SLOVENSKO DRUŠTVO
ZA ZAŠČITO VODA

Simpozij z mednarodno udeležbo

VODNI DNEVI 2020

ZBORNIK REFERATOV

17.–18. september 2020

Rimske Toplice, Kongresni center Rimske terme

ZBORNIK REFERATOV SIMPOZIJA
VODNI DNEVI 2020 Z MEDNARODNO UDELEŽBO

Rimske Toplice, september 2020

Izdajatelj: Slovensko društvo za zaščito voda

Urednica zbornika: mag. Stanka Cerkvenik

Programski odbor
Predsednica: dr. Marjetka Levstek
Člani: prof. dr. Mihael J. Toman
dr. Brigita Jamnik
dr. Polona Pengal
mag. Mojca Vrbančič
Nataša Uranjek

Lektoriranje: Anja Miklavčič

Oblikovanje in prelom: Melita Rak

E-gradivo

Ljubljana, 2020

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani
COBISS.SI-ID=28384771
ISBN 978-961-6631-16-7 (pdf)

UVODNA BESEDA PREDSEDNICE SLOVENSKEGA DRUŠTVA ZA ZAŠČITO VODA

Spoštovani!

Za večino prebivalcev Slovenije je dostopnost vode samoumevna, saj nam je na voljo vsak trenutek in v količini, kot jo potrebujemo. Kljub temu pa bo pozoren in okoljsko občutljiv uporabnik vode vsakodnevno zaznaval dogajanja okoli nas, ki so skrb vzbujajoča. Urbana raba prostora ima vpliv tako na kakovost kot tudi količino vodnih virov. Človek s posegi v okolje in naravo ruši naravno ravnotežje, vpliva na upadanje biotske raznovrstnosti ter povzroča neugodne spremembe v življenjskih razmerah za veliko živih bitij našega planeta. Smo pred velikim družbenim izzivom, kako negativne vplive človeka na planet vsaj upočasniti, če že ne zaustaviti.

Skrajni čas je, da preidemo h konkretnim dejanjem. Na letošnjem simpoziju Vodni dnevi smo naredili enega od potrebnih korakov ter združili znanje, izkušnje, dobre prakse strokovnjakov iz mednarodnih organizacij, državnih organov, raziskovalnih in zdravstvenih institucij kot tudi upravljavcev vodovodnih in kanalizacijskih sistemov ter čistilnih naprav. Voda je povezovalni element vseh sedemnajstih ciljev »Agende za trajnostni razvoj do leta 2030«, ki jo je sprejel vrh OZN. Na simpoziju smo jo poglobljeno obravnavali s stališča štirih ciljev: Čista voda in sanitarna ureditev, Cenovno dostopna in čista energija, Industrija, inovacije in infrastruktura ter Življenje v vodi. Razpravljali smo o celostnem upravljanju z vodami na državni in lokalni ravni s stališča zagotavljanja virov pitne vode kot tudi o vplivih namakanja kmetijskih zemljišč na vodne vire ter se med drugim dotaknili vprašanja varnosti oskrbe s pitno vodo. Predstavili smo inovativne pristope pri čiščenju odpadne vode in zagotavljanju energetske samozadostnosti čistilnih naprav, posebnosti postopkov čiščenja industrijske odpadne vode ter učinkovitost odstranjevanja virusov in mikroplastike na čistilnih napravah. Posebno pozornost smo namenili tudi dobri kmetijski praksi pri zmanjšanju pritiskov in vplivov na vodna telesa ter spoznali, kako se vplivi našega delovanja odražajo na vodnih organizmih.

Voda je strateška surovina, in naša dolžnost je, da jo ohranimo v največji možni meri. Pri tem je vse bolj aktualna misel, ki jo je že pred časom zapisal Giuseppe Tomasi di Lampedusa: »Vse se mora spremeniti, če želimo, da se nič ne spremeni.«

Naj vam strokovni prispevki, zbrani v tem zborniku, pomagajo pri teh spremembah.

Slovensko društvo za zaščito voda
dr. Marjetka Levstek, predsednica

KAZALO

3 **Uvodna beseda predsednice Slovenskega društva za zaščito voda**
dr. Marjetka Levstek

9 **Voda, ki povezuje, voda, ki razdružuje.**
Sociološki pogled na aktualne probleme vodá
dr. Pavel Gantar

19 **Enabling River Restoration: The French Experience**
dr. Benoit Terrier

23 **Upravljanje z vodnimi viri v jugozahodni Sloveniji**
dr. Uroš Krajnc, doc. dr. Andrej Kryžanowski

35 **Sistemska ureditev zagotavljanja varne pitne vode**
doc. dr. Mojca Jevšnik, Irena Sušelj Šajn, Pia Leban

49 **Predstavitev novega vodovodnega sistema**
na Onkološkem inštitutu ljubljana
dr. Andrej Šarc

61 **Problematika čiščenja mlekarske odpadne vode**
dr. Marjetka Levstek, mag. Barbara Brajer Humar, dr. Marjetka Stražar,
Valerija Javornik, Stojan Kogej, Daniel Kelečević

71 **Potovanje mikroplastike po vodnih ekosistemih v Sloveniji**
dr. Manca Kovač Viršek

83 **Virusi v odpadni vodi: analize odpadne vode**
za spremljanje epidemije novega koronavirusa
Katarina Bačnik, dr. Denis Kutnjak, Olivera Maksimović,
Carvalho Ferreira, Zala Kogej, dr. Ana Vučurović, Anja Pecman,
dr. Nataša Mehle, dr. Mojca Milavec, dr. Magda Tušek Žnidarič,
dr. Ion Gutiérrez-Aguirre, prof. dr. Maja Ravnikar

91 **Gospodarjenje in upravljanje kmetijskih sistemov za zagotavljanje vode**
dobre kakovosti za oskrbo s pitno vodo (FAIRWAY)
doc. dr. Matjaž Glavan, asist. dr. Rozalija Cvejić, dr. Susanne Klages, dr. Oene Oenema,
Meindert Commelin, prof. dr. Peter Schipper, dr. Gerard Velthof, Fiona A. Nicholson,
prof. dr. Berit Hasler, Rikke Krogshave Laursen, Froukje Maria Platjouw,
Sandra Boekhold, Susanne Wuijts, Nicolas Surdyk, prof. dr. Marina Pintar

103 **Pogled pod površje – živi svet v podzemnih vodah rečnih nanosov**
dr. Nataša Mori, dr. Barbara Debeljak, doc. dr. Maja Zagmajster,
doc. dr. Cene Fišer, prof. dr. Anton Brancelj

117 **Človeška ribica kot pokazatelj stanja podzemne vode**
prof. dr. Rok Kostanjšek

123 **Izboljšanje odziva kmetijstva na podnebne spremembe s sistemom za podporo o odločanju o namakanju**
doc. dr. Matjaž Glavan, dr. Rozalija Cvejić, Luka Honzak, Urša Pečan, Špela Železnikar, prof. dr. Marina Pintar

135 **Učinkovitejša raba vode in hranil v rastlinski pridelavi za varovanje in izboljšanje kakovosti virov pitne vode**
doc. dr. Matjaž Glavan, doc. dr. Vesna Zupanc, asist. dr. Rozalija Cvejić, Špela Železnikar, Miha Curk, Urša Pečan, dr. Rok Mihelič, doc. dr. Marjetka Suhadolc, dr. Igor Prša, dr. Janko Urbanc, dr. Sonja Cerar, Goran Vižintin, dr. Anja Koroša, dr. Nina Mali, Špela Arh Marinčič, prof. dr. Marina Pintar

149 **Bakterije, odporne proti antibiotikom, v bolnišničnih odpadnih vodah**
doc. dr. Urška Rozman, doc. dr. Darja Duh, Mojca Cimerman, red. prof. dr. Sonja Šostar Turk

161 **O vodi se učimo**
Marija Frontini

167 **Vpliv encimov na proizvodnjo metana iz papirniškega blata v mezofilnem semikontinuirnem anaerobnem procesu**
doc. dr. Sabina Kolbl, Blaž Stres

181 **Problematika vtokov odpadne vode v sistem javne kanalizacije**
Dejan Tacer, Primož Rebrec, Zoran Nađ

189 **Sonaravne rešitve za čiščenje odpadnih vodá**
Anja Potokar, Urša Brodnik, mag. Alenka Mubi Zalaznik

203 **Razgradnja tekstilnih mikroplastičnih vlaken s fotokatalizo in glivami**
Tina Radošević, Anja Černoša, Manca Kovač Viršek, Martina Kocijan, Damjan Vengust, Cene Gostinčar, Aleš Mihelič, Nina Gunde Cimerman, Sašo Šturm, Matejka Podlogar

215 **Vzpostavitev in izvajanje pomorskega prostorskega načrtovanja v Sloveniji**
Vane Urh, doc. dr. Gregor Čok, Slavko Mezek

229 **Plastika kot onesnaževalo v rečnih sedimentih in njen vpliv na mikrobni metabolizem**
Tjaša Matjašič, dr. Tatjana Simčič, prof. dr. Oliver Bajt, dr. Nataša Mori

239 **Priprava pitne vode z ultrafiltracijo – argumenti za in proti – ter odpadne vode iz priprave pitne vode**
mag. Ludvik Mekuč, Alenka Markun

HACH
Be Right™

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

Ponosni smo, da vam lahko predstavimo **Hachovo** najnovejšo tehnologijo na področju inteligentnega upravljanja voda – **sistem Claros.**

Claros zagotavlja

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

Zmanjšajte negotovost.

Povečajte pravilnost svojih odločitev.

Dobrodošli v svetu CLAROS-a.

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

VODA, KI POVEZUJE, VODA, KI RAZDRUŽUJE. SOCIOLOŠKI POGLED NA AKTUALNE PROBLEME VODÁ

dr. PAVEL GANTAR

1. UVOD

V prispevku nameravam interpretirati nekatere izzive, s katerimi se v Sloveniji srečujemo pri upravljanju z vodami, v luči sodobnega raziskovanja problematike vodá. Gre za prehod od stare k novi »vodni paradigmi«, ki se v zadnjih dvajsetih letih vse močneje uveljavlja na različnih znanstvenih področjih. Obenem smo priča tudi integraciji tradicionalnih »vodnih disciplin«, kot so hidrologija, biologija, kemija, ekologija, fizika, fizična geografija z družboslovnimi pristopi (sociologija, politologija, antropologija in geografija).[1] Kot pravi Bakker: »V fokus znanstvenega opazovanja prihajajo medsebojna razmerja med vodnimi tehnologijami, paradigmami upravljanja z vodami in s tem povezanimi procesi oblikovanja znanj, oblik organizacije in praks družbenega upravljanja (governance).« (2012, str. 618) Razlogi za razširitev raziskovanja vodnega polja s čisto tehničnih in naravoslovnih na družboslovne discipline so pravzaprav na dlani. Problematika v zvezi z vodo, njeno dostopnostjo, kakovostjo, ekosistemsko vlogo ter konflikti v zvezi z rabo vode na globalni svetovni ravni in tudi v Sloveniji prihajajo v ospredje javnega diskurza. Voda postaja družbeno, javno in politično vprašanje. Pravzaprav danes v Sloveniji, ki sicer ne more biti opredeljena kot vodno deficitarna država, ni vodnega problema, ki ne bi povzročal strokovnih, interesnih in političnih sporov, pa naj gre za gradnjo vodovodnih in kanalizacijskih omrežij, hidroelektrarn, raznih objektov vodne infrastrukture, za odpiranje novih vodnih virov ter valorizacijo ekosistemske vloge vode.

Na odprta vprašanja v zvezi z vodami v Sloveniji (in seveda tudi drugje) ne moremo gledati in zgolj odgovarjati v okviru tradicionalne vodne paradigme, kot se je razvila od sredine 19. pa vse do sedemdesetih let 20. stoletja, torej v obdobju, ko je voda postala gonilna sila razvijajočega se kapitalizma, urbanizacije in industrializacije, obenem pa tudi, ko je bilo vprašanje vode zoženo predvsem na tehnična vprašanja zagotavljanja potrebnih vodnih količin za naraščajočo porabo ter sanitarno-higienska vprašanja kakovosti vode za javno oskrbo.

Zato bomo v nadaljevanju najprej orisali razlike med staro in novo, še razvijajočo se vodno paradigmo, ter predstavili implikacije, ki jih prinaša k a) razumevanju vode, ki preči ločnico

1 Treba je poudariti, da sta tudi znotraj tradicionalnega raziskovalnega vodnega polja pravo in ekonomija vedno imela pomembno vlogo. Poenostavljeno rečeno, pravo se je ukvarjalo z vprašanjem, kaj je dovoljeno in kaj ni v zvezi s skupno rabo vode, torej je vzpostavljalo normativne okvire zadovoljevanja individualnih in kolektivnih potreb po vodi. Ekonomija pa je vodo obravnavala kot resurs, torej kot ekonomsko kategorijo brez navezave na specifično »materialnost« vode.

med naravo in družbo/kulturo ter vzpostavlja t. i. hibridno naravo vode; b) k reviziji klasičnega razumevanja vodnega kroga (hidrološki cikel) z družbeno komponento v kroženju vode in s tem za nadgradnjo v t. i. hidrološki družbeni krog (hidrološki družbeni cikel) in c) k prehodu na razumevanje »vode« (v ednini) kot »moderne abstrakcije« in njene monolitne materialnosti k »vodam« (v množini), ki izražajo večpomenskost, fluidnost in prehodnost vodá.

V drugem delu pa bomo, izhajajoč iz novejših pogledov, komentirali nekatera odprta vodna vprašanja, ne da bi se opredelili »za« ali »proti« posameznim rešitvam, ampak da bi pokazali, da je o njih mogoče misliti tudi na drugačen način.

2. KRIZA »MODERNE VODE«

Začenjamo z ugotovitvijo, da se je v zadnjih desetletjih voda v vseh njenih pojavnih oblikah znašla pod pritiskom povečane rabe zaradi naraščanja prebivalstva, onesnaževanja in podnebnih sprememb. Vse več avtorjev ugotavlja, da imamo danes opraviti z »imanentno krizo vode«, ki ima globalni značaj (Menga in Swyngedouw, 2018, str. 1). Podatki, ki jih navajajo mednarodne organizacije, predvsem OZN, govorijo o razsežnostih pomanjkanja vode in vodne stiske[2]. Vendar se vsi ne strinjajo s splošno oceno o globalni krizi vode. Bakkerjeva zatrjuje, da se predvsem v razpravah o privatizaciji vodooskrbe pojavljajo številni miti, med drugim tudi ta, da »je pomanjkanje ustvarilo ‚globalno krizo vode', v resnici pa je ravno obratno, neustrezni modeli upravljanja z vodo so tisti, ki so povzročili pomanjkanje« (2010, str. 213). Podobno meni tudi Barbier, ko govori o vodnem paradoksu, ki ga zaznamuje dejstvo, »da je voda tako pomembna dobrina in hkrati tako slabo upravljana, če kriza vode obstaja, je to predvsem zato, ker je upravljanje z vodami neustrezno in slabo zasnovano« (2019, str. 16). Ali pa Solomon: »Kljub naraščajočemu pomanjkanju in pomembnosti za življenje je, ironično, voda človekov najslabše upravljan, neučinkovito alociran in brezsramno trošen naravni vir.« (2009, str. 376) Ko torej govorimo o »krizi vode«, se ne smemo zapeljati prepričanju, da gre za krizo naravnega vira, saj s tem pravzaprav »naturaliziramo« sodobne težave z vodo, od globalne do lokalnih ravni. Že samo dejstvo, da pet »največjih globalnih korporacij za proizvodnjo hrane in pijač porabi toliko vode, da bi z njo lahko zadovoljili dnevne domače potrebe slehernega prebivalca na planetu« (Solomon, 2009, str. 469), govori proti temu, da bi iskali razloge za krizo v vodi sami. Zato se moramo ozreti k temu, kakšen je in kako se je razvijal družbeni odnos do vode, ne pa toliko v kvantiteti in razpoložljivosti vode kot naravnega vira.

Moderno družbeno pojmovanje in odnos do vode, ki sta danes pod udarom kritike, sta se razvila vzporedno z industrijsko revolucijo, razvojem kapitalizma in ogromnim napredkom na področju vednosti, znanja in tehnologij. Voda v procesu skokovitega, čeprav neenakega industrijskega razvoja ter segmentirane individualne in družbene blaginje ni samo igrala vloge nekakšnega pasivnega vira, ampak je bila s pomočjo tehnologije aktivno vpletena v razvojne procese. Prav ta razmerja med napredujočo tehnologijo, denimo črpanja in odvzemanja vode iz narave, rastočimi potrebami po vodi za industrijo in prebivalstvo v porajajočih se velemestih ter državo, so oblikovala »moderno vodno paradigmo«. V sociološki literaturi pogosto govorijo o »moderni vodi«, ki je povezana s pojmoma modernizacije in modernosti. Modernizacija ne pomeni zgolj racionalizacije in tehnologizacije materialnih proizvodnih procesov, ki jih poganja logika kapitala, temveč tudi velike prostorske rekonfiguracije prebivalstva z urbanizacijo ter zlasti razbitje in preoblikovanje družbenih struktur, zasnovanih na tradicionalni družini in lokalnosti.

Vzpostavila se je nova kultura modernosti kot nekakšen Prometejski projekt, ki ima za cilj ukrotiti in podrediti naravo ter jo napraviti voljno in razpoložljivo človeškim potrebam in zahtevam[3] (Kaika, 2005, str. 12). Spoznanje sredi 19. stoletja, da je voda prenašalec nalezljivih bolezni, je utrlo pot k sanitarno higienski politiki do vode, hkrati pa je temeljito spremenilo odnos do telesa in čistoče; med drugim se je spremenil odnos do umivanja in kopanja, kar je vodilo do večje porabe kot tudi potreb po zagotavljanju čiste (in pitne) vode, ne nazadnje tudi odvajanju odpadnih vodá. »Moderna voda« je vseskozi v presečišču razmerij med tehnologijami, gospodarsko družbenim razvojem in državo (Gandy, 2014, Loc.47), Ali kot pravita Menga in Swyngedouw: »Voda ni samo naravni vir in fizični agent, ampak je globoko vpeta v družbene, politične in ekonomske procese.« (2018, str. 2) V moderni perspektivi je voda močno vpeta v dualizem med človekom in naravo. Prav prek tehnologij in razvoja vodne infrastrukture človek zmaguje nad naravo in izboljšuje pogoje svojega bivanja. Veliki vodni infrastrukturni projekti, kot so velike pregrade, prekopi, preusmerjanje vodotokov, velika vodovodna in kanalizacijska omrežja, so emblem zmage nad naravo in način legitimizacije politične (državne) oblasti, da je uspešna in učinkovita pri pospeševanju gospodarskega razvoja kot tudi blaginje prebivalcev.
Obenem pa se je spremenilo tudi pojmovanje vode. Hamlin opozarja, da je predmoderno pojmovanje vode temeljilo na poudarjanju različnih značilnosti številnih vodá (voda kot reka, jezero, kanal, vodnjak ipd.) in na empiricističnem pogledu na vode, ki ni imela nekega skupnega imenovalca (2000, str. 313). Šele s formulo H_2O se je skozi 19. stoletje uveljavilo pojmovanje vode »kot moderne abstrakcije«, kar pomeni, »da se je vzpostavil vsebinski (esencializiran) pogled na vodo do točke, ki omogoča, da je voda izvzeta iz družbenega konteksta človekove izkušnje in postane nespremenljiva vsebina (esenca), pa naj bo to H_2O ali »vir« (resurs) (Wayne, 2010, Predgovor, 6. odstavek.) Preprosto rečeno, »voda je voda«, ne glede na to, kakšna je družba. Podobno navaja tudi Hamlin, ki pravi, da se je zgodilo poenotenje številnih različnih vodá v eno samo, ki je sicer nosilka številnih posebnosti in nečistoč. Vendar je to še vedno ena sama voda (2000, str. 313). Spoznanje o enovitosti vseh vodá, ne glede na prisotnost različnih »nečistoč«, je spodbudilo tudi »zavedanje o vodi kot potencialu za prenos bolezni, organizacijo oskrbe z vodo pa kot javno potrebo in nujnost« (Hamlin, 2000, str. 322). Voda za javno oskrbo kot tudi zunaj nje je postala standardizirana in kodificirana, iz raznovrstnosti se je spremenila v monolit. »Pitna«, »čista« ali »zdrava« voda postane taka šele, ko ustreza različnim predpisom in pravilnikom, ki določajo njeno kakovost in jo, tako kot velja za H_2O, v naravi, striktno vzeto, pravzaprav ni. Spoznanje o enovitosti in integralnosti vode (v ednini) je utrdilo tudi razkritje in konceptualizacijo »vodnega kroga« (hidrološkega cikla) (Linton, 2010, poglavje The Hydrologic Cycle(s): Scientific and Sacred, 10. odstavek) kot povsem naravnega procesa, ki se dogaja z, brez ali v navzočnosti človeka. Voda je tako še dodatno izvzeta iz družbenega konteksta in je z vidika človekovih potreb opredeljena kot »vir«, ki ga moramo spoznati, obvladovati in uporabiti za svoje potrebe.

2 Po podatkih organizacije water.org kar 700 000 prebivalcev na Zemlji nima dostopa do varne pitne vode, dve milijardi pa nima dostopa do ustreznih sanitarij. Vir: https://water.org/our-impact/water-crisis/ [3. 7. 2020]. Skoraj 2,4 milijarde prebivalstva živi v z vodo deficitarnih predelih. Vir: https://worldwater.io/ [3. 7. 2020].

3 Sama ideja modernosti se začenja pojavljati že v 17. stoletju in je vezana na idejo izboljševanja človekove narave, ki je svoj vrh doživela z razsvetljenstvom. Vendar v začetnem obdobju tehnologije obvladovanja narave, zlasti vode, še niso bile na ravni, ki omogočajo radikalne posege v vodna telesa.

Model moderne rabe vode se je v drugi polovici 20. stoletja, vzporedno z zatonom industrijske družbe, rekonfiguracijo kapitalizma v prevladujoči neoliberalni model, globalizacijo, podnebnimi spremembami in naraščanjem prebivalcev, znašel pod pritiskom. Izkazalo se je, da povečanega povpraševanja po vodi[4] ni več mogoče reševati samo z bolj intenzivno eksploatacijo obstoječih virov in hkrati z odpiranjem vedno novih. Voda ni samo »vir« za človeka, ampak opravlja pomembne ekosistemske storitve. Ne nazadnje je njena obnovljivost v vodnem krogu močno okrnjena prav zaradi onesnaževanja. Skratka, znotraj stare vodne paradigme, ki je temeljila na predpostavki vode kot moderne abstrakcije, enovitosti vode kot naravnega vira in njene razpoložljivosti kot resursa, ni več mogoče reševati potreb po vodi.

3. NA POTI K NOVI PARADIGMI

Razmišljanja o novih pristopih k obravnavanju vode niso nova. Pojavljati so se začela že od osemdesetih let prejšnjega stoletja naprej, dodaten zagon pa so dobila v devetdesetih letih in na prelomu v 21. stoletje. To vsekakor ni nenavadno, saj prav veliki časovni prelomi v novo stoletje ali celo tisočletje pomenijo priložnost za razmislek, kaj je treba spremeniti ali celo zastaviti na novo. Gleick trdi, da novo 21. stoletje zahteva spremembo vodne paradigme in upravljanja z vodnimi viri. Sprememba vodne paradigme vključuje (Gleick, 2000, str. 127):

- premik od iskanja vedno novih virov za vodooskrbo za nove in dodatne potrebe po vodi;
- vključevanje ekoloških vrednot v vodno politiko;
- pri oskrbi z vodo mora biti poudarek na zadovoljevanju osnovnih človekovih potreb (»pravica do vode«), ki morajo imeti prednost pred drugimi potrebami;
- zagotoviti je treba zavestno razvezavo med ekonomsko rastjo in porabo vode.

Nekatere stvari se že dogajajo. Gleick opozarja, da je v ZDA uporaba vode v industriji že upadla za skoraj 40 odstotkov glede na leto 1970, čeprav je produktivnost močno narasla[5] (prav tam, str. 129). Gleick in tudi Barbier opozarjata, da je znotraj nove paradigme treba tudi ponovno premisliti vlogo vodnih veleprojektov, kot so velike pregrade in sploh veliki vodnoinfrastrukturni projekti, ki so sicer izdatno financirani ali subvencionirani s strani države[6] (Gleick, prav tam, str. 130; Barbier, 2019, str. 86). Gleick navaja temeljne elemente nove vodne paradigme, ki si zaslužijo pozornost (2000, str. 131):

- Zadovoljene morajo biti temeljne človekove potrebe po pitni vodi in sanitaciji.
- Zadovoljene morajo biti osnovne ekosistemske potrebe po vodi.
- Višjo prioriteto pri zadovoljevanju potreb po vodi morajo dobiti nestrukturni ukrepi.[7]
- Pri uporabi in upravljanju z vodami je treba pogosteje uporabljati ekonomska načela.[8]
- Novi sistemi, ki zagotavljajo vodooskrbo, če so sploh potrebni, morajo biti fleksibilni in maksimalno učinkoviti.
- Nevladne organizacije, posamezniki, neodvisne raziskovalne organizacije in drugi vpleteni deležniki morajo biti vključeni v odločanje pri upravljanju z vodami.

Ideje v zvezi s spremenjenim družbenim odnosom do vode gredo sicer dosti dlje od zahtev po spremembi in izboljšanju upravljanja z vodami. Vključujejo prevrednotenje vode kot naravnega elementa in pasivnega vira (resursa), ki je človeštvu na voljo. V nadaljevanju bomo opozorili na premike v razumevanju pomena vode znotraj nove vodne paradigme.[9]

Voda kot hibrid. Pojmovanje vode kot hibrida radikalno zavrača ločevanje med »naravo« in »družbo«, ki je, kot smo že opozorili, v jedru modernega oziroma novoveškega pojmovanja sveta. Tako kot ni več neokrnjene narave, tudi tam, kamor še ni stopila človeška noga, se tudi družbeno konstituiran človek z vsem svojim sociokulturnim okoljem ne more ločiti od narave, recimo, preseči dejstva, da bi »bil žejen« in da torej potrebuje vodo. Ker je narava že vedno na nek način družbeno posredovana in ker se je s tem posredovanjem preoblikoval tudi človek, ne obstaja, kot pravi Kaika, ontološki temelj za ločitev človeških bitij od narave kakor tudi narave od družbe in kulture (Kaika, 2005, str. 23). Kaj to pomeni za vodo? Ni »čisto naravna« in ne »čisto nenaravna« (Kaika, prav tam, str. 24). Kako si lahko razlagamo te, nekoliko abstraktne trditve? Voda je to, kar je, šele v notranjih razmerjih do drugih sestavin ekosistema (rastlinja, živali, obrežnih površin ipd.) kot tudi v notranjih razmerjih do človeka in njegovih oblik družbenega organiziranja. Voda postane hibridna v stiku z ljudmi, ko jo zajamemo bodisi iz površinskih bodisi iz podzemnih virov, in prav v tem stiku z ljudmi spreminja svoje lastnosti kot pitna voda, voda za namakanje, ustekleničena voda in, denimo, kot odpadna »črna« ali »rjava« voda. Ta stik s človekom in njegovimi hidravličnimi tehnologijami ji podeljuje lastnosti, a jih hkrati tudi spreminja, kot spreminja tudi človeka in njegovo družbeno organizacijo. Na primer: ali danes lahko sploh še mislimo o vodi, če odmislimo idejo vodnega kroga (hidrološkega cikla), in kako lahko mislimo o vodooskrbi, če odmislimo dejstvo, da je voda lahko tudi prenašalka nalezljivih bolezni? Hibridnost vode je torej v tem, da se v stiku z ljudmi transformira in pridobiva lastnosti, ki imajo družbeni pomen in sežejo onkraj atributov, ki jih ji pripisujemo kot naravni substanci.

Od vodnega do vodnodružbenega kroga. Koncept vodnega kroga (hidrološkega cikla) je ključen koncept sodobne hidrološke znanosti ter ima podobno vlogo za celovit in unificiran pogled na vodo, kakor to velja za formulo H_2O. Kot poudarja Linton, se koncept vodnega kroga izvrstno sklada z abstraktno formulo H_2O, saj prav ta opozarja na statičnost in stabilnost vode, vodni krog pa na njeno gibljivost in prehodnost v gibanju skozi hidrosfero (Linton, 2010, poglavje The Hydrologic Cycle(s): Scientific and Sacred, 2. odstavek). Oba prispevata k že ome-

4 Barbier navaja, da se je uporaba vode *per capita* za domače potrebe (municipal use) med letoma 1995 in 2010 v svetovnih razmerah povečala za 44 odstotkov, s 54 m³ na 78 m³ na prebivalca, leta 2025 pa naj bi dosegla 102 m³ na prebivalca.

5 Podatki o rabi vode v predelovalni industriji v Sloveniji v letih od 2008 do 2018 kažejo, da se je ta povzpela od 59.553 (v 1000 m³) do 201.832 (v 1000 m³). To kaže, da v Sloveniji ne sledimo trendu razvezave med gospodarsko rastjo in porabo vode. Vir: https://pxweb.stat.si/SiStatDb/pxweb/sl/30_Okolje/30_Okolje__27_okolje__03_27193_voda__03_27503_industrija/2750301S.px/table/tableViewLayout2/ [5. 8. 2020].

6 Gleick navaja, da je bilo do leta 2000 v ZDA odstranjeno skoraj 500 jezov, bodisi zato, ker so izgubili svojo vlogo, bodisi so povzročali resne okoljske probleme (Gleick, prav tam, str. 130).

7 Gre za ukrepe bolj učinkovite alokacije, racionalne rabe in obvladovanja vodnih izgub brez velikih gradbenih posegov.

8 Tako Gleick kot tudi Barbier menita, da je voda tudi ekonomska dobrina, ki mora imeti svojo ceno, v katero ne smejo biti zajeti samo stroški njenega pridobivanja in distribucije, temveč tudi okoljski stroški in sploh vse eksternalije, ki jih povzroča zajemanje vode. Naj opozorimo: če je voda tudi ekonomska dobrina, to seveda ne pomeni, da je tudi nujno tržno blago, še posebej ne, ko gre za javno vodooskrbo.

9 Na nekatere vidike novejših pristopov k proučevanju vode, kot so koncept hidro družbenega teritorija, biopolitična narava vode in koncept vodnih svetov, smo že opozorili v drugem prispevku (prim. Gantar, 2017).

njenemu razumevanju vode »kot moderne abstrakcije«. Koncept vodnega kroga temelji seveda na ločitvi med »družbo in naravo«. Kroženje vode je neodvisno od človeka in družbe ali kot Linton in Buddsova navajata Maidmenta: »Ta gromozanski vodni motor, ki ga napaja sončna energija in poganja gravitacija, teče neskončno, v prisotnosti ali odsotnosti človeka.« (Linton in Budds, 2013, str. 2) Vendar voda ne teče samo skozi hidrosfero, ampak, recimo temu, tudi skozi družbeno sfero (sociosfero). Ko pride v stik z družbo, se modificira na različne načine, hkrati pa modificira tudi družbo sámo. Da se ne bi vedno znova sklicevali na t. i. »hidravlične civilizacije«, v katerih je centralizirano in sofisticirano upravljanje z vodo ustvarilo despotske vladavine, naj omenimo samo sodobna mesta, v katerih voda teče skozi številne krogotoke ter ustvarja oblike družbenosti in poselitve, ki brez družbeno modificiranega vodnega kroga ne bi bile mogoče. Če torej danes želimo vrednotiti vodo v vodnem krogu z vidika človekovih oz. družbenih potreb, tehnologij in interesov, tega ne moremo več storiti, ne da bi upoštevali tudi njegovo družbeno naravo. Koncept vodnodružbenega kroga nam po mnenju Lintona in Buddsove omogoča odgovoriti na ontološko vprašanje, a) kaj voda je, b) odpira epistemološko vprašanje o tem, na kakšen način je voda spoznavna in prepoznana, ter c) omogoča razumevanje, kako voda ponotranji družbena razmerja, družbeno moč in tehnologijo (Linton in Budds, 2013, str. 9).

Krause in Strang poudarjata dodatno razsežnost koncepta vodnodružbenega kroga. Ne omogoča nam samo razumevanja vode, kot je preoblikovana skozi interakcijo s človekom in družbo, temveč tudi, da skozi vodo razmišljamo o naravi razmerij med ljudmi in načinih družbene organizacije (Krause in Strang, 2016, str. 634). To ima po njunem mnenju pomembne praktične posledice, saj načrtovalcem omogoča zasnovo ustreznejših projektov vodooskrbe, poplavne varnosti, družbenega upravljanja s povodji in zaščito obale (prav tam, 635).

Multipomenskost in simbolna vloga vode. Dejstvo, da ima voda mnogovrstne in različne pomene ter ideološke konotacije, je že dolgo znano, zato prepoznanje pomenske mnogovrstnosti vode ni ravno kakšna novost v novi vodni paradigmi. Vendar je pomembno novo razumevanje večpomenskosti: to ni več vezano na nekakšne inherentne lastnosti vode, temveč na to, kako je družbeno konstituirana. Voda je, kot pravi Bakker, »ekonomska dobrina, estetska referenca, religiozni simbol, javna in zasebna dobrina, steber javnega zdravja ter seveda biofizikalna nujnost za ljudi in ekosisteme« (Bakker, 2012, str. 617).

Prav skozi vprašanje simbolne konstitucije vode se odpira zanimiva interpretacija o razmerju med standardizirano in kodificirano »vodo iz pipe« ter industrijo ustekleničenih vodá, ki s prodajo vode žanje velike komercialne uspehe (Hamlin, 2000, str. 320). Pravzaprav ni jasnega odgovora, zakaj ljudje, ki sicer vedo, da jim iz vodovodnih napeljav teče pitna voda, tako množično kupujejo raznovrstne ustekleničene vode. Hamlin meni, da leži privlačnost ustekleničenih vodá prav v dejstvu, da se te vode reprezentirajo kot unikatne, raznovrstne, zdravilne, ekskluzivne, regenerirajoče, poživljajoče, z različnimi okusi v primerjavi z monolitno, standardizirano, da ne rečemo »dolgočasno« vodo iz pipe (Hamlin, prav tam, str. 320). Ponujajo nekakšno iluzijo zdravja, vitalnosti in mladosti, ki se ji ni mogoče upreti. Torej, kupovanje ustekleničene vode ni toliko izraz nezaupanja v kakovost vode iz pipe, temveč pomeni vstop v ideološki imaginarij, ki ga ponuja industrija ustekleničene vode. Industrija vam pravzaprav ne prodaja vode, temveč mladost, zdravje, radost in užitek.

Od (integralnega) upravljanja z vodami k družbenemu upravljanju z vodami (water governance)[10]. Pravzaprav ni avtorja, ki ne bi priznal, da se je s konceptom integriranega upravljanja z vodnimi viri (Integrated Water Resource Management) marsikaj spremenilo na bolje. Družbeno upravljanje z vodami pa pomeni še korak naprej, to je vključevanje vseh zainteresiranih deležnikov v procese sprejemanja odločitev v zvezi z rabo vode in odnosom do vodnega okolja. Sedanja narava vodnih problemov je bistveno bolj kompleksna kot zgolj vprašanje zadovoljevanja človekovih potreb po vodi in zajema odnos do vode v celotnem vodnodružbenem krogu. Zato odločanja in upravljanja z vodami ne moremo zamejiti samo v preseku med državo, tehnologijami in vodnimi organizacijami, ampak morajo zajeti širši spekter interesov in pogledov na vode, tj. »od spodaj navzgor«. Zanimivo je, da so nekatere ideje na daleč podobne organizacijskim oblikam, ki smo jih v Sloveniji že imeli – samoupravnim vodnim skupnostim, ki pa so delovale v čisto drugačnem gospodarsko-političnem okolju, kot ga poznamo danes. Vsekakor participacija vladnih, nevladnih, lokalnih, gospodarskih in drugih organizacij postaja nujnost, če želimo, da se konflikti v zvezi z vodo ne bodo stopnjevali.

4. SLOVENIJA: VODA KOT DRUŽBENI IZZIV V LUČI NOVE VODNE PARADIGME

V nadaljevanju bomo, v luči nove paradigme, poskušali ilustrirati družbene izzive v zvezi z neka-terimi »vodnimi problemi« v Sloveniji. Naj posebej poudarimo, da gre za grobe skice, ki bi potrebovale podrobno obdelavo, pa tudi to, da njihov namen ni opredeljevanje do posameznih pogosto nasprotujočih si rešitev.

a) *Voda, ki povezuje*: dne 17. novembra 2016 je Državni zbor s potrebno dvotretjinsko večino sprejel ustavni zakon, s katerim je pravico do vode zapisal v Ustavo Republike Slovenije kot ustavno (človekovo) pravico. Za ustavni zakon je glasovalo 64 poslancev, proti ni glasoval nihče. Večina poslancev tedanjih opozicijskih strank se je glasovanja vzdržala, kot pa je razvidno iz magnetogramov seje Ustavne komisije in plenarne seje Državnega zbora, tudi ti niso nasprotovali temu, da se »voda nekako vpiše v ustavo«. Vsekakor si niso upali glasovati proti. Slovenska javnost je zapis vode v ustavo plebiscitarno podprla. V slabih štirih letih se po vpisu vode v ustavo pravzaprav ni zgodilo nič. Spremeniti bi morali celo vrsto zakonskih in podzakonskih predpisov, kar se ni zgodilo. Voda in vodooskrba, v dobrem in slabem, tečeta po ustaljenih poteh. Na tem mestu se ne nameravamo ukvarjati s samo formulacijo zapisa vode kot ustavne pravice, saj smo o tem že pisali (Gantar, 2016).

   Očitno je, da je bolj kot sama vsebina vpisa vode v ustavo pomemben sam akt vpisa ter njegovi ideološki in politični pomeni. Slovenija se je v letu 2016 že začela opazno pobirati po finančni krizi, ki jo je še posebej hudo prizadela med letoma 2009 in 2014. Kriza je pobrala marsikatero podjetje in delovna mesta, krčenje javnih financ je prizadelo družbeno blaginjo, država je bila, glede na mednarodne zaveze, prisiljena prodati marsikatero podjetje in banke. V roke tujih lastnikov so prišle pomembna prehrambna podjetja, pivovarne,

10 Angleški izraz »governance« je neprevedljiv v slovenski jezik, tako kot tudi v marsikatere druge jezike. Politologi so predlagali poslovenjenje z izrazom »vladovanje«, vendar je izraz prazen (in nenavaden) ter ne izraža pravega izvirnega pomena.

proizvodnja sladkih pijač in polnilnice ustekleničene vode. Družbeno-gospodarska depresija je povzročila ljudsko nezadovoljstvo in omajala zaupanje v politične elite. Prizadela je nacionalno identiteto in ponos, ki se je, tudi kot odmev slabih praks privatizacij vode v svetu, oblikoval v prepričanje, če smo že izgubili veliko, za državo pomembnih institucij, »vode pa ne damo« in je ne pustimo privatizirati. Pobuda za vpis vode v ustavo je zato že znak dvigajoče se nacionalne in politične zavesti.

To, kar je zapisano v ustavo, torej ni voda v njeni materialnosti, ampak voda kot ideološki imaginarij samostojnosti, neodvisnosti in političnega soglasja med sprtimi političnimi elitami in simbol ponovno vzpostavljenega soglasja z ljudstvom. Če se tako rekoč ne moremo zediniti skoraj v ničemer, je prav »voda v ustavi« tista, ki nas oblikuje v družbeno skupnost in državo[11]. Voda postaja »ideološki cement« države.

b) *Voda, ki razdružuje: akumulacija Padež skozi prizmo nove vodne paradigme*: poleti 2020 je minister za okolje in prostor ob obisku v slovenski Istri napovedal, da se bo država, tudi v kontekstu predvidenih veleprojektov (megaprojektov), za dvig gospodarstva iz koronske krize, lotila tudi dolgo odlašanega reševanja vodooskrbe v slovenski Istri in še posebej na Obali. Sporočil je tudi, da priprava državnega prostorskega načrta za akumulacijo Padež-Suhorka še ne pomeni dokončne odločitve za projekt, temveč (dokončno) preveritev prostorskih, okoljskih in naravovarstvenih možnosti za realizacijo projekta[12].

Res je, da je zagotavljanje vodooskrbe v slovenski Istri pereč problem, predlagane rešitve pa so predmet številnih nasprotnih interesov na lokalno regionalni in državni ravni, kar je na nek način opravičevalo državo, da ni storila potrebnih korakov k stabilni in zadostni vodooskrbi.

Dr. Andrej Kryžanowski in Ivan Žigon v študiji iz leta 2012 navajata tri možne predloge za vodooskrbo, jih primerjalno analizirata in ugotavljata, da je najugodnejša varianta C, to je akumulacija Padež, ki pravzaprav predstavlja novelirano varianto A, s tem da vodo zajema iz potoka Padež, ne pa iz reke Reke[13] (Kryžanowski in Žigon, 2012, str. 68–9).

Kryžanovski in Žigon ob teh treh variantah omenjata tudi vodni vir Brestanica (črpališče Klariči). Prednost tega vira je, da izkorišča že »obstoječe kapacitete priprave vode na črpališčih, ki zdaj še niso izkoriščene«, vendar pa po »najbolj optimistični izdatnosti zadoščata za pokrivanje oskrbe z vodo Obale in zaledja zgolj za 30 let, in je ta rešitev lahko le prehodnega značaja« (prav tam, str. 70). Dokument identifikacije investicijskega projekta »Oskrba s pitno vodo obale in Krasa«, ki ga je leta 2011 po naročilu obalno-kraških občin pripravil Projekt Nova Gorica, kot najprimernejšo navaja prav to varianto. Pravzaprav temelji na ideji bolj učinkovitega izkoriščanja in razširitve že obstoječih vodnih virov ter na povezovanju, celo v delni integraciji vodooskrbnih sistemov v slovenski Istri, na Krasu in Ilirski Bistrici (deloma tudi v Postojni) v enoten in skupno upravljan sistem vodooskrbe.

Z vidika nove vodne paradigme lahko zelo jasno ocenimo, da projekt akumulacije Padež v več ozirih nasprotuje temeljnim usmeritvam te paradigme. Odpira nove vodne vire, zahteva velike in drage vodnoinfrastrukturne posege, medtem ko je prezrta »varianta Brestanica« bolj fleksibilna[14], manj infrastrukturno zahtevna in draga, predpostavlja pa močno povezovanje vodooskrbnih sistemov ter lokalnih skupnosti in ljudi na območju, ki ga pokriva.[15] Razlog za zavrnitev, da ta varianta zagotavlja vodo samo za nadaljnjih trideset let, je vprašljiv. Ne vemo dobro, kakšne bodo potrebe po vodi čez trideset let, kar je sicer dolgoročno obdobje. Utemeljeno lahko predpostavljamo, da to območje ne bo doživelo populacijskega porasta v tej meri, da bi bistveno vplivalo na rast potreb po vodi, obenem pa tudi zanesljivo vemo, da bodo naprave, ki uporabljajo vodo za gospodinjske namene, še bistveno bolj varčne z vodo, kot so že zdaj.

Res pa je, da varianta s povezovanjem in integracijo vodooskrbnih sistemov v zmogljiv, stabilen in fleksibilen sistem zahteva več naporov kot izgradnja velike pregrade, saj stremi k temu, da voda postane povezovalec in integracijski dejavnik v razdrobljeni strukturi lokalne samouprave.

c) *Od integriranega upravljanja z vodnimi viri do družbenega upravljanja z vodami*: z vidika nove vodne paradigme kot tudi številnih konfliktov v zvezi z vodami postaja očitno, da klasična »državna hidravlična paradigma« (Bakker, 2010) ne zadošča več. Vodno zakonodajo v delih, ki se nanaša na upravljanje z vodami, bo treba spremeniti tako, da bo v odločanje na organiziran in strukturiran način vključeno večje število deležnikov na lokalni, regionalni in državni ravni.

Konfliktom, ki smo jim priča, ko stopamo v medsebojna razmerja skozi vodo in njeno hibridno naravo, se ne bomo mogli izogniti, če jih zanikamo in odločanje prepustimo volji do moči. Lahko pa so konflikti tudi produktivni, če jim dopustimo, da nas voda pri njihovih razreševanjih tudi poveže.

LITERATURA IN VIRI

1. Bakker, K., 2010. Privatizing Water. Governance Failure and The World's Urban Water Crisis. Ithaca: Cornell University Press. Kindle Edition.
2. Bakker, K., 2012. Water: Political, biopolitical, material. Social Studies of Science. 42(4), 616–623. DOI: 10.1177/0306312712441396.

11 Kot primer lahko vzamemo tudi sosednjo Avstrijo, kjer imajo politične elite prav tako težave v zvezi s sporazumevanjem in oblikovanjem političnih kompromisov, skupna točka, kjer pa se najdejo vsi skupaj v istem presečišču interesov, pa je nasprotovanje JE Krško.

12 Ob tem je treba biti oprezen. Malo verjetnosti je, da bi se priprava državnega prostorskega načrta (DPN) končala z ugotovitvijo, da ga zaradi teh ali onih razlogov ni mogoče pripraviti in sprejeti. Zato je seveda priprava že odločitev za izbiro prav tega projekta. Ko bo dokončan in pred sprejetjem, bo imel prednost pred vsemi drugimi izbirami z dobro znanim argumentom: ali hočete, da problem vodooskrbe Istre ponovno vrnemo vsaj za dve ali tri leta nazaj, ob tem ko lahko že v kratkem začnemo z gradnjo?

13 Po oceni avtorjev naj bi stroški izgradnje zajetja Padež znašali slabih 70 milijonov evrov, ostali dve varianti sta dražji. Danes naj bi bili stroški izgradnje v redu velikosti okoli 100 milijonov evrov.

14 Fleksibilnost je pomembna lastnost zaradi velikih sezonskih nihanj porabe vode na Obali.

15 Tudi čezmejnega povezovanja z delnim in občasnim vključevanjem vodnih virov zunaj meja države ne smemo *a priori* zavračati. Vendar mora biti to povezovanje umeščeno v kontekst celovitih meddržavnih razmerij in sodelovanja na področju vodá, ne pa zgolj »komercialna pogodba«. Tu ima Slovenija celo določeno prednost, saj tako v razmerju do Hrvaške kot tudi do Italije (reka Soča) velja za gorvodno državo.

3. Barbier, E. B., 2019. The Water Paradox. Overcoming the Global Crisis in Water Management. New Haven: Yale University Press. Kindle Edition.
4. Bucik Ozebek, N., 2020. Če Istra ostane brez vode, bo žejna vsa Slovenija. Dnevnik, 8. julij, 2020. Dostopno na: https://www.dnevnik.si/1042933606 [5. 8. 2020].
5. Gandy, M., 2014. The Fabric of Space. Water, Modernity, and the Urban Imagination. Cambridge: MIT Press. Kindle Edition.
6. Gantar, P., 2016. Ustava in voda: za ponoven premislek. Dnevnik, 17. november 2016.
7. Gantar, P., 2017. Vodni svetovi: novejši pristopi k družbenemu raziskovanju voda in vodnega okolja. V: Globevnik, L. in Širca, A. (Ur.) (2017), 54–60.
8. Gleick, P., 2000. The Changing Water Paradigm. A Look at Twenty-first Century Water Resources Development. Water International Resources Association. Water International, Volume 25, Number 1, Pages 127–138.
9. Globevnik, L. in Širca, A. (ur.), 2017. Zbornik: Drugi slovenski kongres o vodah, 2017. Ljubljana: Društvo vodarjev Slovenije in Slovenski nacionalni komite za velike pregrade.
10. Hamlin, C., 2000. 'Waters' or 'Water'? – master narratives in water history and their implications for contemporary water policy. Water Policy 2 (2000), 313–325. Elsvier.
11. Kaika, M., 2005. City of Flows. London: Routledge.
12. Krause, F. in Strang, V., 2016. Thinking Relationships Through Water. Society & Natural Resources, Vol. 29, No. 6, 633–638. Dostopno na: http://dx.doi.org/10.1080/08941920.2016.1151714 [5. 8. 2020].
13. Kryžanowski, A. in Žigon, I., 2012. Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zaledne-ga kraškega območja. Zbornik referatov, 23. Mišičev vodarski dan. Maribor, str. 64–72.
14. Linton, J., 2010. What Is Water. A History of Modern Abstraction. Vancouver: UBC Press. Kindle Edition.
15. Linton, J. in Budds, J., 2013. The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. Dostopno na: http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.10.008 [5. 8. 2020].
16. Menga, F. in Swyngedouw, E., 2018. States of Water. Dostopno na: https://www.researchgate.net/ publication/325264312_Water_Technology_and_the_Nation-State [5. 8. 2020].
17. Oskrba s pitno vodo obale in Krasa. Dokument identifikacije investicijskega projekta. Projekt, Nova Gorica, 30. 10. 2011, 219. str.
18. Solomon, S., 2009. Water. The Epic Struggle for Wealth, Power and Civilization. New York: HarperCollins e-books. Kindle Edition.
19. Wynn, G., 2010. Making Waves. Predgovor h knjigi J. Lintona. What is Water. A History of Modern Abstraction.

ENABLING RIVER RESTORATION: THE FRENCH EXPERIENCE

dr. BENOIT TERRIER[1]

Abstract

In 1964 France defined a water management framework that led to the creation of 6 water agencies and 7 river basin committees (including Corsica). The water agencies are responsible for improving the quality of aquatic environments so that the objectives of the EU water framework directives (WFD) are met. They collect environmental taxes and give subsidies to municipalities, industrial or agricultural units to reduce pollution or carry out river restoration.

In 1992, France adopted a "water law" which resulted in river basin management plans that were approved in 1996. These plans set up fundamental principles for real integrated water management (water is the 'common heritage of the Nation'), such as the necessity to implement river management at the catchment scale and to improve water quality as well as aquatic habitats. They set up objectives in terms of ecological river restoration. In France, the first truly ambitious river restoration projects took place at the end of the 90s. In the Rhone Mediterranean and Corsican river basin, a policy to make space for water was also implemented. At the time, the main aim was to preserve and restore the space a river needs to meet its ecological processes (sediment equilibrium, connection to wetlands etc.). Later the benefits of a "space for river policy" in terms of flood protection also became more acknowledged.

Following the adoption of the water framework directive, the protection and restoration of aquatic environments was made one of the main priorities to achieve good ecological status. A focus on the Rhône-Mediterranean river basin reveals that 35% of water bodies are not in good ecological status because they have an altered hydrological regime. 45% have their ecological continuity disrupted by dams and weirs and 49% have a degraded morphology.
In 2013, France published a list of river reaches on which it was made compulsory to restore ecological continuity within 5 years. On the Rhone Mediterranean basin, a little less than 1400 weirs and dams were identified on this list as a priority. Between 2013 and 2018, ecological continuity was restored on approximately 1000 weirs. The 5 year deadline to complete the restoration of ecological continuity on those priority reaches had to be extended, as the work took more time than originally planned. Nonetheless, projects to remove weirs, build a fish pass or a by-pass river, to open flood gates to restore sediment continuity during morphogenic floods have become more common and more integrated, taking into account the various uses of the weirs into the project designs.

1 Dr. Benoit Terrier, Agence de l'éau Rhône Méditerranée Corse.

In addition, every year, substantial morphological restoration is carried out on between 100km and 120km of degraded river reaches on the Rhone Mediterranean river basin. Such work includes the remeandering of straightened river reaches, the removal or setting back of embankment to make space for river, the restoration of riparian vegetation, input of coarse sediment in incised river reaches etc.

Such projects are vital at a time when climate change leads to more extreme events, including droughts leading to more prolonged dry riverbed reaches. These projects enable fish communities to reach more preserved areas during extreme conditions so they can become more resilient.

Linking river restoration with flood protection has proved to be complex for a various reasons. Traditional engineering solutions to implement flood protection have often relied on hard engineering, artificially straightening and widening river channels, removing riparian vegetation and building unsustainable embankments very close to the river. Such channelization has usually been made at the expense of biodiversity.

In addition, the stakeholders dealing with ecology and river restoration and those dealing with flood risk would be different, and might bring forward divergent river management solutions. There has been a cultural gap between those stakeholders

Several measures were taken to address this issue. The 27 January 2014 law on the modernization of public action established a targeted, mandatory competence linked to the management of aquatic environments and flood prevention, entrusting it to communes and groups of communes. In 2018, the responsibility for the maintenance and restoration of rivers and flood-protection structures now belongs exclusively to communes and their public intercommunal cooperation structures with taxation powers (EPCI FP).

On the Rhone Mediterranean basin, WFD river basin management plan and flood risk management plan are coherent as they contain similar chapters, carefully elaborated with state services responsible for flood risk and ecological river restoration. A map that shows priorities in terms of flood risk and river restoration has been inserted in both documents and nature based solutions are promoted.

Nature based solutions can both restore nature and tackle flood risk. They are also very advantageous for water depollution or replenishing groundwater. In France, these solutions have been operative in many territories. They typically involve 3 key ideas:

- Leaving more space for the river: opening up the river and increasing flood expansion areas. This is also a solution applied in several other countries: e.g. the "room for the river" program in the Netherlands or "making space for water", its English equivalent.
- Slowing down river flows: re-meandering, restoring sediment transport continuity, restoring riparian and floodplain vegetation where suitable.
- Managing water at a catchment scale: governance at the catchment scale is essential to make the right decisions and promote upstream - downstream solidarity to prevent floods.

Nature based solutions also bring multiple co-benefits as they contribute to climate change adaptation, improve water quality, and bring multiple socio-economic benefits. In 1997, 4km of embankments were setback from 100m to 200m on the river Durance, in South-East France. This avoided 10M€ as compared to the reconstruction of the embankments too close to the river that would be more costly to rebuilt and would cost much more in terms of maintenance. With more room, the river has now widened and some protected species have come back. On the same river, in the area of Saint Maurice de Manosque, it was estimated that the cost of setting back 400m of embankments would save 400k€ (2016). Protecting and restoring the space for river has become a top priority.

There is still some way to go reach the objectives set by the WFD in terms of river restoration. The cultural gap between hydraulic engineers and environmental engineers will need to be bridged and a stronger political will to implement nature based solutions would help. It is still a work in progress, but progress is being made, with climate change becoming a key driver of change as our territories need to adapt.

Vodne tehnologije

Podjetje Kolektor Sisteh je specializirano za razvoj in izvedbo naprednih tehnoloških rešitev in ponudbo vrhunske tehnološke opreme za različne panoge industrije, energetiko in infrastrukturo. Na področju vodnih tehnologij ponujamo rešitve in opremo za:

- **pripravo pitne in tehnološke vode,**
- **čiščenje odpadnih voda,**
- **optimizacijo delovanja vodovodnih in kanalizacijskih sistemov,**
- **satelitsko radarsko odkrivanje in mikrolociranje puščanja vodovodnih sistemov,**
- **daljinsko odčitavanje porabe vode (AMR/AMI),**
- **telemetrijo.**

Skupni imenovalec vseh področij našega delovanja je usmerjenost v povečevanje učinkovitosti, zanesljivosti in stroškovno optimizacijo obratovanja, upravljanja in vzdrževanja vodooskrbnih (vodovodnih, kanalizacijskih, namakalnih, protipožarnih, tehnoloških, ogrevalnih ipd.) sistemov.

Kolektor Sisteh d.o.o.
Zasavska cesta 95
SI- 1231 Ljubljana – Črnuče, Slovenija
T: +386 1 5636 300
F: +386 1 7227 930
I: www.kolektorsisteh.com
E: sisteh@kolektor.com

KOLEKTOR

UPRAVLJANJE Z VODNIMI VIRI V JUGOZAHODNI SLOVENIJI

dr. UROŠ KRAJNC[1], doc. dr. ANDREJ KRYŽANOWSKI[2]

Povzetek

Območje slovenske Istre se že več desetletij sooča s pomanjkanjem pitne vode v poletnih mesecih. Težavo z oskrbo s pitno vodo upravljavec vodooskrbnega sistema v regiji rešuje predvsem z uvozom pitne vode iz Hrvaške. Ob pomanjkanju pitne vode v sezoni pa je tudi prisotna potreba po vodnih virih v regiji za namakanje kmetijskih površin. Glede na hidrološke razmere je, predvsem z bilančnega vidika, vodnatost glavnih vodotokov, Rižane in Dragonje, dovolj velika, le porazdelitev količin pretokov se med letom izrazito spreminja ter doseže največji nižek poleti.

V prispevku so predstavljene možnosti izvedbe zadrževalnikov na območju slovenske Istre in kraškega zaledja. Tako za vodnogospodarske namene kot tudi za potrebe kmetijstva v regiji, ki so morda malo manj poznani, a hkrati izjemnega pomena za učinkovito upravljanje z vodnimi količinami v najbolj deficitarni regiji v Sloveniji glede na oskrbo z vodo.

Ključne besede: namakanje, oskrba s pitno vodo, večnamenski zadrževalniki.

Abstract

The region of Slovenian Istria has been facing a shortage of drinking water in the summer months for several decades. The problem of drinking water supply is solved by the operator of the water supply system in the region mainly by importing drinking water from Croatia. With the lack of drinking water in the season, there is also a need for water resources in the region for irrigating agricultural land. Given the hydrological conditions, in terms of balance, the water content of the main watercourses, Rižana and Dragonja, is large enough, only the distribution of flow rates changes markedly during the year and reaches the highest low in summer.

The article presents the possibilities of constructing reservoirs in the area of Slovenian Istria and the Karst hinterland. Both for water management purposes, as well as for the needs of

1 Dr. Uroš Krajnc, univ. dipl. inž. gradb.
2 Doc. dr. Andrej Kryžanowski, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

agriculture in the region, which are perhaps a little less known, as well as extremely important for the efficient management of water quantities in the water most deficient region in Slovenia.

Keywords: drinking water supply, irrigation, multipurpose reservoirs.

1. UVOD

Območje slovenske Istre se že več desetletij sooča s pomanjkanjem pitne vode v poletnih mesecih. Težavo z oskrbo s pitno vodo upravljavec vodooskrbnega sistema v regiji rešuje predvsem z uvozom pitne vode iz Hrvaške. Ob pomanjkanju pitne vode v sezoni pa je tudi prisotna potreba po vodnih virih v regiji za namakanje kmetijskih površin. Glede na hidrološke razmere je, predvsem z bilančnega vidika, vodnatost glavnih vodotokov, Rižane in Dragonje, dovolj velika, le porazdelitev količin pretokov se med letom izrazito spreminja ter doseže največji nižek poleti. Po vseh klimatoloških scenarijih je predvideno, da se bo situacija v prihodnje še zaostrila z bolj izrazitimi hidrološkimi ekstremi menjave sušnih in vodnatih obdobij. Zaradi tega pričakujemo, da bosta otežena tako oskrba s pitno vodo v regiji kot tudi zagotavljanje vode za druge namene. O omenjeni problematiki se je že govorilo v preteklosti. Vpublikaciji 50 let Rižanskega vodovoda iz leta 1985 najdemo zanimiv pregled potrebnih zadrževalnikov za oskrbo s pitno vodo in namakanje. Na širšem območju Istre so prisotne pobude za zadrževalnike že 150 let (Tabela 1).

Tabela 1: Pregled potrebnih zadrževalnikov za oskrbo s pitno vodo in namakanje, 1985

Ime akumulacije	prispevna površina	srednji letni pretok	prostornina akumulacije	gladina vode	višina pregrade
	[km2]	[m3/s]	[m3]	[ha]	[m]
porečje Rižane					
Izvir Rižane		4,49	32.000.000	164	6
Predloka 1	2,31		28.000.000		70
Predloka 2				100	35
Kubed (potok Rakovec)	5,5		360.000		20
porečje doline Dragonje					
Dragonja 1	64,4	0,686	5.200.000	60	20
Dragonja 2	52,2	0,682	1.550.000	28	15,5
Dragonja 3	29,2	0,387	1.500.000	20	20
Dragonja 4	23,75	0,35	1.680.000	20,1	20,2
Pinjevec	12,71	0,169	2.210.000	31,2	22,5
Drnica	19,2	0,207	1.280.000	23	13,8
Piševec	6,66	0,072	665.000	8,7	8,7
Brkinsko gričevje južno pobočje					
Brezovica	3,58	0,062	30.000	1	7
Odolina	3,61	0,062	1.027.000	8	37
Velike Loče	1,22	0,021	450.000	5	5
Jezerina II	5,38	0,093	2.500.000	20	17
Jezerina II	6,85	0,118	5.200.000	48	25
Male Loče	9,44	0,163	15.030.000	108,5	27
Brkinsko gričevje severno pobočje					
Padež	33,36	0,557	50.500.000	200	73
Ostrovica	8,44	0,145	6.800.000	30	55
Potok Sušica	2,81	0,048			

(Vir: Lastni)

2. OSKRBA S PITNO VODO

Problematika oskrbe s pitno vodo v regiji se rešuje bolj ali manj uspešno zgolj z zagotavljanjem vodnih količin iz sosednjih vodooskrbnih sistemov. Zato je tudi v prihodnje pričakovati, da se bo ta politika nadaljevala. V prvem kohezijskem obdobju je bil sicer začet projekt načrtovanja zadrževalnika Padež/Suhorice v kraškem zaledju, katerega primarna funkcija je bila zagotavljanje rezervnih vodnih količin za celotno regijo, vendar zaradi najrazličnejših razlogov ni bil izveden. Po projektu je za novi vodni vir za oskrbo slovenske Istre in kraškega zaledja predvidena izgradnja zadrževalnika na pritoku reke Reke z zajezitvijo potokov Padeža in/ali Suhorice. V projektnih zasnovah predstavlja akumulacija stično točko vseh treh vodooskrbnih sistemov v regiji: Rižanski in Kraški vodovod, ki sta že povezana na vodohranu Rodik in Ilirskobistriški vodovod, za katerega je predvideno, da se pozneje poveže s povezovanim cevovodom na vodohran Rodik (Slika 1).

Po projektu je predvideno stopenjsko povečevanje kapacitet glede na naraščajočo porabo vode. Končna predvidena zmogljivost sistema znaša 840 l/s, kar pomeni, da lahko z akumulacijo Padež/Suhorka v izjemnih razmerah v celoti pokrijemo naraščajoče potrebe po vodi. Prednost tega sistema se je izkazala v vseh ozirih in je trenutno edina možnost izvedbe dolgoročne rešitev varne oskrbe s pitno vodo v regiji. V poznejših analizah se je kot optimalna izkazala različica z izgradnjo akumulacije Suhorka z možnostjo sočasnega akumuliranja vode s prečrpanjem iz potoka Padež v obdobju visokih voda, s čimer se poveča zanesljivost zagotavljanja dovolj velikih količin vode za oskrbo s pitno vodo v regiji. Projekt je bil predviden za financiranje iz sredstev Kohezijskega sklada EU v finančnem obdobju 2007-2013, vendar je bil s strani pristojnega ministrstva brez utemeljenih razlogov ustavljen v fazi potrditve ustreznosti Okoljskega poročila pred javno razgrnitvijo osnutka plana.

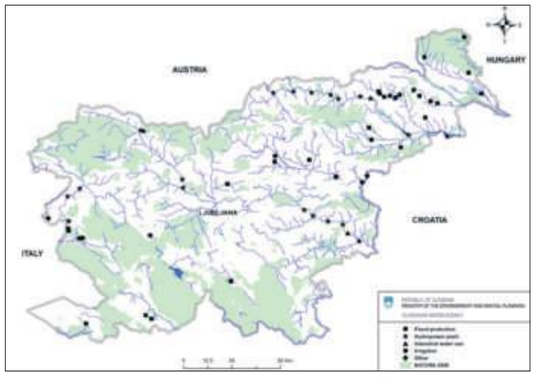
3. VODNI ZADRŽEVALNIKI

Voda je edini naravni vir, ki ga, v sicer surovinski osiromašeni Sloveniji, premoremo v obilju. Skupna dolžina vseh vodotokov znaša 26.000 km, kar predstavlja skoraj 1.300 m vodotokov na 1 km^2 ozemlja. V povprečju pade 1.589 mm padavin na leto, kar znaša v celotni letni količini 32,2 km^3 vode. Od letne količine vode jo odteče 18,7 km^3 (58 %) in izhlapi 13,5 km^3 (42 %). Manjši del vode, količine 350 hm^3, kar predstavlja slabih 2 % letne količine, je namenjen za oskrbo prebivalstva s pitno vodo, namakanje kmetijskih površin in industrijske potrebe. Celotno zbirno območje vseh vodotokov, ki prečkajo državne meje in tečejo skozi Slovenijo, obsega površino 43.274 km^2. Letna količina vode iz celotnega vodozbirnega območja znaša 33,9 km^3, od tega ima količina 15,2 km^3 izvor zunaj državnih meja. Upoštevajoč podatek o celotni letni količini vode, ki se pretoči v vodotokih, znaša srednji letni pretok 1.072 m^3/s, pri čemer obsega t. i. tranzit 480 m^3/s. Primerjano na število prebivalcev znaša letna količina 17.000 m^3 vode na prebivalca, kar uvršča Slovenijo po vodnem bogastvu v sam vrh v Evropi, takoj za Švico in Norveško.

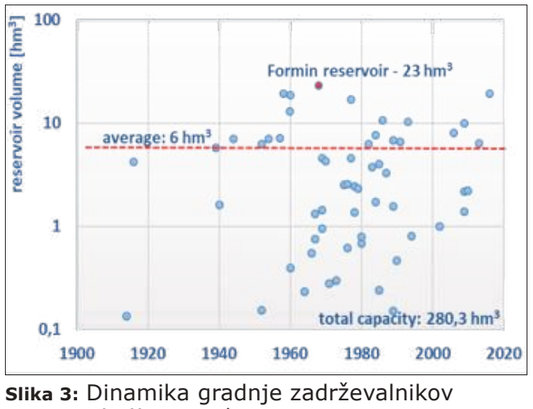
Trenutno je v Sloveniji registriranih 70 pregrad oz. zadrževalnikov– od tega 43 objektov, ki jih po določilih ICOLD prištevamo med velike pregrade (Slika 2). Po namenu prevladujejo pregrade, katerih primarni funkciji sta zagotavljanje poplavne varnosti (54 %) in hidroenergetika (37 %). Več kot polovica vseh zadrževalnikov v Sloveniji je manjša od povprečja, ki znaša 6 hm^3 (Slika 3). Manjši zadrževalniki so prevladujoči za vodnogospodarske namene, medtem ko so veliki večinoma namenjeni za hidroenergetsko rabo (Slika 4). Skupna kapaciteta vseh zadrževalnikov znaša okoli 280 hm^3, kar predstavlja manj kot 1-% delež letnih razpoložljivih vodnih količin.

Glede na pričakovane klimatske spremembe bomo morali spremeniti tudi politiko gospodarjenja z vodami v Sloveniji. Zaradi povečanja frekventnosti izmenjave sušnih in vodnih obdobij bomo prisiljeni vodo zadrževati, kajti le tako bo mogoča nemotena raba vode skozi vse leto. Slovenija je po vodnem bogastvu sicer na vrhu evropskih držav, po zadrževanju vodnih količin pa trdno na začelju. To je bila tudi ena od ključnih ugotovitev posveta na temo potrebnosti gradnje vodnih zadrževalnikov, ki je potekal 30. januarja 2020 pod pokroviteljstvom Državnega sveta. Če bomo hoteli v prihodnje uspešno upravljati z vodotoki, postaja vloga vodnih zadrževalnikov v procesu prilagajanja na podnebne spremembe vse pomembnejša, saj ti predstavljajo najučinkovitejši način, s katerim lahko uravnavamo hidrološka nihanja in zmanjšujemo vsakoletno škodo zaradi sprememb režima odtoka; to je tudi eno od ključnih priporočil posveta, ki so bila naslovljena na Vlado Republike Slovenije.

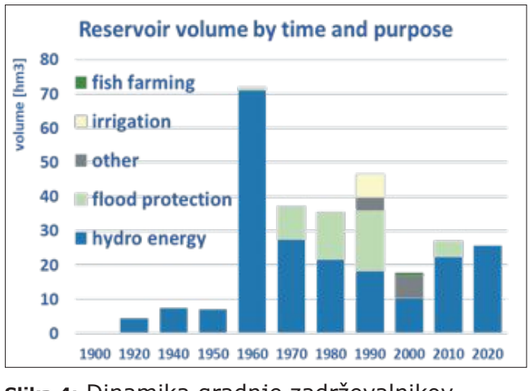
Slika 1: Načrtovana akumulacija Padež/Suhorka (IEI, 2002)



Slika 2: Lokacije velikih pregrad v Sloveniji (Humar, 2019)



Slika 3: Dinamika gradnje zadrževalnikov z razvrstitvijo po volumnu (Kryžanowski, 2018)



Slika 4: Dinamika gradnje zadrževalnikov z razvrstitvijo po namenu in volumnu (Kryžanowski, 2018)

4. NAMEN GRADNJE ZADRŽEVALNIKOV

4.1 Oskrba s pitno vodo

Naraščajoče potrebe po pitni vodi, predvsem v poletnih mesecih, ki jo oskrbuje Rižanski vodovod, so pokazale, da zaradi nizkih pretokov Rižane v poletnih mesecih Rižana ne zadostuje, čeprav ima v ostalih mesecih dovolj vode. Predlog rešitve so lahko zadrževalniki.

Dosedanje predloge lahko razdelimo na:

- zadrževalnike za vodo reke Rižane,
- zadrževalnike za vodo pritokov reke Reke.

Podajamo opis projektov, ki so obravnavali zadrževalnike. Tehnične podrobnosti podajamo v tabeli 2.

Akumulacija Predloka (1964): Že v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja so nastajali projekti za zadrževalnike vode Rižane. Leta 1964 je bila v sklopu dolgoročnega programa vodne oskrbe obale obdelana akumulacija Predloka z možnostjo do 28 hm^3 bruto prostornine.

Akumulacija Kubed (1998): Projekt iz leta 1998 je predvideval gradnjo akumulacije Kubed v bližini izvira Rižane. V času večjih pretokov nad 1 m^3/s bi se vode iz izvira Rižana črpale v akumulacijo (maksimalno 800 l/s), ta pa bi se praznila v času nizkih voda Rižane. Najpomembnejši objekti bi bili: pregrada in objekti na pregradi, črpališče ob Rižani ter povezovalni cevovod med črpališčem in pregrado. Koristni volumen 4,08 hm^3 naj bi zagotavljal potrebe po pitni vodi do leta 2015. Na podlagi preverbe te različice iz leta 2002 je bilo ugotovljenih več pomanjkljivosti, med njimi težava zagotavljanja tesnosti dna – kraško območje, potreba po popolnem praznjenju zaradi čiščenja, sprememba habitatov in dodatno siromašenje vode Rižane (Q_{es} takrat še ni bil določen).

Akumulacija Izvir (1989): Lokacija pregrade je bila predvidena pred Mostičjem ob zaselku Žgani. Izvir Rižane bi prišel na sredino akumulacije. Med Loko in Loškim brdom je bila predvidena pregrada, v njej trasa železnice, fekalni kolektor vaške kanalizacije, zaščitna kanalizacija železnice in ceste ter vodovod za dolinske vasi. Akumulacija bi bila pretočne narave ter ugodna za izmenjavo in vzdrževanje boljše kakovosti kraške vode.

Akumulacija Predloka (1989): Lokacija pregrade bi bila med Brdom in Loškim brdom ter pregrado Kanelico med Brdom in Kanelico. Volumen 10,8 hm^3 se polni s prelivom iz akumulacije Izvir. Za morebitno polnjenje nad 110 m.n.m. bi bilo potrebno dočrpavanje. Akumulacija Predloka lahko igra dvojno vlogo: kot sestavni del prve akumulacije ali kot ločena akumulacija. Ni vezana s kraškim zaledjem in je lahko namenjena kot varnostna akumulacija v primeru okužbe akumulacije Izvir. Proti temu predlogu so bili pomisleki, da bi z izvedbo te rešitve bil izgubljen regionalni značaj vodovoda, ostal bi le skupinski Rižanski vodovod, vezan le na en vodni vir. Dolina od Mostičja do Hrastovelj bi bila potopljena, z njo vred pa: 25 hiš, cerkev Marijinega vnebovzetja, motel Rižana, vsa stara in nova vodna zajetja Rižanskega vodovoda s skupno kapaciteto 850 l/s, železniška proga, magistralna cesta Rižana-Kubed, lokalna cesta za Hrastovlje, kmetijske površine ipd. Največje vprašanje pa je bila hidrogeološka reakcija, ki bi jo sprožil tak poseg.

Akumulacija Padež (1988/1990): Projekt Regionalega primorskega vodovoda 1988/1990 je upošteval kot dodatni vodni vir vode Notranjske Reke z izgradnjo večjega zajetja (verjetno pod vasjo Cerkvenikov mlin), iz katerega bi se črpala voda 300 m visoko do Rodika in od tam bi težnostno odtekala proti obali po že zakoličeni trasi regionalnega vodovoda. Predvideni so bili glavni objekti: pregrada, talni izpust, preliv za visoke vode, odvzemni objekt, dostopni most, črpališče za dvig vode, cevovod Barka-Rodik in priključni objekt Rodik.

Akumulacija Padež (2002): V sklopu študije »*Vodooskrba slovenske obale in zalednega kraškega območja – preveritve možnih vodnih virov s ciljem dolgoročne in regionalno zasnovane rešitve*« je bila izvedena novelacija akumulacije Padež. Koristni volumen akumulacije bi zagotavljal potrebe po pitni vodi do leta 2030. Zgornja plast vode v jezeru poleti je epilimnij. Ta voda, ki je v poletnem času zelo topla (več kot 20 °C), ni primerna za oskrbo s pitno vodo. Zato je lahko koristni volumen za vodooskrbo le 60-%.

Akumulacija Padež (2006): V projektu »*Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja*« so bile preučene tri različice lokacije pregradnega objekta: (1) akumulacija Padež s pregrado na potoku Padež, (2) akumulacija Suhorica s pregrado na potoku Suhorica, (3) akumulacija Veliki Padež s pregrado pod sotočjem Padeža in Suhorke. Za zagotavljanje dodatnih kapacitet je bilo predvideno še črpanje vode reke Reke v akumulacijo pri vseh treh različicah.

Akumulacija Padež (2008): Novelacija študije iz leta 2002 je predlagala namesto dodatnega črpanja vode reke Reke v akumulacijo črpanje vode potoka Padež v akumulacijo Suhorica.

Akumulacija Dragonja (2013): Prof. Marko Breznik je predlagal izgradnjo Istérskega jezera na Dragonji s črpanjem Rižane 120 m visoko po vodnem rovu med Rižano in jezerom, ki bi zagotavljala vodo za naslednjih 100 let. S povečanjem pregrade in jezera ter dodatnim dotokom iz bližnje Notranjske Reke bo pitne vode dovolj še za daljše časovno obdobje. Predlagal je gradnjo v treh stopnjah. Prva stopnja obsega gradnjo pregrade Dragonja z akumulacijo Istérsko jezero, čistilne naprave in 15 km dolgega površinskega cevovoda do Sečovelj. Zadržali bi samo vode Dragonje. Druga stopnja vsebuje povečanje pregrade, črpališča ob izviru Rižane, cevovoda dolžine 3 do 4 km, čez sedlo pod Kubedom, zgornji tok Dragonje. Tretja pa predvideva povečanje pregrade Dragonja na 70 m s prostornino vode Istérskega jezera, ki je 27 hm^3. Z izgradnjo skupno 8 km dolgega dotoka vode s podzemnim vodnim rovom in z okoli 1 km dolgim dvojnim cevovodom premera naj bi povezali črpališče ob izviru Rižane z Istérskim jezerom.

Obstoječi akumulaciji Klivnik in Mola: Klivnik je akumulacijsko jezero v Občini Ilirska Bistrica in zgrajeno leta 1987 za jezom na potoku Klivnik. V jezeru vzrejajo ribe, dovoljen je tudi športni ribolov. Jezero Mola (tudi Molja) je umetno jezero na potoku Molja, nastalo leta 1979. Služi še kot ribji rezervat, bogato je s ščukami, krapi in postrvmi. Prvotna funkcija obeh akumulacij je bila povečanje nizkih pretokov reke Reke zaradi onesnaženja v Reki iz Tovarne organskih kislin. Danes imata akumulaciji nalogi zagotavljanja ekološko sprejemljivega pretoka Reke in obrambo pred poplavami.

4.2 Namakanje

Vogršček: Akumulacija Vogršček je bila zgrajena leta 1989 z namenom zadrževanja vode za potrebe namakanja kmetijskih površin (85 % kapacitete zadrževalnika) v Vipavski dolini in zadrževanja poplavnih valov (15 % kapacitete zadrževalnika). Od načrtovanih 3.500 ha povr-

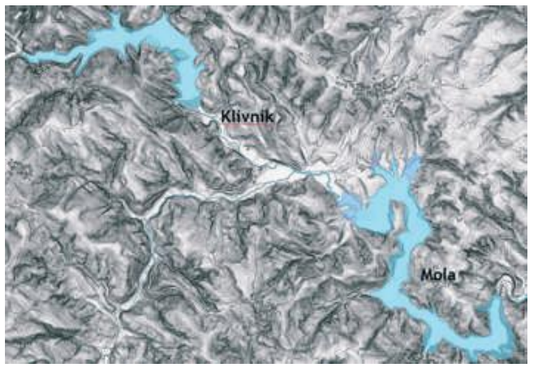
šin za namakanje je trenutno izvedenih le okoli 1.000 ha. Za namakanje je na voljo 6,8 hm^3 zadrževalnega prostora, dejansko pa je doslej izkoriščeno največ do 3,35 hm^3 vode iz akumulacije na leto. Trenutno je v teku obsežen sanacijski program evakuacijskih objektov, zaradi katerih pregrada ni v celoti delujoča. Predvideva se tudi razširitev območja namakanja, in sicer z namenom v celoti izkoristiti kapacitete akumulacije, ki so bile do zdaj največ polovično izkoriščene.

Vanganel: Zadrževalnik Vanganel na Bavškem potoku je bil zgrajen leta 1964 in je naša najstarejša vodnogospodarska pregrada. Kapaciteta zadrževalnika omogoča namakanje do 250 ha kmetijskih površin v dolini Badaševice, kar je primarni namen izgradnje pregrade. Pregrada omogoča tudi zmanjševanje visokovodnih valov Badaševice in varovanje pred poplavami. Pri gradnji nujnega zadrževalnika dajemo prednost gradnji zadrževalniku, ki ga polnijo pritoki reke Reke, saj gre v tem primeru za drug neodvisen vodni vir. Gradnja takega zadrževalnika, ki ima zgornjo plast (epilimnij) toplo vodo, omogoča uporabo te vode tudi za namakanje.

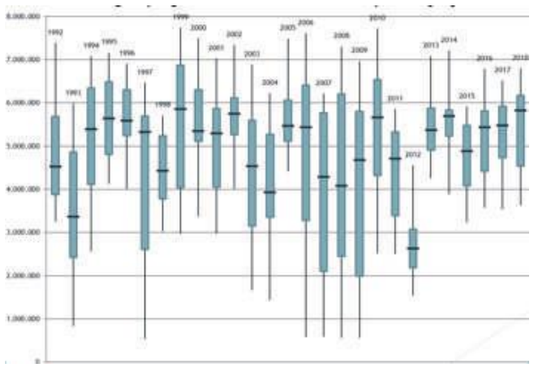
Tabeka 2: Tehnični podatki o pregradah

vir vode	lokacija pregrade	leto načrta oz. izvedbe	koristna prostornina	celotna prostornina	višina gradine vode	višina pregrade
			[m3]	[m3]	[m n. m]	[m]
Projektirane						
Rižana	Predloka	1964	28.000			
Rižana	Kubed	1988	4.060.000	4.600.000	150,7	
Rižana	Izvir	1989	32.300.000		110	50
Predloka	Predloka	1989	10.800.000		110	
Predloka	Predloka s črpanjem	1989	28.000.000		130	
Reka	Padež	1988	11.400.000	14.300.000		45
Padež	Padež	2002	4.700.000	9.830.000		
Padež	Padež	2006		12.100.000	422	48
Suhorica	Suhorica	2006		13.100.000	431	57
Padež in Suhorica	Padež	2006		14.900.000	417	43
Dragonja	Dragonja 1. stopnja			6.000.000		45
Rižana	Dragonja 1. stopnja			12.700.000		55
Rižana	Dragonja 1. stopnja			27.000.000		70
Izvedene						
Klivnik	Klivnik	1987	4.000.000	4.300.000	471,5	28,6
Mola	Mola	1979	4.000.000	4.300.000	435,5	23,5
Vogršček	Vogršček	1989	6.800.000	8.050.000	100,5	37
Bavški potok	Vanganel	1964	232.000	244.000	61,3	19

(Vir: Lastni)



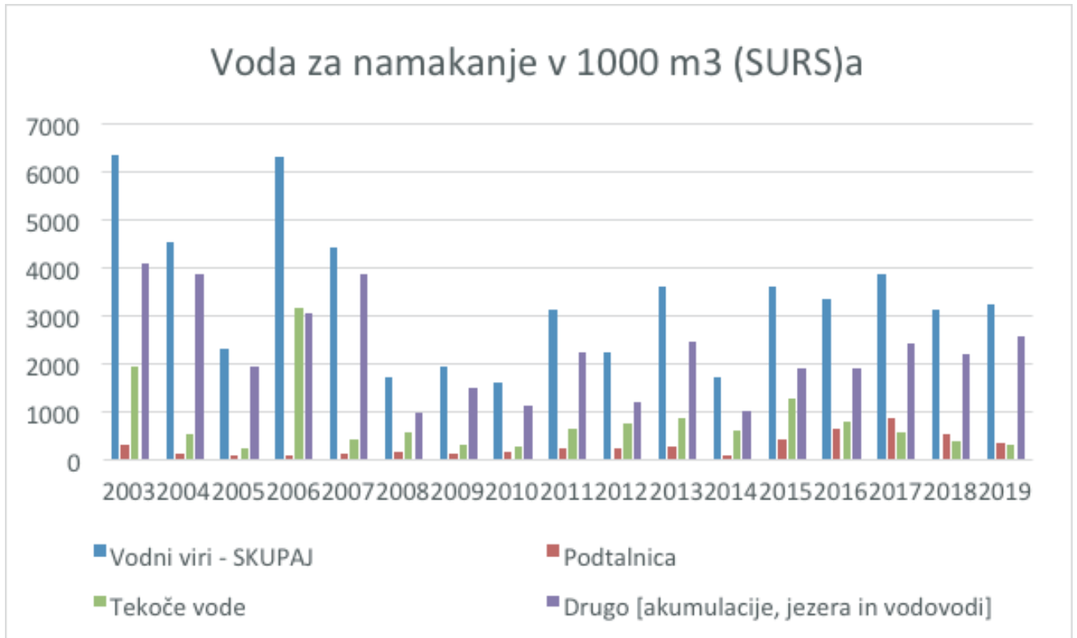
Slika 5: Akumulaciji Klivnik in Mola (Ivanuša, 2019)



Slika 6: Obseg skupnega volumna v akumulacijah Klivnik in Mola po letih [m^3] (Ivanuša, 2019)

5. NAMAKANJE

Porabo vode za namakanje povzemamo po Statističnem uradu Republike Slovenije. Iz grafikona 1 je razvidno, da se voda za namakanje večinoma koristi iz akumulacij in jezer. V letu 2019 znaša ta delež kar 79,3 %. Strategija namakanja iz leta 1995 je bila preverjena po kriterijih Svetovne banke, na podlagi katere so bili identificirani projekti v jugozahodni Sloveniji (Tabela 3).



Grafikon 1: Poraba vode za namakanje po virih (SURS)

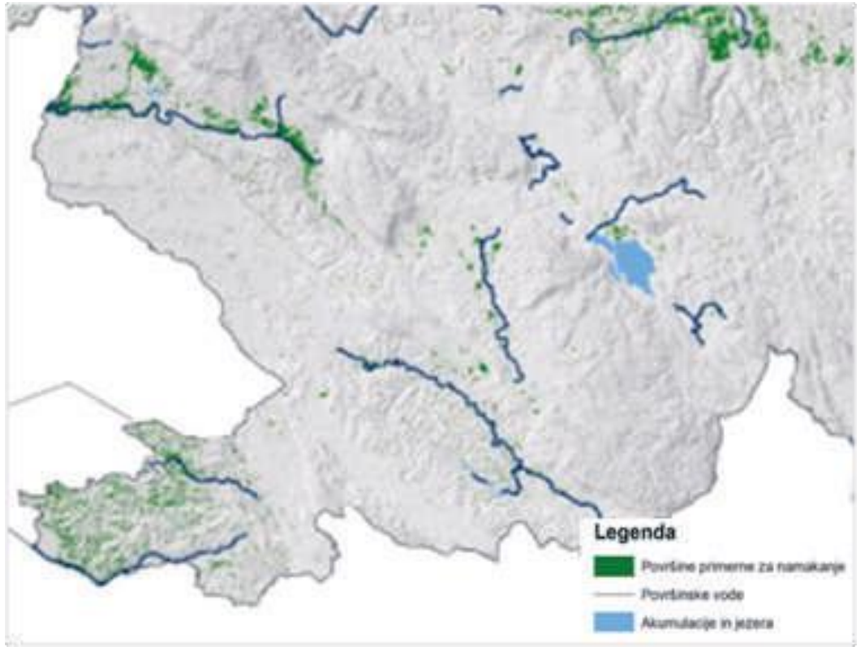
Tabela 3: Identificirani projekti namakanja po kriterijih WB (1995)

Namakalna regija	površine Strategija 1995	podprojekti	neto površine
	[ha]		[ha]
Vipavska dolina	**1.700**	Šempaske	105
		Rimci	35
		Lepenje	40
		Brje-Žabje	374
		Renče	19
Obala	**970**	Vanganel	80
		Dragonja	242
		Sermin	33
Skupaj	**2.670**		**928**

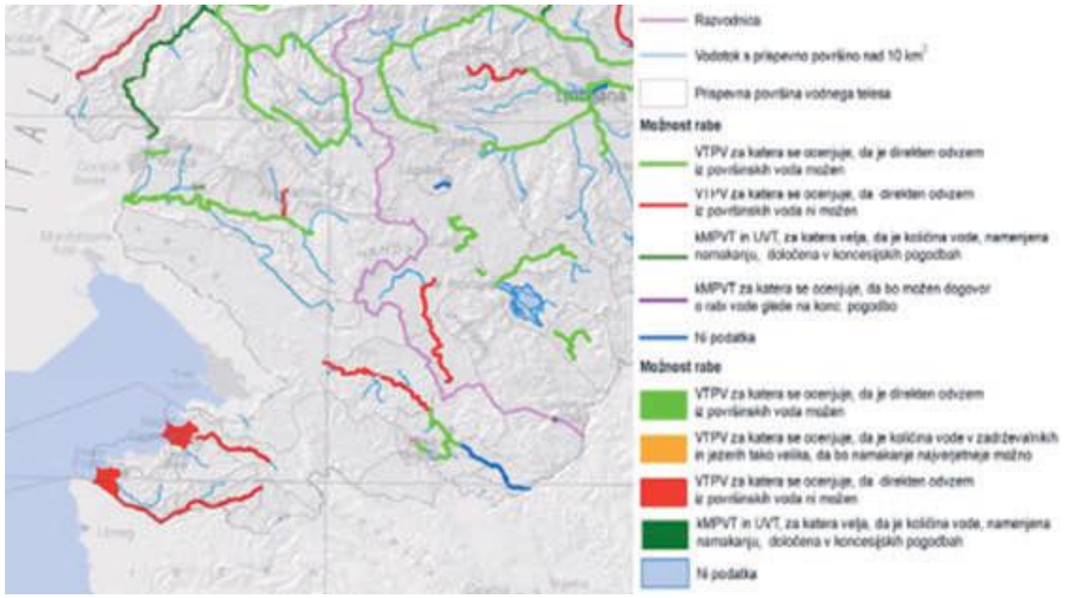
(Vir: Lastni)

Potrebe po vodi za namakanje so natančno preučene v dokumentu »*Ciljni raziskovalni program: Ocena vodnih perspektiv na območju Slovenije in možnosti rabe vode v kmetijski pridelavi*«. V poglavju »*Stanje, obratovanje in perspektive obstoječih vodnih akumulacij z vidika rabe vode v kmetijski pridelavi*« povzemamo naslednje podatke: primerne površine za namakanje v jugozahodni Sloveniji so prikazane na sliki 7. Vendar so odvzemi iz vodotokov možni samo na delu rek Reke in Vipave (Slika 8).

Za izvajanje ustrezne politike namakanja bodo potrebne akumulacije. Kot ukrep za odpravo in preprečevanje posledic vse pogostejših suš v zadnjem obdobju sta pripravljena naslednja dokumenta: »*Načrt razvoja namakanja in rabe vode v kmetijstvu*« ter »*Program ukrepov za izvedbo načrta razvoja namakanja in rabe vode za namakanje v kmetijstvu v Republiki Sloveniji do leta 2023*«. Srednjeročni plan (do leta 2023) za Zgornjo in Spodnjo Primorsko je razviden iz tabele 4. V prilogi »*Načrta namakanja do leta 2023*« so grafično prikazane akumulacije s pripadajočimi namakalnimi površinami: Košivec in NS Brje-Žablje (600 ha), NS Šempasko polje (279 ha), Draga 1 in 2 površine (51 ha) ter akumulacije Trmun, Montekalvo, Čuke Jernejska dolina in Ribila (133 ha). Pri akumulacijah za namakanje so poleg velikih zadrževalnikov (Vogršček, Vanganel) možni tudi manjši, locirani blizu namakalnih območij. O tehničnih izvedbah majhnih zadrževalnikov obstaja precej podatkov in navodil.



Slika 7: Primerne površine za namakanje v jugozahodni Sloveniji



Slika 8: Možni odvzemi vode za namakanje iz površinskih voda

Tabela 4: Predlog območij za gradnjo namakalnih sistemov (NS) – predvidoma do 2023

Območje	Novi namakalni sistemi				Posodobitve	
	več uporabnikov		posamezni uporabniki			
	NS	površina [ha]	NS	površina [ha]	NS	površina [ha]
Zg. Primorska	Košivec (Brje - Žablje)	600	ostala območja (Brda, Posočje in Idrijsko-Cerkljanko	50	Akumulacija Vogršček	
	Šempasko	279				
	Kanal	8				
		887		50		
Sp. Primorska	Ostala območja	224	Brkini in Kras	30	3 x mehki jezovi na Rižani	

(Vir: Lastni)

LITERATURA IN VIRI

1. Breznik, M., 2013. Istérsko jezero – pitna voda za 100 let. Gradbeni vestnik: glasilo Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, 2013, letnik 62, strani 226–237.
2. Ciljni raziskovalni program: Ocena vodnih perspektiv na območju Slovenije in možnosti rabe vode v kmetijski pridelavi, 2010. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Gradbena fakulteta, Inštitut za vode, Geološki zavod.
3. Džamastagič, E. in Kryžanowski, A., 2013. Možnosti izkoriščanja vodnega potenciala akumulacije Vogršček. Mišičev vodarski dan 2013.
4. Guštin, J., 1989. Večnamenska akumulacija Rižana. Gradbeni vestnik: glasilo Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, 1989, letnik 51, 7–8.
5. Humar, N., Šimic, J. in Kryžanowski, A., 2019. Dams as added Environmental Value in Space, 12th Conference on water Economy and Hydrotechnics, MACOLD, Skopje.
6. Idejni projekt akumulacije Kubed, VGI Ljubljana, št. C-666, februar 1998, Zvezek 1 – Splošno.
7. Ivanuša, B., 2019. Izkoriščenost visokovodnih zadrževalnikov v luči upravljanja z vodnimi količinami. Mišičev vodarski dan 2019.
8. Krmac, S., 2016. Suša v Slovenski Istri in možnost blaženja z namakanjem iz zadrževalnikov – primer Vanganel. Diplomsko delo. Koper: Univerza na Primorskem Fakulteta za humanistične študije.
9. Kryžanowski, A. in Humar, N., 2018. Dam construction in Slovenia. 80 Years of Dam Engineering in R. Macedonia – Proceedings, MACOLD, Skopje.
10. Načrt razvoja namakanja in rabe vode v kmetijstvu ter Program ukrepov za izvedbo načrta razvoja namakanja in rabe vode za namakanje v kmetijstvu v Republiki Sloveniji do leta 2023. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.
11. Ocena vodnih perspektiv na območju Slovenije in možnosti rabe vode v kmetijski pridelavi, 2011. Geološki zavod Slovenije, Inštitut za vode Republike Slovenije, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
12. Okoljsko poročilo za načrt razvoja namakanja in rabe vode za namakanje v kmetijstvu do leta 2023 in program ukrepov za razvoj načrta namakanja. Boson, d. o. o. Ljubljana, 2016 in 2017.
13. Projekcija vodnih količin za namakanje v Sloveniji – delovni sklop 3: Tehnične in lokacijske možnosti izgradnje malih vodnih zbiralnikov za zbiranje pobočnih voda. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 2012.
14. Projektno investicijska dokumentacija za pridobitev dovoljenj za gradnjo za investicijski projekt Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja, 2006. Institut za ekološki inženiring Maribor.
15. Regionalni primorski vodovod – idejni projekt, I. del, 1988, II. del, 1990. Vodnogospodarski inštitut.
16. Stražar, S., 2003. Nacionalni program namakanja Republike Slovenije od načrtov do realizacije. Mišičev vodarski dan 2003.
17. Vodooskrba slovenske obale in zalednega kraškega območja – preveritve možnih vodnih virov s ciljem dolgoročne in regionalno zasnovane rešitve, 2002. Institut za ekološki inženiring Maribor.

SISTEMSKA UREDITEV ZAGOTAVLJANJA VARNE PITNE VODE

doc. dr. MOJCA JEVŠNIK[1], IRENA SUŠELJ ŠAJN[2], PIA LEBAN[3]

Povzetek

Poznamo različne sisteme zagotavljanja zdravstveno ustrezne, varne pitne vode. Namen prispevka je predstaviti sistemsko ureditev zagotavljanja varnosti pitne vode v Sloveniji in širše ter na izbranem primeru ponazoriti razumevanje analize tveganj in plana HACCP. S pregledom literature smo retrospektivno ponazorili sistemsko ureditev zagotavljanja varne pitne vode. Za zbiranje podatkov smo uporabili znanstvene podatkovne baze in aktualne predpise, ki regulirajo varnost pitne vode. Na podlagi analize zbranih podatkov smo ugotovili, da je sistem HACCP učinkovito orodje zagotavljanja varnosti pitne vode, hkrati pa omogoča individualen pristop k analizi tveganj. Primeri sodobnih pristopov zagotavljanja varne oskrbe s pitno vodo so povzeti po avstralskem in ameriškem pristopu, ki v sistem varnosti pitne vode vključuje še obvladovanje terorizma, različne oblike onesnaženja pitne vode ter druge tehnične spremembe. Rezultati kažejo, da je z različnimi sistemskimi rešitvami mogoče zagotoviti učinkovito analizo tveganj in posledično varnost pitne vode.

