16	1246	203	175	21,9	30	9	10,1	1	53,88 %	94,86 %	85,22 %
12.07.16	947	220	162	24,8	30	9	11,8	1,1	52,42 %	94,44 %	86,36 %
11.08.16	1083	634	190	29,6	30	9	10,3	1,2	65,20 %	95,26 %	95,27 %
03.10.16	1052	240	185	35,8	36	10	13,5	1	62,29 %	94,59 %	85,00 %
13.10.16	939	672	456	48,3	20	14	14,5	3,9	69,98 %	96,93 %	97,02 %
10.11.16	1479	250	135	5,1	34	9	16,9	4,3	-231,37 %	93,33 %	86,40 %
30.11.16	1139	729	490	79,4	30	9	24,1	8,6	69,65 %	90,16 %	95,88 %
Povprečje	1 178,33	320,92	208,50	30,65							

Tabela 2: Interne meritve upravljalca za leto 2016 – preizkušanje pri različnih koncentracijah O₂

Datum	Dotok (mg/l) BPK5	KPK	TN	NH4+	T	Iztok (mg/l) BPK5	KPK	TN	NH4+	UČINEK TN	UČINEK BPK5	UČINEK KPK
09.11.2015								10				
10.11.2015			226	45	37			4	8,6	2,1		
16.11.2015												
17.11.2015		163			27							
24.11.2015	140	200	43		28							
30.11.2015								22	9,3	3,7	76,75 %	
01.12.2015		196	40		27							
04.01.2016								22	13,1	5,1		
05.01.2016		651	50		38							
11.01.2016						13,2		31	11,3	4,3	24,67 %	
12.01.2016		110	15			12,5						
19.01.2016						11,7						
20.01.2016						12,0						
21.01.2016	240					12,1	6					
27.01.2016						12,6		25	15,2	9,7	66,22 %	
28.01.2016	240	203	45		33	12,6	13				94,58 %	
02.02.2016	110	257	49		34	13,6	6,2	22	13,7	11,7	72,04 %	94,36 %
10.02.2016		371	46		28			20	13,7	2,7	70,22 %	94,61 %
15.02.2016	140						5,4				96,14 %	
23.02.2016		105	12		9			8	11,8	0	1,67 %	92,38 %
08.03.2016	110	215	6		30		4,8	7	10,2	-70,00 %	95,64 %	96,74 %
15.03.2016	432	373	36		30		2,8	6	13,1	1,9	63,61 %	99,35 %
23.03.2016	138	284	49		32		5,2	3	15	4,1	69,39 %	96,23 %
01.04.2016	170	193	38		34	14,0	8	21	14,4	5,3	62,11 %	95,29 %
06.04.2016	180	243	45		32	14,5	3,8	12	14,7	3,1	67,33 %	97,89 %
12.04.2016	220	263	46		33	14,8	3,6	12	11,2	1,7	75,65 %	98,36 %
18.04.2016	230	285	51		35	14,9	3	13	13,9	2,9	72,75 %	95,44 %
25.04.2016	200	233	48		33		5	8	12,9	3,8	73,13 %	97,50 %
05.05.2016	280	252	43		25	14,4	4	4	12,9	3,8	70,00 %	98,57 %
12.05.2016	280	240	46		32	14,2	3	10	14,3	6,9	68,91 %	98,93 %
18.05.2016	110	229	42		26	15,2	3,4	14	13,2	2	68,57 %	96,91 %
25.05.2016	310	135	13		9	15,5	3,8	14	14,5	6,9	-11,54 %	98,77 %
01.06.2016		254	39		31			15	14,4	1	63,08 %	94,09 %
16.06.2016	100	84	16		13	17,3	4,8	3	11,7	0,4	26,88 %	95,20 %
22.06.2016	140	140	24		16	16,3	6,4	3	12,6	0	47,50 %	95,43 %
28.06.2016	130	180	30		23	18,7	3,8	4	13,5	0,1	55,00 %	97,08 %
04.07.2016	470	270	31		29	19,3	4,8	6	13,8	0,1	55,48 %	98,98 %
12.07.2016	210	182	35		31	19,3	9	15	13,7	0,1	60,86 %	95,71 %
19.07.2016	50	305	47		36	19,4	0	15	14,2	0,1	69,79 %	100,00 %
25.07.2016		1208	53		23	20,2		53	11,3	0,2	78,68 %	95,61 %
08.08.2016	110	170	32		27	19,2	3,8	19	11,4	0,2	64,38 %	96,55 %
17.08.2016	190	156	26		13	19,1	4	13	11,4	1,1	56,15 %	97,89 %
23.08.2016	400	184	26		18	19,0	5,6	15	10,5	1,3	59,62 %	98,60 %
30.08.2016	190	697	46		31	19,0	9	15	12,6	2,1	72,61 %	95,26 %
06.09.2016		317	43		31	19,5		22	10,2	0	76,28 %	93,06 %
13.09.2016	220	250	43		30	19,7	8				100,00 %	96,36 %
20.09.2016	170	229	76		30	19,3	4,4	37	14,7	0	80,66 %	97,41 %
27.09.2016	240	431	41		30	18,0	0	34	13,5	2,5	67,07 %	100,00 %
05.10.2016	310	336	49		32	18,0	7	20	15,6	1	68,16 %	97,74 %
11.10.2016	278	319	44		30	17,7	3,8	11	13,9	0,1	68,41 %	98,63 %
19.10.2016	280	291	43		29	17,8	13	17	15,4	0,5	64,19 %	95,36 %
25.10.2016	190	236	47		30	17,9	5	10	13,1	1	72,13 %	97,37 %
04.11.2016	150	215	0		25		8	24		6,6	94,67 %	88,84 %
08.11.2016	250	119	11		7	15,6	7	3		0,2	100,00 %	97,20 %
15.11.2016		117	17,7		12			16	16	2,7	6,98 %	86,32 %
28.11.2016	230	189	37,8		23		6	14	7	3,2	81,48 %	97,39 %
05.12.2016	260	182	39,3		23	14,3	4,8	11	11	4,8	72,01 %	98,15 %
12.12.2016	120	180	39,5		25	14,1	8	13	10	0,8	74,68 %	93,33 %
19.12.2016	110	154	34,4		22	13,5	9	11	9	4,7	73,84 %	91,82 %
27.12.2016	110	145	28,4		21	12,9	6	11	10	0,6	64,79 %	94,55 %

Tabela 3: **Interne meritve upravljavca za leto 2017 – preizkušanje intermitentnega prezračevanja**

	Dotok (mg/l)					Iztok (mg/l)			
Datum	BPK5	KPK	TN	NH4+	T	BPK5	KPK	TN	NH4+
16. 03. 2017	280	557	48,9	29		7	15	12	7,9
20. 03. 2017	160	245	52,8	31		5	14	8	4,3
27. 03. 2017	200	278	43,6	26		5	15	9	3,3
03. 04. 2017	250	264	49,9	27		3	17	10	0,4
12. 04. 2017	190	254	55,6	27		13	15	14	9,8
19. 04. 2017	200	270	44,8	30	13,9	5	16	28	6,5
24. 04. 2017	240	319	52,9	30	13	4	14	10	0,5
03. 05. 2017	150	179	30	18	12,7	4	9	8,9	0,3
08. 05. 2017	150	196	45	27	13,1	3	12	10,8	0
15. 05. 2017	160	240	47	31		5	15	9,3	1,4
22. 05. 2017	170	235	39	25	13,5	4	14	8,9	1,9
31. 05. 2017	200	320	44	30	15	4	60	12,1	6,5
05. 06. 2017	230	294	42	28	15,7	5	7	8,7	3,2
12. 06. 2017	230	245	54	32	15,8	5	10	9,8	0,4
19. 06. 2017	240	322	46	76	15,9	4	4	9,8	1,5
26. 06. 2017	110	166	36	25	16,6	4	7	9,5	0,2
03. 07. 2017	180	296	47	36	16,9	6	13	9,8	0,5
10. 07. 2017	180	259	49	34	16,2	6	14	8,9	6,3
17. 07. 2017	170	289	44	36	17,7	4	18	9,6	3,6

Na osnovi zbranih podatkov bi lahko ocenili, da je intermitentni postopek boljša izbira zaradi 2–4 mg/l nižje koncentracije skupnega dušika na iztoku naprave. Sčasoma bo podatkov več in analiza boljša. Bistveni zaključek je, da postopek uspešno čisti odpadno vodo vseh štirih ključnih parametrov.

Masna bilanca postopka ni narejena. Lahko pa se oceni proizvodnja blata glede na podatek o odvozu in primerljivost tega z izvedenimi meritvami obremenitev naprave. Ocena se primerja z oceno proizvodnje blata pri pogojih pretočnega sistema z aktivnim blatom, starim 25 dni. Na proizvodnjo blata dodatno vpliva sistem precipitacije fosforja ter sprejem grezniških vsebin in blata, kar je v primerjavi tudi upoštevano.

Tabela 4: **Analiza odvoza blata za leto 2016**

Blato odpeljano/leto	391.960,00	kg/leto
Ocena suhe snovi odpeljanega blata	20,00 %	
Ocena suhe snovi odpeljanega blata	78.392,00	kg/leto
	214,77	kg/dan
Ocena prirasta blata pri precipitaciji		
Ocena prirasta pri SRT = 25, Al	6,00 %	
Ocena prirasta pri SRT = 25, Al	9.460,80	kg/leto
	25,92	kg/dan
Ocena suhe snovi greznic/male čistilne naprave		
pripranjeno	174,1	m3
ocena sušine	5,00 %	
ocena suhe snovi	8,705	t
	8.705,00	kg
Dosežena proizvodnja blata		
Dosežena proizvodnja blata	60.226,20	kg/leto

Tabela 5: **Ocena in primerjava pri priključenosti 7.200 PE**

Teoretična proizvodnja blata glede na PE priključitve	* brez vpliva precipitanta * brez sprejema greznic	
PE – priključenih	7.200,00	PE
PE obremenitev	60	g/PE
Obremenitev BPK5	432	kg/d
Ocena proizvodnje blata SRT = 25	157.680,00	kg/leto
Ocena proizvodnje blata PVA-MBBR	65,00 %	
Ocena proizvodnje suhe snovi PVA-MBBR	280,8	kg/d
	102.492,00	kg/leto
Dosežen biološki prirast blata brez grezniških vsebin in precipitacije		
Dosežena proizvodnja blata	60.226,20	kg/leto
Razmerje doseženega prirasta blata s prirastom SRT=25	38,20 %	



Tabela 6: Ocena in primerjava na osnovi obratovalnega monitoringa

Ocena po izvedenih meritvah		
Teoretična proizvodnja blata glede na PE priključitve	* brez vpliva precipitanta * brez sprejema greznic	
PE – priključenih	4.094,71	PE
PE obremenitev	60	g/PE
Obremenitev BPK5	245,68	kg/d
Ocena proizvodnje blata SRT=25	89.674,11	kg/leto
Ocena proizvodnje blata PVA-MBBR	65,00	%
Ocena proizvodnje suhe snovi PVA-MBBR	159,69	kg/d
	58.288,17	kg/leto
Dosežen biološki prirast blata brez grezniških vsebin in precipitacije		
Dosežena proizvodnja blata	60.226,20	kg/leto
Razmerje doseženega prirasta blata s prirastom SRT=25	67,16	%

Razlog razlike v oceni priključenosti in dejanskih zabeleženih meritvah še ni jasn. Ocena proizvodnje blata postopka PVA-MBBR je bila izpeljana na osnovi podatkov biološkega prirasta blata (Rouse idr., 2007) in ocene inertne snovi na dotoku. Primerjalno je bila podana ocena 65 % proizvodnje blata postopka z aktivnim blatom, starim 25 dni. Pri ugotovljeni obremenjenosti naprave je ocenjena proizvodnja blata, ki znaša 67 % proizvodnje blata postopka z aktivnim blatom, starim 25 dni ali 0,67 kgSS/kgBPK5.

Komunalna čistilna naprava Benkovac je bila puščena v obratovanje 2014 in zaključila poskusno obratovanje v 2015. Postopek čiščenja odpadne vode je enak zreškemu in sledi opisnemu. Zmogljivost naprave je 7.000 PE. Posebne značilnosti naprave so: pomemben delež sprejema grezniških vsebin, nepredviden jesenski dotok predelave alkoholne in nealkoholne pijače in pogosto velik vdor podzemne vode v javni sistem kanalizacije. Na čistilni napravi blata večinoma ne dehidrirajo. Blato se po opciji predvidenega postopka linije blata zgoščeno odvaža v odkrite lagune, kjer je prepuščeno sušenju na soncu.

Merjeni podatki so v tabelah 7 in 8.

Tabela 7: Meritve obratovalnega monitoringa

Datum	pretok	dotok		iztok			
		KPK	BPK5	KPK	BPK5	TN	UČINEK BPK
10.02.16	1000	831	447	42,8	5,3	4,29	98,81 %
07.03.16	1000	2950	1066	47	1,1	5,35	99,90 %
12.04.16	1000	620	240	30	3	8,78	98,75 %
05.05.16	1000	347	154	29,6	7,7	10,42	95,00 %
15.06.16	1000	186	52	30,1	5,7	6,49	89,04 %
	1000	206	113	25,2	5,14	8,28	95,45 %
	1000	131	139	12,3	1,3	13,9	99,06 %
	1000	424	226	47,1	18,9	6,26	91,64 %
	1000	365	187	48,7	11,7	13,3	93,74 %
26.11.17	1000	468	287	27,8	5,7	9,63	98,01 %
08.02.17	1000	742	258	14	3	8,19	98,84 %
09.03.17	1000	241	134	15	2	9,18	98,51 %
Povprečje	1.000,00	625,92	275,25				

Tabela 8: Meritve internega monitoringa

Datum	pretok	dotok		iztok								
		KPK	BPK5	TN	NH4	KPK	BPK5	TN	NH4	UČINEK TN	UČINEK BPK	UČINEK KPK
14.09.2016	1000	625	/	88,2	/	157	/	4,57	/	94,82 %	/	74,88 %
19.09.2016	1000	2041	508	/	/	165	70	/	/	/	86,22 %	91,92 %
27.09.2016	1000	3350	/	51,9	29,55	149	/	6,27	/	87,92 %	/	95,55 %
11.10.2016	1000	1404	/	/	/	61	/	13,4	/	/	/	95,66 %
20.10.2016	1000	/	/	/	/	31,2	/	/	/	/	/	/
13.10.2016	1000	313	139	/	/	12,3	1,3	13,9	/	/	99,06 %	96,07 %
23.11.2016	1000	335	/	/	/	158	/	/	/	/	/	52,84 %
24.11.2016	1000	965	/	35,4	/	166	/	11,8	/	66,67 %	/	82,80 %
28.11.2016	1000	438	/	24,4	/	176	/	8,34	/	65,82 %	/	59,82 %
30.11.2016	1000	424	226	/	/	47,1	18,9	6,26	/	/	/	88,89 %
16.12.2016	1000	365	187	/	/	48,7	11,7	13,3	/	/	/	86,66 %
26.01.17	1000	468	287	/	/	27,8	5,7	9,67	/	/	98,01 %	94,06 %
08.02.17	1000	742	258	/	/	14	3	8,19	/	/	98,84 %	98,11 %
09.03.17	1000	241	134	/	/	15	2	9,18	/	/	98,51 %	93,78 %
Povprečje	1.000,00	900,85	248,43									

Čistilna naprava Benkovac dosega vse zahteve čiščenja odpadne vode. Tudi jeseni v času večkratnih prekoračitev zmogljivosti se je naprava dobro odzvala in dosegala nad 90 % čiščenja KPK ter nad 85 % čiščenje dušika. V normalnih pogojih obratovanja so rezultati zelo podobni rezultatom v Zrečah.

5. ZAKJUČEK

Sčasoma nabrani rezultati bodo od naprave do naprave zaradi razlik v dotokih različni in oblikovala se bodo boljše izhodišča za napovedi ter tudi dimenzioniranje postopka. Na osnovi meritev na pilotni napravi in referenčnih objektih pa lahko zaključimo, da postopek nitrifikacije in denitrifikacije v enem bazenu deluje brez primarnega posedanja in internega povratka. Tudi ocena dosežene proizvodnje blata je zelo blizu prvotni oceni, izpeljani iz predhodnih raziskav. Nova generacija nosilcev biomase je, kot je prikazano, odprla nove smeri razvoja postopka MBBR. Smeri in postopki, ki so že v praksi in delujejo, zmanjšujejo stroške in poenostavljajo upravljanje. Odprte so tudi možnosti za dodatne, boljše analize in izboljšave.

LITERATURA IN VIRI

- Levstek, M., Plazl, I., 2009. Influence of carrier type on nitrification in the moving-bed biofilm process. Water Science & Technology.
- Levstek, M., Plazl I., Rouse, J. D., 2010. Estimation of the Specific Surface Area for a Porous Carrier. Acta Chim. Slov.
- Rouse, J. D., Burica, O., Stražar, M., Levstek, M., Oxidation of Excess Organic Sludge from a Moving-bed Biofilm Process. Water Practice, 2007, Vol. 1, No.4.
- Rouse, J. D., Burica, O., Stražar, M., Levstek, M., 2006. A Pilot-plant study of a moving-bed biofilm reactor system using PVA gel as a biocarrier for removals of organic carbon and nitrogen. Proceeding of the IWA Biofilm Systems VI Conference, Hybrid Reactors Session.
- Wikipedia. Dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Moving_bed_biofilm_reactor [19. 4. 2017].



F3m zastopnik za WPL in Ventil Aqua.

F3M Levstek d. o. o.
Podgorica 86,
1231 Ljubljana Črnuče

T: +38641/ 826-926
E: info@f3m.si
W: http://www.f3m.si



Preizkušena in učinkovita rešitev
čiščenja odpadne vode.



DIAMOND čistilne naprave za čiščenje odpadnih
voda iz individualnih objektov v velikosti
do 50 PE (WPL Ltd, UK)



HIPAF čistilne naprave za čiščenja
odpadnih voda iz večjih naselij, hotelov ...
v velikosti do 3000 PE (WPL Ltd, UK)



INDUSTRIJSKE ČISTILNE NAPRAVE po meri
naročnika izdelane kompleksne čistilne naprave
osnovane na fizikalno - kemijskih in bioloških
procesih za čiščenje odpadnih voda iz predelave
mleka, mesa, zelenjave, obdelave odpadkov,
predelave lesa ... (Ventil Aqua Portugalska)

HOW TO MANAGE A WATER UTILITY IN A RAPIDLY CHANGING WORLD – THE RUHRVERBAND EXAMPLE

prof. Dr.-Ing. NORBERT JARDIN¹

Abstract

The key performance criteria for an effectively managed utility are based on quality of service, financial viability, sustainable usage of resources, infrastructure stability and customer and employee satisfaction. In a rapidly changing world this is an everyday challenge for the management of a water utility. Among the various external drivers utilities in Europe are actually facing, the consequences of the increased water quality demands set by the Water Framework Directive complemented by the actual discussion about micropollutants in the water cycle, the demographic and climatic changes and the aging infrastructure are the most critical ones. With the example of Ruhrverband, one of the largest water utilities in Germany, it will be shown how these challenges can be tackled effectively by establishing thoughtful management processes in order to continuously improve the performance at all service levels. Special focus is placed on benchmarking, energy management, optimisation of plants and operations and improving the organisational procedures.

Key words: performance, Ruhrverband, status of water bodies, water utilities

¹ Prof. Dr.-Ing. Norbert Jardin, Ruhrverband, Chief Technology Officer



1. RUHRVERBAND

Ruhrverband (<http://www.ruhrverband.de>) is one of the largest supra-regional water associations in Germany and responsible for the water quantity and the water quality management within the catchment area of the River Ruhr (Figure 1). Nearly 5 million people in the northern part of the Rhenish-Westphalian industrial district are served with drinking water extracted from the aquifers in the Ruhr valley. To assure a high quality of the raw water and a sufficient flow rate of the River Ruhr, Ruhrverband owns and operates more than 60 wastewater treatment plants, 8 reservoirs and nearly 560 stormwater facilities. Ruhrverband employs around 1100 people.

Although the Ruhr River, only 271 km long, originates in a region with a high rainfall, it is subject to great fluctuations in its in- and outflow in the approx. 4,500 km²-large precipitation catchment area. The average flow rate of the Ruhr at the point of inflow into the Rhine is approx. 80 m³/s. However, in dry periods, the Ruhr's flow rate can sink to 3.5 m³/s. By contrast, the Ruhr can increase its flow to a rate of 2,000 m³/s during a flood.

At the turn of the century, the problem of securing a sufficient flow rate was aggravated by the fact that a significant portion of the water that water utilities withdrew did not flow back into the Ruhr. Instead, it was transferred into other river areas (so-called »extraction«). At the time of the formation of the Ruhr Association (1913), 87 water utilities withdrew a total of approx. 275 million m³ of water annually from the river. Only about 56 million m³ of that were discharged back into the river as wastewater.

Since then, the greatly fluctuating flow rate of the river and the resulting disproportion between water availability and demand contributed to the need for management of this river basin (and laid the foundation for the Ruhr Reservoirs Association).

Despite the substantial fluctuations in outflow, the Ruhr River has been and is still used for drinking water supply. It has become the chief water supplier for the Ruhr area. Today, nearly five million people receive their drinking water from the Ruhr. In addition, there is multitude of small, medium-sized, and large enterprises and plants that are dependent on water from the Ruhr.

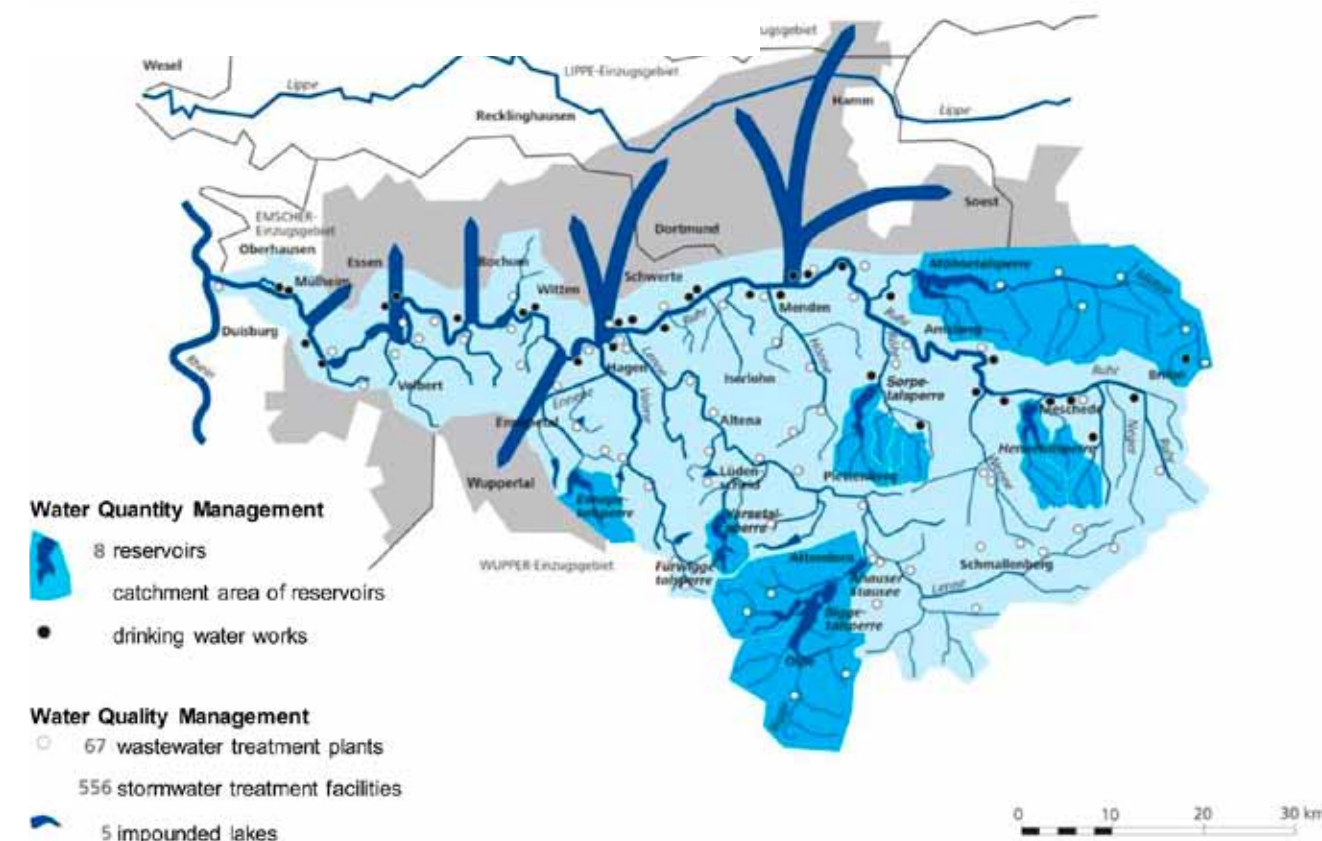


Figure 1: Water management in the catchment area of the river Ruhr

Ruhrverband looks back on more than 100 years of water management practice. Both the former Ruhrverband and Ruhrtalsperrenverein were founded in 1913 by special acts of the Prussian legislation. From 1899 to 1913 the Ruhrtalsperrenverein existed as an association under private law. They became responsible for integrated water resources management in the entire natural river basin. In 1990, both associations were merged into a single unit by a new Ruhrverband act. The association is a self-governing, but state-controlled public body. The Ministry of the Environment of the State of North Rhine-Westphalia controls the association. Unhampered by political borders, the Ruhrverband designs, constructs and operates the required facilities. Thus, system-wide management has been put into effect, which has the potential of balancing and minimizing costs.

2. CHALLENGES AND DRIVERS FOR WATER UTILITIES IN EUROPE

2.1. General remarks

In a rapidly changing world, water utilities across Europe are confronted by various old and new challenges. These challenges drive the strategic and tactical lead of water utilities and will be discussed shortly in the following. Although these challenges are typical ones for German water utilities most of them could be easily transferred also to other European operators of water and wastewater infrastructure and are not only restricted to public utilities, but can also easily be used to describe the challenges for private organisations.



With the example of Ruhrverband it will be discussed how these challenges can be met and what kind of instruments have been established to systematically improve the overall performance of the organisation. Because Ruhrverband is mainly an operator of wastewater facilities most of the described challenges are restricted to the field of wastewater collection and wastewater treatment.

2.2. Requirements for the quality of water services

In 1991 the European commission has adopted the Council Directive concerning urban wastewater treatment (Council Directive concerning urban waste-water treatment, 91/271/EEC). Depending on the sensitivity of the self-declared area in the member states, different levels of wastewater treatment should have been achieved by 2005. The highest requirements are due to so-called "sensitive areas" to which Germany has declared the whole area of the country. Also, most of the member states within the catchment area of the Danube are sensitive areas. In the consequence, the level of wastewater treatment has to achieve full nutrient removal depending on the size of the plant as defined by the directive (Council Directive concerning urban waste-water treatment, 91/271/EEC).

By the end of 2015 only six member states have achieved full compliance with regard to nutrient removal as defined by the article 5 in the directive (European Commission, 2015) (Figure 2). This means, in most of the European member states significant investments must be used to increase the degree of wastewater treatment according to the requirements. This is not only restricted to the new EU members but also to long-time members of the European Union.

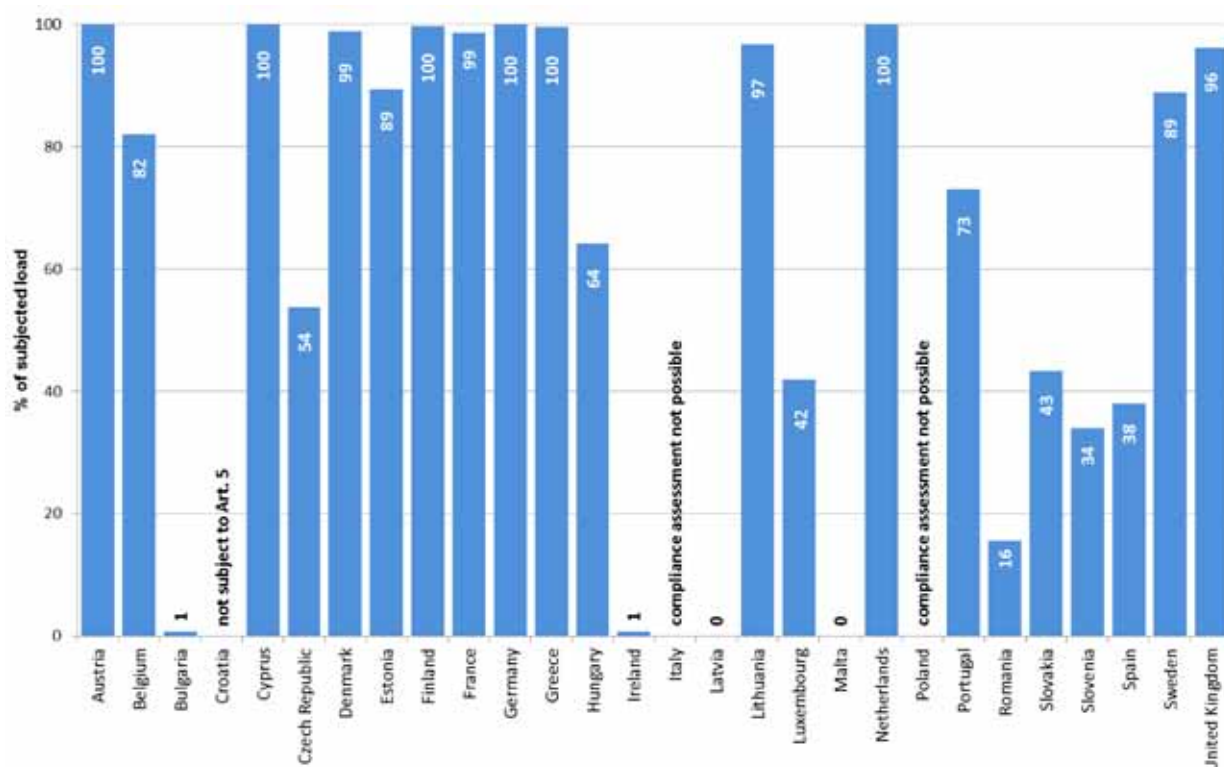


Figure 2: Assessment of compliance with Article 5 (in relation to the generated load subject to compliance with Article 5) for EU-28 Member States

Reference: European Commission, 2015

In the year 2000 the European Union entered a new area in the management of water resources. With the water framework directive Europe has - for the first time - started to manage the whole water cycle in an integrated approach (Directive establishing a framework for Community action in the field of water policy, 2000/60/EC). The ultimate goal of the water framework directive is to achieve a good ecological and chemical status of all water bodies across Europe by the end of 2027. Today, all member states have started the second management cycle which will last from 2016 to 2021. But still, most member states are far away from achieving a good status in the water bodies. As reported for Germany, only 7 % of the surface waters are actually in a good ecological status (Umweltbundesamt, 2016).. And due to the more stringent requirements for the chemical status as defined by the list of priority substances (Directive amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy, 2013/39/EU) nearly all surface waters in Germany are in a bad chemical status. Figure 3 clearly shows that most member states are far away from achieving a good status in their water bodies.

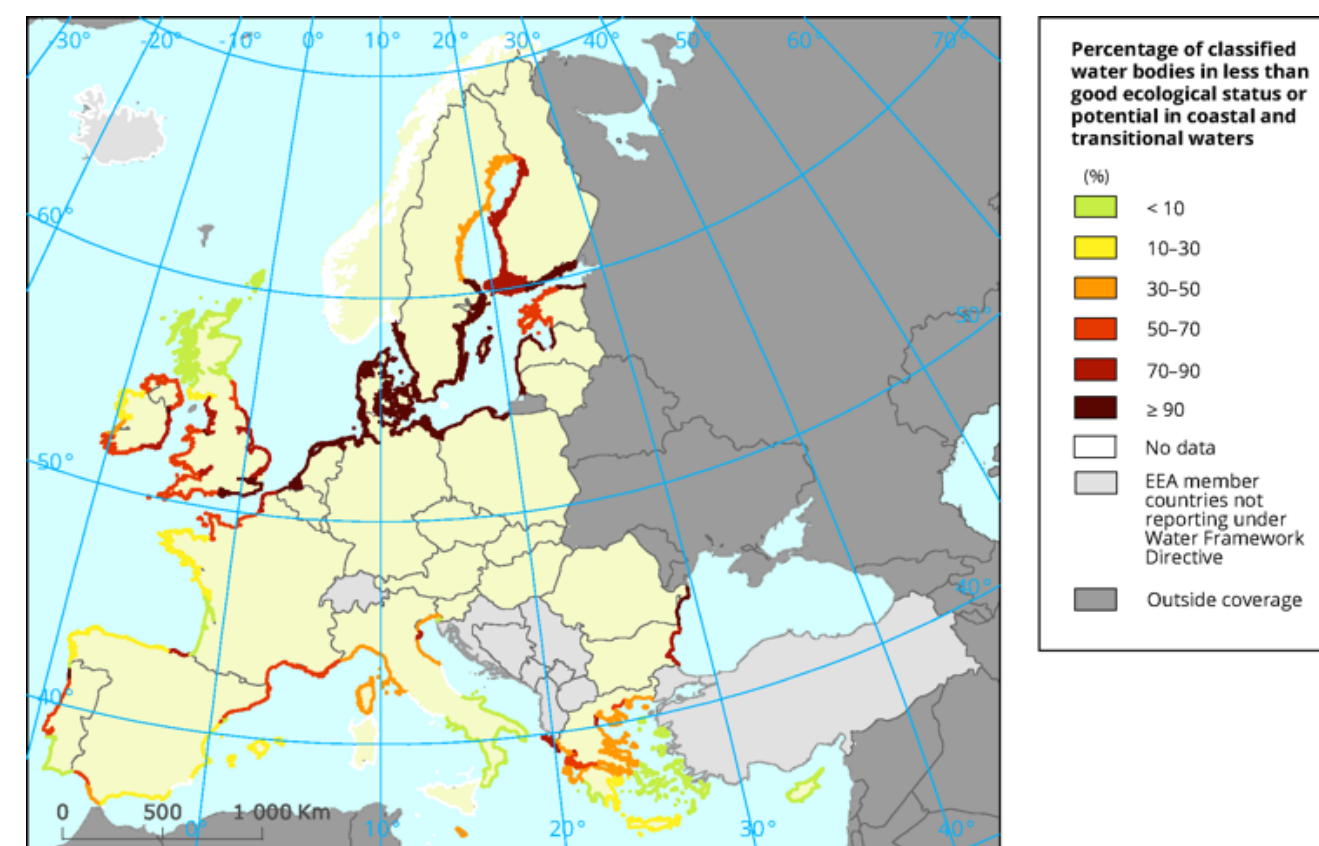


Figure 3: Percentage of classified water bodies in less than good ecological status or potential in coastal and transitional waters

Reference: European Environment Agency, 2016.

Although not all deficits in surface water are caused by the discharge of treated wastewater or stormwater, substantial number of measures have been defined by the authorities concerning wastewater treatment plants or stormwater management facilities in order to reduce the impact on receiving waters. Within the catchment area of the river Ruhr 266 measures have



been defined for improving the stormwater treatment, 15 measures for increasing the nutrient removal on wastewater treatment plants and 12 measures are related to even further wastewater treatment concerning micropollutant removal (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen).

For an operator of wastewater treatment plants like Ruhrverband who has fulfilled the requirements for urban wastewater treatment (Council Directive concerning urban waste-water treatment, 91/271/EEC) by the end of 2005 the implementation of the Water Framework Directive (Directive establishing a framework for Community action in the field of water policy, 2000/60/EC) still calls for subsequent investigations - and in some cases also measures - in order to reduce the effects on the receiving waters.

2.3. Public and political perception concerning costs of water services

Most often, the consequent and careful work of water utilities for securing a safe wastewater treatment and drinking water supply is not appreciated in the public at large as it should be deserved considering the tremendous consequences for public hygiene and the welfare of the society. In contrast, the costs for water services are regularly part of a public debate in which the utilities are confronted with the expectation that the services should be provided by reduced costs.

2.4. Demographic changes

Like most countries in Europe, Germany is also affected by significant demographic changes within the country. As in the rest of the world, urbanisation is a phenomenon which consequently leads to a sustained movement of people from rural areas to larger agglomerations. For the whole world it is expected that by 2040 nearly 70 % of the world's population will live in cities or large agglomerations (United Nations, 2014). This is also due to the Ruhr area, although in a much smaller scale. Ruhrverband is facing a loss in the overall population in the Ruhr area by approximately 10 % by 2040. Whereas the population in larger cities like Essen or Dortmund will increase, the number of people living in rural areas will increase significantly - in some areas by more than 30 %. In addition, this is superimposed by a continuous reduction in water consumption in Germany. Consumption per capita per day (including households and small commercial customers) declined from 147 L in 1991 to 122 L in 2014 - a decrease of 17 % (BDEW, 2017). Furthermore, industrial demand fell from 1.17 billion m³ in 1991 to 0.64 billion m³ in 2013 (BDEW, 2017).

This will cause two severe challenges for a water utility. Firstly, a reduction in the population served with drinking water and wastewater services can lead to severe technical problems in operating the technical facilities. For the drinking water distribution network this means that combining the loss of served population and the reduction of specific drinking water consumption will lead to longer retention times and even stagnation in the pipes. The most severe concerns regarding longer retention times are possible hygienic problems and corrosion. Secondly, a financial problem arises from the reduction of population and the reduced drinking water consumption. The mainly by long-lasting capital investments dominated cost structures

of water utilities (up to 80 %) will consequently lead to an increase of the specific prize for water services and a smaller number of people have to carry the more or less constant financial burden. In other words, there is a fundamental mismatch between cost and revenue structures in times of demand decreases (Thöle et al., 2004).

2.5. Resource efficiency

Another fundamental driver which triggers the strategy of water utilities is the aim to improve the resource efficiency in providing water services. For an operator of wastewater treatment plants this means first and foremost an improved energy efficiency. Although the electricity consumed by wastewater treatment plants in Germany is less than 1 % of the nation-wide overall consumption of electricity (DWA, 2015), in the context of a municipality the operation of a wastewater treatment plant consumes the highest amount of energy within the city. Therefore, most water utilities have established programs to systematically analyse the energy efficiency of their wastewater treatment facilities.

With regards to other resources in the context of wastewater treatment plant operation phosphorus is another subject for improving the resource efficiency. Based on the fact that most European countries import nearly all of the phosphorus from other parts of the world, discussions have already started on a European level at what costs, with what kind of technique and to what extent a recovery of phosphorus from wastewater could be possible. Germany has just recently adopted a new legislation which requests from the operators of larger wastewater treatment plants the recovery of phosphorus from wastewater, sewage sludge or ashes from sludge incineration within the next 12 (> 100.000 PE) and 15 (> 50.000 PE) years, respectively.

Another resource for which the European union will improve the efficiency of its use is the water itself. Although the northern European countries usually not suffer from water constraints, the situation in southern Europe or in other parts of the world is completely different. In these regions efficient reuse of water is key for a sustainable water management. Therefore, the water directors of the European Union have just recently started a public consultation concerning water reuse across Europe (EU Water Directors, 2016).

