



SLOVENSKO DRUŠTVO
ZA ZAŠČITO VODA

Simpozij
z mednarodno udeležbo

VODNI DNEVI 2018

ZBORNIK REFERATOV



18.–19. oktober 2018

Portorož, Kongresni center Bernardin

**ZBORNİK REFERATOV SIMPOZIJA
Z MEDNARODNO UDELEŽBO VODNI DNEVI 2018**

Portorož, oktober 2018

Izdajatelj: Slovensko društvo za zaščito voda

Urednici zbornika: mag. Stanka Cerkvénik, Enisa Rojnik

Programski odbor:

Predsednica: dr. Marjetka Levstek

Člani: prof. dr. Mihael J. Toman

prof. dr. Milenko Roš

dr. Brigita Jamnik

mag. Mojca Vrbančič

Nataša Uranjek

dr. Polona Pengal

Lektoriranje: Joža Repar Lakovič

Oblikovanje in prelom: Melita Rak

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

Naklada: 150 izvodov

Ljubljana, 2018

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

628.3(082)

628.1(082)

VODNI dnevi (2018 ; Portorož)

Zbornik referatov : simpozij z mednarodno udeležbo / Vodni dnevi 2018, Portorož, 18.-19. oktober 2018 ; [urednici Stanka Cerkvénik, Enisa Rojnik]. - Ljubljana : Slovensko društvo za zaščito voda, 2018

ISBN 978-961-6631-12-9

1. Cerkvénik, Stanka

296865024



UVODNA BESEDA PREDSEDNICE SLOVENSKEGA DRUŠTVA ZA ZAŠČITO VODA

Človek svoje okolje vsakodnevno močno spreminja. Ljudje smo v zadnjem stoletju na Zemlji pustili pečat, ki je z vidika njene zgodovine trajen. Žal negativno. Kljub zavedanju, da moramo spremeniti svoje ravnanje, smo doslej naredili premalo, da bi vplive omilili. Del naših naporov je sicer usmerjen v zmanjševanje lastnih negativnih vplivov na okolje in naravo. Po drugi strani pa je vpliv človekovega delovanja še vedno prevelik, da bi narava prenesla njegove obremenitve brez negativnih posledic za življenje, vključno s posledicami, ki jih človeštvo povzroča samemu sebi.

Vplivov na vode je veliko, zato jih je treba prepoznati, določiti prednostne ukrepe, kazalnike za doseg cilja in jim skrbno slediti pri izvedbi, ki je vedno povezana s finančnimi sredstvi. Zveni preprosto, a se lahko zatakne že pri prepoznavanju, kaj najbolj ogroža količinsko in kakovostno stanje naših voda, da o finančah sploh ne govorimo. Smo sposobni pogledati iz okvirov svoje dejavnosti, smo pripravljeni na pogovor, poslušati mnenje drugih in se povezovati pri iskanju nujno potrebnih skupnih rešitev, uresničljivih in sprejemljivih za vse?

Simpozij Vodni dnevi je vsako leto priložnost za to. Na dvodnevnem simpoziju, ki je tokrat potekal 18. in 19. oktobra v Kongresnem centru Bernardin v Portorožu, smo se s skupnim namenom, to je pravočasno prepoznati vplive na vodo in prispevati k rešitvam, zbrali strokovnjaki z različnih področij. Simpozija so se udeležili zaposleni v državnih in lokalnih uradih, raziskovalnih institucijah, komunalnem sektorju, prodajni in svetovalni dejavnosti, projektanti, študenti in drugi. Govorili smo o izzivih celostnega upravljanja voda, vrednosti narave, poznavanju vplivov na vode in pomenu sprejemanja strokovno ustreznih rešitev. Odkrito smo spregovorili o problematiki ravnanja z blatom iz čistilnih naprav in postopkih za zmanjšanje količine blata in nadaljnjega ravnanja z njim. Spoznali smo nove poglede in izzive pri celostnem upravljanju odpadne vode, prednosti in pasti prevzemanja tujih predpisov in napreden postopek čiščenja dušika na čistilnih napravah. Govorili smo o vplivih motilcev endokrinega sistema in fitofarmacevtskih sredstvih v pitni vodi, o pomenu vodovarstvenih območij za varno oskrbo s pitno vodo ter o praktičnih izkušnjah priprave pitne vode. Spoznali smo, da se izkušnje in pristopi z enega področja lahko prenesejo na druga področja. Da so vsebine zanimive za vse udeležence, čeprav se neposredno nanašajo na vprašanja, s katerimi se vsakodnevno srečujemo na svojem delovnem mestu, in širijo naše obzorje, se je pokazalo v živahni razpravi, ki je sledila predavanjem.

Da bi udeleženci na simpoziju prejeli kar največ koristnih informacij na enem mestu, so dogodek popestrile tudi kratke predstavitve razvojnih in raziskovalnih projektov na temo upra-

vljanja voda, ki se trenutno izvajajo v slovenskem prostoru, predstavitve storitev in izdelkov podjetij, ki delujejo na področju voda, ter sponzorjev simpozija.

Hvala vsem, ki ste se udeležili simpozija in v njem aktivno sodelovali. Voda nas povezuje. Povežimo se, poiščimo napredne rešitve zanjo in jo čim bolje zaščitimo.

Dr. Marjetka Levstek
predsednica Slovenskega društva za zaščito voda



KAZALO

- 7 **Izzivi celostnega upravljanja voda**
dr. Aleš Bizjak
- 21 **Ko je vode premalo**
dr. Andreja Sušnik
- 33 **Zavarovalna vrednost narave: iskanje sinergij**
dr. Polona Pengal, Blaž Cokan, Zdravko Kozinc, dr. Raffaele Giordano,
dr. Alessandro Pagano, Roxane Marchal, dr. Guillaume Piton, dr. Jean-Marc Tacnet
- 45 **Poznavanje vplivov in sprejemanje rešitev lahko privede do boljšega stanja voda**
izr. prof. dr. Gorazd Urbanič, dr. Vesna Petkovska, dr. Rebeka Šiling, Miha Knehtl
- 55 **Sludge treatment and disposal**
prof. dr. Norbert Dichtl
- 57 **Zakonodajne ovire in priložnosti energetske in snovne izrabe blata KČN**
Vesna Mislej
- 69 **Obdelava odvečnega aktivnega blata na komunalni čistilni napravi s pomočjo ozonacije**
prof. dr. Gregor D. Zupančič, Špela Hudobivnik, dr. Mario Panjičko, dr. Matej Čehovin
- 85 **Izračun kanalizacijskih zadrževalnih bazenov – domači in tuji predpisi**
dr. Uroš Krajnc
- 97 **Deamonifikacija – napredno odstranjevanje dušika**
dr. Marjetka Levstek, dr. Marjetka Stražar
- 109 **Znanstveni kriteriji za identifikacijo in ocena tveganja za kemične motilce endokrinega sistema v povezavi s pravno ureditvijo fitofarmaceutskih sredstev**
dr. Jernej Drofenik, dr. Lucija Perharič, dr. Tanja Fatur
- 119 **Vodovarstvena območja - kritični pretres dosedanje prakse pri varovanju virov pitne vode v Sloveniji**
izr. prof. dr. Mihael Brenčič
- 131 **Priprava pitne vode iz zajetja Jama v Kostanjevici na Krki**
Špela Arh Marinčič, Jože Leskovar, dr. Andrea Cesar, Jan Zdravec, Alen Malus
- 143 **Izboljšanje odvodnjavanja s pomočjo polimerov**
Klemen Cezar
- 149 **Odvajanje in čiščenje odpadnih voda v občini Sevnica**
Roman Perčič
- 155 **Občutljivo trofično stanje Blejskega jezera**
mag. Špela Remec - Rekar, dr. Nataša Dolinar, Nina Štupnikar, Edita Sodja
- 169 **Odpadno blato iz čistilnih naprav: ponovna uporaba, zmanjšanje količine in inhibicija rasti nitastih bakterij z uporabo ultrazvočne naprave**
doc. dr. Marko Šetinc



IZZIVI CELOSTNEGA UPRAVLJANJA VODA

dr. Aleš BIZJAK¹

Povzetek

Od uveljavitve pojma in področja celostnega upravljanja voda z Dublinskimi načeli po konferenci v Riu (1992) so se gospodarske, socialne in okoljske okoliščine v državah, regijah in na svetovni ravni zelo spremenile. Kot odgovor na obseg in intenzivnost globalnih sprememb je bila v Združenih narodih soglasno sprejeta UN Agenda 2030 (2015) s 17 kompleksno povezanimi cilji trajnostnega razvoja. Med njimi Cilj 6 *Vsem zagotoviti dostop do vode in sanitarne ureditve ter poskrbeti za trajnostno gospodarjenje z vodnimi viri* močno temelji tudi na celostnem upravljanju voda. Vzporedno z UN Agendo 2030 so se vsaj v razvitem delu sveta razvile tudi nacionalne strategije trajnostnega razvoja z vizijami vsaj do leta 2030. Vse naštetu je umestilo vodo še bolj v prihodnji razvoj družbe, celostno upravljanje voda pa pred nove izzive na vseh ravneh integracije in upravljanja voda.

Ključne besede: celostno upravljanje voda, Cilj 6, cilji trajnostnega razvoja, indikator 6.5.1., Strategija razvoja Slovenije 2030, UN Agenda 2030

Abstract

Since Integrated Water Resources Management was promoted soon after Rio Conference (1992) by the Dublin Principles, both as a term and a field of work, economic, social and environmental circumstances in countries, regions and world-wide have faced many changes. As a consequence to global challenges, parties to the United Nations adopted the UN Agenda 2030 (2015), which is based on 17 strongly integrated sustainable development goals. Among them, the Goal 6 *Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all* is based also on integrated water resources management. In parallel to the UN Agenda 2030 many national sustainable development strategies were adopted with visions of development until 2030. By listed facts water is even more center oriented in the future societies, thus also integrated water resources management is faced with new challenges on all levels of integration and management.

1 Dr. Aleš Bizjak, Direkcija Republike Slovenije za vode

1. UVOD

V zadnjih desetletjih se v svetovnem merilu pospešeno spreminjajo z vodo povezane in za vodo pomembne okoliščine, predvsem naraščanje svetovnega prebivalstva, gospodarska rast, naraščajoča industrijska in kmetijska proizvodnja, pomanjkanje zdrave pitne vode, nezadostna komunalna opremljenost, naraščajoča potreba po sladki vodi, naraščajoč trend onesnaževanja vode in nezadostno čiščenje gospodinjskih in industrijskih odpadnih voda, pešanje javnih služb vodooskrbe in čiščenja odpadnih voda v intenzivnem procesu urbanizacije, vse pogostejši in intenzivnejši pojavi suš in poplav velikih razsežnosti kot posledica podnebnih sprememb, devastacije vodnih ekosistemov in izguba vrst ter v zadnjem času tudi vojno, ekonomsko in ekološko begunstvo. Zato je postala voda, z njo pa tudi celostno upravljanje voda (CUV), eno osrednjih področij okoljskega dela sistema Združenih narodov (ZN). Nekateri ključni dokumenti okoljske politike ZN, predvsem Agenda 21 (UN, 1992), Milenijski razvojni cilji 2000 (UN, 2000) in UN Agenda 2030 (UN, 2015) ter ne nazadnje mednarodno desetletje aktivnosti ZN *Voda za trajnostni razvoj 2018–2028*, potrjujejo aktualnost in pomembnost stanja vode za človekov razvoj in ohranitev našega planeta. V sozvočju ugotovitev in iskanja rešitev z institucijami sistema UN (UN Water, 2012; 2018) delujejo tudi druge globalne institucije in platforme, npr. Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj (OECD, 2015; 2018) in Evropska okoljska agencija (EEA, 2015).

Republika Slovenija (RS) je septembra 2015 skupaj s preostalimi 192 članicami ZN začela izvajati UN Agendo 2030 za trajnostni razvoj (UN Agenda 2030) ter s tem doseganje 17 ciljev trajnostnega razvoja do leta 2030. Področje voda opredeljuje Cilj 6 *Dostop do čiste vode in sanitarna ureditev* s šestimi podcilji in pripadajočimi indikatorji, tudi s CUV-om. V Sloveniji smo tako leta 2017 v kontekstu izpolnjevanja Cilja 6 izvedli tudi prvo nacionalno ovrednotenje stanja implementacije CUV-a. Izpolnjevanje ciljev UN Agende 2030 je RS mednarodni javnosti predstavila tudi s t. i. prostovoljnim poročilom (*voluntary national review*; Vlada RS, 2017).

Vlada RS je leta 2017, tudi kot odziv na svetovne gospodarske, socialne in okoljske trende, sprejela Strategijo razvoja Slovenije 2030 (Strategija; RS SVRK, 2017). Ta zaradi *zagotovitve kakovostnega življenja za vse* opredeljuje pet strateških usmeritev in dvanajst ciljev trajnostnega razvoja Slovenije, ki vsebujejo tudi z vodo močno povezane vsebine.

Prispevek osvetljuje izzive CUV-a pri nas z vidikov izvajanja iz UN Agende 2030 izhajajočih globalnih zavez, ugotovljenih vrzeli iz ocene stopnje implementacije CUV-a na nacionalni ravni in tudi glede na nacionalne razvojne ambicije iz Strategije razvoja Slovenije 2030.

2. CELOSTNO UPRAVLJANJE VODA

CUV določajo Dublinska načela (1992) (GWP, 2000), sprejeta na Mednarodni konferenci o vodi in okolju v Dublinu leta 1992. Po konferenci v Dublinu so v povezavi s CUV-om sledili in mu dodatno utrjevali pomen številni dogodki, med drugim Drugi svetovni vodni forum in konferenca v Haagu (2000), Mednarodna konferenca o sladki vodi v Bonnu (2001), Milenijski vrh ZN (2000), Svetovni vrh o trajnostnem razvoju v Johannesburgu (2002) in ne nazadnje UN Agenda 2030 – visoki politični forum o trajnostnem razvoju v New Yorku (HLPF 2018).



Okvir 1: **Dublinska načela CUV-a**

- *Načelo 1:* Pitna voda je omejen, ranljiv in za življenje, razvoj in okolje bistveni vir, ki mora biti upravljan celostno.
- *Načelo 2:* Voda in upravljanje voda morata temeljiti na participatornih pristopih, vključujoč uporabnike, načrtovalce in oblikovalce politik na vseh ravneh.
- *Načelo 3:* Ženske igrajo osrednjo vlogo pri oskrbi, upravljanju in varovanju vode.
- *Načelo 4:* Voda ima ekonomsko vrednost in mora biti prepoznana kot ekonomska dobrina ob upoštevanju dostopnosti in pravičnosti.

Vir: GWP, 2000.

Skozi čas in razvoj področja se je pojavilo več opredelitev CUV-a, pri čemer se je kot največkrat povzeta in persistentna uveljavila opredelitev Global Water Partnership (GWP): »*Celostno upravljanje voda je proces, ki spodbuja usklajen razvoj in upravljanje voda, zemljišč in z njimi povezanih virov, da bi dosegli čim večjo možno gospodarsko in socialno blaginjo na enakopraven način, ne da bi ogrozili trajnost vitalnih ekosistemov.*« (GWP, 2000) Strateški cilji, ki jih zasleduje CUV, so učinkovita raba vodnih virov, enakost delitve vodnih virov med socialnimi in gospodarskimi skupinami in okoljska trajnost z vidika varstva vodnih virov in ekosistemov. Kot svetovno priznan in edinstven pristop k upravljanju voda je temelj vodnih politik globalnih platform (na primer ZN) in sodobnih držav (na primer v EU regiji politike do voda, posledično pa seveda vodnih politik vseh držav članic EU). Predvsem v zadnjem obdobju pa se kot posledica globalizacije in političnih neravnotežij velikih razsežnosti v mednarodnem prostoru kaže potreba po poudarkih v participatornih procesih ter medsektorskih in mednarodnih povezavah pri izvajanju CUV-a, predvsem z vidika zagotavljanja stabilnosti in miru ter delitve vodnih virov tudi v čezmejnih kontekstih.

3. UN AGENDA 2030 in Cilj 6

3.1. Cilji trajnostnega razvoja UN Agende 2030

UN Agenda 2030 je bila na izkušnjah in rezultatih Milenijskih razvojnih ciljev ter kot nadaljevanje in nadgradnja teh sprejeta v Združenih narodih leta 2015, predvsem iz potrebe po sistematični transformaciji svetovne družbe in miselnosti v trajnostni prihodnosti sprejemljivejše oblike. Vsebuje 17 splošnih ciljev in 169 podciljev trajnostnega razvoja. So medsebojno kompleksno prepleteni, povezani in zato tudi soodvisni, predvsem pa enakopravno združujejo razsežnosti trajnostnega razvoja, okoljsko, socialno in ekonomsko. Skupaj tvorijo akcijski načrt za ljudi, naš planet in blaginjo vseh, s poslanstvom utrjevanja miru in zagotavljanja več svobode v svetu. Pri tem UN Agenda 2030 temelji na človekovih pravicah in enakopravnosti spolov.

Program UN Agende 2030 deluje na lokalni, nacionalni, (mednarodno) regionalni in svetovni ravni. Spremljanje doseganja ciljev in podciljev trajnostnega razvoja UN Agende 2030 v državah članicah Združenih narodov je predvideno z rednimi periodičnimi ovrednotenji pripadajočih indikatorjev stanja, ki jih države poročajo v skrbniške mednarodne institucije.

Poročilo Global Responsibilities – Implementing the Goals (Sachs idr., 2018), predstavljeno na HLPF 2018, med analiziranimi 156 državami postavlja Slovenijo na zavidljivo visoko osmo mesto z indeksom trajnostnega razvoja (*SDG index*) 80,0. Rezultat je povprečna vrednost indeksov 17 ciljev trajnostnega razvoja v državi in umešča Slovenijo za Švedsko, Dansko, Finsko, Nemčijo, Francijo, Norveško in Švico, ter pred Avstrijo in Islandijo.

3.2. Cilj 6 in ocena realizacije v Republiki Sloveniji

Cilj 6 *Dostop do čiste vode in sanitarna ureditev* je odziv mednarodne skupnosti na stanje in probleme na področjih zagotavljanja pitne vode, komunalne ureditve in trajnostnega upravljanja v svetovnem merilu. Obsežna problematika celotnega vodnega kroga je členjena na osem podciljev. O načinih izvajanja in vključevanja podciljev v politike, programe in plane se države odločajo samostojno.

UN Agenda 2030 med največje izzive sodobne civilizacije uvršča neenakost ljudi, čezmerno izkoriščanje naravnih virov, razvrednotenje okolja in podnebne spremembe, ob tem pa poudarja, da je socialni in ekonomski razvoj družbe vitalno odvisen od trajnostnega upravljanja vodnih virov (UN Water, 2018).

Okvir 2: Podcilji Cilja 6 trajnostnega razvoja UN Agende 2030

- *Podcilj 6.1:* Do leta 2030 vsem omogočiti enakopraven dostop do čiste in poceni pitne vode.
- *Podcilj 6.2:* Do leta 2030 vsem omogočiti enakopraven dostop do ustrezne sanitarne ureditve in higijene ter odpraviti opravljanje potrebe na prostem, pri čemer je treba ustrezno pozornost nameniti ženskam in deklicam ter ljudem v težkih življenjskih okoliščinah.
- *Podcilj 6.3:* Do leta 2030 izboljšati kakovost vode z zmanjšanjem onesnaževanja, preprečevanjem odmetavanja odpadkov ter omejitvijo izpustov nevarnih kemikalij in drugih snovi, prepolovitvijo deleža neprečiščenih odpadnih voda ter precejšnjim povečanjem recikliranja in varne ponovne uporabe v svetu.
- *Podcilj 6.4:* Do leta 2030 doseči precej bolj gospodarno rabo vode v vseh panogah in zagotoviti trajnostni odvzem in oskrbo z vodo kot odgovor na pomanjkanje vode ter občutno zmanjšati število ljudi, ki trpijo zaradi tega.
- *Podcilj 6.5:* Do leta 2030 uvesti celovito gospodarjenje z vodnimi viri na vseh ravneh, tudi s čezmejnimi sodelovanjem, kadar je to primerno.
- *Podcilj 6.6:* Do leta 2020 zavarovati in obnoviti ekosisteme, povezane z vodo, tudi gorska območja, gozdove, mokrišča, reke, vodonosnike in jezera.
- *Podcilj 6.a:* Do leta 2030 okrepiti mednarodno sodelovanje in podporo krepitvi zmogljivosti v državah v razvoju pri dejavnostih in programih v zvezi z vodo in sanitarno ureditvijo, vključno z zbiranjem padavinske vode, razsoljevanjem, gospodarno rabo, čiščenjem odpadne vode, recikliranjem in tehnologijami za ponovno uporabo.
- *Podcilj 6.b:* Podpirati in povečati sodelovanje lokalnih skupnosti pri boljšem gospodarjenju z vodo in sanitarni komunalni ureditvi.



Mnoge ekonomsko razvitejše države, med njimi tudi Slovenija, številne podcilje Cilja 6 na nacionalnih ravneh že uspešno dosegajo ali so na dobri poti v smeri uresničitve z izvajanjem nacionalnih vodnih politik ali politik konfederacij (npr. ZDA), federacij (npr. EU, nekatere evropske države) in podobno. Hkrati države s tradicijo vpliva ali z željo po vplivu na gospodarski razvoj v državah tretjega sveta tja prispevajo finančne in človeške vire za uresničitev Cilja 6 v obliki programov pomoči.

V povezavi z ovrednotenjem indeksa Cilja 6 v Sloveniji (87,1 od 100) (Sachs idr., 2018) velja opozoriti, da poročilo navaja sicer pozitiven, a le zmerno naraščajoč trend. Tak trend pomeni, da rezultat sicer narašča s stopnjo nad 50 % od pričakovane rasti, vendar še vedno z manjšo rastjo, kot je predvidoma potrebna za uresničitev cilja do leta 2030 v Sloveniji.

3.3. Povezovanje Cilja 6 z drugimi cilji UN Agende 2030 in čezmejni kontekst

Uresničitev Cilja 6, podobno kot ostalih ciljev UN Agende 2030, ni sektorsko in nacionalno izoliran proces. Zaradi pomena vode za trajnostni razvoj, predvsem z vidika zdravja ljudi in zmanjševanja revščine, zagotavljanja zadostne količine hrane, gospodarskega razvoja, proizvodnje električne energije, trajnostnega razvoja urbanih okolij, krožnega gospodarstva in varstva ekosistemov, se povezuje z doseganjem vseh drugih ciljev trajnostnega razvoja UN Agende 2030. Zato je pomembno, da se cilji, tudi Cilj 6, uresničujejo kot integralni v vzajemnem procesu (UN, 2015).

Prav tako je uresničitev Cilja 6 v nekaterih detajlih tudi zelo čezmejno oziroma mednarodno zasnovana aktivnost, npr. s Podciljem 6.5 in Indikatorjem 6.5.2. Delež čezmejnih povodij in porečij z operativnim sporazumom, ki obravnava čezmejne reke in jezera ter vodonosnike.

4. STOPNJA IMPLEMENTACIJE CUV-a V SLOVENIJI

4.1. Indikator 6.5.1. in prvo ovrednotenje v Sloveniji

CUV, kot ga določajo Dublinska načela, je ključno orodje za doseganje podcilja 6.5 (*do leta 2030 uvesti CUV na vseh ravneh, tudi s čezmejnimi sodelovanjem, kadar je to primerno*) cilja 6 trajnostnega razvoja UN Agende 2030. Zato je za ovrednotenje indeksa uspešnosti izvajanja Cilja 6 na svetovni ravni treba ovrednotiti uspešnost izvajanja CUV-a v posameznih državah. Uspešnost izvajanja CUV-a ocenimo z ovrednotenjem indikatorja 6.5.1. *Stopnja implementacije celostnega upravljanja voda v državi* (Indikator 6.5.1.). Indikator 6.5.1. se vzajemno dopolnjuje tudi z indikatorjem 6.5.2. *Delež čezmejnih povodij in porečij z operativnim sporazumom*.

Indikator 6.5.1. temelji na spremljanju stanja tistih vrednot CUV-a, ki zagotavljajo socialno enakost, ekonomsko učinkovitost in ekološko trajnost. Področja ovrednotenja CUV-a členi po vzoru Dublinskih načel z dodanim področjem financiranja na nacionalni in drugih ravneh (regionalna in lokalna raven, raven povodij ali porečij in čezmejna raven):

- *zagotavljanje okolja*: vzpostavljenost okolij, ki podpirajo izvajanje CUV-a, predvsem status politik, zakonov in strateških načrtovalskih orodij, relevantnih za CUV na nacionalni in drugih ravneh;
- *institucije in participacija*: obseg, status in vloga političnih, socialnih, gospodarskih in administrativnih institucij in deležniških skupin za podporo in implementacijo CUV-a na nacionalni in drugih ravneh;
- *upravljavski instrumenti*: razvitost instrumentov, orodij in aktivnosti za podporo odločevalcem in uporabnikom pri odločanju med alternativnimi ukrepi za izvajanje CUV-a na nacionalni in drugih ravneh;
- *financiranje*: razpoložljivost proračunskih in drugih virov financiranja zadev vodnih virov in upravljanja na nacionalni in drugih ravneh.

Sestava indikatorja 6.5.1., razlaga terminologije in način ovrednotenja so podrobneje opredeljeni v dokumentih *UNEP Country Questionnaire for Indicator 6.5.1 Degree of integrated water resources management implementation* (UNEP, 2017a) in *UNEP Step-by-Step monitoring methodology for SDG Indicator 6.5.1*. (UNEP, 2017b). Postopek ovrednotenja v RS, območje in obdobja ovrednotenja, metoda dela, zasnova in izvedba nacionalne delavnice, metodološki komentarji ter komentarji predstavnikov sektorja in deležnikov so predstavljeni v poročilu *UN Agenda 2030 – Cilj 6 – Podcilj 6.5. – Indikator 6.5.1.: Stopnja implementacije celostnega upravljanja voda (0-100). Poročilo o prvem ovrednotenju indikatorja 6.5.1. v Republiki Sloveniji* in njegovih prilogah (DRSV, 2018).

V RS je prvo ovrednotenje indikatorja 6.5.1. kot del nacionalnih aktivnosti za potrebe izvajanja Cilja 6 izvajalo Ministrstvo za okolje in prostor v sodelovanju z Direkcijo za vode Republike Slovenije ter Global Water Partnership Slovenia. Postopek vrednotenja je bil izpeljan samoocenjevalno, na ponovljiv način, ob uporabi načel participacije javnosti in v sodelovanju s sektorskimi in medsektorskimi deležniškimi strukturami. Rezultati ovrednotenja kažejo nekatere vrzeli, ki jih bo treba v prihodnje zapolniti.

4.2. Ocena stopnje implementacije CUV-a v Sloveniji ob prvem ovrednotenju

V skladu z metodologijo UNEP-a je po indikatorju 6.5.1. končna ocena stopnje implementacije CUV-a v Republiki Sloveniji 58 od 100 in je po lestvici UNEP-a razporejena v razred srednje visoka (*»medium-high«*), z interpretacijo *»v splošnem ustrezna sposobnost implementacije elementov CUV; elementi so implementirani v dolgoročnih programih«*.

Preglednica 1: **Lestvica stopnje implementacije CUV-a na nacionalni ravni**

Razred stopnje implementacije CUV	Razpon vrednosti indikatorja
zelo nizka	0–10
nizka	11–30
srednje nizka	31–50
srednje visoka	51–70
visoka	71–90
zelo visoka	91–100

Vir: UNEP, 2017b.

Pri tem velja opozoriti, da rezultati ovrednotenja v vseh sodelujoči državah, predstavljeni na HLPF 2018 (UN, 2018; Sachs idr., 2018), predvsem pa tisti iz EU-regije, kažejo odstopanja rezultatov Slovenije navzdol. To je lahko posledica (preveč) pesimistične samoocene stopnje implementacije deležnikov CUV-a v Sloveniji ali (preveč) optimistične samoocene stopnje implementacije deležnikov CUV-a v EU-regiji ali pa je posledica kombinacije obojega. Glede na realno stanje implementacije CUV-a v Sloveniji in v EU-regiji ter njuno relativno podobnost tolikšno odstopanje kaže problematičnost metode ovrednotenja indikatorja 6.5.1. z vidika robustnosti in ponovljivosti na nacionalni ravni in nato tudi komparativno, na meddržavni, regionalni ali svetovni ravni.

Preglednica 2: **Ocena stopnje implementacije CUV-a v Sloveniji (0–100) po Indikatorju 6.5.1.**

Ocene indikatorja	Vrednosti indikatorja
Delna povprečna ocena 1: Zagotavljanje okolja	58/100
Delna povprečna ocena 2: Institucije in participacija	55/100
Delna povprečna ocena 3: Upravljavski instrumenti	62/100
Delna povprečna ocena 4: Financiranje	56/100
Skupna povprečna ocena implementacije CUV	58/100

Vir: DRSV, 2018.

5. VODA V STRATEGIJI RAZVOJA SLOVENIJE 2030

V obdobju Milenijskih razvojnih ciljev ZN do leta 2015 in njihovih naslednikov, ciljev trajnostnega razvoja UN Agende 2030, so nekatere razvitejše države, na primer Nemčija (Federal Government, 2016) in ZDA (USAID, 2017) ter druge, izdelale nacionalne strategije trajnostnega razvoja, ki se na različne načine neposredno ali posredno povezujejo s cilji trajnostnega razvoja UN Agende 2030. Tudi v Sloveniji je Vlada Republike Slovenije leta 2017 sprejela Strategijo razvoja Slovenije 2030, ki s ciljem *zagotovitve kakovostnega življenja za vse* opredeljuje pet strateških usmeritev:

- vključujoča, zdrava, varna in odgovorna družba,
- visoko produktivno gospodarstvo, ki ustvarja dodano vrednost za vse,
- učenje za in skozi vse življenje,
- ohranjeno zdravo in naravno okolje in
- visoka stopnja sodelovanja, usposobljenosti in učinkovitosti upravljanja.

Strategija določa tudi 12 ciljev, ki jih povezuje s prej naštetimi strateškimi usmeritvami in tudi s 17 cilji UN Agende 2030.

Okvir 3: **Cilji Strategije razvoja Slovenije**

- *Cilj 1:* Zdravo in aktivno življenje.
- *Cilj 2:* Znanje in spretnosti za kakovostno življenje in delo.
- *Cilj 3:* Dostojno življenje za vse.
- *Cilj 4:* Kultura in jezik kot temeljna dejavnika nacionalne identitete.
- *Cilj 5:* Gospodarska stabilnost.
- *Cilj 6:* Konkurenčen in družbeno odgovoren podjetniški in raziskovalni sektor.
- *Cilj 7:* Vključujoč trg dela in kakovostna delovna mesta.
- *Cilj 8:* Nizkoogljično krožno gospodarstvo.
- *Cilj 9:* Trajnostno upravljanje naravnih virov.
- *Cilj 10:* Zaupanja vreden pravni sistem.
- *Cilj 11:* Varna in globalno odgovorna Slovenija.
- *Cilj 12:* Učinkovito upravljanje in kakovostne javne storitve.

Vir: RS SVRK, 2017.

Izmed naštetih 12 ciljev Strategije je voda – s tem pa tudi izvajanje Cilja 6 UN Agende 2030 – ključnega pomena za cilj 9 in posrednega za cilj 8 Strategije. V nadaljevanju v povezavi ciljev in strateških usmeritev Strategije to pomeni, da je voda strateškega pomena za razvoj Slovenije, saj cilj 9 podpira tri izmed petih strateških usmeritev trajnostnega razvoja Slovenije do leta 2030. Zato je treba CUV kot metodo dela razumeti in primerno aplicirati tudi z vidika slovenskih nacionalnih razvojnih ambicij do leta 2030 kot podporo Strategiji.

6. IZZIVI CELOSTNEGA UPRAVLJANJA VODA

Z izvajanjem nacionalne zakonodaje s področja upravljanja voda, prav tako pa z izvajanjem skupne EU-politike do voda, na primer na področjih doseganja dobrega stanja površinskih in podzemnih voda, zmanjševanja poplavne ogroženosti, oskrbe s pitno vodo in čiščenja odpadnih voda, se RS pridružuje skupnim evropskim naporom vseh članic EU-ja ter na ta način že delno izvaja in si prizadeva za CUV. Glede na to, da skupni evropski, regionalno orientirani napor kljub vsemu ne obsegajo vseh načel CUV-a (Rahaman idr., 2004), predvsem pa



ne rešujejo problematike CUV-a na globalni ravni, ki v interesu skupnih ciljev trajnostnega razvoja združuje države oziroma družbe izjemno raznolikih gospodarskih, socialnih in okoljskih stanj ter novih političnih dejstev velikih razsežnosti, nas v prihodnje na področju CUV-a tudi v Sloveniji čakajo novi izzivi. Potrebovali bodo poglobljene nacionalne, regionalne in tudi mednarodno usklajene rešitve in odgovore.

Izzive CUV-a kot pomembnega dela trajnostnega razvoja naše civilizacije in seveda tudi Slovenije je treba razumeti kot izrazito medsektorsko naravnane, v nacionalnem (lokalnem, regionalnem, nacionalnem) in mednarodnem (bilateralnem, mednarodnem) kontekstu, vendar pa tudi v kombinaciji izvajanja Cilja 6 UN Agende 2030 ter Strategije razvoja Slovenije 2030. Rezultati in ugotovitve prvega ovrednotenja indikatorja 6.5.1. Cilja 6 Agende 2030 v Sloveniji so nam pri tem lahko v korist kot argument in kot usmeritev za nadaljnje korake na področju CUV-a v Sloveniji.

6.1. Izzivi CUV-a z vidika UN Agende 2030

Vodo in s tem CUV je treba umestiti v ospredje doseganja 17 ciljev trajnostnega razvoja UN Agende 2030 na nacionalni ravni, te pa medsebojno povezati v kontekst trajnostnega razvoja RS, Strategije in nacionalnih posebnosti. Hkrati je na ožjem področju CUV-a treba nadaljevati izvajanje programov, izhajajočih iz skupne EU-politike do voda, ter zagotavljati zadostno financiranje za njihovo izvajanje. Nekateri drugi konkretni izzivi CUV-a z vidika UN Agende 2030 so:

- opredelitev horizontalne in vertikalne deležniške strukture procesa UN Agende 2030, vključujoč šolstvo in gospodarstvo;
- participatorna analiza povezanosti Cilja 6 z ostalimi cilji trajnostnega razvoja UN Agende v RS;
- izdelava UN Agende 2030 vodne strategije Slovenije po vzoru dobrih praks (BMZ, 2017) kot temeljnega nacionalnega dokumenta za upravljanje vodnih virov, povezanega s sorodnimi dokumenti s področij ostalih trajnostnih razvojnih ciljev;
- nadaljnje zmanjševanje onesnaževanja voda ter povečanje varne ponovne rabe odpadne vode in hranil v povezavi s pridelavo hrane in proizvodnjo električne energije;
- upoštevanje ekosistemskih storitev vodnega okolja;
- načrtovanje trajnostne vodne infrastrukture v urbanih območjih in zapiranje snovnih tokov po načelih krožnega gospodarstva;
- prilagajanje vplivom podnebnih sprememb ter nadaljnji razvoj temeljnih znanj upravljanja suše in načrtovalskih aplikacij za upravljanje suše v porečjih in povodjih ter učvrstitve čezmejnega sodelovanja na področju;
- razvoj spodbud za izvajanje prilagojenih aktivnosti za upravljanje potreb, povečanje vodne učinkovitosti in izboljšanje sistemov vrednotenja vode v kontekstu pomanjkanja vode;
- razvoj tehničnih metod in pristopov za delitev vodnih virov na povodjih in porečjih med sektorji in državami, obvladovanje antagonizmov in konfliktov rabe vode v porečjih in povodjih, po vzoru nekaterih dobrih praks (UNECE, 2015; EC JRC, 2018);

- razvoj pravnih in institucionalnih okolij za zagotavljanje trajnostne in pravične delitve čezmejnih voda ter opredelitev vlog in aktivnosti institucij in partnerskih organizacij;
- razvoj področja hidrodiplomacije v čezmejnih porečjih in povodjih in v mednarodnem kontekstu, aktivno vključevanje na področju vodne diplomacije kot orodja za zagotavljanje varnosti in miru, stabilnosti, razvoja, napredka, človekove pravice do čiste vode in komunalne urejenosti (Federal Foreign Office, 2014; GHLPWP, 2017) kot podpore EU sosedске in migracijske politike;
- programsko usmerjanje finančnih mehanizmov kot orodij koordiniranega razvoja in socialne, ekonomske in okoljske stabilnosti v čezmejnih porečjih in povodjih po vzoru upravljanja mednarodnega porečja Save in drugih dobrih praks;
- aktivnejše sodelovanje pri izvajanju Vodne konvencije UNECE, v skladu s programom dela in glede na prednosti RS;
- izboljšano povezovanje odločevalske in znanstvene sfere na področju voda na nacionalni ravni, aktivnejša vključitev v delovanje mednarodnih vodnih programov, na primer EU Water Joint Programme Initiative, glede na prednostne vsebine RS.

6.2. Izzivi CUV-a z vidika ocene stanja implementacije v Republiki Sloveniji

Z vidika izboljšanja stanja implementacije CUV-a v Republiki Sloveniji je treba sistematično odpravljati v nacionalnem procesu ovrednotenja prepoznane vrzeli, pri čemer je treba vsebine in aktivnosti usmerjati v kontekst izpolnjevanja Cilja 6 UN Agende 2030 in Strategije razvoja Slovenije 2030. S tega vidika so nekateri izzivi CUV-a v Sloveniji:

- pregled in razvoj nacionalnega cikla CUV-a v RS (stanje – zaveze – vrzeli – strategija in akcijski načrt – zaveze – izvedba – nadzor in ocena procesa);
- izboljšanje implementacije politik, programov in planov s področja CUV-a z individualnimi in institucionalnimi krepitvami ter finančnimi vzpodbudami na vseh ravneh;
- poglobljen razvoj medsektorskega povezovanja, integracija vodnih vsebin v sektorske aktivnosti ter iskanje sinergij in rešitev sicer posamičnih razvojnih pogledov na področju varstva in rabe voda;
- vzpostavitev polnoobsegajoče medsektorske izmenjave kakovostnih podatkov v povezavi z vodami in zagotovitev dostopnosti;
- izboljšana izmenjava kakovostnih podatkov med nacionalno in lokalno ravno;
- vključevanje odprtih vprašanj in rešitev CUV-a upravljanja voda v sektorske razvojne dokumente, predvsem okolje, kmetijstvo, energetiko in turizem, v povezavi z izpolnjevanjem ciljev UN Agende 2030;
- razvoj mehanizmov za delitev vodnih virov med sektorje in izvajanje podrobnejših načrtov upravljanja specifičnih pritiskov na vodno okolje ali območij v povezavi z vodami;
- koordinacija vsebin na nacionalni ravni in prenos nekaterih odgovornosti na najnižjo možno raven upravljanja;
- razvoj regionalnih platform CUV-a;



- povečanje števila žensk na odločevalskih pozicijah;
- povezovanje vsebin CUV-a in sinergijskih procesov s krožnim gospodarstvom in z makroregionalnimi strategijami EU-ja;
- izdelava in izvajanje vodnoozaveščevalno osredotočene komunikacijske strategije na nacionalni, regionalni in lokalni ravni;
- organizacija nacionalnega medsektorskega ozaveščevalno-izobraževalnega procesa na temo CUV;
- angažiranje prepoznanih dobrih praks vključevanja javnosti, participatornega vodnega načrtovanja in platform vodne demokracije;
- povečanje učinkovitosti rabe sredstev za področje CUV-a z boljšim medsektorskim sodelovanjem;
- izboljšanje določitve namenskosti sredstev in vračanja sredstev za potrebe CUV-a;
- povečanje sredstev za nove investicije in vzdrževanje vodne infrastrukture zaradi zao-
stankov pri izvajanju v preteklih letih;
- povečanje sredstev za vodeno implementacijo CUV-a na lokalni ravni (DRSV, 2018).

6.3. Izzivi CUV-a z vidika Strategije razvoja Slovenije 2030

Strategijo razvoja Slovenije 2030 je treba povezati z doseganjem Cilja 6 Agende 2030, razvojne vsebine pa razvijati vzporedno. Številni izzivi CUV-a pri izvajanju Strategije so enaki ali pa vsaj sorodni naštetim pri Cilju 6 in pri nacionalnem ovrednotenju. Med specifičnimi izzivi CUV-a z vidika izvajanja Strategije bi lahko bili:

- zagotovitev trajnostnih vodnih izhodišč za izdelavo Strategije razvoja Slovenije 2030,
- izpeljava uveljavljenih orodij za oceno stanja upravljanja voda, na primer OECD Principles on Water Governance (OECD, 2015), v povezavi s strateškimi usmeritvami in politikami, relevantnimi za izvedbo Strategije, kot so OECD Policy Coherence (OECD, 2018).

7. SKLEP

Republika Slovenija je ob objavljenem pregledu stanja in implementacije ciljev trajnostnega razvoja UN Agende 2030, tudi Cilja 6, na HLPF 2018 v New Yorku med 156 državami v svetovnem merilu dobila zavidljivo visoko oceno in zasedla 8. mesto (Sachs idr., 2018), kar v prihodnje predstavlja še močnejšo zavezo k izpolnjevanju ciljev trajnostnega razvoja UN Agende 2030 in posledično k trajnostnemu razvoju slovenske družbe.

Prva ocena stanja implementacije CUV-a v Slovenji leta 2017 je pokazala na nekatere vrzeli na področjih zagotavljanje okolja, institucij in participacije, upravljavskih instrumentov in financiranja, ki so ob ciljno usmerjenem in sistematičnem delovanju obvladljive že v srednjem obdobju.

Inovativna Strategija razvoja Slovenije 2030 je uvrstila Slovenijo v družbo sodobnih držav z jasno artikuliranimi nacionalnimi idejami o trajnostni prihodnosti. Da bi lahko strategijo razvijali v celotnem merilu, je treba učvrstiti tudi področje CUV-a, saj lahko v nasprotnem primeru nastopijo neželeni učinki na strani strategije, ali mnogo slabše, na strani vode in vodnega okolja.

RS se mora na naštetih področjih CUV-a podrobneje opredeliti do vsebin, problematike in rešitev v najširših kontekstih, ki naj presežejo nacionalni kontekst in izvajanje praks, izhajajočih iz skupne EU-vodne politike. V vodnih kontekstih lahko še bolj razmišlja kot suverena partnerica tudi v globalnih, ne samo v nacionalnih in regionalnih procesih in realnosti. Na tak način lahko postane še sodobnejša vodna družba z jasno izdelano vizijo o prihodnosti celostnega upravljanja naravnega vira vode v najširših kontekstih, pri čemer naj sledi načelu, da nikogar ne bo pustila ob strani (*»no one will be left behind«*).

Stopnja gospodarske razvitosti, družbeni prihodek, velika gostota hidrografske mreže, obsežni in izdatni vodonosni sistemi in v veliki večini primerov naravna stalnost površinskih in podzemnih tokov, zmerna ranljivost v povezavi s sušo nas pri izvajanju CUV-a ne smejo zavesti. Mnoge države, ki razvijajo sodobne trende na področju CUV-a, prihajajo iz gospodarsko razvitih in vodno izdatnih regij, npr. Švice, Finske, Švedske, Norveške. V marsičem jim je Slovenija podobna.

LITERATURA IN VIRI

1. BMZ, 2017. BMZ Water Strategy – A key contribution to implementing the 2030 Agenda and the Paris Agreement. Strategy paper 08/2017. Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. Bonn, Berlin.
2. DRSV, 2018. UN Agenda 2030 – Cilj 6 – Podcilj 6.5. – Indikator 6.5.1.: Stopnja implementacije celostnega upravljanja voda (0-100). Poročilo o prvem ovrednotenju indikatorja 6.5.1. v Republiki Sloveniji. Direkcija Republike Slovenije za vode, Ministrstvo za okolje in prostor in GWP Slovenia. Ljubljana.
3. EC JRC, 2018. The Mediterranean Nexus. Towards a Regional Atlas on Water-Energy-Food Ecosystems interdependencies. A UfM – JRC collaborative proposal. European Commission Joint Research Centre. Ispra, Italy.
4. EEA, 2015. The European Environment State and Outlook 2015. Assessment of Global Megatrends. European Environment Agency. Copenhagen.
5. Federal Foreign Office, 2014. The Rise of Hydro-Diplomacy. Strengthening foreign policy for transboundary waters. Report. Federal Foreign Office. Adelphi, Berlin.
6. Federal Government, 2016. German Sustainable Development Strategy. The Federal Government. Berlin.
7. GHLPWP, 2017. A matter of survival. Report of the Global High-Level Panel on Water and Peace. Geneva.
8. GWP, 2000. Integrated Water Resources Management. Global Water Partnership Technical Advisory Committee (TAC). TAC Background Papers NO.4. Global Water Partnership. Stockholm.
9. OECD, 2015. OECD Principles on Water Governance. OECD Directorate for Public Governance and Territorial Development. Paris.
10. OECD, 2018. Policy Coherence for Sustainable Development. Towards Sustainable and Resilient Societies., Paris: OECD Publishing.
11. Rahaman, M. M. idr., 2004. EU Water Framework Directive vs. Integrated Water Resources Management: The Seven Mismatches. Water Resources Development, Vol. 20, No. 4, Carfax Publishing, Taylor and Francis Group.



12. RS SVRK, 2017. Strategija razvoja Slovenije 2030. Republika Slovenija, Služba vlade za razvoj in evropsko kohezijsko politiko. Ljubljana.
13. RS Vlada, 2017. Voluntary National Review on the Implementation of the 2030 Agenda. Report to the UN High Level Political Forum 2017 on Sustainable Development. Republika Slovenija, Vlada Republike Slovenije. Ljubljana.
14. Sachs, J. idr., 2018. Global Responsibilities – Implementing the Goals. SDG Index and Dashboards Report 2018. G20 and large countries edition. New York: Bertelsmann Stiftung.
15. UN, 1992. United Nations Sustainable Development Agenda 21. United Nations Conference on Environment & Development, Rio de Janeiro, Brazil.
16. UN, 2000. The Millenium Development Goals Report 2015. United Nations, New York, Geneve.
17. UN, 2015. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations, A/RES/70/1. New York.
18. UN, 2018. The Sustainable Development Goals Report 2018. United Nations. New York.
19. UNECE, 2015. Reconciling resource uses in transboundary basins: assessment of the water-food-energy-ecosystem nexus. United Nations Economic Commission for Europe. New York and Geneva.
20. UNEP, 2017a. Country Questionnaire for Indicator 6.5.1 Degree of integrated water resources management implementation. United Nations Environment Programme. Kenya.
21. UNEP, 2017b. Step-by-Step monitoring methodology for SDG Indicator 6.5.1. United Nations Environment Programme. Kenya.
22. UN Water, 2012. Status Report on The Application of Integrated Approaches to Water Resources Management. New York.
23. UN Water, 2018. 6 Clean Water and Sanitation. Sustainable Development Goal 6. Synthesis Report on Water and Sanitation 2018. New York.
24. USAID, 2017. U. S. Government Global Water Strategy. U. S. Agency for International Development. Washington.



Hach Lange, d. o. o. je hčerinsko podjetje istoimenske ameriško-nemške multinacionalke v Sloveniji z več kot 80-letno tradicijo na področju analize vode. Dolga leta izkušenj, izumi in kontinuiran razvoj so omogočili, da danes svojim kupcem po vsem svetu nudimo širok nabor *laboratorijskih, prenosnih in on-line izdelkov za analizo pitne, odpadne ali industrijske vode.*



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

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



KO JE VODE PREMALO

dr. Andreja SUŠNIK¹

Povzetek

Evropa in tudi Slovenija se vse pogostejše soočata s sušo, ki povzroča veliko gospodarsko škodo v kmetijstvu in tudi drugih sektorjih gospodarstva. Podnebne spremembe še krepijo pojav suše in njeno intenzivnost. Narava suše se spreminja, pojavlja se tudi v klimatološko padavinsko bogatih regijah, kot je alpski prostor. Po ekstremno hudi suši leta 2003 se je intenzivno začel razvijati monitoring suše. V zadnjih letih je opazen izreden razvoj monitoringa suše, še vedno pa obstaja veliko pomanjkljivosti pri zgodnji kvantifikaciji različnih vrst suše in njenih vplivov. V članku so predstavljeni nekateri pristopi sledenja kmetijske suše v Evropi in aktivnosti Centra za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi. V zadnjem delu članek opisuje elemente zgodnjega opozarjanja na sušo z uporabo raznovrstnih kazalcev, vključujoč daljinsko zaznavanje, aplikacije ter projekte za boljše upravljanje suše v kmetijstvu v sklopu operativne agrometeorologije v Sloveniji.

Ključne besede: daljinsko zaznavanje, kazalci kmetijske suše, kmetijska suša, namakanje, poročevalci o suši

Abstract

Europe and Slovenia are increasingly faced with droughts that cause significant economic damage in agriculture. Climate change continues to strengthen the phenomenon of drought and its intensity. The nature of the drought is changing, also occurs in rain-rich countries such as the Alpine region. After an extremely severe drought in 2003, the monitoring of droughts began to develop intensively. In recent years, there has been a significant development of drought monitoring, but there is still a lot of shortcomings in the early quantification of the various types of drought and its impacts. In the article some approaches to detect agricultural drought in Europe, the activities of the Drought management center for South-eastern Europe are presented. In the last part of the article describes drought early warning elements by using a variety of indicators, including remote sensing, applications and projects for better management of drought in agriculture in the context of operational agrometeorology in Slovenia.

¹ Dr. Andreja Sušnik, univ. dipl. agr., vodja Oddelka za agrometeorološke analize, Urad za meteorologijo in hidrologijo, Agencija Republike Slovenije za okolje

1. UVOD

Suša je bila nadloga številnih civilizacij že v davni in tudi bližnji preteklosti. Zaradi vpliva podnebnih sprememb, naraščanja prebivalstva in sodobnega načina življenja ter marsikje slabega upravljanja voda se v novejšem času povečujejo težave z zagotavljanjem potrebnih vodnih količin prebivalstvu in gospodarstvu; poleg povečanega pritiska na obstoječe vodne vire pa je glavni razlog suša. Suša je vse pogostejša in pomanjkanje vode postaja resen problem v številnih regijah sveta, ki niso omejene samo na aridne in semiaridne predele. Okoli 1,6 milijarde ljudi (skoraj četrtnina človeštva) živi v državah s fizičnim pomanjkanjem vode, v prihodnjih dveh desetletjih pa se lahko to število podvoji (World Bank, 2016). Vse pogostejše se s sušo sooča tudi Evropa. Značilnost novodobne suše je, da postaja redna gostja tudi v tradicionalno vodnatih državah, kamor sodijo tudi alpske države, med njimi je tudi Slovenija. Posledice suše se v Sloveniji največkrat odražajo v nenamakanem kmetijstvu. V zadnjih petdesetih letih smo zabeležili kmetijsko sušo v letih 1967, 1971, 1976, 1983, 1984, 1992, 1993, 1994, 2000, 2001, 2003, 2006, 2007, 2009, 2011, 2012 in 2013, 2015, 2016 in 2017, ki je bila glede na razsežnost območij, ki jih je prizadela, lokalna, regionalna oziroma nacionalna (Sušnik, 2014); od tega je bila kar 11-krat po letu 2000. Najhujša je bila leta 2003. V slovenskem geografskem prostoru postaja suša intenzivnejša, pogostejša in se pojavlja v regijah, kjer je v preteklosti nismo zabeležili (Sušnik, 2014). Klimatološka statistika potrjuje, da se tudi narava suše spreminja. V zadnjih letih se kaže tudi v razpoložljivih količinah površinskih in podzemnih voda. Tako je bilo leto 2012, ko vse od jeseni 2011 ni bilo zadovoljivih vodnih zalog in je na Primorskem vladala izjemna hidrološka suša. Sušne razmere tako vplivajo tudi na ostale veje gospodarstva, kot so oskrba s pitno vodo, proizvodnja električne energije, turizem, ribištvo in druge.