Ključne besede: pitna voda, sistem HACCP, sistemski pristopi, varnost.

Abstract

We know various systems for providing health suitable, safe drinking water. The aim of this article is to present the systemic regulation of ensuring safe drinking water in Slovenia and beyond, and to illustrate the understanding of risk analysis and the HACCP plan in a selected case. By reviewing the literature, we retrospectively illustrated the systemic regulation of providing safe drinking water. For data collection, we used scientific databases and current regulations governing the safety of drinking water. Based on the analysis of the data, we found that the HACCP system is an effective tool for ensuring safe drinking water, while allowing an individual approach to risk analysis. Examples of modern approaches of ensuring safe drinking water are based on the Australian and American approaches, which include control of terrorism, various forms of drinking water pollution and other technical changes

1 Doc. dr. Mojca Jevšnik, dipl. san. inž., Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta.

2 Irena Sušelj Šajn, mag. san. inž., Kovod Postojna, d.o.o.

3 Pia Leban, dipl. san. inž., Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta.

in the drinking water security system. The results show that with various system solutions it is possible to ensure effective risk analysis and consequently the safety of drinking water.

Keywords: drinking water, HACCP system, safety, sistem approach.

1. UVOD

V svetu so tradicija in praksa ter številna strokovna in znanstvena spoznanja sooblikovali pristope kot tudi tehnike, kako v danem okolju doseči sprejemljivo varnost živil, kamor uvrščamo tudi pitno vodo. V desetletjih prejšnjega stoletja so se začela vsa akumulirana znanja, vključno s tehnološkimi postopki različnih procesov pridelave in predelave živil, sistematično vključevati v zakonodajo. Sistem HACCP (angl. Hazard Analysis and Critical Control Point) predstavlja najbolj jasen primer tovrstnega razvoja (Raspor, 2002). Po 2. členu Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17) je pitna voda voda v njenem prvotnem stanju ali po pripravi, namenjena pitju, kuhanju, pripravi hrane ali za druge gospodinjske namene. To je vsa voda, ki se uporablja za proizvodnjo in promet živil. Pitna voda mora v skladu s pravilnikom izpolnjevati zahteve glede mikrobioloških, kemijskih in indikatorskih parametrov, z namenom varovanja zdravja ljudi pred škodljivimi učinki zaradi onesnaženja pitne vode (Jamnik in Žitnik, 2016). V primeru neskladnosti (v okviru monitoringa ali notranjega nadzora) mora upravljavec raziskati vzroke neskladnosti in izvesti ukrepe za njihovo odpravo (Petrovič et al., 2007).

Javni izvajalec oskrbe s pitno vodo mora zagotoviti, da je pitna voda zdravstveno ustrezna, skladna ter da ne povzroča neposrednega ali posrednega poslabšanja kakovosti in varnosti pitne vode. Upravljavec mora zagotoviti skladnost na vseh mestih, kjer se voda uporablja kot pitna voda (Pravilnik o pitni vodi, 2004). V Sloveniji je vsak upravljavec dolžan izvajati ukrepe po sistemu HACCP in skrbeti, da je pitna voda ustrezna za uporabnike. Hkrati pa mora upravljavec vršiti notranji nadzor v skladu s predpisi, medtem ko spremljanje nadzora zagotavlja Ministrstvo za zdravje (Pravilnik o pitni vodi, 2004).

Osnova za vzpostavitev notranjega nadzora po sistemu HACCP je:

- dobro poznavanje vodnega vira (zaledje, redno spremljanje z meritvami v soodvisnosti vremenskih razmer);
- poznavanje zaledja vodnega vira (geološka sestava tal, pričakovana ocena);
- razpoložljiva tehnologija (on-line meritve 24 ur, redni odvzem vzorcev vode s terenskimi meritvami);
- ocena tveganja (kakšno tveganje predstavlja razpoložljivi vodni vir – mikrobiološko, fizikalno, kemijsko).

Za parametre, ki jih je treba spremljati, mora biti navedeno naslednje:

- kaj se bo spremljalo,
- kako se bo spremljalo,
- kdo bo izvajal nadzor,
- kje bo potekal nadzor,
- kdaj in kolikokrat bo potekal nadzor,
- mesto in čas hranjenja zapisov.

Varna pitna voda nam omogoča življenje in predstavlja enega od osnovnih pogojev zdravja. Čeprav je tako dragocena dobrina, jo prepogosto dojemamo kot nekaj danega. Tudi pomen stalnega nujnega preventivnega delovanja za zagotavljanje njene količine in kakovosti je neredko spregledan (Anon, 2007). Evropska unija (EU) ima definiran sistem direktiv Water Framework Directive 2000/60/ES in politiko o pitni vodi. Slednja zagotavlja, da se kakovost pitne vode nadzira s standardi, kot tudi da se kakovost in varnost vode učinkovito spremljata ter ocenjujeta. S politiko je sprejeto, da so uporabniki pravočasno seznanjeni z ustreznimi informacijami, hkrati pa ta ista politika prispeva k širši vodni in zdravstveni politiki EU (European Commission, 2018a). S 1. februarjem 2018 je Evropska komisija sprejela predlog o popravku direktive, ki bi z upoštevanjem nove analize tveganja izboljšal kakovost pitne vode ter omogočil večji dostop in informacije za uporabnike. Glavni temelji prenove so posodobitev varnostnih standardov in parametrov ter upoštevanje priporočil Svetovne zdravstvene organizacije. Popravek upošteva in spodbuja tudi organe, ki se spopadajo s tveganji pri oskrbi z vodo, da se soočijo z onesnaževalci pitne vode. S prenovo se bo uporabnikom omogočilo tudi več informacij o učinkovitosti dobaviteljev pitne vode (European Commission, 2018b).

Zakonodaja v RS opredeljuje dve vrsti nadzora, in sicer nadzor s strani upravljavca vodovoda, t. i. notranji nadzor, in nadzor s strani države, t. i. državni monitoring. Notranji nadzor, ki ga izvaja upravljavec vodovoda, mora biti vzpostavljen na osnovah sistema HACCP. Ta temelji na prepoznavanju, oceni in obvladovanju morebitno prisotnih tveganj ter strategiji za njihovo odpravljanje. Vključuje tudi interna vzorčenja in preskušanja. Poleg tega vključuje izvajanje potrebnih ukrepov in stalnega nadzora na mestih, kjer se tveganja lahko pojavijo. O skladnosti pitne vode, ugotovljeni v okviru notranjega nadzora, so upravljavci dolžni najmanj enkrat letno obveščati uporabnike. Z namenom zagotavljanja zdravstvene ustreznosti mora upravljavec redno spremljati vodo od zajema do porabe in o tem voditi dokumentacijo. Učinkovito uveden sistem, ki ga razumejo in skladno z navodili tudi izvajajo zaposleni, omogoča stalno visoko raven varnosti pitne vode za potrošnike.

Nadzor s strani države, t. i. državni monitoring, je namenjen preverjanju kriterijev ustreznosti pitne vode, določenih v Pravilniku o pitni vodi. Izvaja se po vnaprej pripravljenem letnem programu, kjer je določena minimalna letna pogostost vzorčenja. Monitoring obsega redna in občasna preskušanja vzorcev pitne vode. Redna preskušanja se izvajajo z namenom pridobivanja osnovnih informacij o pitni vodi kot tudi informacij o učinkovitosti priprave pitne vode (npr. dezinfekcije, kjer se ta uporablja). Informacije o skladnosti pitne vode na vse parametre, predpisane z omenjenim pravilnikom, pa podajo občasna preskušanja. Letna poročila o monitoringu pitne vode obsegajo pregled oskrbe s pitno vodo v Sloveniji in prikaz rezultatov laboratorijskega preskušanja vzorcev pitne vode. Ne zajemajo pa podatkov iz notranjega nadzora, saj je za ta del obveščanja odgovoren upravljavec vodovoda. Poročila so javno dostopna na spletni strani Nacionalnega inštituta za javno zdravje (NIJZ).

Namen prispevka je skozi pregled literature predstaviti različne sisteme zagotavljanja zdravstvene ustreznosti pitne vode, ponazoriti ameriški in avstralski sistem obvladovanja varnosti pitne vode ter na praktičnem primeru sistema HACCP za javni vodovod oceniti primernost analize tveganj in plana HACCP.

2. METODE DELA

Za raziskovanje orodij za sistemsko obvladovanje in zagotavljanje ustrezne pitne vode smo s pregledom znanstvene literature v obdobju od 1990 do 2020 po ključnih besedah, kot so *HACCP system*, *HACCP*, *system AND application*, *drinking water* in *safe water*, v podatkovnih bazah analizirali načine obvladovanja tveganj, različna orodja ter metodologije. Podatke smo iskali v znanstvenih podatkovnih bazah: Web of Science, Science Direct in Scopus. V tabeli 1 je prikaz zadetkov glede na iskalni niz in podatkovno bazo. Pregledali smo ameriški in avstralski model zagotavljanja varnosti pitne vode.

Tabela 1: Prikaz števila znanstvenih objav glede na iskalni niz in podatkovno bazo

Iskalni niz	Število zadetkov		
	Web of Science	Scopus	Science Direct
»HACCP system« AND »drinking water«	47	54	265
»HACCP« AND »safe water«	48	65	100
»system« AND »application« AND »drinking water«	2795	3930	85020
»system« AND »application« AND »safe water«	1531	2995	2866

(Vir: Web of Science, 2020; Scopus, 2020; Science Direct, 2020.)

Kot praktični primer smo ocenili analizo tveganj in plan HACCP na primeru ene izbrane kritične kontrolne točke (KKT).

3. REZULTATI

Rezultati so predstavljeni v treh sklopih. Najprej sledi predstavitev štirih sistemskih pristopov za zagotavljanje varnosti pitne vode, nato ameriškega in avstralskega modela zagotavljanja varnosti pitne vode ter na koncu praktični prikaz realne analize tveganj in plana HACCP za izbrano KKT.

3.1 Sistemsko zagotavljanje varne pitne vode

Skozi pregled literature smo retrospektivno predstavili štiri izbrana sistemska orodja zagotavljanja varnosti pitne vode (Tabela 2).

Tabela 2: Pregled znanstvene literature glede implementiranja sistema HACCP na področje zagotavljanja zdravstveno ustrezne pitne vode

Avtor, letnica	Značilnosti	Uporabljena orodja, metode	Glavne ugotovitve	Prednosti	Pomanjkljivosti
Havelaar, 1994	Gre za prvo formalno uvedbo sistema HACCP za proces pridobivanja pitne vode. Sistem zagotavlja varno in zdravstveno ustrezno pitno vodo za uporabnike.	Sistem HACCP je temeljil na petih korakih: (1) oblikovanje skupine HACCP, (2) opisovanje produkta – oskrba s pitno vodo, (3) prepoznavanje načrtovane uporabnosti oskrbe s pitno vodo, (4) in (5) izdelava ter potrjevanje prikaza poteka oskrbe s pitno vodo. Sočasna uporaba standarda ISO 9000 za kakovost vode in kvantitativne ocene tveganja (angl. QRA – Quantitative Risk Assessment) za določitev kritičnih mej na KKT.	Sistem temelji na dveh elementih: analiza nevarnosti in vzpostavitev KKT za sistem oskrbe s pitno vodo (primer faze črpanja vode, zajetja, priprave pitne vode, shranjevanja in distribucije). S sistemom QRA so določili kritične meje pri posamezni KKT. Sistem je temeljil na identifikaciji, oceni izpostavljenosti tveganju, oceni odziva na določeno koncentracijo ter odločitvi o spremljanju (izračun tveganja).	Pridobivanje pitne vode je mogoče iz različnih virov (podtalnica, površinska voda). Sistem je zasnovan tako, da ne glede na tip vodnega vira lahko vzpostavimo sistem, ki bo zagotavljal varno, zdravstveno ustrezno pitno vodo.	Niso predvideni sistem nadzora na KKT, korektivni ukrepi, vzpostavitev dokumentacije ter verifikacija sistema. Sistem je bil opisan samo na primeru mikrobiološkega tveganja.
Dewettinck et al., 2001	Gre za uvedbo sistema HACCP v zaključen vodni krog pridobivanja pitne vode. Pomembna je predvsem njegova aplikacija v pripravi odpadne vode, ki se nato ponovno uporabi kot vir pitne vode.	Sistem HACCP je temeljil na sedmih korakih: (1) vzpostavitev in verifikacija procesa, (2) izvajanje analize tveganja, (3) opredelitev in dokumentiranje nadzornih ukrepov, (4) identifikacija KKT, (5) opredelitev standardov in kritičnih mej, (6) vzpostavitev monitoringa, (7) vzpostavitev korektivnih ukrepov.	Glede na lastnosti vodonosnika so lahko sklenili vodni krog in vzpostavili sistem HACCP, ki zagotavlja ustreznost vode, ki se infiltrira nazaj v vodonosnik. Sistem je lahko prilagodljiv na sisteme čiščenja odpadne vode iz čistilne naprave. KKT so smiselno določene glede na tveganje. Vzpostavljene so tudi točke pozornosti v celem vodnem krogu, kjer se nadzira zdravstvena ustreznost.	Sistem HACCP je prilagojen celotnemu procesu, upošteva vsa tveganja. Monitoring je vzpostavljen za specifične faze v procesu s specifičnimi metodami in napravami. Dober okvir za strogo in preventivno higiensko ravnanje z odpadno vodo, ki nato lahko spet postane pitna voda. Sistem nudi tudi psihološko varnost uporabnikom, da je ponovna uporaba vode varna.	Problem nadziranja varnosti vode lahko predstavljajo nedoločeni parametri s strani države. Sistem je bil opisan samo na primeru mikrobiološkega tveganja.
Casani et al., 2006	V študiji primera, ki odgovarja na potrebe zmanjševanja uporabe pitne vode v procesu predelave kozic, se je implementiral sistem HACCP, ki zagotavlja varno vodo, ki se lahko ponovno uporabi v procesu.	Sistem HACCP je temeljil na štirih korakih: (1) analiza tveganja, (2) identifikacija KKT in vzpostavitev kontrolnih meritev, (3) določitev kritičnih mej in sistem nadzora na KKT, (4) določitev korektivnih ukrepov, verifikacija in dokumentacija.	Z vzpostavitvijo sistema so lahko prepoznali tveganja in nevarnosti za specifično sestavo odpadne vode. Določile so se KKT glede na izveden proces čiščenja vode. Vključena sta tudi element verifikacije in dokumentacija, ki uspešno spremljata sistem in učinkovitost.	V študiji primera se je sistem HACCP izkazal za učinkovito orodje zagotavljanja ustrezne pitne vode. Oblikovanje sistema in prepoznava tveganj sta bila vezana na specifično vrsto odpadne vode, zato so vso tehnologijo in orodje prilagodili temu.	V študiji primera se je s sistemom HACCP razvila učinkovita tehnologija, ki pa je za vsesplošno rutinsko ali občasno delovanje predraga.

Damikouka et al., 2007	Gre za uvedbo sistema HACCP in njegovih načel v pripravi pitne vode na čistilni napravi. Proces pridobivanja vode je standarden (zajetje, predkloriranje, priprava – koagulacija, flokulacija in sedimentacija, postkloriranje, shranjevanje in distribucija pitne vode).	Sistem temelji na sedmih načelih sistema HACCP: (1) analiza tveganja, (2) določitev KKT, (3) vzpostavitev kritičnih mej, (4) vzpostavitev monitoringa za KKT, (5) določitev korektivnih ukrepov, (6) vzpostavitev verifikacije, (7) vpeljava dokumentacije. Poleg uporabe sedmih načel so v študiji uporabili tudi druge elemente, kot so tim HACCP, opis produkta, diagram procesa in drugo.	Z ugotovljenim tveganjem in pravilno identifikacijo KKT je mogoče vzpostaviti učinkovit sistem HACCP, ki nadzira varnost pitne vode. Strukturiran pristop sistema omogoča ocenjevanje obstoječih težav in izboljšanje delovanja sistema.	Ocena tveganja je ključnega pomena v sistemu, saj se na podlagi te določijo KKT, mejne vrednosti in nadzor. Uporabljena sta procesni diagram in drevo odločanja za določitev KKT. Definiran je plan HACCP za vse ugotovljene KKT, kjer so predstavljeni tveganja, preventivni ukrepi, mejne vrednosti, monitoring in korektivni ukrepi. Predvidena je tudi revizija sistema.	Sistem omogoča subjektivnost zaradi upoštevanja mnenja strokovnjakov pri določanju kritičnih mej in mejnih vrednosti v procesu.

(Vir: Lastni)

3.2 Primeri obvladovanja varnosti pitne vode v ZDA in Avstraliji

3.2.1 Zakonik Združenih držav Amerike na področju varnosti pitne vode

Glavni zakonik Združenih držav Amerike ureja tudi zaščito kakovosti pitne vode. Zakonik je razdeljen na različna poglavja, poglavje 42 pa ureja javno zdravje in udobje, kjer v poglavju 6A najdemo področje javnih zdravstvenih storitev. Podpoglavje XII ureja varnost javnih vodnih sistemov, opredelimo pa ga lahko tudi kot Zakon o varni pitni vodi (Safe Drinking Water Act). Zakon se osredotoča na vse vode, ki so namenjene za uživanje kot pitna voda. Zakon je razdeljen na šest delov (A–F), kjer (A) opredeljuje glavne pojme in definicije, (B) določa javni vodovodni sistem, (C) določa zaščito podzemnih virov pitne vode, (D) opredeljuje izredna pooblastila, (E) ureja splošne določbe in (F) opredeljuje dodatne zahteve za ureditev varnosti pitne vode (The United States Code, 2020).

Glavni del, ki opredeljuje način zagotavljanja varne in kakovostne pitne vode, je del (B). Zakon pooblašča administratorja iz Agencije za varstvo okolja (angl. EPA – Environmental Protection Agency), da vzpostavi minimalne standarde za zaščito pitne vode od vseh lastnikov in upravljavcev vodnih sistemov. Določijo ciljne najvišje vrednosti onesnaževal, ki jih ne smejo preseči. Pri razvoju teh minimalnih standardov mora EPA upoštevati podrobno oceno tveganja vseh onesnaževal, upravljanje s tveganji in komunikacijo, predvsem pa tudi podrobno oceno stroškov. Ob vsem tem ne sme pozabiti vključiti najboljših razpoložljivih strokovnih in znanstvenih študij ter zbranih podatkov z najustreznejšimi metodami. Poleg minimalnih standardov so z delom (D) določena še tveganja, povezana z motnjami in izrednimi razmerami (The United States Code, 2020).

Zagotavljanje zdravstveno ustrezne pitne vode temelji na določitvi minimalnih standardov, ki jih upoštevajo v vseh zveznih državah ZDA. Kljub temu da standardi in način zagotavljanja niso poimenovani, pa vključujejo večino načel sistema HACCP. V Zakonu o varni pitni vodi tako opredeljujejo določanje in oceno tveganja, določanje kritičnih mejnih vrednosti za vsako tveganje ali onesnaževalo, vzpostavitev monitoringa, načine ukrepanja, načine preverjanja in revizije, prav tako pa tudi dokumentiranje v povezavi z upravljanjem z javnimi vodovodnimi sistemi.

3.2.2 Avstralske smernice za pripravo pitne vode

V Avstraliji se poslužujejo drugačnega pristopa za zagotavljanje varne pitne vode. Imajo predpisane smernice in okvir za upravljanje kakovosti pitne vode. Okvir na splošno obravnava štiri področja, in sicer zavezanost vodenju kakovosti pitne vode, analizo in upravljanje sistema, podporne pogoje ter presojo. Natančneje je zgrajen iz dvanajstih elementov, s katerimi lahko zagotavljajo varnost pitne vode (National Water Quality Management Strategy, 2018).

Elementi za upravljanje pitne vode so (National Water Quality Management Strategy, 2018):

- obveznost upravljanja kakovosti pitne vode s politiko kakovosti pitne vode, regulativnimi in formalnimi zahtevami ter vključevanjem zainteresiranih;
- ocena sistema oskrbe s pitno vodo z analizo vodovodnega sistema, oceno podatkov o kakovosti vode, identifikacijo nevarnosti in oceno tveganja;
- preventivni ukrepi za upravljanje kakovosti pitne vode s preventivnimi ukrepi, številnimi ovirami in kritičnimi kontrolnimi točkami;
- operativni postopki in nadzor procesov z operativnimi postopki, operativnim spremljanjem, korektivnimi ukrepi, opremo in vzdrževanjem opreme ter materiali in kemikalijami;
- preverjanje kakovosti pitne vode z nadzorom kakovosti pitne vode, zadovoljstvom potrošnikov, kratkoročnim vrednotenjem rezultatov in korektivnimi ukrepi;
- obvladovanje incidentov in nujnih primerov s komunikacijo in protokoli za incident in/ali odziv v sili;
- zavedanje in usposabljanje zaposlenih z zavedanjem in vključenostjo zaposlenih ter usposabljanji;
- vključenost in ozaveščanje skupnosti s posvetovanji skupnosti in komunikacijo;
- raziskave in razvoj s preiskovalnimi študijami in spremljanjem raziskav, validacijo procesov ter oblikovanjem opreme;
- dokumentacija in poročanje z upravljanjem dokumentacije in zapisov;
- vrednotenje in revizija z dolgoročnim vrednotenjem rezultatov in revizijo upravljanja kakovosti pitne vode;
- pregled in stalno izboljševanje s pregledom s strani višjih izvršnih direktorjev in načrtom za izboljšanje kakovosti pitne vode.

3.3 Razumevanje analize tveganj in plana HACCP za eno KKT

Na izbranem primeru sta prikazana analiza tveganj in plan HACCP s prikazom ene KKT. Na primeru (Tabela 3) je predstavljen plan HACCP obravnave KKT – filtracija UF.

Tabela 3: Prikaz plana HACCP za izbrano KKT – filtracija UF

Stopnja procesa v sistemu oskrbe s pitno vodo	Vrsta in opis tveganja	Razlog	Verjetnost	Resnost	Ocena tveganja	KT/ KKT	Preventivni ukrep	Mejna vrednost / Kritična vrednost	Korekcijski ukrep
Priprava vode v vodarni Malni: **FILTRACIJA UF**	MB Prisotnost patogenih bakterij, Clostridium perfringens, parazitov (Cryptosporidium spp. in Gardia)	Dostop osebja, ki prenaša bolezni				KKT 1	Nadzorovani vstopi osebja / upoštevanje DHP	Zdravo osebje	Omejen vstop
		Povečana motnost ob deževju					Spremljanje motnosti po filtraciji	Ciljna 0,03-0,05 NTU, mejna 0,50 NTU, kritična 0,90 NTU	Obveščanje uporabnikov / Prekuhavanje vode v prehranske namene pri mejni vrednosti 1,0 NTU
		Nevzdrževan objekt / oprema / filtri	1	1	1-nizko		Vzdrževanje objektov in opreme za pripravo vode skladno z načrti / redno čiščenje in vzdrževanje	Navodila za delo /vzdrževanje Načrt čiščenja Načrt čiščenja in plan čiščenja	Izobraževanje zaposlenih
		Kondenzacija vodnih hlapov na stenah vodarne					Kontrola nastajanja kondenza	Brez kondenzata	Razvlaževanja, prezračevanje prostorov
	F: tveganje zaradi napak/poškodb opreme	Poškodovana oprema in materiali v stiku z vodo	1	1	1-nizko		Redno vzdrževanje opreme in materiala, ki prihaja v stik z vodo pri filtraciji	Navodila za delo/plani	Izobraževanje zaposlenih
	K: Ostanki uporabljenih kemikalij koagulacije in spiranja modulov	Neustrezno vzdrževanje modulov – procesi spiranja, neustrezna koncentracija kemikalij					Laboratorijski preskus aluminija	Pravilnik o pitni vodi /parametri Aluminij: • Ciljna pod 10 µg/l • Mejna pod 150 µg/l • Kritična 190 µg/l	Ugotoviti napako in jo nemudoma odpraviti/ dodatno ročno spiranje filtrov, praznjenje bazenov čiste vode, ugotovitev koncentracije na sistemu, praznjenje cevovodov in rezervoarjev po omrežju
		Neobvladovani merilniki	1	1	1-nizko		Meritve: pH vrednosti, električne prevodnosti, motnosti, koncentracije aluminija po filtraciji vsakih 6 ur, Periodični pregledi in kalibracije merilnikov	Navodila za obvladovanje merilne opreme Navodila proizvajalca za vzdrževanje	Izobraževanje zaposlenih Takojšna kalibracija

(Vir: Lastni)

4. RAZPRAVA

Sistem HACCP se je razvil v šestdesetih letih prejšnjega stoletja kot univerzalno, znanstveno oblikovano orodje, ki zagotavlja varnost živil, kamor sodi tudi pitna voda. Vsa štiri opisana orodja za zagotavljanje zdravstveno ustrezne pitne vode opravljajo svoj namen že vrsto let. S prvo uvedbo sistema HACCP na področju pitne vode (Havelaar, 1994) je sistem dobil nov pomen, saj se ga lahko implementira na različne vodne vire, procese, vodne kroge, vedno pa je prisoten, ko je treba v procesu pridobivanja pitne vode zagotoviti varnost in zdravstveno ustreznost. V Tabeli 2 so opisani različni primeri implementiranja sistema, hkrati pa tudi glavne ugotovitve, prednosti in slabosti na posameznem primeru. Razvidno je, da moramo v analizi tveganja nujno vključiti vse vrste tveganj (mikrobiološko, kemijsko in fizikalno) (Havelaar, 1994), česar nekateri od predstavljenih orodij niso vključili. Pomembno je, da sistem HACCP temelji na natančni analizi tveganj, za kar je potrebno dobro prepoznavanje procesa in tehnologije.

Ameriški Food and Drug Administration (2009) v sistem zagotavljanja varnosti pitne vode vključuje preventivne metode za nadzor in obvladovanje onesnaževal, motnje v oskrbi termorebitne teroristične napade. Izpostavljeno je načelo preverjanja vseh elementov, ne le posameznega.

Avstralski model zagotavljanja varnosti pitne vode po smernicah National Water Quality Management Strategy (2018) vključuje temeljito analizo tveganj in poglobljeno sistematično ocenjevanje vodnih virov. Prepleta vse elemente, ki zagotavljajo, da bo sistem dobro deloval. Prav tako je zelo fleksibilen, saj se ga lahko implementira tudi na že obstoječe programe. Avstralski sistem se lahko primerja s sistemom HACCP po Codex Alimentarius in z mednarodnimi standardi kakovosti ISO. Avstralske smernice vključujejo vseh sedem načel sistema HACCP kot tudi področja obveznosti upravljanja kakovosti pitne vode, obvladovanja incidentov in nujnih primerov, zavedanja in usposabljanja zaposlenih, vključenosti in ozaveščanja skupnosti ter pregleda in stalnega izboljševanja. Zanimiv dodatek je tudi možnost vseh strank, ki lahko prepoznajo svoje odgovornosti v sistemu in se vanj vključijo (National Water Quality Management Strategy, 2018).

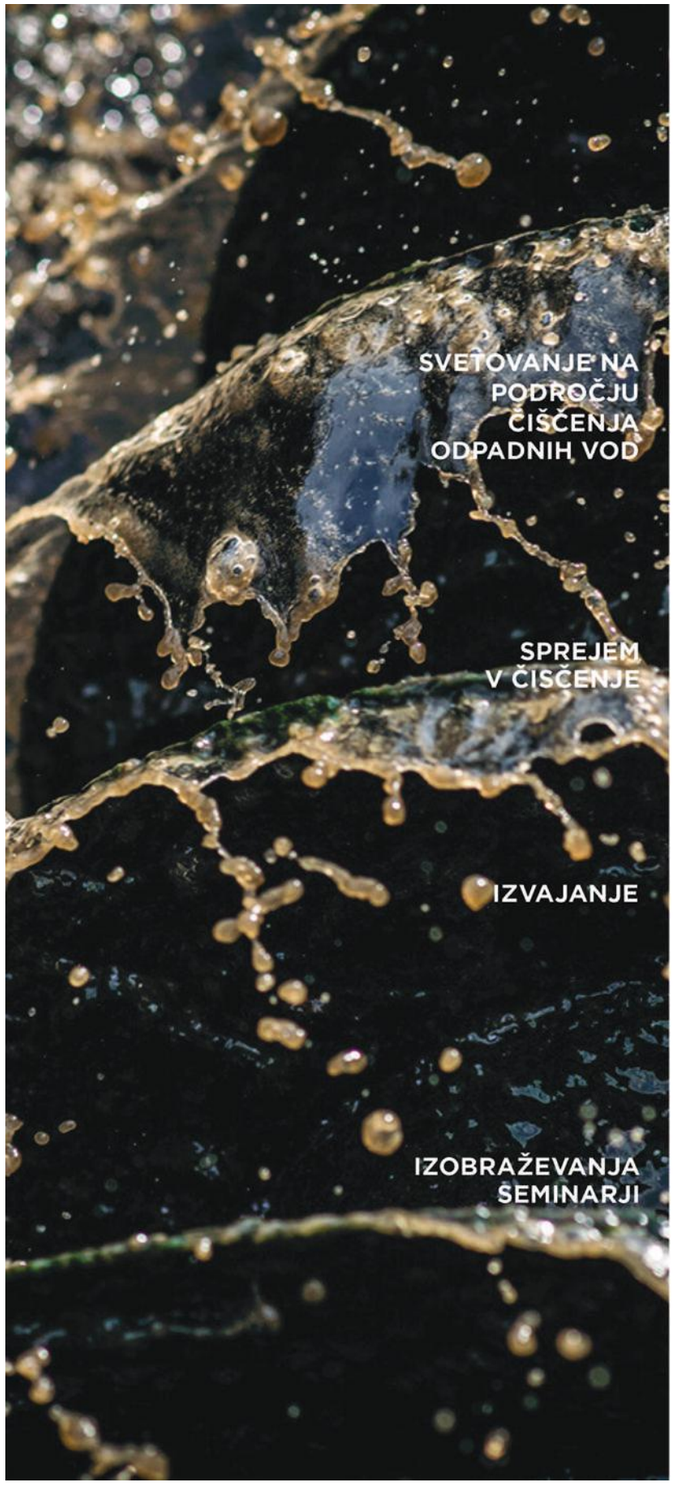
Ponazoritev obvladovanja KKT na izbranem primeru v planu HACCP pokaže, da sta med preventivnimi ukrepi za izbrano KKT, mejnimi vrednostmi in korekcijskimi ukrepi vključeni tudi dobra higienska (npr. redno čiščenje in vzdrževanje, usposabljanje zaposlenih, upoštevanje dobre higienske prakse) in dobra proizvodna praksa (npr. kontrola nastajanja kondenzata, nadzorovani vstopi osebja). Slednje je del spremljajočih programov in mora biti obravnavano ločeno. Vsi spremljajoči higienski in procesni programi morajo biti dobro obvladovani, sajso osnova za obvladovanje posameznih KKT. Za KKT pa mora biti v planu HACCP naveden postopek obvladovanja posameznih tveganj, ki so zgolj procesne narave, ne pa del spremljajočih programov.

5. ZAKLJUČEK

Sistemi zagotavljanja varnosti pitne vode so nedvomno učinkovita orodja, ki jih lahko implementiramo na različne vodne vire in za različne tehnologije obdelave odpadnih vod. Pomembno je izpostaviti avstralski sistem, ki poleg načel sistema HACCP vključuje še skrb za nenehno izboljševanje sistema in redno usposabljanje zaposlenih. Nudi tudi možnost strankam, ki prepoznajo svoje odgovornosti v sistemu in se vanj vključijo. Vsi proučevani sistemi temeljijo na ugotavljanju različnih tveganj, ki so prisotna v okolju in tehnološkem procesu. Praktični primer analize tveganj pokaže, da se v planu HACCP kot ukrepi mešajo tako dobra higienska in proizvodna praksa ter ukrepi za nadzor in obvladovanje prepoznanih tehnoloških tveganj. Verodostojnost informacij, način informiranja in kontinuiteta tega so temeljnega pomena za dvig ozaveščenosti zaposlenih v notranjem nadzoru sistemov za varno pitno vodo. Pomembno je, da se v izobraževalne procese izvajalcev nadzora vključijo znanja o sistemskih pristopih zagotavljanja varnosti pitne vode ter informiranje o novostih in aktualni problematiki na obravnavanem področju.

LITERATURA IN VIRI

1. Casani, S., Leth, T. in Knøchel, S., 2006. Water reuse in a shrimp processing line: Safety considerations using a HACCP approach. Food Control, 17(7): 540–550.
2. Damikouka, I., Katsiri, A. in Tzia, C., 2007. Application of HACCP principles in drinking water treatment. Desalination, 210(1–3):138–145.
3. Dewettinck, T., Van Houtte, E., Geenens, D., Van Hege, K. in Verstraete, 2001. W. HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) to guarantee safe water reuse and drinking water production – a case study. Water Sci Technol., 43(12): 31–38.
4. Direktiva sveta 98/83/ES z dne 3. novembra 1998 o kakovosti vode, namenjene za prehrano ljudi. UL L 330, 5. 12. 1998, str. 32.
5. European Commission, 2018a. Drinking water. Dostopno na: http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/index_en.html [17. 7. 2020].
6. European Commission, 2018b. Review of the drinking water directive. Dostopno na: http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/review_en.html [17. 7. 2020].
7. Food and Drug Administration, 2009. Drinking water security and safety. U. S. Food and Drug Administration. Dostopno na: https://wayback.archive-it.org/7993/20170722105952/https://www.fda.gov/RegulatoryInformation/LawsEnforcedbyFDA/ucm155780.htm [10. 7. 2020].
8. Havelaar, H. A., 1994. Application of HACCP to drinking water supply. Food Control, 5(3): 145–152.
9. Jamnik, B. in Žitnik, M., 2016. Pitna voda v letu 2015. JP VODOVOD-KANALIZACIJA d.o.o.
10. Jevšnik, M., Ovca, A. in Godič Torkar, K., 2017. Orodja za obvladovanje in analizo higienskih procesov. V M. Jevšnik (ur.), Higiena objektov in procesov, str. 64–119. Ljubljana: Zdravstvena fakulteta.
11. Ministrstvo za zdravje, 2008. Prostorska tehnična smernica TSG-12640.001: 2008 Zdravstveni objekti.
12. National Water Quality Management Strategy, 2018. Australian Drinking Water Guidelines 6. Version 3.5. Australian Government: NHMRC, NRMMC, 12–63.
13. Pravilnik o pitni vodi (uradno prečiščeno besedilo), 2004. Uradni list RS, št. 19/2004 in spremembe: Uradni list RS, št. 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15, 51/17.
14. Raspor, P., 2002. Priročnik za postavljanje in vodenje sistema HACCP. Ljubljana: Slovenski inštitut za kakovost in meroslovje: Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo.
15. The United States Code, 2020. Title 42 – Chapter 6A – Subchapter XII—Safety of Public Water Systems.
16. Ustava Republike Slovenije (uradno prečiščeno besedilo), 1991. Uradni list RS, št. 33 (18. 12. 1991), s spremembami: Uradni list RS, št. 42/97 – UZS68, 66/00 – UZ80, 24/03 – UZ3a, 47, 68, 69/04 – UZ14, 69/04 – UZ43, 69/04 – UZ50, 68/06 – UZ121, 140, 143, 47/13 – UZ148, 47/13 – UZ90, 97, 99 in 75/16 – UZ70a.
17. Zakon o zdravstveni ustreznosti živil in izdelkov ter snovi, ki prihajajo v stik z živili (uradno prečiščeno besedilo), 2000. Uradni list RS, št. 52/2000, s spremembami: Uradni list RS, št. 42/02 in 47/04 – ZdZPZ.



JP CČN DOMŽALE-KAMNIK d.o.o.

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

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

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

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

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

PREDSTAVITEV NOVEGA VODOVODNEGA SISTEMA NA ONKOLOŠKEM INŠTITUTU LJUBLJANA

dr. ANDREJ ŠARC[1]

Povzetek

Zagotavljanje ustrezne (pitne) vode v objektih je lahko zelo težka naloga, saj so objekti med seboj zelo različni, v njih pa lahko zelo različni uporabniki s svojimi navadami. Obremenitve in potrebe po vodi v bolnišnici so zelo različne, od zelo nizke do zelo visoke porabe. Snovalcem sistema to predstavlja velik izziv, saj je težko optimizirati vodovodni sistem na način, da bo v vseh točkah obratovanja deloval optimalno. Pri visokih porabah vode je treba sistem zdimenzionirati tako, da bo v vsakem trenutku zadoščal porabi. Po drugi strani pa preobsežen vodovodni sistem lahko predstavlja reakcijsko posodo, v kateri se množijo mikroorganizmi in kisik iz vode lahko reagira z materialom cevi vodovodnega sistema. Med obratovanjem je potrebno aktivno beleženje parametrov, na podlagi katerih se oceni, kakšni morajo biti ukrepi na vodovodnem sistemu, da je zagotovljena ustrezna kakovost vode uporabnikom. Osnovni pogoj za dosego ustrezne kakovosti vode je ustrezen pretok oz. izmenjava vode v sistemu.

Ključne besede: izpust vode, poraba vode, povratna zanka, pretočnost omrežja, vodovodni sistem, vzporedna vezava, zaporedna vezava.

Abstract

Providing adequate (drinking) water in facilities can be a very difficult task, as facilities are very different from each other with very different users, their habits. Loads, water needs in the hospital vary greatly from very low consumption to very high consumption. This is a great challenge for system designers, as it is difficult to optimize the plumbing system in such a way that it will work optimally at all points of operation. At high water consumption, the system must be properly dimensioned so that it will meet the consumption needs at all times, but on the other hand, an oversized plumbing system can be a reaction vessel in which microorganisms multiply, oxygen from water can react with plumbing material. During operation, it is necessary to actively record the parameters on the basis of which it is assessed what measures must be taken in the water supply system in order to ensure

1 Dr. Andrej Šarc, univ. dipl. inž. str., Onkološki inštitut Ljubljana.

adequate water quality for users. The basic condition for achieving adequate water quality is adequate flow or exchange of water in the system.

Keywords: network water exchange, parallel connection, plumbing system, recirculation loop, series connection, water consumption, water discharge.

1. UVOD

Izhodišče za izgradnjo novega vodovodnega sistema so bila neskladja, ugotovljena na starem vodovodnem sistemu, ter spoznanja, ugotovljena pri delovanju sistema in potrebah bolnišnice.

Prvotni vodovodni sistem je bil zgrajen skupaj z novogradnjo. Po nekaj letih obratovanja so se začele pojavljati težave s kakovostjo vode. Voda v vodovodnem sistemu je bila mikrobiološko neustrezna, prekoračene so bile dovoljene meje kemičnih elementov (železo in cink), ki so bile posledica korozije, pojavljala so se puščanja. Težave z zagotavljanjem kakovosti vode so se pojavljale tako na omrežju hladne kot tudi tople sanitarne vode. Posebno težavo je predstavljala kontaminacija vodovodnega omrežja z bakterijo *Legioanella pneumophila*, ki je patogen in človeku lahko zelo nevaren mikroorganizem (WHO, 2007). V bolnišnici, kjer so bolniki z oslabljenim imunskim sistemom, to predstavlja še večjo težavo kot pri objektih, kjer je večinoma zdrava populacija.

Star vodovodni sistem je bil po dobrih desetih letih uporabe dotrajan do take mere, da ga ni bilo več smiselno popravljati, v marsikaterem delu to tudi ni bilo več mogoče.

Vodovodni sistem lahko pri svojem delovanju predstavlja gojišče bakterij. Osnovni pogoji za čezmerno množenje mikroorganizmov so prisotnost hranil, čas, ki je potreben, da se bakterija deli, in ustrezna temperatura. Deli omrežja, ki so slabo pretočeni, zadostijo pogojema o ustrezni temperaturi in času. Prav v teh delih omrežja se čas vode v cevi podaljšuje, temperatura vode v ceveh pa izenači s temperaturo okolice. Temperatura hladne sanitarne vode lahko preseže 25 °C, medtem ko temperatura tople sanitarne vode pade pod 40 °C. Če se čas stoječe vode v cevi skrajšuje, bakterija nima časa za rast in delitev, čeprav bi za delitev imela druge ustrezne pogoje. Pri takih pogojih se tudi tvorba biofilma (oblog) na ceveh upočasni.

Pri rasti bakterij je mogoče razlikovati med zaprtim (batch) in odprtim (kemostat) sistemom (Madigan et al., 2012). Pri zaprtih sistemih ne pride do izmenjave snovi in vode z drugim sistemom, saj je opazovani volumen vode zaprt v cevi oz. zalogovniku. Količina snovi v vodi je omejena na volumen vode v sistemu. V prvi fazi celice mirujejo in se privajajo na novo okolje. V drugi fazi sledi eksponentna rast celic, in sicer do točke, ko kateri od dejavnikov ni več ugoden za deljenje celic. V tretji fazi rasti celic je vzpostavljeno ravnovesje med na novo deljenimi in odmrlimi celicami. Ta faza nastane, ko zmanjka hranilnih snovi ali ko izločki celic zavzamejo in omejijo prostor za nadaljnje deljenje. Koncentracija celic v opazovanem volumnu je približno konstantna. V četrti fazi rasti celic nastopi odmiranje celic. V tej fazi so pogoji za rast tako neugodni, da celice začnejo odmirati in koncentracija celic v opazovanem volumnu počasi upada. Pri zelo nizki porabi vode bi zalogovnik vode lahko obravnavali kot zaprt sistem.

Pri odprtem sistemu (kemostat) se količina dotoka vode v opazovani sistem spreminja. Pri nizkih hitrostih dotoka vode se celice delijo počasi. Z naraščanjem hitrosti vode in ob ustreznih pogojih (temperaturi in količini hranil) se generacijski čas celic zelo skrajša. Ko se hitrost vode (medija) čezmerno poveča, se celice izplaknejo iz sistema. Dele vodovodne mreže, ki so slabo pretočeni, bi lahko obravnavali kot odprt sistem.

Čas deljenja bakterije *Legionella pneumophila* je zelo pomemben podatek za projektanta vodovodnega sistema, saj zelo dobro prikazuje, kako hitro se lahko koncentracija bakterije poveča v primeru neskrbno dimenzionirane mreže vodovodnega sistema ter zalogovnikov hladne in tople vode. V raziskavi Warren in Miller (1979) je bilo ugotovljeno, da lahko pri optimalnih pogojih za rast koncentracija bakterije *Legionella pneumophila* naraste za 50-krat v 45 urah. Decimalni redukcijski čas bakterije *Legionella pneumophila* (WHO, 2007) je podatek, pomemben za projektanta toplotnih postaj in tudi omrežja vodovodnega sistema. Zelo dobro definira, kako naj bo voda termično obdelana, da bo varna za uporabo. Sevi *L. pneumophila* imajo decimalni redukcijski čas od 80 do 124 minut pri 50 °C in 2 minuti pri 60 °C (Dennis et al., 1984.; Schulze-Röbbecke et al., 1987). Decimalni redukcijski čas je enota odpornosti mikroorganizma na temperaturo (toploto). Definiran je kot čas, ki je potreben, da se uniči 90 % populacije mikroorganizmov pri konstantni temperaturi.

1.1 Opis starega vodovodnega sistema

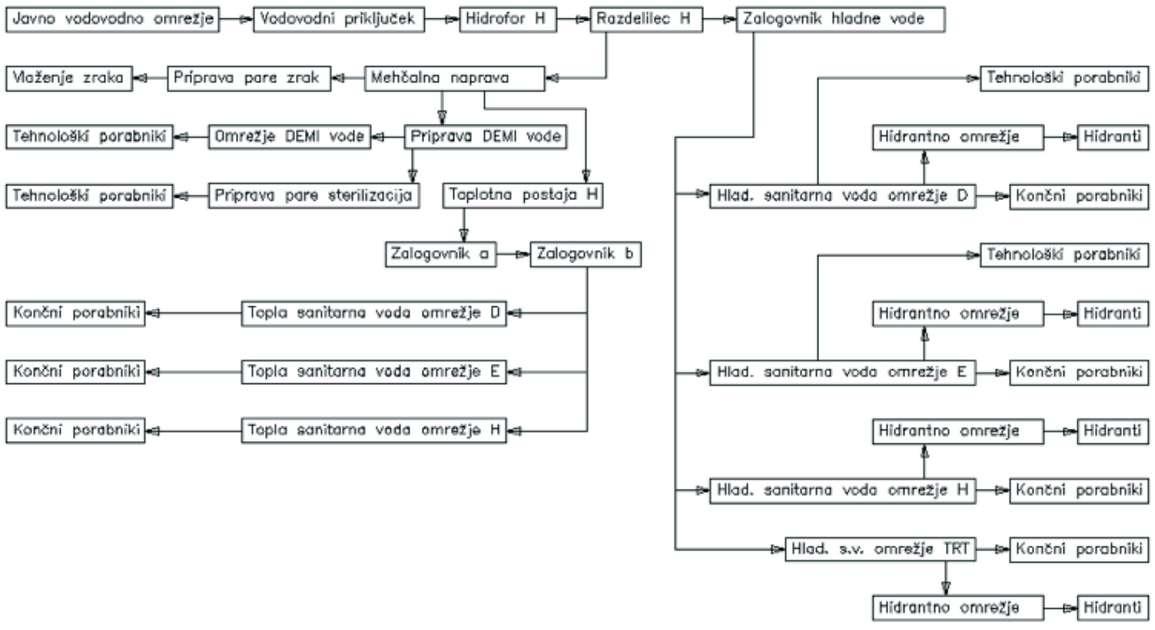
Na Onkološkem inštitutu (OI) Ljubljana je bilo po prvotnih načrtih vgrajeno 1256 iztočnih mest. Na starih vodovodnih sistemih je bila praksa, da se je skupaj s hladno sanitarno vodo na istem omrežju vgrajevalo tudi hidrantno omrežje (za primer gašenja požara z vodo na hidrantnem priključku). Računska poraba vode je v primeru uporabe hidranta bistveno višja od porabe vode za uporabnike in porabnike, iz česar sledi, da so premeri vgrajenih cevi precej večji, kot bi bili v primeru za samo porabo sanitarne vode.

Pri zasnovi omrežja so bila iztočna mesta vzporedno vezana. Ta zasnova je manj ustrezna, ker ima veliko število končnih iztočnih mest, kar pomeni večjo dolžino cevi in s tem večji volumen vode v sistemu. Posledica tega je zastajanje vode v omrežju. Taka vezava porabnikov je neugodna tudi pri izpiranju cevovoda in izvedbi toplotnih šokov, ne nazadnje pa se pri zagotavljanju pretočenosti omrežja pojavi veliko število končnih iztočnih mest, kar ima za posledico (pre)veliko porabo vode, energije kot tudi časa.

Zalogovniki vode so bili konstruirani tako, da so dosegali ustrezni temperaturni profil po preseku (višini) zalogovnika, hkrati pa je bilo preprečeno zadrževanje tople vode pri vrhu in hladne pri dnu. Za hladno sanitarno vodo je bil en zalogovnik volumna 6500 L, medtem ko sta bila za toplo sanitarno vodo po dva zalogovnika volumna 3000 L.

Toplotna postaja je bila ena za vse tri objekte moči 950 kW. Temperatura tople sanitarne vode v zalogovnikih je bila v času rednega obratovanja praviloma do 65 °C. Temperatura v mreži vodovodnega sistema je bila od 5 do 8 °C nižja. Višja je bila bližje toplotni postaji, nižja pa na bolj oddaljenih iztočnih mestih. Temperature vode po cirkulacijskih zankah so bile okoli 55 °C, na posameznih odsekih lahko tudi manj.

Cirkulacija tople sanitarne vode je namenjena vzdrževanju ustrezne temperature tople vode v omrežju. To se doseže z zadostnim pretokom tople vode po ceveh, in sicer tako, da se pri zadnjem porabniku tople sanitarne vode izdela odcep cevi, ki vodi do cirkulacijske črpalke, od tu pa naprej v zalogovnik tople sanitarne vode. Pretok vode skozi posamezne veje cirkulacijskih vodov je lahko neustrezen zaradi neustrezne cirkulacijske črpalke in hidravlične neuravnoteženosti vodovodnega omrežja, kar je lahko precejšnja težava pri vzporedni vezavi porabnikov, kjer se pojavi veliko število cirkulacijskih zank. Star sistem je imel vgrajeno eno cirkulacijsko črpalko za toplo sanitarno vodo, ki je težko zagotavljala ustrezni temperaturni profil vode po celotnem omrežju vodovodnega sistema. Slednji je omogočal tudi beleženje temperatur posameznih vej cirkulacijskih zank. Vodovodna mreža je bila izvedena iz pocinkanih jeklenih cevi.



Shema 1: Shema starega vodovodnega sistema objektov D, E, H Onkološkega inštituta Ljubljana
(Vir: SCT, d.d., 2010)

Interna vodovodna mreža na OI Ljubljana se je začela z odcepom iz javnega vodovodnega omrežja. V nadaljevanju so prikazani ključni elementi v vodovodnem sistemu, do končnih porabnikov ali tehnoloških porabnikov.

Ukrepi za zagotavljanje ustreznosti kakovosti vode so temeljili na preventivni kemični dezinfekciji vode s konstantnim doziranjem dezinfekcijskega sredstva in izrednih kemičnih dezinfekcijah vodovodnega omrežja. Ti ukrepi so se izvajali praviloma na omrežju hladne sanitarne vode. Na sistemu tople sanitarne vode se je mikrobiološka ustreznost vode zagotavljala s toplotnim pregrevanjem omrežja tople sanitarne vode in izpiranjem na končnih mestih. Pri pregrevanju omrežja se je temperatura na zalogovnikih dvignila s 65 na 75 °C. Tako vroča voda je lahko že nevarna za uporabnike, saj lahko povzroči opekline. Po izvedbi termične dezinfekcije omrežja s spiranjem omrežja na vseh končnih mestih je bila voda pogojno ustrezna. Tovrstni ukrepi so večinoma enkratni in niso dolgotrajni. Izvajali so se približno enkrat na leto oz. po potrebi.

Slika 1: Prikaz oblog v vodovodni cevi hladne (levo) in tople sanitarne vode (desno)
(Vir: Lastni)

1.2 Snovanje novega vodovodnega sistema

Vodilo pri snovanju novega vodovodnega sistema je bilo narediti vodovodni sistem, ki bo zadoščal potrebam uporabnika, hkrati pa ne bo preobsežen. Pri tako velikih sistemih, kot so bolnišnice, je v fazi priprave projektne dokumentacije težko oceniti porabo vode. Vodovod mora biti ustrezno dimenzioniran, kar pomeni, da voda dosega zahtevane parametre (temperature, pretoka in tlaka) na vseh porabnikih v konici porabe. Celotna poraba sanitarne vode v konici v primeru OI Ljubljana znaša lahko do 6000 L/15 min v dopoldanskem času pri polno delujoči bolnišnici (laboratoriji, pralnica, sterilizacija) ali pa 6000 L/6 ur v nočnem času. Iz podatkov je mogoče razbrati, da je poraba vode zelo nesorazmerna oz. so velike razlike med vršno in minimalno porabo vode. To je zelo obremenjujoč faktor pri dimenzioniranju vodovoda, ker se ga dimenzionira na vršno porabo, v času minimalnih obremenitev pa je tak sistem (pre) obsežen, s čimer se daljša čas vode v sistemu. Prostornina delujočega vodovodnega sistema je ves čas konstantna.

Zelo pomemben faktor pri snovanju vodovodnega sistema je faktor istočasnosti, ki je predpisan po standardu (DIN 1988-300, 2012). Pri snovanju novega vodovodnega sistema smo stremeli k vitki inštalaciji, zato so bili izbrani faktorji istočasnosti čim nižji, kot jih še dopušča standard. Ob vgradnji novega vodovodnega sistema je bilo odstranjeno tudi 108 iztočnih mest, ki so bili zelo malo ali nič v uporabi.

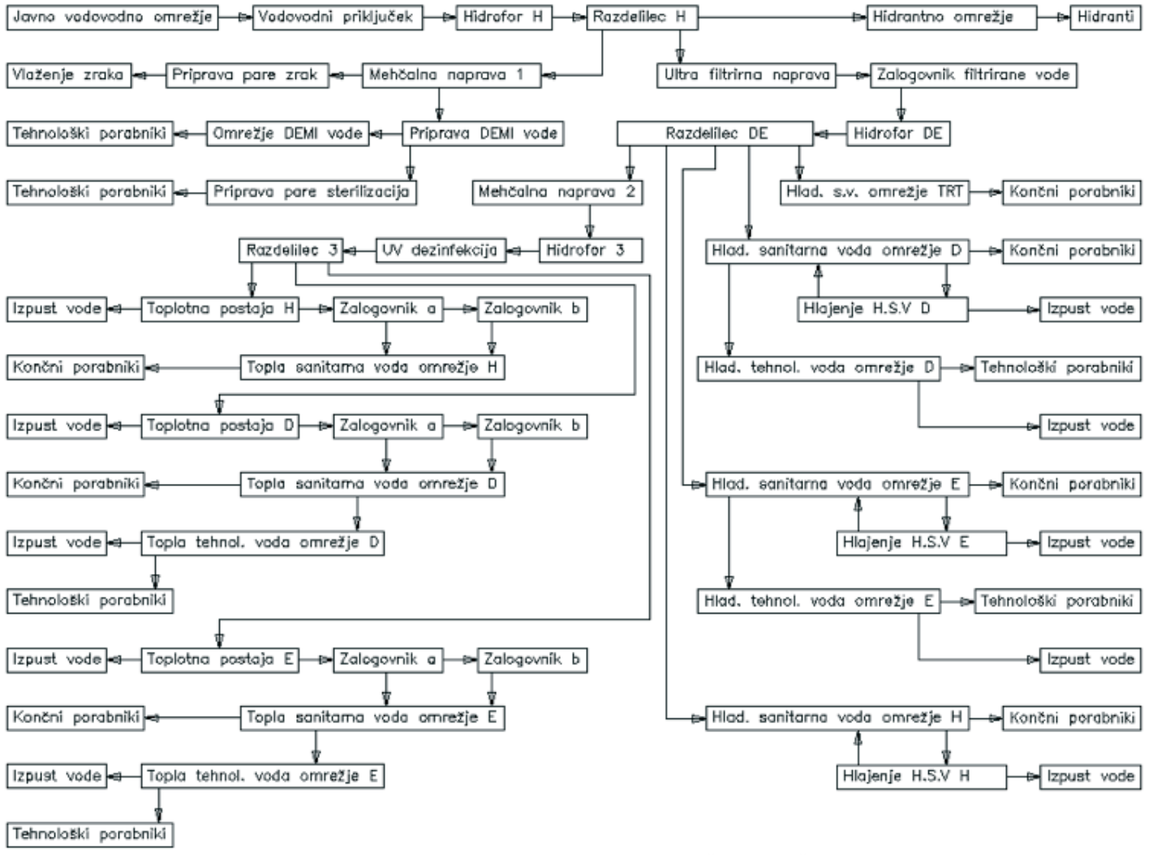
Na novem vodovodnem sistemu so namesto ene centralne priprave tople sanitarne vode po novem nameščene tri toplotne postaje, predvsem z namenom, da so bližje porabnikom vode in da so dimenzionirane glede na porabnike, ki se vežejo na posamezno toplotno postajo. Prednosti manjših toplotnih postaj so boljša odzivnost glede na porabo vode in krajši cevovodi,

kjer je postaja nameščena bližje porabnikom. Tako se skozi cevovod izgubi manj toplote, kar pomeni, da so padci temperatur na povratnih vodih nižji kot pri dolgih cevovodih.

Nov vodovodni sistem ima zaporedno vezane porabnike vode. To pomeni, da ob vgrajenih, povratnih vodih voda v sistemu konstantno kroži. Ob posameznem odjemnem mestu (pipi) je na glavno vodovodno cev vgrajen nepovratni ventil, ki je povezan s pipo s fleksibilno cevjo. Teoretično je zagotovljeno, da voda iz fleksibilne cevi, kjer zastaja ob zaprtem iztočnem mestu, ne vdira proti omrežju.

1.3 Opis novega vodovodnega sistema

Pri opisu novega vodovodnega sistema smo nekaj podrobnosti poenostavili, ker bi bila sicer razlaga vsakega posebej preobsežna. Interna vodovodna mreža na OI Ljubljana je prikazana na shemi, kjer so vidni vsi ključni elementi vodovodnega sistema, od odcepa iz javnega vodovodnega omrežja naprej do končnih in tehnoloških porabnikov ali izpustov vode. Vodovodna inštalacija se zaključi na skupno 1148 iztočnih mestih (število iztočnih mest za vse objekte skupaj).



Shema 2: Shema vodovodnega sistema objektov D, E, H Onkološkega inštituta Ljubljana
(Vir: Delno povzeto po I.S.P., d.o.o., Kamnik, 2015)

1.4 Opis posameznih naprav ali elementov

Ultrafiltrirna naprava je namenjena filtraciji vode po vstopu vode v objekt, s čimer je zagotovljeno, da se prefiltrira vsa voda, ki vstopa v objekt iz javnega vodovodnega sistema. Velikost trdnih delcev, ki se ujamejo na membrane ultrafiltracije, je nad 0,02 mikrometra. Čiščenje nesnage z membran ultrafiltracijske naprave je samodejno ter se izplakuje v nevtralizacijo in nato v kanalizacijo. Sestavljena je iz treh prog, ki delujejo avtonomno (Strix, d.o.o., 2015). Za napravo je vgrajen zalogovnik volumna 6000 L, ki je namenjen hrambi hladne prefiltrirane vode.

UV-svetili sta vgrajeni na topli sanitarni vodi v hladnem delu cevi, in sicer pred razdelilcem, kjer se voda odcepi do posameznih toplotnih postaj.

Na toplotnih postajah se voda segreje na 70 °C (GIA-S Industrijska oprema, d.o.o., 2014). Od tod ogreta voda potuje v reakcijski zbiralnik volumna 750 L, kjer se hrani najmanj 6 minut (pogoj za uničenje bakterije *Legionella pneumophila*). Od tod potuje v zalogovnike vode, ki sta za vsako postajo po dva, volumnov od 1000 do 1500 L. Temperatura vode v toplotnih po-

stajah in zalogovnikih v rednem obratovanju znaša 70 °C ter se pred vstopom v omrežje tople sanitarne vode ohladi na 65 °C. Pri tem je želena temperatura povratka vode (cirkulacija) vsaj 55 °C. Toplotne postaje omogočajo tudi izvedbo termične dezinfekcije, pri čemer se temperatura v zalogovnikih dvigne nad 75 °C , temperatura vode v omrežju pa takrat znaša okoli 70 °C. Ustrezen pretok vode in s tem ustrezne temperature vode v sistemu zagotavljajo cirkulacijske črpalke, krmiljene v odvisnosti temperature vode v povratnih vodih. Priključna moč toplotne postaje D znaša 300 kW, toplotne postaje E 350 kW, toplotne postaje H pa 350 kW. Toplotne postaje z zalogovniki omogočajo dezinfekcijo omrežja tople sanitarne vode skupaj z iztočnimi mesti. Pri tem je lahko hkrati odprtih približno 50 iztočnih mest.

Vodovodno omrežje je ločeno na hladno in toplo sanitarno vodo. Nadalje je ločeno po posameznih objektih. Povratni vodi (cirkulacije) so vgrajeni na sistemu hladne in tople sanitarne vode. V posameznih delih objekta je izveden odcep za tehnološko vodo. Tehnološki vodi so namenjeni tehnološkim porabnikom sanitarne vode. Prav slednji so analizatorji vzorcev v laboratorijih. Namen tehnoloških vodov je ločitev tehnološke vode od sanitarne ter dvig tlaka hladne in tople sanitarne vode na zahtevano raven na priključku tehnološkega porabnika. Omrežje ima ob koncu povratnih vodov (cirkulacij) izvedene izpustne ventile. V primeru premajhne porabe vode ali neustrezne temperature vode povratnega voda se ventil odpre in vodo izpusti iz omrežja (v kanalizacijo). Čas izpiranja posameznega odseka omrežja je ocenjen na podlagi temperaturne razlike vode na vstopu v sistem in na povratnem vodu. Za vsako napravo ali sklopom vodovodnega omrežja je nameščena pipa za vzorčenje vode, ki omogoča, da se lahko odvzame vzorec in s tem kontrolira vplive naprave na kakovost vode. V spodnji tabeli so podani volumni posameznih delov vodovodnega omrežja.

Tabela 1: Količine vode po posameznih segmentih vodovodnega sistema

	Sistem hladne sanit. vode	Hladna teh. voda	Sistem tople sanit. vode	Topla teh. voda	Volumen zalogovnika
UF nap.					6000 L
Objekt D	2581 L	113 L	2581 L	113 L	2x 1500 L
Objekt E	2375 L	182 L	2375 L	27 L	2x 1000 L
Objekt H	2076 L		2076 L		2x 2000 L

Opomba: Podatki so pomembni za oceno časa izpiranja vodovodnega omrežja.
(Vir: Delno povzeto po I.S.P., d.o.o., Kamnik, 2015)

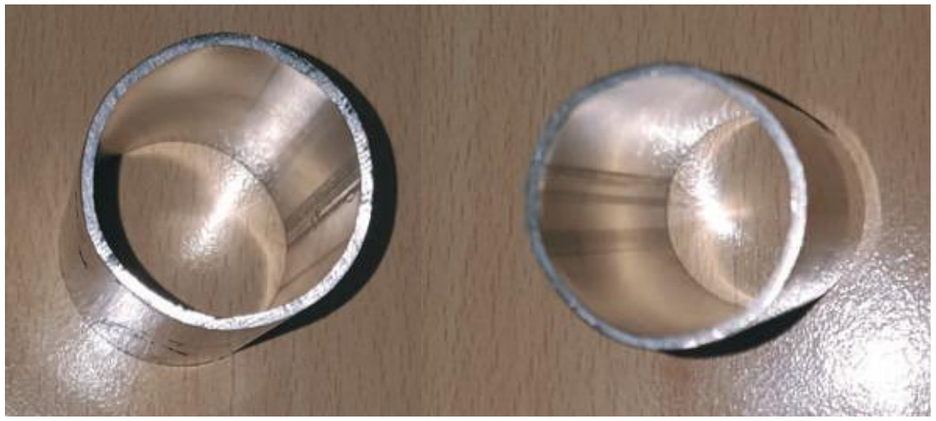
Voda v omrežju hladne sanitarne vode ima vgrajene povratne vode (cirkulacijo), ki zagotavljajo, da zgornja meja temperature hladne sanitarne vode ne preseže 20 °C na iztočnem mestu (Hojs, 2002). V primeru previsokih temperatur vode povratnih zank ustrezno nizko temperaturo vode zagotavlja hladilni agregat, ki vodo, ki pride iz omrežja (cirkulacije), pohladi in primeša v svežo vodo. Cirkulacijske črpalke s hladilnimi agregati so ločene po objektih.

Kemična dezinfekcija se izvaja zgolj s hladno vodo, pri čemer mora biti celoten sistem, na katerem se izvaja dezinfekcija, ohlajen. Izvedba kemične dezinfekcije se predvideva ob izrednih dogodkih. Predvideno dezinfekcijsko sredstvo je natrijev hipoklorit z omejeno koncentracijo in omejenim kontaktnim časom (Kovinar Kočevje, d.d., 2016).

Namen centralnega nadzornega sistema je pregled delovanja in beleženje ključnih parametrov vodovodnega sistema, tudi na ključnih napravah ter ključnih delih sistema. Na aplikaciji se tako beležijo temperature, tlaki, pretoki vode, lahko se prikazujejo tudi opozorila v primeru okvar. Vodovodno omrežje je izdelano iz nerjavečega jekla.

Omrežje hidrantne vode je v celoti ločeno od vodovodnega omrežja.

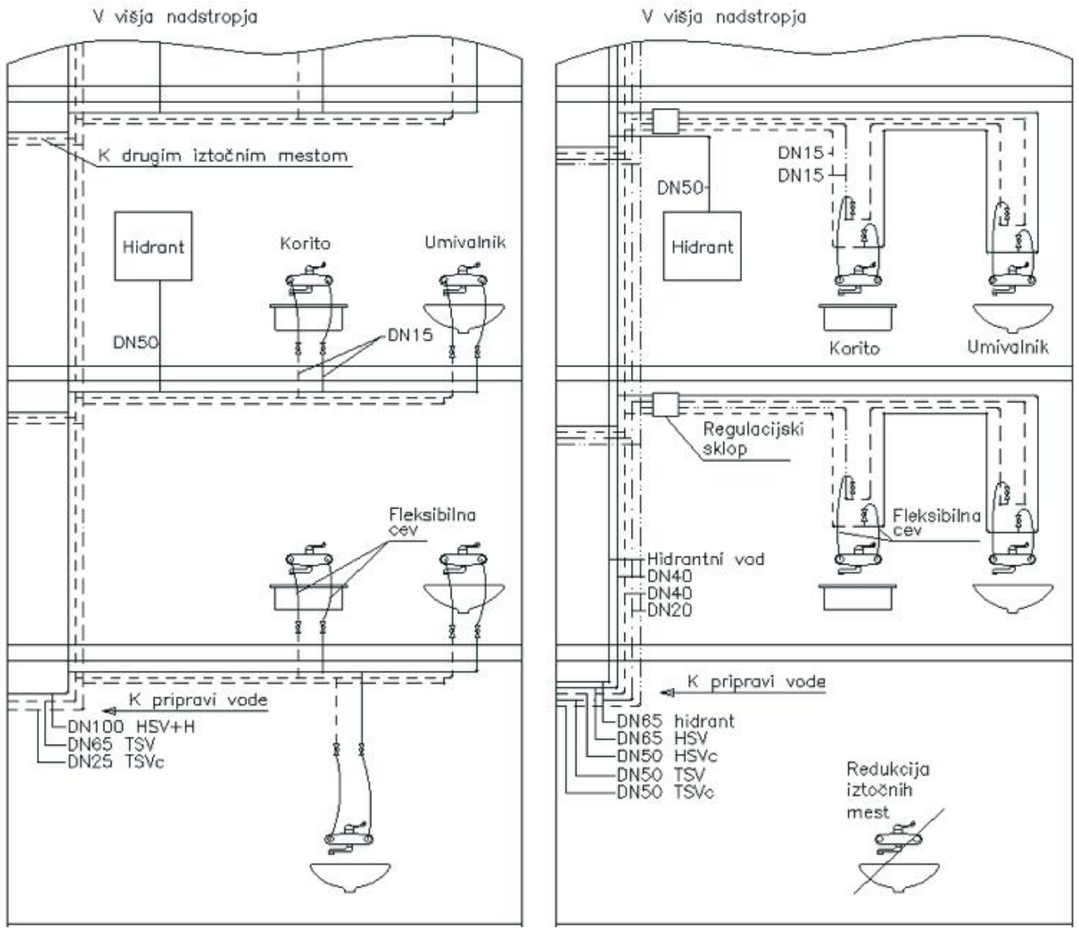
Delovanje novega vodovodnega sistema z zgoraj omenjenimi podsistemi je avtomatizirano prek centralnega nadzornega sistema. Uporabniku je v večji meri prepuščena skrb, da zagotavlja potrebne vire za preskrbo z vodo (dobava vode iz javnega omrežja, električna energija, komprimiran zrak) in kontrolira kakovost vode glede na pripadajoče predpise. Kontrola delovanja se izvaja prek centralnega nadzornega sistema in s kontrolami na sistemu.



Slika 2: Prikaz vodovodne cevi hladne (levo) in tople sanitarne vode (desno)

Po treh letih uporabe vodovoda ni vidnih oblog (biofilma) na stenah cevi.
(Vir: Lastni)

1.5 Primerjava vezave porabnikov na starem in novem vodovodu



Shema 3: Primerjava vezave porabnikov vode pri starem (levo) in novem vodovodnem sistemu (desno)
(Vir: SCT, d.d., 2010; I.S.P., d.o.o., Kamnik, 2015)

Na shemi 3 levo je prikazan dovod hladne sanitarne vode (HSV), na shemi 3 desno tudi povratni vod hladne sanitarne vode (HSVc). Nadalje sta razvidna dovod tople sanitarne vode (TSV) in povratni vod tople sanitarne vode (TSVc). Nov vodovodni sistem ima popolnoma ločeno hidrantno mrežo, medtem ko ima star združeno hidrantno in hladno sanitarno vodo (HSV+H). Na shemi 3 desno so prikazani zaporedno vezani porabniki. Fleksibilne cevi so na novem vodovodu priključene na zaporni ventil z vgrajenim protipovratnim ventilom.

Dimenzije cevi med seboj pred pripravo vode zaradi različne zasnove vodovodnega sistema niso povsem primerljive, vendar je neizogibno dejstvo, da so na približno isti lokaciji v stavbi dimenzije starega vodovoda precej večje od dimenzij novega vodovoda. Hladna sanitarna in hidrantna voda skupaj na starem vodovodnem sistemu imata cev premera DN 100 mm; premer cevi hladne sanitarne vode na novem vodovodnem sistemu je DN 65 mm, premer cevi hidrantne mreže pa DN 65 mm.

2. RAZPRAVA

Skozi dobo obratovanja in delovanja starega in novega vodovodnega sistema je bilo ugotovljeno, da ima bolnišnica glede na način uporabe vodovodnega sistema preveč iztočnih mest. Ti so definirani s strani arhitekture oz. tehnologije. Tako je praviloma ob bolniški sobi z dvema do tremi posteljami ena kopalnica s tušem, straniščem, umivalnikom in še enim umivalnikom v bolniški sobi. Po vseh prostorih, kjer je vgrajeno korito, je zraven še umivalnik. V veliko pisarnah z enim do dvema delovnima mestoma je vgrajen umivalnik. Veliko iztočnih mest tako ni v uporabi, saj uporabniki navadno uporabljajo eno iztočno mesto za vse potrebe, medtem ko ostalo sameva. To je zelo pogosto pri vgradnji para korito in umivalnik. Svoj del k preobsežnemu vodovodnemu sistemu prispeva še faktor istočasnosti. Ta predvidi, koliko porabnikov bo hkrati v uporabi. Za objekte s (pre)velikim številom iztočnih mest ga je nemogoče smiselno določiti, saj standard predpisuje višji faktor, kot se dosega z uporabo vodovoda. Če se pri takem sistemu združita še omrežje hladne sanitarne vode in hidrantno omrežje, je tak vodovodni sistem preobsežen.

Indikacije za preobsežen vodovodni sistem so bile že zajete pri opisu starega vodovodnega sistema (mikrobiološka oporečnost, prisotnost kovin, neustrezen temperaturni profil vode). V praksi je to pogosto videti tako, da se pri odprtju pipe na temperaturo hladne vode pod 20 °C čaka bistveno dlje od priporočenih dveh minut (pri srednjem curku vode) in na temperaturo tople sanitarne vode nad 50 °C bistveno dlje kot eno minuto (Hojs et al., 2002). Tak vodovodni sistem tako hitro postane gojišče bakterij, kot smo ga že omenili v uvodu.

Marsikdo si pojem mrtvih rokavov predstavlja kot v betonsko ploščo zabetoniranih cevi, na koncu začepljenih, neznanega poteka in pogosto zelo velikih dolžin. V praksi ni nujno vedno tako, saj gre pri mrtvih rokavih za vsak odsek cevi, ki je preslabo pretočen, pa če je na koncu začepljen ali pa vodi h kateremu porabniku, ki je zelo malo v uporabi. Vprašanje, ki se zastavlja, je, kaj teoretično povzroči večjo škodo vodovodnemu sistemu in kakovosti vode, ali popolnoma zaprt odsek cevi, ki je sicer priključen na vodovodno mrežo, ali slabo pretočen odsek cevi. V prvem primeru zmanjka hranil za bakterije, saj te odmrejo in znatno ne onesnažujejo preostalih delov omrežja. V drugem primeru pa se te lahko ob pravilnem dotoku sveže vode konstantno množijo. Pri ustreznih pogojih se lahko množijo bistveno hitreje, kot bi se v zaprtem sistemu.

Skupni imenovalec vsem zgornjim zapisom je ustrezna pretočenost vodovodnega omrežja. Pri novem vodovodnem sistemu smo se težavi izognili z namestitvijo iztočnih ventilov na ključnih mestih vodovodnega sistema. Slaba stran rešitve je večja poraba vode, kot bi jo sicer potrebovali za samo uporabo, glede na ostale alternativne rešitve pa predstavlja rešitev z najmanj možnimi težavami.

V bolnišnicah praviloma vzdrževalna služba s servisi ter rednimi in izrednimi pregledi skrbi za nemoteno delovanje vodovodnega sistema. Poleg tega je zadolžena za spreminjanje nastavitev sistema. Nadzor kakovosti vode izvaja sanitarna služba (sanitarni inženirji) v okviru

komisije ali službe za obvladovanje bolnišničnih okužb. Določen del nalog opravlja neposredno (merjenje temperature vode), določen del pa prek pogodbenih partnerjev (mikrobiološko, kemično analizo vode). Z rezultati vzorčenj seznani vodjo ali predsednika komisije, ki je zdravnik z ustrezno specializacijo. Glede na rezultate vzorčenj, analiz, meritev in potencialno nevarnost se potem skupaj poiščejo rešitve in predlogi, s katerimi se zagotavljata neoporečnost vode in s tem varnost uporabe vode in vodovodnega sistema.

V določenih primerih bi bilo smiselno v takšne skupine vključiti tudi mnenje mikrobiologov in bakteriologov, saj imajo na področju bakterij ustrezna znanja, ki lahko znatno pripomorejo k razumevanju in odpravljanju težav v vodovodnih sistemih.

Kakovost vode je neposreden odraz upravljanja in uporabljanja vodovodnega sistema kot tudi zagotavljanja njene ustreznosti v kontinuiranem procesu.

LITERATURA IN VIRI

1. Dennis, P. J., Green, D. in Jones, B. P., 1984. A note on the temperature tolerance of Legionella. Journal of Applied Bacteriology, 56: 349–350.
2. DIN 1988-300, 2012. Codes of practice for drinking water installations – Part 300.
3. GIA-S Industrijska oprema, d.o.o., 2014. Navodila za obratovanje Grosuplje.
4. Hojs, A., Petrovič, A. in Furlan, N., 2002. Preprečevanje legioneloz v javnih objektih. Zdravstveno varstvo 41, 299–304.
5. I.S.P., d.o.o., Kamnik, 2015. Projektna dokumentacija PID Sanacija vodovodnega sanitarnega omrežja hladne in tople sanitarne vode s strojno in elektro opremo in sanacija notranje hidrantne mreže v objektih novogradnje, rekonstrukcije in adaptacije D, E in H na Onkološkem inštitutu v Ljubljani.
6. Kovinar Kočevje, d.d., 2016. Navodila za obratovanje in vzdrževanje.
7. Madigan, M. T., Martinko, J. M., Stahl, D. A. in Clark, D. P., 2012. Brock biology of microorganisms 13th ed., 2012, 2009, 2006. Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings, 1301 Sansome Street, San Francisco, CA.
8. Schulze-Robbecke, R., Rodder, M. in Exner, M., 1897. Propagation and killing temperatures for Legionella. Schriftenreihe des Vereins fur Wasser-, Boden- und Lufthygiene, 72: 83–89.
9. SCT, d.d., 2010. Visoke gradnje. PID – projekt izvedenih del M 30 Vodovod, kanalizacija.
10. Strix, d.o.o., 2015. PID – Priprava pitne vode – UF, Tehnološka shema.
11. Warren, W. J. in Miller, R. D., 1979. Growth of Legionnaires disease bacterium (Legionella pneumophila) in Chemically Defined Medium. Clinical Microbiology 1979 Jul, 10(1): 50–5.
12. WHO, 2007. Legionella and the prevention of legionellosis. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data 2007.

PROBLEMATIKA ČIŠČENJA MLEKARSKE ODPADNE VODE

dr. MARJETKA LEVSTEK[1], mag. BARBARA BRAJER HUMAR[2], dr. MARJETKA STRAŽAR[3], VALERIJA JAVORNIK[4], STOJAN KOGEJ[5], DANIEL KELEČEVIĆ[6]

Povzetek

Pri predelavi mleka v mlečne izdelke se lahko porabi od 0,75 do 5 litrov vode na liter predelanega mleka. Količina odpadne vode, njena sestava in dinamika nastanka čez dan so močno odvisne od velikosti predelovalnega obrata, vrste mlečnih proizvodov, ločevanja stranskih produktov ter načina čiščenja proizvodnih linij. V odtoke tako odteka mešanica odpadne vode, ki ima spreminjajoč pH, visoko organsko obremenitev od 3.000 do 60.000 mgKPK/L ter nizko obremenitev po dušiku in fosforju. Zaradi šaržnih izpustov iz proizvodnje in visoke organske obremenitve te odpadne vode predstavljajo veliko breme za okolje, zato se morajo pred izpustom prečistiti na industrijski čistilni napravi. V prispevku bosta predstavljena način vodenja dveh industrijskih čistilnih naprav kot tudi nov način vodenja SBR bazena. Enega največjih izzivov predstavlja preprečevanje nastajanja napihnjenega blata zaradi previsoke vsebnosti mikroorganizmov tipa *Thiotrix sp*.

Ključne besede: anaerobni selektor, flotacija, mlekarska odpadna voda, napihnjeno blato, SBR, *Thiotrix sp*.

Abstract

In milk processing, the use of water per litre of milk processed may vary from 0.75 to 5 litres. The amount, composition, as well as dynamics of wastewater flow during the day depends greatly on the production line size, types of dairy products made, and on the methods implemented for by-product separation and production line cleaning. The outflow consists of a mixture of wastewater with a varying pH, a high organic load from 3,000 to 60,000 mg COD/L, and a low nitrogen and phosphorus load. Due to batch discharges from production lines and a high organic load, this type of wastewater represents a considerable strain to the environment and must be treated in an industrial wastewater treatment plant prior to

1 Dr. Marjetka Levstek, univ. dipl. inž. kem. inž., JP CČN Domžale-Kamnik, d.o.o.
2 Mag. Barbara Brajer Humar, univ. dipl. biol., JP CČN Domžale-Kamnik, d.o.o.
3 Dr. Marjetka Stražar, univ. dipl. biol., JP CČN Domžale-Kamnik, d.o.o.
4 Valerija Javornik, mag. inž. str., Mlekarna Celeia, d.o.o.
5 Stojan Kogej, univ. dipl. inž. kem. inž., Trisep, d.o.o.
6 Daniel Kelečević, Mlekarna Krepko, Kele & Kele, d.o.o.

discharge. The article describes the management of two industrial wastewater treatment plants. Since one of the greatest challenges is to prevent formation of bulking sludge because of high concentrations of *Thiotrix sp*, the article also presents a new method of advanced SBR basin operation.

Keywords: anaerobic selector, bulking sludge, dairy wastewater, flotation, SBR, *Thiotrix sp.*

1. UVOD

Mleko, eno od osnovnih živil, ima visoko hranilno vrednost, vsebuje vse esencialne aminokisline, hkrati pa je vir mineralov in vitaminov. Zaužijemo ga kot surovega ali ga predelamo v številne mlečne izdelke, kot so maslo, jogurti, siri ipd. Ker je občutljivo živilo, moramo pri njegovem zbiranju in predelavi skrbeti za ustrezno higieno in čiščenje proizvodnih linij. Pri tem nastanejo odpadne vode, ki predstavljajo veliko breme za okolje, bodisi za iztok v kanalizacijo in naprej na komunalno čistilno napravo bodisi neposredno ali posredno v vodno okolje. Tako vrsta predelave kot čiščenje proizvodnih linij nista konstantna in predstavljata še dodaten izziv pri čiščenju odpadne vode.

V Sloveniji smo v letu 2019 proizvedli 548 milijonov litrov mleka, od tega se ga je 393 milijonov litrov mleka (72 %) predelalo v slovenskih mlekarnah (Statistični urad Republike Slovenije, 2019). Pri predelavi mleka v mlečne izdelke se lahko porabi od 0,75 do 5 litrov vode na liter predelanega mleka (Ajiero in Campbell, 2017). Ocenjena količina odpadne vode pri povprečni porabi 3 litre vode na liter predelanega mleka v Sloveniji tako znaša 1.179 milijonov litrov vode na leto oz. 3,23 milijona litrov vode na dan, kar pri obremenitvi 6.000 mgKPK/L predstavlja 161.500 PE_{KPK}.

Količina odpadne vode, njena sestava in dinamika nastanka čez dan so močno odvisne od velikosti predelovalnega obrata, vrste mlečnih proizvodov, ločevanja stranskih produktov ter načina čiščenja proizvodnih linij. V odtoke tako odteka mešanica odpadne vode, ki ima spreminjajoč pH, visoko organsko obremenitev od 3.000 do 60.000 mgKPK/L, visoko vsebnost maščob (nad 200 mg/L) ter nizko vsebnost dušika in fosforja. Odvajanje teh odpadnih voda v kanalizacijo neposredno iz proizvodnje brez predčiščenja predstavlja veliko in spreminjajočo se obremenitev na komunalnih čistilnih napravah ter s tem povezane težave s pomanjkanjem kisika v prezračevalnih bazenih, napihnjenostjo blata in posledično slabšim učinkom čiščenja komunalne odpadne vode. Negativni vpliv šaržnega izpusta neprečiščenih odpadnih voda je še posebej opazen na manjših čistilnih napravah. Že 10 m^3/dan odpadne vode iz predelave mleka z obremenitvijo 6.000 mgKPK/L predstavlja dodatnih 500 PE_{KPK} obremenitve, ki običajno priteče na čistilno napravo v dopoldanskem času.

Iztoki iz objektov za predelavo mleka morajo slediti parametrom za iztok v kanalizacijo ali neposredno in posredno odvajanje v vode, kot jih narekuje Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za obdelavo in predelavo živalskih in rastlinskih surovin ter mleka pri proizvodnji hrane za prehrano ljudi in živalske krme[7]. Pri izbiri tehnologije čiščenja pa je treba uporabljati najboljšo razpoložljivo tehnologijo (BAT) za industrijo hrane, pijače in mleka v skladu z Direktivo 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta[8]. V praksi se kot najpogostejša tehnologija za doseganje želenih parametrov uporablja fizikalno-kemijsko čiščenje, kot so egalizacija in flotacija ter biološko čiščenje (Yonar et al., 2018).

2. SESTAVA IN ČIŠČENJE ODPADNE VODE IZ PREDELAVE MLEKA

2.1 Sestava odpadne vode iz predelave mleka

Okvirna sestava odpadne vode, povezana z zbiranjem in predelavo mleka, ki smo jo več let analizirali v laboratoriju JP CČN Domžale-Kamnik, je prikazana v tabeli 1. Kot je razvidno iz tabele, se sestava odpadne vode iz predelave mleka giblje okoli 3.000 mgKPK/L, vsebuje nad 200 mgTLS/L, okoli 150 mgTN/L, 20 mgNH4-N/L in 70 mgTP/L. Vrednost pH je močno odvisna od načina čiščenja proizvodnih linij in časa zastajanja odpadne vode v proizvodnem procesu ali egalizacijskih bazenih. Odpadna voda se zaradi visoke organske obremenitve in ob odsotnosti kisika začne anaerobno razgrajevati, ob tem pa se zniža pH vrednost in pojavijo neprijetne vonjave.

Tabela 1: Sestava odpadne vode pri predelavi mleka

Vir odpadne vode	pH	KPK	BPK5	TN	NH4-N	TP	TLS*	TSS**
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Alpsko mleko		152.000						
Sirotka (Petek, 2019)	4,4	76.000		765	77,7			
Kislo spiranje mlekarskih strojev	6,3	1.612	993					
Bazično spiranje mlekarskih strojev	9,5	955	587					
Iztok iz Mlekarne Krepko	5,9	12.120		274	9,1	75	273	6.156
Egalizacija in nevtralizacija iz Mlekarne Celeia	7,2	2.600		60,1	26,8			

*TLS – Težkohlapne lipofilne snovi
**TSS – Suspendirane snovi

(Vir: Lastni)

7 Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za obdelavo in predelavo živalskih in rastlinskih surovin ter mleka pri proizvodnji hrane za prehrano ljudi in živalske krme. Uradni list RS, št. 45/07.

8 Izvedbeni sklep komisije (EU) 2019/2031 z dne 12. novembra 2019 o določitvi zaključkov o najboljših razpoložljivih tehnikah (BAT) za industrijo hrane, pijače in mleka v skladu z Direktivo 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta. Uradni list Evropske unije 208/38 z dne 17. avgusta 2018.

2.2 Industrijska čistilna naprava Mlekarne Krepko – posredno odvajanje v vode

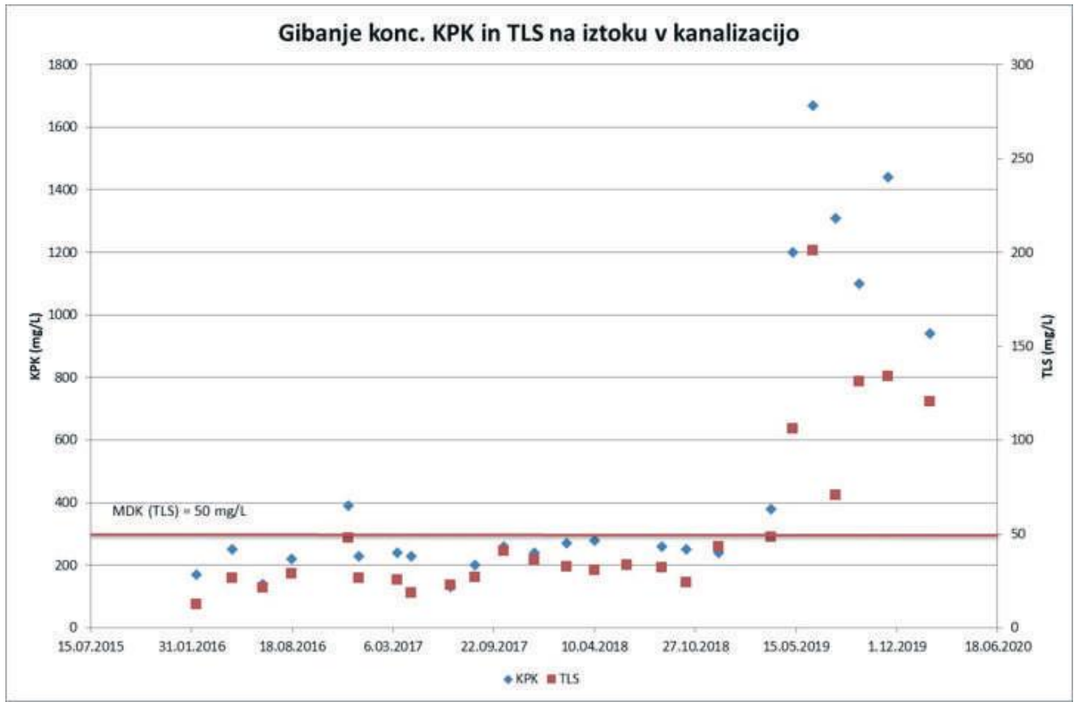
V Mlekarni Krepko dnevno nastane med 20 in 30 m^3 odpadne vode, ki so mešanica ostankov čiščenja proizvodnih linij. Povprečne koncentracije se gibljejo okoli 6.000 mgKPK/L in250 mgTLS/L. Sirotka se ločuje v ločen rezervoar in vozi na predelavo. Dnevna obremenitev tako znaša do 1.500 PE_{KPK}. Ker obrat mlekarne stoji v manjšem zaselku, katere komunalne odpadne vode se čistijo na mali komunalni čistilni napravi velikosti 300 PE, je morala mlekarna postaviti svojo lastno industrijsko čistilno napravo s posrednim odvajanjem v vode. Mlekarna se nahaja na občutljivem območju kraškega sveta z bogatim živalskim podzemnim svetom, zato je iz tega razloga pri izdaji okoljevarstvenega dovoljenja ZRSVN postavilo še dodatne, bolj stroge zahteve za iztok v vode, kot jih predpisuje uredba. Čistilna naprava mora na iztoku poleg predpisanih parametrov iz uredbe zagotoviti tudi dodatno prezračenje iztoka, katere nasičenost s kisikom mora biti nad 90 %. Postavljena je bila mejna vrednost za sulfat 200 mg/L, medtem ko mora posredno odvajanje biti izvedeno prek ponikovalnega polja. Upravljavec mora poleg rednega obratovalnega monitoringa 3-krat letno dnevno izvajati meritve temperature, pH, KPK in TN ter nasičenosti s kisikom. Te vrednosti mora vpisovati v obratovalni dnevnik. Ob izpadu industrijske čistilne naprave ali kakršnikoli okvari v proizvodnji, ki lahko povzroči onesnaženje večjega obsega, mora upravljavec ustaviti odvajanje čiščene vode v okolje in dogodek javiti inšpekcijama, pristojnima za varstvo okolja in ribištvo.

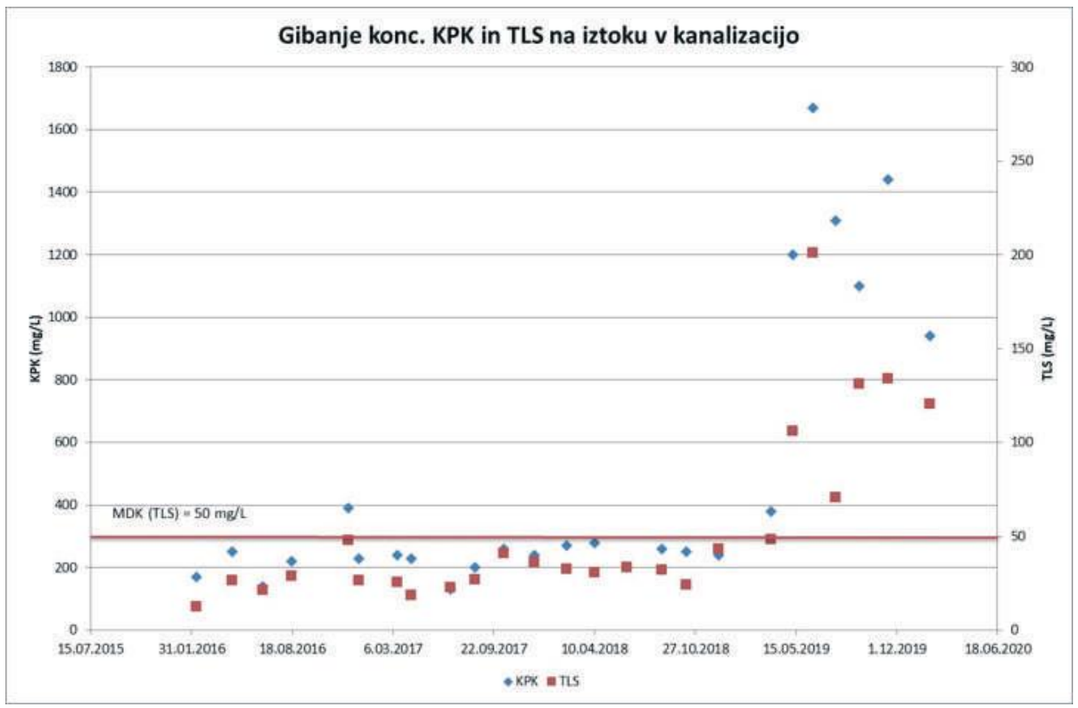
Mlekarna Krepko je izvedla ustrezno hidrogeološko študijo, ki je bila osnova za umestitev čistilne naprave v prostor in pridobitev ustreznih dovoljenj. Industrijska čistilna naprava je sestavljena iz grobih sit, ki zadržijo delce, večje od 2 mm, sledi pred akumulacijskim bazenom (44 m^3) z nameščenim flow jet mešalom za akumulacijo odpadne vode in vzpostavitev aerobnih pogojev. Odpadna voda se nato s konstantnim pretokom črpa v flotacijsko enoto, katere namen je izločitev maščob in znižanje organske obremenitve. Delno razbremenjena odpadna voda se odvaja v egalizacijski bazen (80 m^3), od koder se črpa v dva ločena SBR bazena (vsak 140 m^3). Zaradi neustreznega razmerja hranil se ta po potrebi dodajo v posamezni cikel čiščenja v SBR bazenu. Po končanem biološkem čiščenju se čiščena voda izčrpa v bazen za čiščeno vodo, kjer se dezinficira in dodatno prezrači z ozonom pred končnim iztokom v ponikanje. Blato iz SBR bazena in flotacije se kontinuirno črpa na strojno zgoščanje. Postavljena industrijska čistilna naprava je tehnološko zahtevna, zato dnevno potrebuje nadzor in razumevanje procesa čiščenja od upravljavca čistilne naprave, saj je vsak segment čistilne naprave ključen za zagotavljanje ustreznega iztoka v občutljivo vodno okolje.

2.3 Industrijska čistilna naprava Mlekarne Celeia – odvajanje v kanalizacijo

V Mlekarni Celeia letno predelajo do 100 milijonov litrov mleka in so eni vodilnih predelovalcev mleka v Sloveniji. Pri predelavi mleka porabijo do 2,5 litra vode na liter predelanega mleka. Dnevno tako nastane med 400 in 800 m^3 odpadne vode s povprečno obremenitvijo okoli 2.600 mgKPK/L, kar pomeni v povprečju 13.000 PE_{KPK}. Glavni proizvodi so mleko, siri, jogurti, maslo ipd. V mlekarni se že od samega začetka zavedajo, da njihove odpadne vode predstavljajo veliko breme za komunalno čistilno napravo. Prav iz tega razloga so leta 2007 postavili industrijsko čistilno napravo za predčiščenje lastnih odpadnih vodá. Industrijska čistilna naprava je sestavljena iz manjše egalizacije in nevtralizacije (250 m^3), enega SBR (800 m^3) biološkega reaktorja in strojnega zgoščanja blata. Odpadne vode po predčiščenju odtekajo v kanalizacijo in na dokončno čiščenje na lokalno čistilno napravo dimenzionirane velikosti 60.000 PE.