2.6. Reinvestment demands

Most wastewater treatment plants of Ruhrverband have been built or extended in the period between 1990 and 2005 in order to achieve full nutrient removal. This means, that the technical facilities are 12 to nearly 30 years old. Considering that the classical operating life of electrical equipment is between 10 and 15 years and for mechanical installations between 15 and 20 years one can easily imagine that a systematic reinvestment strategy is obligatory for the secure and sustained operation of wastewater treatment plants. The situation is more or less typical for all German wastewater treatment plant operators and all of them have adopted strategic and tactical plans in order to manage reinvestments.



2.7. Climate change

Climate change is another driver for water utilities, especially if they are responsible for wastewater collection and flood protection. The recent experience with weather events in Germany have shown that extreme weather situations have increased considerably. Although it seems not yet clear to what extent these extreme weather situations are directly connected with climate change, all experts agree on the fact that the frequency of these events will increase.

To illustrate this for the Ruhr area, we just recently experience on one side the ninth dry flow year in a row and on the other side more heavier rain events than in former years. A dry flow year means that the precipitation and the cumulative flow is below a long-time average. Because nearly 5 million people rely on the Ruhr water as their main drinking water resource, a careful management of the reservoirs in the catchment area is mandatory. The most recent rain events have clearly shown that flood management by technical means is not able to ensure a sufficient protection of people and facilities. A more holistic and integral approach is needed to find appropriate solutions for flood management (Wong and Brown, 2009).

3. MANAGING INSTRUMENTS USED AT RUHRVERBAND

3.1. Integrated optimisation of urban drainage catchments

Although the legal requirements defined by the German wastewater ordinance (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2004) are completely fulfilled for all wastewater treatment plants operated by Ruhrverband the aims of the water framework directive (Directive establishing a framework for Community action in the field of water policy, 2000/60/EC) (good status) call for additional investigations to what extent wastewater discharges or stormwater can have a deteriorating effect on the receiving waters. For this purpose, Ruhrverband has developed in 2005 a new planning approach which - for the first time within the organisation - takes into account the interactions between the different subsystems of the urban drainage system (Jardin, 2008). Within a multistep approach (Figure 4) the major goal of the new methodology is an integrated optimisation of the whole system including the receiving waters. Starting with a six months measuring campaign in the sewerage system and in-depth analysis of the performance of the wastewater treatment plant, integrated models are developed and used for calculating the loads and wastewater flows discharged into the rivers. In addition, also the biological status of the receiving waters is analysed in a detailed manner using sophisticated ecological methods (Jardin et al., 2015). Finally, it is investigated to what extent the operation of the urban wastewater system might have an influence on the ecological or chemical status of the receiving water. And if this is the case, appropriate measures are derived based on cost-benefit-analysis in order to improve the situation. By this methodology it has proven that at least some of the wastewater treatment plants defined in the programme of measures by the authorities (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) are not responsible for the deficits in the receiving waters and, therefore, no additional measures on these wastewater treatment plants are needed.

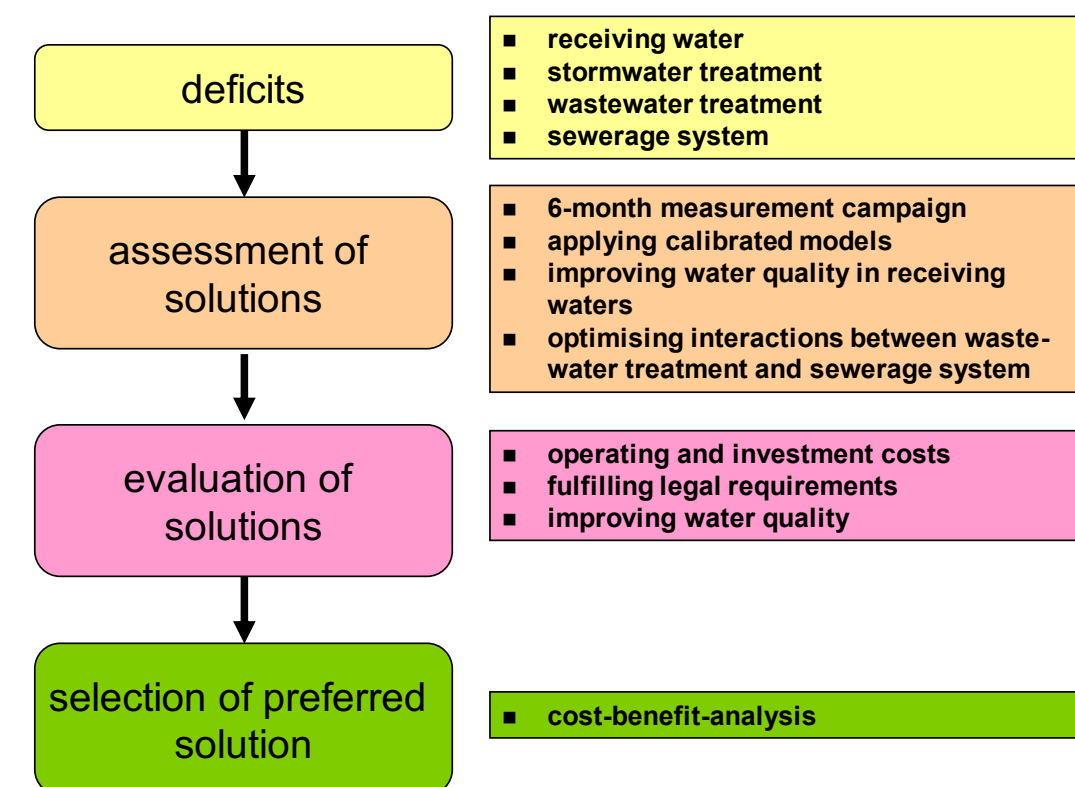


Figure 4: Integrated urban drainage planning – methodology

3.2. Benchmarking

Benchmarking is nowadays a worldwide established method to assess performance quality although the term is still widely used in the context of cost-comparisons. In broader sense benchmarking assesses performance based on five different criteria, i. e. Customer service, quality, safety, sustainability and structure/technology. The objective of benchmarking - as it is defined by the IWA specialist group on benchmarking (Cabrera et al., 2011) - is mainly to determine the potential to improve the performance and to identify measures to realize this potential in practice.

Since more than 15 years, benchmarking is used in Germany to assess the performance of wastewater treatment (Bertzbach et al., 2012). In the meanwhile mainly two different levels of benchmarking have been established among wastewater treatment plant operators with standardized methods for the process. Corporate benchmarking is dealing with the more general level of performance assessment focusing on the performance of the whole utility whereas process benchmarking is looking in more detail on the performance of the unit processes for wastewater treatment. Most often corporate benchmarking is used by most utilities as the entry point into performance assessment (Möller et al., 2012a, Möller et al., 2012b). By comparing the total costs on the utility level with best practice, e. g. the unit costs for wastewater treatment in €/PE · a) or sludge disposal and, furthermore, differentiating into costs elements (personnel, energy, sludge disposal, materials etc.) it becomes relatively clear where a more detailed analysis is needed in order to improve the performan-



ce. At this level process benchmarking is initiated to analyse the detailed performance of unit processes. Figure 5 shows the effect on cost development for wastewater management including urban drainage based on the results from corporate benchmarking and for wastewater treatment from process benchmarking in relation to the inflation rate. Bottom line of these projects is that benchmarking helps the utilities to identify measures for improvement and that the implementation of measures pays off in terms of economic performance.

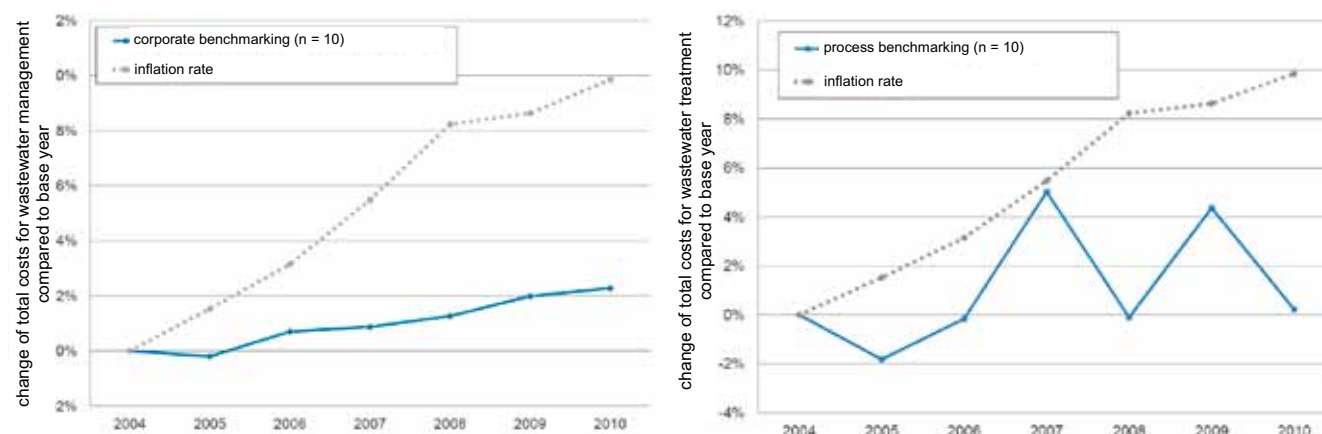


Figure 5: Cost developments for wastewater management (including urban drainage) and wastewater treatment among benchmarking participants in Germany

Reference: Bertzbach, 2012.

Concerning process benchmarking of numerous wastewater treatment plants in Germany and Austria, mostly using the activated sludge process, the key success factors for effective improvement of economic performance can be summarized as follows (Jardin and Sandino, 2014):

- Compare operating figures nation-wide and check thereby the plant's performance.
- Be open-minded and willing to learn from others.
- Make benchmarking part of the corporate strategy.
- Pay attention to data collection and establish a quality monitoring for all data.
- Use a standardized procedure to collect and analyse data.
- Involve the operating personnel in the discussions on all stages of process benchmarking for their plant.
- Find potentials for optimization.
- Embed the identification of measures in the operational and investment strategy for the plant.
- Critically review the success of the implemented measures.

Today, process benchmarking is used worldwide as a method to identify and to trigger performance improvements of wastewater treatment. Successful examples can be found in Austria (Lindtner, 2008), Canada (Main et al., 2006), Sweden (Balmér and Hellström, 2012) and on European level including a large number of participants from different European countries (European Benchmarking Co-operation, 2016) and in many other parts of the world (e. g. Benedetti, 2006; Krampe, 2013; Mizuta and Shimada, 2006; Yang et al., 2010).

Ruhrverband uses Benchmarking on the two level described since 10 years, mainly moderated by the German company Aquabench (www.aquabench.de). The economic comparison with other participants within corporate benchmarking is done based on the following dimensions:

- whole organisation,
- efficiency of different processes including stormwater treatment, wastewater treatment and sludge disposal,
- personnel costs,
- margin accounting.

In addition, also non-economic parameters, i. e. sustainability, customer relations, safety and quality, are taken into account. The reports are discussed on the executive level within Ruhrverband and are used to derive strategic goals for the organisation.

On a more detailed level Ruhrverband is also using process benchmarking for the evaluation of treatment efficiency of his larger wastewater treatment plants. Here, the personnel of a particular wastewater treatment plant are involved in all discussions concerning the derivation of efficiency parameters and the identification of areas for improvement. The appropriate measures to improve the performance are discussed with the operating personnel and realised soon after. For every larger wastewater treatment plant Ruhrverband has established a continuous reporting with performance indicators every three months. Therefore, the amount of improvement by the implemented measures can easily followed up and used as the basis for a PDCA (Plan-Do-Check-Act) process.

3.3. Energy Management system

Energy consumption and approaches to assess the energy efficiency by energy audits and energy benchmarking of activated sludge systems has been widely applied in Germany in nearly every water utility. In the field of wastewater treatment, detailed requirements have recently been formulated in the German working sheet A 216 by the German Association for Water, Wastewater and Waste (DWA) (DWA, 2015). It is well proved by the experience of WWTP operators that these assessments gave valuable indications on how to improve the energy efficiency of the activated sludge system and the whole treatment plant when considering the interactions between biological treatment and other unit processes.

From an operator's perspective, it is important to point out that beside the regular, mostly externally performed auditing it is of equal importance that a continuous monitoring of the energy situation of the whole wastewater treatment plant is established. This helps to identify changes of the energy situation on the plant at a very early point and gives valuable indications when to initiate and a qualified auditing. Energy monitoring approaches which should be established today on most plants include:

- Regular energy check with the calculation of specific energy consumption indicators, e. g. specific consumption electricity for aeration: $eaer = E_{aer}/PECOD$.
- Yearly reporting about the energy situation on the plant by an energy pass including all relevant energy consumption and production information (e. g. loadings, flows, energy



consumption, biogas production) and communicate with the operating personnel.

- Setting strategic targets within the organization regarding energy consumption and production, e. g. increase the number of CHP systems, improve the efficiency of digester gas usage on the plants or increase the amount of co-digestion.
- Make the identification and implementation of energy efficiency measure part of the utility's incentive programme.

Ruhrverband has established systematic energy audits and energy analysis since more than 10 years (Thöle et al., 2004) and uses the results for identifying measures to improve the energy situation of the particular treatment plant. A good example on how this continuous improvement process works is the optimisation of the WWTP Bochum-Ölbachtal (300.000 PE) (Marner et al., 2016): This plant showed substantial deficits concerning energy efficiency as a result of an energy analysis. Due to the energy consumption of internal recirculation, mixers and return activated sludge (RAS) pumping the existing pre-denitrification process configuration offers a specific energy consumption for biological treatment of 23 kWh (PE · a)⁻¹. In order to optimise the energy situation and to improve the treatment efficiency the process layout was changed completely to a 3-stage step-feed process. By optimizing the hydraulic conditions, it was possible to reconstruct the plant with a free flow throughout the whole biological treatment system without any additional pumping. The total investment costs for this process scheme were 3.9 million €. These costs could be partly offset against the wastewater charge paid (2.9 million €). Compared to the overall energy consumption before the process modification, today the energy consumption for biological treatment amounts to 12.4 kWh (PE · a)⁻¹. The highest saving potential has been achieved by optimising mixing and reducing the energy demand for internal recirculation and return activated sludge (RAS) pumping. As a result of all these measures, the rate of self-sufficiency by using biogas from the digester in combined heat and power (CHP) units has been increased substantially from 60 % before process modifications to 97 %. With the upcoming optimization measures a further increase of self-sufficiency is expected to finally achieve energy neutrality based on yearly averages.

Table 1: **Yearly average power consumption in the activated sludge stage of WWTP Bochum-Ölbachtal (after implementing the three-stage step-feed process)**

consumer	consumption [kWh a ⁻¹]	specific consumption [kWh (PE · a) ⁻¹]	ideal value [kWh (PE · a) ⁻¹]
aeration	2,000,000	9.4	13.72
recirculation	30,000	0.2	0.51
mixing	525,000	2.5	1.75
RAS pumping	75,000	0.4	0.62
total	2,630,000	12.4	16.6

Reference: Marner et al., 2016.

Since 2016 Ruhrverband has also established a management system according to ISO 50001

(Deutsches Institut für Normung, 2011). The main element of this system is a list of measures to be implemented in order to improve energy efficiency. This list is regularly assessed by the so-called energy team consisting of members from different units of the organisation and is also used for project planning within the Integrated Asset Management.

3.4. Integrated Asset Management

Taking into account the advanced age of most of the facilities built or extended in the period between 1990 and 2005 significant investments are needed to ensure a safe, stable and efficient operation in the future. This is especially valid for electrical and mechanical equipment. To identify the measures and prioritise the planning projects, Ruhrverband has developed an approach (Integrated Asset Management) by which this systematic analysis is performed concerning the following aspects and criteria:

- criteria for technical performance, e. g. meeting effluent requirements,
- criteria for technical status, e. g. susceptibility of failure, maintenance frequency,
- criteria for energy efficiency, e. g. specific consumption of electricity,
- criteria for economical performance, e. g. specific costs for biological treatment,
- criteria for structural indicators, e. g. demographic changes, possibilities of centralisation or automation.

3.5. Automation and digitalisation

Ruhrverband has just recently started his digitalisation initiative called NEPTUN. Within this strategic initiative the whole organisation is analysed concerning the possibilities of improving the efficiency by using the options given by a further digitalisation. With regard to the operation of technical facilities, different approaches are followed: In order to reduce the number of on-call duties by the operating personnel, systematic analysis have been performed to identify the most critical failures in which immediate reaction is needed. In other cases, the maintenance or the troubleshooting can be postponed to the next regular duty. This approach is complemented by the development of a standardised system for remote monitoring and remote control. It is expected that in due time most of the operating personnel can use remote systems to monitor and control their wastewater treatment plant from every point within the area of Ruhrverband.

3.6. Technical controlling

As in most water utilities Ruhrverband also has established a comprehensive technical controlling analysing the technical and economic performance of all installations in a regular manner. For larger wastewater treatment plans detailed reports are prepared every three months in which numerous performance indicators and economic criteria are assessed and directly discussed in person with the operating personnel. This has led to a continuous awareness concerning these indicators and makes it much easier to identify appropriate improvements on the particular wastewater treatment plant.



4. CONCLUSIONS

In a time of rapid changes and continuous challenges for water utilities it is absolutely mandatory that a strategic and technical controlling is implemented to raise the awareness within the whole organisation concerning these challenges. Although it seems that for most German wastewater utilities - after extending all treatment facility to nutrient removal - a more stable period of time has come, the recent discussions about micropollutants and the implementation of the water framework directive have shown that there are still enough challenges to meet.

Ruhrverband as one of the larger water utilities in Germany has taken these challenges and has developed several strategic initiatives in order to find the most efficient and sustainable solutions to cope with these challenges. Most importantly, a continuous economic improvement and an efficient operation of all technical facilities is the key for the general satisfaction of the customers.

REFERENCES

- Balmér, P., Hellström, D., 2012. Performance indicators for wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, 65, 7, 1304–1310.
- BDEW (German Association of Water and Energy Industries), 2013. Praxisleitfaden Wasserpreismodelle. Darstellung der bestehenden Grundmodelle und Argumentationshilfen, Berlin.
- BDEW (German Association of Water and Energy Industries), 2017. Entwicklung des personenbezogenen Wassergebrauchs seit 1990, Berlin. https://www.bdew.de/internet.nsf/id/8DFG2N-DE_Grafiken [8. 8. 2017].
- Benedetti, L., Bixio, D., Vanrolleghem, P., 2006. Benchmarking of WWTP design by assessing costs, effluent quality and process variability. *Water Science and Technology*, 54, 10, 95–102.
- Bertzbach, F., Franz, T., Möller, K., 2012. How to achieve and prove performance improvement – 15 years of experience in German wastewater benchmarking. *Water Science and Technology*, 65, 4, 661–668.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2004. Neufassung der Abwasserordnung.
- Cabrera, E. J. R., Dane, P., Haskins, S., Theuretzbacher-Fritz, H., 2011. Benchmarking water services. Guiding water utilities to excellence. Manual of best practice. London, IWA Publishing.
- Deutsches Institut für Normung, DIN EN ISO 50001:2011-12, 2011. Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011). Beuth, Berlin.
- DWA, 2010. Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft. Schwerpunkt Abwasser. DWA-Themen, DWA, Hennef.
- DWA, 2015. Energiecheck und Energieanalyse. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef.
- European Benchmarking Co-operation, 2016. Learning from International Best Practices. 2016 Water & Wastewater Benchmark, Den Haag.
- European Commission, 2016. Eighth Report on the Implementation Status and the Programmes for Implementation (as required by Article 17) of Council Directive 91/271/EEC concerning urban waste water treatment. Brussels.
- European Environment Agency, 2016. Percentage of classified water bodies in less than good ecological status or potential in coastal and transitional waters. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/percentage-of-classified-water-bodies>.
- EU Water Directors, 2016. Common implementation strategy for the water framework directive and the floods directive. Guidelines on Integrating Water Reuse into Water Planning and Management in the context of the WFD, Brussels.
- European Parliament, 1991. Council Directive concerning urban waste-water treatment. 91/271/EEC.
- European Parliament, 2000. Directive establishing a framework for Community action in the field of water policy. 200/60/EC.
- European Parliament, 2013. Directive amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy. 2013/39/EU.
- Jardin, N., 2008. Integrale Niederschlagswasserbehandlung im Einzugsgebiet der Ruhr – Erste Erfahrungen mit der ganzheitlichen Optimierung am Beispiel des Einzugsgebietes der Kläranlage Wenden. In: Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft der Ruhr-Uni Bochum, 165–184.
- Jardin, N., Sandino, J., 2014. Activated sludge process economics. Activated Sludge–100 Years and Counting (Jenkins D., Wanner J., eds). IWA Publishing, London, UK, 383–406.
- Jardin, N., Weyand, M., Podraza, P., 2015. Mit der Integralen Entwässerungsplanung zum guten Gewässerzustand. 48. Essener Tagung. Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, Band 227. Aachen: Ges. zur Förderung d. Siedlungswasserwirtschaft 15. 4. bis 2015, 10/1–10/16.
- Krampe, J., 2013. Energy benchmarking of South Australian WWTPs. *Water Science and Technology*, 67, 9, 2059.
- Lindtner, S., Schaar, H., Kroiss, H., 2008. Benchmarking of large municipal wastewater treatment plants treating over 100,000PE in Austria. *Water Science and Technology*, 57, 10, 1487–1493.
- Main, D., Ng, L., North, A., 2006. The Canadian National Water and Wastewater Benchmarking Initiative. Using process to drive improvement: strategic management of water in urban areas. *Water Science & Technology: Water Supply*, 6, 5, 111–121.
- Marner, S. T., Schröter, D., Jardin, N., 2016. Towards energy neutrality by optimising the activated sludge process of the WWTP Bochum-Ölbachtal. *Water Science and Technology*, 73, 12, 3057–3063.
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2014. Bewirtschaftungsplan 2016–2021 - Steckbriefe der Planungseinheiten im Teileinzugsgebiet Rhein/Ruhr. Düsseldorf.
- Mizuta, K., Shimada, M., 2010. Benchmarking energy consumption in municipal wastewater treatment plants in Japan. *Water Science and Technology*, 62, 10, 2256–2262.
- Möller, K., Bertzbach, F., Nothhaft, S., Waidelich, P., Schulz, A., 2012a. Benchmarking in der Abwasserbe-seitigung – eine Bestandsaufnahme Teil 1: Ziele und Ergebnisse des Benchmarkings. (Benchmarking in Wasetwater Disposal - a Stocktaking Exercise, Part I: Benchmarking Objectives and Outcomes). Korrespondenz Abwasser, Abfall, 59, 8, 730–737.
- Möller, K., Bertzbach, F., Nothhaft, S., Waidelich, P., Schulz, A., 2012b. Benchmarking in der Abwasserbe-seitigung – eine Bestandsaufnahme Teil 2: Erfolgsfaktoren des Benchmarkings. (Benchmarking in Wasetwater Disposal - a Stocktaking Exercise, Part I: Benchmarking Success Factors). Korrespondenz Abwasser, Abfall, 59, 9, 829–835.
- Oelmann, M., Czichy, C., Jardin, N., 2016. Water Worldwide - New Water Pricing Models Respond to Decreasing Demand in Germany. *Journal - American Water Works Association*, 108, 20–23.
- Thöle, D., Utecht, K.U., Schmitt, F., 2004. Praktische Erfahrungen mit der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen auf Kläranlagen. *KA Korrespondenz Abwasser*, 51, 6, 619–624.
- Umweltbundesamt, 2016. Die Wasserrahmenrichtlinie – Deutschlands Gewässer 2015. Berlin, Umweltbundesamt.
- United Nations, 2014. World urbanization prospects, the 2014 revision. Highlights. New York, United Nations.
- Wong, T. H. F., Brown, R. R., 2009. The water sensitive city: principles for practice. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 60, 3, 673–682.
- Yang, L., Zeng, S., Chen, J., He, M., Yang, W., 2010. Operational energy performance assessment system of municipal wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, 62, 6, 1361–1370.



ODLIČNE REŠITVE ZA VAŠ USPEH

METTLER TOLEDO je vodilni globalni proizvajalec preciznih inštrumentov, ki se uporabljajo v laboratoriju in industriji!

Ponujamo vam:

- Tehnice
- Pipete
- pH metre in elektrode
- Titratorje
- Inštrumente za termično analizo
- AutoChem



METTLER TOLEDO

www.mt.com

PROBLEMATIKA NAČRTOVANJA SISTEMOV KANALIZACIJE V SLOVENIJI

RADOSLAV VODOPIVEC¹

Povzetek

Prispevek opisuje nekatere najpogostejše pomanjkljivosti obratovanja obstoječih sistemov kanalizacije v Sloveniji. Ker sta sistem kanalizacije in čiščenje komunalnih in padavinskih odpadnih vod enoten sistem, je avtor kot projektant komunalnih čistilnih naprav (v nadaljevanju KČN) pri načrtovanju, gradnji in obratovanju KČN dobrega spoznal tudi problematiko načrtovanja in uporabe sistemov kanalizacije v Sloveniji. Prispevek obravnava vzroke za težave pri obratovanju KČN zaradi slabo načrtovanih in/ali slabo vzdrževanih sistemov kanalizacije. Na področju čiščenja komunalnih in padavinskih odpadnih vod iz večjih prispevnih področij je bil v zadnjem času napravljen precejšen napredek. Na področju odvajanja komunalnih in padavinskih odpadnih vod pa po presoji avtorja prispevka ni bilo kvalitativnega napredka. Zgrajeno je bilo sicer precej novih sistemov kanalizacij, opaznega izboljšanja pri koncipiranju, projektiranju in načinu obratovanja sistemov kanalizacij pa razen redkih izjem ni.

Ključne besede: čistilni val, denitrifikacija, nitrifikacija, razbremenjevanje deževnega dotoka, zajem čistilnega vala

Abstract

The paper evaluates some of the most common deficiencies in operation of existing sewerage systems in Slovenia. The sewerage system and treatment of municipal waste water and run-off rain water are part of the same system. The author is a project designer of municipal waste water treatment plants. During his work which included: designing, construction and operation of municipal waste water treatment plants, the author got familiarized with the problems of designing and operation of sewerage systems in Slovenia. The paper evaluates the causes of problems encountered with operation of municipal waste water treatment plants due to the badly designed and, respectively, badly maintained sewerage systems. Significant progress has been made in the field municipal waste water and run-off rain water treatment from larger contribution areas. However, according to the author's observation, there was no qualitative progress made in the field of discharge of municipal waste water and run-off rain water. A significant number of new sewerage systems were built, but with rare exceptions, there have been no markable improvements in the project design and operation of sewerage systems.

¹ Radoslav Vodopivec, univ. dipl. inž. str., prokurator podjetja Alpeng, d. o. o.



1. UVOD

V drugem ciklusu gradnje KČN, ki je v zaključni fazi, so se v Sloveniji gradile večje KČN, ki poleg ogljikovih spojin čistijo tudi dušikove in fosforne spojine, nekatere naprave pa imajo vgrajeno tudi dezinfekcijo iztoka. Za optimalno obratovanje KČN, ki poleg ogljikovih čistijo tudi dušikove in fosforjeve spojine, je pogoj pravilno obratovanje kanalizacijskih omrežij. Praviloma to pomeni tudi manjše stroške čiščenja odpadnih vod.

Po mojem mnenju je bil v Sloveniji na področju čiščenja komunalnih odpadnih vod iz večjih prispevnih področij napravljen precejšnji napredek. Na področju odvajanja komunalnih in padavinskih odpadnih vod pa po moji presoji ni bilo kvalitativnega napredka. Zgrajenih je bilo sicer precej novih sistemov kanalizacij, opaznega izboljšanja pri koncipiranju, projektiranju in načinu obratovanja sistemov kanalizacij pa razen redkih izjem ni.

V Sloveniji so obstoječi sistemi kanalizacije pa tudi precejšnji del novo zgrajenih kanalizacijskih omrežij slabo izvedeni. V kanalizacijskih sistemih so zaradi slabe gradnje točkovni in linijski vdori tuje vode. Marsikje so točkovni vdori tuje vode izvedeni namerno. Številni mešani sistemi še vedno obratujejo brez pravilnega razbremenjevanja in brez zadrževalnikov zajema čistilnega vala deževnega dotoka. Za dušenje deževnih pretokov vgrajene dušilke pogosto ne obratujejo. Po moji presoji se stanje ne izboljšuje.

Menim, da za težave pri načrtovanju in obratovanju sistemov kanalizacij ni krivo le pomanjkanje finančnih sredstev, ampak tudi in predvsem nizka osveščenost in znanje odgovornih ljudi. Zaradi negativne selekcije kadrov na državni in lokalni ravni in posledičnega izmikanja jasne opredeljenosti odgovornih do odprtih strukturnih in tekočih problemov se problemi rešujejo po liniji najmanjšega odpora. To se med drugim odraža tudi na področju javnih investicij in zaradi navidezno marginalne vloge še posebej na področju investicij v sisteme za odvajanje in čiščenje komunalnih in padavinskih odpadnih vod. Odkar so po spremembi zakonodaje vodenje investicij v komunalno infrastrukturo prevzele občine, se je stanje v večini primerov še poslabšalo. Prednost občin je izvedba hitro vidnih aktivnosti (ceste, vodovodi), urejanje sistemov kanalizacij pa nima prednosti. Tudi število projektantov kanalizacij se zmanjšuje.

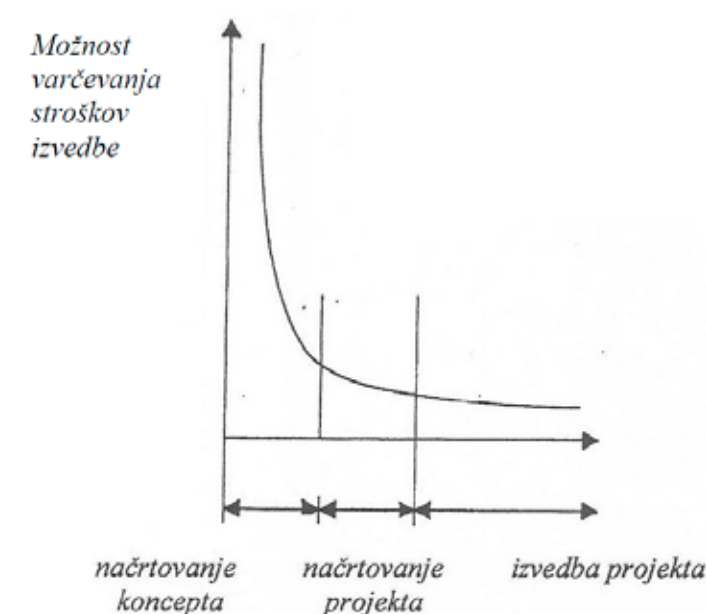
Precejšnji del slovenskih KČN je bil projektiran brez podrobnih podatkov o hidravlični obremenitvi, saj za večino večjih sistemov kanalizacije ne obstajajo novelirani hidravlični izračuni.

2. POGOJI ZA OPTIMALNO OBRATOVANJE KČN

V Sloveniji večina večjih sistemov kanalizacij obratuje kot mešani sistem. KČN, ki poleg ogljikovih čistijo tudi dušikove in fosforjeve spojine in sprejemajo odpadno vodo iz mešanega sistema kanalizacije, lahko učinkovito čistijo dušikove spojine le pri pravilno delujočem sistemu kanalizacije. Tudi tisti sistemi kanalizacije, ki so projektirani kot ločeni sistemi, zaradi slabe gradnje in nediscipline uporabnikov kanalizacije obratujejo kot približki mešanega sistema kanalizacije.

Pri sistemih mešane kanalizacije se del padavinske vode razbremenjuje v vodotoke, saj bi bilo v večini primerov čiščenje vsega deževnega dotoka neekonomično. Zaradi zmanjšanja one-

snaženja vodotokov naj bi se padavinska voda po razbremenjevanju vodila v zadrževalnike za zajem čistilnega vala. Že nekaj desetletij namreč vemo, da je ob deževju obremenitev čistilnega vala lahko tudi do 50-krat višja od običajne obremenitve v sušnem vremenu. Toda tudi na že pravilno zasnovanih in zgrajenih razbremenilnikih in zadrževalnikih so na podlagi opazovanja in meritev v sistemu kanalizacije še možne izboljšave. Po nemških izkušnjah (DWA, 2016) lahko letne obremenitve vodotoka (izraženo v KPK) po optimizacijah sicer pravilno koncipiranih sistemov kanalizacije zmanjšamo tudi še za več kot 20 %. Sicer pa kot v večini primerov načrtovanja in izvedbe projektov velja, da lahko največ privarčujemo pri načrtovanju investicije (slika 1).



Slika 1: Vpliv na stroške investicije

V nadaljevanju navajam nekatere pri obratovanju KČN pomembne parametre.

• Temperatura odpadne vode

Pri nižjih temperaturah je hitrost rasti nitrifikantov majhna, zato je v zimskih mesecih še posebej pomembno, da se temperatura odpadne vode dodatno ne znižuje še zaradi čezmernega deleža padavinskih odpadnih vod.

• Izplavljanje biološkega blata

Pri nepravilno delujočem sistemu kanalizacije lahko ob deževnem vremenu biološko blato izplavlja iz biološke stopnje. To pomeni povečano obremenitev vodotoka, in kar je najpomembnejše, zaradi zmanjšanja količine biološkega blata v biološki stopnji se učinek biološkega čiščenja zmanjša. Negativni učinek izplavljanja biološkega blata je še posebej problematičen pri KČN, ki čistijo tudi dušikove spojine. Hitrost rasti nitrifikantov je namreč počasna, pri temperaturah odpadne vode pod 12 °C pa sploh upočasnjena.

V takšnih primerih je potreben najmanj en mesec za vzpostavitev stabilnega obratovanja KČN po izplavljanju biološkega blata.



• Prevelika koncentracija kisika na dotoku v KČN

Kadar je dotok na KČN zelo razredčen, je v obdobjih nizkih temperatur lahko koncentracija kisika v odpadni vodi tudi nekaj mg/l. Tako velika koncentracija kisika lahko pri nekaterih tehničnih izvedbah postopka čiščenja z aktivnim blatom (naprave s cevnim prezračevalnim bazenom) onemogoča denitrifikacijo.

• Nitrifikacija

Starost blata mora biti dovolj visoka, da se nitrifikanti lahko razmnožijo. Prirast nitrifikantov je v primerjavi s heterotrofnimi bakterijami, ki opravljajo proces denitrifikacije, 3- do 10-krat manjši, zato se v praksi dogaja, da heterotrofne bakterije prerastejo nitrifikante, potem ko ni več nitrifikacije pa seveda ni tudi denitrifikacije. Hitrost rasti nitrifikantov je odvisna od temperature odpadne vode, pri temperaturah, nižjih od 12 °C se intenzivnost nitrifikacije zelo zmanjša.

• Denitrifikacija

Ker so heterotrofne bakterije fakultativno anaerobne, mora biti vsebnost kisika v denitrifikaciji čim manjša oziroma enaka nič. Prirast heterotrofnih bakterij je v primerjavi z avtotrofnimi bakterijami zelo velik. Pogoji za uspešno denitrifikacijo je ustrezno razmerje med TKN/BPK5 (pod pribl. 0,2), če v odpadni vodi ni dovolj organskega ogljika, denitrifikacija ni možna oziroma je zelo omejena. Pri razredčenem dotoku na KČN in nizkih temperaturah odpadne vode je lahko koncentracija kisika v coni denitrifikacije tako visoka, da denitrifikacija ni možna.

• Infiltracija tujih vod

Po moji presoji pri načrtovanju sistemov kanalizacije projektanti pogosto podcenjujejo delež infiltracije tujih vod. Večina sistemov kanalizacije je v Sloveniji slabo izvedena, in to je potrebno upoštevati, še posebej zato, ker bo zatečeno stanje zaradi počasne sanacije trajalo še nekaj časa.

• Padavinske odpadne vode

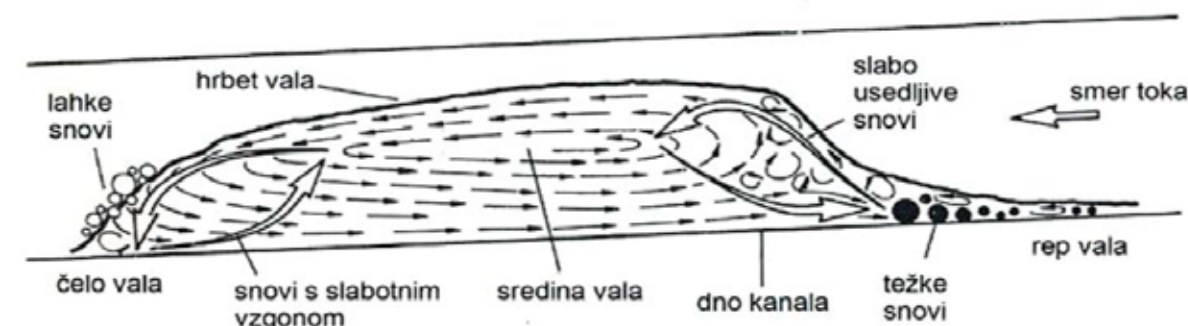
V zadnjem obdobju opažamo, da se v Sloveniji ob približno enaki letni količini padavin distribucija padavin spreminja, intenzivnost padavin se povečuje. Zato bo treba pri načrtovanju padavinskega dotoka upoštevati višje vrednosti, kot smo jih v preteklosti. Zaradi pozidav in povečanja prometnih povezav se v naseljih spreminjajo tudi odtočni koeficienti in s tem količina padavinskih odpadnih vod, ki se odvajajo v sistem kanalizacije. Zato je potrebna za vsak sistem kanalizacije občasna novelacija hidravličnega preračuna. Praviloma naj bi se novelacija izvedla po vsaki večji spremembi sistema kanalizacije ali spremembi utrjenih površin.

Kolikor vem, za večino večjih sistemov kanalizacije v Sloveniji niso izdelane novelacije hidravličnih izračunov kanalizacije.

• Ustrezna višina preliva razbremenjevanja

Objekti za razbremenjevanje in zadrževalniki niso vedno pravilno projektirani in/ali ne omogočajo primerne čistitve dna bazenov. Velikokrat so kote prelivnih pragov v razbremenilnih

objektih prenizke, zato se ob deževju kanali prehitro in s tem tudi prepogosto razbremenjujejo. Če se kanali razbremenjujejo v zadrževalnike, ki lovijo čistilni val (slika 2), bo obremenitev vodotokov ob deževnem vremenu le malo povečana. V Sloveniji pa se še vedno povečan dotok ob padavinah pri večini večjih sistemov kanalizacij razbremenjuje neposredno v odvodnik. V takšnih primerih pa je obremenitev vodotoka zaradi prenizke postavljenega preliva znatno večja, kot bi bila ob pravilno višinski izvedenih prelivih.