Vzrok za pogostejšo sušo tiči v spremenjenih podnebnih vzorcih, v glavnem zaradi neugodne razporeditve padavin in vse toplejših let, predvsem poletij, ki povečujejo izhlapevanje (ARSO, 2018; Vertačnik in Bertalanič, 2017). V zadnjih desetletjih je bila Evropa pod udarom številnih vročinskih valov in sušnih obdobj. Od leta 2003 pa v evropskem prostoru suša postaja izrazitejša v južni in jugovzhodni Evropi (EEA, 2017). Obe regiji trenutno spadata med najranljivejši, saj hkratio naraščanje temperature zraka in zmanjševanje padavin pripomoreta k zmanjšani razpoložljivosti vode ter k povečanemu tveganju za sušo, za izgubo biotske raznovrstnosti in za gozdne požare (ARSO, 2017). Največji delež ekonomske škode, povzročene z izrednimi vremenskimi in podnebnimi dogodki, v Evropi sicer še vedno predstavljajo poplave (38 %), nato neurja (25 %), sledi suša (9 %) in vročinski valovi (6 %) (EEA, 2017). Kako je s škodo po suši v Sloveniji, najbolj zgovorno kažejo številke. Po slovenski zakonodaji je suša razglašena za naravno nesrečo, ko je ocenjena škoda po suši večja od 0,3 promila načrtovanih prihodkov državnega proračuna. Leta 2003 je škoda v kmetijstvu znašala kar 130 mio. evrov (Sušnik in Gregorič, 2017). V zadnjem desetletju pa je bila suša razglašena za naravno nesrečo še v letih 2013, 2016 in zadnja leta 2017, ko je bila škoda ocenjena na dobrih 65 mio. evrov (MKGP, 2018). Država preko svojih mehanizmov vse težje izplačuje državne pomoči in sredstva za odpravo posledic suše kot naravne nesreče se v zadnjih letih zmanjšujejo.

Ugotovitve mednarodnega panela za podnebne spremembe, ki v svojih poročilih izpostavlja povezavo med sušo in podnebnimi spremembami (IPCC, 2012), kažejo, da bo suša v priho-



dnosti še pogostejša. Tudi Slovenija pri tem ne bo izjema. Podnebne analize za Slovenijo so potrdile, da bo suša tudi pri nas še pogostejša (ARSO, 2017). Ocene podnebnih sprememb do konca 21. stoletja napovedujejo znaten dvig povprečne letne temperature zraka na celotnem območju Slovenije, in sicer v vseh letnih časih. Evropska okoljska agencija (EEA, 2017) do konca tega stoletja navaja tudi izrazito zmanjšanje vlažnosti tal v poletnih mesecih v Sredozemlju in srednji Evropi, torej tudi v Sloveniji. V nasprotju s temperaturo zraka so podnebni scenariji za spremembe padavin manj zanesljivi, saj so te časovno in prostorsko bolj raznolike, a je predvideno opazno zmanjšanje padavin poleti ter njihovo naraščanje pozimi. Primanjkljaji vode pa bodo vztrajno naraščali po vsej Sloveniji, celo v hribovitih predelih, kjer v sedanjosti še lahko zabeležimo presežke, bodo ti redkejši. Z velikimi primanjkljaji, podobnimi tistim v ekstremno sušnih letih 2003 in 2013, bo obremenjena vsa Slovenija, celo v hribovitih predelih presežkov ne bo več (ARSO, 2017).

Zaskrbljujočim napovedim pritrjuje tudi Svetovni gospodarski forum (World Economic Forum, 2015), ki uvršča vodno krizo kot največje tveganje, s katerim se bo soočala globalna družba v naslednjem desetletju.

Vsa ta dejstva kažejo, da bodo poznavanje problematike suše, zgodnje zaznavanje in monitoring suše, natančna indikacija ter napovedovanje ključni pri upravljanju suše v prihodnje. To je v večini primerov še vedno usmerjeno v aktivnosti po suši, premalo pa se usmerja na preventivo in zgodnje opozarjanje. Jakost in pogostost suše običajno privedeta do pomanjkanja vode, čezmerno izkoriščanje razpoložljivih vodnih virov pa še zaostre posledice suše. Zato je treba pozornost nameniti sinergijam med tema dvema pojavoma, zlasti na območju, ki ga prizadene pomanjkanje vode. V članku bomo predstavili nekaj načinov sledenja kmetijske suše v Evropi in zgodnjega opozarjanja na sušo ter aplikacije za boljše upravljanje suše v kmetijstvu v sklopu operativne agrometeorologije v Sloveniji.

2. SUŠA NIMA MEJA – EVROPSKI POGLED NA SUŠO

Pri ugotavljanju »plazečega« pojava, kot je kmetijska suša, je zelo zahtevno določanje začetka, časa trajanja in jakosti pojava. Razvoj sušnih monitoringov ima najdaljšo tradicijo v Združenih državah Amerike, Avstraliji in Južni Afriki. V Evropi pa obstajajo precejšnje pomanjkljivosti v poznavanju pojava suše in integralnem znanju o pomanjkanju vode. V zadnjih letih se v Evropi razvija prototip evropske opazovalnice za sušo (European Drought Observatory – EDO) v sklopu Skupnega raziskovalnega centra Evropske Komisije (JRC), ki omogoča neprekinjeno spremljanje razvoja suše v Evropi. Jedro EDO je spletni portal, ki vključuje tudi katalog metapodatkov, monitor novic o suši v medijih in analizo analitičnih orodij ter podrobnejše informacije, ki jih zagotavljajo regionalni, nacionalni in lokalni observatoriji. Poleg tega je mogoče preko spletnega portala pridobiti in analizirati sušo v preteklosti, pa tudi potek časovnega razvoja indeksov suše za posamezne mrežne celice in upravne regije v Evropi.

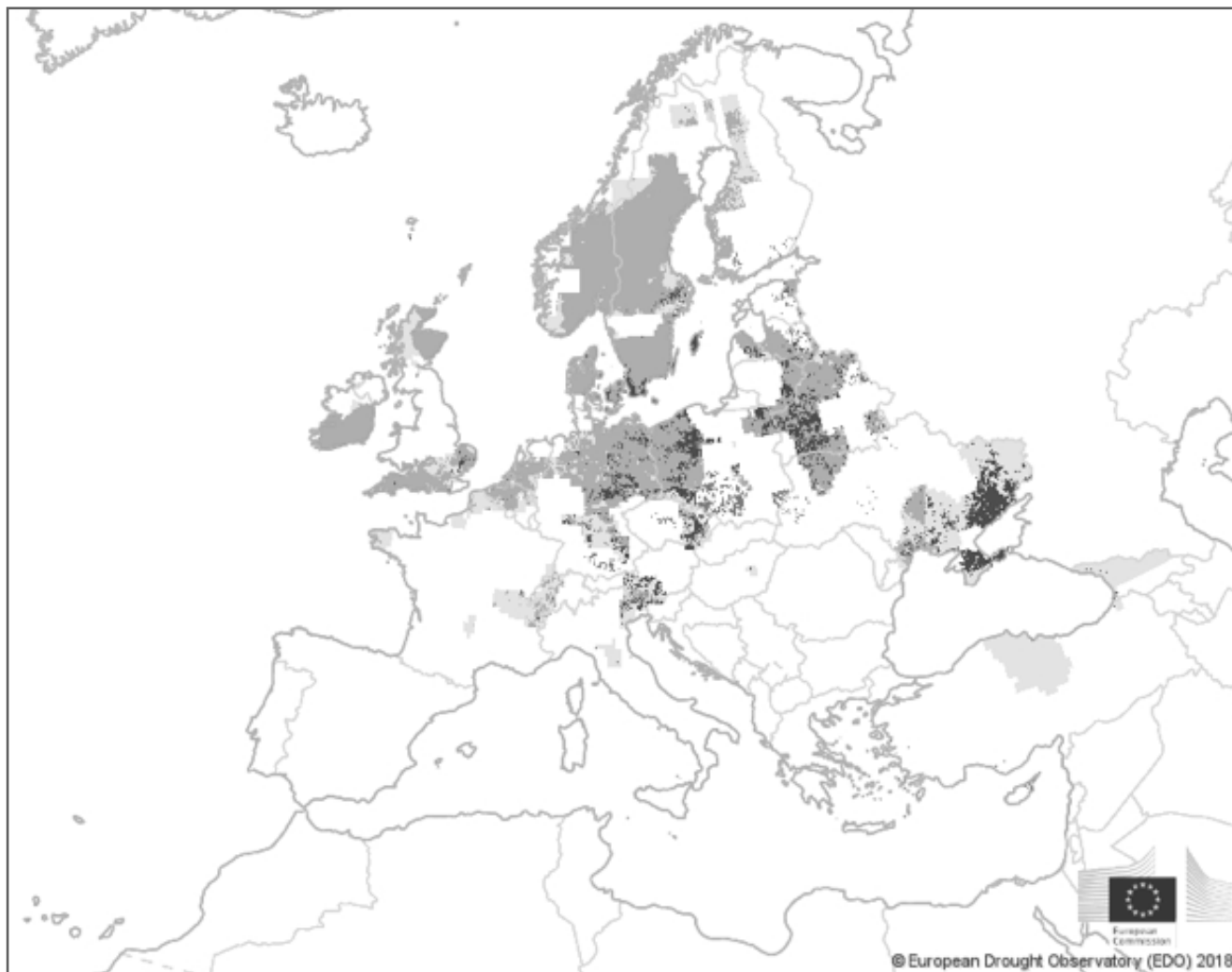
Za vrednotenje pomanjkanja vode oziroma suše so potrebni različni kazalci. Skupne značilnost kazalcev suše so, da temeljijo na meteoroloških in hidroloških spremenljivkah, kot so

količina padavin, pretok vodotokov, vlažnost tal, napolnjenost talnih vodnih rezervoarjev in gladina površinskih voda. Kazalci pomanjkanja vode pa pogosto sledijo odzivu na pritisk in primerjajo odvzem vode/porabo vode z njeno dolgoročno razpoložljivostjo.

Podrobnejše informacije o kazalcih suše ter prednosti in slabosti posameznega indeksa so objavljene na spletni strani EDO (2018). Sepulcre-Canto idr. (2012) so natančneje opisali koncept sledenja suši v EDO. Kombiniran sušni indeks (CDI) temelji na vzročno-posledičnem razmerju, ki predvideva, da pomanjkanje padavin (vzrok) vodi do deficita vode v tleh in manjše produktivnosti vegetacije (vpliv). Zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo poteka prek identifikacije različnih stopenj razmerja med padavinami in pomanjkanjem vode v tleh v določenem sušnem dogodku. Za zdaj je namen sistema le identifikacija sušnih območij in njihovega potenciala za sušo.

Na sliki 1 je prikazan primer EDO monitoringa suše v prvi dekadi julija 2018 v centralni in severni Evropi, ki se je začela že v pomladanskih mesecih. V vseh prizadetih državah ob suši 2018 so največji problem predstavljali intenzivni požari, ki so bili najbolj katastrofalni na Švedskem, v kmetijstvu pa izjemno zmanjšanje pridelka. V številnih državah je bila motena tudi oskrba z vodo in države so razglasile naravno nesrečo (opozorila in alarmi v EDO, slika 1).

Tudi Slovenija se povezuje z EDO predvsem preko mednarodnega Centra za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi (DMCSEE) s sedežem na ARSO. Od leta 2013 pa Slovenija tudi aktivno sodeluje v integriranem programu za upravljanje suše (IDMP) pod okriljem Svetovne meteorološke organizacije (WMO) in globalnega vodnega partnerstva (GWP) v regiji centralne in vzhodne Evrope. IDMP zagotavlja svetovanje in smernice skupnostim, državam in regijam v smeri izboljšanja sušnih monitoringov in upravljanja suše.



Slika 1: Situacija suše v Evropi, prikazana s kombiniranim sušnim indeksom CDI v prvi dekadi julija 2018

Vir: European Drought Centre, 2018a.

Legenda: Prvo stopnjo (svetlo siv odtenek) imenujemo opazovanje (angl. Watch): padavine so pod normalnimi vrednostmi. Obstaja velika verjetnost, da bo suša vplivala na kmetijstvo. Potrebno je natančno opazovanje, odziv mora biti v pripravi. Sledi opozorilo (angl. Warning) (srednje siv odtenek): voda v tleh je v primanjkljaju. Pričakovana je kmetijska suša. Treba je aktivirati strategije, da se zmanjša izpostavljenost. O vplivih suše na kmetijstvo opozarja stanje alarma (angl. Alert) (temno siv odtenek): vegetacija kaže znake stresa. Nadaljevanje in razširitev odzivnih strategij in natančnega monitoringa.

2.1. Center za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi – DMCSEE

Globalna skupnost že kar nekaj časa išče nove rešitve za zgodnjo detekcijo in upravljanje suše. Zaradi kompleksnosti pojava suše enotna rešitev še ne obstaja, saj je treba upoštevati posebnosti regij in posameznih držav. Tudi jugovzhodna Evropa, ki kljub škodi, ki jo povzroča suša v ranljivih sektorjih, kot so kmetijstvo, energetika, vodni promet in vodooskrba, nima učinkovitega upravljanja. Za reševanje regijskega problema monitoringa suše je bil leta 2007 ustanovljen virtualni center DMCSEE. Vlada Republike Slovenije je leta 2006 s sklepom odobrila kandidaturo Slovenije kot države gostiteljice DMCSEE in ARSU naložila, da v primeru uspešne kandidature načrtuje sredstva za osnovno delovanje DMCSEE-ja, širše dejavnosti pa so bile vezane na zunanje vire. To leto je bil sprejet projektni dokument

sodelujočih držav: Albanije, Bolgarije, Bosne in Hercegovine, Grčije, Hrvaške, Madžarske, Makedonije, Moldavije, Romunije in Turčije in pozneje še Srbije in Črne gore, v katerem so določene glavne aktivnosti DMCSEE-ja. V konzorciju in upravnem odboru DMCSEE-ja so po načelu enakopravnosti zastopane vse države (14) v regiji. Od leta 2007 dalje so bile izvedene številne aktivnosti v zvezi z izdelavo strokovnih vsebin DMCSEE-ja, s poudarkom na izdelavi biltena in spletne strani DMCSEE-ja in prvih meteoroloških produktov za sledenje razvoju suše v regiji; pripravljeni so bili predloge in načrti za strokovne ekspertize, povezane z raziskavami suše, izvedeno je bilo mreženje institucij v Sloveniji in tujini ter iskanje možnosti za dodatno financiranje DMCSEE-ja. Ena od glavnih funkcij DMCSEE-ja je vzpostavitev kazalcev suše in načina zgodnjega alarmiranja. Informacije in bilteni so dostopni na spletni strani DMCSEE: <http://www.dmcsee.org>.

2.1.1. Suša nima meja – DriDanube projekt

Center DMCSEE se po finančni krizi večinoma financira iz projektov. Da bi izboljšali upravljanje suše in nadgradili njeno sledenje v Podonavju, smo januarja 2017 vzpostavili mednarodni projekt v sklopu transnacionalnega programa sodelovanja Podonavje, imenovan Tveganje za sušo v Podonavju oziroma DriDanube. ARSO ima v projektu vlogo vodilnega partnerja, v njem pa sodeluje še 14 projektnih in 8 pridruženih strateških partnerjev. Projekt tako združuje organizacije iz različnih sektorjev: nacionalne hidrometeorološke službe, nevladne organizacije ter znanstvenoraziskovalne centre. Projekt traja do junija 2019. Motivacija za sodelovanje v projektu je bilo dejstvo, da sledenje suši marsikje ni sistematično in nima vključenih poenotenih metod za oceno jakosti suše, njenih posledic in tveganj za sušo. Podatki o ocenah škode ob sušnih dogodkih so med državami v regiji slabo dostopni in razpršeni. Prav tako je na tem področju pomanjkljivo sodelovanje med političnimi odločevalci, hidrološkimi in meteorološkimi službami ter raziskovalnimi ustanovami. Posledično je slabše zastavljena politika upravljanja suše in odzivanja nanjo. Namenski cilji projekta DriDanube-ja so zato:

- izboljšati spremljanje suše z razvojem inovativnega Sušnega uporabniškega servisa, ki bo združeval vse dostopne podatke, vključno s podatki, pridobljenimi z daljinskim zaznavanjem;
- posodobiti in poenotiti ocenjevanje tveganja za sušo med vsemi sodelujočimi državami z vpeljavo skupne čezmejno usklajene metodologije za oceno tveganja za sušo in oceno posledic suše;
- doseči proaktiven pristop upravljanja suše, in sicer z razvojem poenotene strategije upravljanja s sušo, ki bo pripomogla k učinkovitejšemu odzivu pred in med sušnim dogodkom in bo podala jasne smernice, kako preseči pomanjkljivosti v procesu odločanja v primeru suše. Vključevala bo poenoten postopkovnik za boljše sodelovanje med odgovornimi ustanovami pri upravljanju s sušo, prav tako pa bo v okviru strategije vzpostavljen tudi sistem pravočasnega opozarjanja na sušo.

Več informacij o projektu je na spletni strani projekta: <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/dridanube>.



3. MONITORING KMETIJSKE SUŠE V SLOVENIJI

Tudi v Sloveniji se razvija sistem za spremljanje suše. Na ARSU že nekaj let vzpostavljamo zasnovo operativnega monitoringa vseh vrst suše, od meteorološke, kmetijske do hidrološke v sklopu hidrološkega in meteorološkega monitoringa. V članku se osredotočamo na sledenje kmetijske suše oziroma vodne bilance kmetijskih rastlin. V analizah kmetijske suše je še posebno zahtevno objektivno določanje obdobja suše, če želimo pri analizah vključiti razvojni krog vseh kmetijskih rastlin, ki so pod vplivom suše. Pri zasnovi kazalcev kmetijske suše v Sloveniji smo upoštevali logiko tristopenjskega koncepta. Osnovni gradnik kazalcev so podatki meteorološkega monitoringa ARSA. Z gostoto merilnih mest mora zadovoljivo pokrivati kmetijski prostor, kar za reliefno razgibano Slovenijo predstavlja še poseben izziv. Koncept v osnovi predvideva, da je glavni vzrok za pojav kmetijske suše pomanjkanje padavin. To je prvi znak, ki nakazuje pojav sušnega dogodka. To fazo smo poimenovali zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo (faza 1). Za operativno spremljanje suše v tej fazi uporabljamo dva kazalca: standardiziran padavinski indeks za različna obdobja (SPI) in delež kumulativnih padavin v vegetacijski sezoni. V zgodnjem obdobju razvoja kmetijske suše je smiselna uporaba začetka vegetacijskega obdobja od 1. aprila dalje, ko se v večjem delu Slovenije začnejo kmetijske rastline razvijati. Uporabljamo ga tudi zato, da lahko interpretiramo vegetacijsko obdobje večjega dela rastlin, poškodovanih zaradi suše. Kadar se sušne razmere še stopnjujejo, je pomembno vključiti kompleksnejše kazalce, kar omogoča večjo natančnost pri interpretaciji suše na kmetijskih površinah. Razvoj sušnega dogodka in potencialne vplive na stanje vegetacije lahko v fazi 2 opišemo z meteorološko vodno bilanco, ki poleg padavin vključuje evapotranspiracijo referenčne površine. Tako lahko določamo delež potencialno izhlapele vode iz referenčne rastline v obravnavanem obdobju. V sušnih razmerah vodni primanjkljaj ponazarjamo s statističnimi mejami in odkloni od dolgoletnih povprečij. S kumulativnimi vrednostmi vodne bilance za obdobje trajanja sušnih razmer prostorsko prikazujemo sušno prizadeta območja v Sloveniji. Velikost kumulativnega primanjkljaja je bila ob preteklih sušah tudi mejna vrednost za razglas kmetijske suše.

V fazi 3, ko so znaki kmetijske suše že razpoznavni tudi na kmetijskih rastlinah, pa vključimo še podatek o vodnozadrževalnih lastnostih tal in razvojnih fazah rastlin v aktualni vegetacijski sezoni. V novejšem času uporabljamo za oceno sušnega stresa tudi dekadni indeks sušnega stresa (DISS), ki izraža moč sušnih razmer za posamezne kmetijske kulture (Sušnik, 2014). Opisi suše temeljijo tudi na zgodovinskih razmerah, kjer je nabor odzivov na izredne vremenske razmere že znan. Za potrditev modeliranih sušnih dogodkov v preteklosti so pomembni dostopnost dolgoletnih nizov meteoroloških podatkov in dokumentirani kronološki zapisi o sušah in njihovem vplivu na rastline. Na ARSU so ti arhivirani v dekadnih in mesečnih agrometeoroloških biltenih. Poleg tega poskušamo na osnovi preteklih sušnih dogodkov in vremenske napovedi tudi kratkoročno napovedati razvoj suše.

3.1. Agrometeorološka napoved – aplikacija »traktorčki«

Hitra odzivnost je tudi pri suši ali moteni vodni bilanci rastlin najboljša preventiva, sploh v kmetijstvu, ki je večinoma tovarna na prostem. Raznolikosti vremena in podnebja lahko obrnemo v svoj prid, če vpliv vremena in vremenskih dejavnikov na kmetijske rastline do-

bro poznamo. Pozorno jih lahko spremljamo kot merjene in napovedane vrednosti. Dnevni bilten Agrometeorološka napoved je kot testna različica dostopen na spletnih straneh ARSA (<http://www.meteo.si/uploads/probase/www/agromet/bulletin/sl/>). Agrometeorološka napoved je na voljo za 15 regij v Sloveniji, osvežena pa je vsak dan po 10. uri. Uporabnikom omogoča enostaven dostop do številnih agrometeoroloških podatkov, med katerimi so tudi informacije o vodni bilanci. V dneh, ko ob vročini in suhem obdobju običajno spremljamo sušne razmere, pozorno spremljamo tudi količino padavin. Za pretekle dni merjene vrednosti pomagajo oceniti stanje vodnih razmer v tleh, napovedane vrednosti pa kažejo, v katero smer se bo stanje obrnilo v prihodnjih desetih dneh. V aplikaciji lahko uporabniki pregledujejo tudi napoved meteorološke vodne bilance, ki jo za izbrano časovno, običajno vegetacijsko obdobje, že nekaj let uporabljamo za prikazovanje jakosti kmetijske suše. Zgovorno govori o razmerju med padavinami in izhlapelo vodo in ob vztrajnosti negativnega predznaka nakazuje na plazeč pojav kmetijske suše.

3.2. Vodnobilančni model IRRFIB v dvojni vlogi

Strokovnejši pristop oskrbe rastlin z vodo zahteva meritve in natančnejše vodnobilančne izračune, ki jih omogoča agrometeorološki vodnobilančni model IRRFIB. Model je plod domačega znanja in je bil razvit na ARSU. Osnovni namen modela je spremljanje vodne bilance kmetijskih rastlin in ugotavljanje sušnih stresnih obdobj pri rastlinah. Ker večjega dela kmetijskih rastlin v Sloveniji ne namakamo, se je po letu 2009 razvoj modela usmeril v sledenje vodne bilance nenamakanih rastlin ter ugotavljanje količinskega primanjkljaja vode za kmetijske rastline oziroma sušnega stresa. V zadnjem času pa je zaradi vse večjih težav s sušo in večjo potrebo po namakanju precej aktivnosti poleg spremljanja nenamakanih rastlin in razvoja suše usmerjeno tudi v uporabo modela za napoved namakanja.

Cilj uporabe modela je zmanjšanje števila namakanj in optimiziranje količine namakalne vode ob morebitnih napovedanih padavinah. Prvi poskusi spremljanja vodne bilance z napovedjo namakanja izbranih zelenjadnic in poljščin na Ptujsko-Dravskem polju so potekali v sodelovanju s kmetijsko svetovalno službo Kmetijsko-gozdarskega zavoda Maribor (KGZS – Zavod Maribor) v letih 2009 in 2010 v okviru projekta Alp Water Scarce, kar nekaj pa je tudi individualnih uporabnikov. Spremljanje vodne bilance na tem območju danes postaja že utečena praksa. Leta 2016 smo v okviru Ciljnoraziskovalnega programa »Zagotovimo si hrano za jutri« v projektu Natančnost napovedi namakanja TriN v sodelovanju z Biotehniško fakulteto nadgradili modela v kompleksnejši sistem, kar pomeni, da bo v prihodnosti mogoče spremljati vodno bilanco in napovedi namakanja za različne kulture in vodnozadrževalne sposobnosti tal. Model bo omogočil dostop do podatkov v realnem času. Modul za namakane rastline ima naslednje možnosti simulacije za različne kombinacije tla-rastlina-lokacija: izračun osnovnih členov vodne bilance, uporaba različnih tipov namakanja, shema brez namakanja, analiza namakalnih potreb. Rezultati modelskih vrednotenj za namakanje so pomembni za namakalce, so pa tudi primerne podlage pri načrtovanju vodnih zajetij za namakalne sisteme in za ekspertne študije vrednotenja sušnih razmer.

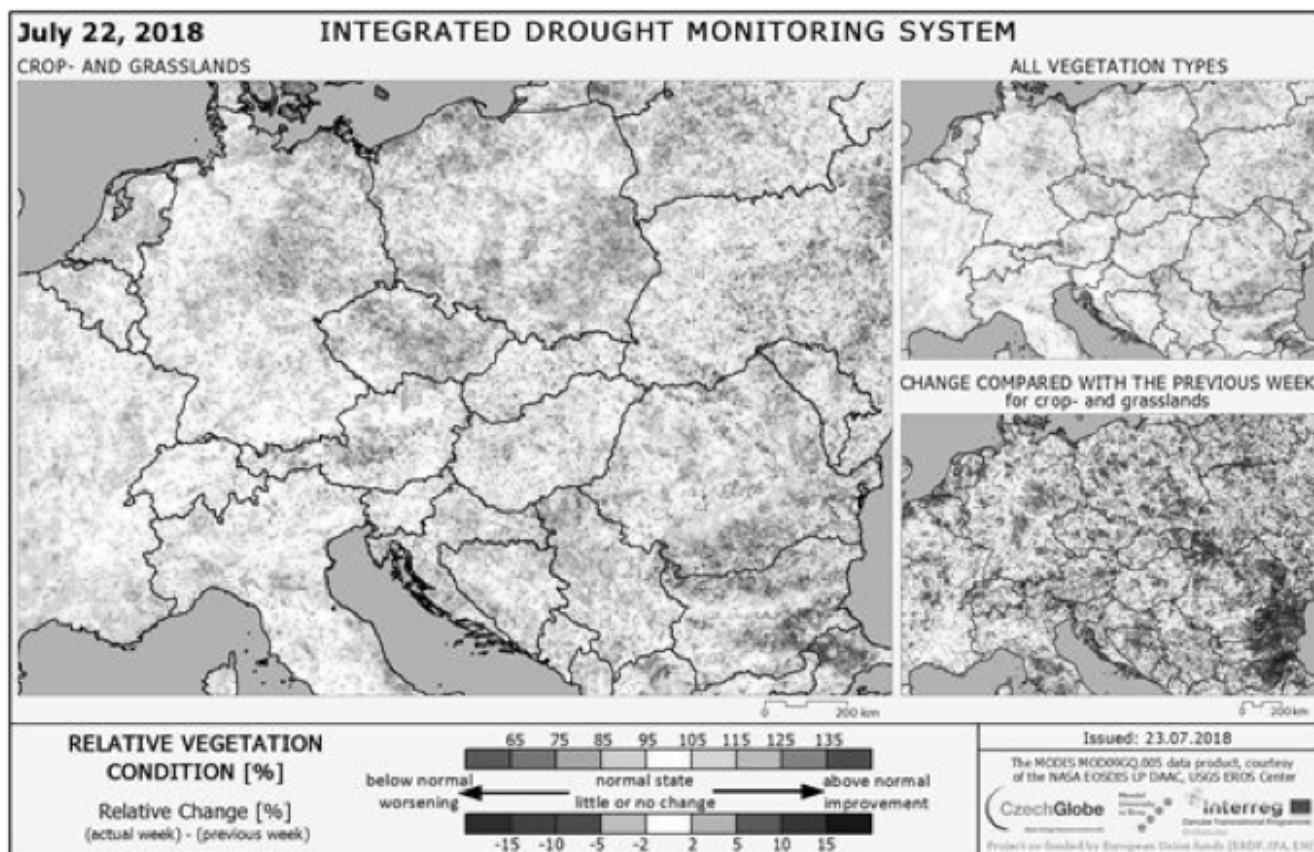


3.3. Satelitski podatki in sušni uporabniški servis

Za spremljanje suše danes veliko obetajo tudi podatki daljinskega zaznavanja s sateliti. Z njimi spremljamo odziv vegetacije na stresne razmere, ki jih lahko povzročijo različni dejavniki, med njimi tudi suša; z nekaterimi senzorji pa je mogoče meriti neposredno količino vode v površinskem sloju tal. Meritve potekajo v več frekvenčnih območjih, s pomočjo katerih je detektirano stanje vegetacije in je izraženo s t. i. vegetacijskimi indeksi (»osnovni« indeks NDVI – količina zelene biomase, določena iz svetlobe, FVC – del površine, pokrit z aktivno vegetacijo, LAI – delež zelene listne površine na enoto površine tal in fAPAR – delež absorbiranega sevanja v akcijskem spektru fotosinteze). Na ARSU za analizo kmetijske suše na nivoju lokalne ločljivosti od leta 2012 za določene točke uporabljamo modelsko izračunane vegetacijske indekse Evropske organizacije za uporabo meteoroloških satelitov Meteosat/LSA-SAF (EUMETSAT). S pomočjo indeksa FVC lahko sledimo spremembam vegetacije na različnih časovnih skalah. Z razvojem satelitskih tehnik, novih satelitov, lažje cenovne dostopnosti podatkov ter boljše prostorske ločljivosti se bo v prihodnosti izboljšalo tudi sledenje suše v operativni uporabi. Neprecenljiva podpora obveščanju o suši in prilagoditvenim ukrepom pa bodo produkti projekta DriDanube, zlasti Sušni uporabniški servis (DUS), ki temelji na podatkih daljinskega zaznavanja. V DUS-u podatki pokrivajo celotno območje partnerskih držav v Podonavju, od Češke do Črne gore in od Avstrije do Romunije. Po prvem letu trajanja projekta so v DUS-u že na voljo izvedeni sušni kazalci:

- Kazalec vlažnosti tal – SWI (Soil Water Index) prikazuje dnevne vrednosti odstopanja vsebnosti vode v koreninskem sloju tal (0–40 cm) od povprečja obdobja 2007–2016 za isti izbrani dan. Vrednosti je mogoče prikazati v prostorski ločljivosti 12,5 km ali 1 km.
- Število zaporednih dni z negativno vrednostjo kazalca vlažnosti tal SWI.
- Površinska vodna bilanca – SWB (Soil Water Balance) je ocenjena na podlagi simulacij numeričnih prognostičnih modelov v prostorski ločljivosti 7 km. Podatkovni niz zajema podatke med vegetacijsko sezono (april–september), kumulativna 10-dnevna vrednost je prikazana v percentilnih razredih glede na referenčno obdobje 1979–2016: spodnjih 5 % oz. 33 % porazdelitvene krivulje, ki predstavljajo sušne razmere, sredinskih 33 %, ki se obravnavajo kot normalno stanje, ter 33 % oz. 5 % porazdelitvene krivulje, ki predstavljajo mokre razmere.
- Normaliziran indeks vegetacije - NDVI (Normalized difference vegetation index) je izračunana vrednost, ki ocenjuje stanje vegetacije na podlagi njene fotosintetske aktivnosti. DUS prikazuje odstopanje vrednosti indeksa za izbrano 10-dnevno obdobje od dolgoletnega povprečja istega 10-dnevnega obdobja na 1-km skali. Kot referenčno je vzeto obdobje 1999–2016.
- Kazalec relativnega stanja vegetacije - VegCon (Relative Vegetation Condition) je izračunan na osnovi povprečne zelenosti rastlin in se uporablja kot kazalec sušnega stresa na vegetacijo. Je tedensko izračunana vrednost, ki temelji na podatkih daljinskega zaznavanja s pomočjo Nasinega senzorja za merjenje svetlobe MODIS. V DUS sta vključena kazalca VegCon1, ki se osredotoča na kmetijske kulture in travinje, in VegCon2, ki prikazuje relativno stanje vse vegetacije. Odstopanja vrednosti glede na referenčno obdobje 2000–2006 se prikazujejo v prostorski ločljivosti 5 km glede na glavne kate-

gorije rabe zemljišč. Na sliki 2 je prikazan kazalec relativnega stanja vegetacije med 9. in 22. julijem 2018, ki kaže sušno stanje vegetacije v centralni in severni Evropi.



Slika 2: Kazalec relativnega stanja vegetacije med 9. in 22. julijem 2018

Vir: DriDanube projekt, 2018. Dostopno na: <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/dridanube/section/drought-2018-watch> (dostopna barvna slika).

3.4. Brez terenskih ogledov ne gre – poročevalska mreža

Kakršnokoli sledenje suše s podatki daljinskega zaznavanja pa zahteva preverjanje na terenu. Sistematičnih podatkov o stanju vodne oskrbe ali sušnega stresa rastlin ni, večinoma je na voljo le škoda po že preteklem dogodku suše. S tem namenom v sklopu projekta DriDanube vzpostavljamo mrežo terenskih poročevalcev, ki bodo na tedenski osnovi poročali o stanju sušnosti na terenu, ti podatki pa bodo omogočali oceno natančnosti signalov meritev in modelskih izračunov na lokaciji poročanja. Večje število poročevalcev s terena pomeni več podatkov in boljšo oceno stanja tal in vegetacije ter pri suši tudi celovitejšo oceno posledic suše, ki bo predstavljena na kartah v zaključenih geografskih enotah v Sloveniji in tudi v širši regiji Podonavja. Cilj poročevalske mreže za sušo je pridobiti v poročevalsko mrežo čim več prostovoljcev, s čimer bomo povečali njeno gostoto in izboljšali kvaliteto ocene. Izkušnje projektnih partnerjev s Češke in Slovaške namreč kažejo, da je najučinkovitejši način delovanja poročevalske mreže prostovoljno vključevanje posameznikov, ki jih problematika in upravljanje suše tudi osebno zanima. Tak pristop k vzpostavljanju poročevalske mreže pa zagotavlja tudi trajnostno spremljanje razvoja suše, katere rezultat bo zaznavanje že zgodnjih signalov razvoja suše in tudi prve ocene njenih posledic, ki so ključne za učinkovi-



to obveščanje in ukrepanje ob suši. Informacije o razvoju suše z uporabo DUS-a in odzive poročevalskih mrež za regijo Podonavja objavljamo tedensko v obliki biltena Drought Watch 2018 na spletnih straneh projekta, za Slovenijo pa detajlnejši opis tudi na spletni strani ARSA: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/drought/>.

4. POTREBUJEMO POLITIKE ZA UPRAVLJANJE SUŠE

Vsako ukrepanje ob suši zahteva usmeritev, predpis in politiko. V zadnjih letih se je močno razvil monitoring suše, še vedno pa obstaja veliko pomanjkljivosti pri zgodnji kvantifikaciji različnih vrst suše (pragovi, kazalci) in njenih vplivov (manjkajoči sistematični podatki s terena). Velika vrzel pa ostaja pri iskanju povezav med analizami monitoringa in strateškim planiranjem. Suša je sicer v dokumentih omenjena, vendar zaenkrat na nivoju EU-ja še ne obstaja zavezujoč dokument za upravljanje suše. Z možnostmi, kam bi umestili politiko upravljanja suše, se ukvarjamo tudi v Sloveniji, delno pa bo odgovore podal tudi projekt DriDanube. Obenem pa kmetijska stroka išče še druge načine, kako ubraniti pridelek pred sušo, od diverzifikacije pridelave do iskanja odpornih rastlin proti suši, tehnik ohranjanja vlage v tleh, namakanja in drugih. Treba pa se je zavedati, da so namakalni sistemi dostopni le na 2,3 % kmetijskih zemljišč v Sloveniji (MKGP, 2017). Le-ti se premalo uporabljajo ali prepočasno širijo, razlogov za neuporabo še zadovoljivo dostopne vode je več: od neprimernih naravnih danosti, majhnosti kmetij do administracije, politike in socioloških razlogov vključno s še vedno premalo spoštljivim odnosom do vode. Različni pa so razlogi v regijah. Veliko vlogo pri izvedbi namakalnih sistemov pa imajo vztrajnost in sodelovanje ter dobra koordinacija (primer Ormoško-Ptujskega območja). Premalo je tudi samoiniciativnosti tistega, ki mu suša že nekaj let jemlje pridelek. To pomeni, da bo treba rešiti problem pogostejše suše v večjem delu slovenskega prostora. Sploh, če bo bolj vroče in suho v prihodnosti. V državah južne Evrope, kot so Grčija, Italija, Portugalska, Ciper, Španija in južna Francija, je zaradi sušnih ali polsušnih pogojev namakanje nujno. Na teh območjih se skoraj 80 % vode v kmetijstvu porabi za namakanje (EEA, 2017). Na roke izvedbi namakanja in reševanju problematike suše pa prav gotovo ne gre mokro leto po seriji suhih. Z uporabo ustreznih kmetijskih praks in dobrih politik lahko dosežemo precej učinkovitejšo rabo vode v kmetijstvu, kar pomeni več vode za druge namene uporabe.

LITERATURA IN VIRI

1. Agencija RS za okolje (ARSO), 2017. Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: Povzetek temperaturnih in padavinskih povprečij. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO. Dostopno na: <http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/povzetek-podnebnih-sprememb-temp-pad.pdf> [26. 7. 2018].
2. Agencija RS za okolje (ARSO), 2018. Medletna in prostorska spremenljivost temperature, višine padavin in trajanja sončnega obsevanja glede na referenčno tridesetletno obdobje 1981–2010 (časovni trakovi). Dostopno na: http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/casovni_trakovi/ [26. 7. 2018].
3. DriDanube, 2018. DriDanube project - Drought Risk in the Danube Region. Dostopno na: <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/dridanube> [26. 7. 2018].
4. European Drought Centre, 2018. Factsheets of EDO indicators. Dostopno na: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edo2/php/index.php?id=1101> [26. 7. 2018].



ZAVAROVALNA VREDNOST NARAVE: ISKANJE SINERGIJ

**dr. Polona PENGAL¹, Blaž COKAN², Zdravko KOZINC³, dr. Raffaele GIORDANO⁴,
dr. Alessandro PAGANO⁵, Roxane MARCHAL⁶, dr. Guillaume PITON⁷,
dr. Jean-Marc TACNET⁸**

Povzetek

V preteklosti je bilo glavno vodilo upravljanja voda njihovo čim hitrejšo odvajanje iz prostora ter kanaliziranje strug, kar pa dokazano povečuje poplavno ogroženost (O'Connell idr., 2007). Na podlagi strokovnih dokazov pa se je v zadnjem desetletju po svetu močno razširila uporaba rešitev, ki temeljijo na naravi (angl. nature-based solutions). V evropskih dokumentih so opredeljene kot aktivnosti za reševanje izzivov družbe, ki jih navdihuje in podpira narava, so stroškovno učinkovite, sočasno zagotavljajo okoljske, družbene in ekonomske koristi ter pripomorejo k povečanju odpornosti (Raymond idr., 2017). Nepoznavanje teh rešitev ter pomanjkanje dokazov o njihovi učinkovitosti predstavlja veliko oviro pri njihovem prenosu v prakso. V projektu NAIAD na primeru porečja Glinščice razvijamo postopke za strokovno podprto in usklajeno načrtovanje in izvedbo protipoplavnih rešitev, ki temeljijo na naravi. S sodelovanjem z deležniki želimo lokalnim skupnostim in državnim institucijam prikazati večstranske koristi na naravi temelječih rešitev za vodo.

Ključne besede: deležniki, ekološko stanje, narava, poplave, rešitve, upravljanje voda

Abstract

Historical land and water management practices focused on channelling water from the land as fast as possible, which effectively rises flood risk downstream (O'Connell et al., 2007). With the rising amount of scientific evidence, implementation of new, nature-based solution (NBS) measures has taken a leap forward. Europe defines these measures as activities that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience (Raymond et. al., 2017).

¹ Dr. Polona Pengal, univ. dipl. biol., Zavod REVIVO

² Blaž Cokan, univ. dipl. geog., Zavod REVIVO

³ Zdravko Kozinc, univ. dipl. pol., Zavod ISKRIVA

⁴ Dr. Raffaele Giordano, IRSA-CNR - Institute for Water Research, Italija

⁵ Dr. Alessandro Pagano, IRSA-CNR - Institute for Water Research, Italija

⁶ Roxane Marchal, Caisse Centrale de Réassurance, Francija

⁷ Dr. Guillaume Piton, Univ. Grenoble Alpes, IRSTEA – National Institute for Environmental Science and Research, Francija

⁸ Dr. Jean-Marc Tacnet, MSc. Eng., Univ. Grenoble Alpes, IRSTEA – National Institute for Environmental Science and Research, Francija

The lack of awareness and evidence of their effectiveness has been recognized as the most important barrier to their mainstreaming. The NAIAD project aims to develop a decision support system for harmonized planning and implementation of NBS measures for flood protection. Through participatory stakeholder engagement we will raise awareness of local and national level stakeholders on multiple benefits of NBS.

1. UVOD

Agenda Združenih narodov za trajnostni razvoj (Združeni narodi, 2015) določa temeljne usmeritve trajnostnega razvoja, ki zahtevajo celosten in interdisciplinarni način reševanja številnih izzivov današnjega časa. Sočasno zagotavljanje okoljskih, družbenih in ekonomskih koristi zahteva usklajeno raziskovalno-razvojno dejavnost različnih znanstvenih disciplin, ki si v tradicionalni ureditvi znanosti nasprotujejo (npr. gradbeništvo in varstvo okolja).

Doseganje dobrega ekološkega stanja celinskih vodnih ekosistemov je poleg ustreznega vzdrževanja vodnih teles in čiščenja odpadnih vod odvisno tudi od naše sposobnosti omejevanja in usklajevanja vplivov sektorjev, kot so npr. kmetijstvo, energija in transport, ki se izražajo v okolju preko prostorskega razvoja in njegovega načrtovanja. Urbanizacija počasi, a zanesljivo nadomešča naravna območja, ne da bi se sploh zavedali, kaj vse nam preko ekosistemskih storitev ta območja nudijo.

Hidromorfološka spremenjenost in posledično spremenjeni habitati so najpogostejši pritisk z negativnim vplivom na reke, jezera in prehodna območja v Evropi (EEA, 2012). Ravno hidromorfološki procesi v naravnih vodnih telesih pa so tisti, ki zagotavljajo raznolikost habitatov ter največje število ekosistemskih storitev. Med drugim nam naravna območja zagotavljajo tudi varnost pred naravnimi nesrečami, kot so poplave, suše, plazovi in požari. V letu 2017 je bila zabeležena rekordna višina izplačanih premij za škodo zaradi naravnih nesreč, pri čemer največjo nevarnost za človeško družbo predstavljajo ravno z vodo povezane nesreče (Munich Re, 2017; Swiss Re, 2017).

V preteklosti je bilo glavno vodilo upravljanja z vodami čim hitrejše odvajanje le-teh iz prostora s kanaliziranjem strug in drugimi regulacijskimi posegi, kar pa dokazano povečuje poplavno ogroženost (O'Connell idr., 2007). Poleg tega neustrezni vzorci urbanizacije omogočajo poselitev poplavnih in drugih visoko tveganih območij, intenziviranje kmetijstva pa zmanjšuje zadrževalno sposobnost tal. Končno, pomanjkanje strateškega načrtovanja upravljanja z vodami na nivoju porečij, ki upošteva celovitost porečja, rabo tal celotne zbirne površine ter dolvodno propagacijo vodnih tokov, se odraža v stalnem naraščanju škod zavarovanega in nezavarovanega imetja zaradi posledic naravnih nesreč (Swiss Re, 2017; Munich Re, 2017; Marchal, 2017; Moncoulon idr., 2016).

Po vzoru zdravstvenega sistema tako zavarovalnice kot upravljavci prostora vedno več pozornosti namenjajo izvajanju preventivnih ukrepov, kar predstavlja začetek prehoda od ex-post do ex-ante paradigme upravljanja tveganj (Marchal idr., 2018). Skladno s spoznanji o pomenu



ohranjanja naravnih ekosistemov za človeško družbo v luči klimatskih sprememb predstavlja rešitev uvajanje na naravi temelječih rešitev v strategije upravljanja tveganj.

Na naravi temelječe rešitve družbenih izzivov so tiste, ki jih navdihuje in podpira narava, so stroškovno učinkovite, sočasno zagotavljajo okoljske, družbene in ekonomske koristi ter krepijo odpornost. Takšne rešitve preko lokalno prilagojenih, učinkovitih in sistemskih posegov prinesejo več narave ter bolj raznovrstne naravne oblike in procese v mesta, kopenske in morske krajine (Evropska komisija, 2015).

V zadnjih 20 letih so bili dani številni predlogi za izboljšanje ekološkega stanja Glinščice z različnimi renaturacijskimi posegi, ki bi hkrati izboljšali tudi poplavno varnost dolvodno ležečih ogroženih območij. Ideje teh predlogov so našle svoj prostor v Občinskem prostorskem načrtu, in sicer v strateškem delu dokumenta kot: »Ljubljano, Ižico, Mali Graben, Gradaščico in Glinščico je treba obnoviti oziroma obogatiti tako, da bo dosežen boljši ekološki status voda in bo izboljšana njihova samočistilna sposobnost.«; na žalost pa še niso bile prenesene v izvedbeni del (Odlok o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana, Uradni list RS, št. 78/10, 10/11 – DPN, 72/13 – DPN, 92/14 – DPN, 17/15 – DPN, 50/15 – DPN, 88/15 – DPN, 12/18 – DPN in 42/18). Glinščica je tudi ena izmed prednostnih rek za izvedbo renaturacije v Programu upravljanja sladkovodnih rib Slovenije do leta 2021 (Vlada Republike Slovenije, 2015).

Glavni izziv porečja Glinščice se tako kaže v usklajevanju številnih interesov na tem območju, med katerimi je ključnega pomena prav zagotavljanje poplavne varnosti. Porečje je bilo v projektu NAIAD zato izbrano kot vzorčni primer za razvoj inovativnega procesa iskanja sinergij interesov deležnikov in pripravo strategije izkoriščanja zavarovalne vrednosti narave na tem območju.

2. MATERIAL IN METODE

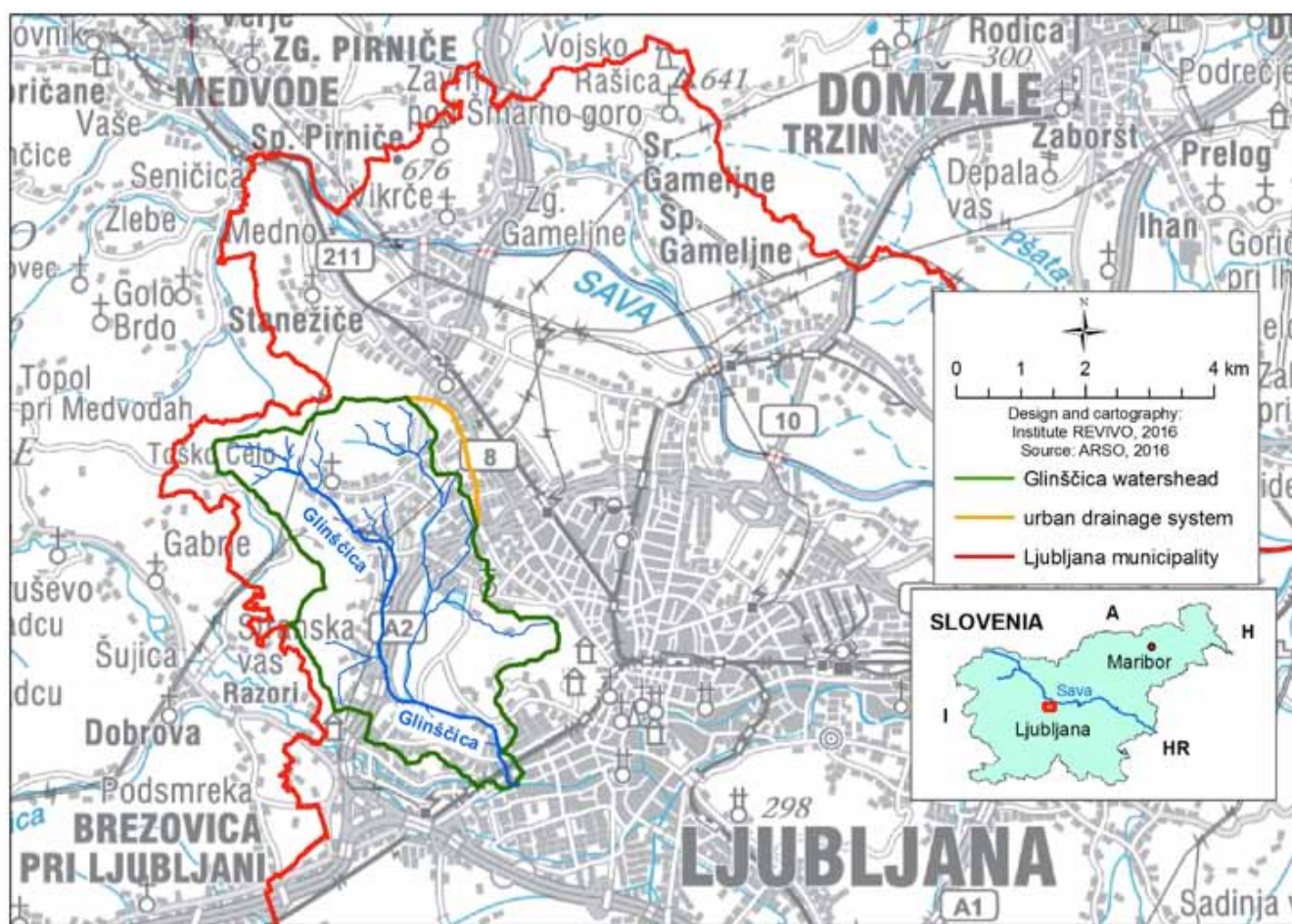
V okviru projekta NAIAD razvijamo nove načine upravljanja vode in z njo povezanih tveganj, ki prepoznavajo pomen naravnih območij pri zagotavljanju poplavne varnosti kot glavno korist. V projektu izvajamo strokovne analize, s katerimi želimo odločevalcem priskrbeti konkretne podatke o učinkovitosti na naravi temelječih rešitev za doseganje tako poplavne varnosti, kot drugih sočasnih koristi. V Sloveniji je bilo za pilotno območje izbrano porečje Glinščice v Mestni občini Ljubljana (MOL), ki je skladno s svojo strategijo trajnostnega razvoja tudi strateški partner projekta.