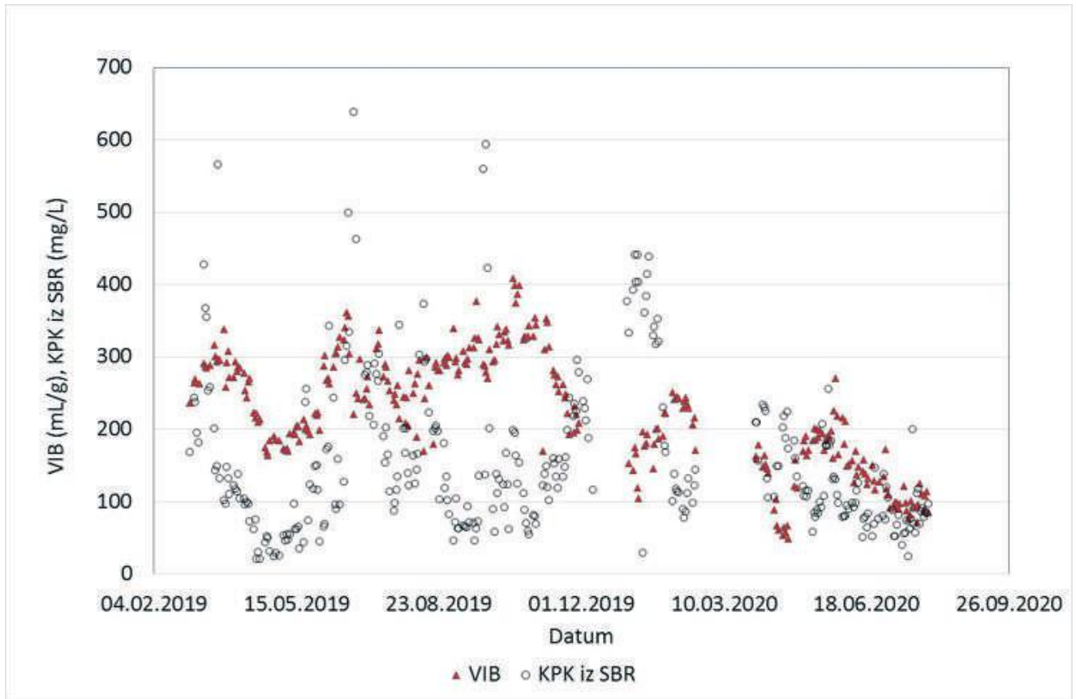
Pri čiščenju odpadne vode na industrijski čistilni napravi so se kljub intenzivnemu dnevnemu spremljanju procesa čiščenja v letu 2019 pojavljali slabši učinki čiščenja, ki so posledično povzročili zvišanje vrednosti KPK in TLS na iztoku v kanalizacijo (Slika 1). Obremenitev iz industrijske čistilne naprave se je tako s povprečne vrednosti 1.500 PE_{KPK} povečala na povprečno vrednost 7.500 PE_{KPK}. Konične dnevne obremenitve so se zaradi dodatnega izplavljanja biomase iz SBR bazena povečale do 15.000 PE_{KPK}.





Slika 1: Gibanje koncentracije vrednosti KPK in TLS na iztoku v kanalizacijo
(Vir: Obratovalni monitoring odpadnih voda)

Mlekarna Celeia je takoj začela iskati vzroke za nenadno povečanje vrednosti KPK in TLS na iztoku v kanalizacijo. Identificirali so spremembe v proizvodnem procesu, ki se zaradi majhne egalizacije (250 m³) toliko bolj odražajo v neenakomerni organski obremenitvi aerobne biološke stopnje v SBR bazenu. Aktivno blato je bilo tako čez dan obremenjeno med 0,1 do 0,4 kgKPK/kgMLSS.dan, kar je pomenilo velik stres in favoriziranje rasti nitastih mikoorganizmov. Volumski indeks blata (VIB) je bil v letu 2019 nad 250 mL/g (Slika 2), pri čemer je bilo treba podaljševati čas usedanja, posledično pa so na SBR čistilni napravi prečistili manj odpadne vode.



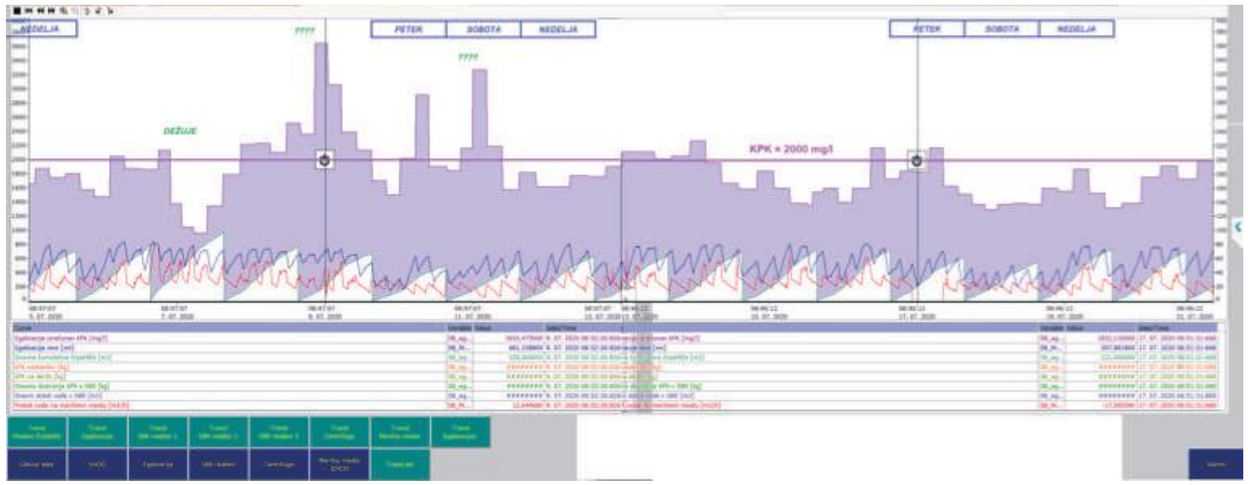
Slika 2: Gibanje VIB blata v SBR bazenu in KPK iz SBR bazena
(Vir: Obratovalni monitoring odpadnih voda)

Z mikroskopsko analizo aktivnega blata je bilo identificirano, da se v aktivnem blatu nahaja visoka koncentracija nitastih mikroorganizmov tipa *Thiotrix sp.,* ki ga iz obstoječega SBR bazena zaradi načina odvajanja blata niso mogli odvesti. *Thiotrix sp.* se pojavljajo pri pogojih, kot so prisotnost lahko razgradljivega substrata v visoki koncentraciji, kratkoverižnih maščobnih kislin in sulfida, prenizka koncentracija kisika ter pomanjkanje nutrientov, kot sta dušik in fosfor. Ker izgradnja večjega egalizacijskega bazena in/ali umestitev flotacije prostorsko in finančno nista bili takoj izvedljivi, jim je s posegom v obstoječo infrastrukturo in načinom vodenja kljub velikemu nihanju obremenitve iz proizvodnje uspelo stabilizirati proces čiščenja z obstoječo opremo. To so dosegli z naslednjimi spremembami:

- Dvignili so maksimalno raven polnjenja v SBR bazenu na zgornjo mejo in tako povečali dnevno količino čiščenja vode.

- Da bi zavrli rast *Thiotrix sp.*, so uvedli specifično metodo selekcije aktivnega blata prek načina vodenja SBR bazena. V literaturi so kot dokazan postopek obvladovanja nitastih bakterij navedeni anaerobni selektorji pred vstopom v aerobno biološko stopnjo (Henriet et al., 2017). Način vodenja SBR bazena so tako spremenili na način, da se vtok odpadne vode v SBR bazen vodi pod anaerobnimi pogoji do 80 minut, in šele nato vključili prezračevanje v skupnem trajanju do 140 minut, ki pa se lahko tudi predhodno zaustavi, ko je poraba kisika nižja od nastavljene vrednosti. Sledita mu ena ura usedanja in pol ure dekantacije.
- Namesto konstantnega pretoka odpadne vode so uvedli dinamično doziranje količine odpadne vode glede na respirometrično aktivnost aktivnega blata. Na ta način so zagotovili bolj konstantno organsko obremenitev odpadne vode na posamezno šaržo v SBR bazenu. Z vsemi temi ukrepi se je VIB znižal pod 200 mL/g, posledično pa se je na čistilni napravi od aprila do julija 2020 količina čiščene odpadne vode dvignila z 52 na 76 %.

Na sliki 3 so razvidni dinamično nihanje nivoja v egalizaciji (modra črta), kumulativna količina čiščene vode na čistilni napravi in izračunan KPK vtoka v SBR bazen.



Slika 3: Izpis iz SCADA sistema industrijske čistilne naprave Mlekarne Celeia
(Vir: Mlekarna Celeia, d.o.o.).

Iz zadnjih rezultatov sledenja iz SBR bazena je razvidno, da so vrednosti TLS pod 50 mg/L in KPK pod 100 mg/L.

3. ZAKLJUČEK

Kljub temu da je mleko živilo, ki ga dnevno uživamo, odvajanje surovega mleka ali ostankov pri njegovi proizvodnji predstavlja veliko breme za okolje. Odpadne vode iz predelave mleka se morajo pred iztokom v kanalizacijo, še posebej pa pred neposrednim ali posrednim odvajanjem v vode, ustrezno prečistiti, saj bomo le tako ustrezno zaščitili naše vode.

Način čiščenja mlekarskih odpadnih vodá je treba prilagoditi tako obsegu obremenitve kot namenu čiščenja. Zavedati se moramo, da vodenje industrijske čistilne naprave zahteva znanje operaterja čistilnih naprav, dnevno spremljanje in hitro odzivanje ob nepravilnem delovanju. Pred postavitvijo industrijske čistilne naprave za predčiščenje v kanalizacijo je zaželeno sodelovanje z upravljavcem kanalizacije in čistilne naprave, ki se dogovorita, pod kakšnimi pogoji se predčiščena odpadna voda lahko odvaja v kanalizacijo.

LITERATURA IN VIRI

1. Ajiero, I. in Campbell, D., 2017. Benchmarking Water Use in the UK Food and Drink Sector: Case Study of Three Water-Intensive Dairy Products. Water Conservation Science and Engineering, doi: 10.1007/s41101-017-0036-0.
2. Henriet, O., Meunier, C., Henry, P. in Mahillon, J., 2017. Filamentous bulking caused by Thiothrix species is efficiently controlled in full-scale wastewater treatment plants by implementing a sludge densification strategy. Dostopno na: https://www.nature.com/articles/s41598-017-01481-1 [30. 7. 2020].
3. Izvedbeni sklep komisije (EU) 2019/2031 z dne 12. novembra 2019 o določitvi zaključkov o najboljših razpoložljivih tehnikah (BAT) za industrijo hrane, pijače in mleka v skladu z Direktivo 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta. Uradni list Evropske unije 208/38 z dne 17. avgusta 2018.
4. Petek, B., 2019. Vpliv dodane sirotke na proizvodnjo bioplina iz odpadnega biološkega blata. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
5. Statistični urad Republike Slovenije, 2019. Mleko in mlečni izdelki, Slovenija, 2019. Dostopno na: https://www.stat.si/StatWeb/news/Index/8661 [30. 7. 2020].
6. Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za obdelavo in predelavo živalskih in rastlinskih surovin ter mleka pri proizvodnji hrane za prehrano ljudi in živalske krme. Uradni list RS, št. 45/07.
7. Yonar, T., Sivrioğlu, Ö. in Özengin, N., 2018. Physico-Chemical Treatment of Dairy Industry Wastewaters: A Review, Open access peer-reviewed chapter. Dostopno na: https://www.intechopen.com/books/technological-approaches-for-novel-applications-in-dairy-processing/physico-chemical-treatment-of-dairy-industry-wastewaters-a-review [30. 7. 2020].

POTOVANJE MIKROPLASTIKE PO VODNIH EKOSISTEMIH V SLOVENIJI

dr. MANCA KOVAČ VIRŠEK[1]

Povzetek

Mikroplastika je onesnaževalo, ki je bilo dolgo prezrto, čeprav se že vrsto let kopiči v vodnih ekosistemih. Vstopa v reke, jezera in morja po različnih poteh, tako s čistilnimi napravami, meteornimi vodami kot atmosfersko depozicijo. Glavnina mikroplastike se ustvari na kopnem (>70 %) in po rekah pripotuje do morja z vmesnimi postanki v rečnih sedimentih. V Sloveniji sledimo naraščajočemu svetovnemu trendu raziskav na področju mikroplastike v okolju. Opravili smo že številne raziskave, tako na morju kot v sladkih vodah, in dobili vpogled v stanje onesnaženosti. Koncentracije mikroplastike v našem morju so dovolj velike, da so ji izpostavljeni tudi organizmi, zato je mogoče najti mikroplastiko tudi v ribah in školjkah. Kako onesnažene bodo vode v Sloveniji z mikroplastiko in kako velik vpliv bo ta imela na vodne organizme, bo v prihodnosti odvisno predvsem od tega, na kakšen način in kako hitro bomo ukrepali.

Ključne besede: Blejsko jezero, čistilna naprava, reka Ljubljanica, mikroplastika, morski organizmi, reka, Jadransko morje, vodni ekosistem.

Abstract

Microplastics are a pollutant that has long been ignored, although it has been accumulating in aquatic ecosystems for many years. Microplastics enter rivers, lakes and seas through various routes, both through treatment plants, meteoric waters and atmospheric deposition. The majority of microplastics are formed on land (> 70%) and travel by river to the sea with intermediate stops in river sediments. In Slovenia, we are following the growing global trend of research in the field of microplastics in the environment. We have already done a lot of research on both the sea and freshwater and gained insight into the state of pollution. Concentrations of microplastics in our sea are large enough that organisms are also exposed to it, so microplastics can also be found in fish and shellfish. How polluted the waters in Slovenia will be with microplastics and how much impact it will have on aquatic organisms in the future will depend mainly on how and how quickly we will act.

Keywords: Lake Bled, wastewater treatment plant, Ljubljanica River, microplastics, marine organisms, river, Adriatic Sea, water ecosystem.

1 Dr. Manca Kovač Viršek, univ. dipl. biol., Inštitut za vode Republike Slovenije.

1. UVOD

V današnjem času so plastični materiali zaradi svoje neomejene možnosti oblikovanja in specifičnih lastnosti, s katerimi ustrezajo najrazličnejšim zahtevam, najbolj široko uporabljen material. K njegovi, velikokrat pretirani, uporabi in vse večji proizvodnji pa v veliki meri pripomore nizka cena. Posledice vsega naštetega se odražajo v okolju, kjer količine plastičnih odpadkov naraščajo iz leta v leto. Ocenjeno je, da je zgolj v enem letu, natančneje v letu 2010, v morje vstopilo 4,8 do 12,7 milijona ton plastičnih odpadkov in da se bodo količine vnesenih odpadkov s kopnega v morje do leta 2025 podvojile (Jambeck et al., 2015), če ne bomo takoj ukrepali. Britanska jadralka in okoljevarstvenica Ellen MacArthur je na svetovnem gospodarskem forumu v Davosu leta 2016 že opozorila, da bo do leta 2025 v morju na vsake tri tone rib ena tona plastike, do 2050 pa bo v morjih več plastike kot rib.

Plastični odpadki vključujejo vse velikosti delcev, od velikih plastičnih odpadkov do majhnih, prostim očesom težko vidnih delcev, ki jim pravimo mikroplastika. Raziskave na področju onesnaženja vodnih ekosistemov z mikroplastiko postajajo vse bolj aktualne, pri čemer prevladujejo raziskave na morju, medtem ko so na sladkih vodah še zelo omejene. Med raziskavami prevladujejo predvsem raziskave o količinah mikroplastike v določenem okolju, precej manj pa je raziskav, vezanih na učinke mikroplastike na organizme ali celoten ekosistem.

V Sloveniji smo v zadnjih letih opravili že vrsto raziskav o izpustih in koncentracijah mikroplastike v različnih vodnih ekosistemih. Na Inštitutu za vode Republike Slovenije (IzVRS) se s problematiko mikroplastike v vodah bolj intenzivno ukvarjamo od leta 2014, ko smo začeli izvajati projekt DeFishGear (programa IPA Adriatic). V okviru tega projekta smo začeli opravljati analize mikroplastike v površinski plasti morja in obalnih sedimentih ter ribah. Nato smo nadaljevali s študijami mikroplastike na jezerih, rekah in čistilnih napravah. Danes IzVRS izvaja pilotne monitoringe mikroplastike v okviru izvajanja morske direktive za Ministrstvo za okolje in prostor, tako na morju, rekah, ki vodijo v morje, kot tudi na iztokih čistilnih naprav.

2. ZGODOVINA RAZISKOVANJA MIKROPLASTIKE IN NJENA DEFINICIJA

O prisotnosti majhnih koščkov plastike v morju so prvič poročali že pred petdesetimi leti. Raziskovalca Carpenter in Smith (1972) sta med raziskovanjem planktona v mrežo poleg planktonskih organizmov ujela tudi koščke plastike, za katere je bilo jasno, da je to fragmentirana plastika, ki je nastala z razpadom večjih kosov plastike. Tako sta že leta 1972 v reviji Science objavila, da koncentracija mikroplastike v Sargaškem morju znaša 3500 delcev/km^2, ter opozorila na posledice naraščajoče proizvodnje plastike in negativne vplive plastike v morju, denimo na možnosti prenosa epibiontov po morjih in sproščanja toksičnih snovi iz plastike. Prav tako je Carpenter et al. še istega leta objavil raziskavo o prisotnosti polistirenskih kroglic v prebavilih rib, hkrati pa omenil možnost razvoja bakterij na polistirenu in vezave polikloriranih bifenilov na plavajočo plastiko.

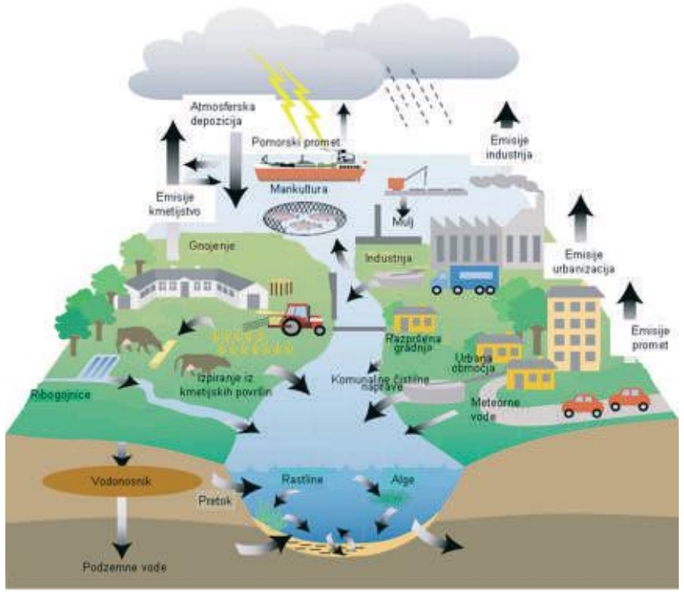
Raziskav o mikroplastiki je bilo, kljub močnim opozorilom s strani Carpenterja in njegovih sodelavcev, dokaj malo do leta 2005, ko je začelo število objav eksponentno naraščati. K naraščajočim številom znanstvenih objav je v veliki meri pripomogel dogodek leta 2008 v Washingtonu, ZDA, z naslovom »International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastics Marine Debris«, v katerem je bila mikroplastika prepoznana kot okoljski problem, ki zahteva aktivno sodelovanje celega sveta. Njena prisotnost v okolju je namreč problematična zaradi nezmožnosti popolne razgradnje. Ta namreč razpada na vedno manjše delce, nanoplastiko in se akumulira v okolju, pri čemer so ji izpostavljeni tam živeči organizmi.

Mikroplastika je bila s strani raziskovalcev definirana različno in je predvsem temeljila na njihovih tehničnih oz. metodoloških zmožnostih identifikacije le te v določenih vzorcih. Nato so leta 2008 na delavnici v Washingtonu določili, da v kategorijo mikroplastike spadajo delci, manjši od 5 mm, saj so plastični peleti oz. granulati te velikosti, ter večji od 333 µm, kot so velike pore na neustonskih mrežah, ki so se v tistem času največ uporabljale za vzorčenje. Zgornja meja je bila od takrat naprej enaka za vse, medtem ko se spodnja še vedno spreminja od raziskave do raziskave in je odvisna predvsem od tehnike določanja plastike v vzorcu. Lani je izšel članek, v katerem avtorji predlagajo naslednjo definicijo mikroplastike: »Microplastics are any synthetic solid particle or polymeric matrix, with regular or irregular shape and with size ranging from 1 µm to 5 mm, of either primary or secondary manufacturing origin, which are insoluble in water.« (Frias in Nash, 2019) S predlagano definicijo je določena tudi spodnja meja detekcije, vsi plastični delci, manjši od 1 µm, pa se uvrščajo v kategorijo nanoplastike.

Mikroplastiko glede na izvor delimo na primarno in sekundarno mikroplastiko. Primarna mikroplastika so plastični delci, ki v velikosti, manjši od 5 mm, vstopijo v okolje. International Union for Conservation of Nature je določil, da v to kategorijo spadajo mikrovlakna iz oblačil, ostanki pnevmatik, prah, plastični peleti ter fragmenti iz kozmetike in abrazivnih sredstev (Boucher in Friot, 2017). Sekundarna mikroplastika pa nastane v okolju z razpadom večjih kosov plastike pod vplivom UV-sevanja in drugih fizikalno-kemijskih dejavnikov.

Mikroplastiko sicer uvrščamo med mikroodpadke. Poznamo mikroodpadke polimernega (mikroplastika) in nepolimernega izvora, ki jih uvrščamo v kategorijo »drugo«. Glede na obliko delcev nadalje mikroplastiko delimo v šest kategorij: fragmenti, filmi, vlakna, pene, granule in peleti. Največji problem pri prepoznavanju mikroplastičnih delcev s pomočjo lupe predstavljajo vlakna. Teh je v vseh vrstah vzorcev veliko in so mnogokrat naravnega izvora.

Mikroplastika vstopa v vodno okolje po različnih poteh. Najpomembnejšo vlogo imajo kopenski viri, kot so deponije, komunalne čistilne naprave, uporaba plastike v kmetijstvu in spiranje te iz kmetijskih zemljišč, spiranje delcev gum in cestnih oznak iz cestišč, odpadne vode iz gospodinjstev, neprikloplјenih na kanalizacijsko omrežje ter izpusti industrijskih odpadnih voda (Slika 1). Mikroplastika, predvsem tista manjših velikosti, lahko potuje tudi po zraku in s padavinami vstopi v vodni ekosistem. K onesnaževanju pa prispevajo tudi rečni in pomorski promet. Kopenski viri naj bi prispevali 70 do 80 % vseh odpadkov, ki po rekah pripotujejo do morja.



Slika 1: Viri mikroplastike v vodne ekosisteme (Prirejeno po Ærtebjerg et al., 2003)

3. MIKROPLASTIKA V KOMUNALNIH ČISTILNIH NAPRAVAH

Med iskanjem poti prenosa mikroplastike v vode je bilo že leta 1998 odkrito, da se v blatu iz čistilnih naprav (ČN), izcedni vodi in sedimentih ob izpustih iz ČN akumulirajo večje količine sintetičnih vlaken kot posledica pranja oblačil (Habib et al., 1998). Nato so sledile študije po Evropi, ki so preučevale zadrževalno sposobnost različnih ČN in poročale o >90-% zadrževalni kapaciteti za mikroplastiko (Leslie et al., 2013; Magnusson in Noren, 2014; Murphy et al., 2016; Vollertsen in Hansen, 2017), pri čemer se večina mikroplastike zadrži v aktivnem blatu.

Prva obsežnejša raziskava o zadrževalni sposobnosti ČN za mikroplastiko je bila v Sloveniji narejena na ČN Celje med letoma 2016 in 2017, kjer se je spremljala sezonska dinamika prisotnosti mikroplastike v različnih fazah čiščenja (Kovač Viršek et al., 2017b). Povprečna zadrževalna kapaciteta je ob povprečnem vodostaju znašala 92,5 %. Zelo visoka zadrževalna kapaciteta (96 %) je bila v letu 2019 izmerjena tudi na Centralni ČN Domžale-Kamnik (Kovač Viršek et al., 2019b). Zadrževalna sposobnost ČN je odvisna predvsem od tehnologije čiščenja. Ugotovljeno je bilo, da ČN s sekundarno stopnjo čiščenja zadržijo približno 92 %, ČN s terciarno stopnjo čiščenja do 96 %, ČN z membransko filtracijo pa več kot 99 % mikroplastike (Blair et al., 2019). Na zadrževalno sposobnost imajo vpliv tudi ekstremni vremenski pogoji, ki vplivajo na pretok vode skozi ČN. Povečani pretoki namreč močno zmanjšajo zadrževalno sposobnost ČN za mikroplastiko. Na ČN Celje se je ob povečanem pretoku zadrževalna sposobnost ČN zmanjšala pod 70 %.

Toda kljub ocenam, da naj bi več kot 90 % mikroplastike ČN zadržale v aktivnem blatu, študije navajajo, da se iz teh sproščajo večje količine mikroplastike v vodotoke (Murphy et al., 2016; Magnusson in Noren, 2014), kar smo potrdili tudi v Sloveniji. Iz ČN Domžale-Kamnik se v Kamniško Bistrico sprosti ~140 milijonov delcev na dan, iz ČN Piran v morje ~20 milijonov delcev na dan in iz ČN Koper v Rižano, tik pred izlivom v morje, ~36 milijonov delcev mikroplastike na dan. Zadrževalne sposobnosti ČN so med seboj primerljive, zato na količine sproščene mikroplastike vpliva predvsem velikost čistilne naprave glede na populacijske enote in s tem količine odpadne prečiščene vode.

Količine mikroplastike se tako v vodotokih za iztoki ČN za nekajkrat povečajo. Tako so bile na Kamniški Bistrici 1,5 kilometra za iztokom ČN koncentracije mikroplastike za dvakrat večje od koncentracij pred iztokom ČN (Kovač Viršek et al., 2019b), predvsem na račun povečanja števila vlaken. Študije sicer navajajo, da se že 200 metrov za iztokom ČN večji plastični delci usedejo v sedimente, medtem ko vlakna potujejo na daljše razdalje (McCormic et al., 2014).

Med kategorijami mikroplastike, ki se pojavljajo v ČN, prevladujejo predvsem vlakna, iz česar lahko sklepamo, da k onesnaževanju z mikroplastiko v največji meri pripomorejo gospodinjstva. Vlakna so različnih izvorov glede na kemijsko sestavo. Med vlakni polimernega izvora se večinoma pojavljajo vlakna iz polietilen teraftalata, sicer pa prevladujejo vlakna antropogenega naravnega izvora (bombaž, viskoza), ki jih zaradi obdelave s kemikalijami in barvami prav tako uvrščamo med mikroodpadke.

4. MIKROPLASTIKA V REKAH IN JEZERIH

Mikroplastika iz čistilnih naprav, z atmosfersko depozicijo in spiranjem s kmetijskih zemljišč in cest vstopa v reke in jezera. Onesnaževanje z mikroplastiko predstavlja velik problem ne le v morskem ekosistemu, ampak tudi sladkovodnem. Raziskave mikroplastike v sladkih vodah so še razmeroma redke. Prva raziskava, ki je obravnavala mikroplastiko v sladkih vodah, je bila objavljena šele leta 2011 (Moore et al., 2011). Velik izziv pri raziskovanju mikroplastike v sladkih vodah predstavlja razvoj primerne metodologije za vzorčenje mikroplastike v rekah. Vzorčenje z mrežami se je v naših študijah izkazalo kot neprimerno zaradi obilice organskega materiala, ki se nabere v mreži in nato otežuje laboratorijsko analizo. Zato smo razvili tehniko vzorčenja z vodno črpalko in filtracijo vode skozi 100-µm sito na terenu, ki jo uporabljamo za vzorčenje v sladkih vodah po vodnem stolpcu (Slika 2). To metodo vzorčenja smo najprej testirali na Blejskem jezeru in izvedli vzorčenje na različnih globinah. Ugotovili smo, da se koncentracije mikroplastike povečujejo po vodnem stolpcu navzdol iz enega delca/m^3 do največ osem delcev/m^3 (Centa, 2016). Na jezeru smo izvedli tudi vzorčenje na površini jezera z vlečenjem epineustonske mreže in dobili rezultat, da je koncentracija mikroplastike na površini Blejskega jezera 13 delcev/m^2 oz. 2 delca/m^3 (Centa, 2016).

Novo razvito metodologijo smo uporabili tudi za vzorčenje na reki Ljubljanici, kjer so koncentracije mikroplastike postopoma naraščale od Črne vasi (14 delcev/m^3) do Zaloga (49 delcev/m^3) (Kovač Viršek et al., 2019c). Dobljene rezultate je zaradi razlik v metodologiji težko primerjati z drugimi redkimi študijami po svetu. Če kljub vsemu naredimo primerjavo s študijami, kjer so uporabili enake merske enote, vidimo, da se rezultati Ljubljanice ujamejo z rezultati reke Sene v Franciji, kjer so izmerili 3 do 108 vlaken/m^3 in 0,3 do 0,5 delca/m^3 (Dris et al., 2015).

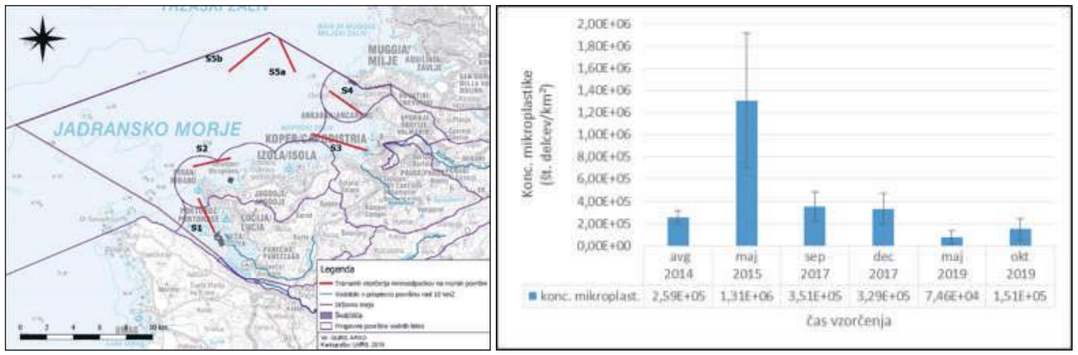
Reke so glavna transportna pot mikroplastike do morja. Ocenjeno je bilo, da rečni vodotoki prispevajo med 64 in 90 % plastičnih odpadkov v oceanih (Hurley et al., 2018). Vpliv večjih rek je mogoče zaznati tudi več milj stran od pritoka reke v morje, kar opažamo tudi sami v študijah prisotnosti mikroplastike na površini morja. Odpadki reke Pad z južnimi vetrovi zaidejo v slovensko morje, kar se kaže v nekajkrat višjih koncentracijah mikroplastike v vzorcih morske površine in njeni večji diverziteti. Na rekah Pad, Donava in Ren je tudi IzVRS med letoma 2014 in 2015 v okviru mednarodnega projekta Riverine (ENV.D.2/FRA/2012/0025) vzorčil, analiziral makro- in mikroodpadke ter preračunal, da reka Pad v enem letu prinese v Jadransko morje 950 milijard, Donava v Črno morje 2 bilijona in Ren v Severno morje 280 milijard mikroplastičnih delcev (Van der Wall et al., 2015). V Sloveniji smo lani opravili prve meritve vnosov mikroplastike v morje z rekami Dragonjo in Rižano. Iz prvih meritev smo ocenili, da reka Rižana prinese v morje 1,7 milijarde delcev na leto, Dragonja pa 600 milijonov (Kovač Viršek et al., 2019a).

Slika 2: Prikaz vzorčenja mikroplastike v rekah z vodno črpalko in filtracijo vode na terenu. Leva slika prikazuje sesalno košaro, desna pa filtracijo skozi sito. (Foto: IzVRS, Uroš Robič)

5. MIKROPLASTIKA V MORJU

Jadransko morje je bilo po količinah tako makro- kot mikroodpadkov prepoznano kot eno od bolj obremenjenih območij Sredozemskega morja (Vlachogianni et al., 2017). Povprečna koncentracija mikroplastike v celotnem Jadranskem morju, preračunana iz rezultatov projekta DeFishGear iz let 2014 in 2015, je znašala 315.009 ± 568.578 delcev/km^2 (Zeri et al., 2018). K veliki mikroplastični onesnaženosti morja pa kažejo tudi rezultati iz slovenskega morja.

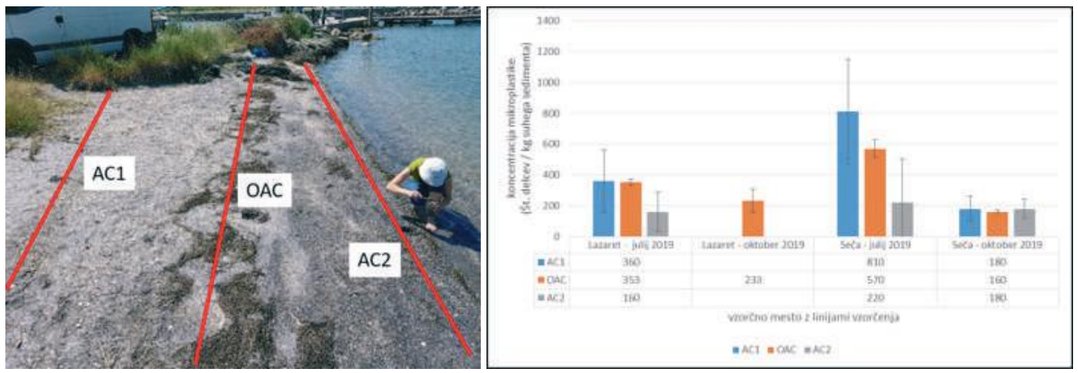
Mikroplastiko v slovenskem morju spremljamo že od leta 2014 v različnih morskih okoljih: plavajočo mikroplastiko na površini morja ter mikroplastiko usedlo v morske sedimente na dnu morja in obali. Spremljanje mikroplastike na površini morja že vsa leta poteka po splošno sprejeti metodologiji vzorčenja z manta mrežo, ki je bila v obliki video navodil objavljena v znanstveni reviji (Kovač Viršek et al., 2016). Nekoliko so se spremenile le lokacije transektov, ki so od leta 2019 usklajene z vodnimi telesi, pri čemer je v vsakem vodnem telesu določen en vzorčevalni transekt (Slika 3, levo). Koncentracije mikroplastike na površini slovenskega morja se gibljejo med 75.000 delcev/km^2 pa vse do 1.300.000 delcev/km^2 (Slika 3, desno), v povprečju torej približno 400.000 delcev/km^2 (Zeri et al. 2018; Kovač Viršek et al., 2017a, 2018, 2019a). Koncentracije se lahko med posameznimi vzorčenji zelo razlikujejo, saj na te znatno vplivajo vremenski pogoji ob vzorčenju, predvsem vetrovi. Poleg tega se delci ne gibljejo le po površini morja, ampak tudi po globini z oscilirajočim gibanjem, na katero pa dodatno vpliva tudi valovanje morja.



Slika 3: Vzorčenje mikroplastike na površini morja. Leva slika prikazuje transekte vzorčenja, desna pa rezultate o koncentracijah mikroplastike/km^2 za vsa vzorčenja od leta 2014 do 2019.

Mikroplastiko v slovenskem morju spremljamo tudi v morskih sedimentih. Mikroplastiko na dnu morja vzorčimo na začetku vsakega vzorčevalnega transekta za spremljanje mikroplastike na površini morja z grabilom Van Veen. Izmerjena povprečna koncentracija mikroplastike v sedimentih morskega dna leta 2017 je bila 280 ± 166 delcev/kg suhega sedimenta (Kovač Viršek et al., 2017a), v letu 2019 pa 530 ± 239 delcev/kg (Kovač Viršek et al., 2019a).

Poleg morskih sedimentov mikroplastiko spremljamo tudi v obalnih sedimentih. Spremljanje mikroplastike na slovenski obali je močno oteženo, saj se vzorčenje mikroplastike lahko izvaja le na peščenih obalah z zelo drobnim peskom oz. mivko. Tako smo v naše analize vzeli obalo pri Lazaretu, tik pred mejo z Italijo, in peščeni zaliv v Seči, v neposredni bližini ribiškega obrata Fonda. Vzorčenje se izvaja v treh linijah: na zgornji meji plime in na meji z morjem ter na sredini med zgornjo in spodnjo mejo (Slika 4, levo). V poletnih mesecih, ko je razlika med plimo in oseko manjša, hkrati pa niso značilne zelo visoke plime, se jasno vidi trend zmanjševanja koncentracije mikroplastike od zgornje meje plime proti morju (Slika 4, desno) (Kovač Viršek et al., 2019a). Pri preostalih vzorčenjih se ta trend zabriše. Sicer pa na koncentracije mikroplastike na obali močno vplivajo gibanje morja in s tem premikanja zgornjih plasti sedimenta, zato je vprašanje, ali je v bibavičnem pasu sploh mogoče spremljati kakršnekoli trende v koncentraciji mikroplastike.



Slika 4: Leva slika prikazuje vzorčenje obalnih sedimentov za analize mikroplastike. Vzorčenje se izvaja v treh linijah in po tri vzorce na linijo. Desna slika prikazuje rezultate o koncentracijah mikroplastike v obalnih sedimentih v letu 2019. (Foto: IzVRS, Uroš Robič)

6. MIKROPLASTIKA V MORSKIH ORGANIZMIH

Tako plavajoča mikroplastika kot mikroplastika v sedimentih morskega dna predstavljata potencialno nevarnost za morske organizme z vidika zaužitja. Do zdaj je dokumentiranih že več kot 700 vrst morskih organizmov, pri katerih so našli morske odpadke različnih velikosti (Gall in Thompson, 2015). V slovenskem morju smo mikroplastiko identificirali že v šestih vrstah rib: zlati cipelj (*Liza aurata*), orada (*Sparus aurata*), morski list (*Solea solea*), brancin (*Dicentrarchus labrax*), oslič (*Merluccius merluccius*) in sardele (*Sardina pilchardus*) ter v školjkah klapavicah, tako gojenih kot divjih (*Mytilus sp.*) (Anastasapoulou et al., 2018; Kovač Viršek et al., 2018, 2019a). Koncentracije mikroplastike so se razlikovale med posameznimi vrstami rib in naj bi bile odvisne od prehranjevalnih navad posameznih rib. V naši prvi raziskavi leta 2015 smo ugotovili, da so imeli ciplji višje koncentracije mikroplastike (9,3 delca/ribo) v primerjavi z oradami (7,3 delca/ribo) in morskimi listi (1,8 delca/ribo) (Anastasapoulou et al., 2018), kar smo povezali s prehranjevalnimi navadami cipljev, za katere je znano, da se radi hranijo na iztokih odpadnih voda in drugih vnosih odplak v morje. Tudi druge študije poročajo o vplivu prehranjevalnih navad in življenjskega prostora (geografsko področje in globina) na vsebnost mikroplastike v ribah (Anastasopoulou et al., 2013), ki se kaže tako na količinah mikroodpadkov v posameznem osebku kot na deležu osebkov, ki vsebujejo mikroplastiko. Ko smo v projektu DeFishGear spremljali ribe po celem Jadranu, smo ugotovili, da delež rib z vsebnostjo mikroplastike v svojih prebavilih narašča proti Severnemu Jadranu, predvsem na račun večjega števila vlaken, kar je lahko tudi zavajajoče, saj vlakna niso nujno polimernega izvora. Če pa se osredotočimo zgolj na mikroplastične delce v obliki fragmentov, folij in granul, pa se je delež rib, ki vsebujejo te delce, gibal med 10 % (brancin, oslič) in 20 % (sardele) (Kovač Viršek et al., 2018, 2019a). Deleži rib, v katerih je bila najdena mikroplastika, se med študijami sicer zelo razlikujejo in znašajo od nekaj odstotkov do več kot dveh tretjin pregledanih vzorcev. Eden od večjih omejujočih dejavnikov pri primerjalnih študijah med raziskavami je trenutno neusklajena metodologija za spremljanje mikroplastike v organizmih. Ker imajo ribe velik pomen v prehrani človeka in ker nekatere študije že kažejo na negativne vplive, celo nevrotoksične učinke mikroplastike na ribe (Barboza et al., 2018), bo v prihodnosti izrednega pomena spremljanje mikroplastike v organizmih z usklajeno metodologijo.

7. MIKROPLASTIKA IN PLASTISFERA

Mikroplastika tako z biološkega kot kemijskega vidika negativno vpliva na ekosistem. Ker ima plastika precej daljši razpolovni čas kot večina naravnih plavajočih morskih substratov in hidrofobno površino, ki spodbuja kolonizacijo mikrobov in nastajanje biofilma, služi kot pelagični habitat mikroorganizmom in nevretenčarjem (Reisser et al., 2014). Zettler in sodelavci (2013) so raznoliko mikrobno skupnost, sestavljeno iz heterotrofov, avtotrofov, plenilcev in simbiontov, živečo na plastiki, poimenovali »plastisfera«. Razvoj biofilma na plastiki močno vpliva na procese razgradnje plastike v okolju. Po eni strani biofilmi s prekrivanjem plastike in vplivanjem na njihovo plovnost zmanjšajo vpliv UV-sevanja ter s tem podaljšajo proces razgradnje, po drugi pa organizmi, ki so del biofilma, spodbujajo razgradnjo plastike.

Znanje o tem, kateri mikroorganizmi se transportirajo na delcih mikroplastike, je zelo pomembno, saj se bakterijske združbe, ki živijo na plavajoči plastiki, razlikujejo od bakterijskih združb, živečih v morski vodi (Zettler et al., 2013). Med vrstami mikroorganizmov, ki izkoriščajo plastiko za svoj življenjski prostor in način transporta na dolge razdalje, so namreč lahko tudi invazivni ali patogeni mikroorganizmi. Iz mikroplastičnih delcev smo iz slovenskega morja izolirali 28 bakterijskih vrst; to smo naredili na način direktne izolacije dednega materiala iz mikroplastičnih delcev in z izdelavo klonske knjižnice (Kovač Viršek et al., 2017a). Med njimi je bila z največ kloni zastopana bakterija *Aeromonas salmonicida*, ki je patogena za ribe in je bila prvič dokazana na mikroplastiki. Od patogenih vrst so na mikroplastiki že dokazali tudi človeški patogen Vibrio spp. (Zettler et al., 2013) in nekaj drugih Vibrionaceae (De Tender et al., 2015).

S pomočjo klonske knjižnice smo določili tudi nekaj vrst bakterij, ki imajo sposobnost razgradnje ogljikovodikov iz skupin Gammaproteobakterij (*Acinetobacter*) ter Alphaproteobakterij (*Pseudorugeria*, *Defluviimonas*, *Donghicola* in *Roseovarius*) (Kovač Viršek et al., 2017a). Bakterije, ki razgrajujejo ogljikovodike s sproščanjem eksocelularnih encimov, povečajo površino mikroplastiki, zaradi česar se nanjo še lažje in učinkoviteje vežejo kovine kot tudi drugi kemijski polutanti (npr. obstojna organska onesnaževala).

Naključno zaužitje mikroplastike s strani različnih organizmov tako ne predstavlja nevarnosti zgolj s fizikalnega, ampak tudi biološkega vidika. V organizem skupaj z mikroplastiko zaidejo številni mikroorganizmi, med drugim tudi patogeni in druga kemijska onesnaževala, ki se posledično akumulirajo v njem.

8. ZAKLJUČEK

V Sloveniji je mikroplastika, tako kot drugje po svetu, že bila dokazana v morskem in sladkovodnih ekosistemih. Na področju analiz mikroplastike na morju so metodologije že zelo dovršene, medtem ko so na področju analiz mikroplastike v rekah in jezerih še možnosti za izboljšave. Ker naše reke spadajo v Donavsko in Jadransko povodje ter tako prispevajo k onesnaževanju Črnega in Jadranskega morja, bi bilo nujno potrebno umestiti mikroplastiko med kemijska onesnaževala v Okvirno direktivo o vodah, hkrati pa začeti z usklajenim razvojem metodologije za spremljanje mikroplastike v rekah in jezerih. Problematika mikroplastike ni omejena zgolj na morje in morske organizme, ampak tudi sladke vode in tam živeče organiz-

me, zato je ključnega pomena, da začnemo problematiko mikroplastike v okolju reševati na začetku njene poti in ne šele na koncu.

ZAHVALA

Finančno podporo za izvedbo dosedanjih raziskav na področju mikroplastike v vodah v Sloveniji so zagotovili: Ministrstvo za okolje in prostor, Vodovod – Kanalizacija Celje, Centralna čistilna naprava Domžale-Kamnik, Mestna občina Ljubljana, Evropska unija (program IPA Adriatic).

LITERATURA IN VIRI

1. Ærtebjerg, G., Andersen, J. H. in Hansen, O. S., 2003. Nutrients and eutrophication in Danish marine waters. A challenge for science and management. National Environmental Research Institute.
2. Anastasopoulou, A., Viršek, M. K., Varezić, D. B., Digka, N., Fortibuoni, T., Koren, Š., Mandić, M., Mytilineou, C., Pešić, A., Ronchie, F., Šiljić, J., Torrea, M., Tsangaris, C. in Tutman, P., 2018. Assessment on marine litter ingested by fish in the Adriatic and NE Ionian Sea macro-region (Mediterranean). Marine pollution bulletin, 2018, 133, 841–851.
3. Anastasopoulou, A., Mytilineou, C., Smith, C. J. in Papadopoulou, K. N., 2013. Plastic debris ingested by deep-water fish of the Ionian Sea (Eastern Mediterranean). Deep-Sea Res. 2013, 174, 11–13.
4. Barboza, L. G. A., Vieira, L. R., Branco, V., Figueiredo, N., Carvalho, F., Carvalho, C. in Guilhermino, L., 2018. Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, Dicentrarchus labrax (Linnaeus, 1758). Aquatic toxicology, 2018, 195, 49–57.
5. Blair, R., Waldron, S. in Gauchotte-Lindsay, C., 2019. Average daily flow of microplastics through a tertiary wastewater treatment plant over a ten-month period. Water Research, 2019, 163.
6. Boucher, J. in Friot, D., 2017. Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. Gland, Switzerland: IUCN. 2017, 43pp.
7. Carpenter, E. J. in Smith, K. L., 1972. Plastics on the Sargasso Sea surface. Science, 1972, 175(4027), 1240–1241.
8. Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P. in Peck, B. B., 1972, Polystyrene spherules in coastal water, Science, 1972, 178, pp. 749–750.
9. Centa, M., 2016. Ugotavljanje koncentracij mikroplastike v slovenskih vodotokih in jezerih. Magistrsko delo. 115 str.
10. De Tender, C. A., Devriese, L. I., Haegeman, A., Maes, S., Ruttink, T. in Dawyndt, P., 2015. Bacterial community profiling of plastic litter in the Belgian part of the North Sea. Environ. Sci. Technol. 2015, 49 (16), 9629–9638.
11. Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N. in Tassin, B., 2015. Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. Environmental Chemistry, 2015, 12(5), 592–599.
12. Frias, J. P. G. L. in Nash, R., 2019. Microplastics: finding a consensus on the definition. Marine pollution bulletin, 2019, 138, 145–147.
13. Gall, S. C. in Thompson, R. C., 2015. The impact of debris on marine life. Marine pollution bulletin, 2015, 92, 170–179.
14. Gregory, A. L. in Andrady, L., 2003. Plastics in the marine environment, John Wiley and Sons, 2003. ISBN 0-471-09520-6.
15. Habib, D., Locke, D. C. in Cannone, L. J., 1998. Synthetic fibers as indicators of municipal sewage sludge, sludge products, and sewage treatment plant effluents. Water, Air, and Soil Pollution, 1998, 103 (1–4), 1–8.
16. Hurley, R., Woodward, J. in Rothwell, J. J., 2018. Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. Nature Geoscience, 2018, 11(4), 251–257.
17. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. in Law, K. L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 2015, 347(6223), 768–771.
18. Kovač Viršek, M., Robič, U. in Cerar, N., 2019a. Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2019: III/7: Analiza vnosa makroodpadkov iz vodotokov v morsko okolje in vnosa mikroodpadkov iz vodotokov in odpadnih voda ter določitev stopnje soodvisnosti (pomembna obremenitev) med virom obremenitve in stanjem morskega okolja – nadgradnja metodologije za določitev pomembnih obremenitev na morsko okolje: končno poročilo, Ljubljana. Inštitut za vode Republike Slovenije, december 2019.
19. Kovač Viršek, M., Cerar, N. in Suhadolnik, P., 2019b. Monitoring mikroplastike na Centralni čistilni napravi Domžale-Kamnik: končno poročilo. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije, okt. 2019.
20. Kovač Viršek, M., Cerar, N. in Suhadolnik, P., 2019c. Monitoring mikroplastike na reki Ljubljanici: končno poročilo. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije, nov. 2019.
21. Kovač Viršek, M., Trdan, Š., Koren, Š., Robič, U., Jarni, K., Caserman, H., Popit, A. in Peterlin, M., 2018. Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2018: III – 11 nadgradnja metodologij za spremljanje stanja morskega okolja in presoja njegovega stanja: b) poročilo o rezultatih izvedenih pilotnih monitoringih makroodpadkov in mikroodpadkov v površinski plasti vodnega stolpca ter na morskem dnu ter o rezultatih vzorčenja in analize mikroplastike v organizmih: končno poročilo. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije, okt. 2018.
22. Kovač Viršek, M., Popit, A., Trdan, Š., Peterlin, M., Robič, U. in Jarni, K., 2017. Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2017a: III – razvoj metodologij za področje morskega okolja: III/9 nadgradnja metodologij za spremljanje stanja morskega okolja in presoja njegovega stanja – b) poročilo o rezultatih izvedenih pilotnih monitoringih makroodpadkov in mikroodpadkov v površinski plasti vodnega stolpca ter na morskem dnu ter o rezultatih vzorčenja in analize mikroplastike v organizmih – delno poročilo. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije, dec. 2017.
23. Kovač Viršek, M., Jarni, K. in Koren, Š., 2017b. Mikroplastika v čistilnih napravah – v kolikšni meri so jo čistilne naprave sposobne zadržati. Zbornik 7. konference komunalnega gospodarstva, Rimske Toplice, 21. in 22. september 2017, 199–206.
24. Kovač Viršek, M., Lovšin, N., Koren, Š., Kržan, A. in Peterlin, M., 2017c. Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species Aeromonas salmonicida. Marine pollution bulletin, 201,7 125, 301–309.
25. Kovač Viršek, M., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat P. in Kržan, A., 2016. Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis. Journal of visualized experiments, 2016, 118, e55161-1 – 55161-9.
26. Leslie, H. A., Van Velzen, M. J. M. in Vethaak, A. D., 2013. Microplastic survey of the Dutch environment. Novel data set of microplastics in North Sea sediments, treated wastewater effluents and marine biota. IVM Institute for Environmental Studies, Report no. R-13/11.
27. Magnusson, K. in Norén, F., 2014. Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd., Stockholm, Sweden.
28. McCormick, A., Hoellein, T. J., Mason, S. A., Schluep, J. in Kelly, J. J., 2014. Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. Environmental science & technology, 2014, 48 (20), 11863–11871.
29. Moore, C. J., Lattin, G. L. in Zellers, A. F., 2011. Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. Journal of Integrated Coastal Zone Management, 2011, 11(1), 65–73.
30. Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F. in Quinn, B., 2016. Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. Environ. Sci. Tehnol., 2016, 50, 5800–5808.
31. Reisser, J., Shaw, J., Hallegraeff, G., Proietti, M. in Barnes, D. K. A., 2014. Millimetersized marine plastics: a new pelagic habitat for microorganisms and invertebrates. PLoS One, 2014, 9 (6), e100289.
32. Van der Wall, M., Van der Meulen, M., Tweehuijsen, G., Peterlin, M., Palatinus, A., Kovač Viršek, M., Coscia, L. in Kržan, A., 2015. SFRA0025: Identification and assessment of riverine input of (marine) litter: final report for the European Commission DG Environment under Framework Contract No ENV.D.2/FRA/2012/0025: report for Michail Papadoyannakis DG Environment. Ljubljana: Inštitut za vode RS. Dostopno na: http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/iasFinal%20Report.pdf [1. 8. 2020].
33. Vlachogianni, T., Anastasopoulou, A., Fortibuoni, T., Ronchi, F., Zeri, Ch., 2017. Marine Litter Assessment in the Adriatic and Ionian Seas. IPA-Adriatic DeFishGear Project, MIO-ECSDE, HCMR and ISPRA, pp. 168.

34. Vollertsen, J. in Hansen, A. A., 2017. Microplastics in Danish Wastewater: Sources, occurrences and fate. Enivronmental Project No. 1906. The Danish Environmental Protection Agency, Kobenhavn, Denmark.

35. Zeri, C., Adamopoulou, A., Varezić, D. B., Fortibuoni, T., Viršek, M. K., Kržan, A., Mandic, M., Mazziotti, C., Palatinus, A., Peterlin, M., Prvan, M., Ronchi, F., Siljic, J., Tutman, P. in Vlachogianni, T., 2018. Floating plastics in Adriatic waters (Mediterranean Sea): from the macro-to the micro-scale. Marine pollution bulletin, 2018, 136, 341–350.

36. Zettler, E. R., Mincer, T. J. in Amaral-Zettler, L. A., 2013. Life in the »plastisphere«: microbial communities on plastic marine debris. Environ. Sci. Technol., 2013, 47, 7137–7146.

VIRUSI V ODPADNI VODI: ANALIZE ODPADNE VODE ZA SPREMLJANJE EPIDEMIJE NOVEGA KORONAVIRUSA

KATARINA BAČNIK[1], dr. DENIS KUTNJAK[2], OLIVERA MAKSIMOVIĆ CARVALHO FERREIRA[3], ZALA KOGEJ[4], dr. ANA VUČUROVIĆ[5], ANJA PECMAN[6], dr. NATAŠA MEHLE[7], dr. MOJCA MILAVEC[8], dr. MAGDA TUŠEK ŽNIDARIČ[9], dr. ION GUTIÉRREZ-AGUIRRE[10], prof. dr. MAJA RAVNIKAR[11]

Povzetek

Odpadna voda predstavlja dober način za spremljanje prisotnosti virusov v določenem okolju. Spremljamo lahko, npr., prisotnost rastlinskih patogenih virusov, ki se prenašajo na druge rastline prek vode, ali potek epidemije novega koronavirusa. Nedavna potrditev, da se SARS-CoV-2 izloča z blatom okuženih posameznikov v zgodnjih fazah okužbe, ne glede na simptome bolezni, je odprla možnost za uporabo t. i. epidemiologije odpadnih vodá, ki temelji na analizah odpadne vode za spremljanje prisotnosti in širjenja virusa v določenem okolju oz. populaciji ljudi. Študije iz tujine, večinoma izvedene v regijah z visoko incidenco COVID-19, so potrdile prisotnost nizke koncentracije virusa v odpadni vodi. Tudi pri nas smo konec marca začeli z vzorčenjem in analizami dotokov šestih čistilnih naprav. Prve analize aprilskih vzorcev odpadne vode so pokazale nizke koncentracije virusa v odpadni vodi; pozitivnih je bilo le nekaj vzorcev, kar pripisujemo nizkemu številu okužb v Sloveniji. Glede na trenutno situacijo je razvoj učinkovitih metod za analizo odpadnih vodá pomemben, saj predstavlja komplementaren način spremljanja zgodnjega pojavljanja okužb ter je neodvisen od izbire in števila testiranih oseb.

Ključne besede: epidemiologija odpadnih vodá, odpadne vode, SARS-CoV-2, virusi v vodi.

1 Katarina Bačnik, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana.

2 Dr. Denis Kutnjak, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo.

3 Olivera Maksimović Carvalho Ferreira, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana.

4 Zala Kogej, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo.

5 Dr. Ana Vučurović, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo; Univerza v Beogradu – Poljoprivredni fakultet.

6 Anja Pecman, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana.

7 Dr. Nataša Mehle, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo.

8 Dr. Mojca Milavec, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo.

9 Dr. Magda Tušek Žnidarič, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo.

10 Dr. Ion Gutiérrez-Aguirre, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo.

11 Prof. dr. Maja Ravnikar, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo, Univerza v Novi Gorici.

Abstract

Analysing wastewater is a good way to monitor the presence of viruses in a particular environment. For example, we can monitor the presence of plant pathogenic viruses that can be transmitted by water to other plants or the course of an epidemic of a new coronavirus. The recent confirmation that SARS-CoV-2 is excreted in the faeces of infected individuals in the early stages of infection and regardless of disease symptoms has opened up the possibility of using so-called wastewater based epidemiology, that uses wastewater analyzes to monitor virus presence and spread in specific environment or population of people. Studies from abroad, mostly conducted in regions with a high incidence of COVID-19, have confirmed the presence of low concentrations of the virus in wastewater. At the end of March, we also started sampling and analyzing the influents of six wastewater treatment plants. The first results of April wastewater samples showed low virus concentrations in wastewater; only a few samples were positive, which is attributed to the low number of infections in Slovenia. Given the current situation, the development of effective methods for wastewater analysis is important, as it is a complementary way to monitor the early onset of virus spread and is independent of the choice and number of people tested.

Keywords: SARS-CoV-2, viruses in water, wastewater based epidemiology, wastewater.

1. UVOD

Humani, živalski, bakterijski in rastlinski virusi so lahko prisotni v različnih tipih vodá. Tudi v odpadni vodi virusi predstavljajo pomemben del mikrobiote oz. vseh organizmov, prisotnih v odpadni vodi. Številne metagenomske študije, ki preučujejo prisotnost vseh virusov v odpadni vodi, opisujejo kot najpogosteje zastopane predstavnike virusov bakteriofage oz. viruse bakterij. Pogosti pa so tudi rastlinski virusi, ki lahko preživijo pot prek prebavnega trakta človeka, nato pa prek kanalizacijskega sistema zaidejo v odpadno vodo. Infektivnost ohranjajo tudi po prehodu čistilne naprave (Bačnik et al., 2020), in voda tako predstavlja možen način širjenja rastlinskih virusov na daljše razdalje. Najbolj raziskani pa so zagotovo živalski in človeški patogeni virusi, ki se namnožijo v prebavnem traktu gostitelja in jih prav tako lahko zaznamo v odpadni vodi (Steyer et al., 2015), pri čemer je zelo pomembna učinkovita metoda koncentriranja virusov. Takšni človeški patogeni so adenovirusi, astrovirusi, enterovirusi, hepatitis A in E, norovirusi ter rotavirusi (Xagoraraki in Brien, 2019). Gre večinoma za enterične viruse, ki povzročajo gastrointestinalne težave, vendar pa v odpadni vodi lahko zaznamo tudi respiratorne viruse, vključno s koronavirusi (Gundy et al., 2009). Nedavni izbruh bolezni COVID-19 je po vsem svetu hitro postal velik javnozdravstveni problem. SARS-CoV-2, virus, odgovoren za COVID-19, se širi s človeka na človeka kapljično ali z neposrednim stikom. Nedavne študije so poročale o najdbi SARS-CoV-2 tudi v blatu (Chen et al., 2020; Wölfel et al., 2020) in urinu (Peng et al., 2020) okuženih posameznikov. Študije kažejo, da se virus izloča v blatu zgodaj po okužbi (Chan et al., 2020) kar pomeni, da veliko simptomatskih in asimptomatskih okuženih posameznikov virus izloča v blato, ki prek kanalizacijskega sistema pride do čistilne naprave. Pomembna lastnost virusov je, da se zunaj svojega gostitelja, npr. v odpadni vodi, ne namnožujejo in zato njihove koncentracije predstavljajo stanje v populaciji ljudi, ki jo pokriva čistilna naprava (Xagoraraki in Brien, 2019).

Čeprav so virusi v odpadni vodi široka tema, pa se bomo v nadaljevanju prispevka zaradi aktualnosti osredotočili na določanje SARS-CoV-2 v odpadni vodi in spremljanje trenutne epidemije SARS-Cov-2 z epidemiologijo odpadnih vodá.

2. EPIDEMIOLOGIJA ODPADNIH VODÁ

Trenutna pandemija COVID-19 je pripeljala do uvedbe številnih ukrepov za preprečevanje širjenja virusa SARS-CoV-2, pri čemer testiranje in zaznavanje virusa predstavljata osnovo za razumevanje poteka epidemije. Nedavna potrditev, da se SARS-CoV-2 izloča z blatom okuženih posameznikov v zgodnjih fazah okužbe, ne glede na simptome bolezni, je odprla možnost za uporabo t. i. epidemiologije odpadnih vodá, ki temelji na analizah odpadne vode za spremljanje prisotnosti in širjenja virusa v določenem okolju oz. populaciji ljudi. Klasična epidemiologija opisuje potek epidemij na podlagi kliničnih testiranj, ki najpogosteje temeljijo na kliničnih znakih obolelih posameznikov, ter s tem težje predvidi kritične lokacije in časovne okvire novih žarišč širjenja virusa. Epidemiologija odpadnih vodá pa temelji na predpostavki, da odpadna voda reflektira zdravstveno stanje populacije ljudi (Xagoraraki in Brien, 2019). Časovno in krajevno spremljanje prisotnosti virusa v odpadni vodi tako omogoča zgodnje odkrivanje izbruhov oz. ponovnega širjenja virusa. Skrbno izbran način vzorčenja na različnih lokacijah pa lahko omogoči zaznavo kritičnih lokacij širjenja virusa.

Podoben in bolj poznan pristop epidemiologije odpadnih vodá je že vzpostavljen za opisovanje porabe drog oz. prepovedanih substanc (Zuccato et al., 2008). Zelo pomemben korak v takšnih ocenah porabe določenih substanc je določitev števila posameznikov, ki prispevajo k zaznani koncentraciji v odpadni vodi (Xagoraraki in Brien, 2019). Pristop epidemiologije odpadnih vod je bil tudi že uporabljen za spremljanje virusnih bolezni. Takšen primer je virus otroške ohromelosti oz. poliovirus, ki je zaradi učinkovitega cepljenja že skoraj izkoreninjena bolezen (Obregón et al., 2009). V predelih, kjer pa se virus še pojavlja, lahko z analizami odpadne vode sledimo uspešnosti cepljenja oz. zaznavamo pojav novih žarišč širjenja virusa (Lago et al., 2003).

Že na primeru virusa SARS-CoV leta 2003 so ugotovili, da se virus lahko razmnožuje tudi v človeških črevesnih celicah in izloča z blatom okuženih posameznikov (Leung et al., 2003). Njegovo nukleinsko kislino so zaznali v odpadnih vodah (Gundy et al., 2009). Tudi za novi koronavirus SARS-CoV-2 vemo, da se izloča v blatu okuženih posameznikov (Chen et al., 2020; Wölfel et al., 2020). Rezultati posameznih študij kažejo, da so nukleinske kisline virusa zaznali pri 29 % okuženih posameznikov (Wang et al., 2020) oz. 53 % hospitaliziranih bolnikov s COVID-19 (Xiao et al., 2020). Nekatere klinične študije poročajo o daljšem času izločanja virusne nukleinske kisline v blatu, in sicer do sedem tednov po pojavu prvih simptomov (Xiao et al., 2020). SARS-CoV-2 pa so zaznali tudi v blatu asimptomatskih posameznikov (Tang et al., 2020), ki predstavljajo pomemben delež vseh okuženih. V zadnjih mesecih so se vrstile objave o odkrivanju SARS-CoV-2 v odpadni vodi iz različnih držav po svetu.

3. PREGLED OBJAV O PRISOTNOSTI SARS-CoV-2 V ODPADNIH VODAH

Spremljanje začetka, širjenja in spreminjanja trendov prisotnosti virusa SARS-CoV-2 v celotni populaciji s pomočjo kliničnih testiranj se je izkazalo za velik izziv, saj asimptomatski okuženi pogosto ostanejo prezrti. V ta namen so raziskovalne skupine po vsem svetu, vključno z nami, začele analizirati odpadno vodo za SARS-CoV-2 kot komplementaren način za spremljanje širjenja virusa. Po nekaj mesecih po pojavu COVID-19 so začele izhajati prve publikacije, ki so poročale o prisotnosti SARS-CoV-2 v odpadni vodi. Objave, ki so večinoma še vedno objavljene le kot preprinti, poročajo o pojavu SARS-CoV-2 v komunalnih odpadnih vodah po vsem svetu; na Nizozemskem (Medema et al., 2020), v Massachusettsu (Wu, 2020), Avstraliji (Ahmed et al., 2020), Franciji (Wurtzer et al., 2020), Španiji (Randazzo et al., 2020), Italiji (la Rosa et al., 2020) in Turčiji (Kocamemi et al., 2020). Poročali so tudi o korelacijah med analizami odpadne vode in podatki o kliničnih testiranjih (Peccia et al., 2020). Večina teh raziskav je bila opravljena v državah ali regijah, kjer je epidemija COVID-19 potekala v večjem obsegu, kar kaže na to, da je bila »kritična masa« ljudi že okužena pred začetkom množičnega kliničnega testiranja. Večina študij poroča o relativno nizkih koncentracijah virusa v koncentriranih vzorcih odpadne vode. Kljub temu nekatere ocene, ki temeljijo na rezultatih modeliranja in analizah, opravljenih na drugih enteričnih virusih (tj. norovirusih), kažejo, da bi enega okuženega posameznika na 100 000 ljudi že zaznali z analizami odpadne vode (Hata in Honda, 2020). Poleg objav o odkrivanju virusa v odpadni vodi iz različnih držav pa se začenjajo izvajati tudi številni monitoringi SARS-CoV-2 v odpadni vodi v različnih geografskih regijah.

4. DOLOČANJE SARS-CoV-2 V ODPADNIH VODAH

Ker so virusi v odpadni vodi pogosto prisotni v nizkih koncentracijah, jih moramo za uspešno odkrivanje najprej skoncentrirati. Za koncentriranje lahko uporabljamo različne metode, ki temeljijo na adsorpciji-eluciji, filtraciji, precipitaciji, flokulaciji in ultracentrifugiranju (Ikner et al., 2012). Pred uporabo molekularnih metod za odkrivanje virusov moramo iz izbranega vzorca izolirati nukleinske kisline. Nato pa s pomočjo verižne reakcije s polimerazo v realnem času (qPCR) lahko zaznavamo že zelo nizke koncentracije virusnih nukleinskih kislin v vzorcu. Viruse v zadostnih koncentracijah lahko opazujemo tudi z elektronskim mikroskopom, kjer lahko prepoznavamo njihovo strukturo oz. celovitost virusnih delcev. Velik preskok pri odkrivanju virusov pa so omogočile metode visokozmogljivega sekvenciranja, ki se uporabljajo tudi za odkrivanje virusov v odpadni vodi (Bačnik et al., 2020). Te nam omogočajo netarčno zaznavo vseh organizmov, prisotnih v vzorcih, in s tem tudi identifikacijo novih, prej neznanih virusov. V nadaljevanju sledi bolj podroben opis metod, uporabljenih za odkrivanje SARS-CoV-2 v odpadni vodi.

4.1 Koncentriranje virusov

Obstajajo različne metode za koncentriranje virusov v vodnih vzorcih, ki pa so večinoma prilagojene študijam enteričnih virusov, ki nimajo zunanje lipidne ovojnice (Kitajima et al., 2020). Večina dosedanjih raziskav za koncentriranje virusov za odkrivanje SARS-CoV-2 opisuje uporabo majhnih volumnov odpadne vode (100 mL) in uporabo filtrov za ultrafiltracijo, Centricons MWCO (Millipore). Potek dela z omenjenimi filtri je sestavljen iz dveh delov; najprej vzorec centrifugiramo in s tem odstranimo večje delce, nato pa vodni vzorec filtriramo ter na ta način skoncentriramo vse delce, vključno z virusi, večjimi od por uporabljenega filtra. Pogosto uporabljena metoda za koncentriranje za odkrivanje SARS.CoV-2 je tudi polietilen glikol precipitacija, kjer lahko postopek prilagodimo uporabi večjih volumnov vode. Prav tako večje volumne vode lahko koncentriramo z uporabo CIM monolitne kromatografije. Pri tej metodi vodni vzorec z relativno visokim pretokom vodimo skozi kolono, pri čemer se virusi vežejo na monolitni nosilec z določenimi kemijskimi lastnostmi. Metodo CIM monolitne kromatografije smo uspešno uporabili za koncentriranje humanih virusov iz sladke (Steyer et al., 2015) in morske vode (Balasubramanian et al., 2016), bakteriofagov (Alič et al., 2017) ter rastlinskih virusov (Bačnik et al., 2020). Ni še povsem jasno, ali je SARS-CoV-2 v odpadni vodi prisoten v obliki bolj ali manj poškodovanih virionov ali kot fragmentirana nukleinska kislina, kar lahko močno vpliva na koncentracijo. Zato je pomembno učinkovitost koncentracije preizkusiti z uporabo ustreznih referenčnih materialov oz. pozitivnih kontrol za SARS-CoV-2.

4.2 Zaznavanje virusnih nukleinskih kislin s qPCR

Virusne nukleinske kisline v vzorcih lahko zaznavamo z uporabo molekularnih metod, med katere spadata qPCR in kapljična digitalna verižna reakcija s polimerazo (ddPCR), pri katerih pomnožujemo določen odsek nukleinskih kislin določenega patogena, kar nato aparatura zazna kot povečanje fluorescence. qPCR je zelo občutljiva metoda, s katero lahko dokazujemo nizke koncentracije virusov, z uporabo specifične sonde pa dosežemo visoko specifičnost. Kvantifikacija tarče temelji na umerjanju s standardom z znano koncentracijo; taki standardi pogosto niso na voljo oz. je njihova priprava zamudna in draga. Na učinkovitost pomnoževanja močno vpliva tudi prisotnost inhibitorjev v preiskovanem vzorcu (Gibson et al., 2012). Navedeni pomanjkljivosti lahko rešujemo z uporabo odkrivanja in kvantifikacije nukleinskih kislin z ddPCR (Baker, 2012). Metoda temelji na tem, da reakcijsko mešanico razbijemo na veliko število reakcij majhnega volumna, po reakciji pa preštejemo, koliko reakcij je bilo negativnih in koliko pozitivnih. Obe metodi sta primerni za analizo vzorcev vod, saj omogočata zaznavo že zelo nizkih vsebnosti virusnih nukleinskih kislin (1–10 kopij virusnega genoma v reakciji), hkrati pa sta bili že uporabljeni za odkrivanje virusov v odpadni vodi (Gutiérrez-Aguirre et al., 2011; Rački et al., 2014).

Trenutno odkrivanje SARS-CoV-2 v odpadni vodi temelji predvsem na uporabi različnih qPCR testov, ki targetirajo različne regije koronavirusnega genoma (RdRp, E in N) in jih priporočata Svetovna zdravstvena organizacija ali Ameriški center za nadzor nad nalezljivimi boleznimi. Vključevanje ustreznih pozitivnih in negativnih kontrol je ključnega pomena za končno interpretacijo rezultatov. Pomembna pa je tudi ustrezna validacija uporabljene metode, ki nam daje podlago za uporabo pridobljenih rezultatov pri spremljanju povečevanja oz. upadanja koncentracije v vzorcih odpadne vode.

4.3 Normalizacija podatkov in iskanje korelacij s kliničnimi podatki

Za uporabo epidemiologije odpadnih vodá je pomembna normalizacija podatkov glede na velikost populacije, ki jo, npr., pokriva določena čistilna naprava. To nam zagotavlja, da izmerjene spremembe v ocenah koncentracije virusa niso posledica sprememb v velikosti populacije

(Xagoraraki in Brien, 2019). Pri tem se lahko zanašamo na javno dostopne podatke, lahko pa uporabimo tudi določene snovi, prisotne v odpadni vodi, ki korelirajo z velikostjo populacije. Takšni populacijski biomarkerji so, npr., kreatinin, kortizol, holesterol in drugi (Xagoraraki in Brien, 2019). Pomembna je tudi obstojnost virusa v vodnem okolju, na katero vplivajo številni dejavniki, kot so temperatura, izpostavljenost UV-svetlobi in prisotnost drugih snovi v vodi. V zadnjih mesecih so bile opravljene številne študije o preživetju in inaktivaciji SARS-CoV-2 na površinah kot tudi v različnih matriksih. Kitajima in sodelavci (2020) so objavili pregled takšnih objav, pomembnih za analize vode, ki večinoma kažejo na nestabilnost koronavirusov v odpadni vodi. Na analize odpadne vode torej vplivajo lastnosti posameznega virusa in pogoji znotraj kanalizacijskega sistema, ki se lahko spreminjajo glede na lokacijo (Xagoraraki in Brien, 2019).

Primerjava podatkov, pridobljenih z analizami odpadne vode s kliničnimi podatki o številu okuženih, je zelo pomemben korak. Korelacija med izmerjenimi koncentracijami oz. trendi v odpadni vodi in poročanimi kliničnimi podatki je ključna za ocenitev napovedne vrednosti analiz odpadne vode. Za natančno poročanje je tako bistvena tesna povezava s čistilnimi napravami za vzorčenje odpadne vode in spremljanje različnih fizikalno-kemijskih parametrov kot tudi z zdravstvenimi organi za natančna poročila o kliničnih testiranjih in ocenitev napovedne vrednosti analiz odpadne vode. Poleg tega je za vzpostavitev monitoringa odpadne vode v večjem obsegu ključnega pomena vključevanje v evropske pobude, medlaboratorijske študije in platforme za izmenjavo podatkov.

5. ZAKLJUČEK

Analiza odpadnih vod za SARS-CoV-2 lahko služi kot pomembna dopolnitev kliničnemu testiranju za spremljanje COVID-19, ki je neodvisna od izbire in števila testiranih oseb. Če so analize pravilno zasnovane in uporabljene, lahko takšna strategija predvidi nove izbruhe ali spremlja upad epidemije, kar organom upravljanja pomaga pri odločanju glede sproščanja ukrepov, ki vplivajo na družbeno in gospodarsko dogajanje v državi. Da bi to dosegli, je treba razviti metode za koncentriranje virusov in kvantifikacijo SARS-CoV-2 v odpadni vodi, nadalje pa jih ustrezno optimizirati kot tudi validirati.

LITERATURA IN VIRI

1. Ahmed, W., Angel, N., Edson, J., Bibby, K., Bivins, A., O'Brien, J. W., Choi, P. M., Kitajima, M., Simpson, S. L., Li, J., Tscharke, B., Verhagen, R., Smith, W. J. M., Zaugg, J., Dierens, L., Hugenholtz, P., Thomas, K. V. in Mueller, J. F., 2020. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. Sci. Total Environ. 728, 138764. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764
2. Alič, Š., Naglič, T., Tušek-Žnidarič, M., Ravnikar, M., Rački, N., Peterka, M. in Dreo, T., 2017. Newly isolated bacteriophages from the Podoviridae, Siphoviridae, and Myoviridae families have variable effects on putative novel Dickeya spp. Front. Microbiol. 8, 1–14. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01870
3. Bačnik, K., Kutnjak, D., Pecman, A., Mehle, N., Žnidarič, M. T., Aguirre, I. G. in Ravnikar, M., 2020. Viromics and infectivity analysis reveal the release of infective plant viruses from wastewater into the environment. Water Res. 115628. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115628
4. Baker, M., 2012. Digital PCR hits its stride. Nat. Methods 9, 541–544. https://doi.org/10.1038/nmeth.2027
5. Balasubramanian, M. N., Rački, N., Gonçalves, J., Kovač, K., Žnidarič, M. T., Turk, V., Ravnikar, M. in 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 Res. 106, 405–414. https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.10.020
6. Chan, J. F. W., Yuan, S., Kok, K. H., To, K. K. W., Chu, H., Yang, J., Xing, F., Liu, J., Yip, C. C. Y., Poon, R. W. S., Tsoi, H. W., Lo, S. K. F., Chan, K. H., Poon, V. K. M., Chan, W. M., Ip, J. D., Cai, J. P., Cheng, V. C. C., Chen, H., Hui, C. K. M. in Yuen, K. Y., 2020. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster. Lancet 395, 514–523. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30154-9
7. Chen, Y., Chen, L., Deng, Q., Zhang, G., Wu, K., Ni, L., Yang, Y., Liu, B., Wang, W., Wei, C., Yang, J., Ye, G. in Cheng, Z., 2020. The presence of SARS-CoV-2 RNA in the feces of COVID-19 patients. J. Med. Virol. 833–840. https://doi.org/10.1002/jmv.25825
8. Gundy, P. M., Gerba, C. P. in Pepper, I. L., 2009. Survival of Coronaviruses in Water and Wastewater. Food Environ. Virol. 1, 10–14. https://doi.org/10.1007/s12560-008-9001-6
9. Gutiérrez-Aguirre, I., Steyer, A., Banjac, M., Kramberger, P., Poljšak-Prijatelj, M. in Ravnikar, M., 2011. On-site reverse transcription-quantitative polymerase chain reaction detection of rotaviruses concentrated from environmental water samples using methacrylate monolithic supports. J. Chromatogr. A 1218, 2368–2373. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.10.048
10. Hata, A. in Honda, R., 2020. Potential Sensitivity of Wastewater Monitoring for SARS-CoV-2: Comparison with Norovirus Cases. Environ. Sci. Technol. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02271
11. Ikner, L. A., Gerba, C. P. in Bright, K. R., 2012. Concentration and Recovery of Viruses from Water: A Comprehensive Review. Food Environ. Virol. 4, 41–67. https://doi.org/10.1007/s12560-012-9080-2
12. Kitajima, M., Ahmed, W., Bibby, K., Carducci, A., Gerba, C. P., Hamilton, K. A., Haramoto, E. in Rose, J. B., 2020. SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. Sci. Total Environ. 139076. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139076
13. Kocamemi, B. A., Kurt, H., Hacıoglu, S., Yaralı, C., Saatci, A. M. in Pakdemirli, B., 2020. First Data-Set on SARS-CoV-2 Detection for Istanbul Wastewaters in Turkey Authors Marmara University, Department of Environmental Engineering, Istanbul, Turkey Saglik Bilimleri University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, Istanbul. medRxiv 2–11. https://doi.org/10.1101/2020.05.03.20089417
14. La Rosa, G., Iaconelli, M., Mancini, P., Ferraro, G. B., Veneri, C., Bonadonna, L. in Lucentini, L., 2020. First Detection of Sars-Cov-2 in Untreated Wastewaters in Italy. medRxiv 736, 2020.04.25.20079830. https://doi.org/10.1101/2020.04.25.20079830
15. Lago, P. M., Gary, H. E., Pérez, L. S., Cáceres, V., Olivera, J. B., Puentes, R. P., Corredor, M. B., Jímenez, P., Pallansch, M. A. in Cruz, R. G., 2003. Poliovirus detection in wastewater and stools following an immunization campaign in Havana, Cuba. Int. J. Epidemiol. 32, 772–777. https://doi.org/10.1093/ije/dyg185
16. Leung, W. K., To, K. F. in Chan, P. K. S., 2003. Enteric Involvement of Severe Acute Respiratory Syndrome –. Gastroenterology 5085, 1011–1017. https://doi.org/10.1053/S0016-5085(03)01215-0
17. Medema, G., Heijnen, L., Elsinga, G., Italiaander, R. in Medema, G., 2020. Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage. Methods Sewage samples. medRxiv. https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20045880
18. Obregón, R., Chitnis, K., Morry, C., Feek, W., Bates, J., Galway, M. in Ogden, E., 2009. Achieving polio eradication: A review of health communication evidence and lessons learned in India and Pakistan. Bull. World Health Organ. 87, 624–630. https://doi.org/10.2471/BLT.08.060863
19. Peccia, J., Zulli, A., Brackney, D. E., Grubaugh, N. D., Edward, H., Casanovas-massana, A., Ko, A. I., Malik, A. A. in Wang, D., 2020. SARS-CoV-2 RNA concentrations in primary municipal sewage sludge as a leading indicator of COVID-19 outbreak dynamics 1.
20. Peng, L., Liu, J., Xu, W., Luo, Q., Chen, D., Lei, Z., Huang, Z., Li, X., Deng, K., Lin, B. in Gao, Z., 2020. SARS-CoV-2 can be detected in urine, blood, anal swabs, and oropharyngeal swabs specimens. J. Med. Virol. 1–5. https://doi.org/10.1002/jmv.25936
21. Rački, N., Morisset, D., Gutierrez-Aguirre, I. in Ravnikar, M., 2014. One-step RT-droplet digital PCR: A breakthrough in the quantification of waterborne RNA viruses. Anal. Bioanal. Chem. 406, 661–667. https://doi.org/10.1007/s00216-013-7476-y

22. Randazzo, W., Truchado, P., Cuevas-Ferrando, E., Simón, P., Allende, A. in Sánchez, G., 2020. SARS--CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area. Water Res. 181, 115942. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115942
23. Steyer, A., Gutiérrez-Aguirre, I., Rački, N., Beigot Glaser, S., Brajer Humar, B., Stražar, M., Škrjanc, I., Poljšak-Prijatelj, M., Ravnikar, M. in Rupnik, M., 2015. The detection rate of enteric viruses and Clostridium difficile in a waste water treatment plant effluent. Food Environ. Virol. 7, 164–172. https://doi.org/10.1007/s12560-015-9183-7
24. Tang, A., Tong, Z., Wang, H., Dai, Y., Li, K., Liu, J., Wu, W., Yuan, C., Yu, M., Li, P. in Yan, J., 2020. Detection of Novel Coronavirus by RT-PCR in Stool Specimen from Asymptomatic Child, China. Emerg. Infect. Dis. 26, 1337–1339. https://doi.org/10.3201/eid2606.200301
25. Wang, D., Hu, B., Hu, C., Zhu, F., Liu, X., Zhang, J., Wang, B., Xiang, H., Cheng, Z., Xiong, Y., Zhao, Y., Li, Y., Wang, X. in Peng, Z., 2020. Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients with 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China. JAMA – J. Am. Med. Assoc. 323, 1061–1069. https://doi.org/10.1001/jama.2020.1585
26. Wölfel, R., Corman, V. M., Guggemos, W., Seilmaier, M., Zange, S., Müller, M. A., Niemeyer, D., Jones, T. C., Vollmar, P., Rothe, C., Hoelscher, M., Bleicker, T., Brünink, S., Schneider, J., Ehmann, R., Zwirglmaier, K., Drosten, C. in Wendtner, C., 2020. Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. Nature 581. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2196-x
27. Wu, F., 2020. SARS-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases Authors: medRxiv Prepr. 1–13. https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20051540
28. Wurtzer, S., Marechal, V., Mouchel, J.-M., Maday, Y., Teyssou, R., Richard, E., Almayrac, J. L. in Moulin, L., 2020. Evaluation of lockdown impact on SARS-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in Paris wastewaters. medRxiv 2020.04.12.20062679. https://doi.org/10.1101/2020.04.12.20062679
29. Xagoraraki, I. in Brien, E. O., 2019. Wastewater-based epidemiology for early detection of viral outbreaks, in: Women in Water Quality. pp. 75–97. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-17819-2_5
30. Xiao, F., Tang, M. in Xiaobin, Z., 2020. Evidence for Gastrointestinal Infection of SARS-CoV-2 21, 1–9.
31. Zuccato, E., Chiabrando, C., Castiglioni, S., Bagnati, R. in Fanelli, R., 2008. Estimating community drug abuse by wastewater analysis. Environ. Health Perspect. 116, 1027–1032. https://doi.org/10.1289/ehp.11022

GOSPODARJENJE IN UPRAVLJANJE KMETIJSKIH SISTEMOV ZA ZAGOTAVLJANJE VODE DOBRE KAKOVOSTI ZA OSKRBO S PITNO VODO (FAIRWAY)

doc. dr. MATJAŽ GLAVAN[1], asist. dr. ROZALIJA CVEJIĆ[2], dr. SUSANNE KLAGES[3], dr. OENE OENEMA[4], MEINDERT COMMELIN[5], prof. dr. PETER SCHIPPER[6], dr. GERARD VELTHOF[7], FIONA A. NICHOLSON[8], prof. dr. BERIT HASLER[9], RIKKE KROGSHAVE LAURSEN[10], FROUKJE MARIA PLATJOUW[11], SANDRA BOEKHOLD[12], SUSANNE WUIJTS[13], NICOLAS SURDYK[14], prof. dr. MARINA PINTAR[15]

Povzetek

Razpršeno onesnaževanje z dušikom (N) in sredstvi za varstvo rastlin (SVR) v kmetijstvu je glavna ovira za dobro kakovost virov pitne vode. Glavna cilja projekta FAIRWAY (2017-2021) sta (a) pregledati metode zaščite virov pitne vode pred onesnaženjem s SVR in N ter (b) identificirati in razviti inovativne ukrepe in načine upravljanja za bolj učinkovito varovanje virov pitne vode. Ta članek prispeva pregled do zdaj opravljenega dela na projektu. Tako predstavi (i) identificirane kazalnike kakovosti pitne vode in tehnike IT/senzorjev na ravni kmetije, območja raziskovanja in vira pitne vode; (ii) pregled ukrepov za zmanjšanje onesnaževanja virov pitne vode z nitrati in pesticidi; (iii) pregled obstoječih orodij za podporo odločanju ter oceno stroškov in koristi z uporabo orodij za podporo odločanju; (iv) skladnost prava in politike EU s ciljem varstva virov pitne vode; (v) ovire, težave in rešitve zagotavljanja celostne znanstvene podpore za politiko EU.

Ključne besede: FAIRWAY, gospodarjenje, H2020, kmetijstvo, pitna voda, upravljanje, vodni viri.

1 Doc. dr. Matjaž Glavan, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, odgovorni avtor.
2 Asist. dr. Rozalija Cvejić, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
3 Dr. Susanne Klages, Johann Heinrich von Thuenen-Institut, Bundesforschungsinstitut fuer Laendliche Raeume, Wald und fischerei (Thuenen), Braunschweig, Nemčija.
4 Dr. Oene Oenema, Wageningen University, Wageningen Environmental Research, Wageningen, Nizozemska.
5 Meindert Commelin, Wageningen University, Wageningen Environmental Research, Wageningen, Nizozemska.
6 Prof. dr. Peter Schipper, Wageningen University, Wageningen Environmental Research, Wageningen, Nizozemska.
7 Dr. Gerard Velthof, Wageningen University, Wageningen Environmental Research, Wageningen, Nizozemska.
8 Fiona A. Nicholson, RSK ADAS Ltd, Cheshire, Združeno kraljestvo.
9 Prof. dr. Berit Hasler, Aarhus Universitet (Au), Aarhus, Danska.
10 Rikke Krogshave Laursen, Landbrug & Fodevarer F.M.B.A. (Landbrug), Kobenhavn, Danska.
11 Froukje Maria Platjouw, Norsk Institutt For Vannforskning (NIVA), Oslo, Norveška.
12 Sandra Boekhold, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, Nizozemska.
13 Susanne Wuijts, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, Nizozemska.
14 Nicolas Surdyk, Bureau de Recherches Geologiques et Minieres, Orleans, Francija.
15 Prof. dr. Marina Pintar, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.

Abstract

Diffuse pollution with nitrogen (N) and plant protection products (PPP) from agriculture is a major barrier to reach good quality of drinking water sources. The main objectives of the FAIRWAY project (2017-2021) are (a) to review methods of protecting drinking water sources from PPP and N pollution and (b) to identify and develop innovative measures and management methods for more effective protection of drinking water sources. This article provides an overview of the work done so far. It shall present (i) the identified drinking water quality indicators and IT/sensor technology, at farm level, research area and drinking water sources; (ii) a review of measures to reduce pollution of drinking water sources by nitrates and pesticides; (iii) review of existing decision support tools and assessment of the costs and benefits of using decision support tools; (iv) the coherence of EU law and policy with the aim of protecting drinking water resources; (v) barriers, problems and solutions in providing integrated scientific support for EU policy.

Keywords: agriculture, drinking water, FAIRWAY, governance, H2020, management, water resources.

1. UVOD

Za razreševanje vpliva kmetijstva na onesnaževanje vodnih virov je EU v zadnjih desetletjih razvila obsežen sklop direktiv, smernic in politik. Zahteve direktive o pitni vodi določajo splošno minimalno kakovost pitne vode v EU (Ecorys, 2016). Okvirna direktiva o vodah, direktiva o podzemni vodi, nitratna direktiva in direktiva o trajnostni rabi pesticidov zahtevajo, da države članice zaščitijo vire pitne vode pred onesnaženjem ter da se zagotovi proizvodnja varne pitne vode. Vendar predpisi, ki izhajajo iz teh direktiv za zaščito virov pitne vode, ne dosegajo enake ravni izvajanja in učinkovitosti v vseh državah članicah. Posledično so na številnih območjih z ranljivimi vodnimi viri še vedno prekoračene meje za nitrate (50 mg/l) in pesticide (0,1 µg/l) (EEA, 2017). Direktiva o pitni vodi ureja zlasti velike dobavitelje, a vendarle se približno 65 milijonov ljudi v EU oskrbuje z vodo prek majhnih dobaviteljev (EC, 2017). EIP Water je identificirano »neskladnost in razdrobljenost politik, uredb in struktur upravljanja« v razvoju sektorja opredelil kot zelo lahko rešljivo. Hkrati je opaziti težnjo po prehodu politike od zgoraj navzdol (nacionalne vlade) na pristope upravljanja na regionalni/lokalni ravni z vključenimi ustreznimi akterji. Na splošno je vse večje soglasje, da je dobro upravljanje vode bistveni pogoj za upravljanje z vodami, saj lahko več akterjev prispeva k onesnaževanju (EC, 2014). Kljub temu za nekatera okolja še vedno ni jasno, kateri konkretni zakoniti dogovori in režimi upravljanja lahko privedejo do boljših kakovosti podzemnih in površinskih vodá.

V številnih državah EU je razpršeno onesnaževanje z dušikom in pesticidi iz kmetijstva glavna ovira pri doseganju ciljev direktiv. V EU je velika raznolikost v kmetijskih sistemih, podnebju, geomorfologiji, hidrologiji, tleh, stopnji izobrazbe kmetov, kakovosti kmetijsko-okoljskih svetovalnih storitev in vrsti oskrbe z vodo, kar pomeni, da so za zmanjšanje onesnaževanja virov pitne vode z nitrati in pesticidi potrebni specifični ukrepi, prilagojeni lokalnim značilnostim. Na ravni kmetij so bili razviti različni ukrepi in dobre prakse (OECD, 2015). Vendar so za prehod od ravni kmetije do trajnega in dolgotrajnega izvajanja na regionalni ravni potrebni dodatni pristopi kot tudi angažiranje več regionalnih/lokalnih deležnikov.

2. PROJEKT FAIRWAY

Splošni cilj projekta FAIRWAY je pregled trenutnih pristopov in ukrepov za zaščito virov pitne vode pred onesnaženjem, ki ga povzročajo pesticidi in nitrati iz kmetijstva v EU, ter določiti in nadalje razvijati inovativne ukrepe. Specifični cilji so:

- Analizirati dejavnike uspeha in neuspeha, povezane z izvajanjem strategij, ki preprečujejo onesnaževanje ranljivih virov pitne vode z nitrati in pesticidi v trinajstih študijah primerov po vsej Evropi z uporabo večakterskega pristopa (MAP) za bolj učinkovito sodelovanje med akterji (WP2).
- Določiti in nadalje razviti razumljive »kazalnike kakovosti kmetijske pitne vode« za ocenjevanje strategij varstva virov pitne vode, s posebno pozornostjo razvijanja kazalnikov, ki so razumljivi in zanimivi kmetom kot tudi splošni javnosti (WP3).
- Razviti usklajene nabore podatkov za spremljanje kakovosti vodnih virov pitne vode (WP3).
- Določiti in oceniti nove ukrepe in prakse, katerih cilj je vzdrževanje in/ali izboljšanje kakovosti vode v različnih pogojih, to pa z uporabo literature, rezultatov prejšnjih projektov ter mnenj strokovnjakov in zainteresiranih strani (WP4).
- Pregled, prilagajanje, prikazovanje in vrednotenje orodij za podporo odločanju za svetovanje, usposabljanje in komunikacijo z namenom obveščanja o stroškovno učinkovitih ukrepih ter za vzpostavitev skupnega zavedanja o razpršenem onesnaževanju ranljivih virov pitne vode med kmeti in dobavitelji vode (WP5).
- Analizirati, kako je mogoče EU, nacionalne politike in prakse upravljanja bolje uravnotežiti z osredotočanjem na stroškovno učinkovito varstvo virov pitne vode, ter pridobiti priporočila za izboljšanje na nacionalni ravni in ravni EU (WP6).
- Določiti ključne strategije in dobre prakse za varstvo pitne vode ter oceniti posledice teh možnosti za politiko in prakso na podlagi ugotovitev in rezultatov WP2 do WP6 (WP7).
- Razširjati rezultate projektov s praktičnimi prikazi, delavnicami in publikacijami v praktičnih in znanstvenih revijah na regionalni in nacionalni ravni ter ravni EU (WP8).

Projekt FAIRWAY temelji na načelu, da je varna pitna voda rezultat večsektorskih, večakterskih in večnivojskih prizadevanj. Pristop je transdisciplinaren, integriran in participativen ter poteka na območju trinajstih študij primerov v enajstih državah. Rezultat projekta bo zagotoviti osnovo za sodelovanje več akterjev po vsej EU, hkrati pa oblikovalce politike seznaniti z relativno stroškovno učinkovitostjo ukrepov. FAIRWAY bo i.) povečal znanstveno razumevanje odnosa med kmetijstvom in varstvom pitne vode, ki bo temeljil na praksi in teoriji; ii.) povečal razumevanje in ponudbo rešitev za premagovanje ovir pri praktičnem izvajanju ukrepov in dobrih praks, kar bo postavilo temelje za razvoj inovativnih ukrepov, orodij in instrumentov; iii.) izdelal usklajene protokole spremljanja in nabore podatkov za ocenjevanje ključnih kmetijskih praks in kakovosti vode; iv.) razvil pristope upravljanja, ki so obogateni z znanji

strokovnjakov in so zato učinkovitejši, ter v.) povečal ozaveščenost in vključenost kmetov in splošne javnosti.