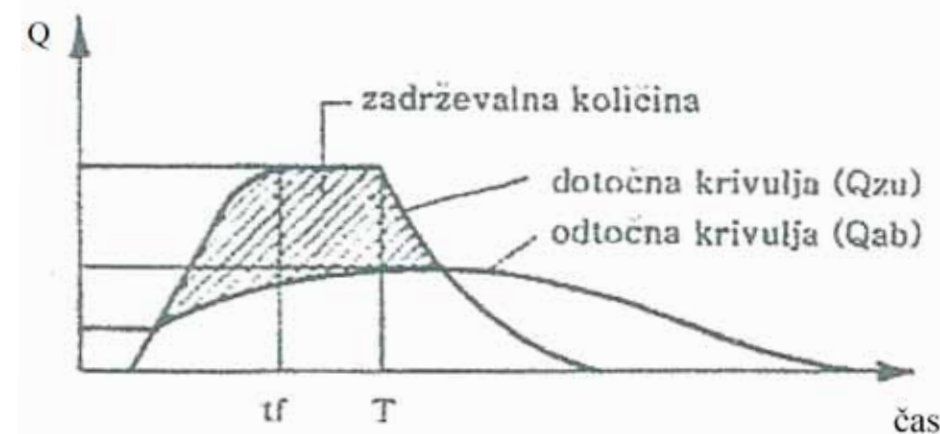


Slika 2: Prikaz čistilnega vala

Vir: Maleiner.

• Dovolj velik zadrževalnik

Za čim večje zmanjšanje obremenitve vodotoka je, kot je že bilo omenjeno, treba del padavinske odpadne vode po razbremenjevanju odvajati v zadrževalnik. Na prostornino zadrževalnika vpliva vrsta dejavnikov, v vsakem primeru pa mora biti prostornina dovolj velika, da zajame čistilni val ali pa vsaj čelo čistilnega vala. V Sloveniji je le malo sistemov kanalizacije z zgrajenimi zadrževalniki, nekateri zgrajeni pa ne obratujejo pravilno.



Slika 3: Potrebna prostornina zadrževalnika

Vir: Maleiner.

• Pravilno delovanje dušilk

Ker imajo cevne dušilke položno odtočno krivuljo, se danes namesto njih uporabljajo mehansko regulirane dušilke, ki imajo bistveno bolj strmo odtočno krivuljo. Takšne dušilke pa lahko nemoteno obratujejo le pri dovolj velikih pretokih, sicer ni dovolj velike kinetične energije za



njihovo delovanje. Nepravilno izbrane dušilke zato zahtevajo pogosto ročno aktiviranje in/ali tudi čiščenje dušilk, zato se dogaja, da nekateri upravljavci sistemov kanalizacij mehanizem dušilk blokirajo ali pa odprejo obtočni cevovod. Ker potem ni dušenja dotoka, so KČN čezmer-no obremenjene s padavinsko odpadno vodo.

3. NEKATERE SMERNICE ZA NAČRTOVANJE IN OBRATOVANJE ODVODNJAVANJA IN ČIŠČENJA KOMUNALNIH IN PADAVINSKIH VOD

Slovenija nima lastnih smernic za načrtovanje in obratovanje odvodnjavanja in čiščenja komunalnih in padavinskih vod, zato uporabljamo tuje smernice. V svetu obstajajo številne smernice oziroma predpisi za urejanje na področju odvajanja in čiščenja komunalnih in padavinskih vod. Nam najbližji in našim razmeram najbolj podobni so nemški predpisi DWA oziroma prej ATV. Ti predpisi podajajo podrobne smernice za načrtovanje, gradnjo in obratovanje sistemov kanalizacije in tudi smernice za načrtovanje, gradnjo in obratovanje KČN. Za načrtovanje sistemov kanalizacij in KČN zato priporočam uporabo naslednjih smernic DWA oziroma ATV (navajam samo nekatere po moji presoji najpomembnejše):

Kanalizacija

DWA A110, oktober 2012	Hidravlično dimenzioniranje in pregled kanalizacije in kanalov
DWA A117, februar 2014	Merila za dimenzioniranje prostornine zadrževalnikov za pada vinske vode
DWA A118, september 2011	Hidravlično dimenzioniranje sistemov odvajanja padavinske vode
ATV A128, april 1992	Smernice za dimenzioniranje objektov za razbremenjevanje padavinske vode
ATV DVWK A134	Načrtovanje in gradnja črpališč odpadne vode
DWA A166, november 2013	Objekti za zadrževanje padavinske odpadne vode, strukturna zasnova in oprema
ATV-DVK A198	Standardizacija in poenotenje projektnih parametrov sistemov za odvajanje vode

KČN

DWA M 115-1,-2,-3	Sprejemljive meje sestave odpadne vode
ATV A A200	Odvajanje vod na podeželju
DWA M210, julij 2009	KČN s tehnologijo SBR
DWA A131, junij 2016	Dimenzioniranje enostopenjskih KČN
DWA M381, oktober 2007	Zgoščanje blata
DWA M227, oktober 2014	Čistilne naprave MBR

DWA M229-1, maj 2013	Sistemi za prezračevanje in mešanje v KČN – načrtovanje, razpis in izvedba
DWA M229-2, junij 2016	Sistemi za prezračevanje in mešanje v KČN – obratovanje
DWA A202, maj 2011	Kemijske in fizikalne metode za izločanje fosforja iz odpadne vode
DWA A222, maj 2011	Načrtovanje, gradnja in obratovanje malih KČN z aerobnim biološkim čiščenjem velikosti do 1.000 PE
DWA A280, oktober 2006	Ravnanje z blatom iz greznic v KČN
del. skupina DWA KA-6.9, avgust 2016	Tehnični ukrepi za reševanje povečanih (deževnih) dotokov odpadne vode na KČN

4. UPRAVLJANJE SISTEMOV ZA ODVAJANJE IN ČIŠČENJE KOMUNALNIH ODPADNIH VOD IN IZOBRAŽEVANJE

Zaradi zahtev po večjem učinku čiščenja KČN (čiščenje dušika in fosforja) in večji obratovalni varnosti je vodenje sistemov za odvajanje in čiščenje komunalnih in padavinskih odpadnih vod bistveno zahtevnejše kot v preteklosti in zahteva usposobljene ljudi, ki se stalno in ne samo občasno ukvarjajo s problematiko odvajanja in čiščenja odpadnih voda. Menim, da je osebje, ki je odgovorno za vodenje sistemov odvodnjavanja in čiščenja, še vedno pomanjkljivo usposobljeno. To velja tudi za projektante kanalizacij in KČN. V Sloveniji tudi še vedno nimamo sistemsko rešenega usposabljanja upravljavcev KČN. Menim, da bi bilo primerno prevzeti nemški model izobraževanja upravljavcev KČN. Kolikor mi je znano, poklic upravljavca KČN ni evidentiran v nomenklaturi poklicev, torej uradno sploh ne obstaja.

5. ZAKLJUČEK

V Sloveniji je tistih, ki menijo, da se KČN gradijo samo zaradi zakonskih zahtev, ne pa zaradi zmanjšanja onesnaževanja narave, še vedno precej. Temu primeren je potem tudi njihov odnos do odvajanja in čiščenja odpadnih vod. Ovira za hitrejše izboljšanje razmer na kanalizacijskih omrežjih po moji presoji zato ni samo pomanjkanje finančnih sredstev, ampak tudi in predvsem nizka raven osveščenosti in znanja odgovornih v državi in lokalnih skupnostih. Odkar so po spremembi zakonodaje vodenje investicij v komunalno infrastrukturo prevzele občine, se je v večini primerov stanje še poslabšalo. Prednost občin je izvedba hitro vidnih aktivnosti (ceste, vodovodi). Urejanje sistemov kanalizacije pa pretežno nima prednosti.

Novelacija hidravličnih izračunov kanalizacije je potrebna po vsaki večji spremembi sistema kanalizacije (novi kanali) ali spremembi utrjenih površin (nove prometnice ali večji utrjeni platoji).

Rezultati meritev obratovalnih monitoringov po ugotovitvah in po izkušnjah pri vodenju poskusnih obratovanj ter pri vodenju tehnoloških postopkov na KČN po moji presoji ne odražajo



dejanskega stanja. Vzorčenje se namreč v Sloveniji izvaja v vnaprej dogovorjenih terminih, zato se KČN temu lahko prilagajajo.

Potrebno je stalno prilagajanje tehnološkim sklopom oziroma optimiranje tehnoloških sklopov, tehnološke in merilne opreme na sistemih odvajanja in čiščenja komunalnih in padavinskih odpadnih vod.

Potrebno je stalno izobraževanje zaposlenih na sistemih odvajanja in čiščenja komunalnih in padavinskih odpadnih vod.

Potrebno je stalno opozarjanje občin, da upravljanje sistemov odvajanja in čiščenja komunalnih in padavinskih odpadnih vod ni zgolj rutinski proces in da je potrebna stalna angažiranost pristojnih na občinah in osebja, ki upravlja te sisteme.

Potrebno je stalno ozaveščanje občanov o pravilni uporabi kanalizacije.

LITERATURA IN VIRI

1. DWA KA-6.9 delovna skupina, 2016. Tehnični ukrepi za reševanje povečanih (deževnih) dotokov odpadne vode na KČN.
2. Maleiner, F., Obdelava ter odstranitev padavinskih odtokov v ločenem in mešanem sistemu kanalizacij. 21. strokovni seminar.
3. Vodopivec, R., Pregled obratovanja nekaterih komunalnih čistilnih naprav v Sloveniji. Ekolist št. 05, december 2008.
4. Vodopivec, R., 2017. Problematika načrtovanja KČN V Sloveniji. Mesec znanja na CČN Domžale-Kamnik, maj 2017.

APPLICATION OF THE ENERWATER METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY: A CASE STUDY

STEFANO LONGO¹, MIGUEL MAURICIO-IGLESIAS²,
JUAN M. LEMA³, ALMUDENA HOSPIDO⁴

Abstract

Wastewater Treatment Plants (WWTPs) account for more than 1 % of the consumption of electricity in Europe, one of the largest shares of energy use among public industries. The aim of ENERWATER is to provide measuring tools to quantify the energy consumption of WWTPs, define energy efficiency in WWTP operation and to elaborate the standards to compare and ultimately optimise the operation of WWTPs. The methodology is demonstrated on 50 WWTPs, whose energy consumption is thoroughly monitored. ENERWATER goals will be reached by i) defining the concept of energy efficiency in WWTP and the performance indicators suitable for its quantification; ii) standardising the methods for measuring energy consumption in order to ensure that comparable figures are obtained; iii) using data treatment tools to not only quantify but also diagnose the reasons for energy inefficiency and iv) proposing a global index that measures the energy efficiency of a WWTP. All these steps will eventually be part of a general methodology that can be the draft of a standard for measuring energy efficiency in WWTP.

Key words: benchmarking, energy audit, energy consumption, key performance indicator, wastewater treatment energy index, wastewater treatment plants

¹ Stefano Longo, Department of Chemical Engineering, Institute of Technology, Universidade de Santiago de Compostela
² Miguel Mauricio-Iglesias, Department of Chemical Engineering, Institute of Technology, Universidade de Santiago de Compostela
³ Juan M. Lema, Department of Chemical Engineering, Institute of Technology, Universidade de Santiago de Compostela
⁴ Almudena Hospido, Department of Chemical Engineering, Institute of Technology, Universidade de Santiago de Compostela



1. INTRODUCTION

One of the higher costs of wastewater services is the energy consumption. The total electricity consumption in wastewater treatment plants (WWTPs) corresponds to about 1 % of the total electricity consumption per year of a country (Cao et al., 2011). Energy consumption represents a significant part of the operation cost of WWTPs but, with a correct design and a careful management model, there are important possibilities for savings (Panepinto et al., 2016). In order to compare WWTPs having different processes and scheme configurations, the most useful methodology is energy efficiency measurement using benchmarking procedures (Parena et al., 2002). Using benchmarking methodologies the best operational practices can be identified as operations are assessed in a comparable manner (Molinos-Senante et al., 2014). However, the available audit methodologies do not support well the decisions of the water utilities in order to best target their actions to improve the energy efficiency. This support is particularly crucial when the decision should take into account dozens WWTPs, each one operating according to a particular configuration. Traditionally, energy consumption of a WWTP has been simplistically reported using global KPIs such as kWh/m³ (Mizuta and Shimada, 2010) or kWh/PE (Krampe, 2013; Balmer, 2000).

WWTPs are composed by several stages, each one with a different function. Therefore the use of specific KPIs for each treatment stage or function is more appropriate (Longo et al., 2016). A standard methodology is required in order to carry out the energy audit in WWTPs (Tao et al., 2009). Horizon2020 ENERWATER (H2020-EE-2014-3-MarketUptake) project (www.enerwater.eu) is being developed in order to validate and disseminate an innovative standard methodology for continuously assessing, labelling and improving the overall performance of WWTPs.

ENERWATER is a three-year activity that involves 9 partners (universities and companies) from 4 European countries (Germany, Italy, Spain and the United Kingdom). To ensure a fast transfer of results to the relevant actors, ENERWATER puts in contact research groups, SMEs, utilities, city councils, policy makers and industry beyond the project consortium. These actions should bring European Water Industry a competitive advantage in new products development and a faster access to markets by facilitating evidence of energy reduction, thereby fostering adoption on new technologies.

The objective of this study is to illustrate the application of the ENERWATER methodology to three real wastewater treatment plants (WWTPs). The ENERWATER methodology considers two approaches for the determination of energy consumption in WWTPs, namely Rapid Audit and Decision Support. The Rapid Audit allows for a quick estimation of the water treatment energy index (WTEI) based on existing information such as historical data pertaining to energy use records along with influent and effluent quality values. The Decision Support requires intensive monitoring across a WWTP of energy usage and water quality parameters that provides an accurate and detailed calculation of WTEI for each stage as well as its overall value for the plant. For the sake of brevity only the results of the Rapid Audit methodology will be presented in the following sections.

2. ENERWATER METHODOLOGY

The ENERWATER Methodology aims at describing, in a systematic way, the various steps required to establish the WATER TREATMENT ENERGY INDEX (WTEI) of a particular wastewater treatment plant (WWTP). The objective of this method is to guide water experts and auditors on how to evaluate the energy performance of a WWTP reaching a final energy diagnosis and the calculation of the WTEI. The ENERWATER methodology includes the classification and WWTPs in different types, identification of different stages of treatment, identification of key performance indicators (KPIs), overview of existing energy monitoring standards followed up by the detailed description of the ENERWATER methodology, including a step by step guidelines of how to apply and implement this potentially future standard.

The energy consumption must be related with the performance of a WWTP and parameters such as effluent flow, nutrient removal, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), suspended solids, orthophosphate (PO₄), ammonia (NH₄) and nitrate (NO₃) need to be estimated at various stages of the WWTP to an effective, estimation of energy consumption in WWTP.

2.1. Rapid Audit methodology

This is aimed at a rapid estimation of the WTEI of a given WWTP using existing information. This method uses existing data including historical data on energy consumption as well as the wastewater influent and effluent quality that are necessary to calculate key performance indicators (KPIs). A trained auditor can calculate the WTEI and the obtained values can be compared against a large database of WWTPs around the world. The aim of the ENERWATER Rapid Audit methodology is to provide an WWTP energy benchmark, a rapid tool to identify energy efficiencies and inefficiencies so further actions can be planned, as well as evaluate the impact of WWTP retrofitting.

ENERWATER identifies key performance indicators (KPIs) which account for the energy consumption required to remove a specific masse of pollutants (TSS, COD, NH₄, TN, TP, pathogens, etc.), for example kWh/kg COD_{removed}. These are combined into a composite indicator to facilitate the communication of the energy efficiency results. Composite indicators measure multidimensional concepts (e.g. energy consumption in different stages of WWTPs) that cannot be expressed by a single indicator. For this purpose, relevant individual indicators have to be identified, combined and weighted in a way that captures the dimension or structure of the measured concept.

The total pollution equivalent (TPE) is calculated, according to Benedetti et al., 2008, as a weighted sum of COD, total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) as described in Equation 1.

$$\text{Total Pollution Equivalent (TPE)} = \text{COD (kg}_{\text{COD}}) + 20 \text{ TN (kg}_{\text{TN}}) + 100 \text{ TP (kg}_{\text{TP}}) \quad \text{Equation 1}$$



To obtain the WTEI based on the calculated KPIs for a given WWTP, several steps involving the statistical treatment of the KPIs need to be followed, namely normalization, weighting and aggregation. Normalization allows the comparison of the different KPIs and is done here by comparison with a distribution function, so that the percentiles for each KPI are normalised indicators of performance, here called energy performance indicators (EPI). Weighting emphasizes the contribution of a given KPI over others in terms of energy consumption. Finally, aggregation consists in the combination of the weighted KPIs at either the stage or the whole plant level so that the corresponding WTEI can be computed and results compared based on a ranking.

The procedure for determining the WTEI in the Rapid Audit Calculation is summarised in detail here below:

- **Step 1. KPI estimation.** Estimate the KPIs for the plant.
- **Step 2. KPI normalization.** Compare the value of the KPIs with the database distribution function and obtain the percentile for each KPI using Equations 2-4. The percentile is a normalized manner to express the performance of the plant for a given KPI. Therefore, they are denominated energy performance indicators (EPI):

$$\text{For } KPI_1 \left(\frac{kWh}{m^3} \right) \quad EPI_1 = \text{Percentile}(\%) = \exp \left(- \exp \left(- \left(\frac{KPI_1 - 0.4513}{0.3674} \right) \right) \right) \times 100 \quad \text{Equation 2}$$

$$\text{For } KPI_2 \left(\frac{kWh}{kgTP_{rem}} \right) \quad EPI_2 = \text{Percentile}(\%) = \exp \left(- \exp \left(- \left(\frac{KPI_2 - 0.3001}{0.1731} \right) \right) \right) \times 100 \quad \text{Equation 3}$$

$$\text{For } KPI_3 \left(\frac{kWh}{kgTSS} \right) \quad EPI_3 = \text{Percentile}(\%) = \exp \left(- \exp \left(- \left(\frac{KPI_3 - 2.1509}{2.3872} \right) \right) \right) \times 100 \quad \text{Equation 4}$$

Equations 2-4 correspond to Gumbel's cumulative distribution function with parameters estimated for the population of WWTPs in the benchmark database.

- **Step 3. Weight selection.** Choose the weights for the selected KPIs from Table 1. These weights have been estimated based on the average contribution of each function of the WWTP to the overall energy consumption, i.e. pumping accounts for approximately 14.25 % of the overall energy consumption and the secondary treatment (removal of COD and nutrients) accounts for the 70 %. If not all the KPIs are considered in the analysis, the weights are normalised to ensure that their sum is equal to unity.

Table 1: **Weights of different KPIs according to the average contribution of each function to the overall energy consumption of a WWTP**

KPI	KPI ₁ (kWh/m ³)	KPI ₂ (kWh/kgTPE _{rem})	KPI ₃ (kWh/kgTSS)
Value (<i>w_i</i>)	0.1425	0.7005	0.1133

If the four KPIs are not applicable, normalise the weights to sum unity such as described in Equation 5:

$$w_{norm,i} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad \text{where } k \text{ is the number of applicable KPIs} \quad \text{Equation 5}$$

- **Step 4. Aggregation.** Aggregate the EPI into a single WTEI through a weighted sum (Equation 6). This method of aggregation is compensatory, i.e. one EPI can compensate to a certain extent the performance in other functions.

$$WTEI = \sum_{i=1}^k w_{norm,i} EPI_i \quad \text{Equation 6}$$

- **Step 5. Rank and label assignment.** Assign label corresponding to the value of the WTEI according to Table 2. The boundaries between labels have been decided according to the following criterion, common in EU efficiency labelling standards: the median performance index is the upper boundary of class D. This labelling strategy allows good discrimination power at high efficiency, serving as an incentive for innovation.

Table 2: **Energy label assignment for WTEI**

Label	WTEI
A	≤0.11
B	0.11 < WTEI ≤ 0.22
C	0.22 < WTEI ≤ 0.33
D	0.33 < WTEI ≤ 0.44
E	0.44 < WTEI ≤ 0.55
F	0.55 < WTEI ≤ 0.75
G	>0.75

3. CASE STUDY

The objective of these case studies is to illustrate the application of the ENERWATER methodology to three wastewater treatment plants (WWTPs) that deploy different treatment technologies and thus energy demands.

Each case study comprises the following sections:

- WWTP typology and boundaries,
- WWTP key performance indicators,
- Classification of WWTP according to WTEI.



The first section provides a description of WWTP operation as well as the boundaries grouping different processes and operations deployed. The KPI section lists the key performance indicators (KPIs) as recommended in the ENERWATER methodology. The last section provides the WTEI for the plant.

3.1. WWTP typology and boundaries

The ENERWATER methodology classifies WWTPs in terms of the wastewater constituents that have to be removed according to the characteristics of the receiving water bodies. The typologies are:

- Type 1. Discharge to non-sensitive areas: removal of TSS, BOD, COD and NH_4 .
- Type 2. Discharge to sensitive areas: removal of TSS, BOD, COD and NH_4 and NO_3 and total phosphorous (TP).
- Type 3. Discharge for reuse: removal of TSS, BOD, COD and NH_4 and NO_3 and total phosphorous (TP) and pathogens.

Table 3, 4 and 5 describes the features of WWTPs under analysis.

Table 3: **WWTP A typology and description**

WWTP A	
ENERWATER Typology	3
Capacity	25,000 PE
Pre-treatment	Coarse screening, grit and grease removal
Secondary treatment	Oxidation ditch and secondary sedimentation
Tertiary treatment	Ultraviolet disinfection
Sludge Treatment	Thickening, dewatering and landfill disposal

Table 4: **WWTP B typology and description**

WWTP B	
ENERWATER Typology	2
Capacity	9,360 PE
Pre-treatment	Storm water tank, coarse screening, grit and grease removal
Secondary treatment	Primary sedimentation
Tertiary treatment	Activated sludge and secondary sedimentation
Sludge Treatment	Filtration

Table 5: **WWTP C typology and description**

WWTP C	
ENERWATER Typology	3
Capacity	48,000 PE
Pre-treatment	Fine screening, grit and grease removal
Secondary treatment	Activated sludge and secondary sedimentation
Tertiary treatment	Filtration, UV disinfection
Sludge Treatment	Thickening, dewatering, disposal

3.2. WWTP key performance indicators

Table 6 presents the quality parameters for both influent and final effluent at the WWTPs under analysis. For each parameter, average values were calculated from a 3-year historical database.

Table 6: **Energy carriers and consumption**

Parameter	WWTP A		WWTP B		WWTP C	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
Flow [m^3]	1,730,329		1,791,271		5,760,845	
COD [mg/L]	255.00	50.00	305.53	10.40	308.00	22.00
TN [mg/L]	22.00	4.00	30.06	0.06	36.60	6.40
TP [mg/L]	7.20	2.60	4.63	0.46	4.63	0.57
Sludge [ton]	106		158		494	

The following energy carriers are considered in the Rapid Audit ENERWATER methodology: electric energy, diesel, natural gas and biogas, and energy for chemicals. Table 7 lists the difference carriers and their corresponding usages for the WWTP. Historical data were compiled for the monthly energy usage during a 3-year period. These values were obtained from a meter that measures the overall energy consumption in the plant.

Table 7: **Energy carriers and consumption**

Energy carrier	WWTP A	WWTP B	WWTP C
Electric energy [kWh]	759,321	522,557	769,016
Natural gas [Scm]	-	-	-
Biogas [Scm]	-	-	-
Chemicals [kWh]	1,503	18,497	55,006
Total energy [kWh]	759,534	541,054	3,659,745

Table 8 presents the KPIs calculated from historical data presented in Table 6.

Table 8: **Key performance indicators calculated**

KPI	WWTP A	WWTP B	WWTP C
[kWh/m ³]	0.439	0.302	0.635
[kWh/kg TPE]*	0.428	0.230	0.490
[kWh/kgTSS]	7.135	3.417	7.404

* TPE, total pollution equivalent = kg COD + 20 kg TN + 100 kg TP

To obtain the WTEI for plants A, B and C, KPIs listed in the Table 8 were combined following the statistical treatment described in the section 2.1. For flow and TPE, individual energy performance indicators (EPIs) were calculated with the corresponding Gumbel's cumulative distribution functions, whose parameters were estimated from the 470 WWTPs included in the ENERWATER benchmark database. Subsequently, the WTEI was obtained by adding up the weighted EPIs (Table 9).

3.3. Classification of WWTP according to WTEI

Table 9: **Calculation of WTEI for WWTP**

WWTP	EPI			WTEI		
	A	B	C	A	B	C
[kWh/m ³]	0.36	0.22	0.55			
[kWh/kg TPE]	0.62	0.22	0.72	0.61	0.26	0.71
[kWh/kgTSS]	0.88	0.56	0.90			

Once the WTEI is calculated, the corresponding energy label was assigned according to boundaries presented in Table 2.

For the WWTP analysed, the energy label calculated is F, C, and F, respectively for WWTP A, B, and C.

4. CONCLUSIONS

The application of the ENERWATER Rapid Audit methodology to benchmark and audit the municipal WWTPs advanced the current state of the art and allowed: (1) the comparison among heterogeneous WWTPs based on the basic functions of a plant, namely i) pumping of wastewater, ii) removing of pollutants, and iii) sludge treatment and dewatering; (2) the disaggregation of the key performance indicators based on these functions; (3) the definition of single WTEIs and energy labels (classes A to G) that can support the decisions of the water utilities to best target of energy saving actions to less performing WWTPs.

The ENERWATER Rapid Audit methodology has proved to be a rapid tool to identify energy efficiencies and inefficiencies of a WWTP. The process to optimize the energy efficiency however is linked to the understanding in the detail where the inefficiency come from. For that the following step of the energy audit is the energy diagnosis. In this case the Decision Support

methodology is more appropriate, since it covers a broader and wider scope of objectives, e.g., the energy diagnosis, understanding the origin of the inefficiencies, verifying energy efficiency actions and the training operators.

ACKNOWLEDGMENTS

This project is carried out with financial support from the H2020 Coordinated Support Action ENERWATER (grant agreement number 649819): www.enerwater.eu.

REFERENCES

- Balmer, P., 2000. Operation costs and consumption of resources at Nordic nutrient removal plants. *Water Science and Technology* 41 (9) 273–279.
- Benedetti, L., Dirckx, G., Bixio, D., Thoeye, C., Vanrolleghem, P. A., 2008. Environmental and economic performance assessment of the integrated urban wastewater system. *Journal of Environmental Management* 88, 1262–1272.
- Krampe, J., 2013. Energy benchmarking of South Australian WWTPs. *Water Science and Technology* 67 (9) 2059–2066.
- Longo, S., D'Antoni, B. M., Bongards, M., Chaparro, A., Cronrath, A., Fatone, F., Lema, J. M., Mauricio-Iglesias, M., Soares, A., Hospido, A., 2016. Monitorig and diagnosis of energy consumption in wastewater treatment plants. A state of the art and proposals for improvement. Submitted to *Applied Energy*.
- Molinos-Senante, M., Hernandez-Sancho, F., Sala-Garrido, R., 2014. Benchmarking in wastewater treatment plants: a tool to save operational costs. *Clean Technologies Environmental Policy* 16 149–161.
- Panepinto, D., Fiore, S., Zappone, M., Genon, G., Meucci, L., 2016. Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy. *Applied Energy* 161, 404–411.
- Parena, R., Smeets, E., Troquet, I., 2002. Process benchmarking in the water industry. *International Water Association*, London.
- Tao, X., Chengwen, W., 2009. Energy Consumption in Wastewater Treatment Plants in China. *IWA world congress on water, climate energy*; Oct 29–31; Copenhagen, Denmark.



Spektrofotometrija Hitri testi



Priprava laboratorijske vode



Filtracija vzorcev

Standardni materiali Mikrobiološka gojišča



UPRAVLJANJE ONESNAŽENJ PODZEMNE VODE NA RAVNI FUNKCIONALNEGA MESTNEGA OBMOČJA

**mag. JOERG PRESTOR¹, dr. BRIGITA JAMNIK², SIMONA PESTOTNIK³,
PETRA MEGLIČ⁴, dr. SONJA CERAR⁵, dr. MITJA JANŽA⁶,
mag. PRIMOŽ AUERSPERGER⁷, mag. BRANKA BRAČIČ ŽELEZNIK⁸**

Povzetek

Na kakovost podzemne vode v vodonosniku pod mestom se kljub številnim zaščitnim ukrepom kažejo preštevilni vplivi, ki niso pod nadzorom. Nekatera onesnaževala izvirajo iz daljne preteklosti, druga se v podzemni vodi pojavijo (ne)pričakovano. Izkazujejo se kot onesnaženja različnih koncentracij, kot hitro ali počasi potujoči oblaki ali sporadični pojavi, ki zahtevajo usklajene ukrepe med deležniki. V primeru Ljubljane gre za štiri najpomembnejše vire in vrste onesnaževal, ki so gotovo tipična tudi za številna druga mesta: industrijsko območje (šestvalentni krom), mestno jedro z izgubami iz kanalizacije (nitrat in novodobna onesnaževala), mestno odlagališče nenevarnih odpadkov (bor) ter zaledje mesta z oblakom onesnaženja z desetilatrazinom iz stare gramoznice. Trenutno je onesnaženje z desetilatrazinom najtežji problem s stališča remediacije, saj so se največje koncentracije onesnaževala premaknile v globino 15 do 30 m, masa onesnaževala in koncentracija pa se zmanjšujeta izredno počasi v časovni razsežnosti več desetletij ali stoletja.

Ključne besede: funkcionalno mestno območje, načrt upravljanja, novodobna onesnaževala, onesnaženje, podzemna voda

Abstract

Despite the numerous protective measures, the quality of groundwater in the aquifer under the city is affected by numerous impacts that are not under control. Some pollutants originate from the distant past, others are (un)expected in groundwater. They are appearing as

- 1 Mag. Joerg Prestor, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije
- 2 Dr. Brigita Jamnik, univ. dipl. inž. kem., JP Vodovod-Kanalizacija, d. o. o., Ljubljana
- 3 Dr. Brigita Jamnik, univ. dipl. inž. kem., JP Vodovod-Kanalizacija, d. o. o., Ljubljana
- 4 Petra Meglič, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije
- 5 Dr. Sonja Cerar, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije
- 6 Dr. Mitja Janža, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije
- 7 Mag. Primož Auersperger, univ. dipl. inž. kem., JP Vodovod-Kanalizacija, d. o. o., Ljubljana
- 8 Mag. Branka Bračič Železnik, univ. dipl. inž. geol., JP Vodovod-Kanalizacija, d. o. o., Ljubljana



contaminations of different concentrations, as rapidly or slowly traveling clouds or sporadic phenomena, requiring coordinated action among stakeholders. In the case of Ljubljana, there are four most important sources and types of pollutants, which are also typical for many other cities: industrial area (hexavalent chromium), urban core with sewage losses (nitrate and new-coming pollutants), urban landfill of non-hazardous waste (boron), and the hinterland of the city with a cloud of pollution from the old gravel pit (desethylatrazine). At present, pollution with desethylatrazine seems to be the most difficult problem from the point of view of remediation, since the maximum concentrations of the pollutant have moved to a depth of 15 to 30 m, and the mass of the pollutant and the concentration are decreasing extremely slowly over the span of decades.

1. UVOD

Ljubljana je v zadnjih sto letih prerastla nekdanji nepozidani prostor do svojih glavnih zajetij pitne vode. Zato se s pitno vodo že danes oskrbuje praktično izpod samega mesta. Funkcionalnost mestnega območja je zaradi tega neposredno odvisna od kakovosti podzemne vode pod njim. Podzemni prostor, iz katerega se mesto oskrbuje s pitno vodo, pa tudi presega sedanje meje mestne občine. Mesto je neposredno odvisno od svojega zaledja. Upravljanje podzemnih voda je že danes povezano z natančnim nadzorom nad stanjem vodnega telesa in tveganji ter z zelo aktivnim preprečevanjem vnosa nevarnih snovi in omejevanjem vnosa vseh drugih snovi v podzemno vodo. Pri tem so tudi vsi potencialni onesnaževalci zavezani k nadzoru nad izpusti in njihovem zmanjševanju. In tako bo nedvomno še bolj v prihodnje.

V projektu AMIIGA, sofinanciranem iz transnacionalnega programa Srednja Evropa 2014–2020, iščemo v tesnem sodelovanju z odločevalci inovativne pristope upravljanja onesnaženj podzemne vode v funkcionalnem mestnem območju. AMIIGA je kratica, izpeljana iz angleškega naziva projekta Integrated Approach To Management Of Groundwater Quality In Functional Urban Areas, v prevodu Celovit pristop upravljanja kakovosti podzemnih vod v funkcionalnih mestnih območjih.

2. UPRAVLJANJE PODZEMNE VODE V FUNKCIONALNEM MESTNEM OBMOČJU

Visoko izdatni aluvialni vodonosnik, na katerem se razvija Ljubljana, sega v zelo pomembnem delu na območje občine Ig in presega tudi današnje meje obeh lokalnih skupnosti skupaj. Občina Ig, ki meji na mestno občino z južne strani, predstavlja eno najpomembnejših napajalnih zaledij podzemne vode v skupnem aluvijalnem vodonosniku Ljubljanskega barja in Ljubljanskega polja. Mesto in njegovo južno zaledje sta poleg tega povezana tudi z vodovodnim sistemom in kanalizacijskim omrežjem. Funkcionalno mestno območje je v tem pogledu mestno jedro in tudi njegovo zaledje, ki sega daleč v masiv Krma na južnem hribovitem območju. Vodarna Brest, eno glavnih zajetij podzemne vode in črpališč, ki oskrbujejo tudi mestno jedro, je danes še daleč v zaledju mesta, na ozemlju občine Ig. Kako pa bo čez sto let?

Podzemna voda funkcionalnega mestnega območja Ljubljana – Ig je del vodnega telesa Savska kotlina in Ljubljansko barje. V Načrtu upravljanja voda Republike Slovenije je stanje tega vodnega telesa z oznako VTPodV_1001 ocenjeno kot dobro. Vplivi obremenitev so namreč majhni, napovedi trendov koncentracij onesnaževal na posameznih merilnih mestih pa kažejo, da bodo do leta 2021 njihove koncentracije z vsaj 95-% verjetnostjo ustrezale standardom kakovosti na več kot 70 % merilnih mestih državnega monitoringa ARSO (MOP, 2016: 103). Vendarle predstavljajo nekatera onesnaževala lokalne okoljske probleme. To so onesnaževala, ki se pojavljajo kot posledica človekovih vplivov v oskrbnih sistemih s pitno vodo, onesnaževala, ki lahko ogrožajo ohranjanje ekosistemov, odvisnih od podzemnih vod, in onesnaževala, ki presegajo standarde kakovosti ali vrednosti praga za podzemno vodo (MOP, 2016: 182–184).

Okoljski cilji za podzemne vode so doseženi, če je podzemna voda v dobrem kemijskem stanju in se stanje ne poslabšuje. Koncentracija kateregakoli onesnaževala, ki je posledica človekove dejavnosti, ne sme naraščati, preprečen mora biti vnos nevarnih onesnaževal v podzemno vodo in omejen vnos drugih onesnaževal, ki pomenijo obstoječe ali mogoče tveganje za podzemno vodo. Podzemna voda mora biti tudi v dobrem količinskem stanju (Uredba o stanju podzemnih voda, Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16: 3. člen). Za naraščajoče trende onesnaževal je treba določiti izhodiščno točko za vpeljavo ukrepov za obrat trenda. Izhodiščna točka je načeloma 75 % mejne vrednosti, lahko pa je nižja ali višja, odvisno od učinkovitosti vpeljave ukrepov. Kakršnakoli določitev izhodiščne točke pa ne sme povzročiti prenašanja dejanskih stroškov v prihodnost (Uredba o stanju podzemnih voda, Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16: 13. člen).

Orodje, ki ga država v sodelovanju z občinami uporablja pri načrtovanju in upravljanju onesnaženih območij, so tako imenovani programi varstva okolja, kot jih določa Zakon o varstvu okolja (ZVO-1). Program varstva okolja za Mestno občino Ljubljana 2014–2020 je bil izdelan v juliju 2014. Program postavlja upravljanje vodnih virov na prvo mesto (Jazbinšek Seršen idr., 2014).

Prva prednostna naloga oziroma strateški cilj omenjenega programa je Dolgoročno zavarovanje vodnih virov z naslednjimi operativnimi cilji: »izboljšati kakovost virov pitne vode, doseči dolgoročno uravnoteženost med odvzemi in obnavljanjem količin podzemne vode ter izboljšati ekološko stanje površinskih voda na območju Mestne občine Ljubljana«. Operativni cilj »izboljšati kakovost virov pitne vode do leta 2020« zajema nekatere ključne dejavnosti, kot so (Jazbinšek Seršen idr., 2014):

- priprava operativnega programa odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode v MOL-u za obdobje 2016–2020 s prednostnimi nalogami na vodovarstvenih območjih (VVO), vsako leto obnoviti 20 km kanalizacijskega sistema na VVO-ju v skladu z operativnim programom, pripraviti pobudo za vzpostavitev pravne podlage za pregled stanja in obnovo kanalizacijskih priključkov;
- monitoring onesnaženosti podzemne vode vodonosnikov Ljubljanskega polja in barja;
- nadzor onesnaženosti tal ter hranil na kmetijskih zemljiščih na VVO MOL;
- ugotoviti izvor in odpraviti vzroke onesnaženj podzemne vode;
- zmanjšati rabo soli za soljenje cest;



- pripraviti pobude za usmeritev transporta nevarnih snovi na južno ljubljansko obvoznico in drugo.

Nekatere trajne naloge izhajajo že iz prejšnjih programov varstva okolja MOL-a, npr., nadzorovati hranila, fitofarmacevtska sredstva (FFS), razvijati informacijski sistem in podobno. V obdobju 2007–2013 je bil tako zaključen tretji ciklus spremljanja rodovitnosti tal na 240 različnih lokacijah znotraj VVO MOL. V letih 2005–2013 so bile na 165 kmetijskih zemljiščih na VVO-ju v MOL-u in vodarni Brest izvedene meritve ostankov FFS-ja in težkih kovin v tleh (Jazbinšek Seršen idr., 2014).

Pri pripravi naslednjega načrta upravljanja podzemne vode na funkcionalnem mestnem območju za obdobje 2021–2027 izhajamo iz obstoječih okvirov in potreb, ki jih določa obstoječi Program varstva okolja MOL.