2.1. Opis območja

Porečje Glinščice se v celoti nahaja znotraj meja MOL-a, ki na območju 275 km² združuje 284.000 prebivalcev (slika 1). Pilotno območje pokriva 7,01 % površine občine, vključuje 5 četrtnih skupnosti (Dravljje, Šiška, Rožnik, Vič, Šentvid) in na njem živi 8,17 % (23.200) prebivalcev MOL-a, od katerih prav vsak posameznik predstavlja deležnika v procesu iskanja si-

nergij prostorskega razvoja. Glinščica izvira visoko v Polhograjskem hribovju (409 m) in se že po 8,4 km na Viču izliva v Gradaščico, kar se odraža v njenem izredno hudourniškem značaju.

Naravno vodozbirno območje Glinščice obsega 17,4 km², vanjo pa je dodatno umetno speljana tudi meteorna voda Šentvida s površine 1,9 km². Odtočne karakteristike, ki so odvisne predvsem od vegetacijskega pokrova, prepustnosti pedološke podlage in velikosti utrjenih urbanih površin, so zaradi raznolikosti terena na območju porečja zelo različne (Balant, 2006). V kombinaciji s klimatskimi spremembami (redkejša, a intenzivnejša padavina), intenzivno regulacijo rečnega korita ter izrazito spremembo rabe tal na porečju v zadnjih 100 letih že tako hudourniška Glinščica povzroča poplave Viča in Rožne doline.



Slika 1: Pilotno območje v Sloveniji – porečje Glinščice v Mestni občini Ljubljana

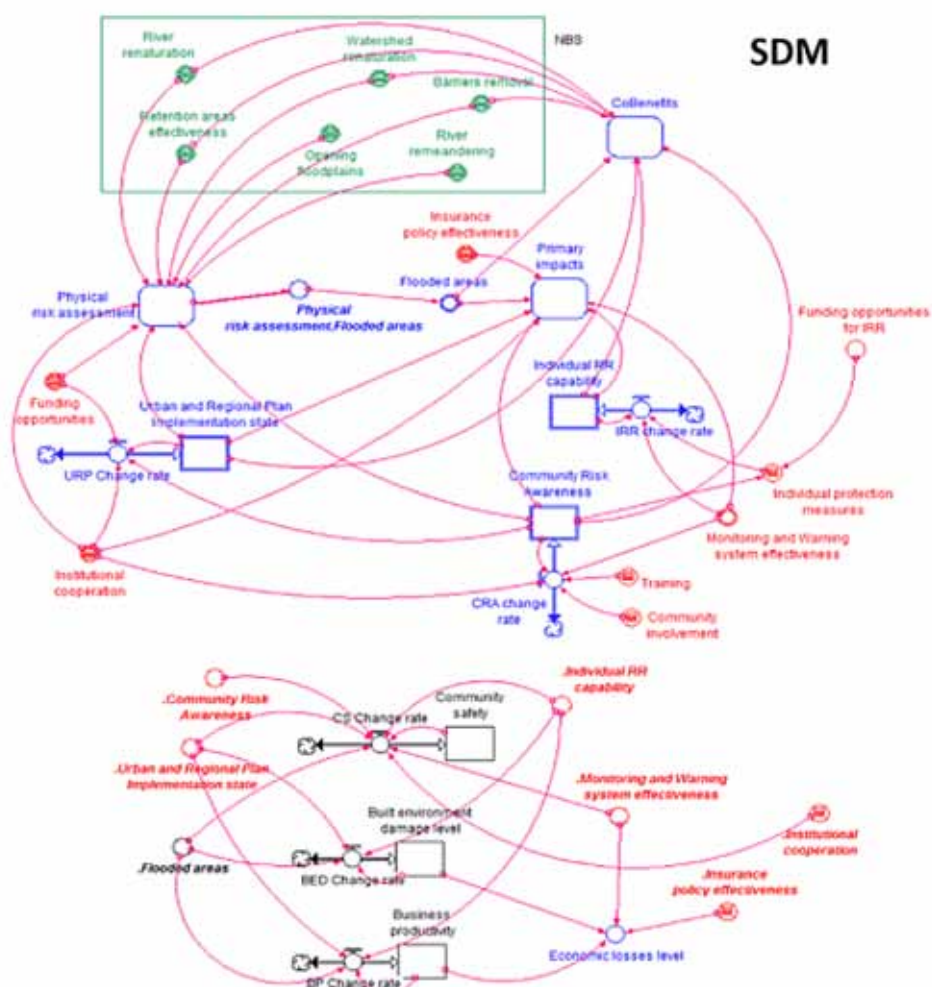
Regulirana struga Glinščice je v spodnjem toku že nekaj desetletij ujeta v betonsko korito, mi-lejše oblike regulacije pa segajo po vodotoku navzgor do hribovitega površnega dela. Glinščica je uvrščena v drugi razred ekološke občutljivosti vodnih teles, vendar ni uvrščena v monitoring po Vodni direktivi. Kljub temu je bilo na njej narejenih več ekoloških raziskav (Štendler, 2008; Kereži, 2007; Koprivšek, 2006; Polž idr., 2004, Šumer idr., 2004), ki kažejo slabo ekološko stanje vodotoka, in zato pripravljenih predlogov za renaturacijo (Rusjan idr., 2003; Balant, 2006), ki bi vsaj na posameznih odsekih reke izboljšali degradirano stanje.



2.2. Metode

Glavni cilj projekta NAIAD je razviti naravne zavarovalne sheme (NZS; angl. NAS – Natural Assurance Scheme), ki bodo z umeščanjem na naravi temelječih rešitev v urbana in ruralna območja poleg poplavne varnosti zagotavljale še številne druge koristi. To bomo dosegli s pomočjo integracije, ki jo v projektu NAIAD razumemo kot povezovanje in uporabo znanj med različnimi znanstvenimi disciplinami na eni strani ter kot vključevanje vseh deležnikov v strateško odločanje in načrtovanje na drugi strani. Razvoj NZS-jev zajema 4 delno prekrivajoče procese: biološko-fizikalno analizo tarčnega območja, sociološko analizo zavedanja tveganj, ekonomsko vrednotenje možnih rešitev ter integracijo najučinkovitejših rešitev v NZS-jih.

Biološko-fizikalna analiza poskrbi za integracijo naravoslovno-tehniških karakteristik območja, na podlagi katerih se pripravi ekološko in tehniško najustreznejši nabor rešitev ter zagotovi oceno biološko-fizikalnih posledic izvedbe posameznega predlaganega ukrepa. Pregledali smo dostopno literaturo in obstoječe modele ter za modeliranje poplavnih vod in učinkovitosti predlaganih ukrepov razvili hidrološko-hidravlični model porečja Glinščice (slika 2). Povezana modela upoštevata tako vpliv rabe prostora na potek zbiranja vode s porečja (zadrževalna sposobnost površja) kot transport vode in spremljajoče fizikalne procese, ki potekajo v sami strugi.



Slika 2: Prikaz Sistemskega dinamičnega modela, izdelanega za porečje Glinščice

Sociološka analiza zajema raziskavo zavedanja tveganj in institucionalnih razmerij med deležniki ter njihovo nepretrgano vključevanje v celoten proces razvoja NZS-jev. Namen vključevanja deležnikov je dosežen, če se aktivno vključujejo v vsak korak procesa strateškega načrtovanja ter posledično ponotranjijo predlagane rešitve, saj razumejo njihove koristi. S tem zagotovimo uspešno in neovirano izvedbo ukrepov ter dolgoročno skrb in sodelovanje vseh deležnikov pri upravljanju novih naravnih območij. Po načelu snežene kroglice smo ob začetku projekta izvedli kartiranje deležnikov. Z njimi smo opravili prvi krog intervjujev, v katerem smo raziskali njihovo razumevanje nevarnosti in ogroženosti na porečju Glinščice ter medinstitucionalna razmerja.

Druga faza integracije poteka z ekonomskim vrednotenjem, v okviru katerega primerjamo t. i. »scenarij ustaljene prakse« z enim ali več scenariji, ki uvajajo na naravi temelječe rešitve. Glavni cilj projekta NAIAD je raziskati zavarovalno vrednost narave na primeru tveganj, povezanih z vodo, kar pomeni, da morajo vsi izbrani ukrepi doprinesti k zmanjševanju poplavne ogroženosti. Velika prednost na naravi temelječih rešitev pred sivimi ukrepi pa je v njihovi sposobnosti zagotavljanja večjega števila koristi. Prav namen ekonomskega vrednotenja je raziskati vrednost teh dodatnih koristi v primerjavi s sivimi ukrepi.

Ekonomska analiza upošteva tako stroške (izvedbe ukrepov, upravljanja, škode) kot oceno koristi (ekosistemskih storitev in socialnih vrednot) za določeno dolgoročno obdobje, ki se ga določi glede na pričakovano učinkovitost izbranih ukrepov. Zaradi njihove »naravnosti« je polna učinkovitost na naravi temelječih ukrepov pogosto dosežena šele nekaj let po izvedbi, prav tako pa se razlike v upravljaljskih stroških pokažejo šele v daljšem časovnem obdobju.

Na podlagi takšne celostne analize tarčnega območja lahko odločevalcem (deležnikom) prikažemo ekološke, socialne in ekonomske posledice omejenega števila možnih predlaganih rešitev (scenarijev) ter jim na ta način olajšamo sprejemanje odločitev, ki bodo skladne z njihovimi dolgoročnimi strateškimi cilji. Rezultate analiz v zadnjem koraku s pomočjo Sistemkega dinamičnega modela (angl. SDM – System Dynamic Model; slika 2) združimo v celovit model tarčnega območja, ki nam nato omogoča razvoj specifičnih NZS-jev, vključno z dolgoročnim poslovnim načrtom.

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

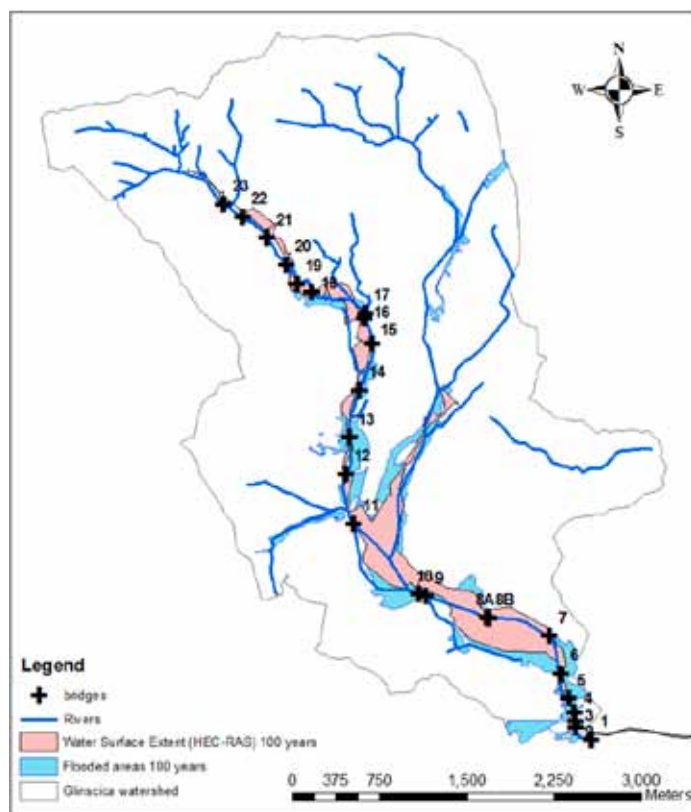
V nadaljevanju predstavljamo prve rezultate biološko-fizikalne ter sociološke analize, izvedene v okviru projekta NAIAD za porečje Glinščice, ter vhodne parametre, ki so jih deležniki porečja v soustvarjalnem procesu določili na podlagi rezultatov strokovnih analiz. Kot že omenjeno, analize ne potekajo zaporedno, temveč se prepletajo in dopolnjujejo ter tako omogočajo integracijo vseh pomembnih dejavnikov tveganja.

3.1. Biološko-fizikalne značilnosti porečja Glinščice

Poleg obstoječih načrtov za izgradnjo suhih zadrževalnikov so bili za hidrološko-hidravlično analizo v sodelovanju z deležniki izbrani naslednji 4 najpomembnejši na naravi temelječi ukrepi: ponovna vzpostavitev meandriranja, odpiranje poplavne ravnice, preprečevanje plavljenja



debel, vej in listov ter ponovna zasaditev vegetacije za preprečevanje erozije. Vse izbrane ukrepe bi bilo treba ustrezno umestiti na ruralno območje srednjega in zgornjega toka Glinščice, torej gorvodno od ogroženih urbanih površin. Pri tem implementacija na naravi temelječih rešitev ne ogroža kmetijskih dejavnosti na tem območju.



Slika 3: Primer razlivanja 100-letnih poplavnih vod z uporabo modela porečja Glinščice HEC RAS

Vsi izbrani ukrepi so učinkoviti pri zadrževanju poplavnih vod, vendar se učinkovitost med posameznimi ukrepi močno razlikuje in je odvisna tudi od intenzitete in trajanja poplavnega dogodka. Čeprav smo za nekatere ukrepe ugotovili nizek vpliv na zmanjševanje poplavne ogroženosti, pa imajo ti posegi številne druge sočasne koristi, katerih vrednost so deležniki v okviru ekonomskih analiz ocenili kot visoko.

Bistvenega pomena za zmanjševanje tveganj so tudi dimenzioniranje in umestitev ukrepov v prostor, ki omogočajo doseganje kar največje učinkovitosti izbranih ukrepov. Zavarovalna vrednost naravnih območij se v tem modelu kaže v zmanjšanem obsegu poplavnih vod ter posledično manjši ogroženosti zdravja ljudi ter škodi na infrastrukturi.

Ker pa poleg poplavne varnosti vsi izbrani ukrepi omogočajo tudi dodatne koristi za okolje in človeka, lahko npr. s kombiniranjem ponovne vzpostavitve meandriranja struge ter odpiranja poplavnih ravnin dosežemo razlivanje poplavnih vod na območjih, kjer ne bo ogroženo življenje ljudi ali infrastruktura, ter hkrati zagotovimo naravno območje z visoko biotsko pestrostjo, ki je poleg tega uporabno tudi za rekreacijo in turizem.

Glede na rezultate modeliranja (slika 3) bodo tako v naslednjem koraku deležniki določili najustreznejše kombinacije ukrepov (scenariji) in njihove velikosti ter jih umestili v prostor, nato pa bomo z razvitimi modeli ocenili njihovo učinkovitost pri zagotavljanju poplavne varnosti.

3.2. Zavedanje tveganj na porečju Glinščice

Na podlagi analize odgovorov intervjujev so deležniki določili 5 glavnih nevarnosti, ki povečujejo tveganje za poplave na porečju Glinščice: poselitev poplavne ravnice, stanje ekosistemov, pomanjkanje javnih financ, ogroženost prebivalcev in hitrost vodnega toka. Na podlagi prepoznanih groženj so na delavnici nato oblikovali 5 glavnih ciljev prihodnjega upravljanja porečja Glinščice. Treba je:

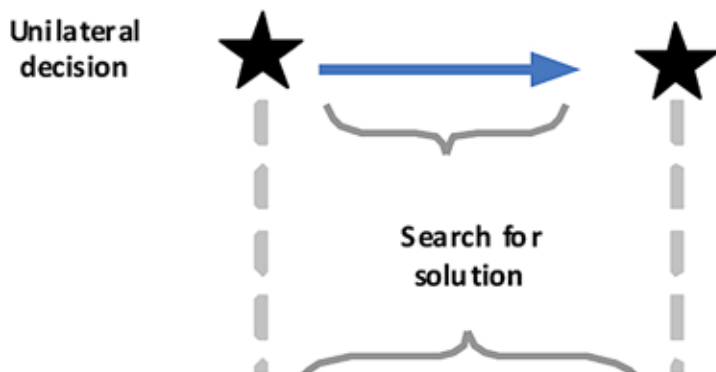
1. preprečiti nadaljnje poseljevanje poplavnih ravnin Glinščice,
2. izboljšati stanje ekosistemov na porečju Glinščice,
3. povečati vložek javnih sredstev v upravljanje porečja Glinščice,
4. povečati varnost prebivalcev,
5. znižati hitrost vodnega toka.

Pričakovano je institucionalna analiza v povezavi z rezultati intervjujev pokazala, da so iz različnih razlogov za upravljanje tveganj, povezanih z vodo, najpomembnejši deležniki MOL – varnost prebivalcev, ZRSVN – ohranjanje narave in MKGP – varstvo kmetijskih površin. Ti deležniki so zainteresirani za izboljšanje razmer in imajo hkrati tudi odločevalsko moč. Sledijo deležniki, ki imajo veliko odločevalsko moč, vendar izkazujejo nizko stopnjo interesa – MOP in DRSV ter zavarovalnice. Deležniki z veliko mero interesa, a majhno odločevalsko močjo, so: CIPVLJ, RD Dolomiti, Četrtna skupnost Dravlje, URSZR in ZZRS.

Vključevanje lokalnega prebivalstva se je izkazalo kot zelo učinkovito tako v smislu iskanja rešitev kot v smislu njihovega sodelovanja pri urejanju območja, na katerem živijo. Zaznali smo veliko razliko med prebivalci urbanih in ruralnih območij v smislu interesa za skupno oblikovanje ukrepov in načrtovanja. Medtem ko sodelujočim prebivalcem urbanih delov porečja zadostuje seznanitev s procesom načrtovanja in predlaganimi ukrepi, prebivalci ruralnih območij želijo aktivno sodelovati pri izbiri, načrtovanju in izvedbi ukrepov. Takšen rezultat je skladen z rezultati študij drugod po svetu (Wilkinson, 2010) in je posledica načina življenja, pri katerem so ruralni prebivalci lastniki večjih površin, od katerih so tudi bolj odvisni in jih skrbno upravljajo ter so zato tudi aktivnejši pri določanju kakršnihkoli sprememb upravljanja, ki bodo vplivale na uporabnost teh površin. Posledično se skrajša celoten potek od pobude do implementacije (slika 4).



Stakeholder involvement



Slika 4: Prikaz običajnega postopka odločanja in odločanja po postopku sodelovanja z deležniki

3.3. Izhodišča za ekonomsko vrednotenje

V drugem krogu intervjujev z deležniki smo raziskali njihovo vrednotenje glavnih in sočasnih koristi, ki jih zagotavljajo izbrani, na naravi temelječi ukrepi. Skladno s prepoznanimi tveganji in zastavljenimi dolgoročnimi cilji so deležniki kot najpomembnejše koristi, ki jih želijo doseči z izbranimi ukrepi, prepoznali znižanje poplavnega viška, povečano zadrževalno sposobnost zelenih površin, večji nadzor nad hitrostjo vodnega toka, zmanjšan odtok deževnice ter posledično zmanjševanje škode na infrastrukturi in stavbah ter večji delež prebivalcev, zaščiteneh pred poplavami. Te koristi so neposredno vezane na zavarovalno vrednost narave, saj posredno vplivajo na znižanje vrednosti izplačanih zavarovalnih premij preko znižanja pogostosti in obsega poplav.

Poleg teh koristi, ki so neposredno povezane z zniževanjem poplavnih tveganj in so prepoznane kot glavne koristi, so deležniki kot najpomembnejše sočasne koristi izpostavili predvsem povišanje biotske pestrosti, izboljšanje stanja ekosistemov in zelenih površin, povečanje institucionalnega sodelovanja, zmanjševanje erozije tal ter povečanje socialne vrednosti urbanih ekosistemov. Čeprav na naravi temelječe rešitve na kratki rok vnašajo v upravljanje tveganj večjo mero nepredvidljivosti, dolgoročno vrednost njihovih sočasnih koristi običajno presega potencialne nevarnosti, ki jih je mogoče z dopolnilnimi ukrepi zelo omejiti ali celo izničiti.

Dodatno lahko učinkovitost zagotavljanja sočasnih koristi izboljšamo z izvajanjem t. i. mehkih ukrepov, vezanih na institucionalne in vedenjske procese. Sodelujoči deležniki so izbrali naslednje mehke ukrepe, ki bodo po njihovem mnenju prispevali k zagotavljanju glavnih in sočasnih koristi: uveljaviti izvajanje strategij prostorskega načrtovanja, uvajanje trajnostnih metod prostorskega načrtovanja, nadzorovanje območij (nelegalne aktivnosti), izvajanje projektov, ki ciljajo na sodelovanje lokalnih skupnosti, določitev inovativnega protokola sodelovanja med različnimi institucijami in privabljanje novih investorjev.

4. ZAKLJUČEK

V Sloveniji se kaže velika potreba po usklajenem in celostnem strateškem načrtovanju upravljanja tveganj, povezanih z vodo, saj sta dva najpomembnejša ter povsem prepletena in povezana cilja (zagotavljanje dobrega ekološkega stanja voda in poplavne varnosti) določena v dveh ločenih nacionalnih načrtih (NUV in NZPV), ki si pogosto nasprotujeta. Usklajeno reševanje obeh glavnih izzivov upravljanja voda današnjega časa bi pripomoglo tako k večji učinkovitosti izvedenih ukrepov kot uspešnejšemu doseganju zastavljenih ciljev obeh načrtov, posledično pa bi omogočili tudi načrtovanje in izvajanje tistih ukrepov, za katere v obstoječem sistemu primanjkuje sredstev.

Čeprav mnenja posameznih visoko specializiranih deležnikov občasno nekoliko odstopajo od mnenja večine pri majhnem številu parametrov, se vsi deležniki strinjajo, da je institucionalno sodelovanje največji izziv upravljanja voda. Zbliževanje stališč in usklajevanje interesov je mogoče le ob sodelovanju vseh deležnikov in njihovi pripravljenosti na iskanje sinergij ter sklepanje kompromisov. Izobraževanje in ozaveščanje odločevalcev, ki niso neposredno vključeni v načrtovalske aktivnosti, je zato bistvenega pomena za sprejemanje odločitev o takšnem načrtovanju in upravljanju, ki bo zagotavljajo kar največ koristi za vse. Rezultate raziskav je zato treba posredovati vsakemu deležniku na njemu sprejemljiv način, s čimer zagotovimo njegovo nadaljnje sodelovanje in pripravljenost na sklepanje kompromisov.

Po svetu je vloga zavarovalnic pri upravljanju tveganj že prepoznana kot eden glavnih deležnikov v smislu spodbujanja sprememb na strateškem nivoju in kot investitorjev. Naraščanje števila in intenzivnosti naravnih nesreč jih sili v revizijo poslovnih praks in razvoj novih zavarovalnih shem, ki bodo temeljile na prispevku vseh deležnikov k prilagajanju na prihajajoče globalne spremembe.

ZAHVALA

Projekt financira raziskovalni in razvojni program Evropske unije Obzorje 2020 po pogodbi št. 730497. Zahvaljujemo se vsem, ki so sodelovali pri izvajanju intervjujev in se udeležili delavnic. Posebna zahvala gre g. Kusu in g. Koželju za njuno podporo pri izvajanju projekta.

LITERATURA IN VIRI

1. Balant, M., 2006. Usmerjanje urejanja reguliranih vodotokov v primestnem in mestnem prostoru – primer urejanja doline Glinščice. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani.
2. EEA, 2012. European waters – current status and future challenges: Synthesis. EEA Report No 9/2012. Copenhagen.
3. Evropska Komisija, 2015. Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities.
4. Kereži, V., 2007. Makroinvertebratska združba potoka Glinščica. (Macroinvertebrate community of Glinščica stream.) Graduation Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology. pp. 91.
5. Koprivšek, M., 2006. Ekohidrološke raziskave na potoku Glinščica. (Ecohydrological investigations on the Glinščica stream.) Graduation Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology. pp. 100.



6. Marchal, R., Piton G., Tacnet, J-M., Zorrilla-Miras, P., Lopez-Gunn, E., Moncoulon, D., Altamirano, M., Matthews, J., Joyce J., Nanu, F., Groza I., Peña, K., Dartée K., Pengal, P., Cokan, B., van der Keur, P., Burke, S., Graveline, N., 2017. Milestone 4 - European survey on insurance systems and Natural Assurance Schemes (NAS). EU Horizon 2020 NAIAD Project, Grant Agreement N°730497.
7. Moncoukon, D., Veyssiere, M., Naulin, J.P., Wang, Z.X., Tinardi, P., Desarthe, J. Hajji, C., Onfroy, T., Regimbeau, F., in Deque, M., 2016. Modelling the evolution of the financial impacts of flood and storm surge between 2015 and 2050 in France. In: Proceedings of the 10th International Conference on Risk Analysis (RISK 2016).
8. Munich Re, 2017. Natural catastrophes 2016 Analyses, assessments, positions, 2017 issue. Munich Re - Topics Geo.
9. O'Connell, P. E., Ewen, J., O'Donnell, G., Quinn, P. F., 2007. Is there a link between agricultural land-use management and flooding? Hydrological earth. Syst Sci 11(1): 96–107.
10. Odlok o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana – izvedbeni del. Uradni list RS, št. 78/10, 10/11 – DPN, 22/11 – popr., 43/11 – ZKZ-C, 53/12 – obv. razl., 9/13, 23/13 – popr., 72/13 – DPN, 71/14 – popr., 92/14 – DPN, 17/15 – DPN, 50/15 – DPN, 88/15 – DPN, 95/15, 38/16 – avtentična razlaga, 63/16, 12/17 – popr., 12/18 – DPN in 42/18.
11. Odlok o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana – strateški del. Uradni list RS, št. 78/10, 10/11 – DPN, 72/13 – DPN, 92/14 – DPN, 17/15 – DPN, 50/15 – DPN, 88/15 – DPN, 12/18 – DPN in 42/18.
12. Ogrin, D., 2004. Modern climate change in Slovenia. Slovenia: a geographical overview. Ljubljana: 45–50.
13. Raymond, C. R., Berry, P., Breil, M., Nita, M.R., Kabisch, N., de Bel, M., Enzi, V., Frantzeskaki, N., Geneletti, D., Cardinaletti, M., Lovinger, L., Basnou, C., Monteiro, A., Robrecht, H., Sgrigna, G., Muhari, L., Calfapietra, C., 2017. An Impact Evaluation Framework to Support Planning and Evaluation of Nature-based Solutions Projects. Report Prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Centre for Ecology & Hydrology, Wallington, United Kingdom.
14. Rusjan, S., Fazarinc, R., Mikoš, M., 2003. Možnosti za revitalizacijo urbanih vodotokov na primeru Glinščice v Ljubljani. Acta Hydrotechnica, 21, 34: 1–22.
15. Swiss Re, 2017. Preliminary sigma catastrophe estimates for 2017. Swiss Re, Zurich.
16. Štendler, E., 2008. Perifitonska združba v potoku Glinščica. (Periphyton community in Glinščica stream.) Graduation Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology. pp. 107.
17. Šumer, S., Povž, M., Brilly, M., 2004. Vpliv regulacije na ribe reke Glinščice. (Effect of regulations on fish in Glinščica River.) Aktualni projekti s področja urejanja voda. Mišičev vodarski dan 2004: 71–181. Dostopno na: <http://mvd20.com/LETO2004/R23.pdf> [24. 10. 2017].
18. Vlada Republike Slovenije, 2015. Program upravljanja rib v celinskih vodah Slovenije za obdobje do leta 2021. (Fish management program for continental waters of Slovenia for the period until 2021.) Government of the Republic of Slovenia. pp. 138.
19. Združeni narodi, 2015. Spreminjajmo naš svet: agenda za trajnostni razvoj do leta 2030.



»Naša strategija temelji na inovativnosti, zanesljivosti in trdem delu, vaše zaupanje pa je merilo uspeha.«

Podjetje Labtim se uvršča med vodilne ponudnike laboratorijskih in analitskih instrumentov v Sloveniji in na Hrvaškem.

Naše osnovne dejavnosti so:

- ***prodaja, servisiranje in kvalifikacije laboratorijske in analitske opreme,***
- ***usposabljanje za delo na omenjeni opremi,***
- ***razvoj protokolov za kvalifikacije analitskih sistemov.***

Slovenija:

T +386 1 428 3684, F +386 1 427 3811

A Zihlerova ulica 6, 1000 Ljubljana

E events@labtim.si

Hrvaška:

T +385 1 6623 883, F +385 1 6623 884

A Avenija Većeslava Holjevca 40, 10000 Zagreb,

E events@labtim.hr



POZNAVANJE VPLIVOV IN SPREJEMANJE REŠITEV LAHKO PRIVEDE DO BOLJŠEGA STANJA VODA

izr. prof. dr. Gorazd URBANIČ¹, dr. Vesna PETKOVSKA², dr. Rebeka ŠILING³,
Miha KNEHTL⁴

Povzetek

Raba prostora in druge človekove dejavnosti vplivajo na značilnosti okolja. V želji po izboljšanju življenjskih razmer pozabljamo, da t. i. napredek pogosto dosežemo na račun slabšanja stanja okolja. V Sloveniji se radi pohvalimo, da so naše vode v dobrem stanju. Žal postaja to le fraza, ki jo ponavljamo, ne da bi poznali dejanske razmere. Poznavanje dejanskih razmer omogoča pripravo ustreznih načrtov upravljanja voda (porečij) in spodbujanja dejavnosti, ki omogočajo doseganje dobrega stanja voda. V okviru načrtovanja upravljanja voda v Sloveniji smo za 60 parametrov obremenitev ugotovili pomemben vpliv na vode. Izstopajo spremenjena raba tal in spremenjene hidromorfološke značilnosti, ki so povezane z dejavnostmi, ki naj bi nam omogočale udobnejše življenje (javne storitve) in so pogosto predstavljene kot sinonim za napredek (industrija, energetika) ali so ključne za naše preživetje (kmetijstvo). Poznavanje vplivov na vodne ekosisteme nas lahko usmeri v iskanje rešitev, vendar je vprašanje, ali bomo rešitve tudi sprejeli. Sprejemanje rešitev velikokrat pomeni spreminjanje navad, kar pa je pogosto najtežje.

Ključne besede: ekološko stanje, hidromorfologija, obremenitve, onesnaževala, upravljanje porečij, vpliv na vode

Abstract

Land use and other human activities have profound effect on environmental characteristics. In wish for life conditions improvement we often forget that progress is often achieved at the expense of environmental status deterioration. In Slovenia, we often praise good status of our waters. However, sadly this is turning into repeated phrase without actual insight on real conditions. The knowledge of real conditions enables preparation of appropriate river basin management plans and promotion of activities that facilitate the achievement of good

1 Izr. prof. dr. Gorazd Urbanič, Inštitut za vode Republike Slovenije

2 Dr. Vesna Petkovska, Inštitut za vode Republike Slovenije

3 Dr. Rebeka Šiling, Inštitut za vode Republike Slovenije

4 Miha Knehtl, Inštitut za vode Republike Slovenije

status of waters. In planning water management in Slovenia 60 parameters were found to have significant impact on waters. The most important are altered land use and modified hydromorphological conditions, linked to activities for life comfort improvement (public services), used as synonym for human development (industry, energy sector) or crucial for our survival (agriculture). The understanding of the impact on water ecosystems can be direction for solution search, however, the question is if we are willing to accept the solutions. The acceptance of solutions is often connected to change in our habits, which is often most difficult task.

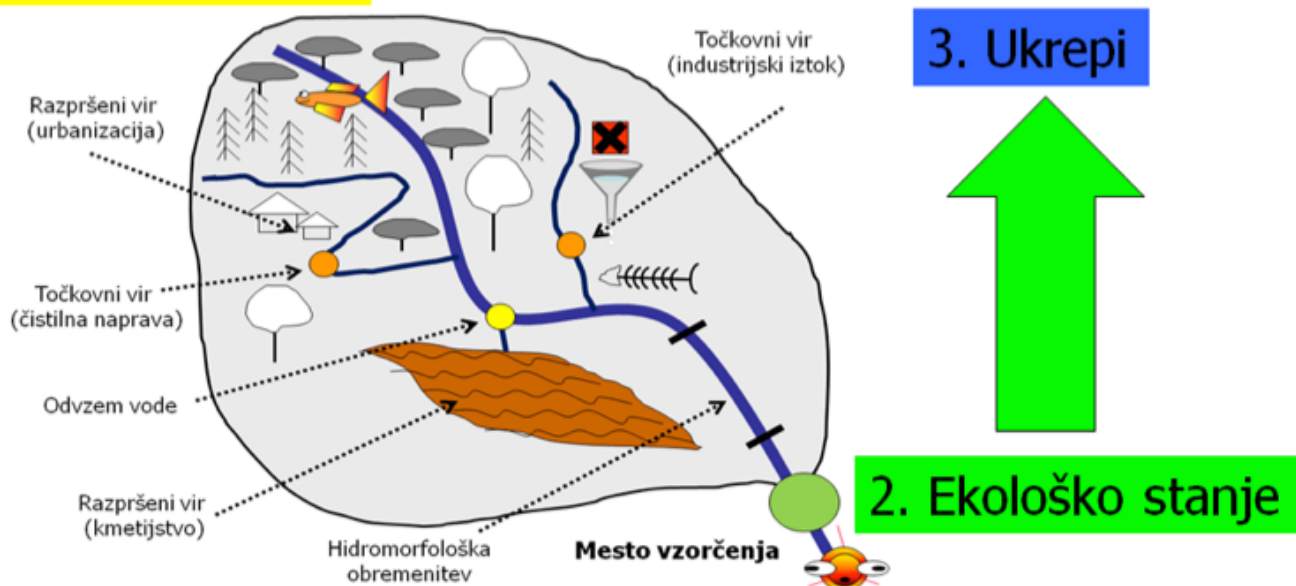
1. UVOD

Raba prostora in druge človekove dejavnosti vplivajo na značilnosti okolja, katerega pomemben del so tudi vodni ekosistemi. Z rabo spreminjamo hidrološke in morfološke značilnosti vodnih ekosistemov ter vplivamo na kakovost voda, kar se ponavadi odrazi kot slabšanje stanja voda. V želji po izboljšanju življenjskih razmer pozabljamo, da t. i. napredek, ki ga običajno merimo kot bruto družbeni proizvod, pogosto dosežemo na račun slabšanja stanja okolja, vključno s stanjem voda. V Sloveniji se radi pohvalimo, da so naše vode v dobrem stanju in da imamo vode dovolj. Žal postaja to le fraza, ki jo ponavljamo, ne da bi poznali dejanske razmere. Poleg tega pa tudi samo poznavanje razmer ni dovolj za uspešno upravljanje voda.

Za uspešno upravljanje voda je ključno poznavanje vplivov človekovih dejavnosti (obremenitev) na stanje voda in učinkov ukrepov na obremenitve, ki vplivajo na stanje voda (slika 1). Poznavanje dejanskih razmer, vplivov obremenitev na stanje voda in učinkov ukrepov omogočajo pripravo ustreznih načrtov upravljanja prostora in spodbujanje dejavnosti, ki prispevajo k zmanjšanju tveganj, da dobro stanje voda ne bo doseženo. Za doseganje ciljev stanja voda je poleg poznavanja povezav med obremenitvami in stanjem ključno ugotoviti raven obremenitve, ki še omogoča doseganje dobrega stanja voda. Dobro stanje voda je eden ključnih ciljev po vodni direktivi (Direktiva 2000/60/ES) in tudi za večino vodnih teles v Načrtu upravljanja voda v Sloveniji (NUV 2016–2021). Poznavanje vplivov obremenitev na vodne ekosisteme nas lahko usmeri v iskanje smiselnih in učinkovitih rešitev za doseganje dobrega stanja voda, vendar nato ostaja vprašanje, ali bomo rešitve tudi sprejeli.



1. Obremenitve



Slika 1: Izhodišče za koncept uspešnega upravljanja voda – poznavanje povezav med obremenitvami, stanjem in učinkom ukrepov na obremenitve

2. STANJE VODA VREDNOTIMO ZARADI OBREMENJEVANJA

2.1. Obremenjevanje voda

Z obremenitvami površinskih voda spreminjamo fizikalne, kemijske in fizične lastnosti vodnih in obvodnih habitatov ter tako zgradbo in delovanje združb vodnih organizmov. Glede na njihovo delovanje lahko obremenitve ločimo v dve širši skupini:

- onesnaževanje – obremenjevanje z organskimi snovmi, hranili in toksičnimi snovmi,
- spreminjanje hidromorfoloških značilnosti vodnih teles površinskih voda.

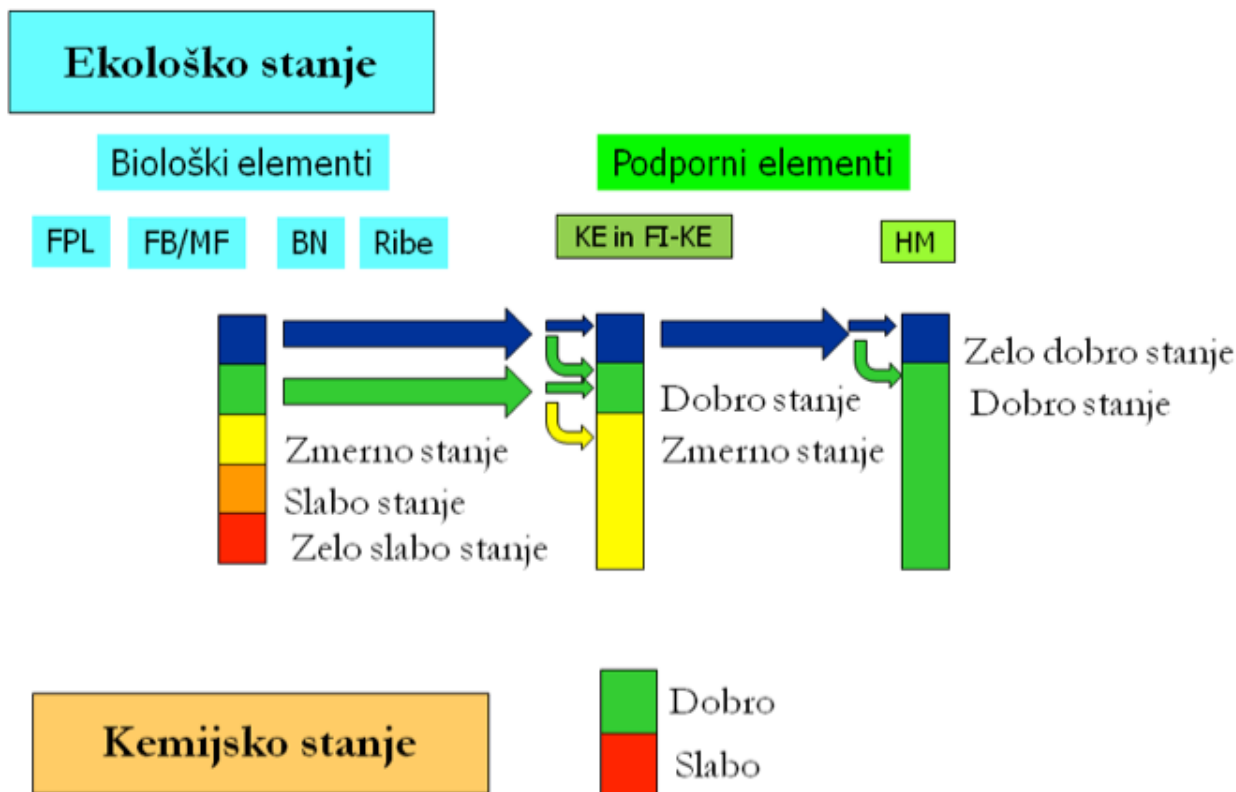
Obremenjevanje z organskimi snovmi vodi v pospešeno razgradnjo, kar lahko povzroči zmanjšanje koncentracije in celo pomanjkanje raztopljenega kisika v vodi. Zaradi povečanega vnosa organskih snovi se poveča številčnost mikroorganizmov, razvije se t. i. sewage fungus, spremenita se tudi zgradba in delovanje združb primarnih producentov, bentoških nevretenčarjev in rib (Hynes, 1960). Posledica povečanega vnosa hranil in njihovega privzema v vodi je večja produktivnost vodnih ekosistemov. Poveča se primarna produkcija alg, makrofytov in bakterij, zaradi spremembe virov in habitatov v vodotoku pa tudi zgradba in delovanje združb bentoških nevretenčarjev in rib (Allan, 2004; Pavlin idr., 2011). Vnos hranil in toksičnih snovi tudi zaradi strupenosti spreminja zgradbo in delovanje združb vodnih organizmov.

Spremembe hidromorfoloških značilnosti neposredno zajemajo odvzeme in izpuste vode, izgradnjo prečnih objektov, spremembe substrata struge in/ali bregov, odvzeme naplavin, odstranjevanje obrežne vegetacije ter spreminjanje poteka same struge. Z odvzemi vode se posredno spremenijo morfološke razmere v vodnih telesih, rast obrežne vegetacije, temperaturna nihanja in koncentracije hranil v vodi. S spremembami morfoloških značilnosti vodotokov se zmanjšuje povezava med vodotokom in prispevnim območjem, spreminja se hidrološki režim; zmanjšuje se zadrževalni čas vode v strugi ter povečuje hitrost vodnega toka. Izgradnja prečnih objektov spremeni tako hidrološke kot tudi morfološke razmere v vodotoku in predstavlja oviro za širjenje vodnih in obvodnih organizmov. Vse omenjene spremembe vodijo v zmanjšanje površine in pestrosti habitatov, poleg tega pa preprečitev selitev vodnih organizmov, zaradi česar se spremenijo združbe vodnih in obvodnih organizmov (Jalon idr., 2013).

Na vodne ekosisteme pogosto ne vpliva samo ena, ampak več obremenitev. Spremenjena raba tal na prispevnih površinah je ena najpogostejših posledic človekove dejavnosti, ki povzroča veliko različnih obremenitev hkrati (Allan, 2004) in pomembno spreminja združbe vodnih organizmov (Kuhar idr., 2011; Pavlin idr., 2011). S spremenjeno rabo tal neposredno ob vodnem telesu so povezane spremembe hidrološkega režima in morfoloških značilnosti vodotoka, spremembe temperaturnega režima, nepopolno kroženje snovi in razširjanje tujerodnih vrst (Pavlin, 2012).

2.2. Vrednotenje stanja površinskih voda

S sprejetjem vodne direktive (Direktiva 2000/60/EC) smo dobili dva koncepta stanja voda: koncept kemijskega stanja in koncept ekološkega stanja (slika 2). Koncept kemijskega stanja posnema način vrednotenja kakovosti voda, ki smo ga uporabljali že pred objavo vodne direktive. Z izborom prednostnih, prednostno nevarnih snovi in drugih onesnaževal ter določitvijo mejnih koncentracij za dobro kemijsko stanje so bili za vse države Evropske unije izbrani parametri in določeni kriteriji, po katerih se izvaja vrednotenje posameznih obremenitev. Za razliko od kemijskega stanja je z ekološkim stanjem v vodni direktivi vpeljan ekosistemski način vrednotenja. Izhodišče vrednotenja ekološkega stanja so za tip voda oz. vodnega telesa značilne referenčne razmere (biološke) in za tip značilne razmere (hidromorfološke in fizikalno-kemijske), ki predstavljajo izhodišče, s katerim primerjamo ugotovljene vrednosti elementov kakovosti na izbranih mestih vzorčenja. Biološki elementi oz. bioindikatorji na ravni združb organizmov so osnova vrednotenja ekološkega stanja. Na podlagi bioloških elementov ugotavljamo vpliv različnih antropogenih obremenitev (obremenitev z organskimi snovmi, bogatenje s hranili, hidromorfološke spremembe, zakisljevanje, vpliv toksičnih snovi idr.).



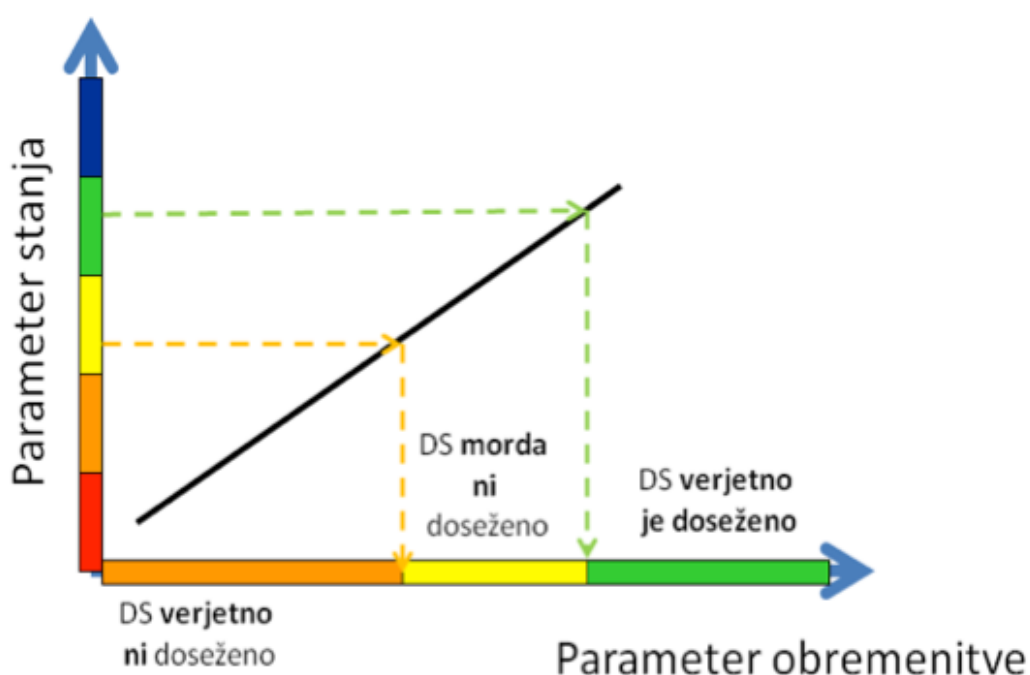
Slika 2: Razvrščanje v razrede ekološkega oz. kemijskega stanja v skladu z vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES). FPL – fitoplankton, FB/MP – fitobentos in makrofiti, BN – bentoški nevretenčarji. KE in FI-KE – kemijski in fizikalno-kemijski elementi, HM – hidromorfološki elementi.

3. STANJE POVRŠINSKIH VODA JE ODRAZ ČLOVEKOVEGA DELOVANJA

V okviru priprave načrta upravljanja voda v Sloveniji smo izvedli analizo vplivov obremenitev na stanje voda. Analiza je vključevala določitev povezave med posameznimi parametri obremenitev in posameznimi parametri stanja, določitev razredov verjetnosti doseganja dobrega stanja za parametre obremenitve in pomembnih obremenitev za Slovenijo. Med parametri stanja površinskih voda smo upoštevali tako biološke elemente kakovosti kot tudi posebna onesnaževala in kemijsko stanje. V analizo vplivov smo vključili podatke za več kot 700 parametrov obremenitev iz treh skupin obremenitev: onesnaženje, raba tal, hidromorfologija in različne vrste vodnih teles površinskih voda. V okviru prispevka predstavljamo primer analize za vodotoke.

Povezave med parametri obremenitev in stanja smo najprej preverili na podlagi korelacijskih koeficientov in nadalje obravnavali le tiste parametre obremenitev, kjer smo ugotovili statistično značilno ($p < 0,05$) in dovolj dobro povezavo s parametri stanja voda ($r > 0,3$). Nadaljna analiza je vključevala modeliranje na podlagi linearne in kvadratne regresijske krivulje in določitev regresijskih enačb. Vrednosti posameznih parametrov obremenitve smo razdelili v tri razrede

verjetnosti doseganja dobrega stanja (slika 3). Meje med razredi verjetnosti doseganja dobrega stanja smo določili na podlagi povezav med parametri stanja in parametri obremenitve ter značilnih vrednosti parametrov stanja. Značilne vrednosti smo določili glede na mejno vrednost med dobrim in zmernim ekološkim stanjem, ki znaša 0,6; npr. za parametre bioloških elementov kakovosti smo določili kot značilni vrednosti REK vrednosti 0,65 in 0,5 (slika 3). Meje za posamezne parametre obremenitve smo prvotno določili na podlagi kvadratne regresijske enačbe, saj je v večini primerov imela boljšo povezanost, kjer pa to ni bilo možno pa na podlagi linearne regresijske enačbe. V primerih negativne soodvisnosti smo mejne vrednosti med razredi verjetnosti doseganja dobrega stanja površinskih voda določili ravno obratno kot v primerih pozitivne soodvisnosti med parametri obremenitev in parametri stanja.



Slika 3: Določitev mej med razredi verjetnosti doseganja dobrega stanja (DS) na podlagi odvisnosti med parametri obremenitve in parametri stanja

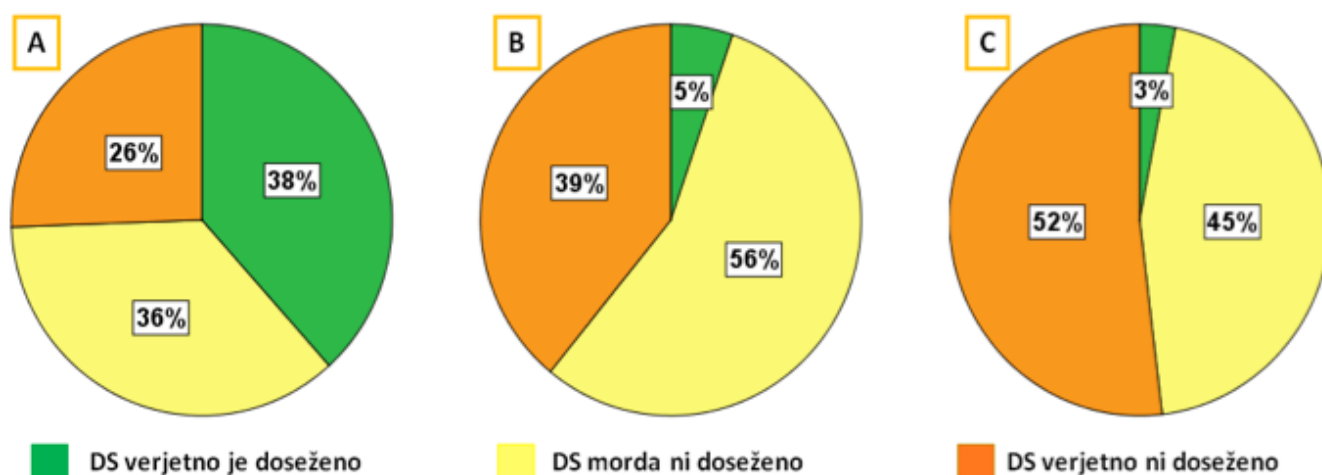
Za vsak parameter obremenitve, za katerega smo ugotovili dovolj dobro povezavo s parametri stanja voda, smo določili raven obremenitve (pražno vrednost), ki predstavlja pomembno obremenitev. Pomembna obremenitev je v skladu z Uredbo o podrobnejši vsebini in načinu priprave načrta upravljanja voda (Uradni list RS, št. 26/06 in 5/09, 36/13) »obremenitev, za katero se oceni velika verjetnost, da sama po sebi ali v kombinaciji z drugimi vrstami obremenitev povzroči, da vodno telo ali skupina vodnih teles ne bo dosegla zanje določenih ciljev«. Kot pomembne obremenitve v Sloveniji smo določili tiste parametre obremenitev, na podlagi katerih smo ocenili, da dobro stanje voda verjetno ne bo doseženo.