3. MONITORING IN KAZALNIKI

Kmetijsko-okoljski kazalniki (Agri-Environmental Indicators – AEI), ki sta jih razvila OECD in Eurostat, se izvajajo in nadalje razvijajo za spremljanje in oceno negativnih in pozitivnih vplivov kmetijskih dejavnosti na okolje. AEI se uporabljajo na EU/nacionalni ravni (za oceno/primerjavo prepisa zakonodaje EU na ravni držav članic – 28 kazalnikov), na regionalni ravni (za spremljanje vpliva kmetijstva na okolje, določanje žarišč ali osredotočenost na področja in območja za kmetijsko svetovalno službo) in na ravni kmetij (kot orodje za pomoč kmetu pri odločanju). Kazalniki kakovosti pitne vode (Agri-Drinking Water quality Indicators – ADWI), ki bodo razviti v sklopu projekta FAIRWAY, so opredeljeni kot kazalniki kakovosti pitne vode. Ker se vir pitne vode lahko pridobiva iz podzemne ali površinske vode, so cilji ADWI kakovost obeh. Iz raziskave smo pridobili naslednje rezultate (Klages et al., 2020):

- Glede nitratov in pesticidov so pogoji precej različni: (i) nitrat je ena sama snov, ki se mobilizira in imobilizira, izpere, prenaša s površinskim odtokom in izpusti. Je ključnega pomena za rast rastlin, hkrati pa vseprisoten, tudi v »naravnih« pogojih. (ii) EFSA je odobrila približno 250 t. i. »aktivnih snovi« pesticidov. Za prodajo na trgu je potrebna nacionalna odobritev. Lahko jih sestavljajo le aktivne snovi, registrirane na ravni EU, čiste ali v mešanici ali kot aditivi za izboljšanje lastnosti pesticidov. Pesticidi naj bi bili – v največji možni meri – neškodljivi. Ti naj bi se razgradili ali vsaj absorbirali na talne delce in se ne izpirali v podzemne vode. Nepravilno ravnanje pa lahko privede do površinskega odtoka ali zanosa in s tem do onesnaženja površinskih vodá.
- ADWI so uporabni na vseh ravneh: na ravni kmetij kot pomoč pri posvetovanju s kmetom, na lokalni ali celo nacionalni ravni kot administrativno orodje za ocenjevanje in monitoring ter za oblikovalce politik. Ker združeni podatki kažejo manj standardnega odstopanja od posameznih nizov podatkov, bi bila lahko povezava ADWI s kakovostjo vode močnejša med podatki na regionalni ravni kot na ravni kmetij.
- Kazalniki obremenitev iz kmetijstva (navzkrižna skladnost – obremenitev, izvajanje kmetijskih operacij – spodbujanje) so številčnejši od kazalnikov stanja vodnih virov (monitoring). Kazalniki stanja, ki se uporabljajo za ocenjevanje kakovosti vode (državni monitoring), so – nasprotno – precej bolj standardizirani.
- Cilj, velikost in struktura študij primerov, vključenih v projekt, so različni, prav tako tudi ADWI, ki se uporabljajo. Zelo malo ADWI-jev se uporablja v celotni Evropi. (i) Skupni kazalniki tveganja pri uporabi nitratov so precej preprosti statistični podatki o porabi gnojil, gostoti živali ali pridelku rastlin, uporablja se tudi N-bilanca. (ii) Kazalniki tveganja za pesticide v uporabi so sestavljeni kazalniki, kot sta indeks pogostosti obdelave in indeks obremenitve s pesticidi.
- Glede pesticidov je mogoče uporabiti model DPSIR (Drivers, Pressures, State, Impact and Response model of intervention), le če so na voljo podatki kazalnikov obremenitev iz kmetijstva (navzkrižna skladnost, operacije in zahteve) ob uporabi določenih pesticidov in jih je mogoče povezati s stanjem ali vplivom. Ker manjkata regionalno diferencirana zbirka podatkov o uporabi in posledična ocena vnosov pesticidov, so lahko pesticidi, ki jih najdemo v pitni vodi, le sporadično povezani s podatki o uporabi (SRU, 2016).
- Korelacijska analiza s podatki testnega mesta je pokazala, da sestavljeni kazalniki (njivska bilanca ali presežek dušika) niso najbolj korelirani: bilance izračunajo izgube N iz koreninskega območja in ne upoštevajo izgube N v nenasičeni coni pod koreninami (to je razlog, zakaj uvedemo kazalnik Link za okvir DPSLIR). Sestavljeni kazalniki lahko kažejo nizko relativno občutljivost za spreminjanje pogojev (Buczko et al., 2010).
- Umerjanje in potrjevanje ADWI-jev glede na podatke s terena je zelo pomembno (Buczko in Kuchenbuch, 2010).
- Pridobivanje podatkov je lahko težava, saj je na lokalni ravni težko dostopati do enakih kategorij podatkov kot na nacionalni ravni. Zaradi negotovosti, povezanih z novo uredbo o varstvu podatkov (EU 2016/679), kot tudi zaradi poostritve zakonodaje o gnojilih v nekaterih državah članicah se v povezavi z raziskavo pojavljajo vprašanja o varovanju podatkov o kmetijah.

4. PREGLED UKREPOV IN PRAKS

4.1 Pesticidi (sredstva za varstvo rastlin)

Kategorizacija ukrepov in ocena njihove učinkovitosti je prva stopnja v procesu odpravljanja onesnaževanja (Rittenburg et al., 2015). Pesticidi se lahko prenašajo prek zraka, vode in tal. Glavno prenosno sredstvo je voda, ponekod pa lahko tudi delci tal, kadar so prenašani z vodo (Reichenberger et al., 2007). Zmanjšanje razpršenega onesnaževanja je povezano s potmi prenosa. Prenos pesticidov v vodna telesa lahko zmanjšamo tako, da omejimo vnos pesticidov v sistem, in sicer z vplivanjem na hidrološke poti prenosa. Poti, ki so opredeljene kot glavne do podzemne in površinske vode, so: površinski pretok, podpovršinski tok in drenažni sistemi ter izpiranje in zanašanje. Glavni sklepi so:

- Glavni dejavniki razpršenega onesnaževanja s pesticidi so (i) količina in vrsta uporabljenih pesticidov, (ii) prenos z vodo z vezavo na talne delce, (iii) erozija usedlin, ki povzroča prenos adsorbiranih delcev, ter (iv) zanos iz škropilne linije med nanosom.
- Rastlinski zadrževalni pasovi so najjasnejši ukrep za zmanjšanje površinskega prenosa pesticidov. Na voljo so tudi modeli, ki izračunavajo obseg vpliva, učinkovitost in možnosti zmanjšanja uporabe pesticidov.
- Prakse obdelave tal so temeljito preučene. Analiza kaže, da sistemi konzervirajoče obdelave tal ne zagotavlja manj prenosa pesticidov z njiv kot običajni sistemi obdelave tal. Nekateri viri navajajo, da je sistem direktne setve v specifičnih pogojih celo vzrok večjemu onesnaževanju.
- Ukrepi proti razpršenemu onesnaževanju vključujejo le majhen del razpoložljivih pristopov. Za pridobitev trajnostnega sistema je bistveno, da se upoštevajo zmanjšanje vnosa, preoblikovanje kmetijskih sistemov in ukrepi kmetijsko-okoljske politike.

4.2 Nitrat

Večina analiziranih študij je vključevala ukrepe, ki so bili do neke mere učinkoviti in so zmanjševali tveganje izgube NO_3 v vodna telesa. Obstajajo dokazi, da je uporaba prekrivnih posevkov (ozelenitev) učinkovita praksa, saj zmanjšajo izpiranje NO_3 za 35 do 98 %. Učinkovita je tudi uporaba (nitrifikacijskih) zaviralcev. Zlasti za diciandiamid (DCD) so številne študije poročale o zmanjšanju izpiranja NO_3. Uspeh uporabe biooglja je odvisen od tal in okoljskih razmer kot tudi od vrste uporabljenega biooglja. Študije niso pokazale znatnih sprememb v sistemih obdelave tal (iz oranja v direktno setev). Večinoma so poročali o znatnem povečanju izgub NO_3. Prehod na ekološko kmetovanje pogosto vključuje uporabo direktne setve, ki zmanjša izgube NO_3. Rezultati so se precej razlikovali, saj so se izgube ob preračunu na enoto pridelka pogosto povečale zaradi manjših donosov na ekoloških kmetijah. Predstavljeni so glavni sklepi:

- Pregled obstoječih metaanaliz in kvantitativnih pregledov je pokazal, da je na voljo veliko informacij o učinkovitosti ukrepov za zmanjšanje izgub NO_3 v podzemnih in površinskih vodah. Zlasti je bila dobro dokumentirana uporaba prekrivnih posevkov (ozelenitev), zaviralcev nitrifikacije in biooglja, pogosto v povezavi z drugimi N-parametri, kot so emisije N_2O ali pretvorbami N v tleh.
- Uporaba prekrivnih posevkov je učinkovit način za zmanjšanje izgub NO_3. Ta učinek se pogosto zmanjša, če so vključene stročnice. Tudi uporaba DCD se zdi učinkovita, saj ukrep in analize stroškov in koristi kažejo pozitivne ekonomske učinke. Pri drugih ukrepih, kot so biooglje in spremembe v načinu obdelave tal, se rezultati razlikujejo.
- Uspeh izvajanja ukrepov se pogosto razlikuje glede na kmetijo in lokacijo. Obstajajo razlike v topografiji, podnebju in praksah gospodarjenja. Kmetijam prilagojene rešitve bodo zato verjetno prinesle rezultat. To se kaže tudi v veliki raznolikosti ukrepov, ki jih predlagajo strokovnjaki iz študij primerov, in v njihovi uporabnosti.
- Izvajanje ukrepov za zmanjšanje izgub NO_3 ne bi smelo upoštevati le učinkovitosti in stroškov, temveč tudi sprejemljivosti in možnih (neželenih) stranskih učinkov. Medtem ko lahko nekateri ukrepi, npr., zmanjšajo izgube NO_3 in N_2O, lahko obenem povečajo hlapnost NH_3. Upoštevati je treba te učinke ukrepov na dušikov cikel in morda tudi na druge hranilne snovi.

5. PREGLED ORODIJ ZA PODPORO PRI ODLOČANJU (DST) O ZMANJŠEVANJU ONESNAŽEVANJA VODNIH VIROV

Skupno smo identificirali več kot 150 orodij za podporo pri odločanju (DST), od tega je bilo 36 izbranih za nadaljnjo analizo na podlagi njihovega nacionalnega pomena in ustreznosti doseganja ciljev projekta (Nicholson et al., 2020). DST-je so razdelili na razvite za podporo oblikovalcem politik za kakovost vode/kmetijsko-okoljske politike, ki delujejo na regionalni ali nacionalni ravni, in tiste, ki so namenjeni podpori trajnostnega upravljanja s hranili na ravni kmetij. DST-ji so bili nadalje razdeljeni v skupine, ki podpirajo i) vrednotenje trenutnih praks, ii) strateško svetovanje za upravljanje kmetij in izvajanje ukrepov ter iii) operativno upravljanje na kmetiji. Samo nekaj izbranih DST-jev je bilo namenjenih predvsem izboljšanju kakovosti vode, večina orodij pa je bila namenjena upravljanju kmetijstva (hranil/pesticidov). Njihova vključitev v ta pregled je temeljila na predpostavki, da učinkovita uporaba dušika in pesticidov posredno izboljšuje kakovost vode. Le trije od DST-jev so bili izrecno razviti za preučitev vpliva ukrepov na kakovost vode (FARMSCOPER (Združeno kraljestvo), Environmental Yardstick for Pesticides (NL) in Catchment Lake Modelling Network (Norveška)). Vendar lahko za orodja, ki podpirajo učinkovito in pametno uporabo hranil ali pesticidov (npr. z upoštevanjem vremenskih napovedi), potrdimo, da ponujajo tudi okvirne informacije o ukrepih za zmanjšanje izgub onesnažil v vodne vire. Vsa preučena orodja delujejo v okviru širših svetovalnih okvirov, ki veljajo v izvornih državah, kar očitno vpliva na uporabo DST-jev, njihovo uporabnost in učinkovitost. Prenos DST-ja iz ene države v drugo ni vedno enostaven, ker bo svetovalni okvir, poleg vprašanj v zvezi z jezikom, načinom zbiranja podatkov ali kalibracijo, drugačen.

Od 36 DST-jev jih je bilo 12 izbranih za nadaljnjo preiskavo na ravni študije primera. Odnos uporabnikov do preizkušenih DST-jev in ukrepov, ki so vključeni vanje, je povzet v naslednjih sklepih:

- DST mora biti uporabniku prijazen in intuitivno zasnovan, tj., mora imeti jasno strukturo, po možnosti modularno zasnovo s postopnim izpolnjevanjem, ki pomaga pri reševanju zapletenih nalog, izpolnjevanju pravil ipd.
- Rezultati morajo biti zanesljivi in zaupanja vredni. Tako mora DST temeljiti na zanesljivih dokazih/znanju. Treba je navesti podatke o uporabljenih virih podatkov.
- Dodatne informacije (priročniki in spremna dokumentacija) morajo biti na voljo v nacionalnem jeziku ali vsaj v angleščini, da lahko odgovori na najpogostejša vprašanja.
- DST-je je treba pogosto posodabljati, da je programska oprema skladna z najnovejšimi zakonskimi omejitvami.
- Uporabljati mora centraliziran in celostni pristop, pri katerem je treba podatke vnesti samo enkrat. Ne sme biti na voljo množica DST-jev za en sam namen, saj lahko to povzroči zmedo; integracija »manjših« DST-jev v en paket lahko koristi.
- DST mora vsebovati »preverjanja resničnosti podatkov«, da se preprečijo napake pri vnosu.
- DST mora omogočiti enostavno večletno analizo podatkov.
- DST mora zagotavljati jasne rezultate in izdelke; grafični prikazi so lahko zelo koristni.
- Koristno je zagotoviti različne načine za vnos in izpis podatkov (npr. spletni vmesnik, Excelova tabela, format PDF), ki ustrezajo uporabnikovim željam.

DST-ji za oceno koristi, povezanih z varstvom kakovosti vode, med drugim vključujejo tudi pristope k vrednotenju, kot so metaregresijske analize in bolj prostorska eksplicitna orodja za vrednotenje ekosistemskih storitev. Primeri iz tega poglavja kažejo, da:

- obstajajo dobri podatki, ki jih je mogoče uporabiti za razvoj funkcij generične vrednosti. Dva primera nacionalnega in globalnega pristopa kažeta, da je to mogoče storiti na številnih prostorskih ravneh.
- obstajajo tudi bogate izkušnje z orodji za ocenjevanje ekosistemskih storitev, ki so povezane z izboljšanjem kakovosti vode. Pristopi so razviti na Danskem (Termansen et al.,

2018), vendar so tudi druge države razvile bolj ali manj podobne DST-je. V Veliki Britaniji je bilo nacionalno ocenjevanje ekosistemov (NEA) izdelano s podporo velikega števila raziskovalcev ter ob uporabi velikega števila ocen konfliktov in sinergij med različnimi vrstami ekosistemskih storitev (Bateman et al., 2013).

6. ZAKONODAJA, POLITIKA IN VLADOVANJE

Relevantne direktive in politike EU so bile pregledane, opredeljene pravne zahteve in ocenjena njihova stopnja skladnosti s splošnim ciljem projekta FAIRWAY, tj. zaščito virov pitne vode pred onesnaženjem, ki ga povzročajo pesticidi in nitrati iz kmetijstva (»vertikalna skladnost«). Poleg ocene vertikalne skladnosti pravnega okvira s splošnim ciljem varstva virov pitne vode smo ocenili tudi stopnjo horizontalne skladnosti med petimi temeljnimi direktivami EU, da bi ugotovili morebitne negativne interakcije med njimi. Ugotovili smo, npr., v kolikšni meri so zahteve direktive o pitni vodi skladne z zahtevami okvirne direktive o vodah, direktive o podzemni vodi, direktive o nitratih in direktive o pesticidih. Horizontalne nedoslednosti, vrzeli, prekrivanja in neproduktivni predpisi ter zakonske zahteve bi lahko ogrozili doseganje splošnega namena varovanja virov pitne vode kot tudi učinkovitost splošnega pravnega okvira (Platjouw et al., 2019).

Pregledane direktive in politike vsebujejo vrsto različnih zahtev: za spremljanje; za poročanje; povezanih z usklajevanjem med sektorji, organi in državami; povezanih z izbiro instrumentov (kot so prostovoljni ali ekonomski instrumenti, poleg pravnih predpisov); povezanih z uveljavljanjem in izvajanjem teh zahtev. Na podlagi točkovanja in komentarjev projektnih partnerjev smo identificirali štiri ponavljajoče se teme, ki so nastale na podlagi rezultatov in komentarjev o skladnosti direktiv s cilji projekta FAIRWAY. Te so:

- Ločena mnenja med anketiranci o učinkovitosti fiksnih mejnih vrednosti. Nekateri anketiranci so predlagali, da so fiksni pragovi učinkoviti, medtem ko so drugi izrazili zaskrbljenost, da se učinkovitost lahko razlikuje glede na obseg in geografsko lokacijo.
- Nekatere direktive so bolj podprte s širšimi institucionalnimi okviri kot druge.
- Rezultati anketirancev so lahko odvisni od znanja in razumevanja biofizičnih procesov ter vpliva politik EU na biofizične procese.
- V mnogih primerih so udeleženci dodelili več pozitivnih ocen interakcijam med zahtevami z bolj neposrednimi povezavami s cilji projekta FAIRWAY in manj pozitivnimi (in občasno negativnimi) rezultati interakcijam s posrednimi povezavami na cilje projekta FAIRWAY.

Priporočamo, da se v prihodnje podrobneje raziščejo številne morebitne neskladnosti ali vrzeli. Trije izzivi, ki se nam zdijo najbolj vredni nadaljnje preiskave, so i.) razmerje med direktivo o pitni vodi in okvirno direktivo o vodi; ii.) razmerje okvirne direktive o vodah in direktive o nitratih; iii.) neskladja med vodno direktivo in hčerinskimi direktivami, ki izvirajo iz implementacije na nacionalni in regionalni ravni; iv.) možni negativni učinki mehanizma financiranja v okviru skupne kmetijske politike (SKP) ter neskladja med SKP in novo uredbo EU o gnojilih.

7. INTEGRACIJA IN PRIPOROČILA NA RAVNI EU

Veliko več truda je treba vložiti v uveljavljanje politik na ravni držav članic/regij/povodij (izvedbeni plani in načrti za doseganje ciljev politik) (Glavan et al., 2019). V zadnjih letih Evropska skupnost (ES) krepi komunikacijo z znanstveno skupnostjo s pomočjo fokusnih skupin, partnerstev, srečanj in spletnih portalov.

Zakonodaja EU daje državam članicam precej pomembno vlogo pri izvajanju zakonodaje EU in skupnih politik na lokalni ravni. Imajo svobodo odločanja o postopkih za reševanje vprašanj, načinih izvajanja rešitev in vlogi znanosti pri celostnem oblikovanju politik, ki jih spodbuja okvirna direktiva o vodah. Medtem ko so nekateri udeleženci trdili, da bi bilo treba zakonodajo na ravni EU poenotiti in da bi bilo treba kohezijo na visoki ravni doseči na ravni držav članic, so drugi udeleženci zagovarjali predpostavko, da bi morala vsaka država članica, regija ali lokalna skupnost imeti možnost oblikovanja svoje različice splošne zakonodaje EU o varstvu vodá ali kmetijstvu (načelo vzajemnosti) (Wuijts et al., 2020). Upoštevati je treba le skupne cilje na ravni EU, o katerih so se dogovorile vse države članice (WFD, ND, CAP, SDG). Kljub temu ima znanost ključno vlogo pri podpiranju obeh vrst oblikovanja politik.

Ovire pri zagotavljanju pogojev, potrebnih za povečanje vloge znanosti pri oblikovanju in izvajanju politik EU, so pogosto povezane s politično voljo za dosego ciljev, pomanjkanjem navodil o postopku izvajanja zakonodaje in pomanjkanjem možnosti financiranja, da se znanost vključi v oblikovanje in izvajanje politike. Trdimo, da primeri posameznih držav članic (Irska, Škotska) kažejo, da lahko izkušeni oblikovalci politike s povečanjem vloge znanosti v procesu oblikovanja in izvajanja politik ustvarijo pozitivne učinke na vzpostavljanju povezav med vodno in kmetijsko politiko.

Razmišljanje o vlogi znanosti v luči zakonodaje EU in procesa odločanja je odprlo razpravo o udeležbi javnosti kot delu »demokratičnega« vpliva na znanost. Javne razprave, popularne politične akcije, ki se opirajo na javno mnenje, in korporativni interesi lahko povzročijo spregled ali celo spremembo znanstveno potrjenih rezultatov, ki ustrezajo agendi določene skupine. Znanost kot metodološki proces bi morala biti neodvisna, medtem ko je oblikovanje politik demokratičen proces. Rezultati raziskav bi morali biti javni in na voljo za oblikovanje demokratične politike. Kot rešitev za izboljšanje tega problema naj znanstveniki uporabijo jezik, ki bo razumljiv oblikovalcem politik in širši javnosti, obenem pa naj se izogne prevelikemu poenostavljanju in izkrivljanju resničnosti pri zmanjšanju zapletenosti informacij. Zato trdimo, da je treba vlogo znanosti ločiti od vloge udeležbe javnosti. Znanost je treba razumeti kot posrednika pri razumevanju zapletenih in dinamičnih hidroloških, agronomskih, naravnih in družbenoekonomskih sistemov in procesov ter kot orodje za oceno trdnosti možnih rešitev problemov s kakovostjo virov vode.

Glede na poglede projektnih deležnikov Evropska komisija, Parlament ali Svet posredno upoštevajo rezultate raziskovalnih projektov RIA EU kot vir idej in informacij. Čeprav postopek ni enostaven, lahko sčasoma privede do pomembnega vpliva na oblikovanje politike. Rezultati, ki izhajajo iz študij po storitvenih pogodbah (service contracts) z generalnimi direktorati EC, se uporabljajo več in bolj pogosto dobesedno. Takšne storitvene pogodbe imajo pogosto omejen

obseg in se pogosto nanašajo na izvajanje različnih direktiv v državah članicah, ne pa na novo znanost, ki se proizvaja v projektih RIA. WFD, ND, DWD in druge direktive omogočajo politikom držav članic, da v sodelovanju z znanostjo in z zadostnimi sredstvi pripravijo prilagojene ukrepe, ki bodo prispevali k čisti površini in podzemni vodi za pitno vodo.

8. ZAKLJUČKI

Vmesne ugotovitve projekta FAIRWAY kažejo, da se presežek dušika (N) v Evropi uporablja zelo različno in da ima vsaka država svojo metodologijo za organizacijo zbiranja podatkov. Najbolj kritični kazalniki obremenitev kakovosti vodnih virov na kmetijskih gospodarstvih so odvisni od značilnosti povodij. Države, ki sodelujejo v projektu FAIRWAY, imajo vsaka svoja orodja za podporo odločanju (DST), vendar le nekatere omogočajo neposredno izboljšanje in zaščito kakovosti vode. Orodja na ravni kmetij so večinoma razvita za podporo kmetom pri odločitvah o pridelavi, medtem ko orodja na ravni povodij služijo za informiranje oblikovalcev politike o možnih pričakovanih rezultatih strategij in ukrepov za zaščito vode. Vmesne ugotovitve kažejo tudi, da je evropska zakonodaja za zaščito virov pitne vode pred kmetijskim onesnaževanjem na splošno dobro vključena v nacionalne, regionalne in kmetijske predpise v evropskih državah. Vendar so sistemi upravljanja izredno zapleteni in se med državami zelo razlikujejo, ne nazadnje odsevajo tudi zgodovinske, politične in kulturne razlike med državami. Poleg tega se v različnih študijah primerov uporablja več inovativnih ureditev upravljanja. Čeprav izkušenje o njihovi uporabi niso zlahka prenosljive med državami, je izmenjava znanja in izkušenj v projektu FAIRWAY prispevala k vzajemnemu učenju znotraj mreže lokalnih akterjev. Oblikovanje projektnih grozdov (znanost, politika, zainteresirane strani in državljani) je izvedljiv način za krepitev vloge znanosti v Evropi. Glavni izziv je graditi dolgoročne odnose in komunikacijske tokove med znanstveniki in oblikovalci politike, ki prispevajo k bolj trajnostnemu upravljanju ekosistemskih storitev (voda, hrana). V tem prispevku so predstavljene glavne vmesne ugotovitve projekta FAIRWAY. Projekt bo končne rezultate predstavil v drugi polovici leta 2021.

FINANCIRANJE

To delo je bilo opravljeno v okviru projekta H2020 FAIRWAY, ki ga financira raziskovalni in inovacijski program Evropske unije Obzorje 2020 v skladu s sporazumom o donaciji št. 727984.

LITERATURA IN VIRI

1. Bateman, I. J., Harwood, A. R., Mace, G. M., Watson, R. T., Abson, D. J., Andrews, B., Binner, A., Crowe, A., Day, B. H., Dugdale, S., Fezzi, C., Foden, J., Hadley, D., Haines-Young, R., Hulme, M., Kontoleon, A., Lovett, A. A., Munday, P., Pascual, U., Paterson, J., Perino, G., Sen, A., Siriwardena, G., van Soest, D. in Termansen, M., 2013. Bringing Ecosystem Services into Economic Decision-Making: Land Use in the United Kingdom, Science, 341, 6141, pp: 45–50. https://doi.org/10.1126/science.1234379
2. Buczko, U. in Kuchenbuch, R. O., 2010. Environmental indicators to assess the risk of diffuse nitrogen losses from agriculture. Environmental Management (2010) 45: 1201–1222.
3. Buczko, U., Kuchenbuch, R. O. in Lennartz, B., 2010. Assessment of the predictive quality of simple indicator approaches for nitrate leaching from agricultural fields. Environmental Management 91 (2010) 1305–1315.
4. EC, 2014. Synthesis Report on the Quality of Drinking Water in the EU examining the Member States' reports for the period 2008-2010 under Directive 98/83/EC. Brussels, 16. 6. 2014 COM(2014) 363 final.
5. EC, 2017. Small drinking water suppliers. European Commission. Dostopno na: http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/small_supplies_en.html [10. 8. 2017].
6. Ecorys, 2016. Evaluation of the EU Drinking Water Directive (Ecorys, Alterra, Acteon, REC). Dostopno na: http://www.safe2drink.eu/wp-content/uploads/2016/07/DWD-evaluation-report-Main.pdf [13. 7. 2017].
7. EEA, 2017. Main drinking water problems. European Environmental Agency. Dostopno na: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/main-drinking-water-problems [10. 8. 2017].
8. Eurostat, 2018. Agri-environmental indicators. Eurostat – Statistics explained. Dostopno na: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicators [23. 9. 2018].
9. Glavan, M., Železnikar, Š., Velthof, G., Beokhold, S., Langaas, S. in Pintar, M., 2019. How to Enhance the Role of Science in European Union Policy Making and Implementation: The Case of Agricultural Impacts on Drinking Water Quality. Water, 11, 3, pp: 1–22.
10. Klages, S., Heidecke, C., Osterburg, B., Bailey, J., Calciu, I., Casey, C., Delgaard, T., Frick, H., Glavan, M., D'Haene, K., Hofman, G., Leitao, I. A., Surdyk, N., Verloop, K. in Velthof, G., 2020. Nitrogen Surplus—A Unified Indicator for Water Pollution in Europe? Water, 12, 4, pp: 1–24.
11. Nicholson, F., Laursen Krogshave, R., Cassidy, R., Farrow, L., Tendler, L., Williams, J., Surdyk, N. in Velthof, G., 2020. How Can Decision Support Tools Help Reduce Nitrate and Pesticide Pollution from Agriculture? A Literature Review and Practical Insights from the EU FAIRWAY Project. Water, 12, 3, pp: 1–31.
12. OECD, 2015. OECD Principles on Water Governance (Daegu Declaration). OECD. Dostopno na: http://www.oecd.org/regional/watergovernanceprogramme.htm [13. 7. 2010].
13. Platjouw, F. M., Moore, H., Wuijts, S., Boekhold, S., Klages, S., Heidecke, C., Wrights, I., Rowbottom, J., Hall, M., Graversgaars, M., Hasler, B., Ferreira, A., Amorim Leitao, I., Glavan, M., Curk, M., Pintar, M., Doody, D., Williams, J., Williams, J., Turner, C., Christophoridis, C., van den Brink, C., de Vries, A., Velthof, G., Oenema, O., Schippers, P., Sunders, F., Neshem, I. in Langaa, I., 2019. Coherence in EU Law for the protection of drinking water resources. Deliverable 6.1. Project Farm systems that produce good water quality for drinking water supplies (FAIRWAY; H2020-RUR-2016-2), pp: 1–167.
14. Reichenberger, S., Mardhel, V., Allier, D., Højberg, A., Nolan, B. T., Dubus, I. G., Hollis, J. in Jarvis, N. J., 2007. FOOTPRINT Deliverable DL18. 10.13140/RG.2.2.34561.04968.
15. Rittenburg, R. A., Squires, A. L., Boll, J., Brooks, E. S., Easton, Z. M. in Steenhuis, T. S., 2015. Agricultural BMP Effectiveness and Dominant Hydrological Flow Paths: Concepts and a Review. Journal of the American Water Resources Association 51, 305-329. DOI: 10.1111/1752-1688.12293
16. SRU, 2016. Impulse für eine integrative Umweltpolitik. Kapitel 6: Verbesserter Schutz der Biodiversität vor Pestiziden. Eigenverlag, Sachverständigenrat für Umweltfragen, Berlin.
17. Termansen, M., Konrad, M., Levin, G., Hasler, B., Thorsen, B. J., Aslam, U., Andersen, H. E., Bojesen, M., Lundhede, T. H., Panduro, T. E. in Strange, N., 2017. Udvikling og afprøvning af metode til modellering af økosystemtjenester og biodiversitetsindikatorer – med henblik på kortlægning af synergier og konflikter ved arealtiltag. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 81 s. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 226. Dostopno na: http://dce2.au.dk/pub/SR226.pdf [21. 8. 2020]
18. Wuijts, S., Claessens, J., Farrow, L., Doody, D. G., Klages, S., Christophoridis, C., Cvejić, R., Glavan, M., Nesheim, I., Platjouw, F., Wright, I., Rowbottom, J., Graversgaard, M., van den Brink, C., Leitao, I., Ferreira, M. T. in Boekhold, S., 2020. Protection of drinking water resources from agricultural pressures: effectiveness of EU regulations in the context of local realities. Deliverable 6.3. Project Farm systems that produce good water quality for drinking water supplies (FAIRWAY; H2020-RUR-2016-2), pp: 1–38.

POGLED POD POVRŠJE – ŽIVI SVET V PODZEMNIH VODAH REČNIH NANOSOV

dr. NATAŠA MORI[1], dr. BARBARA DEBELJAK[2], doc. dr. MAJA ZAGMAJSTER[3], doc. dr. CENE FIŠER[4], prof. dr. ANTON BRANCELJ[5]

Povzetek

Rečni ekosistemi so odprti sistemi, tesno povezani z obrežnim pasom, širšim prispevnim območjem in podzemno vodo, ki se nahaja pod in ob rečni strugi. V medzrnskih oz. intersticialnih prostorčkih rečnih nanosov, ki so stalno ali občasno nasičeni z vodo, živijo združbe nevretenčarjev, med njimi tudi številne geografsko ozko razširjene (endemne) podzemne vrste, predvsem iz različnih skupin rakov. Intersticialni nevretenčarji se hranijo z organskim drobirjem in prispevajo k hitrejši razgradnji organskih delcev. V povezavi z mikroorganizmi tako sodelujejo v samočistilnih procesih vodá. V prispevku predstavljamo pestrost nevretenčarjev, ki naseljujejo podzemne intersticialne habitate pod rečno strugo. Na primeru dveh raziskav prikažemo, kako intenzivna raba tal v prispevnem območju in hidromorfološki posegi v strugo vplivajo na lastnosti nevretenčarskih združb. V zaključku predstavimo predloge za ohranjanje medzrnske oz. intersticialne favne.

Ključne besede: biodiverziteta, celinske vode, intersticial, nevretenčarji, ogroženost, podzemne vode, ranljivost, varstvo.

Abstract

River ecosystems are open systems connected to the riparian zone, the wider catchment area and also to groundwater adjacent to the river. Porous or interstitial spaces of river sediments, which are constantly or occasionally saturated with water, are inhabited by various invertebrates, among them are many narrowly distributed (i.e., endemic) groundwater species, mainly from different groups of crustaceans. The porous or interstitial invertebrates feed on organic debris and thus contribute to the faster decomposition of organic particles. Together with microorganisms, they thus participate in the self-purification processes of the water. In this paper, we present the diversity of the invertebrates inhabiting groundwater habitats below the river bed. In the case of two studies, we show how intensive land use

1 Dr. Nataša Mori, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za raziskave organizmov in ekosistemov.
2 Dr. Barbara Debeljak, Inštitut za vode Republike Slovenije.
3 Doc. dr. Maja Zagmajster, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.
4 Doc. dr. Cene Fišer, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.
5 Prof. dr. Anton Brancelj, Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za raziskave organizmov in ekosistemov.

in the catchment area and hydromorphological modifications in the riverbed affect invertebrate assemblages. In conclusion, we present proposals for the conservation of the interstitial fauna.

Keywords: biodiversity, conservation, endangerement, freshwaters, groundwater, interstitial habitats, invertebrates, vulnerability.

1. UVOD

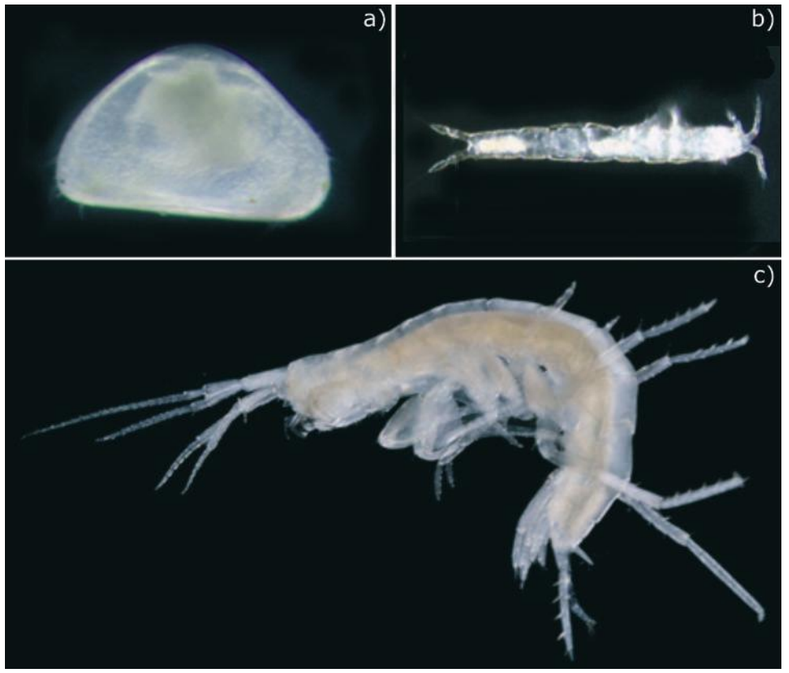
Opazovanje in sistematično beleženje živega sveta privlači človeka že od začetka razvoja naše vrste. Najstarejši dokazi za to so številne najdbe jamskih slikarij živali iz prazgodovinskega obdobja. Beleženje podatkov o naravi se najde v zapisih grških in rimskih naravoslovcev kot tudi v obsežni literaturi iz srednjega in novega veka. V moderni dobi se je z bliskovitim tehnološkim razvojem znanje o vrstni pestrosti oz. biodiverziteti in njenem pomenu za človekov obstoj izjemno povečalo. Trenutno imamo opisanih okoli 1,9 milijona še živečih vrst (Roskov et al., 2019), kar pa naj bi bilo še vedno manj kot 15 % celotne globalne biodiverzitete (Mora et al., 2011). Vemo, da je živim bitjem uspelo osvojiti večino življenjskih prostorov, od najglobljih morskih jarkov (Lindey et al., 2016) do najvišjih vrhov Himalaje (Beron, 2016), kot tudi, da je biodiverziteta ključna za človekov obstoj in preživetje (SEP, 2015). Podzemne vode niso izjema, veliko pestrost živih bitij najdemo v vodah, skritih pod površjem kraških pokrajin, pa tudi v nekraških rečnih nanosih (t. i. aluvialnih naplavinah). Ta bitja so večinoma mikroorganizmi in nevretenčarji kot tudi najbolj splošno poznan podzemni vretenčar, človeška ribica. Vsi ti organizmi pripomorejo k temu, da pijemo čisto vodo in da se snovi, ki vstopajo v vodne ekosisteme, razgradijo do topnih mineralov, ki jih naše telo potrebuje, ali do snovi, ki za nas niso nevarne.

Slovenija je v svetovnem merilu izjemno bogata s podzemno biodiverziteto, celo vodilna s številom vrst, ki živijo izključno v podzemlju (Sket, 1996; Zagmajster et al., 2017). Slovenski biologi že več kot 100 let bolj ali manj intenzivno raziskujejo biodiverziteto podzemnih vodá, ki je z znanstvenega vidika pomembna kot vir vedno novih, velikokrat geografsko zelo omejeno razširjenih vrst. Dosegljivi podatki, ki pa so precej zastareli, kažejo, da je od 2700 zabeleženih vodnih vrst v Sloveniji okoli 199 izključno podzemnih vodnih vrst, se pravi vrst, ki jih v površinskih vodah ne najdemo (Sket, 1999). Ta biodiverziteta pripomore h kroženju snovi v podzemnih ekosistemih, zaradi izmenjave vode med površinskimi in podzemnimi ekosistemi pa v primeru onesnaževanja pripomore tudi k razbremenjevanju površinskih vodá. V Sloveniji je najbolj raziskano podzemno živalstvo kraških vodá postojnsko-planinskega jamskega sistema (e.g. Sket in Velkovrh, 1981a; Brancelj, 1986; Pipan in Brancelj, 2004), kraške jame Velika Pasica nad Igom (Brancelj, 2015), kraškega območja južno in JV od Ljubljanskega barja ter medzrnskih oz. aluvialnih podzemnih vodá južnega in JZ dela Ljubljanskega barja (Deharveng et al., 2009) ter Ljubljanskega polja (Sket in Velkovrh, 1981b; Mori et al., 2012). V primerjavi s kraškimi razpoklinskimi vodami je podzemna biodiverziteta aluvialnih vodonosnikov v Sloveniji precej slabše poznana (Zagmajster et al., 2017; Prevorčnik et al., 2018). Eden od razlogov je težja dostopnost teh habitatov, vpogled v katere lahko dobimo s črpanjem vode iz različnih globin, s pomočjo prenosnih piezometrov in črpalko (Slika 1) ali pa vzorčenj že obstoječih vodnjakov. V vodnjakih so živalstvo našli tudi do 100 m pod površino (Smith in Hahn, 2012), največja gostota živali pa je v plitvih vodonosnikih, ki so v dobrem stiku s površinskimi vodami. Del vodonosnika, ki leži tik ob ali pod rečno strugo, imenujemo hiporeik, medtem ko globlje predele, ki niso pod neposrednim vplivom površinskih dejavnikov, imenujemo freatik. Intersticialno oz. medzrnsko podzemno živalstvo je v Sloveniji, v primerjavi s poznavanjem kraškega podzemnega živalstva, še slabo raziskano. Prva sistematična raziskava podzemne favne v vodnjakih je bila izvedena leta 1981 na Ljubljanskem polju (Sket in Velkovrh, 1981b), nekoliko pozneje ji je sledila sistematična raziskava intersticija rek Želimeljščice, Iške, Borovniščice in Podlipščice na J in JV obrobju Ljubljanskega barja v okviru evropskega projekta PASCALIS (Brancelj in Mori, 2005). Rezultati projekta PASCALIS so pokazali, da je Slovenija vroča točka podzemne biodiverzitete v primerjavi z drugimi (zahodnimi) evropskimi državami, ter s tem spodbudili nadaljnje raziskave intersticialne favne, ki so se usmerile v razumevanje vzorcev pojavljanja podzemne favne zaradi razlik v hidrogeologiji in človekovih vplivov, kot so hidromorfološke spremembe in raba prostora v porečju (Brancelj et al., 2016; Mori et al., 2011, 2012; Žibrat, 2012). Pred kratkim je bila izvedena tudi preliminarna raziskava podzemne favne prodišč reke Save v njenem srednjem in spodnjem toku (Prevorčnik et al., 2019). Izsledki teh raziskav nakazujejo, da je reka Sava, tako v osrednjem kot v spodnjem toku, bogata s podzemnimi vrstami iz rodov postranic in nižjih rakov ter da je prisotnost podzemne favne odvisna od hidroloških povezav s površinsko in podzemno vodo. Vemo tudi, da so manjše reke, na primer reka Bača, in reke južnega dela Ljubljanskega barja izjemno bogate s podzemno biodiverziteto, medtem ko so Drava, Mura ter primorske reke precej bolj siromašne (Žibrat, 2012).

V podzemnih vodah aluvialnih nanosov zaradi odsotnosti svetlobe ne najdemo fotoavtotrofov, ki izdelujejo biomaso s pomočjo fotosinteze, temveč prevladujejo porabniki in razgrajevalci (mikroorganizmi in manjši nevretenčarji, predvsem raki, pa tudi polži in črvasti nevretenčarji). Ti so prilagojeni na nižje vsebnosti kisika ter omejen prostor in omejeno možnost razširjanja, saj medzrnski prostorčki, nasičeni z vodo, niso tako pretočni in povezani kot površinske vode. Njihova številčnost je majhna in upada z oddaljenostjo od rečne struge, spreminja pa se tudi vrstna sestava živalstva (Mori et al., 2012). Za podzemne vodne habitate je na splošno značilna zelo visoka stopnja endemizma – to pomeni, da tam žive vrste, ki so razširjene na majhnih geografskih območjih. Največkrat so to raki (skupine Ostracoda, Copepoda, Isopoda, Amphipoda, Bathynellacea), polži, gliste in maloščetinci (Slika 2).

Slika 1: Vzorčenje podzemne favne z vzorčevalnikom Bou-Rouch, s katerim lahko pridobimo vzorce podzemne favne od globine med 20 do 200 cm pod površino. (Foto: B. Debeljak)

V nadaljevanju navajamo izsledke dveh raziskav podzemnega živalstva rečnih nanosov v Sloveniji. V njih smo bili posebej pozorni na morebitne vplive rabe prostora in hidromorfoloških posegov v strugo na razporeditev intersticialnih nevretenčarjev.



Slika 2: Nižji raki, velikosti okoli 1 mm, na primer a) dvoklopniki (Ostracoda) in b) ceponožci (Copepoda), ter višji raki, velikosti 0,5 do 1 cm, na primer c) slepe postranice (Niphargus) so med najpogostejšimi prebivalci intersticialnih podzemnih vodá. (Foto: a) N. Mori, b) M. Šiško, c) T. Delić)

2. VPLIV RABE PROSTORA NA NEVRETENČARJE V INTERSTICIALU PREDALPSKIH REK

Ker je le malo znanega, kako intenzivna raba tal v prispevnem območju rek vpliva na nevretenčarje v hiporeiku, smo med letoma 2012 in 2013 izvedli intenzivno vzorčenje petih prodnatih rek na odsekih z različno prevladujočo rabo tal v vplivnem območju. Izbrali smo si pet predalpskih rek: Kamniško Bistrico, Gradaščico, Selško Soro, Tržiško Bistrico in Kokro. Zanimalo nas je, če so v intersticialu teh rek prisotne podzemne vrste in v kakšnem razmerju so s površinsko favno, saj je znano, da v organsko obremenjenih okoljih površinske vrste izpodrivajo podzemne vrste, ki so bolj uspešne v okoljih, revnih s hrano.

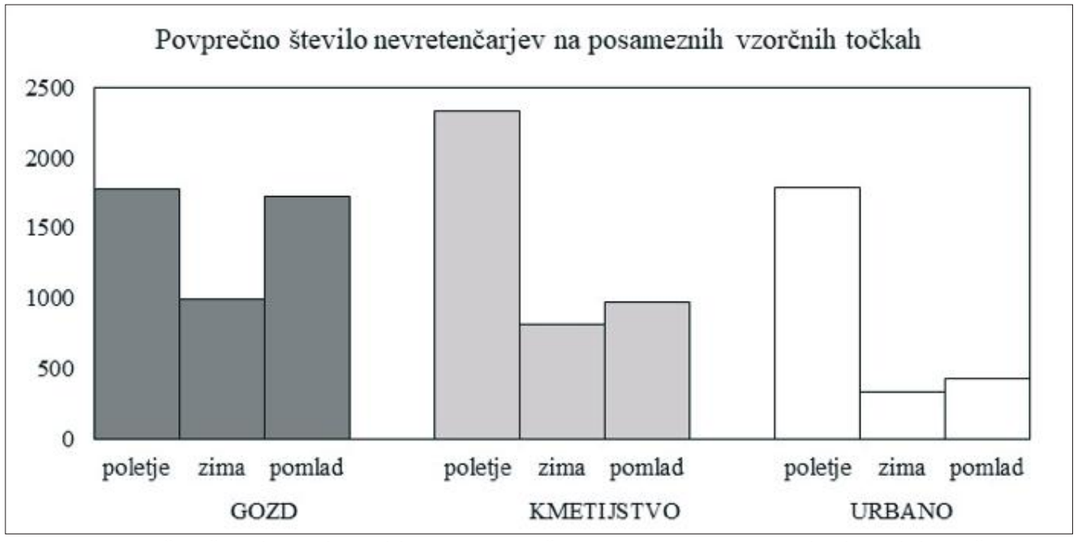
2.1 Opis raziskovanega območja in metodologija vzorčenja

Za raziskave nevretenčarjev v plitvih prodnatih vodonosnikih (oz. hiporeiku) smo izbrali odseke na petih alpskih rekah s prispevno površino med 159 do 529 km^2, dolžino med 27 in 34 km ter srednjim letnim pretokom med 2,9 in 8,8 $m^3 s^{-1}$ (Debeljak, 2018). Prevladujoča geološka podlaga na izbranih porečjih, ki vključujejo Kamniško Bistrico, Gradaščico, Selško Soro, Tržiško Bistrico in Kokro, je mešanica karbonatnih in silikatnih kamnin. V prispevnem območju rek pa prevladuje gozd (54 do 78 %), medtem ko se kmetijska (15 do 32 %) in urbana raba tal (3 do 8 %) pojavljata predvsem v srednjem in spodnjem toku rek (GERK).

Nevretenčarje smo vzorčili z uporabo Bou-Rouch vzorčevalnika (Slika 1) v treh sezonah (poletje in zima 2013 ter pomlad 2014). Na vsaki reki smo določili homogene odseke z različno prevladujočo rabo tal v 250 m širokem prispevnem območju (gozd, kmetijstvo, urbana območja). Na Kamniški Bistrici, Gradaščici in Selški Sori smo izbrali šest odsekov, za vsako rabo tal po dva odseka, na Kokri in Tržiški Bistrici pa za vsako rabo tal po en odsek. Na vsakem odseku smo izbrali tri mesta v stalno omočeni strugi. Na teh mestih smo v rečno strugo zabili meter in pol dolgo cev, ki je vzdolž spodnjega dela na dolžini 20 cm perforirana z 0,5 cm velikimi luknjicami. Nato smo iz globine med 20 in 40 cm načrpali 30 L vode, ki smo jo pretočili skozi mrežo z luknjicami velikosti 100 µm. Tako smo ujeli živali, ki so večje od 100 µm in živijo pod površjem rečnih strug na globini do pol metra. V cevi smo izmerili tudi temperaturo vode, prevodnost in vsebnost kisika ter določili vsebnost hranil in partikulatnih organskih delcev. Združbo nevretenčarjev smo večinoma določili do višjih skupin, nekatere skupine pa tudi do vrst (Copepoda).

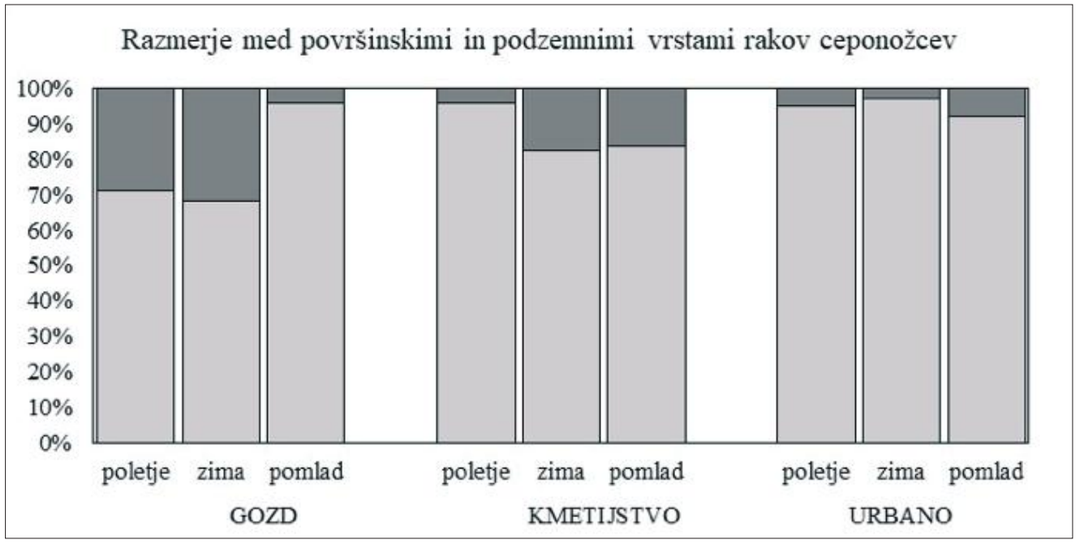
2.2 Rezultati z razpravo

Vzorčenje nevretenčarjev je pokazalo, da je raba tal v 250-m vplivnem pasu povezana s številčnostjo kot tudi sestavo nevretenčarskih združb, ki naseljujejo intersticialne prostorčke v rečnem dnu, podobno kot to velja tudi za bentoške nevretenčarje (Pavlin et al., 2011). Na rečnih odsekih, ki so se nahajali v gozdu, je bilo sezonsko spreminjanje številčnosti precej manj izrazito kot na večinoma kmetijskih in urbanih območjih (Slika 3). Največje število osebkov smo opazili poleti v rekah pod vplivom kmetijstva, medtem ko je bila številčnost na odsekih pod vplivom urbane rabe tal izrazito nizka pozimi in spomladi. Gozd omili sezonsko in dnevno spreminjanje temperature vode kot tudi vnosa hrane, ki sta najbolj kritična dejavnika za pojavljanje nevretenčarjev, obenem pa reke z obrežno vegetacijo nudijo precej več raznovrstnih mikrohabitatov, ki jih lahko naselijo nevretenčarji.



Slika 3: Povprečno število vseh osebkov nevretenčarjev v vzorcu 30 L vode, ki je bila načrpana iz omočene rečne struge na globini med 20 in 40 cm na 24 vzorčnih odsekih rek Kamniške Bistrice, Gradaščice, Selške Sore, Tržiške Bistrice in Kokre. Podatki so prikazani ločeno glede na rabo prostora v 250-m pasu in letni čas (N = 24 (poletje in zima); N = 9 (pomlad)).

Med najbolj številčnimi predstavniki opazovane združbe so bili raki ceponožci (Copepoda). Sledile so jim ličinke trzač (Chironomidae) in črvi maloščetinci (Oligochaeta). Ličink drugih žuželk, tipičnih za bentoške združbe, je bilo zelo malo. Med ceponožci smo našteli 22 površinskih vrst in 11 predstavnikov podzemnih vrst oz. stigobiontov. Na odsekih, ki so bili pod vplivom urbane rabe tal, je bil delež podzemnih vrst nižji, medtem ko smo na odsekih z gozdnato rabo tal našli tudi do 30 % podzemnih vrst (Slika 4). Možna razlaga za tak vzorec bi lahko bila, da je bila večina opazovanih odsekov, ki so se nahajali na urbaniziranih območjih, hidromorfološko spremenjenih (npr. betonirane brežine, pragovi, odstranjeni naravni rečni zavoji). Tovrstni posegi lahko prekinejo hidrološke povezave z vodonosnikom, poleg tega je v takšnih strugah površinski tok vode hitrejši, kar negativno vpliva tudi na izmenjavo vode med površjem in intersticialnimi habitati v strugi – zmanjša se dotok kisika in hranil.



Slika 4: Deleži podzemnih (temno siva) in površinskih (svetlo siva) rakov ceponožcev v vzorcih vode, ki je bila načrpana iz omočene rečne struge na globini med 20 in 40 cm na 24 vzorčnih odsekih rek Kamniške Bistrice, Gradaščice, Selške Sore, Tržiške Bistrice in Kokre. Podatki so prikazani ločeno glede na rabo tal v 250-m pasu in letni čas (N = 24 (poletje in zima); N = 9 (pomlad)).

3. INTESTICIAL POD AKUMULACIJSKIM JEZEROM NA MOSTU NA SOČI

Gradnja jezov in hidroelektrarn dandanašnji predstavljajo največje in najpogostejše fizične posege v rečni prostor. Ob zajezitvah se reke spremenijo v jezera, s tem pa se začno procesi sedimentacije, spremeni se tudi nivo rek pod in nad zajezitvijo. Sprememba rečnega režima izrazito vpliva na intersticial in njegove prebivalce (Zagmajster et al., 2017). Pretok skozi sediment se zmanjša oz. celo ustavi, fini sedimenti pa zamašijo medzrnske prostore, kar imenujemo kolmatacija. Kolmatacija je prepoznan pojav s škodljivimi učinki na intersticialno združbo, a le redko raziskan (Descloux et al., 2013).

Akumulacijsko jezero na Mostu na Soči je nastalo zaradi gradnje dolvodnih hidroelektrarn leta 1939. Zaradi varne obnove opreme na jezu hidroelektrarne Doblar je podjetje Soške elektrarne akumulacijo 5. januarja 2018 začelo prazniti. Pred tem so akumulacijo izpraznili leta 2000, kar pomeni, da je dogodek omogočil redko priložnost vpogleda v intersticialne združbe pod debelimi plastmi sedimentov (Slika 5). Po treh tednih je Soča odnesla zadostne količine sedimentov in odstrla dostop do prodišč pod sedimenti. To je omogočilo vzorčenje favne v neposredni bližini jezu, kjer je sedimentacija domnevno najizrazitejša. Cilj naše raziskave je bil raziskati učinke akumulacije na fizikalno-kemijske razmere in združbe nevretenčarjev v intersticialni vodi.

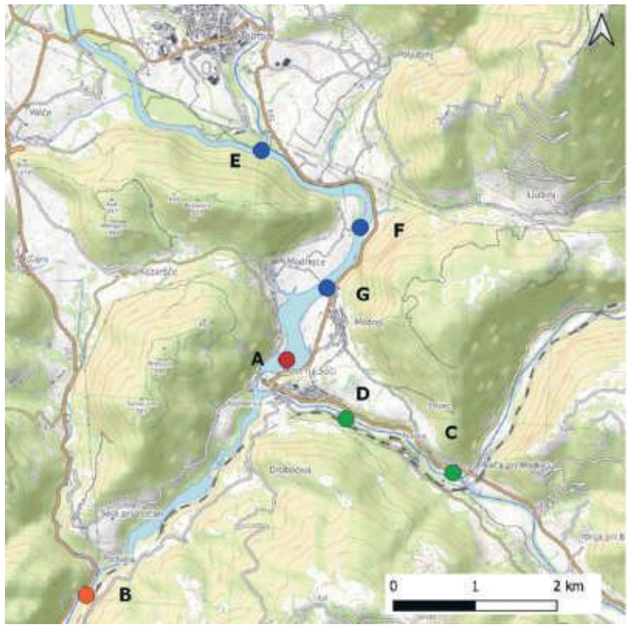
Slika 5: Ostanki usedlin v območju akumulacije Most na Soči med izpraznitvijo (zgoraj) in s sedimentom onesnažena reka Soča dolvodno od akumulacije Podselo (spodaj) približno tri tedne po odprtju jezu Most na Soči prve dni januarja 2018. Naplavine so obsegale več metrov debelo plast, sedimente pa je nosilo daleč po toku reke, kjer so se odlagali na rečne bregove. (Foto: M. Zagmajster, T. Delić)

3.1 Opis raziskovanega območja in metodologija vzorčenja

Vzorčili smo 24. in 25. januarja 2018. V območje vzorčenja smo vključili po dve lokaciji na Idrijci in Soči nad akumulacijo, eno lokacijo v zgornjem delu akumulacije, eno lokacijo v akumulaciji v neposredni bližini jezu ter eno lokacijo dolvodno na Soči (Slika 6).

Živali smo vzorčili z uporabo vzorčevalnika Bou-Rouch (Slika 1). Na vsaki lokaciji smo izčrpali šestkrat po 30 L vzorcev iz dveh globin: tri vzorce iz globine 30 do 60 cm in tri vzorce iz globine 60 do 90 cm. Izčrpano vodo smo filtrirali skozi mrežice z velikostjo okenc 100 µm. Ker je identifikacija nevretenčarjev do vrst taksonomsko zahtevna in še v teku, smo v tej analizi upoštevali živali, določene le do višjih taksonomskih skupin. V prvih 10 L načrpane vode smo na vsaki točki in globini izmerili temperaturo, pH, vsebnost kisika ter prevodnost.

V analizah fizikalno-kemijskih parametrov smo za vsako lokaliteto izračunali povprečne vrednosti parametrov vseh šestih vzorcev. Za analize združb smo vsaki lokaliteti pripisali živalske skupine, ki smo jih skupaj nabrali v vseh šestih vzorcih. Upoštevali smo le prisotnost (prisoten-odsoten), ne pa tudi številčnosti posameznih skupin. Strukturo združbe in podobnost lokacij glede na fizikalno-kemijske dejavnike smo primerjali z dvema ločenima klastrskima analizama. V obeh primerih smo podobnost lokacij ovrednotili s kvadratnimi evklidskimi razdaljami, prirejenimi za binarne in zvezne spremenljivke. Klastre smo rekonstruirali z aglomeracijskim algoritmom UPGMA (Sokal, 1958).



Slika 6: Lokacije vzorčenja intersticialnega živalstva in merjenja fizikalno-kemijskih parametrov na sedmih lokacijah ob rekah Soči in Idrijci januarja 2018. Na karti je označena akumulacija na Mostu na Soči (A), ki pa je bila januarja 2018 izpraznjena (brez vode). Osnovna karta: OpenTopoMap.

3.2 Rezultati z razpravo

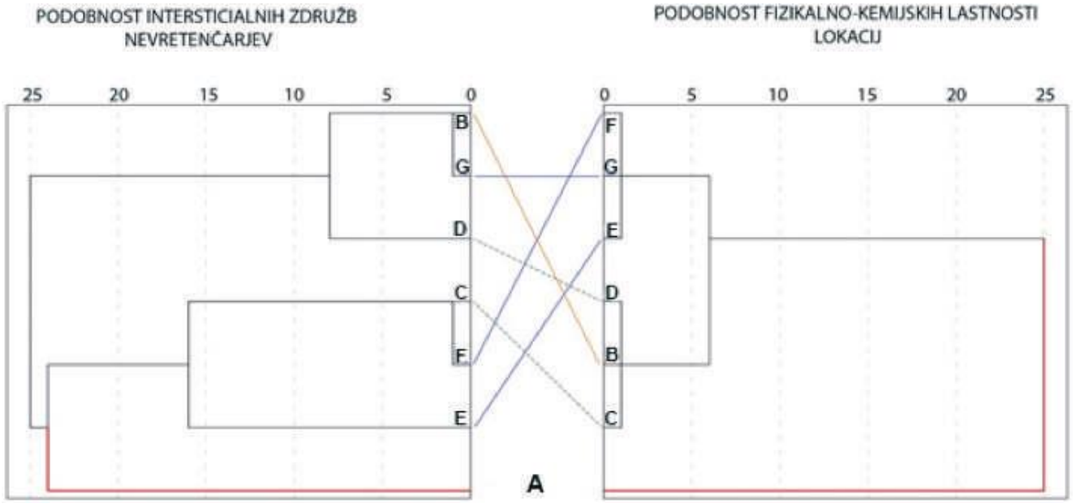
V vseh vzorcih skupaj smo našteli 13 višjih skupin nevretenčarjev (Nematoda, Oligochaeta, Gastropoda, Bivalvia, Acarina, Amphipoda, Isopoda, Chironomidae, drugi Diptera, Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera). Število skupin na posamezni lokaciji je bilo od 5 do 12. Najvišje število taksonov smo našteli pod akumulacijo, najnižje pa v območju akumulacijskega jezera tik za jezom. Nizka pestrost v tem območju je presenečenje, saj leži jezero na sotočju Idrijce in Soče, kjer bi, zaradi stičišča različnih vodonosnikov, pričakovali najvišjo pestrost (Altermatt et al., 2013; Carrara et al., 2012).

Abiotski dejavniki se med vzorci na lokaliteti in med lokalitetami razlikujejo (Slika 7). Po značaju izstopa lokacija v območju akumulacije tik pod jezom. V tem območju je imela voda znatno nižjo vsebnost kisika, nižji pH (navkljub karbonatni podlagi) ter občutno povečano prevodnost, kar je kazalec povečanega števila delcev in onesnaženja. Ob črpanju smo zaznali značilen vonj po H_2S, kar skupaj z nizko koncentracijo kisika kaže na procese gnitja.

Kot kažejo rezultati klastrske analize, združbe vzdolž Soče in Idrijce niso občutljive na izmerjene razlike v abiotskih pogojih, saj struktura lokalnih združb ni bila povezana z merjenimi fizikalno-kemijskimi lastnostmi vode. Edina izjema je združba pod naplavljenimi sedimenti (Slika 7). Kot kaže, soško-idrijska prodišča predstavljajo enovit življenjski prostor, ki ga naseljuje enovita združba. Akumulacija na Mostu na Soči ta prostor prekine.

Izsledki te sicer kratke raziskave na reki Soči so poučni in odpirajo več pomembnih vprašanj. Potrdili smo, da akumulacija in posledična sedimentacija medrznatih prostorov prekinjata stik med reko in podzemno vodo. Tik pod sedimenti je voda izrazito slabše kakovosti in revna z vrstami. Taki jezovi prekinjajo enovit prodiščni prostor ter preprečujejo disperzijo in obnavljanje podzemne favne. Kot taki negativno vplivajo na intersticialno favno.

Vertikalnega obsega poslabšanja vodnih razmer ne poznamo, saj smo z razpoložljivo opremo lahko vzorčili le zgornji meter intersticija. Ugotavljamo, da smo lahko že z enkratnim vzorčenjem na dnu nekdanje zajezitve in okoliških prodišč zaznali izrazito izstopanje značaja lokacije, ki je sicer pod jezom. Iz tega lahko potrdimo, da akumulacija in posledična sedimentacija vplivata na podzemno favno.



Slika 7: Rezultati klastrske analize združb in fizikalno-kemijskih parametrov na sedmih lokacijah ob rekah Soči in Idrijci. V obeh analizah izstopa lokacija v območju akumulacije pod jezom na Mostu na Soči (oznaka A). Ostale združbe ne odražajo ne fizikalno-kemijskih razmer ne geografske oddaljenosti. Črke označujejo lokacije, kot jih tudi na sliki 6: A: lokacija v območju akumulacije pod jezom; B: lokacija dolvodno pod jezom; C, D: lokaciji na Idrijci; E, F, G: lokacije na Soči nad jezom.

Vzdrževanje jezov zahteva letno čiščenje akumulacij in tudi odvoz mulja. V letu 2018 so izvajalci del na Mostu na Soči izvedli le spust vode in s tem povzročili spiranje mulja s pomočjo toka reke. Odpeljali so le prod, deli naplavin pa so ostali neodvoženi. Spiranje sedimenta prenese problem dolvodno. Zamuljena reka negativno vpliva na živalstvo, z odlaganjem sedimenta dolvodno pa nastajajo nove zaplate neustreznega habitata, ki izzovejo nove lokalne pomore sicer izjemno redke in nacionalno pomembne favne.

Predvidevamo lahko, da so pojavi zamuljevanja in gnitja v nižinskih in počasi tekočih rekah izpostavljeni podobnim razmeram, kot je Soča, ter verjetno precej obsežnejši kot v tej alpski reki. Razumevanje obsega teh procesov je pomembno za upravljanje z rekami in varovanjem podzemnih vrst ter ne nazadnje za upravljanje in varovanje virov pitne vode, ki se obnavljajo iz rek.

4. ZAKLJUČKI

Slovenija je bogata s podzemnim živalstvom, ki naseljuje globlje aluvialne vodonosnike kot tudi prodišča in omočena dna rečnih strug. Zaradi težke dostopnosti do teh habitatov vemo zelo malo o medzrnski (oz. intersticialni) biodiverziteti. Zagotovo pa vemo, da so ohranjena prodišča, neonesnažene reke in morfološko nespremenjene rečne struge, ki so v dobri hidrološki povezavi z obsežnejšimi aluvialnimi kot tudi kraškimi, razpoklinskimi vodonosniki, potencialna območja z visoko podzemno biodiverziteto in številnimi, še neodkritimi endemnimi vrstami. V prispevku smo pokazali, da je tako kot za bentoške nevretenčarje tudi za podzemne vrste v plitvem vodonosniku pomembna raba prostora v porečju, hkrati pa opozorili,

da spreminjanje hidromorfologije strug, kot so zajezitve in akumulacije, negativno vpliva na prisotnost podzemnih vrst oz. celotnih združb. Na podlagi obstoječega znanja o geološki zgodovini, trenutni razporejenosti vodonosnikov in ekološkem stanju rek bi v prihodnje morali identificirati potencialna »vroča« območja, kjer lahko pričakujemo visoko število podzemnih vrst. Te napovedi bi morali testirati z izvedbo raziskovalnih monitoringov. Pridobljeni podatki bi bili osnova za pripravo varstvenih režimov, ki bi zagotavljali ohranjanje te redke, prostorsko zelo ozko razširjene in zato zelo ranljive favne v Sloveniji.

LITERATURA IN VIRI

1. Altermatt, F., Seymour, M. in Martinez, N., 2013. River network properties shape a-diversity and community similarity patterns of aquatic insect communities across major drainage basins. Journal of Biogeography 40: 2249–2260.
2. Beron, P., 2018. High-altitude Arachnida. In: Zoogeography of Arachnida. Monographiae Biologicae vol 94. Springer, Cham.
3. Brancelj, A. in Mori, N., 2005. Živalstvo v podtalnici. V: Rejec Brancelj, I., Smrekar, A., Kladnik, D. (ur.), Podtalnica Ljubljanskega polja, Geografija Slovenije. Ljubljana: Založba ZRC. Str. 73–85.
4. Brancelj, A., 1986. Redki in manj znani harpaktikoidi (Copepoda Harpacticoida) iz Postojnsko-Planinskega jamskega sistema. Biološki vestnik: glasilo slovenskih biologov 34: 13–36.
5. Brancelj, A., 2015. Jama Velika Pasica: zgodovina, okolje in življenje v njej = The Velika Pasica cave: the history, environment and life in it. Ljubljana, Založba ZRC & Nacionalni inštitut za biologijo.
6. Brancelj, A., Žibrat, U. in Jamnik, B., 2016. Differences between groundwater fauna in shallow and in deep intergranular aquifers as an indication of different characteristics of habitats and hydraulic connections. Journal of limnology 75: 248–261.
7. Carrara, F., Altermatt, F., Rodriguez-Iturbe, I. in Rinaldo, A., 2012. Dendritic connectivity controls biodiversity patterns in experimental metacommunities. Proceedings of the National Academy of Science USA 109: 5761–5766.
8. Debeljak, B., 2018. Structure and functioning of the hyporheic zones in the gravel-beds of five rivers in relation to catchment land use: dissertation. Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica.
9. Deharveng, L., Stoch, F., Gibert, J., Bedos, A., Galassi, D., Zagmajster, M., Brancelj, A., Camacho, A., Fiers, F., Martin, P., Giani, N., Magniez, G. in Marmonier, P., 2009. Groundwater biodiversity in Europe. Freshwater Biology 54: 709–726.
10. Descloux, S., Datry, T. in Marmonier, P., 2013. Benthic and hyporheic invertebrate assemblages along a gradient of increasing streambed colmation by fine sediment. Aquatic Sciences 75: 493–507.
11. Hlad, B. in Skoberne, P., 2001. Pregled stanja biotske raznovrstnosti in krajinske pestrosti v Sloveniji. Ljubljana: Ministrstvo za okolje, ARSO.
12. Linley, T. D., Gerringer, M. E., Yancey, P. H., Drazen, J. C., Weinstock, C. L. in Jamieson, A. J., 2016. Fishes of the hadal zone including new species, in situ observations and depth records of Liparidae. Deep sea research part I: oceanographic research 114: 99–110.
13. Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B. in Worm, B., 2011. How many species are there on Earth and in the ocean? PLoS Biology 9: e1001127.
14. Mori, N., Simčič, T., Lukančič, S. in Brancelj, A., 2011. The effect of in-stream gravel extraction in a pre-alpine gravel-bed river on hyporheic invertebrate community. Hydrobiologia 667: 15–30.
15. Mori, N., Simčič, T., Žibrat, U. in Brancelj, A., 2012. The role of river flow dynamics and food availability in structuring hyporheic microcrustacean assemblages: a reach scale study. Fund Appl. Limnol. 180(4): 335–349.
16. Pavlin, M., Birk, S., Hering, D. in Urbanič, G., 2011. The role of land use, nutrients, and other stressors in shaping benthic invertebrate assemblages in Slovenian rivers. Hydrobiologia 678: 137–153.
17. Pipan, T. in Brancelj, A., 2004. Distribution patterns of copepods (Crustacea: Copepoda) in percolation water of the Postojnska jama Cave System (Slovenia). Zoological studies 43: 206–210.
18. Prevorčnik, S., Remškar, A., Fišer, C., Sket, B., Bračko, G., Delić, T., Mori, N., Brancelj, A. in Zagmajster, M., 2019. Interstitial fauna of the Sava River in Eastern Slovenia. Natura Sloveniae: revija za terensko biologijo 21: 13–23.
19. Roskov, Y., Ower, G., Orrell, T., Nicolson, D., Bailly, N., Kirk, P. M., Bourgoin, T., Dewalt, R. E., Decock, W., Nieukerken, E. Van, Zarucchi, J. in Penev, L., eds., 2019. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2019 Annual Checklist. Digital resource at www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands.
20. Schmidt, S. I., Hahn, H. J., 2012. What is groundwater and what does this mean to fauna? – An opinion. Limnologica 42: 1–6.
21. Science for Environment Policy, 2015. Ecosystem services and the biodiversity. In-depthReport11producedforthe European Commission, DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol.
22. Sket, B. in Velkovrh, F., 1981a. Postojnsko-Planinski jamski sistem kot model za preučevanje onesnaženja podzemeljskih voda. Naše jame 22: 27–44.
23. Sket, B. in Velkovrh, F., 1981b. Phreatische Fauna in Ljubljansko Polje (Ljubljana – Ebene, Jugoslawien) – ihre ökologische Verteilung und zoogeograpische Beziehungen. Int. J. Speleol. 11: 105–121.
24. Sket, B., 1996. Podzemeljski habitati v Sloveniji – ogroženost in varstvo. V: Narava Slovenije, stanje in perspektive, Gregori, J., Martinčič, A., Tarman, K., Berčič-Urbanc, O., Tome, D., Zupančič, M. (ur.). Društvo ekologov Slovenije. Ljubljana. 19–28.
25. Sket, B., 1999. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. Biodiversity and Conservation 8: 1319–1338.
26. Sokal, M., 1958. A statistical method for evaluating systematic relationships. University of Kansas Science Bulletin 38: 1409–1438.
27. Zagmajster, M., Fišer, C. in Prevorčnik, S., 2017. Izjemna pestrost edinstvenega živalstva v podzemnih vodah Slovenije. V: Globevnik, L., Širca, A. (ur.), Drugi slovenski kongres o vodah, Zbornik, Društvo vodarjev Slovenije, 439–444.
28. Žibrat, U., 2012. Development of a new biotic index based on hyporheic fauna for water quality determination in lotic ecosystems: dissertation. Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica.

Inteligentne rešitve
za vse laboratorijske aplikacije

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

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

Green MT

www.mt.com/lab

ČLOVEŠKA RIBICA KOT POKAZATELJ STANJA PODZEMNE VODE

prof. dr. ROK KOSTANJŠEK[1]

Povzetek

Kot izključno vodna dvoživka je človeška ribica ali močeril na območju dinarskega krasa že stoletja pokazatelj stalnosti vodnih virov. Kot osrednji plenilec s svojo prisotnostjo odraža vzdržnosti prehranjevalnih verig in kroženja snovi podzemnih vodá, zato so stabilne populacije človeških ribic pokazatelj relativne neobremenjenosti tovrstnih vodnih virov. Primerjalne analize bakterijskih združb kože različnih populacij človeških ribic v Sloveniji kažejo na okoljski izvor teh združb in selektivnost kožnega okolja. To pri večini preučenih populacij človeških ribic favorizira le določene bakterijske skupine, ki predstavljajo normalno kožno mikrobioto človeške ribice. Njena sestava je primerljiva tako znotraj kot med populacijami človeških ribic, zato je kožni mikrobiom primeren pokazatelj zdravstvenega stanja človeških ribic. Hkrati odraža tudi spremembe mikrobne združbe okoliške vode, zato tovrstne analize omogočajo dodaten vpogled v stanje težko dostopnih podzemnih vodá.

Ključne besede: kožna mikrobiota, krovna vrsta, mikrobne združbe, osrednji plenilec, proteus.

Abstract

As an exclusively aquatic amphibian, the olm has been an indicator of constant water sources in the Dinaric karst for centuries. Being an apex predator, the presence of olm reflects the sustainability of the food chains in the undeground waters, while stable populations of these amphibians indicate relatively unpolluted groundwater. Comparative analyzes of bacterial communities of the skin in different olm populations in Slovenia have shown environmental origin of communities and the selectivity of the skin environment. These conditions favor only selected groups of bacteria, which comprise the normal skin microbiota of the olm. Due to comparable composition of the normal skin microbiota within and between olm populations, the skin microbiota provide a non-invasive insifht into the health status of olm. At the same time, the skin microbiome reflects changes in the surrounding water, enabling therefore an additional insight into the condition of mostly inaccessible karst groundwaters.

Keywords: apex predator, microbial communities,olm, skin microbiota, umbrella species.

1 Prof. dr. Rok Kostanjšek, univ. dipl. biol., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.

Človeška ribica (*Proteus anguinus*), poznana tudi kot močeril ali proteus, je zagotovo med najprepoznavnejšimi podzemeljskimi živalmi (Slika 1). S svojimi prilagoditvami na podzemno okolje in pomembno ekološko vlogo ta nenavadna dvoživka uživa status svetovnega simbola ohranjanja podzemnih habitatov. Kot prva znanstveno opisana jamska žival in največji izključno jamski četveronožec z največjim številom poznanih najdišč v Sloveniji pa predstavlja tudi pomemben del naše kulturne, zgodovinske in naravne dediščine.

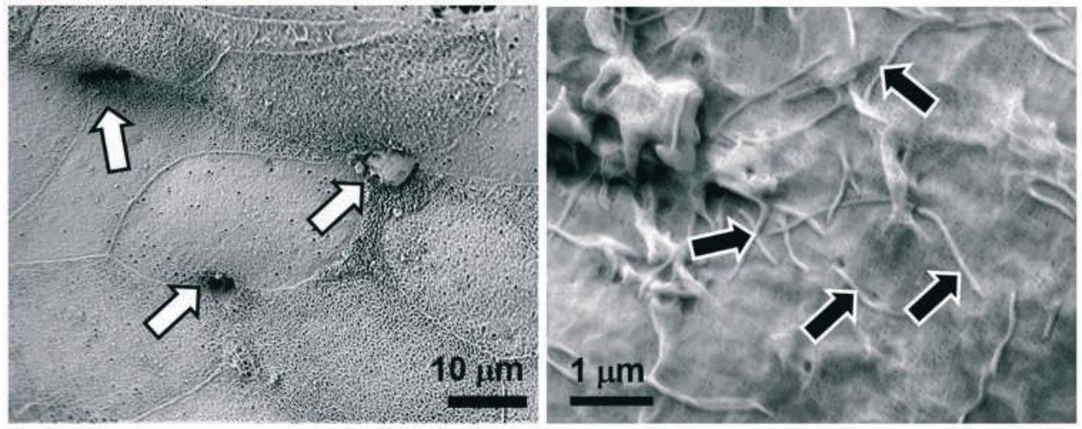
Človeška ribica je endemit dinarskega krasa, njeno življenjsko okolje pa je omejeno na podzemne vode med izlivom Soče v Italiji in Črno goro (Gorički et al., 2017; Sket, 1997). Gre za območje z eno največjih poznanih biodiverzitet podzemnega živalstva na svetu (Sket et al., 2004), v katerem ima proteus kot osrednji plenilec pomembno ekološko vlogo. Kot krovna vrsta človeška ribica zato odraža zadostno količino plena ter vzdržnost prehranjevalnih verig in procesov kroženja snovi v podzemnem ekosistemu. Zaradi občutljivosti tovrstnih procesov na okoljske spremembe so stabilne populacije človeških ribic pokazatelj relativno neobremenjenih podzemnih vodá. Zaradi odvisnosti dinarskega območja od podzemnih vodnih virov zato lahko človeško ribico v prenesenem pomenu obravnavamo kot »varuha pitne vode« tega območja.

Slika 1: Človeška ribica (*Proteus anguinus*). Foto: Domin Dalessi

Zaradi omejene geografske razširjenosti, izgube habitata ter nezadostnega poznavanja njene biologije in številčnosti populacij je človeška ribica prepoznana kot ranljiva vrsta na seznamu IUCN (Arntzen et al., 2009). Kljub njenemu varovanju na ravni nacionalnih zakonodaj držav njenega območja razširjenosti, Direktive EU o habitatih (92/43/EEC), Bernske in Ramsarske konvencije ter statusa prioritetne vrste območij Natura 2000 pa monitoringa proteusa in njegovega naravnega okolja kot tudi praktičnega varstva vrste, kljub upadanju populacij in potrjenim negativnim vplivom antropogenega onesnaževanja njegovega okolja (Bulog et al., 2002), skorajda ni.

Poleg nadzora abiotskih dejavnikov okolja in potencialnih onesnažil sta za dolgoročno varovanje ogroženih vrst ključnega pomena tudi poznavanje in razumevanje njihovih interakcij z drugimi organizmi. To velja tudi za človeško ribico, pri kateri so tovrstne interakcije slabo raziskane. Poleg njene že omenjene vloge osrednjega plenilca te vključujejo opise nekaterih njenih parazitov (Kostanjšek et al., 2017) in posamezne primere plenjenja proteusov s strani rib. Opisi interakcij z mikroorganizmi pa so bili, kljub njihovi pomembni vlogi za gostitelja, v primeru človeške ribice do nedavnega omejeni na posamezne primere oportunističnih okužb človeških ribic v ujetništvu (Bizjak Mali et al., 2018).

Zaradi prepoznanega pomena kožne mikrobiote, zlasti bakterij, za zdravje in dobrobit gostiteljev (Grice in Serge, 2011) ter potrjene bakterijske prisotnosti v kožni sluzi človeške ribice (Slika 2) smo podrobneje raziskali kožni bakteriom človeških ribic. Vzorce bakterijskih združb smo s površine kože človeških ribic odvzeli z neinvazivno tehniko kožnega brisa, medtem ko smo sestavo bakterijskih združb kože in podzemne vode analizirali z metagenomsko analizo vzorcev na podlagi sekvenčnih pristopov naslednje generacije. V raziskavo smo vključili osebke petih različnih slovenskih populacij človeških ribic (Trontelj et al., 2009) in vzorec podzemne vode ene od preiskovanih populacij (Kostanjšek et al., 2019).

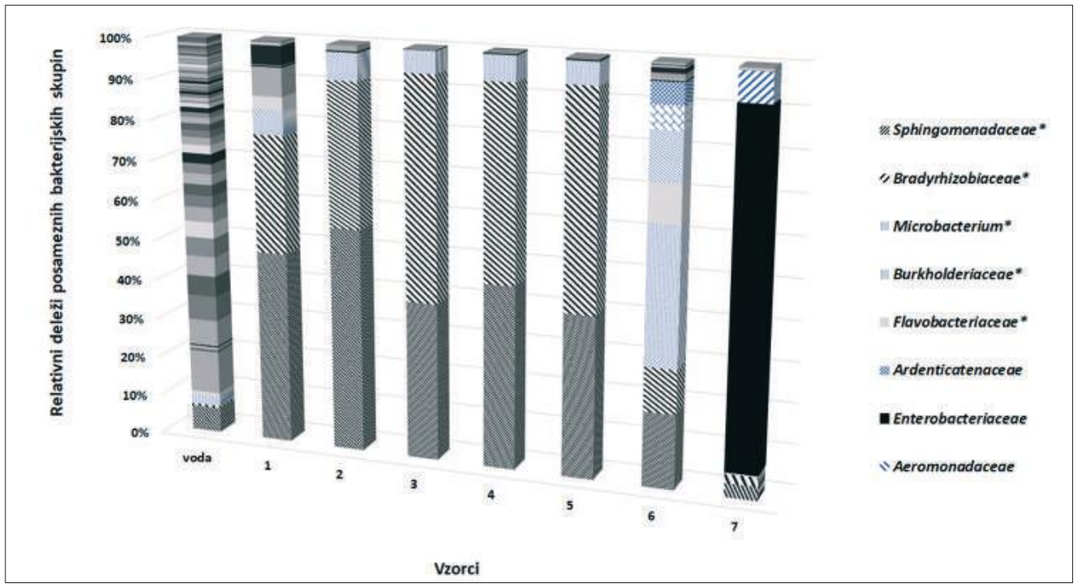


Slika 2: Vrstična elektronska mikroskopija površine kože človeške ribice. Na levi sliki so vidne zunanje površine celic povrhnjice in izvodila sluznih žlez (bele puščice). Desna slika prikazuje bakterije (črne puščice), ujete v kožno sluz.

Primerjava sestave mikrobnih združb je pokazala okoljski izvor kožnega bakterioma človeških ribic. Ta ni zgolj odsev mikrobne združbe okoljske vode, saj bistveno manjša raznolikost kožne združbe kaže na selektivno okolje kože človeške ribice, najverjetneje kot posledice kožnih izločkov. Sestava kožnega bakterioma človeških ribic različnih populacij se je sicer izkazala kot zelo primerljiva (vzorci 1 do 5 na sliki 3). V njej v večini analiziranih populacij človeških ribic prevladuje pet bakterijskih skupin, ki predstavljajo človeškim ribicam lastno kožno mikrobioto. Primerjava bakterijskih združb istega osebka med različnimi leti izkazuje njihovo dinamiko pod vplivi okolja (vzorca 1 in 2 na sliki 3). Slednjim lahko pripišemo tudi spremenjeno razmerje prevladujočih skupin normalne mikobiote (vzorec 6 na sliki 3) in izrazito odstopanje

v sestavi združbe, opaženo v vzorcu iz najmanjšega preiskovanega vodotoka, obremenjenega s komunalnimi vodami in kmetijstvom, v katerem je normalna kožna mikrobiota skoraj v celoti nadomeščena z bakterijami fekalnega izvora (*Aeromonadaceae*, *Enterobacteriaceae*) (vzorec 7 na sliki 3). Kljub temu da metabolni potencial normalne kožne mikrobiote proteusa najverjetneje ne prispeva k dodatnim metabolnim zmogljivostim gostitelja, pa normalna mikrobiota z zasedanjem niše ščiti gostitelja pred potencialnimi patogeni (Kostanjšek et al., 2019).

Sestava kožne mikrobiote odraža fiziološko stanje gostitelja, zato ima velik potencial kot neinvazivni pristop za ugotavljanje zdravstvenega stanja in ravni stresa človeških ribic. Izsledki raziskave pa so pokazali tudi, da spremembe normalne kožne mikrobiote odražajo dolgotrajnejše stanje bakterijske združbe vode v okolju človeških ribic. Tovrstne analize bi zato lahko omogočile dodaten vpogled v stanje težko dostopnih podzemnih vodá ter na ta način dopolnile vlogo človeške ribice kot pokazatelja stanja podzemnih vodá.



Slika 3: Relativni deleži bakterijskih skupin v mikrobnih združbah kože človeških ribic različnih slovenskih populacij (vzorci 1 do 7) in vzorcu jamske vode. Prevladujoče bakterijske skupine normalne kožne mikrobiote so označene z zvezdico (Kostanjšek et al., 2019).

LITERATURA IN VIRI

1. Arntzen, J. W., Denoël, M., Miaud, C., Andreone, F., Vogrin, M., Edgar, P., Crnobrnja Isailovic, J., Ajtic, R., Corti, C. 2009. *Proteus anguinus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2009. Dostopno na: https://www.iucnredlist.org/species/18377/8173419 [13. 3. 2020].
2. Arntzen, J. W., Denoël, M., Miaud, C., Andreone, F., Vogrin, M., Edgar, P., Crnobrnja Isailovic, J., Ajtic, R. in Corti, C., 2009. *Proteus anguinus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2009. Dostopno na: https://www.iucnredlist.org/species/18377/8173419 [13. 3. 2020].
3. Bizjak Mali, L., Zalar, P., Turk, M., Babič, M., Kostanjšek, R. in Gunde-Cimerman, N., 2018. Opportunistic fungal pathogens isolated from a captive individual of the European blind cave salamander *Proteus anguinus*. Diseases of Aquatic Organisms, 2018, 129, 15–30.
4. Bizjak Mali, L., Zalar, P., Turk, M., Babič, M., Kostanjšek, R., Gunde-Cimerman, N., 2018. Opportunistic fungal pathogens isolated from a captive individual of the European blind cave salamander *Proteus anguinus*. Diseases of Aquatic Organisms, 2018, 129, 15–30.
5. Bulog, B., Mihajl, K., Jeran, Z. in Toman, M., 2002. Trace element concentrations in the tissues of *Proteus anguinus* (Amphibia, Caudata) and the surrounding environment. Water, Air, and Soil pollution, 2002, 136, 147–163.
6. Bulog, B., Mihajl, K., Jeran, Z., Toman, M., 2002. Trace element concentrations in the tissues of *Proteus anguinus* (Amphibia, Caudata) and the surrounding environmnet. Water, Air, and Soil pollution, 2002, 136, 147–163.
7. Gorički, Š., Stanković, D., Snoj, A., Kuntner, M., Jeffrey, W. R., Trontelj, P., Pavićević, M., Grizelj, Z., Năpăruş-Aljančič, M., Aljančič, G., 2017. Environmental DNA in subterranean biology: range extension and taxonomic implications for *Proteus*. Scientific Reports, 2017, 7: e45054.
8. Gorički, Š., Stanković, D., Snoj, A., Kuntner, M., Jeffrey, W. R., Trontelj, P., Pavićević, M., Grizelj, Z., Năpăruş-Aljančič, M. in Aljančič, G., 2017. Environmental DNA in subterranean biology: range extension and taxonomic implications for *Proteus*. Scientific Reports, 2017, 7: e45054.
9. Grice, E. A. in Serge, A., 2011. The skin microbiome. Nature Reviews Microbiology, 2011, 9, 244–253.
10. Grice, E. A. in Serge, A., 2011. The skin microbiome. Nature Reviews Microbiology, 2011, 9, 244–253.
11. Kostanjšek, R., Bizjak Mali, L. in Gunde Cimerman, N., 2017. Microbial and parasitic threats to proteus. Natura Sloveniae, 2017, 19, 1, 31–32.
12. Kostanjšek, R., Bizjak Mali, L., Gunde Cimerman, N., 2017. Microbial and parasitic threats to proteus. Natura Sloveniae, 2017, 19, 1, 31–32.
13. Kostanjšek, R., Prodan, Y., Stres, B. in Trontelj, P., 2019. Composition of the cutaneous bacterial community of a cave amphibian, *Proteus anguinus*. FEMS Microbiology Ecology, 2019, 95, 3. doi: 10.1093/femsec/fiz007.
14. Kostanjšek, R., Prodan, Y., Stres, B., Trontelj, P., 2019. Composition of the cutaneous bacterial community of a cave amphibian, *Proteus anguinus*. FEMS Microbiology Ecology, 2019, 95, 3. doi: 10.1093/femsec/fiz007.
15. Sket, B., 1997. Distribution of *Proteus* (Amphibia: Urodela: Proteidae) and its possible explanation. Journal of biogeography, 1997, 24, 263–280.
16. Sket, B., 1997. Distribution of *Proteus* (Amphibia: Urodela: Proteidae) and its possible explanation. Journal of biogeography, 1997, 24, 263–280.
17. Sket, B., Paragamian, K. in Trontelj, P., 2004. Acensus of the obligate subterranean fauna of the Balkan Peninsula. V: Griffiths, H. I., Krystufek, B., Reed, J. M. (ur.). Balkan Biodiversity: Pattern and Process in the European Hotspot. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. 309–322.
18. Sket, B., Paragamian, K., Trontelj, P., 2004. Acensus of the obligate subterranean fauna of the Balkan Peninsula. V: Griffiths, H. I., Krystufek, B., Reed, J. M. (ur.). Balkan Biodiversity: Pattern and Process in the European Hotspot. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. 309–322.
19. Trontelj, P., Douady, C. J., Fišer, C., Gibert, J., Gorički, Š., Lefébure, T. Sket, B. in Zakšek, V., 2009. A molecular test for cryptic diversity in ground water: How large are the ranges of macro-stygobionts? Freshwater Biology, 2009, 54, 727–744.
20. Trontelj, P., Douady, C. J., Fišer, C., Gibert, J., Gorički, Š., Lefébure, T. Sket, B., in Zakšek, V., 2009. A molecular test for cryptic diversity in ground water: How large are the ranges of macro-stygobionts? Freshwater Biology, 2009, 54, 727–744.

IZBOLJŠANJE ODZIVA KMETIJSTVA NA PODNEBNE SPREMEMBE S SISTEMOM ZA PODPORO O ODLOČANJU O NAMAKANJU

doc. dr. MATJAŽ GLAVAN[1], dr. ROZALIJA CVEJIĆ[2], LUKA HONZAK[3], URŠA PEČAN[4], ŠPELA ŽELEZNIKAR[5], prof. dr. MARINA PINTAR[6]

Povzetek

V okviru projekta LIFE ViVaCCAdapt (2016-2021) z naslovom Prilagajanje na vplive podnebnih sprememb v Vipavski dolini smo vzpostavili pilotni sistem za podporo odločanju o namakanju (SPON) z namenom učinkovitejše rabe vode za namakanje. V projektu sodeluje 35 kmetijskih gospodarstev. Ob finančni podpori Programa razvoja podeželja (ukrep Sodelovanje) in Evropskega inovativnega partnerstva v okviru projekta EIP PRO-PRIDELAVA (2018-2021) z naslovom Povečanje produktivnosti kmetijske pridelave z učinkovito in trajnostno rabo vode ter v sodelovanju z Agencijo Republike Slovenije za okolje (ARSO) bomo SPON prenesli na državno raven. Sodelujemo s šestimi kmetijskimi gospodarstvi iz Dolenjske, Posavja, Savinjske doline, Štajerske in Prekmurja. Sistem SPON temelji na izračunu vodne bilance z modelom IRRFIB (ARSO) ter poda priporočeni čas in obrok namakanja, pri čemer upošteva informacije o vodnozadrževalnih lastnostih tal, trenutni količini vode v tleh, potrebah rastlin po vodi glede na razvojno fazo in vremensko napoved. Dokončna integracija sistema SPON na ravni države bo izvedena do konca leta 2021 v okviru projekta PRO-PRIDELAVA.

Ključne besede: kmetijstvo, podnebne spremembe, sistem za podporo odločanju o namakanju.

Abstract

As part of the LIFE ViVaCCAdapt project (2016-2021) entitled Adaptation to the impacts of climate change in the Vipava Valley, we established a pilot system to support efficient irrigation decision-making (SPON) involving 35 agricultural holdings. With the financial support of the Rural Development Program (Cooperation measure) and the European Innovation Partnership, SPON will be within the EIP PRO-PRODUCTION project (2018-2021) entitled

1 Doc. dr. Matjaž Glavan, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
2 Dr. Rozalija Cvejić, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
3 Luka Honzak, univ. dipl. meteorol., BO – MO, d.o.o.
4 Urša Pečan, mag. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
5 Špela Železnikar, mag. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
6 Prof. dr. Marina Pintar, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.

Increasing the productivity of agricultural production through efficient and sustainable water use and in cooperation with the Environmental Agency of the Republic of Slovenia transferred to the national level. We cooperate with six agricultural holdings from Dolenjska, Posavje, Savinjska dolina, Štajerska and Prekmurje. The SPON system is based on the calculation of water balance with the IRRFIB model (ARSO) and gives the recommended irrigation time and installment, taking into account information on soil water retention properties, current soil water content, plant water need according to development phase and weather forecast. The final integration of SPON system at the state level will be carried out by the end of 2021 within the PRO-PRODUCTION project.

Keywords: agriculture, climate change, irrigation decision support system.

1. UVOD

Nizka produktivnost kmetijske pridelave v Sloveniji je med drugim tudi posledica prenizke produktivnosti rabe vode. Namakanje na kmetijskih gospodarstvih v Sloveniji večinoma poteka na pamet, brez uporabe informacij o ključnih dejavnikih za pravilno namakanje, tj. lastnosti tal, potrebe rastlin, ki so odvisne od trenutne razvojne faze rastline, ter vremena. Kmetje v Sloveniji praviloma namakajo preveč ali začno namakati prepozno in namakajo v premajhnih obrokih. Oboje negativno vpliva na produktivnost kmetijske pridelave, saj znižuje količino tržnega pridelka in tržno vrednost pridelka glede na vložena produkcijska sredstva. Zaradi tega slovenski kmetje ne dosegajo dovolj visoke konkurenčnosti na prehranskem trgu. Poleg tega neoptimalna oskrba rastlin z vodo v tleh ustvari pogoje, ki zavirajo porabo dodanih rastlinskih hranil ter posledično povzročajo spiranje hranil skozi talni profil na eni strani in čezmerno porabo vode za namakanje na drugi. Majhna produktivnost rabe vode z vidika finančne in okoljske trajnosti kmetijske pridelave ni primerna. Zato je projekt EIP PRO-PRIDELAVA namenjen razvoju nove tehnologije in prakse pridelave sadja (jabolka in češnje), žita (koruze), hmelja, zelenjave (paradižnik, krompir, zelje) ter namiznega grozdja s pomočjo optimizacije rabe vode pri namakanju. Tako bo projekt naslovil prispevek izboljšane produktivnosti kmetijske pridelave k razvoju učinkovite in trajnostne rabe vode.

Namen projekta je v kmetijski praksi promovirati visoko produktivnost kmetijske pridelave s pomočjo trajnostne rabe vode za namakanje na kmetijskem gospodarstvu ter zmanjšanje trenutnih in skupnih odvzemov iz vodnih virov za namakanje. Ključni cilji projekta so štirje.

(i) Vzpostaviti SISTEM ZA PODPORO ODLOČANJU O NAMAKANJU (SPON) na državni ravni, ki združuje baze podatkov, relevantne za optimizacijo prakse namakanja. Natančno vodenje namakanja na ravni kmetije ne pomeni avtomatiziranega dodajanja fiksnih obrokov namakanja skozi celotno vegetacijsko sezono. Pri natančnem vodenju namakanja je treba upoštevati dinamiko gibanja rastlinam razpoložljive vode v tleh, ki je odvisna od vodozadrževalnih lastnosti tal in evapotranspiracije rastline, nanjo pa vplivajo še padavine. S spremljanjem količine vode v tleh vemo, koliko vse razpoložljive vode je v tleh in kako blizu smo kritični točki, ki pomeni sušni stres rastline. Ob upoštevanju tega podatka, razvojne faze rastline in napovedi padavin ter evapotranspiracije natančno opredelimo (izračunamo) obrok namakanja. Ta ne preseže poljske kapacitete (ne povzroča spiranja) in je nad za rastlino kritično točko (nad točko sušnega stresa rastline). S tem uravnavamo izpostavljenost rastline sušnemu stresu in hkrati v tleh zagotavljamo pogoje za optimalno porabo dodanih rastlinskih hranil. Tako delujoč SPON bo na voljo na ARSO, kar bo omogočalo racionalnejšo izrabo obstoječe visoko zmogljive računalniške opreme. SPON, ki omogoča spremljanje rabe vode pri namakanju v realnem času, je predpogoj za odločanje o upravljanju namakanja, hkrati pa nujno orodje za doseganje racionalnejše in trajnejše rabe vode za namakanje.