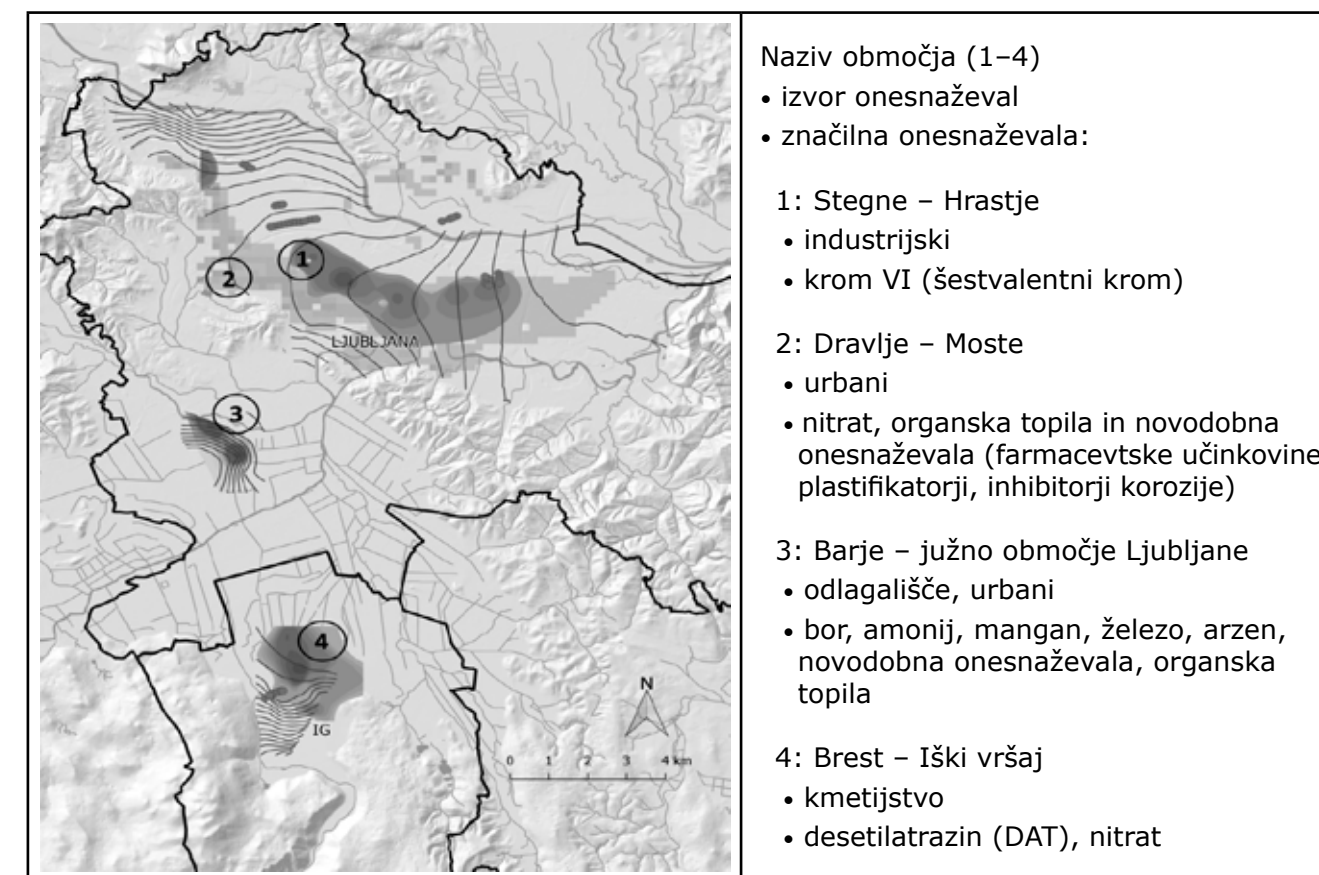
3. ONESNAŽENJA PODZEMNE VODE LJUBLJANE V ZADNJIH DVEH DESETLETJIH

Ključni problem funkcionalnega mestnega območja Ljubljana – Ig predstavljajo različne snovi antropogenega izvora, prisotne v različnih koncentracijah v podzemni vodi, ki se uporablja za oskrbo s pitno vodo. V zadnjih dveh desetletjih (1999–2016) so bila na funkcionalnem mestnem območju odkrita različna onesnaževala in onesnaženja. Nekatera onesnaževala iz razpršenih virov onesnaževanja so stalno prisotna, to so nitrat, atrazin (AT), desetilatrazin (DAT), trikloroeten (TCE), tetrakloroeten (PCE) in šestvalentni krom (Cr VI). Poleg teh je v tem obdobju prihajalo še do posameznih izrednih ali ponavljajočih se onesnaženj (Prestor idr., 2017):

- v letu 2000: 6-diklorobenzamid (BAM) – herbicid za zatiranje plevela;
- v letu 2004: metolaklor (MET) – totalni pesticid, predvsem pa je v uporabi za koruzo nadomestil prepovedani atrazin, trikloroeten (TCE) – topilo za razmaščevanje pretežno v industriji oziroma obrtni dejavnosti;
- v letu 2005: trikloroeten (TCE) – topilo;
- od leta 2008 naprej: ponavljajoča se onesnaženja z metazaklorom (METZ) – pesticid za zaščito predvsem zelja;
- od leta 2010 naprej: ponavljajoča se onesnaženja z benzenom in toluenom – iz zemeljskega plina;
- v zadnjih petih letih, od 2012 naprej: naraščajoče razpršeno onesnaženje z benzotriazoli (antikorozivno sredstvo v široki uporabi, na primer tudi v tabletah za pomivalne stroje) in še z nekaterimi farmacevtskimi sredstvi, kot so benzensulfonamidi.

Do izrednih onesnaženj, ki ogrozijo črpališča pitne vode, prihaja v povprečju kar enkrat letno, bodisi iz industrijskih ali kmetijskih virov. Poleg teh naključnih onesnaženj je nekaj stalnih onesnaževanj in onesnaženj, ki izvirajo iz starih virov. Ti ogrožajo dolgoročno varnost oskrbe z vodo ter obremenjujejo zaščito podzemne vode, upravljavski denar ter omejujejo možnosti ambicioznejših ciljev za kakovost podzemne vode.

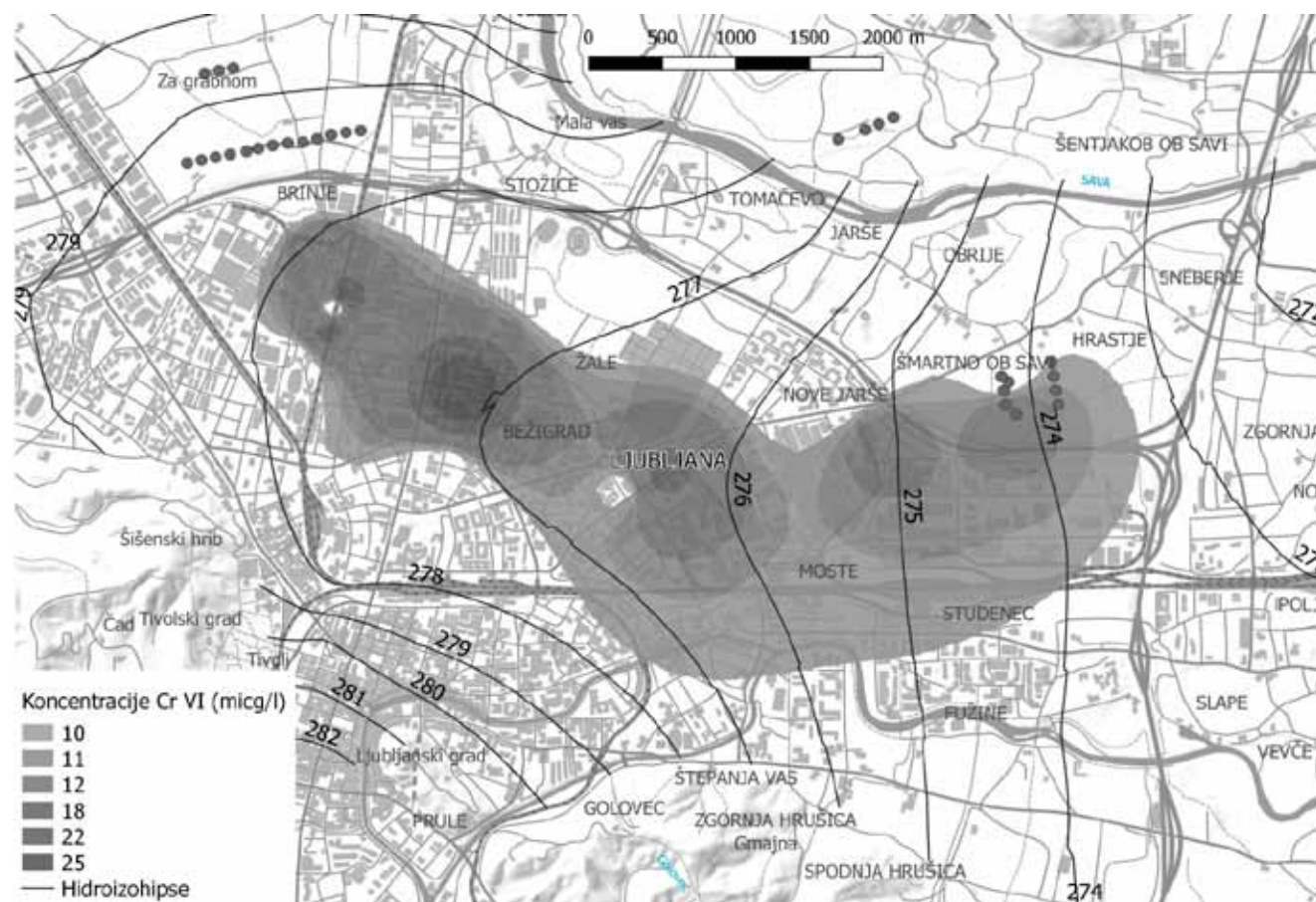
Za funkcionalno mestno območje Ljubljana – Ig so danes najpomembnejši štirje viri onesnaževal, tipični prav za mestna območja in njihova zaledja. To sta v mestnem jedru industrijsko območje Stegne – Hrastje in območje izgube iz kanalizacijskega sistema Dravlje – Moste, v zaledju mesta pa pretekla raba pesticidov in dušika v poljedelstvu (Brest – Iški vršaj) ter mestno odlagališče nenevarnih odpadkov Barje (slika 1).



Slika 1: Funkcionalno mestno območje Ljubljana – Ig s štirimi obravnavanimi območji onesnaženja podzemne vode in občinskimi mejami

3.1. Onesnaženje iz industrijskih virov na območju Stegne – Hrastje

Onesnaženje s šestvalentnim kromom (Cr^{6+}) je eno najresnejših onesnaženj vira pitne vode v Ljubljani. Glavni oblak onesnaženja (v koncentracijah višjih od $10 \mu\text{g/l}$) se razširja med južnim obrobjem Litostroja ter poteka preko Bežigrada, severno od Navja, se nadaljuje proti Mostam in nato sega do Hrastja (slika 2). Prvi zapisi o onesnaženju podzemne vode so iz leta 1985. Območje okoli Kleč je postalo industrijsko po drugi svetovni vojni. Več obratov je delovalo brez ustreznih dovoljenj in tudi brez čistilne naprave in onesnaževalo zemlino in podzemno vodo s toksičnimi kovinami, vključno s šestvalentnim kromom. Po več kot 30 letih se še vedno soočamo z izvori onesnaževanja s šestvalentnim kromom, ki jih ne poznamo oziroma ne odkrivamo sproti.



Slika 2: Položaj sedanjega glavnega oblaka onesnaženja podzemne vode s šestvalentnim kromom Cr^{6+} 2016-2017 (območje Stegne – Hrastje)

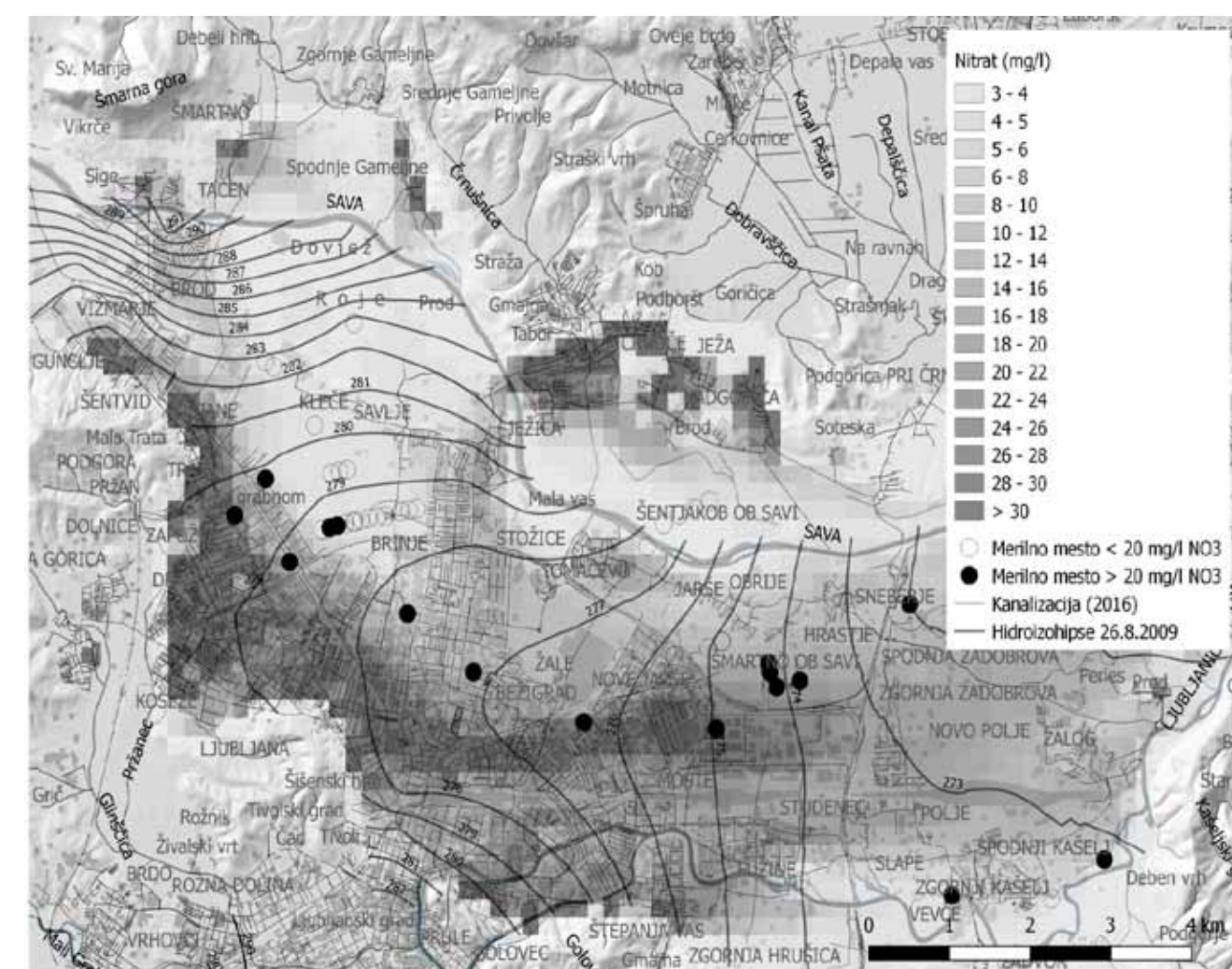
Varnost oskrbe s pitno vodo trenutno ni ogrožena s kromom. V vodnjakih za oskrbo s pitno vodo Ljubljane so koncentracije kroma zelo nizke. Vendarle pa je glede na dosedanja pojavljanja onesnaženj s šestvalentnim kromom jasno, da so posamezni deli oblaka lahko bolj onesnaženi (s koncentracijami $> 35 \mu\text{g/l}$) in da konična onesnaženja lahko presežejo tudi priporočeno mejo $50 \mu\text{g/l}$.

Pri masni bilanci kroma in njegovih spojin so bili zbrani rezultati analiz kroma na vtoku v Centralno čistilno napravo (CČN) Ljubljana. Ti kažejo koncentracije kroma med 11 in $39 \mu\text{g/l}$. Po kanalizacijskih ceveh letno steče povprečno okoli 730 kg kroma. Masna bilanca kroma iz znanih izpustov in v podzemni vodi kaže, da je večina onesnaženja iz nenadzorovanih virov. Vendar pa se število naprav in tudi masa kroma v izpustih bistveno spreminjata z leti. Zato so tudi vplivi izgub kroma iz kanalizacije spremenljivi in je izvore težko izslediti. Problem je tudi majhno število analiz kroma na vtoku CČN Ljubljana, za leto 2014 le dve (Pestotnik idr., 2017).

3.2. Onesnaženje iz izgub iz kanalizacije na območju Dravljje – Moste

Glavni oblak onesnaženja iz izgub iz kanalizacije se širi od Dravelj preko Šiške in nato Bežigrada ter naprej med Mostami in Novimi Jaršami proti Zadobrovi in Novemu Polju (slika 3). Večina merilnih mest s koncentracijami nitrata nad 20 mg/l je značilno razporejenih vzporedno,

vendar nekoliko severno od osi jedra oblaka iz izgub iz kanalizacije (slika 3), kjer se oblaku onesnaženja iz kanalizacije pridruži še onesnaženje iz kmetijstva (Janža idr., 2017). Po modelu INCOME je bila pred sedmimi leti povprečna koncentracija nitrata v celotnem telesu podzemne vode Ljubljanskega polja $17,6 \text{ mg/l}$. K taki koncentraciji nitrata je prispevalo 270 t N/leto iz izgub iz kanalizacije ter 407 t N/leto iz presežkov v kmetijstvu in naravnega ozadja. Razmerje obeh virov je po tem modelu 40 : 60 (Pestotnik idr., 2017).



Slika 3: Simulacija razporeditve koncentracij nitrata v podzemni vodi Ljubljanskega polja zaradi izgub iz kanalizacije (krogi označujejo merilna mesta z opazovanji nitrata v letu 2016 in dodatnim vzorčenjem v letu 2017)

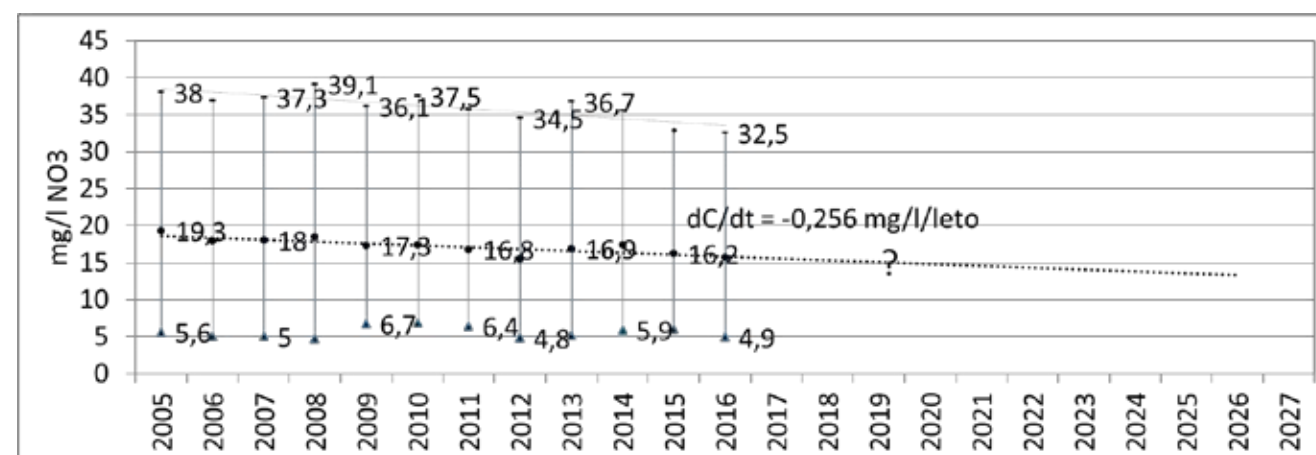
Analiza trendov dušika, ki smo jo v tem letu opravili v okviru projekta AMIIGA z vključitvijo vseh novih podatkov skupnega monitoringa, potrjuje, da gre za značilen trend upadanja nitrata, ki se nadaljuje v zadnjih desetih letih. Za celotno Ljubljansko polje je značilen regionalni trend upadanja nitrata v obdobju 2007–2016. Največji trend upadanja se pri tem kaže v zaledju Hrastja ($3,1 \text{ mg/l}$ na deset let), najmanjši pa v zaledju Kleč ($1,2 \text{ mg/l}$ na deset let).

Eno najzanimivejših vprašanj je, kakšen trend lahko napovemo za naslednje desetletje, ali se bo trend upadanja nitrata še nadaljeval, oziroma, kaj je treba storiti, da bi se nadaljeval,



ter kakšni so lahko realni cilji za naslednje obdobje 2021–2027 in do leta 2050 (slika 4). A pomembno je vedeti tudi, kateri ukrep je največ prispeval k zniževanju nitrata in ali je trend stalen ali je prišlo le do spremembe srednje vrednosti v določenem obdobju.

Novodobna organska onesnaževala (herbicidi, farmacevtska sredstva in tudi plastifikatorji, topila itn.) so danes lahko bolj zaskrbljujoča z okoljskega vidika kot nitrat. Ukrepi za nadaljnje zniževanje nitrata v podzemni vodi pa so pomembni ravno za zmanjševanje morebitnega trenda novodobnih onesnaževal, ki ga danes dejansko še ne poznamo.



Slika 4: Trend koncentracij nitrata v podzemni vodi Ljubljanskega polja – srednje vrednosti na vseh merilnih mestih ter srednje vrednosti na merilni postaji z najnižjimi in najvišjimi koncentracijami

3.3. Onesnaženje na območju odlagališča odpadkov in južnega dela Ljubljane

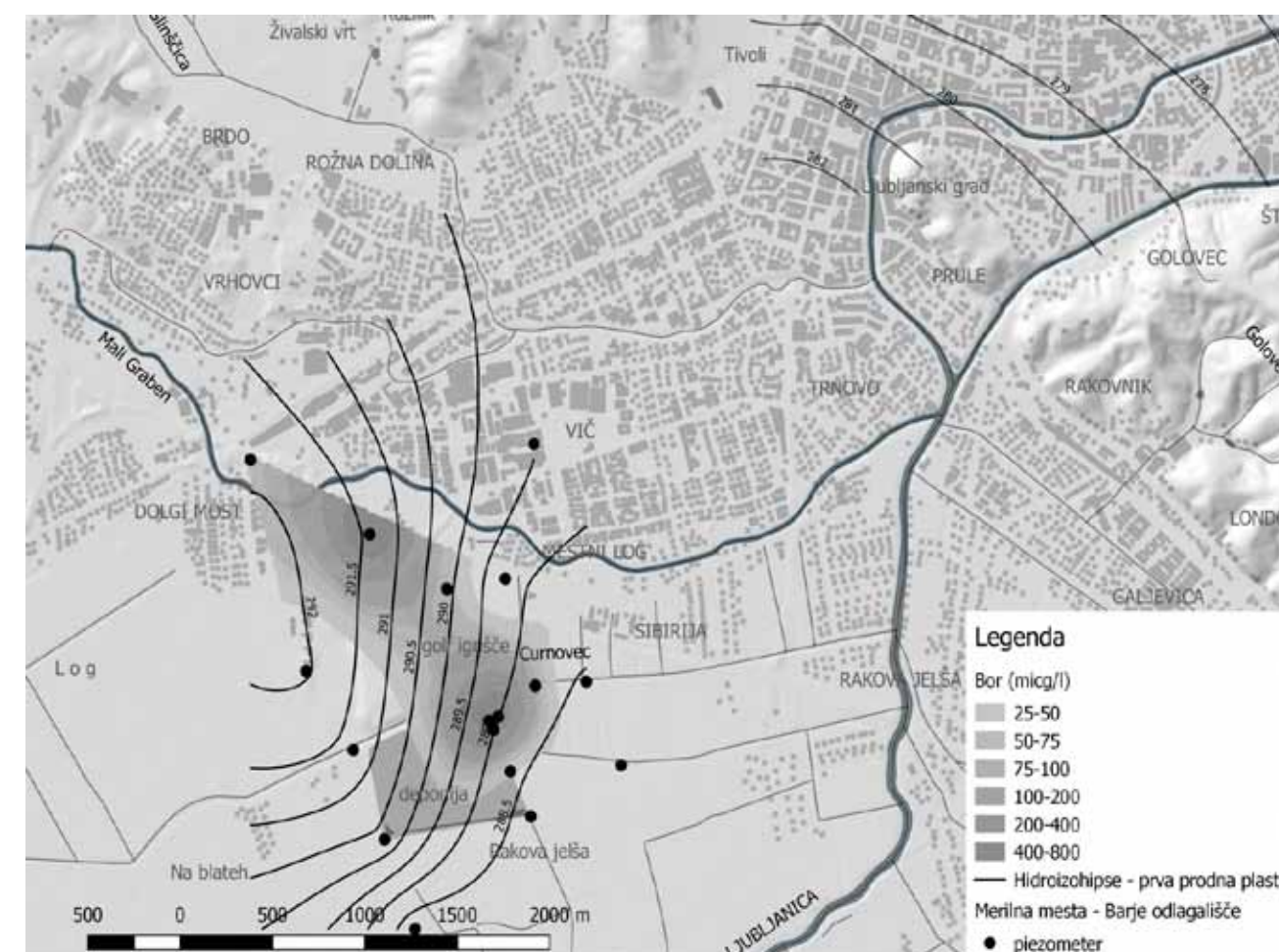
Na južnem obrobju mesta se nahaja odlagališče nenevarnih odpadkov Barje. Obratuje od leta 1964. Na starem delu so bili odpadki odloženi na zaglinjene geološke plasti še brez zaščitne neprepustne folije. V obdobju 1990–2000 je postalo jasno, da bodo potrebni dodatni zaščitni ukrepi. Nato je bil vzpostavljen zapleten obratovalni monitoring, ki danes obsega več kot 30 opazovalnih mest dolvodno in gorvodno od odlagališča, v treh različnih geoloških plasteh. Izvedeno je bilo veliko dodatnih zaščitnih ukrepov, predvsem za zmanjšanje precejšnje izcedne vode iz telesa odlagališča v geološke plasti pod njim.

Glavno onesnaženje pod vplivom odlagališča se danes zadržuje do razdalje približno 200 m okoli odlagališča. To omogočata predvsem slaba prepustnost geoloških plasti, ki zadržuje anorganske snovi, ter redukcijsko okolje z zelo nizko vsebnostjo kisika, kar pospešuje razgradnjo organskih snovi. Glavno možno pot širjenja onesnaževal predstavlja tanka prodna plast, ki se med vrhnjimi plastmi večinoma pojavlja v globini 4–6 m pod površjem in se delno drenira tudi v površinske kanale.

Najznačilnejša onesnaževala odlagališča Barje so bor (0,004–7,8 mg/l) (slika 5), amonij (0,5–28 mg/l), nitrit (0,007–0,030 mg/l), železo (1,5–33 mg/l), mangan (0,8–3 mg/l), arzen (0,004–0,015 mg/l) in sulfat (0–800 mg/l). Ista onesnaževala pa so v okolici odlagališča pri-

sotna tudi v naravnih razmerah, saj gre za menjavanje geoloških plasti v zaprtih hidrogeokemijskih razmerah in bogatih z organskimi snovmi (zlasti šoto).

Visoko povišane koncentracije onesnaževal se pojavljajo v opazovalnih vrtinah tik nad dolvodnim robom odlagališča. Organska onesnaževala so tam prisotna v sledovih, večinoma kot posledica razpada različnih plastičnih materialov, vključno z nekaterimi obstojnejšimi dodatki (npr. zaviralci gorenja, plastifikatorji). Poleg tega se lahko zaznavajo farmacevtska sredstva (propifenazon, antipirin, lidokain ...). Še posebej se je med organskimi onesnaževali kot značilno reprezentativno sledilo do sedaj izkazal propifenazon, ki kaže bistveno večjo obstojnost v anoksičnih razmerah, značilnih za Barje, kot v prezračenih razmerah Ljubljanskega polja.



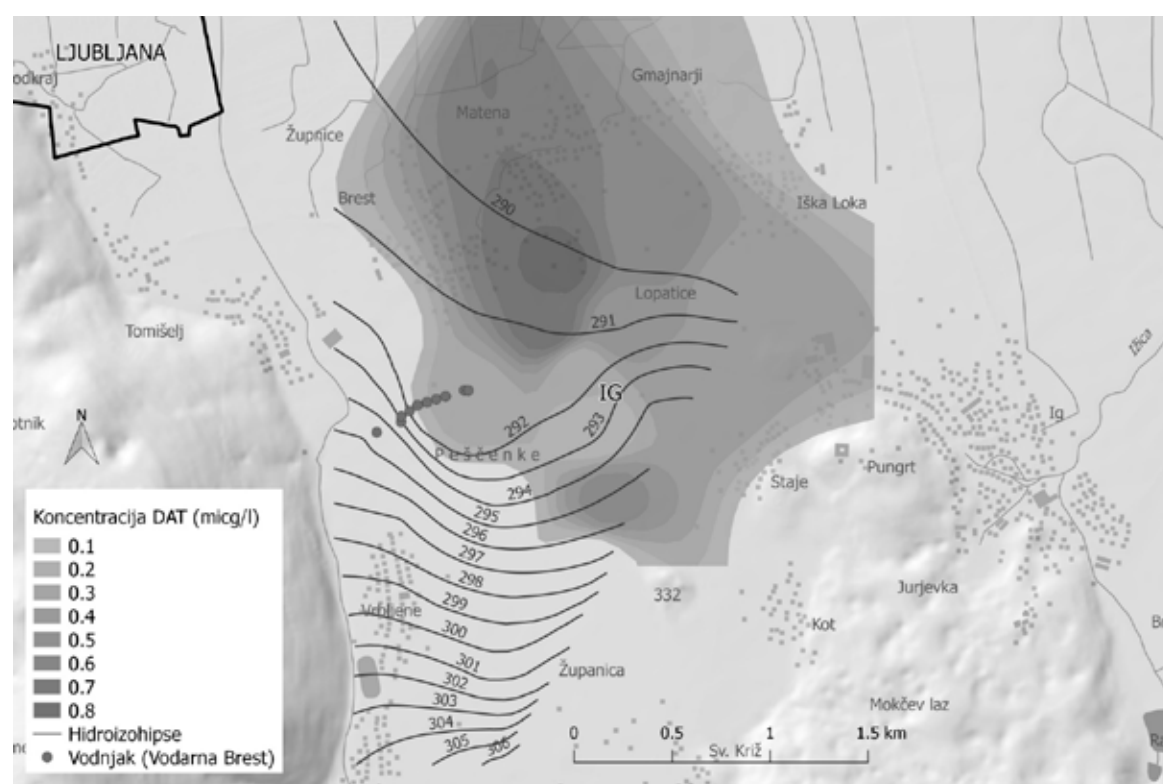
Slika 5: Piezometrična gladina podzemne vode v prvi prodni plasti in razporeditev koncentracij bora med opazovalnimi vrtinami obratovalnega monitoringa Odlagališča Barje (2013)

V zadnjih nekaj letih je bilo analiziranih skoraj 200 časovnih nizov podatkov o pojavljanju onesnaževal v treh različnih geoloških plasteh. Trendi onesnaževal so le redko značilni. Sipanje rezultatov je veliko, vendar pa so pričakovani razponi nihanja koncentracij v naslednjih letih znani. Bor, ki je danes najznačilnejše in najpomembnejše onesnaževalo z odlagališča, bo presegal normativ 0,5 mg/l v naslednjih desetih letih le še na vzhodnem robu odlagališča in samo v prvi prodni plasti ter vrhnjih plasteh nad njo. Trendi organskih onesnaževal še niso bili ugotovljeni, a so predmet podrobnega nadzora v obratovalnem monitoringu.



3.4. Območje onesnaženja iz pretekle kmetijske dejavnosti Brest – Iški vršaj

Vodarna Brest na Iškem vršaju je bila zasnovana v letu 1975, v javni oskrbni sistem pa je vključena od leta 1981. Danes oskrbuje s pitno vodo uporabnike kar štirih občin: Ig, Brezovica, Škofljica ter v Mestni občini Ljubljana (Bračič Železnik, 2016). Ob povečevanju zmogljivosti tega vodnega vira je bila v letu 2002 nenadoma zaznana visoka koncentracija desetilatrazina (DAT) v vodnjaku VD Brest-1a. Koncentracija je kljub ustavitvi vodnjaka še naraščala in dosegla najvišjo vrednost 0,762 µg/l. Ob črpanju količin vode, ki jih narekujejo današnje potrebe, sta za varno oskrbo s pitno vodo potreben skrbno nadzorovan režim črpanja in monitoring. Najvišje koncentracije desetilatrazina se še naprej zadržujejo na severnem delu Iškega vršaja in ob izvornem mestu gramoznice na južnem robu oblaka (slika 6). Visoke koncentracije desetilatrazina so v jedru oblaka vzhodno od vodarne precej nad dovoljeno mejo za pitno vodo. Glavna koncentracija desetilatrazina je danes v globljih delih aluvialnega vodonosnika na globini med 15 in 30 m pod površjem (Jamnik idr., 2017: 31). Poglavitni razlogi, da se onesnaženje vztrajno zadržuje na tem območju še po 13 letih po prepovedi atrazina, so zelo počasna razgradnja, lepljenje na glinasto frakcijo in slaba topnost v vodi. Tudi raba tega pesticida je bila očitno izredno neustrezna in brezobzirna, predvsem pa odlaganje v večjih količinah na mestu nekdanje gramoznice in morda še kje na tem onesnaženem območju. V letu 2011 je bila skupna masa onesnaževala v oblaku 25 kg, v letu 2017 pa 23 kg. Masa onesnaževala v oblaku onesnaženja se zmanjšuje le za približno 0,3 kg/leto. V zadnjih 20 letih se je odstranilo približno 6 kg čistega desetilatrazina in atrazina. To je toliko, kot je bila enoletna poraba tega pesticida na 6 hektarih njivskih površin (Pestotnik idr., 2017).



Slika 6: Položaj oblaka onesnaženja z desetilatrazinom (DAT) vzhodno od vodarne Brest zaradi rabe pesticida atrazina pred prepovedjo v letu 2004 (današnje stanje – v začetku leta 2017)

4. SKLEP

Podzemna voda je bistveni element funkcionalnosti mestnega območja Ljubljane, mestnega jedra in njegovega zaledja, ki se razteza v zelo pomembnem delu na območje občine Ig in še naprej v masiv Krma.

Dejstvo je, da sta danes najpomembnejši onesnaževali šestvalentni krom na Ljubljanskem polju in desetilatrazin na Iškem vršaju. Šestvalentni krom povzroča grožnjo možnih koničnih onesnaženj preko varne meje 50 µg/l v oblaku onesnaženja med Stegnami in Hrastjem. Oblak onesnaženja je dinamičen, se spreminja, vendar je stalno prisoten. Nadaljnje preiskave onesnaženja s kromom smo zato usmerili v ugotavljanje korelacije med gibanjem oblaka in spreminjanjem obremenitev iz izpustov ter ugotavljanje kumulativnega vpliva iz več možnih točkovnih virov kroma na dinamiko in geometrijo oblaka. To nam bo omogočilo, da lahko izsledimo posamične izvore onesnaženja podzemne vode.

Desetilatratin predstavlja najresnejši problem za nadaljnji razvoj vodnega vira Brest. Oblak onesnaženja z desetilatrazinom vzhodno od vodarne Brest omejuje današnji razvoj celotnega količinskega potenciala vodnega vira Iškega vršaja za oskrbo s pitno vodo. Njegov potencial je zlasti pogrešan v sušnih obdobjih, ko črpanje iz zgornjega dela aluvialnega vodonosnika ni več možno. Nadaljnje raziskave smo zato usmerili v ugotavljanje obstoja DAT v nižjem karbonatnem vodonosniku pod črpališčem Brest, ali je vodonosnik v podlagi aluvialnega vodonosnika tudi kontaminiran in ali je možno in smiselno vključiti vodnjak VD Brest-3a, ki odvzema vodo iz globokega karbonatnega vodonosnika, v redni sistem oskrbe z vodo in pod kakšnimi pogoji.

Onesnaženji iz izgub iz kanalizacije na območju Dravljice – Moste na Ljubljanskem polju in z odlagališča Barje na južnem obrobju Ljubljane ne ogrožata sedanjih zajetij podzemne vode. Koncentracija nitrata v podzemni vodi Ljubljanskega polja se je zniževala z značilnim trendom iz preteklega obdobja tudi v zadnjih letih 2011–2017. Učinkovito nadaljnje zniževanje vnosa dušika iz izgub iz kanalizacije in kmetijske rabe je zelo pomembno, saj s tem posredno preprečujemo naraščanje prisotnosti novodobnih onesnaževal v podzemni vodi. Trende teh onesnaževal skušamo danes šele čim boljše ugotoviti in prepoznati med njimi značilne kazalce posameznih virov onesnaženj, kot na primer karbamazepin za kanalizacijo. Prepoznavanje izvorov je pomembno za pravilno določanje kritičnih točk in odločanje za izvedbo ukrepov.

Najznačilnejše onesnaževalo z odlagališča Barje je bor. Med organskimi snovmi se kaže kot možno sledilo vpliva propifenazon, ki je obstojen v anoksičnih razmerah. Vendarle pa bo to treba še potrditi z nadaljnjimi preiskavami. V bližnji oddaljenosti od odlagališča se pojavljajo že vplivi onesnaževal iz drugih virov. Monitoring podzemne vode med odlagališčem in prehodom med Gradom in Rožnikom še ni dobro vzpostavljen, zato onesnaženjem iz zunanjih virov ni možno slediti. Tudi še ni možno dovolj natančno opredeliti, kakšna voda se danes v povprečju pretaka z Ljubljanskega barja na Ljubljansko polje in kakšne so mase onesnaževal. Sploh pa še ni možno oceniti, kakšna voda prihaja iz različnih delov južnega mesta.

Današnji sistem monitoringa je že zelo obsežen. Treba ga je stalno optimizirati, vendar pa hkrati zagotavljati kontinuiteto, ki omogoča spremljanje trendov in ustrezno pokrivanje de-



lov funkcionalnega mestnega območja. Še pomembnejše kot monitoring je stalno in načrtno zmanjševanje obremenitev. Stalno zmanjševanje obremenitev zanesljivo zagotavlja tudi konkretne rezultate. Zmanjševanje obremenitev je smiselno konkretno opredeliti v bilanci onesnaževal v Programu varstva okolja in podlagah prostorskega načrta. Zmanjševanje obremenitev je pomembno zaradi novih prihajajočih onesnaževal, zaradi podnebnih sprememb in zaradi naraščajočega prebivalstva oziroma migracij.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Mestni občini Ljubljana (MOL) in njenemu Oddelku za varstvo okolja, Občini Ig, Javnemu podjetju Snaga kot pridruženim partnerjem za njihovo dejavno sodelovanje, po-bude in podporo projekta AMIIGA. Zahvaljujemo se tudi vsem članom interesne skupine, ki so sodelovali na dosedanjih delavnicah.

LITERATURA IN VIRI

1. Bračič Železnik, B., 2016. Dinamika podzemne vode sistemov vodonosnikov Iškega vršaja. Magistrsko delo. Ljubljana, UL FGG, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer.
2. Jamnik, B., Cerar, S., Auersperger, P., Meglič, P., Prestor, J., Bračič Železnik, B., 2017. D.T2.2.2 - Report on additional targeted sampling campaign and laboratory analysis. Project AMIIGA (Interreg, Central Europe).
3. Janža, M., Meglič, P., Prestor, J., Jamnik, B., Pestotnik, S., 2017. D.T2.2.3 Report on the improved transport and surface-groundwater interactions model. AMIIGA project, Programme Interreg Central Europe.
4. Jazbinšek Seršen, N., Regina, H., Stojin Božič, Z., Jankovič, M., Piltaver, A., Čermelj, S., Babič, V., 2014. Program varstva okolja za Mestno občino Ljubljana 2014–2020. Mestna uprava Mestne občine Ljubljana, Oddelek za varstvo okolja. Dostopno na: <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/varstvo-okolja/program-varstva-okolja/> [9. 8. 2017].
5. Mestna občina Ljubljana, 2017. Program varstva okolja. Prednostne naloge Programa. Dostopno na: <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/varstvo-okolja/program-varstva-okolja/> [9. 8. 2017].
6. Ministrstvo za okolje in prostor, 2016. Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2016–2021. Ljubljana. Dostopno na: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/nuv_II/NUV_VOD.pdf [9. 8. 2017].
7. Pestotnik, S., Prestor, J., Meglič, P., Janža, M., Šram, D., 2017. T2.2.4 Report on actualized contaminants mass balance and pressures-impacts model. AMIIGA project, Programme Interreg Central Europe.
8. Prestor, J., Jamnik, B., Janža, M., Auersperger, P., Meglič, P., Bračič Železnik, B., Mali, N., Urbanc, J., Horvat, B., Pestotnik, S., 2017. D.T2.2.1 Report on the actual status of four contamination sites selected for remediation measures. AMIIGA project, Programme Interreg Central Europe.
9. Prestor, J., Pestotnik, S., Janža, M., Meglič, P., 2014. Načrtovanje zaščitnih ukrepov na podlagi modela obremenitev in vplivov na podzemno vodo. V: Kladnik, D., Topole, M., ur. Skrb za vodo. Ljubljana: Založba ZRC. Str. 79-92.
10. Uredba o stanju podzemnih voda. Uradni list, št. 25/09, 68/12 in 66/16.