4. VPLIVI ČLOVEKOVEGA DELOVANJA NA STANJE VODA

Za okoli 100 parametrov obremenitev (od 700 preverjenih) smo ugotovili, da lahko vplivajo na stanje vodotokov, od tega največ (70 %) iz skupine onesnaženje in manj iz skupin

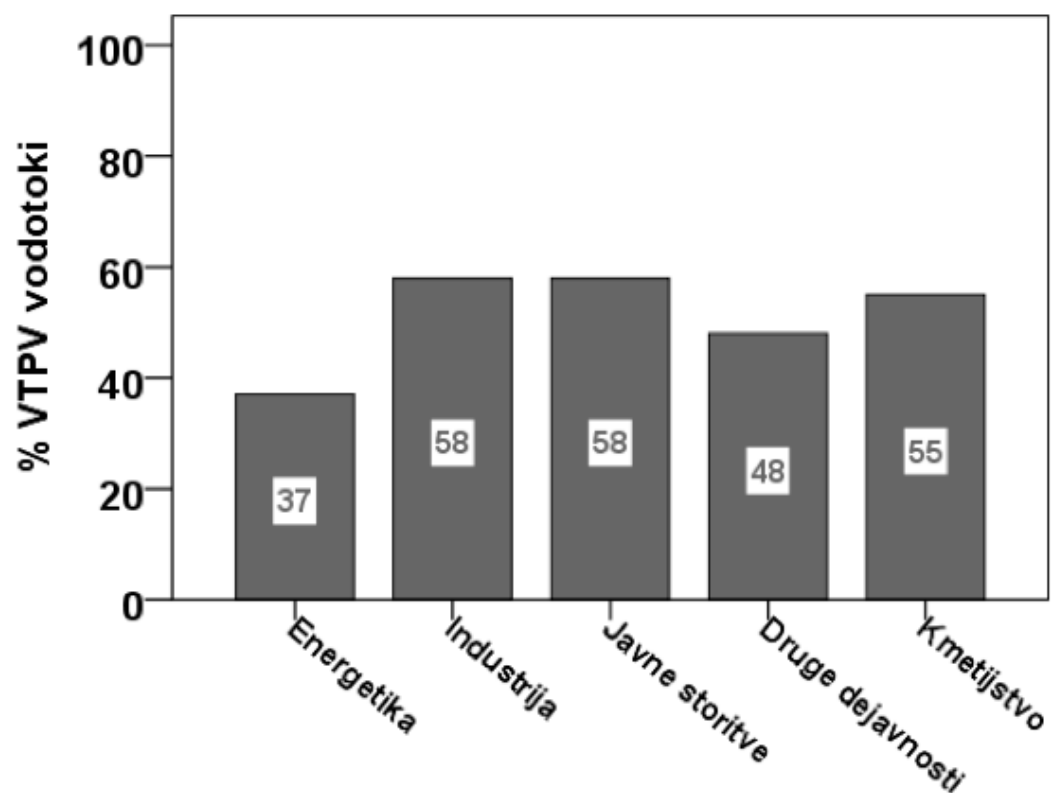


hidromorfologija (17 %) in raba tal (13 %). Za 60 parametrov smo ugotovili, da so prazne vrednosti presežene in predstavljajo pomembne obremenitve v Sloveniji. Največ pomembnih obremenitev smo ugotovili v skupini onesnaženje (36), manj v skupini hidromorfologija (17) in najmanj v skupini raba tal (7). Kljub največji pestrosti pomembnih obremenitev iz skupine onesnaženje največ vodnih teles vodotokov verjetno ne dosega dobrega stanja voda zaradi spreminjanja rabe prostora (intenzivno kmetijstvo, urbanizacija) in spremenjenih hidromorfoloških značilnosti (slika 4). Za več kot polovico (63 %) vodnih teles vodotokov smo ugotovili, da verjetno ne dosegajo dobrega stanja in da le za zelo majhen delež vodnih teles vodotokov (< 5 %) lahko z gotovostjo trdimo, da ni prisotnih pomembnih obremenitev in je zato pričakovano dobro stanje.

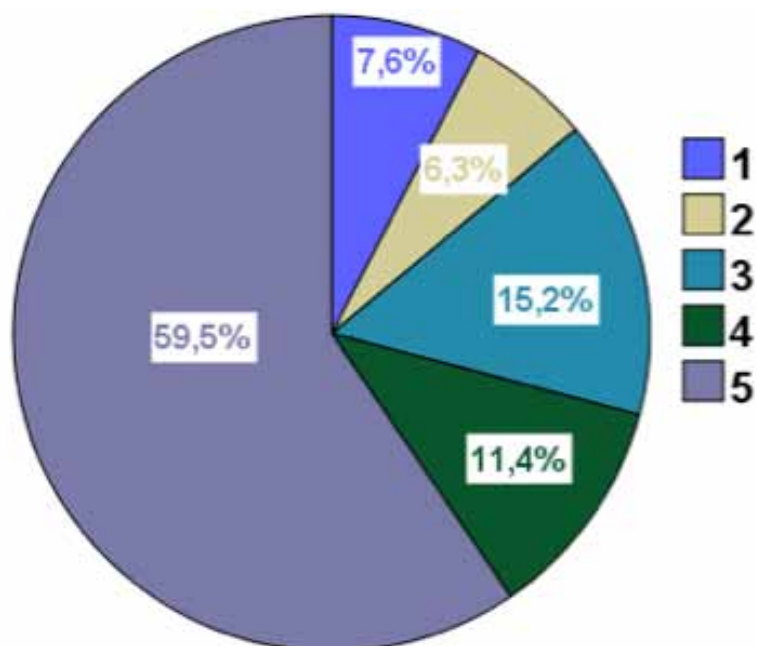


Slika 4: Delež vodotokov, razvrščenih v posamezne razrede verjetnosti doseganja dobrega stanja (DS) površinskih voda glede na najslabše uvrščen parameter obremenitve v skupini onesnaženje (a), hidromorfologija (b) in pokrovnost tal (c)

Pomembne obremenitve so posledica dejavnosti v različnih sektorjih. Najpogostejši vzrok za nedoseganje dobrega stanja so v dejavnostih javnih storitev, industrije oz. kmetijstva (> 50 % vodnih teles) (slika 5). Za večino (> 90 %) vodotokov so pomembne obremenitve posledica dejavnosti v različnih sektorjih in zelo redko posledica dejavnosti le v enem sektorju (slika 6).



Slika 5: Delež vodotokov s pomembno obremenitvijo glede na sektor



Slika 6: Delež vodotokov s pomembno obremenitvijo glede na število sektorjev (sektorji: industrija, kmetijstvo, energetika, javne storitve in druge dejavnosti). Upoštevani so le vodotoki s pomembno obremenitvijo.



5. DOSEGANJE DOBREGA STANJA VODA

Poznavanje povezav med obremenitvami in stanjem je ključno za pripravo učinkovitih ukrepov za doseganje dobrega stanja voda. Na podlagi poznavanja vpliva antropogenih dejavnikov na vodne ekosisteme lahko predvidimo, kateri ukrepi bodo ne le zmanjšali obremenitev, ampak tudi privedli do izboljšanja stanja. Za relativno veliko število parametrov obremenitev smo ugotovili povezave s stanjem voda. Za mnoge obremenitve smo na vodnih telesih v Sloveniji tudi ugotovili vrednosti, ki ne omogočajo doseganja dobrega stanja voda (pomembne obremenitve). Pomembne obremenitve so prisotne po vsej Sloveniji in le za relativno malo vodnih teles lahko z gotovostjo trdimo, da je dobro stanje verjetno doseženo. Ugotovitev je tudi posledica dejstva, da imamo v Sloveniji relativno malo vodnih teles in predvsem na vodotokih s prispevnimi površinami $> 100 \text{ km}^2$. Večina vodotokov s tako veliko prispevno površino je v Sloveniji že dokaj močno obremenjena. Obremenitve, ki so vzrok, da dobro stanje verjetno ni doseženo, so predvsem spremenjena raba tal (urbanizacija, intenzivno kmetijstvo), kombinacija spremenjene rabe tal in hidromorfoloških sprememb ali kombinacija spremenjene rabe tal, hidromorfoloških sprememb in onesnaženja. Ugotovili smo, da na večino ekosistemov hkrati deluje več obremenitev. Industrija, javne storitve in kmetijstvo so ključni sektorji, povezani s pomembnimi obremenitvami. Za pripravo ustreznih rešitev (ukrepov) za doseganje dobrega stanja voda bo ključno vključiti vse obremenjevalce. Nekateri so neposredno naslovljeni z zakonom o vodah; npr., posebna raba, ki bi lahko ogrožala doseganje in ohranjanje ciljev upravljanja voda, se lahko prepove, omeji ali se zanj določijo posebni pogoji (Zakon o vodah, 2002). Ključni cilj je, da se dovoli rabo voda le v takšnem obsegu in na način, ki ne bo preprečeval doseganja ciljev upravljanja voda. Drugi obremenjevalci voda so posredno naslovljeni z ukrepi v Načrtih upravljanja voda (NUV 2016–2021). Vprašanje je, koliko ukrepov smo že uspeli izvesti in na koliko vodotokih doseči cilje NUV-ov, tj. dobro stanje voda. Poznavanje vplivov na vodne ekosisteme nas lahko usmeri v pripravo rešitev za doseganje dobrega stanja voda, ali pa bomo rešitve tudi sprejeli? Sprejemanje rešitev velikokrat pomeni spreminjanje navad in obstoječih praks delovanja, kar pa je pogosto najtežje. Ob intenzivnem razvoju in brez spreminjanja navad je nemogoče pričakovati, da bodo vodni ekosistemi v dobrem stanju za nas in naše zanamce. Vprašanje je, v kakšnem stanju si vode res želimo in kaj smo pripravljeni za to narediti.

LITERATURA IN VIRI

1. Allan, J. D., 2004. Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35, 257–284.
2. Direktiva o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000.
3. Hynes, H. B. N., 1960. Biological effects of organic matter. V: *The biology of polluted waters*. Liverpool: Liverpool University Press. Str. 92–103.
4. Jalón, D. G., de Alonso, C., González del Tango, M., Martínez, V., Gurnell, A., Lorenz, S., Wolter, C., Rinaldi, M., Belletti, B., Mosselman, E., Hendriks, D., Geerling, G., 2013. D1.2 Review on pressure effects on hydromorphological variables and ecologically relevant processes. REFORM. FP7.
5. Kuhar, U., Germ, M., Gaberščik, A., Urbanič, G., 2011. Development of a river macrophyte index (RMI) for assessing river ecological status. *Limnologia* 41, 235–243.
6. Pavlin, M., 2012. Povezava med spremenljivkami evtrofikacije in združbo nevretenčarjev v celinskih vodah Slovenije. Dokt. disertacija, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.

7. Pavlin, M., Birk, S., Hering, D., Urbanič, G., 2011. The role of land use, nutrients, and other stressors in shaping benthic invertebrate assemblages in Slovenian rivers. *Hydrobiologia* 678, 137–153.
8. Urbanič, G., Mohorko, T., Peterlin, M., Petkovska, V., Štupnikar, N., Remec-Rekar, Š., Francé, J., Eleršek, T., Kosi, G., Mavrič, B., Orlando-Bonaca, M., Bajt, O., Mozetič, P., Germ, M., Pavlin Urbanič, M., Podgornik, S., 2013. Uredba o stanju površinskih voda: priprava strokovnih podlag: program dela IzVRS za leto 2013: poročilo o delu za leto 2013. Ljubljana, 63 str.
9. Vlada Republike Slovenije, 2016a. Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2016–2021. Ljubljana. 295 str.
10. Vlada Republike Slovenije, 2016b. Načrt upravljanja voda na vodnem območju Jadranskega morja za obdobje 2016–2021. Ljubljana. 258 str.
11. Zakon o vodah, 2002. Uradni list RS, št. 67/02, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15.



SLUDGE TREATMENT AND DISPOSAL

prof. dr. Norbert DICHTL¹

Many decades ago, K. R. Imhoff already stated: »Sludge is our biggest problem. Raw sludge quantities may only amount to 1 % of the treated wastewater quantities, nevertheless they cause 30 % of all treatment costs and 90 % of all headaches«. In general, this statement is still valid today, even if percentages must be adjusted. Costs for sludge treatment and removal can amount to 50 % of total costs in some cases and in regard to headaches, the percentage has probably increased to more than 95 %. Chemical changes due to the below discussed stabilization procedures and further concentration of sludge solids (removal of sludge liquor) significantly reduces sludge quantities. Thus, dry solids quantities for disposal only amount to a very small fraction (within the range of several tenth of a percent) of the original wastewater treatment plant influent. This kind of quantity approach may suggest that sewage sludge questions are less important than questions on wastewater treatment. However, this conclusion is deceiving. Today, sewage sludge disposal is the priority problem for many treatment plant operators, especially considering the changed environmental awareness of the public and strict legal regulations.

This presentation will discuss the basic steps of sludge treatment and disposal. New treatment processes will be introduced and well-known, approved sludge treatment processes will be presented. It will cover the most important aspects of sludge treatment such as disinfection (no spreading of pathogens), stabilization (no further microbiological degradation processes), volume reduction (minimization of storage and transport volume), phosphorus recovery and reuse or safe disposal of residues.

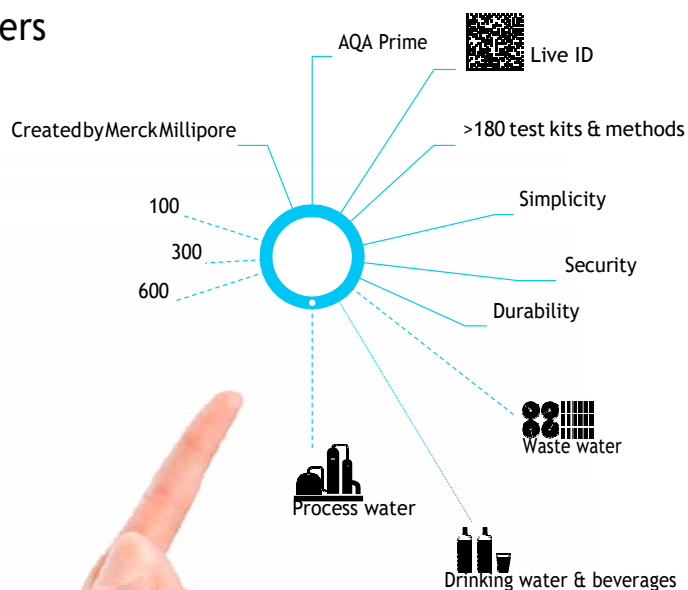
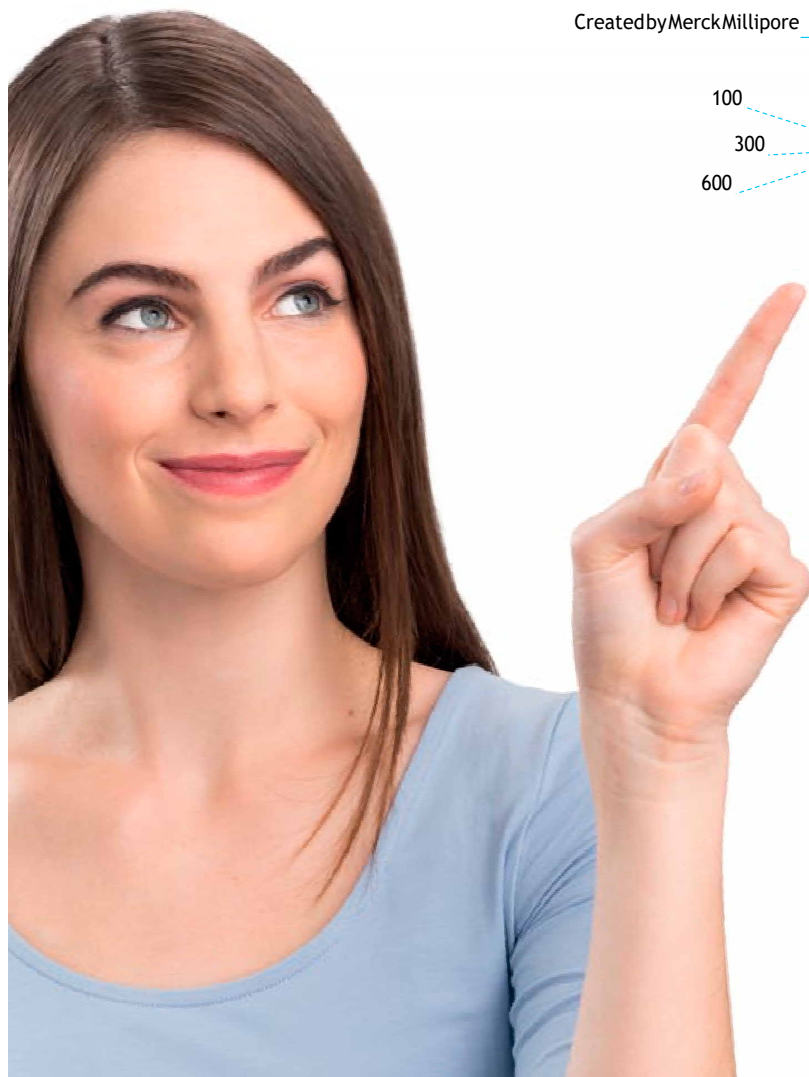
When talking about sewage sludge disposal, one must always take into consideration the fact that sludges cannot be annihilated but can only be disposed of within generally valid laws of natural science. This means that no matter what, sewage sludge in some form must remain in the environment. Sea disposal of sludge has been forbidden for a long time, landfilling of sludges is prohibited to a large extent. German legal regulations prevent the agricultural reuse of polluted sludges and of sludges produced in wastewater treatment plants with more than 50.000 PE. Therefore in Germany, sludge incineration will remain a favored disposal route for sludge. Sludge incineration successfully prevents the spreading of pollutants in the environment, however, it also destroys valuable nutrients in the sludge. To nevertheless ensure the recovery of a certain amount of phosphorus from the sludge, German legislation has been adapted recently. After a transition period of several years, phosphorus recovery from sludge and/or sludge ashes will be compulsory in Germany in 2029. These German legal regulations will be compared to international and European law in the sewage sludge sector.

¹ Prof. dr. Norbert Dichtl, Technische Universität Braunschweig, Institute of Sanitary and Environmental Engineering



Just Prove it. Spectroquant® Prove

Simplify water analysis with
a **new** class of spectrophotometers





ZAKONODAJNE OVIRE IN PRILOŽNOSTI ENERGETSKE IN SNOVNE IZRABE BLATA KČN

Vesna MISLEJ¹

Povzetek

Na komunalnih čistilnih napravah dnevno nastaja velika količina blata. Zaradi naraščanja števila prebivalcev, ki so priključeni na javno kanalizacijsko omrežje, se povečujejo tudi količine blata. Z njegovo predobdelavo na lokaciji nastanka in nadalje z njegovo končno obdelavo v skladu z veljavno zakonodajo so povezani visoki stroški. Vendar pa moramo začeti gledati na blato tudi kot vir surovin in se tako približati družbi recikliranja in zmanjševanja toplogrednih plinov in vzpostaviti ustrezne mehanizme za zagon krožnega gospodarstva, v katerem bodo blato in njegovi produkti obdelave primerna surovina za drugo podjetje. Pri doseganju teh ciljev so nekatera zakonodajna določila precejšnja ovira, po drugi strani pa so programi, s katerimi poskuša Vlada RS doseči zastavljene cilje glede ravnanja z odpadki, zelo optimistično in napredno naravnani.

Ključne besede: blato, energetska izraba, snovna izraba

Abstract

A large quantity of sewage sludge is generated daily. Due to the increase in the number of people who are connected to the public sewage network, the quantity of sludge is also increasing. With its pre-conditioning at the site of origin and further by its final processing in accordance with applicable legislation, high costs are associated. However, we must start to look at the sewage sludge as a source of raw materials and thus approach the company of recycling and reduction of greenhouse gases and establish appropriate mechanisms for the launch of a circular economy in which sludge and its residues will be a suitable raw material for another company. In achieving these goals, some legislative provisions are a significant obstacle; on the other hand, the programs with which the Government of the Republic of Slovenia seeks to achieve the set waste management goals are highly optimistic and advanced.

¹ Vesna Mislej, univ. dipl. inž., JP VODOVOD-KANALIZACIJA, d. o. o.

1. UVOD

Zaradi obstoječe zakonodaje na področju odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode narašča število prebivalcev, priključenih na javni kanalizacijski sistem (Operativni program, 2010). Za učinkovito biološko čiščenje povečanih količin komunalne odpadne vode je treba na biološki stopnji čiščenja odpadne vode na čistilnih napravah vzdrževati primerno koncentracijo aktivnega blata oz. starost blata (Henze, 2008), kar pomeni, da je treba dnevno odstranjevati višek prirastka aktivne biomase oz. združbe vodnih mikroorganizmov. To pomeni, da v obliki odvečnega blata (v nadaljevanju blato) dnevno nastaja na komunalni čistilni napravi kot stranski produkt biološkega čiščenja relativno velika količina odpadka. Z njegovo predobdelavo na lokaciji nastanka in z njegovo končno obdelavo v skladu z veljavno zakonodajo so povezani visoki stroški. Vendar pa moramo začeti gledati na blato tudi kot vir surovin in se tako približati družbi recikliranja in zmanjševanja toplogrednih plinov in vzpostaviti ustrezne mehanizme za zagon krožnega gospodarstva, v katerem bodo blato in njegovi produkti obdelave primerna surovina za drugo podjetje.

2. BLATO CČNL

Centralna čistilna naprava Ljubljana (CČNL) je projektirana za 360.000 PE. Glede na uporabljen tehnologijo čiščenja je enostopenjska mehansko-biološka čistilna naprava s sekundarno stopnjo čiščenja. Letno lahko očisti do 38 milijonov m³ odpadne vode. Učinek čiščenja glede KPK-ja je okoli 90 %, glede na BPK5 pa okoli 96 %. Zaradi izvajanja obvezne javne gospodarske službe se na napravi v gnilišče sprejema tudi greznične gošče (20 03 04) in blato malih komunalnih čistilnih naprav ter odvečno blato iz drugih komunalnih čistilnih naprav, ki so v upravljanju JP Vodovod-Kanalizacija, d. o. o. (v nadaljevanju JP VOKA). Stabilizirano pregnito blato se nato dehidrira in suši oz. peletizira. Končni produkt obdelave blata je posušen, sipek in higieniziran odpadek v obliki peletov premera 2–4 mm. To je stabiliziran biološko razgradljiv odpadek, ki je zaradi svojih lastnosti enostaven za transportiranje in je primeren za snovno in energijsko izrabo.

Opažen je trend naraščanja količine blata na CČNL, obenem pa tudi upadanje zanimanja predelovalcev odpadka za ta odpadek, višanje stroškov za konvencionalne načine njegove končne obdelave zaradi vse višjih stroškov transporta. Oteženo in zamudno je tudi pridobivanje in urejanje ustrezne dokumentacije za čezmejni prevoz blata.

Od pridobitve OVD-ja v letu 2012 za predelavo posušenega blata (v nadaljevanju peleti) v trdno gorivo vsako leto oddamo v analizo zunanjemu pooblaščenemu izvajalcu ocene odpadka 10 reprezentativnih mesečnih vzorcev in reprezentativni letni vzorec peletov. Osnova ocene je ugotavljanje ustreznosti peletov za uporabo kot trdno gorivo, pri pripravi ustrezne dokumentacije za javni razpis za prevzem in končno obdelavo peletov pa izvajalec ocene pripravi celovito presojo kakovosti peletov glede na obstoječo možno končno obdelavo v skladu z veljavno zakonodajo.

Generalna ocena peletov je: Obravnavani odpadek je na podlagi pregleda tehnologije ter raziskave nevarnih lastnosti skladno z drugim odstavkom 4. člena Uredbe o odpadkih (Uradni list



RS, št. 37/15 in 69/15) uvrščen med nenevarne odpadke s klasifikacijsko številko odpadka 19 08 05 (Ocena odpadka, 2017).

3. ZAKONODAJNE OVIRE ENERGETSKE IN SNOVNE IZRABE BLATA

Pri izdelavi scenarija nastajanja in obdelave blata se upošteva, da je od leta 2009 prepovedano odlaganje blata iz komunalnih in skupnih čistilnih naprav na odlagališčih ter od leta 2014 tudi njegova uporaba za izdelavo prekrivke odlagališč nenevarnih odpadkov (Uredba, 2014).

V letu 2014 je nastalo okoli 28.310 t blata komunalnih čistilnih naprav (izraženo v tonah suhe snovi). Na kmetijske površine ga je bilo odloženega manj kot 1 odstotek, okoli 5 odstotkov je bilo aerobno ali anaerobno obdelanega in več kot 50 odstotkov je bilo termično obdelanega (Program ravnanja z odpadki, 2016).

3.1. Uporaba blata kot trdno alternativno gorivo

Sistem kakovosti proizvodnje trdnega goriva, katerega obvladovanje je pogoj za pridobitev specifikacije odpadka kot alternativnega trdnega goriva, je določen s tehničnim standardom SIST EN 15358:2011, Trdno alternativno gorivo – Sistemi vodenja kakovosti – Posebne zahteve za njihovo uporabo pri proizvodnji trdnih alternativnih goriv.

Tehnični standard, po katerem se izvede specifikacija kakovosti odpadka v določen klasifikacijski razred trdnega goriva, pa je SIST EN 15359:2012, Specifikacije in razredi. Na navedeni strokovni podlagi je izdelana specifikacija peletov kot trdnega goriva, s klasifikacijskim razredom kakovosti: **NCV 4; CI 1; Hg 4.**

Kakovost peletov je v skladu z mednarodnimi tehničnimi zahtevami iz standarda za alternativna goriva in dosega ustrezni klasifikacijski razred kakovosti za trdna alternativna goriva. V skladu z Uredbo o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo in njegovi uporabi (Uradni list RS, št. 96/14) je obravnavani odpadek uvrščen med onesnaženo biomaso, ker ustreza zahtevam iz Uredbe o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu (Uradni list RS, št. 62/08).

Obravnavani odpadek ni predelan v skladu s slovensko zakonodajo oz. z Uredbo o predelavi nenevarnih odpadkov v trdno gorivo in njegovi uporabi, ker mu med predelavo ni dodanega vsaj 3 % masnega deleža druge onesnažene biomase.

Obravnavani odpadek je prepovedano uporabljati kot trdno alternativno gorivo v malih, srednjih in velikih kurilnih napravah.

3.2. Uporaba v kmetijstvu

Glede na hierarhijo ravnanja z odpadki (Uredba o odpadkih, 2015) in vzrok nastajanja bi morali blato v prvi vrsti reciklirati, npr. na kmetijske površine, ker pa je blato v procesu čiščenja odpadne vode tudi adsorbent in transportno sredstvo oz. prenašalec snovi, je običajno one-

snaženo z organskimi snovmi, ki niso biološko razgradljive, patogenimi organizmi in hormonsko aktivnimi snovmi oz. hormonskimi motilci (Program ravnanja z odpadki, 2016).

Tabela 1: **Mejne vrednosti za uporabo blata v kmetijstvu in vrednosti za blato CČNL**

Parameter	Enota	Rezultat za CČNL	Mejna vrednost
Organska snov	% mase s.s.	65,2	-
Suha snov	%	90,4	-
Kadmij	mg/kg s.s.	0,82	1,5
Celotni krom		90	200
Baker		230	300
Živo srebro		0,83	1,5
Nikelj		49	75
Svinec		61	250
Cink		720	1200

Mejne vrednosti za kovine oz. kakovost blata CČNL za uporabo za kmetijstvo niso presežene (tabela 1), zato obstaja možnost njegovega končnega odstranjevanja in ponovne uporabe v kmetijstvu, vendar povzročitelj (JP VOKA) nima OVD-ja za predelavo blata za uporabo v kmetijstvu v skladu z Uredbo o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu (Uradni list RS št., 62/08) (Uredba, 2008).

Tabela 2: **Mejne vrednosti za vnos količin težkih kovin na kmetijsko zemljišče**

ONESNAŽEVALO/TEŽKA KOVINA	MEJNA VREDNOST 10-LETNEGA VNOSA, (kg/ha suhe snovi)	Predvidena kmetijska površina (ha/leto) za 4000 ton s.s. blata CČNL
Kadmij in njegove spojine, izražene kot Cd	0,015	21.867
Krom in njegove spojine, izražene kot celotni Cr	2	46.000
Baker in njegove spojine, izražene kot Cu	3	30.667
Živo srebro in njegove spojine, izražene kot Hg	0,015	22.133
Nikelj in njegove spojine, izražene kot Ni	0,75	26.133
Svinec in njegove spojine, izražene kot Pb	2,5	9.760
Cink in njegove spojine, izražene kot Zn	12	24.000

Pridobivanje OVD-ja za predelavo blata za uporabo v kmetijstvu je zelo kompleksen, otežen in skoraj brezupen korak, kajti povzročitelj bi moral: i) obvladovati veliko kmetijsko površino (tabela 2), ii) do potankosti poznati tla, kamor bi se blato odlagalo, in med drugim iii) imeti narejen gnojilni načrt, kajti v koledarskem letu se lahko na kmetijsko površino odloži le omejena količina blata, ter med drugim tudi stalno spremljati porast koncentracije težkih kovin v



zemlji (Uredba, 2008). Iz tabele 2 je razvidno, da je za letni vnos posameznih težkih kovin, ki bi se na neko kmetijsko površino odložile glede na letno količino proizvedenega blata na CČNL, predvidena različno velika kmetijska površina. Slednje bi bilo nemogoče izvesti.

3.3. Postopek predelave R1, energijska izraba

Sežig je, predvsem iz bolj obremenjenih čistilnih naprav, zaenkrat v drugih državah EU-ja najpogostejša praksa odstranjevanja teh odpadkov. Med sežigalnicami, ki jim okoljevarstveno dovoljenje za sežig odpadkov podeljuje ARSO, imata okoljevarstveno dovoljenje za sežig blata iz čistilnih naprav (s številko odpadka 19 08 05) le Energetika Celje javno podjetje, d. o. o. (Celje), in Salonit Anhovo, gradbeni materiali, d. d. (ARSO, 2016).

Značilnost zakonodaje na področju sežiga in sosežiga odpadkov je, da se zelo hitro spreminja v smislu zaostrovanja in dopolnjevanja zahtev, predvsem vezanih na zagotavljanje kakovosti (ustrezne in konstantne sestave) goriv, njihove ustrezne energetske vrednosti, mejnih vrednosti emisij v zrak, obvladovanja morebitnih izrednih dogodkov ter nadzora nad prevzemom in uporabo alternativnih goriv (Mlakar, 2009).

Kot nenevaren odpadek, primeren za energijsko izrabo, so se peleti v letih 2008–2017 končno obdelovali v cementarni Salonit Anhovo, kot napravi za sosežig. Peleti so se uporabljali kot dodatno gorivo v rotacijski peči. Njihova poraba je znašala 1–3 % celotne uporabe energentov. Izvajal se je strog nadzor nad njihovo sestavo in kalorično vrednostjo, nad njihovim vplivom na procesne parametre pri proizvodnji, lastnostmi proizvodov in na emisije v okolje.

Čeprav so bili peleti specificirani kot alternativno trdno gorivo z ustreznim klasifikacijskim razredom kakovosti za uporabo v veliki kurilni napravi, so se vedno obravnavali le kot nenevaren odpadek. Sama specifikacija kot alternativno gorivo je pripomogla k boljši prepoznavnosti posušenega blata CČNL, vendar tega odpadka ni bilo možno uradno prekvalificirati iz odpadka 19 08 05 (blato komunalnih čistilnih naprav) v odpadek 19 12 10 (Gorljivi odpadki – iz odpadkov pridobljeno gorivo).

4. PRILOŽNOSTI ENERGETSKE IN SNOVNE IZRABE BLATA

Zaradi narave in sestave osnovnih funkcionalnih organov vodnih mikroorganizmov in njihovih načinov varovanja pred plenilci (gradnja hišk in podobno), vsebuje blato veliko organskih snovi, ki so vir organskega ogljika in vodika, ter hraniv, kot so dušik, fosfor, kalij, ter minerale, katerih najpogostejši elementi so Ca, Si in Mg (Henze, 2008).

Konvencionalni načini ravnanja z odpadnim blatom so v zatonu, saj ne sledijo smernicam integriranega ravnanja z odpadki. Načela integriranega ravnanja z odpadki zahtevajo tudi naprednejše (nekonvencionalne) načine ravnanja z odpadnim blatom (Program ravnanja z blatom, 2016). Pri načrtovanju ravnanja z odpadki se je treba osredotočiti na cilj, da se EU kot celota približa »družbi recikliranja«, ki izvaja ukrepe za preprečevanje odpadkov, nastale odpadke pa uporablja kot vir (Direktiva, 2008). Preprečevanje nastajanja ter priprava za ponovno uporabo in recikliranje odpadkov omogočajo družbi pridobivanje snovi oziroma materialov iz obstoje-

čih, že proizvedenih virov. Pri tem se zmanjšujejo potrebe po naravnih virih, posledično se s tem zmanjšujejo raba energije in negativni vplivi na okolje (Program ravnanja z odpadki, 2016). Osnova tovrstne končne oskrbe odvečnega blata je vrnitev hranljivih snovi v blatu v naravni cikel.

Tabela 3: **Predvideni tok porasta količine blata, odpadek 19 08 05**

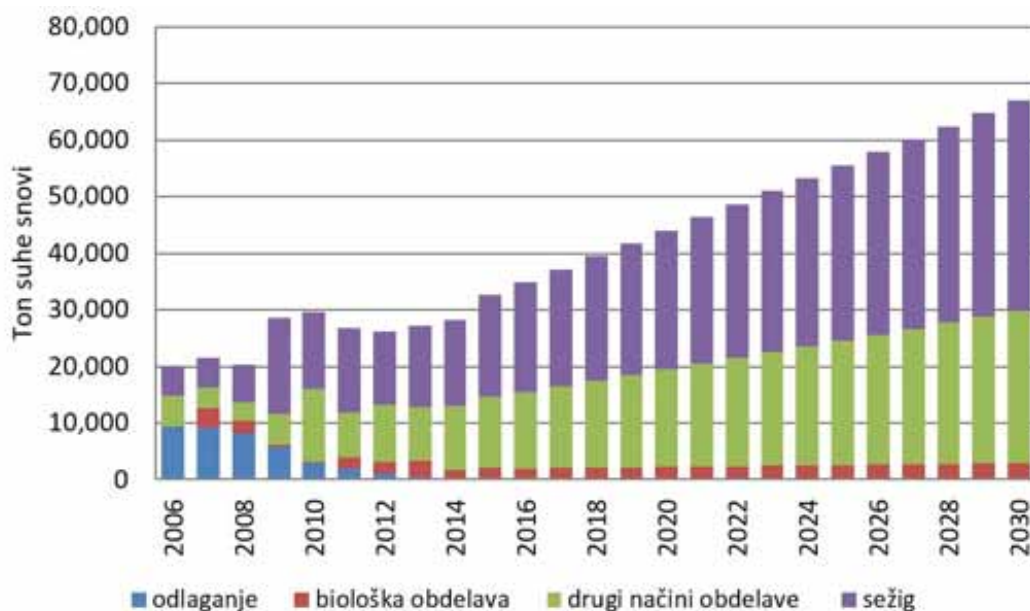
Odpadek 19 08 05, tone (mokra snov)**	2014	Predvidena 10-letna rast/padeč (%/10 let)	2020
Blato komunalnih čistilnih naprav (oddano končnemu predelovalcu)	193.482	15	210.895

Vir: MOP, osnova ARSO, SURS-ODP*.

*Statistično obdelane količine odpadkov, povzete po oddanih Poročilih o nastalih odpadkih in ravnanju z njimi (obrazci »ODP-nastajanje«).

**Količine, povzete po evidenčnih listih – teža odpadka, podana v evidenčnih listih (pri čemer je povprečna vlažnost odpadka več kot 60 odstotkov).

4.1. Energetska izraba blata



Slika 1: Predviden časovni potek ravnanja z blatom iz komunalnih in skupnih čistilnih naprav v Sloveniji

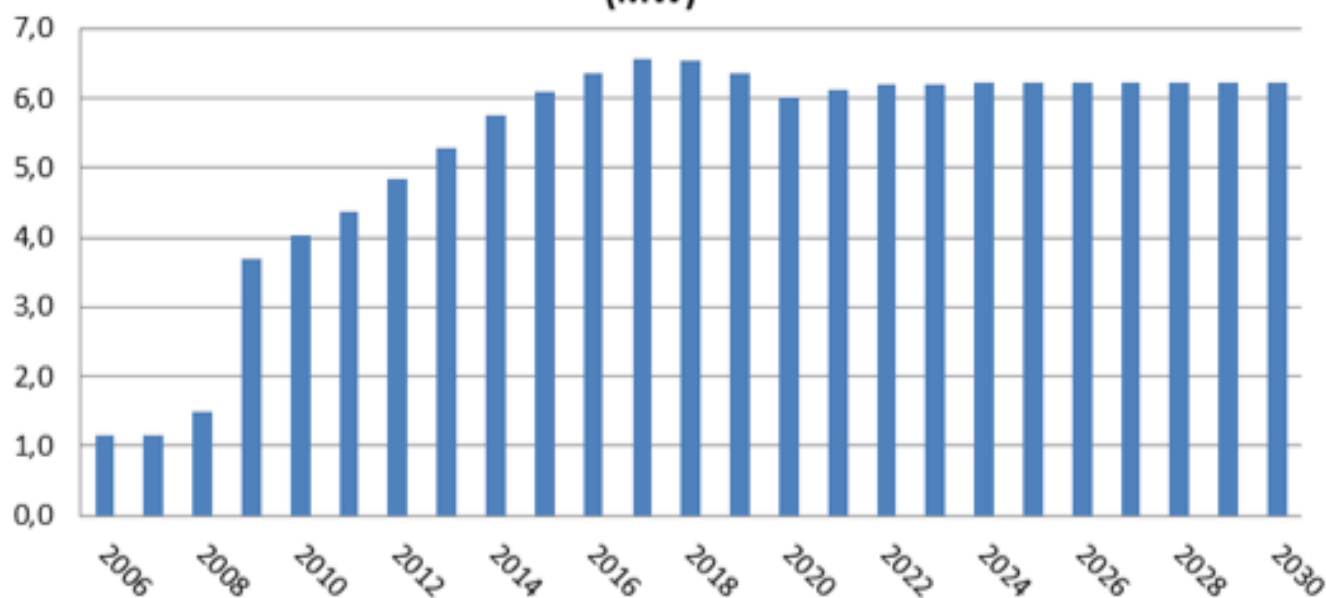
Vir: ARSO, 2016.

Termična obdelava predstavlja okoljsko sprejemljivo in varno možnost obdelave blata iz komunalnih čistilnih naprav. Taka obdelava blata, ki poleg pridobivanja energije in zmanjšanja emisij toplogrednih plinov sama po sebi nudi še higienizacijo in mineralizacijo blata, je tudi najboljša možnost za pridobivanje inertnih ostankov obdelave ter popolno uničenje organskih onesnaževal (Program ravnanja z odpadki, 2016). Glede na porast količine blata (tabela 3 in



slika 1) zahteva predvideno ravnanje z blatom iz komunalnih in skupnih čistilnih naprav v letu 2020 okoli 20-odstotno povečanje zmogljivosti omrežja kompostarn, namenjenih aerobni obdelavi bioloških odpadkov, in okoli 4-odstotno povečanje toplotne moči naprav za energetsko obdelavo gorljivih frakcij mešanih komunalnih odpadkov. To je razvidno iz slike 2 o časovnem poteku predvidene razpoložljive povprečne letne toplotne moči goriva, proizvedenega iz blata komunalnih in skupnih čistilnih naprav (Program ravnanja z odpadki, 2016).

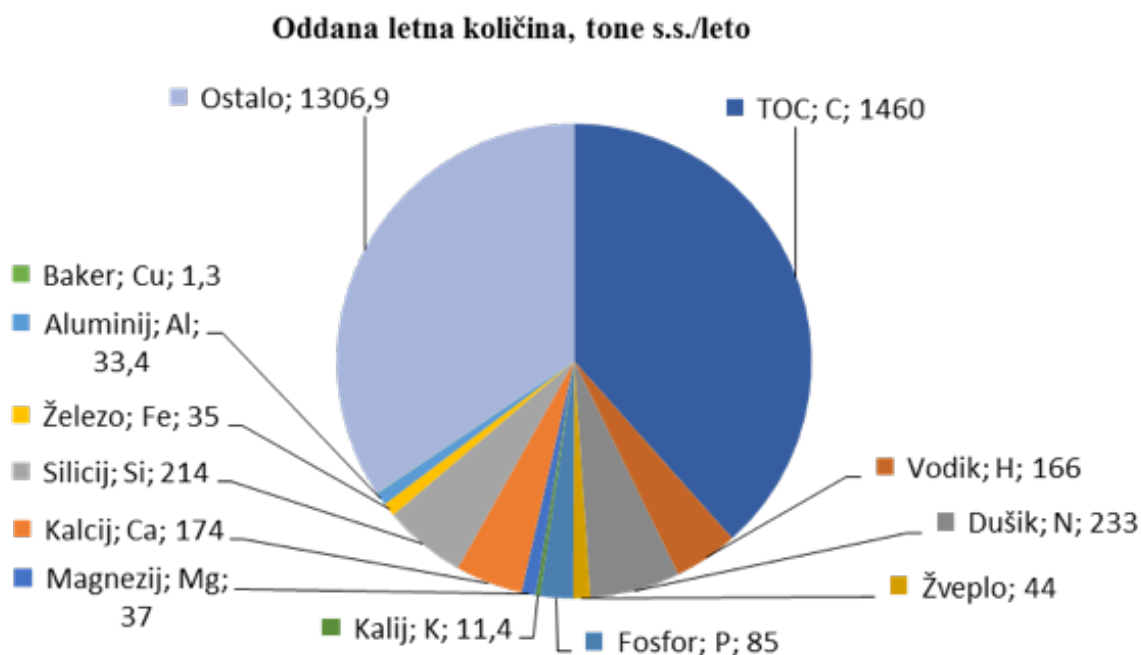
Povprečna letna toplotna moč goriva iz blata iz komunalnih in skupnih čistilnih naprav (25 % vlažnost, 10 MJ/kg s.s.) (MW)



Slika 2: Povprečna letna toplotna moč goriva iz blata

Vir: Program ravnanja z odpadki, 2016.

Peleti CČNL-ja se v skladu z zakonodajo lahko končno obdelajo kot nenevarni odpadek v napravah za sežig ali sosežig odpadkov, Uredba o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig odpadkov (Uradni list RS, št. 8/16).



Slika 3: Z blatom CČNL-ja oddana okvirna letna količina snovi pooblaščenemu prevzemniku odpadka

Ker je energetska izraba peletov v prihodnosti najbolj perspektiven način predelave, je treba poznati način njihovega zgorevanja, lastnosti preostanka toplotne obdelave (pepela oz. taline) in povzročene emisije. Za podajanje točnejše napovedi delovanja sežigalnice moramo vnaprej vedeti, kakšne so karakteristike sprejetih odpadkov in kako se bodo ti obnašali pri termični obremenitvi. JP VOKA je v poznavanje karakteristik peletov, ki so potrebne za oceno primernosti za sežig, vložila že veliko svojega materialnega in raziskovalnega potenciala (Mislej in Novosel, 2014). Iz slike 3 je razvidno, da se letno s peleti proizvede okvirno 1460 ton organskega ogljika ter 166 ton vodika, kar z energetsko izrabo peletov omogoča zniževanje porabe fosilnih goriv in zmanjševanje toplogrednih plinov v ozračju.

Ostale pomembne elemente oz. snovi, ki preostajajo v pepelu (slika 3), je treba smiselno snovno izrabiti in ne dopustiti, da se pepel odlaga na odlagališčih odpadkov. Iz slike 3 je razvidno, da v pepelu preostajajo snovi oz. elementi, ki imajo lahko potencialne pucolanske lastnosti ter se zato lahko uporabijo v gradbeništvu, in tudi snovi, ki so potencialni steklotvorni oksidi, uporabni v proizvodnji stekla.

Fosfor v pepelu, ki nastaja v napravi za sežig blata, ni neposredno uporaben. Za pridobivanje fosforja iz pepela v obliki, ki je primerna za rastline, je treba pepel obdelati z mokrimi in termokemijskimi postopki. Če se blato iz komunalnih čistilnih naprav uporablja v cementni industriji, se fosfor veže s cementom in se tako izgubi kot naravni vir za gnojilo (Program ravnanja z odpadki, 2016).

V svetu se razvijajo nove tehnologije pridobivanja fosforja iz blata čistilnih naprav, ki bodo v bližnji prihodnosti omogočale recikliranje hranil iz blata za uporabo v kmetijstvu. Trenutno postopki, ki se uporabljajo za pridobivanje fosforja iz pepela, niso ekonomsko upravičeni in se v Sloveniji še ne izvajajo (ARSO, 2016).



Peleti so se v obdobju 2013–2017 uporabljali kot trdno gorivo v avstrijski cementarni. Za razliko od slovenske zakonodaje, ki zahteva mešanje odpadkov za njihovo pripravo v trdno gorivo, to v Avstriji ni potrebno. Specifikacija peletov CČNL-ja za uporabo kot trdno gorivo se je izvedla na osnovi vsebnosti naslednjih težkih hlapnih kovin: antimon, arzen, svinec, kadmij, celotni krom, kobalt in nikelj. Peleti CČNL-ja so ustrezali zahtevam iz relevantne avstrijske uredbe (AVV), BGBl. II 2002/389 idF BGBl. II 2010/476, Priloga 8, na katero se je sklicevala tudi pridobljena notifikacijska listina za čezmejni prevoz (tabela 4).

Tabela 4: **Uporaba peletov kot gorivo v cementarnah v Avstriji**

Parameter	Statistični izračun povprečja	Enota kot prejeto	Rezultat za CČNL	Mejna vrednost
Antimon	mediana 80 percentil	mg/MJ	0,27	7
Arzen			0,29	10
			0,26	2
Svinec			0,28	3
			5,82	20
Kadmij			6,75	36
			0,08	0,8
Celotni krom			0,09	0,95
			9,55	25
Kobalt			10,07	37
			0,66	1,5
Nikelj			0,76	2,7
			5,09	10
Živo srebro			5,5	18
			0,09	0,15
			0,12	0,25

4.2. Piroliza, postopek predelave R3

Piroliza je postopek predelave, ki omogoča, da se večina snovi, ki je prisotna v posušenem blatu, lahko reciklira tako, kot je za njen primarni namen in možnost njene naravne obnovljivosti najprimernejše – ogljikovodiki se izrabijo za vir energije (bioolje), hranivom, kot so dušik, fosfor, kalij in nehlapni del ogljika (v obliki bioogljja), pa se omogoča ponovno recikliranje v naravo, pri pirolizi nekondenzirane hlapne snovi pa se energijsko izrabijo na lokaciji nastanka.

4.3. Uporaba blata kot biološko razgradljivega odpadka

Obravnavani odpadki se kot digestat glede na primernost anaerobne predelave na lokaciji nastanka v skladu z Uredbo o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Uradni list RS, št. 99/13 in 56/15) obravnava kot digestat 2. kakovostnega razreda.

Obravnavani odpadki bi se v skladu z Uredbo o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Uradni list RS, št. 99/13 in 56/15) lahko končno obdelali po postopku R3 v kompost 2. kakovostnega razreda.

5. ZAKLJUČEK

Nastajanja vedno večjih količin blata čistilnih naprav ni možno preprečevati. Predvideni načini ravnanja z blatom čistilnih naprav za naslednja leta so predvsem sežig, izvoz, v manjši meri obdelava v bioplinarnah, kompostarnah, odlaganje ostankov po sežigu ter dolgoročno skladiščenje za potrebe poznejše rekuperacije fosforja (ARSO, 2016).

Posušeno blato CČNL-ja (peleti) je nenevaren odpadke s klasifikacijsko številko 19 08 05.

Glede na kemijske lastnosti, ki so skladne z zahtevami tehničnih standardov za kvaliteto alternativnih trdnih goriv, bi se peleti lahko uporabljali kot gorivo v veliki kurilni napravi, vendar ne ustrezajo zahtevam slovenske zakonodaje. JP VOKA je v letu 2012 pridobilo OVD za predelavo posušenega blata v alternativno trdno gorivo, vendar se je možnost realne izrabe blata kot goriva izničila s spremembo zakonodaje v letu 2014.

Glede kemijskih in bioloških lastnosti se peleti lahko uporabljajo kot digestat 2. kakovostnega razreda za uporabo v proizvodnji komposta.

Peleti se ne smejo uporabljati v kmetijstvu, ker povzročitelj nima OVD-ja za tovrstno končno obdelavo. Kot nenevarni odpadke se lahko končno obdelujejo v napravah za sežig in sosežig odpadkov.

Glede pirolize kot postopka predelave R3 za snovno izrabo organskega deleža v peletih je v slovenski zakonodaji opaziti kontradiktornost in medsebojno izključevanje lastnih predpisov, kajti po uredbi za sežig odpadkov spada piroliza tudi med postopke R1. Nedorečena je napoved klasifikacijskih števil preostankov sežiga in pirolize in s tem napoved njihove možne končne obdelave.

LITERATURA IN VIRI

1. ARSO, 2016. Ključno sporočilo. Dostopno na: http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=763 [14. 8. 2018].
2. Direktiva 2008/98/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. novembra 2008 o odpadkih in razveljavitvi nekaterih direktiv. UL L št. 312, z dne 22. 11. 2008, str. 3.
3. Henze, M., C.M. van Loosdrecht, M., Ekama, G., Brdjanović, D., 2008. Biological Wastewater Treatment, Principles, Modelling and Design. London: IWA Publishing.
4. Mislej, V., Novosel, B., 2014. Poročilo o načinu zgorevanja alternativnega trdnega goriva - peletiziranega pregnitega blata Centralne čistilne naprave Ljubljana, JP VODOVOD-KANALIZACIJA d. o. o.: št. poročila: 2014/004. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 23 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 1744687].
5. Mlakar, T., Vuk, T., 2009. Alternativna goriva v cementni industriji – možnosti in omejitve. Zbornik 10. simpozija Gospodarjenje z odpadki - GzO'09'. Nova Gorica.
6. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za okolje in zdravje, 2017. Ocena nenevarnega odpadka, 19 08 05 – Blato iz čiščenja komunalnih odpadnih voda, št. dokumenta: 20-14/17.
7. Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode (novelacija za obdobje od leta 2005 do leta 2017). Sklep Vlade RS, št. 35401-2/2010/3 z dne 11. 11. 2010 in Sklep Vlade RS, št. 35401-2/2010/8 z dne 14. 7. 2011.



8. Program ravnanja z odpadki in Program preprečevanja odpadkov RS. Dostopno na http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/varstvo_okolja/operativni_programi/op_odpadki.pdf [14. 8. 2018].
9. Uredba o odlagališčih odpadkov. Uradni list RS, št. 10/14.
10. Uredba o odpadkih. Uradni list RS, št. 37/15 in 69/15.
11. Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu. Uradni list RS, št. 62/08.
12. Uredba o sežigalnicah odpadkov in napravah za sosežig odpadkov. Uradni list RS, št. 8/16.