(ii) Aplicirati SPON na ravni izbranih demonstracijskih kmetij in povečati produktivnost kmetijske pridelave skozi izboljšano prakso namakanja jabolk, češenj, koruze, hmelja, paradižnika, krompirja, zelja ter namiznega grozdja. Tehnična vzpostavitev SPON (vzpostavitev infrastrukture za spremljanje vode v tleh, modeliranje vodne bilance, upoštevajoč vremensko napoved) je le prvi korak. Aplikacija SPON na kmetiji v smislu uporabe napovedi namakanja za vodenje namakalnega sistema je učni proces. Najprej mora pridelovalec razumeti delovanje sistema. Pri tem koraku je pomembno razumevanje delovanja namakalne infrastrukture in pravočasno dovajanje vode v namakalni sistem. Ta korak pridelovalec izvede ob pomoči ostalih projektnih partnerjev (predvsem kmetijsko svetovalne službe in organizacije s področja izobraževanja). Na ta način bo projekt EIP prispeval k izboljšanju praks in tehnologij na področju rastlinske pridelave.

(iii) Dvigniti znanje o pomenu in kompetencah za izvajanje strokovno pravilnega namakanja na ravni demonstracijskih kmetij in širše (kmetij, ki niso del partnerstva, strokovnjakov, odločevalcev, študentov, laične javnosti). Ob uporabi SPON pridelovalec spremlja rast rastlin in preverja ustreznost oz. optimalnost priporočil, ki izhajajo iz SPON. Pri tem je pomembno sodelovanje s kmeti v učnem procesu, ki vodi iz namakanja na pamet v namakanje na podlagi meritev in je podkrepljeno z opazovanjem rasti rastlin. Pomoč pri pridobivanju novega znanja in prenosu znanj v prakso podpirajo projektni partnerji, predvsem sodelujoča izobraževalna organizacija kot tudi kmetijsko svetovalna služba. Praktične izkušnje pridelovalca in uporabnost SPON so predpogoj za pridruževanje novih pridelovalcev v sistem.

(iv) Pripraviti izobraževalne vsebine (video) o strokovno pravilnem namakanju in njegovem pomenu za zvišanje produktivnosti kmetijske pridelave, trajnostno rabo vode in varstvo okolja ter izboljšati prepoznavnost SPON med kmeti, strokovnjaki, odločevalci, študenti, laično javnostjo in drugimi po Sloveniji. Dobro delujoč sistem SPON in pozitivne izkušnje pridelovalcev z demonstracijskih kmetij so predpogoj za dobro promocijo SPON kot tudi pridobivanje novih uporabnikov z razširjanjem rezultatov projekta. Eden od najprimernejših načinov širjenja nove tehnologije in prakse med ostale pridelovalce je način, pri katerem zainteresirani uporabnik nima na voljo samo teoretične predstavitve delovanja sistema, temveč ima možnost spoznati že obstoječega uporabnika in se z njim pogovoriti o njegovih izkušnjah, čemur bodo namenjeni praktični preizkusi tehnologij na demonstracijskih kmetijah. Da bi dosegli širok nabor potencialnih novih uporabnikov, bomo SPON aplicirali na širokem naboru kmetijskih kultur, od zelenjadarskih, poljedelskih, sadjarskih do vinogradniških. Prav tako imajo demonstracijske kmetije različna tla (od lahkih do težkih) in se nahajajo na različno okoljsko obremenjenih

lokacijah, kjer je zmanjšanje negativnih vplivov namakanja na vodno okolje pomemben del razvoja kmetijske prakse v prihodnje. Za namen izobraževanja o strokovno pravilnem namakanju in promociji SPON bo izdelan avdio-video material, ki bo prosto dostopen širokemu krogu zainteresiranih na spletu.

2. MATERIALI IN METODE

2.1 Določitev vodnozadrževalnih lastnosti tal

Vodnozadrževalne lastnosti tal opišemo z dvema točkama: poljska kapaciteta (PK) je največja količina vode, ki jo tla lahko zadržijo, točka venenja (TV) pa je količina vode v tleh, pri kateri rastline trajno uvenejo (Pintar, 2006) (Slika 1). Navadno sta podani kot masni ali volumski delež tal. Pomnoženi z globino tal, ki jo obravnavamo, podata količino vode v obravnavani globini tal. Rastline imajo različno sposobnost črpanja vode in so različno odporne proti suši. Do določene količine vode v tleh, ki ji pravimo kritična točka (KT), rastlina relativno lahko črpa vodo iz tal, pod to količino je rastlina v sušnem stresu. Kritična točka je odvisna od vrste rastline in sorte. KT izračunamo na podlagi faktorja *p*, ki označuje delež razpoložljive vode (RV), tj. razlika med PK in TV, ki je rastlinam lahko dostopna.

Koncepta poljske kapacitete pri tenziji 33 kPa in točke venenja pri 1500 kPa sta pogosto uporabljena za pojasnjevanje rastlinam dostopne vode v tleh (Evett et al., 2019). Za potrebe upravljanja namakanja točko venenja tal določimo v laboratoriju. Z uporabo tlačne posode (Richards, 1941) vzorce tal izpostavimo tlaku 1500 kPa in gravimetrično določimo vsebnost vode, ki pri tem ostane v tleh. V praksi pogosto prihaja do razhajanj med laboratorijsko in terensko določenimi vodnozadrževalnimi lastnostmi tal. S splošno razširjenostjo natančnih merilnikov za kontinuirane meritve vsebnosti vode v tleh so postale razlike med laboratorijsko in terensko določeno poljsko kapaciteto ter točko venenja bolj očitne (Evett et al., 2019). Poljsko kapaciteto tal lahko, po večji količini dodane vode, odčitamo iz grafov kontinuiranih meritev vsebnosti vode v tleh. Stopnja, do katere narašča vsebnost vode, je povezana s količino dodane vode. Najvišja dosežena vsebnost vode začne hitro upadati, čez čas pa se upadanje vsebnosti vode v tleh upočasni. Presečišče med deloma krivulje s hitrim in počasnim upadanjem vsebnosti vode v tleh predstavlja poljsko kapaciteto lahkih tal (Zotarelli et al., 2010).

2.2 Modeliranje vodne bilance v tleh

Na vodno bilanco zgornjega sloja tal v globini korenin vplivajo evapotranspiracija, površinski odtok in globoko pronicanje na eni strani ter padavine, kapilarni dvig in namakanje na drugi, pri čemer sta v večini primerov glavna elementa padavine in evapotranspiracija. Meritve evapotranspiracije so zaradi številnih dejavnikov, ki vplivajo na ta proces, težavne in nenatančne, zato se pogosto uporabljajo empirične zveze za njen izračun. Potencialno evapotranspiracijo (ETC) izračunamo kot produkt koeficienta rastline (kc) in referenčne evapotranspiracije (ET0), pri čemer je koeficient rastline odvisen od rastline in fenofaze, v kateri se nahaja, referenčna evapotranspiracija pa je definirana kot evapotranspiracija z referenčne površine, ki jo pokriva travna ruša, visoka 12 centimetrov (Allen et al., 1998). Standardna metoda za izračun referenčne evapotranspiracije je Penman-Monteithova metoda, ki temelji na energijski bilanci (Allen et al., 1998).

Slika 1: Vzorčenje tal za določanje vodnozadrževalnih lastnosti tal in prikaz namestitve merilnih naprav za merjenje vsebnosti vode v tleh v nasadu

Časovni potek vodne bilance v tleh simuliramo z vodnobilančnimi modeli. Večina vodnobilančnih modelov za izračun uporablja glavna elementa (padavine in evapotranspiracijo), preostale pa zanemari. Vodnobilančni modeli se uporabljajo na različnih časovnih skalah (urnih, dnevnih, mesečnih in letnih), za potrebe namakanja večinoma na dnevni časovni skali. Večina modelov predpostavi, da so tla v celotni globini korenin homogena in jih modelira kot eno plast. Prvi mesečni vodnobilančni modeli so bili razviti v ZDA v 40. letih 20. stoletja za potrebe hidrologije. V kmetijstvu so se prvi vodnobilančni modeli začeli uporabljati v 80. letih 20. stoletja v Avstraliji, na Nizozemskem in ZDA. Večina modelov izračunava vodno bilanco po metodologiji Organizacije ZN za hrano in kmetijstvo (FAO) (Allen et al., 1998). V Sloveniji se je uporaba vodnobilančnih modelov v kmetijstvu začela z letom 1994, ko so na Oddelku za agrometeorologijo Agencije Republike Slovenije za okolje razvili operativno orodje za sledenje vodne bilance kmetijskih rastlin – vodnobilančni model IRRFIB (Sušnik et al., 2006; Sušnik, 2014).

2.3 Model IRRFFIB

Vodnobilančni model IRRFIB izračuna obrok namakanja za določeno kulturo ob uporabi vhodnih podatkov o tleh, fenologiji in načinu namakanja ter petdnevne napovedi potencialne evapotranspiracije in količine padavin.

IRRFIB je v osnovi mišljen za neprekinjeno delovanje čez celotno rastno sezono, pri čemer na začetku predpostavimo, da je količina vode v tleh enaka PK. Vnaprej je treba podati datume nastopa posameznih fenofaz, ki se prilagodijo in popravijo v času dejanskega nastopa fenofaze. Dodatno se lahko simulacija popravlja tudi z meritvami količine vode v tleh.

Vodna bilanca (VB) na i-ti dan se izračuna kot

VB (i) [mm] = VB (i-1) [mm] + padavine (i) [mm] – ETC (i) [mm] + Vv (N) [mm],
pri čemer je Vv (N) zaloga vode iz preteklih dni, če je zaradi večje količine padavin nastal presežek vode nad vrednostjo pri PK.

Pri izračunu se upoštevajo še naslednji pogoji: (i) če je VB večja kot količina vode pri PK na določeni globini, se jo nastavi na PK in presežek shrani v Vv; (ii) če je VB nižja od količine vode pri TV na določeni globini, se jo nastavi na TV; (iii) če je VB manjša od količine vode pri KT na določeni globini (rastlina je v sušnem stresu), se ETC zmanjša za polovico.

Koeficient rastline *kc* in globino korenin za posamezen dan IRRFIB izračuna iz datuma nastopa trenutne fenofaze ter predvidenega nastopa naslednje z linearno shemo.

IRRFIB lahko izračuna količino vode, potrebne za namakanje, na podlagi različnih kriterijev (t. i. namakalnih strategij), in sicer: (i) namakanje do PK (ko VB pade pod KT, namaka vsak dan z maksimalno količino, dokler ne doseže PK); (ii) namakanje z obrokom (ko VB pade pod KT, namoči z maksimalno količino); (iii) kapljično namakanje (namoči s količino, ki pokrije dnevno izgubo, tj. ETC-padavine). Podrobnejši opis modela je dostopen v Sušnik (2014) in Valher (2016).

2.4 Natančne meritve vsebnosti vode v tleh

Čeprav so merilniki za meritve vsebnosti vode v tleh že opremljeni s tovarniško kalibracijsko funkcijo, ki pretvarja surove vrednosti (npr. mV) v volumsko vsebnost vode, lahko različne talne lastnosti, kot so delež gline in organske snovi, gostota tal in električna prevodnost, vplivajo na točnost meritev (Fares in Alva, 2000; Matula et al., 2016; Provenzano et al., 2015; Sevostianova et al., 2015). Zaradi tega je za zanesljive meritve vsebnosti vode v tleh priporočljiva izvedba talno specifične kalibracije dielektričnih merilnikov (Parvin in Degre, 2016). Vsi merilniki, ki jih uporabljamo v SPON, so bili talno specifično kalibrirani v neporušenem vzorcu tal v laboratoriju (Slika 1).

3. REZULTATI

3.1 SPON

SPON temelji na vodnobilančnem modelu IRRFIB, ki je v osnovi namenjen za kontinuiran zagon za celotno rastno sezono, zato so bile potrebne določene prilagoditve. Z namenom, da čim manj posegamo v izvorno kodo modela, so bile dodatne funkcionalnosti (minimalni obrok namakanja, učinkovitost namakanja na podlagi tehnologije namakanja ipd.) razvite zunaj modela. V IRRFIB smo implementirali le dve dodatni strategiji namakanja, in sicer (i) namakanje do PK ter (ii) namakanje do 85 % RV, torej do točke, kjer je

TV + 0,85 * RV oz. TV + 0,85 * (PK – TV).

Za vsako kulturo smo določili do sedem fenofaz, ki so pomembne za namakanje. Pripadajoče koeficiente rastline *kc* in globine korenin ob nastopu posamezne fenofaze smo privzeli po Pintar (2003, 2006). Za izračun vodne bilance za določen dan potrebujemo tudi čas nastopa trenutne fenofaze in predviden čas nastopa naslednje fenofaze. Na podlagi Pintar (2003, 2006) smo določili začetek prve fenofaze in dolžino trajanja posameznih fenofaz.

SPON je sestavljen iz podatkovne baze in štirih modulov. V podatkovni bazi so shranjeni podatki o:

- uporabnikih oz. poljih (kultura in lokacija), podatkih o tleh (poljska kapaciteta in točka venenja), namakanju (rastlinjak, zastirka, tehnologija namakanja, minimalni in maksimalni obrok namakanja, strategija namakanja ipd.);
- kulturah, in sicer koeficienti rastline in efektivna globina korenin za vsako fenološko fazo, faktor p, trajanje posamezne fenofaze;
- vremenski napovedi, meritvah vode v tleh in napovedi namakanja.

Modul »Meritve vode v tleh« pridobi podatke o meritvah vode v tleh (s sondo s strežnika ponudnika opreme), izračuna kalibrirane vrednosti in jih shrani v podatkovno bazo.

Modul »Vremenska napoved« prenese napoved dnevne ET0 in padavin, ki jih ARSO pripravi za 15 regij (http://www.meteo.si/met/sl/agromet/forecast/), ter napovedi shrani v podatkovno bazo.

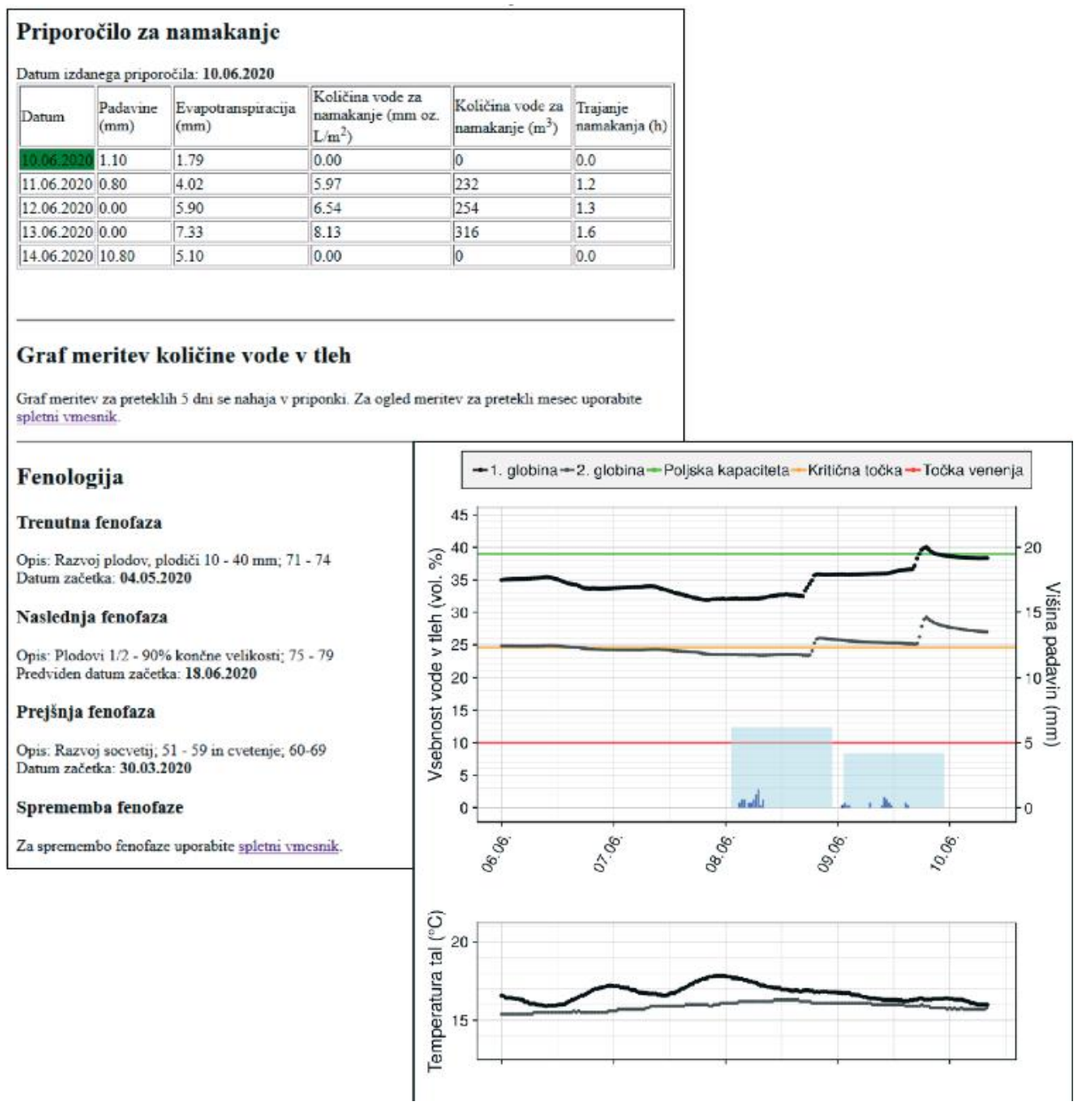
Modul »Program za izračun potreb po namakanju« temelji na modelu IRRFIB. Modul pripravi vhodne datoteke za IRRFIB, ga požene in na podlagi rezultatov modela izračuna priporočilo za namakanje ter ga vpiše v podatkovno bazo. Izračuni se zaženejo vsak dan med rastno sezono po 9. uri zjutraj. Ko so na voljo rezultati, se uporabnikom SPON pošlje elektronsko sporočilo s priporočilom za namakanje. Elektronsko sporočilo je sestavljeno iz treh delov (Slika 2):

- priporočila za namakanje, kjer so v tabelarični obliki podane napovedi ETC in padavin, priporočena količina vode za namakanje za 5 dni v mm in m³ ter trajanje namakanja v h;
- grafa meritev količine vode v tleh za preteklih 5 dni, ki se nahaja v priponki elektronskega sporočila; na grafu so označene tudi značilne točke (PK, KT, TV);
- fenologije, in sicer trenutne fenofaze z datumom njenega nastopa, naslednje fenofaze s predvidenim datumom začetka, prejšnja fenofaza z datumom njenega začetka ter povezave do spletnega vmesnika, kjer je mogoče spremeniti trenutno fenološko fazo.

Modul spletni vmesnik je razdeljen na štiri področja (Slika 3):

- priporočilo za namakanje, kjer so, tako kot v elektronskem sporočilu, v tabelarični obliki podane napovedi ETC in padavin ter priporočena količina vode za namakanje;
- graf meritev količine vode v tleh za prejšnjih 7, 30 oz. 90 dni; na grafu so označene tudi značilne točke tal;
- sprememba fenofaze, kjer lahko uporabnik potrdi ali spremeni datum nastopa trenutne, prejšnje in naslednje fenofaze;
- uporabniške nastavitve, kjer lahko uporabnik pregleda nastavitve o kulturi, lokaciji, podatkih o tleh (PK, KT) ter namakanju (zastirki, tehnologiji namakanja, minimalnem in maksimalnem obroku namakanja, intenziteti namakanja, strategiji namakanja).

Vmesnik je oblikovan na t. i. odzivni način, kar omogoča uporabo na vseh vrstah naprav (računalnik, tablica, telefon).



Priporočilo za namakanje

Datum izdanega priporočila: **10.06.2020**

Datum	Padavine (mm)	Evapotranspiracija (mm)	Količina vode za namakanje (mm oz. L/m^2)	Količina vode za namakanje (m^3)	Trajanje namakanja (h)
10.06.2020	1.10	1.79	0.00	0	0.0
11.06.2020	0.80	4.02	5.97	232	1.2
12.06.2020	0.00	5.90	6.54	254	1.3
13.06.2020	0.00	7.33	8.13	316	1.6
14.06.2020	10.80	5.10	0.00	0	0.0

Graf meritev količine vode v tleh

Graf meritev za preteklih 5 dni se nahaja v priponki. Za ogled meritev za pretekli mesec uporabite spletni vmesnik.

Fenologija

Trenutna fenofaza

Opis: Razvoj plodov, plodiči 10 - 40 mm; 71 - 74
Datum začetka: **04.05.2020**

Naslednja fenofaza

Opis: Plodovi 1/2 - 90% končne velikosti; 75 - 79
Predviden datum začetka: **18.06.2020**

Prejšnja fenofaza

Opis: Razvoj socvetij; 51 - 59 in cvetenje; 60-69
Datum začetka: **30.03.2020**

Sprememba fenofaze

Za spremembo fenofaze uporabite spletni vmesnik.

Slika 2: Primer elektronskega sporočila sistema SPON s priporočilom za namakanje, ki ga prejme uporabnik.

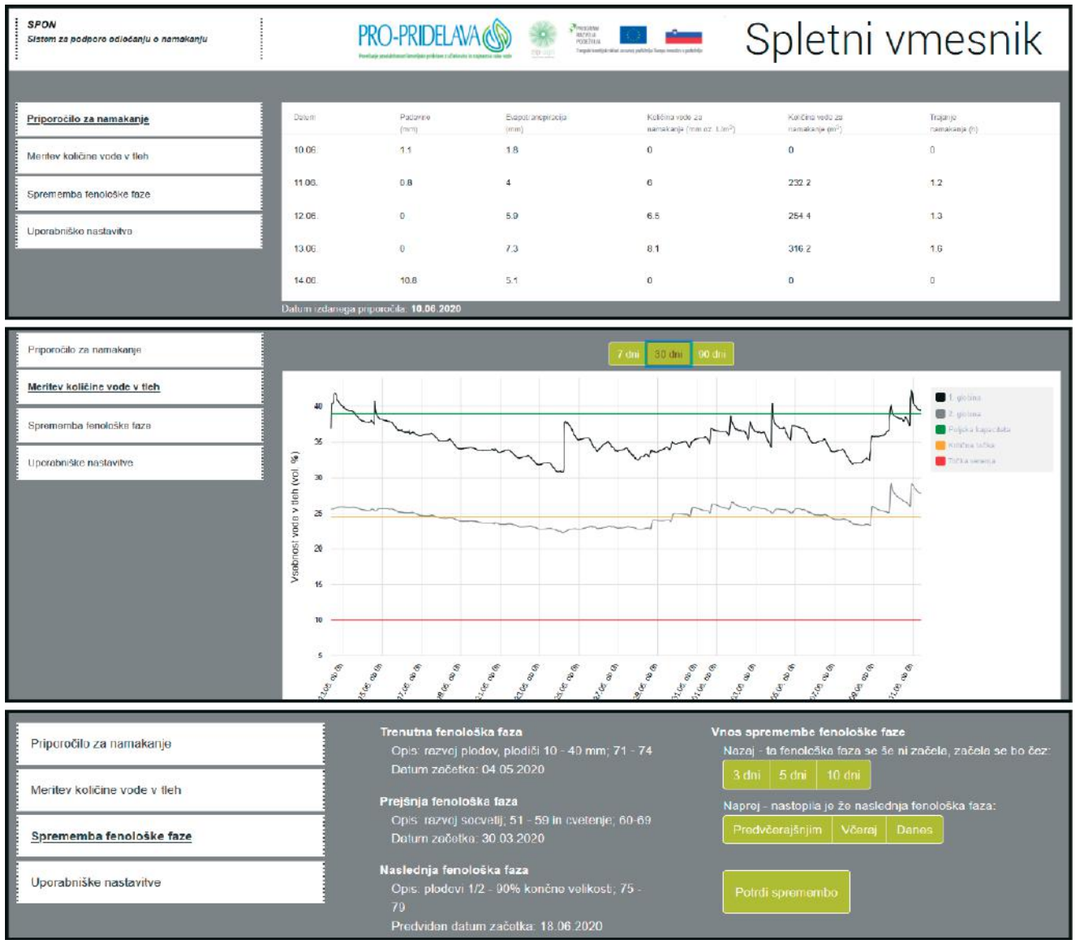
4. RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

SPON izračuna priporočeni čas in obrok namakanja za pet dni vnaprej, pri čemer upošteva informacije o vodnozadrževalnih lastnostih tal, trenutne meritve količine vode v tleh, potrebe rastline po vodi glede na fenofazo in vremensko napoved.

SPON je bil pripravljen v okviru projekta LIFE ViVaCCAdapt in ga je 35 kmetovalcev začelo uporabljati že v letu 2019. Nadgradili smo ga v okviru projekta EIP PRO-PRIDELAVA, kjer ga šest pridelovalcev uporablja od letošnjega leta. Za širšo uporabo je treba v podatkovno bazo vnesti le začetek prve fenofaze in dolžino fenofaz po različnih regijah, za kar se lahko uporabi podatke iz Pintar (2003, 2006). Dokončna integracija sistema SPON na ravni države bo izvedena do konca leta 2021.

SPON je pripravljen tako, da posega v izvorno kodo vodnobilančnega modela IRRFIB le minimalno, kar omogoča uporabo SPON tudi v primeru nadgradnje modela IRRFIB.

Pomanjkljivost SPON je enačenje uporabnika in namakalne enote (njiva/sadovnjak), kar pomeni, da en uporabnik ne more imeti več namakalnih površin oz. se mora registrirati za vsako enoto posebej. Poleg tega je SPON v trenutni obliki primeren za manjše število uporabnikov (do nekaj sto), zato bo ob širši uporabi potreboval večjo nadgradnjo.



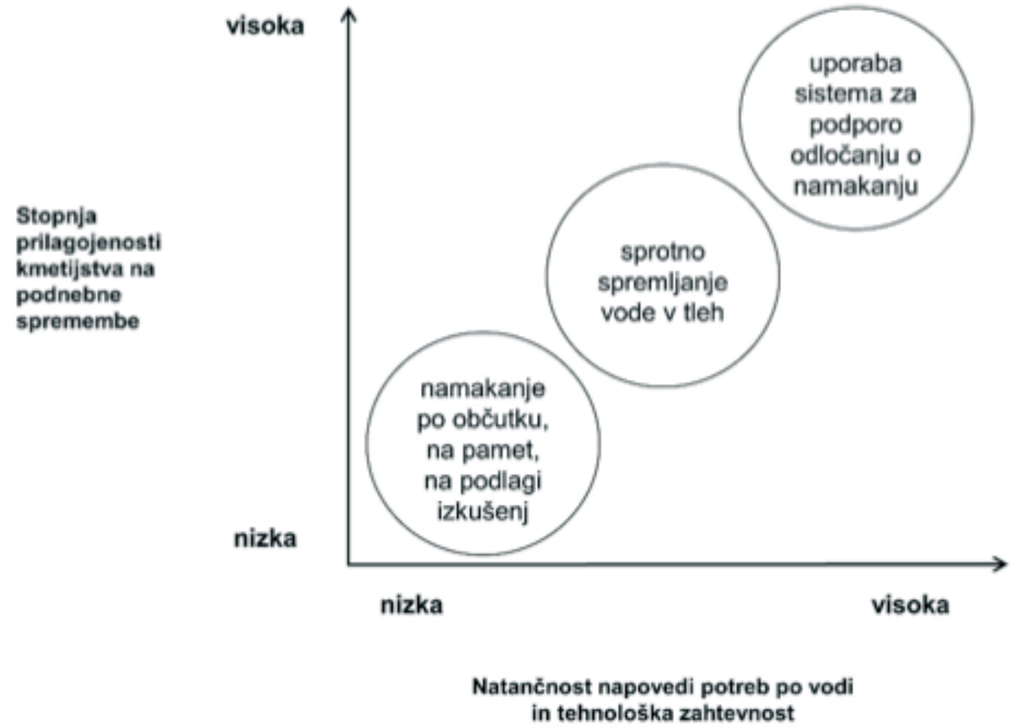
Slika 3: Modul spletni vmesnik SPON

V SPON so možne dodatne izboljšave, npr. implementacija dodatnih strategij v model IRRFIB. SPON bi v vsakdanje aktivnosti pridelovalca, ki so povezane z vodenjem namakanja na kmetiji, bolje vključili z razvojem SPON aplikacije za pametni telefon.

Za kakovostne napovedi je treba ustrezno določiti vodnozadrževalne lastnosti tal: poljsko kapaciteto, ki je zaradi razhajanj med laboratorijsko določbo in terenskim stanjem najtočneje določena iz grafa kontinuiranih meritev vsebnosti vode v tleh, ter točko venenja, ki je v praksi najbolj zanesljivo določena z uporabo tlačne posode. Velik izziv pri vpeljavi SPON je tudi merilna oprema: za točne meritve vsebnosti vode v tleh moramo preveriti, ali je v danih tleh, ob uporabi izbranega merilnika, potrebna uporaba talno specifične kalibracije; kam merilnike namestiti, da so meritve čim bolj reprezentativne za celotno njivo oz. sadovnjak; kdo bo opremo strokovno vgradil in preverjal, ali deluje pravilno.

Največji izziv je zagotovo izobraževanje pridelovalcev za povečanje zavedanja o strokovno pravilnem namakanju. To v naših podnebnih razmerah zajema predvsem čas začetka namakanja, količino vode v obroku ter ohranjanje količine vode v tleh med poljsko kapaciteto (ali malo pod njo) in kritično točko (KT). Dopolnjevati je treba tudi znanje o lastnostih tal in poznavanje potreb rastlin po vodi v različnih fazah razvoja rastline.

Iz dosedanjih izkušenj v projektu LIFE ViVaCCAdapt in po poročanjih raziskovalcev iz tujine lahko sklenemo, da je uvajanje inovativnih tehnologij v kmetijstvo proces, ki zahteva čas in ne zagotavlja sprememb čez noč. Pri tem je pomembno individualno delo s pridelovalci. Na ta način bodo pridelovalci v nekaj letih (pričakovano je obdobje pet let) postopoma prešli z odločanja o namakanju po občutku na sprotno (dnevno) spremljanje vsebnosti vode v tleh ter bodo začeli v odločanje o namakanju vključevati tudi SPON. S tem bodo prešli s tehnološko manj zahtevnih orodij na tehnološko bolj zahtevna in povečali tudi stopnjo prilagojenosti kmetijstva na podnebne spremembe (Slika 4). Simulacije in izkušnje iz projekta LIFE ViVaCCAdapt kažejo, da so s postopnim uvajanjem SPON v odločanje o namakanju in postopno vpeljavo manjših (85 % kapacitete tal za vodo), a pogostejših obrokov namakanja možni povprečni prihranki vode (25 %) in energije (24 %), prav tako pa se v povprečju zmanjšajo tudi CO_2 emisije (24 %), ki nastajajo zaradi namakanja.



Slika 4: Stopnja prilagojenosti kmetijstva na podnebne spremembe v odvisnosti od natančnosti napovedi potreb po vodi

ZAHVALA

Pripravo prispevka sta omogočila projekt LIFE ViVaCCAdapt (Prilagajanje na vplive podnebnih sprememb v Vipavski dolini (LIFE15 CCA/SI/000070)), ki je sofinanciran tako s strani Evropske komisije (60 %) kot Ministrstva za okolje in prostor Republike Slovenije (20 %), ter projekt EIP PRO-PRIDELAVA (33133-1005/2018/19) (Povečanje produktivnosti kmetijske pridelave z učinkovito in trajnostno rabo vode), ki je sofinanciran s strani tako Evropskega kmetijskega sklada za razvoj podeželja (80 %) kot Programa razvoja podeželja Republike Slovenije (20 %). Agenciji Republike Slovenije za okolje se zahvaljujemo za pravico do uporabe modela IRRFIB.

LITERATURA IN VIRI

1. Allen, R. G., Perreira, L. S., Raes, D. in Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Food and Agriculture Organization.
2. Evett, S. R., Stone, K. C., Schwartz, R. C., O'Shaughnessy, S. A., Colaizzi, P. D., Anderson, S. K. in Anderson, D. J., 2019. Resolving discrepancies between laboratory-determined field capacity values and field

water content observations: implications for irrigation management. Irrig. Sci. 37, 751–759. https://doi.org/10.1007/s00271-019-00644-4

3. Fares, A. in Alva, A. K., 2000. Evaluation of capacitance probes for optimal irrigation of citrus through soil moisture monitoring in an entisol profile. Irrig. Sci. 19, 57–64. https://doi.org/10.1007/s002710050001
4. Matula, S., Bat'kova, K. in Legese, W. L., 2016. Laboratory performance of five selected soil moisture sensors applying factory and own calibration equations for two soil media of different bulk density and salinity levels. Sensors 16, 1912. https://doi.org/10.3390/s16111912
5. Parvin, N. in Degre, A., 2016. Soil-specific calibration of capacitance sensors considering clay content and bulk density. Soil Research 54. https://doi.org/10.1071/SR15036
6. Pintar, M., 2003. Osnove namakanja s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v severovzhodni Sloveniji. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.
7. Pintar, M., 2006. Osnove namakanja s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v zahodni, osrednji in južni Sloveniji. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.
8. Provenzano, G., Rallo, G. in Ghazouani, H., 2015. Assessing field and laboratory calibration protocols for the diviner 2000 probe in a range of soils with different textures. journal of irrigation and drainage engineering 142, 04015040. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000950
9. Richards, L. A., 1941. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution: Soil Science 51, 377–386. https://doi.org/10.1097/00010694-194105000-00005
10. Sevostianova, E., Deb, S., Serena, M., VanLeeuwen, D. in Leinauer, B., 2015. Accuracy of two electromagnetic soil water content sensors in saline soils. Soil Science Society of America Journal 79, 1752. https://doi.org/10.2136/sssaj2015.07.0271
11. Sušnik, A., Matajc, I. in Kodrič, I. 2006. Agrometeorological support of fruit production: application in SW Slovenia. Meteorological Applications, 13(S1): 81–86, doi: 10.1017/S1350482706002581.
12. Sušnik, A., 2014. Zasnove kazalcev spremljanja suše na kmetijskih površinah. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
13. Valher, A., 2016. Primerjava modelov za računanje vodne bilance tal. Diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko.
14. Zotarelli, L., Dukes, M. in Morgan, K. 2010. Interpretation of soil moisture content to determine soil field capacity and avoid over-irrigating sandy soils using soil moisture sensors. (1–7) Gainsville, FL: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. Dostopno na: https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE46000.pdf [27. 7. 2020].

UČINKOVITEJŠA RABA VODE IN HRANIL V RASTLINSKI PRIDELAVI ZA VAROVANJE IN IZBOLJŠANJE KAKOVOSTI VIROV PITNE VODE

doc. dr. MATJAŽ GLAVAN[1], doc. dr. VESNA ZUPANC[2], asist. dr. ROZALIJA CVEJIĆ[3], ŠPELA ŽELEZNIKAR[4], MIHA CURK[5], URŠA PEČAN[6], dr. ROK MIHELIČ[7], doc. dr. MARJETKA SUHADOLC[8], dr. IGOR PRŠA[9], dr. JANKO URBANC[10], dr. SONJA CERAR[11], GORAN VIŽINTIN[12], dr. ANJA KOROŠA[13], dr. NINA MALI[14], ŠPELA ARH MARINČIČ[15], prof. dr. MARINA PINTAR[16]

Povzetek

Projekt Učinkovitejša raba vode in hranil v rastlinski pridelavi za varovanje in izboljšanje virov pitne vode (kratica URAVIVO) (2017-2020) je financirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost (ARRS). Podzemno vodno telo Krškega polja je glavni vir pitne vode za prebivalstvo na območju raziskovanja. Še posebej v njegovem jugozahodnem delu so vsebnosti nitrata v podzemni vodi nad 50 mg/l, kar ga uvršča med podzemna vodna telesa s slabim stanjem. Cilj projekta je bil izboljšanje režima upravljanja zemljišč v rastlinski pridelavi za izboljšanje kakovosti vode v plitvem vodonosniku Krškega polja. V prispevku predstavljamo: (1) razvoj nove formulacije organsko-mineralnega gnojila iz gnojevke; (2) vodni režim v rastlinski pridelavi na območju plitvih vodonosnikov; (3) modeliranje vodnega režima in bilance hranil v rastlinski pridelavi na območju plitvih vodonosnikov z modelom SWAT ter

1 Doc. dr. Matjaž Glavan, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, odgovorni avtor.
2 Doc. dr. Vesna Zupanc, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
3 Asist. dr. Rozalija Cvejić, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
4 Špela Železnikar, mag. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
5 Miha Curk, mag. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
6 Urša Pečan, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
7 Dr. Rok Mihelič, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
8 Doc. dr. Marjetka Suhadolc, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
9 Dr. Igor Prša, UNICHEM, proizvodnja kemičnih izdelkov, d.o.o.
10 Dr. Janko Urbanc, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije.
11 Dr. Sonja Cerar, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije.
12 Goran Vižintin, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije.
13 Dr. Anja Koroša, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije.
14 Dr. Nina Mali, univ. dipl. inž. geol., Geološki zavod Slovenije.
15 Špela Arh Marinčič, univ. dipl. inž. grad., Kostak, komunalno in gradbeno podjetje, d.d.
16 Prof. dr. Marina Pintar, univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.

(4) analizo in modeliranje kakovosti vode v plitvem vodonosniku Krškega polja z modelom MODFLOW.

Ključne besede: hranila, kmetijstvo, pitna voda, URAVIVO, varovanje vodnih virov, voda.

Abstract

The Efficient use of water and nutrients in crop production to protect and improve quality of drinking water resources (acronym URAVIVO) (2017-2020) was funded by the Research Agency (ARRS). The groundwater body of the Krško field is the main source of drinking water for the population in the research area. Especially in its southwestern part, nitrate contents in groundwater are above 50 mg/L what ranks it among groundwater bodies in poor condition. The aim of the project was to improve the management of land in crop production to impact the water quality in the shallow aquifer of the Krško polje. The paper presents: (1) development of a new formulation of organic-mineral fertilizer from slurry; (2) water regime in crop production in the area of shallow aquifers; (3) modeling of water regime and nutrient balance in crop production in the area of shallow aquifers with the SWAT model and (4) analysis and modeling of water quality in the shallow aquifer of the Krško field with the MODFLOW model.

Keywords: agriculture, drinking water, nutrients, URAVIVO, water, water resources protection.

1. UVOD

S svetovno porabo hrane se povečuje tudi poraba vode. Potrebe po njej zaradi človeške aktivnosti in s strani okolja se prekrivajo, kar se kaže v omejevanju dostopnih količin kot tudi slabšanju kakovosti vode. V prihodnje bo postala voda za kmetijstvo manj dostopna, kot je trenutno, zato so potrebne inovativne rešitve učinkovite rabe vode v kmetijstvu (Lenton, 2013). Sodobno namakanje z upoštevanjem potreb rastlin po vodi (tj. namakanje do točke poljske kapacitete) omogoča potencialno zmanjšanje spiranja nitrata proti podzemni vodi, pri čemer je uporaba dušičnih gnojil potencialno možna tudi na vodovarstvenih območjih (Zupanc et al., 2011). Inovativni pristop deficitnega namakanja omogoča, da kljub zmanjšanju porabljene količine vode povečamo količino, kakovost in stabilnost pridelka (Ruiz-Sanchez et al., 2010), manjša količina vode v tleh pa omogoča boljši izkoristek morebitnih padavin. Vendar je zaradi manjše količine vode v tleh zmanjšana tudi njihova mikrobna aktivnost, kar lahko upočasni mineralizacijo organskih gnojil in dostopnost dušika v njih (Xu et al., 2016), posledično pa spremeni potencial za spiranje nitrata proti podzemni vodi.

Velike živinorejske farme proizvajajo velike količine živinskih iztrebkov v obliki gnojevke, ki je tekoča mešanica blata in seča brez (ali z minimalno) nastilja. Gnojevka sicer vsebuje pomembno količino rastlinskih hranil, a zaradi velike vsebnosti vode prevoz na večjih razdaljah ni ekonomičen. Posledično so kmetijske površine v bližini farm (oddaljenost v radiju okoli 5 km) marsikje izrazito pregnojene in hranila slabo izkoriščena (Petersen in Mihelič, 2007). Gnojevka je zato pogosto eno glavnih onesnažil v okolju (Fangueiro et al., 2014), izziv je iz nje dobiti formulacijo organskega ali organsko-mineralnega čvrstega gnojila, ki omogoča daljše skladiščenje in ekonomičen prevoz. Še posebej, ker sicer redke analize ekološkega odtisa (Ecological Footprint Analysis) kažejo, da uporaba klasičnih mineralnih gnojil povzroča večji odtis v okolju kot uporaba gnojevke (Cerutti et al., 2011).

Plitvi vodonosniki so še posebej ranljivi za onesnaženje s strani kmetijstva in tudi drugih virov (Burkart et al., 2008). Dodaten izziv pri iskanju rešitev za zmanjšanje onesnaženja podzemne vode povzroča tudi morebitna sprememba hidrogeološkega režima, npr. dvig nivoja podzemne vode zaradi izgradnje jezovnih zgradb. Odziv vodonosnika in okolice na spremembo toka vode je lokalno specifičen ter povezan z obsegom njegove spremembe (Poff in Zimmerman, 2010). Zaradi kompleksnosti problema onesnaženih vodonosnikov pod kmetijskimi površinami vlade in raziskovalci namenjajo veliko časa kot tudi denarnih sredstev za integracijo varstva okolja in kmetijstva (Volk et al., 2009) ter za dosego dobrega kakovostnega stanja vodnih teles, skladno s sprejeto vodno direktivo (WFD), ki določa pripravo načrtov upravljanja vodá (NUV). Z napredkom računalniške tehnologije so pomemben del okoljskega načrtovanja tudi različni modeli za simulacijo učinka kmetijskih praks na količinsko in kakovostno stanje vodnih virov (Kronvang et al., 2009).

Procesi, ki se odvijajo na površju in tleh vodonosnika ter v nenasičeni in nasičeni coni vodonosnika, so med seboj odvisni in prepleteni. Sedanja modelska orodja ne zmorejo celovito opisati celotnega sistema padavine-rastline-tla-podzemna voda, zato je nujno povezovanje modelskih orodij. Kombinacija modelov SWAT (Soil Water Assessment Tool), ki modelira učinke kmetijske dejavnosti na tla in talno vodo, ter MODFLOW (Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model), ki modelira tok podzemne vode, se je večkrat izkazala za zelo uspešno (Guzman et al., 2015), tudi na območju vodonosnika Dravskega polja (Urbanc et al., 2013).

V prispevku predstavljamo nekaj glavnih poudarkov projekta Učinkovitejša raba vode in hranil v rastlinski pridelavi za varovanje in izboljšanje virov pitne vode (URAVIVO). Glavni cilj projekta je bil izboljšati režim upravljanja zemljišč v funkciji rastlinske pridelave za izboljšanje kakovosti vode v plitvem vodonosniku Krškega polja ob spremenjenih hidrološko-hidrogeoloških razmerah.

2. METODE IN MATERIALI

2.1 Območje raziskovanja

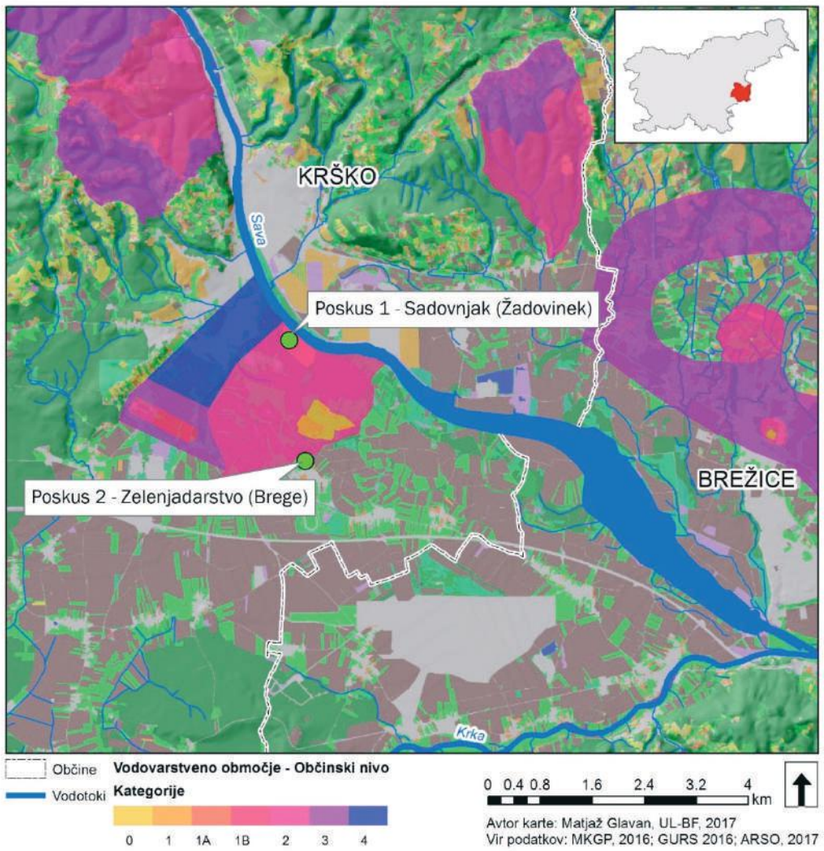
Podzemno vodno telo Krškega polja je glavni vir pitne vode za prebivalstvo na območju raziskovanja (Slika 1). Še posebej v njegovem jugozahodnem delu so vsebnosti nitrata v podzemni vodi nad 50 mg/l (Poročilo podzemne vode, 2014), kar ga uvršča med tista s slabim stanjem (Načrt upravljanja voda za obdobje 2016-2021, 2016). Posledica tega pa je zaprto lokalno črpališče pitne vode Drnovo (Kostak, 2014).

Povečana vsebnost nitrata v podzemni vodi je večinoma posledica uporabe mineralnih in živinskih gnojil. Na izpiranje dušika iz razpršenih virov običajno vplivajo čezmerna uporaba gnojil, neugodne vremenske razmere, neprimeren kolobar in neuporaba podorin oz. posevkov lovilcev dušika. Na obravnavanem območju največjo obremenitev okolja z nitrati predstavlja nestrokovna uporaba gnojevke (INFRA, d.o.o., in HESS, d.o.o., 2013), ki je v veliki meri posledica prisotnosti prašičerejske farme Pristava (Petersen in Mihelič, 2007). Predelava gnojevke v formulacijo organskega ali organsko-mineralnega gnojila, ki omogoča daljše skladiščenje in prevoz, je potencialna rešitev, še posebej, ker je lahko okoljski odtis organskih gnojil manjši kot mineralnih. NUV predvideva izboljšanje stanja vodonosnika (Načrt upravljanja voda za obdobje 2016-2021, 2016), zato bo treba pristopiti k izdelavi scenarijev izboljšanih kmetijskih praks za povečanje vsebnosti organske snovi v tleh in za zmanjšanje izgube hranil, kar je v skladu tudi z iskanjem nove formulacije gnojila iz gnojevke ter možnega povečanja potenciala za mikrobiološko pestrost kot tudi aktivnost v tleh.

Dodatno spremenljivko v tem prostoru in raziskovalni izziv pomeni spremenjen hidrogeološki režim zaradi predvidenega dviga nivoja podzemne vode (INFRA, d.o.o., in HESS, d.o.o., 2013) zaradi gradnje hidroelektrarn na spodnji Savi.

2.2 Metodološke osnove

Rezultate s poljskih poskusov na lokacijah Žadovinek (poskus v sadovnjaku) in Brege (poskus za pridelavo paprike) (Slika 1) smo uporabili kot vhodne podatke za modeliranje procesov razporejanja nitrata v sistemu tla-rastlina-podzemna voda ter za oblikovanje scenarijev kmetijske dejavnosti na območju Krškega polja. Z uporabo modelov SWAT in MODFLOW smo določili potencialna kritična območja, ki so zaradi lastnosti tal ob dani in v scenarijih predvideni kmetijski praksi najbolj izpostavljena za izpiranje nitrata. Tako smo oblikovali celovit program sistema odločanja, ki vključuje analize, modeliranje in sodelovanja z ljudmi na območju, da prilagodijo svoje kmetijske prakse v smeri zmanjševanja vnosov nitrata v podzemno vodo.



Slika 1: Vodovarstvena območja za pitno vodo na Krškem polju
(rumeno – najožje območje z najstrožjim režimom; modro – širše z manj strogim režimom)

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Nova formulacija gnojila iz gnojevke

Zdrava tla imajo bistveno več kalcija kot kalija, razmerje Ca : K = 20 – 40 : 1. V goveji gnojevki je obratno razmerje Ca : K = 0,2 – 0,5 : 1. Dodatek kalcija v gnojevko je zato zelo dobrodošel za kakovost življenjskega okolja za koristne mikroorganizme v gnojevki kot tudi po gnojenju za kakovost tal. V laboratorijskih testih smo preučili učinke dodatkov snovi za izboljšanje ionskega in elementarnega ravnovesja (Ca : K : Mg; N : S) ter pufrne sposobnosti (apnenec, sadra) prašičje in goveje gnojevke.

Odmerki sadre so zmanjšali izgube N iz prašičje gnojevke v povprečju za okoli 5 do 7 %. Pri dodatku apnenca so se izgube N zmanjšale v povprečju za okoli 12 %. Dodatek žveplene kisline, s katerim smo znižali pH gnojevke <5,5, je izgube N iz prašičje gnojevke v celoti preprečil. Ugotovili smo, da sadra pozitivno vpliva na tla in da z njo lahko povečamo pridelke ovsa tudi

v tleh, ki sicer že imajo zadosti kalcija. Pozitiven vpliv sadre na rast rastlin je povzročil boljše izkoriščanje dušika iz tal in delno tudi iz gnojevk. Na podlagi laboratorijskih in lončnih poskusov bi za uspešno vezavo amonijskega dušika priporočali odmerek 6 g sadre/1 g skupnega N v gnojevki, kar z drugimi besedami pomeni, da bi v m^3 gnojevke morali vmešati okoli 30 do 60 kg sadre (Calcin-S). Kot dober vir kalcija in deloma tudi zmanjšanje tvorbe hlapnega amonijaka se je potrdil tudi mleti apnenec. Priporočamo dodatek 50 do 100 kg apnenca/m^3 gnojevke.

S pomočjo pregleda pisnih virov in konkretnih meritev smo preučili tudi dodajanje snovi za absorpcijo vode ter adsorpcijo ionov na površino in v kristalno rešetko aditivov, kot so biooglje in naravni zeoliti. Uporaba naravnih zeolitov je zelo uspešna, saj ti lahko izmenljivo vežejo veliko ionov v kristalno rešetko. Kationska izmenjalna kapaciteta (KIK) za zeolitni tuf iz Zaloških Goric znaša 129 do 153 $mmol_c$/100 g, kar je več, kot smo izmerili v doma narejenem biooglju pri pirolizi smrekovih vej, 96 $mmol_c$/100 g, pri velikosti delcev oglja 2 do 5 mm. Za določevanje KIK smo morali razviti/poiskati pravo metodo. Biooglje lahko adsorbira precejšnjo količino ionov, ki pa niso vsi ionsko vezani na površino. Vsota bazičnih kationov je, npr., pri biooglje + gnojevka 139 % od kationske izmenjalne kapacitete, pri samem biooglju pa vsota bazičnih kationov predstavlja zgolj 19 % potencialne KIK. Surovo, nenasičeno biooglje ima torej prosta mesta za vezavo kationov, ki se nasitijo pri namakanju biooglja v govejo gnojevko.

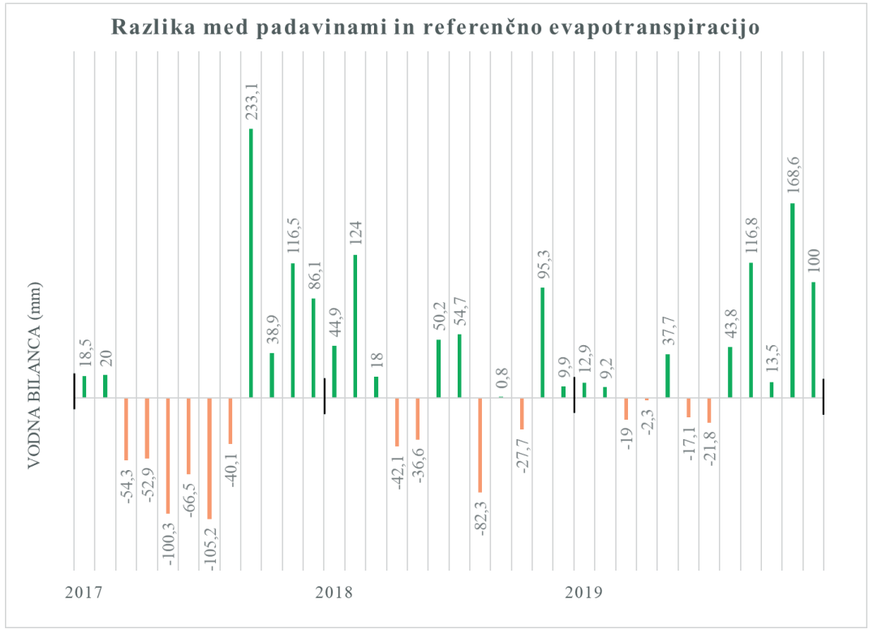
Iz kurjega gnoja, čvrstega dela digestata ali prašičje gnojevke po mehanski separaciji se lahko formulira tržno zanimivo gnojilo. Z uporabo navedenih treh osnovnih substratov kot tudi z dodatki biooglja in vermikulita smo izboljšali fizikalno-kemijske lastnosti gnojila ter zmanjšali neprijetne vonjave. Pri poskusnem peletiranju smo najboljše lastnosti dobili pri mešanici kurjega gnoja in separata prašičje gnojevke z dodatki biooglja. Na podlagi modelnega scenarija smo prikazali, da je separacija učinkovit postopek, s katerim lahko naredimo hranilno bogato tržno organsko gnojilo in tako odprodamo presežni del hranil iz intenzivne prašičerejske farme. V čvrsti del prašičje gnojevke preide 25 do 35 % N, 55 do 65 % P in 20 do 30 % K. Posledično je v okolici farme potrebnih manj površin za gnojenje, zmanjšajo se stroški prevoza, hkrati pa tako varujemo še okolje. Zaradi velike vsebnosti rastlinskih hranil, predvsem fosfata, smejo biti odmerki takega gnojila razmeroma majhni, v povprečju do 2,5 t/ha letno, zato kljub veliki vsebnosti organske snovi (20 % C) táko gnojilo ni pomemben tvorec humusa v tleh.

3.2 Vodni režim v rastlinski pridelavi na območju plitvih vodonosnikov

Prisotnost vode v tleh je za kmetijsko pridelavo ključnega pomena, saj lahko zaradi sušnega stresa pride do slabše kakovosti ali celo izpada pridelka, v trajnih nasadih pa do odmrtja rastlin. Bolj skrit učinek nezadostne oskrbe z vodo je nezmožnost koriščenja hranil v tleh in posledično spiranje mobilnih oblik dušika v podzemno vodo. Voda vstopa v tla predvsem na enega od dveh načinov – kot infiltracija padavin ali pa kot dvig talne vode. V obeh primerih vstopajo vodne molekule v tla skozi prostore med talnimi delci, ki so različnih oblik in velikosti, odvisno od teksture tal, agrotehničnih ukrepov ter različnih drugih vplivov. V tem prispevku obravnavamo vodni režim z vidika vodne bilance na območju posavske regije v letih od 2017 do 2019 kot razliko med pritoki (tj. mesečnimi padavinami) in izgubo vode z rastlinskega pokrova, mesečno referenčno evapotranspiracijo (izračunana po Penman-Monteithovi metodi, ARSO, 2020).

Na letni ravni je bilo v letu 2017 na meteorološki postaji Cerklje ob Krki izmerjenih 1091,6 mm padavin, referenčna evapotranspiracija je bila 997,8 mm, kar je največ v obravnavanem obdobju. V letu 2018 je bilo najmanj padavin, in sicer 1057,5 mm, prav tako je bila najnižja referenčna evapotranspiracija 848,4 mm. V letu 2019, ki je bilo najbolj vodnato, je zapadlo 1316,1 mm padavin, referenčna evapotranspiracija je bila 873,8 mm. Visoko referenčno evapotranspiracijo v letu 2017 lahko obrazložimo z višjimi temperaturami zraka. V letu 2017 je bilo 45 dni s temperaturo zraka več kot 30 °C, v letu 2018 je bilo takih dni 32, v letu 2019 je maksimalna temperatura zraka presegla mejo 30 °C kar 37-krat (ARSO, 2020).

V obravnavanem obdobju 2017-2019 je bilo za posavsko regijo (meteorološka postaja letališče Cerklje ob Krki, ARSO, 2020) z vidika mesečne vodne bilance najbolj sušno leto 2017. V tem letu je bila negativna vodna bilanca neprekinjeno od marca do avgusta 2017 (Slika 2). Najbolj negativna mesečna vodna bilanca je bila v juliju (−105,1 mm). To kaže, da je bilo namakanje kot agrotehnični ukrep za uravnavanje vodnega režima ključnega pomena za zagotavljanje ugodnih razmer za rast rastlin in sprejem hranil. V letu 2018 so bili meseci z negativno vodno bilanco spomladanska april in maj, nato avgust (−85,1 mm) in oktober (−27,7 mm). Opazno je bilo manj padavin v zimskem obdobju 2018/2019, saj je po novembru 2018 (95,3 mm) od decembra do februarja zapadlo le 32 mm padavin. V letu 2019 so bili meseci z negativno vodno bilanco marec, april ter poletna junij in julij, vendar primanjkljaj ni bil tako izrazit kot v letu 2017 (Slika 2). Pri uravnavanju vodnega režima tal z namakanjem moramo biti posebej pozorni na sušna spomladanska obdobja na začetku vegetacijske dobe, kot je bilo to v primeru leta 2019, ko je bilo zimsko obdobje 2018/2019 skromno s padavinami.



Slika 2: Mesečna vodna bilanca (mm) za posavsko regijo za obdobje 2017-2019

3.3 Modeliranje vodnega režima in bilance hranil v rastlinski pridelavi na območju plitvih vodonosnikov z modelom SWAT

Model je zajel območje Krškega polja. Za umerjanje so bili uporabljeni dnevni podatki o količini vode v tleh, pridobljeni z meritvami v okviru delovnega paketa o vodnem režimu in bilanci hranil, za poskusni pa lokaciji, ki vsaka leži na enem od prevladujočih talnih tipov na območju. Prostorski vhodni podatki so bili pridobljeni iz javno dostopnih zbirk, ki smo jih v primeru fizikalnih lastnosti tal in kmetijskih kolobarjev dopolnili s terenskim delom, da bi lahko čim bolj verodostojno ponazorili lokalne značilnosti. Postopek postavitve modela je bil podrobneje predstavljen v objavi Analysis of Nitrate Pollution Pathways on a Vulnerable Agricultural Plain in Slovenia (Curk et al., 2020).

Za preučitev vpliva različnih načinov obdelave tal na izpiranje dušika s kmetijskih zemljišč smo oblikovali različne obdelovalne scenarije. Ti so zajeli več različic na polju prevladujočih načinov obdelave (poljedelstva, živinoreje, prašičereje, sadjarstva, vrtnarstva ipn.), ki smo jih oblikovali na podlagi terenskega dela, podatkov svetovalne službe in lastnega strokovnega znanja. Pri tem je ob vrednotenju scenarijev nujno zavedanje, da ti lahko služijo le kot okvirna informacija, saj je način obdelave dinamičen element, ki se lahko zaradi različnih okoljskih, ekonomskih ali sociooloških vplivov hitro spreminja. V nadaljevanju je nanizanih nekaj glavnih poudarkov.

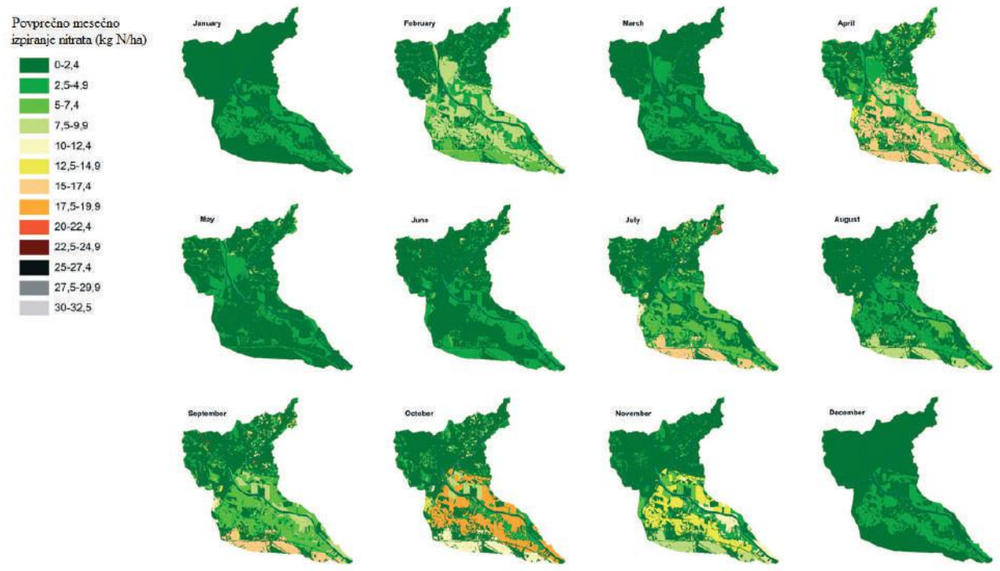
V enem od sklopov scenarijev smo primerjali izpiranje na njivskih in travniških površinah z upoštevanjem ukrepov različnih vodovarstvenih območij (VVO) z izpiranjem na njivah in travnikih zunaj VVO. Pri ukrepih v veljavi znotraj VVO2 in VVO3 omejitve niso prinesle bistveno boljših rezultatov v primerjavi s konvencionalnimi praksami zunaj območja, kar je glede na ohlapne omejitve tudi pričakovano. V primeru VVO1 je bilo zmanjšanje izpiranja večje, vendar hkrati odvisno od lastnosti tal.

Lastnosti tal bi bilo treba pri načrtovanju vodovarstvenih režimov in obdelave zemljišč na splošno bolj upoštevati, saj je primerjava različnih obdelovalnih praks za glavne talne tipe na območju pokazala precejšnjo variabilnost (Curk et al., 2020). Vrtnarska pridelava je v nekaterih scenarijih pokazala najmanj ugodno bilanco dušika na plitvih obrečnih tleh, medtem ko je bila pri nekaterih govedorejskih scenarijih ta slabša na globljih obrečnih tleh. Ločnico med obrečnimi in evtričnimi rjavimi tlemi lahko opazimo tudi na sliki 3, kjer se v januarju in februarju povečano izpiranje razmeroma dobro ujema z območjem, kjer se nahajajo obrečna tla. Upoštevanje lastnosti tal pri načrtovanju obdelave bi bilo torej v luči zmanjševanja izpiranja nitrata zelo smiselno, vendar bi bilo treba za takšne namene predhodno izboljšati ločljivost pedološke karte na ranljivih območjih (na glavnem kmetijskem območju nad vodnim telesom Krške kotline so v pedološki karti definirane zgolj tri pedokartografske enote).

Na preučevanem območju nezanemarljiv delež zemljišč zasedajo sadovnjaki, ki so po načinu obdelave (negovana ledina v medvrstnem prostoru) deloma podobni travniški rabi. Z vidika bilance dušika se je sadjarstvo pokazalo kot dobra alternativa njivski in vrtnarski pridelavi, ki bi jo veljalo spodbujati tudi zaradi precej nizke samooskrbe s sadjem v Sloveniji.

Travniška raba ima ob gnojenju po strokovnih priporočilih ugoden vpliv na letno bilanco dušika, vendar se ta v scenarijih povprečnega gnojenja na območju poslabša zaradi večkratnega hkratnega nanosa gnojevke in mineralnih gnojil. Takšne prakse so posledica velikih količin gnojevke, ki jo je težko prevažati na večje razdalje in jo zato kmetje nanašajo na površine v okolici kmetij. Natančno gnojenje, kjer bi kmetje odmerke prilagajali potrebam rastlin in bi se manj zanašali na generične smernice, bi bilo glede na rezultate simulacij zanimiva možnost za izboljšave v bilanci dušika, vendar bi bilo to zaradi množice dejavnikov in z modeliranjem povezane negotovosti smiselno preizkušati tudi v naravi, npr. na za to vzpostavljenih demonstracijskih poljih.

Rezultati modeliranja se v splošnem ujemajo tudi z glavnimi poudarki projekta V4-1058 (2013), ki se je izvajal na Dravskem polju in je deloma vključeval podobne raziskovalne pristope.



Slika 3: Prikaz povprečnega izpiranja nitrata po posameznih mesecih v letu

3.4 Analiza in modeliranje kakovosti vode v plitvem vodonosniku Krškega polja z modelom MODFLOW

Delovni sklop je razdeljen na več nalog, s katerimi smo želeli pridobiti čim bolj celovito sliko o hidrogeoloških pogojih in značilnostih onesnaženja podzemne vode vodonosnika Krško-Brežiškega polja: (1) Terenske meritve in vzorčenje podzemnih vod; (2) Izdelava tematskih GIS kart območja vodonosnika Krškega polja; (3) Izdelava konceptualnega in hidravličnega modela vodonosnika Krškega polja; (4) Opredelitev hidravlične povezave med reko Savo in vodonosnikom; (5) Ocena možnosti rabe podzemne vode Krškega polja za namakanje ter (6) Ocena možnosti ponovne vključitve črpališča Drnovo v vodooskrbni sistem.

Terenske meritve in vzorčenje podzemne vode na območju vodonosnika Krško-Brežiškega polja so bili izvedeni trikrat v letih od 2018 do 2019 v hidroloških pogojih baznega toka. Vzorčenje je potekalo v podrobni merilni mreži na 39-ih merilnih mestih v letu 2018 in 36-ih merilnih mestih v letu 2019.

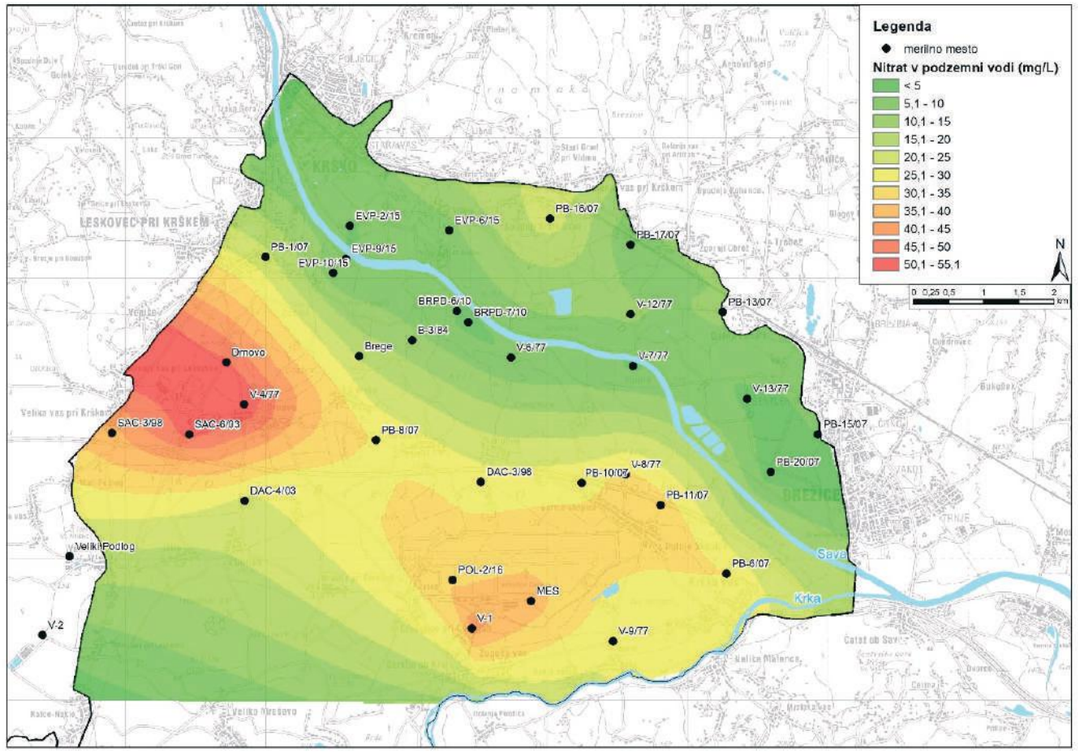
Na podlagi rezultatov meritev je bilo pripravljenih več tematskih kart, ki podrobneje pojasnjujejo hidrokemijske razmere vodonosnika Krško-Brežiškega polja: (i) Karta nivojev podzemne vode; (ii) Karta rabe prostora na območju vodonosnika Krško-Brežiškega polja; (iii) Karta električne prevodnosti podzemne vode; (iv) Karta koncentracij nitratov v podzemni vodi in (v) Karta izotopske sestave kisika-18 v podzemni vodi.

Porazdelitev električne prevodnosti podzemne vode jasno kaže na vpliv reke Save, ki ob mešanju s podzemno vodo znižuje električno prevodnost podzemne vode. Učinki mešanja rečne in podzemne vode so še posebej pomembni, ker zmanjšujejo tudi koncentracije onesnaževal v podzemni vodi, npr. nitrata ali pesticidov.

V zvezi s problematiko onesnaženja vodonosnika Krško-Brežiškega polja je vsekakor najbolj zanimiva karta koncentracij nitrata v podzemni vodi (Slika 4). Za izdelavo karte so bile uporabljene povprečne vrednosti vseh vzorčevalnih serij. Prostorska porazdelitev je izdelana s pomočjo interpolacijske metode »Natural Neighbour« v programskem orodju ArcGIS – ArcMap 10.5.

Karta koncentracij nitrata v podzemni vodi vodonosnika Krško-Brežiškega polja kaže, da se povišane vrednosti nitrata v podzemni vodi pojavljajo predvsem v širokem pasu osrednjega dela Krškega polja, ki poteka v smeri proti jugovzhodu, od Drnovega do Cerkelj ob Krki. Na pasu povišanih koncentracij nitrata imamo dve območji, kjer so koncentracije nitrata še posebej visoke. Prvo območje se nahaja na območju Drnovega. Ocenjujemo, da na tem območju prihaja do visokih koncentracij nitrata v podzemni vodi zaradi dveh vzrokov: intenzivne kmetijske rabe prostora v napajalnem območju vodonosnika in odsotnosti kakršnega koli vpliva komponente reke Save na podzemno vodo. Drugo območje povečanih koncentracij nitrata, ki trenutno še ne presega najvišjih dovoljenih vrednosti, se nahaja na širšem območju letališča Cerklje ob Krki. Povečanih koncentracij nitrata na tem območju za zdaj še ne znamo pojasniti. Za modeliranje prenosa nitratov v podzemni vodi je bil uporabljen hidravlični model MODFLOW z modulom za simulacijo prenosa snovi MT3D. Kot vhodni podatek so bili uporabljeni rezultati modela SWAT, s katerim modeliramo viške dušika, ki se izperejo v tla in naprej v podzemno vodo ob različnih kmetijskih praksah. Hidravlični model MODFLOW je bil uporabljen tudi za oceno učinkov morebitne rabe podzemne vode za namakanje kmetijskih površin.

V sklopu projekta URAVIVO je bila izdelana tudi ocena možnosti ponovne vključitve črpališča Drnovo v vodooskrbni sistem. Črpališče Drnovo je bilo v preteklosti zaradi pogostega preseganja najvišjih dovoljenih koncentracij nitrata v podzemni vodi namreč izključeno iz sistema za oskrbo s pitno vodo. Ugotovljeno je bilo, da na območju črpališča Drnovo prihaja do visokih koncentracij nitratov v podzemni vodi zaradi dveh vzrokov: intenzivne kmetijske rabe prostora v napajalnem območju vodonosnika in odsotnosti kakršnega koli vpliva komponente reke Save na podzemno vodo. Zaradi izrazito neugodne lege črpališča bi bilo treba zato izvajati zelo rigorozne zaščitne ukrepe, ki bi imeli vsekakor negativne posledice na kmetijsko pridelavo v napajalnem zaledju črpališča.



Slika 4: Karta koncentracij nitrata v podzemni vodi vodonosnika Krško-Brežiškega polja

4. ZAKLJUČKI

Na podlagi modelnega scenarija smo prikazali, da je separacija učinkovit postopek, s katerim lahko naredimo hranilno bogato tržno organsko gnojilo in tako odprodamo presežni del hranil iz intenzivne prašičerejske farme. V čvrsti del prašičje gnojevke preide 25 do 35 % N, 55 do 65 % P in 20 do 30 % K. Posledično je v okolici farme potrebnih manj površin za gnojenje, zmanjšajo se stroški prevoza, hkrati pa tako varujemo še okolje. Zaradi velike vsebnosti rastlinskih hranil, predvsem fosfata, smejo biti odmerki takega gnojila razmeroma majhni, v povprečju do 2,5 t/ha letno, zato kljub veliki vsebnosti organske snovi (20 % C) táko gnojilo ni pomemben tvorec humusa v tleh.

Prisotnost vode v tleh je za kmetijsko pridelavo ključnega pomena, saj lahko zaradi sušnega stresa pride do slabše kakovosti ali celo izpada pridelka, v trajnih nasadih pa do odmrtja rastlin. Bolj skrit učinek nezadostne oskrbe z vodo je nezmožnost koriščenja hranil v tleh in posledično spiranje mobilnih oblik dušika v podzemno vodo. Pri uravnavanju vodnega režima tal z namakanjem moramo biti posebej pozorni na sušna spomladanska obdobja na začetku

vegetacijske dobe, kot je bilo to v primeru leta 2019, ko je bilo zimsko obdobje 2018/2019 skromno s padavinami.

Natančno gnojenje, kjer bi kmetje odmerke prilagajali potrebam rastlin in bi se manj zanašali na generične smernice, bi bilo glede na rezultate simulacij zanimiva možnost za izboljšave v bilanci dušika, vendar bi bilo to zaradi množice dejavnikov in z modeliranjem povezane negotovosti smiselno preizkušati tudi v naravi, npr. na za to vzpostavljenih demonstracijskih poljih. Na območju črpališča Drnovo prihaja do visokih koncentracij nitratov v podzemni vodi zaradi dveh vzrokov: intenzivne kmetijske rabe prostora v napajalnem območju vodonosnika in odsotnosti kakršnega koli vpliva komponente reke Save na podzemno vodo. Zaradi izrazito neugodne lege črpališča bi bilo treba zato izvajati zelo rigorozne zaščitne ukrepe, ki bi imeli vsekakor negativne posledice na kmetijsko pridelavo v napajalnem zaledju črpališča.

ZAHVALA

Članek je nastal v okviru projekta URAVIVO (Učinkovitejša raba vode in hranil v rastlinski pridelavi za varovanje in izboljšanje virov pitne vode, L4-8221), ki so ga sofinancirali Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, Eltratec, d.o.o., HESS, d.o.o., Kostak, d.d., Občina Krško in UNICHEM, d.o.o. Avtorji se zahvaljujemo tudi podjetju Evrosad, d.o.o., Stojanu Efremovskemu in Francu Maroltu za površine in pomoč pri izvajanju poljskih poskusov.

LITERATURA IN VIRI

1. Burkart, M. R. in Stoner, J. D., 2008. Nitrogen in groundwater associated with agricultural systems. V: Hatfield, J. L., Follett, R. F. (ur.), Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management, Second edition. Elsevier, s. 177–202.
2. Cerutti, A. K., Bagliani, M., Beccaro, G. L., Gioelli, F., Balsari, P. in Bounous, G., 2011. Evaluation of the sustainability of swine manure fertilization in orchard through Ecological Footprint Analysis: results from a case study in Italy, J. of Cleaner Production, 19, 318–324.
3. Curk, M., Glavan, M. in Pintar, M., 2020. Analysis of Nitrate Pollution Pathways on a Vulnerable Agricultural Plain in Slovenia: Taking the Local Approach to Balance Ecosystem Services of Food and Water. Water; 12, 707, 15 str. doi:10.3390/w12030707
4. Fangueiro, D., Surgy, S., Napier, V. in Menaia, J., 2014. Impact of slurry management strategies on potential leaching of nutrients and pathogens in a sandy soil amended with cattle slurry. J. of Environ. Manag., 146, 198–205.
5. Guzman, J. A., Moriasi, D. N., Gowda, P. H., Steiner, J. L., Stark, P. J., Arnold, J. G. in Srinivasan, R., 2015. A model integration framework for linking SWAT and MODFLOW. Environmental Modelling & Software, 73, 103–116.
6. INFRA, d.o.o., in HESS, d.o.o., 2013. Program izvedbe objektov vodne, državne in lokalne infrastrukture ter objektov vodne in energetske infrastrukture v nedeljivem razmerju za HE Brežice.
7. Kostak, d.d., 2014. Povišane koncentracije nitratov v pitni vodi Krškega polja. Posavski obzornik, 13 (18), 11.
8. Kronvang, B., Behrendt, H. in Andersen, H. E., 2009. Ensemble modelling of nutrient loads and nutrient load partitioning in 17 European catchments. Journal of Environmental Monitoring, 11 (3), 572–583.
9. Lenton, R., 2013. Innovations to improve water productivity – Reflections. Acuatic Procedia, 1, 168–171.
10. Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2016-2021, 2016.
11. Petersen, S. O. in Mihelič, R., 2007. Recycling of livestock manure in whole-farm perspective. Livest. sci., 112, 3, 180–191.
12. Poff, N. L. in Zimmerman, J. 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. Freshwater Biology: 55 (1) 194–205.
13. Ruiz-Sanchez, M. C., Domingo, R. in Castel, J. R., 2010. Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. Spanish J. of Agric. Res., 8, 5–20.
14. Urbanc, J., Krivic, J., Mali, N., Ferjan Stanič, T., Koroša, A., Šram, D., Mezga, K., Bizjak, M. Medić, M., Bole, Z., Lojen, S., Pintar, M., Udovč, A., Glavan, M., Kacjan-Maršić, N., Jamšek, A., Valentar, V., Zadravec, D., Pušenjak, M. in Klemenčič Kosi, S., 2013. Možnosti kmetovanja na vodovarstvenih območjih. Zaključno poročilo projekta CRP, Geološki zavod Slovenije, arh. št. K-II-30d/c-1/785, Ljubljana.
15. Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla, 2013. Uradni list RS 99/2013.
16. V4-1058, 2013. Možnosti kmetovanja na vodovarstvenih območjih. Geološki zavod Slovenije; Institut »Jožef Stefan«; Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije – Kmetijsko gozdarski zavod Maribor; Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 10.2010-09.2013. Dostopno na: http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-HWYIJSVV [17. 6. 2020]
17. Volk, M., Liersch, S. in Schmidt, G., 2009. Towards the implementation of the European Water Framework Directive? Lessons learned from water quality simulations in an agricultural watershed. *Land Use Policy, 26* (3), 580–588.
18. Xu, S., Zhang, L., Zhou, L., Mi, J., McLaughlin, N. B. in Liu, J., 2016. Effect of synthetic and natural water absorbing soil amendments on soil microbiological parameters under potato production in a semi-arid region. E. J. of Soil Biology, 75, 8–14.
19. Zupanc, V., Burnik-Šturm, M., Lojen, S., Kacjan-Maršić, N., Adu-Gyamfi, J., Bračič-Železnik, B., Urbanc, J. in Pintar, M., 2011. Nitrate leaching under vegetable field above a shallow aquifer in Slovenia. *Agric., ecosys. & environ.*, vol. 144, 1, 167–174.

PRIMAlab
a member of the Metrohm group

Nudimo:

- Opremo za laboratorijsko in procesno analitiko
- Pilotne in industrijske inštalacije s kontrolno regulacijsko opremo
- Aplikativno podporo

Z uporabniki sodelujemo pri razvoju analiznih metod in testnih postopkov ter jim nudimo ustrezno izobraževanje. Inštrumente uvajamo v varno in učinkovito delo, skrbimo za redno vzdrževanje, popravila in preverjanje inštalirane opreme.

PRIMALAB d.o.o.
Pod Bregom 27,
3313 Polzela
Slovenija
+ 386 3 70 50 980
info@primalab.si
www.primalab.si

BAKTERIJE, ODPORNE PROTI ANTIBIOTIKOM, V BOLNIŠNIČNIH ODPADNIH VODAH

doc. dr. URŠKA ROZMAN[1], doc. dr. DARJA DUH[2], MOJCA CIMERMAN[3], red. prof. dr. SONJA ŠOSTAR TURK[4]

Povzetek

Bolnišnične odpadne vode predstavljajo zelo kompleksne iztoke, ki lahko delujejo kot »vroče točke« za bakterije, odporne proti antibiotikom. Še posebej pogosto se v bolnišničnih odpadnih vodah pojavljajo gram negativne bakterije z geni za večkratno odpornost proti antibiotikom. Namen raziskave je bil oceniti prisotnost bakterij iz družine Enterobacteriaceae, ki proizvajajo ESBL in karbapenemaze v odpadnih vodah iz ene slovenske in dveh avstrijskih bolnišnic z uporabo gojitvenih metod na selektivnih kromogenih gojiščih. Prav tako smo z metodo PCR v izoliranih bakterijah preverili prisotnost genov z zapisom za odpornost proti antibiotikom iz družin VIM, KPC, NDM, CTXM in OXA betalaktamaz. Bakterije iz družine Enterobacteriaceae, ki proizvajajo ESBL, so bile prisotne v koncentracijah do 10^7 cfu/mL. Enterobacteriaceae, ki proizvajajo karbapenemaze, so bile prisotne v koncentracijah do 10^5 cfu/mL. Od 89 PCR pomnožkov je bilo samo 36 pozitivnih na prisotnost različnih betalaktamaz, od teh so bili samo trije izolati identificirani kot večkratno odporni. Vodilna ESBL skupina je bila CTXM, potrjena pri 19 različnih izolatih, čemur je sledilo 10 OXA-48 pozitivnih in 10 VIM pozitivnih izolatov. KPC in NDM karbapenemaze niso bile potrjene. Bolnišnične odpadne vode lahko služijo kot rezervoar za skoraj vse klinično pomembne bakterije in gene z zapisom za odpornost proti antibiotikom. Pomen vrednotenja in poznavanja takšnih možnih okoljskih rezervoarjev je še posebej očiten, kadar primerov izbruhov okužb z bakterijami, odpornimi proti antibiotikom, ni mogoče povezati z epidemiološkim virom.

Ključne besede: bolnišnične odpadne vode, Enterobacteriaceae, ESBL, geni za odpornost proti antibiotikom, karbapenemaze.

Abstract

Hospital wastewaters are highly complex effluents acting as a hotspot for antibiotic resistant bacteria. Especially, Gram-negative bacteria bearing multiple antibiotic resistant genes are increasingly found in hospital wastewaters. The aim of this study was to evaluate the presence of extended spectrum betalactamases (ESBL) and carbapenemase producing Enterobacteriaceae in hospital wastewaters from one Slovenian and two Austrian hospitals, as well as the occur-

1 Doc. dr. Urška Rozman, prof. biol. in kem., Univerza v Mariboru, Fakulteta za zdravstvene vede.
2 Doc. dr. Darja Duh, univ. dipl. mikrobiol., Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za medicinsko mikrobiologijo, Oddelek za medicinsko mikrobiologijo Maribor.
3 Mojca Cimerman, univ. dipl. mikrobiol., Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za medicinsko mikrobiologijo, Oddelek za medicinsko mikrobiologijo Maribor.
4 Red. prof. dr. Sonja Šostar Turk, univ. dipl. inž. tekst., Univerza v Mariboru, Fakulteta za zdravstvene vede.

rence of antibiotic resistant genes encoding for VIM, KPC, NDM, CTXM and OXA beta-lactamases in isolates from hospital wastewater. The results indicated high levels of ESBL producing Enterobacteriaceae in ranges up to 107 cfu/mL. Carbapenemase producing Enterobacteriaceae and OXA 48-type CPE were present in ranges up to 105 cfu/mL. Out of 89 multiplied polymerase chain reaction (PCR) amplicons, only 36 were positive for different β-lactamase gene families, among those only three isolates were identified as multiresistant. The dominant ESBL family was CTXM in 19 different isolates. This was followed by 10 OXA-48 positive isolates and 10 VIM positive isolates. KPC or NDM carbapenemases were not identified with PCR screening of the isolates. Hospital wastewaters serve as a reservoir for nearly all clinically important antibiotic resistances. The importance of evaluating such potential environmental reservoirs is especially evident when outbreak cases could not be linked to an epidemiological source.

Keywords: antibiotic resistance genes, carbapenemases. Enterobacteriaceae, ESBL, hospital wastewater.

1. UVOD

Bolnišnične odpadne vode so zelo kompleksni iztoki, ki vsebujejo protimikrobne učinkovine, presnovne ostanke zdravil, dezinfekcijska sredstva (Emmanuel et al., 2005), izločke pacientov in mikroorganizme, ki lahko nosijo gene z zapisom za večkratno odpornost proti antibiotikom (Chang et al., 2010; Galvin et al., 2010; Chagas et al., 2011). Zato bolnišnične odpadne vode predstavljajo »vročo točko« za pojav odpornosti mikroorganizmov proti antibiotikom, kjer se ustvarjajo pogoji za izmenjavo genov. Predvsem gram negativne bakterije, ki proizvajajo betalaktamaze, so pogosto prisotne v bolnišničnih odpadnih vodah (Chagas et al., 2011; Zhang et al., 2012). Podatki so skladni s poročili o nadzoru nad pojavom protimikrobne odpornosti v Evropi (ECDC, 2017), ki poroča o naraščanju večkratno odpornih bakterij in visokem deležu izolatov, ki proizvajajo betalaktamaze z razširjenim spektrom delovanja (*angl. Extended--Spectrum Beta Lactamases* – ESBL), zaradi česar je oteženo zdravljenje bolnikov z okužbami, ki jih povzročajo takšni patogeni. Poleg negativnega vpliva na potek zdravljenja lahko pogosta odpornost med gram negativnimi bakterijami vodi do povišane rabe karbapenemskih antibiotikov, kar vpliva na pojav in razširjanje bakterij, odpornih proti karbapenemom.

Bolnišnične odpadne vode se odvajajo kot običajne komunalne vode na komunalno čistilno napravo, brez predhodne obdelave ali predčiščenja. Po obdelavi na komunalni čistilni napravi se voda najpogosteje odvaja v površinske vode. Tako lahko določeni patogeni mikroorganizmi ostajajo v vodnih okoljih dlje in s tem ustvarjajo okoljske rezervoarje za gene z zapisom za odpornost proti antibiotikom (*angl. Antibiotic Resistant Genes* – ARG) (Meirelles-Pereira et al., 2002; Perron et al., 2008). V zadnjih dveh desetletjih sta pojav antibiotikov v vodnih telesih in posledični razvoj bakterijske protimikrobne odpornosti postali pomembni temi na znanstvenem in javnozdravstvenem področju, ki predstavljata razlog za zaskrbljenost (Kümmerer, 2009a; Rodríguez-Gil et al., 2010). Bolnišnične odpadne vode so eden od virov, ki znatno prispevajo k obremenitvi okolja z antibiotiki in posledično protimikrobni odpornosti (Kümmerer, 2004; Zhang et al., 2009; Davies in Davies, 2010; Harris et al., 2012). Gene z zapisom za odpornost proti antibiotikom lahko najdemo skoraj v vseh okoljih; trenutno so obravnavani kot nastajajoče onesnaževalo in ekološki problem (Kümmerer, 2004; Engemann et al., 2008). Takšna okolja nudijo rezervoar za horizontalen prenos genov na pomembne človeške patogene in tako prispevajo k razširjanju protimikrobne odpornosti (Khan et al., 2013). Namen raziskave je bil oceniti prisotnost enterobakterij in ostalih bakterij, ki proizvajajo betalaktamaze in karbapenemaze (*angl. Carbapenemase Producing Enterobacteriaceae* – CPE), v bolnišničnih odpadnih vodah iz ene slovenske in dveh avstrijskih bolnišnic (Rozman et al., 2020).

2. MATERIALI IN METODE

Vzorčenje: vzorce bolnišničnih odpadnih vod smo pridobili na glavnem iztoku iz slovenske bolnišnice z 259 posteljami, avstrijske zasebne kirurške klinike s 44 posteljami in avstrijske zasebne rehabilitacijske klinike z 230 posteljami. Vzorčenje je potekalo v dveh zaporednih letih, v juliju 2017 in juliju 2018. Na vsakem vzorčnem mestu so bili vzorci vode odvzeti v 0,5-litrske sterilne steklenice, ki smo jih na ledu prenesli v laboratorij za mikrobiološko analizo.

Izolacija čistih kultur: za izolacijo ESBL in CPE bakterij smo v dveh ponovitvah nanesli 0,5 mL vzorca na selektivne agarje, prav tako smo na selektivna gojišča nanesli 0,1 mL raztopine po dvokratnem serijskem desetiškem redčenju, 4 mL vzorca pa smo filtrirali (celulozno nitratni filter, velikost por 0,45 µm, premer 47 mm) in filtre nanesli na selektivno gojišče. Uporabili smo selektivni gojišči ChromID ESBL (bioMérieux, France) in ChromID CARBA SMART (bioMérieux, France). Plošče smo inkubirali 24 ur pri 37 °C in izračunali cfu (*angl. Colony Forming Units* – cfu). Po navodilih proizvajalca smo kolonije ocenili kot:

Ec: *Escherichia coli* in
KESC: *Klebsiella, Enterobacter, Serratia, Citrobacter*.

Za pridobitev čistih kultur smo izbrane kolonije iz selektivnih gojišč prenesli na hranilno gojišče Tryptic soy broth in jih inkubirali 24 ur pri 37 °C. DNK smo izolirali z uporabo toplote, za kar smo do tri morfološko enake kolonije prenesli v sterilno mikrocentrifugirko s 500 µL deionizirane vode in segrevali 20 minut pri 99 °C. Nato smo mikrocentrifugirke takoj prenesli na –20 °C (Abdulsamad et al., 2009).

Identifikacija bakterij in določitev vzorcev za odpornost: za identifikacijo bakterijskih vrst smo uporabili metodo s tehnologijo ionizacije v matriksu z lasersko desorpcijo (MALDI – TOF) z MALDI Biotyper Smart (Bruker Daltonics, Massachusetts).

Izolate smo testirali na prisotnost petih različnih genov z zapisom za betalaktamaze (blaNDM, blaKPC, blaCTX-M, blaVIM, blaOXA-48) z uporabo specifičnih testov verižne reakcije s polimerazo v realnem času (*angl. real time PCR*) po predhodno opisanih protokolih (Rozman et al., 2020; Birkett et al., 2007; Khosravi in Mihani, 2008; Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2011).

3. REZULTATI Z RAZPRAVO

Odpornost bakterij proti antibiotikom je globalen javnozdravstveni problem, pri čemer bolnišnice in bolnišnične odpadne vode predstavljajo »vročo točko« za večkratno odporne bak-

terije. Predvsem je skrb vzbujajoča možnost razširjanja takšnih bakterij prek bolnišničnih odpadnih vod (Tuméo et al., 2008), vendar k protimikrobni odpornosti pomembno prispevata še nepravilna raba in odlaganje antibiotikov (Kümmerer, 2004).

3.1 Prisotnost ESBL in CARB/OXA odpornih bakterij v bolnišničnih odpadnih vodah

V raziskavi smo v bolnišničnih odpadnih vodah iz slovenske in avstrijskih bolnišnic zaznali visok nivo prisotnih bakterij iz družine Enterobacteriaceae, ki proizvajajo ESBL in karbapenemaze v koncentraciji do 10^7 cfu/mL, kar je skladno z rezultati podobnih študij (Morris et al., 2016; Le et al., 2016). Najvišje koncentracije ESBL bakterij iz družine Enterobacteriaceae, glede na identifikacijo z uporabo selektivnega gojišča ChromID ESBL, so bile prisotne v bolnišnični odpadni vodi iz slovenske bolnišnice, čemur sta sledili avstrijska rehabilitacijska klinika in avstrijska kirurška klinika. Koncentracije omenjenih bakterij se v odpadnih vodah iz slovenske bolnišnice med letoma 2017 in 2018 niso bistveno spremenile. V odpadni vodi iz avstrijske rehabilitacijske klinike so koncentracije ESBL bakterij iz skupine KESC ostale približno enake, medtem ko se je koncentracija izolatov *E. coli* med letoma 2017 in 2018 dvignila za eno logaritemsko stopnjo. Prav tako je za eno logaritemsko stopnjo narasla koncentracija ESBL bakterij iz avstrijske kirurške klinike (Tabela 1).

Tabela 1: Koncentracija ESBL bakterij iz družine Enterobacteriaceae v bolnišničnih odpadnih vodah iz Slovenije in Avstrije med letoma 2017 in 2018

	Slovenska splošna bolnišnica	Avstrijska rehabilitacijska klinika	Avstrijska kirurška klinika
Leto		**cfu / mL**	
ESBL			
Ec 17	8.40×10^5	2.60×10^4	1.10×10^4
Ec 18	$4.20E\times10^5$	2.20×10^5	2.70×10^5
KESC 17	$1.90E\times10^7$	7.60×10^5	9.40×10^3
KESC 18	1.30×10^7	2.70×10^5	1.70×10^5
CARB			
Ec 17	5.10×10^5	7.60×10^4	8.80×10^3
Ec 18	4.10×10^5	4.00×10^2	1.70×10^5
KESC 17	2.50×10^5	1.20×10^5	2.20×10^3
KESC 18	6.10×10^5	1.20×10^3	0
OXA			
Ec 17	5.10×10^5	7.50×10^3	1.00×10^5
Ec 18	2.50×10^4	2.70×10^4	0
KESC 17	2.50×10^5	1.20×10^3	0
KESC 18	2.00×10^3	1.60×10^3	0

ESBL: Extended spectrum producing Enterobacteriaceae; CARB: Carbapenemase producing Enterobacteriaceae (*Klebsiella pneumoniae* carbapenemase and metallo carbapenemase type CPE); OXA: OXA-48 type Carbapenemase producing Enterobacteriaceae.

Ec: *Escherichia coli*; KESC: *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter*.

Najvišje koncentracije enterobakterij, ki proizvajajo karbapenemaze, so bile, glede na identifikacijo z uporabo selektivnega gojišča ChromID CARB, ponovno prisotne v odpadnih vodah iz slovenske bolnišnice, čemur sta sledili avstrijska rehabilitacijska klinika in avstrijska kirurška klinika. Koncentracija bakterij, ki proizvajajo karbapenemaze, se v odpadnih vodah iz slovenske bolnišnice med letoma 2017 in 2018 ni bistveno spremenila, medtem ko je ta v odpadnih vodah iz avstrijske rehabilitacijske klinike padla za dve logaritemski stopnji (za obe skupini *E. coli* in KESC). V avstrijski kirurški kliniki je koncentracija *E. coli*, ki proizvajajo karbapenemaze, narastla za dve logaritemski stopnji, medtem ko se je koncentracija bakterij iz skupine KESC znižala za tri logaritemske stopnje in jih v letu 2018 nismo zaznali (Tabela 1).