SANACIJA VODNIH VIROV SEGOVCI IN PODGRAD

dr. GORAN PIPUŠ¹

Povzetek

Na desnem bregu reke Mure sta obstoječa vira Segovci in Podgrad problematična zaradi intenzivnega kmetijstva v njunem zaledju. Kot najprimernejši postopek za sanacijo vodnih virov Podgrad in Segovci je bilo izbrano aktivno varovanje in bogatenje obeh vodnih virov z obrežnim filtratom reke Mure. Tehnološki postopek priprave pitne vode je bil določen in potrjen z izvedenimi pilotnimi testi čiščenja pitne vode ter ga lahko razdelimo na tri zaokrožene tehnološke dele: črpanje in priprava obrežnega filtrata v Segovcih, črpanje in priprava obrežnega filtrata v Podgradu ter priprava pitne vode v vodarni Podgrad. Sistem bogatenja in varovanja podzemne vode za vodna vira Segovci in Podgrad omogoča oskrbo s kakovostno pitno vodo v zadostnih količinah za vodovodni sistem Gornja Radgona in vodovodni sistem Apače.

Ključni besedi: priprava pitne vode, varovanje vodnih virov

Abstract

Water source Segovci and Podgrad located on the right bank of river Mura were problematic, because of intensive agriculture. The active protection and enrichment of both water sources with bank filtrate of river Mura was chosen as most appropriate process. The technological process of drinking water treatment was confirmed with pilot tests. The drinking water treatment process can be divided into three separate technological units: pumping and treatment of bank filtrate in Segovci, pumping and treatment of bank filtrate in Podgrad and drinking water treatment in Podgrad. The system of enrichment and protection of groundwater for water sources Segovci and Podgrad ensure safe supply of drinking water for the drinking water supply system Gornja Radgona and drinking water supply system Apače.

¹ Dr. GORAN PIPUŠ, univ. dipl. inž. kem. inž., Hidroinženiring, d. o. o.



1. UVOD

Kot del projekta Ureditve celovite oskrbe prebivalstva s pitno vodo in varovanje vodnih virov Pomurja je bilo treba za sistem C za desni breg reke Mure zagotoviti predvsem kakovostne in varne vodne vire (Kopač, 2005).

Na desnem bregu reke Mure se nahajajo naslednji večji obstoječi vodni viri: Segovci, Podgrad, Lukavci in Mota. Dodatno je kot nov vodni vir bil predviden vodni vir Vučja vas. Pitna voda ima na teh vodnih virih različno kakovost, ker je obremenjena z različnimi polutanti ali z naravno prisotnimi snovmi. Še posebej sta bila glede kakovosti problematična vodna vira Segovci in Podgrad, ki sta bila obremenjena predvsem s pesticidi in nitrati.

2. OPIS OBSTOJEČEGA STANJA

Vodni vir Podgrad leži na nizki peščeno-prodnati ravnici pod Podgradom. Črpališče obsega drenažo s črpalnim vodnjakom. Drenaža je v dolžini 400 m izkopana v nizkem peščeno prodnatem zasipu desnega brega Mure. Betonske cevi premera 60 cm so položene v globini 4–6 m. Stene cevi so na zgornji strani perforirane. Drenažni cevovod je na razdalji 60 m opremljen z vstopnimi jaški premera 80 cm. Neposredno nad drenažno cevjo je vgrajen očiščen gramozni material, prekrit z ilovnatim in humusnim slojem.

Obstoječi vodnjak je poglobljen pod dno drenažnih cevi za 1,5 m. Iz zajema se je črpalo 52 l/s. Možno je povečanje načrpane količine vode na 55 l/s.

Za črpališče v Podgradu je bil v sedemdesetih letih izveden sistem za umetno bogatenje podtalnice za zaščito podtalnice pred onesnaženjem z zalednih kmetijskih zemljišč. Zajem vode za umetno bogatenje je bil predviden na dva načina: v primeru zadostnih količin vode iz zajezitve mrtvice ob Muri, v primeru nezadostnih količin pa s črpanjem iz vodnjakov ob Muri. Iz obeh možnih zajemov je bilo zgrajeno omrežje do ponikovalnega polja. Sistem ni nikoli obratoval, ker se je v času dokončanja kakovost rečne vode že toliko poslabšala, da bi bilo pred infiltracijo v ponikovalna polja potrebno tudi njeno čiščenje.

Drenažno zajetje za Segovce je v dolžini 800 m izkopano v peščeno-prodnem zasipu desnega brega Mure. Betonske cevi premera 60 cm so položene na nepropustno podlago v globini 5–6 m. Stene cevi so na zgornji strani perforirane. Cevovod je na razdaljah 60 m opremljen z vstopnimi jaški premera 80 cm. Nad drenažno cevjo je vgrajen gramozni material, prekrit z ilovnatim in humusnim slojem. Drenaža je speljana v vodnjak premera 5 m, ki je 1,5 m poglobljen pod dno drenažnih cevi.

Iz zajetja se je črpalo do 14 l/s, ocenjena izdatnost pa je znašala do 70 l/s. Izkoriščanje večjih količin vode od obstoječih preprečujejo težave s kakovostjo, na katero vpliva intenzivna kmetijska proizvodnja na zalednem območju vodnega vira. Tako je bila v načrpani vodi skoraj stalno presežena dopustna koncentracija nitratov, ki pa v zadnjih letih ni bila presežena. Vendar je še vedno obstajala možnost povečanja koncentracije nitratov. Občasno pa nastopajo tudi presežene dopustne vrednosti pesticidov – metolakora in njegovih razgradnih produktov.

3. ONESNAŽENOST VODNIH VIROV

Kot posledica intenzivnega kmetijstva v zaledju so bile v načrpani pitni vodi iz vodnega vira Podgrad prisotne povišane koncentracije nitratov, občasno je bila zaznana tudi prisotnost amonijaka, problem pa so bile tudi povišane koncentracije pesticidov (Mirkovič, 2005). V preteklosti je bila problematična prisotnost atrazina in desetilatrazina, katerih koncentracija se je s prenehanjem uporabe zmanjšala. Namesto tega pa so se pojavili novi pesticidi in njihovi razgradnji produkti metolaklor in terbutilazin.

Kakovost pitne vode iz vodnega vira Segovci je bila podobna kot v Podgradu s povišanimi koncentracijami pesticidov ter občasno še z nitrati (Mirkovič, 2005).

Iz Ocene razmer vodnih virov v Pomurju, izvedene v letih 1991–2004 za črpališče Podgrad, je bilo povzeto:

- vrednosti pH in električne prevodnosti so stalne in primerljive,
- trend vsebnosti nitrata narašča,
- koncentracije nitrita in klorida so precej nižje od mejnih vrednosti za pitno vodo,
- voda je zmerno obremenjena s snovmi, ki za razgradnjo potrebujejo kisik (KPK in KMnO_4),
- v vodi je ugotovljena prisotnost nitrita,
- povišane vrednosti amonija se pojavijo občasno in niso bile ocenjene kot stalna obremenitev,
- voda ni obremenjena s težkimi kovinami,
- atrazin in desetilatrazin upadeta, opozoriti je treba na pojav drugih herbicidov, predvsem metolaklora in terbutilazina.

Splošna ocena kaže, da vrednost nitrata iz leta v leto narašča, vrednosti pesticidov pa padajo. Iz analiz, izvedenih za vodni vir Segovci od 1991–2011, je bilo povzeto:

- vrednosti pH in električne prevodnosti so stalne in primerljive,
- trend vsebnosti nitrata v zadnjem času upada,
- voda ni obremenjena s snovmi, ki za razgradnjo potrebujejo kisik (KPK in KMnO_4),
- v vodi ni ugotovljene prisotnosti nitrita,
- povišane vsebnosti amonija se pojavijo občasno in niso bile ocenjene kot stalna obremenitev vode v vodooskrbnem sistemu,
- podatki o vsebnosti pesticidov so pomanjkljivi, v vseh pregledanih vzorcih desetilatrazin presega mejno vrednost,
- v zadnjem času koncentracija pesticida metolakora presega mejno vrednost.

Splošna ocena kaže, da vrednost nitrata ne narašča več, vrednosti pesticida atrazina padajo, vendar se v zadnjem času pojavlja povišana koncentracija pesticida metolaklora in njegovih razgradnih produktov.



4. OGROŽENOST VODNIH VIROV

Poleg intenzivnega kmetijstva, ki ogroža oba vodna vira, ju ogrožajo še netesno kanalizacijsko omrežje, možni izlivi naftnih derivatov na cesti Vrtanja vas–Gornja Radgona in izcedne vode iz divjih odlagališč odpadkov.

Segovci in Podgrad sta drenažni zajetji. Ker drenaža zajema večje površine in je napajanje z vodo bližje površini, je tudi ranljivost obeh zajetij večja kot v primeru vodnjakov. Sicer pa kakovost pitne vode lahko ogroža le neustrezna kmetijska dejavnost, ker drugih večjih onesnaževalcev ni, razen neurejene kanalizacije. Glede na rezultate analiz pitne vode sta vodovodna sistema veljala za pogojno varna.

5. IZBIRA USTREZNEGA TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA PRIPRAVE PITNE VODE

Vodna vira Podgrad in Segovci sta bila v sklopu projekta obravnavana skupno in tudi oba vodna vira sta bila že povezana s cevovodom (Železnik, 2008). Obravnavane različice so temeljile na zajemu vode iz teh dveh vodnih virov z upoštevanjem zaščite obeh vodnih virov oz. s povečanjem izdatnosti vodnega vira Segovci ter ohranitvijo vodnega vira Podgrad v obstoječem stanju (Železnik, 2008).

Druga možnost je bila preverjena na podlagi ugodnosti, ki jih v oskrbnem pogledu zagotavlja že zgrajen povezovalni cevovod, in na podlagi dejstva, da vodni vir Podgrad kakovostno ni tako kritičen, zato bi bilo rezervne količine vode pri njegovem izpadu mogoče pridobiti na vodnem viru Segovci, ter da so investicijski stroški izvedbe objektov in naprav, lociranih na enem mestu, in posegi v okolje, povzročeni z njimi, manjši, kot če se to izvaja na dveh mestih.

Sam postopek zaščite vodnega vira z infiltracijo predčiščene vode preko infiltracijskih polj oz. bazenov zagotavlja, da se tok z nitrati in pesticidi obremenjene podtalne vode preusmeri iz območja zajema in v drenažno zajetje doteka kakovostno ustrezno predčiščena voda.

Obdelane različice se ločijo glede na vir vode, ki se bo uporabljala za bogatenje in zaščito, to je črpanje obrežnega filtrata ali zajem reke Mure. V prvem primeru se je na lokacijah obeh vodnih virov predvidelo bogatenje in črpanje. V drugem primeru pa se je samo na lokaciji vodnega vira Segovci predvidelo bogatenje in črpanje, ki bi pokrivalo potrebe celotnega območja, oskrbovanega iz teh vodnih virov. Vodni vir Podgrad, ki je boljše kakovosti, pa se uporabi kot dopolnilo vodnega vira Segovci.

Na osnovi zgoraj omenjenih predpostavk smo dobili štiri možne različice zaščite obstoječih vodnih virov in pridobivanja kakovostne pitne vode iz njih:

Varianta 1.A:

- kombinacija vodnih virov Segovci in Podgrad
- v obeh primerih zajem Mure in čiščenje na čistilnih napravah

- ponikanje
- črpanje in priprava za omrežje

Varianta 1.B:

- kombinacija vodnih virov Segovci in Podgrad
- v obeh primerih zajem obrežnega filtrata in čiščenje na čistilnih napravah
- ponikanje
- črpanje in priprava za omrežje

Varianta 2.A:

- Segovci
- zajem Mure in čiščenje na čistilni napravi
- ponikanje
- črpanje in priprava za omrežje
- Podgrad (rezerva – ni posegov)

Varianta 2.B:

- Segovci
- zajem obrežnega filtrata in čiščenje na čistilni napravi
- ponikanje
- črpanje in priprava za omrežje
- Podgrad (rezerva – ni posegov)

Hidrogeološki podatki na Apaškem polju kažejo, da na lokaciji vodnega vira Podgrad ni mogoče črpati dodatnih količin podzemne vode. Poleg tega bi črpanje dodatnih količin podzemne vode povzročilo večji dotok bolj onesnažene podzemne vode iz zaledja obeh vodnih virov. Učinkovito varovanje zaledja obeh vodnih virov pred onesnaževanjem je vprašljivo tudi zaradi političnih razsežnosti. Čiščenje pitne vode, ki vsebuje nitrato, pa zahteva uporabo razmeroma dragih tehnoloških postopkov z vidika investicije in obratovanja, npr. ionske izmenjave ali pa reverzne osmoze.

Zaradi zgoraj navedenih razlogov je bil predlagan kot najprimernejši postopek aktivnega varovanja in bogatenja obeh vodnih virov (Pipuš, 2008). Za aktivno varovanje in bogatenje vodnih virov je glede na razpoložljivost mogoče uporabiti samo reko Muro ali pa obrežni filtrat reke Mure (Železnik, 2008). Uporaba reke Mure za bogatenje bi glede na kakovost reke in varnost oskrbe zahtevala intenzivno pripravo, zato je najprimernejša uporaba obrežnega filtrata reke Mure. Priprava samega obrežnega filtrata pa bi potekala v samem vodonosniku, kjer bi se zagotovili pogoji za oksidacijo in s tem izločanje železa in mangana v samem vodonosniku. Zato je bila najprimernejša različica 1.B s pripravo obrežnega filtrata na lokacijah Segovci in Podgrad ter nato s pripravo pitne vode na lokaciji Podgrad, iz katere se nato očiščena pitna voda črpa v omrežje G. Radgone in v omrežje Apače (Pipuš, 2008).



6. OPIS TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA

Namen projekta je izvedba aktivne zaščite obstoječih vodnih virov Segovci in Podgrad ter izvedba vodarne za pripravo pitne vode na lokaciji Podgrad. Za aktivno zaščito in bogatenje podtalnice obstoječih vodnih virov se uporablja obrežni filtrat reke Mure. Tehnološki postopek priprave pitne vode je bil določen in potrjen z izvedenimi pilotnimi testi čiščenja pitne vode (Blažeka idr., 2012).

Celoten postopek aktivne zaščite in priprave pitne vode lahko razdelimo na tri zaokrožene tehnološke dele (Pipuš, 2013):

- A) Črpanje in priprava obrežnega filtrata Segovci
- B) Črpanje in priprava obrežnega filtrata Podgrad
- C) Priprava pitne vode Podgrad

6.1. Črpanje in priprava obrežnega filtrata Segovci

Poleg lokacije obstoječega vodnega vira Segovci se je ob reki Muri zgradilo 14 novih vodnjakov za črpanje obrežnega filtrata za aktivno zaščito in bogatenje vodnega vira Segovci. Za črpanje obrežnega filtrata se uporabljala 9 vodnjakov, v preostalih 5 vodnjakov pa se naliva ozračen obrežni filtrat. Vodnjaki se v delovanju izmenjujejo, tako da okoli 2/3 časa črpajo obrežni filtrat v objekt za pripravo obrežnega filtrata, 1/3 časa pa se v vodnjake naliva prečiščeni obrežni filtrat iz objekta za pripravo. Ciklus delovanja posamezne črpalke je 8 ur. Devet delujočih vodnjakov bo skupaj črpalo pribl. 403 m³/h vode v objekt za pripravo obrežnega filtrata, naliva pa se pribl. 151 m³/h.

V vsakem vodnjaku so vgrajeni vodnjaška črpalka, drenažna črpalka, merilnik pretoka črpane vode, merilnik pretoka vode za nalivanje in elektromotorni ventil. S pomočjo merilnika pretoka vode za nalivanje in elektromotornega ventila se regulira dotok vode v nalivanje za vsak posamezni vodnjak.

Obrežni filtrat se iz vodnjakov črpa v oba zbirna bazena, vsak z volumnom 120 m³. Na dotočnem cevovodu je vgrajen samosesalni ejektor, ki sesa zrak v vodo, da se voda prezrači in nasiti z zrakom. Del prezračene vode se naliva s pomočjo črpalne postaje v vodnjake. Z nalivanjem prezračene vode v vodnjake se zagotovijo v vodonosniku pogoji za oksidacijo in s tem izločanje železa in mangana v samem vodonosniku.

Večji del prezračene vode pa se črpa s pomočjo črpalne postaje v ponikovalno drenažo Segovci. Prečiščen obrežni filtrat v novi ponikovalni drenaži ponika v vodonosni sloj in odriva onesnaženo podtalnico ter hkrati tudi bogati vodonosnik.

Podtalnica se nato iz obstoječe drenaže črpa po novem cevovodu za pripravo v vodarno Podgrad. V obstoječi drenaži je zgrajeno novo črpališče, kjer so vgrajene tri vodnjaške črpalke.

6.2. Črpanje in priprava obrežnega filtrata Podgrad

Postopek črpanja in priprave obrežnega filtrata v Podgradu je enak kot v Segovcih in je prav tako sestavljen iz 14 novih vodnjakov za črpanje in nalivanje obrežnega filtrata, priprave obrežnega filtra s prezračevanjem ter ponikanje v novi ponikovalni drenaži Podgrad. Podtalnica se nato iz obstoječe drenaže, kjer se vgradi novo črpališče s tremi črpalkami, črpa na pripravo pitne vode v vodarno Podgrad.

6.3. Priprava pitne vode Podgrad

Surova pitna voda se črpa iz novih črpališč v obstoječi drenaži Segovci in obstoječi drenaži Podgrad za pripravo pitne vode v vodarni Podgrad. Surova pitna voda se najprej črpa v dva bazena za ozonacijo volumna 50 m³. Ozon se proizvaja v tipskem ozonatorju. Iz ozonatorja se zrak, bogat z ozonom, uvaja preko talnih diskastih difuzorjev v pitno vodo. Difuzorji proizvajajo fine mehurčke, kar omogoča učinkovito raztapljanje ozona v pitni vodi. Oba bazena za ozonacijo sta pokrita, zrak iz obeh bazenov pa se odsesava na napravo za destrukcijo ozona. Bazeni za ozonacijo so dovolj veliki, da je omogočen zadosten zadrževalni čas, da potekajo kemijske reakcije. Namen ozonacije je delna razgradnja morebiti prisotnih organskih snovi, predvsem pesticidov in njihovih razgradnih produktov.

Ozonirani zrak se s pomočjo črpalne postaje črpa na filtracijo s štirimi vzporedno delujočimi peščenimi filtri. Na peščenih filtrih se odstranijo iz pitne vode suspendirane snovi. Surova pitna voda doteka z vrha filtra in se prefiltrira skozi sloj nasutega peska ter se na dnu filtra ter preko vgrajenih sapnic zbira in odvaja iz filtra. Filtri imajo avtomatsko pranje, ki poteka protitočno s pralno vodo in deloma tudi z zrakom.

Iz peščenih filtrov pitna voda teče skozi napravo za UV-dezinfekcijo ter nato na filtre z aktivnim ogljem. Postopek adsorpcije na aktivno oglje poteka v šestih vzporedno delujočih tlačnih filtrih, ki so napolnjeni s strnjanim slojem granuliranega aktivnega oglja. Vsak filter je premera 2,4 m. Pitna voda se dovaja z vrha in prehaja skozi sloj granuliranega aktivnega oglja. Na dnu filtra je še sloj peska, ki preprečuje, da bi aktivno oglje uhajalo skozi sapnice.

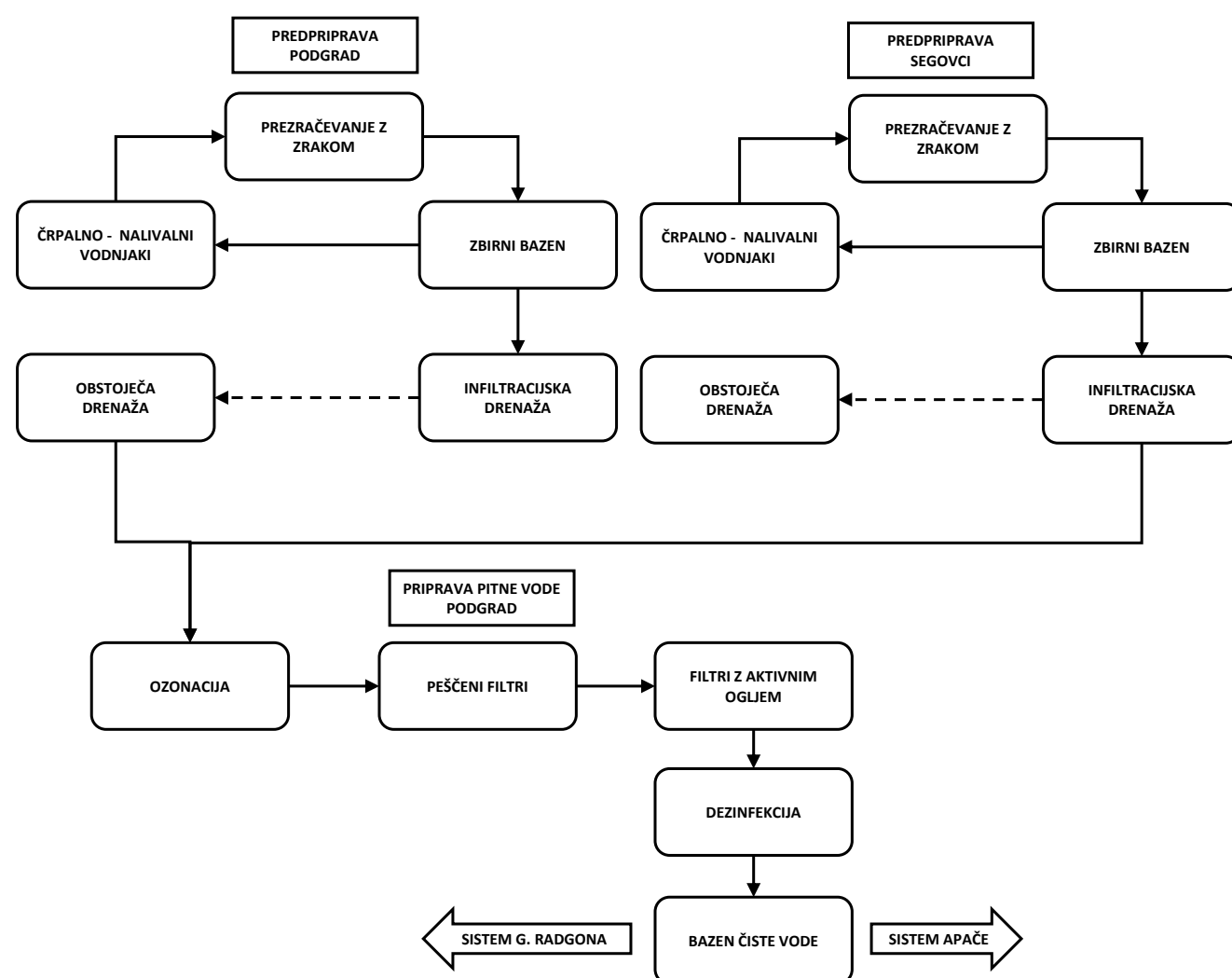
Občasno praznjenje in polnjenje filtrov z aktivnim ogljem poteka hidravlično s pomočjo avtocisterne, ki izrabljeno aktivno oglje odpelje in pripelje sveže aktivno oglje. Avtocisterna se s pomočjo fleksibilnih priključkov priključi na hitro spojko cevovoda pri posameznem filtru, skozi katerega se s pomočjo vode izčrpa izrabljeno aktivno oglje. V prazen filter pa se nato s pomočjo hidravličnega transporta iz avtocisterne prečrpa sveže aktivno oglje. Ko je zamenjava oglja izvedena, je treba sveže aktivno oglje temeljito sprati z očiščeno pitno vodo s pomočjo črpalke za pranje. Odpadna voda od pranja filtrov se zbira v zbirnem bazenu odpadnih vod.

Iz filtrov z aktivnim ogljem voda odteka v dva bazena (volumna 100 m³ vsak) s čisto vodo. Pred dotokom v bazen čiste vode se pitni vodi dozira natrijev hipoklorid kot rezidualno dezinfekcijsko sredstvo. Doziranje dezinfekcijskega sredstva se avtomatsko regulira glede na pretok vode in glede na izmerjeno koncentracijo raztopljenega dezinfekcijskega sredstva.



Iz bazena čiste vode se pitna voda črpa s črpalno postajo v vodovodni sistem Gornje Radgone. Črpalna postaja je sestavljena iz štirih črpalk s frekvenčno regulacijo. Dodatni dve črpalki (ena delovna, ena rezervna) pa črpata očiščeno pitno vodo po novem cevovodu v vodovodni sistem Apače.

Odpadne vode od pranja filtrov se zbirajo v zbirnem bazenu za odpadno vodo, iz katerega se prečrpavajo z enakomernim pretokom v zbiralnik mulja, kjer se suspendirane snovi posedejo, očiščena odpadna voda pa se preliva v iztok. Posedli mulj se iz zbiralnika mulja občasno prečrpava na dehidracijo z vrečastimi filtri. Pred dotokom mulja na dehidracijo se mulju dodaja raztopina flokulanta za boljšo dehidracijo.



Slika 1: Shema postopka priprave pitne vode

7. ZAKLJUČEK

Sistem bogatenja in varovanja podzemne vode za vodna vira Segovci in Podgrad omogoča oskrbo s kakovostno pitno vodo v zadostnih količinah za vodovodni sistem Gornja Radgona in

vodovodni sistem Apače. Celotni sistem varovanja in priprave pitne vode pa je zasnovan na tehnoloških postopkih s čim manjšo uporabo kemikalij ter s tem tudi na nižjih obratovalnih stroških. Rezultati delovanja pa so pokazali, da je pitna voda v skladu z zahtevami Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 in 25/09).

LITERATURA IN VIRI

1. Blažeka, Ž. idr., 2012. Pilotne raziskave. Izvedba pilotnega poskusa čiščenja pitne vode na črpališču Podgrad, Poročilo o izvedenem delu.
2. Kopač, I. idr., 2005. Dolgoročna študija ureditve oskrbe prebivalstva s pitno vodo in varovanje vodnih virov Pomurja. IEI d. o. o.
3. Mirkovič, N., 2005. Ocena razmer vodnih virov v Pomurju, Zaključno poročilo, ZZV Maribor.
4. Pipuš, G., 2008. Tehnološki načrt Sistem C – Vodni viri in tranzitni vodovodi – Vodna vira Segovci in Podgrad. Idejne zasnove, Hidroinženiring, d. o. o.
5. Pipuš, G., 2013. Tehnološki načrt, Vodni Vir Segovci Podgrad, Projekt za izvedbo.
6. Pravilnik o pitni vodi. Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 in 25/09.
7. Ministrstvo za zdravje RS, 2010. Program monitoringa pitne vode 2009, Letno poročilo za obdobje 1. 1. 2009 - 31. 12. 2009.
8. Ministrstvo za zdravje RS, 2011. Program monitoringa pitne vode 2010, Letno poročilo za obdobje 1. 1. 2010 - 31. 12. 2010.
9. Železnik, B., 2008. Opredelitev tehnologije priprave vode – Vodni viri desni breg, Idejna zasnova, Hidroinženiring, d. o. o.
10. Železnik, B., 2008. Optimiranje vodnih virov - Vodni viri desni breg. Idejne zasnove, Hidroinženiring, d. o. o.



Novi katalog VWR kemikalij 2017-2019



Več kot 1700 novih izdelkov, vključno z:

- Preko 100 topil
- Skoraj 600 standardov, referenčnih materialov in pufrov
- Preko 450 novih izdelkov za mikrobiologijo
- Preko 200 osnovnih izdelkov za bioznanosti
- Preko 40 reagentov za določanje vode po Karl-Fischer metodi
- 20 tablet za katalizo po Kjeldahl metodi
- 11 Ultrapure NORMATOM® kislin v ppt območju

Vabljeni na naš razstavni prostor, kjer boste prejeli tiskani katalog kemikalij in mini blok za zapiske.

**25% popust
za nove izdelke
za naročila do
konca 2017!**

<http://si.vwr.com> | info.si@vwr.com

VWR International GmbH | Graumannsgasse 7 | 1150 Vienna | Tel. +43 1 97002-0 | Fax: +43 1 97002-600 | E-Mail: export.at@vwr.com | www.vwr.com

PATOGENI VIRUSI V VODI: DOLOČANJE IN UKREPANJE

**ANJA PECMAN¹, dr. DENIS KUTNJAK², dr. NATAŠA MEHLE³,
KATARINA BAČNIK⁴, dr. MAGDA TUŠEK ŽNIDARIČ⁵,
izr. prof. dr. MATEVŽ DULAR⁶, dr. JANEZ KOSEL⁷,
prof. dr. MAJA RAVNIKAR⁸, dr. ION GUTIÉRREZ-AGUIRRE⁹**

Povzetek

Patogeni humani, živalski, bakterijski in rastlinski virusi so lahko prisotni v različnih tipih voda (reke, jezera in morska voda, iztoki čistilnih naprav). V vodi lahko preživijo tudi več tednov, se z njo širijo in so tako neposredna grožnja ljudem, živalim, bakterijam in rastlinam.

Virusi so v vodah pogosto prisotni v zelo nizkih koncentracijah, zato viruse iz vzorčenega vodnega vira najprej koncentriramo, nato pa preverimo njihovo prisotnost z metodo sekvenciranja naslednje generacije ali s specifičnimi visokozmogljivimi molekularnimi metodami, kot je PCR (verižna reakcija s polimerazo) v realnem času ali metoda izotermalnega pomnoževanja, posredovanega z zanko (LAMP). Prisotnost virusov v različnih vodnih telesih smo že večkrat potrdili, zato je smiselno okrepiti njihov nadzor ter začeti odstranjevati viruse iz vodnih virov, ki jih uporabljamo za pitje ali za namakalne in industrijske sisteme. Hidrodinamska kavitacija se je izkazala kot možna nekemična metoda za odstranjevanje virusov iz vodnih vzorcev.

Glavne besede: metode za zaznavanje povzročiteljev bolezni, raznolikost, virusi, vode

- 1 Anja Pecman, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo ter Mednarodna po-diplomska šola Jožef Stefan
- 2 Dr. Denis Kutnjak, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo
- 3 Dr. Nataša Mehle, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo
- 4 Katarina Bačnik, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo
- 5 Dr. Magda Tušek Žnidarič, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo
- 6 Izr. prof. dr. Matevž Dular, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- 7 Dr. Janez Kosel, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- 8 Prof. dr. Maja Ravnikar, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo
- 9 Dr. Ion Gutiérrez-Aguirre, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo



Abstract

Human, animal, bacterial and plant pathogenic viruses could be present in different types of water (rivers, lakes, sea water and in effluents from sewage treatment plants) where they can survive and spread for several weeks, and are thus an immediate threat to humans, animals, bacteria and plants.

Viruses in water are often present in very low concentrations, so firstly, they need to be concentrated from the sampled water source, and then their presence confirmed by the next generation sequencing method or with specific high-throughput molecular methods such as PCR (polymerase chain reaction) or loop-mediated isothermal amplification method (LAMP). The confirmed presence of viruses in various water bodies makes it worthwhile strengthening their control with approaches for their removal from those water sources, that are used for drinking or for irrigation and industrial systems. Hydrodynamic cavitation proved to be a possible non-chemical method for the virus removal from water samples.

1. UVOD

Z naraščanjem prebivalstva ter povečevanjem industrijske in kmetijske dejavnosti postaja voda vse dragocenejša dobrina, saj se njena poraba povečuje, obenem pa je vedno bolj podvržena onesnaževanju z različnimi kemičnimi snovmi in biološkimi agensi. Med pomembne onesnaževalce vode spadajo tudi virusi, ki smo jih zaznali v odpadnih vodah (Rački, 2015), rečnih vodah (Boben, 2007) ter morju (Balasubramanian, 2016). Virusi so v vodi pogosto prisotni v nizkih koncentracijah, vendar lahko kljub temu okužijo gostiteljske organizme in povzročajo bolezni (Alič, 2017; Boben, 2007). Ugotovili smo tudi, da se nekateri rastlinski virusi lahko prenesejo z rastline na rastlino kar z vodo (Mehle, 2014), kar ima lahko pomemben vpliv v hidroponičnih ali namakalnih sistemih v kmetijstvu, zato je pomembno, da viruse v vodi pravočasno zaznamo in vodo razkužimo. Najpogostejše uporabljena metoda za razkuževanje voda je kloriranje. Ker je vnos kemikalij v vodo škodljiv, saj lahko pri tem nastajajo mutageni stranski produkti (Simpson in Hayes, 1998), so dobrodošli novi načini za odstranjevanje virusov.

2. VIRUSI V VODI – NJIHOV IZVOR IN ŠIRJENJE

V okoljskih vodah so lahko prisotni različni virusi. Prisotnost enteričnih humanih in živalskih virusov je najpogostejše posledica človeške prisotnosti in dejavnosti ob vodnem telesu. Namnožijo se v prebavnem traktu gostitelja in izločijo z blatom v kanalizacijski sistem, kjer lahko ostanejo infektivni. Izvor enteričnih humanih in živalskih virusov so torej iztoki fekalij v okoljske vode, pa naj bo to iztok iz septičnega kanalizacijskega sistema ali iztok iz čistilne naprave urbanega kanalizacijskega sistema (Fong in Lipp, 2005). Virusi namreč ostanejo prisotni tudi v iztokih čistilnih naprav in se lahko dnevno sproščajo v okoljske vode (Bosch, 2008; Simmons in Xagorarakis, 2011). Posledično so virusi prisotni v različnih vodah (Fong in Lipp, 2005), lahko jih najdemo v izviri, podtalnicah in pitni vodi (Hurst, 1991) ter v obalnih vodah (Griffin, 2003). Prisotnost virusov v vodi je zelo pomembna, saj so glavni povzročitelji

telji z vodo prenosljivih okužb (Sinclair, 2009; USEPA, 2006). Poleg humanih in živalskih enteričnih virusov pa je pomembna tudi prisotnost patogenih rastlinskih virusov. Tudi ti prehajajo v vodo po različnih poteh. Lahko se namnožijo v okuženih rastlinah, ki rastejo ob vodnih telesih, in se nato sperejo v vodno telo. Rastlinske viruse najdemo tudi v odpadnih vodah, kjer je lahko njihov izvor okuženo sadje ali zelenjava – hrana. Virusi lahko preidejo skozi prebavni trakt v kanalizacijo, kasneje pa v rečne vode, preko katerih se razširijo (Koenig, 1986) na širše geografsko območje. V okoljskih vodah so bili zaznani številni virusi, med drugim tudi stabilni rastlinski virusi iz različnih družin (Koenig, 1986; Mehle in Ravnikar, 2012). Stabilni rastlinski virusi, ki so prisotni v vodi, so potencialno nevarni, saj lahko okužijo rastline že pri kalitvi (Teakle in Morris, 1981) ali pa kasneje med zalivanjem preko koreninskega sistema (Mandahar, 1990) ali listov. To lahko predstavlja velik problem, saj v kmetijstvu vse pogostejše zalivamo oziroma namakamo kulturne rastline, velikokrat kar z odpadno vodo (McGrath, 2017).

Infektivnost virusov v rečnih vodah je bila pokazana pri stabilnem virusu mozaika paradižnika (*Tomato mosaic virus*; ToMV) (Boben, 2007). Stopnja okužb in simptomatika je sicer odvisna od koncentracije virusov v vodi (Pares, 1992) ter temperature okolja (Schuerger in Hammer, 1995). Okužba rastlinskih korenin naj bi bila učinkovitejša, če rastline rastejo v zemlji, kot če je njihova vzgoja hidroponične narave, saj naj bi virus prehajal v korenine skozi majhne rane, ki nastanejo med rastjo korenin skozi zemeljski substrat. Kljub temu številne raziskave (Mehle in Ravnikar, 2012) navajajo prenose različnih virusov tako v hidroponičnih sistemih kot v namakalnih sistemih z vodo ali hranilno raztopino. Pred kratkim je bil dokazan prenos virusa mozaika pepina (*Pepino mosaic virus*; PepMV), virusa Y krompirja (*Potato virus Y*; PVY) ter viroida vretenatosti gomoljev krompirja (*Potato spindle tuber viroid*; PSTVd) preko korenin paradižnika in krompirja, gojenih v hidroponičnem sistemu (Mehle, 2014). Virusi so bili v vodi infektivni različno dolgo (3 tedne PepMV, 1 teden PVY in 7 tednov PSTVd) (Mehle, 2014), ToMV in virus blage lisavosti paprike (*Pepper mild mottle virus*; PMMoV) sta ostala infektivna v hranilni raztopini tudi 6 mesecev (Pares, 1992).

Vsi ti podatki kažejo na možen prenos virusnih/viroidnih patogenov preko vode in potencialne možne okužbe ljudi, živali in rastlin. Voda je sicer kot možen epidemiološki vir virusov velikokrat prezrta, najverjetneje zato, ker so koncentracije teh patogenov v vodi nizke in jih je zato težko zaznati.

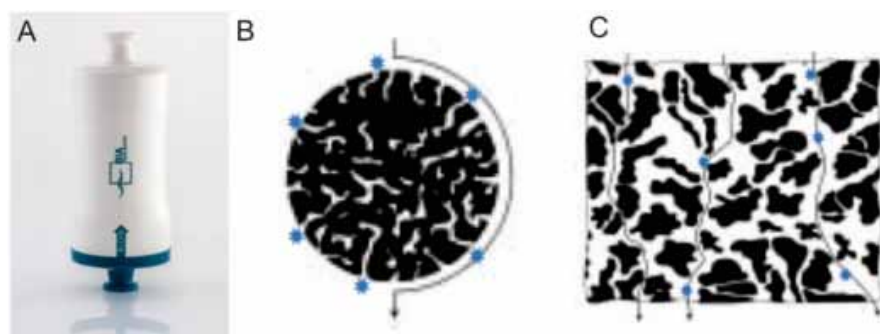
3. DOLOČANJE VIRUSOV V OKOLJSKIH VODAH

V prvem koraku obdelave vzorcev vode uporabljamo monolitno kromatografijo CIM® (Convective Interaction Media), s katero viruse skoncentriramo in jih tako kasneje lažje zaznamo z različnimi metodami. S presevno elektronsko mikroskopijo viruse vizualiziramo, s pomočjo verižne reakcije s polimerazo v realnem času (qPCR) zaznavamo že najmanjše količine izbranih virusov, z metodo izotermalnega pomnoževanja, posredovanega z zanko za določanje nukleinskih kislin (LAMP) pa lahko rezultate odčitamo kar na mestu vzorčenja. Velik preskok pri odkrivanju virusov so omogočile metode sekvenciranja naslednje generacije (NGS), ki nam omogočajo tudi identifikacijo novih, prej neznanih virusov.