V MIKRO+POLO že skoraj 30 let uresničujemo svoje poslanstvo – biti najboljši partner za laboratorij.

Za več kot 4.000 kupcev in 300 dobaviteljev skrbi 95 zaposlenih. Visoko strokovnost zagotavljamo s 25 univerzitetno izobraženimi prodajnimi predstavniki različnih smeri: kemije, biokemije, mikrobiologije, zdravstvene nege, farmacije itd., ki letno opravijo 9.000+ prodajnih obiskov. Naš prodajni program obsega 500.000+ izdelkov; od tega jih skoraj 420.000 ponujamo v prvi slovenski spletni aplikaciji (market.mikro-polo.si).

Še posebej smo ponosni na lastno blagovno znamko laboratorijskega pohištva LAB INTERIOR, s katerim smo opremili več kot 400 laboratorijev v Sloveniji, Avstriji, Nemčiji, Hrvaški, Bosni in Hercegovini, Bolgariji, Rusiji in drugod po svetu.





OBDELAVA ODVEČNEGA AKTIVNEGA BLATA NA KOMUNALNI ČISTILNI NAPRAVI S POMOČJO OZONACIJE

prof. dr. Gregor D. ZUPANČIČ¹, Špela HUDOBIVNIK², dr. Mario PANJIČKO³,
dr. Matej ČEHOVIN⁴

Povzetek

Odvečno blato na komunalnih čistilnih napravah še zmeraj predstavlja velik izziv in visok strošek za končno dispozicijo. Danes obstaja veliko postopkov za zmanjševanje količine blata, eden iz skupine naprednih oksidacijskih postopkov je ozonacija. Eksperimentalno delo je bilo razdeljeno v več sklopov, v prvem smo določili najugodnejšo varianto mineralizacije blata v šaržnem sistemu, v drugem sklopu pa smo le-to integrirali v cikel delovanja SBR. Pri tem smo variirali parametre tako, da so KPK, skupni dušik in skupni fosfor v vodi ostali pod mejnimi vrednostmi za izpust. Izkazalo se je, da je povprečna doza ozona 11,1 g/kg dovolj za 83,2-% mineralizacijo odvečnega blata. V tretjem sklopu smo določili porabljeno električno energijo ozonatorja in ekonomsko ovrednotili proces. Energija za odstranitev blata je znašala 815 kWh/tono dehidriranega blata, kar znese z vzdrževanjem pribl. 91,34 evra/tono blata. Če temu prištejemo še amortizacijo investicijske vrednosti, lastna cena odstranjevanja blata doseže celo 165,47 evra/tono. Taka cena je previsoka, da bi se proces ozonacije lahko trenutno uveljavil kot alternativni način odstranjevanja odvečnega aktivnega blata.

Ključne besede: aktivno blato, ekonomika ozonacije, komunalna čistilna naprava, mineralizacija odvečnega blata, ozonacija, sekvenčni šaržni reaktor (SBR)

Abstract

Excess activated sludge at municipal WWTP's nowadays still represents a challenge and a significant economic expense in WWTP operation. There are many ways of excess sludge treatment present nowadays, one of the promising ones is ozonation. Experimental work was divided in three parts, in the first part we determined the optimal conditions for sludge ozonation and in the second part we integrated ozonation into the SBR cycle operation. The parameters of operation were varied in a way that COD, total nitrogen and total phosphorous in the wastewater effluent were kept below the legal release limit. The average ozone

1 Prof. dr. Gregor Zupančič, Centar za razvoj održivih tehnologija, d. o. o.

2 Špela Hudobivnik, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju

3 Dr. Mario Panjičko, Centar za razvoj održivih tehnologija, d. o. o.

4 Dr. Matej Čehovin, MAK-CMC tehnologija vode, d. o. o.

dose of 11.1 g/kg was sufficient to achieve 83.2 % solids removal in the sludge. In the third part we determined the energy and economic balances of the process. Total process used up 815 kWh/tonne (dehydrated sludge) of electricity, which adds up (including maintenance) to approx. 91.34 €/tonne of operational costs. Including the investment value (and amortisation) total costs add up to 165,47 €/tonne. These costs of ozonation are too high for ozonation to be an economically viable process for excess activated sludge removal.

1. UVOD

V Republiki Sloveniji in tudi širši okolici je za čiščenje odpadnih voda relativno dobro poskrbljeno. Uredbe, ki so bile sprejete pred desetletji, so poskrbele za to, da so vse srednje in večje čistilne naprave že postavljene in delujejo v večini primerov dobro in služijo svojemu namenu. Osnovni problem, ki se je pojavil že dokaj hitro po zgraditvi večjih čistilnih naprav, je bilo pomanjkljivo dorečeno ravnanje z blatom, ki nastaja ob čiščenju odpadnih voda. Sledenje evropskim direktivam o omejenih možnostih odlaganja organskih odpadkov je imelo za posledico prepoved odlaganja organskih snovi, ki imajo več kot 5 % TOC-a v suhi snovi. To pomeni, da je odlaganje blata iz čistilnih naprav prepovedano, saj blato vsebuje bistveno več organske snovi. Hkrati s tem pa smo uvedli precej restriktivne omejitve v ponovni uporabi blata na kmetijskih zemljiščih, tako da je le malo blata iz čistilnih naprav lahko uporabljenega na kmetijskih zemljiščih. Posledično je zato ostala najbolj praktična možnost ravnanja z blatom sežig. Ker pa ima slovenski prostor omejene kapacitete sežiganja, se blato večinoma sežiga v tujini, kar pa je povezano z visokimi stroški. Največji upravljalec blata v Sloveniji računa za odvoz med 60 in 100 evrov za tono dehidriranega blata. To je v nekaterih primerih tudi med 50 % in 60 % stroškov obratovanja čistilnih naprav, predvsem tistih, ki uporabljajo tehnologijo aktivnega blata, kar je običajno sprejeto dejstvo tudi drugod po svetu, ki ga navaja tudi literatura (Egemen idr., 2001). V sežigalnicah tako konča v Sloveniji in Evropi približno 90 % vsega komunalnega blata.

Povišani gospodarski pritiski na znižanje stroškov in ceno obdelave odpadne vode so v zadnjem obdobju pripeljali do razvoja novih tehnologij. Med najobetavnejše metode za zmanjšanje odpadnega blata štejemo zmanjšanje proizvodnje blata v samem procesu čiščenja odpadne vode in ne zgolj na koncu, kot je to običaj (Wei idr., 2003; Zhang idr., 2009). V sklop teh tehnologij spada tudi ozonacija. Po rezultatih različnih študij ozoniranja za zmanjšanje količine komunalnega blata (Caffaz idr., 2005; Sakai idr., 1997; Sievers idr., 2004; Winter, 2002; Yasui idr., 2005) se lahko pričakuje zmanjšanje količine blata od 55,5 % pa vse do popolne 100-% odstranitve. Caffaz idr. (2005) so ozonirali komunalne vode v časovnem razponu 9 mesecev in dosegli 78-% redukcijo blata, Winter (2002) in Sievers idr. (2004) so prav tako ozonirali komunalne odpadne vode v časovnem razponu dveh let in dosegli 55,5-% redukcijo blata, Sakai idr. (1997) pa so z ozoniranjem komunalne vode v časovnem razponu 9 mesecev dosegli 100-% redukcijo blata.

Proces zmanjševanja količine blata z ozonacijo je splošno uporabna tehnologija, ki je implicirana že pri zmanjševanju proizvodnje odvečnega blata in posledično lahko izboljša usedanje blata. Ko je blato v stiku z ozonom, večina aktivnih mikroorganizmov v blatu postane neak-



tivna in je oksidirana do organskih spojin. Več kot 50 % ogljika, pridobljenega po ozonaciji, je biorazgradljivega. Ozonacija ima pozitivne in negativne lastnosti. Med glavne prednosti štejemo to, da je ozonacija (i) dobro raziskana in preizkušena tehnologija za zmanjševanje količine blata, (ii) uspešno se implicira v celoten potek čistilnih naprav, (iii) usedljivost blata se poveča, (iv) zmanjša se količina penjenja, (v) ni prisotnega kopičenja inertnih trdnih snovi v prezračevalnem bazenu, (vi) poviša se učinkovitost razgradnje trdnih snovi. Glavne slabosti ozonacije pa so (i) visoki stroški začetnega kapitala v zvezi z opremo in visoki operativni stroški za proizvodnjo ozona, (ii) ozonacija blata lahko povzroči majhno povišanje koncentracij suspendiranih snovi, KPK-ja, BPK-ja in TOC-a (celotni organski ogljik) ter fosforja v iztoku čistilne naprave, (iii) ozon se lahko porabi tudi za degradacijo drugih snovi, ki so lahko prisotne, in za kovine, prisotne v blatu, ki se prenesejo nazaj v tekočo fazo in jih je nato treba ponovno odstraniti (Chu idr., 2009). Ozonacija lahko tako potencialno škodljivo vpliva na biološke stopnje odstranjevanja dušika, fosforja, ogljika, ko je aktivno blato vrnjeno v proces; saj se že odstranjene snovi vrnejo nazaj v biološko stopnjo čiščenja (Dytczak idr., 2006). Predvsem je to vidno pri odstranjevanju fosforja in dušika. Po združenju ozoniranega blata iz povratnega toka blata z aktivnim blatom se je v raziskavah pokazalo znižanje v stopnji uspešnosti odstranjevanja fosforja (Sui idr., 2011). Tako je pri 100-% odstranitvi blata praktično nemogoče doseči odstranjevanje fosforja, saj se ta skozi ozonacijo vedno povrne v odpadno vodo (Sakai idr., 1997). Ob uvedbi ozonacije je treba posebno pozornost nameniti temu, da se optimira stopnja ozonacije in odstranjevanje fosforja, da niso presežene mejne vrednosti za izpust.

Tako je najbolj praktična redukcija blata okoli 80 %. V tem primeru bi se z ozonacijo v vodo nazaj sproščene dušikove in fosforjeve snovi še lahko primerno odstranjevale iz odpadne vode.

V predstavljenem delu smo si zadali cilj, da ozonacijo preskusimo na čistilni napravi v Sloveniji, velikosti 15.000 PE, ki čisti pretežno komunalne odpadne vode in proizvede okoli 600 ton dehidriranega odvečnega blata s povprečno 22-% vsebnostjo suhe snovi. Konkretni cilji so bili:

1. razdelati pogoje ozonacije, pri kateri bi dosegli 80-% znižanje količine odvečnega blata (doza ozona, čas in pozicija ozoniranja),
2. določiti stroške obratovanja in stroške investicije take naprave,
3. določiti lastno ceno blata pri amortizaciji naprave 10 let.

2. EKSPERIMENTALNI DEL

Za lažjo in primerno izvedbo raziskovalnega dela smo delo strukturirali na več delov.

2.1. Raziskovalni del 1

- (1) Določanje mineralizacije blata. V šaržnem reaktorju se napolni polna količina delujočega surovega blata (100 L) in se ozonira pri različnih dozah ozona. Od 10 g O_3 /kg suhe snovi (SS) do 80 g O_3 /kg SS. Čas ozoniranja se določi glede na zmogljivost ozonatorja. Zmogljivost ozonatorja je bila taka, da čas ozoniranja ni bil daljši od 1 ure. Predvidenih je 8 preskusov šaržne mineralizacije.

- (2) Analitika: pred preskusom SS in hlapna snov (HS) blata in KPK vode v blatni suspenziji. Po preskusu enako SS in HS blata ter KPK vode.

2.2. Raziskovalni del 2

- (1) Določanje kontrolnega preskusa – začetnega stanja. Posnetek delovanja čistilne naprave (obremenitve in zadrževalni čas, časi prezračevanja). Pretvorba parametrov v delovanje reaktorja SBR-ja (šaržni biološki reaktor). Predvideva se polnjenje z anoksično fazo, anoksična faza, prezračevanje z aerobno fazo, usedanje, iztok in mirovanje. Dodamo v reaktor količino blata, ki ustreza koncentraciji blata v čistilni napravi, in obdelujemo s SBR-procesom komunalno odpadno vodo, da dobimo enake rezultate kot na čistilni napravi.
- (2) Analitika za (1): KPK vtok in iztok, TN vtok in iztok, $\text{NH}_4\text{-N}$ vtok in iztok, $\text{NO}_3\text{-N}$ iztok na dnevni bazi. SS in HS blata na začetku in po zaključku. SS in HS blata se analizirata z namenom določitve prirasta blata.
- (3) Integracija ciklusa ozoniranja v delovanje SBR-reaktorja. Glede na stopnjo mineralizacije smo integrirali primerno fazo ozoniranja v delovanje SBR. Tako smo imeli tele faze: polnjenje z anoksično fazo, anoksična faza, prezračevanje z aerobno fazo, usedanje, iztok, ozoniranje, mirovanje. Integrira se faza ozoniranja, ki bi mineralizirala od 10 do 50 % blata. To predvidoma pomeni, da bi se lahko mineraliziralo do 80 % prirasta blata (ki je predvidoma 50 %). Izvedla se je se različica direktnega ozoniranja v reaktor.

2.3. Raziskovalni del 3

- (1) Določitev potrebne opreme za čistilno napravo 15.000 PE. Iz rezultatov raziskovalnega dela 3 se določi velikost potrebnega ozonatorja, da se obdela potrebna količina blata na čistilni napravi in določi tudi predvidena poraba električne energije, potrebne za obratovanje.
- (2) Ocena stroškov električne energije za obratovanje in povračilne dobe investicije.

2.4. Uporabljena oprema

Za izvedbo raziskovalnega dela smo uporabili za ta namen skonstruiran in prirejen SBR-reaktor s prostornino 100 litrov. Uporabljene cevi so bile iz PVC-ja, za doziranje ozona pa smo uporabili cevko, izdelano iz teflona. Generator ozona je bil znamke Wedeco, model GSO10. Črpalka za odpadno vodo je bila znamke Prominent Gamma/4. Za prvi raziskovalni del smo blato odvzeli iz povratnega toka, tik pred vtokom v mešalni bazen. Ozonirali smo 100 L aktivnega blata z dozami od 10 g/kg suhe snovi ozona do 80 g/kg suhe snovi ozona. Pred postopkom in po vsakem postopku ozonacije smo odvzeli vzorec blata in supernatanta za analize parametrov, ki so služile za oceno učinkovitosti ozonacije. V drugem delu raziskovalnega dela smo izvedli simulacijo celotnega sistema čistilne naprave. V šaržnem biološkem reaktorju smo faze prilagajali potrebam preskusa. Faze cikla so variirale glede na obremenitev reaktorja ter glede poteka nitrifikacije in denitrifikacije. SBR-reaktor je imel 5 faz (polnjenje in mešanje, prezračevanje, usedanje, praznjenje in mirovanje) z občasno dodano 6. fazo, ki predstavlja



ozonacijo. Časovni razpon vsake faze smo prilagajali potrebam čiščenja in lastnostim odpadne vode. Faza polnjenja in mešanja je variirala od 45 minut pa do 1 ure in 30 minut (sledila je prilagajanju procesa denitrifikacije), faza mešanja in prezračevanja je variirala od 1 ure in 15 minut do 2 ur in 35 minut (sledila je prilagajanju procesa odstranjevanja organskih spojin in nitrifikacije), faze usedanja, praznjenja in mirovanje so bile fiksne, in sicer faza usedanja 30 minut, faza praznjenja 6 minut in mirovanja 4 minute. Prvotni plan pri uvedbi faze ozonacije v proces čiščenja odpadne vode je bil upoštevati rezultate prvega dela preskusov (ozoniranja v šaržnem sistemu) in uvesti optimalni čas šarže. Pri tem so se pojavile nepredvidene težave, zato smo uvedli fazo ozonacije, ki je variirala od 5 do 10 minut.

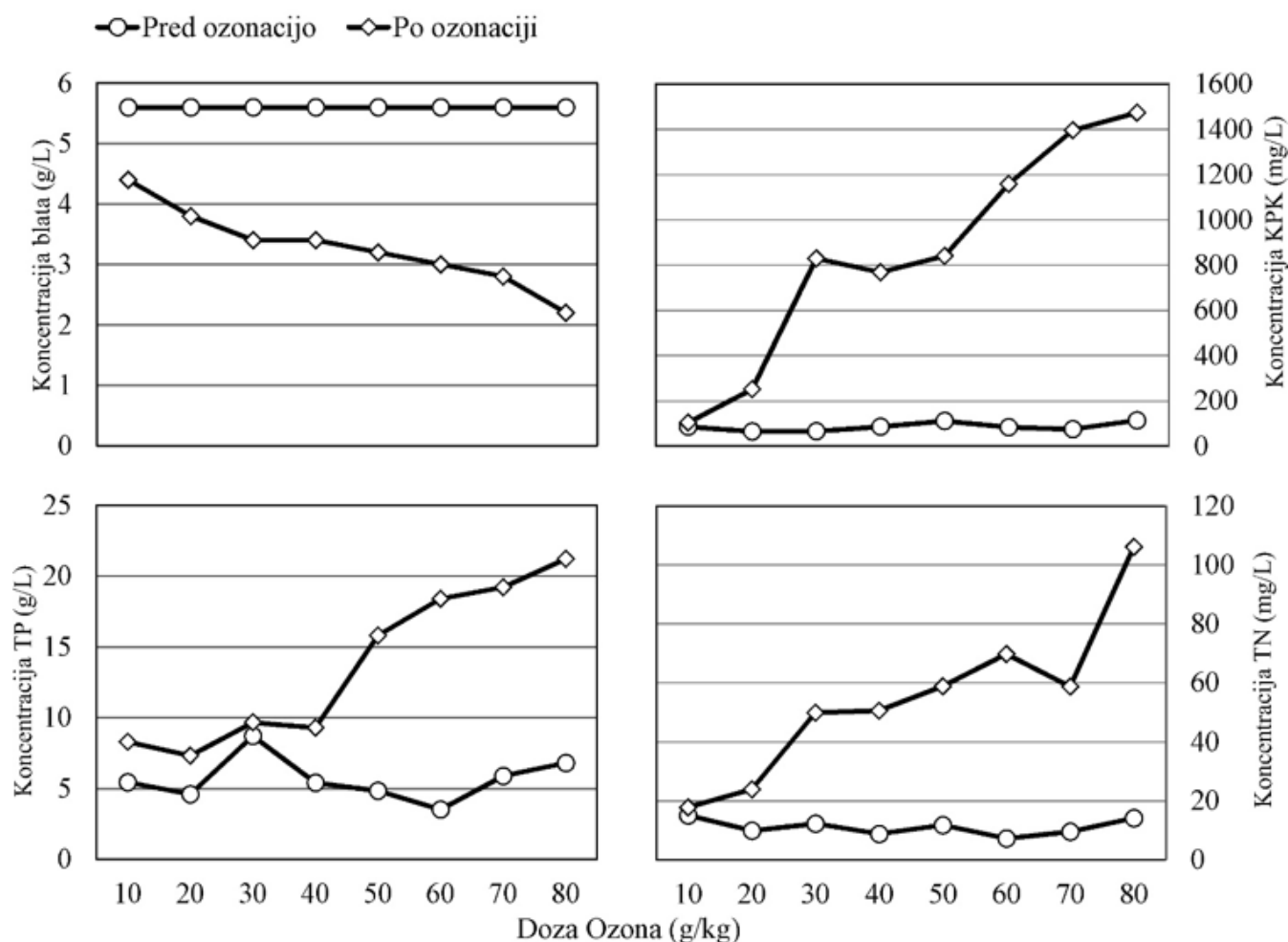
2.5. Analizne metode

Za ovrednotenje procesa ozonacije in čiščenja odpadne vode smo izvajali analize parametrov suha snov, hlapna snov, kemijska potreba po kisiku (KPK), celoten dušik (TN), celoten fosfor (TP), amonija in nitrata po metodah *SIST ISO 6060:1996 (KPK)*, *SIST ISO 29441:2011 (TN)*, *SIST ISO 6878:2004 (TP)*, *SIST ISO 11732:2005 (amonij)*, *SIST ISO 7890-3:1988 (nitrati)*. Sušine in žarine smo analizirali po standardnih metodah sušenja oz. žarenja pri 105 °C oz. 550 °C do konstantne teže. Tehtali smo na tehtnici z natančnostjo 0,01 g. Za meritve kisika smo uporabili Hach HQ 40d-multi ter sonde Hach LDO™ za merjenje kisika ter sondo HachIntelii CAL™ pH101 za merjenje pH-vrednosti.

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Raziskovalni del 1

Sprva smo ugotavljali stopnjo redukcije blata s samo ozonacijo v šaržnem sistemu brez čiščenja odpadne vode. Začetna koncentracija je bila vedno enaka, 5,6 g/L, in se je pričakovano sorazmerno nižala z večjo dozo ozona. Spremembe koncentracije blata so prikazane na sliki 1.



Slika 1: Rezultati raziskovalnega dela 1, sprememba koncentracije blata in koncentracij KPK-ja, TN-ja in TP-ja v supernatantu blata

Najnižja dosežena koncentracija blata 2,20 g/L je bila dosežena pri največji dozi ozona, 80 g/kg suhe snovi ozona. Kot je razvidno iz slike 1, se je v procesu ozonacije višja doza ozona izražala v višji redukciji koncentracije blata. Po dozi 10 g/kg suhe snovi ozona je bila redukcija koncentracije blata 21,4 %, po dozi 20 g/kg suhe snovi ozona je bila redukcija koncentracije blata 32,1 %, po dozi 30 in 40 g/kg suhe snovi ozona je bila redukcija koncentracije blata 39,3 %, po dozi 50 g/kg suhe snovi ozona je bila redukcija koncentracije blata 42,9 %, po dozi 60 g/kg suhe snovi ozona je bila redukcija koncentracije blata 46,4 %, po dozi 70 g/kg suhe snovi ozona je bila redukcija koncentracije blata 50,0 %, po dozi 80 g/kg suhe snovi ozona je bila redukcija koncentracije blata 60,7 %. Če želimo doseči teoretično minimalno stopnjo redukcije blata 40 %, moramo dozirati vsaj 50 g/kg suhe snovi ozona pri začetni koncentraciji 5,60 g/L.

Medtem ko se koncentracija blata znižuje, pa se parametri KPK, TN in TP v supernatantu – tekočini blata povečujejo. Na sliki 1 je prikazano spreminjanje KPK-ja. Ozon poškoduje celično membrano celic blata, zato se organske snovi razpustijo v vodo in KPK v tekočini blata naraste. Rezultati se ujemajo z znižanjem koncentracije blata. Manj blata se razgradi, manjše je povišanje vrednosti KPK-ja. Prav tako je očitna točka preloma, ki je pri dozi 30 g/kg suhe snovi ozona, kjer je najvišji skok KPK-ja, kar pomeni, da je to najvišja stopnja mineralizacije glede



na dozo ozona. Prav tako se zgodi z TN-jem in TP-jem, ki se v tekočini blata povišajo, kar je razvidno iz slike 1. Točka preloma je prav tako med dozami 20 in 30 g/kg suhe snovi ozona. Smiselno je torej uporabiti dozo 30 g/kg suhe snovi ozona, ker je v tem obsegu tudi največji skok KPK-ja, hkrati pa koncentracije TN-ja in TP-ja še niso previsoke.

3.2. Raziskovalni del 2

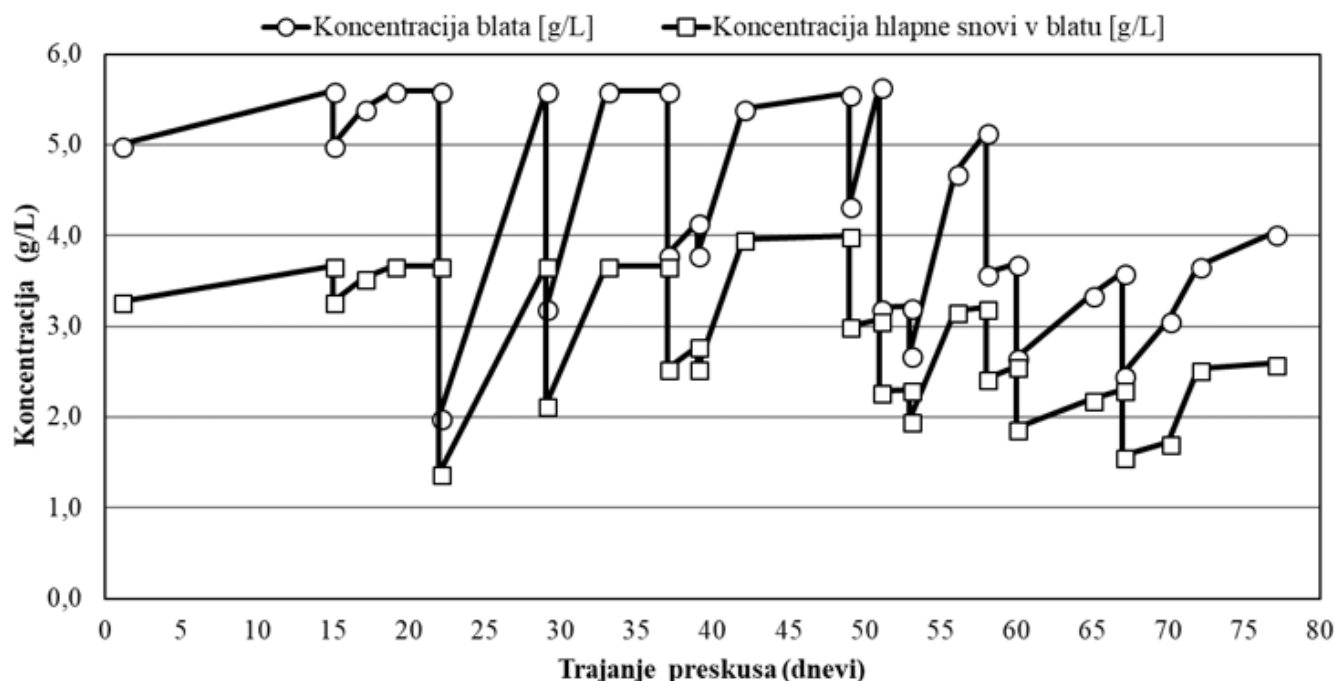
Glede na rezultate prvega dela raziskovanja in točke preloma smo se odločili, da začnemo ozonacijo pri dozi 30 g/kg suhe snovi ozona. Naš cilj je ugotoviti, (1) kako se bo blato obnašalo po ozonaciji in (2) kako pogosto bodo potrebne ozonacije za želeno znižanje prirasta blata za 80 %.

3.2.1. Sprememba koncentracij blata in hlapnih snovi blata zaradi ozonacije v procesu čiščenja odpadnih vod

Takoj po prvi ozonaciji smo naleteli na težavo, kipenje blata iz reaktorja. Po fazi ozonacije se je preskus vrnil v običajno delovanje čiščenja odpadne vode in pri tem smo v 2. fazi delovanja SBR-ja – prezračevanje opazili, da je večja količina blata zaradi penjenja izkipela iz reaktorja. To smo rešili tako, da smo znižali dozo ozona. Tako smo ugotovili, da obstaja točka preloma pri doziranju ozona, kjer je penjenje še lahko obvladljivo. Tako smo znižali enkratno dozo ozona v 6. fazi – ozonacija in povečali pogostost ozonacij. Slika 2 prikazuje koncentracijo blata in koncentracijo hlapne snovi. Opazimo lahko, da se koncentracija hlapne snovi giblje podobno kot koncentracija blata. Razmerje med suho snovjo in hlapno snovjo se le malo spreminja, opazno pa je majhno znižanje po ozonaciji, kar pomeni, da se mineralizacija odvija.

Največjo redukcijo blata smo izvedli od 51. do 53. dneva, kjer smo s kombinacijo 9-minutne in 8-minutne ozonacije dosegli skupno 59,6-% redukcijo blata, in pa od 58. do 60. dneva, kjer smo imeli dve 8-minutni ozonaciji in smo dosegli 58,2-% redukcijo blata. Na 67. dan smo dosegli najnižjo zabeleženo koncentracijo blata, kjer je redukcija blata znašala 31,2 %, upoštevajoč začetno koncentracijo istega dneva.

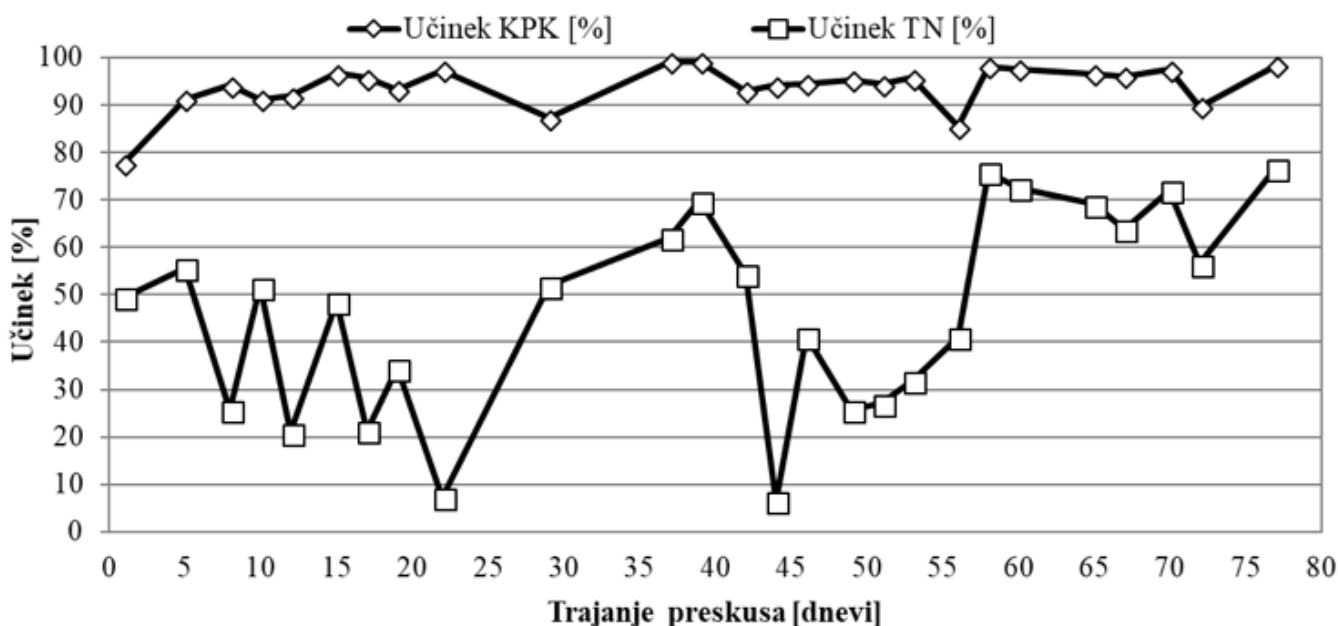
Preskus smo zaključili po 77 dneh. Ugotovili smo, da je bila povprečna doza ozona 11,1 g/kg suhe snovi blata in da je v povprečju potrebna ozonacija vsake 4 dni in pol. Prav tako ni pomembno, kakšna je začetna koncentracija blata pred ozonacijo, pomembno je, da se koncentracija blata po ozonaciji giblje med 2,6 in 2,0 g/L, saj z nižjo koncentracijo tvegamo slabše delovanje čiščenja odpadne vode.



Slika 2: Koncentracije blata in hlapne snovi v blatu

3.2.2. Odstranjevanje KPK, TN, NO_3^- -N in NH_4^+ -N v procesu čiščenja odpadnih vod

Parametre KPK, TN, TP, NO_3^- -N in NH_4^+ -N smo analizirali v povprečju 3-krat tedensko, po potrebi tudi med ciklom delovanja, da bi določili učinkovitost denitrifikacije. Med samim procesom čiščenja odpadne vode KPK ni predstavljal težav v smislu izpusta iz procesa čiščenja. Precejšnje težave je predstavljala povišana koncentracija NO_3^- -N, ki je občasno povzročila tudi preseganje mejne vrednosti TN-ja za izpust.

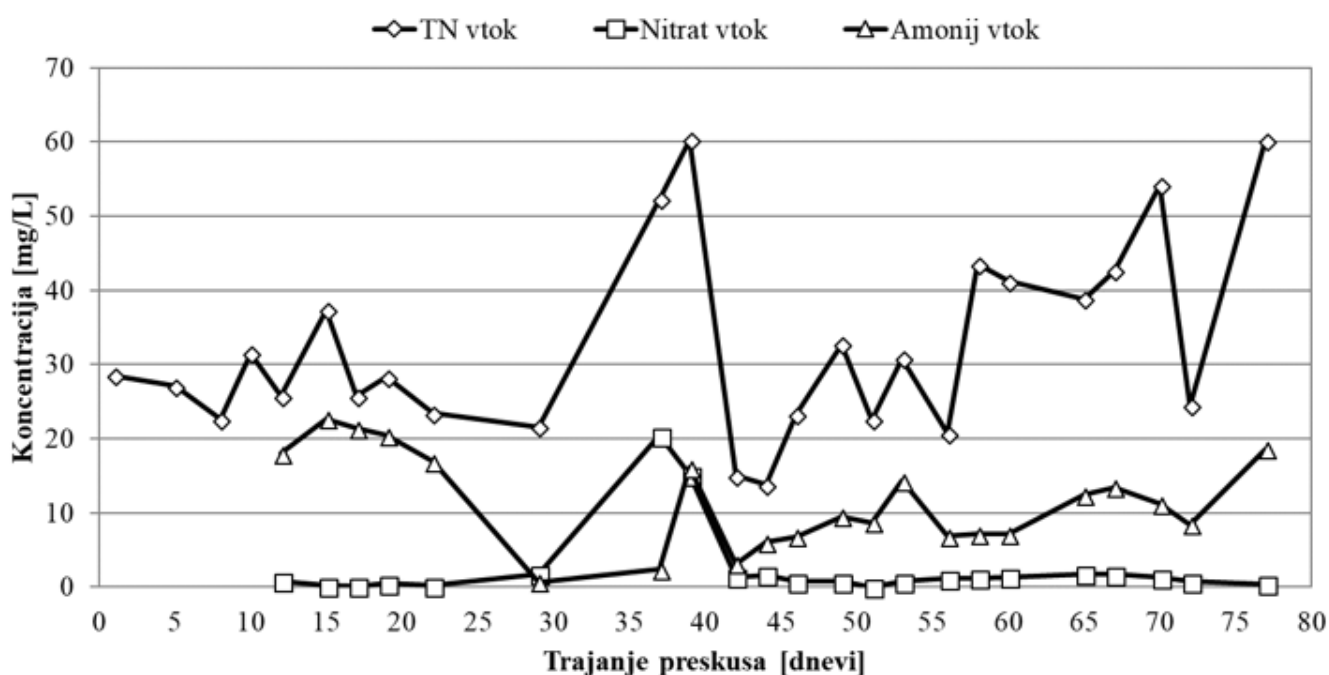


Slika 3: Učinek odstranjevanja KPK-ja in TN-ja v procesu čiščenja odpadnih vod

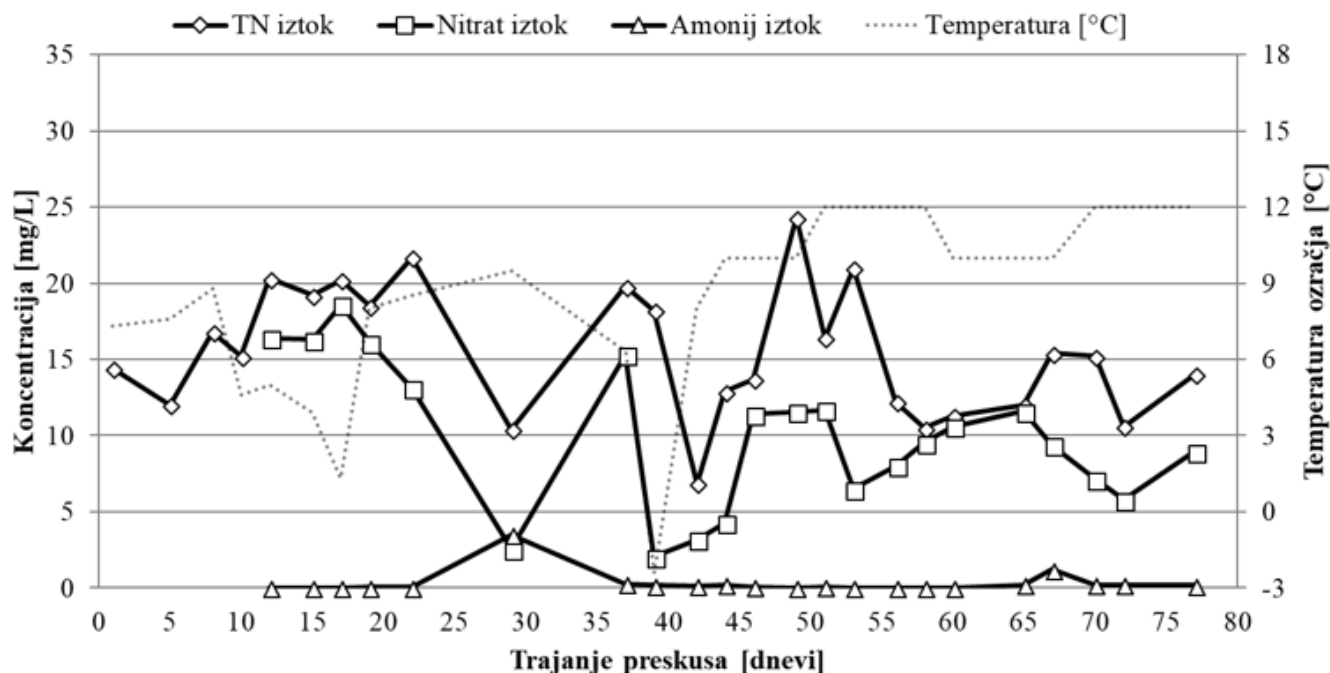


Koncentracija KPK-ja skozi celoten preskus ni predstavljala večjih težav, niti v običajnem delovanju SBR-ja kot tudi ne v ciklikih po ozonaciji. Vrednosti vtočnega KPK-ja so se gibale med 123 mg/L in 1681 mg/L, vrednosti iztočnega KPK pa med 7 mg/L in 54 mg/L, kar predstavlja zelo dobro učinkovitost procesa, med 77,8 % in 99,2 % (slika 3) in zmeraj globoko pod mejno vrednostjo, ki znaša 110 mg/L.

Proces odstranjevanja KPK-ja je bil zelo učinkovit, saj se je v večini primerov že med 1. fazo SBR-ja (anoksična faza) KPK zelo zmanjšal (slika 3), občasno tudi preveč, kar pa je znižalo učinkovitost denitrifikacije. Znano je namreč, da je za denitrifikacijo nujno potrebna organska snov, ki jo bakterije lahko s prisotnim nitratom oksidirajo. Ker te v našem primeru ni bilo dovolj, denitrifikacija ni mogla potekati. Zato je bilo potrebno že med običajnim obratovanjem SBR-ja konstantno prilagajanje časa 1. in 2. faze (denitrifikacije in nitrifikacije), da bi se lahko dosegel predpisan parameter skupnega dušika za izpust 15 mg/L.



Slika 4: Koncentracije TN-ja, nitrata in amonija na vtoku



Slika 5: Koncentracije TN-ja, nitrata in amonija na iztoku

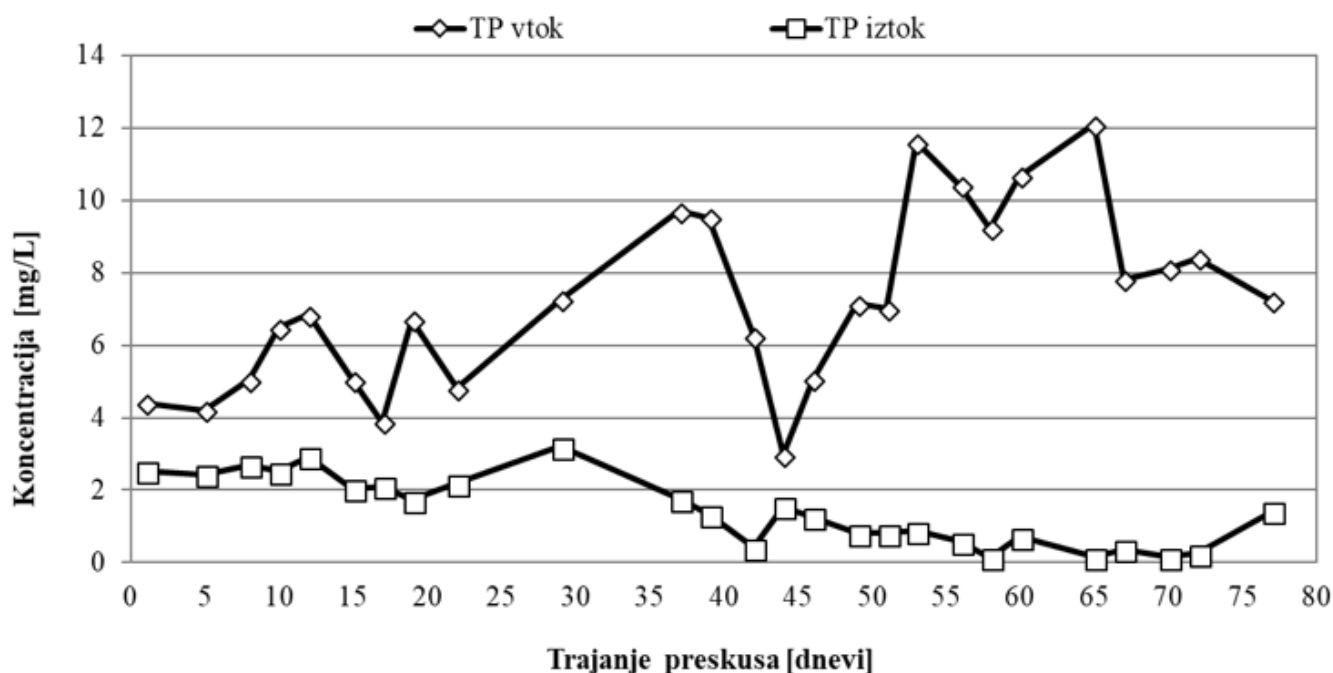
Sliki (slika 4 in slika 5) prikazujeta gibanje koncentracij TN, NO_3^- -N in NH_4^+ -N na vtoku in iztoku. Opazno je precejšnje nihanje vtočnih koncentracij, TN je nihal med 20 mg/L in 60 mg/L, NH_4^+ -N pa med 0,7 mg/L in 18,6 mg/L, kar je običajno. Preseneča pa, da se je tudi na vtoku občasno pojavil NO_3^- -N, nihal je med 0,0 mg/L, kar je običajno, in 20,4 mg/L, kar je pa povsem neobičajno. To je posledica mešanega kanalizacijskega sistema, kjer ob večjih nalivih na čistilno napravo priteče precej meteorne vode, ki posledično razredči vtok in tudi dovede dovolj raztopljenega kisika, da se že pred čistilno napravo tvori NO_3^- -N. To ima precejšnje posledice za samo delovanje na čistilni napravi, kjer sicer poredko, ampak tudi nastopijo težave in je zaradi tega težko doseči zadovoljivo denitrifikacijo in odstranitev nitrata, posledično pa tudi predpisane mejne vrednosti izpusta za dušik. Tako smo tudi mi imeli težave, na iztoku smo le stežka dosegli predpisanih 15 mg/L, kar pa ni bila samo posledica nizkih vrednosti KPK-ja v fazi denitrifikacije, ampak tudi temperature. Do 44. dneva smo namreč obratovali na prostem in je bila zunanja temperatura zraka občasno pod 10 °C, minimalna celo -2,4 °C (slika 5), kar je posledično imelo prenizko temperaturo reaktorja (okoli 6 °C) in denitrifikacija pri tej temperaturi ni potekala dovolj učinkovito. Znano je, da je minimalna priporočena temperatura 10 °C. Ko smo preskusno postrojenje preselili v notranji prostor, je temperatura narasla na 10 °C do 12 °C in je bilo odstranjevanje dušika po določenem času uspešno. Koncentracija TN-ja je na iztoku padla pod 15 mg/L in učinek odstranjevanja TN-ja je bil med 56,6 % in 76,7 % (slika 3).

3.2.3. Odstranjevanje TP-ja v procesu čiščenja odpadnih vod

Za potrebe znižanja koncentracije fosforja do mejnih vrednosti smo uporabili železov (III) klorid (FeCl_3). Do 37. dneva FeCl_3 nismo dodajali, po 37. dnevu smo dodali dozo 0,015 mL/L, da bi ugotovili znižanje koncentracije fosforja ob dodatku FeCl_3 . Dozo smo nato zvišali do te mere, da smo dosegli mejno vrednost za izpust, ki znaša 2 mg/L. Zaradi priporočil glede



predpisane doze na čistilni napravi smo v nadaljnjih dneh preskusa dozo povečali, in sicer na 0,047 mL/L.



Slika 6: Vrednosti TP-ja na vtoku in iztoku

Na sliki (slika 6) so prikazane vrednosti fosforja na vtoku in iztoku. Tudi tukaj vrednosti fosforja na vtoku variirajo od onesnaženja odpadne vode, ki pride na čistilno napravo. Manjše onesnaženje lahko nakazuje razredčeno vodo po padavinah ali pa nakazuje majhno aktivnost gospodinjstev in drugih gospodarskih objektov. Pri vrednostih fosforja na iztoku pa vidimo, da se je 37. dan vrednost fosforja spustila pod mejno vrednost z dodatkom 0,015 mL/L FeCl_3 . Kasneje smo dozo zaradi priporočil predpisane doze izdatno povečali, kar je še bistveno bolj znižalo koncentracijo na iztoku. Glede na rezultate lahko rečemo, da je ozonacija vplivala na povečanje TP-ja v supernatantu ozoniranega blata, vendar pa je ta zaradi relativno visoke doze FeCl_3 neznačen.

3.2.4. Učinek ozonacije na prirast in odstranjevanje blata

Da bi ocenili učinek ozonacije, smo iz koncentracij blata, ki so prikazane v sliki 2, izračunali, koliko blata je znižala ozonacija, in to primerjali s prirastom blata na čistilni napravi. Ker smo med preskusi opazili, da nam majhna količina blata zaradi konstrukcije SBR-reaktorja ob vsakem ciklusu izide iz reaktorja (pribl. 30–50 mL v cevi pri ventilu za izpust in neusedle flokule na gladini vode), smo v bilanco vključili tudi to količino blata. To blato se je usedlo v iztočni rezervoar, kjer smo ga vsak teden izločili in ovrednotili. Rezultat izračuna je pokazal, da je povprečni dnevni prirast blata 24,0 g, od katerega se v povprečju 20,0 g zadrži v reaktorju, 4 g pa izide skozi iztok. Ozonacija je odstranila v tem času v povprečju 21,2 g blata dnevno. Učinek ozonacije je tako znašal 83,2 %. S tem smo dosegli zastavljeni cilj ozonacije, ki je bil minimalno 80 %.

3.3. Raziskovalni del 3

3.3.1. Stroški električne energije za ozoniranje

Pri stroških ozoniranja smo izmerili porabljeno elektriko samo za delovanje ozonatorja. Na napajanje ozonatorja je bil nameščen števec elektrike, ki je meril zgolj porabo elektrike za ozonator.

Ozonator je v vseh 124 dnevih eksperimentalnega dela porabil 12,4 kWh elektrike. V prvem delu raziskovanja smo porabili 10 kWh elektrike, v drugem delu raziskovanja pa smo porabili 2,4 kWh. To je pričakovano, ker je bila v prvem delu ozonacija bistveno intenzivnejša in daljša. Vendar je za realno oceno potrebnih stroškov ozonacije merodajen drugi del. Celotna količina odstranjenega blata v drugem delu z ozonacijo je znašala 1166,2 g suhe snovi. Pri porabljeni elektriki to znese 2,06 kWh/kg suhe snovi blata. Pri odstranitvi blata iz čistilne naprave se le-to dehidrira; povprečna koncentracija dehidriranega blata na čistilni napravi, kjer smo izvajali preskuse, je znašala 22 % suhe snovi po masi. Zunanji koncesionarji tako odvažajo dehidrirano, vlažno blato in ga tako tudi obračunavajo. Potrebna električna energija za ozonacijo tako v našem primeru znaša 453 kWh za tono dehidriranega blata.

Končna cena električne energije za industrijske odjemalce je med 500 in 2000 MWh (za leto 2015 znaša 103,64 evra/MWh (z DDV)), kar za nas nanese 46,95 evra za tono blata (Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo, portal energetika).

3.3.2. Cena ostalih stroškov in investicije v opremo za ozoniranje

Zmogljivost generatorja smo določili iz rezultatov raziskav. Povprečna doza ozona v posameznem ozoniranju je bila 11,1 g/kg suhe snovi blata. Ozonirati je bilo treba v povprečju vsake 4,5 dneva. Ker smo imeli SBR-sistem, smo ozonirali celotno količino blata na čistilni napravi. Če to prevedemo na razmere na čistilni napravi (15.000 PE), je ta doza ozona na vse blato v prezračevalniku, usedalniku in mešalnem/dozirnem bazenu. Po podatkih monitoringa smo izračunali celotno količino blata na čistilni napravi, ki znaša približno 30.440 kg suhe snovi. Predvideli smo, da je ozonacija potrebna vsake 4,5 dneva, kar nanese ozonator zmogljivosti približno 3,12 kg/h ozona. Ker menimo, da je potreben ozonator z nekaj rezerve, smo izbrali ozonator z zmogljivostjo 3,2 kg/h ozona, ki ima maksimalno proizvodnjo 3,575 kg/h. Ta ozon bi se predvidoma dodajal v povratni tok blata v mešalni/dozirni bazen na ČN ($Q = 450 \text{ m}^3/\text{h}$), lahko bi se pa tudi iz istega bazena jemala ustrezna količina blata in se dodajala v aeracijski bazen oz. v vtok v aeracijski bazen. Predvidena oprema vsebuje:

- generator kisika PSA (odpadni kisik je možno uvajati v aerirani del čistilne naprave);
- generator ozona zmogljivosti 3,2 kg/h;
- hladilni sistem – zaprta zanka (primarni del hlajen s prečiščeno vodo iz čistilne naprave);
- sistem za uvajanje ozona v vodo/blato – reakcijska komora;
- destruktor viška ozona, ki ne reagira v reakcijski komori (odpadni kisik je možno uvajati v aerirani del čistilne naprave);
- avtomatiko za vodenje sistema.



Cena po podatkih proizvajalca, ki vsebuje tudi dobavo, montažo in spuščanje v obratovanje, znaša pribl. 250.000 evrov + DDV. V ceni niso vključeni stroški predelave inštalacij in sistemov na čistilni napravi ter prostor za postavitve opreme (kontejnerji ali podobno), to se lahko natančno določi le s projektom za izgradnjo.