Bakterije iz družine Enterobacteriaceae, ki proizvajajo OXA-48 betalaktamaze, so bile na vseh vzorčnih mestih prisotne v najnižjih koncentracijah. Ponovno so bile koncentracije najvišje v odpadnih vodah iz slovenske splošne bolnišnice, vendar so v enem letu padle za eno logaritemsko stopnjo. V avstrijski rehabilitacijski kliniki so koncentracije teh bakterij med letoma 2017 in 2018 ostale približno enake. V avstrijski kirurški kliniki smo v letu 2017 zaznali *E. coli* (tip OXA-48) v koncentraciji 10^5 cfu/mL, vendar jih v letu 2018 nismo ponovno zaznali, prav tako v obeh letih ni bilo prisotnih bakterij iz skupine KESC, ki proizvajajo OXA-48 betalaktamaze (Tabela 1).

Naj poudarimo, da smo v tej študiji uporabili selektivna kromogena gojišča, ki omogočajo hitro odkrivanje bakterij, ki proizvajajo betalaktamaze. Kljub temu pa s fenotipsko identifikacijo ne moremo razlikovati med specifičnimi razredi betalaktamaz in se, navkljub zagotovilom proizvajalca, lahko pojavljajo lažno pozitivni rezultati. Zato je molekularna karakterizacija zelo zaželena oz. nujno potrebna za natančne rezultate (Bakthavatchalam et al., 2016).

3.2 Identifikacija bakterij in določitev vzorca odpornosti

Za določitev vzorca odpornosti smo iz 89 kolonij iz selektivnih gojišč izolirali DNK ter opravili molekularno karakterizacijo za določitev enterobakterij in ostalih bakterij, ki proizvajajo betalaktamaze in karbapenemaze. Pomnožki različnih genov iz skupine betalaktamaz so bili potrjeni pri 36 od 89 DNK vzorcev (Tabela 2).

Tabela 2: Potrjeni vzorci različnih skupin betalaktamaz v izolatih, pridobljenih iz slovenskih in avstrijskih bolnišničnih odpadnih vod med letoma 2017 in 2018

Čas vzorčenja	Številka vzorca	Selektivno kromogeno gojišče	Vrsta	Gen za odpornost proti antibiotikom (ARG)				
				VIM	KPC	NDM	CTXM	OXA48
Slovenska splošna bolnišnica								
Julij 2017	1	CARB Ec	*Citrobacter freundii*	VIM	NEG	NEG	CTXM9	NEG
	4	CARB KESC	*Enterobacter kobei*	VIM	NEG	NEG	NEG	NEG
	5	ESBL KESC	*Enterobacter kobei*	VIM	NEG	NEG	NEG	NEG
	14	ESBL KESC	*Enterococcus faecium*	NEG	NEG	NEG	CTXM9	NEG
Julij 2018	1	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	2	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	3	ESBL Ec	*Citrobacter freundii*	NEG	NEG	NEG	CTXM9	NEG
	4	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	5	ESBL Ec	*Citrobacter freundii*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	8	ESBL KESC	*Klebsiella pneumoniae*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	11	CARB Ec	*Klebsiella oxytoca*	VIM	NEG	NEG	NEG	NEG
	13	CARB Ec	*Citrobacter freundii*	VIM	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	16	CARB KESC	*Klebsiella oxytoca*	VIM	NEG	NEG	NEG	NEG
	17	CARB KESC	*Klebsiella oxytoca*	VIM	NEG	NEG	NEG	NEG
	18	CARB KESC	*Klebsiella oxytoca*	VIM	NEG	NEG	NEG	NEG
	19	CARB KESC	*Klebsiella oxytoca*	VIM	NEG	NEG	NEG	NEG
	20	CARB KESC	*Klebsiella oxytoca*	VIM	NEG	NEG	NEG	NEG
	25	OXA KESC	*Pseudomonas mosselii*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	OXA48
Avstrijska rehabilitacijska klinika								
Julij 2017	22	OXA KESC	*Citrobacter amalonaticus*	NEG	NEG	NEG	NEG	OXA48
	23	OXA P	*Citrobacter freundii*	NEG	NEG	NEG	NEG	OXA48
	24	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM9	NEG
	25	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM9	NEG
Julij 2018	24	OXA Ec	*Citrobacter freundii*	NEG	NEG	NEG	NEG	OXA48
	25	OXA Ec	*Citrobacter freundii*	NEG	NEG	NEG	NEG	OXA48
	26	OXA Ec	*Citrobacter freundii*	NEG	NEG	NEG	NEG	OXA48
	27	OXA Ec	*Citrobacter freundii*	NEG	NEG	NEG	NEG	OXA48
	28	OXA KESC	*Klebsiella oxytoca*	NEG	NEG	NEG	NEG	OXA48
	29	OXA KESC	*Klebsiella oxytoca*	NEG	NEG	NEG	NEG	OXA48
	30	OXA KESC	*Citrobacter amalonaticus*	NEG	NEG	NEG	NEG	OXA48
Avstrijska kirurška klinika								
Julij 2017	32	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	33	ESBL Ec	*Bacillus subtilis*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
Julij 2018	1	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	2	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	3	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	4	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG
	5	ESBL Ec	*Escherichia coli*	NEG	NEG	NEG	CTXM1	NEG

Molekularna karakterizacija je edino orodje za razlikovanje med različnimi geni, ki kodirajo betalaktamaze (Bakthavatchalam et al., 2016). Z molekularnimi metodami lahko določimo natančen mehanizem, ki določa odpornost proti karbapenemom, kar je lahko v veliko pomoč pri preiskovanju izbruhov v bolnišnicah. Glavna omejitev teh metod je, da lahko s tehniko pomnoževanja nukleinskih kislin zaznamo samo že znane gene in zato lahko morebitne nove gene, ki kodirajo betalaktamaze, spregledamo (Lutgring in Limbago, 2016). V študiji smo opazili, da mehanizmi za odpornost niso bili povsem skladni z rezultati, pridobljenimi s kultivacijskimi metodami. Razloge lahko iščemo v dejstvu, da selektivna kromogena gojišča niso 100-odstotno specifična, hkrati pa se lahko po navodilih proizvajalca pojavljajo rast neodpornih sevov kot tudi bakterije z nepoznanimi mehanizmi za odpornost.

Rezultati v tabeli 2 potrjujejo prisotnost treh izolatov, ki so bili večkratno odporni s prisotnimi geni VIM/CTXM in CTXM/OXA (vzorci 1, 13, 25 slovenske splošne bolnišnice). Najpogosteje prisotna ESBL skupina je bila CTXM; genotip CTXM-1 je bil potrjen pri 14 različnih izolatih (*E. coli, Citrobacter freundii, Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas mosselii, Bacillus subtilis*) in genotip CTXM-9 pri petih različnih izolatih (*C. freundii, Enterococcus faecium, E. coli*). Sledilo je 10 OXA-48 pozitivnih izolatov (*P. mosselii, Citrobacter amalonaticus, C. freundii, Klebsiella oxytoca*) in 10 VIM pozitivnih izolatov (*C. freundii, Enterobacter kobei, K. oxytoca*). KPC in NDM karbapenemaz z metodo PCR med izoliranimi vzorci nismo zaznali (Tabela 2).

Večina odpornih bakterij je bila identificirana iz vzorca bolnišnične odpadne vode iz slovenske splošne bolnišnice, kjer je bilo kar 18 PCR pozitivnih vzorcev. Geni za odpornost proti antibiotikom so bili zaznani pri vrstah *C. freundii, E. kobei, E. faecium, E. coli, K. pneumoniae, K. oxytoca* in *Pseudomonas mosselli*. V odpadni vodi iz avstrijske rehabilitacijke klinike smo zaznali 11 PCR pozitivnih vzorcev z geni za odpornost proti antibiotikom pri vrstah *C. amalonaticus, C. freundii, E. coli* in *K. oxytoca*. V odpadni vodi iz avstrijske kirurške klinike smo zaznali samo 6 PCR pozitivnih izolatov *E. coli* in enega pri vrsti *B. subtilis* (Tabela 2).

Rezultati se do določene mere povezujejo s pojavom odpornih kliničnih izolatov, ki jih je bilo med letoma 2017 in 2018 v slovenski bolnišnici 42, dve ESBL pozitivni okuženi sta se pojavili v avstrijski rehabilitacijski kliniki, medtem ko v avstrijski kirurški kliniki ni bilo pozitivnih okužb z ESBL. Natančne povezave ni možno potrditi, saj ne obstaja informacija, da so omenjeni izolati povezani s tistimi iz bolnišničnih odpadnih vod.

Prav tako lahko ogromne razlike v rezultatih povežemo s podatki o porabi antibiotikov v omenjenih bolnišnicah. Medtem ko so v slovenski bolnišnici med letoma 2017 in 2018 porabili kar 52,85 kg betalaktamskih antibiotikov, so jih v avstrijski kirurški kliniki porabili le 3,18 kg in še manj v avstrijski rehabilitacijski kliniki. Prav tako je bila povprečna poraba karbapenemskih antibiotikov v obeh letih v slovenski splošni bolnišnici 1,74 kg, medtem ko jih v avstrijskih klinikah niso predpisovali. Ta dejstva močno podpirajo ugotovitve ostalih študij, da so geografski trendi odpornosti proti antibiotikom primerljivi z nacionalno ali lokalno porabo antibiotikov (Frost et al., 2019).

Kadar primerov izbruhov v bolnišnicah ne moremo povezati z epidemiološkim virom, se pojavi vprašanje o neidentificiranih bakterijskih rezervoarjih znotraj bolnišnice ali skupnosti. Nekaj takšnih izbruhov iz okoljskega prenosa CPE je že bilo opisanih v Avstraliji, Španiji in na Norveškem (Kotsanas et al., 2013; Tofteland et al., 2013; Vergara-López et al., 2013). V študiji, ki so jo opisali Clarivet in sodelavci, je rezervoar odpornih bakterij predstavljal sifon umivalnika v bolnišnični sobi s *K. pneumoniae* OXA-48 koloniziranim pacientom, povezanost kliničnih in okoljskih izolatov pa so potrdili z molekularno tipizacijo (Clarivet et al., 2016). Takšne študije nas opozarjajo, da je okoljske rezervoarje treba upoštevati kot možne vire prenosa CPE (Clarivet et al., 2016), ki jih moramo za nadzor izbruhov okužb z večkratno odpornimi bakterijami identificirati (Kotsanas et al., 2013).

Onesnaževanje okolja z antibiotiki je še posebej skrb vzbujajoče zaradi možnosti horizontalnega prenosa genov do klinično pomembnih patogenov (Martínez, 2008; Kraemer et al., 2019). Kljub temu da se določene količine odpornih bakterij odstrani s postopki čiščenja na komunalnih čistilnih napravah (Guardabassi et al., 2002; Martins da Costa et al., 2006), običajno čiščenje odpadne vode ne zadostuje za odstranjevanje higiensko pomembnih bakterij ali pa je odstranjevanje omejeno (Hembach et al., 2019). Koncentracije bakterij, odpornih proti antibiotikom, na iztoku iz komunalne čistilne naprave so dve do štiri logaritemske stopnje nižje kot na vtoku, kljub temu pa v iztokih te ostajajo v visokih koncentracijah (do 10^4 cfu/mL) (Hocquet et al., 2016; Pruden et al., 2006; Hembach et al., 2019), zaradi česar jih lahko najdemo v različnih vodnih okoljih. Prav tako je primerjava profilov odpornosti kliničnih in okoljskih izolatov iz komunalne čistilne naprave pokazala delno prekrivanje genotipov *P. aerugionsa,* odpornih proti karbapenemom (Golle et al., 2017).

Odpadne vode iz avstrijskih bolnišnic posredno prehajajo v reko Muro, kjer je bila potrjena prisotnost bakterij, ki izločajo ESBL in karbapenemaze, predvsem tipa CTX-M ESBL (Zarfel et al., 2017). Odpadne vode iz slovenskih bolnišnic posredno prehajajo v reko Dravo; obe reki, Mura in Drava, pa nato tečeta v reko Donavo. Tudi v Donavi je študija pokazala, da 39 % vseh *E. coli* izolatov in 15 % vseh *Klebsiella sp.* nosi vsaj en zapis za odpornost proti betalaktamom. Države ob nižjem toku Donave (Bolgarija in Romunija) imajo višji delež odpornih izolatov kot države v zgornjem delu reke (Nemčija, Avstrija, Madžarska). To nakazuje, da je reka Donava pomemben okoljski rezervoar za skoraj vse klinično pomembne mehanizme odpornosti pri enterobakterijah (Kittinger et al., 2016). Bolnišnične odpadne vode prispevajo le 2 % k skupnim komunalnim odpadnim vodam (Kümmerer, 2009b; Carraro et al., 2016), zato moramo upoštevati tudi druge vire dotoka odpornih bakterij, kot so izpusti iz kmetijstva in ribogojništva, ki jih je treba pozorno nadzirati (Lettieri et al., 2018).

4. ZAKLJUČEK

Evropska direktiva 91/271/EEC ne navaja posebnih omejitev za odvajanje bolnišničnih odpadnih vod, kar pomeni, da predobdelava ni potrebna in se lahko iztoki iz bolnišnic odvajajo v komunalne iztoke za obdelavo na komunalnih čistilnih napravah (Hocquet et al., 2016). Smiselno bi bilo razmisliti o prilagojenih ukrepih ali navodilih za zmanjšanje mikrobiološke kontaminacije odpadnih vod, ki vsebujejo patogene in odporne bakterije (Jäger et al., 2018). Reke Mura, Drava in Donava ustvarjajo edinstveno območje naravne in kulturne dediščine, med drugim so bile vse tri nominirane za varstvo v okviru Unescovega programa »Biosphere Reserves«, ki spodbuja rešitve za ohranjanje biotske raznolikosti in trajnostni razvoj. Nadaljnje raziskave so nujno potrebne za zaščito in upravljanje čezmejnih rečnih ekosistemov, kot je porečje Mure, Drave in Donave.

LITERATURA IN VIRI

1. Abdulsamad, A., Dashti, A. in Jadaon, M., 2009. Heat Treatment of Bacteria: A Simple Method of DNA Extraction for Molecular Techniques. *The Journal of the Kuwait Medical Association*, [Online] 41(2), pp. 117–122. Dostopno na: http://www.academia.edu/14010095/Heat_Treatment_of_Bacteria_A_Simple_Method_of_DNA_Extraction_for_Molecular_Techniques [19. 2. 2019].
2. Bakthavatchalam, Y., Anandan, S. in Veeraraghavan, B., 2016. Laboratory detection and clinical implication of oxacillinase-48 like carbapenemase: The hidden threat. *Journal of Global Infectious Diseases*, [Online] 8(1), pp. 41–50. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27013843 [22. 2. 2019].
3. Birkett, C. I., Ludlam, H. A., Woodford, N., Brown, D. F. J., Brown, N. M., Roberts, M. T. M., Milner, N. in Curran, M. D., 2007. Real-time TaqMan PCR for rapid detection and typing of genes encoding CTX-M extended-spectrumlactamases. *Journal of Medical Microbiology*, [Online] 56(1), pp. 52–55. Dostopno na: http://jmm.microbiologyresearch.org/content/journal/jmm/10.1099/jmm.0.46909-0 [21. 11. 2018].
4. Carraro, E., Bonetta, Si., Bertino, C., Lorenzi, E., Bonetta, Sa. in Gilli, G., 2016. Hospital effluents management: Chemical, physical, microbiological risks and legislation in different countries. *Journal of Environmental Management*, [Online] 168, pp. 185–199. Dostopno na: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715303753 [14. 11. 2019].
5. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2011. *Multiplex Real-Time PCR Detection of Klebsiella pneumoniae Carbapenemase (KPC) and New Delhi metallo-β- lactamase (NDM-1).* [Online] Multiplex Real-Time PCR Detection of KPC and NDM-1 genes. Dostopno na: https://www.cdc.gov/hai/pdfs/labsettings/KPC-NDM-protocol-2011.pdf.
6. Chagas, T. P. G., Seki, L. M., Cury, J. C., Oliveira, J. A. L., Dávila, A. M. R., Silva, D. M. in Asensi, M. D., 2011. Multiresistance, beta-lactamase-encoding genes and bacterial diversity in hospital wastewater in Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Applied Microbiology*, [Online] 111(3), pp. 572–581. Dostopno na: http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2672.2011.05072.x [28. 9. 2017].
7. Chang, X., Meyer, M. T., Liu, X., Zhao, Q., Chen, H., Chen, J., Qiu, Z., Yang, L., Cao, J., in Shu, W., 2010. Determination of antibiotics in sewage from hospitals, nursery and slaughter house, wastewater treatment plant and source water in Chongqing region of Three Gorge Reservoir in China. *Environmental Pollution*, [Online] 158(5), pp. 1444–1450. Dostopno na: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749109006423 [28. 9. 2017].
8. Clarivet, B., Grau, D., Jumas-Bilak, E., Jean-Pierre, H., Pantel, A., Parer, S. in Lotthé, A., 2016. Persisting transmission of carbapenemase-producing *Klebsiella pneumoniae* due to an environmental reservoir in a university hospital, France, 2012 to 2014. *Eurosurveillance*, [Online] 21(17), p. 30213. Dostopno na: http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=22457 [6. 1. 2017].
9. Davies, J. in Davies, D., 2010. Origins and evolution of antibiotic resistance. *Microbiology and molecular biology reviews : MMBR*, [Online] 74(3), pp. 417–33. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20805405 [7. 10. 2016].

10. ECDC, 2017. *Antimicrobial resistance surveillance in Europe 2015. Annual Report of the European Antimicrobial Resistance Survelliance Network (EARS-Net)*. [Online] Stockholm. Dostopno na: https://ecdc.europa.eu/sites/portal/files/media/en/publications/Publications/antimicrobial-resistance-europe-2015.pdf [17. 11. 2017].
11. Emmanuel, E., Perrodin, Y., Keck, G., Blanchard, J. M. in Vermande, P., 2005. Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network. *Journal of Hazardous Materials*, [Online] 117(1), pp. 1–11. Dostopno na: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389404004583?_rdoc=1in_fmt=highin_origin=gatewayin_docanchor=inmd5=b8429449ccfc9c30159a5f9aeaa92ffb#bib1 [28. 9. 2017].
12. Engemann, C. A., Keen, P. L., Knapp, C. W., Hall, K. J. in Graham, D. W., 2008. Fate of Tetracycline Resistance Genes in Aquatic Systems: Migration from the Water Column to Peripheral Biofilms. *Environmental Science in Technology*, [Online] 42(14), pp. 5131–5136. Dostopno na: http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es800238e [7. 11. 2018].
13. Frost, I., Van Boeckel, T. P., Pires, J., Craig, J. in Laxminarayan, R., 2019. Global geographic trends in antimicrobial resistance: the role of international travel. *Journal of Travel Medicine*, [Online] 26(8), pp. 1–13. Dostopno na: https://academic.oup.com/jtm/advance-article/doi/10.1093/jtm/taz036/5496989 [22. 11. 2019].
14. Galvin, S., Boyle, F., Hickey, P., Vellinga, A., Morris, D. in Cormican, M., 2010. Enumeration and characterization of antimicrobial-resistant Escherichia coli bacteria in effluent from municipal, hospital, and secondary treatment facility sources. *Applied and environmental microbiology*, [Online] 76(14), pp. 4772–9. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20525867 [28. 9. 2017].
15. Golle, A., Janezic, S. in Rupnik, M., 2017. Low overlap between carbapenem resistant Pseudomonas aeruginosa genotypes isolated from hospitalized patients and wastewater treatment plants. *PLOS ONE*, [Online] 12(10), p. e0186736. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29049368 [19. 2. 2019]
16. Guardabassi, L., Lo Fo Wong, D. M. in Dalsgaard, A., 2002. The effects of tertiary wastewater treatment on the prevalence of antimicrobial resistant bacteria. *Water Research*, [Online] 36(8), pp. 1955–1964. Dostopno na: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135401004298 [14. 11. 2019].
17. Harris, S. J., Cormican, M. in Cummins, E., 2012. Antimicrobial Residues and Antimicrobial-Resistant Bacteria: Impact on the Microbial Environment and Risk to Human Health—A Review. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, [Online] 18(4), pp. 767–809. Dostopno na: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10807039.2012.688702 [17. 11. 2017].
18. Hembach, N., Alexander, J., Hiller, C., Wieland, A. in Schwartz, T., 2019. Dissemination prevention of antibiotic resistant and facultative pathogenic bacteria by ultrafiltration and ozone treatment at an urban wastewater treatment plant. *Scientific reports*, [Online] 9(1), pp. 1–12. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31492933 [12. 11. 2019].
19. Hocquet, D., Muller, A. in Bertrand, X., 2016. What happens in hospitals does not stay in hospitals: antibiotic-resistant bacteria in hospital wastewater systems. *Journal of Hospital Infection*, [Online] 93(4), pp. 395–402. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26944903 [17. 8. 2018].
20- Jäger, T., Hembach, N., Elpers, C., Wieland, A., Alexander, J., Hiller, C., Krauter, G. in Schwartz, T., 2018. Reduction of Antibiotic Resistant Bacteria During Conventional and Advanced Wastewater Treatment, and the Disseminated Loads Released to the Environment. *Frontiers in microbiology*, [Online] 9, pp. 1–16. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30425704 [12. 11. 2019].
21. Khan, G. A., Berglund, B., Khan, K. M., Lindgren, P.-E. in Fick, J., 2013. Occurrence and Abundance of Antibiotics and Resistance Genes in Rivers, Canal and near Drug Formulation Facilities – A Study in Pakistan. *PLoS ONE*, [Online] 8(6), p. e62712. Dostopno na: http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0062712 [7. 11. 2018].
22. Khosravi, A. D. in Mihani, F., 2008. Detection of metallo-β-lactamase–producing Pseudomonas aeruginosa strains isolated from burn patients in Ahwaz, Iran. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, [Online] 60(1), pp. 125–128. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17900848 [21. 11. 2018].
23. Kittinger, C., Lipp, M., Folli, B., Kirschner, A., Baumert, R., Galler, H., Grisold, A. J., Luxner, J., Weissenbacher, M., Farnleitner, A. H. in Zarfel, G., 2016. Enterobacteriaceae Isolated from the River Danube: Antibiotic Resistances, with a Focus on the Presence of ESBL and Carbapenemases. *PLOS ONE*, [Online] 11(11), p. e0165820. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27812159 [7. 11. 2018].
24. Kotsanas, D., Wijesooriya, W. R. P. L. I., Korman, T. M., Gillespie, E. E., Wright, L., Snook, K., Williams, N., Bell, J. M., Li, H. Y. in Stuart, R. L., 2013. "Down the drain": carbapenem-resistant bacteria in intensive care unit patients and handwashing sinks. *The Medical Journal of Australia*, [Online] 198(5), pp. 267–269. Dostopno na: https://www.mja.com.au/journal/2013/198/5/down-drain-carbapenem-resistant-bacteria-intensive-care-unit-patients-and [6. 1. 2017].
25. Kraemer, S. A., Ramachandran, A. in Perron, G. G., 2019. Antibiotic Pollution in the Environment: From Microbial Ecology to Public Policy. *Microorganisms*, [Online] 7(6), pp. 1–24. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31234491 [14. 11. 2019].
26. Kümmerer, K., 2004. Resistance in the environment. *The Journal of antimicrobial chemotherapy*, [Online] 54(2), pp. 311–20. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15215223 [16. 1. 2017].
27. Kümmerer, K., 2009a. Antibiotics in the aquatic environment – A review – Part II. *Chemosphere*, [Online] 75(4), pp. 435–441. Dostopno na: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653508015099?via%3Dihub [14. 11. 2019].
28. Kümmerer, K., 2009b. The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use – present knowledge and future challenges. *Journal of Environmental Management*, [Online] 90(8), pp. 2354–2366. Dostopno na: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147970900022X [17. 11. 2017].
29. Le, T. H., Ng, C., Chen, H., Yi, X. Z., Koh, T. H., Barkham, T. M. S., Zhou, Z. in Gin, K. Y.-H., 2016. Occurrences and Characterization of Antibiotic-Resistant Bacteria and Genetic Determinants of Hospital Wastewater in a Tropical Country. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, [Online] 60(12), pp. 7449–7456. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27736769 [28. 9. 2017].
30. Lettieri, T., Sanseverino, I., Navarro Cuenca, A., Loos, R., in Marinov, D., 2018. *State of the art on the contribution of water to antimicrobial resistance.* [Online] Luxemburg: Publications Office of the European Union. Dostopno na: https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/state-art-contribution-water-antimicrobial-resistance [12. 11. 2019].
31. Lutgring, J. D. in Limbago, B. M., 2016. The Problem of Carbapenemase-Producing-Carbapenem-Resistant-Enterobacteriaceae Detection. *Journal of Clinical Microbiology*, [Online] 54(3), pp. 529–534. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26739152 [22. 2. 2019].
32. Martínez, J. L., 2008. Antibiotics and antibiotic resistance genes in natural environments. *Science (New York, N.Y.)*, [Online] 321(5887), pp. 365–7. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18635792 [14. 11. 2019].
33. Martins da Costa, P., Vaz-Pires, P. in Bernardo, F., 2006. Antimicrobial resistance in Enterococcus spp. isolated in inflow, effluent and sludge from municipal sewage water treatment plants. *Water Research*, [Online] 40(8), pp. 1735–1740. Dostopno na: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135406001308 [14. 11. 2019].
34. Meirelles-Pereira, F. de, Pereira, A. de M. S., Silva, M. C. G. da, Gonçalves, V. D., Brum, P. R., Castro, A. R. de, Pereira, A. A., Esteves, F. de A. in Pereira, J. A. A., 2002. Ecological aspects of the antimicrobial resistance in bacteria of importance to humn infections. *Brazilian Journal of Microbiology*, [Online] 33(4), pp. 287–293. Dostopno na: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextinpid=S1517-83822002000400002inlng=eninnrm=isointlng=en [16. 1. 2017].
35. Morris, D., Harris, S., Morris, C., Commins E. in Cormican, M., 2016. *EPA Research Report 162: Hospital effluent: impact on the microbial environment and risk to human health*. [Online] Dostopno na: https://www.researchgate.net/institution/EPA_Research_Ireland/post/59d3fc5c3d7f4b8b773fe21a_EPA_Research_Report_162_Hospital_effluent_impact_on_the_microbial_environment_and_risk_to_human_health [24. 2. 2020].
36. Perron, G. G., Gonzalez, A. in Buckling, A., 2008. The rate of environmental change drives adaptation to an antibiotic sink. *Journal of Evolutionary Biology*, [Online] 21(6), pp. 1724–1731. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18681913 [16. 1. 2017].
37. Pruden, A., Ruoting, P., Storteboom, H. in Carlson, K. H., 2006. Antibiotic Resistance Genes as Emerging Contaminants: Studies in Northern Colorado†. *Environ. Sci. Technol.*, [Online] 40(23), pp. 7445–50. Dostopno na: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es060413l [14. 11. 2019].
38. Rodríguez-Gil, J. L., Catalá, M., Alonso, S. G., Maroto, R. R., Valcárcel, Y., Segura, Y., Molina, R., Melero, J. A. in Martínez, F., 2010. Heterogeneous photo-Fenton treatment for the reduction of pharmaceutical contamination in Madrid rivers and ecotoxicological evaluation by a miniaturized fern spores bioassay. *Chemosphere*, 80(4), pp. 381–388.

39. Rozman, U., Duh, D., Cimerman, M. in Turk, S. Š., 2020. Hospital wastewater effluent: hot spot for antibiotic resistant bacteria. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*.

40. Tofteland, S., Naseer, U., Lislevand, J. H., Sundsfjord, A. in Samuelsen, Ø., 2013. A Long-Term Low--Frequency Hospital Outbreak of KPC-Producing Klebsiella pneumoniae Involving Intergenus Plasmid Diffusion and a Persisting Environmental Reservoir. *PLoS ONE*, [Online] 8(3), p. e59015. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23536849 [16. 1. 2017].

41. Tuméo, E., Gbaguidi-Haore, H., Patry, I., Bertrand, X., Thouverez, M. in Talon, D., 2008. Are antibiotic--resistant Pseudomonas aeruginosa isolated from hospitalised patients recovered in the hospital effluents? *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 211(1), pp. 200–204.

42. Vergara-López, S., Domínguez, M. C., Conejo, M. C., Pascual, Á. in Rodríguez-Baño, J., 2013. Wastewater drainage system as an occult reservoir in a protracted clonal outbreak due to metallo-β-lactamase-producing Klebsiella oxytoca. *Clinical Microbiology and Infection*, [Online] 19(11), pp. E490–E498. Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23829434 [16. 1. 2017].

43. Zarfel, G., Lipp, M., Gürtl, E., Folli, B., Baumert, R. in Kittinger, C., 2017. Troubled water under the bridge: Screening of River Mur water reveals dominance of CTX-M harboring Escherichia coli and for the first time an environmental VIM-1 producer in Austria. *Science of The Total Environment*, [Online] 593–594, pp. 399–405. Dostopno na: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717306575 [19. 2. 2019].

44. Zhang, X.-X., Zhang, T. in Fang, H. H. P., 2009. Antibiotic resistance genes in water environment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, [Online] 82(3), pp. 397–414. Dostopno na: http://link.springer.com/10.1007/s00253-008-1829-z [19. 9. 2016].

45. Zhang, X., Lü, X. in Zong, Z., 2012. Enterobacteriaceae producing the KPC-2 carbapenemase from hospital sewage. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, [Online] 73(2), pp. 204–206. Dostopno na: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0732889312000727 [28. 9. 2017].

O VODI SE UČIMO

MARIJA FRONTINI[1]

Povzetek

Pedagoško delo o pomenu vode vključuje različna področja.

Na razredni stopnji pri predmetu spoznavanje okolja učenci od prvega razreda devetletke naprej obravnavajo vodo in vodne vire. Pri naravoslovju v višjih razredih obravnava raztopine kot zmesi topila in topljencev. Učenci računajo masni delež raztopin pri kemiji v osmih in devetih razredih devetletke.

Poleg rednega pouka, ki poteka po učnem načrtu, z učenci izvajamo tudi raziskovalne naloge in različne projekte, npr. Vodni agent. Trudimo se za izobražene in dobro informirane posameznike, ki so se sposobni posvetovati, enakopravno sodelovati in soodločati o perečih sodobnih problemih, povezanih z rabo vodá. Prizadevamo si, da bi vodo prepoznali ne samo kot dobrino, ampak tudi kot vrednoto.

Osnovna šola je pomemben del v razvoju osebnosti vsakega posameznika. Je obdobje, ko se pri posamezniku oblikujejo temelji vrednostnega sistema. Vodni agenti ozaveščajo o pomenu vode. So droben smerokaz, ki z majhnimi koraki lahko prihodnje generacije pripeljejo v lepši jutri.

Ključne besede: izobraževanje, osnovna šola, projekti, raziskovanje, učni načrti, vrednote.

Abstract

Pedagogical work on the importance of water includes various areas. At the grade level in the subject of learning about the environment, students from the first grade deal with water and water resources. In higher classes solutions are treated as mixtures of solvent and solute. Student calculate the mass fraction of solutions an chemistry in the eight and nine class of primary school.

In addition to regular classes, which take place according to the curriculum, we also carry out research assignment and different project, such as Vodni agent.

We strive for educated and well- informed individuals who are able to consult, cooperate on equal footing and co-decide on issues related to water use. To recognize water not only as a good but also as a value.

1 Marija Frontini, univ. dipl. soc. ped., predmetna učiteljica kemije in gospodinjstva, Osnovna šola Šmartno v Tuhinju.

Elementary school is an important part in the development of an individual`s personality. It is the period when the foundations of the value system are formed in an individual. Water agents are raising awareness of the importance of water. They are a tiny signpost that, with small strokes, can lead future generations to a better tomorrow.

Keywords: curricula, education, primary school, projects, research, values.

1. UVOD

Pedagoško delo pomeni dejavnosti v individualni in skupinski obliki. Učence izobražujemo in vzgajamo. Voda ni samo dobrina, ampak je tudi vrednota.

2. VZGOJA IN IZOBRAŽEVANJE TER RAZISKOVANJE

V skupini si učenci prizadevajo za skupne cilje in prevzemajo različne vloge.

Pregled učnih načrtov po vertikali navzgor kaže razvoj vsebinskega znanja, ki ga spremlja premik različnih miselnih procesov, veščin in spretnosti.

Učenci v prvem razredu vedo, da obstajajo tekočine in trdne snovi. Spoznajo lastnosti snovi, po katerih jih lahko ločujemo med seboj.

V drugem razredu vedo, da se pri mešanju snovi lahko spreminjajo. Poznajo lastnosti sestavin in jih znajo opisati. Razlikujejo snovi in jih razvrščajo po njihovih lastnostih ter že uporabljajo preproste postopke za ločevanje zmesi. Obvladajo različna agregatna stanja vode in zvedo, da so nekateri pojavi obrnljivi, nekateri pa neobrnljivi. Poznajo spreminjanje lastnosti vode, njeno spreminjanje pri segrevanju ter znajo meriti temperaturo.

V tretjem razredu osnovne šole je že pri naravoslovnih vsebinah poudarek na raziskovanju. Učenci že povezujejo dve spremenljivki (čim, tem) in povezujejo vzrok s posledico (zato, ker).

Ob koncu tretjega razreda naj bi učenci že sami znali zasnovati in izvesti raziskavo, omejili naj bi se na eno spremenljivko. Pri tem je pomembno, da učenci izkušnje iz domačega okolja povezujejo s poukom.

V drugi triadi sledi obravnavanje vode in vodnih virov. V sedmem razredu pri naravoslovju spoznajo vodo kot topilo v raztopinah, v osmem in devetem pri kemiji učenci spoznajo in računajo masni delež raztopin.

Pomembno je, da pri tem izkušnje, ki nastajajo zunaj šole, učenci povezujejo s poukom. Učenci napovedujejo svoje hipoteze in preverjajo te svoje napovedi. Učijo se razvrščanja po

razlikah ali skupnih lastnostih. Naučijo se sklepanja, razvijajo sposobnosti za grafično komuniciranje, uporabljajo simbole in preproste sheme.

Harlen (po Eurydice, 2012, str. 68) opredeljuje naravoslovno pismenost kot »sproščenost in kompetentnost« v odnosu do širokih naravoslovnih tem, narave, naravoslovne znanosti in njenih omejitev ter naravoslovnih in znanstvenih postopkov kot sposobnost naravoznanstvenih načel in zmožnost odločanja v vlogi izobraženega in odgovornega državljana (Žakelj, 2007, str. 5).

Učenci naše šole so pri rednem pouku v okviru teme iz učnega načrta Ekološko osveščeni potrošnik izdelali več seminarskih nalog o varčevanju z vodo. Poleg tega so tudi raziskovali še druge teme, povezane z vodo, npr. Voda in hrana, Vodni odtis, Žled. Pri raziskovanju je potrebno kompleksno razmišljanje posameznika in skupine učencev, npr. postavitev problema, razvrščanje, primerjanje, abstrahiranje, sklepanje, utemeljevanje, reševanje problemov, odločanje, zavračanje napak in ponovna vzpostavitev problema. Z informacijsko-komunikacijsko tehnologijo sistematično iščejo in uporabljajo primerne vire in literaturo. Otroci razvijajo uporabo grafičnih simbolov, izbirajo grafične prikaze oblikovanja in izpolnjevanja tabele. Iz podatkov oblikujejo tabele, iz teh pa rišejo stolpčne in vrstične prikaze, primerjanje rezultatov podajanje analize.

Dejavnosti v raziskovanju so načrtovane tako, da v učencih spodbujajo motivacijo k lastni aktivnosti kot tudi uporabi različnih veščin in miselnih procesov.

Povezovanje in sistemiziranje znanja po Marzanovi taksonomski lestvici znanja zajema kompleksno razmišljanje ter vsebuje razvrščanje, primerjanje, sklepanje z indukcijo in dedukcijo, utemeljevanje, abstrahiranje, analiziranje perspektiv, odločanje, preiskovanje, reševanje problemov in eksperimentalno raziskovanje (Ilc, 2007, po Marzanu in sodelavcih, 1993, str. 5).

Delo z viri zajema zbiranje in izbiranje, analizo, sintezo, presojo vrednosti in uporabnosti podatkov te interpretiranje podatkov. Učenec tako pridobiva vseživljenjska znanja ter bogati besedni zaklad in jasnost izražanja. Tako poteka komunikacija z različnimi ljudmi na različne načine.

Gre za dodatno poglabljanje naravoslovne pismenosti in utrjevanje poznavanja pojmov. Učenci oblikujejo stališča, kot so objektivnost, kritičnost, občutljivost. Raziskovalne naloge so kot različne oblike neformalnega izobraževanja in ozaveščanja zelo pomembne, ker predstavljajo hiter prenos znanja.

Analiza napak daje kritičen razmislek o lastnem delu.

Raziskovanje pogojujeta radovednost in vedoželjnost. Tukaj ne gre samo za nadarjene učence. Tudi učenci z dodatno strokovno pomočjo (DSP), ki imajo učne težave, se vključijo. Pri tem so zanesljivi in prizadevni.

Trudimo se za izobražene in dobro informirane posameznike, ki so se sposobni posvetovati, enakopravno sodelovati in soodločati o perečih sodobnih problemih, povezanih z rabo voda. Pomembno je, da se pri raziskovanju učenci srečajo z realnimi problemskimi situacijami. Pove-

čuje se občutek povezanosti z življenjem, kar pripomore k razumevanju in ohranjanju narave in naravnih virov tudi za prihodnje generacije.

Trudimo se za pridobivanje znanj in spretnosti s pomočjo radovednosti. Prav iz te se razvijajo otrokova stališča in vrednote.

2.1 Osebna rast

Metodologija raziskovanja poteka po ustaljenih fazah. Za mentorje so nujne priprava, izvedbe in evalvacija mentorskega procesa. Učiteljeva vloga postaja vse bolj usmerjevalna. Mentorstvo učencem nam vedno lahko pokaže neznana področja našega delovanja.

Ob poglobljenem branju dodatne literature se porodi veliko zamisli in spodbud tudi s strani učencev. Upoštevati moramo delovne navade učencev in njihove osebnostne lastnosti. Ob tem pa spet naletimo na preverjanje lastnih kompetenc in lastne osebne analize.

Vprašamo se o razvoju lastne profesionalnosti, saj pri delu z učenci pride do točke, kjer zaznamo področja dela, ki jih moramo še izpopolniti. Raziskovalna dejavnost povezuje vsebine na vseh predmetnih področjih. Tradicionalni način poučevanja je tukaj na prepihu, razvija se individualni, socialni in vseživljenjski proces. Pri tem je v šoli potrebna dobra sodelovalna kultura. Dober mentor svoje učence podpira in spodbuja pri njihovem delu. Raziskovalni projekti imajo vedno praktično vrednost. Vedno je teorija v povezavi s prakso. Naši ponosni Vodni agenti so spodbudili druge učence pri varčevanju z vodo.

Raziskovanje je razvijanje višjih kognitivnih znanj po višjih taksonomskih stopnjah. Pri tem so učenci zelo aktivni, ustvarjalni in kritični. Tukaj se namesto znanja, ki je določeno z učnim načrtom, znanje prenaša z enega deležnika na drugega in nastaja le iz lastne izkušnje. Dejavnosti vodijo od zamisli do konkretnega rezultata in izdelka. Pri tem delu se poraja seznam novih vprašanj, ki so nastala ob neki dejavnosti, npr. risba po opazovanju.

Upoštevati moramo individualne razlike med otroki in dejavnosti prilagajati njihovim sposobnostim. Dodatno to pospeši delo v skupini, ki pomeni sodelovanje, pri katerem se drug od drugega učimo. Obenem pa je tudi samostojno delo. Obravnavane vsebine tako učencem učinkoviteje približajo svet in pomenijo dobro pripravo učencev za vseživljenjsko učenje.

3. ZAKLJUČEK

V razvoju osebnosti posameznika naj poudarim nižjo stopnjo izobraževanja, torej osnovno šolo. To je obdobje, ko se pri posamezniku oblikujejo temelji vrednostnega sistema. Vodni agenti ozaveščajo o pomenu vode. S spreminjanjem družbenih in ekonomskih razmer se spreminja tudi narava.

Delovati in usmerjati je treba v pravo smer, ob tem pa naučiti človeka, da je izjemno pomembno, da zna sprejemati odločitve, ki podpirajo trajnostni razvoj.

Raziskovalne naloge so droben smerokaz, ki z majhnimi koraki lahko prihodnje generacije pripelje v lepši jutri.

Kakovostno naravoslovno znanje je za sodobnega človeka pomembno predvsem zato, da bo znal sprejemati dobre odločitve za naravno okolje, ki bodo zagotovile tudi obstoj družbe (Ličen, 2014).

LITERATURA IN VIRI

1. Ličen, A., 2014. Kakovost in trajnost biološkega znanja slovenskih srednješolcev. Diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani. Dostopno na: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/biologija/dn_licen_astrid.pdf [15. 7. 2020].
2. Peklaj, C., 2007. Mentorstvo in profesionalna rast učiteljev. Ljubljana: Center za pedagogiko izobraževanje Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Dostopno na: file:///G:/A%20%202016_2017/Članek/Mentorstvo_URN-NBN-SI-DOC-AQ2TF596%20(1).pdf [15. 7. 2020].
3. Rutar Ilc, Z., 2007. Uporaba taksonomij za opredeljevanje standardov in kriterijev za snovanje preizkusov, priloga II-C. Ljubljana. Center RS za poklicno izobraževanje. Dostopno na: http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/evalvacija%20in%20spremljanje/07-08/Priloga-IIC.pdf [18. 7. 2020].
4. Sanchez, K. E., 2010. Veščine mentorstva. Ljubljana: Zveza prijateljev mladine Slovenije. Dostopno na: https://www.zpms.si/wpcontent/uploads/2019/11/Ve%C5%A1%C4%8Dine-mentorstva_gradivo.pdf [20.7. 2020].
5. Žakelj, A., 2014. Posodobitve pouka v osnovnošolski praksi. Ljubljana. Zavod Republike Slovenije za šolstvo. Dostopno na: https://www.zrss.si/pdf/pos-pouka-os-spozn-okolja.pdf [22. 7. 2020].

VPLIV ENCIMOV NA PROIZVODNJO METANA IZ PAPIRNIŠKEGA BLATA V MEZOFILNEM SEMIKONTINUIRNEM ANAEROBNEM PROCESU

doc. dr. SABINA KOLBL[1], BLAŽ STRES[2]

Povzetek

Primarni cilj študije je bil uporabiti sekundarno dehidrirano blato iz papirniškega blata iz proizvodnje papirnatih robčkov in toaletnega papirja, ki ga proizvajajo v Palomi. V 60-dnevnem semikontinuirnem procesu anaerobne prebave na 5-litrskih laboratorijskih reaktorjih smo ovrednotili proizvodnjo metana, ki bi delno lahko nadomestil zemeljski plin, ki se uporablja v proizvodnji papirnatih produktov. Izvedli smo optimizacijo proizvodnje metana papirniškega blata z dodajanjem komercialno razpoložljivih encimov in mikroorganizmov. Po 45-ih dneh semikontinuiranega procesa smo v reaktorje dodali še gnojevko za zadostno koncentracijo dušika. Dinamike spreminjanja bakterijskih in arheje skupnosti smo spremljali z uporabo 16S rRNA gena T-RFLP. Temperatura poskusa je bila nastavljena na 37 ± 2 °C. Vsak peti dan smo spremljali naslednje parametre: pH, VS, TS in KPK. Hlapne organske kisline (VOA), skupni anorganski ogljik (TIC) in razmerje VOA/TIC so merili s titratorjem TIM 840 (Hach Lange), skupni dušik in amonijev dušik pa s Skalar San++. Organska obremenitev anaerobnih reaktorjev je bila 2,2 g VS/l dan. Kot inokulum smo uporabili biomaso iz bioplinarne Šijanec.

Ključne besede: anaerobna presnova, bioplin, encimi, papirniško blato.

Abstract

The primary aim of this study was to use secondary dehydrated paper pulp sludge from production of hygienic paper manufactured by Paloma d.d. in 60 day semi-continuous process of anaerobic digestion on 5 L laboratory scale in order to evaluate methane production and partly replace earth gas that is used in production of hygienic papers with biogas to reduce usage of earth gas that is needed in the making of paper products. Second optimization of methane production of paper pulp sludge was tested by addition of commercially available enzymes and microorganisms additives. After 45 days of semi-continuous process, pig slurry manure was introduced to all reactors to complement nitrogen requirements. Further dynamics in bacterial and archaea communities were monitored using 16S rRNA gene T-RFLP. Temperature of experiment was set to 37 ± 2 °C. Every fifth day the following parameters were monitored: pH, VS, TS and COD. Volatile organic acids (VOA), total inorganic carbon

1 Doc. dr. Sabina Kolbl, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

2 Izr. prof. dr. Blaž Stres, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.

(TIC) and ratio VOA/TIC were measured with TIM 840 titrator (Hach Lange), total nitrogen and ammonium nitrogen with Skalar San++. Organic loading of anaerobic reactors was 2.2 g VS/l day and biomass from the biogas plant Šijanec was used as inoculum.

Keywords: anaerobic digestion, biogas, enzymes, paper pulp sludge.

1. UVOD

Dehidrirano papirniško blato predstavlja trden odpadni material, sestavljen iz ostankov celuloze in pepela, ki nastanejo pri postopku pridobivanja celuloze in izdelave papirja (Zule et al., 2007; Mehdi Dashtban et al., 2015). Gre za ostanek po čiščenju odpadne vode, ki je sestavljen predvsem iz kompleksnih polisaharidnih materialov, kot so celuloza, lignin in hemiceluloza (Jackson in Line, 1997). Odpadne vode iz celulozne in papirne industrije lahko močno obremenijo odvodnike, še predvsem, če jih odvajamo neočiščene. Odpadne vode iz papirniške industrije imajo visoko biokemično potrebo po kisiku (BPK) in kemično potrebo po kisiku (KPK) ter vsebujejo klorirane spojine, suspendirane trdne snovi (t. i. vlakna), maščobne kisline, ligninske in žveplove spojine. Večji del trdnih snovi iz papirniške odpadne vode se odstrani že v mehanskem postopku čiščenja, zato lahko papirniško blato vsebuje velike količine vlaken (Mehdi Dashtban et al., 2015; Bajpai, 2015). V Sloveniji povprečno v enem letu nastane približno 50 000 ton papirniškega blata. Stroški odlaganja in transporta papirniškega blata znašajo okoli 75 evrov/tono blata. Večji del tega blata se je odlagal na odlagališča odpadkov, medtem ko preostali del pošljejo v sežigalnice odpadkov (Zule et al., 2007). Poleg dragega odstranjevanja blata izgubimo tudi potencial energije in hranila, ki jih blato še vedno vsebuje (Karlsson et al., 2011).

Alternativa za vsaj delno valorizacijo teh virov je vključitev dehidriranega papirniškega blata v že bližnjo obstoječo bioplinsko napravo. Večje metanske donose lahko dosežemo z uporabo encimskih dodatkov, s katerimi lahko tudi zmanjšamo vsebnost organskih snovi. S tem se izognemo stroškom dodatne vgradnje strojne opreme in razširitve bioplinske naprave (Karlsson et al., 2011; Kolbl et al., 2014a). Anaerobna presnova je biokemijski proces, pri katerem mikroorganizmi, ki so prisotni v anaerobnem reaktorju, izločajo encime, ki jim pomagajo pri razgradnji celuloze, hemiceluloze, lipidov, beljakovin, škroba in drugih kompleksnih rastlinskih polimerov. Pri tej razgradnji kompleksnih snovi na koncu procesa nastane metan, ki je gorljiv plin. Vendar je faza hidrolize korak, ki omejuje hitrost v anaerobne presnove (Batstone in Jensen, 2011; Romero-Güiza et al., 2016), zato z uvajanjem predhodne encimske obdelave povečamo depolimerizacijo organskih snovi in izboljšamo proizvodnjo metana.

Drugi dodatki, ki se uporabljajo za stabilizacijo in izboljšanje anaerobne presnove, so tudi zeoliti. Naravni zeoliti so kristalni, hidrirani aluminij-silikati alkalov in alkalni zemeljski kationi, ki se med seboj razlikujejo glede na prostorsko razporeditev SiO_4 in AlO_4 (Huiliñir et al., 2014; Montalvo et al., 2012). Zeoliti zmanjšujejo koncentracijo amonijaka in amonijevega iona, ki sta prisotna v substratih, ter produkte, ki se ustvarjajo med procesom anaerobne presnove proteinov, aminokislin in sečnine. Zaradi velike sposobnosti absorpcije zeolit predstavlja učinkovito oporo mikroorganizmom pri aerobnih in anaerobnih procesih čiščenja odpadne vode (Montalvo et al., 2005, 2012). Ekonomska izvedljivost encimskih predobdelav in drugih dodatkov je odvisna od učinkovitosti kot tudi proizvodne oziroma dobavne cene.

Za določitev povečanja izplena metana smo v tej študiji dehidriranemu papirniškemu blatu dodajali pet različnih dodatkov, ki so na voljo na trgu.

2. MATERIALI IN METODE

2.1 Semikontinuirani eksperiment

Teoretični izkoristek metana iz dehidriranega papirniškega blata smo izračunali z uporabo Bushwellove enačbe (Deublein and Steinhauser, 2010) ob predpostavki, da je večina organsko razgradljivega dela papirniškega blata sestavljena iz celuloze ($C_6H_{10}O_5$) z vsebnostjo pepela 22 % in 30 % za papirniško blato 1 oziroma papirniško blato 2.

Za eksperiment smo uporabili inokulum in mezofilne anaerobne reaktorje kmetijske bioplinske elektrarne Šijanec (Ormož, Slovenija). Uporabili smo 2 ločeni seriji papirniškega blata (papirniško blato 1 in papirniško blato 2) v presledku enega meseca. Papirniško blato smo pridobili od proizvajalca higienskih papirjev Paloma, d.d. (Sladki Vrh, Slovenija). Vzorce blata smo hranili v hladilniku pri temperaturi 2 °C. Pred dodajanjem v anaerobni reaktor smo vzorce homogenizirali. V Palomi higienski papir proizvajajo predvsem iz čiste celuloze, odpadnega papirja in kartona. Za ločevanje papirniškega blata od odpadne vode se uporabljata postopka flotacije in flokulacije. Blato dodatno dehidrirajo na rotirajočih bobnih, da se doseže vsebnost suhe snovi okoli 40 %. Dnevna proizvodnja dehidriranega blata znaša med 130 in 210 tonami. Pri proizvodnji različnih vrst higienskih robčkov (različne tehnike proizvodnje) nastane tudi različno dehidrirano blato, ki ima različne lastnosti in teoretično tudi različne metanske potenciale. Karakteristike blata in inokuluma so podane v tabeli 1.

Tabela 1: Izmerjeni vhodni parametri odvečnega dehidriranega blata iz Palome in prašičje gnojevke

Parameter	Prašičja gnojevka	Papirniško blato 1	Papirniško blato 2	Inokulum
SS [%]	0,33 ± 0,01	16,99 ± 0,02	17,64 ± 0,02	8,53 ± 0,18
OS [% SS]	41,03 ± 1,19	78,37 ± 0,27	69,83 ± 0,12	69,17 ± 0,60
OS [% SM]	0,13 ± 0,01	13,31 ± 0,01	12,32 ± 0,09	5,90 ± 0,16
pH	7,24 ± 0	6,60 ± 0,01	6,54 ± 0,01	7,87 ± 0,01
HOK [mg/l]	1403 ± 61	3549 ± 494	3212 ± 359	5534 ± 247
CAO [mg/l]	2232 ± 55	15087 ± 2957	14932 ± 3247	13275 ± 175
HOK/CAO	0,69 ± 0,38	0,237 ± 0,01	0,215 ± 0,02	0,417 ± 0,01
$N_{celotni}$ [mg/l]	2500 ± 25	1055 ± 35	905 ± 40	5230 ± 60
NH_4^+-N [mg/l]	300 ± 12	–	–	1301 ± 39

Za eksperiment smo uporabili 15 anaerobnih reaktorjev kapacitete 5 L (AMPTS II, Bioprocess Control, Švedska). Vsak reaktor smo napolnili s 4000 ml inokuluma. Uporabili smo 5 različnih komercialnih aditivov, ki smo jih dnevno dodajali v reaktorje: hidrolitski encimi Novozymes (Danska) (n = 3), hidrolitski encimi Novalin (NovaBiotec, Nemčija) (n = 3), mikropan dodatek za bioplin (Eurovix, ZDA) (n = 2), dodatek BFL 4400AN (Biofuture, Irska) (n = 2) in zeolit M (Ipus, Avstrija) (n = 2).

Odmerjanje vsakega dodatka je bilo v skladu s smernicami proizvajalcev (Tabela 2), odvisno od organske obremenitve ter organskih in suhih snovi papirniškega blata. Preostali reaktorji (n = 3), ki niso dobili dodatkov, so služili kot kontrola.

Organska obremenitev reaktorjev je znašala 2,2 g OS L^{-1} na dan^{-1}, kar znaša 66,1 g papirniškega blata 1 (začetek eksperimenta pa do dne 28) in 71,4 g papirniškega blata 2 (od dne 29 naprej). Do 28. dne smo v reaktorje dnevno dodajali 183,4 mL vode, od 29. do 49. dne 179,6 mL vode, od 50. do 60. dne pa 119,6 mL vode. Delovni volumen reaktorjev je tako znašal 4250 mL. Da bi semikontinuirne reaktorje dopolnili z mikroelementi in nutrienti, predvsem z dušikom, smo od dneva 46 naprej dodajali prašičjo gnojevko (60 mL/dan) (Piccinini et al., 1987). Prašičjo gnojevko smo dobili iz bližnje farme (kapaciteta 250 prašičev). Hidravlični zadrževalni čas v reaktorjih je znašal 18 dni, kar je tudi optimalni zadrževalni čas za anaerobno razgradnjo papirniškega blata (Bayr in Rintala, 2012). Mešanje v reaktorjih je bilo avtomatizirano s 15-minutnim mešanjem in 15-minutnim mirovanjem. Temperaturo reaktorjev smo vzdrževali na 38 °C.

Tabela 2: Encimi, ki smo jih uporabili v eksperimentih.

Proizvajalec	Testni vzorec	Encimi	Uporaba	pH območje	Temperaturno območje	Priporočeno doziranje
Novozymes	NS81217	Amilaze	Razgradnja škroba	5–9	30–80 °C	0,1 do 1 % glede na suho snov substrata
	NS81220	Proteaze	Razgradnja beljakovin	7–10	40–80 °C	
	NS81233	Hemicelulaze	Razgradnja hemiceluloze	6,5–9,5	35–65 °C	
	NS81022	Lipaze	Razgradnja maščob	5–10	30–50 °C	
	NS81210	Celulaze kompleks	Razgradnja celuloze	4,5–7,5	35–65 °C	
Eurovix	Micropan Biogas	Encimske sestavine, mešanica fakultativnih anaerobnih bakterij	Hidroliza polisaharidov, beljakovin in maščob	6–7	Ni podatka.	50 mg/L na liter vzorca
NovaBiotec	Novalin	Celulaze, hidrolitski encimi	Razgradnja lignina in celuloze	7–8	35–55 °C	200 do 400 g/t OS suhega vzorca
Biofuture	BFL 4400AN	Posebno izbrani mikroorganizmi	Pretvorba organskih snovi v enostavne organske kisline	Ni podatka.	Ni podatka.	0,07 g na gram dozirane organske snovi
IPUS	Zeolite IPUS meth-max M (zeolit M)	Imobilizirane hidrolitske bakterije	–	Ni podatka.	35–55 °C	Po internih navodilih proizvajalca

Na vsakih 5 dni smo izmerili naslednje parametre: suha snov (SS), organska snov (OS), hlapne maščobne kisline (HMK), pH, celotni anorganski ogljik (CAO), hlapne organske kisline (HOK), razmerje HOK/CAO, celotni dušik (TN), amonij (NH_4-N), električna prevodnost in topen KPK.

2.2 Fizikalno-kemijske analize

Suho snov (SS), organsko snov (OS) in topen KPK smo določili v skladu z APHA (2005). Za merjenje CAO in HOK ter njuno razmerje smo uporabili titrator Biogas Titrator Manager TIM 840 (Hach Lange). Celotni dušik in amonij smo določili z uporabo aparata SAN++ Continuous Flow Analyzer (Skalar Analytical B.V., Nizozemska), seveda po navodilih proizvajalca.

Meritve hlapnih maščobnih kislin smo izvedli s plinskim kromatografom Agilent 7890, kot je opisano že v Kolbl in sodelavci (2014b) ter Novak in sodelavci (2013). Uporabili smo kapilarno kolono Agilent J&W GC columns DB-FFAP, 30 m x 0,530 mm x 1 µm sloj stacionarne faze. Temperaturi vbrizgalnika in detektorja sta bili 200 °C in 300 °C. Začetna temperatura v pečici je znašala 70 °C (zadrževalni čas 1 minuta), nato je naraščala s hitrostjo 20 °C/min do 120 °C, od tu naprej pa s hitrostjo 10 °C/min do končne temperature 200 °C (zadrževalni čas 3 minute). Nosilni plin (mobilna faza) je bil helij s pretokom 5 ml/min, medtem ko je bil pretok dušika 25 ml/min. Plin detektorja je bil vodik s pretokom 30 ml/min, pretok sintetičnega zraka pa je znašal 400 ml/min.

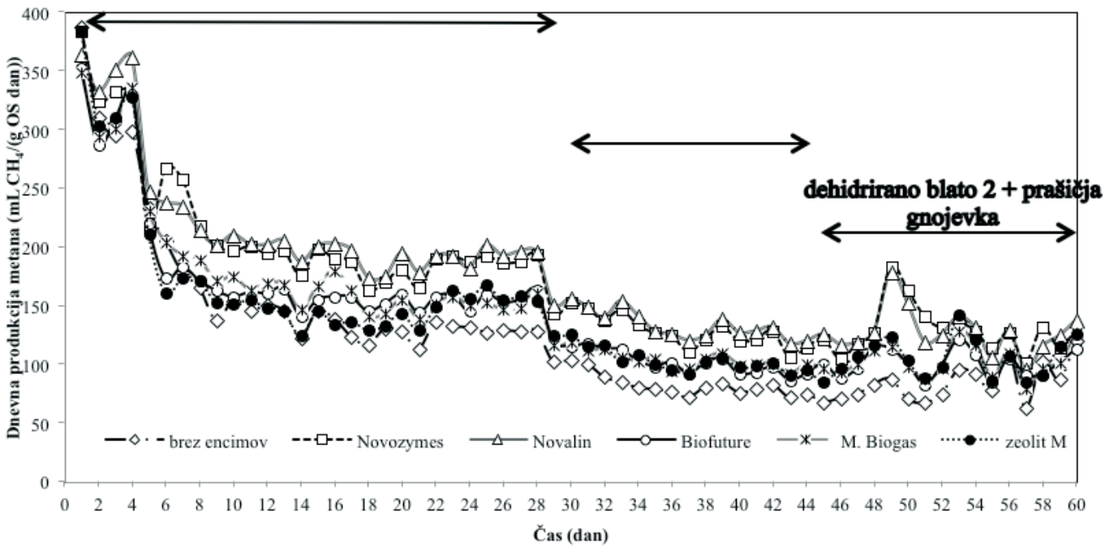
2.3 Dinamika spreminjanja bakterijskih in arheje skupnosti

Dinamike spreminjanja bakterijskih in arheje skupnosti smo spremljali z uporabo 16S rRNA gena T-RFLP. Za ekstrakcijo vzorcev smo uporabili Power Fecal DNA Extraction kit (MOBIO, USA). Kakovost in čistost (A_{230}, A_{260}, A_{280}) DNK smo določili spektrofotometrično z uporabo NanoVue po navodilih proizvajalca. Podrobnejši protokol je opisan v Kolbl in sodelavci (2017) ter Kolbl (2014).

3. REZULTATI IN DISKUSIJA

Dnevna produkcija metana glede na organsko obremenitev (ml CH_4/(g OS dan)) je podana na sliki 1. V reaktorjih s papirniškim blatom, ki mu nismo dodajali encimov, je povprečna dnevna produkcija metana med osmim in osemindvajsetim dnevom znašala 134,6 ± 12,7 ml CH_4/(g

OS dan). V istem obdobju je največ metana nastalo pri dodajanju encimov Novalin (195,1 ± 10,9 ml CH_4/(g OS dan)), sledijo encimi Novozymes s 188,7 ± 12 ml CH_4/(g OS dan), Micropan Biogas s 158,7 ± 13 ml CH_4/(g OS dan, Biofuture s 156,1 ± 7,5 ml CH_4/(g OS dan) pri Biofuture) in zeolit M s 147,7 ± 13 ml CH_4/(g OS dan). Vsi dodatki so imeli pozitiven vpliv na pridobivanje metana. Na začetku eksperimenta med prvim in petim dnem je opazen velik padec v proizvodnji metana. To lahko pripišemo porabi organske snovi iz inokuluma bioplinske elektrarne, kjer je bioplinarna organsko obremenjena z 10 g OS/l, obremenitev naših reaktorjev pa je bila 4,5-krat manjša. Razlike v produkciji metana med posameznimi reaktorji v prvih petih dnevih niso bile bistvene. Po 28-ih dneh smo dehidrirano blato 1 zamenjali z dehidriranim blatom 2, ki je vsebovalo manj organske snovi. Produkcija metana v vseh reaktorjih je upadla za približno 25 %. Kljub padcu v produkciji metana so dnevne vrednosti ostale v mejah; o slednjih poročajo tudi drugi avtorji (Karlsson et al., 2011). Najmanj metana je nastalo pri blatu, ki mu nismo dodajali encimov, največ metana pa z dodajanjem encimov Novozymes in Novalin. Povprečna dnevna produkcija metana v kontrolnih reaktorjih, ki jim nismo dodajali encimov, je v obdobju od dneva 29 do 45 znašala 82,4 ± 10,7 ml CH_4/(g OS dan). V povprečju je največ metana nastalo v reaktorjih, ki smo jim dodajali encime Novozymes (128,6 ± 13,5 ml CH_4/(g OS dan)) in Novalin (133,9 ± 12,5 ml CH_4/(g OS dan)). Od dne 46 naprej smo v vse reaktorje dnevno dodajali tudi prašičjo gnojevko, ki nam je predstavljala vir dušika. Takrat je dnevna produkcija metana v vseh primerih začela nihati. Pri dodajanju encimov Novozymes in Novalin smo med dnevom 50 in 51 opazili skokovit porast v tvorjenju metana, nakar se je stanje povrnilo na raven pred skokom, še vedno pa so se pojavljala večja nihanja (Grafikon 1). Povprečna dnevna produkcija metana od dne 46 naprej se v vseh anaerobnih reaktorjih ni bistveno spremenila in je bila podobna obdobju med 29 in 45 dnem. Glede na kontrolni vzorec smo z dodatki Novozymes in Novalin v 60-ih dneh kumulativno proizvedli od 40 do 43 % več metana, z Micropan Biogas, Biofuture in zeolitom M pa od 13 do 17 % več metana.



Grafikon 1: Dnevna tvorba metana glede na organsko obremenitev papirniškega blata brez predobdelave z encimi ter z dodajanjem encimov Novozymes, Novalin, Biofuture, Micropan Biogas in zeolita M.

Iz literature je znano, da produkcija metana pri različnih vrstah papirniškega blata zelo niha in se od primera do primera lahko zelo razlikuje. Tako je, na primer, vrednost biometanskega potenciala primarnega papirniškega blata 210 ml CH_4/g OS pri mezofilnih in 230 ml CH_4/g OS termofilnih pogojih, medtem ko je metanski potencial sekundarnega papirniškega blata med 50 in 100 ml CH_4/g OS (Bayr in Rintala, 2012). Pri drugih avtorjih, ki so prav tako izvajali podobne eksperimente s papirniškim blatom, so vrednosti BMP za primarno papirniško blato 45 ml CH_4/g OS ter za sekundarno papirniško blato med 85 do 200 ml CH_4/g OS (Bayr in Rintala, 2012; Karlsson et al., 2011). V našem eksperimentu smo opazili podobne vrednosti, ki so se spreminjale glede na šaržo blata, od približno 82 do 188 ml CH_4/g OS. To nakazuje, da je produkcija metana odvisna tudi od vrste procesa v papirniški industriji, ne nazadnje tudi od tega, ali gre za primarno ali sekundarno blato kot v primeru (Bayr in Rintala, 2012). V našem primeru je uporaba hidrolitskih encimov pozitivno vplivala na produkcijo metana.

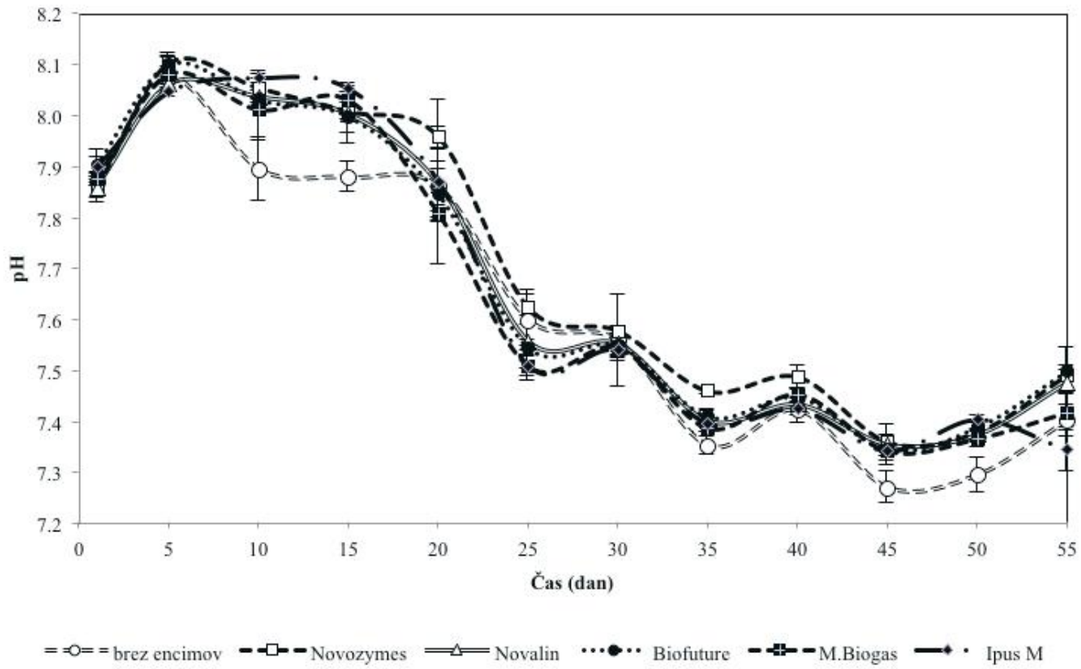
Študije nekaterih avtorjev so pokazale, da nezadostna količina mikroelementov in biološka dostopnost mikroorganizmov do mikroelementov dolgoročno lahko močno vplivata na proces anaerobne presnove, hkrati pa zmanjšata produkcijo metana (Fermoso et al., 2019; Romero-Güiza et al., 2016; Roussel et al., 2019; Voelklein et al., 2017). Zato smo reaktorjem od dne 46 naprej začeli dodajati alikvote prašičje gnojevke. S tem dodatkom prašičje gnojevke smo želeli povečati produkcijo metana in preizkusiti, ali smo omejeni z mikroelementi (kot so Mn, Mo, Se, Zn) in/ali nam primanjkuje makroelementov (predvsem dušika) ter ostalih procesnih parametrov (alkaliteta), kljub temu da dodajamo encime. Z dodajanjem prašičje gnojevke smo zaznali pozitivne učinke dodajanja encimov. To pomeni, da je optimalna koncentracija nutrientov in mikroelementov nujna za učinkovito produkcijo metana.

Sekundarno blato je večinoma sestavljeno iz mikrobne biomase, ki je slabše razgradljiva zaradi niti glikana, ki so med seboj povezane s peptidnimi vezmi v mikrobnih celičnih stenah, medtem ko primarno blato vsebuje več celuloze in je zato tvorba metana v tem primeru lahko večja (Appels et al., 2008; Bayr in Rintala, 2012).

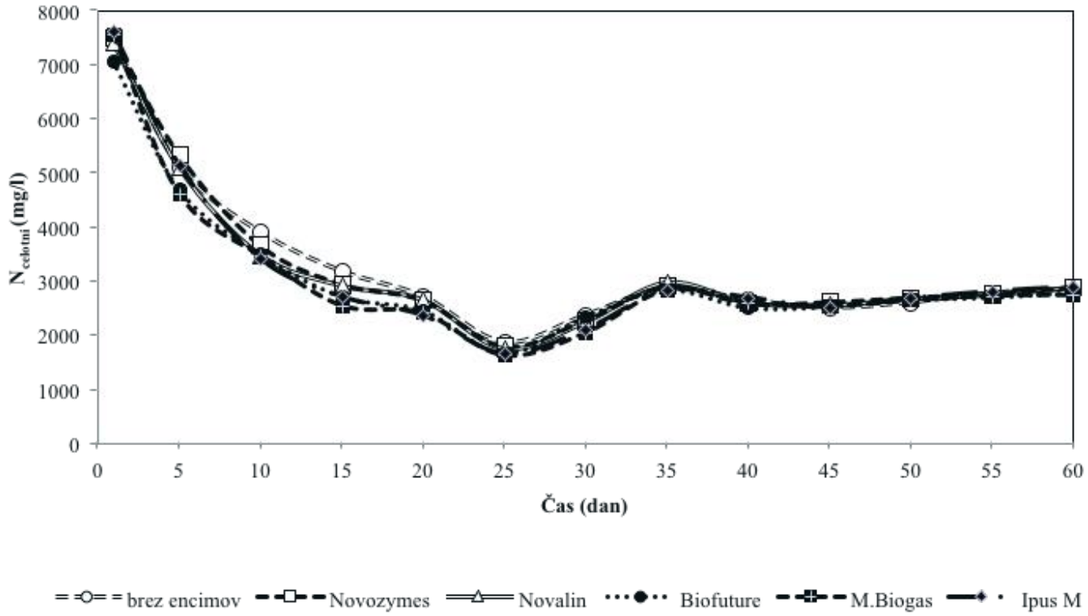
Kumulativni delež razgradnje organske snovi je bil po 55-ih dneh v vseh primerih podoben. Kontrolni reaktor, ki smo mu dodajali samo blato iz Palome, je v 55-ih dneh dosegel 64,4-% razgradnjo organskih snovi. Za 3,7 % večjo razgradnjo smo dosegli z dodajanjem encimov Novozymes, medtem ko so encimi Novalin razgradnjo v primerjavi z izhodiščnim vzorcem povečali za 1,4 %, encimi Biofuture pa za 2,9 %. Pri dodajanju Micropan Biogas smo opazili za 2,3 % manjšo razgradnjo kot pri izhodiščnem vzorcu, pri dodajanju zeolita M pa za 0,3 % manjšo razgradnjo organske snovi.

S plinskim kromatografom smo vsak peti dan izmerili tudi vsebnost hlapnih maščobnih kislin v reaktorjih. V vseh primerih koncentracija nobene od ocetne, propanojske, maslene, valerijanske in kapronske kisline ter etanola ni presegla koncentracije 25 mg/L. Nizke koncentracije hlapnih maščobnih kislin pri anaerobni presnovi papirniškega blata so pri organski obremenitvi 2,2 g OS/l izmerili tudi Karlsson in sodelavci (2011), pri večjih organskih obremenitvah pa je koncentracija hlapnih maščobnih kislin narasla.

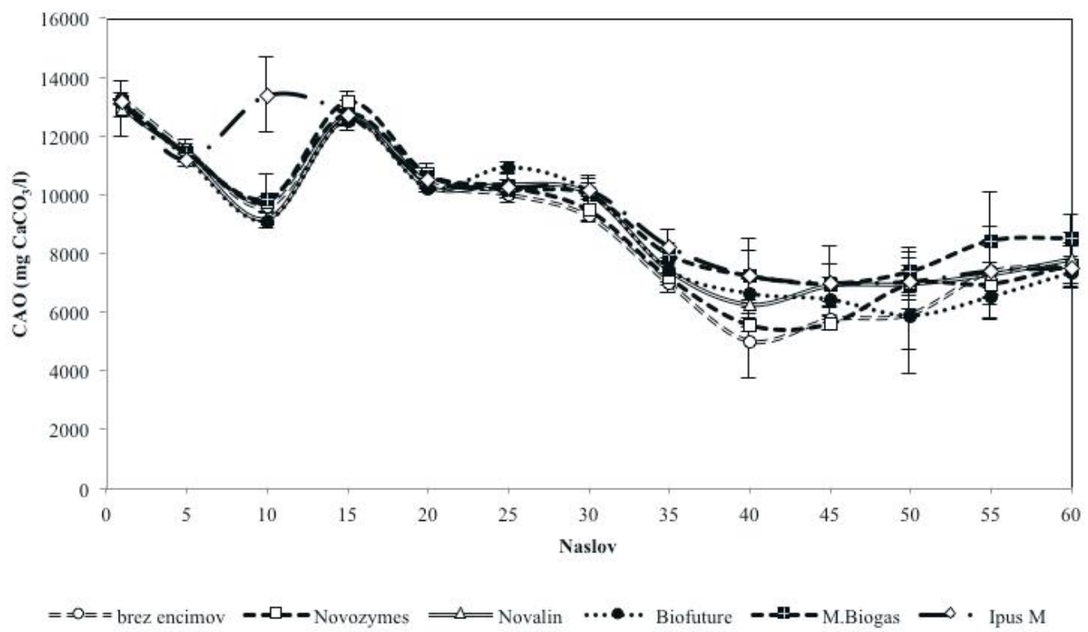
Vsebnost dušika v dehidriranem blatu iz Palome, kot substratu, je bila okoli 1055 mg/L, kar je za polovico manj kot pri papirniškem blatu, ki sta ga za anaerobno presnovo uporabila Bayr in Rintala (2012). Čeprav v našem primeru koncentracija amonijskega dušika ni padla pod 200 mg/l, kot je v primeru Procházka in sodelavcev (2012), smo vseeno zaznali večji upad pH, in sicer z 8,1 na 7,4 (Grafikon 2), kar je najverjetnje tudi posledica manjšanja puferske kapacitete in zmanjšanja koncentracije celotnega dušika (Grafikon 3). Lin in sodelavci (2009) navajajo, da pH ni dobro merilo za stabilnost anaerobnega procesa, če imamo visoko pufersko kapaciteto. Do majhnih sprememb v pH pride, ko se v procesu zgodijo večje spremembe. Zato lahko alkalnost uporabimo kot neposreden kazalnik procesa. V našem primeru je dodajanje prašičje gnojevke kot vira dušika obrnilo tudi trend upadanja celotnega anorganskega ogljika (alkalnosti), ki je spet začel počasi naraščati (Grafikon 4). Tako kot v eksperimentu Procházka in sodelavcev (2012) smo tudi pri nas zaznali manjše metanske donose, najverjetneje zaradi nizke koncentracije amonijskega dušika, vendar je v našem primeru dodajanje prašičje gnojevke ustavilo padanje pH, prav tako pa povprečna dnevna tvorba metana v obdobju dodajanja gnojevke ni upadla v primerjavi z obdobjem med 29 in 45 dnem, čeprav je še vedno nihala.



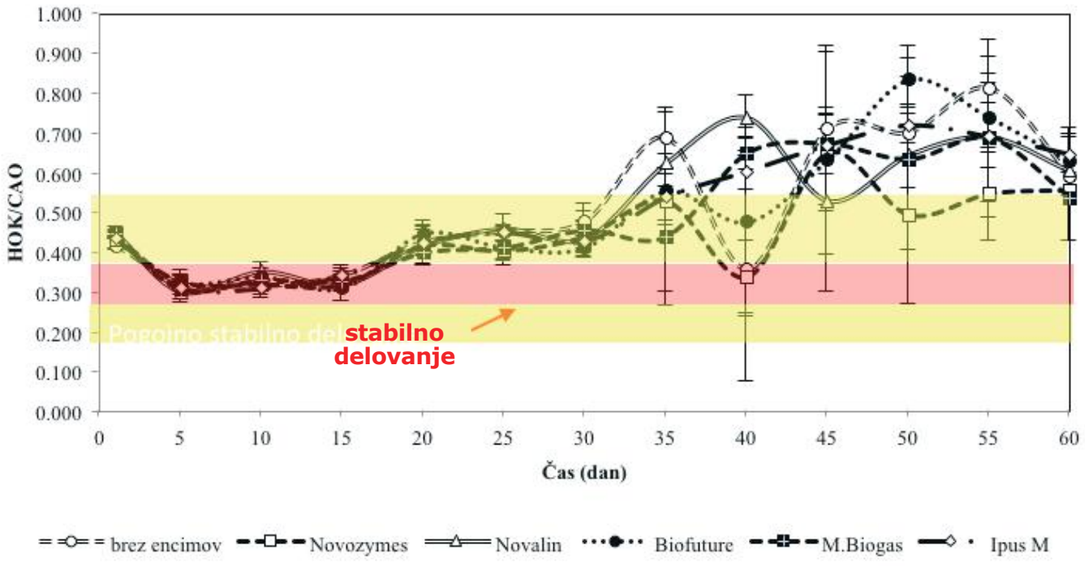
Grafikon 2: Gibanje pH skozi čas v reaktorjih brez encimske predobdelave in z encimsko obdelavo



Grafikon 3: Spreminjanje koncentracije celotnega dušika v anaerobnih reaktorjih



Grafikon 4: Spreminjanje alkalnosti v anaerobnih reaktorjih



Grafikon 5: Razmerje HOK/CAO v iztokih iz anaerobnih reaktorjev

Vzrok za slabo pufersko kapaciteto in posledično padanje vrednosti pH ter akumuliranje hlapnih maščobnih kislin je lahko tudi v pomanjkanju dušika (Bayr in Rintala, 2012; Lin et al., 2009). Alkalnost stabilnega procesa anaerobne presnove blata se giblje med 1000 in 5000 mg $CaCO_3$/l (Lin et al., 2009), medtem ko nekateri avtorji poročajo o stabilnem procesu tudi pri 10.000 mg $CaCO_3$/l ob uporabi bioloških odpadkov (Banks et al., 2011). V našem primeru je zaradi zmanjševanja koncentracije dušika, nižanja pH in padanja alkalnosti, ki sicer ni bila na meji stabilnosti procesa, tvorba metana začela upadati, vendar smo z dodajanjem prašičje gnojevke priskrbeli nov vir dušika, ki je stabiliziral pH, hkrati pa ustavil padanje alkalnosti in produkcije metana. Na slabšo stabilnost procesa je nakazalo razmerje HOK/CAO (Grafikon 5), ki se je po 30 dneh krepko dvignilo nad 0,400. K takemu razmerju ni botrovalo kopičenje hlapnih organskih kislin, ampak padec alkalnosti, kar je verjetno povezano tudi z zmanjševanjem prevodnosti v anaerobnih reaktorjih. Scano in sodelavci (2014) navajajo, da vrednost pH v njihovih eksperimentih z biološkimi odpadki nikoli ni padla pod 7, to pa predvsem zaradi dobre puferske kapacitete, kljub temu da je razmerje med HOK/CAO seglo tudi do 0,65 ob organski obremenitvi 5 kg OS/m^3 na dan. Organsko obremenitev so potem znižali na 2,5 do 3 kg OS/m^3 na dan, da so ostali znotraj stabilnega območja.

V eksperimentu smo za identifikacijo sprememb kot tudi odziva glede na čas inkubacije in vrste dodanega dodatka (encima) spremljali spremembe v bakterijski in arhejski mikrobni družbi. Bakterijske in arhejske mikrobne združbe so se ob dodajanju (spremembi substrata) papirniškega blata postopno spreminjale. Zaradi prehoda iz dodajanja kmetijskih substratov na bioplinski elektrarni, od koder je izviral inokulum, na dodajanje papirniškega blata v naslednjih 60-ih dneh je povzročilo pomembno reorganizacijo v bakterijski in arhejski mikrobni združbi. Rezultati so pokazali, da sta dajanje različnih encimskih dodatkov in inkubacijski čas signifikantno povezana s spremembo v mikrobni združbi, medtem ko njihova interakcija ni bila signifikantna. Čas inkubacije papirniškega blata je imel za bakterije in arheje 5-krat in 6-krat večji učinek kot 60-dnevno dodajanje encimov. Nihanje mikrobov je bilo bolj izrazito na ravni bakterijskih skupnosti, ki so odgovorne za hidrolizo novega substrata, kot na ravni arhejskih mikrobov, ki proizvajajo metan iz nastalih produktov (Kolbl et al., 2017).

4. ZAKLJUČEK

V našem eksperimentu nam je uspelo šestdeset dni nepretrgoma proizvajati biometan iz dehidriranega blata iz Palome. Kljub nihanju različnih parametrov tvorba metana za različne šarže ni nihala, čeprav je zelo počasi upadala. Z dodajanjem prašičje gnojevke nam je trend počasnega upadanja uspelo zaustaviti. Razmerje HOK/CAO nakazuje na nizko alkalnost, ki je s časom padla, in na koncentracijo kislin, ki je sicer na začetku upadla, potem pa začela močno nihati, kar nakazuje, da je treba količinsko zmanjšati vnos dehidriranega blata. Dehidrirano blato je v vodi slabo topno in kot tako nedostopno kot vir hrane mikroorganizmom, posledično pa tudi slabo razgradljivo. Do bistveno večjih sprememb v mikrobnih združbah je prišlo zaradi dodajanja novega substrata (papirniškega blata) kot pa zaradi dodajanja encimov. Z encimi nam je v obdobju 60-ih dni uspelo povečati tvorbo biometana kumulativno za 43 %. Uporaba encimov je enostavna, saj nam ni treba vgrajevati dodatne strojne opreme za predobdelavo substratov, prav tako nimamo dodatnih stroškov s servisiranjem, vzdrževanjem in obrabo morebitne dodatne strojne opreme. Ekonomsko se uporaba encimov splača v primeru, če so stroški nakupa, skladiščenja, ravnanja in doziranja encimov v anaerobne reaktorje manjši od prihodka, ki ga ustvarimo zaradi povečane tvorbe metana na račun dodajanja hidrolitskih encimov.

LITERATURA IN VIRI

1. APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Water Works Assn, Washington, USA.
2. Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J. in Dewil, R., 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. Prog. Energy Combust. Sci. 34, 755–781. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002
3. Bajpai, P., 2015. Composition of Waste, in: Management of Pulp and Paper Mill Waste. Springer International Publishing, Cham, pp. 19–29. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11788-1_3
4. Banks, C. J., Chesshire, M., Heaven, S. in Arnold, R., 2011. Anaerobic digestion of source-segregated domestic food waste: Performance assessment by mass and energy balance. Bioresour. Technol. 102, 612–620. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.005
5. Batstone, D. J. in Jensen, P. D., 2011. Treatise on Water Science, Treatise on Water Science. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00097-X
6. Bayr, S. in Rintala, J., 2012. Thermophilic anaerobic digestion of pulp and paper mill primary sludge and co-digestion of primary and secondary sludge. Water Res. 46, 4713–4720. https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.033
7. Deublein, D. in Steinhauser, A., 2010. Biochemistry, in: Biogas from Waste and Renewable Resources. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, pp. 97–100. https://doi.org/10.1002/9783527632794.ch9
8. Fermoso, F. G., van Hullebusch, E., Collins, G., Roussel, J., Mucha, A. P. in Esposito, G. (ur.), 2019. Trace Elements in Anaerobic Biotechnologies. IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/9781789060225

9. Huiliñir, C., Quintriqueo, A., Antileo, C. in Montalvo, S., 2014. Methane production from secondary paper and pulp sludge: Effect of natural zeolite and modeling. Chem. Eng. J. 257, 131–137. https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.07.058
10. Jacksonand, M. J. J. in Line, M. A., 1997. Organic Composition of a Pulp and Paper Mill Sludge Determined by FTIR, 13C CP MAS NMR, and Chemical Extraction Techniques. https://doi.org/10.1021/JF960946L
11. Karlsson, A., Truong, X., Gustavsson, J., Svensson, B. H., Nilsson, F. in Ejlertsson, J., 2011. Anaerobic treatment of activated sludge from Swedish pulp and paper mills – biogas production potential and limitations. Environ. Technol. 32, 1559–1571. https://doi.org/10.1080/09593330.2010.543932
12. Kolbl, S., Forte-Tavčer, P. in Stres, B., 2017. Potential for valorization of dehydrated paper pulp sludge for biogas production: Addition of selected hydrolytic enzymes in semi-continuous anaerobic digestion assays. Energy 126. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.050
13. Kolbl, S., Paloczi, A., Panjan, J. in Stres, B., 2014. Addressing case specific biogas plant tasks: Industry oriented methane yields derived from 5L Automatic Methane Potential Test Systems in batch or semi-continuous tests using realistic inocula, substrate particle sizes and organic loading. Bioresour. Technol. 153, 180–188. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.010
14. Kolbl, S., Forte-Tavčer, P. in Stres, B., 2017. Potential for valorization of dehydrated paper pulp sludge for biogas production: Addition of selected hydrolytic enzymes in semi-continuous anaerobic digestion assays. Energy 126, 326–334. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.050
15. Lin, Y., Wang, D., Wu, S. in Wang, C. 2009. Alkali pretreatment enhances biogas production in the anaerobic digestion of pulp and paper sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 170(1): 366–373.
16. Mehdi Dashtban, Y. H., Dashtban, M., Chen, S., Qin, W. in Song, R., 2015. Lignin in Paper Mill Sludge is degraded by White-Rot Fungi in Submerged Fermentation. J. Microb. Biochem. Technol. 07. https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000201
17. Montalvo, S., Díaz, F., Guerrero, L., Sánchez, E. in Borja, R. 2005. Effect of particle size and doses of zeolite addition on anaerobic digestion processes of synthetic and piggery wastes. *Process Biochemistry*, 40(3–4): 1475–1481.
18. Montalvo, S., Guerrero, L., Borja, R., Sánchez, E., Milán, Z., Cortés, I. in Angeles de la la Rubia, M. 2012. Application of natural zeolites in anaerobic digestion processes: A review. *Applied Clay Science*, 58(0): 125–133.
19. Novak, D., Franke-Whittle, I. H., Pirc, E. T., Jerman, V., Insam, H., Logar, R. M. in Stres, B., 2013. Biotic and abiotic processes contribute to successful anaerobic degradation of cyanide by UASB reactor biomass treating brewery waste water. Water Res. 47, 3644–3653. https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.04.027
20. Piccinini, S., Cortellini, L. in Bonazzi, G., 1987. Separation of pig slurry by sedimentation, v: Van Der Meer, H. G., Unwin, R. J., Van Dijk, T. A., Ennik, G. C. (ur.), Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste? Proceedings of an International Symposium of the European Grassland Federation, Wageningen, The Netherlands, 31 August-3 September 1987. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 385–388. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3659-1_45
21. Procházka, J., Dolejš, P., Máca, J. in Dohányos, M. 2012. Stability and inhibition of anaerobic processes caused by insufficiency or excess of ammonia nitrogen. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93(1): 439–447.
22. Romero-Güiza, M. S., Vila, J., Mata-Alvarez, J., Chimenos, J. M. in Astals, S., 2016. The role of additives on anaerobic digestion: A review. Renew. Sustain. Energy Rev. 58, 1486–1499. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.094
23. Roussel, J., Carliell-Marquet, C., Braga, A. F. M., Garuti, M., Serrano, A. in Fermoso, F. G., 2019. Engineering of trace-element supplementation. Trace Elem. Anaerob. Biotechnol. https://doi.org/10.2166/9781789060225_0073
24. Scano, E. A., Asquer, C., Pistis, A., Ortu, L., Demontis, V. in Cocco, D., 2014. Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant. Energy Convers. Manag. 77, 22–30. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.09.004
25. Voelklein, M. A., O' Shea, R., Jacob, A. in Murphy, J. D., 2017. Role of trace elements in single and two-stage digestion of food waste at high organic loading rates. Energy 121, 185–192. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.009
26. Zule, J., Cernec, F. in Likon, M., 2007. Chemical properties and biodegradability of waste paper mill sludges to be used for landfill covering. Waste Manag. Res. 25, 538–546. https://doi.org/10.1177/0734242X07079188

PROBLEMATIKA VTOKOV ODPADNE VODE V SISTEM JAVNE KANALIZACIJE

DEJAN TACER[1], PRIMOŽ REBREC[2], ZORAN NAĐ[3]

Povzetek

Izvajalec javne službe Nigrad že vrsto let opaža neustrezne vtoke na sistem javne kanalizacije, predvsem s področja vtoka odpadne vode s strani industrije ter vtoka povečanih količin padavinske vode z nenehnim povečanjem utrjenih količin dovozov, nadstreškov in streh.

Zadnja leta izvajalec opaža tudi neustrezne vtoke na sistem javne kanalizacije, pri čemer opravlja redne preglede in vzorčenja odpadne vode. Tako smo v letu 2020 na šestih vzorcih iz odpadne vode iz industrije zaznali tri vzorce, ki so presegali predpisane vrednosti.

Zaradi neustreznosti urejanja in nadzora nad tem se v prostoru povečujejo prispevne površine, pri čemer se izvajalec vse pogosteje in ob vedno večjih količinah odpadne vode sooča s problematiko odvodnje te vode do sistema čiščenja ter s tem povezanih težav na kanalizacijskem sistemu.

Ključne besede: industrija, inšpekcija, kanalizacija Mestne občine Maribor, meritve vtokov, padavine, pooblastila izvajalca javne službe Nigrad, prispevne površine.

Abstract

Public service provider for west water Nigrad for many years, it has been observing inadequate inflows into the public sewerage system, mainly from the area of industrial wastewater inflows and the inflow of increased amounts of rainwater with a constant increase in fortified volumes of driveways, canopies and roofs.

In recent years, the contractor has also noticed inadequate inflows into the public sewerage system, performing regular inspections and sampling of wastewater. Thus in 2020, we detected 3 samples on 6 samples from industrial wastewater, which exceeded the prescribed values.

Due to the inadequacy of arranging and controlling this, the area of contribution areas is increasing, and the contractor is increasingly faced with the problem of draining this water to the treatment system and related problems in the sewerage system.

Keywords: authorization of public service provider for west water Nigrad, contribution areas, flow measurements, industry, inspection, precipitation, sewer systems of the Municipality of Maribor.

1 Dejan Tacer, dipl. inž. grad., Nigrad, d.d.
2 Primož Rebrec, kom. Inž., Nigrad, d.d.
3 Zoran Nađ, dipl. inž. el., Nigrad, d.d.

1. PREGLED ZAKONODAJE NA PODROČJU JAVNE SLUŽBE

Zakon o urejanju prostora – ZureP-2 (Uradni list RS, št. 61/17) določa, da so »*gospodarska javna infrastruktura objekti ali omrežja, ki so namenjeni opravljanju gospodarskih javnih služb skladno z zakonom ter objekti ali omrežja za druge namene v javnem interesu, ki so kot taki določeni z zakonom ali odlokom lokalne skupnosti, kakor tudi drugi objekti in omrežja v splošni rabi. Gospodarska javna infrastruktura je državnega in lokalnega pomena*«.

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15) določa:

- *»javna kanalizacija je kanalizacija, skupaj s čistilno napravo, ki zaključuje to kanalizacijo, ki je kot javna infrastruktura lokalnega pomena namenjena izvajanju občinske gospodarske javne službe odvajanja in čiščenja komunalne in padavinske odpadne vode;*
- *kanalizacija je sistem kanalov in jarkov ter z njimi povezanih tehnoloških sklopov in naprav, povezanih v kanalizacijsko omrežje, po katerem se zagotavlja odvajanje odpadne vode iz objektov ter ločeno od nje ali skupaj z njo tudi odvajanje padavinske odpadne vode s streh ali z utrjenih, tlakovanih ali z drugim materialom prekritih površin objektov«.*

Zakon o gospodarskih javnih službah[1] **– ZGJS** (Uradni list RS, št. 32/93, 30/98 – ZZLPPO, 127/06 – ZJZP, 38/10 – ZUKN in 57/11 – ORZGJS40) jasno določa v svojem **5. členu (uporaba javnih dobrin):**

»Javne dobrine so pod enakimi z zakonom ali odlokom lokalne skupnosti določenimi pogoji dostopne vsakomur.«

Uporaba javnih dobrin, ki se zagotavljajo z obveznimi gospodarskimi javnimi službami, je obvezna, če zakon ali na njegovi podlagi izdan predpis za posamezne primere ne določa drugače.

»Z gospodarskimi javnimi službami se zagotavljajo materialne javne dobrine (v nadaljnjem besedilu: javne dobrine) kot proizvodi in storitve, katerih trajno in nemoteno proizvajanje v javnem interesu zagotavlja Republika Slovenija (v nadaljnjem besedilu: republika) oziroma občina ali druga lokalna skupnost (v nadaljnjem besedilu: lokalna skupnost) zaradi zadovoljevanja javnih potreb, kadar in kolikor jih ni mogoče zagotavljati na trgu.« (1. člen ZGJS)

Izvajanje gospodarske javne službe in gospodarjenje z gospodarsko javno infrastrukturo (GJI) ter s tem vzdrževanje in pretočnost kanalizacijskega sistema v Mestni občini Maribor izvaja podjetje Nigrad. Pretočnost kanalizacijskega sistema in uporabnost tega zagotavljamo z rednim čiščenjem in snemanjem kanalizacijskega sistema s specialnimi vozili ter rednimi in izrednimi pregledi na sistemu javne kanalizacije.

1 Ta zakon določa način in oblike izvajanja gospodarskih javnih služb.

2. PREGLED TEŽAV NA KANALIZACIJSKEM SISTEMU

Na sistemu javne kanalizacije tako zaznavamo predvsem:

- nedovoljene vtoke iz industrije,
- nedovoljene vtoke padavinske vode,
- problematiko reševanja izločitve s padavinsko vodo zaradi preplavitve kanalizacijskega sistema,
- spoštovanje pravil vtoka v sistem javne kanalizacije ter ločitev vodá (komunalna odpadna voda in padavinska odpadna voda).

Hidravlične razmere in kontroliranje vtoka v kanalizacijski sistem Mestne občine Maribor so odvisni od:

- načrpane pitne vode, ki se kot komunalna odpadna voda odvaja v sistem javne kanalizacije;
- načrpane vode za namen uporabe v industriji zunaj sistema oskrbe s pitno vodo (t. i. lastna zajetja), ki se kot komunalna odpadna voda odvaja v sistem javne kanalizacije;
- zaledne vode, kot so pritoki vodotokov v sistem javne kanalizacije, ki se kot voda odvaja v sistem javne kanalizacije;
- padavinske vode s streh in utrjenih površin, ki se kot odpadna voda odvaja v sistem javne kanalizacije;
- padavinske vode s cestišč, ki se kot padavinska odpadna voda odvaja v sistem javne kanalizacije;
- tuje vode.