3.1. Koncentriranje – monolitna kromatografija CIM®

Virusi so v vodi večinoma v nizkih koncentracijah, zato je prvi korak v procesu zaznavanja virusov njihovo koncentriranje. Za koncentriranje virusov obstajajo različne metode, ki temeljijo npr. na adsorpciji in eluciji, filtraciji, ultrafiltraciji, ultracentrifugaciji, PEG precipitaciji, flokulaciji. Velikokrat pa je zaradi nizke koncentracije virusov ali velikega volumna vzorca treba izvesti dodaten korak koncentriranja, kot je npr. ponovna filtracija ali ultracentrifugacija (Gutiérrez-Aguirre, 2011). Novejša, učinkovita in hitra metoda, uspešno uporabljena za koncentriranje različnih virusov in viroidov, je monolitna kromatografija CIM® (Convective Interacion Media) (slika 1). Pri tej metodi viruse v različnih matriksih z relativno visokim pretokom vodimo skozi kolono, pri tem pa se vežejo na monolitni nosilec z določenimi kemijskimi lastnostmi. Metoda monolitne kromatografije CIM® je bila uspešno uporabljena za koncentriranje humanih virusov iz sladke vode (Gutiérrez-Aguirre, 2011; Steyer, 2015), morske vode (Balasubramanian, 2016), bakteriofagov (Alič, 2017), rastlinskih viroidov (Rušič, 2013) in virusov (Boben, 2007; Gutiérrez-Aguirre, 2009; Kramberger, 2004; Mehle, 2017), za ločevanje različnih virusov znotraj enega vzorca (Rušič, 2015) ter za čiščenje virusnih delcev (Kutnjak, 2015; Rupar, 2013). Poleg tega lahko z monolitno kromatografijo CIM® uspešno odstranimo z vodo prenosljive patogene viruse iz odpadnih vod (Rački, 2015).



Slika 1: Monolitna kromatografija CIM®

A) CIM kolona (CIMmultus™ QA-80, 2 µm). B) Primer konvencionalnega načina vezanja virusov na kolono – virusi se vežejo le na površino posameznih enot polnila zaradi premajhnih por znotraj polnila. C) Primer unikatne strukture monolitnega kromatografskega nosilca CIM s porami v premeru 1,5 µm – virusi imajo več površine za vezavo, kar se kaže v visoki zmogljivosti vezanja in zagotavlja, da masni prenos ni omejen z difuzijo.

Vir: <http://www.biaseparations.com>.

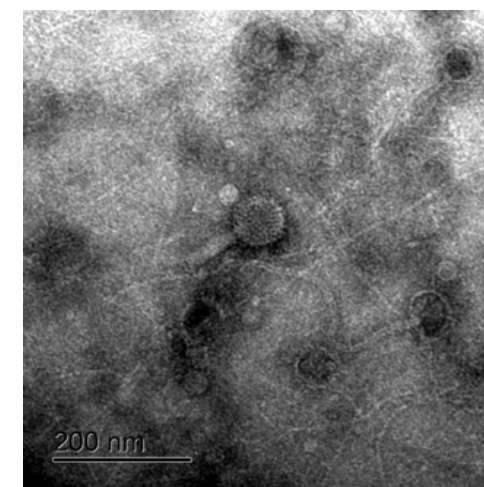
3.2. Zaznavanje virusnih nukleinskih kislin s tarčnimi metodami – qPCR/LAMP

Virusne nukleinske kisline v vzorcih lahko zaznavamo z uporabo molekularnih metod. Med novejše spadajo qPCR in LAMP, pri katerih pomnožujemo določen odsek nukleinskih kislin določenega patogena, kar aparatúra zazna kot povečanje fluorescence. qPCR in LAMP sta metodi, primerni za analizo vzorcev vod, saj omogočata zaznavo že zelo nizkih vsebnosti virusnih nukleinskih kislin (1–10 kopij virusnega genoma v reakciji). Za analizo s qPCR-jem je potrebna predhodna izolacija nukleinskih kislin iz vzorca, pri uporabi metode LAMP pa zaradi manjše občutljivosti za inhibitorje izolacija nukleinskih kislin ni vedno potrebna, kar olajša izvedbo

analiz na terenu. S qPCR-jem smo zaznali viruse v koncentriranih vzorcih vode (Boben, 2007; Gutiérrez-Aguirre, 2011; Mehle, 2014; Mehle, 2017; Rušič, 2015) in tudi v nekoncentriranih vzorcih vode (Rački, 2015). Velika prednost te metode je poleg visoke občutljivosti tudi visoka zmogljivost, saj lahko analiziramo veliko število vzorcev v kratkem času, poleg tega pa lahko sočasno določamo več virusov znotraj istega vzorca (multiplex qPCR) (Mehle, 2014a). Tehnologija LAMP pa omogoča še hitrejšo analizo vzorca, saj izolacija nukleinskih kislin ni potrebna in se detekcija lahko izvaja na mestu vzorčenja (on-site) (Kogovšek, 2015).

3.3. Vizualizacija virusnih delcev – elektronska mikroskopija

Presevna elektronska mikroskopija se uporablja za vizualizacijo virusnih delcev, saj se njihove velikosti gibljejo v okviru nanometrskih skale. S presevnim elektronskim mikroskopom (slika 2) lahko vidimo spekter različnih virusov (Alhamlan, 2013), ki jih nato na podlagi morfologije (oblike in velikosti) uvrstimo v določeno družino. Na takšen način lahko v vzorcu tudi netarčno zaznavamo povzročitelje bolezni, kar je ena izmed ključnih prednosti te metode (Goldsmith in Miller, 2009). Slabosti metode pa sta nižja občutljivost (v primerjavi z molekularnimi metodami) in relativno nizka časovna zmogljivost. Mrežice za vizualizacije virusov pripravimo po tehniki negativnega kontrastiranja. V primeru kombiniranja s serološkimi testi govorimo o imunski elektronski mikroskopiji (ISEM). V tem primeru so na mrežice vezana protitelesa, specifična za virus, ki ga iščemo. Nadgradnja te metode je dekoracija, pri kateri na že adsorbirane viruse dodatno vežemo nov sloj protiteles. Z metodo ISEM in metodo dekoracije vidimo, če so v vzorcu prisotni specifični virusi, poleg tega pa lahko zaznamo tudi druge prisotne viruse (Mavrič in Ravnikar, 1998).



Slika 2: Elektronska mikroskopija – slika bakteriofagov v vzorcu iztoka vode iz čistilne naprave

3.4. Sekvenciranje naslednje generacije (NGS)

NGS je tehnika, ki omogoča netarčno določanje zaporedja vseh nukleinskih kislin v vzorcu, kar omogoča zaznavo tako znanih kot tudi odkrivanje novih, še neznanih virusov. Pri tem lahko problem predstavlja ozadje visoko zastopanih nukleinskih kislin drugih organizmov (npr. gostiteljev), zato lahko v vzorcih včasih spregledamo manj zastopane, a še vedno zelo pomembne patogene organizme. Za izboljšanje občutljivosti zaznave takih organizmov uporabljamo raz-



lične obogatitvene metode; v primeru vzorcev voda so to lahko različni načini koncentriranja (Hjelmsø, 2017). Dokazali smo, da lahko pred NGS-jem različne viruse iz vode uspešno skoncentriramo s monolitno kromatografijo CIM® (Gutiérrez-Aguirre, 2017).

Metagenomske analize okoljskih in odpadnih voda kažejo celotno sliko v vzorcu prisotnih nukleinskih kislin. Rosario idr., 2009 so v vodi, ki je prešla čiščenje, večino nukleotidnih sekvenc dodelili bakteriofagom, nevretenčarskim pikornavirusom in rastlinskim virusom, niso pa zaznali značilnih humanih patogenih virusov. V drugi metagenomski raziskavi (Hjelmsø, 2017) pa so v vzorcu odpadne vode zaznali veliko zaporedij, ki pripadajo humanim patogenim virusom, rastlinskim virusom in bakteriofagom. V eni izmed najnovejših raziskav (Fernandez-Cassi, 2017) so proučevali metagenomsko analizo virusne združbe na površini svežega peteršilja, zalivanega s fekalno onesnaženo rečno vodo. Rezultati so pokazali, da največ nukleotidnih zaporedij pripada virusom iz družine *Dicistroviridae* (okužujejo nevretenčarje), zaznali pa so tudi za človeka patogene viruse. Naši preliminarni rezultati metagenomske študije vode iz iztoka čistilne naprave kažejo prisotnost nukleinskih kislin številnih vrst bakteriofagov, stabilnih rastlinskih virusov in tudi nekaterih humanih patogenih virusov.

3.5. Ugotavljanje infektivnosti virusov

Zaznava nukleinskih kislin še ne pomeni, da je v vzorcu prisoten infektiven virus. Če z elektronsko mikroskopijo potrdimo prisotnost virusnih delcev (slika 2), smo korak bližje ugotavljanju biološkega pomena virusnih zaporedij, ki jih najdemo z molekularnimi metodami. Za dokazovanje infektivnosti virusov je treba izvesti nadaljnje poskuse okuževanja testnih rastlin (rastlinski virusi) ali celičnih kultur (humani in živalski virusi).

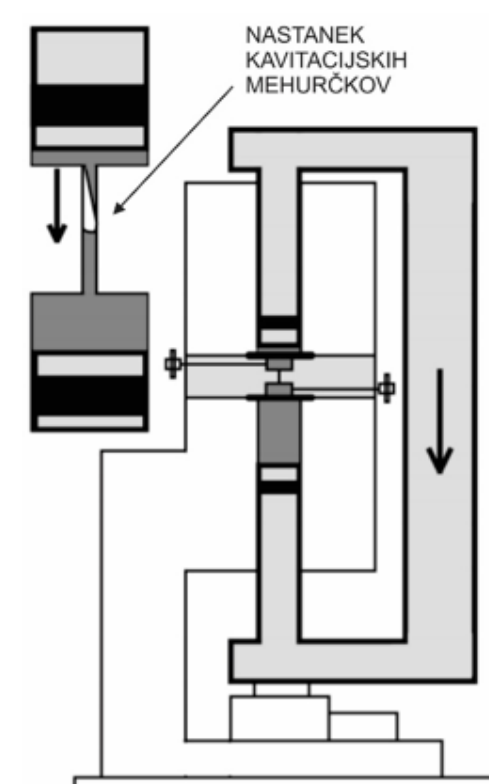
3.6. Primer ugotavljanja virusov v vodah iz čistilnih naprav

Kot zanimiv sistem za študij mikrobov v okoljskih vodah smo izbrali vode iz čistilnih naprav. Z analizo mikrobne sestave takih vzorcev lahko dobimo vpogled v prisotnost mikrobov na širšem območju, saj se v njih stekajo vode iz širše okolice. Analizirali smo vzorec vode iz čistilne naprave; viruse iz vzorca smo skoncentrirali z monolitno kromatografijo CIM®, nato pa določili metagenom vzorca s pomočjo NGS-ja. Bioinformatične analize rezultatov sekvenciranja so pokazale širok spekter različnih virusnih nukleinskih kislin, med njimi smo zaznali nukleotidna zaporedja patogenih virusov za človeka in rastline ter veliko bakteriofagov. Za viruse, ki smo jih zaznali, je v glavnem značilno, da se prenašajo z vodo in da lahko daljše obdobje preživijo izven gostitelja (humani gastroenterični virusi, stabilni rastlinski virusi). V teku so raziskave, pri katerih skušamo z okuževanjem testnih rastlin potrditi ali ovreči infektivnost nukleinskih kislin zaznanih v vodnih vzorcih.

4. UKREPI ZA INAKTIVACIJO VIRUSOV – HIDRODINAMSKA KAVITACIJA

Čiščenje odpadne vode poteka v bioloških čistilnih napravah, kjer je cilj večstopenjska oksidacija organskih onesnažil do popolne mineralizacije. Ker pa se v vodi nahajajo tudi številna onesnažila, ki so odporna proti takšni biorazgradnji, je za njihovo razgradnjo treba uporabiti dodatne procese čiščenja. Med vsemi procesi, ki so na voljo, ima hidrodinamska kavitacija velik poten-

cial, saj se jo lahko enostavno vključi v že obstoječe kontinuirane sisteme čiščenja. Pri tem ni treba uporabiti dodatnih kemikalij, zato ni nevarnosti nastajanja toksičnih stranskih produktov in se lahko prečiščena voda nemoteno spusti nazaj v okolje ali uporablja za pitje (Dular, 2016). Hidrodinamska kavitacija je fizikalni fenomen, ki se zgodi, ko je tlak nižji od parnega tlaka tekočine, kar vodi v razčlenitev tekočega medija in pojav mehurčkov. Nastali mehurčki so zelo nestabilni, in ko dosežejo območje povečanega tlaka implodirajo in ustvarijo lokalno povečanje temperature, močne udarne valove, hiter padec pritiska in supersonične valove (Shamsborhan, 2010). V preglednem članku (Dular, 2016) je opisana uspešna uporaba hidrodinamske kavitacije za odstranjevanje farmacevtskih sredstev, toksičnih cianobakterij, zelenih mikroalg, bakterij in virusov. Za študij odstranjevanja virusov so (Kosel, 2017) kot študijski model uporabili bakteriofag MS2. Ta je zaradi svojih lastnosti (odpornost proti okoljskim dejavnikom) široko uporabljen kot kvantitativni biomarker, fekalni indikator (EPA, 2001; ISO, 1995) ter pokazatelj antivirusne in antiseptične učinkovitosti čistilnih in filtrnih naprav (Jolis, 1999; Lykins, 1994; Oppenheimer, 1997). Pri poskusu so izvedli hidrodinamsko kavitacijo v manjšem (3 ml) (slika 3) in večjem (1 l) reaktorju, ter pri obeh dosegli znižanje koncentracije bakteriofaga MS2 za 4 logaritemske stopnje, kar kavitacijo uvršča k metodam, ki zagotavljajo ustrezno znižanje koncentracije patogenih virusov in se jih lahko uporablja za čiščenje voda (EPA, 2006). Mehanizem inaktivacije virusov s to metodo je sicer še neznan. Pri kavitaciji se tvorijo OH radikali, prisotni so udarni valovi, spremembe tlaka, lokalno povišana temperatura; vsi ti dogodki lahko vplivajo na poškodbo površine virusa in njegovo inaktivacijo (Kosel, 2017). Delovanje kavitacije je bilo uspešno tako v majhnem reaktorju kot tudi v večjem, kar kaže, da je povečanje (scale up) te metode izvedljivo in bi bila lahko v prihodnosti uporabljena kot enota ali del enote za čiščenje vode.



Slika 3: Shema 3-ml reaktorja za hidrodinamsko kavitacijo



5. ZAKLJUČEK

Pristnost različnih kemijskih in bioloških onesnažil v okoljskih vodah je pokazatelj dejavnosti, ki potekajo v okolici vodnega telesa, ter učinkovitosti služb, ki skrbijo, da vodno telo ostaja biološko in kemično neoporečno. Potrebe po vodnih virih naraščajo s povečevanjem prebivalstva ter kmetijske in industrijske dejavnosti, posledično pa ravno ta trend vodna telesa dodatno obremenjuje. Med vsemi prisotnimi onesnažili najdemo tudi različne patogene viruse, ki predstavljajo tveganje za različne gostitelje. V prihodnosti bo najverjetneje treba nadzor in čiščenje vodnih virov, ki jih uporabljamo kot pitno vodo ali vodo za namakanje, nadgraditi tudi z ugotavljanjem prisotnosti virusov z uporabo sodobnih metod za koncentracijo in zaznavanje. Obetavna metoda za odstranjevanje različnih kontaminant, ki se jo lahko vključi v že obstoječe sisteme čiščenja, je glede na rezultate terenskih poskusov hidrodinamska kavitacija (CAVOX®; Chakinala, 2008; HyCator®; Padoley, 2012).

LITERATURA IN VIRI

- Alhamlan, F. S., Ederer, M. M., Brown, C. J., Coats, E. R., Crawford, R. L., 2013. Metagenomics-Based Analysis of Viral Communities in Dairy Lagoon Wastewater. *Journal of Microbiological Methods* 92 (2): 183–88.
- Alič, Š., Naglič, T., Tušek Žnidarič, M., Ravnikar, M., Rački, N., Peterka, M., Dreo, T., 2017. Bacteriophages from Podoviridae, Siphoviridae and Myoviridae Family Show Variable Effect on Putative Novel *Dickeya* Spp. *Frontiers in Microbiology*. submitted.
- Balasubramanian, M. N., Rački, N., Gonçalves, J., Kovač, K., Žnidarič, M. T., Turk, V., Ravnikar, M., Gutiérrez-Aguirre, I., 2016. Enhanced Detection of Pathogenic Enteric Viruses in Coastal Marine Environment by Concentration Using Methacrylate Monolithic Chromatographic Supports Paired with Quantitative PCR. *Water Research* 106: 405–14.
- Boben, J., Kramberger, P., Petrovič, N., Cankar, K., Peterka, M., Štrancar, A., Ravnikar, M., 2007. Detection and Quantification of Tomato Mosaic Virus in Irrigation Waters. *European Journal of Plant Pathology* 118 (1): 59–71.
- Bosch, A., 1998. Human enteric viruses in the water environment: a minireview. *Int. Microbiol* (1): 191–196
- CAVOX®, Magnum Water Technology.
- Chakinala, A. G., Gogate, R. P., Burgess, E. A., Bremner, H. D., 2009. Treatment of Industrial Wastewater Effluents Using Hydrodynamic Cavitation and the Advanced Fenton Process. *Chem. Eng. J.* 152: 498 – 502.
- Dular, M., Griessler-Bulc, T., Gutierrez-Aguirre, I., Heath, E., Kosjek, T., Krivograd Klemenčič, A., Oder, M., Petkovšek, M., Rački, N., Ravnikar, M., Šarc, A., Širok, B., Zupanc, M., Žitnik, M., Kompare, B., 2016. Use of Hydrodynamic Cavitation in (Waste)water Treatment. *Ultrasonics Sonochemistry* 29: 577–88.
- EPA, 2001. Method 1602 : Male-Specific (F +) and Somatic Coliphage in Water by Single Agar Layer (SAL) Procedure April 2001. EPA Document 821-R-01-029. Washington, D.C.
- EPA, 2006. EPA Final Ground Water Rule of October 11th 2006. United States Environmental Protection Agency.
- Fernandez-Cassi, X., Timoneda, N., Gonzales-Gustavson, E., Abril, J. F., Bofill-Mas, S., Girones, R., 2017. A Metagenomic Assessment of Viral Contamination on Fresh Parsley Plants Irrigated with Fecally Tainted River Water. *Int J Food Microbiol.* 257: 80–90.
- Fong, T. T., Lipp, E. K., 2005. Enteric Viruses of Humans and Animals in Aquatic Environments: Health Risks, Detection, and Potential Water Quality Assessment Tools. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 69 (2): 357–71.
- Goldsmith, C. S., Miller, S. E., 2009. Modern Uses of Electron Microscopy for Detection of Viruses. *Clinical Microbiology Reviews* 22 (4): 552–63.
- Griffin, D. W., Donaldson, K. A., Paul, J. H., Rose, J. B., 2003. Pathogenic Human Viruses in Coastal Waters. *Clinical Microbiology Reviews* 16 (1): 129–43.
- Gutiérrez-Aguirre, I., Mehle, N., Delić, D., Gruden, K., Mumford, R., Ravnikar, M., 2009. Real-Time Quantitative PCR Based Sensitive Detection and Genotype Discrimination of Pepino Mosaic Virus. *Journal of Virological Methods* 162 (1–2): 46–55.
- Gutiérrez-Aguirre, I., Steyer, A., Banjac, M., Kramberger, P., Poljšak-Prijatelj, M., Ravnikar, M., 2011. On-Site Reverse Transcription-Quantitative Polymerase Chain Reaction Detection of Rotaviruses Concentrated from Environmental Water Samples Using Methacrylate Monolithic Supports. *Journal of Chromatography A* 1218 (17): 2368–73.
- Gutiérrez-Aguirre, I., Kutnjak, D., Rački, N., Rupar, M., Ravnikar, M., 2017. Monolith Chromatography as Sample Preparation Step in Virome Studies of Water Samples. *Methods in Molecular Biology* (Springer Protocols). submitted.
- Hjelmsø, M. H., Hellmér, M., Fernandez-Cassi, X., Timoneda, N., Lukjancenko, O., Seidel, M., Elsässer, D., Aarestrup, F. M., Löfström, C., Bofill-Mas, S., Abril Josep, F., Girones, R., Charlotte Schultz, A., 2017. Evaluation of Methods for the Concentration and Extraction of Viruses from Sewage in the Context of Metagenomic Sequencing. *PLoS ONE* 12 (1): 1–17.
- Hurst, C. J., 1991. Presence of Enteric Viruses in Freshwater and Their Removal by the Conventional Drinking Water Treatment Process. *Bulletin of the World Health Organization* 69 (1): 113–19.
- HyCator®, Reactor System, HyCa Technologies Pvt. Ltd.
- ISO, 1995. ISO 10705-1:1995. Water Quality - Detection and Enumeration of Bacteriophages - Part 1: Enumeration of F-Specific RNA Bacteriophages. Geneva. Dostopno na: http://www.iso.org/iso/catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=18794
- Jolis, D. R. H., Pitt, P., 1999. Tertiary Treatment Using Microfiltration and UV Disinfection for Water Reclamation. *Water Environ. Res.* 71 (2): 224–31.
- Koenig, R., 1986. Plant Viruses in Rivers and Lakes. *Advances in Virus Research* 31: 321–33.
- Kogovšek, P., Hodgetts, J., Hall, J., Prezelj, N., Nikolić, P., Mehle, N., Lenarčič, R., Rotter, A., Dickinson, M., Boonham, N., Dermastia, M., Ravnikar, M., 2015. LAMP Assay and Rapid Sample Preparation Method for on-Site Detection of Flavescence Dorée Phytoplasma in Grapevine. *Plant Pathology* 64 (2): 286–96.
- Kosel, J., Gutiérrez-Aguirre, I., Rački, N., Ravnikar, M., Dular, M., 2017. Efficient Inactivation of MS-2 Virus in Water by Hydrodynamic Cavitation. *Water Research*. V tisku.
- Kramberger, P., Petrovič, N., Štrancar, A., Ravnikar, M., 2004. Concentration of Plant Viruses Using Monolithic Chromatographic Supports. *Journal of Virological Methods* 120 (1): 51–57.
- Kutnjak, D., Rupar, M., Gutierrez-Aguirre, I., Curk, T., Kreuze, J. F., Ravnikar, M., 2015. Deep Sequencing of Virus Derived Small Interfering RNAs and RNA from Viral Particles Shows Highly Similar Mutational Landscape of a Plant Virus Population. *Journal of Virology* 89 (9): 4760–69.
- Lykins, B. W., Koffsky, W. E., Patterson, K. S., 1994. Alternative Disinfectants for Drinking Water Treatment. *Journal of Environmental Engineering* 120 (4): 745–58.
- Mandahar, C. L., 1990. Virus transmission, in *Plant Viruses. Volume II Pathology*, C. L. Mandahar, Ed. CRC Press, Inc., Florida, pp. 208–210.
- Mavrič, I., Ravnikar, M., 1998. Uporaba imunske elektronske mikroskopije v rastlinski virologiji. V *Kmetijstvo in okolje*, Rečnik, J. (ur.), Verbič, M. (ur.), 131–36. Bled: Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana.
- McGrath, M., 2017. Raw Waste Water Use on Farms Is '50% Higher' than Estimated. Dostopno na: <http://www.bbc.com/news/science-environment-40494254>
- Mehle, N., 2014a. Preživetje krompirjevega virusa Y, virusa mozaika pepina in viroida vretenatosti gomoljev krompirja in njihov prenos z vodo. Ljubljana.
- Mehle, N., Gutiérrez-Aguirre, I., Prezelj, N., Delić, D., Vidic, U., Ravnikar, M., 2014. Survival and Transmission of Potato Virus Y, Pepino Mosaic Virus, and Potato Spindle Tuber Viroid in Water. *Applied and Environmental Microbiology* 80 (4): 1455–62.
- Mehle, N., Kogovšek, P., Rački, N., Jakomin, T., Gutierrez-Aguirre, I., Kramberger, P., Ravnikar, M., 2017. Filling the Gaps in Diagnostics of Pepino Mosaic Virus and Potato Spindle Tuber Viroid in Water and Tomato Seeds and Leaves. *Plant Pathology*, 1–11.
- Mehle, N., Ravnikar, M., 2012. Plant Viruses in Aqueous Environment - Survival, Water Mediated Transmission and Detection. *Water Research* 46 (16): 4902–17.



36. Oppenheimer, J. A., Jacangelo, J. G., Laïné, J. M., Hoagland, J. E., 1997. Testing the equivalency of ultra-violet light and chlorine for disinfection of wastewater to reclamation standards. *Water Environ. Res.* 69, 14–24.
37. Padoley, K. V., Virendra, K. S., Mudliar, S. N., Pandey, R. A., Pandit, A. B., 2012. Cavitational Induced Biodegradability Enhancement of a Distillery Wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 219: 69–74.
38. Pares, R. D., Gunn, L. V., Cresswell, G. C., 1992. Tomato Mosaic Virus Infection in a Recirculating Nutrient Solution. *Journal of Phytopathology* 135 (3): 192–98.
39. Rački, N., Kramberger, P., Steyer A., Gašperšič, J., Štrancar, A., Ravnikar, M., Gutierrez-Aguirre, I., 2015. Methacrylate Monolith Chromatography as a Tool for Waterborne Virus Removal. *Journal of Chromatography A* 1381: 118–24.
40. Rosario, K., Nilsson, C., LimY an Wei, Ruan, Y., Breitbart, M., 2009. Metagenomic Analysis of Viruses in Reclaimed Water. *Environmental Microbiology* 11 (11): 2806–20.
41. Rupar, M., Ravnikar, M., Tušek Žnidarič, M., Kramberger, P., Glais, L., Gutiérrez-Aguirre, I., 2013. Fast Purification of the Filamentous Potato Virus Y Using Monolithic Chromatographic Supports. *Journal of Chromatography A* 1272: 33–40.
42. Rušičič, J., Gutiérrez-Aguirre, I., Tušek Žnidarič, M., Kolundžija, S., Slana, A., Barut, M., Ravnikar, M., Krajačič, M., 2015. A Novel Application of Monolithic Supports: The Separation of Viruses from One Another. *Journal of Chromatography A* 1388: 69–78.
43. Rušičič, J., Gutiérrez-Aguirre, I., Urbas, L., Kramberger, P., Mehle, N., Škorić, D., Barut, M., Ravnikar, M., Krajačič, M., 2013. A Novel Application of Methacrylate Based Short Monolithic Columns: Concentrating Potato Spindle Tuber Viroid from Water Samples. *Journal of Chromatography A* 1274: 129–36.
44. Schuerger, A. C., Hammer, M., 1995. Effects of Temperature on Disease Development of Tomato Mosaic Virus in Capsicum Annuum in Hydroponic Systems. *Plant Disease* 79 (9): 880–85.
45. Shamsborhan, H., Coutier-Delgosha, O., Caignaert, G., Nour, F. A., 2010. Experimental Determination of the Speed of Sound in Cavitating Flows. *Experiments in Fluids* 49 (6): 1359–73.
46. Simmons Fredrick, J., Xagorarakis I., 2011. Release of Infectious Human Enteric Viruses by Full-Scale Wastewater Utilities. *Water Research* 45 (12): 3590–98.
47. Simpson, K. L., Hayes, K. P., 1998. Drinking Water Disinfection by-Products: An Australian Perspective. *Water Research* 32: 1522–1528.
48. Sinclair, R. G., Jones, E. L., Gerba C. P., 2009. Viruses in Recreational Water-Borne Disease Outbreaks: A Review. *Journal of Applied Microbiology* 107 (6): 1769–80.
49. Steyer, A., Gutiérrez-Aguirre, I., Rački, N., Glaser Beigo, T. S., Brajer Humar, B., Stražar, M., Škrjanc, I., Poljšak-Prijatelj, M., Ravnikar, M., Rupnik M., 2015. The Detection Rate of Enteric Viruses and Clostridium Difficile in a Waste Water Treatment Plant Effluent. *Food and Environmental Virology* 7 (2): 164–72.
50. Teakle, D. S., Morris, T. J., 1981. Transmission of Southern Bean Mosaic Virus Fromsoil to Bean Seeds. *Plant Disease* 65: 599–600.
51. USEPA, 2006. Occurance and Monitoring Document for the Final Ground Water Rule.

MORFOLOŠKE IN HIDROLOŠKE SPREMEMBE NA HUDOURNIŠKI REKI GRADAŠČICI IN VPLIV NA DIVERZITETO ZDRUŽBE BENTOŠKIH NEVREtenČARJEV

TJAŠA ZIMŠEK¹

Povzetek

Proučevali smo povezave med morfološkimi in hidromorfološkimi razmerami hudourniške reke Gradaščice ter diverziteto združbe bentoških nevretenčarjev. V ta namen smo izbrali 18 vzorčnih mest, kjer smo po standardnih metodah izvedli meritve izbranih abiotičnih dejavnikov, ekomorfološko vrednotenje (RCE) stanja, popis obrežne vegetacije in vzorčenje bentoških nevretenčarjev. Ob popisu vegetacije smo določali vrste ter odstotek pokrovnosti. Z meritvami abiotičnih dejavnikov smo zaznali značilne spremembe, ki so se spreminjale skupaj s spremembami obrežne vegetacije in stanjem vodotoka. Na podlagi podatkov o sestavi združbe bentoških nevretenčarjev smo izračunali Shannon-Wienerjev indeks, EPT-indeks ter točke BMWP in ASPT. Izračunali smo tudi Spearmanove korelacije med omenjenimi indeksi, višjimi taksoni bentoških nevretenčarjev in okoljskimi dejavniki ter ocenami parametrov RCE. Z analizami smo ugotovili, da so hidromorfološki posegi glavni vzrok za spremembe življenjskih razmer v vodotoku, saj vplivajo na mnoge okoljske dejavnike.

Ključne besede: akumulacija, bentoški nevretenčarji, indeksi, obrežna vegetacija, stanje RCE, zaježitev vodotoka

Abstract

The relationship between the morphological and hydro-morphological conditions in the torrential river Gradaščica and diversity of macroinvertebrate community was investigated. For this purpose, we have chosen 18 sampling sites, where we performed several analyses according to the standard methods, such as: measurements of abiotic factors, ecomorphological (RCE) status survey, inventory of the riparian zone vegetation and sampling of the benthic macroinvertebrates. We have identified the plant species and estimated their coverage on the sampling sites. Measurements of abiotic factors detected significant changes in values along the river flow, because of changes in riparian vegetation and state of the watercourse. On the basis of macroinvertebrate community composition, several indexes were calculated (Shannon-Wiener,

¹ Tjaša Zimšek, mag. ekol. biodiv., strokovna sodelavka/pomočnica na projektih, Tehniška univerza München, Oddelek za ekologijo in ekosistemski menedžment



EPT, ASPT and BMWP). Spearman correlation coefficients between these indices, higher taxa of macroinvertebrates, environmental factors and the evaluation of RCE parameters were calculated. We found that hydro-morphological changes have the largest influence on macroinvertebrate community because of influence on many environmental factors.

1. UVOD

Ljudje smo sprva živeli v sožitju z naravo. Vodotoki in druga vodna telesa so služili kot vir pitne vode, kar je bil tudi razlog, da so se na teh območjih razvila prva mesta. Sprva smo izbirali območja, ki so varna pred poplavami, vendar smo v začetku 20. stoletja začeli okolje močno spreminjati zaradi gradnje bivališč, kmetijstva in kasneje tudi npr. za pridobivanje električne energije. Kmetijstvo tudi danes predstavlja problem za kakovost vodotokov, tako z vidika povečanja stopnje erozije (prost dostop živali do vodotoka in uporaba težke mehanizacije; Grabowski in Gurnell, 2016) kot vnosa organskih snovi, ki vodotok bremenijo (gnojila, pesticidi itd.; Moss, 2010). S trajnim spreminjanjem vodotokov in njihove okolice smo porušili številne procese, kar je pripomoglo k obsežnejšim poplavam zunaj poplavnih ravníc.

Ukrepi, ki jih izvajamo danes za preprečevanje poplav, so številni in raznoliki. Z gradnjo pregrad lahko vodo na območjih zadržimo dlje časa in jo počasi spuščamo naprej. V tem primeru pride do povečanja zadrževanja organskih in neorganskih snovi, kar lahko vodi v eutrofikacijo. Z ožanjem in tlakovanjem vodotoka omogočamo hitrejše odtekanje vode, vendar s tem lahko povečamo stopnjo erozije in/ali prekinemo samočistilne procese (Petersen, 1992; Grabowski in Gurnell, 2016). Stopnjo erozije prav tako močno povečamo z odstranjevanjem vegetacije v obrežnem pasu in poglobljanjem struge. Vsi načini reševanja problema poplav vodijo v spremembe ekološkega stanja vodotoka (spremembe abiotičnih dejavnikov, stopnje erozije, količine organskih snovi itd.) in spremembe heterogenosti habitatnih tipov, kar vodi v spremembo združbe organizmov (Connolly idr., 2016; Grabowski in Gurnell, 2016).

Namen raziskave je ugotoviti obsežnost problematike antropogenih morfoloških sprememb na strugi reke Gradaščice. To smo storili s podrobnim popisom in ocenjevanjem stanja posameznih parametrov na izbranih vzorčnih mestih.

2. MATERIALI IN METODE

V strugi reke Gradaščice smo določili 18 vzorčnih mest z različno stopnjo spremenjenosti. Izbrali smo 4 referenčna vzorčna mesta (REF), kjer antropogenih sprememb nismo opazili, 5 vzorčnih mest nad pregradami (UD), med katerimi je bila najvišja (UD4) visoka približno 150 cm. Oznaki UD1 (1) in UD1 (2) nakazujeta dve ločeni zaježitvi na isti lokaciji. Izbrali smo tudi 5 vzorčnih mest pod pregradami (DD) in 4 vzorčna mesta, kjer je bil vodotok močno morfološko spremenjen (MO). Na teh so bili bregovi in/ali struga utrjeni z betonskimi bloki in/ali lesom. Na vzorčnem mestu DD4 (1) in DD4 (2) se je struga Gradaščice razdelila v dva vodotoka; Gradaščica (1) in Mali graben (2), nadaljnji dve vzorčni mesti (MO3 in MO4) sta na strugi reke Gradaščice.

2.1. Terensko delo

Na vseh vzorčnih mestih smo po standardnih metodah izvedli meritve izbranih abiotičnih dejavnikov, ekomorfološko vrednotenje stanja vodotoka (RCE), popis vegetacije obrežnega pasu, popis sedimenta in vzorčenje bentoških nevretenčarjev.

2.1.1. Popis vegetacije in ocenjevanje stanja vodotoka RCE

Na vzorčnih mestih UD in DD smo popis vegetacije in vrednotenje stanja RCE začeli približno 100 m nad pregrado ter ju zaključili približno 100 m pod njo. Na ostalih vzorčnih mestih (REF in MO) smo za popis izbrali 100-m reprezentativno območje. Znotraj območja popisa smo določili delež pokrovnosti vegetacije, popisali rastlinske vrste in določili njihov delež. Primerjali smo tudi zastopanost domorodnih in tujerodnih ter pionirskih in nepionirskih rastlinskih vrst na posameznih vzorčnih mestih.

Ocenjevanje stanja vodotoka po metodi RCE je potekalo s pomočjo obrazca RCE. Metoda je izpopolnjena za določanje stopnje degradiranosti naravnega habitatnega tipa oz. spremenjenosti naravnih morfoloških razmer na manjših vodotokih (< 3 m širine; Petersen, 1992). Na splošno velja, da imajo odseki, kjer so naravne morfološke razmere močno spremenjene (npr. z regulacijami), nižje število točk, kot tiste z naravnim videzom (bolj ohranjene). Parametre 2, 3 in 4 smo združili v sklop, s katerim smo vrednotili spremenjenost obrežnega pasu, s sklopom parametrov 5–12 smo vrednotili spremenjenost morfoloških razmer v strugi vodotoka. Za namene naše raziskave 14. parametra nismo ocenjevali, ostale parametre (1, 13, 15 in 16) smo obravnavali ločeno.

2.1.2. Popis organskega in anorganskega tipa substrata in meritve abiotičnih dejavnikov

Na vsakem vzorčnem mestu smo izmerili naslednje abiotične dejavnike: širino in globino struge, pH-vrednost, prevodnost, TDS, temperaturo, nasičenost s kisikom ter koncentracijo kisika in hitrost toka. Na vzorčnih mestih REF in MO smo v 100-metrskem odseku izbrali reprezentativni 10-metrski pas, znotraj katerega smo določili zastopanost posameznega organskega in anorganskega tipa substrata. Enako smo naredili tudi na vzorčnih mestih UD in DD, vendar smo tu 10-metrski pas določili 80–90 metrov oz. 10–20 metrov od začetka 100-metrskega pasu.

2.1.3. Vzorčenje bentoških nevretenčarjev

Znotraj 10-metrskega pasu za popis substratnih tipov smo izvedli tudi vzorčenje bentoških nevretenčarjev. Vzorčili smo z metodo »kick sampling«, ki smo jo časovno omejili na tri minute. Vzorce smo izvedli v skladu z zastopanostjo posameznega substratnega tipa. Nabrani vzorec smo nato spravili v vrečko in ga fiksirali s 96-% alkoholom ter ga označili z oznako vzorčnega mesta. Vzorce smo tako shranili do laboratorijske obravnave.



2.2. Laboratorijsko delo

2.2.1. Določanje bentoških nevretenčarjev

Vzorci, ki so bili shranjeni v PVC-vrečkah, smo pregledali in bentoške nevretenčarje sortirali. Nevretenčarje smo nato s pomočjo lupe Leica MS5, lupe Motic SM7-140, mikroskopa Olympus CX41 in določevalnih ključev določili do nivoja družin.

2.2.2. Statistične analize

Osnovne statistične analize podatkov smo naredili s pomočjo programa Excel. Izračunali smo tudi nekatere indekse: Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks, EPT biotski indeks ter odseku dodelili število točk BMWP (Bio-monitoring working party index) in ASPT (Average Score Per Taxon) (Smith idr., 2015; Suleiman in Abdullahi, 2011; Sultana in Kala, 2012).