Po podatkih proizvajalca izbrani sistem za obratovanje potrebuje priključno moč 37 kW (poraba 29,6 kWh/h) za sistem za generiranje ozona, pogon črpalk, destruktorja in ostale opreme ter 25,7 kW (poraba 25,1 kWh/h) za sistem za pripravo kisika PSA. Možna je optimizacija, da se zrak/kisik in neporabljeni O_3 vračata v aeracijski bazen in se na ta način varčuje s porabo energije obstoječega prezračevalnega sistema. Če primerjamo podatek proizvajalca z našimi meritvami, ga prevedemo na tono odstranjenega dehidriranega blata (499,2 t/leto), dobimo, da obratovanje ozonatorja (obratuje predvidoma 85 % časa) porabi 441 kWh/tono, PSA generator pa 374 kWh/tono, kar kaže, da so bile naše meritve dokaj natančne (453 kWh/tono za ozonator), je pa večji ozonator zagotovo učinkovitejši. Poraba električne energije za generator PSA pa je precej višja, kot smo predvidevali, in ceno blata močno poveča. Tako samo za energijo skupna cena znaša okoli 84,5 evra/tono blata. Količine privarčevane energije, ki se zniža zaradi uvajanja kisika v aeracijski sistem, se z danimi podatki ne da določiti, lahko pa predvidimo, da okoli 20 m³/h kisika lahko uporabimo za prezračevanje čistilne naprave, potreba za prezračevanje pa bo precej nižja, ker bo imela voda na vtoku višjo koncentracijo raztopljenega kisika.

Tabela 1: **Pregled stroškov in investicije za 10-letno amortizacijo**

Letni stroški obratovanja (ozonator + proizvodnja kisika PSA)	evrov/leto	45.599
Specifični operativni stroški za proizvodnjo ozona (z vzdrževanjem)	evrov/kg ozona	1,90
Specifični proizvodni stroški na tono blata (z vzdrževanjem)	evrov/m ³	91,34
Letni stroški kapitala (amortizacija)	evrov/leto	37.006
Specifični stroški kapitala za proizvodnjo ozona	evrov/kg ozona	1,60
Specifični stroški kapitala na tono blata	evrov/m ³	74,13
Skupni stroški ozonacije (10 let amortizacije)	evrov/leto	82.605
Skupni stroški ozonacije za proizvodnjo ozona	evrov/kg ozona	3,50
Skupni stroški ozonacije na tono blata	evrov/m ³	165,47

Alternativa je, da se namesto PSA-generatorja kisika vgradi rezervoar tekočega kisika, s tem bi bila priključna moč manjša za okoli 25 kW, računati pa je treba s ceno kisika 0,20 evra/Nm³, kar letno znesse pribl. 32.000 evrov v primerjavi z amortizacijo PSA-generatorja, ki pa v 10-letnem obdobju znaša pribl. 21.200 evrov, kar nam pokaže, da se uporaba kisika ne splača.

Pri napravi nazivne zmogljivosti 3,2 kg/h ozona in amortizaciji pri 4-% obrestni meri znašajo stroški pri amortizacijski dobi 10 let 3,5 evra/kg proizvedenega ozona, kar znesse pribl. 74 evrov/tono in 91 evrov/tono (investicija + obratovanje) dehidriranega blata. Podrobnosti so prikazane v tabeli 1.

4. ZAKLJUČEK

Predloženo delo obravnava primer obdelave blata z ozonom in njegove učinke. Pred začetkom dela smo si zastavili konkretne cilje, in sicer:

1. razdelati pogoje ozonacije, pri katerih bi dosegli 80-% znižanje količine odvečnega blata (doza ozona, čas in pozicija ozoniranja);
2. določiti stroške obratovanja in stroške investicije take naprave;
3. določiti lastno ceno blata pri amortizaciji naprave 10 let.

Rezultati raziskav so pokazali, da smo uspeli doseči 83,2-% odstranitev blata z doseganjem vseh parametrov, ki so potrebni za obratovanje čistilne naprave. Za to smo potrebovali dozo ozona 11,1 g/kg suhe snovi blata in pogostost ozonacije na vsake 4,5 dneva. Tako da smo cilj (1) dosegli.

Določili smo velikost naprave iz rezultatov raziskav ozonacije, katere zmogljivost znaša 3,2 kg/h ozona. Naprava stane približno 250.000 evrov. Tak ozonator porabi 815 kWh električne energije za tono odstranjenega dehidriranega blata, kar znese 84,5 evra/tono blata. Če prištejemo še nekaj vzdrževanja (6,84 evra/tono) in amortizacijo (74,13 evra/tono), za napravo dobimo znesek 165,47 evra/tono dehidriranega blata. Tako smo dosegli tudi cilja (2) in (3).

S tem raziskovalnim delom lahko ugotovimo, da je lastna cena ozonacije previsoka, da bi lahko trenutno prinašala koristi. Tudi če podaljšamo amortizacijsko dobo na 15 let, dobimo amortizacijske stroške 60,13 evra/tono, obratovalne stroške pa je težko znižati. Edina možnost je, da se uvede učinkovitejši sistem dovajanja ozona, ki bi našo določeno vrednost doze (11,1 g/kg) znižal. Po naši oceni je trenutno stanje tehnike tako, da je mogoče znižanje porabe za 30–40 %, kar pa še vedno da ceno električne energije okoli 40–60 evrov/tono blata. Z manjšim ozonatorjem bi bilo sicer mogoče privedi lastno ceno blata med 90 in 120 evrov/tono.

Tako lahko zaključimo, da trenutno ni mogoče ekonomsko sprejemljivo odstranjevanje blata s pomočjo ozonacije, zato so za uporabo takega sistema potrebne nadaljnje raziskave.

LITERATURA IN VIRI

1. Caffaz, S., Santianni, D., Cerchiara, M., Lubello, C., Stecchi, R., 2005. Reduction of excess biological sludge with ozone: experimental investigation in a full-scale plant. In: IOA 17th World Ozone Congress, Strassbourg, France.
2. Chu, L., Yan, S., Xing, X. H., Sun X., Jurcik, B., 2009. Progress and perspectives of sludge ozonation as a powerful pretreatment method for minimization of excess sludge production – review. *Water Research*, 43(7); 1811–1822.
3. Dytczak, M. A., Londry, K. L., Siegrist H., Oleszkiewicz, J. A., 2007. Ozonation reduces sludge production and improves denitrification. *Water Research*, 41(3); 543–550.
4. Egemen, E., Corpening, J., Nirmalakhandan, N., 2001. Evaluation of an ozonation system for reduced waste sludge generation. *Water Science and Technology*, 44(2-3); 445–452.
5. Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo, portal energetika. Dostopno na: <http://www.energetika-portala.si/statistika/> zavihek: Cene električne energije za negospodinjstva - standardne porabniške skupine (EUR/MWh), Slovenija, letno [26. 7. 2018].



6. Sakai, Y., Fukase, T., Yasui, H., Shibata, M., 1997. An activated sludge process without excess sludge production. *Water Science and Technology*, 36(11); 163–170.
7. Sievers, M., Ried, A., Koll, R., 2004. Sludge treatment by ozonation - evaluation of full-scale results. *Water Science and Technology*, 49(4); 247–253.
8. SIST ISO 11732:2005. Water quality -- Determination of ammonium nitrogen -- Method by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection.
9. SIST ISO 29441:2011. Water quality - Determination of total nitrogen after UV digestion - Method using flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection.
10. SIST ISO 6060:1996. Water quality - Determination of the chemical oxygen demand.
11. SIST ISO 6878:2004. Water quality - Determination of phosphorus - Ammonium molybdate spectrometric method.
12. SIST ISO 7890-3:1988. Water quality - Determination of nitrate - Part 3: Spectrometric method using sulfosalicylic acid.
13. Sui, P., Nishimura, F., Nagare, H., Hidaka, T., Nakagawa, Y., Tsuno, H., 2011. Behavior of inorganic elements during sludge ozonation and their effects on sludge solubilization. *Water Research*, 45(5); 2029–2037.
14. Wei, Y., Van Houten, R. T., Borger, A. R., Eikelboom, D. H., Fan, Y., 2003. Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. *Water research*, 37(18); 4453–4467.
15. Winter, A., 2002. Minimisation of costs by using disintegration at a full-scale anaerobic digestion plant. *Water Science and Technology*, 46(5); 405–412.
16. Yasui, H., Shibata, M., 1994. An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process. *Water Science and Technology*, 30(9); 11–20.
17. Zhang, G., Yang, J., Liu, H., Zhang, J., 2009. Sludge ozonation: Disintegration, supernatant changes and mechanisms. *Bioresource Technology*, 100; 1505–1509.

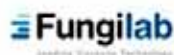


a member of the Metrohm group

Raznolikost prodajnega programa **laboratorijske** in **procesne opreme** dosegamo s skrbno izbiro dobaviteljev.

Zavedamo se, kako pomembno je zadovoljstvo naših strank, zato nudimo **kvaliteten servis, kratek odzivni čas in aplikativno podporo**.

Redno se udeležujemo strokovnih usposabljanj in organiziramo izobraževanja za uporabnike.





IZRAČUN KANALIZACIJSKIH ZADRŽEVALNIH BAZENOV – DOMAČI IN TUJI PREDPISI

dr. Uroš KRAJNC¹

Povzetek

V Sloveniji gradimo zadrževalne bazene dežnih voda že več kot trideset let. V pomanjkanju lastne zakonodaje smo uporabljali predvsem nemške smernice ATV-A 128. Pri uporabi teh predpisov pa velikokrat ne preverimo izhodišč, na podlagi katerih se določa prostornina zadrževalnih bazenov glede na konkretne razmere v Sloveniji.

Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode iz leta 2015 ponavlja opredelitev prvega naliva padavinske odpadne vode, čas trajanja 15 minut in intenzivnost padavin 15 l/s/ha ter postavlja zahteve, da mora investitor, lastnik ali upravljavec tega kanalizacijskega omrežja pri načrtovanju, gradnji, rekonstrukciji, obratovanju ali vzdrževanju javnega kanalizacijskega omrežja zagotoviti izvedbo tehničnih ukrepov za zadrževanje čistilnega vala ter čiščenje zadržanega čistilnega vala v komunalni čistilni napravi po končanem nalicu.

Ključne besede: čistilni val, mešani sistem kanalizacije, prvi naliv, zadrževalni bazen

Abstract

In Slovenia storm water overflows in combined wastewater sewers for more than thirty years are built. In the absence of our own legislation the German ATV-A 128 guidelines are used for the design and dimensioning of stormwater overflows in combined wastewater sewers. In applying these regulations, we often do not examine the starting points based on which the determination of the storage volume of stormwater tanks depends on the actual data in Slovenia.

The Decree on the sewerage and treatment of urban wastewater from 2015 repeats the definition of the first precipitation of rainfall waste water for 15 minutes and rainfall intensity of 15 l/s/ha and request when designing, constructing, reconstructing, operating or maintaining a public sewage network, the investor, owner or operator of this sewerage network must ensure the implementation of technical measures for retaining and treatment of the retained cleaning wave in the municipal wastewater treatment plant upon completion of the rainfall.

¹ Dr. Uroš Krajnc, univ. dipl. inž. gradb., Slovensko društvo za zaščito voda

1. UVOD

Potrebo po izgradnji zadrževalnih bazenov dežnih voda v mešanih sistemih kanalizacije so narekovale ugotovitve monitoringov odvodnikov prečiščenih voda iz čistilnih naprav v Nemčiji. Ugotovili so, da se pospešena izgradnja čistilnih naprav za odpadne vode ne odraža v zadostni meri v izboljšanju kakovosti odvodnikov prečiščene vode. Razlog je bil v tem, da se v obstoječih mešanih sistemih kanalizacije vode čistilnega vala večinoma prelijejo v odvodnik in ne čistijo na čistilni napravi.

Pri mešanem sistemu kanalizacije odvodnjavamo z istim sistemom (cevovodi, jaški, objekti – na primer črpališča, sifoni itd.) odpadne in padavinske vode. Bistvena značilnost mešanega sistema glede količine vode je, da je delež padavinske vode veliko večji od odpadne, vendar samo v času padavin in nekaj časa po prenehanju padavin. Velike količine vode v mešanem sistemu v dežnem času so narekovale potrebo po posebnem objektu v mešanem sistemu kanalizacije – razbremenilniku. Ta ima nalogo, da padavinske vode izloči iz kanalizacije in preusmeri v odvodnik padavinske vode, običajno površinski vodotok. Tak objekt je lociran običajno pred čistilno napravo ali pa na priključkih sekundarne kanalizacije na primarnem zbiralniku na čistilno napravo. Pred pribl. 40 leti je veljalo, da je dopustno razbremeniti v odvodnik padavinske vode, ko presežejo količino pribl. 4-kratnega pretoka odpadnih voda.

Pri mešanem sistemu kanalizacije je zaradi velikih profilov cevi, ki morajo odvodnjavati tudi velike pretoke v času padavin, v sušnem času majhna hitrost odpadne vode. Zaradi majhne hitrosti se suspendirani delci odsedijo, nanje pa je vezano tudi organsko onesnaženje. Ko pride prvi naliv po daljšem sušnem obdobju, se to odsedelo onesnaženje izpere in odteka v smeri čistilne naprave. To vodo imenujemo čistilni val. Koncentracije onesnaženja čistilnega vala dosegajo večkratno onesnaženje odpadne vode. Zato je nujno, da se te vode očistijo na čistilni napravi. Če imamo v mešanem sistemu kanalizacije nameščene razbremenilnike, ki so pravilo pri večjih kanalizacijskih sistemih, se preko razbremenilnikov čistilni val prelije v odvodnik in ga onesnaži.

Za lovljenje čistilnega vala so v mešanem sistemu kanalizacije nameščeni zadrževalni bazeni dežnih voda (ZBDV). V dežnem času se prvi dotok – čistilni val zadrži v zadrževalniku, šele ko je koncentracija v mešanem odtoku kanalizacije manj onesnažena, se prelije preko razbremenilnikov v odvodnik (Krajnc, 2015).

2. NEMŠKA ZAKONODAJA

2.1. Potreba po zakonodaji

Prvi so predpisali zakonodajo glede zadrževalnikov Nemci. Potrebo po izgradnji zadrževalnih bazenov dežnih voda v mešanih sistemih kanalizacije so narekovale ugotovitve monitoringov odvodnikov prečiščenih voda iz čistilnih naprav v Nemčiji. Ugotovili so, da se pospešena izgradnja čistilnih naprav za odpadne vode ne odraža v zadostni meri v izboljšanju kakovosti odvodnikov prečiščene vode. Razlog je bil v tem, da se v obstoječih mešanih sistemih kanalizacije večina vode čistilnega vala prelije v odvodnik in ne čisti na čistilni napravi. Strokovnjaki prof. Brunner, prof. Krauth, prof. Brombach so raziskovati in merili kakovostne procese v ka-



nalizacijskih omrežjih, prav tako švicarski strokovnjaki v sklopu študij zaščite kvalitete voda Bodenskega jezera (Maleiner, 2010).

2.2. Smernice ATV-A 128 (1992)

2.2.1. Nastanek smernic

Te smernice veljajo za razbremenilnike v mešanem kanalizacijskem sistemu v prispevnem področju čistilne naprave. Nadomeščajo predhodne iz leta 1977. Razbremenilniki v mešanem kanalizacijskem sistemu so objekti z odtokom v odvodnik, kot npr. padavinski preliv (RÜ – nemške kratice), prelivni bazeni (RÜB) in zaježitveni kanali (SK).

Z vodnogospodarskega stališča in tudi s stališča varčevanja je prednostna naloga načrtovanja, zbiranja in obdelave padavinske vode, da se, kjer je le mogoče, izognemo odtoku v javno kanalizacijo. Za odtoke, ki ostanejo v mešanem kanalizacijskem sistemu, se na tehnični in vodnogospodarski osnovi razvrstijo zadrževalni objekti.

Pri padavinskem odtoku lahko nastopi velika onesnaženost in pri izpuščanju v odvodnik lahko pride do njegove močne obremenitve. Obremenitev nastopi samo kratkotrajno, vendar je lahko večkrat presežena zaradi odtoka iz čistilne naprave. Naloga obdelave padavinske vode je, da se padavinski dotok k čistilni napravi omeji tako, da se odtok zadrži in tako ostane tudi trenutna obremenitev odvodnika iz zadrževalnih objektov v dovoljenih mejah. V smernicah so osnove in metode za projektiranje, gradnjo in obratovanje, katere pri dimenzioniranju, določanju in oblikovanju objektov za razbremenjevanje padavinskih voda ob izpolnjevanju prej naštetih nalog služijo za varovanje gospodarnosti. Razbremenjevanje padavinske vode se oce- ni v skupnem delovanju s čistilno napravo za zaokroženo prispevno področje dela odvodnika. Zahteve za odtok iz čistilne naprave in za naprave za razbremenjevanje morajo biti usklajene v delovanju zaradi odvodnika (ATV-A, 1992).

2.2.2. Koncept smernic

Na količino prelite vode in koncentracijo onesnažil v tej vodi močno vplivajo lastnosti prispevnega območja in kanalizacijskega sistema, kot so količina padavin, dotočni čas čistilnega vala do zadrževalnega bazena, padec kanalizacijskih cevi zaradi odsedanja, zadrževalna sposobnost kanalov, prisotnost večjega onesnaženja in priključeni ločeni sistemi za odvajanje sušnega odtoka. Tehnične zahteve za običajne primere so določene na podlagi emisijskih mejnih vrednosti, ne upoštevajo pa kakovosti odvodnikov: rek ali jezer.

Obremenitve vodotoka so odvisne od vrst, količin in koncentracij onesnaževal ter od trajanja in pogostosti razbremenjevanja. Standard kot glavni indikator onesnaženja uporablja KPK (kemijsko potrebo po kisiku). Kriterij za določanje zadrževalnega volumna po standardu je teoretična obremenitev s KPK-jem, ki pri povprečnih pogojih dosega reke oziroma jezera v prelitih vodi. Standard pri določanju volumnov za osnovo uporablja naslednje vrednosti, ki so značilne za povprečne razmere v Nemčiji: povprečna letna višina padavin 800 mm, koncentracija KPK-ja deževnega odtoka C_r 107 mg/l, koncentracija KPK-ja sušnega odtoka C_{dw} 600 mg/l ter koncentracija KPK-ja izpusta iz ČN v odvodnik C_{tp} 70 mg/l.

Koncentracija KPK-ja deževnega odtoka je izračunana iz letne obremenitve s KPK-jem 600 kg/ha neprepustne prispevne površine, ki je izprana s povprečno letno višino padavin 800 mm, reducirano s koeficientom odtoka 0,70. Efektivna letna višina padavin je tako 560 mm (padavine, ki dosežejo mešani kanalizacijski sistem).

Odstopanja od teh vrednosti v dejanski situaciji se upoštevajo takole:

Povprečna letna višina padavin ima velik vpliv na onesnaženost mešane odpadne vode in na količino prelivanja. Višje letne višine padavin pomenijo večje obremenjevanje vodotokov, tako da je treba v tem primeru načrtovati večje zadrževalne zmogljivosti.

Če je letna obremenitev neprepustnih prispevnih površin s KPK-jem deževnega odtoka večja od 600 kg/ha, se izračuna koncentracija KPK-ja deževnega odtoka glede na dejansko obremenitev in efektivno letno višino padavin 560 mm.

Koncentracija KPK-ja sušnega odtoka predstavlja teoretično vrednost, ki se je za določitev potrebnega zadrževalnega volumna ne zmanjšuje. Če so dejanske koncentracije nižje od 600 mg/l, je s tem povečano varovanje pred onesnaženjem. Višje koncentracije vodijo do povečanja zadrževalnih volumnov.

2.2.3. Parametri v standardu ATV-A 128 in izračun

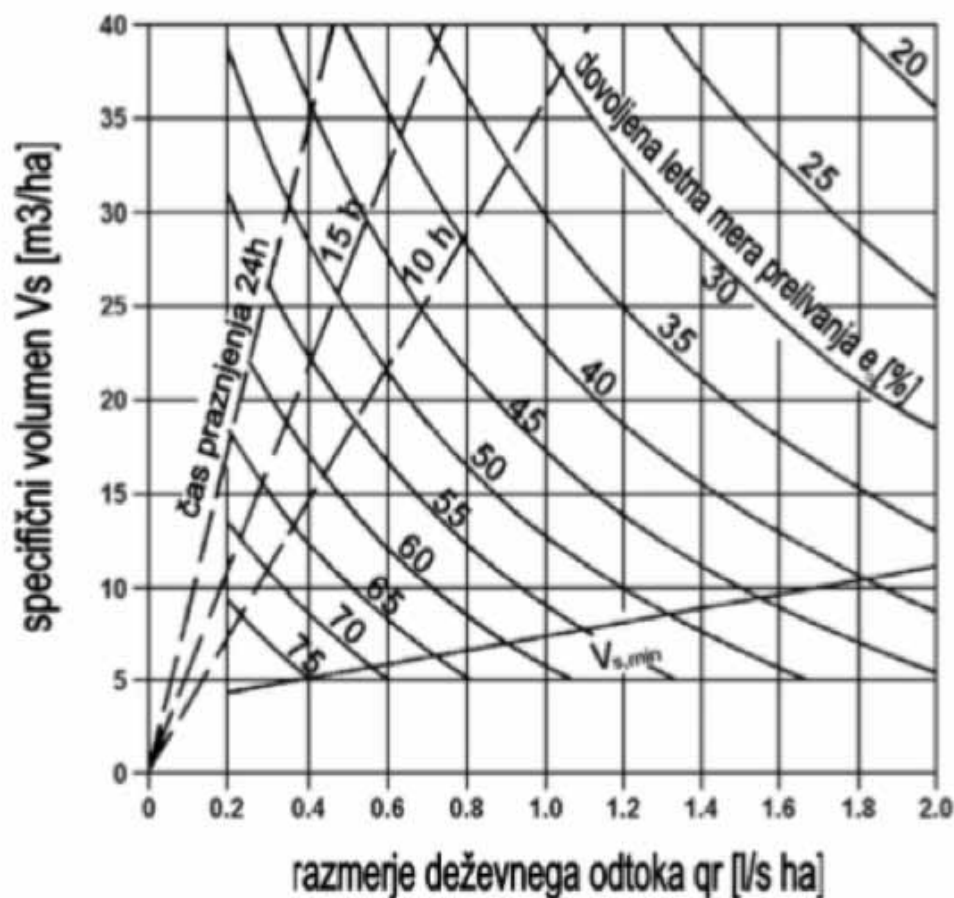
V standardu so določeni naslednji parametri: povprečna letna višina padavin h_{pr} , reducirana prispevna površina A_{red} , dotočni čas t_r , povprečni koeficient nagnjenosti terena SG_m , odtok mešane odpadne vode na ČN Q_{cw} , povprečni dnevni sušni odtok Q_{dw24} , maksimalni urni sušni odtok Q_{dwx} , odtok tujih vod z območij z ločenim sistemom Q_{rS24} , deževni odtok skozi dušilko Q_{r24} , kritični deževni odtok Q_{rkrit} , kritični odtok mešane odpadne vode Q_{krit} , povprečni deževni odtok med prelivanjem Q_{ro} , razmerje sušnega odtoka q_{dw24} , razmerje deževnega odtoka q_r , povprečno mešalno razmerje m , koncentracija KPK-ja sušnega odtoka C_{dw} , faktor vpliva večjega onesnaženja a_p , faktor vpliva letnih padavin a_h , faktor vpliva kanalizacijskih usedlin a_a , računska koncentracija KPK-ja sušnega odtoka C_d , teoretična koncentracija KPK-ja prelivov C_{cc} in dovoljena letna mera prelivanja e_o .

Postopek izračuna potrebnega zadrževalnega volumna obsega naslednje korake:

1. Določitev prispevnih površin (utrjene, neutrjene) na podlagi podlag DOF in katastrskih podlag obstoječe kanalizacije (A_{red}).
2. Izračun povprečne gostote poseljenosti na podlagi podatkov o namenski rabi površin in števila prebivalcev.
3. Izračun dnevnega povprečja odtoka hišnih odpadnih vod glede na objektu pripadajočo utrjeno prispevno površino na podlagi podatkov o povprečni gostoti poseljenosti, podatkov o površinah za stanovanjske in centralne dejavnosti ter podatkov o dnevni porabi vode na prebivalca.
4. Izračun odtoka gospodarskih in industrijskih vod iz prispevne površine razbremenilnega objekta na podlagi podatkov o dnevni porabi vode v gospodarstvu, industriji in podatkov o površinah gospodarske ter industrijske dejavnosti.



5. Ocena tujih voda (ATV-A 128, stran 15) Q_{rs24} .
6. Izračun skupnih odpadnih vod (vsota hišnih, gospodarskih in industrijskih odpadnih vod (Q_{dwx})).
7. Izračun sušnega odtoka (vsota odpadnih vod in tujih vod).
8. Izračun dnevne konice odpadnih vod na podlagi podatkov o številu računskih ur in delovnih dni.
9. Izračun dnevne konice sušnih vod (vsota dnevne konice odpadnih vod in tujih vod).
10. Izračun odtoka mešanih vod za posamezni objekt.
11. Izračun dnevnega povprečja odtoka padavinskih vod.
12. Določitev dolžine najdaljšega kanala v posamezni prispevni površini.
13. Določitev odtočne hitrosti.
14. Izračun odtočnega časa glede na dolžino kanala in odtočno hitrost (t_p).
15. Izračun prispevka kritičnega naliva glede na odtočni čas.
16. Izračun odtoka padavinskih vod ob kritičnem nalivu na podlagi podatka o utrjeni površini in prispevka kritičnega naliva.
17. Izračun prispevka padavinskih vod in srednjega padavinskega odtoka med razbremenjevanjem.
18. Določitev koncentracije onesnaženja (sušno vreme) (ATV-A 128, stran 17).
19. Določitev mešalnega razmerja med padavinskimi vodami in sušnimi vodami (q_r).
20. Izračun dimenzionirane koncentracije onesnaženja v sušnem odtoku na podlagi koeficientov vpliva močnega onesnaževanja, vpliva višine letnih padavin in vpliva kanalskih usedlin.
21. Izračun dopustne stopnje razbremenjevanja (e_o).
22. Določitev specifičnega zadrževalnega volumna glede na dopustno stopnjo razbremenjevanja (ATV-A 128, slika 13).
23. Izračun potrebnega zadrževalnega volumna na podlagi specifičnega zadrževalnega volumna in objektu pripadajoče utrjene površine.



Slika 1: Diagram za določitev specifičnega volumna zadrževalnega bazena

Vir: Rutar, 1992.

2.2.4. Konstruktivske oblike zadrževalnikov

Vrste deževnih bazenov so (Rutar, 2008):

- deževni zadrževalni bazeni,
- deževni prelivni bazeni,
- kombinirani bazeni,
- deževni bazeni za delno čiščenje na ločenem kanalizacijskem sistemu za odvajanje deževnega odtoka.

Deževne bazene sestavljajo naslednje enote:

- enota na dotoku v bazen (dotočni kanal, dotočna komora),
- akumulacija (pokrita/nepokrita, peskolov, korito za sušni pretok, akumulacijski prostor, prelivna stena, potopljene stene in drugo),
- enota na iztoku iz bazena (iztočni kanal za odtok na ČN, kanal za prelito vodo z iztokom v odvodnik in drugo),
- vzporedni odtočni kanal.



Po potrebi se v bazene vgradi še naslednja oprema:

- čistilni elementi (avtomatske grablje, naprava za kompaktiranje odpadkov s kontejnerjem, prekucniki za izpiranje dna akumulacije, črpalke in mešala za usedline ter drugo);
- regulacijski elementi (senzorji za merjenje pretoka in nivoja, dušilke, zapornice in drugo);
- kontrola delovanja naprav – brezžični ali kabelski sistem zveze s prenosom podatkov v nadzorni center vzdrževalne službe.

2.2.5. Cevni zadrževalniki (zaježitveni kanali)

Eden večjih problemov pri umeščanju dežnih bazenov v prostor je potrebno zemljišče. Javna kanalizacija v naseljih poteka praviloma v cestnih telesih, kjer pa ni dovolj prostora za umestitve zadrževalnikov.

Cevni zadrževalniki so podolžni zadrževalniki, praviloma cevi velikih premerov, z nalogo transporta in zadrževanja odpadne vode. Zaradi tega jih imenujemo tudi zaježitveni kanali. Zaježitveni kanali morajo biti tako kot vsi ostali bazeni za dežne vode redno nadzorovani. Zaradi tega morajo biti novi zaježitveni kanali prehodni, razmiki med posameznimi dostopnimi jaški pa ne preveliki. Zaježitveni kanali se lahko izvedejo z zgoraj ležečimi, spodaj ležečimi ali pa vmesnimi (SKK) razbremenitvami. Zaježitveni kanali z vmesnimi razbremenitvami so kombinacija prvih dveh.

Bistveni prednosti zaježitvenih kanalov sta:

- poleg kanala ni potreben dodatni objekt,
- praznitev možna v naravnem padcu.

Zaježitveni kanali z zgornjo razbremenitvijo delujejo kot pretočni bazen brez čistilnega pretoka v glavnem vodu. Ker se razbremenjena voda ne vodi skozi zadrževalni volumen in se tako izognemo izpiranju usedljivih snovi, ni predvidena čistilna naprava.

Zaježitveni kanali s spodnjo razbremenitvijo delujejo kot pretočni bazeni s čistilnim pretokom v glavnem vodu brez razbremenilnega pretoka.

Zaradi slabega usedalnega efekta se mora prostornina zaježitvenih kanalov s spodnjo razbremenitvijo pomnožiti s faktorjem. Specifični zadrževalni volumen V_{SKU} se določa kot pri pretočnih bazenih:

$$V_{SKU} = 1,5 V_s \times A_u$$

V_{SKU} – statični volumen zaježitvenega kanala izpod horizontale v višini najnižje razbremenilne krone,

V_s – specifičen zadrževalni volumen [m^3/ha],

A_u – pripadajoča utrjena prispevna površina [ha].

Veliko delo pri seznanjanju slovenskih projektantov s smernicami ATV-A 128 je opravil Franc Maleiner s strokovnimi članki v reviji Gradbeni vestnik ter predavanji na strokovnih seminarjih.

2.3. Spremljajoče smernice ATV 128

Poleg osnovne smernice ATV-A 128 je nemško strokovno združenje ATV izdalo več spremljajočih smernic z natančnimi usmeritvami pri izračunih in konstruiranju zadrževalnih bazenov dežnih voda. To so:

- obremenitev čistilnih naprav, na kar se nanaša dimenzioniranje razbremenilnikov, obravnava ATV-DVWK-A 198 [2003];
- hidravlično dimenzioniranje sistemov odvodnjavanja pojasnjuje ATV-A 118 [1998];
- pravila za obratovanje zadrževalnikov so opisana v ATV-DVWK-A 156 [2000];
- smernica ATV-DVWK-A 157 [2000] zajema objekte na kanalizacijskih omrežjih,
- smernica ATV-DVWK-M 176 [2001] podaja smernice in primere konstrukcijskega oblikovanja objektov za obdelavo in zadrževanje padavinske vode;
- priporočilo DWA-M 153 [2007] pa vsebuje priporočila za obdelavo dežnih voda.

2.4. Problematika uporabe ATV-A 128 v slovenskih razmerah

Najprej moramo poudariti, da je uporaba smernic ATV-A 128 v Sloveniji zagotovo pomenila velik korak naprej pri projektiranju in izvedbi kanalizacijskih omrežij. Glede na opis postopka izračuna vidimo, da je treba imeti ogromno podatkov. Manjši problem so podatki o kanalizacijskem omrežju bodisi obstoječem ali projektiranem. Težave se pojavijo že s padavinami, saj imamo podatke le za določena mesta v Sloveniji. Podatkov za tuje vode v omrežju skoraj ni, ali sploh merimo pretoke v omrežju, da bi jih lahko ocenili? Kakovost voda v dotoku na čistilno napravo se preverja v sklopu rednih monitoringov, kaj pa v primerih, ko hkrati gradimo kanalizacijsko omrežje in čistilno napravo? Podatki za visoke vode odvodnika praviloma niso na voljo, če je odvodnik manjši vodotok.

Če pa že imamo vse te podatke, pa se je v preteklosti zastavljalo vprašanje, ali je Slovenija v sedanji situaciji upravičena do vlaganja v tovrstne objekte po smernicah ATV-A 128 pri ostalih perečih problemih komunalne hidrotehnike zaradi:

- finančnih virov in stanja kanalizacijskih sistemov (Slovenija 2018 ni na ravni Nemčije 2018),
- potrebnih vlaganj v oskrbo s pitno vodo, kjer nas čaka implementacija dopolnitve Ustave,
- problemov poplav v naseljih, v zadnjih letih z lastnimi in zalednimi vodami.

Sami smo prakticirali in tudi prejeli ustrezna soglasja za pristop, da smo določili potrebno prostornino zadrževalnih bazenov po ATV-A 128 ter se odločili za fazno gradnjo, pri čemer smo v prvi fazi izgradili polovico potrebne prostornine, objekte pa zasnovali tako, da je bila možna razširitev. Za drugo fazo smo zagotovili potreben prostor v prostorskih dokumentih.

Ključen pa je premislek o namenu zadrževalnih bazenov, to je zaščiti odvodnika. Glede na način poselitve v Sloveniji je večkrat bolj problematična manjša čistilna naprava ob majhnem odvodniku, ki ima poleti pretok nizkih voda v rangi odtoka iz čistilne naprave ali pa povsem presah-



ne. Tu potrebujemo dobre podatke o odvodnikih, študije lahko zahtevajo večjo stopnjo zaščite. To zahtevata na primer avstrijska (ÖWAV, 2007; 2009) in nemška zakonodaja (DWA, 2007).

3. SLOVENSKA ZAKONODAJA

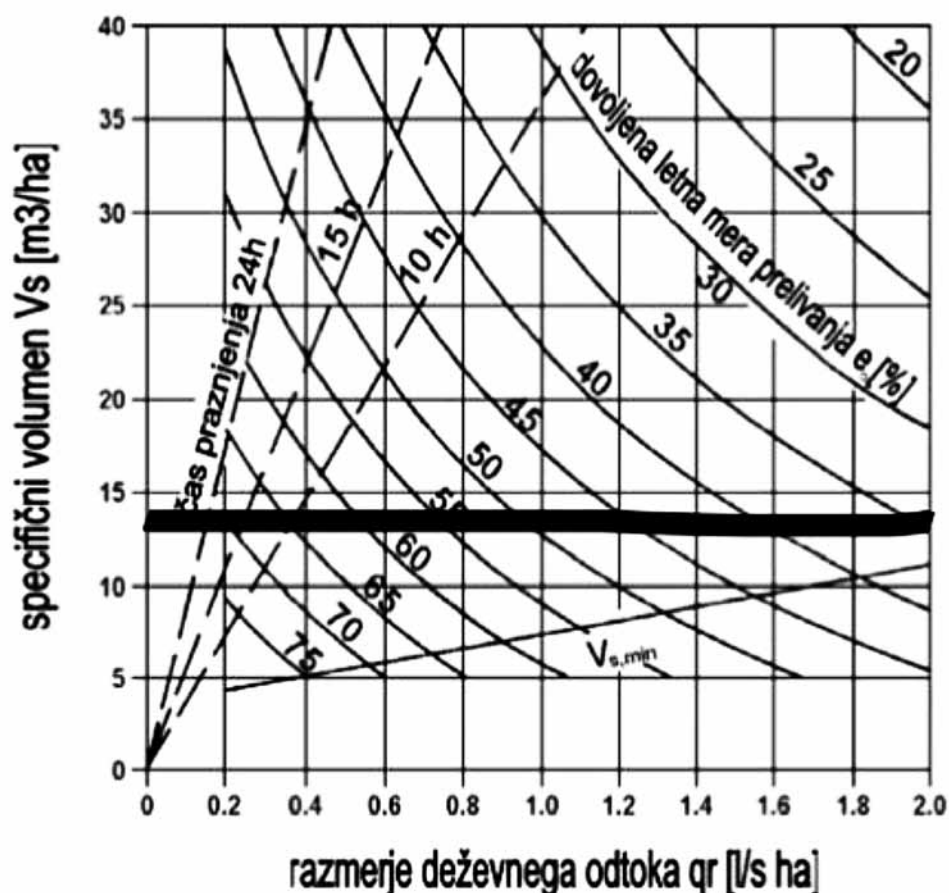
Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (2015) ponavlja enolično opredelitev prvega naliva padavinske odpadne vode kot padavinske odpadne vode, ki se po daljšem sušnem obdobju na začetku močnejših padavin odvede v kanalizacijo. Za izračun količine prvega naliva padavinske odpadne vode se upošteva čas trajanja padavin 15 minut in intenzivnost padavin 15 l/s/ha utrjenih površin in streh, s katerih se padavinska odpadna voda odvaja v javno kanalizacijsko omrežje. Uredba zahteva da mora investitor, lastnik ali upravljavec tega kanalizacijskega omrežja zagotoviti pri načrtovanju, gradnji, rekonstrukciji, obratovanju ali vzdrževanju javnega kanalizacijskega omrežja, po katerem se odvaja mešanica odpadnih voda:

- izvedbo tehničnih ukrepov za zadrževanje čistilnega vala v objektih ali napravah za zadrževanje in mehansko čiščenje ter
- čiščenje zadržanega čistilnega vala v komunalni čistilni napravi po končanem nalivu.

Vhodni podatki za kritični naliv intenzitete 15 l/s/ha ter čas trajanja 15 min. zahtevajo prostornino 13,5 m³/ha utrjene površine.

Kot vidimo iz primerjave z zahtevami ATV-A 128, je vrednost 13,5 m³/ha približno 1/3 maksimalne zahteve 40 m³/ha. To je glede na naše mnenje o uporabi ATV-A 128 v slovenskih razmerah logična zahteva ob dobrem poznavanju odvodnika razbremenjenih voda.

Pravo mesto za določitev ukrepov zadrževanja in čiščenja čistilnega vala je Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode, kjer se podrobneje določijo aglomeracije v posamezni občini, zahteve in roki v zvezi z odvajanjem in čiščenjem komunalne odpadne vode za vsako aglomeracijo.



Slika 2: Primerjava določitve specifične prostornine zadrževalnega bazena med Nemčijo in Slovenijo

V sklopu predvidene rekonstrukcije kanalizacije mesta Maribor preko kohezijskega projekta smo izdelali izračune po smernicah ATV-A 128 za zadrževalnike na območju Tezna v Mariboru (IEI, 2007).

Tabela 1: Izračun potrebne prostornine zadrževalnih bazenov Maribor Tezno

Podatki		R1	R2	R3	R4	R6	R8	R10	Skupaj
e_0	%	47,55	46,86	47,92	46,86	47,34	48,35	46,86	
V_{sp}	m³/ha	26	27	23	26	26	25	27	
V	m³	1.090	831	383	2.074	530	283	512	5.704

Vir: IEI, 2007.

Potrebna prostornina je bila med 23 in 27 m³/ha, dvojna glede na sedaj veljavno slovensko zakonodajo.

Uredba iz leta 2012 in 2015 je samo prevzela zahtevo iz Uredbe o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest (2005), ki zahteva v 2. odstavku 4. člena (točkovno odvajanje padavinske vode), da je treba na iztoku zadrževalnika padavinske odpadne vode padavinsko odpadno vodo očistiti v čistilni napravi padavinske odpadne vode, pri čemer je treba zagotoviti

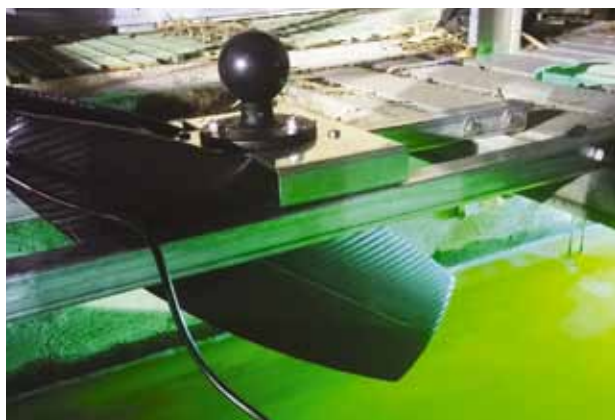


čiščenje samo za količino odpadne vode kritičnega naliva. Za izračun količine odpadne vode kritičnega naliva se upošteva čas trajanja padavin 15 minut in intenzivnost padavin 15 l/s/ha.

LITERATURA IN VIRI

1. ATV - A 118, 1998. ATV-Arbeitsblatt A118: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen (Entwurf).
2. ATV - A 128, 1992. ATV-Arbeitsblatt A128: Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen.
3. ATV-DVWK-A 156, 2000. Regeln für den Kanalbetrieb Regenbecken und -entlastungen.
4. ATV-DVWK-A 157, 2000. Bauwerke der Kanalisation.
5. ATV-DVWK-A 198, 2003. Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen.
6. ATV-DVWK-M 176, 2001. Hinweise und Beispiele zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung.
7. Institut za ekološki inženiring Maribor, 2007. Varovanje vodnih virov in varna oskrba s pitno vodo na območju regionalnega mariborskega vodovoda Hidravlični izračun - Težno razbremenilniki/zadrževalniki, idejna zasnova. Številka projekta: 6P-1H0.0.05.3.4, november 2007.
8. Krajnc, U., 2015. Mešan ali ločen sistem kanalizacije – teorija in praksa v slovenskem prostoru. Vodni dnevi 2015.
8. Krajnc, U., 2015. Mešan ali ločen sistem kanalizacije – teorija in praksa v slovenskem prostoru. Vodni dnevi 2015.
9. Maleiner, F., 2003a. Dimenzioniranje, konstruiranje in oprema razbremenilnih objektov v kanalizacijskih omrežjih. 10. strokovni seminar, 15. 10. 2003.
10. Maleiner, F., 2003b. Razbremenilni objekti v kanalizacijskih omrežjih. 9. strokovni seminar, 12. 3. 2003.
11. Maleiner, F., 2005a. Dimenzioniranje kanalizacijskih razbremenilnih naprav po nemških ATV smernicah, Gradbeni vestnik. november 2005.
12. Maleiner, F., 2005b. Hidravlični izračuni in krmiljenje odtokov v razbremenilnih napravah v smislu ATV-A111 in ATV-A128. 13. strokovni seminar, 10. 3. 2005.
13. Maleiner, F., 2005c. Razbremenjevanje padavinskih odtokov po nemških ATV smernicah. Gradbeni vestnik, julij 2005.
14. Merkblatt DWA-M 153, 2007. Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser.
15. ÖWAV-Regelblatt 11, 2009. Richtlinie für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen.
16. ÖWAV-Regelblatt 19, 2007. Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen.
17. Rutar, A., 2008. Analiza vpliva parametrov po standardu ATV-A 128E. Dipl. nal. Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Komunalna smer.
18. Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest. Uradni lis RS, št. 47/05.
19. Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode. Uradni list RS, 98/15.

TRILOBIT



V podjetju Trilobit, d. o. o., smo ekskluzivni zastopniki belgijskega podjetja Flow Tronic in se ukvarjamo z merjenjem pretoka in analitiko vseh vrst vodovodnih sistemov, cevi in kanalov. Posebej specializirani smo za merjenje odprtih kanalov kanalizacijskih in industrijskih odpadnih vod.



Ponujamo enostaven sistem za pregled in nadzor nad delovanjem naprav, vse naše naprave pa so kompatibilne tudi z drugimi krmilnimi/SCADA sistemi. Ker se zavedamo, da nove napredne tehnologije potrebujejo čas in dobre izkušnje za zaupanje upravljalcev, vso opremo ponujamo tudi v najem za določen čas, da se uporabniki lahko prepričajo o natančnosti delovanja in enostavni namestitvi ter vzdrževanju.



DEAMONIFIKACIJA – NAPREDNO ODSTRANJEVANJE DUŠIKA

dr. Marjetka LEVSTEK¹, dr. Marjetka STRAŽAR²

Povzetek

Centralna čistilna naprava Domžale - Kamnik je bila v letu 2016 nadgrajena na terciarno stopnjo čiščenja. Ker obstoječi sistem vključuje anaerobno biološko stopnjo z gnilišči, se je ob pripravi projekta nadgradnje upoštevalo dejstvo, da v procesu dehidracije nastaja centrifugat, ki vsebuje visoko koncentracijo dušika in jo je smiselno zmanjšati v posebnem procesu pred vstopom v proces SBR. V projekt nadgradnje je bil vključen nov in napreden postopek deamonifikacije, pri katerem posebne vrste bakterij v pogojih z minimalno koncentracijo kisika amonijev dušik s pomočjo nitrita oksidirajo do elementarnega dušika. Proces deamonifikacije na Centralni čistilni napravi Domžale - Kamnik je v začetni fazi delovanja in izkazuje visok učinek odstranjevanja dušika, vendar še ni dosežena polna proizvodna zmogljivost. Obvladovanje deamonifikacije je tako procesno kot tudi tehnično zelo zahtevno, predvsem s stališča vodenja in ohranjanja aktivnosti biomase v vseh razmerah.

Ključne besede: Annamox, centrifugat, čistilna naprava, deamonifikacija, DEMON®, SBR

Abstract

In 2016, the Domžale - Kamnik Wastewater Treatment Plant was upgraded for nutrient removal. The existing system involves anaerobic digestion process, and because the centrate resulting from the dehydration process is high in nitrogen, it makes sense to remove this nitrogen in a side-stream process before it enters the sequencing batch reactor (SBR). The upgrade project included installing a new and advanced process of deamonification, which utilizes special bacteria in anoxic conditions to oxidize ammonia nitrogen via nitrite to elementary nitrogen. The deamonification process is in the beginning phase and although not at full capacity is efficiently removing nitrogen. Managing the deamonification process, however, is demanding and from a technical point of view, the challenge is how to maintain the biomass under operating conditions.

1 Dr. Marjetka Levstek, univ. dipl. inž. kem. inž, vodja laboratorija, JP CČN Domžale - Kamnik d. o. o.

2 Dr. Marjetka Stražar, univ. dipl. biol., direktorica, JP CČN Domžale - Kamnik d. o. o.

1. UVOD

Vse ostrejša zakonodaja s področja varovanja okolja narekuje razvoj novih naprednih postopkov čiščenja odpadne vode. Z implementacijo vodne direktive leta 1991 (Vodna direktiva EU) so se tudi v slovenski pravni red (Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode) prenesle nove zahteve, ki za čistilne naprave velikosti nad 100.000 PE za izpust v okolje določajo mejno koncentracijo skupnega dušika pod 10 mg/L. Nove ali obstoječe čistilne naprave so tako obvezane izvajati optimizacijo čiščenja odpadne vode znotraj svojih sistemov, oziroma jih nadgrajevati na nove postopke, da bi lahko zadostile tem novim zahtevam. Sočasno globalni trendi zahtevajo implementacijo tehnoloških postopkov, ki imajo čim nižje investicijske in obratovalne stroške.

Konec 20. stoletja so se v Evropi začele pojavljati prve komunalne čistilne naprave, ki so za predčiščenje visoko obremenjenih odpadnih vod iz anaerobne obdelave blata uporabile postopek deamonifikacije. Odpadne vode iz anaerobne obdelave vsebujejo visoko koncentracijo amonijevega dušika (od 800 do 2000 mg/L), kar lahko na čistilni napravi predstavlja od 10 do 20 % skupnega bremena. Sočasno imajo te povratne vode nizko organsko obremenitev (pod 200 mgBPK5/L), kar zaradi nizkega razmerja C/N predstavlja dodatno oviro za učinkovito odstranjevanje dušika po klasičnem postopku nitrifikacije in denitrifikacije (Hillges idr., 2012).

Analiza obremenitve glede dušika na Čistilni napravi Domžale - Kamnik je pred nadgradnjo leta 2016 pokazala, da se poleg nizkega C/N razmerja (občasno do 1/4 časa) pojavlja tudi visoka obremenitev z dušikom iz linije blata (centrifugat po strojnem zgoščanju), ki predstavlja do 20 % celotnega bremena. Čistilna naprava Domžale - Kamnik, prvotne velikosti 200.000 PE, je bila dana v pogon leta 1980 in z obstoječo tehnologijo iz odpadne vode ni bilo mogoče odstraniti dušika do zahtevane mejne vrednosti, to je pod 10 mg/L. Zaradi tega je bila v letih 2014–2016 izvedena rekonstrukcija obstoječe čistilne naprave na način, da se je linija vode nadgradila na napredno SBR-tehnologijo z anaerobnimi selektorji po postopku nitrifikacije in denitrifikacije, z možnostjo dodatka zunanega vira ogljika. Sočasno je bil na liniji internega povratka iz linije blata dograjen dodaten SBR-bazen za čiščenje odpadne vode po postopku deamonifikacije. Oba izbrana postopka čiščenja odpadne vode sta ob izbiri postopkov nadgradnje zagotavljala visok učinek čiščenja, najnižje investicijske in obratovalne stroške ter visoko fleksibilnost obratovanja zaradi stalno spreminjajoče sestave odpadne vode. Za čiščenje centrifugata po postopku deamonifikacije je bila v okviru javnega razpisa izbrana tehnologija DEMON®, ki je implementirana v številnih komunalnih čistilnih napravah po svetu, ki učinkovito obratujejo že več kot 10 let.

Namen tega prispevka je prikazati način postopka deamonifikacije in skoraj dveletni izkušnji z obratovanjem procesa DEMON® za čiščenje centrifugata na čistilni napravi Domžale - Kamnik.

2. OSNOVE DEAMONIFIKACIJE

Dušik iz odpadne vode lahko odstranimo po klasičnem postopku nitrifikacije in denitrifikacije, za kar so potrebni visoki vložki energije za vnos zraka in v primeru nizkega razmerja C/N dodatek zunanega vira ogljika. V primerjavi s klasičnim postopkom odstranjevanja dušika

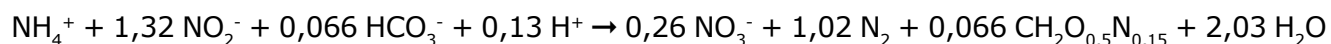


pri postopku deamonifikacije potrebujemo do 50 % manjši vnos električne energije, ni potreben dodatek zunanega vira ogljika in obenem uporaba tega postopka prispeva k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov (Schaubroeck idr., 2015). Deamonifikacija zagotavlja visoke učinke čiščenja, in sicer nad 90 % po amonijevem dušiku in nad 80 % po skupnem dušiku in je tako primeren postopek za predčiščenje, se pa v zadnjem času že pojavljajo čistilne naprave, ki izvajajo postopek deamonifikacije na celotni čistini napravi.

Deamonifikacija ali angleško annamox (angl. anaerobic ammonium oxidation) je izraz za postopek, pri katerem se preko posebnih bakterij v anoksičnih pogojih amonijev dušik s pomočjo nitrita oksidira do elementarnega dušika. Po zadnjih raziskavah se po tem postopku globalno odstrani od 24–67 % vsega dušika, odvisno od okolja, v katerem se ta postopek izvaja. Prva omemba sega v leto 1932, kjer so opazili odstranitev dušika z do takrat neznanim postopkom v sedimentih jezera Medota, Wisconsin, ZDA. Engelberd Broda je leta 1977 prvič izvedel termodinamski izračun in računsko dokazal možno reakcijo oksidacije amonijevega dušika s pomočjo nitrita, pri čemer se sprošča elementarni dušik. Številni raziskovalci so od leta 1990 poročali o laboratorijskih izsledkih postopka deamonifikacije. V začetku stoletja so se pojavile prve čistilne naprave, ki so uspešno čistile visoko obremenjene odpadne vode z amonijevim dušikom po postopku deamonifikacije (Wikipedija, 2018).

Celoten deamonifikacijski postopek se izvede v dveh stopnjah, izvajata ga dve različni vrsti mikroorganizmov. V prvi stopnji se ob prisotnosti kisika 50 % amonijevega dušika oksidira do nitritnega dušika s pomočjo avtotrofnih bakterij iz skupine *Nitrosomonas* (v nadaljevanju bakterije AOB). V drugi anoksični stopnji se preostalih 50 % amonijevega dušika in nastali nitritni dušik iz prve stopnje pretvorita v elementarni dušik s pomočjo avtotrofnih mikroorganizmov iz skupine *Planktomyces* (v nadaljevanju AAO bakterije) (Jardin in Hennerkes, 2012).