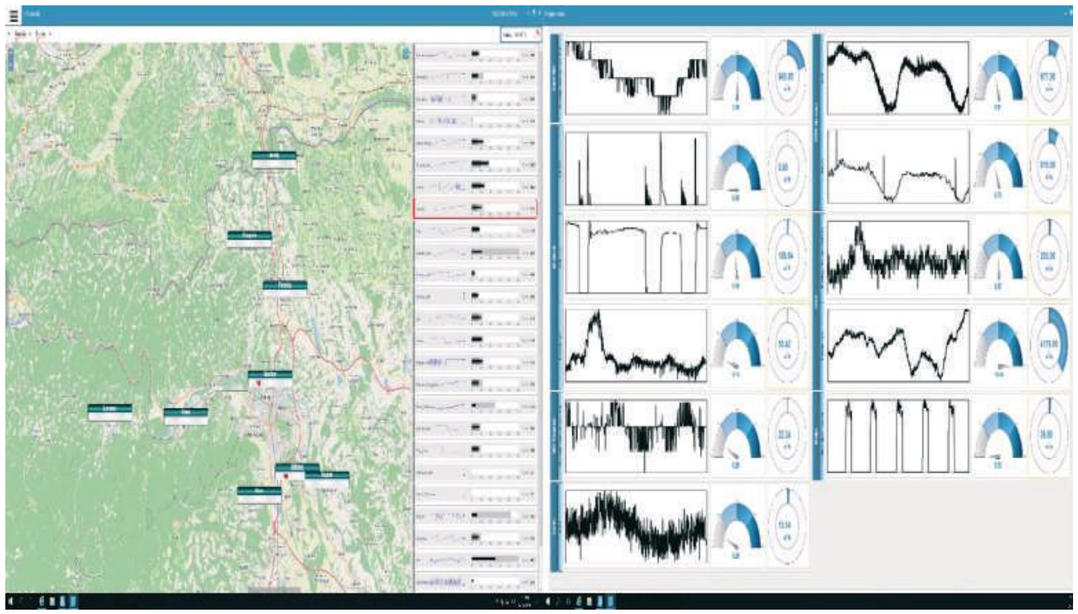
Hidravlične razmere in kontroliranje vtoka so na prispevnem območju izvajanja javne službe zelo podvrženi količinam in intenziteti padavin.

3. AKTIVNOSTI IZVAJALCA JAVNE SLUŽBE V SMERI ZAGOTAVLJANJA PRETOČNOSTI

3.1 Pregled nad vtoki industrijske odpadne vode

Za namen regulacije ustreznosti vtoka v sistem javne kanalizacije je izvajalec javne službe v letu 2018 zagotovil in izvedel implementacijo pregleda vtoka na delu kanalizacijskega sistema. Izvajali smo naslednje aktivnosti:

- preverjali smo vsebnosti pH snovi v odpadni vodi na levem in desnem kolektorju kanalizacijskega sistema;
- izvedli in implementirali smo detektor za pregled nad vsebnostjo olja v javnem kanalizacijskem sistemu;
- v skladu s pravili dobrega gospodarja smo izvajali redne in izredne meritve s pomočjo hišnega laboratorija Nigrad, ki nam je v pomoč za hitro in kakovostno zagotavljanje storitev.



Slika 1: Pregled vtoka na kanalskem omrežju Mestne občine Maribor

3.2 Pregled opravljenega dela nad vtoki padavinske vode

Nadalje je izvajalec javne službe v letu 2019 izvedel obsežne aktivnosti na terenu na podlagi neposrednih obvestil. Za namen regulacije ustreznosti vtoka je izvajalec javne službe izvedel obširno obveščanje. Vanj so bile vključene naslednje aktivnosti:

- aktivacija tehnične ekipe na terenu z ogledi,
- pregled opravljenega dela pred priklopi na sistem javne kanalizacije,
- sprotno obveščanje prek izdanih položnic in kontrola na terenu na podlagi prijav,
- prijave pristojnim inšpekcijskim službam.

Za namen regulacije ustreznosti vtoka v sistem javne kanalizacije je izvajalec javne službe med letoma 2017 in 2018 izvedel obširna obvestila za občane občine Miklavž na Dravskem polju, v letu 2019 obširna obvestila za občane Mestne občine Maribor in v letu 2020 obširna obvestila za občane občine Pesnica.

V danih obvestilih smo tako zajeli obširno obveščanje ter prikazali praktične razloge in zahteve po izključitvi iz sistema javne kanalizacije s padavinsko vodo, in sicer z obrazložitvijo težav, ki nastajajo na sistemu javne kanalizacije.

4. ZAGOTAVLJANJE PREGLEDNOSTI IN SPOŠTOVANJE VTOKOV NA ZAKONSKI OSNOVI

Ukrepe in ravnanja s padavinsko odpadno vodo določa Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. Vsebina prvega odstavka 17. člena te uredbe smiselno ureja odvajanje padavinskih vodá in zajema naslednja določila:

*»Padavinsko odpadno vodo, ki odteka s strehe objekta, mora lastnik objekta odvajati neposredno ali posredno v vode (**dana zahteva pomeni prioritetno ponikanje, na omejenih območjih, kjer ponikanje ni možno, pa zbiranje padavinske vode oz. odvodnja na drug ustrezen način s tem, da se ne odvaja padavinska voda v komunalno javno kanalizacijo**), kadar je to tehnično izvedljivo, razen če to vodo uporabi kot dodatni vir vode za namene, pri katerih ni treba zagotoviti kakovosti za pitno vodo, na primer splakovanje stranišč, pranje perila ali zalivanje, in se za tako uporabljeno padavinsko odpadno vodo zagotovi izvedba ukrepov odvajanja v javno kanalizacijo.«*

Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (Uradni list RS, št. 98/15, 76/2017) določa v svojem 24. členu 4. odstavka naslednje: »***Pri načrtovanju, gradnji, rekonstrukciji ali vzdrževanju objektov v aglomeraciji mora biti zagotovljeno, da se predvidijo in izvajajo ukrepi za zmanjševanje količin padavinske odpadne vode, ki se odvaja v javno kanalizacijo.«***

V zvezi z drugo zakonodajno pristojnostjo ne smemo spregledati še ukrepov, ki jih določa 87. člen (odtekanje meteornih padavin) Stvarnopravnega zakonika (Uradni list RS, št. 87/02 in 91/13) glede uporabe meteornih voda, kjer se uporablja določba, ki govori o meteorni vodi:

»Lastnik nepremičnine mora storiti vse potrebno, da meteorne padavine z njegove zgradbe ne odtekajo oziroma ne padajo na tujo nepremičnino.«

GJI je javna kanalizacija in je nedvomno tuja nepremičnina, ki jo imamo sami kot izvajalec javne službe v najemu, zato je pravilno, da se padavinske vode ne stekajo v sistem javne kanalizacije.

Slika 2: Lokacije pregledanih in izločenih objektov iz sistema javne kanalizacije s padavinsko vodo

4.1 Kontrola nad industrijsko odpadno vodo in padavinsko vodo

Nadzor nad industrijsko odpadno vodo izvaja Inšpektorat RS za okolje in prostor (IRSOP). Prav tako pa je skladno z odločbo Ustavnega sodišča P-1/18-5 z dne 24. oktobra 2018 pristojnost nad pregledom izločitve padavinskih vodá v domeni IRSOP.

4.2 Možnosti izločitve padavinskih vodá

Praktični primeri in rešitve na javnih in večjih zasebnih površinah so:

- zbiranje padavinske vode in poznejša ponovna uporaba;
- uporaba travnih plošč na parkirnih površinah, dvoriščih in sprehajalnih poteh;
- polaganje prepustnega asfalta in tlakovcev;
- uporaba ponikovalnih bazenov s sposobnostjo ponikovanja in sprejemanja padavinskih vodá;
- zelene strehe, ki zmanjšujejo površinski odtok.

Ukrepi na zasebnih površinah so:

- ureditev dvorišč s čim več zelenimi ali tlakovanimi površinami;
- izgradnja zadrževalnega bazena za zbiranje padavinske vode, ki jo ponovno uporabimo (zalivanje, pranje ipd.).

Glede izločitve padavinskih vodá poznamo več rešitev ponikanja in zbiranja vode, obenem pa opažamo, da gradnja klasičnih betonskih ponikovalnic ni edini oz. najboljši ukrep. Obstaja več rešitev pri trajnostnem upravljanju s padavinsko vodo. Pri samem projektiranju moramo upoštevati razvoj mest in tudi urbanizacije okolja, pri tem pa slediti analizam in trendom, povezanih s padavinsko vodo.

Cilj je, da padavine infiltriramo pod površino in tako bogatimo podtalnico. S tem zmanjšamo probleme glede zagotavljanja pitne vode, samo padavinsko vodo, ki je onesnažena (ceste, parkirišča), pa prek nezahtevnih procesov čiščenja odvedemo v ponikanje oz. najdemo načine, ki se približajo primeru naravnega vodnega kroga.

5. ZAKLJUČEK

Zakon o varstvu okolja določa, da je izvajanje javne gospodarske službe v pristojnosti lokalne skupnosti. Slednja je skladno s pravili vlaganja v gospodarsko javno infrastrukturo lastnik obsežne javne infrastrukture – kanalizacije. Zanjo moramo vsi občani pravilno skrbeti in spoštovati pravila, da nam bom služila in opravljala nalogo odvajanja odpadne vode vse do sistema za čiščenje. Ne glede na to, kakšen je sistem za čiščenje, vedno potrebuje kakovostno odpadno vodo in kontinuiran dotok te odpadne vode.

S povečevanjem prispevnih površin ima namreč za posledico večje in intenzivnejše vtoke na obstoječi kanalizacijski sistem, s tem pa se onemogočata pravilno odvajanje odpadne vode in zagotavljanje kontinuitetnega vtoka na čistilno napravo.

Dolžnost lastnika je, da vsakodnevno odvaja ustrezno industrijsko odpadno vodo, ki ne povzroča havarij na sistemu javne kanalizacije. Kljub naporom, ki jih vlaga izvajalec, ugotavljamo, da se neustrezni vtoki redno pojavljajo, pri tem pa pogrešamo bolj aktivno sodelovanje lastnikov infrastrukture kot tudi pomoč gospodarske zbornice, ki bo svetovala podjetjem pri premagovanju težav na področju odvajanja industrijske odpadne vode.

LITERATURA IN VIRI

1. Rebec, P., 2019. Izločitev padavinskih voda iz sistema mešane kanalizacije. Diplomsko delo višješolskega študijskega programa. Maribor: Prometna šola Maribor.
2. Stvarnopravni zakonik, Uradni list RS, št. 87/02, 91/13 in 23/20.
3. Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo, Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15.
4. Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode, Uradni list RS, št. 98/15, 76/17 in 81/19.

5. Zakon o gospodarskih javnih službah, Uradni list RS, št. 32/93, 30/98 – ZZLPPO, 127/06 – ZJZP, 38/10 – ZUKN in 57/11 – ORZGJS4.
6. Zakon o urejanju prostora – Zurep-2, Uradni list RS, št. 61/17.

SONARAVNE REŠITVE ZA ČIŠČENJE ODPADNIH VODÁ

ANJA POTOKAR[1], URŠA BRODNIK[2], mag. ALENKA MUBI ZALAZNIK[3]

Povzetek

Sonaravne rešitve za čiščenje odpadnih vodá že dolgo časa niso več novost, ampak spadajo pod preizkušene tehnologije, ki se uporabljajo po vsem svetu. V Sloveniji so najbolj številne rastlinske čistilne naprave za čiščenje komunalnih odpadnih vodá. Z napredkom tehnologije se manjša njihova potreba po prostoru in veča učinkovitost.

V časih, ko je na eni strani vedno več pritiskov po zmanjšanju stroškov čiščenja, na drugi pa zahtev po investicijah, je prav, da o sonaravnih rešitvah začnemo govoriti kot o konkretnih ukrepih. Njihove velike prednosti so reševanje več problematik naenkrat oz. na mestu nastanka, ekonomska upravičenost ter izvajanje krožnega gospodarstva v praksi.

V nadaljevanju sta predstavljeni dve sonaravni rešitvi s področja odpadnih vodá. Prva rešitev je izvedena v hrvaški Istri (Kaštelir) in prikazuje decentralizirano reševanje tako odpadnih vodá kot komunalnega blata. Druga rešitev pa na severu Črne gore (Mojkovac) in združuje sonaravni pristop s konvencionalnim.

Ključne besede: čiščenje odpadnih vodá, krožno gospodarstvo, obdelava blata, ponovna uporaba biomateriala, rastlinske čistilne naprave, sonaravne rešitve, trstične grede.

Abstract

Nature-based solutions for wastewater treatment are not a novelty anymore but are proven technologies which are being used all around the world. In Slovenia, the most numerous are constructed wetlands for the treatment of municipal wastewater. With the advancement of technology, their need for space is decreasing, and efficiency increasing.

At a time when on one side there are more and more pressures to reduce wastewater costs and, on the other, there are demands for investments, it is the right time to start talking about more concrete nature-based measures. Their great advantage is in addressing more problems together or at the place of origin, economic viability, and implementation of the circular economy in practice.

1 Anja Potokar, univ. dipl. inž. vki., LIMNOS, d.o.o.
2 Urša Brodnik, univ. dipl. inž. vki., LIMNOS, d.o.o.
3 Mag. Alenka Mubi Zalaznik, vodja projektov, LIMNOS, d.o.o.

In the following, two nature-based solutions from the field of wastewaters are presented. The first solution applied is in Croatian Istra and shows the decentralized approach related to wastewaters and municipal sludge. Another solution is in the northern part of Montenegro (Mojkovac) and combines the nature-based approach with the conventional.

Keywords: circular economy, constructed wetlands, nature-based solutions, reed beds, reuse of biosolids, sludge treatment, wastewater treatment.

1. SONARAVNE REŠITVE V LUČI ODPADNIH VODÁ

Na naravi temelječe rešitve za reševanje okoljskih problemov so v našem prostoru prisotne že več kot 30 let. Kljub vsesplošnemu strinjanju, da imajo sonaravne rešitve mnogo pozitivnih učinkov, je njihova implementacija v našem prostoru še vedno omejena, ne glede na vedno večjo prisotnost v občinskih in državnih dokumentih. Njihova konkretna vrednost in uporaba sta vse prevečkrat zamegljeni z uporabo zelo širokih in splošnih pojmov, kot so ukrepi za prilagajanje podnebnim spremembam ali pa ukrepi za zaščito biotske raznovrstnosti. Ob vsej preplavi različnih poimenovanj teh ukrepov bi lahko bolj jasna označevanje in konkretiziranje ukrepov pripomogla k večji prepoznavnosti kot tudi uporabnosti teh.

Ko govorimo o sonaravnih rešitvah za odpadne vode, je jasno, da gre za rešitve, ki najprej in predvsem čistijo vodo, sama večnamembnost ukrepa pa je sekundarnega pomena, kar seveda ne pomeni, da se to lahko zanemari pri procesu planiranja in odločanja. Prav tako kot ne gre zanemariti potrebe okolja, kamor umeščamo čistilno napravo. Tako bo, npr., spregledano pomanjkanje vode pri snovanju projektne naloge čiščenja in odvajanja rezultiralo z implementacijo tehnologije, ki ne omogoča ponovne uporabe vode. Enako velja za sonaravne rešitve za odpadne vode – njihov tehnološki in ekosistemski potencial je možno izkoristiti samo ob smotrnem umeščanju v prostor, pri čemer je treba upoštevati lokalno problematiko.

Od različnih sonaravnih rešitev za čiščenje odpadnih vodá so v Sloveniji najbolj številne rastlinske čistilne naprave (RČN). Večina RČN v Sloveniji dosega sekundarno ali primerno stopnjo čiščenja, kar je tudi največkrat zahteva za MKČN do 2.000 populacijskih ekvivalentov (PE). V preteklosti so se večinoma gradile RČN s horizontalnim podpovršinskim tokom, za katere je značilna dobra denitrifikacija, v zadnjih desetih letih pa je prišlo do napredka tehnologije in se zaradi manjše porabe prostora kot tudi boljše nitrifikacije večinoma gradijo RČN z vertikalnim podpovršinskim tokom vode ali pa hibridni sistemi, ki združujejo prednosti obeh sistemov. Z RČN z vertikalnim tokom se je potreba po prostoru zmanjšala na 2 m^2/PE. Novost, ki v našem prostoru še ni uveljavljena, so intenzificirane rastlinske čistilne naprave, ki na še manjšem prostoru (0,4 m^2/PE) prenesejo večje obremenitve onesnaževal. Površina sistema se v tem primeru zmanjša na račun umetnega vpihovanja kisika v substrat (Ilyas in Masih, 2017).

Razvoj RČN skozi čas je pokazal, da bolj ko je tehnologija čiščenja pasivna in energetsko manj zahtevna, večjo površino potrebujemo. Potrebno površino za RČN lahko torej manjšamo z večjim energetskim vložkom. Z manjšanjem velikosti RČN hkrati zmanjšamo tudi začetno investicijo. Izbira tehnologije RČN tako že dolgo ni več samo odvisna od razpoložljivosti prostora.

Na Danskem uveljavljena tehnologija, vrbovi nasadi brez iztoka, deluje po postopku uravnavanja hidrološkega krogotoka vode na način, da je evapotranspiracija vzpostavljenega sistema večja od količine dodane odpadne vode. Sistemi brez iztoka so primerni za občutljiva območja, saj popolnoma eliminirajo vir onesnaženja in območja, kjer ponikanje ali odvajanje prečiščene vode ni mogoče. Prvi takšen pilotni primer v Sloveniji je bil zgrajen leta 2015 v Ajdovščini v sklopu raziskovalnega projekta ARRS Z2-6751. Glede na to, da vrbovi nasadi brez iztoka potrebujejo še večjo površino (30–50 m^2/PE) kot RČN, njihova implementacija postane smotrna v povezavi z gospodarsko dejavnostjo (gojenje hitrorastočih nasadov in pridobivanje lesne biomase) ali z naraščanjem stroškov in kompleksnosti čiščenja težje onesnaženih vodá.

V preteklosti se je dokazalo, da RČN lahko učinkovito čistijo izcedne vode iz odlagališč (Kadlec in Zmarthie, 2010) ali se uporabljajo za predčiščenje izcedne vode za namakanje zelenega pokrova odlagališč (Zupančič Justin in Zupančič, 2009). Problem se pojavi, kadar imamo v odpadni vodi težje razgradljive snovi, ki jih samo z RČN ne moremo odstraniti. V luči tega razmišljanja imajo sistemi brez iztoka velik potencial. Pri zaprtih odlagališčih se količina in onesnaženost vode z leti manjšata, kar predstavlja velik izziv tako tehnologom, investitorjem kot tudi upravljavcem. Robustni sistemi se tako zdijo bolj privlačna rešitev za vse, vendar se vrata inovativnim sonaravnim tehnologijam odpirajo le stežka.

RČN se uporabljajo tudi za poliranje odpadne vode. Polirna greda se zgradi po iztoku iz konvencionalne čistilne naprave. Sistemi za poliranje so običajno samo nekaj deset centimetrov globoki, izpostavljeni aerobnim pogojem in UV-svetlobi. Prav kombinacija klasičnih in sonaravnih tehnologij za čiščenje odpadnih vodá lahko pozitivno vpliva na zmanjšanje stroškov. Poleg tega uporaba klasične tehnologije pred sonaravno zmanjša potrebo po površini slednje tehnologije. Tehnologiji se torej vedno ne izključujeta ali konkurirata, ampak lahko tudi dobro in učinkovito sodelujeta. Primer takšnega sodelovanja je področje industrijskih odpadnih vodá. Področje, kjer se konvencionalna in sonaravna tehnologija tudi srečata, je pasivna obdelava blata iz komunalnih čistilnih naprav. Tehnologija, ki zaradi vedno dražjega prevzema in odvoza blata vzbuja zanimanje občin tudi v Sloveniji, so trstične grede za stabilizacijo in mineralizacijo blata. Rešitev lahko popolnoma nadomesti mehansko dehidracijo, grede pa se zgradijo ob visokotehnološki čistilni napravi. Prednost takšne rešitve je, da zmanjša stroške obdelave in odvoza blata, saj omogoča dolgoročno skladiščenje blata (osem let in več) kot tudi višjo stopnjo sušine ter mineralizacije (manjši končni volumen).

Kombinacij in možnosti za aplikacijo sonaravnih rešitev za odpadne vode je mnogo. Napredek tehnologij, dokazana učinkovitost in podpora politik Evropske unije tvorijo regionalni okvir, v katerem tehnologije postajajo prepoznavne in dobivajo možnosti za širšo aplikacijo. Pri odpadnih vodah ne gre toliko za odmik od tradicionalnih inženirskih pristopov kot za iskanje najprimernejših rešitev. V Sloveniji bomo naredili že korak naprej, če v fazi planiranja odločevalci konkretne sonaravne rešitve uvrstijo na seznam možnih tehnologij in se te enakovredno obdelajo v idejnih rešitvah. Izbor najprimernejše tehnologije bi moral biti v rokah stroke, tako kot je naša dolžnost do naroda, da predlagamo rešitev, ki je tako ekonomsko kot okoljsko najbolj sprejemljiva.

V nadaljevanju se bomo osredotočili na dva primera aplikacije sonaravnih rešitev za odpadne vode.

2. CELOSTNO SONARAVNO REŠEVANJE ODPADNIH VODÁ IZ OBČINE KAŠTELIR-LABINCI, HRVAŠKA

2.1 Opis

V okviru projekta Zaščita priobalnega področja II (Jadranski projekt) pred onesnaženjem sta se zgradili kanalizacija in čistilna naprava za čiščenje odpadnih vodá iz občine Kaštelir-Labinci. Projekt sta financirala Mednarodna banka za obnovo in razvoj (IBRD) ter Globalni sklad za okolje (GEF).

Občina Kaštelir-Labinci se nahaja na zahodni obali turistično razvite Istre. Za to lokacijo so značilna velika sezonska nihanja: obremenitev čistilne naprave je poleti dvakrat večja. Projektirana kapaciteta čistilne naprave je 1.900 PE.

Čistilna naprava Kaštelir-Labinci je sestavljena iz dveh glavnih sistemov: rastlinske čistilne naprave za čiščenje odpadnih vodá, ki je bila zgrajena leta 2015, in trstične grede za obdelavo blata, ki je bila zgrajena leto pozneje. Odpadna voda doteka v grobe grablje, kjer se iz vode odstranijo večji grobi delci in odpadki. Sledi faza usedanja blata v usedalniku Imhoff. Delno prečiščena voda se nato spelje na biološke grede rastlinske čistilne naprave, kjer se filtrira, čisti in polira. Ob sodelovanju mikroorganizmov in vlagoljubnih rastlin ter aktivni, vnaprej načrtovani vlogi fizikalnih in kemijskih procesov se voda v RČN očisti do zahtevane sekundarne stopnje čiščenja. Primarno blato, ki se zbira v konusnem gnilišču usedalnika Imhoff, je treba na vsake dva do tri mesece prečrpati na trstično gredo, kjer se suši, stabilizira in mineralizira. To se izvede z ročnim odpiranjem ventila, ki blato gravitacijsko porine do rezervoarja za homogenizacijo, od koder se ga enakomerno distribuira po površini trstične grede. Suspendirani delci ostanejo na površini sistema, voda pa se počasi izceja skozi medij in vrača nazaj na čistilno napravo. Obdobju doziranja nato sledi obdobje mirovanja.

Glavne procesne enote čiščenja so prikazane v spodnji tabeli.

Tabela 1: Glavne procesne enote čiščenja

Skupina	Enota	Proces
Mehansko predčiščenje	Avtomatske rešetke usedalnika Imhoff	Izločanje grobih delcev in odpadkov, usedanje suspendiranih snovi, anaerobna stabilizacija blata, ločevanje blata in vode
Biološko čiščenje odpadnih vodá	Rastlinska čistilna naprava	Aerobna in anaerobna razgradnja, mineralizacija, adsorpcija
Obdelava blata	Trstična greda	Sušenje, mineralizacija in stabilizacija blata

(Vir: Lastni)

Celoten sistem je velikosti 5.097 m^2 neto ter je sestavljen iz petih gred rastlinske čistilne in ene trstične grede. Neto dimenzije sistema so prikazane v tabeli 2.

Tabela 2: Neto dimenzije čistilne naprave

Grede	Dolžina (m)	Širina (m)	Neto površina (m^2)
2x greda za filtriranje	39	23	1.794
2x greda za čiščenje	39	23	1.794
1x greda za poliranje	27	47	1.269
1x trstična greda	12	20	240
Skupaj:			**5.097**

(Vir: Lastni)

Procesna shema in aeroposnetek sonaravnega sistema v Kaštelirju sta prikazana v nadaljevanju.

Slika 1: Procesna shema RČN Kaštelir-Labinci z naravno dehidracijo blata (Vir: Limnos, d.o.o.)

Slika 2: Aeroposnetek rastlinske čistilne naprave in trstične grede (Vir: Limnos, d.o.o.)

2.2 Učinkovitost

RČN v Kaštelirju učinkovito odstranjuje organske in suspendirane snovi ter dosega hrvaške mejne vrednosti. V spodnji tabeli so prikazane zadnje meritve, ki so jih opravili aprila 2020.

Tabela 3: Učinkovitost RČN Kaštelir-Labinci (april, 2020)

Parameter	Vtok (mg/l)	Iztok (mg/l)	Doseženo zmanjšanje (%)	Mejne vrednosti in zmanjšanje v %
Biokemijska potreba po kisiku (BPK_5)	/	12	70,0	25 mg/l in 70-%
Kemijska potreba po kisiku (KPK)	1.835	25	98,6	125 mg/l in 75-%
Suspendirane snovi (SS)	1.248	2	99,8	35 mg/l in 90-%

(Vir: Lastni)

Za pridobitev informacij o kakovosti blata je bila izvedena analiza blata. Opravljene so bile analize suhe in celotne hlapne snovi, težkih kovin, skupnega dušika (TN) ter skupnega fosforja (TP).

Tabela 4: Analize blata (oktober, 2019)

Parameter	Enota	Izmerjene vrednosti		Mejne vrednosti za uporabo v kmetijstvu (Pravilnik NN 38/2008)
		Vzorec 1	Vzorec 2	
Suha snov	% mase	22,9	23,1	
Celotne hlapne snovi	% mase	63,3	64,4	
Skupni dušik (TN)	% mase	3,5	3,7	
Skupni ogljik (TC)	% mase	34,7	32,5	
Skupni fosfor (TP)	% mase	1,3	1,2	
pH		6,65	6,8	
Kadmij (Cd)	mg/kg TS	1,1	1,2	5
Baker (Cu)	mg/kg TS	324,8	323,1	600
Nikelj (Ni)	mg/kg TS	31,8	28,3	80
Svinec (Pb)	mg/kg TS	90,5	87,0	500
Cink (Zn)	mg/kg TS	1.031	1.059	2.000
Živo srebro (Hg)	mg/kg TS	0,42	0,42	5
Krom (Cr)	mg/kg TS	53	45	500

(Vir: Lastni)

Analiza blata je pokazala, da je vsebnost težkih kovin znotraj dovoljenih mejnih vrednosti in je s tega vidika uporaba v kmetijstvu možna. Pridobljeni rezultati so skladni z več drugimi študijami, ki kažejo, da so na splošno koncentracije težkih kovin v biomaterialu v mejah za neomejeno aplikacijo na zemljino (Uggetti et al., 2009; Nielsen in Willoughby, 2005; Nielsen, 2007) in sčasoma ostanejo nespremenjene (Peruzzi et al., 2009) ali pa so njihove vrednosti zaradi kopičenja skozi leta nekoliko višje (Nielsen in Bruun, 2015).

V Kaštelirju se TN giblje od 3,5 do 3,7 % mase, TP pa od 1,2 do 1,3 % mase. Te vsebnosti TN so podobne vsebnostim v treh drugih trstičnih sistemih za obdelavo blata (2,9–3,8 %) (Gómez-Muñoz et al., 2017). V poljskih sistemih (Obarska-Pempkowiak et al., 2003) pa je bila povprečna vsebnost TN od 1 do 10 % suhe snovi, TP pa od 0,2 do 1 % suhe snovi.

Analize suhe snovi smo maja 2020 ponovili in izmerili 31,2 % suhe snovi, kar je za 8,2 % več kot oktobra 2019. Pri tem moramo opozoriti, da gre šele za vmesne rezultate po slabih štirih letih delovanja, zato stopnja sušine narašča z globino (Obarska-Pempkowiak et al., 2003). Pričakuje se, da se bo v naslednjih letih sušina blata v Kaštelirju še povečala. Izkušnje kažejo, da je možno doseči tudi do 40-% sušino (Nielsen, 2003).

Uspešna stabilizacija in higienizacija sta ključni za ponovno uporabo blata. Odstranitev patogenih organizmov dosežemo v štirih do šestih mesecih v končni fazi mirovanja, ko se blata več ne dovaja na trstično gredo.

2.3 Možnosti snovne izrabe na lokalni ravni

Čistilna naprava Kaštelir-Labinci je zasnovana po načelih krožnega gospodarstva, saj omogoča ponovno uporabo vode in blata. Prečiščena voda se zbira v rezervoarju velikosti 285 m^3 ter je na voljo kmetom za namakanje bližnjih nasadov oljk in vinogradov. V primeru viškov se voda preliva in infiltrira v tla prek drenažnih cevi.

Rezultat večletnega procesa obdelave blata na trstičnih gredah je kompostu podoben biomaterial. Značilnost tega materiala je, da je bogat s hranili (dušik, fosfor) in je zato primeren za uporabo v kmetijstvu pod pogoji, ki jih določa zakonodaja. Eden od ključnih pogojev za ponovno uporabo blata je vsebnost težkih kovin v blatu, ki so v Kaštelirju znotraj omejitev. Bolj je kanalizacijski sistem zaprt in manjša je prisotnost industrije, večja je verjetnost, da bo ponovna uporaba blata možna. Poleg uporabe v kmetijstvu z možnostjo higienizacije z dodajanjem apna so možne tudi druge rabe: gnojenje zelenih in urbanih površin, sanacija posledic erozije in degradiranih območij, mešanje biomateriala z rekultivacijskim slojem za sanacijo deponij ter uporaba v gradbeništvu.

V naslednjih letih se bo na trstični gredi proizvedlo 469 ton blata, kar v teoriji zadostuje za aplikacijo na 1,33 km^2 kmetijskih površin. Občina Kaštelir-Labinci ima na voljo dovolj kmetijskih površin za lokalno uporabo biomateriala (4,5 km^2 vinogradov, 0,5 km^2 oljčnih nasadov ipd.). Proizveden biomaterial ne more nadomestiti uporabe drugih gnojil, saj je snov na voljo samo na vsakih deset ali več let. Njegov vpliv na lokalno porabo in ponudbo gnojil je tako v tem primeru majhen.

Občina Kaštelir-Labinci se je za tehnologijo trstičnih gred odločila, ker blata na centralno čistilno napravo niso mogli odlagati, implementirana tehnologija pa jim je problem odlaganja blata rešila za vsaj deset let. S tem so si pridobili čas, da sprejmejo odločitev o ekonomsko in okoljsko sprejemljivi možnosti uporabe ali končnega odlaganja biomateriala. Pri končni odločitvi bo veliko vlogo igral kraški teren; trenutni Pravilnik (NN, št. 38/08) (Pravilnik »Narodne novine«, broj 38/08) uporabo blata na takšnih tleh prepoveduje.

Četudi bosta edini možnosti izkop in končno dolaganje materiala (npr. sežig), bo volumen materiala za vsaj 90 % manjši v primerjavi z odlaganjem anaerobno obdelanega blata iz usedalnika Imhoff. Na letni ravni se tako občina izogne stroškom odvoza v višini 5.760 evrov. Trenutni operativni stroški celotnega sistema (kanalizacija in MKČN s trstično gredo) pa znašajo okoli 3.600 evrov na leto.

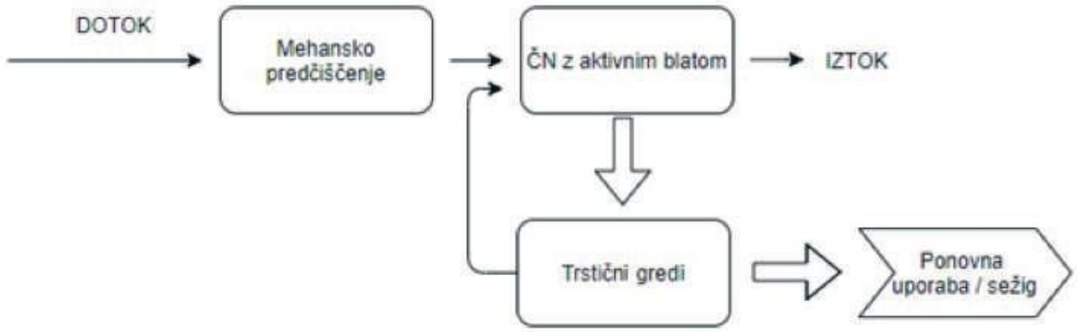
3. TRSTIČNE GREDE KOT ALTERNATIVA MEHANSKI OBDELAVI BLATA, MOJKOVAC

3.1 Opis

Mesto Mojkovac v Črni gori je dobilo centralno čistilno napravo z zmogljivostjo 5.200 PE že leta 2004, vendar brez trajnostnega, varnega in ekonomsko sprejemljivega koncepta ravnanja z blatom. Problem je predstavljalo odlaganje večjih količin blata iz čistilne naprave, saj odlaganje na lokalnem odlagališču ni bilo mogoče; prav tako v Črni gori še danes nimajo sežigalnice. Problem ravnanja z blatom je bil še toliko bolj pereč, saj se Mojkovac nahaja na začetku kanjona reke Tare, ki spada pod Unescovo svetovno dediščino in meji na dva nacionalna parka, Biogradsko Goro ter Durmitor. Povod za iskanje alternativnih rešitev za obdelavo blata je tako vezan na zaščito bogate naravne dediščine in turističnega razvoja celotne regije ter omejena finančna sredstva občine.

Pobudnik projekta izgradnje trstičnih gred za obdelavo blata je bilo Ministrstvo za trajnostni razvoj in turizem Črne gore. Projekt je bil izveden leta 2016 s finančno podporo vlade Republike Slovenije prek Organizacije združenih narodov za industrijski razvoj (UNIDO).

Implementirana tehnologija trstičnih gred je popolnoma nadomestila mehansko obdelavo blata ter s tem znižala visoke stroške obdelave in odlaganja blata, kar je bila želja občine. Procesno gledano, implementacija trstičnih gred ni posegla v proces čiščenja odpadne vode, ampak v linijo za obdelavo blata: blato iz primarnega in sekundarnega usedalnika se namesto v zgoščevalnik in od tam na prešo pošlje neposredno na trstične grede. Prikaz umestitve trstičnih gred v proces tehnologije klasične čistilne naprave z aktivnim blatom je prikazan na spodnji sliki, sledi aeroposnetek celotne čistilne naprave.



Slika 3: Procesna slika ČN Mojkovac z naravno dehidracijo blata (desno) (Vir: Limnos, d.o.o.)

Slika 4: Čistilna naprava Mojkovac s trstičnimi gredami (Vir: Limnos, d.o.o.)

V Mojkovcu so trstični sistem za obdelavo blata izvedli kot dva armiranobetonska bazena, skupne velikosti 900 m^2. Neto dimenzije trstičnega sistema so prikazane v tabeli 5.

Tabela 5: Neto dimenzije čistilne naprave

Grede	Dolžina (m)	Širina (m)	Neto površina (m^2)
2x trstična greda	45	10	450
Skupaj:			**900**

(Vir: Lastni)

Sistem ni avtomatiziran, saj je občina prosila za čim bolj robusten sistem, ki ga lahko sami upravljajo in servisirajo. Z odpiranjem ventilov se upravljavec odloči, katero gredo bo polnil. Dovodne cevi so pritrjene po daljši stranici grede in dovajajo blato od zgoraj navzdol. Sistem je zasajen z navadnim trstičevjem (*Phragmites australis*). Doziranje blata je prilagojeno klimatskim razmeram in obratovanju čistilne naprave. Maksimalna obremenitev s suho snovjo

ter čas polnjenja in mirovanja sta opredeljena v planu obratovanja s strani tehnologa. Poskusno obratovanje služi preverjanju in optimiziranju obdelave blata. V primeru, da sistem preobremenimo, lahko pride do anaerobnih razmer in posledične zamašitve. V takšnih razmerah obdelava blata ni učinkovita. Neprijetne vonjave, stoječa voda in slabo razrasle rastline so prvi opozorilni znaki slabo delujočega sistema. Trstične grede v Mojkovcu se od februarja do septembra polnijo 14 dni zaporedoma, **čemur** sledi 14-dnevno mirovanje. Takrat je tudi obremenitev sistema najintenzivnejša. Temu sledi dvomesečno obdobje polnjenja, ko sistem polnimo vsak drugi dan s ciljem odstranitve čim večje količine blata iz čistilne naprave. Sledi dvomesečno obdobje brez dovajanja blata na sistem.

3.2 Učinkovitost

Tako kot analize blata iz trstične grede v Kaštelirju so tudi analize blata v Mojkovcu (Tabela 6) pokazale primernost uporabe blata v kmetijstvu (kategoriji A in B), hkrati pa tudi možnost uporabe blata na zelenih površinah in v parkih (kategorija B). V občini Mojkovac želijo pridelani biomaterial na trstičnih gredah uporabiti za sanacijo gozdne erozije.

Tabela 6: Analize blata (oktober, 2019)

Parameter	Enota	Izmerjene vrednosti		Mejne vrednosti za uporabo v kmetijstvu (MRT, 2009)	
		Vzorec 1	Vzorec 2	Razred A	Razred B
Suha snov % mase	% mase	16	16		
Celotne hlapne snovi	% mase	67	68		
Skupni dušik (TN)	% mase	4,9	4,6		
Skupni ogljik (TC)	% mase	1,4	1,4		
Skupni fosfor (TP)	% mase	33,5	32,5		
pH		5,8	5,9		
Kadmij (Cd)	mg/kg TS	1,8	1,7	5	10
Baker (Cu)	mg/kg TS	154	154	300	600
Nikelj (Ni)	mg/kg TS	38	37	60	100
Svinec (Pb)	mg/kg TS	98	94	120	200
Cink (Zn)	mg/kg TS	983	995	600	1.200
Živo srebro (Hg)	mg/kg TS	2,7	2,1	5	10
Krom (Cr)	mg/kg TS	55	51	100	250

(Vir: Lastni)

Poleg težkih kovin Črna gora uporabo blata omejuje še s prisotnostjo organskih spojin (PAH, PCB) in patogenih organizmov, vendar samo za čistilne naprave z zmogljivostjo, večjo od 100 000 PE. Pomemben kriterij, ki mu mora blato zadostovati, je še vsebnost suhe snovi. V Mojkovcu so oktobra 2019 dosegli 16 % suhe snovi, vendar se je vzorčilo za čas intenzivnejšega vsakodnevnega doziranja. Pričakuje se, da bo končni rezultat suhe snovi nad 20 %, tako kot na to kažejo analize blata trstičnih gred v Dellach im Drautal v Avstriji. Oba kraja sta si klimatsko podobna (Cfb klasifikacija), prevladujejo ostre zime, krajša vegetacijska sezona in višje padavine. Hladnejša klima pomeni počasnejše biološke procese in posledično slabšo stopnjo mineralizacije. Višji odstotek suhe snovi lahko dosežemo z dodatnim solarnim sušenjem ali daljšim časom mirovanja.

3.3 Stroškovna analiza

Izgradnja trstičnih gred v Mojkovcu je stala 138.525 evrov, medtem ko se upravljavski stroški ocenjujejo na 3.000 evrov/leto (delovna sila, poraba električne energije, monitoring, redna in izredna vzdrževalna dela v naslednjih tridesetih letih) brez stroška končnega odlaganja blata. Za boljšo ilustracijo stroškov, povezanih z odlaganjem, ob trenutni obremenitvi ČN (2.400 PE) predvidimo dva scenarija in ju primerjamo z mehansko obdelavo blata (Tabela 7). Za strošek končnega odlaganja uporabimo ceno 100 evrov/tono, medtem ko strošek ponovne uporabe ocenimo na 20 evrov/tono.

Tabela 7: Primerjava stroškov končnega odlaganja blata

Trstične grede		Mehanska obdelava blata
Optimalni scenarij	**Običajni scenarij**	
40-% suha snov **40-% mineralizacija**	25-% suha snov 40-% mineralizacija	22-% suha snov /
97 ton/leto	155 ton/leto	293 ton/leto
9.658 evrov/leto za končno odlaganje **1.932 evrov/leto za ponovno uporabo**	15.453 evrov/leto za končno odlaganje 3.091 evrov/leto za ponovno uporabo	29.266 evrov/leto za končno odlaganje

(Vir: Lastni)

Primerjava stroškov končnega odlaganja materiala po mehanski obdelavi (29.266 evrov/leto – odvoz na sežig) in po trstičnih gredah (3.091 evrov/leto – ponovna uporaba biomateriala za sanacijo erozije) je pokazala, da bo občina v naslednjih tridesetih letih prihranila 785.250 evrov. Samo iz tega naslova se bo investicija v trstične grede povrnila že v slabih šestih letih.

4. ZAKLJUČKI

Predstavljena sonaravna primera s področja čiščenja odpadnih vodá sta prikazala, na kakšen način lahko t. i. robustni sistemi enakovredno konkurirajo klasičnim oz. konvencionalnim sistemom, pri čemer sta v ospredju znižanje obratovalnih stroškov in »zapiranje zank« krožnega gospodarstva. Odločitev »za« sonaravno tehnologijo je bila pogojena s karakteristikami lokacije, razpoložljivostjo prostora in zmožnostjo reševanja akutne problematike.

Prav je, da gremo v razmišljanju o odpadnih vodah korak dlje in nanje več ne gledamo samo kot odpadek, ampak kot surovino za nadaljnjo uporabo. V nekaterih evropskih državah že teče pre-

hodno obdobje, po katerem bo obnova fosforja iz komunalnega blata obvezna. V Švici se bo to zgodilo leta 2026 (EBP, 2020), v Nemčiji pa leta 2029 za čistilne naprave, večje od 100 000 PE, tri leta pozneje pa še za čistilne naprave od 50 000 do 100 000 PE; aplikacija biomateriala na zemljišče bo tako dovoljena samo še za čistilne naprave pod 50 000 PE (Roskosch in Heidecke, 2018). Kljub velikim razlikam v državah članicah je prav, da se tudi v Sloveniji začnemo pogovarjati o prihodnjih trendih ravnanja z odpadno vodo (krožno gospodarstvo, mikropolutanti ipd.). Pod to spadajo tudi možni poslovni modeli in potencialni dohodki, ki lahko zmanjšajo obstoječe stroške s komunalno infrastrukturo ter posledično razbremenijo uporabnika. Pri uporabi biomateriala iz trstičnih gred je na voljo več možnosti: a.) biomaterial prodamo po ceni, ki krije stroške ravnanja z blatom; b.) biomaterial prodamo po ceni, ki zagotavlja profit; c.) uporabo biomateriala sofinanciramo ali ga damo brezplačno ter na ta način zmanjšamo stroške, vezane na končno odlaganje. Na Danskem je, npr., sofinanciranje (do 0,8 evra/kg P) uporabe biomateriala že uveljavljena praksa (Arias, 2020). Vzporedno z razvijanjem strategij in planov ravnanja z blatom potrebujemo tudi spremembo paradigme v načinu razmišljanja, saj ni poslovnega modela brez produkta in trga oz. produkta, ki ga bodo stranke želele uporabiti.

LITERATURA IN VIRI

1. Arias, A. C., 2020. Aarhus Univerza. Danska. Ustni vir.
2. EBP Schweiz AG, Phosphorus recovery for WWTP Glarnerland, Switzerland, 2016. Dostopno na: https://www.ebp.ch/en/projects/phosphorus-recovery-wwtp-glarnerland-switzerland [30. 7. 2020].
3. Gómez-Muñoz, B., Larsen, J. D., Bekris, G., Scheutz, C., Bruun, S., Nielsen, S. in Jensen, L. S., 2017. Nitrogen Mineralisation and Greenhouse Gas Emission from the Soil Application of Sludge from Reed Bed Mineralisation Systems. *J. Environ. Manage.* 2017, *203*, 59–67.
4. Gregersen, P. in Brix, H., 2001. Zero-discharge of nutrients and water in willow dominated constructed wetland. *Water Sci. Technol.* 2001, *44*, 407–412.
5. Ilyas, H. in Masih, I., 2017. Intensification of Constructed Wetlands for Land Area Reduction: A Review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2017, *24*, 12081–12091.
6. Kadlec, H. R. in Zmarthie, A. L., 2010. Wetland treatment of leachate from a closed landfill. *Ecol. Eng.* 2010, *36*, 946–957.
7. Ministarstvo održivog razvoja i turizma (MRT), 2009. Pravilnik o bližim uslovima koje treba da ispunjava komunalni kanalizacioni mulj, količine, obim, učestalost i metode analize komunalnog kanalizacionog mulja za dozvoljene namjene i uslovima koje treba da ispunjava zemljište planirano za njegovu primjenu. »Službeni list CG«,broj 89/09.
8. Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, 2008. Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi. NN 38/2008. Dostopno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_04_38_1307.html [31. 7. 2020].
9. Nielsen, S. in Bruun, E. W., 2015. Sludge Quality after 10–20 Years of Treatment in Reed Bed Systems. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2015, *22*, 12885–12891.
10. Nielsen, S. in Willoughby, N., 2005. Sludge Treatment and Drying Reed Bed Systems in Denmark. *Water Environ. J.* 2005, *19*, 296–305.
11. Nielsen, S., 2003. Sludge Drying Reed Beds. *Water Sci. Technol*. 2003, *48*, 101–109.
12. Nielsen, S., 2017. Sludge Treatment and Drying Reed Bed Systems. *Ecohydrology and Hydrobiology* 2007, *7*, 223–234.
13. Obarska-Pempkowiak, H., Tuszyńska, A. in Sobociński, Z., 2003. Polish Experience with Sewage Sludge Dewatering in Reed Systems. *Water Sci. Technol.* 2003, *48*, 111–117.
14. Peruzzi, E., Macci, C., Doni, S., Masciandaro, G., Peruzzi, P., Aiello, M. in Ceccanti, B., 2009. Phragmites Australis for Sewage Sludge Stabilization. *Desalination* 2009, *246*, 110–119.
15. Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi, »Narodne novine«, broj 38/08, 2008. Dostopno na: http://www.propisi.hr/print.php?id=7936 [30. 7. 2020].
16. Roskosch, A. in Heidecke, P., 2018. Sewage sludge disposal in the Federal Republic of Germany. German Environment Agency, 2018, 1–92.
17. Uggetti, E., Llorens, E., Pedescoll, A., Ferrer, I., Castellnou, R. in García, J., 2009. Sludge dewatering and stabilisation in drying reed beds: characterisation of three full-scale systems in Catalonia, Spain. *Bioresour. Technol.* 2009, *100*, 3882–3890.
18. Zupancic Justin, M. in Zupancic, M., 2009. Combined purification and reuse of landfill leachate by constructed wetland and irrigation of grass and willows. *Desalination* 2009, *246*, 157–168.

RAZGRADNJA TEKSTILNIH MIKROPLASTIČNIH VLAKEN S FOTOKATALIZO IN GLIVAMI

TINA RADOŠEVIĆ[1], ANJA ČERNOŠA[2], MANCA KOVAČ VIRŠEK[3], MARTINA KOCIJAN[4], DAMJAN VENGUST[5], CENE GOSTINČAR[6], ALEŠ MIHELIČ[7], NINA GUNDE CIMERMAN[8], SAŠO ŠTURM[9], MATEJKA PODLOGAR[10]

Povzetek

Mikroplastika predstavlja veliko breme za okolje. Posebej skrb vzbujajoča so vlakna poliamida in polietilen tereftalata, ki prek pranja tekstila še vedno množično vstopajo v vodni ekosistem. V pričujočem prispevku smo preučili možnosti razgradnje omenjenih polutantov s pomočjo dveh precej različnih metod. Ena je fotokatalitska razgradnja, za katero smo sintetizirali TiO_2 nanodelce in jih nato skupaj s plastičnimi vlakni v vodnem mediju izpostavili simulatorju sončne svetlobe. Degradacijo smo preučili z vrstičnim elektronskim mikroskopom. Preizkus na glivah pa smo izvedli na dveh tipih gojišč. Rezultate smo analizirali z optičnim in elektronskim mikroskopom. Na koncu smo ovrednotili postopke degradacije, predvsem z namenom združevanja obeh tehnik v bolj učinkovit način razgradnje te problematične mikroplastike.

Ključne besede: fotokataliza, glive, onesnažena voda, optični mikroskop, razgradnja plastike, TiO_2, vrstični elektronski mikroskop.

Abstract

Microplastics represent a major burden on the environment. Of particular concern are polyamide and polyethylene terephthalate fibers, which still enter the aquatic ecosystem en masse through textile washing. In the present work, we have examined the possibilities of degradation of the mentioned pollutants using two quite different methods. One is photocatalytic degradation for which we synthesized TiO_2 nanoparticles and then exposed them together with plastic fibers and in an aqueous medium to a sunlight simulator. Degradation was examined with a scanning electron microscope. The test on fungi was performed on two

1 Tina Radošević, dipl. inž. geol., Institut »Jožef Stefan«.
2 Mag. Anja Černoša, dipl. mikrobiol., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
3 Dr. Manca Kovač Viršek, univ. dipl. biol., Inštitut za vode Republike Slovenije.
4 Mag. Martina Kocijan, dipl. kem. inž, Univerza v Zagrebu, Fakulteta za strojništvo in pomorsko arhitekturo.
5 Mag. Damjan Vengust, dipl. ing. fiz., Institut »Jožef Stefan«.
6 Doc. dr. Cene Gostinčar, univ. dipl. biol., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
7 Dr. Aleš Mihelič, univ. dipl. inž. stroj., Gorenje gospodinjski aparati, d.d., Velenje.
8 Prof. dr. Nina Gunde Cimerman, univ. dipl. biol., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
9 Prof. dr. Sašo Šturm, univ. dipl. ing. geol., Institut »Jožef Stefan«.
10 Dr. Matejka Podlogar, univ. dipl. kem., Institut »Jožef Stefan«.

types of media. The results were analyzed with an optical and electron microscope. Finally, we evaluated the degradation processes, primarily with the aim of combining the two techniques into a more efficient way of degrading such problematic microplastics.

Keywords: fungi, optical microscope, photocatalysis, plastic degradation, scanning electron microscope, TiO_2, waste water.

1. UVOD

Plastika, ki je še ne tako dolgo nazaj veljala za material prihodnosti, danes predstavlja enega največjih okoljskih problemov. Prisotna je tako rekoč v celotnem ekosistemu. Nevidni mikroskopski delci se nahajajo celo v vodi in hranilih, ki jih uživajo živali in tudi mi, ljudje. Približno osem milijonov ton plastičnih odpadkov vsako leto, kot namerno ali nenamerno končno destinacijo, vstopi v svetovne oceane (Jambeck et al., 2015). V vodi in pod vplivom različnih stresnih dejavnikov se plastika počasi razgradi v t. i. sekundarno mikroplastiko. Recikliranje predstavlja globalni trend in že zmanjšuje obremenitve okolja, vendar so nujno potrebni novi pristopi, da bi zmanjšali vnos t. i. primarne mikroplastike. To so majhni delci, dodani lepotnim kremam, zobnim pastam, barvilom, tekstilu ipd., ki po uporabi končajo v okolju. Posledično so jih našli celo v medu, soli, ustekleničenih pijačah ipd.

Plastika se najhitreje razširja v vodnih medijih, bodisi v oceanih, jezerih, rekah bodisi v podtalnicah, kjer so mikroskopsko majhni delci plastike že prisotni. Zaradi naraščajoče proizvodnje plastičnih izdelkov onesnaženje z njo le narašča. Najpogostejša vrsta primarne mikroplastike, ki še vedno v velikem številu vstopa v vodno okolje, so vlakna. Nastajajo med pranjem sintetičnega tekstila in v ekosistem vstopajo skozi odpadne vode, zaradi majhnosti celo prek čistilnih naprav.

V pričujočem prispevku smo preizkusili metode za razgradnjo takih mikroplastik. Osredotočili smo se na dve že uveljavljeni tehniki, to sta fotokataliza in razgradnja s pomočjo gliv. Novost v našem raziskovalnem delu sta uporaba modificiranih nanodelcev na eni strani in razgradnja plastike z nikoli do zdaj testirano vrsto glive na drugi. Izbira dveh, med sabo različnih metod temelji na njuni komplementarnosti, ki bi lahko v prihodnjih študijah pokazala večjo učinkovitost pri razgradnji problematične mikroplastike.

2. TEORETIČNO OZADJE

Izraz mikroplastika se nanaša na plastične delce, manjše od 5 mm (Arthur et al., 2009). Uporablja se za opis heterogene mešanice delcev, ki se lahko razlikujejo po velikosti (od nekaj mikronov do nekaj milimetrov), barvi ter obliki (od različnih vrst fragmentov, pen, peletov, zrn, filmov in vlaken). Delci so lahko primarnega ali sekundarnega izvora (Andrady, 2011). Mikroplastika primarnega izvora je sestavljena iz majhnih delcev na osnovi polimera in je že bila izdelani v tej velikosti. Uporablja se v kozmetični (npr. piling, kreme) ali kemični industriji kot predhodnik za druge izdelke iz plastike (npr. plastične pelete, ki se uporabljajo v plastični industriji, plastična vlakna). Mikroplastika sekundarnega izvora pa nastane med razgradnjo večjih plastičnih odpadkov, izpostavljenih različnim fizičnim, kemičnim ali biološkim vplivom, ki povzročijo drobljenje na manjše kose.

Mikroplastika na različne načine vstopa v vodni ekosistem, bodisi z izpusti odpadnih vodá iz gospodinjstev in industrije, kjer je prisotna mikroplastika, bodisi z razgradnjo v naravi odloženih plastičnih odpadkov, ki v vodo dostopajo z meteornimi vodami (Eerkes-Medrano et al., 2019). Mikroplastika, ki je prisotna v sladkih vodah, prehaja tudi v pitne vode. Čeprav so maloštevilne, so študije pokazale, da skoraj vsaka voda iz pipe vsebuje delce mikroplastike. Še posebej veliko je bilo najdenih delcev v pitni vodi površinskih vodnih virov kot tudi v ustekleničeni pitni vodi.

Vplivi prisotnosti mikroplastike na ekosistem so sicer še zelo slabo poznani, medtem ko so vplivi na organizme bolj hipotetične narave. Na zdravje organizmov in mikroorganizmov mikroplastika potencialno vpliva fizično, kemijsko in mikrobiološko. Fizično se šteje, ko lahko delci poškodujejo tkivo. Posebej problematične so t. i. nanoplastike (delci velikosti 1 do 1000 nm), vendar obsežnejših študij, ki bi obravnavale karakteristiko mikroplastike v organizmih, njihov transport in vpliv na zdravje, za zdaj še ni.

S kemijskega vidika mikroplastika lahko predstavlja toksin, saj razpada na monomere in monokside ter velikokrat tudi na ostale toksične spojine, ki so posledica razgradnje dodanih aditivov, kot so plastifikatorji in zaviralci gorenja, ki so dodani plastiki med proizvodnjo za izboljšanje njenih lastnosti. Kadar plastiko infestirajo mikroorganizmi, kot so bakterije, glive ali pa kar biofilmi, govorimo o mikrobiološkem vplivu plastike na organizme. Ti so lahko usodni, ko se na plastiki razvijejo nevarne bakterije. Če so obstojne, jim delci mikroplastike služijo pri prenosu na zelo dolge razdalje.

V vodnem okolju so najbolj prisotni mikrodelci poliamida (PA), polietilen tereftalata (PET), polipropilena (PP), polistirena (PS), poliuratana (PU), polivinilklorida (PVC) in še nekateri drugi. Med njimi izstopata prva dva, saj ju največ vstopi v ekosistem zaradi pranja tekstila. Ker si za zdaj težko predstavljamo, kako očistiti že onesnažen vodni sistem, lahko nadaljnje kopičenje in širjenje zgoraj izpostavljenih mikroplastik v vodi preprečimo z razgradnjo mikroplastike kar pri njenem izpustu na pralnem stroju. V ta namen so potrebne študije, ki jih je v zadnjem času zelo veliko.

Fotodegradacija je obetaven način sanacije oz. degradacije tako PA in PET materiala. Rezultati mnogih raziskav so pokazali, pod kakšnimi pogoji potekajo razgradnje, vzbujene s fotoni kot tudi z dodanim kisikom in celo ozonom (Fagerburg in Clauberg, 2003). Fotokemične reakcije s pomočjo ketonov in aldehidov, ki nastajajo med cepitvijo in razgradnjo, plastiko pretvorijo v vmesne proste radikale, kar sčasoma privede do nastanka končnih karboksilnih skupin (Fagerburg, 2004). Reakcije fotooksidacije vključujejo cepitve polimernih verig, navzkrižno vezanje in sekundarno oksidacijsko reakcijo, potekajo pa lahko bodisi na aromatičnih obročih (primer močnega UV-absorberja) bodisi na glikolnih enotah. Hidroksilne in karboksilne skupine skupaj s CO in CO_2 so glavni produkti fotodegradacije (Fagerburg in Clauberg, 2003). Hitrost razgra-

dnje je odvisna od reakcijske temperature ter vrste in količine spojin, ki se uporabljajo za reakcije transesterifikacije in polikondenzacije (Venkatachalam et al., 2012). Reakcije primarno potekajo na površinah, zato so majhni delci plastike lažje razgradljivi. Fotokataliza je precej učinkovit način razkrojevanja plastike, vendar za učinkovit razkroj potrebujemo svetlobo večjih energij, predvsem primerna je UV-svetloba. Ta sicer je v sončnem spektru, ki pride do nas s soncem, a jo je precej malo. Največ je vidne svetlobe.

O fotokatalizni razgradnji govorimo, ko sistemu dodamo polprevodnik (npr. TiO_2 ali ZnO). Ta lahko porabi precej širši svetlobni spekter, ki svetlobo tudi manjših energij pretvori v plaz pozitivnih lukenj (h^+) in negativnih elektronov (e^-). Ti pari nato reagirajo z molekulami okoliške vode ali hidroksilnimi skupinami (OH^-) in ustvarijo hidroksilne radikale ($OH^{\cdot}$), ki imajo visok oksidativen potencial (Ariza-Tarazona et al., 2018). Fotokatalitična aktivnost se poveča zaradi števila parov elektron-luknja, pa tudi če ima material zelo veliko površino, značilno za nanodelce. Če želimo množično uporabljati katalizator, moramo zagotoviti, da ni strupen in da je poceni. Take lastnosti ima široko uporaben TiO_2, ki je v komercialnem okolju poznan kot aditiv hrani E171. Fotokatalizno oksidacijo z nanostrukturami TiO_2 kot katalizatorjem uporabljamo za razgradnjo številnih organskih onesnaževal, da dobimo CO_2 in H_2O, kar je nato enostavno obvladljivo. CO_2 obdelamo z vodikom, povratno reakcijo preusmerjanja vode in plina, da nastane ogljikov monoksid, nato pa Fischer-Tropsch proces vodi do tvorbe gorivnega plina, najpogosteje metana. Postopek je dobro razumljen in je že uporabljen v premogovništvu kot tudi na odlagališčih odpadkov. Vendar rešitev še ni izvedena na manjših skalah. Na področju razgradnje mikroplastike, ki se sprošča iz gospodinjskih aparatov, pa še ni večjih raziskav.

Biorazgradnja, z uporabo bakterij ali gliv, je v zadnjem času tudi že usmerjena v namene razgradnje mikroplastike (Blasi et al., 2016). V ta namen moramo površino plastike kolonizirati z mikroorganizmi. Pripenjanje je ključno za začetek degradacije (Urbanek et al., 2018). Mikroorganizmi nato na več načinov reagirajo s površino. Fizično se mikroorganizmi infiltrirajo v porozne strukture, kar vpliva na velikost in porazdelitev por, to pa posledično spreminja stopnjo vlage in toplotne prevodnosti. Kemično razgradnjo mikroorganizmi povzročajo z izločanjem površinsko aktivnih snovi, ki olajšajo izmenjavo med hidrofilnimi in hidrofobnimi fazami, ter z izločanjem kislin. Biološko razgradnjo pa povzročijo s sproščanjem encimov (Lucas et al., 2008). Za našo študijo smo izbrali glivo iz rodu *Coniochaeta sp.*, saj imajo prav te glive za večino gostiteljev majhno virulenco. Vzorce gliv *Coniochaeta sp.* so izolirali iz lesa, pojavljajo se na mrtvem tkivu ali že na prej okuženem ali poškodovanem tkivu kot oportunistični napadalci, rastejo v aerobnih in mezofilnih pogojih (Damm et al., 2010). Nekatere vrste gliv iz tega rodu, npr. *Coniochaeta ligniaria*, so sposobne biomaso pretvoriti v goriva. Pri glivi *Coniochaeta ellipsoidea* pa so odkrili močan antibiotik coniosetin z močnim protibakterijskim in protiglivičnim delovanjem. Gliva *Coniochaeta hoffmannii* (EXF-13287) je bila najprej izolirana iz švicarskega masla, nato pa še iz odpadnih vodá (Weber, 2002). Velja za fakultativni rastlinski patogen, ki kolonizira tla, listni material in les ter pri ljudeh lahko povzroči oportunistično mikozo (Leonhardt et al., 2018). Lahko razgradi tudi aromatske komponente, npr. fenole, ki se pojavijo med razgradnjo lesa (Bugos et al., 1988).

Z optimiziranjem dveh metod razgradnje mikroplastike, ki se nahaja v vodnem okolju, smo poskusili poiskati parametre, ki pozitivno vplivajo na razgradnjo PET in PA mikroplastike. Kot fotokatalizator smo uporabili TiO_2, za biološko aktivno snov pa smo vzeli glivo, ki se še ni uporabila za razgradnjo plastike. Izpostavili smo jo na obe mikroplastiki in v dva tipa gojišč, to sta trdno in tekoče gojišče. Z uporabo tehnik visokoločljive karakterizacije, kot sta optični in elektronski mikroskop, smo preučili, kako učinkovito se plastična vlakna pod vplivom različnih pogojev spreminjajo.

3. EKSPERIMENTALNI DEL

Nanodelce TiO_2 smo pripravili z uporabo titanovega (IV) izopropoksida (TTIP, 97 %, $Ti(C_3H_5O_{12})_4$, Sigma-Aldrich), izopropanola (PrOH, C_3H_7OH, gram mol), acetilacetona (AcAc, $CH_3(CO)CH_2(CO)CH_3$, gram mol) in dušikove kisline (HNO_3, ≥65 %, Fluka). Molarno razmerje reaktantov je naslednje TTIP : PrOH : AcAc : HN = 1 : 35 : 0,63 : 0,015. Za pripravo mešanice smo uporabili čisto vodo, dobljeno s sistemom Millipore Direct-Q. Pripravljeno mešanico smo prenesli v avtoklav, obložen s teflonom. Hidrotermalna sinteza TiO_2 je potekala pri temperaturi 180 °C 6 ur. Avtoklav smo nato vzeli iz sušilnika in ga ohladili na sobno temperaturo. Sintetizirane nanodelce TiO_2 smo sprali z izopropanolom in vodo Mili-Q do nevtralne pH vrednosti. Nato smo suspenzijo zamrznili s tekočim dušikom in posušili v liofilizatorju (2-4 LSCbasic, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Nemčija). Na koncu smo sintetizirane nanodelce TiO_2 še kalcinirali pri 300 °C 2 uri.

Fotokatalizo smo izvedli po naslednjem postopku. V kvarčni reaktor z mešalom smo vstavili po 95 vlaken PET (Polietilentereftalat, GoodFellow) in PA (Poliamid, GoodFellow), dolgih 5 cm. Nato smo dodali 5 mg katalizatorja TiO_2 in ga sprali s tehtalne posodice s 5 mL vode Mili-Q. V sterilizator (Kambič, I-265CK UV) smo na magnetno mešalo postavili kvarčne reaktorje na štiri čim bolj enakovredna in optimalna mesta ter 48 ur obsevali s simulirano sončno svetlobo (žarnica: ULTRA-VITALUX, 230 V, 300 W, Osram). Izmerili smo UV-intenziteto, ki je bila na izbranih mestih med 4 in 4,5 mW/cm^2. Po končani fotokatalizi smo vzorce plastike vzeli iz suspenzije in jih posušili na zraku v mikrobiološki zaščitni komori (Iskra PIO, EN 12469:2000).
Za biorazgradnjo smo uporabili trdno gojišče MM (Mineral Medium), saj je gojišče z najpomembnejšimi elementi ($NaNO_3$, KCl, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, KH_2PO_4, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, agar in H_2O) in brez vira ogljika. Kot vir ogljika smo dodali mikroplastiko ter vlakna PA in PET. Na gojišče smo v obliki trikotnika postavili tri vzorce plastike in nacepili izbrano glivo. Sev *Coniochaeta sp.* (EXF-13287), uporabljen v raziskavi, je trajno shranjen in vključen v zbirko EX-, ki je del Mreže infrastrukturnih centrov Univerze v Ljubljani (MRICUL) in deluje v okviru IC Mycosmo na Katedri za molekularno genetiko in biologijo mikroorganizmov, Oddelka za biologijo, Biotehniške fakultete v Ljubljani. Petrijevke smo na koncu zaprli s parafilmom in jih dali v inkubator s stalno temperaturo 24 °C. Podobno smo pripravili tekoče gojišče (ta za razliko od trdnega ne vsebuje agarja). Vlakna smo prenesli v epruveto s sterilnim tekočim medijem M9. Celično suspenzijo izbranega seva smo dodali v epruveto in inkubirali pri 24 °C. Prav tako smo pripravili kontrolna vzorca, gojiščema smo dodali plastiko, gliv pa ne. Vzorčili smo po enem mesecu.

Vzorce plastike, ki so obraščeni z glivami, je treba za uspešno karakterizacijo z vrstičnim elektronskim mikroskopom (angleška kratica SEM) pred pregledom fiksirati. To smo naredili tako, da smo vzorce, vzete iz gojišč, shranili v epici z raztopino glutaraldehida ($C_5H_8O_2$, 25-% vodna

raztopina, Sigma) in natrijevega kakodilata ($C_2H_6AsNaO_2 \cdot 3H_2O$, ≥98 %, Sigma-Aldrich) za 24 ur pri 4 °C. Nadaljnji postopek fiksacije smo izvedli v mikrotitrski plošči. Vzorce smo najprej trikrat po 20 minut spirali v 0,1 M pufru natrijevega kakodilata s pH 8,28. Sledila sta enominutno spiranje v vodi Mili-Q ter dehidratacija z različnimi koncentracijami abs. etanola 25-%, 50-%, 75-%, 95-% in 99,9-% za 10-minutni interval. Zadnji korak fiksacije je spiranje v HMDS-ju (heksametildisilazan, Aldrich) 5 minut. Vzorce smo sušili na zraku v brezprašni komori.

Nanodelcem TiO_2 smo kristalno strukturo določili z rentgensko praškovno difrakcijo (RTG), difraktograme smo posneli z rentgenskim praškovnim difraktometrom (X'Pert High-Resolution PRO XRD, PANalytical BV, Nizozemska) s konfiguracijo Alpha 1 in uporabo popolnoma odprtega detektorja X'Celeratorja ter z bakrovo cevjo z žarki Kα (1,5406 Å). Območje zveznega snemanja je bilo med 10 in 80° s korakom 0,034°/100 s. S pomočjo ustreznega računalniškega programa (X›Pert HighScore) smo posneti difraktogram vzorca TiO_2 primerjali z difraktogrami iz baze podatkov JCPDS (ICDD; Mednarodni center za difrakcijske podatke, PA, ZDA), da smo lahko identificirali fazno sestavo. Velikost TiO_2 kristalitov pa smo določili s pomočjo Debye-Scherrerjeve enačbe.

Optično mikroskopijo vlaken z glivami smo izvedli na fiksiranih vzorcih. Plastiko z glivami smo postavili na čisto objektno stekelce velikosti 26 x 76 x 1 mm, kapnili dve kapljici anilin modrega v mlečni kislini in previdno pokrili s krovnim stekelcem velikosti 18 x 18 mm, da smo se izognili prisotnosti mehurčkov. Tako pripravljen vzorec smo opazovali v odsevni svetlobi z optičnim mikroskopom Zeiss Axio Z1-m. Pri raziskavah mikrostrukturnih lastnosti smo uporabljali tudi vrstični elektronski mikroskop (SEM, Jeol JSM-7600F). Posebna priprava vzorcev za preiskave z vrstičnim elektronskim mikroskopom ni bila potrebna, zagotoviti smo morali le to, da je bila površina vzorca prevodna. Površine neprevodnih vzorcev v ta namen naprašimo s tanko plastjo ogljika, zlata ali kakšne druge kovine, ki odvaja elektrone s površine, da se vzorec med samim opazovanjem ne »nabija«. Naše vzorce plastike smo, v ta namen, naprašili s tanko plastjo ogljika s pomočjo naparjevalnika (BAL-TEC SCD 005).

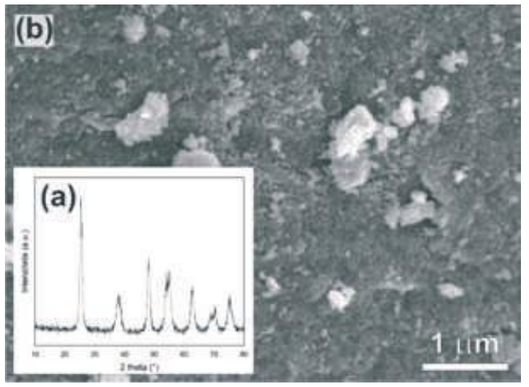
4. REZULTATI

Slika 1a prikazuje difraktogram nanodelcev TiO_2. Difrakcijski vrhovi za TiO_2 se nahajajo pri 25,5°, 37,9°, 48,0°, 53,9°, 55,4°, 62,9°, 68,9°, 70,3° in 75,3° dvojnega Bragovega kota ter kažejo, da so delci kristaliti anataza (iz baze podatkov JCPDS). Spekter je raven in nakazuje na to, da ni prisotne večje koncentracije amorfne faze. Ker iz difraktograma ni razvidnih drugih vrhov, razen za anataze, nečistoč prav tako ni mogoče določiti. Vrhovi so široki, kar nakazuje na prisotnost nanodelcev. Povprečno velikost (d) lahko določimo z uporabo Debye-Scherrerjeve enačbe:

$$d = \frac{K\lambda}{\beta cos\theta},$$

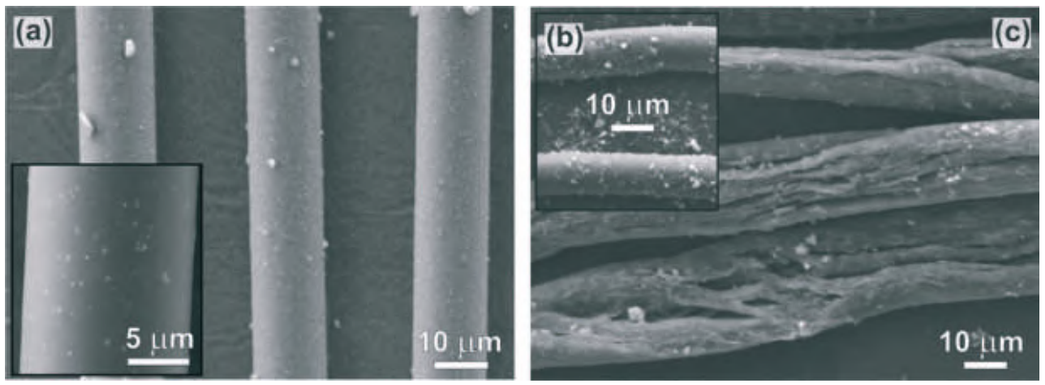
kjer λ pomeni valovno dolžino bakrove k-alfa (Kα) linije rentgenskih žarkov (1,5406 Å), β predstavlja širino pika na polovici maksimalne višine pika, θ pa Braggov kot. Če vstavimo vrednosti v zgornjo enačbo, lahko določimo, da so delci TiO_2 reda velikosti 10 nm.

SEM slika nanodelcev TiO_2 je prikazana na sliki 1b. Nanodelci TiO_2 imajo obliko nepravilnih nanosfer, velikosti so podobne, kot smo ugotovili iz RTG-ja, okoli 10 nm. Ujemanje obeh velikost pomeni, da so delci zelo verjetno monokristalinični brez večjih defektov. Ker so okrogli, pa je nemogoče določiti, katere ravnine so izpostavljene in lahko reagirajo z okolico. Iz slike je prav tako razvidno, da se združujejo v večje skupke. Vendar ko jih dispergiramo v tekočini, se ti večji skupki zelo hitro razbijejo, kar je posledica šibkih vezi med delci, verjetno posledica sušenja z liofilizatorjem.

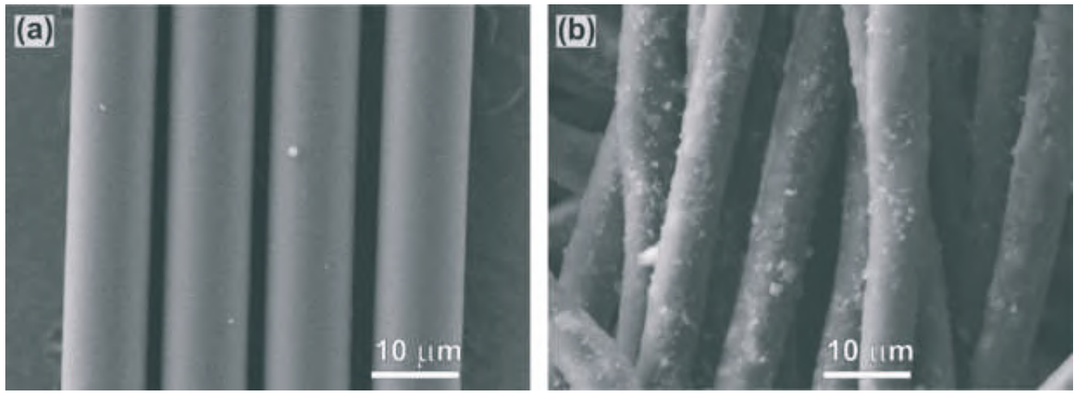


Slika 1: (a) RTG in (b) SEM slika nanoprahu TiO_2, pripravljenega za razgradnjo plastike
(Vir: Lastni)

S fotokatalizo smo obdelali oba tipa plastičnih vlaken. Najbolj vidne spremembe so se pojavile po obsevanju PET vlakna. Iz slike 2 je razvidno, da so vlakna zelo deformirana. Ta se tako rekoč razslojujejo, trgajo in ponovno prepletajo, kar je karakteristično pri postopku razgradnje. Na začetku so vlakna lepa, vsebujejo le razne organske nečistoče na površini (Slika 2a, slika v levem spodnjem kotu prikazuje površino vlakna od blizu). Če dodamo fotokatalizator v reaktor z vlakni in ne obsevamo s svetlobo, se po 48 urah ne zgodi nič, delci TiO_2 le oblečejo vlakna, kar je lepo vidno na sliki 2b. Če pa izpostavimo vse skupaj simulatorju sončne svetlobe, so po 48 urah spremembe na vlaknih zelo očitne in jih vidimo na sliki 2c.



Slika 2: PET vlakna: (a) originalna PET vlakna, (b) neobsevana PET vlakna in (c) vlakna po fotokatalizi s pomočjo katalizatorja TiO_2
(Vir: Lastni)

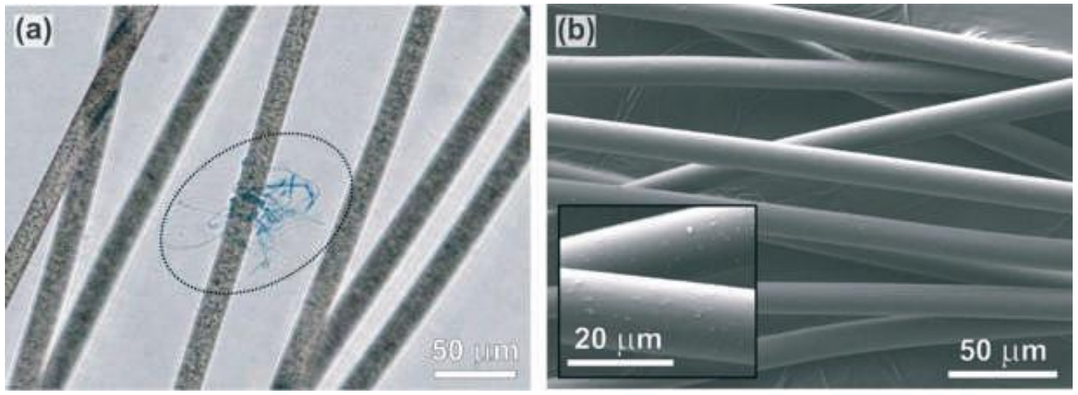


Slika 3: (a) Originalna PA vlakna in (b) vlakna po fotokatalizi z uporabo TiO_2
(Vir: Lastni)

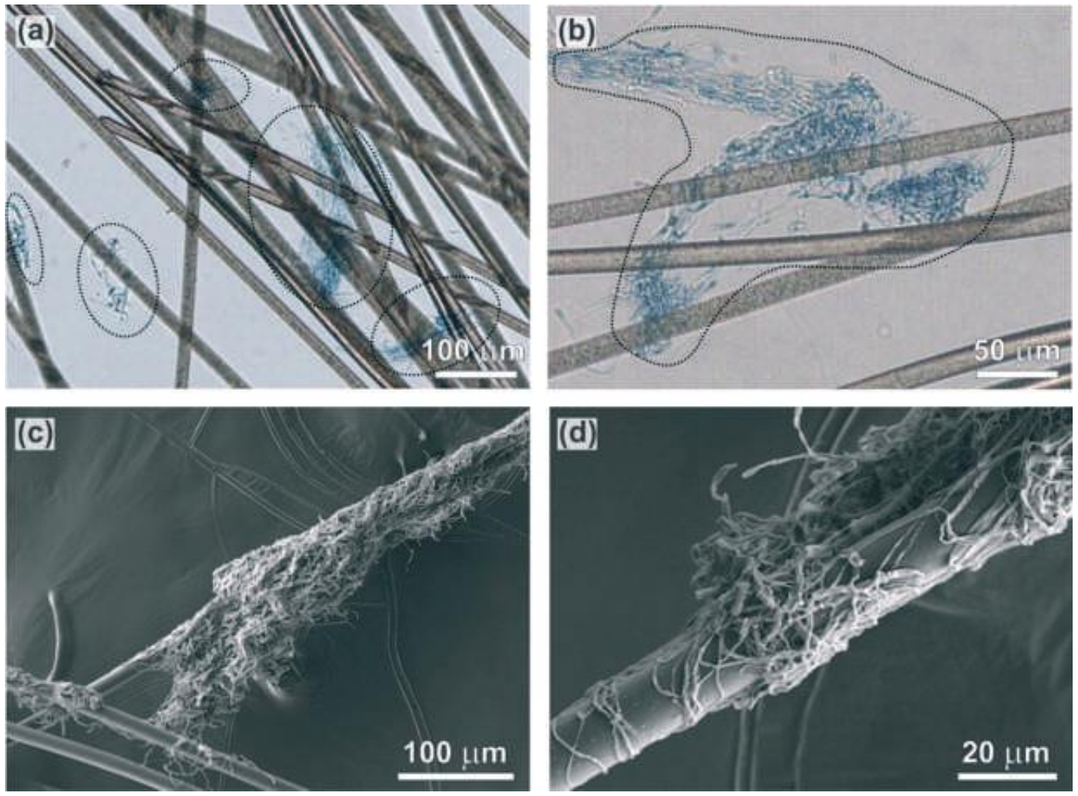
Na vlaknih PA pa so v času 48-urne fotokatalize spremembe malo drugačne (Slika 3). Na prvi pogled se vidi le, kako se spremeni površina. Ta je manj gladka in malo fragmentirana. Majhni delci, ki se nahajajo na površini vlakna, so lahko TiO_2 ali pa so odpadni produkti razgradnje vlaken. Težko jih ločimo in analiziramo, saj so zelo majhni. Bolj pozorna analiza produkta pa pokaže, da so se vlakna tudi močno stanjšala. Slika 3 predstavlja vlakna PA (a) pred in (b) po izpostavitvi. Ker sta zajeti pri isti povečavi, se jasno vidi, da se je premer vlaken zmanjšal za skoraj 50 odstotkov, z začetnih 10 µm, kar je določeno tudi v specifikaciji, do končnih 6 do 7 µm.

Obe plastiki smo poskusili razgraditi tudi z biološkim razgrajevalcem. Vzorce plastike smo pod optičnim in vrstičnim elektronskim mikroskopom pregledali po enem mesecu rasti seva *Coniochaeta sp.* (EXF-13287). Prav tako smo preverili tudi kontrolni vzorec, to je vzorec plastičnih vlaken, ki je bil na gojišču brez nacepljenih gliv. Kontrolni vzorec smo preverili tako pri trdnem kot pri tekočem gojišču. Na vlaknih kontrolnih vzorcev nismo zasledili sprememb.

Trdno gojišče gliv, pri plastiki PET, se ni izkazalo za najbolj obetavno. Seva je le za vzorec (obkroženo s črtkano črto v sredini slike 4a; na barvnih slikah z optičnim mikroskopom so glive obarvane modro zaradi dodanega barvila), hife pa so zelo slabo obraščale vlakna. Na SEM mikroskopu nismo našli hif (Slika 4b), vidimo lahko le, da je površina vlaken skoraj enaka kot pred samo obdelavo (Slika 2a).



Slika 4: Posnetek PET vlaken po enem mesecu rasti izbrane glive v trdnem gojišču z (a) optičnim mikroskopom in (b) na SEM mikroskopu
(Vir: Lastni)

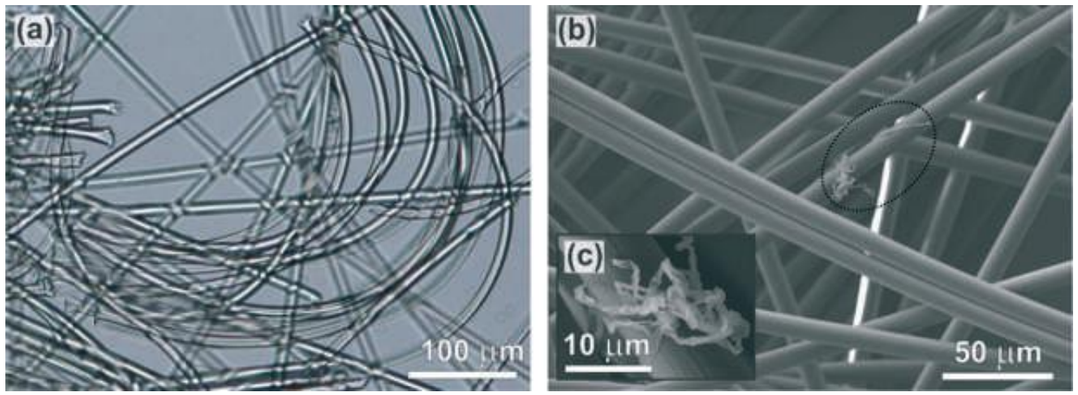


Slika 5: Preraščanje PET vlaken seva Coniochaeta sp. je lepo vidno na (a-b) optičnih slikah in (c-d) SEM slikah, rast gliv je bila izvedena v tekočem gojišču.
(Vir: Lastni)

Tekoče gojišče se je pri plastiki PET izkazalo za boljše kot trdno. Na posnetkih z optičnim mikroskopom vidimo veliko sevov različnih velikosti (Sliki 5a in 5b). Sev dobro obrašča vlakna plastike, hife so plastiko trdno preraščale, kot je posebej dobro razvidno na SEM posnetkih na slikah 5c in 5d.

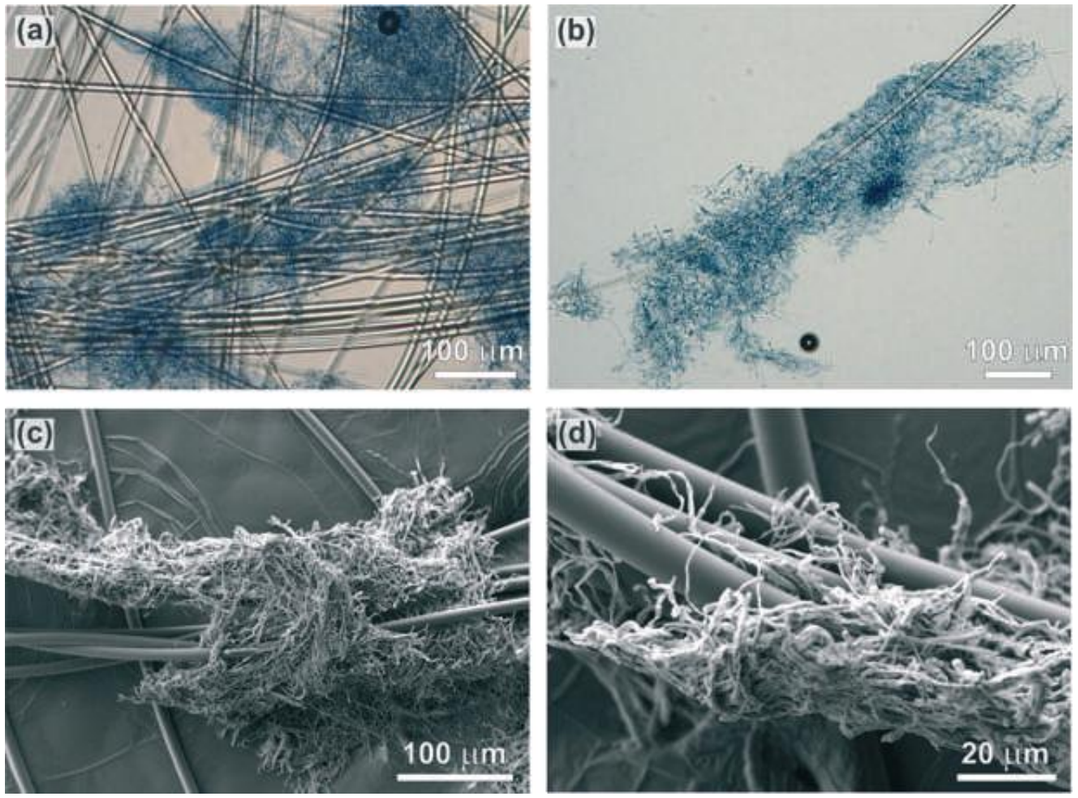
Vzorci vlaken PA so bili prav tako pregledani z optičnim in vrstičnim elektronskim mikroskopom po enem mesecu rasti izbrane glive. Preverili smo oba kontrolna vzorca pri trdnem in tekočem gojišču. Na vlaknih PA in PET nismo zasledili nikakršne rasti hif seva *Coniochaeta sp.* (EXF-13287).

Trdno gojišče pri plastiki PA se je prav tako izkazalo za slabo, hife gliv smo zasledili samo na nekaj vlaknih v izredno majhnem deležu. Vzorce smo preiskali z optičnim in vrstičnim mikroskopom, karakteristična posnetka sta vidna na sliki 6.



Slika 6: Posnetka (a) z optičnim in (b) vrstičnim mikroskopom zelo slabo obraščenih vlaken PA, ko je rast gliv potekala v trdnem gojišču.
(Vir: Lastni)

Za veliko boljšo izbiro se je tudi pri plastiki PA izkazalo tekoče gojišče. Vlakna so na gosto obraščena, hife pa so plastiko množično in trdno preraščale, lepo vidno na slikah 7a in 7b. Na slikah, narejenih z elektronskim mikroskopom, ponovno vidimo posamezna vlakna, ki so prepletena z glivami (Sliki 7c in 7d), podobno kot pri vlaknih PET (Sliki 5c in 5d).



Slika 7: Tekoče gojišče se je tudi pri vlaknih PA izkazalo za boljše, kar vidimo na posnetkih, narejenih z (a-b) optičnim in (c-d) elektronskim mikroskopom.
(Vir: Lastni)

ZAKLJUČEK

Preliminarni rezultati študije razgradnje, ki smo jo opravili na dveh, v okolju najpogosteje prisotnih plastikah, kažejo, da se jih z uporabo fotokatalize s TiO_2 kot katalizatorjem pri določenih pogojih lahko fizično in tudi kemijsko degradira. Po le 48 urah je prišlo do fizičnih sprememb na vlaknih, ki smo jih lahko identificirali z vrstičnim elektronskim mikroskopom. PET vlakna so se razslojila in deformirala, PA vlakna pa so se stanjšala za skoraj 50 odstotkov. Študija izpostavitve plastike glivam je pokazala, da se na tekočem gojišču glive uspešno razraščajo in izkoriščajo vir ogljika, ki je prisoten le v plastiki. Pri tem se je tudi pokazalo, da so glive veliko bolj aktivne na plastiki PA. V nadaljnjih raziskavah bomo poskusili optimalne metode biološke in fotokatalitske razgradnje združiti za bolj učinkovito razgradnjo teh problematičnih onesnaževal.

LITERATURA IN VIRI

1. Andrady, A. L., 2011. Microplastics in the marine environment. Marine pollution bulletin, 2011, 62, 1596–1605.
2. Ariza-Tarazona, M. C., Villarreal-Chiu, J. F., Barbieri, V., Siligardi, C. in Cedillo-González, E. I., 2019. New strategy for microplastic degradation: Green photocatalysis using a protein-based porous N-TiO_2 semiconductor. Ceramics International, 2019, 45, 9618–9624.
3. Arthur, C., Baker, J. in Bamford, H. (ur.), 2009. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30, 2009, 1–49.
4. Blasi, B., Poyntner, C., Rudavsky, T., Prenafeta-Boldu, F. X., De Hoog, S., Tafer, H. in Sterflinger, K., 2016. Pathogenic Yet Environmentally Friendly? Black Fungal Candidates for Bioremediation of Pollutants. Geomicrobiology Journal, 2016, 33, 3–4, 308–317.
5. Bugos, R. C., Sutherland, J. B. in Adler, J. H., 1998. Phenolic Compound Utilization by the Soft Rot Fungus Lecythophora hoffmannii. Appl. Environ. Microbiol., 1988, 54, 1882–1885.
6. Damm, U., Fourie, P. H. in Crous, P. W., 2010. *Coniochaeta* (*Lecythophora*), *Collophora* gen. nov. and *Phaeomoniella* species associated with wood necroses of *Prunus* trees. Persoonia, 2010, 24, 60–80.
7. Eerkes-Medrano, D., Leslie, H. A. in Quinn, B., 2019. Microplastics in drinking water: A review and assessment. Current Opinion in Environmental Science & Health, 2019, 7, 69–75.
8. Fagerburg, D. R. in Clauberg, H., 2003. Photodegradation of Poly(Ethylene Terephthalate) and Poly(Ethylene/1,4-Cyclohexylenedimethylene Terephthalate). Modern Polyesters: Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters, John Wiley & Sons, Ltd.
9. Fagerburg, D. R. in Clauberg, H., 2004. Polymer Science, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.
10. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. in Lavender Law, K., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 2015, 347, 6223, 768–771.
11. Leonhardt, S., Büttner, E., Gebauer, A. M., Hofrichter, M. in Kellner, H., 2018. Draft Genome Sequence of the Sordariomycete Lecythophora (Coniochaeta) hoffmannii CBS 245.38. Genome Announc., 2018, 6(7), e01510-17, 1–2.
12. Lucas, N., Bienaime, C., Belloy, C., Queneudec, M., Silvestre, F. in Nava-Saucedo, J.–E., 2008. Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques – A review. Chemosphere, 2008, 73, 4, 429–442.
13. Urbanek, A. K., Rymowicz, W. in Mirończuk, A. M., 2018. Degradation of plastics and plastic-degrading bacteria in cold marine habitats. Applied Microbiology and Biotechnology, 2018, 102, 18, 7669–7678.
14. Venkatachalam, S., Nayak, S. G., Labde, J. V., Gharal, P. R., Rao, K. in Kelkar, A. K., 2012. Degradation and Recyclability of Poly (Ethylene Terephthalate). Polyester, 2012, poglavje 4, 75–98.
15. Weber, E., 2002. The Lecythophora-Coniochaeta complex: I. Morphological studies on Lecythophora species isolated from Picea abies Nov. Hedwigia, 2002, 74, 159–185.

VZPOSTAVITEV IN IZVAJANJE POMORSKEGA PROSTORSKEGA NAČRTOVANJA V SLOVENIJI

VANE URH[1], doc. dr. GREGOR ČOK[2], SLAVKO MEZEK[3]

Povzetek

S sprejetjem Direktive o pomorskem prostorskem načrtovanju 2014/89/EU so pomorske države članice EU začele s formalnimi postopki priprave in izdelave pomorskih prostorskih načrtov (PPN). PPN predstavlja instrument za celosten pristop k načrtovanju in upravljanju prostora na morju in kopnem. Oblikovan je bil s Celostno pomorsko politiko za EU, vključno z Okvirno direktivno o morski strategiji, ki zasleduje cilj trajnostnega razvoja morij in oceanov. PPN je določeno kot medsektorsko orodje celostne pomorske politike, ki javnim organom in deležnikom omogoča usklajen, celovit in čezmejni pristop. Temelji na ekosistemskem pristopu, ki stremi k trajnostnemu upravljanju morskih in obalnih virov.

V Sloveniji so se prizadevanja po trajnostnem upravljanju morskega okolja pojavila v preteklih dveh desetletjih. Od takrat so številni evropski in državni projekti prinesli nekatere strukturne elemente in ključne usmeritve za uresničitev PPN po Direktivi 2014/89/EU. V prispevku predstavljamo kronologijo razvoja PPN v Sloveniji ter izbrane upravne, strokovne in varstvene izzive, ki so spremljali postopke načrtovanja rabe vodnih in obvodnih zemljišč.

Ključne besede: celovito upravljanje z obalnim območjem, ekosistemski pristop, načrt upravljanja z morskim okoljem, pomorsko prostorsko načrtovanje, priobalno zemljišče, raba vodnih zemljišč.

Abstract

With the adoption of the Maritime Spatial Planning Directive 2014/89/EU, EU maritime Member States have started formal procedures for the preparation of maritime spatial plans (MSP). MSP is an instrument for an integrated approach to spatial planning and management in maritime and coastal areas. It was developed with the Integrated Maritime Policy for EU, including the Marine Strategy Framework Directive, which pursues the goal of sustainable development of seas and oceans. MSP is defined as a cross-sectoral tool for an integrated maritime policy, enabling public authorities and stakeholders to take a coordinated, comprehensive and cross-border approach. It is based on an ecosystem approach that strives for sustainable management of natural resources.

1 Vane Urh, mag. geog., Razvojni center Novo mesto.

2 Doc. dr. Gregor Čok, univ. dipl. inž. arh., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

3 Slavko Mezek, univ. dipl. kraj. arh., Regionalni razvojni center Koper.

In Slovenia, efforts to sustainably manage the marine environment have emerged over the past two decades. Since then, a number of European and national projects have provided some structural elements and key guidelines for the implementation of MSP under Directive 2014/89/EU. In this paper, we present the chronology of MSP development in Slovenia and selected administrative, scientific and protection challenges that accompanied the procedures for planning the use of water and coastal land.