2.2.2.1. Korelacije med okoljskimi dejavniki in zgradbo združbe bentoških nevretenčarjev

S pomočjo Spearmanovih korelacijskih koeficientov smo izračunali korelacije med okoljskimi dejavniki (število in pokrovnost tujerodnih in domorodnih vrst, vrednost RCE, abiotski dejavniki in tipi substrata) ter zgradbo združbe bentoških nevretenčarjev. Analizo smo izvedli s programom PAST (Hammer idr., 2001). Kjer je v preglednicah $r_s > 0$, je korelacija med določenim okoljskim dejavnikom in združbo bentoških nevretenčarjev (številčnostjo, diverzitetjo) pozitivna, kjer je $r_s < 0$, pa gre za negativno korelacijo.

2.2.2.2. Vpliv okoljskih dejavnikov na taksonsko sestavo združbe bentoških nevretenčarjev

Vpliv okoljskih dejavnikov na sestavo združbe bentoških nevretenčarjev in njihovo intenzivnost smo preverjali z redundančno analizo (RDA, angl. Redundancy Analysis), ki smo jo opravili s programskim paketom Canoco 4.5 (Braak in Šmilauer, 2002). Na podlagi dejavnikov, ki so imeli statistično značilen vpliv na strukturo združbe bentoških nevretenčarjev, smo izdelali tudi ordinacijski diagram.

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

Popis vegetacije (preglednica 1) je pokazal, da na vseh vzorčnih mestih prevladujejo nepionirske vrste (razen vzorčnega mesta MO4, kjer sta deleža zastopanosti enaka). Na splošno lahko opazimo, da je na vzorčnih mestih MO število prisotnih vrst veliko nižje kot na ostalih vzorčnih mestih. Ob primerjavi domorodnih in tujerodnih vrst lahko opazimo, da slednje niso prisotne na vseh vzorčnih mestih, njihov delež pa je dokaj nizek (razen MO3).

Preglednica 1: Prikaz števila vrst, ki pripadajo posamezni skupini (pionirske, nepionirske, domorodne oz. tujerodne), in skupno število vrst na posameznem vzorčnem mestu (VM)

VM	Št. vrst	Pionirske vrste		Nepionirske vrste		Domorodne vrste		Tujerodne vrste	
		število	delež	število	delež	število	delež	število	delež
REF1	20	2	10	18	90	20	100	0	0
REF2	22	1	4,5	21	95,5	22	100	0	0
MO1	5	2	40	3	60	5	100	0	0
MO2	9	2	22,2	7	77,8	9	100	0	0
UD1 (1)	22	5	22,7	17	77,3	20	90,9	2	9,1
UD1 (2)	22	7	31,8	15	68,2	20	90,9	2	9,1
DD1	22	6	27,3	16	72,7	20	90,9	2	9,1
REF3	22	3	13,6	19	86,4	21	95,5	1	4,5
UD2	28	5	17,9	23	82,1	27	96,4	1	3,6
DD2	20	4	20	16	80	18	90	2	10
UD3	21	5	23,8	16	76,2	19	90,5	2	9,5
DD3	22	6	27,3	16	72,7	21	95,5	1	4,5
REF4	18	5	27,8	13	72,2	17	94,4	1	5,6
UD4	23	6	26,1	17	73,9	21	91,3	2	8,7
DD4 (1)	19	4	21,1	15	78,9	16	84,2	3	15,8
DD4 (2)	20	4	20	16	80	17	85	3	15
MO3	2	0	0	2	100	1	50	1	50
MO4	4	2	50	2	50	3	75	1	25
povprečje	17,8	3,8	22,6	14	77,4	16,5	90	1,3	10

Meritve abiotskih dejavnikov (preglednica 2) so bile izvedene v dopoldanskih urah (razen meritev na vzorčnem mestu REF2). Dolvodno nismo opazili večjih sprememb v vrednostih abiotskih dejavnikov, razen temperature, ki je narastla za 8,2 °C.

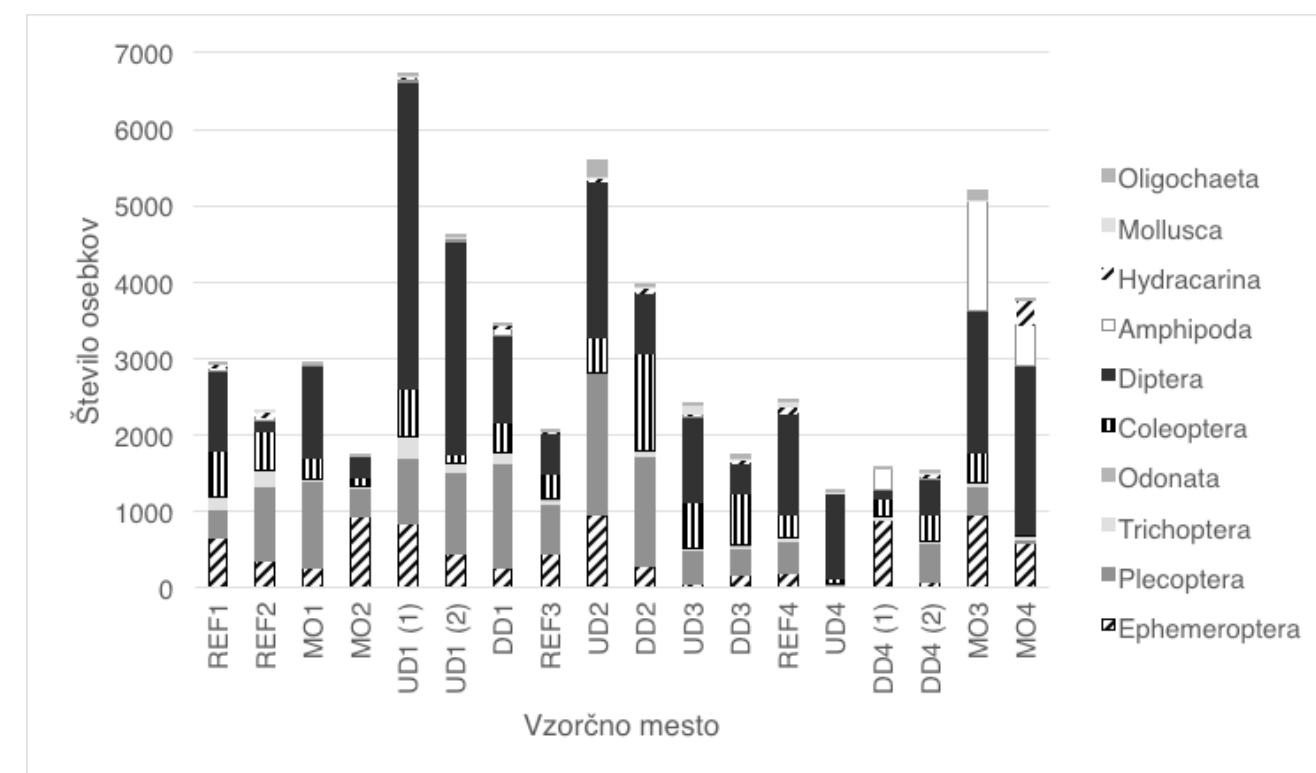


Preglednica 2: **Prikaz vrednosti nekaterih abiotskih dejavnikov na posameznih vzorčnih mestih**

Vzorčno mesto	REF1	REF2	MO1	MO2	UD1 (1)	UD1 (2)	DD1	REF3	UD2
pH	7,9	8,0	8,0	8,1	7,8	8,0	8,0	8,0	7,8
prevodnost (µs)	374	360	380	385	381	381	380	389	388
TDS (ppm)	352	339	357	362	359	358	357	367	366
temperatura (°C)	13,5	17,1	14,9	15,1	15,2	15,4	15,6	16,4	16,8
nasičenost (O ₂ %)	96	104	100	99	100	101	96	96	94
koncentracija (O ₂ mg/L)	9,9	9,7	9,9	9,8	10,0	10,0	9,6	9,4	9,0
povprečna hitrost toka (m/s)	0,9	0,3	0,3	0,7	0,6	0,1	0,9	0,7	0,0
povprečna globina (cm)	17,2	15,2	14,0	12,0	26,6	68,6	25,2	29,4	68,0
širina struge (m)	5,9	9,0	11,3	11,6	12,6	12,4	14,0	13,2	13,7
Vzorčno mesto	DD2	UD3	DD3	REF4	UD4	DD4 (1)	DD4 (2)	MO3	MO4
pH	7,7	7,9	7,9	7,8	7,6	7,8	7,7	8,0	8,1
prevodnost (µs)	396	389	392	399	389	388	387	386	388
TDS (ppm)	372	367	368	375	365	365	364	363	365
temperatura (°C)	16,3	17,9	17,8	17,5	17,8	18,2	18,2	19,3	21,7
nasičenost (O ₂ %)	88	97	97	92	84	93	92	107	115
koncentracija (O ₂ mg/L)	8,5	9,1	9,3	8,8	8,0	8,7	8,6	9,8	10,0
povprečna hitrost toka (m/s)	0,3	0,0	0,4	0,2	0,0	1,1	0,6	0,9	1,1
povprečna globina (cm)	40,6	68,0	40,4	35,0	70,5	14,7	32,2	25,0	9,4
širina struge (m)	13,4	11,6	10,6	12,2	32,1	1,8	14,4	1,5	1,5

Na sliki 1 je prikazana številčna zastopanost posameznega taksona. Opazimo lahko, da je število osebkov največje na vzorčnem mestu UD1 (1) in najmanjše na vzorčnem mestu UD4. Število osebkov na zadnjih dveh vzorčnih mestih MO je večje kot na prvih dveh vzorčnih mestih z oznako MO. Iz slike je razvidno tudi, da je število osebkov na vzorčnih mestih UD večje kot na vzorčnih mestih DD (razen UD4, DD4 (1) in DD4 (2)). Vzorčna mesta z oznako REF ne izstopajo od povprečja.

Iz preglednice 3 je razvidno, da so vrednosti Shannon-Wienerjevega indeksa precej različne glede na nivo, za katerega smo vrednost izračunali. Najvišja diverziteteta je tako ocenjena na vzorčnih mestih REF1 in REF2 ter MO3, DD3 in REF3, najnižja pa na vzorčnem mestu UD4.



Slika 1: Prikaz številčne zastopanosti posameznega taksona glede na posamezno vzorčno mesto

Preglednica 3: **Prikaz vrednosti Shannon-Wienerjevega (S-W) indeksa za posamezna vzorčna mesta (VM)**

VM	S-W indeks		VM	S-W indeks	
	VT	družine		VT	družine
REF1	1,59	2,14	DD2	1,41	1,55
REF2	1,56	2,02	UD3	1,4	1,6
MO1	1,27	1,69	DD3	1,59	1,8
MO2	1,24	1,87	REF4	1,42	1,67
UD1 (1)	1,28	1,65	UD4	0,64	0,76
UD1 (2)	1,14	1,34	DD4 (1)	1,3	1,8
DD1	1,48	1,79	DD4 (2)	1,49	1,66
REF3	1,56	1,87	MO3	1,58	2,14
UD2	1,43	1,49	MO4	1,27	1,66



V preglednici 4 so rezultati izračunov korelacij med morfološkimi parametri in združbo bentoških nevretenčarjev. Opazimo lahko, da ima na število višjih taksonov v vzorcu velik vpliv oddaljenost od izvira, ki je v negativni korelaciji tudi z indeksom EPT ter točkami BMWP. Na vrednost indeksov EPT in S-W za nivo družin negativno vpliva tudi prisotnost tujerodnih vrst. Drugi del preglednice nakazuje pomembnost naravne rabe območja za obrežno cono in pomembnost naravnosti morfoloških razmer v vodotoku.

Preglednica 4: **Prikaz korelacij med morfološkimi parametri in združbo bentoških nevretenčarjev**

	Združba bentoških nevretenčarjev							
	število VT	število družin	število osebkov	S-W VT	družine S-W	indeks EPT	točke BMWP	točke ASPT
oddaljenost od izvira	0,534	-0,221	-0,179	-0,028	-0,222	-0,760	-0,467	-0,425
zastopanost nativnih vrst [%]	0,419	0,266	-0,302	0,023	-0,354	0,140	0,269	0,106
zastopanost tujerodnih vrst [%]	0,302	-0,076	0,239	-0,113	-0,372	-0,616	-0,201	-0,343
število nativnih vrst	0,113	0,120	-0,035	0,261	-0,201	0,209	0,151	-0,016
število tujerodnih vrst	0,461	0,130	-0,095	-0,241	-0,546	-0,440	-0,026	-0,064
RCE 1	0,173	0,080	-0,407	0,582	0,388	0,076	0,078	0,031
RCE 2-4	0,131	0,175	-0,249	0,353	0,131	0,261	0,182	0,261
RCE 5-12	-0,016	0,425	-0,036	0,253	0,287	0,715	0,535	0,591
RCE 13	-0,379	-0,023	0,159	0,387	0,353	0,421	0,204	0,205
RCE 15	0,058	-0,020	-0,199	0,314	-0,086	0,121	0,047	0,146
RCE 16	0,442	0,211	0,257	0,304	-0,234	-0,351	0,117	-0,117
RCE vsota	0,121	0,369	-0,133	0,359	0,185	0,536	0,421	0,424

Izrazito pozitivno in izrazito negativne korelacije so poudarjene. VT = višji takson; S-W = Shannon-Wienerjev indeks.

Preglednica 5 prikazuje Spearmanove korelacijske koeficiente med posameznimi taksoni bentoških nevretenčarjev in abiotскими dejavniki ter tipi substrata. Opazimo lahko, da so organizmi iz redov EPT občutljivi za visoke vrednosti prevodnosti, TDS in temperaturo, kljub temu pa izračuni kažejo pozitivno korelacijo med višjimi taksoni in višjo temperaturo. Na splošno

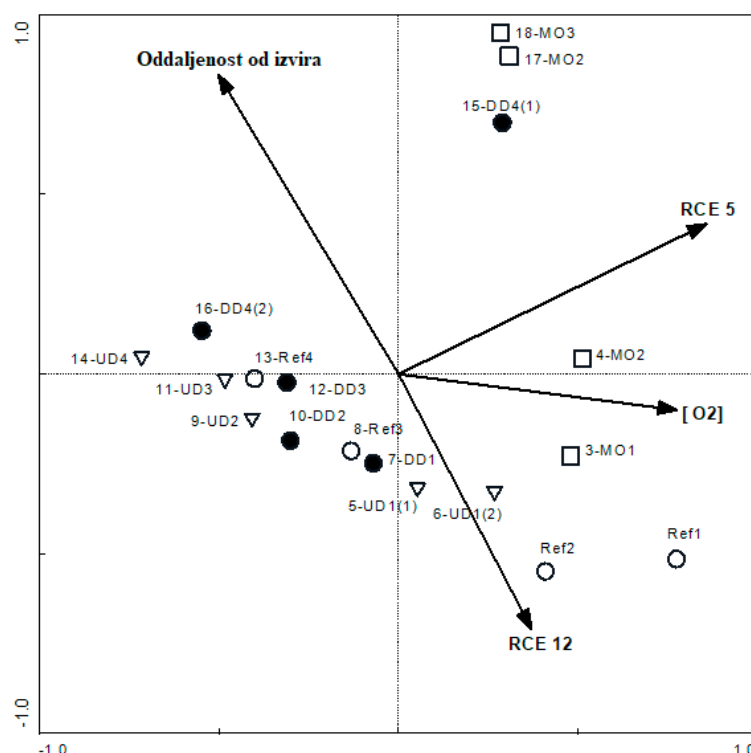
večina taksonov nakazuje pozitivno korelacijo z višjo koncentracijo kisika ter substratom večjih velikosti (makro- in mezolitalom).

Ordinacijski diagram (slika 2) nazorno prikazuje razporeditev vzorčnih mest glede na dejavnike, ki statistično značilno ($p < 0,05$) vplivajo na sestavo združbe bentoških nevretenčarjev. Iz diagrama je razvidno, da na sestavo združbe odločilno vplivajo oddaljenost od izvira, koncentracija kisika v vodi, prisotnost zadrževalnih struktur (RCE 5) in ohranjenost longitudinalne strukture vodotoka (RCE 12).

Preglednica 5: **Prikaz Spearmanovih korelacijskih koeficientov med posameznimi višjimi taksoni bentoških nevretenčarjev in abiotскими dejavniki**

	Abiotски dejavniki								Substrat							
	povprečna hitrost	povprečna globina	pH	prevodnost (μS)	TDS (ppm)	temperatura ($^{\circ}C$)	nasitjenost O ₂ (%)	koncentracija O ₂ (mg/L)	meglital (>40 cm)	makrolital (20-40 cm)	mezolital (6-20 cm)	mikrolital (2-6 cm)	akal (0,2 - 2 cm)	psamal ($6\mu m$ - 2 mm)	agrilal ($<6\mu m$)	tehlital
Ephemeroptera	0,420	-0,437	0,341	-0,341	-0,257	-0,203	0,389	0,458	-0,340	0,026	-0,180	-0,294	-0,301	-0,287	0,397	0,550
Plecoptera	-0,412	0,279	-0,024	-0,232	-0,157	-0,494	-0,200	0,041	0,363	0,055	0,261	0,024	0,393	-0,015	0,397	-0,589
Trichoptera	0,433	-0,354	0,360	-0,515	-0,490	-0,369	0,415	0,584	0,101	0,334	0,244	-0,128	-0,375	-0,093	-0,351	-0,016
Oligochaeta	0,063	0,243	-0,277	0,406	0,450	0,274	-0,031	-0,004	-0,706	-0,133	0,011	0,187	-0,280	-0,330	0,398	0,098
Gastropoda	-0,504	0,739	-0,535	0,660	0,666	0,425	-0,348	-0,536	-0,142	0,017	0,305	0,401	0,080	0,014	0,118	-0,311
Bivalvia	0,000	0,101	-0,030	0,361	0,274	0,417	0,029	-0,072	-0,307	-0,174	-0,130	0,087	0,146	-0,143	-0,108	0,138
Odonata	0,074	0,130	0,131	0,372	0,390	0,079	-0,022	-0,066	-0,161	-0,070	0,069	0,388	0,027	-0,003	-0,086	-0,187
Diptera	-0,153	0,213	0,086	-0,076	-0,052	-0,118	0,326	0,476	-0,165	-0,130	0,087	-0,221	-0,142	-0,142	0,257	-0,108
Coleoptera	-0,143	0,245	-0,293	0,036	0,110	-0,189	-0,069	-0,085	0,127	0,558	0,497	0,127	0,107	-0,150	0,117	-0,465
Gammaridae	0,747	-0,654	0,576	-0,610	-0,596	0,138	0,645	0,603	-0,134	-0,059	-0,331	-0,286	-0,521	-0,243	-0,309	0,588
Acari	-0,205	0,122	-0,194	0,099	0,136	0,125	-0,095	-0,086	0,058	0,037	0,363	0,041	0,035	-0,065	0,210	-0,332
število VT	0,133	0,305	-0,087	0,438	0,409	0,528	-0,033	-0,109	-0,382	-0,336	0,045	0,322	-0,318	-0,143	-0,286	-0,021
število družin	0,320	0,026	0,236	-0,141	-0,118	-0,171	0,326	0,418	-0,007	0,309	0,282	0,033	-0,376	-0,162	-0,399	-0,079
število osebkov	0,009	0,043	0,169	-0,228	-0,146	-0,282	0,409	0,524	-0,084	0,150	0,172	-0,243	-0,155	-0,331	0,351	-0,060
S-W (VT)	0,233	-0,052	-0,013	-0,037	0,030	0,122	-0,024	-0,098	-0,018	0,053	0,167	0,437	-0,213	-0,247	0,070	-0,191
S-W (družine)	0,662	-0,689	0,488	-0,373	-0,342	-0,039	0,324	0,273	0,119	0,031	-0,269	0,184	-0,444	0,058	-0,304	0,350
EPT indeks	0,163	-0,209	0,451	-0,370	-0,346	-0,641	0,306	0,460	0,384	0,680	0,317	-0,055	0,052	0,174	-0,304	-0,168
BMWP točke	0,273	-0,003	0,263	-0,296	-0,268	-0,427	0,268	0,453	0,172	0,525	0,367	-0,031	-0,248	-0,213	-0,351	-0,186
ASPT točke	0,014	-0,001	-0,033	-0,144	-0,105	-0,417	0,013	0,254	0,224	0,475	0,580	-0,063	-0,302	0,279	-0,304	-0,301

Statistično značilne pozitivne in negativne korelacije so v tabeli poudarjene. VT = višji taksoni; S-W = Shannon-Wienerjev indeks.



Slika 2: Ordinacijski diagram razporeditve vzorčnih mest

Referenčna vzorčna mesta (REF) so označena z belimi krogi, MO (morfološko močno spremenjena) z belimi kvadrati, UD (nad pregrado) z belimi trikotniki in DD (pod pregrado) s črnimi krogi.

Popis vegetacije nakazuje, da na večini vzorčnih mest ni večjega človeškega vpliva ali pa je bil ta prisoten že davno in zato njegove posledice niso več izrazite. Na nekaterih vzorčnih mestih smo opazili tudi dokaj visoke deleže pionirskih vrst, vendar smo večinoma zabeležili stare osebkke. Na vzorčnih mestih MO3 in MO4 smo zabeležili dokaj visok delež tujerodnih vrst, kar je posledica stalnega antropogenega vpliva. Meritve abiotičnih dejavnikov nakazujejo spremembe vzdolž rečnega toka, ki so se spreminjale skladno s spremembami v obrežni vegetaciji in stanjem vodotoka in so znotraj tolerančnih meja večine organizmov.

Primerjava med vzorčnimi mesti REF in MO je pokazala, da je število osebkov na vzorčnih mestih REF primerljivo z vzorčnimi mesti MO (MO1 in MO2) ali celo višja (MO3 in MO4), vendar je opazna razlika v diverziteti, ki je višja na vzorčnih mestih REF (razen MO3). Višja diverziteta na vzorčnem mestu MO3 je najverjetneje posledica prisotnosti makro- in mezolitala, katerega intersticijski prostori nudijo življenjski prostor bentoškim nevretenčarjem (Grabowski in Gurnell, 2016). Med vzorčnimi mesti REF in DD ni večjih razlik v diverziteti, zelo podobne so si tudi vrednosti na vzorčnih mestih MO (razen MO3) in UD (razen UD4). Diverziteta na DD je večja kot na UD, kljub temu da smo tu zabeležili višje število osebkov (razen UD4). Iz teh rezultatov lahko razberemo, da motnje povečujejo število osebkov na območju, vendar je diverziteta višja na vzorčnih mestih, kjer so le-te odsotne in je vodotok nespremenjen (REF in DD).

Izračuni korelacij med posameznimi primerjanimi sklopi in ordinacijski diagram nakazujejo pomembnost naravne rabe območja za obrežno cono (npr. odsotnost kmetijstva) in pomemb-

nost prisotnosti naravnih morfoloških razmer v vodotoku (še posebej prisotnost zadrževalnih struktur in ohranjenost longitudinalne strukture vodotoka). Izredno pomembno vlogo imata tudi prisotnost kisika in velikost delcev substrata.

4. ZAKLJUČEK

Z raziskavo smo potrdili, da so morfološki in hidromorfološki posegi glavni vzrok za spremembe procesov in vplivajo na zmanjšanje stopnje diverzitete v vodotoku. Opazili smo, da pokritost obrežnega pasu z vegetacijo dolvodno počasi upada, nasprotno pa se delež tujerodnih vrst povečuje. Te spremembe zelo vplivajo na spremembe življenjskih pogojev in spremembe v heterogenosti habitatnih tipov (Connolly idr., 2016). Z raziskavo smo potrdili, da diverziteta bentoških nevretenčarjev ni nujno najvišja na vzorčnih mestih z največjo heterogenostjo habitatnih tipov ali odsotnostjo tujerodnih vrst, temveč je ta močno odvisna od abiotičnih razmer v vodotoku, nespremenjenosti struge in naravne rabe prostora za obrežno cono.

Glede na rezultate smo zaključili, da je stanje diverzitete najboljše na vzorčnih mestih REF in DD, kljub temu da številčnost organizmov na teh lokacijah ni nujno najvišja. Diverziteta je najnižja na območjih, kjer so prisotne večje akumulacije (UD4), manjše akumulacije imajo manjši, a vseeno zaznaven vpliv. Manjše motnje na območju, ki ne spremenijo naravne strukture vodotoka, so z vidika povečanja številčnosti organizmov pozitivne, a ne vplivajo na povečanje stopnje diverzitete območja.

Izrednega pomena je, da za ocenjevanje stanja na posameznem vzorčnem mestu izberemo več različnih pristopov in izračunamo več različnih indeksov. Le tako bomo morda sčasoma dovolj razumeli vodne ekosisteme, da bomo lahko vnaprej predvideli spremembe, ki bodo sledile posegu. Razmisliti bi morali tudi o novih načinih reševanja poplavitne varnosti. Vodotoku bi bilo treba vrniti izgubljeni prostor, da bi se voda lahko razlila in počasi pronicala v tla. Izredno pomembno vlogo ima pas domorodne obrežne vegetacije, katero bi bilo treba ponovno zasačiti predvsem na močno spremenjenih odsekih. Za popolno rešitev problema poplavi bi morali prepovedati gradnjo objektov na poplavnih območjih.

LITERATURA IN VIRI

1. Braak, C. J., Šmilauer, P., 2002. CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide software for canonical community ordination (version 4.5). New York: Microcomputer Power. 500 str.
2. Connolly, N. M., Pearson, R. G., Pearson, B. A., 2016. Riparian vegetation and sediment gradients determine invertebrate diversity in streams draining an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 221: 163–173.
3. Grabowski, R. C., Gurnell, A. M., 2016. Diagnosing problems of the fine sediment delivery and transfer in a lowland catchment. *Aquatic Sciences*. 78: 95–106.
4. Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D., 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4. doi: palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm: 9 str.
5. Moss, B. R., 2010. Ecology of freshwaters: A view for the twenty-first century. 4th edition. Chichester: Wiley-Blackwell. 480 str.



6. Petersen, R. C., 1992. The RCE: a riparian, channel and environmental inventory for small streams in the agricultural landscape. *Freshwater biology*, 27: 295–306.
7. Smith, A. J, Rickard, S., Mosher, E. A., Lampersberger, J. L., Heitzman, D. L., Duffy, B., T., Novak, M. A., 2015. Bronx river: Biological stream assessment. New York, NYS Department of Environmental Conservation Albany. 34 str. Dostopno na: http://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/bronxriverras2015.pdf [16. 7. 2017].
8. Suleiman, K., Abdullahi, I. L., 2011. Biological assessment of water quality: a study of challawa river water Kano, Nigeria. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 4: 121–127.
9. Sultana, R., Kala, D. S., 2012. Water body quality analysis by benthic macroinvertebrates. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 1: 269–279.

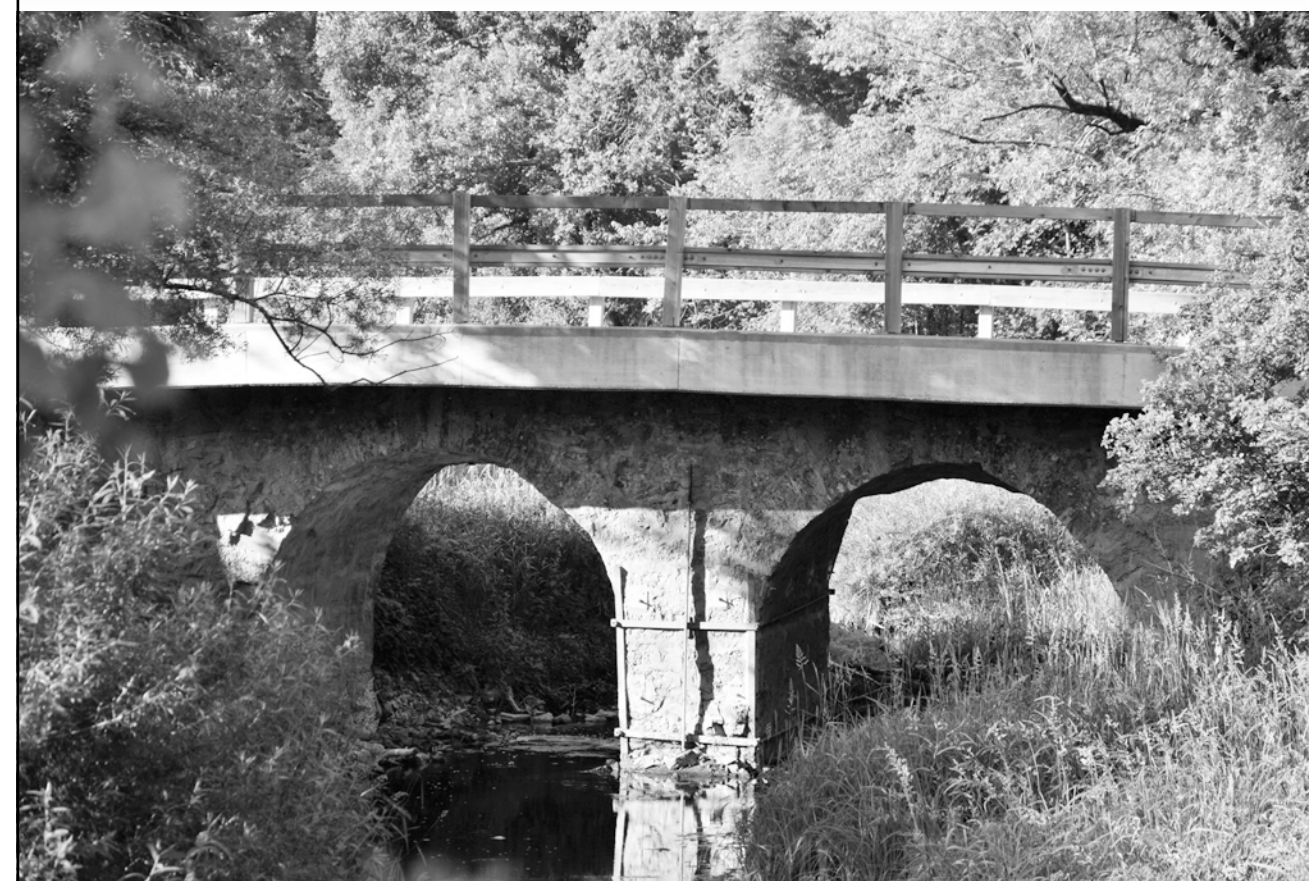
UB PROJEKT d.o.o.

Podjetje UB PROJEKT d. o. o. je specializirano gradbeno podjetje. V podjetju deluje skupina sodelavcev z dolgoletnimi izkušnjami in referencami s področja izgradnje, sanacije in rekonstrukcije najzahtevnejših objektov.

Podjetje se specializirano ukvarja s:

- sanacijo in izgradnjo vodovodnih objektov (črpališča, vodohrani, sanacija vodnih celic),
- sanacijo, rekonstrukcijo in izgradnjo premostitvenih objektov,
- sanacijo in izgradnjo industrijskih objektov (izvedba tehnoloških temeljev, proizvodnih hal in skladišč).

Dela izvajamo odgovorno, korektno in kakovostno v zadovoljstvo našega naročnika.



Kaplja vas 47 | 3312 Prebold | info@ub-projekt.si



Endress+Hauser



People for Process Automation



Endress+Hauser

je v svetovnem merilu vodilni dobavitelj opreme, rešitev in storitev na področju **meritev in avtomatizacije procesov**. Naše več kot 60-letne izkušnje in čez 7000 aktivnih patentov so podlaga za optimizacijo procesov na inovativen, ekonomsko učinkovit, varen in okolju prijazen način.

Svojim kupcem nudimo rešitve na področju **meritev pretokov, nivojev, tlakov, temperature, vzorčenja** ter **analize** v procesih čiščenja **odpadne vode** in **priprave pitne vode**. Enostavno upravljanje ter uporaba najnaprednejših komunikacijskih standardov omogočata enostavno vključevanje merilne opreme Endress+Hauser v nadzorne sisteme.

Endress+Hauser, d. o. o., Slovenija
Pot k sejmišču 26a, 1231 Ljubljana - Črnuče
info@si.endress.com, www.endress.com
01 5140 250

VODNI ODTIS LOKALNEGA TRGA

BRIGITA LEBAN¹, prof. dr. ZVONE BALANTIČ²

Povzetek

Prispevek obravnava proučevanje vodnega odtisa na lokalni ravni. Analiza se je izvajala za območje lokalnega trga občin Jesenice in Žirovnica. Namen raziskave je bil ugotoviti, ali je na območju lokalnega trga večji uvoz virtualne vode kot vodni odtis, ki ga odtisnemo s porabo merjene in obračunane vode za produkcijo, in preveriti razlike med leti pri povprečni količini modre in zelene vode. Cilj raziskave je bil priti do odgovora, ali se na lokalnem trgu upošteva trajnostni vidik vodnega odtisa. Raziskavo smo izvajali na osnovi merjenih podatkov, pridobljenih pri izvajalcu gospodarske javne službe oskrbe s pitno vodo, in preko spletnih portalov. Za prikaz smo uporabili Sankeyjev diagram in za statistično obdelavo analizo variance. Ugotovili smo, da je na lokalnem trgu večji uvoz virtualne vode kot vodni odtis, ki ga odtisnemo s porabo merjene in obračunane vode za produkcijo, in da se modri vodni odtis zmanjšuje.

Ključne besede: lokalni trg, porabljena voda, trajnostni razvoj, virtualna voda, vodni odtis

Abstract

The article is about the study of local scale water footprint. Analysis was carried out for the area of the local market of municipalities of Jesenice and Žirovnica. Purpose of the research was to determine whether the import of virtual water exceeds the actual water footprint, left by the usage of measured and charged water for production in the regarded area. In addition, part of the research was also to check the distinction between the yearly averages of blue and green water. Goal of the research was to answer whether the sustainable aspect of the water footprint is taken into account in the local market. Research was carried out on the basis of measurements and calculations obtained from a public utility service provider and online portals. Sankey diagram was used to display data, whereas analysis of variance was used for statistical processing. We found that the import of virtual water in the local market exceeds the water footprint, left by the usage of measured and charged water for production. We also found that the water footprint of blue water is decreasing.

¹ Brigita Leban, JEKO, d. o. o.

² Prof. dr. Zvone Balantič, Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede Kranj



1. UVOD

Voda je temeljni sestavni del vsakega živega organizma, zato je z njo treba primerno ravnati (Roš in Zupančič, 2010). Poleg tega, da je bistvenega pomena za življenje, je tudi nepogrešljiv vir za gospodarstvo. Kot navaja Rismal (2012), je država v imenu državljanov pooblaščen skrbnik vodnega bogastva. Vodna zakonodaja v Evropski uniji se je v zadnjih tridesetih letih osredotočala na zaščito vodnih virov, ki so eden od temeljev varovanja okolja, in uspešno prispevala k varstvu voda. Posledično lahko pijemo vodo iz vodovodov in plavamo v obalnih vodah, jezerih in rekah po vsej Evropi.

Eden izmed novejših dokumentov, ki ga je pripravila Evropska komisija, je Načrt za varovanje evropskih vodnih virov. Cilj tega načrta je odpravljanje težav, ki ovirajo ukrepanje za varovanje evropskih vodnih virov, in temelji na obsežnem ocenjevanju trenutne politike (Eurostat, 2016). Predvideva načrt za varovanje vodnih virov, oblikovanje izračunov porabe vode in ciljev glede učinkovite porabe vode držav članic ter razvoj standardov EU za ponovno uporabo vode (Evropska komisija, 2012).

Podobno kot v večini evropskih držav se tudi v Sloveniji skladno z Okvirno direktivo o vodah uvaja celovito upravljanje vodnih virov. Prednostna naloga je odpravljanje škodljivih vplivov na vodo, zagotavljanje vode primerne kakovosti za človeka in naravne ekosisteme ter ohranjanje biotske raznovrstnosti (ARSO, 2016).

Slovenija je bogata z vodami, čeprav niso enakomerno prostorsko in časovno razporejene (ARSO, 2016). V Sloveniji je glavni vir pitne vode podzemna voda, iz površinskih virov se oskrbujejo le okoli trije odstotki prebivalstva (Poje idr., 2008). Največ vode je v zahodni in severni Sloveniji. Tam je tudi največ padavin, najmanj pa na Krasu, v Suhi in Beli krajini in vzhodni Sloveniji (Haloze, Slovenske gorice in severni del Prekmurja) (Žitnik idr., 2013). Tako kot vode tudi padavine niso enakomerno razporejene.

Na ozemlju Slovenije se stikajo in součinkujejo sredozemsko, alpsko oz. predalpsko in celinsko podnebje, kar je vzrok za raznolik padavinski režim in temu primerne padavinske maksimume (Bergant idr., 2004). Območji Jesenic in Žirovnice se razprostirata na skrajnem severozahodu Slovenije. Občini spadata med območja z največ vode.

Naravne dobrine v naravi že obstajajo in jih ni treba proizvajati. Pomembno pri tem je, da jih moramo začeti ohranjati. V prispevku nas je zanimal trajnostni vidik vode proučevanih območij, ki ga lahko označimo kot lokalni trg. Pri tem je mišljena voda v širšem pogledu – virtualna voda in ne samo neposredno porabljena voda iz vodovodnega sistema.

V okviru raziskave, ki smo jo izvedli na lokalnem trgu, smo si zastavili naslednji raziskovalni vprašanja:

1. Ali je na območju lokalnega trga večji uvoz virtualne vode kot vodni odtis, ki ga odtisnemo s porabo merjene in obračunane vode za produkcijo?
2. Ali se na lokalnem trgu povprečna količina modre in zelene vode v obdobju od 2003 do 2015 med leti razlikuje?

2. VIRTUALNA VODA IN VODNI ODTIS

Voda je ena od posebnosti, ki loči Zemljo od sosednjih planetov, in je najpomembnejši element za življenje. Poraba pitne vode se vsako leto poveča za 64 milijard kubičnih litrov (1 kubični meter = 1000 litrov) in se je v zadnjih 50 letih potrojila (Worldometers Dada, 2016). Po podatkih svetovnega merilnika so razlogi za večjo porabo pitne vode letno večanje svetovnega prebivalstva (približno 80 milijonov ljudi na leto) in spremembe načina življenja ter prehranjevalnih navad, ki zahtevajo večjo porabo vode. Posledično se je povečala potrošnja energije, kar terja dodatno porabo vode. Poleg tega se je v zadnjih letih povečala poraba vode tudi zaradi proizvodnje biogoriv. Za liter biogoriva je potrebnih od tisoč do štiri tisoč litrov vode.

Ob porabi biogoriva ne trošimo vode, ta je bila potrebna za njegovo pridelavo in predelavo rastlin v gorivo. Poleg tega se običajno pridelava, predelava in potrošnja krajevno ločijo. Celotna porabljena voda, ne glede na produkt, čas in kraj, predstavlja virtualno vodo. Virtualna voda je temelj vodnega odtisa neke države, okolja ali organizacije. Virtualna količina vode, ki po svetu potuje z izdelkom, pušča vodni odtis, ki je seveda odvisen od tehnologije priprave produkta na različnih koncih sveta (Balantič idr., 2014).

Virtualna voda je voda, »zapisana« v izdelku, sicer ne v pravem pomenu besede, temveč v virtualnem smislu (Hoekstra, 2003), medtem ko nam vodni odtis pove, koliko vode porabimo za kuhanje, pranje, umivanje, tuširanje, pripravo materialov, tehnološki proces ipd. V vodnem odtisu ni samo sled neposredno porabljene vode, ki jo zabeležimo z merilniki porabe vode, pač pa se v njem skriva tudi t. i. virtualna voda (Balantič idr., 2014).