Reakcija deamonifikacije



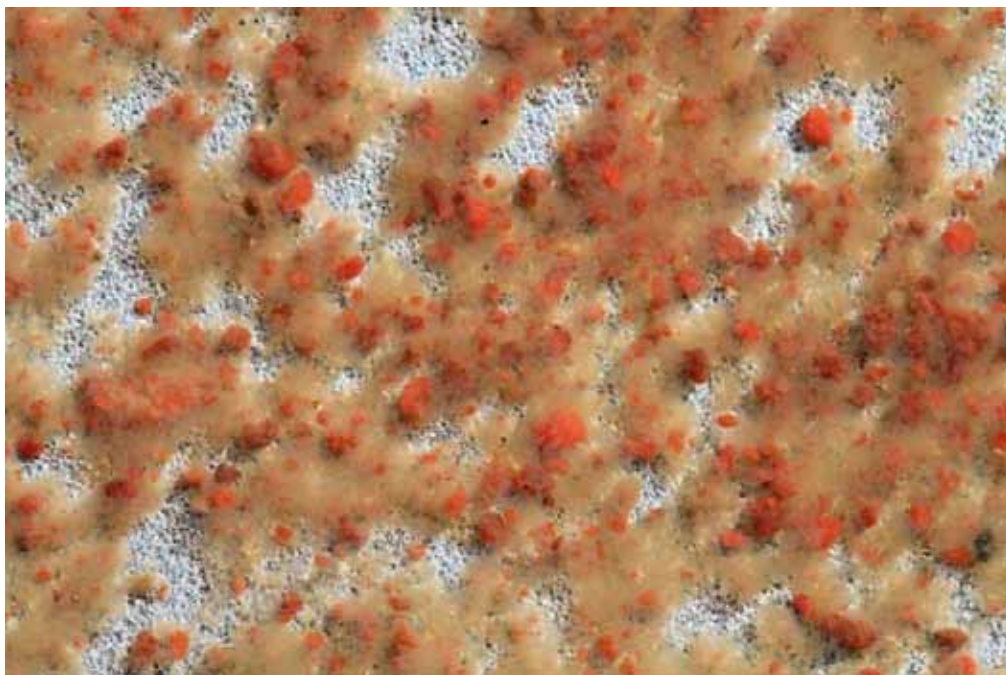
V več kot desetih letih se je na trgu pojavilo več možnih izvedb postopka deamonifikacije, in sicer kot eno ali kot dvostopenjski postopek. Biomasa je lahko suspendirana ali pritrjena na nosilnih elementih (DWA, 2017). Ne glede na to, kakšen postopek je izbran, je pomembno, da se v sistemu vzdržuje pravo razmerje med koncentracijo zaželenih AOB in AAO bakterij in nezaželenih bakterij, ki oksidirajo nitritni dušik do nitratnega dušika (v nadaljevanju NOB bakterije) in lahko v primeru visoke koncentracije v celoti zavrejo postopek deamonifikacije. Za razliko od AAO bakterij, AOB in NOB bakterije rastejo pri višji koncentraciji kisika, njihova hitrost rasti je od 10- do 15-krat višja od rasti AAO bakterij, medtem ko je za AAO bakterije kisik inhibitor.

Če se postopek izvaja v enem SBR-reaktorju, kot je npr. DEMON (Demon, 2016), je treba zagotoviti optimalne pogoje za vse vrste bakterij:

- Nizka koncentracija kisika okoli 0,5 mg/L, da se še lahko oksidira amonijev dušik do nitritnega dušika s pomočjo AOB bakterij. Maksimalna koncentracija nitritnega dušika v SBR-bazenu ne sme presegati koncentracije 10 mgN/L, saj je pri višjih koncentracijah le-ta toksičen za AAO bakterije.

- Ravno pravi čas zračenja, kar pomeni, da zaradi počasnejše aktivacije NOB bakterij le-te ne uspejo s pretvorbo nitritnega dušika v nitratni dušik. Čas zračenja, ko je koncentracija kisika nad 0,2 mg/L, ne sme biti daljši od 9 minut.
- Čim višja temperatura (nad 27 °C), saj se pri tej temperaturi hitrost rasti AOB bakterij hitreje povečuje od hitrosti rasti NOB bakterij. Maksimalna dovoljena temperatura je 38 °C, nad to temperaturo močno upada aktivnost AAO bakterij.
- Čas mešanja, kjer poteka postopek deamonifikacije preko AAO bakterij, mora biti zadosten, da je koncentracija NO₂-N po koncu mešanja med 5 in 10 mgN/L.
- Koncentracija prostega NH₃ mora biti od 5 do 10 mg/L, da učinkovito zavre rast NOB bakterij.

Tudi z regulacijo starosti blata se v sistemu zadržijo zelene AOB in AAO bakterije in zavre rast NOB bakterij. AOB in NOB bakterije izkazujejo starost blata od 2 do 5 dni pri temperaturi 25 °C, medtem ko je starost blata AAO bakterij med 70 in 100 dni pri temperaturi 25 °C. Ker je v SBR-bazenu mešanica vseh bakterij, se regulacija starosti blata za izločitev neželenih NOB bakterij izvede s hidrociklonom. AAO bakterije so granulirane in imajo 4–5 % višjo gostoto od AOB in NOB bakterij. Zaradi večje teže se izločijo v spodnjem delu hidrociklona in vrnejo nazaj v SBR-bazen, medtem ko so AOB in NOB bakterije suspendirane in se izločijo v zgornjem delu hidrociklona. Centrifugalna sila v hidrociklonu je 50- do 160-krat višja od gravitacijske sile. Čas in količina odvedenega blata iz zgornjega dela hidrociklona sta odvisna od delovanja postopka. Hidrociklon ima tudi funkcijo čiščenja granul AAO bakterij, ki so obraščene z AOB in NOB bakterijami. Večja obraščenost bakterij namreč vodi do nižjega snovnega prenosa snovi v granulo in s tem k slabši učinkovitosti postopka deamonifikacije.



Slika 1: Značilno DEMON® blato; granule (planktomycete) so značilno rdeče, medtem ko so bakterije za oksidacijo amonijaka (AOB), bakterije za oksidacijo nitrita (NOB) in druge (heterotrofne) na videz rjave.

Vir: Demon, 2016.



V DEMON-u se celoten postopek izvaja v SBR-reaktorju in čas enega cikla traja 6, 8 ali 12 ur. Znotraj vsakega cikla so koraki, ki predstavljajo doziranje odpadne vode (centrifugata), mešanje in zračenje. Koraki se med seboj zaporedno menjavajo. Poleg tega ima DEMON vključen še en režim vodenja, ki je vezan na spremembo pH. Med zračenjem se namreč pH zmanjša od 0,02 do 0,03 enote, medtem ko se v fazi doziranja in mešanja pH dvigne za 0,02 do 0,03 enote. Če se pH dvigne nad zgornjo pH-vrednost, postopek samodejno ustavi doziranje sveže odpadne vode, če pa se pH zniža pod želeno vrednost, pa sistem skrajša čas zračenja. Na ta način se v istem reaktorju zagotovijo optimalni pogoji za celoten postopek deamonifikacije. Hidrociklon deluje polovico časa celotnega cikla, s čimer zagotovimo čiščenje granul, čas odvajanja blata iz zgornje faze hidrociklona pa se prilagodi stanju postopka (Demon, 2016).

Zaradi različne starosti blata se vsaka sprememba izrazi šele po nekaj dneh oziroma celo tednih, če je sprememba vezana na AAO bakterije. Spremembe se izvajajo počasi in ob vsaki spremembi je potrebno podrobnejše sledenje postopka, da se izognemo neželenemu odzivu sistema.

3. IMPLEMENTACIJA DEAMONIFIKACIJSKEGA POSTOPKA NA CČN DOMŽALE - KAMNIK

Na CČN Domžale - Kamnik pri strojnem zgoščanju anaerobno pregnitega blata dnevno nastane od 0 do 240 m³/dan centrifugata. Vsebnost amonijevega dušika v centrifugatu je odvisna od vhodnih substratov v anaerobne digestorje ter načina vodenja in znaša med 800 do 1200 mgN/L. Centrifugat se zbira v zalogovniku centrifugata skupnega volumna 500 m³, preko katerega se je pred implementacijo deamonifikacijskega postopka centrifugat doziral v linijo vode glede na vrednost koncentracije skupnega dušika pri vtoku na čistilno napravo. Na ta način so se zmanjšala velika nihanja obremenitve pri dotoku na čistilno napravo, razporedila se je obremenitev in zagotovilo lažje in stabilnejše zagotavljanje iztočnih parametrov. Izračunano povprečno breme po dušiku, ki priteče po kanalizaciji, je v letu 2017 znašalo do 1000 kgN/dan, medtem ko je povprečno dnevno breme dušika iz linije blata preko centrifugata znašalo od 150 do 200 kgN/dan, kar pomeni, da je bila čistilna naprava iz linije blata po dušiku obremenjena do 20 %. Zaradi občasno nizkega razmerja C/N v dotočni odpadni vodi ter dodatne obremenitve dušika iz linije blata, kar je to razmerje še poslabšalo, je čistilna naprava brez dodatka zunanega vira ogljika težko zagotavljala mejne dovoljene koncentracije skupnega dušika pod 10 mg/L. Zaradi vseh navedenih dejstev je bil že v fazi načrtovanja nadgradnje obstoječe čistilne naprave predviden postopek predobdelave centrifugata po postopku deamonifikacije. V sklopu rekonstrukcije čistilne naprave Domžale - Kamnik je po javnem razpisu nadgradnje izvajalec zagotovil postopek deamonifikacije po postopku DEMON® podjetja EssDe GmbH iz Švice, ki ima že številne več let delujoče čistilne naprave.

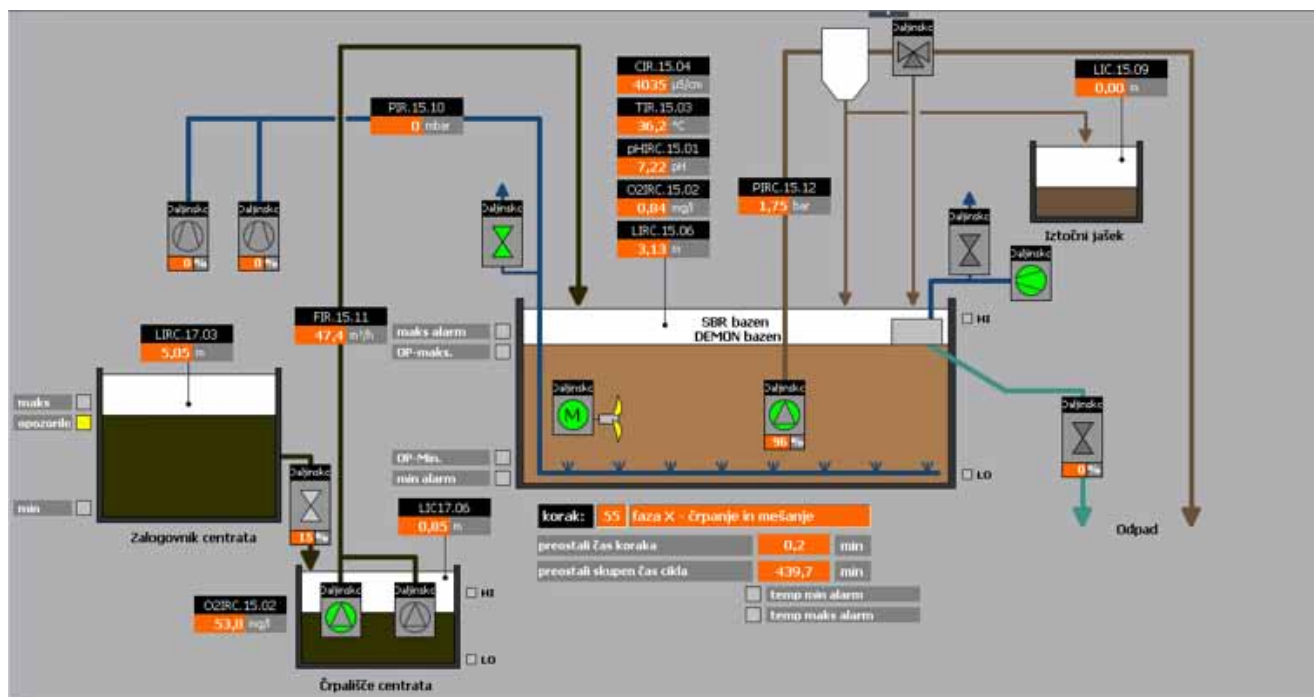
Postopek deamonifikacije je dimenzioniran na najvišjo dnevno obremenitev, to je 320 kgN/dan. Za načrtovanje deamonifikacije je bila izbrana hitrost 0,90 kgN/m³.dan, kar pomeni, da je bil izračunan delovni volumen deamonifikacijskega bazena enak 356 m³. V naslednji tabeli so prikazani parametri za dimenzioniranje SBR-bazena za deamonifikacijo (GH Holding in IEI, 2016).

Tabela 1: **Parametri za dimenzioniranje SBR-deamonifikacijskega bazena**

Parameter	Enota	Vrednost
Povprečni pretok	m ³ /dan	270
Maksimalni pretok	m ³ /dan	320
TN	mg/L	1000
TN povprečna tedenska obremenitev (7 dni)	kg/dan	270
TN maksimalna dnevna obremenitev (5 dni)	kg/dan	320
T (v reaktorju)	°C	30–38
Specifična obremenitev reaktorja	kgN/m ³ .dan	med 0,56 in 1,8 (odvisno od obratovalne višine)
V (minimalni volumen)	m ³	194
V (maksimalni volumen)	m ³	474
Dolžina cikla	h	8
Aktivni čas	h	7
Čas sedimentacije	min	30
Čas dekantacije	min	30

Za ustrezno deamonifikacijo je treba zagotoviti ustrezno kakovost centrifugata, in sicer pod 400 mgKPK/L, pod 400 mgTSS/L, alkaliniteta/NH₄-N > 3,6, brez inhibitornih snovi.

Deamonifikacijski postopek je lociran v novem SBR-reaktorju na mestu starega in neuporabljenega bazena obstoječe čistilne naprave, v katerem se nahajajo mešalo, difuzorji ter dekanter. Nad SBR-bazonom je nameščen hidrociklon, ob bazenu sta v posebnem prostoru nameščeni puhali. Postopek deamonifikacije je v celoti voden preko računalnika, ki upravlja celoten sistem in javlja napake. Operater deamonifikacije ima v celoti možnost posega v spremembo parametrov in vodenje postopka.



Slika 2: Procesna shema deamonifikacijskega postopka na CCN Domžale - Kamnik

Vir: Demon, 2016.

Spremljanje delovanja postopka se izvaja neprekinjeno preko on line merilnikov za raztopljeni kisik, pH, prevodnost in merilnika nivoja. Poleg tega se dnevno izvajajo analize $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ in $\text{NO}_2\text{-N}$ ter enkrat tedensko usedljivost, sušina in žarina aktivnega blata, KPK, alkaliniteta, $\text{PO}_4\text{-P}$ ter aktivnost AOB in AAO bakterij.



Slika 3: Prikaz stanja postopka po fazah in nivo (spodnji diagram) ter časovni prikaz vrednosti raztopljenega kisika in pH (zgornji diagram)

Ob zagonu se je bazen napolnil s toplo vodo in dodalo se je aktivno deamonifikacijsko blato, ki je bilo pripeljano iz delujoče deamonifikacijske čistilne naprave v količini 10 m³. Pripeljano aktivno blato je bilo rdeče barve, kar je izkazovalo visoko koncentracijo in aktivnost deamonifikacijskih bakterij.

Trajanje enega cikla znaša 8 ur, pri čemer je na koncu cikla 15 minut usedanja in 15 minut dekantiranja. Ob začetku cikla se začnejo koraki, ki si sledijo, dokler se ne zapolni čas 7,5 ure. Vsak korak je sestavljen iz faz doziranja svežega centrifugata, faze mešanja in faze zračenja. Dolžina vsake faze je odvisna od aktivnosti posamezne vrste bakterij, ki so aktivne v določeni fazi in jih je treba korigirati. Čas za doziranje se giblje od 0,5 do 1,6 min., čas mešanja od 5 do 20 min. ter čas zračenja od 5 do 9 min. Koncentracija raztopljenega kisika je v fazi zračenja nastavljena na 0,5 mg/L.

4. REZULTATI IN RAZPRAVA

Poskusni zagon deamonifikacijskega reaktorja je bil izveden v oktobru 2016. Po odpravi tehničnih težav z dekanterjem, hidrociklonom in zagotavljanjem temperature, zaradi česar biomasa ni obdržala zadostne aktivnosti, je bil izveden ponovni zagon s svežo deamonifikacijsko biomaso v marcu 2017. Ob drugem zagonu se je izkazalo, da kakovost centrifugata kot substrata za deamonifikacijo ni ustrezna. Centrifugat je namreč občasno vseboval višjo vsebnost suspendiranih snovi (TSS nad 400 mg/L), kar je izražalo celotno izgubo aktivnosti deamonifikacijske biomase. Po optimizaciji centrifuge za strojno zgoščanje anaerobnega blata, dodatni obdelavi centrifugata s FeCl₃ in spremembi načina odvajanja blata iz zalogovnika centrifugata je bil v juliju 2017 izveden ponovni zagon postopka s svežo deamonifikacijsko biomaso. Vsak zagon postopka je bil izveden in voden s strani izvajalca ob podpori osebja Čistilne naprave Domžale - Kamnik, ki je po zadnjem zagonu oz. februarja 2018 tudi prevzela postopek. Po navodilih proizvajalca je pričakovati, da bo postopek približno v šestih mesecih po zagonu začel delovati v polni zmogljivosti (učinki čiščenja in proizvodna zmogljivost).

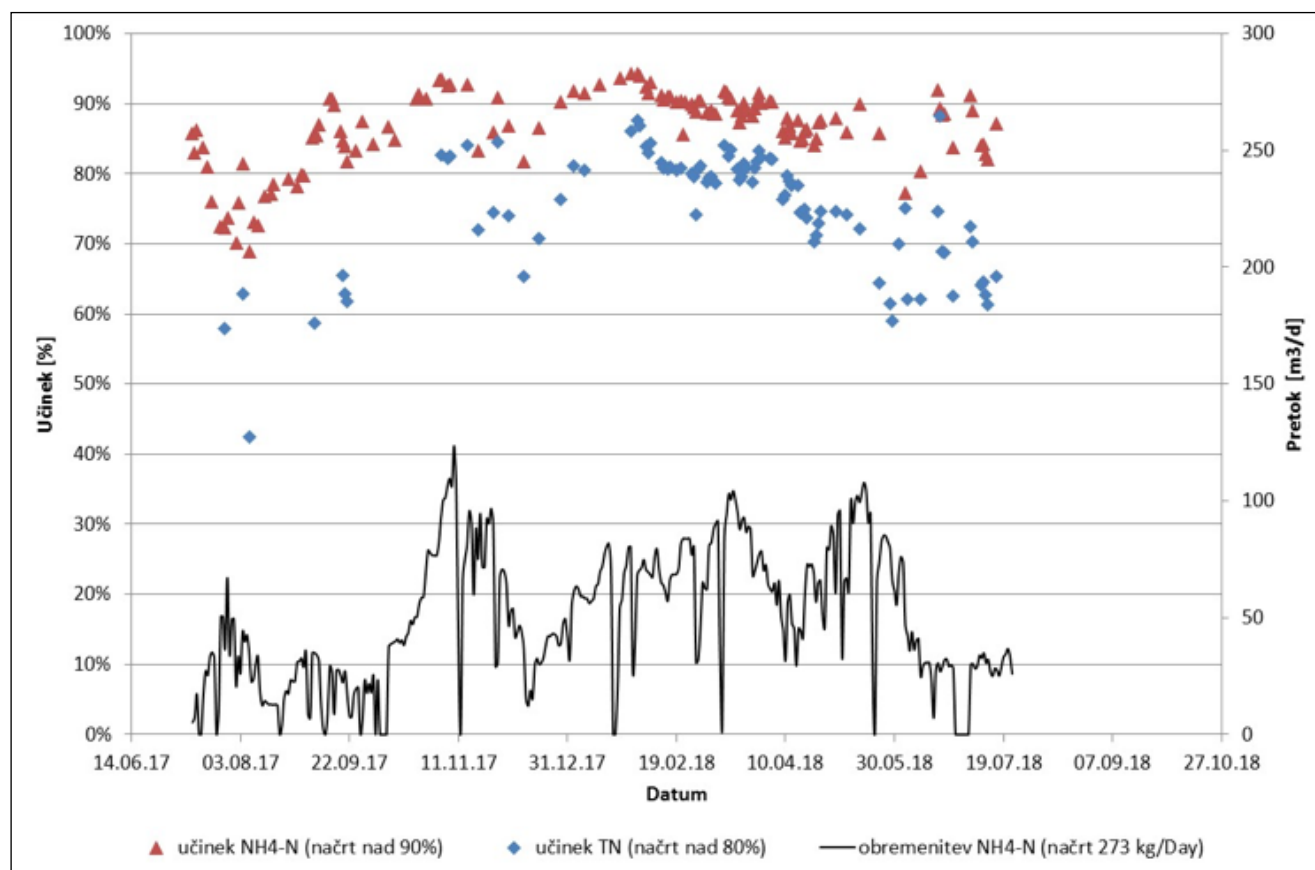
Največje težave z zagotavljanjem ustrezne kvalitete centrifugata so se izkazovale ob pojavu naknadnega obarjanja delcev iz centrifugata. Po 1 do 2 urah usedanja je centrifugat spremenil barvo iz svetlo rjave v črno in na dnu se je pojavila oborina. S podrobno analizo oborjenih delcev na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo v Ljubljani, Oddelku za anorgansko kemijo, smo dobili potrditev, da so delci izoborjeni amon-magnezijev-fosfat (MAP). Ker se MAP v deamonifikacijskem bazenu dokazano obori in oblepi granule AAO bakterij, ga je treba predhodno odstraniti iz sistema (Sebestyen, 2016). Zaradi tega smo po centrifugiranju v centrifugat dozirali FeCl₃, ki je dodatno oboril fosfor ter ostale delce ter tako preprečil vnos delcev v deamonifikacijski bazen. Iz zalogovnika centrifugata smo v kratkih časovnih intervalih odvajali dodatno nastalo usedlo blato in vsaj enkrat mesečno popolnoma izpraznili zalogovnik, da se prepreči nenadzorovan vnos delcev in MAP v deamonifikacijski bazen.

Šele po podrobni analizi nepričakovanega pojava naknadnega obarjanja je bilo ugotovljeno, da so se z nadgradnjo linije vode v letu 2016 na čistilni napravi popolnoma spremenili pogoji s stališča odstranjevanja fosforja. Napredni SBR-reaktorji z anaerobnim selektorjem so namreč



več kot 40 % fosforja odstranili na biološki način. Fosfor se je akumuliral v aktivni biomasi, se preko presežnega blata prenesel v anaerobne digestorje in tam ponovno sprostil. Tako se je sprostila večja količina fosforja, ki je ob visoki koncentraciji amonijevega dušika in zadostni koncentraciji magnezija začela tvoriti MAP. Da bi preprečili vnos fosforja, smo ponovno začeli povečevati doziranje FeCl_3 v anaerobne digestorje ter povečali kemijsko obarjanje fosforja v aerobnih reaktorjih. Po približno enem mesecu novega načina obratovanja so se pokazali pozitivni rezultati in centrifugat je spet postal bister in stabilen. Dejstvo je, da se vse, kar se dogaja na liniji vode, prenese na linijo blata in na koncu posledično na proces deamonifikacije z določeno časovno zakasnitvijo, kar še dodatno zamegli povezavo med vzrokom in posledico.

Na naslednjih slikah so prikazani rezultati enoletnega obratovanja deamonifikacijskega postopka. Kot je razvidno iz slike (slika 4), postopek deamonifikacije dosega visoke učinke čiščenja po amonijevem in skupnem dušiku. Obenem se izkazuje, da postopek še ni stabilen in še ne deluje v polni proizvodni zmogljivosti.



Slika 4: Obremenitev deamonifikacijskega bazena in učinek čiščenja po amonijevem in skupnem dušiku

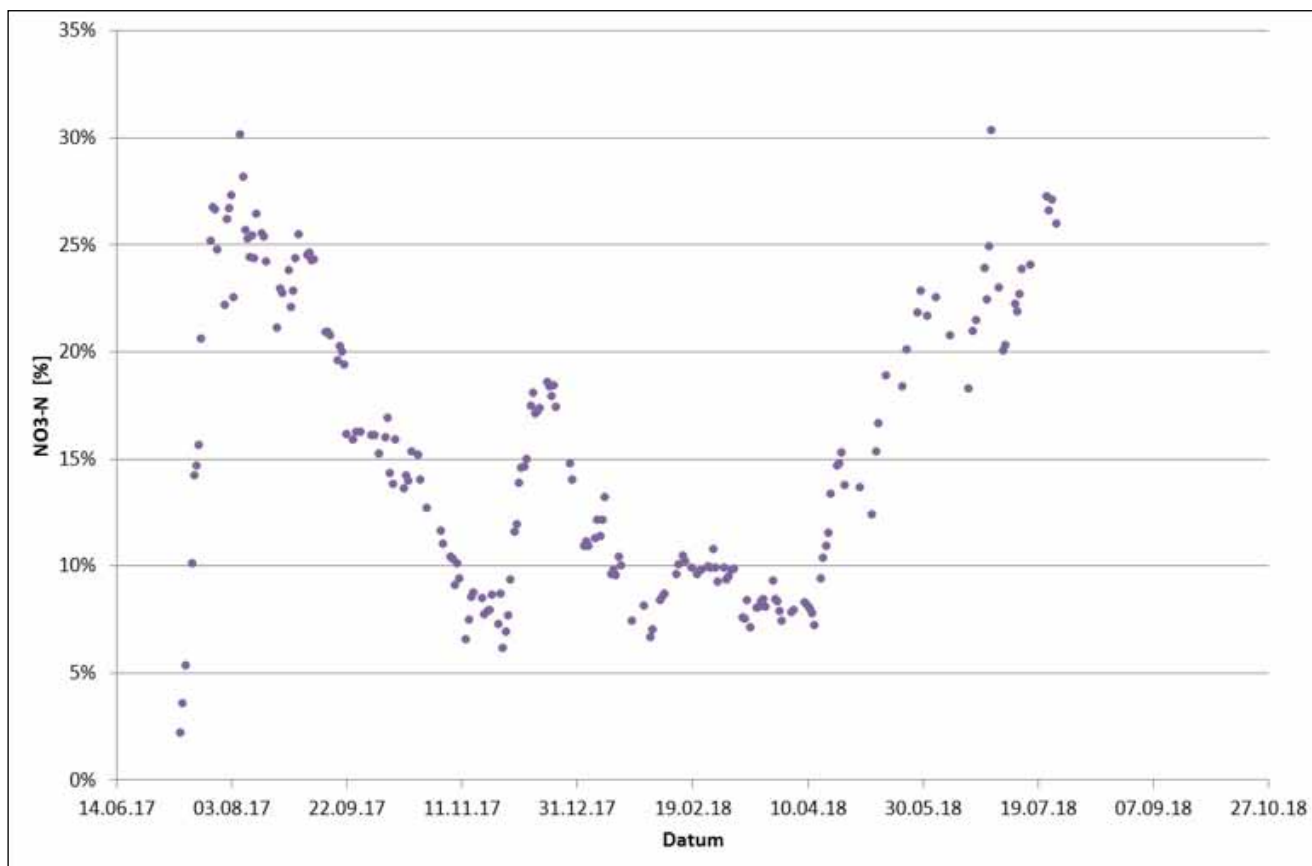
S strokovno podporo izvajalca postopka deamonifikacije smo iskali vzroke za nezadostno proizvodno zmogljivost v neustrezni sestavi centrifugata, kot so povečana vsebnost TSS, polimera ali inhibitornih snovi. Z optimizacijo delovanja centrifuge in delovanja zalogovnika centrifugata stalno spremljamo kvaliteto centrifugata in zagotavljamo, da vsebnost TSS in polimera ni prekoračena. Analiza testa inhibitornosti centrifugata na deamonifikacijo v Leibniz univerzi v Hannovru (ISAH) je ravno tako pokazala, da centrifugat ne vsebuje inhibitornih snovi.

Sočasno smo začeli vzrok v nezadostni proizvodni zmogljivosti iskati tudi v neustreznem vodenju samega deamonifikacijskega postopka, kar bi se moralo pokazati v neustrezni sestavi deamonifikacijske biomase. Z analizo insitu hibridizacije z genskimi sondami (FISH) s fluorescenčnim mikroskopom so v podjetju Vermicon v Nemčiji določili deleže posameznih vrst bakterij glede na zastopan odstotek. Iz tabele (tabela 2) je razviden odstotek posamezne vrste bakterij. Prav tako je jasno, da je aktivnost vseh bakterij pri drugi analizi padla za nekaj odstotkov, kljub temu da smo uspeli povečati koncentracijo aktivne biomase z 1,2 g/L na 1,5 g/L, kar bi se po naših pričakovanjih moralo izkazovati v večji proizvodni zmogljivosti.

Tabela 2: FISH-analiza sestave deamonifikacijske biomase, vzorčene 25. 1. 2018 in 16. 5. 2018

Vrsta bakterij	Datum vzorčenja	
	25. 1. 2018	16. 5. 2018
AOB	38 %	25 %
NOB	15 %	11 %
AAO	46 %	41 %
Ostale neidentificirane bakterije	1 %	23 %

V postopku se je povečal delež neželenih NOB in ostalih neidentificiranih bakterij, kar je razvidno tudi iz naslednje slike (slika 5), saj je odstotek nitratnega dušika močno presegel 10 %, kot ga običajno nastane pri postopku deamonifikacije. Takoj smo začeli sanacijo zaviranja rasti NOB bakterij s skrajšanjem časa zračenja, nižjo koncentracijo kisika ter višjim pH, da zagotovimo zadostno koncentracijo prostega NH_3 , ki je inhibitoren za NOB bakterije.



Slika 5: Vsebnost nitratnega dušika glede na odstranjen amonijev dušik

Glede na to, da so v sistemu prisotne tri različne vrste mikroorganizmov, od katerih ima vsaka svoj odzivni čas, bo potrebnega več časa, da se bo ponovno vzpostavilo pravo ravnotežje med želenimi in neželenimi mikroorganizmi in bosta dosežena dimenzionirana proizvodna zmogljivost ter ustrezen učinek čiščenja.

5. ZAKLJUČEK

Število objav o uspešni implementaciji deamonifikacije na velikih čistilnih napravah za čiščenje odpadnih voda z visoko vsebnostjo dušika vsako leto narašča, kar dokazuje, da je postopek ekonomsko in procesno obvladljiv in upravičen. Veliko strokovnih člankov navaja težave z obratovanjem postopka deamonifikacije in s tem samo potrjujejo, kako zahteven je postopek deamonifikacije, preden doseže svoje stabilno obratovanje ter da ni unikatnega recepta za vodenje. Vsaka odpadna voda, ki se čisti po navedenem postopku deamonifikacije, ima svoje posebnosti, ki jih je treba upoštevati pri vodenju.

Čistilna naprava Domžale - Kamnik se je ravno zaradi visokega deleža povratnih vod iz strojnega zgoščanja anaerobno stabiliziranega blata, ki predstavljajo do 20-% obremenitve po skupnem dušiku, odločila za implementacijo postopka deamonifikacije s proizvodno zmogljivostjo do 320 kgN/dan. Po skoraj dvoletnem obratovanju smo uspešno odstranili številne ovire in ohranili deamonifikacijski reaktor v delni funkciji ter sedaj vsaj delno razumemo zapletene

biokemijske procese, ki se vršijo sočasno. Da bo postopek dosegel svojo polno funkcionalnost, bo potrebno še nadaljnje tesno sodelovanje zaposlenih in tudi operaterjev tujih čistilnih naprav, ki že uspešno vodijo deamonifikacijske postopke.

6. ZAHVALA

Da je nastal ta prispevek, gre zahvala celotni ekipi CČN Domžale - Kamnik, ki kot tim tesno sodeluje pri implementaciji postopka deamonifikacije. Veliko pomoč nam je nudilo tudi podjetje GH Holding, d. d., skupaj s podjetjem EssDe GmbH. Za vse strokovne razprave in nasvete pa se zahvaljujemo tudi komunalnemu podjetju Ruhverband, ki upravlja več deamonifikacijskih čistilnih naprav.

LITERATURA IN VIRI

1. DEMON, 2016. Domžale Process Water Treatment by means of the DEMON®-System.
2. Direktiva Sveta št. 91/271/EGS z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode (UL L št. 135 z dne 30. 5. 1991, str. 40), zadnjič spremenjeno z Direktivo Sveta 2013/64/EU z dne 17. decembra 2013 o spremembi direktiv Sveta 91/271/EGS in 1999/74/EC ter direktiv 2000/60/ES, 2006/7/ES, 2006/25/ES in 2011/24/EU Evropskega parlamenta in Sveta zaradi spremembe položaja Mayotta v razmerju do Evropske unije (UL L št. 353 z dne 28. 12. 2013, str. 8) Direktiva Evropskega Parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike (Uradni list EU, L327/I).
3. DWA, 2017. DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA – M 349, Biologische Stickstoffelimination von Schlammwässern der anaeroben Schlammstabilisierung.
4. GH Holding, IEI, 2016. 7. načrt tehnologije, Odvajanje in čiščenje odpadne vode na območjih Domžale-Kamnik, Nadgradnja CČN Domžale-Kamnik. PID, projekt C613111-30.
5. Hillges, R., Steinle, E., Böhm, B., 2012. Case study on the implementation of deammonification for the process water treatment of Munich WWTPs. Water Science & Technology, 65.10.
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/Anammox> [1. 8. 2018].
7. Jardin, N., Hennerkes, J., 2012. Full-scale experience with the deammonification process to treat high strength sludge water – a case study. Water Science and Technology, 65.3.
8. Sander, M., 2014. Dynamische Modellierung der einstufigen Deammonifikation Modellerweiterung und anwendung. ISAH.
9. Schaubroeck, T., De Clippeleir, H., Weissenbacher, N., Dewulf, J., Boeckx, P., Vlaeminck, S. E., Wett, B., 2015. Environmental sustainability of an energy self-sufficient sewage treatment plant: Improvements through DEMON and co-digestion. Water Research, 68.
10. Sebestyen, E. Z., 2016. Experience of full scale deammonification of dewatering sidestream from thermophilic anaerobic digestion process at Budapest CWWTP. Proceedings of the IWA 8th Eastern Young Water Professionals Conference, Gdansk, Poljska.
11. Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode. Uradni list RS, št. 98/15, 76/17.



ZNANSTVENI KRITERIJI ZA IDENTIFIKACIJO IN OCENA TVEGANJA ZA KEMIČNE MOTILCE ENDOKRINEGA SISTEMA V POVEZAVI S PRAVNO UREDITVIJO FITOFARMACEVTSKIH SREDSTEV

dr. Jernej DROFENIK¹, dr. Lucija PERHARIČ², dr. Tanja FATUR³

Povzetek

Glede na Uredbo o fitofarmacevtskih sredstvih (1107/2009) in Uredbo o biocidnih pripravkih (528/2012), ki navajata, da snovi, odobrene v Evropski uniji (EU), ne bi smele imeti lastnosti, ki povzročijo motnje endokrinega sistema in kot take ne morejo biti odobrene, so se začele aktivnosti za opredelitev znanstvenih meril za identifikacijo endokrinih motilcev (ED). Splošni in posebni cilji strategije EU za razvoj podeželja so: varovati zdravje ljudi in okolje; zagotoviti delovanje trga; zagotoviti zakonsko jasna, predvidljiva in skladna merila za identifikacijo ED, ki omogočajo operativno regulacijo in splošno uporabo v zakonodaji EU.

Leta 2010 je ES ustanovila ad hoc skupino Komisije, agencij EU in držav članic, ki so se osredotočile na politična vprašanja. Strokovna svetovalna skupina Endokrinih motilcev (ED EAG), ustanovljena leta 2011, je podrobno razmislila o znanstvenih vprašanjih. ED EAG je sprejel uporabo Svetovne zdravstvene organizacije iz leta 2002, ki je potrdila, da so elementi za prepoznavanje endokrinega disrupterja dokazali škodljiv učinek, za katerega so obstajali prepričljivi dokazi o biološko upravičeni vzročni povezavi z endokrinim motenjem načina delovanja. Leta 2014 je Evropska komisija objavila časovni načrt pobude, v katerem predlaga štiri možnosti za vidik, povezan z merili za identifikacijo ED, in tri možnosti za vidik, povezan z regulativnimi pristopi. V teku je podrobna ocena družbenoekonomskega, okoljskega in zdravstvenega vpliva možnosti.

Slovenija je podprla vzpostavitev meril za identifikacijo na podlagi trdnih znanstvenih dokazov.

Ključne besede: hormonski motilci, način delovanja (angl. *mode of action*), strategija EU, škodljiv učinek (angl. *adverse effect*), Uredba 1107/2009

¹ Dr. Jernej Drofenik, Uprava za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, Sektor za fitofarmacevtska sredstva

² Dr. Lucija Perharič, Nacionalni inštitut za javno zdravje

³ Dr. Tanja Fatur, Nacionalni inštitut za javno zdravje

Abstract

In view of the Plant Protection Product Regulation (1107/2009), and the Biocidal Product Regulation (528/2012), which state that basic substances approved in the European Union (EU) should not have an inherent capacity to cause endocrine disruption, an initiative was started to define generic scientific criteria for the identification of endocrine disruptors (EDs). The general and specific objectives of the EU strategy on EDs are: to protect human health and the environment; to assure the functioning of the market; to provide legally clear, predictable and coherent criteria for the identification of EDs enabling operational regulation and generic applicability in EU legislation.

In 2010, the EC established an Ad-hoc group of Commission Services, EU Agencies and Member States, which focussed on policy issues. The Endocrine Disruptors Expert Advisory Group (ED EAG), established in 2011, provided detailed reflections on scientific issues. The ED EAG accepted the use of the 2002 World Health Organization (WHO) of an ED agreed that the elements for identification of an endocrine disrupter were demonstration of an adverse effect for which there was convincing evidence of a biologically plausible causal link to an endocrine disrupting mode of action. In 2014, the EC published the roadmap of the initiative proposing four options for the aspect related to the criteria for identification of EDs, and three options for the aspect related to regulatory approaches. An in depth socio-economic, environmental and health impact assessment of the options is ongoing.

Slovenia supported the establishing of criteria for identification based on sound scientific evidence.

1. UVOD

Po sedmih letih presoj znanstvenih virov, priprav predlogov, razprav in usklajevanja na ravni Evropske komisije (EK), njenih strokovnih agencij in ekspertnih skupin ter Evropskega parlamenta (EP) smo septembra 2017 le dočakali sprejetje znanstvenih kriterijev za identifikacijo kemičnih motilcev endokrinega sistema (European Commission, 2017a).

V začetku 90. let prejšnjega stoletja se je za kemične snovi iz okolja, ki so jih povezovali s škodljivimi vplivi na spolni razvoj, začel uporabljati izraz hormonski motilec, angl. *endocrine disruptor* (Colborn in Corby, 1992).

Poleg izraza hormonski motilec uporabljamo tudi izraze kemični povzročitelj hormonskih motenj, kemični hormonski motilec in kemični motilec endokrinega sistema. Ti izrazi so preciznejši od izraza hormonski motilec, saj gre za kemične snovi, ki motijo delovanje endokrinega sistema. Ravnoesje endokrinega sistema lahko zmotijo tudi številni drugi dejavniki, kot so svetloba, hrup, čustva, bolezenska stanja itd. V nadaljevanju tega prispevka bomo uporabljali izraz kemični motilec endokrinega sistema (KMES), za katerega smo se odločili po razpravi s soavtorji Slovenskega medicinskega slovarja, s člani Slovenskega toksikološkega društva in z vodilnimi slovenskimi endokrinologi.



Na Nacionalnem inštitutu za javno zdravje (NIJZ) proučujejo KMES v okviru toksikovigilančnih aktivnosti že več kot 15 let, in sicer pripravljajo preglede strokovne literature, nudijo strokovno svetovanje Upravi za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin in Uradu Republike Slovenije za kemikalije ter ozaveščajo in izobražujejo strokovno in splošno javnost. Podrobnejša pojasnila o delovanju endokrinega sistema, značilnostih KMES-a, vključno z načini delovanja, negotovostmi in kontroverznostmi, so že večkrat predstavili (Perharič, 2003; Perharič in Družina, 2004; Perharič, 2007; Perharič in Družina, 2007; Perharič, 2011; Černe idr., 2015; Perharič, 2016) zato jih v tem prispevku ne navajamo ponovno.

Interpretacije podatkov o KMES-u so pogosto poenostavljene, površne, necelovite in zavajajoče ne le v medijih in med splošno javnostjo, ampak tudi v določenih strokovnih krogih. Zato za boljše razumevanje navajamo ključne opredelitve.

2. KLJUČNE OPREDELITVE

Endokrini (hormonski) sistem je zapleteno povezan sistem organov, ki uravnavajo presnovo, rast, razvoj in delovanje tkiv ter organov in tako vpliva na praktično vsako celico organizma. V klasičnem smislu je hormon snov, ki izvira iz določenega tkiva in učinkuje na druga tkiva, do katerih prispe preko krvotoka. Fiziološko ravnovesje se v večini primerov uravnava po principu vertikalnih negativnih povratnih zank. Vezava na hormonske receptorje povzroči spremenjeno izražanje genov ali spremembe beljakovin, kar vpliva na delovanje celic, tkiv in organov. Če je hormonov preveč ali premalo oziroma če ni dovolj receptorskih vezavnih mest, lahko pride do hormonskega neravnovesja in s tem povezanih motenj in bolezni (Howlett, 2005).

Z leti je nastalo več opredelitev KMES-a, vendar je v strokovnih krogih najširše sprejeta opredelitev Svetovne zdravstvene organizacije (SZO) iz leta 2002:

- *Kemični motilec endokrinega sistema (KMES) je od zunaj vnesena kemična snov oziroma mešanica snovi, ki preko sprememb v delovanju hormonov povzroča neželene učinke na zdravje posameznega organizma ali njegovega potomstva oziroma (sub)populacije* (Damstra idr., 2002).
- *Morebitni kemični motilec endokrinega sistema (morebitni KMES) je od zunaj vnesena kemična snov oziroma mešanica snovi, ki preko sprememb v delovanju hormonov morebiti povzroča neželene učinke na zdravje posameznega organizma ali njegovega potomstva oziroma (sub)populacije* (Damstra idr., 2002).

Pomembno je, da razlikujemo med KMES-om in snovmi z endokrino aktivnostjo (SEA). Snov z endokrino aktivnostjo (angl. *endocrine active substance*) je katerakoli kemikalija, ki lahko z neposredno ali posredno interakcijo z endokrinim sistemom povzroči učinek na endokrini sistem ali druge tarčne organe in tkiva. Če pa so biološke spremembe tovrstne interakcije v okviru homeostatskih oziroma detoksifikacijskih kapacitet organizma, ni nujno, da bodo posledice škodljive (European Food Safety Authority Scientific Committee, 2013).

Škodljivi učinek (angl. *adverse effect*) je sprememba v morfologiji, rasti, razvoju, razmnoževanju ali življenjski dobi organizma ali (sub)populacije, ki vodi v zmanjšano funkcionalno

kapaciteto ali zmanjšano kompenzacijsko rezervo ob dodatnem stresu ali večjo občutljivost za druge vplive (World Health Organization, 2009).

Način delovanja (angl. *mode of action*) je z robustnimi eksperimentalnimi opazovanji in mehanističnimi podatki podprto biološko verjetno sosledje ključnih dogodkov, začnši z interakcijo kemikalije s celico, ki preko funkcionalnih in anatomskih sprememb vodi v opazovane učinke. Ključni dogodek (angl. *key event*) je opredeljen kot empirično opažen prvi korak, ki je nujni element načina delovanja, oziroma je označevalec nujnega elementa (Boobis idr., 2009). Za razliko od načina delovanja implicira mehanizem delovanja (angl. *mechanism of action*) natančnejše razumevanje molekularnih osnov toksičnega učinka (Seed idr., 2005).

2.1. Pravna ureditev KMES-a

Uredbi Evropske unije 1107/2009 in 528/2012 navajata, da osnovne snovi fitofarmaceutskih sredstev (FFS) in biocidov, to je pesticidov za kmetijsko in nekmetijsko rabo, odobrenih v Evropski uniji (EU), same po sebi ne povzročajo endokrinih motenj pri ljudeh ali drugih organizmih. Ker kriteriji za identifikacijo KMES-a niso bili opredeljeni, je EK leta 2010 začela aktivnosti za opredelitev na z dokazi podprtih, jasnih in skladnih kriterijih za identifikacijo KMES-a. Kriteriji naj bi bili generični, tako da ne bi bili uporabni samo za urejanje področja FFS-ja in biocidov, ampak tudi za druge kemikalije. Pri pripravi predlogov znanstvenih kriterijev za identifikacijo KMES-a smo aktivno sodelovali tudi strokovnjaki z NIJZ-ja. Zagovarjali smo možnost, v skladu s katero bi kriteriji za identifikacijo KMES-a temeljili na opredelitvi SZO-ja ob upoštevanju moči kot elementa karakterizacije nevarnosti. Prednost bi dali nadzoru, ki temelji na oceni tveganja in ne zgolj na oceni nevarnosti. Proces karakterizacije tveganja je neločljivo povezan s karakterizacijo nevarnosti. Pri karakterizaciji nevarnosti igra eno od ključnih vlog moč kemikalije. Pri snovi z večjo močjo je potrebna manjša izpostavljenost in pri snovi z manjšo močjo večja izpostavljenost za enak izid. Za izvedbo učinkovitega nadzora smo predlagali določitev prioriteten KMES-ov na podlagi moči, stopnje škodljivega učinka, vrsti kritičnega učinka in nepovratnosti učinka (Perharič idr., 2016).

Junija 2016 je Evropska komisija objavila dolgo pričakovani predlog dopolnitve zakonodaje s kriteriji za identifikacijo KMES-a pri človeku in drugih organizmih (European Commission, 2016). Po večkratnih popravkih je bil predlog dopolnitve uredbe 528/2012 sprejet septembra 2017, uradno objavljen decembra 2017 in začel veljati junija 2018. Identifikacija KMES-a v biocidnih pripravkih bo temeljila na opredelitvi SZO, 11 nadzor pa na identifikaciji nevarnosti, vendar z določenimi izjemami, ki v primeru biocidov dopuščajo nadzor na podlagi ocene tveganja.

Predlog dopolnitve uredbe 1107/2009/18 je bil izglasovan decembra 2017 na sestanku Stalnega odbora za rastline, živali, hrano in krmo ter posredovan v obravnavo poslancem EP. Identifikacija aktivnih snovi, varoval in sinergistov v FFS-ju za umestitev med KMES-e bo prav tako kot za biocide temeljila na opredelitvi SZO, 11 nadzor pa na identifikaciji nevarnosti. Za umestitev med KMES, relevantnih za zdravje ljudi, mora obravnavana snov povzročiti škodljivi učinek pri intaktnem organizmu ali njegovemu potomstvu po endokrinem načinu delovanja. Če obstajajo podatki, da način (mekanizem) delovanja ni relevanten za človeka, se takšna



snov ne identificira kot KMES (European Commission, 2017b). Predlog dopolnitve uredbe navaja tudi elemente, na katere naj se presoja opira:

1. Upoštevajo se vsi dostopni, relevantni znanstveni podatki, pridobljeni z *in vivo* študijami ali ustrezno validiranimi drugimi testi, ki lahko napovejo škodljive učinke pri ljudeh ali živalih, kot tudi *in vivo*, *in vitro* in *in silico* študije, iz katerih je možno sklepati na način delovanja.
2. Presoja podatkov poteka po pristopu teže dokazov (angl. *weight of evidence approach*), upoštevajoč:
 - pozitivne in negativne rezultate,
 - relevantnost za presojo škodljivega učinka in endokrinega načina delovanja,
 - kvaliteto in konzistentnost podatkov, vključno s koherentnostjo rezultatov med podobnimi študijami in pri različnih živalskih vrstah,
 - pot izpostavljenosti, toksikokinetiko in metabolizem,
 - koncept mejnega odmerka v skladu z mednarodnimi smernicami.
3. Povezava med škodljivim učinkom in endokrinim načinom delovanja naj temelji na biološki verjetnosti v skladu s trenutnim znanjem in ob upoštevanju mednarodno dogovorjenih smernic.
4. Ne upoštevajo se škodljivi učinki, ki so nespecifične sekundarne posledice drugih toksičnih učinkov.

Ne glede na tendenco, da naj bi nadzor nad KMES-om potekal pretežno na podlagi identifikacije nevarnosti, se izpostavljenosti KMES-u ne bo možno izogniti, npr. v primeru uporabe določenih pesticidov, številnih predmetov splošne rabe, medicinskih pripomočkov in zdravil. Prav tako se ne bo možno izogniti izpostavljenosti obstojnim organskim onesnaževalom oziroma KMES-om, ki so naravno prisotni v okolju in hrani. Preden bodo v 2017 sprejeti kriteriji za identifikacijo KMES-a v kontekstu uredb EU 1107/2009 in 528/2012 zaživel v drugih pravnih dokumentih s področja kemijske varnosti, bo verjetno preteklo še precej časa. Zato se bomo v vsakdanjem življenju še naprej srečevali z obstoječimi KMES-i. Za na dokazih podprte ukrepe za varovanje zdravja bo tudi v prihodnosti treba ocenjevati tveganje za zdravje v zvezi z izpostavljenostjo KMES-om.

2.2. Toksikološka ocena tveganja KMES-a

Pri toksikološki oceni tveganja opredelimo verjetnost, da bo pri izpostavljenosti kemikaliji prišlo do škodljivega učinka za zdravje. Toksikološka ocena tveganja je torej funkcija nevarnosti kemikalije in izpostavljenosti (Timbrell, 2008).

Ocena nevarnosti vsebuje dva koraka, in sicer identifikacijo in karakterizacijo nevarnosti. Pri identifikaciji nevarnosti opredelimo toksikološke lastnosti kemikalije, to je vrsto škodljivega učinka, po različnih poteh vnosa in v različnih okoliščinah. Pri karakterizaciji pa ob upoštevanju moči kemikalije, stopnje škodljivega učinka, vrste kritičnega učinka, nepovratnosti učinka in analize odnosa med odmerkom in učinkom opredelimo referenčne odmerke, ki so izhodišče za karakterizacijo tveganja (European Chemicals Bureau, 2003a).

Pri kriterijih za identifikacijo KMES-a ima poleg škodljivega učinka ključno vlogo način oziroma mehanizem delovanja kemikalije, kar vnaša v regulatorno toksikologijo pomembno novost in precejšnji izziv.