Keywords: coastal land, ecosystem approach, integrated coastal zone management, marine environment management plan, maritime spatial planning, sea use management.

1. UVOD

Tema Vodnih dnevov 2020 izpostavlja potrebo po celostni obravnavi vode kot povezovalnega člena vseh sedemnajstih ciljev Agende za trajnostni razvoj do leta 2030. V tem okviru se nam zdi še toliko bolj pomembno, da izpostavimo dejavnosti, ki so se v Sloveniji zgodile v preteklih dveh desetletjih za potrebe načrtovanja in upravljanja v morskem in obmorskem prostoru. Ta sicer predstavlja manjšo, a izjemno pomembno geostrateško in krajinsko enoto, ki ponuja številne priložnosti, brez katerih je 30 % svetovnih držav, med njimi tudi Avstrija in Švica.

Morja in oceani obsegajo 70 % površine Zemlje ter s svojimi ekosistemskimi storitvami pomembno vplivajo na naravne in družbene značilnosti pokrajin. Morska okolja so še bolj kompleksen element pokrajin tam, kjer so se razvile gospodarske dejavnosti, ki danes omogočajo družbeni napredek in razvoj (Stehr in von Storch, 1999; Plut, 2000; Alder in Kay, 2005). Slovensko morje je del severnega Jadranskega morja, ki je robno morje Sredozemskega morja in se Alpam približa na 80 kilometrov, kar mu daje še dodatne posebne podnebne, ekološke ter družbene značilnosti (Braudel, 1996; Grove in Rackham, 2003). Vodno telo severnega Jadrana je zaradi naravnih značilnosti močno podvrženo človekovim dejavnostim, saj gre za plitvo morje s šibkim tokovanjem ter dinamičnimi procesi erozije, abrazije in akumulacije (Bricelj, 2004). Njegov kulturološki pomen predstavljajo ostaline že vse od zadnje poledenitve v pleistocenu pred približno 10 000 leti, ko je bilo to območje kopenski habitat – na njem najdemo številčno podmorsko kulturno dediščino (Erič et al., 2012). Pozneje je bilo območje današnjega slovenskega morja prepleteno z napredkom in razvojem mestnih držav Sredozemlja, v sodobni zgodovini pa predvsem z razvojem pristanišč v Benetkah, Trstu, Reki in Kopru ter političnim usklajevanjem interesov med državami Slovenije, Italije in Hrvaške (Pipan in Zupančič, 2012).

Število prebivalcev v štirih obmorskih občinah – Ankaran, Koper, Izola, Piran – se je od leta 1960 do 2017 povečalo za 80 % (s 50 000 na 90 000), kar je privedlo do večjega povpraševanja po naravnih virih in oskrbi s storitvami splošnega pomena ter povečanja gospodarske aktivnosti in produktivnosti s številom delovnih mest in raznovrstnosti dejavnosti, s katerimi merimo pretok in gibanje blaga, storitev ter kapitala (SURS, 2020). Nedvomno takšni trendi litoralizacije na 46 kilometrov dolgi slovenski obali zahtevajo odziv na povečevanje povpraševanja po morskem in obmorskem prostoru ter na reševanje morebitnih konfliktov v rabi prostora. V ta okvir moramo zaobjeti še dobro okoljsko ali zdravstveno stanje ekosistemov in njihovo povezavo z družbenim razvojem (Uredba o načrtu upravljanja z morskim okoljem, 2017). Zadnji trendi na področju PPN so z napredkom v raziskavah in razvoju dobrodošli tudi za Slovenijo, saj so zagotovili vire za kadrovski razvoj in planiranje te dejavnosti. Pomembno se je zavedati, da je slovenski akvatorij z morskimi zemljišči v pristojnosti upravljanja države, kopenska zemljišča pa v pristojnosti upravljanja lokalnih skupnosti. To stanje zahteva posebno medsebojno sodelovanje in razumevanje, zlasti pri usklajevanju medsektorskih politik in posameznih projektov.

Na območju slovenskega morja in obale so se kronološko razvile številne dejavnosti in rabe, povezane z morskim okoljem. Po obsegu rabe vodnih in obalnih zemljišč predstavlja največji delež pomorski promet. Režim njegove regulacije določa t. i. shema ločene plovbe v severnem Jadranu in obsega približno 50 % površine slovenskega morja. Med druge večje in razvojno intenzivne panoge štejemo še marikulturo in turizem. Ribištvo, kot tradicionalna gospodarska panoga, povezana z morskim okoljem, pa v zadnjem desetletju nazaduje iz različnih razlogov. Na tem območju so prisotni tudi številni režimi varstva narave in kulturne dediščine ter dejavnosti solinarstva. Slovensko morje in z njim povezane dejavnosti imajo tudi zelo velik kulturološki, izobraževalni, raziskovalni, okoljski in ekološki pomen. V okviru različnih projektov in strokovnih podlag je bilo ugotovljeno, da so obstoječe rabe medsebojno usklajene oz. da med posameznimi uporabniki morja ne prihaja do vidnejših nesoglasij.

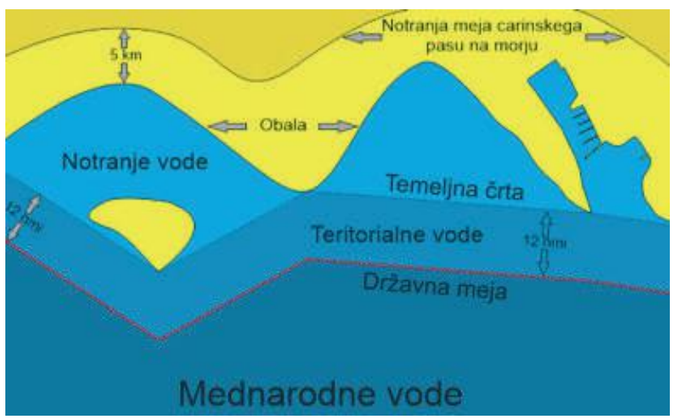
2. NAČRTOVANJE IN UPRAVLJANJE Z MORSKIMI ZEMLJIŠČI

Zaradi naraščajočega števila prebivalcev in povečane gospodarske dejavnosti ob morskih okoljih so se povečali pritiski in potrebe po usklajenem delovanju, sobivanju ter zmanjševanju nesoglasij med rabami na vodnih zemljiščih. Slovenija je leta 1993 postala pogodbenica Konvencije o varstvu Sredozemskega morja (ali Barcelonske konvencije), s čimer je vzpostavila temelje za nadaljevanje tradicije uspešnega sodelovanja slovenskih strokovnjakov od samega začetka konvencije v letu 1976. Kot prva država je ratificirala zadnjega od njenih sedmih protokolov – Protokol o celovitem upravljanju obalnih območij v Sredozemlju, ki je za Slovenijo in njen model administrativnega upravljanja ozemlja še posebnega pomena (Bricelj, 2004; MPUOS 2011; RRC Koper 2015). Leta 2014 je bila pripravljena in sprejeta evropska Direktiva 2014/89/EU (Direktiva PPN), ki je uokvirila instrument PPN z namenom zagotavljanja trajnostne rasti pomorskega gospodarstva, trajnostnega razvoja morskih in obmorskih območij ter smotrnega upravljanja z naravnimi viri. PPN je podporni steber Celostni pomorski politiki za Evropsko unijo kot tudi Okvirni direktivi o morski strategiji, ki sledita ciljem trajnostnega razvoja morij in oceanov. Direktiva PPN je določena kot medsektorsko orodje politike, ki javnim organom in deležnikom omogoča vključevalni proces za usklajen, celosten in čezmejni pristop pri naslavljanju kratkoročnih in dolgoročnih ciljev pri upravljanju z morskimi in obmorskimi okolji (Direktiva 2014/89/EU, 2014). V preteklosti je bilo načrtovanje in upravljanje dejavnosti na morju večinoma prepuščeno sektorjem oz. so se ti medsebojno dogovarjali ter usklajevali glede posameznih interesov – kar je privedlo tudi do nekaterih nesoglasij (plinski terminal v Tržaškem zalivu, plačljiv dostop do izbranih vodnih zemljišč – plaž, širjenje koprskega pristanišča in hrup, zavarovanje podvodne kulturne dediščine v Koprskem zalivu, varstvo narave in sidranje turističnih plovil, pomorski promet in ribištvo).

Direktiva PPN je v 6. členu opredelila minimalne zahteve za PPN na državni ravni, ki upoštevajo rabe vodnih zemljišč za doseganje ciljev trajnostnega razvoja v morskih vodah. Država mora med drugim vsaj (Direktiva 2014/89/EU):

- upoštevati medsebojno vplivanje kopnega in morja;
- upoštevati okoljske, gospodarske, socialne in varnostne vidike;
- poskušati spodbuditi usklajenost med PPN in celostnim upravljanjem obalnih območij ter ostalimi režimi;
- zagotoviti vključenost deležnikov v skladu z ostalimi direktivami in uredbami;
- uporabiti najboljše razpoložljive podatke in kazalnike o aktualnem stanju;
- zagotoviti čezmejno sodelovanje;
- spodbujati sodelovanje tretjih držav ter
- vrednotiti in po potrebi prenoviti PPN na vsaj 10 let.

Vodna zemljišča morja so bila v Sloveniji prvič opredeljena z Zakonom o vodah, ki je bil sprejet leta 2002. Zakon je vodna zemljišča morja opredelil kot dno vseh notranjih morskih vod in dno teritorialnega morja, kot je to določeno s predpisi o pomorstvu (Pomorski zakonik). Vodna zemljišča morja so v lasti države, ki z njimi tudi upravlja. Sočasno z opredelitvijo vodnih zemljišč morja so bila opredeljena priobalna zemljišča, ki obsegajo zemljišča, ki so od meje z vodnimi zemljišči morja oddaljena 25 metrov, kar je bil prvi korak k sodelovanju med državno in občinsko ravnjo, saj je bil takrat (in je še danes) slednji zadolžen za prostorsko načrtovanje s kopenskimi zemljišči. Kljub temu je zakon dovoljeval možnost, da lokalna skupnost lahko določi status naravnega morskega dobra tudi na delu priobalnega zemljišča morja, če to omogoča splošno rabo morja. Z zakonom so bila opredeljena tudi vodna območja, za katera se pripravijo državni načrti upravljanja z vodami. Vodno območje Jadranskega morja je del mednarodnega povodja Jadranskega morja na območju Republike Slovenije z morjem in s pripadajočimi podzemnimi vodami (Zakon o vodah, 2002).



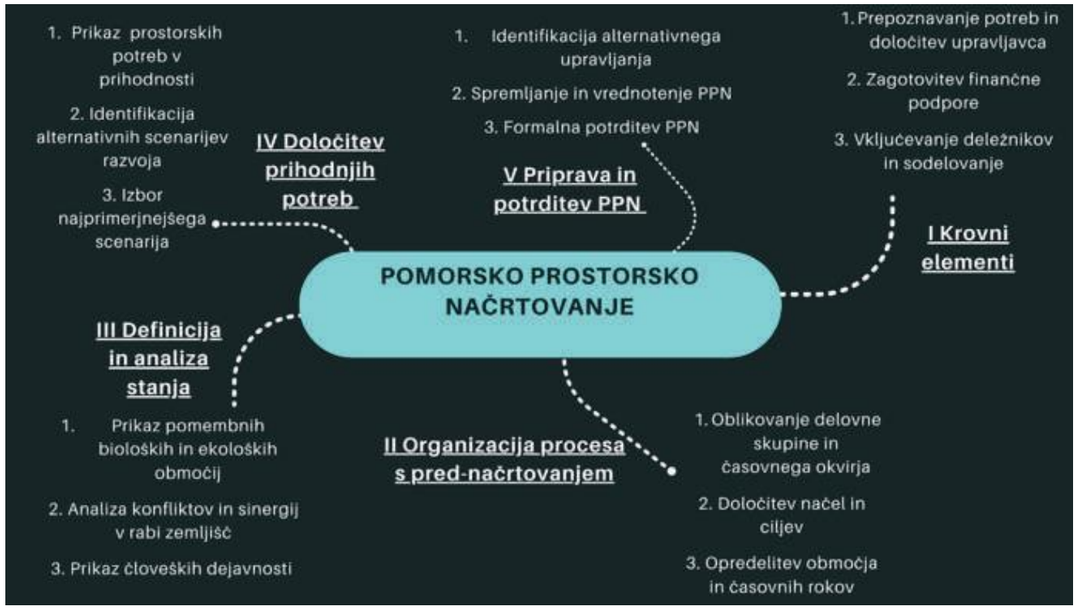
Slika 1: Opredelitev vodnih zemljišč na morju po mednarodnem morskem pravu in slovenskem Zakonu o vodah iz leta 2002
(Vir: Enavtika.si, 2020)

3. RAZVOJ POMORSKEGA PROSTORSKEGA NAČRTOVANJA V SLOVENIJI

Referenčna točka začetkov PPN na planetarni ravni je bila Konvencija Združenih narodov o pomorskem pravu (UNCLOS) leta 1982, ki je predstavila okvir pravic in dolžnosti držav podpisnic glede rabe svetovnih oceanov, smernice za poslovanje podjetij in upravljanje naravnih morskih virov (Soininen in Hassan, 2015).

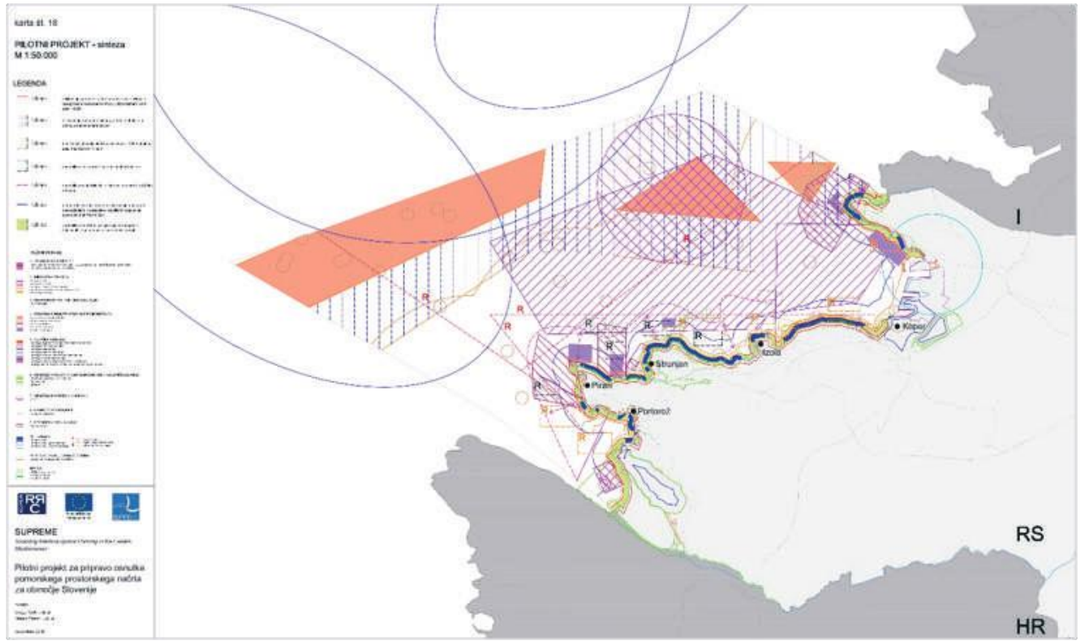
V zadnjih dveh desetletjih se je postopek PPN na evropski ravni izpopolnil ter iz teoretske zasnove prerasel v praktični pristop z namenom zagotavljanja trajnostnega razvoja pomorskih dejavnosti in varstva morskih ekosistemov. Tega naslavlja skozi prizmo ekonomskega in okoljskega vidika, kar imenujemo ekosistemski pristop, skladno z njim pa proučevanje ekosistemskih storitev kot tudi medsebojnega vplivanja rab. V Sloveniji so se prizadevanja po trajnostnem upravljanju morskega okolja pojavila v preteklih dveh desetletjih. Obdobje od leta 1993 do 2020 je bilo namenjeno zbiranju znanja, izmenjavi mednarodnih izkušenj ter pilotnim projektom, od katerih so nekateri vplivali tudi na oblikovanje sektorske zakonodaje ter razvojnih programov lokalnih in regionalne skupnosti. S sodelovanjem posameznih slovenskih institucij (ključno vlogo sta imela Regionalni razvojni center Koper ter Ministrstvo za okolje in prostor) v mednarodnih projektih, predvsem evropskih, kot so bili CAMP Slovenija, PlanCoast, SHAPE, ADRIPLAN, ADRIATIC+, SUPREME in PORTODIMARE, so bili zbrani in predstavljeni nekateri strukturni elementi kot tudi ključne usmeritve za uresničitev Direktive 2014/89/EU. Gradiva so bila hkrati pomembna za krepitev zmogljivosti kadrovskih virov in oblikovanje izhodišč za pripravo prvega formalnega PPN za morski akvatorij Republike Slovenije, ki bo pripravljen do marca 2021.

PPN je z Direktivo 2014/89/EU določeno kot orodje ekosistemskega pristopa za morska in obmorska okolja, ki spremlja in uokvirja človeške dejavnosti, da te ne presegajo zmogljivosti okolja za potrebe vzdrževanja dobrega stanja. Ta prostor je bil od nekdaj predmet raziskav fizikov, kemikov, biologov, ekonomistov, sociologov, prostorskih načrtovalcev, geografov, filozofov, kulturnikov, kar oznanja njegove dimenzije vplivov prek (administrativnih) meja. Dejavnosti na morju so v veliki meri soodvisne tudi od dejavnosti na kopnem in zaledju, zato je vse bolj pomembno razumevanje njihovih dinamičnih sprememb v ekosistemih in družbi. Novo dimenzijo ekonomskega razvoja pomorskega sektorja sta predstavila OECD in Evropska komisija, ki sta uvedla pojem *Blue growth* (Kidd et al., 2019).



Slika 2: Predlog pristopa k izdelavi in izvajanju PPN
(Vir: Ehler in Douvere, 2009)

Ministrstvo za okolje in prostor ter njegov organ v sestavi, Direktorat za graditev, prostor in stanovanja, je v maju 2019 razpisalo projektno nalogo za izdelavo prvega formalnega PPN Slovenije. S pripravo PPN naj bi Slovenija na podlagi 8. člena Protokola o celovitem upravljanju obalnih območij v Sredozemlju uvedla razširjeni priobalni pas morja, ki bo zajel območja varstva ključnih dobrin in prostorskih možnosti, za katero bo pripravila skupno vizijo in smernice za program razvoja priobalnega pasu (med različnimi administrativnimi ravnmi in različnimi sektorji, med deležniki iz gospodarstva in civilne družbe). PPN, skladno z določbami 4. odstavka 67. člena Zakona o urejanju prostora (Uradni list RS, št. 61/17 – v nadaljevanju: ZUreP-2), sprejme Vlada Republike Slovenije z uredbo kot akcijski program za izvajanje Strategije prostorskega razvoja Slovenija (SPRS) na morju. Akcijski program je operativne narave in namenjen izvedbi SPRS v srednjeročnem časovnem obdobju. Postopek priprave PPN se izpelje smiselno v skladu z določbami ZUreP-2, ki urejajo postopek priprave regionalnega prostorskega plana (73. člen ZUreP-2), pri tem pa veljajo še nekatere posebnosti, ki izhajajo iz zahtev Direktive PPN. Tako je treba v postopku priprave zagotoviti sodelovanje drugih držav, vsebinsko gledano pa mora biti akt usklajen tudi z načrti upravljanja, ki so pripravljeni v skladu z drugimi predpisi (Zakon o urejanju prostora, 2017).



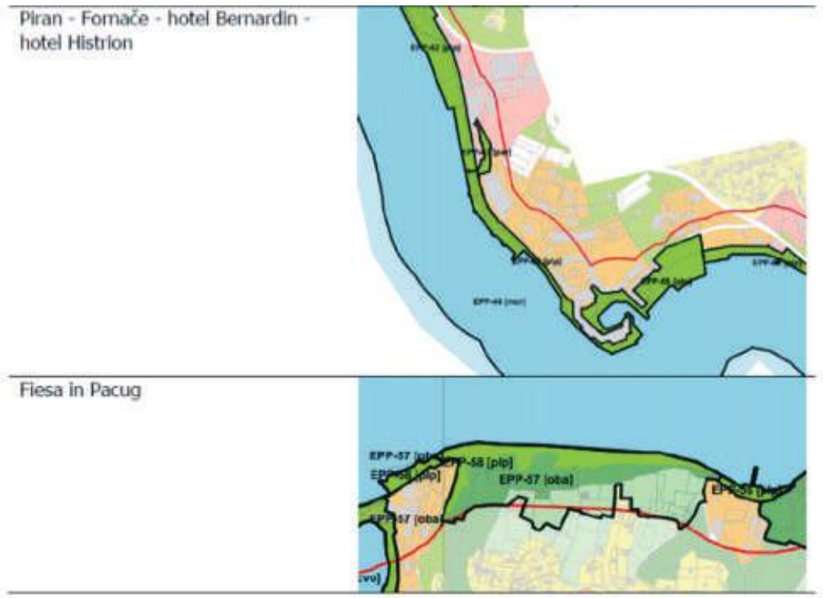
Slika 3: Simulacija pomorskega prostorskega načrta za Republiko Slovenijo
(Vir: Plazar in Čok, 2019)

3.1 Celovito upravljanje obalnih območij/ICZM

Celovito upravljanje obalnih območij (CUOO) je instrument PPN, iz katerega so tudi izhajale moderne zasnove postopka PPN, saj so se prvi zametki usklajenega upravljanja morskih in kopenskih območij pojavili že pred splošno uveljavljenim postopkom PPN (Kidd, Jones in Jay, 2019). Nastanek CUOO ali po angleško ICZM (Integrated Coastal Zone Management) izhaja iz orodja ICM (Integrated Coastal Management), ki je bil uveljavljen v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja. Tak način razmišljanja je temeljil na osnovi ekosistema, ki ga je opredelil kot celostni pristop k upravljanju, saj upošteva celoten ekosistem. V tega spada tudi človek, njegov cilj pa je ohranjanje ekosistema v zdravem, produktivnem in prožnem stanju, da lahko zagotavlja blago in storitve, ki jih potrebujemo ljudje (Ehler in Douvere, 2009). Protokol ICZM za Sredozemlje, ki je eden od sedmih protokolov Barcelonske konvencije, je bil podpisan januarja 2008 po večletnem prizadevanju MAP/UNEP in enote PAP/RAC v Splitu (Regionalni akcijski center MAP za prednostne aktivnosti) za njegovo uveljavitev na območju Sredozemlja. Protokol opredeljuje določitev obsega, oblike in uskladitve v obalnem pasu, ki je pomemben z vidika zaščite in upravljanja v sodobnih vplivih litoralizacije in družbenega napredka. Protokol se zavzema za vzpostavitev dinamičnega postopka trajnostnega upravljanja in rabe obalnih območij ob upoštevanju krhkosti obalnih ekosistemov in krajine, raznolikosti dejavnosti in rab, njihovih medsebojnih interakcij, pomorske usmeritve ter njihove vplive na morske in kopenske dele (Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean, 2008).

Protokol ICZM opredeljuje obalno območje kot območje med zunanjo mejo teritorialnega morja in mejo kopenskih administrativnih enot (to so lahko, npr., občine), ki jih določijo države. V Sloveniji obalni pas v formalni obliki še ne obstaja, vendar je predvideno, da se bo struktura upravljanja vzpostavila do marca 2021, ko mora biti pripravljen prvi PPN. Razpisana projektna naloga je obalni pas opredelila kot pas, ki obsega območje 200 metrov vodnih zemljišč morja in 100 metrov kopenskih zemljišč, ki se srečujejo in prepletajo ob obalni črti. Teh 100 metrov kopenskih zemljišč je tudi najmanjši obseg kopenskih zemljišč, kot ga določa protokol ICZM. **Na primeru Slovenije je smiselno izpostaviti posebnosti, kot so kratkost obale in precejšnja urbaniziranost ter s tem vprašljivost uvedbe pasu. Smiselno pa bi bilo ta pas razširiti, vanj vključiti dodatne (že danes varovanje površine) in za to območje uvesti skupno upravljanje** (Dalla Valle et al., 2014).

Zgodovina upravljanja obalnega pasu v Sloveniji je omejena na posamezna usklajevanja med sektorji državnega pomena, institucijami štirih obalnih lokalnih samoupravnih skupnosti in gospodarskimi subjekti. Največ strokovnih podlag za opredelitev pasu v Sloveniji je bilo izdelanih v projektih SHAPE in SUPREME (Sliki 3 in 4), v katerih so sodelovali različni deležniki s področja urejanja prostora na morju v Jadranskem in Jonskem morju – predvsem nosilci urejanja prostora, kot jih opredeljuje ZUrep-2. Projekt SHAPE je bil usmerjen v zasnovo trajnostnega prostorskega razvoja obale Jadranskega morja, krepitev varstva in upravljanja naravne in kulturne dediščine ter preprečevanje naravnih in drugih nesreč. Pilotno so bile preverjene možnosti za vzpostavitev skupnega sistema za upravljanje obalnih območij in vzpostavitev obalnega pasu skladno s protokolom ICZM, ki se je izkazal kot pomembno orodje pri upravljanju s slovenskim obalnim območjem. Namena projektnih nalog za slovensko obalo sta bila določitev priobalnega območja, kot ga določa protokol ICZM, ter preučitev možnosti za njegovo vzpostavitev in izvajanje.



Slika 4: Primer opredelitve obalnega pasu v Sloveniji, skladno z določbami protokola ICZM
(Vir: Dalla Valle et al., 2014)

4. POMEN MEDNARODNIH EVROPSKIH PROJEKTOV

Poslanstvo in namen mednarodnih evropskih projektov, ki so obravnavali področja PPN, sta Sloveniji prinesla izbrane strukturne elemente za uresničitev določb Direktive o PPN, hkrati pa tudi sooblikovala vsebino same direktive, ki je bila sprejeta leta 2014, saj so bili prvi mednarodni projekti v Sloveniji izvedeni v prvih letih 21. stoletja. Poslanstvo sodelovanja v projektih, ki so se izvajali s pomočjo različnih programov, je bilo razvoj metodologij PPN, testiranje pristopov k PPN na širših območjih (npr. na območju Jadrana, jadransko-jonskem območju), vzpostavitev skupne podatkovne infrastrukture, oblikovanje in testiranje orodij za PPN ter izvedba testnih primerov. Projekti so bili za Slovenijo velikega pomena, predvsem zaradi stika in sodelovanja s strokovnjaki jadransko-jonskega območja pri vzpostavljanju metodologije, informacijske infrastrukture, procesov PPN ter stikov s strokovnjaki in predstavniki pristojnih državnih organov za PPN. S sodelovanjem so bili pridobljeni znanje in izkušnje za različne nivoje upravljanja s prostorom in za sektorje, kar izkazuje potrebo po tovrstnih instrumentih upravljanja z vodami tudi v prihodnje.

V tabeli 1 so prikazni ključni elementi posameznih projektov, prek katerih se je postopoma izoblikovala navedena upravna, strokovna in prostorsko razvojna baza podatkov, znanj in izkušenj. Pri vseh so sodelovali predstavniki RRC Koper, MOP in obmorskih občin. Ugotavljamo, da so vsebine in postopki teh projektov pomembno prispevali k sedanjemu stanju, v katerem se pripravlja prvi PPN za Slovenijo (Schultz-Zehden et al., 2008; UNEP/MAP-PAP/RAC, 2008; Ramieri et al., 2014; Barbanti et al., 2015; Čok et al., 2018).

Tabela 1: Oris mednarodnih projektov, v okviru katerih je Slovenija izvajala posamezne korake za razvoj postopka PPN in zagotovila nekatere strokovne podlage za upravljanje z vodnimi zemljišči morja.

Naziv projekta in programa sofinanciranja	Obdobje izvajanja	Glavna aktivnost	Potencialni strukturni elementi PPN/ključni koraki za implementacijo PPN, kratek oris vsebine, namena ter aktivnosti
1. CAMP Slovenija Coastal Area Management Programme **Program:** Sredozemski akcijski načrt (UNEP/MAP) Vključeni predstavniki države: Slovenija	2004–2007	Uvajanje integralnega pristopa k upravljanju, krepitev trajnostnega razvoja v obalnem pasu	- definicije temeljnih pojmov in njihova integracija v planske dokumente, - opredelitev obalnega pasu kot posebne enote urejanja prostora, - orodje participativnega načrtovanja: Sistemska analiza in analiza perspektiv trajnostnega razvoja, - izdelava kart ranljivosti slovenske obale za onesnaženja zaradi ladijskih nesreč - idejna zasnova prostorskih ureditev obalnega pasu (**strokovna podlaga**), - široko vključevanje deležnikov v proces načrtovanja in upravljanja
2. PLANCOAST **Program:** INTERREG IIIB CADSES 2006-2008 Vključeni predstavniki držav: Nemčija, Poljska, Slovenija, Italija, Albanija, Bosna in Hercegovina, Bolgarija, Hrvaška, Romunija, Srbija, Ukrajina	2006–2008	Razvoj orodij in zmogljivosti za učinkovito celostno načrtovanje obalnih in morskih območij v baltskih, jadranskih in črnomorskih regijah ter njihova promocija	- priročnik o integralnem pomorskem prostorskem načrtovanju, - pomorsko prostorsko načrtovanje v izbranih območjih (**pilotni projekt**), - prostorski načrti za obalni pas skladno z načeli ICZM (**pilotni projekt**)
3. SHAPE Shaping an Holistic Approach to Protect the Adriatic Environment between coast and sea **Program:** AdriaticIPA 2007–2013 Vključeni predstavniki držav: Italija, Hrvaška, Albanija, Bosna in Hercegovina, Črna Gora	2013–2014	Izboljšati sistem upravljanja s krepitvijo Integralnega upravljanja z obalnimi območji, skladno s Protokolom ICZM (Barcelonska konvencija) in Morskega prostorskega načrtovanja, skladno z usmeritvami EU na tem področju	- skladno s Protokolom ICZM, predlog 100-m priobalnega pasu, kjer gradnja ne bo dovoljena, z upoštevanjem dopustnih prilagoditev (zožitev ali širitev pasu), - preizkus integracije prostorskega načrtovanja morja in kopnega na primeru območja Strunjana, - idejna zasnova ureditve krajinskega parka Strunjan, zasnova namenske rabe površin na morju, idejne rešitve prostorskih ureditev (npr. obalc med Vilo Tartini in hotelom Salinera, ribiškega mandrača, pešpoti in razgledišč), - geografski informacijski sistem GIS za 100-metrski priobalni pas v Sloveniji, ki omogoča 3D prostorske prikaze
4. ADRIPLAN ADRiatic Ionian maritime spatial PLANning **Program:** DG MARE, EASME Vključeni predstavniki držav: Italija, Hrvaška, Slovenija, Grčija	2014–2015	Podpreti vzpostavitev PPN v Jadransko-jonski regiji – čezmejni vidik	- oblikovanje predlogov in priporočil za čezmejno pomorsko prostorsko načrtovanje na območju Jadransko-jonske regije, - projekt je temeljil na celostni oceni stanja (okolja, pravnih in upravnih podlag, gospodarstva in družbe) ter upoštevanju potreb in potencialov sektorjev
5. ADRIATIC + **Program:** AdriaticIPA 2007–2013 Vključeni predstavniki držav: Italija, Hrvaška, Črna Gora, Slovenija	2016	Opredelitev in izmenjava dobrih praks	- izmenjava izkušenj v povezavi z upravljanjem morskih in obalnih območji na območju Jadranskega morja
6. SUPREME SUporting maritime spatial Planning in the Eastern MEditerranean **Program:** DG MARE, EASME Vključeni predstavniki držav: Italija, Hrvaška, Grčija, Slovenija	2018–2019	Simulacija PPN – priprava gradiv za osnutek PPN	- presek stanja na področju razpoložljivih podatkov, interesov in želja, - izdelava gradiv za osnutek PPN, - simulacija postopka in vsebine PPN (**pilotni projekt**), - nabor sektorskih in mednarodnih izhodišč in ciljev za območje Vzhodnega Sredozemlja, - nabor deležnikov, - tematske delavnice, - usklajevanje interesov, - podajanje pripomb in pobud (vključevanje javnosti)
7. PORTODIMARE geoPORtal of TOols & Data for sustaInable Management of coAstal and maRine Environment **Program:** Interreg ADRION Vključeni predstavniki držav: Italija, Hrvaška, Grčija, Slovenija, Črna Gora, Bosna in Hercegovina	2018–2020	Uvajanje elementov PPN	- nadaljevanje SHAPE, ADRIPLAN - oblikovanje skupne informacijske platforme – geoportala, - razvoj analitičnih orodij za PPN; - testiranje izbranih analitičnih orodij

(Vir: Lastni)

5. ZAKLJUČEK

Slovensko primorje, še posebej obalni pas, je že občutno urbanizirano območje, kjer se prepletajo številne dejavnosti in izvajajo različni instrumenti upravljanja s prostorom. Vodna zemljišča slovenskega morja obsegajo 213 kvadratnih kilometrov, kar je razmeroma malo, a so zato še toliko bolj pomembna, predvsem zaradi usklajevanja številnih interesov in dejavnosti, ki se prepletajo med sektorji marikulture, energetike, prometa, obrambe, varstva narave in kulturne dediščine, raziskav, turizma ter urbanega razvoja. Območje razvojne regije Istra-Brkini-Kras (oz. obalno-kraške statistične regije) je za Slovenijo tudi velikega simbolnega, kulturološkega in gospodarskega pomena. Edina slovenska obmorska regija je bila leta 2014 četrta najbolj razvita med vsemi dvanajstimi regijami in hkrati imela drugi najvišji BDP na prebivalca (Pečar, 2018).

Pritiski na obalno območje, kot so litoralizacija, naraščanje osebnega prometa z avtomobili, razvoj pomorskega potniškega in tovornega prometa, turizem in rekreacijske dejavnosti, komunalne vode in odpadki ter nevarnost naravnih in drugih nesreč zahtevajo usklajeno in premišljeno načrtovanje ter mednivojsko in medsektorsko obravnavo in upravljanje.

Z namenom, da se okrepi trajnostni značaj prihodnjega razvoja regije, je treba dograditi pristop celovitega upravljanja z obalnim območjem, ki bo združil razvojni, prostorski in okoljski vidik. V prihodnosti bo treba še več poudarka nameniti mehanizmu usklajevanja v okviru regionalnega razvoja. Skladno z 8. členom protokola ICZM o prepovedi gradnje v 100-metrskem pasu ob obali bo treba vzpostaviti priobalni pas. Zelo smiselno pa bi bilo v ta pas vključiti še dodatne, že danes varovane površine – po sektorski zakonodaji (npr. zavarovana obm očja narave) – in za to območje uvesti skupno upravljanje. Namen ukrepa bi bila ureditev celotne slovenske obale, skladno s skupno vizijo. V okviru tega bi se lahko uskladili ukrepi varstva naravnih, kulturnih in rekreacijskih potencialov ter vzpostavili potrebno infrastrukturo. Ob tem bo treba zagotoviti informacijsko podporo s sistemom kazalnikov, ki bodo lahko vrednotili dobro stanje okolja in merili trajnostni razvoj na tem neprecenljivem delu morja in obale, kjer se slednja dotikata države z najkrajšo obalno linijo v Evropski uniji.

Razvoj procesa PPN v Sloveniji je tekel vzporedno z mednarodnim sodelovanjem, ki je vključevalo tako predstavnike državne uprave kot stroko. S sodelovanjem na ravni EU in drugih mednarodnih ravneh je bil vzpostavljen stik s sodobnim mednarodnim strokovnim dogajanjem, kar je bilo za Slovenijo še posebnega pomena prav zaradi omejenih izkušenj. Utemeljitev potrebe po razvoju PPN in CUOO se je izkazala skozi številne aktivnosti pilotnih projektov ter izmenjave znanja in izkušenj med partnerji. Teorija in praksa načrtovanja za trajnostni razvoj pa sta bili predstavljeni predstavnikom javne uprave ter strokovni in tudi širši javnosti, tako na nacionalni kot lokalni ravni. S tem je bila promovirana potreba po usklajevanju interesov med sektorji, saj so na dan prihajali številni predhodno nepoznani podatki in informacije. Skozi celoten proces pa je bila izpostavljena dihotomija med načrtovanjem in upravljanjem dejavnosti na vodnih in kopenskih zemljiščih, ki so si soodvisna.

Prvi PPN v Sloveniji bo zaznamovan z metodološkimi in vsebinskimi elementi, ki so zoreli v preteklih dvajsetih letih dela na različnih ravneh – od lokalnih do mednarodnih. Na ta način Slovenija vzdržuje stik z razvojem PPN v Evropski uniji in širše.

LITERATURA IN VIRI

1. Alder, J. in Kay, R., 2005. Coastal Planning and Management. 2. izdaja. London: Taylor & Francis Ltd.
2. Barbanti, A., Campostrini, P., Musco, F., Sarretta A. in Gissi, E. (ur.), 2015. Developing a Maritime Spatial Plan for the Adriatic-Ionian Region. Benetke: CNR-ISMAR.
3. Braudel, F., 1996. The Mediterranean and the Mediterranean World in the Age of Philip II: v. 1. Berkeley: University of California Press.
4. Bricelj, M., 2004. Jadransko morje: evropsko morje pod pritiski. Geografski obzornik: časopis za geografsko vzgojo in izobraževanje, 2004, 51, 2, 18–21.
5. Ehler, C., in Douvere, F., 2009. Marine Spatial Planning: A Step-by Step Approach Towards Ecosystem-based Management. Paris: Intergovernmental Oceanographic Commission UNESCO IOC.
6. Enavtika.si, 2020. Prehod državne meje na morju. Dostopno na: https://enavtika.si/sl/novice/19-varna-plovba/5816-prehod-drzavne-meje-na-morju [1. 7. 2020].
7. Erič, M., Gaspari, A. in Poglajen, S., 2012. Evidentiranje kulturne dediščine v teritorialnem morju Republike Slovenije in perspektiva njenega upravljanja. V: Erič, M. in Gaspari, A. (ur.). Potopljena preteklost: Arheologija vodnih okolij in raziskovanje podvodne kulturne dediščine v Sloveniji. Radovljica: Didakta, d.o.o., 167–176.
8. Čok, G., Francé, J., Gorjanc, S., Caserman, H., Humerca Šolar, L., Mezek, S., Orlando-Bonaca, M., Plazar, M., Urh, V. in Zupančič, G., 2018. SUPREME: supporting maritime spatial planning in Eastern Mediterranean : case study Slovenia : report on the case study: (c.1.3.8. - addressing MSP implementation in case study areas). Koper: Regionalni razvojni center Koper.
9. Dalla Valle, S., Dalla Valle, B., Thaler, J., Dalla Valle, N. in Šantelj, B., 2014. SHAPE: Uskladitev režimov v 100-m priobalnem pasu Jadranskega morja z zahtevami 8. člena protokola ICZM. Koper: Regionalni razvojni center Koper.
10. Direktiva 2014/89/EU. Uradni list Evropske unije 257/135.
11. Grove, A. T. in Rackham, O., 2003. The Nature of Mediterranean Europe: An Ecological History. New Haven: Yale University Press.
12. GURS, 2020. E-geodetski podatki. Dostopno na: https://egp.gu.gov.si/egp/ [20. 7. 2020].
13. Kidd, S., Jones, H. in Jay, S., 2019. Taking Account of Land-Sea Interactions in Marine Spatial Planning. V: Zaucha, J. in Gee, K. (ur.). Maritime Spatial Planning: past, present, future. London: Palgrave Macmillan. 245–270.
14. Pečar, J., 2018. Delovni zvezek: indeks razvojne ogroženosti regij 2014-2020, metodologija izračuna. Ljubljana: Urad RS za makroekonomske analize in razvoj.
15. Pipan, P. in Zupančič, J., 2012. Slovensko morje in obala – Severni Jadran v geopolitični perspektivi ter problemi razmejevanja med Italijo, Slovenijo in Hrvaško. V: Ogrin, D. (ur.). Geografija stika Slovenske Istre in Tržaškega zaliva. Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. 13–36.
16. Plazar, M. in Čok, G., 2019. SUPREME: pilotni projekt za pripravo osnutka pomorskega prostorskega načrta (PPN) za območje Slovenije: zaključno poročilo. Koper: Regionalni razvojni center Koper.
17. Plut, D., 2000. Geografija vodnih virov. Ljubljana: Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo.
18. Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean. UNEP/MAP/PAP. Split: Priority Actions Programme. Dostopno na: https://www.pap-thecoastcentre.org/pdfs/Protocol_publikacija_May09.pdf [22. 7. 2020].
19. Ramieri, E., Andreoli, E., Fanelli, A., Artico, G. in Bertaggia, R., 2014. Methodological handbook on Maritime Spatial Planning in the Adriatic Sea. Benetke: Regione del Veneto.
20. RRC Koper, 2015. Regionalni razvojni program za Južno Primorsko regijo 2014-2020. Elaborat. Koper: Regionalni razvojni center Koper.
21. Schultz-Zehden, A., Gee, K. in Scibior, K., 2008. Handbook in Integrated Maritime Spatial Planning. Berlin: sustainable projects.
22. Soininen, N. in Hassan, D., 2015. Marine Spatial Planning as an Instrument of Sustainable Ocean Governance. V: Hassan, D., Kuokkanen, T. in Soininen, N. (ur.). Transboundary Marine Spatial Planning and International Law. London: Routledge. 3–20.
23. Stehr, N. in von Storch, H., 1999. Klima, Wetter, Mensch. München: C.H. Beck.

24. SURS, 2020. Spletni portal Statističnega urada Republike Slovenije. Dostopno na: https://pxweb.stat.si/SiStat [15. 7. 2020].
25. UNEP/MAP-PAP/RAC, 2008. MAP Coastal Area Management Programme (CAMP) Slovenia. Atene: UNEP/MAP.
26. Uredba o načrtu upravljanja z morskim okoljem. Uradni list RS, št. 41/2017.
27. Zakon o urejanju prostora (ZUreP-2). Uradni list RS, št. 61/2017.
28. Zakon o ratifikaciji Protokola o celovitem upravljanju obalnih območij v Sredozemlju (MPUOS). Uradni list RS, št. 66/2011.
29. Zakon o vodah (ZV-1). Uradni list RS, št. 67/2002.

PLASTIKA KOT ONESNAŽEVALO V REČNIH SEDIMENTIH IN NJEN VPLIV NA MIKROBNI METABOLIZEM

TJAŠA MATJAŠIČ[1], dr. TATJANA SIMČIČ[2], prof. dr. OLIVER BAJT[3], dr. NATAŠA MORI[4]

Povzetek

Obremenjevanje vodá z mikroplastiko (delci <5 mm) postaja vedno bolj pereč problem. Raziskave so potrdile prisotnost mikroplastike v celinskih vodah, zelo malo pa se ve o odzivu vodnih mikroorganizmov na tovrstno onesnaženje. Mikroorganizmi, ki kot biofilm obraščajo rečne sedimente, so ključna komponenta samoočiščevanja, saj privzemajo in pretvarjajo hranila iz vode. V raziskavi nas je zanimalo, kako prisotnost polietilentereftalatnih (PET) tekstilnih vlaken vpliva na mikrobni metabolizem. Poskus smo izvedli v spodnjem delu Kamniške Bistrice, kjer smo v obdobju enega leta opazovali aktivnost biofilma na sedimentih brez prisotnih PET vlaken in na sedimentih s prisotnimi PET vlakni. Merili smo mikrobno aktivnost s pomočjo ekoplošč Biolog®, ki omogočajo ekofiziološko profiliranje mikrobnih združb, načrtujemo pa še analizo vrstne sestave mikrobne združbe s 16sRNA sekveniranjem. Ugotovili smo, da mikroorganizmi hitro kolonizirajo naravne sedimente in tudi antropogene materiale, kot so tekstilna vlakna. Opazili smo tudi, da lahko prisotnost že manjših količin PET vlaken v sedimentih povzroči spremembo metabolizma prisotnih mikroorganizmov.

Ključne besede: biofilm, metabolizem, mikroorganizmi, mikroplastika, tekoče vode.

Abstract

Microplastic (particles <5 mm) pollution of waters is becoming an urgent issue. Microplastic is present in inland waters, but very little is known about the response of microorganisms to this type of pollution. Microorganisms overgrowing river sediments as a biofilm are a key component of self-purification as they absorb and convert nutrients. We investigated how the presence of polyethylene teraphthalate (PET) textile fibers affects microbial metabolism. The experiment was performed over one year in the lower part of the Kamniška Bistrica River. The activity of biofilm was observed on the sediments without the PET fibers, and on sediments contaminated with PET fibers. We applied Biolog® EcoPlates to observe metabolism, and we will carry out the 16sRNA sequencing to identify the species. We found out

1 Tjaša Matjašič, mag. biol. in ekol. z naravovar., Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za raziskave organizmov in ekosistemov.
2 Dr. Tatjana Simčič, univ. dipl. biol., Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za raziskave organizmov in ekosistemov.
3 Prof. dr. Oliver Bajt, dipl. inž. kem., Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja Piran.
4 Dr. Nataša Mori, univ. dipl. biol., Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za raziskave organizmov in ekosistemov.

that microorganisms rapidly colonize natural substrate as well as textile fibers. We have also shown that the presence of even small amounts of PET fibers can cause metabolic changes in biofilm.

Keywords: biofilm, metabolism, microorganisms, microplastics, running water.

1. UVOD

Svetovna proizvodnja plastike se nenehno povečuje. Od leta 1950 do 2018 se je proizvodnja plastike povečala z milijona in pol na 360 milijonov ton v letu, od tega se je le majhen del ponovno uporabi, velika večina je konča na odlagališčih ali pa se nenadzorovano sprošča v okolje (PlasticsEurope, 2019). Velik del plastike, v obliki večjih delcev (makroplastika) ali pa kot primarna ali sekundarna mikroplastika, konča v rekah in morjih. Primarna mikroplastika so delci, manjši kot 5 mm, ki se kot pelete uporabljajo v proizvodnji ali pa neposredno v kozmetičnih ali čistilnih sredstvih, sekundarna mikroplastika pa so delci, ko so se v okolju zaradi svetlobnih, mehanskih, bioloških in kemijskih dejavnikov razdrobili v delce, manjše od 5 mm (Wagner in Lambert, 2018). Glavni problem prisotnosti plastike v okolju so njena obstojnost in trajnost ter škodljivi vplivi na zdravje ljudi in druga živa bitja. Med zaužitjem lahko delci plastike povzročijo mehanske okvare, poleg tega so s plastiko povezane kemikalije (aditivi), ki so lahko toksični ali pa celo delujejo kot endokrini motilci. Plastika lahko tudi veže, kar pomeni, da tako koncentrira in prenaša strupena organska onesnaževala, nanodelce ali kovine, prisotne v okolju, ali pa deluje kot vektor za invazivne ali patogene vrste mikroorganizmov (Dris et al., 2015).

Znanje o količinah, porazdelitvi in sestavi plastike kot onesnažila v okolju hitro narašča, še vedno pa je največ informacij za morske ekosisteme, medtem ko se o prisotnosti in vplivu onesnaženja s plastiko v celinskih vodah ve veliko manj. Ker celinske vode na eni strani človeku zagotavljajo pitno vodo in vodo za namakanje, na drugi pa so habitati za vrsto vodnih organizmov, je nujno razumeti, kako se ekosistem, izpostavljen tovrstnemu onesnaževanju, odziva. Učinkoviti samoočiščevalni procesi v tekočih vodah so ključni za vzdrževanje dobrega stanja vodá. Promotorji samoočiščevalnih procesov, torej procesov porabe in razgradnje organske snovi in hranil, so rastline, živali ter mikroorganizmi. Večina teh bioloških elementov (makrofiti, perifiton, veliki vodni nevretenčarji, ribe) se uporablja za oceno ekološkega stanja površinskih vodá v okviru nacionalnega monitoringa. Ključna komponenta samoočiščevalnih procesov pa je tudi biofilm, združba avtotrofnih in heterotrofnih mikroorganizmov (glive, bakterije, alge) v zunajceličnem matriksu, ki obrašča celoten omočen del rečne struge (ne samo površine, ampak tudi globlje v substratu). Na površini substrata je biofilm večinoma avtotrofen in ga imenujemo perifiton, globlje v rečnem dnu, ki se velikokrat nadaljuje oziroma povezuje z vodonosnikom, pa potekajo heterotrofni procesi. Biofilm v tekočih in podzemih vodah ima ključno vlogo pri procesih razgradnje organske snovi, saj velik del površinske vode iz rečne struge vsaj del poti teče skozi medzrnske prostore v rečnem dnu in je v intenzivnem stiku z biofilmom. Rečna voda pogosto hkrati napaja vodonosnike in se na poti do globljih predelov vodonosnika s pomočjo biofilma precej očisti. Številni antropogeni posegi, kot je spiranje organske snovi ter glinenih in peščenih delcev s kmetijskih površin, hidromorfološko poenostavljanje sestave rečnega dna (zmanjševanje geomorfološke pestrosti struktur v strugi) ter pretiran točkovni vnos hranil ali toksičnih snovi povzročajo krnjenje samočistilnih sposobnosti vodnih ekosistemov. Preučevanje in dobro poznavanje omejitvenih okoljskih dejavnikov, ki zavirajo optimalne samočistilne procese oziroma optimalno delovanje biofilma, je ključno za uspešnejše upravljanje z vodami (Mori et al., 2017). Eden takšnih omejitvenih dejavnikov, za katerega še ne vemo, kakšen je njegov vpliv na delovanje in strukturo biofilma, je tudi obremenjevanje rečnih sedimentov s plastiko.

V prispevku bomo predstavili preliminarne izsledke raziskave, kjer nas je zanimalo, kako prisotnost polietilentereftalatnih (PET) tekstilnih vlaken vpliva na mikrobni metabolizem v rečnem sedimentu. V obdobju enega leta smo opazovali, kako biofilm kolonizira naravni substrat in substrat, onesnažen s PET tekstilnimi vlakni, kako se z letnimi časi spreminja metabolna aktivnost biofilma na sedimentih brez prisotnih PET vlaken in na sedimentih s prisotnimi PET vlakni ter kakšen vpliv ima na te procese hidromorfološka heterogenost struge.

2. METODOLOGIJA

2.1 Terensko delo

Raziskavo smo izvedli med junijem 2019 in junijem 2020 v spodnjem delu Kamniške Bistrice.

Tabela 1: Časovni potek raziskave

Označba	Datum
D0	28. 6. 2019
D1	8. 7. 2019
D2	15. 7. 2019
D3	5. 8. 2019
D4	2. 9. 2019
D5	21. 10. 2019
D6	27. 1. 2020
D7	15. 6. 2020

(Vir: Lastni)

Izbrali smo si 100-metrski rečni odsek nad cestnim mostom pri Beričevem in v omočeni strugi določili 6 mest, tako da smo zajeli čim bolj raznolike mikrohabitate. Na vsakem mestu smo izkopali 40 cm globoko luknjo, vstavili predpripravljene sterilne substrate brez in s PET tekstilnimi vlakni, jih pokrili z izkopanim materialom ter izpostavili naravnim dejavnikom (Slika 1). V prvem mesecu smo vzorce za laboratorijske analize metabolne aktivnosti biofilma odvzeli vsak teden, nato smo nadaljevali s sezonskim vzorčenjem (avgust, oktober, januar, junij). Pri vsakem odvzemu vzorcev smo izmerili tudi osnovne fizikalno-kemijske dejavnike vode ter vodostaj.

Slika 1: Postavitev umetnih substratov v rečno dno Kamniške Bistrice

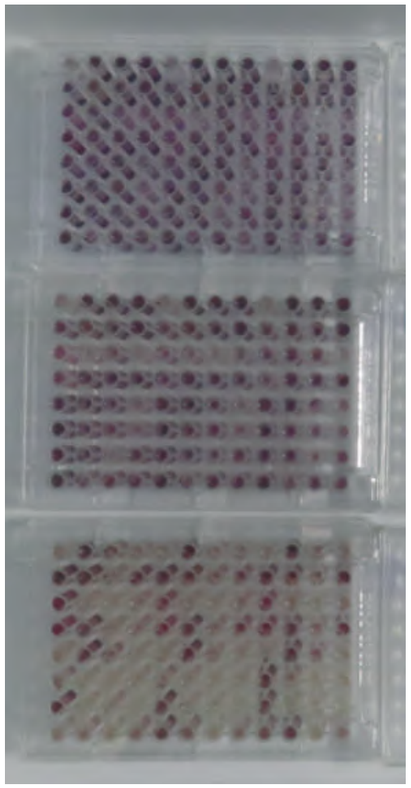
2.2 Laboratorijsko delo

2.2.1 Predpriprava umetnih substratov

Pred začetkom raziskave smo na mestu vzorčenja odvzeli okoli 1 kg sedimenta z velikostjo delcev med 1 in 4 mm, PET vlakna smo pridobili v komercialni trgovini s tekstilom. Tkanino smo približno mesec dni izpostavljali sončnemu obsevanju, nato pa razrezali na krpice velikosti 12 x 12 cm. Sediment smo dobro sprali s sterilno bidestilirano vodo, da smo odstranili večino partikulatnih organskih delcev. Iz pocinkane mreže, velikost por 2 x 2 mm, smo izdelali žepke, v katere smo vložili sediment ali sediment in tkanino. Za vsako mesto vzorčenja smo pripravili 3 različne tipe žepkov: kontrolni žepki s 50 g sedimenta in brez tkanine (K), žepki s 50 g sedimenta in 1 krpico tkanine (1P), žepki s 70 g sedimenta in 5 krpicami tkanine (5P). Pripravljene žepke smo avtoklavirali 15 minut pri 121,5 °C, to smo ponovili dvakrat v dveh dneh. Žepke smo nato vložili v rečno strugo, in sicer tako, da smo imeli na enem mestu po trinajst kontrolnih, trinajst 1P in trinajst 5P žepkov z namenom, da pri vsakem vzorčenju odvzamemo po en žepek, medtem ko so ostali še naprej izpostavljeni naravnim dejavnikom.

2.2.2 Analiza metabolne aktivnosti biofilma

Po odvzemu iz rečne struge smo žepke v hladilni torbi odnesli v laboratorij, kjer smo najprej natehtali po 2 g sedimenta iz vsakega žepka in vzeli košček blaga iz obeh žepkov z dodanim blagom. V sterilno čašo smo sedimentu in blagu dodali še 20 ml ohlajene Ringerjeve raztopine, nato pa čašo za 1 minuto dali v ultrazvočno kopel (Elmasonic P, Elma, Singen, Nemčija; 37 kHz, 30 %). Raztopino smo razdelili v dve epruveti in jo 5 minut pri 4 °C centrifugirali (800 vrtljajev/min). Na ta način smo pridobili mikroorganizme, ki so bili pritrjeni kot biofilm na sediment in PET blago. Raztopino smo nato v treh replikatih odpipetirali na Biologove Ekoplošče, ki vsebujejo 32 različnih substratov (Biolog®, Kalifornija, ZDA) (Slika 2). Plošče smo nato inkubirali v temi pri 20 °C in še isti dan izmerili absorbanco pri 590 nm s spektrofluorimetrom SynergyMX (BioTek Instruments). Meritve smo nato ponovili še po 24, 48 in 72 urah.



Slika 2: Različna intenziteta obarvanja substratov v mikrotitrskih Biolog Ekoploščah po 72 urah inkubacije različnih vzorcev

2.3 Statistične analize

Za prikaz razlik v metabolni aktivnosti med kontrolnimi sedimenti in sedimenti, izpostavljenimi PET vlaknom, ter za spreminjanje skozi čas in prostorske razlike smo uporabili analizo nemetričnega multidimenzionalnega skaliranja (NMDS; Bray-Curtisov indeks).

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

Kamniška Bistrica je predalpska hudourniška reka z visokimi vsebnostmi kisika v vodi, kjer smo v raziskovalnem obdobju izmerili temperature od 8,3 (pozimi) do 15,4 (poleti) °C (Tabela 2). Značilni metabolni profil biofilma v rečni strugi kaže, da na raziskovanem mestu v naravnih sedimentih prevladujejo mikroorganizmi, ki razgrajujejo predvsem v naravi prisotne ogljikove hidrate in polimerne spojine, kot sta D-celobioza in glikogen (Mori et al., 2019). To pomeni, da so bolj podobne združbe sposobne razgradnje podobnih ogljikovih hidratov, kar se na Biologovih ploščah pokaže kot podoben vzorec obarvanosti (fingerprint).

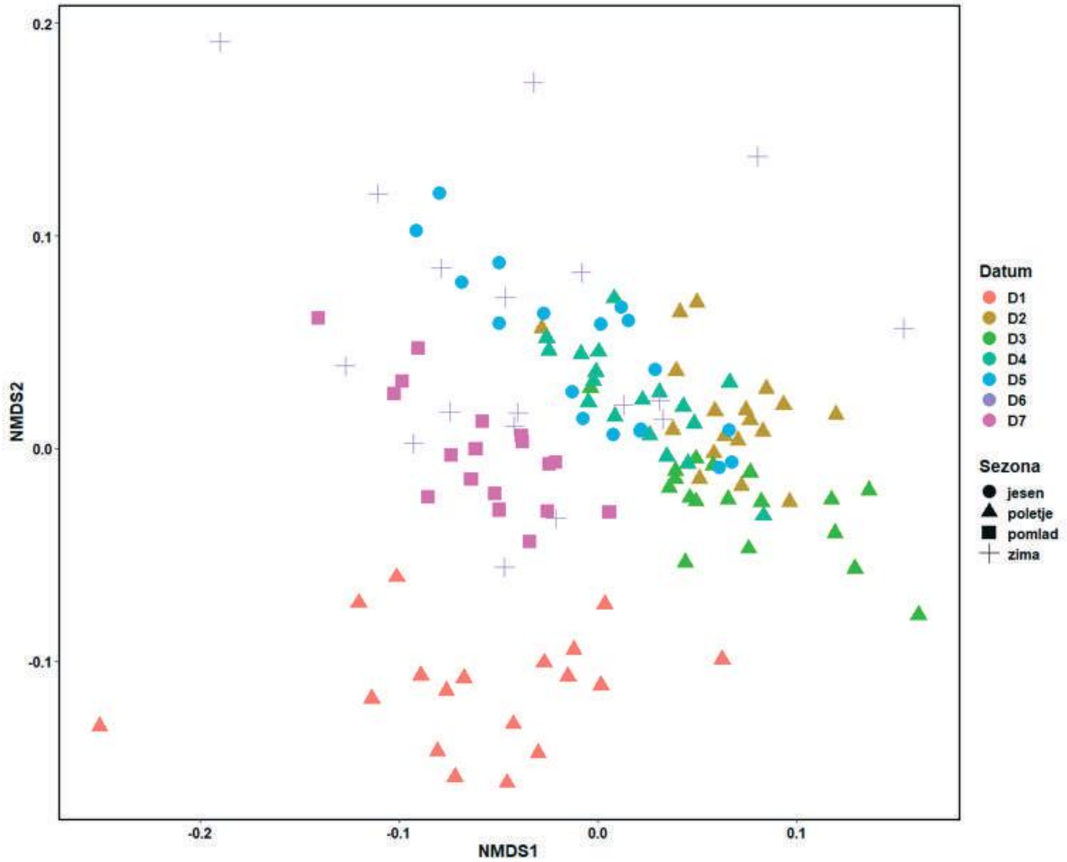
Tabela 2: Izmerjeni okoljski dejavniki med raziskavo

	temperatura vode	kisik	nasičenost z O_2	prevodnost	DOC	TN
	°C	mg l^{-1}	%	µS cm^{-1}	mg l^{-1}	mg l^{-1}
poletje	15,4	11,1	115	453	nd	nd
jesen	12,9	9,5	92,8	461	2,1	3,3
zima	8,3	11,1	97,0	496	2,4	3,3
pomlad	11,6	10,2	98,0	351	1,4	1,4

Opomba: DOC – raztopljeni organski ogljik; TN – celokupni dušik; nd – ni podatka.

(Vir: Lastni)

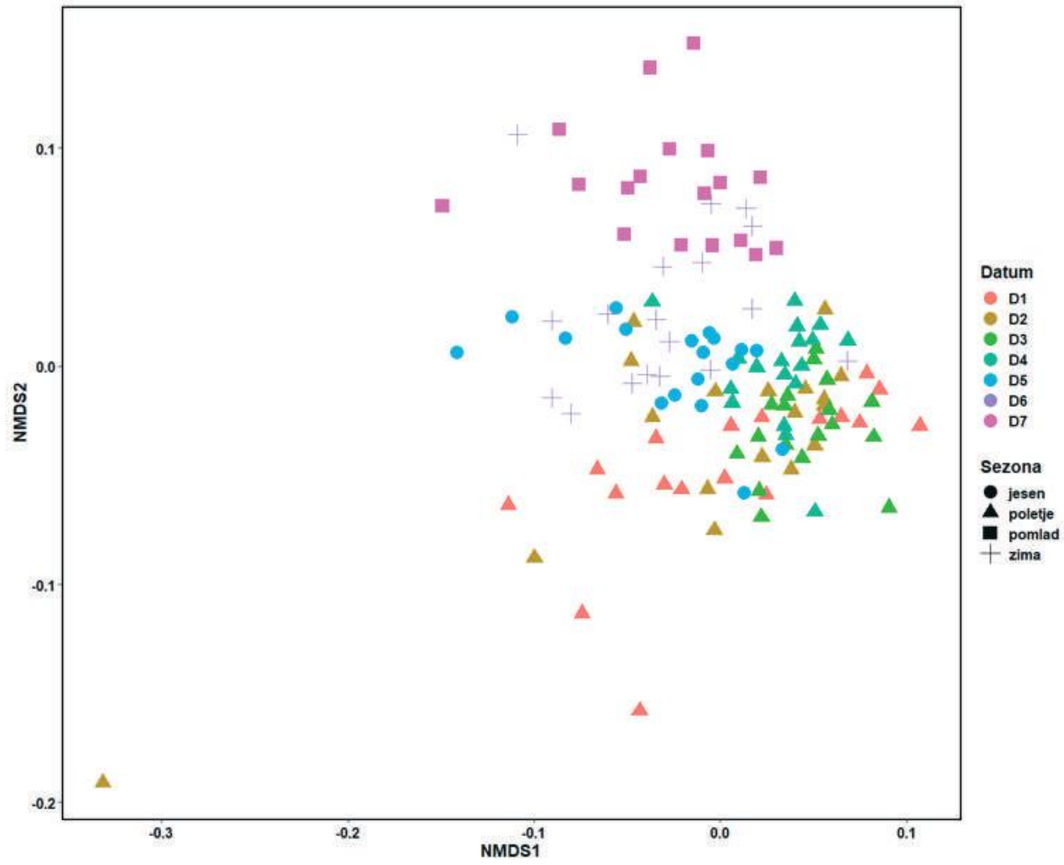
Metabolni profil združbe na sterilnih substratih se je z analizo NMDS ločil glede na sezono vzorčenja. Najbolj očitno se je to zgodilo pri spomladanskem in jesenskem vzorčenju (Slika 3). Glede na analizo lahko sklepamo, da se združbe med sabo razlikujejo in da na to vpliva sezona vzorčenja. Različne sezone namreč pomenijo različne pogoje, kot so nižje temperature (zima v primerjavi z ostalimi letnimi časi), večje število padavin in s tem motenj (pomlad v primerjavi z ostalimi letnimi časi), tudi hranila, kar vpliva na profil združbe.



Slika 3: NMDS – primerjava kontrolnih sedimentov po 72-urni inkubaciji (stress = 0,179)

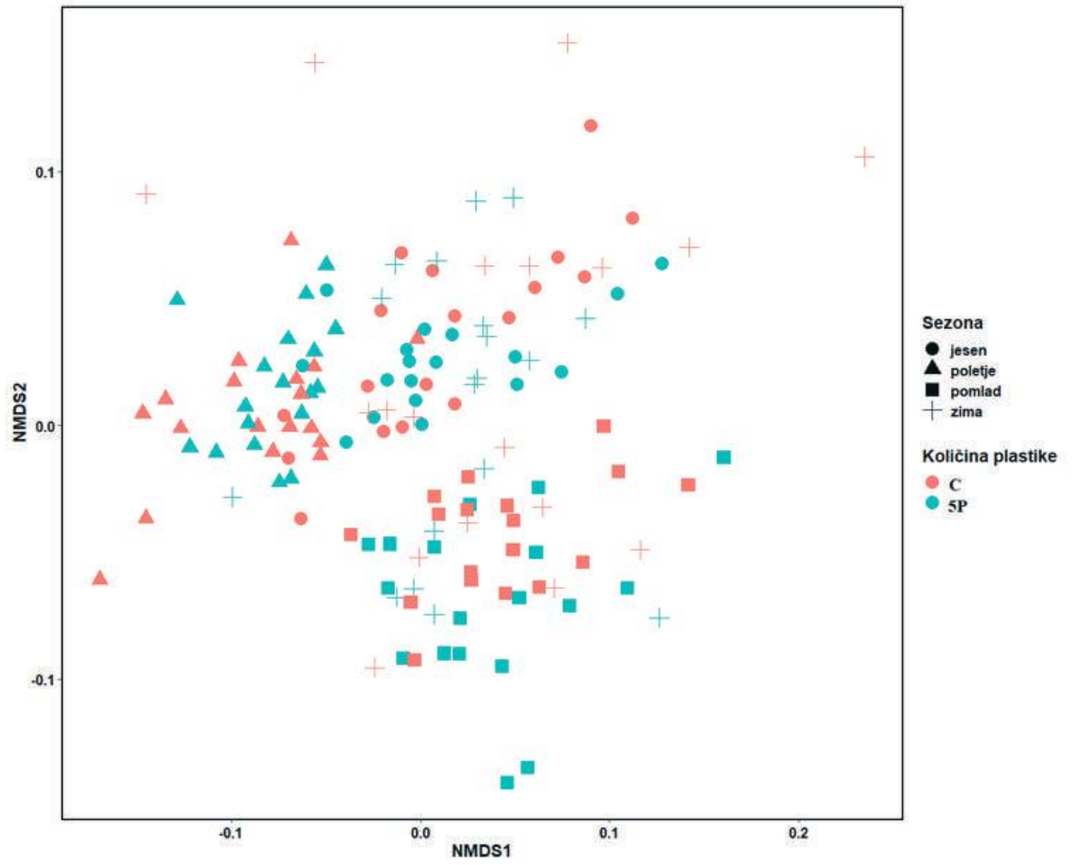
(Vir: Lastni)

Metabolni profil združbe na PET vlaknih po 72 urah (Slika 4) se prav tako loči glede na sezono vzorčenja in podobno kot pri kontrolnih vzorcih (Slika 3) se najvidneje od preostalih ločijo spomladanski vzorci, vendar tudi ostali tvorijo tesne skupine glede na sezono vzorčenja. V primerjavi s kontrolnimi sedimenti pa vidimo manj izrazite razlike med sezonami, kar bi lahko kazalo na zmanjševanje strukturne in funkcionalne diverzitete.



Slika 4: NMDS – primerjava rasti na sedimentih s prisotnimi PET vlakni (5P) po 72-urni inkubaciji (stress = 0,188)
(Vir: Lastni)

Na zadnjem grafu (Slika 5) smo primerjali še sterilne sedimente s sedimenti s PET vlakni, pri čemer smo za poletno sezono uporabili le vzorce z datumsko oznako D4. Spet se vidno loči skupina, ki smo jo vzorčili spomladi, ločita se tudi poletna in jesenska skupina, ki pa sta si kljub temu bližji. Videti je, da prisotnost PET vlaken ne vpliva tako močno kot sezona. Predvidevamo, da je površina PET vlaken še premalo poškodovana, da bi se iz vlaken izločale snovi, ki bi imele izrazitejši vpliv na združbe okoliških sedimentov.



Slika 5: NMDS – primerjava med poletno, jesensko, zimsko, spomladansko sezono po 72 urah inkubacije (sedimenti C in 5P, stress = 0,181)
(Vir: Lastni)

4. ZAKLJUČKI

Dandanes je večina celinskih vodá pod intenzivnim vplivom različnih človekovih dejavnosti, ki se kažejo v kemičnem onesnaževanju in evtrofikaciji, hidromorfoloških spremembah, stalnem poviševanju temperatur vodá ter vnašanju finih sedimentov oziroma zamuljevanju. Obremenjevanje celinskih vodá s plastiko je dodaten stresni dejavnik, ki v interakciji z ostalimi pritiski vpliva na funkcionalno organizacijo rek, kar vodi v zmanjševanje strukturne in funkcionalne biodiverzitete ter zmanjševanje zmogljivosti rečnih ekosistemov, da si opomorejo od naravnih in antropogenih motenj. V naši raziskavi smo uspeli dokazati, da mikroorganizmi uspešno in zelo hitro, že po dobrem tednu, kolonizirajo sterilne naravne sedimente. Enako smo opazili tudi za antropogene materiale, kot so PET tekstilna vlakna. Žal pa se je tudi pokazalo, da prisotnost PET vlaken vpliva na metabolni profil izpostavljenih biofilmov, kar pomeni, da če je tovrstnih onesnažil v rekah zelo veliko, lahko to vodi v spremenjene lokalne biogeokemijske

cikle. V nadaljnjih raziskavah bo zato treba preučiti, kako to vpliva na pretvorbe ključnih komponent – ogljikovih, dušikovih in fosforjevih spojin, ki nenehno vstopajo v vodne ekosisteme in se tukaj shranjujejo ali razgrajujejo do osnovnih elementov.

LITERATURA IN VIRI

1. Boulton, A. J., Findlay, S., Marmonier, P., Stanley, E. H in Valett, H. M., 1998. Annu Rev Ecol Systemat 29: 95–81.
2. Dris, R., Imhof, H., Sanchez, W., Gasperi, J., Galgani, F., Tassin, B. in Laforsch C., 2015. Environ Chem 12: 539–550.
3. Mori, N., Debeljak, B., Kanduč, T., Kocman, D. in Simčič T., 2017. Pomen biofilma v tekočih vodah – biofilm kot promotor ekoloških procesov in indikator stanja. V: Globevnik, L., Širca, A. (ur.). Zbornik. Drugi slovenski kongres o vodah 2017, [19. in 20. april 2017, Podčetrtek]. Ljubljana: SLOCOLD – Slovenski nacionalni komite za velike pregrade: DVS – Društvo vodarjev Slovenije. Str. 322–327.
4. Mori, N., Simčič, T., Žibrat, U. in Brancelj A., 2012. The role of river flow dynamics and food availability in structuring hyporheic microcrustacean assemblages: a reach scale study. Fundam Appl Limnol 180: 335–349.
5. Mori, N., Skamen, U., Poklukar, M., Opalički, M., Starčič Erjavec, M. in Simčič, T., 2019. Composition and functioning of streambed biofilm related to environmental gradients and interacting stressors. V: Sertić Perić, M. (ur.). Abstract book. 11th Symposium for European Freshwater Sciences, June 30–July 5, 2019, Zagreb, Croatia. Zagreb: Croatian Association of Freshwater Ecologists.
6. PlasticsEurope, 2019. Plastics – the Facts 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Plastics Europe Deutschland e.V. & Messe Düsseldorf.
7. Wagner, M. in Lambert, S., 2018. Freshwater Microplastics – Emerging Environmental Contaminants? Springer Open.

PRIPRAVA PITNE VODE Z ULTRAFILTRACIJO – ARGUMENTI ZA IN PROTI – TER ODPADNE VODE IZ PRIPRAVE PITNE VODE

mag. LUDVIK MEKUČ[1], ALENKA MARKUN[2]

Povzetek

Ultrafiltracija je membranski postopek filtracije vode, ki daje popolnoma bistro in mikrobiološko neoporečno vodo. Prepušča raztopljene snovi, kar pomeni, da se kemijska kakovost vode ne poslabša. Se sliši dobro? Ko bi lahko zadrževala še pesticide, bi bila zagotovo čarobna, a tu so na žalost molekule pesticidov premajhne. Tudi železo in mangan nista »prijatelja« ultrafiltracije, ker rada mašita membrane. Ne glede na omenjene pomanjkljivosti in dokaj kompleksen sistem delovanja je ultrafiltracija nedvoumno prava tehnologija priprave pitne vode, predvsem na virih s kraškim vplivom.

Na podlagi izkušenj z delovanjem več ultrafiltracijskih naprav podajamo prednosti in slabosti ultrafiltracijske tehnologije. V zadnjem času se pojavlja še problematika iztoka odpadnih vod, ki nastajajo pri pripravi vode z ultrafiltracijo, v manjše vodotoke, zato temu namenjamo posebno poglavje.

Ključne besede: pitna voda, priprava, ultrafiltracija, odpadna voda.

Abstract

Ultrafiltration is mechanical filtration of drinking water based on membranes. Filtered water is completely untroubled and microbiological impeccable. Dissolved maters go through. That means chemical composition of ultrafiltered water is not changed. That sounds great; however, ultrafiltration membranes do not retain pesticides. Unfortunately, the molecules of pesticide are to small and pass through. Also, iron and manganese are not always totally compatible with ultrafiltration membranes. All in all, ultrafiltration is an up to date process for filtration of drinking water.

Based on experiences with rung of some ultrafiltration plants pluses and minuses are listed. In recent time problems of discharging of waste water because of preparation of drinking water into small recipients are present. Due to this reason special attention is given to this topic.

Keywords: drinking water purification, ultrafiltration, waste water.

1 Mag. Ludvik Mekuč, univ. dipl. inž. kem. teh., Kolektor Sisteh, d.o.o.

2 Alenka Markun, univ. dipl. kem., Marbo Okolje, d.o.o.

1. UVOD

Pitna voda mora biti zdravstveno ustrezna. Kaj pomeni, da je zdravstveno ustrezna, določa 3. člen Pravilnika o pitni vodi:

1. ne vsebuje mikroorganizmov, parazitov in njihovih razvojnih oblik v številu, ki lahko predstavlja nevarnost za zdravje ljudi;
2. ne vsebuje snovi v koncentracijah, ki same ali skupaj z drugimi snovmi lahko predstavljajo nevarnost za zdravje ljudi;
3. je skladna z zahtevami, določenimi v delih A in B Priloge I, ki je sestavni del tega pravilnika.

Odvisno od vodnega vira je pot do zdravstvene ustreznosti različna. Če je vodni vir zelo dober, vodo lahko neposredno spuščamo v vodovodni sistem. Če pa je vodni vir rahlo mikrobiološko onesnažen, vodo pred spuščanjem v sistem dezinficiramo. Dezinfekcija je velikokrat potrebna tudi zaradi dezinfekcijskega učinka v vodovodnem sistemu samem. Če so v vodi iz vodnega vira prisotna druga onesnaževala (neraztopljene snovi – motnost, železo, mangan, nitrati, pesticidi ipd.) oz. je močno mikrobiološko onesnažena, je treba vodo pred spuščanjem v vodovodni sistem oz. dezinfekcijo najprej pripraviti. Priprava pitne vode v praksi pomeni bistrenje in filtracijo.

2. PRIPRAVA PITNE VODE – KLASIČNA

Pod bistrenje štejemo usedanje, ki je lahko podprto tudi s koagulacijo in flokulacijo. Bistrenju praviloma sledi še filtracija. Klasičen postopek filtracije pitne vode je filtracija skozi nasut sloj filtrnega medija. Za tak način filtracije se uporablja ime peščena filtracija, čeprav se kot filtrni medij ne uporablja samo pesek različnih granulacij. Alternativa pesku so mediji z boljšim filtracijskim učinkom (antracit, zeoliti, ekspandirana glina). Omenjeni mediji odstranjujejo predvsem motnost, ob ustrezni biološki aktivnosti lahko tudi nitrate in amonij. Za odstranjevanje železa in mangana se uporabljajo mediji na osnovi manganove rude. Poleg »peska« se v obliki nasutega sloja uporablja tudi aktivno oglje, ki iz vode odstranjuje organske snovi. V primeru oksidacije organskih snovi z ozonom aktivno oglje uporabljamo za odstranjevanje preostalega ozona. Peščeni filtri praviloma delujejo ciklično v dveh ciklih: filtracija in pranje. Trajanje posameznega cikla je odvisno od onesnaženosti vode. V zadnjem času se uveljavljajo tudi kontinuirani peščeni filtri, pri katerih se del peska stalno pere. Kontinuirano delovanje omogoča kontrolirano mikrobiološko aktivnost, ki precej pripomore k boljšemu odstranjevanju neraztopljenih snovi.

3. PRIPRAVA PITNE VODE – MEMBRANSKA

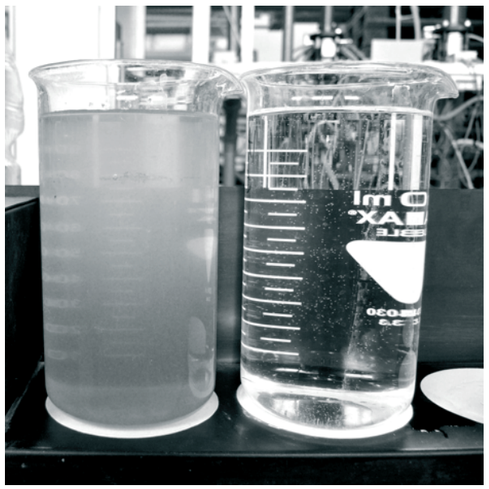
Sodobna alternativa peščenim filtrom so membranske filtracije. Te so, tehnično gledano, za pripravo pitne vode uporabne približno 25 let. Najstarejša membranska filtracija pitne vode v Sloveniji deluje na Rižanskem vodovodu od leta 1999. Danes deluje 20 ultrafiltracijskih naprav s kapaciteto, večjo od 10 l/s.

Za pitno vodo je najprimernejša stopnja membranske filtracije ultrafiltracija (velikost por 20 nm). Mikrofiltracija, ob ne bistveno manjšem padcu tlaka, daje slabše rezultate. Nanofiltracija sicer omogoča tudi odstranjevanje nekaterih kemijskih onesnaževal, vendar je padec tlaka precej večji kot pri ultrafiltraciji.

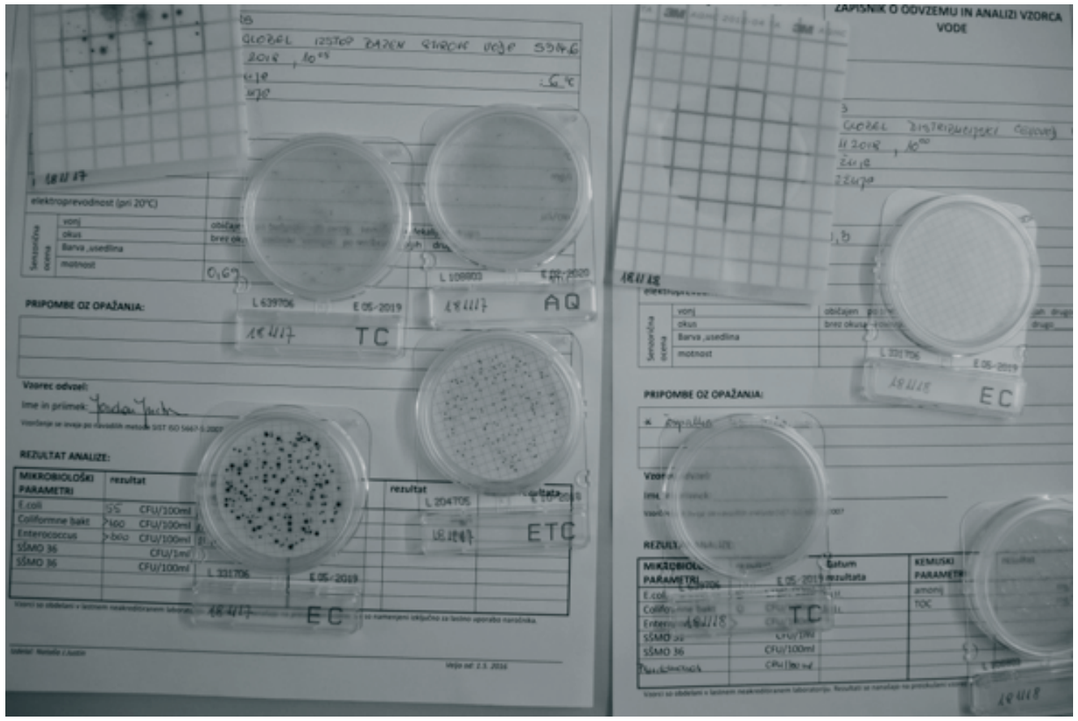
Ultrafiltracija je membranski postopek mehanične filtracije vode, ki daje popolnoma bistro in mikrobiološko neoporečno vodo. Prepušča raztopljene snovi, kar pomeni, da se kemijska kakovost vode ne osiromaši. Če bi lahko zadrževala še pesticide, bi bila zagotovo uporabna za vse vire vode, a so tu, na žalost, molekule pesticidov premajhne. Tudi železo in mangan nista »prijatelja« ultrafiltracije, ker povzročata večje mašenje membran. Slednje je posledica temeljne prednosti membranske filtracije pred klasičnimi. Peščena filtracija ob večji obremenitvi prepusti več neraztopljenih snovi. Membranska filtracija v vseh primerih zadrži neraztopljene snovi. Zaradi večje obremenitve je povečano tveganje za mašenje, ki ga je treba obvladovati z ustreznim krmiljenjem delovanja. Ker vedno zadrži vse neraztopljene snovi, je ultrafiltracija pravi postopek za filtracijo vode na virih s kraškim vplivom.

Ultrafiltracija prefiltrira vso vodo, ki vstopi v napravo, zato je sámo delovanje sestavljeno iz dveh ciklov – filtracije in pranja. Cikel filtracije traja od pol ure do nekaj ur. Sledi mu hidravlično pranje, ki je sestavljeno iz sotočnega pranja s surovo vodo in protitočnega pranja s prefiltrirano vodo. Za izboljšanje učinkovitosti naprednejše tehnologije uporabljajo tudi dodatek zraka v koraku sotočnega pranja. Na vodah s kraškim vplivom sámo hidravlično pranje ne zadošča, zato je občasno ultrafiltracijske membrane treba oprati tudi z dodatkom kemikalij. Običajno se dodajata natrijeva lužina za pranje pri povišanem pH (9–12) in kislina (solna ali žveplena) za pranje pri znižanem pH (2–4). Za dezinfekcijo membran in boljše odstranjevanje mikrobioloških filmov se k lužnemu pranju dodaja tudi natrijev hipoklorit (do 200 ppm).

Na Sliki 1 sta prikazani vstopna (60 NTU) in izstopna voda (<0,3 NTU, praviloma 0,02 NTU). Na Sliki 2 so mikrobiološki vzorci vstopne in izstopne vode. Na Sliki 3 je prikazana UF naprava.



Slika 1: Surova voda (levo) in prefiltrirana voda iz UF naprave (desno)



Slika 2: Mikrobiološki vzorci surove vode (levo) in prefiltrirane vode iz UF naprave (desno)

Slika 3: UF naprava kapacitete – levo vstopni del, desno UF moduli

4. ULTRAFILTRACIJA – ZA IN PROTI

Na podlagi izkušenj z delovanjem 15 delujočih ultrafiltracijskih naprav v naslednjih dveh točkah podajamo prednosti in slabosti ultrafiltracijske tehnologije za pripravo pitne vode. Seznam slabosti je sicer daljši, vendar so v primerjavi s prednostmi daleč manj pomembne oz. tehnično rešljive. Prva točka »prednosti« na vodnem viru s kraškim vplivom odtehta vse »slabosti«.

4.1 Prednosti priprave pitne vode z ultrafiltracijo

- Ultrafiltracijska tehnologija daje vedno popolnoma bistro in mikrobiološko neoporečno vodo. Kakovost filtracije ni odvisna od kakovosti vstopne vode ali zamašenosti membran. Če se spremeni motnost vstopne vode, se naprava sama prilagodi drugačnim pogojem. Ultrafiltracija je ustrezna tehnologija za pripravo vode na vodnih virih kraškega značaja.
- Tehnologija ultrafiltracije je tako zelo razvita, da naprave delujejo stabilno in samodejno. Materiali, iz katerih so narejene membrane, so zdravstveno neoporečni. Življenjska doba membran je vsaj 10 let.
- Ultrafiltracija je ustrezna tehnologija za pripravo vode na vodnih virih kraškega značaja.

4.2 Slabosti priprave pitne vode z ultrafiltracijo

- Ultrafiltracija ne odstranjuje pesticidov in herbicidov. Samostojno ni primerna za vodne vire, ki so obremenjeni s pesticidi ali herbicidi.
- Ultrafiltracija za svoje delovanje potrebuje električno energijo.
- Ultrafiltracija se občasno pere z dodatkom kemikalij.
- Izgradnja ultrafiltracijske naprave oz. vodarne z ultrafiltracijo je investicijsko zahtevna. Velika investicijska vrednost je posebej pereča pri majhnih vodnih virih (pod 10 l/s). Izgradnja vodarne z ultrafiltracijo običajno zahteva upravni postopek z gradbenim dovoljenjem. Poseben problem upravnega postopka so tudi odpadne vode.
- Naprave sicer delujejo samodejno, vendar sta kljub temu potrebna nadzor in vzdrževanje. Pomembno je, da se upravljavec zaveda, da je filtracija srce procesa.
- Pri ultrafiltraciji nastajajo odpadne vode in odpadno blato. Za obratovanje ultrafiltracije je potrebno okoljevarstveno dovoljenje, če se odpadne vode iz priprave vode ne odvajajo v javno kanalizacijo, ki je zaključena s komunalno in čistilno napravo velikosti več kot 2000 PE.

5. ODPADNE VODE

Skupna značilnost klasičnih in membranskih načinov filtracije pitne vode je, da pri pranju nastajajo odpadne vode, v katerih se skoncentrirajo snovi, ki se pri filtraciji izločajo oz. odstranjujejo iz vode. Koncentracija izločenih snovi iz surove vode je v odpadni vodi različna, običajno pa je od 10- do 30-krat višja kot v surovi vodi. Odpadne vode iz priprave vode vsebujejo predvsem neraztopljene snovi. Ostali parametri, ki se pri filtraciji odstranjujejo in koncen-

trirajo v odpadni vodi, pa so običajno predvsem železo, mangan, aluminij in aktivno oglje. Vir železa in aluminija je poleg tistega, ki se nahaja v surovi vodi, tudi kovina, ki se v oksidacijski obliki Al^{3+} ali Fe^{3+} dodaja kot koagulant pri obdelavi vode. Vir aktivnega oglja je oglje iz filtra ali aktivno oglje, ki se pred ultrafiltracijo dodaja za adsorpcijo organskih snovi. Vse omenjene nezaželene snovi so v odpadni vodi neraztopljene.

Za odstranjevanje neraztopljenih snovi se v napravah za pripravo vode običajno uporablja usedanje. Usedlo blato se oddaja v nadaljnjo obdelavo. Na nekaterih napravah se usedlo blato pred oddajo dodatno koncentrira na filtrirnih napravah različnih tipov.

5.1 Zakonske zahteve za odpadne vode

Za ravnanje z odpadnimi vodami, ki nastajajo pri pripravi vode, veljata dve uredbi, in sicer:

- posebna Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za pripravo vode in
- splošna Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo.

Pri uporabi zakonskih določil se vedno uporablja posebna uredba, za vse zadeve, ki niso urejene v posebni uredbi, pa se uporabljajo določila splošne uredbe.

Posebna uredba se za odpadne vode iz priprave vode ne uporablja, če niso izpolnjeni naslednji pogoji:

- če je letna količina odpadne vode, ki nastaja pri pripravi vode, manjša od 4.000 m^3, in če je njena obremenitev manjša od 50 PE;
- če se priprava vode izvaja samo z mehanskimi postopki, kot so precejanje, sedimentiranje ali filtriranje brez dodajanja kemikalij.

Posebna uredba določa mejne vrednosti za odvajanje odpadne vode v javno komunalno kanalizacijo in mejne vrednosti za odvajanje v vode.

Splošna uredba za odpadne vode iz priprave vode določa še naslednje:

- za odpadne vode iz priprave vode je treba pridobiti okoljevarstveno dovoljenje za emisije v vode;
- mejne vrednosti, ki se uporabljajo za pripravo vode v primeru, ko se odpadne vode iz priprave vode spuščajo v vodotoke, katerih prispevna površina je manjša od 10 km^2.

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1) določa, da je treba za posamezne emisije snovi v okolje (v zrak, vode, emisije hrupa, nastajanje odpadkov) pridobiti okoljevarstveno dovoljenje (v nadaljevanju: OVD) v skladu z določili 82. do 85. člena. OVD je treba pridobiti pred začetkom gradnje.

OVD za odpadne vode iz priprave vode je treba pridobiti v naslednjih primerih:

- če se odpadne vode iz priprave vode štejejo kot industrijske odpadne vode in
  - če se odpadne vode iz priprave vode odvajajo posredno ali neposredno v vode (v površinske vode ali ponikovalnico), ali
  - če se odpadne vode iz priprave vode odvajajo v javno komunalno kanalizacijo, ki je zaključena s komunalno čistilno napravo velikosti manj kot 2000 PE (že zgrajena ali predvidena po operativnem programu).

Kot smo že navedli, mejne vrednosti za odpadne vode iz priprave vode določa posebna uredba za odpadne vode iz priprave vode. Kadar se odpadne vode odvajajo v vodotoke s prispevno površino, manjšo od 10 km^2, so mejne vrednosti 10-krat manjše (Tabela 1). Mejne vrednosti za odpadne vode iz priprave vode prikazujemo v tabeli 1.

Tabela 1: Mejne vrednosti za odvajanje odpadnih vod iz priprave vode v vode

Parameter	Izražen kot	Enota	Mejna vrednost in oznaka t[1] iz splošne uredbe	Mejna vrednost za iztok v vode	Mejna vrednost za iztok v vode manj kot 10 km^2
Temperatura		^0C		30	30
pH		pH		6,5–9,0	6,5–9,0
Neraztopljene snovi		mg/l		80	80
Usedljive snovi		ml/l		0,3	0,3
Strupenost za vodne bolhe	S_D			3	3
Aluminij	Al	mg/l	3,0 (t)	2,0	0,2
Železo	Fe	mg/l	2,0 (t)	2,0	0,2
Klor – prosti	Cl_2	mg/l	0,2 (t)	0,2	0,02
Mangan	Mn	mg/l	1,0 (t)	1,0	0,1
KPK	O_2	mg/l	120 (t)	90	9
AOX[2]	Cl	mg/l	0,5 (t)	1,0	0,1
Vsota tenzidov		mg/l	1,0 (t)	1,0	0,1

1 – Oznaka t iz splošne uredbe, ki za parameter, označen z oznako t, določa 10-krat nižjo vrednost pri iztoku v vodotok s prispevno površino, manjšo od 10 km^2.

2 – Mejna vrednost velja, če gre za kosmičenje, obarjanje, ionsko izmenjavo, membransko tehniko, drugače znaša mejna vrednost 0,2.

(Vir: Lastni)

Iz tabele 1 je razvidno, da so pri parametrih, ki se v odpadni vodi koncentrirajo zaradi samih postopkov priprave vode (zgoraj smo navedli, da gre predvsem za parametre aluminij, železo, mangan), mejne vrednosti za iztok v vodotok s prispevno površino manj kot 10 km^2 zelo nizke.

V tabeli 2 prikazujemo izmerjene vrednosti iz nekaterih vodarn, ki pitno vodo pripravljajo z ultrafiltracijo. V njej so predstavljeni samo kritični parametri, ki imajo 10-krat zmanjšano mejno vrednost pri odvajanju v male vodotoke.

Tabela 2: Izmerjene vrednosti parametrov v odpadni vodi iz nekaterih vodarn

Parameter	Izražen kot	Enota	MV[1]	V1	V2	V3	V4	V5
Aluminij	Al	mg/l	0,2	**0,79**	**0,63**	**1,6**	0,20	**1,2**
Železo	Fe	mg/l	0,2	**0,64**	**0,54**	**0,75**	0,1	**0,63**
Klor – prosti	Cl_2	mg/l	0,02	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD
Mangan	Mn	mg/l	0,1	**0,12**	0,10	/	/	/
KPK	O_2	mg/l	9	**10**	**11**	LOD	LOD	LOD
AOX	Cl	mg/l	0,1	0,048	0,063	0,058	0,03	0,056
Vsota tenzidov		mg/l	0,1	0,1	**0,2**	LOD	LOD	0,02

1 – Mejna vrednost za izpust odpadne vode v vodotoke s prispevno površino manj kot 10 km^2. Podčrtane poudarjene vrednosti so presežene vrednosti.

(Vir: Lastni)

Iz tabele 2 je razvidno, da imajo posamezne vodarne probleme z doseganjem mejnih vrednosti, predvsem za parametre, ki izhajajo iz narave in se zaradi ultrafiltracije koncentrirajo v odpadni vodi iz vodarne. Gre predvsem za parametra aluminij in železo, redkeje za mangan.

Splošna uredba pozna izjeme pri določanju mejnih vrednosti iz priprave vode za bazene iz morske vode. Tako splošna uredba v tretjem odstavku 2. člena določa:

- parametri KPK, sulfat in strupenost se ne upoštevajo pri odvajanju odpadnih vod iz bazenov, kjer se kot polnilna voda uporablja morska voda.

Na enak način bi lahko bila določena izjema za odpadne vode iz priprave pitne vode, da zanje ne velja točka (t) iz priloge 2 za določene parametre, npr. za železo, aluminij, mangan.

Ker realno pričakujemo, da se bo v prihodnosti vedno več vode pripravljalo za pitno vodo, se bo pokazala še večja problematika nizkih mejnih vrednosti pri odvajanju odpadne vode iz priprave vode v vodotoke s prispevno površino, manjšo od 10 km^2. Zato bi bilo treba pripraviti predlog Ministrstvu za okolje in prostor, da odpre splošno ali specialno uredbo, kar je lažje in hitrejše, ter določi, za katere parametre se ne uporablja opomba (t) iz Priloge 2 splošne uredbe. Upravljavci posameznih vodarn težko samo za svoj primer dosežejo spremembo zakonodaje, medtem ko več vodarn skupaj lažje doseže spremembo uredb, ki veljajo za mejne vrednosti za odpadno vodo iz priprave vode.

LITERATURA IN VIRI

1. Pravilnik o pitni vodi, Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17.
2. Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo, Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15.
3. Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za pripravo vode, Uradni list RS, št. 28/00 in 41/04 – ZVO-1.

SIMPOZIJ SO OMOGOČILI

HACH® KOLEKTOR

JP CČN DOMŽALE-KAMNIK d.o.o. mel inženiring

F3m LEVSTEK D.O.O. EKO SKLAD SLOVENSKI OKOLJSKI JAVNI SKLAD

Gospodarska zbornica Slovenije Zbornica komunalnega gospodarstva

PRIMAlab a member of the Metrohm group METTLER TOLEDO

MICROBIUM Detekcija in eliminacija mikrobov MAGA 25 reklamna agencija, d.o.o. ICI

VODNI DNEVI 2020

17.—18. september 2020

SLOVENSKO DRUŠTVO
ZA ZAŠČITO VODA

INŠTITUT ZA JAVNE SLUŽBE