Koncept virtualne vode (VW) in kazalnik vodnega odtisa (WF) sta se razvijala več let, vendar so bili koncepti in ideje opredeljeni šele v devetdesetih letih (Lovarelli idr., 2016). Pionir na področju pojma virtualne vode, ki meri vključenost vode v proizvodnjo in trgovino, je bil J. A. Allan (SIWI, 2016). Koncept so nadalje razvijali A. Y. Hoekstra, A. K. Chapagain in drugi. Kot navajata Hoekstra in Mekonnen (2012), so se študije vodnega odtisa izboljševale in so postale bolj podrobne in celovite.

Vodni odtis ima tri dele: zelen, moder in siv. Vsi ti deli zagotavljajo celovito sliko rabe vode, z razmejevanjem vira – kot padavine, površinske vode/podtalnica ali voda za industrijske namene (Water footprint network, 2016). Pojasnjeni deli so:

- Zeleni vodni odtis je padavinska voda, ki se shranjuje v zemlji in nato izpari, je vključena v rastline. To je še posebej pomembno za kmetijstvo, vrtnarstvo in gozdne površine.
- Modri vodni odtis je površinska ali podzemna voda, ki izpari, je vključena v izdelek, ali se steka v druge vode (reke, jezera, morje) in se lahko čez čas vrne. Modri vodni odtis se lahko uporabi za domačo uporabo, namakanje v kmetijstvu in tudi v industriji.
- Sivi vodni odtis je količina onesnažene vode. Upošteva vir onesnaženega izlivanja v čisto vodo preko cevovoda ali posredno preko meteorne kanalizacije, nepropustnih površin ali drugih razpršenih virov.



3. TRAJNOSTNI VIDIK VODNEGA ODTISA

Voda je naravna in javna dobrina, ki si jo delimo. Javne dobrine so izdelki in storitve, za katere ni stroškov uporabe za dodatno osebo in posameznikov ni mogoče izločiti iz njihove uporabe (Samuelson in Nordhaus, 2002). Ko je zgrajen vodovod s priključki, je dostopna in jo lahko uživa celotna skupnost, vendar je dejansko porabo treba plačati. Naravne dobrine v naravi že obstajajo in jih ni treba proizvajati, a treba jih je začeti ohranjati.

Upravljanje in varovanje vodnih virov je eden od temeljev varovanja okolja. Zato se je v zadnjih tridesetih letih vodna zakonodaja v EU osredotočala na zaščito vodnih virov ter s tem uspešno prispevala k varstvu voda. V Sloveniji oskrbo s pitno vodo kot obvezno občinsko gospodarsko javno službo (GJS) opredeljuje Zakon o varstvu okolja. Način in oblike izvajanja GJS pa ureja Zakon o gospodarskih javnih službah.

Ne samo vlade, ampak tudi potrošniki, podjetja in skupnosti civilne družbe imajo lahko pomembno vlogo pri doseganju boljšega upravljanja vodnih virov (Water footprint network, 2016). Trajnostni vidik vodnega odtisa je možno analizirati s treh vidikov. En vidik je okoljski, drugi je socialni in tretji ekonomski. Izbira teh treh vidikov ustreza namenu vodnega odtisa kot orodje, katerega cilj je olajšati učinkovito, pravično in trajnostno rabo vodnih virov (Derk idr., 2011).

V tabeli 1 so predstavljena kritična vprašanja, ki so pomembna pri ocenjevanju trajnostnega vodnega odtisa. Zaradi proučevanja lokalnega trga je prikazan le del, ki se nanaša na lokalno raven, medtem ko ostala dva dela, ki se nanašata na širše okolje, na porečje in kar je izven porečja (globalno), v tem delu nista predstavljena.

Tabela 1: **Kritična vprašanja, ki se zastavijo pri ocenjevanju trajnostnega vodnega odtisa**

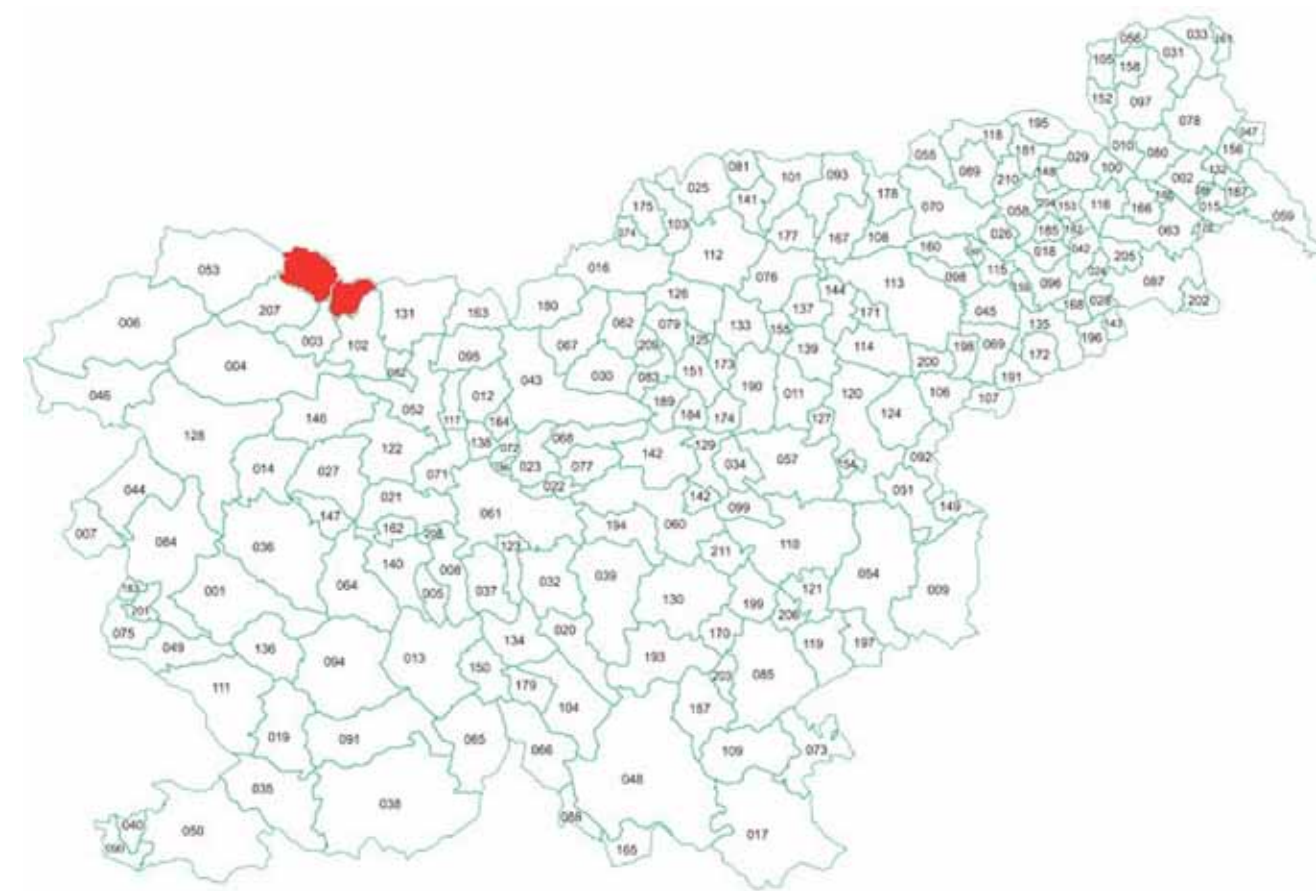
	Okoljski vidik	Socialni vidik	Ekonomski vidik
Lokalna raven	Ali zeleni vodni odtis daje prednost proizvodnji na račun naravne vegetacije in biološke raznolikosti?	Ali je vodni odtis prikrajšal ostale lokalne uporabnike vode?	Ali ni cena vode za uporabnika pod njegovimi realnimi ekonomskimi stroški, ki se odražajo v neučinkoviti uporabi?
	Ali modri vodni odtis ne upošteva krožnega pogoja lokalnega okolja v vsakem trenutku?		Ali se lahko voda shrani brez zmanjšanja proizvodnje?
	Ali sivi vodni odtis ne upošteva lokalnega standarda kakovosti vode?		Ali je vodna produktivnost optimalna?
			Ali je zmanjšanje prodaje vode v odločitvi, da se voda porabi?

Vir: Water Footprint and Corporate Water Accounting for Resource Efficiency; Derk idr., 2011 po Water Footprint Manual; Hoekstra idr., 2009.

4. UMESTITEV ŠTUDIJE PRIMERA

Slovenija meri 20.273 kvadratnih kilometrov in sodi med manjše države v Evropi. Glede na lego jo štejemo med alpske države. Upravno je razdeljena na 212 občin. Oskrba s pitno vodo je organizirana na lokalni ravni občin, ki izberejo enega izvajalca. Lahko pa več občin izbere istega izvajalca, saj konkurenca v tej dejavnosti ni možna.

Po podatkih Evropske okoljske agencije je Slovenija bogata z vodami, čeprav vode niso enakomerno prostorsko razporejene. Občini Jesenice in Žirovnica se razprostirata na skrajnem severozahodu Slovenije in zavzemata skupaj 118 kvadratnih kilometrov. Občini imata skupaj 25.759 prebivalcev in obsegata večji del doline ob Savi ter stranske gorske doline med Karavankami in visokimi grebeni Julijskih Alp. Občini spadata med območja z največ vode.



Slika 1: Lega občin Jesenice in Žirovnica

V tabeli 2 so zbrani primerjalni podatki med Slovenijo in lokalnim trgom občin Jesenice in Žirovnica.



Tabela 2: Primerjalni podatki

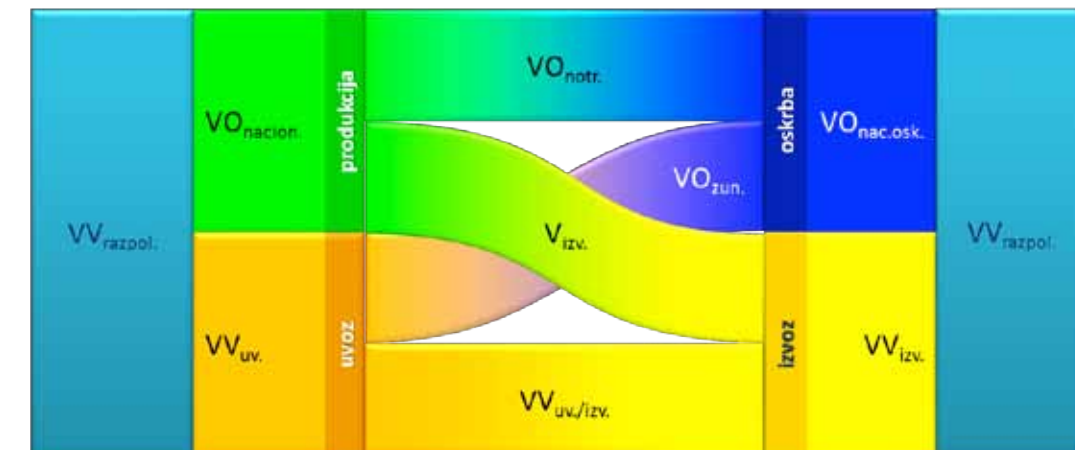
	Slovenija	Lokalni trg	V % lokalni trg/Slovenija
Delež kmetijskih zemljišč v uporabi glede na celotno površino občine (v %)	23,4	7,9	33,76
Delež površine njiv glede na kmetijsko zemljišče v uporabi (v %)	35,9	3,4	9,47
Delež površine trajnih nasadov glede na kmetijsko zemljišče v uporabi (v %)	5,6	1	17,86
Površina njiv na 1000 prebivalcev (v ha)	83	1	1,20
Število dreves	1.629.144	3611	0,22
Število kmetijskih gospodarstev	56.511	121	0,21
Kmetijska zemljišča v uporabi (v ha)	474.432	1031	0,22
Njive (v ha)	170.144	20	0,01
Trajni travniki in pašniki (v ha)	277.492	1005	0,36
Trajni nasadi (v ha)	26.796	6	0,02
Gozd (v ha)	373.629	1309	0,35
Nerodovitna zemljišča (v ha)	17.049	28	0,16
Govedo	472.333	1400	0,30
Prašiči	382.031	47	0,01
Perutnina	4.900.990	1256	0,03
Konji	22.673	162	0,71

Vir: SURS, 2016.

5. METODE IN UPORABLJENI PODATKI

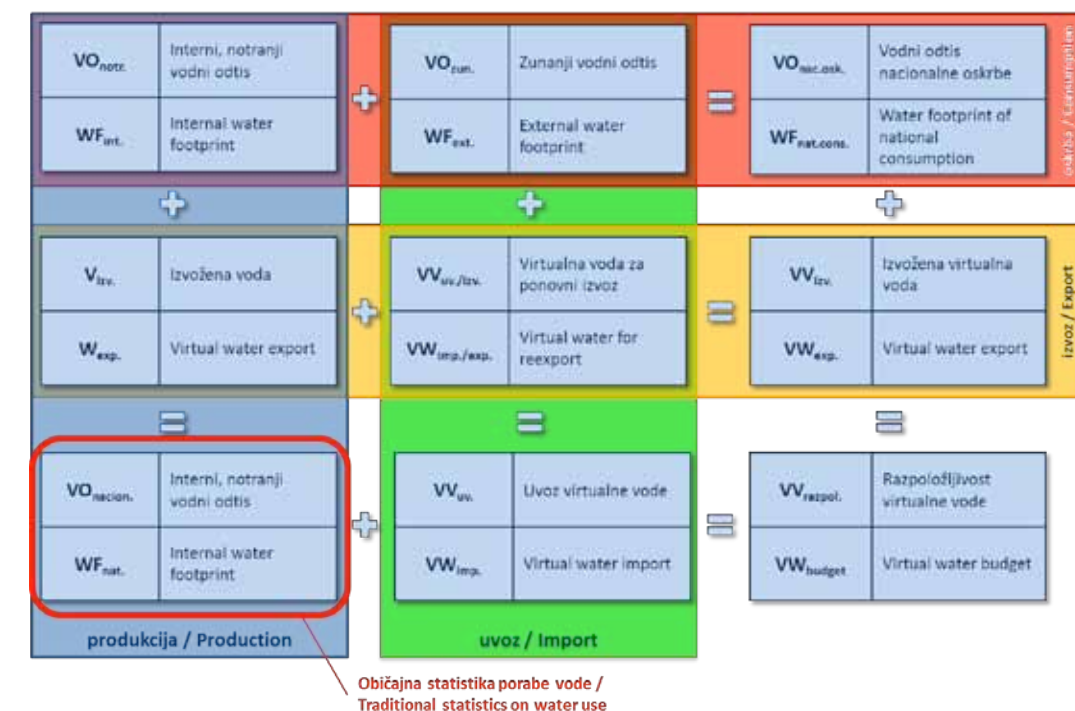
Na sliki 2 je prikazan bilančni diagram vodnega odtisa in virtualne vode, povzet po Balantič in Balantič (2012). Avtorja sta prikazala tehniški način prikaza bilanc z uporabo Sankeyjevega diagrama, na osnovi priročnika iz leta 2011 »The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard«, avtorjev Hoekstra idr., ki predstavljajo vodno bilanco dokaj opisno.

Balantič in Balantič (2012) navajata, da se ta vrsta diagramov uporablja za prikaz energetskih ali snovnih tokov in da se pri teh prikazih lahko omejimo na določene manjše sisteme v okviru občin ali celo posameznih predelovalnih verig. Predstavitev je lahko uporabna tudi za večje sisteme, kot so države ali regije.



Slika 2: Bilančni diagram vodnega odtisa in virtualne vode v državi

Vir: Balantič in Balantič, 2012.



Slika 3: Komponente bilančnega diagrama

Legenda k sliki 2 in 3:

VO _{notr.}	Interni/notranji vodni odtis države je poraba vode v državi za proizvodnjo blaga in storitev, ki jih bomo uporabljali v državi.
VO _{zun.}	Eksterni/zunanji vodni odtis neke države je letna količina vodnih virov, ki se uporabljajo v drugih državah, da proizvedejo blago in storitve, uvožene v in porabljene v obravnavani (naši) državi.
VO _{nacion.}	Vodni odtis države, ki ga odtisnemo s porabo vode za produkcijo (poraba v nacionalnih okvirih in voda potrebna za produkcijo izdelkov, ki jih uporabijo izven naše države). Ta količina vode je običajno obravnavana s statistično obravnavo (merjenje in obračun porabe).



$V_{izv.}$	Voda, ki jo uporabimo za produkcijo izdelkov, ki jih izvozimo.
$VV_{uv./izv.}$	Virtualna voda, potrebna za uvožene izdelke in polizdelke, ki jih vgrajujemo in izvozimo. Ta VV svojo pot začne in zaključi v tujini.
$VV_{izv.}$	Izvožena virtualna voda.
$VO_{nac.osk.}$	Poudarjen vodni odtis države, ki ga odtisnemo s porabo vse vode (voda, ki jo zajamemo v tradicionalni statistiki porabe vode in voda, ki jo uvozimo z izdelki).
$VV_{uv.}$	Uvožena virtualna voda.
$VV_{razpol.}$	Vodna bilanca virtualne vode.

Za testiranje raziskovalnih vprašanj smo uporabili podatke, ki smo jih pridobili pri izvajalcu oskrbe s pitno vodo lokalnega trga in pri Statističnem uradu Republike Slovenije (SURS 2016a). Pri preverjanju vprašanj se uporabljata lahko izraza porabljena ali prodana voda. Podatki se nanašajo na prodano pitno vodo in predpostavlja se, da je ta voda tudi porabljena. Ostali podatki so pridobljeni preko spletnega portala Water footprint network (WFN, 2016a) in zaprtega portala Ebonitete (2016). Glede na raziskovalni vprašanji smo za analizo izbrali spremenljivke, prikazane v tabeli 3.

Tabela 3: Opis spremenljivk za raziskovalni vprašanji

Ime	Opis	Vir
$VO_{prod.}$	Načrpana voda in dobavljena voda iz javnega vodovoda. Obdobje: leto 2014	JEKO, b. l.; SURS, 2016a
$VO_{notr.}$	Načrpana voda in dobavljena voda iz javnega vodovoda, ki se porabi na območju lokalnega trga. Obdobje: leto 2014	JEKO, b. l.
$V_{izv.}$	Načrpana voda in dobavljena voda iz javnega vodovoda, ki se ne porabi na območju lokalnega trga. Spremlja izdelek in se jo izvozi iz lokalnega trga. Obdobje: leto 2014	JEKO, b. l.; SURS, 2016a
$VV_{uv.}$	Podatek celotnega vodnega odtisa uvoženega z izdelki in surovinami na lokalni trg. Obdobje: leto 2014	JEKO, b. l.; WFN, 2016a
$VO_{zun.}$	Podatek celotnega vodnega odtisa posameznika, ki je izračunan za Slovenijo in pomnožen s številom uporabnikov. Obdobje: leto 2014	JEKO, b. l.; WFN, 2016a
$VV_{uv./izv.}$	Virtualna voda lokalnega trga, ki jo pridelovalna podjetja uvažajo s surovinami in izvažajo z izdelki. Obdobje: leto 2014	Ebonitete.si, 2016
$VO_{por.}$	$VO_{notr.} + VO_{zun.}$	JEKO, b. l.; WFN, 2016a

$VV_{izv.}$	$V_{izv.} + VV_{uv./izv.}$	JEKO, b. l.; SURS, 2016a; Ebonitete.si, 2016
Modri vodni odtis	Spremenljivka predstavlja vso prodano vodo, vodne izgube in vodo, ki jo odvzemajo gospodinjstva sama (lastna voda) v m ³ . Obdobje: od januarja 2003 do decembra 2015	JEKO, b. l.
Zeleni vodni odtis	Spremenljivka predstavlja količino padavin na lokalnem trgu v m ³ , izmerjeno na sedmih merilnih mestih. Obdobje: od januarja 2003 do decembra 2015	JEKO, b. l.

Za analiziranje prvega raziskovalnega vprašanja smo zbrali letne podatke o načrpani in dobavljeni vodi iz javnega vodovoda, o količini porabljene vode na lokalnem trgu in količini vode, ki spremlja izdelke in se ne porabi na lokalnem trgu. Zbrane podatke smo preračunavali in prikazali v tabeli 4 in jih nato prikazali s Sankeyjevim diagramom.

Za analiziranje drugega raziskovalnega vprašanja smo zbrali mesečne podatke o količini prodane vode, vodnih izgub, porabljene lastne vode gospodinjstev, o količini padavin in skupni količini vode. Podatke smo zbrali v preglednicah programa Microsoft Excel in jih obdelali s programskim paketom IBM SPSS Statistics 23 (IBM Statistical Package for Social Sciences). Primerjali smo letna povprečja od 2003 do 2015 med seboj, za to je bila uporabljena analiza variance ali krajše ANOVA.

6. REZULTATI PRVEGA RAZISKOVALNEGA VPRAŠANJA

Za preverjanje, ali je na območju lokalnega trga večji uvoz virtualne vode kot vodni odtis, ki ga odtisnemo s porabo merjene in obračunane vode za produkcijo, smo izbrali leto 2014, zadnje leto, za katero SURS razpolaga s podatki.

Voda za produkcijo, notranji vodni odtis lokalnega trga in voda, izvožena z izdelki, so bili zbrani merjeni podatki. Uvožena virtualna voda, zunanji vodni odtis in zunanji vodni odtis, ki se ponovno izvozi, so izračunani na osnovi povprečnih podatkov, ki so dostopni v literaturi.

O vodnem odtisu posameznika v dostopnem gradivu ni enotnega povprečnega podatka porabe virtualne vode. Razlike nastajajo zaradi različnih zajemanj podatkov. Za analiziranje smo uporabili podatek, ki ga objavlja Water footprint network (2016a). Upoštevan je podatek celotnega vodnega odtisa posameznika, tj. 5500 litrov dnevno, ki je izračunan za Slovenijo. Poleg tega podatka smo upoštevali še število posameznikov na lokalnem trgu. Pri tem je odšteta dejanska poraba merjene vode.

Ravno tako ni merjenega podatka za virtualno vodo, ki je bila potrebna za uvožene izdelke in polizdelke, ki jih na lokalnem trgu proizvodna podjetja vgrajujejo in ponovno izvažajo. Ta virtualna voda svojo pot začne in zaključi izven lokalnega trga. Za izračun smo uporabili



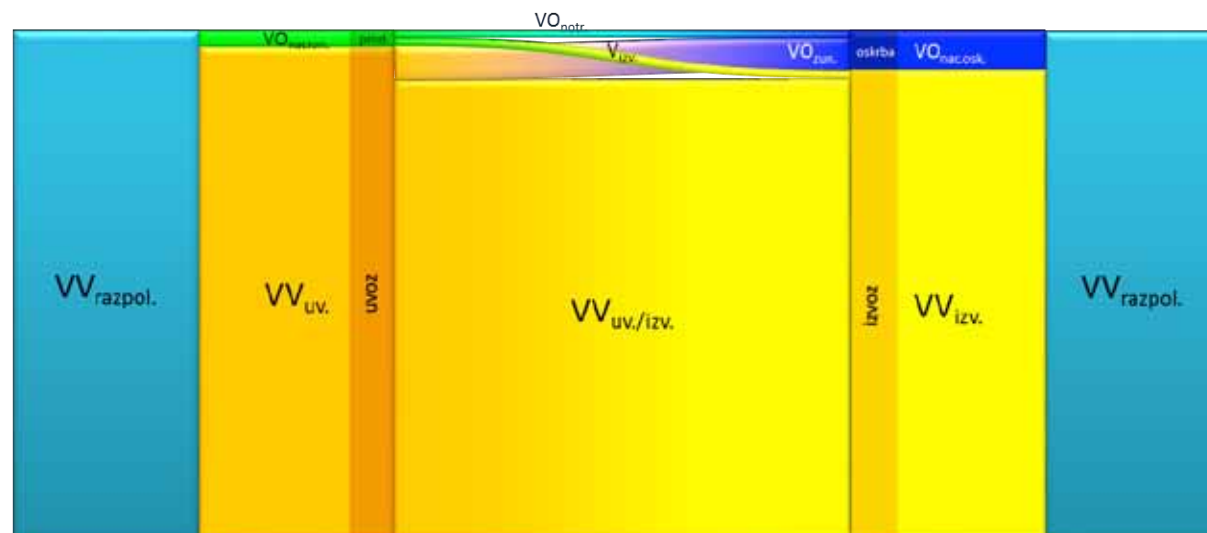
podatek, ki ga navaja Joan Zygmunt (2007) v svojem delu, koliko virtualne vode se porabi za kovino, plastiko, steklo, gumo in ostalo. Količino vode smo izračunali na osnovi izkazov poslovnega izida za proizvodna podjetja, kjer smo upoštevali kategorijo stroška materiala. Glede na to, da je v pretežni meri na lokalnem trgu kovinska panoga, smo za izračun upoštevali 39 litrov virtualne vode, potrebne za en kilogram železa. V letu 2014 se je cena železove rude močno spremenila, zato smo upoštevali letno povprečno ceno 73 evrov za tono. Na osnovi tega podatka smo izračunali uvoženo virtualno vodo, ki se z izdelki ali polizdelki izvozi iz območja lokalnega trga. Podatki za bilančni diagram vodnega odtisa so prikazani v tabeli 4.

Tabela 4: **Podatki za bilančni diagram vodnega odtisa in virtualne vode lokalnega trga**

Podatki v 1000 m³

Leto	VO prod.	VO notr.	V izv.	VV uv.	VO zun.	VV uv./izv.	VO por.	VV izv.	VV bil.
2014	3897	1323	2574	243.629	46.102	197.527	47.425	200.101	247.526

Na sliki 4 je prikazan bilančni diagram vodnega odtisa in virtualne vode lokalnega trga.



Slika 4: Bilančni diagram vodnega odtisa in virtualne vode lokalnega trga

Na osnovi zbranih in preračunanih podatkov lahko potrdimo, da je na območju lokalnega trga večji uvoz virtualne vode kot vodni odtis, ki ga odtisnemo s porabo merjene in obračunane vode za produkcijo. Količina uvožene virtualne vode na lokalnem trgu je za petino višja od količine izvožene virtualne vode lokalnega trga, kar predstavlja pozitivno vodno bilanco. Kljub proizvodni industriji in rabi vode uporabnikov na lokalnem trgu količina merjene in dobavljene vode predstavlja le dva odstotka od vse vode na strani zajema vodne bilance lokalnega trga. Na drugi strani vodne bilance predstavlja poraba 19 odstotkov od vse vode na strani porabe vodne bilance lokalnega trga.

7. REZULTATI DRUGEGA RAZISKOVALNEGA VPRAŠANJA

Za preverjanje razlik med povprečnimi letnimi količinami modre in zelene vode smo izvedli analizo variance na osnovi 156 mesečnih podatkov od januarja 2003 do decembra 2015.

Spremenljivki, ki smo ju analizirali, sta modri vodni odtis, ki ga tvorijo porabljena voda po vodomernih, vodna izguba, porabljena lastna voda, in zeleni vodni odtis, ki ga tvorijo padavine.

Tabela 5 prikazuje opisne statistike za izvedeno analizo. Stolpec povprečje (Mean) nam prikazuje povprečno letno količino padavin v kubičnih metrih, medtem ko nam standardni odklon (Std. Deviation) kaže, da so razlike v razpršenosti odgovorov najnižje pri modrem vodnem odtisu v letu 2010 in najvišje v letu 2005. Pri zelenem vodnem odtisu so razlike v razpršenosti odgovorov najnižje v letu 2006 in najvišje v letu 2014. Zadnja dva stolpca nam prikazujeta najmanjše (Minimum) in največje (Maximum) količine padavin. Največja količina modrega vodnega odtisa je bila v letu 2003 in najnižja v letu 2015, medtem ko je bila največja količina zelenega vodnega odtisa v letu 2014 in najnižja v letu 2015.

Tabela 5: **Opisne statistike**

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Modri vodni odtis	2003	12	246921,6250	9120,751392	2632,934136	241126,5760	252716,6740	228940,5000	263748,0000
	2004	12	234431,2613	10761,57354	3106,598690	227593,6836	241268,8389	204138,4650	245228,2050
	2005	12	227368,1563	11927,01829	3443,033609	219790,0904	234946,2221	201437,7900	243288,9150
	2006	12	223923,3200	8513,003426	2457,492410	218514,4157	229332,2243	200601,2100	232038,5550
	2007	12	219493,1475	11191,09239	3230,590102	212382,6666	226603,6284	197735,4900	236882,4450
	2008	12	220684,4062	7453,883609	2151,750854	215948,4346	225420,3779	202860,5100	229116,9900
	2009	12	214100,9325	11395,92487	3289,720147	206860,3073	221341,5577	193978,7100	230801,6250
	2010	12	207865,2725	4504,746019	1300,408163	205003,0934	210727,4516	198396,6000	215510,5650
	2011	12	204941,5437	8636,009287	2493,001143	199454,4852	210428,6023	191929,8750	218647,1250
	2012	12	195979,5545	10945,24099	3159,618915	189025,2802	202933,8288	173066,4686	214886,5040
	2013	12	187208,6474	9024,679112	2605,200457	181474,6399	192942,6550	177134,9996	209100,6171
	2014	12	182804,1762	8186,512302	2363,242541	177602,7144	188005,6380	171775,9866	198259,2984
	2015	12	183361,3491	10696,01427	3087,673360	176565,4258	190157,2723	169291,5503	207463,6972
	Total	156	211467,9532	21455,16156	1717,787705	208074,6575	214861,2490	169291,5503	263748,0000
Zeleni vodni odtis	2003	12	14776335,42	8262684,966	2385231,695	9526475,853	20026194,98	190320,0000	30969715,00
	2004	12	20058077,92	8212647,630	2370787,160	14840010,56	25276145,27	9017125,000	40371070,00
	2005	12	16499672,50	9561590,473	2760193,417	10424527,75	22574817,25	1173905,000	30884890,00
	2006	12	14266074,33	7305237,734	2108840,486	9624547,719	18907600,95	6212178,000	28203516,00
	2007	12	15663133,83	8893695,750	2567388,818	10012349,15	21313918,52	3144696,000	34978908,00
	2008	12	23539952,67	10960006,18	3163881,259	16576296,97	30503608,37	6477692,000	48417016,00
	2009	12	23029957,17	9182530,358	2650768,187	17195655,72	28864258,61	10304620,00	38159826,00
	2010	12	23678975,33	12112492,53	3496575,410	15983064,74	31374885,92	7071164,000	47584656,00
	2011	12	15742480,33	10295493,66	2972053,019	9201035,744	22283924,92	1908620,000	37320812,00
	2012	12	20298184,00	14645095,79	4227674,997	10993134,07	29603233,93	1588228,000	44022092,00
	2013	12	19137088,67	10423089,80	3008886,850	12514573,36	25759603,97	5849400,000	41781580,00
	2014	12	25276329,67	15522508,14	4480962,127	15413798,52	35138860,81	7312728,000	54224052,00
	2015	12	15239666,33	12343026,47	3563124,828	7397281,463	23082051,20	80788,00000	40776236,00
	Total	156	19015840,63	11090557,74	887955,2679	17261785,22	20769896,04	80788,00000	54224052,00

Naslednji izpis (tabela 6) je test homogenosti varianc med leti in vključuje modri in zeleni vodni odtis. P-vrednost testa je tako pri modrem kot pri zelenem vodnem odtisu večja od 0,05,



torej ničelne domneve o enakosti varianc ne moremo zavrniti pri petodstotnem tveganju. Zato smo lahko nadaljevali s pregledom tabele ANOVA.

Tabela 6: **Test homogenosti varianc za modri in zeleni vodni odtis**

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Modri vodni odtis	,764	12	143	,686
Zeleni vodni odtis	1,481	12	143	,138

Rezultati ANOVE so prikazani v tabeli 7. Pri modrem vodnem odtisu je p-vrednost enaka 0,000 in je nižja od 0,05, torej ničelno domnevo o enakosti povprečne količine porabljene pitne vode v obdobju med leti 2003 in 2015 lahko zavrnemo pri petodstotnem tveganju.

P-vrednost pri zelenem vodnem odtisu je enaka 0,112 in je večja od 0,05, torej ničelne domneve o enakosti povprečne količine padavin med leti 2003 in 2015 ne moremo zavrniti pri petodstotnem tveganju.

Tabela 7: **Analiza variance–ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Modri vodni odtis	Between Groups	5,813E+10	12	4844079357	52,393	,000
	Within Groups	1,322E+10	143	92456371,42		
	Total	7,135E+10	155			
Zeleni vodni odtis	Between Groups	2,200E+15	12	1,833E+14	1,555	,112
	Within Groups	1,686E+16	143	1,179E+14		
	Total	1,907E+16	155			

Odgovor na raziskovalno vprašanje ali se na lokalnem trgu povprečna količina modre in zelene vode v obdobju od 2003 do 2015 razlikuje med leti, je pri modrem vodnem odtisu pozitiven, saj med leti obstajajo statistično značilne razlike porabljene vode. Pri zelenem vodnem odtisu je odgovor negativen, saj med leti ni statistično značilnih razlik v količini padavin na lokalnem trgu.

Na osnovi ugotovitve, da obstajajo statistično značilne razlike v porabljeni količini vode, ki predstavlja modri vodni odtis, smo izvedli še multiplo oziroma večkratno primerjavo. Glede na to, da so skupine enako velike, hkrati pa je izpolnjena predpostavka o enakosti varianc med skupinami, smo izvedli Tukeyjev HSD-test. Ugotovili smo, da obstajajo statistično značilne razlike v porabi vode v okviru modrega vodnega odtisa med leti:

- 2003 in 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015,
- 2004 in 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015,
- 2005 in 2003, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015,
- 2006 in 2003, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015,
- 2007 in 2003, 2004, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015,

- 2008 in 2003, 2004, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015,
- 2009 in 2003, 2004, 2005, 2012, 2013, 2014, 2015,
- 2010 in 2003, 2004, 2005, 2006, 2013, 2014, 2015,
- 2011 in 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2013, 2014, 2015,
- 2012 in 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009,
- 2013 in 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011,
- 2014 in 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 in
- 2015 in 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011.

8. SKLEP

Voda je naravna dobrina in je nujno potrebna za življenje, zato je upravljanje in varovanje vodnih virov eden od temeljev varovanja okolja. Evropska zakonodaja in posledično državna zakonodaja ter zakonska določila na ravni lokalne skupnosti so v zadnjih tridesetih letih uspešno prispevali k varstvu voda. Učinkovita, pravična in trajnostna raba vodnih virov je možna z upoštevanjem trajnosti vodnega odtisa.

V raziskavi smo ugotavljali in potrdili, da je na območju lokalnega trga večji uvoz virtualne vode kot vodni odtis, ki ga odtisnemo s porabo merjene in obračunane vode za produkcijo. Polega tega je bilo ugotovljeno, da se povprečna količina zelene vode ne spreminja, kar je predvsem zelo pomembno za rast rastlin, in da se povprečna količina modre vode med leti razlikuje. Pomembno je, da se količina porabljene vode zmanjšuje, predvsem zaradi zmanjšanja porabe vode v industriji. Poraba vode se je znižala več kot trikrat v procesih izdelave in obdelave jekla zaradi novih naložb v hladilne sisteme, kjer se je večina pretočnih sistemov nadomestila z zaprtimi hladilnimi sistemi.

Z okoljskega vidika na lokalnem trgu zeleni vodni odtis ne daje prednosti proizvodnji zaradi naravne vegetacije in biološke raznolikosti, saj se povprečna količina padavin med leti statistično ne razlikuje in zadostuje za vegetacijo lokalnega trga, ki je navedena v tabeli 2. Uporabniki imajo na lokalnem trgu preko celega leta omogočeno oskrbo z modro vodo, ki se zajema na sedmih vodnih virih. Uporabljena voda preko kanalizacijskega sistema, ki je na lokalnem trgu 80-odstoten, zaključi na čistilni napravi, ki izvaja tretjo stopnjo čiščenja, kar omogoča, da se poleg razgradnje bioloških organskih vsebin odstranijo še nekatere dušikove in fosforjeve spojine.

S socialnega vidika vodni odtis lokalnega trga ni prikrajšal uporabnikov vode, saj ni bilo nobenih omejitev in opozoril zaradi pomanjkanja pitne vode. Z ekonomskega vidika ostaja še nekaj odprtih vprašanj, predvsem na področju optimalne produktivnosti, glede na to, da obstajajo vodne izgube.

LITERATURA IN VIRI

1. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), 2016. Vode. Dostopno na: <http://www.arso.gov.si/vode/> [8. 5. 2016].
2. Balantič, Z., Balantič, B., 2012. Izboljševanje učinkovitosti zmanjševanja vodnega odtisa. *Gospodarjenje z okoljem*, 21(84), 2–6.
3. Balantič, Z., Balantič, B., Jarc Kovačič, B., 2014. Nova paradigma bilance vodnega odtisa. *Biotehniški center Naklo*, 3, 336–345.
4. Bergant, K., Kajfež Bogataj, L., Sušnik, A., Cegnar, T., Črepinšek, Z., Kurnik, B., Pečenko, A., 2004. Spremembe podjetja in kmetijstvo v Sloveniji. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.
5. Kuiper, D., Zarate, E., Alda, M., Morrison, J., Schulte, P., Schulte, R., 2011. Water Footprint and Corporate Water Accounting for Resource Efficiency. United Nations Environment Programme. Dostopno na: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1411xPA-WaterFootprint.pdf>
6. Hoekstra, A. Y., 2003. Virtual Water Trade. International Expert Meeting on Virtual Water Trade, 12(12), 1–244. Dostopno na: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf>
7. Hoekstra, A. Y., Mekonnen, M. M., 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(9), 3232–3237. Dostopno na: <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00007-5>
8. Lovarelli, D., Bacenetti, J., Fiala, M., 2016. Water Footprint of crop productions: A review. *Science of The Total Environment*, 548–549, 236–251. Dostopno na: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.022>
9. Poje, M., Dobnikar Tehovnik, M., Kranjc, M., Triščič, N., Krsnik, P., Mihorko, P., 2008. Kakovost površinskih virov pitne vode v Sloveniji. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.
10. Rismal, M., 2012. Problemi upravljanja voda v Sloveniji in gospodarjenja z njimi. *Gradbeni vestnik*, 61(8), 177–182.
11. Roš, M., Zupančič, G. D., 2010. Čiščenje odpadnih voda. Velenje: Visoka šola za varstvo okolja.
12. Samuelson, P. A., Nordhaus, W. D., 2002. *Ekonomija*. Ljubljana: GV Založba.
13. Zygmunt, J., 2007. *Hidden Waters - A Waterwise Briefing*. London: Waterwise.
14. Žitnik, M., Čuček, S., Pograjc, M., 2013. Voda – od izvira do izpusta. Ljubljana: Statistični urad Republike Slovenije.
15. Water footprint network (WFN), 2016. Kaj je vodni odtis? Dostopno na: <http://waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/> [1. 4. 2016].
16. Water footprint network (WFN), 2016a. National water footprint explorer. Dostopno na: <http://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/national-water-footprint-explorer/> [1. 4. 2016].
17. Worldometers DadaX, 2016. Svetovni števci. Dostopno na: <http://www.worldometers.info/> [29. 3. 2016].