Razvoj metodologije omogoča vedno boljše razumevanje dogajanj na molekularni in subcelični ravni ter posledično temeljitejše razumevanje mehanizmov strupenosti. Za organizacijo, analizo in razumevanje mehanističnih informacij z različnih ravni biološke organiziranosti je prikladen koncept »poti škodljivega izida« (angl. *Adverse Outcome Pathway* ali AOP). Gre za logičen opis dogajanja, ki od začetnega molekularnega dogodka (angl. *molecular initiating event*) preko serije ključnih dogodkov (angl. *key events*) na ravni celičnega organela, celice, tkiva, organa, organizma oziroma populacije privede do škodljivega izida (angl. *adverse outcome*) (Organization for Economic Co-operation and Development, 2017).

Pri konstrukciji AOP-ja moramo odgovoriti na vprašanja v zvezi z:

1. biološko verjetnostjo:

- Ali obstaja biološko verjeten mehanistični (strukturni ali funkcionalni) odnos med sosednjima ključnima dogodkoma?

2. nujnostjo posameznega ključnega dogodka:

- Ali lahko kasnejše ključne dogodke oziroma škodljivi izid preprečimo, če preprečimo zgodnejši ključni dogodek?

3. empiričnimi dokazi o odnosu med sosednjima ključnima dogodkoma:

- Ali obstajajo empirični dokazi, ki vodijo od enega do drugega ključnega dogodka?
- Ali pride do zgodnejšega dogodka pri nižjih odmerkih in prej, kot do kasnejšega dogodka, in ali je pojavnost zgodnejšega dogodka izrazitejša, kot pojavnost kasnejših ključnih dogodkov?

Na podlagi teže dokazov lahko za vsak odnos med posameznima ključnima dogodkoma ustvarimo domnevno, kvalitativno ali kvantitativno AOP (Organization for Economic Co-operation and Development, 2017).

AOP-sheme, povzete po Hevir Kene in Lanišnik Rižner (2014) ter Pecquet idr. (v tisku), lahko vodijo do razvoja tumorjev endometrija zaradi izpostavljenosti brominiranemu zaviralcu gojenja, tetrabromobisfenolu A (TBBPA). TBBPA se uporablja v epoksi smolah, tiskanih vezjih, ohišjih in drugih delih električnih in elektronskih naprav, tekstilu, gradbenih materialih itd. (European Chemicals Bureau, 2006).

Predlog poteka identifikacije KMES-ov je predstavljen v smernici Evropske agencije za kemikalije (ECHA) in Evropske agencije za varnost hrane (EFSA) (European Chemicals Agency in European Food Safety Authority, 2017). Kot identifikacija drugih nevarnih toksikoloških lastnosti kemikalij poteka stopenjsko tudi identifikacija KMES-ov. Smernice ECHA/EFSA dajejo prednost konceptualnemu okviru za testiranje in oceno KMES-ov, to je veljavnim testnim smernicam in standardiziranim metodam za ugotavljanje motenj delovanja estrogene, androgene in tiroidne



osi oziroma motenj poteka steroidogeneze (EATS) (Organization for Economic Co-operation and Development, 2010; Organization for Economic Co-operation and Development, 2012).

Smernice obravnavajo tudi druge vire podatkov in informacij, kot so objave v strokovni literaturi, izsledki na podlagi netestnih metod in epidemioloških študij, mednarodne in nacionalne baze, posvečene KMES-om. Predlagan je naslednji pristop:

1. Zberejo naj se vsi dostopni podatki in informacije.
2. Ocenijo naj se kvaliteta, zanesljivost, ponovljivost in konzistentnost podatkov.
3. Sistematično naj se preučijo vsi pozitivni in negativni podatki ter informacije v zvezi s škodljivostjo in načinom delovanja določene kemikalije; upoštevajoč pristop teže dokazov, naj se presodita škodljivost in način delovanja.
4. Ocenijo naj se, ali je motnja endokrinega ravnovesja posledica endokrinega načina delovanja ali gre za nespecifično sekundarno posledico drugih toksičnih učinkov.
5. Ovrednotijo naj se relevantnost za človeka.
6. Naredijo naj se končna presoja, in če je možno, naj se nakaže relevantna endokrina os, za enkrat v kontekstu EATS (European Chemicals Agency in European Food Safety Authority, 2017).

Če kemikalija zadosti nevarnostnim kriterijem za umestitev med KMES-e, sledi naslednji korak ocene tveganja, to je karakterizacija nevarnosti. Osnovni princip karakterizacije nevarnosti (European Chemicals Bureau, 2003a) so Bars idr. (2012) dodatno rafinirali za snovi z endokrino aktivnostjo.

Izpostavljenost KMES-om ocenimo na enak način kot izpostavljenosti drugim kemikalijam, npr. v skladu z načini, opisanimi v smernicah EK (European Chemicals Bureau, 2003b), SZO (International Programme on Chemical Safety, 2005), ali EFSA (European Food Safety Authority, 2011). V zadnjem desetletju se za oceno izpostavljenosti vse bolj uveljavlja uporaba podatkov humanega biomonitoringa (HBM). HBM je najprimernejše orodje za določanje celotne izpostavljenosti določeni(m) kemikaliji(am) iz različnih virov, še posebej za opredelitev izpostavljenosti nizkim odmerkom (World Health Organization, 2015).

Upoštevajoč kriterije EU za identifikacijo KMES1 (European Commission, 2017b) ter strukturirani in znanstveno utemeljeni pristop k oceni tveganja SEA (Bars idr., 2012), predlagamo, da se tveganje opredeli glede na to, ali je učinek KMES-a kritični učinek in ali je možno zanesljivo določiti prag učinka.

1. Če učinek KMES-a ni kritični učinek, opredelimo tveganje po principu za relevantni kritični učinek (European Chemicals Bureau, 2003c).
2. Če je možno zanesljivo določiti prag učinka KMES-a, ki je hkrati kritični učinek, opredelimo tveganje upoštevajoč mednarodno uveljavljene smernice (European Chemicals Bureau, 2003c) in shemo, ki so jo predlagali Bars idr. (2012).
3. Če praga učinka ne moremo zanesljivo določiti, določimo tveganje po principu, ki se uporablja za genotoksične rakotvorne kemikalije (Barlow idr., 2006).

Verodostojna karakterizacija tveganja vsebuje tudi opredelitev negotovosti v zvezi z oceno nevarnosti (International Programme on Chemical safety, 2017) in oceno izpostavljenosti (International Programme on Chemical Safety, 2008).

3. ZAKLJUČEK

V skladu z opredelitvijo SZO je za umestitev eksogene kemikalije oziroma mešanice kemikalij med KMES-e potrebna vzročna povezava med izpostavljenostjo intaktnega organizma kemikaliji ali mešanici in škodljivim učinkom, ki nastane po endokrinem načinu delovanja. Pomembno je, da se pri oblikovanju zaključkov upošteva teža dokazov na podlagi sistematične presoje zanesljivosti raziskav, metodološkega pristopa, kvalitete podatkov, konsistentnosti, specifičnosti in ponovljivosti rezultatov, biološke verjetnosti ter ovrednotenja podatkov in informacij v luči postavljene hipoteze.

Čeprav določitev kriterijev za identifikacijo KMES- a predstavlja pomemben mejnik pri presoji varnosti, se je treba zavedati, da se smernice za identifikacijo (European Chemicals Agency in European Food Safety Authority, 2017) nanašajo le na ugotavljanje škodljivih učinkov na EATS ne pa tudi na preostale endokrine osi in poti. Poleg tega se z razvojem razumevanja receptorskega signaliziranja in molekularne biologije brišejo meje med endokrinim, živčnim in imunskim sistemom, kar dodatno zapleta interpretacijo podatkov in informacij.

Predlagamo, da se ocena tveganja KMES-ov izvaja odvisno od posameznega primera, bodisi po klasični metodologiji bodisi po metodologiji, uveljavljeni za genotoksične rakotvorne snovi, ki se jim v vsakdanjem življenju ne moremo izogniti.

Menimo, da je ključna negotovost, povezana s KMES-i, izpostavljenost v kritičnih obdobjih razvoja, ko niti homeostatske zanke niti detoksifikacijski sistemi še niso popolnoma razviti. Poleg tega so pomanjkljive tudi testne metode za ugotavljanje vplivov sprememb *in utero* na kasnejša življenjska obdobja. Zato pričakujemo, da se bo težišče raziskav v zvezi s KMES-i premaknilo v smeri izpostavljenosti in posledic v razvojnih obdobjih, *in utero*, v otroštvu in adolescenci.

Toksikologija postaja vse bolj mehanistično naravnana. Zato se vse več pozornosti posveča temu, kako za napoved škodljivega izida uporabiti podatke o zgodnjih dogodkih. Nadaljnja spoznanja v tej smeri bodo pripomogla k izboljšanju presoj varnosti KMES-ov in kemikalij na sploh. Področje KMES-ov ostaja pomemben raziskovalni, javnozdravstveni in nadzorni izziv.

LITERATURA IN VIRI

1. Barlow, S., Renwick, A. G., Kleiner, J., Bridges, J. W., Busk, L., Dybing, E., Edler, L., Eisenbrandt, G., Fink-Gremmels, J., Knaap, A., Kroes, R., Liem, D., Mueller, D. J. G., Page, S., Roland, V., Schlatter, J., Trist-scher, A., Tueting, W., Wuertzen G., 2006. Risk assessment of substances that are both genotoxic and carcinogenic. Report of an International Conference organized by EFSA and WHO with support of ILSI Europe. Food and Chemical Toxicology, 44, str. 1636-1650.
2. Bars, R., Fegert, I., Gross, M., Lewis, D., Wetje, L., Weyers, A., Wheeler J. R., Galy-Burgos, M., 2012. Risk assessment of endocrine active chemicals: Identifying chemicals of regulatory concern. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 64, str. 143-154.



3. Boobis, A. R., Datson, G. P., Preston, R. J., in Olin, S. S., 2009. Application of key events analysis to chemical carcinogens and noncarcinogens. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49, str. 690–707.
4. Colborn, T. in Corby, C., 1992. Chemically-induced alterations in sexual and functional development. The wildlife/human connection. *Advances in modern environmental toxicology*. Volume XXI. New Jersey: Princeton Scientific Publishing Co. Inc., str. 203–230.
5. Černe, K., Kužner, J., Perharič, L., Sollner Dolenc, M., in Tišler T., ur., 2015. Kemijski povzročitelji hormon-skih motenj od molekule do človeka. Ljubljana: Slovensko toksikološko društvo, str. 13–76. Dostopno na: <http://www.tox.si/> [20. 5. 2015].
6. Damstra, T., Barlow, S., Bergman, A., Kavlock, R., Van Der Kraak, G., ur., 2002. Global assessment of the state-of-the-science of endocrine disruptors. Geneva: World Health Organisation, str. 1–180.
7. European Chemicals Agency in European Food Safety Authority, 2017. Guidance for the identification of endocrine disruptors in the context of Regulations (EU) No. 528/2012 and (EC) No 1107/2009. Draft for public consultation, str. 1–139. Dostopno na: https://comments.echa.europa.eu/comments_cms/ED_Guidance%20for%20public%20consultation_20171207.pdf [20. 12. 2017].
8. European Chemicals Bureau, 2006. European Union Risk Assessment Report. 2,2',6,6'-tetrabromo-4,4'-isopropylidenediphenol (tetrabromobisphenol-A or TBBP-A) Part II – human health. European Commission, str. 1–170. Dostopno na: <https://echa.europa.eu/documents/10162/32b000fe-b4fe-4828-b3d3-93c24c1cdd51> [16. 5. 2012].
9. European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection, 2003a. Effects Assessment, V: Technical Guidance Document on Risk Assessment. Part I. Ispra: European Commission. Joint Research Centre, str. 93–178. Dostopno na: https://echa.europa.eu/documents/10162/16960216/tgdpart1_2ed_en.pdf [10. 1. 2011].
10. European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection, 2003b. Exposure Assessment. V: Technical Guidance Document on Risk Assessment. Part I. Ispra: European Commission. Joint Research Centre, str. 35–83. Dostopno na: https://echa.europa.eu/documents/10162/16960216/tgdpart1_2ed_en.pdf [10. 1. 2011].
11. European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection, 2003c. Risk Characterisation. V: Technical Guidance Document on Risk Assessment. Part I. Ispra: European Commission. Joint Research Centre, str. 179–188. Dostopno na: https://echa.europa.eu/documents/10162/16960216/tgdpart1_2ed_en.pdf [10. 1. 2011].
12. European Commission, 2016. Endocrine disruptors. Brussels: European Commission. Dostopno na: https://ec.europa.eu/health/endocrine_disruptors/next_steps_en [16. 6. 2016].
13. European Commission, 2017a. Commission delegated regulation (EU) 2017/2100 of 4. 9. 2017 setting out scientific criteria for the determination of endocrine-disrupting properties pursuant to Regulation (EU) No 528/2012. *Official Journal of the European Union*. L301/1. Dostopno na: http://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2017/2100/oj [7. 12. 2017].
14. European Commission, (2017b). Commission Regulation (EU).../... of XXX amending Annex II to Regulation (EC) No 1107/2009 by setting out scientific criteria for the 1 determination of endocrine- disrupting properties. Brussels: Sante 11992/2017. Dostopno na: https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/endocrine_disruptors/docs/201712_ppp_draft_en.pdf [7. 12. 2017].
15. European Food Safety Authority, 2011. Use of the EFSA comprehensive European food consumption database in exposure assessment. *EFSA Journal*; 9(3): 2097. Dostopno na: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2011.2097/epdf> [8. 1. 2016].
16. European Food Safety Authority Scientific Committee, 2013. Scientific opinion on the hazard assessment of endocrine disruptors and appropriateness of existing test methods for assessing effects mediated by these substances on human health and the environment. *EFSA Journal*, 11: 3132. Dostopno na: www.efsa.europa.eu/efsajournal [14. 2. 2014].
17. Hevir Kene, N. in Lanišnik Rižner, T., 2014. Dvojna vloga estrogenov pri razvoju raka endometrija. *Zdravniški Vestnik* 83, str. 529–537.
18. Howlett, T. A., 2005. Endocrine Disease. V: Kumar P, Clark M, ur. *Clinical Medicine*. 6. Izdaja. London: Elsevier, str. 1035–1100.
19. International Programme on Chemical Safety, 2005. Principles of characterizing and applying human exposure models. Harmonization project document No.3. Geneva: World Health Organization, str. 1–76. Dostopno na http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43370/1/9241563117_eng.pdf [21. 12. 2015].

20. International Programme on Chemical Safety, 2008. Part I: Guidance document on characterizing and communicating uncertainty in exposure assessment. Harmonization Project Document No. 6. Geneva: World Health Organization, str. 1-140. Dostopno na: <http://www.who.int/ipcs/methods/harmonization/areas/uncertainty%20.pdf> [4. 2. 2018].
21. International Programme on Chemical safety, 2017. Guidance document on evaluating and expressing uncertainty in hazard characterization – 2nd edition. Harmonization Project Document No. 11. Geneva: World Health Organization, str. 1-184. Dostopno na: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/259858/1/9789241513548-eng.pdf?ua=1> [4. 2. 2018].
22. Organization for Economic Co-operation and Development, 2010. Guidance Document on the Assessment of Chemicals for Endocrine Disruption, Version 9 (with changes to V8 accepted, 17 November 2010). Dostopno na: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/testing/46436593.pdf> [22. 5. 2016].
23. Organization for Economic Co-operation and Development, 2012. Guidance document on standardised test guidance for evaluating chemicals for endocrine disruption. Dostopno na: <http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono%282012%2922&doclanguage=en> [22. 5. 2016].
24. Organization for Economic Co-operation and Development, 2017. Guidance Document for the Use of Adverse Outcome Pathways in Developing Integrated approaches to Testing and Assessment (IATA). Series on Testing and assessment No. 260. Paris: OECD. str. 9-31.
25. Pecquet, A., Martinez, J., Vincent, M., Erraguntla, N., Dourson M., v tisku. Derivation of a No-Significant-Risk-Level (NSRL) for Tetrabromobisphenol A (TBBPA) Based on a Threshold Non- Mutagenic Cancer Mode of Action. *Journal of Applied Toxicology*.
26. Perharič, L., 2003. Povzročitelji endokrinih motenj. V: Maček, J. ur. Zbornik predavanj in referatov 6. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin, Zreče, 4.-6. marec 2003. Ljubljana: Društvo za varstvo rastlin Slovenije, str. 8-23.
27. Perharič, L., 2007. Motnje hormonskega ravnovesja in kemične snovi v predmetih splošne rabe. V: Zaletel-Kragelj, L., ur. Cvahtetovi dnevi javnega zdravja. Zbornik prispevkov. Ljubljana: Medicinska fakulteta, Katedra za javno zdravje, str. 81-90.
28. Perharič, L., 2011. Prepoved uporabe bisfenola A pri izdelavi stekleničk za dojenčke. *Enboz*, 1(2), str. 11. Dostopno na: http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/enboz_feb_2011.pdf [25. 3. 2011].
29. Perharič, L., 2016. Hormonski motilci. V: Primic Žakelj, M., Belović, B., Čemažar, M., Perharič, L., Zadnik, V. in Zdešar, A. ur. Kemikalije v okolju in rak. Zbornik XXIV. Seminarja »In memoriam dr. Dušana Reje«. Ljubljana: Zveza slovenskih društev za boj proti raku, str. 27-39. Dostopno na: http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/zbornik_reja_2016.pdf [7. 6. 2017].
30. Perharič, L., Fatur, T. in Drofenik, J., 2016. European Union's strategy on endocrine disrupting chemicals and the current position of Slovenia. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 67(2), str. 99-104. Dostopno na: <https://hrcak.srce.hr/159880> [3. 6. 2016].
31. Perharič, L. in Družina, B., 2004. Endocrine disrupting chemicals. V: Krnel, D. in Glažar, S. ur. 7th ECRICE, European Conference on Research in Chemical Education [and] 3rd ECCE, European Conference on Chemical Education, Ljubljana, 24th August - 28th August 2004. Proceedings. Ljubljana: Faculty of Education, str. 63-69. Dostopno na: http://www.jce.divched.org/Journal/Issues/2005/Aug/Proceedings_7th_ECRICE.pdf [10. 3. 2006].
32. Perharič, L. in Družina, B., 2007. PCB-ji kot povzročitelji endokrinih motenj. *Kemija v šoli*; 19 (2), str. 29-35.
33. Seed, J., Carney, E. W., Corley, R. A., Crofton, K. M., DeSesso, J. M., Foster, P. M. D., Kavlock, R., Kimmel, G., Kimmel, G., Klaunig, J., Meek, M. E., Preston, R. J., Slikker Jr., W., Tabacova, S., Williams, G. M., Wiltse, J., Zoeller, R. T., Fenner-Crisp, P., Patton D. E., 2005. Overview: Using Mode of Action and Life Stage Information to Evaluate the Human Relevance of Animal Toxicity Data. *Critical. Reviews in Toxicology*, 35(8-9), str. 663-672.
34. Timbrell, J., 2008. Tvegan posel – Ocena kemijske nevarnosti in tveganja. V Timbrell, J. Paradoks strupa – Kemikalije kot sovražniki in prijatelji. Ljubljana: Inštitut za varovanje zdravja, str. 294-325.
35. World Health Organization, 2015. Human biomonitoring: facts and figures. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, str. 1-88. Dostopno na: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/276311/Human-biomonitoring-facts-figures-en.pdf [10. 3. 2016].
36. World Health Organization/International Programme on Chemical Safety, 2009. Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food, EHC 240, Annex I, Glossary of terms. Geneva: WHO, str. A3-A42. Dostopno na: <http://www.who.int/foodsafety/publications/chemical-food/en/> [14. 12. 2012]



VODOVARSTVENA OBMOČJA – KRITIČNI PRETRES DOSEDANJE PRAKSE PRI VAROVANJU VIROV PITNE VODE V SLOVENIJI

izr. prof. dr. Mihael BRENČIČ¹

Povzetek

V Sloveniji skoraj vso pitno vodo pridobivamo iz podzemnih vodnih virov. Te vodne vire ščitimo z vodovarstvenimi območji, ki se raztezajo v napajalnem zaledju vodnega vira in predstavljajo hierarhično zaščito. Ta je najvišja tik ob zajetju, stopnja zaščite pa se zmanjšuje v smeri proti razvodnici. Dosedanja praksa zaščite je pokazala tako pozitivne kot tudi negativne izkušnje. Prikazana so odprta vprašanja, ki se nanašajo na postopke sprejemanja uredb o vodovarstvenih območjih, na postopke izvajanja analiz tveganja za onesnaženje podzemne vode, na raziskave napajalnih zaledij vodnih virov, na problematiko posegov na vodovarstvena območja, na varovanje potencialnih virov pitne vode, na varovanje majhnih vodnih virov ter ozaveščanje in izobraževanje javnosti o vodovarstvenih območjih. Nakazane so nekatere rešitve in predlogi, ki morajo vključiti številne deležnike.

Ključne besede: pitna voda, podzemna voda, površinska voda, vodni viri pitne vode, vodovarstvena območja

Abstract

In Slovenia almost all drinking water is supplied from groundwater resources. These water resources are protected by water protection areas that extend in the recharge area of the water source and represent hierarchical protection. This is the highest near the capture zone, and the degree of protection decreases towards the watershed. The past practice of protection has shown both positive and negative experiences. Open issues related to procedures for adopting regulations on water protection zones, procedures for carrying out risk analyzes for groundwater contamination, research on recharge areas of water resources, problems of interventions on water protection areas, protection of potential sources of drinking water, protection of smaller resources and public awareness and education on water protection areas. Some solutions and suggestions are presented, which should include multi stakeholders approach.

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

1. UVOD

V Sloveniji smo v novembru leta 2016 v ustavo vpisali nov člen, ki se v svojem prvem odstavku glasi: »Vsakdo ima pravico do pitne vode«. Tako smo postali ena redkih držav v svetovnem merilu, ki je dostop do pitne vode opredelila kot človekovo pravico. Morda se zdi takšen vpis v ustavo samoumeven, vendar je vsakdanja praksa v lokalnem, regionalnem in globalnem merilu povsem drugačna. Večina politikov javno izraža, da je pravica do pitne vode človekova pravica, toda pri implementaciji tega načela se pogosto zaplete, na žalost tudi v Sloveniji.

Zagotavljanje zdravstveno ustrezne pitne vode se začne pri varovanju vodnih virov pitne vode. Iz tega izhaja, da je eden od temeljev zagotavljanja pravice do pitne vode tudi varovanje virov pitne vode. Ustaljena in zakonsko določena praksa je, da vodne vire varujemo z vodovarstvenimi območji. Na tem področju imamo v Sloveniji že dolgo tradicijo, prvi poizkusi varovanja segajo že v čas pred drugo svetovno vojno. Tak primer je v tridesetih letih prejšnjega stoletja varovanje termalnih vodnih virov v Dolenjskih toplicah. Razvoj varovanja vodnih virov se je razvijal z nadaljnjimi metodologijami in nadaljeval vse do danes. Današnje varovanje temelji na Pravilniku o kriterijih za določitev vodovarstvenih območij, ki je bil sprejet leta 2004. Na področju varovanja virov pitne vode in znanja na tem področju se Slovenija gotovo uvršča med najrazvitejše države na svetu.

Pri uresničevanju zahtev pravilnika o vodovarstvenih območjih so se v štirinajst let dolgi praksi pokazala številna odprta vprašanja in problemi. V prispevku analiziramo probleme, ki nastajajo pri sprejemanju in uveljavljanju vodovarstvenih območij in nakazujemo tudi možne rešitve.

2. PREGLED SEDANJEGA STANJA

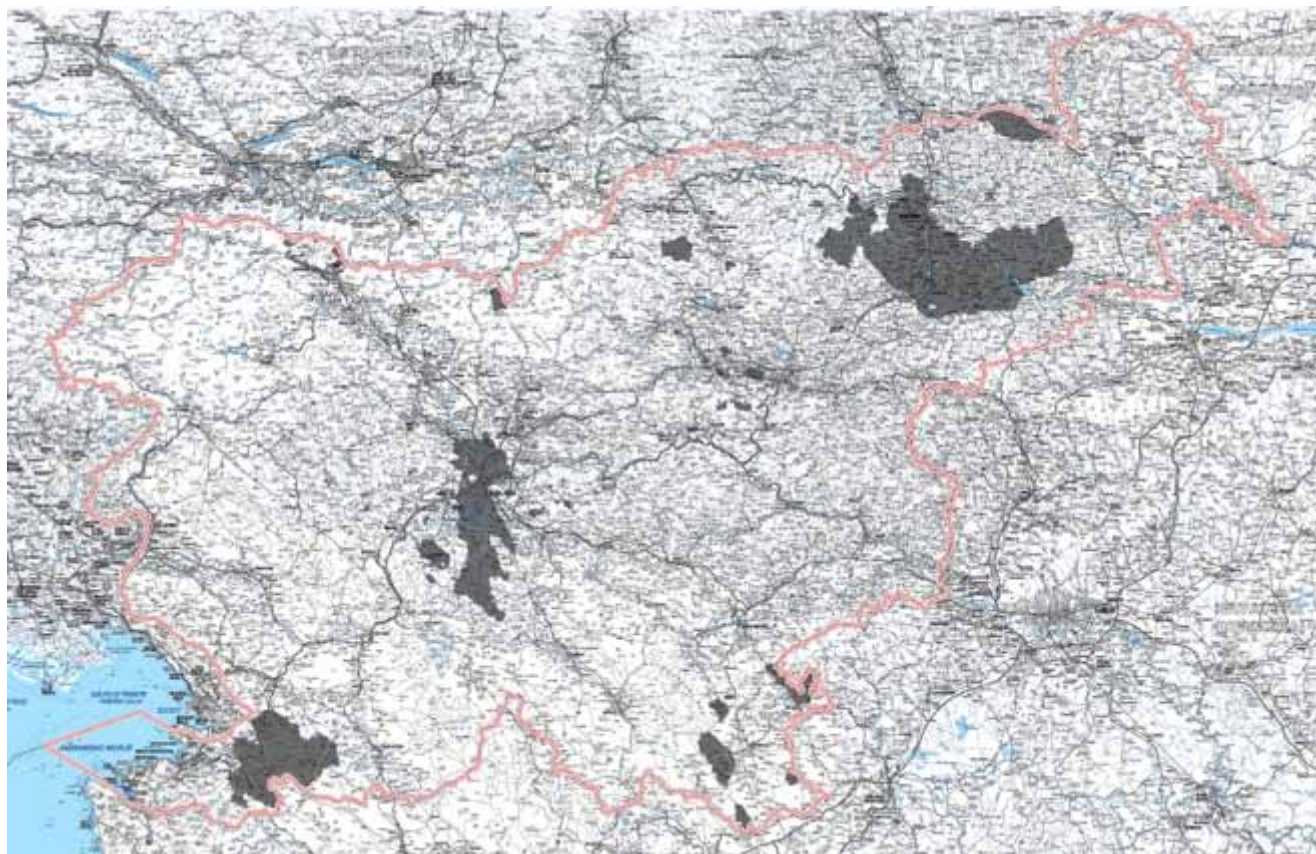
Zakon o vodah (Uradni list RS, 67/02), ki je bil sprejet leta 2002, je postavil zahtevo, da je za varovanje virov pitne vode odgovorna država, ministrstvo za okolje in prostor ter njegove agencije in službe pa so pristojne za izvajanje teh nalog. Pristojnost za varovanje virov pitne vode je bila s tem zakonom z občin prenesena na državo. Kot podlaga za izvajanje je bil v letu 2004 sprejet *Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenih območij* (Uradni list RS, 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16, v nadaljevanju *Pravilnik*), ki podaja načine določanja vodovarstvenih območij in postopke za presojo ustreznosti posegov v prostor na teh območjih.

Z vidika stroke in zagotavljanja ustrezne zaščite je bil prenos odgovornosti na državo smiseln in glede na dotedanjo prakso tudi nujen. V preteklosti številne občine zaradi navzkrižja interesov niso uspele sprejeti lastnih odlokov o vodovarstvenih območjih. V nekaterih drugih občinah, ki so odloke sicer sprejele, pa so bila vodovarstvena območja prostorsko relativno omejena ali pa so se njihove meje zaključevale na mejah občine. To je bilo izrazito zlasti tam, kjer so napajalna zaledja virov pitne vode, ki jih je bilo treba ščititi, segala preko občinskih meja, sosednja občina pa se iz tega vodnega vira ni oskrbovala. Varovanje vodnih virov pitne vode na nivoju države je smiselno tudi zaradi tega, ker se na ta način vsaj do določene mere preprečuje fragmentacija oskrbe s pitno vodo. Če je skrb za zaščito vodnega vira prenesena na neodvisen organ od lokalne skupnosti, ta regulira obseg varstvenega območja in lokalno skupnost posredno sili, da zmanjša število vodovarstvenih območij, to pa je možno le takrat, ko je oskrba s pitno vodo bolj koncentrirana.



Zahteve o prenosu pristojnosti z občin na državo so bile sprejete leta 2002, praktično pa s sprejemom Pravilnika implementirane leta 2004. Za nami je skoraj petnajst let uveljavljanja nove prakse varovanja virov pitne vode. V tem času se je nabralo obilo izkušenj, hkrati pa lahko ugotovimo, da je uveljavljanje nove metodologije in novih vodovarstvenih območij izredno, skoraj že nedopustno počasen proces.

Odkar je bil uveljavljen Pravilnik, je bilo na njegovi podlagi do septembra 2018 sprejetih 39 pravnih aktov. Od tega je bilo sprejetih 14 uredb o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov na posameznem območju. Med ostalimi pravnimi akti 23 pravnih aktov predstavljajo uredbe o spremembah uredb, pri tem gre bodisi za popravke ali dopolnitve osnovnih uredb o vodovarstvenem območju. Od preostalih dveh pravnih aktov predstavlja en akt Uredbo o prenehanju veljavnosti in drugi Popravek uredbe. Takšen nabor pravnih aktov, ki izhajajo iz Pravilnika, kaže posebno naravo uredb o vodovarstvenih območjih. Ko je posamezna uredba sprejeta na Vladi Republike Slovenije, se dokaj kmalu pojavijo potrebe po njihovih spremembah in dopolnitvah, ki se nato realizirajo z uredbami o spremembah.

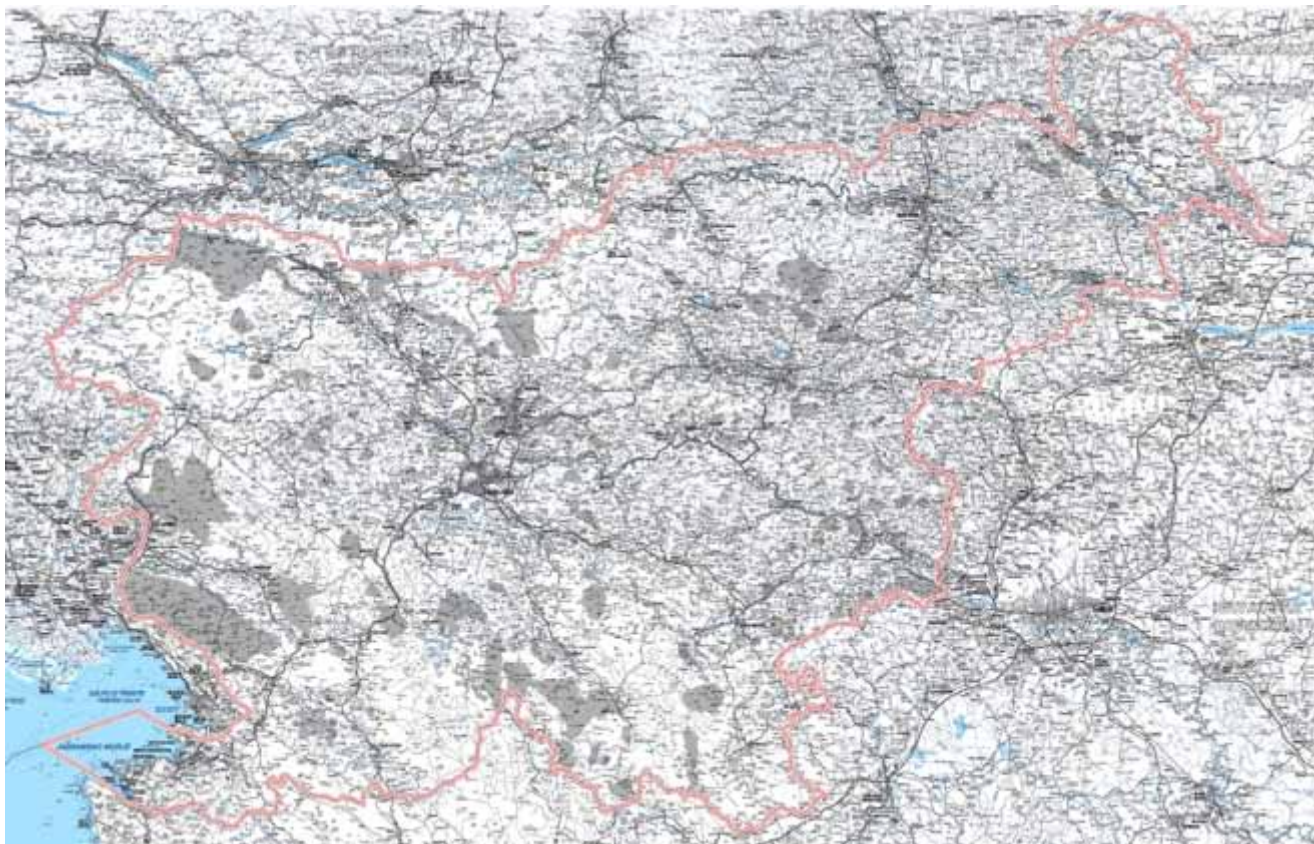


Slika 1: Prikaz vodovarstvenih območij, sprejetih na državnem nivoju, v skladu z veljavnim Pravilnikom o kriterijih za določitev vodovarstvenih območij

Poleg golih števil si je zanimivo ogledati, na katere vodne vire se nanašajo sprejete uredbe. Iz pregleda obstoječih uredb ugotovimo, da se posamezne uredbe nanašajo na več virov pitne vode. Pri tem uredbe naslavlja posamezna vodna telesa podzemne vode ali pa posamezna krajevna območja. Teh območij ni mogoče opredeliti z vodnoupavljaljskih vidikov, temveč gre le za območja, ki izhajajo iz administrativno upravnih enot, to je občin. Tako imamo opraviti

s tremi uredbami, ki se nanašajo na občine Jesenice, Jezersko in Slovenj Gradec. Te uredbe posegajo tudi na ozemlja drugih občin, vendar le z vidika napajalnega zaledja vodnih virov. Le v uredbi za Slovenj Gradec sta dva zaščitena vodna vira tudi v občini Mislinja, vendar se uporabljata tudi za oskrbo prebivalcev v občini Slovenj Gradec. Le tri uredbe naslavlja več občin; to so uredba za občine Črnomelj, Metlika in Semič, uredba za Šmartno ob Paki, Polzela, Braslovče ter uredba Celje-Žalec. Vse ostale uredbe o vodovarstvenih območjih, ki jih do sedaj nismo našli, so povezane z velikimi vodovodnimi sistemi. Tako je okolica Ljubljane pokrita z dvema skupinama uredb, prva skupina se nanaša na Ljubljansko polje in druga na Ljubljansko barje z okolico Ljubljane. Večina vodnih virov pitne vode, ki jih obravnavata ti dve skupini uredb, je v upravljanju javnega podjetja Vodovod Kanalizacija iz Ljubljane. Zakaj lahko v primeru širše okolice Ljubljane govorimo o skupinah uredb in zakaj ti pravni akti kažejo na posebnost sprejemanja pravnih aktov o varovanju vodnih virov v Sloveniji? Kar 9 pravnih aktov ali 23 % od vseh, ki izhajajo iz Pravilnika, je vezano na vodne vire v upravljanju javnega podjetja Vodovod Kanalizacija iz Ljubljane. Iz tega izhaja, da je velik del dosedanjih rezultatov varovanja vodnih virov pitne vode povezan z Ljubljano in okolico. Zelo podobno sliko dobimo, če se ozremo na drugi največji vodovodni sistem v Sloveniji, to so sistemi v upravljanju javnega podjetja Mariborski vodovod, deloma pa tudi drugih vodovodov, kot je na primer vodovodni sistem mesta Ptuja. To so uredbe, ki se nanašajo na Apaško polje, Selniško dobrovo, Ruše, Vrbanški plato, Limbuško dobrovo ter Dravsko Ptujsko polje kot celoto. Zaradi tega imamo na Dravsko-Ptujskem polju in na njegovem napajalnem območju opraviti z največjim vodovarstvenim območjem v Sloveniji. Tretji veliki vodovodni sistem, ki ščiti svoj vir pitne vode, je Rižanski vodovod v Slovenskem primorju, kjer je sprejeta uredba o vodnem viru Rižane. Prostorska porazdelitev vodovarstvenih območij, ki izhajajo iz zahtev Zakona o vodah in Pravilnika, je prikazana na sliki 1. Prostorski prikaz pokaže, da na velikem delu države ni vodovarstvenih območij, ki bi izhajala iz veljavne zakonodaje in novejših metodoloških izhodišč. Tako opazimo odsotnost vodovarstvenih območij na pomembnih območjih vodonosnikov in vodnih teles podzemne vode, kot so: Prekmurje, Krško Brežiška kotlina, Julijske Alpe, širše območje Vipavske doline in Krasa. Z vodovarstvenimi območji pa niso zajeti tudi številni manjši vodni viri.

Odsotnost vodovarstvenih območij po zahtevah Zakona o vodah in Pravilnika se nadomešča z vodovarstvenimi območji, ki so bila sprejeta na podlagi nekdanjih občinskih odlokov. Del teh odlokov je bil objavljen v občinskih uradnih listih, kasneje po letu 1990 pa tudi v Uradnem listu Republike Slovenije. Lega tako imenovanih občinskih odlokov je prikazana na sliki 2. Občinski odloki so lahko le začasna rešitev. Ne glede na to, da je njihova veljavnost podaljšana do uveljavitve novih odlokov, izhajajočih iz Pravilnika, teh odlokov ne moremo obravnavati kot enakopravnih novejšim, izdelanim po novi metodologiji. Vzroki ležijo tako v upravnih kot tudi v metodoloških vidikih. Vsebinsko se državni in občinski odloki med seboj zelo razlikujejo. Nekateri občinski odloki so podani zelo podrobno, drugi pa zelo skopo. Občinska vodovarstvena območja so po obsegu pogosto premajhna. Težava občinskih odlokov je tudi v tem, da so bili v preteklosti izdelani po zelo različnih metodologijah in da med seboj niso primerljivi. V praksi pa se težave pojavijo predvsem pri uveljavljanju zaščitnih ukrepov na terenu.



Slika 2: Prikaz vodovarstvenih območij, sprejetih na občinskem nivoju

V posebno kategorijo pa bi lahko uvrstili tiste vire pitne vode, za katere vodovarstvena območja niso bila nikoli izdelana. To so lahko viri, ki jih nekdanje občine zaradi različnih razlogov niso uspele nikoli zaščititi, ali pa viri, ki so bili razviti po letu 2002. Koliko je virov pitne vode, za katera vodovarstvena območja niso izdelana, ne vemo, prav tako nimamo informacije o tem, kakšno površino bi ta območja pokrivala.

3. METODOLOGIJA DOLOČANJA VODOVARSTVENIH OBMOČIJ

Metodologija vodovarstvenih območij izhaja iz naravnih danosti vodnih virov, ki so zajeti za potrebe oskrbe prebivalstva s pitno vodo. Glede na naravne značilnosti na območju Republike Slovenije so v Pravilniku viri pitne vode razdeljeni na vire površinske vode in na vire podzemne vode. Viri površinske vode so razdeljeni na tekoče vode in na stoječe vode. Viri podzemne vode so prav tako razdeljeni na dve glavni skupini; prvo skupino predstavljajo medzrnski vodonosniki, drugo pa kraškorazpoklinski vodonosniki. Za vire podzemne vode pa Pravilnik pozna še tretjo skupino. Ta skupina izhaja iz dejstva, da imamo v Sloveniji veliko virov pitne vode razvitih v dolomitnih vodonosnikih, v katerih pa se dinamika podzemne vode med vodonosniki zelo razlikuje. Zaradi tega so v Pravilniku določeni kriteriji, kdaj posamezni dolomitni vodonosnik obravnavamo kot medzrnski vodonosnik in kdaj kot kraški razpoklinski vodonosnik.

Vodovarstveno območje je območje v prostoru, ki predstavlja napajalno zaledje (prispevno območje) vodnega vira. Razdelimo ga v tri v prostoru opredeljena notranja območja in na

območje zajetja, v katerem je nepooblaščenim osebam dostop do naprav za zajem in pripravo vode prepovedan. Porazdelitev notranjih območij na medzrnskih vodonosnikih temelji na hierarhiji, ki izhaja iz predpostavke, da je najranljivejše območje v neposredni bližini naprav za zajem, ranljivost pa se zmanjšuje z oddaljevanjem od zajetja. Vodovarstvena območja si sledijo od najstrožjega v neposrednem zaledju do blagega, ki je najbolj oddaljeno in praviloma sega do razvodnice ali meje napajalnega zaledja. Takšna porazdelitev izhaja iz predpostavke, da imajo vodonosniki določeno stopnjo samočistilne sposobnosti in dlje ko se neko onesnaževalo zadrži v vodonosniku, večja je verjetnost, da se bo onesnaževalo zadržalo ali razpadlo. Zaradi velike heterogenosti je na območjih kraškoražpokrlnskih vodonosnikov varovanje z vodovarstvenimi območji nekoliko drugačno. V zaledju vira se določijo območja glede na hitrost dospetja onesnaževala v vodni vir in na podlagi stopnje zakraselosti tega območja. Zaradi tega imajo vodovarstvena območja na kraškoražpokrlnskih vodonosnikih praviloma nepravilne oblike, včasih pa se posamezna območja različnega reda med seboj tudi ne stikajo.

Zaradi varovanja se na vodovarstvenih območjih določijo mere zaščite vodnega vira, ki jih razdelimo na ukrepe, omejitve in prepovedi. Vsebina teh zaščitnih mer izhaja že iz njihovega poimenovanja. Ukrepi zajemajo vse aktivnosti, ki jih je treba izvesti za potrebe varovanja. Omejitve kažejo, v kakšni meri je treba neko dejavnost, ki predstavlja nevarnost za vodni vir, omejiti. Prepovedi pa so ukrepi, v katerih se neka dejavnost na vodovarstvenem območju v celoti prepove.

Starejše metodologije za določanje vodovarstvenih območij, ki so bile v uporabi pred sprejetjem Pravilnika v letu 2004, so temeljile predvsem na omejitvah in prepovedih. Zaradi tega odloki o vodovarstvenih območjih niso dopuščali posegov v prostor, ki bi omogočali varovanje vodnih virov na podlagi novejših tehnologij ali pristopov. Določbe so bile pogosto zelo toge, kar je v praksi pogosto povzročilo, da so se uredbe zelo pogosto spreminjale in dopolnjevale. V ta namen je Pravilnik uvedel mehanizem analize tveganja za onesnaženje podzemne vode. Ta analiza za vrsto posegov v prostor na vodovarstvenih območjih določa, kako je treba posamezni poseg presoati in kakšno metodologijo je treba pri tem uporabiti. Pravilnik vsebuje tudi Prilogo 1 Prepovedi, omejitve in zaščitni ukrepi za posege v okolje glede na stopnjo varovanja na notranjih območjih, v kateri je seznam, kdaj je treba za posamezni poseg v prostor izvesti analizo tveganja. Ta tabela je bila sestavljena na podlagi Enotne klasifikacije objektov, ki je izhajala iz veljavne gradbene zakonodaje v letu 2004, bila pa je tudi nekoliko dopolnjena z opisom nekaterih dejavnosti.

O podrobnostih o veljavni metodologiji in značilnostih vodovarstvenih območij se lahko zainteresirani bralec pouči v veljavnem Pravilniku o kriterijih za določitev vodovarstvenih območij (Uradni list RS, 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16) ter v nekaterih člankih, ki so jih napisal avtorji, ki so sodelovali pri pripravi Pravilnika (Brenčič idr., 2003; 2009; Matoz idr., 2003; 2004; Kompare idr., 2003; Prestor idr., 2003).

4. ANALIZA STANJA IN PREDLOGI

Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenih območij velja že 15 let in v tem času so bile pridobljene številne izkušnje, hkrati s tem pa so se odprla mnoga vprašanja, ki izhajajo tako



iz pomanjkljivosti Pravilnika, kot iz dejstva, da so se razvile nove metodologije za presojo in varovanje virov pitne vode, kot tudi tehnologije, namenjene varovanju in pripravi pitne vode. Spremenile pa so se tudi družbene razmere in pogoji, v katerih poteka varovanje virov pitne vode. Eden od pomembnejših pravnih okvirov varovanja virov pitne vode je tudi zapis o pravici do dostopa do pitne vode v Ustavo Republike Slovenije. Obstoječi Pravilnik nujno potrebuje prenovo in dopolnitve. V nadaljevanju so analiza obstoječih praks določanja in uveljavljanja vodovarstvenih območij, analiza dosedanjih posegov v prostor na vodovarstvenih območjih in predlogi za spremembe, dopolnitve in izboljšave obstoječih praks. Predlogi izhajajo iz avtorjevih izkušenj pri dosedanjem načrtovanju vodovarstvenih območij in izkušenj sodelovanja pri različnih projektih, v okviru katerih je prišlo do posegov v prostor na vodovarstvenih območjih.

Dosedanja praksa varovanja virov pitne vode nujno potrebuje podrobnejšo strokovno analizo in javno strokovno razpravo o pozitivnih in negativnih učinkih dosedanjega načina varovanja virov pitne vode. Treba bi bilo izdelati analizo, ki bi vsebovala tako pretres strokovnih in metodoloških izhodišč kot tudi vseh posegov v prostor na vodovarstvenih območjih, do katerih je prišlo v času od implementacije Pravilnika. Na podlagi te analize bi bilo treba izvesti javno strokovno razpravo, v kateri bi sodelovali tako različni profili strokovnjakov, ki se ukvarjajo z varovanjem virov pitne vode, kot tudi upravljavci vodovodnih sistemov, ki te vire pitne vode izkoriščajo. Rezultat te razprave bi moral biti nov in izboljššan pravilnik, hkrati z njim pa bi morale biti izdelane podrobnejše smernice za načrtovanje vodovarstvenih območij in smernice za načrtovanje ter presojo posegov v prostor na vodovarstvenih območjih.

Dosedanja praksa je pokazala, da so postopki sprejemanja novih uredb o vodovarstvenih območjih izredno dolgi in togi. Večina tako imenovanih občinskih odlokov o vodovarstvenih območjih je še vedno v veljavi, ker novi odloki še niso bili sprejeti. Pri marsikaterem od teh odlokov se je pokazalo, da bi bilo treba vodovarstvena območja spremeniti, ker so se razmere v prostoru spremenile, predvsem zaradi povečanih pritiskov na prostor. Veliko vodnih virov, ki so bili razviti po uveljavitvi Pravilnika, pa nima nobene ravni zaščite. Za nekatera od območij, ki potrebujejo zaščito, so strokovne podlage že pripravljene, za velik del pa niso pripravljene niti zasnove strokovnih podlag. Tako dolgi postopki sprejemanja uredb o vodovarstvenih območjih so posledica značilnosti slovenskega pravnega reda in načina upravnega delovanja.

Čeprav je za vodovarstvena območja pristojna država, so vodovarstvena območja lahko določena in sprejeta le na podlagi tesnega sodelovanja z lokalno skupnostjo, ki te vodne vire uporablja. Državni organi, ki so odgovorni za pripravo uredb, imajo na razpolago premalo informaciji, da bi lahko uredbe pripravili sami. Pomanjkanje informacij je očitno že pri presoji in načrtovanju, kateri vodni viri potrebujejo zaščito in kateri ne. Nekateri lokalne skupnosti v želji, da bi pospešile sprejem uredb o varovanju virov, ki jih upravljajo, v sodelovanju s strokovnjaki (praviloma hidrogeologi) pripravijo strokovne podlage za varovanje virov pitne vode. Ker pogosto obstajajo različne interpretacije metodologije za določitev vodovarstvenih območij, se postopek sprejemanja pogosto upočasni že pri usklajevanju strokovnih podlag med pripravljavci strokovnih podlag in pooblaščen strokovno institucijo, ki te strokovne podlage preverja in pripravlja za nadaljnjo implementacijo. Ko so strokovne podlage usklajene in pripravljene, pa se postopki pogosto še dodatno upočasnijo zaradi omejitev, ki jih za prostorski razvoj predstavljajo mere zaščite na vodovarstvenih območjih. V takšnih primerih se interesi

zelo dolgo usklajujejo, pogosto tako, da so v postopku usklajevanja vsi deležniki enakopravni, čeprav ima po veljavni zakonodaji pitna voda prednost pred kakršno koli drugo rabo prostora. Zaradi tega so po končanem procesu usklajevanja nekatere rešitve zaščite tudi neustrezne ali pomanjkljive. Če je država zaradi preprečevanja ozkih in omejenih lokalnih interesov pri zaščiti vodnih virov prevzela odgovornost za zaščito vodnih virov pitne vode, bi morala odigrati odločnejšo vlogo pri uvajanju teh zahtev.

Pregled uredb o vodovarstvenih območjih, ki izhajajo iz veljavnega Pravilnika, pokaže, da so trenutno z njimi zaščiteni predvsem večji vodni viri, ki oskrbujejo velike vodovodne sisteme in jih upravljajo večja, močnejša in dobro organizirana komunalna podjetja. To velja za vodne vire na območju Ljubljane, Maribora, Obale in deloma Celja. Manjši sistemi ostajajo brez ustreznih vodovarstvenih območij ali pa se varujejo po starih sistemih vodovarstvenih območij. To je posledica večjega števila dejavnikov, izhaja pa predvsem iz dejstva, da imajo večji vodovodni sistemi na razpolago ustrezno kompetentno stroko, ki za te vodne vire skrbi in ne glede na številne konflikte, ki se v tem lokalnem okolju sprožajo med različnimi političnimi interesi in stroko, obe strani vendarle najdeta skupni interes, da na državni ravni uveljavljata interes varovanja lastnih vodnih virov. Manjši vodovodni sistemi in lokalne skupnosti nimajo dovolj strokovnih in političnih kompetenc, da bi uveljavljali interese varovanja vodnih virov, in v danih razmerjih sprejemanja in določanja vodovarstvenih območij s svojimi zahtevami in predlogi ne prodrejo. Včasih pa lokalna politika tudi nima interesa, da bi zaradi omejitev v prostoru, ki jih narekujejo vodovarstvena območja, te vire varovala kljub strokovni upravičenosti. Kot skrbnica vodnih virov bi država morala bolje zagovarjati in uveljavljati varovanje vodnih virov pitne vode, ki niso v upravljanju večjih vodovodnih sistemov.

Obstoječi sistem načrtovanja in uveljavljanja vodovarstvenih območij je treba spremeniti. Počasno uveljavljanje novih vodovarstvenih območij ter hkrati tudi dopolnjevanje in nadomeščanje že sprejetih je prepočasno in ne sledi aktualnim posegom v prostor. Sedanji postopki so preveč zapleteni in preveč birokratski in obremenjujejo tako državne organe, ki jih morajo sprejemati, kot tudi pripravljavce strokovnih podlag in upravljavce vodovodnih sistemov. Pristojnosti za implementacijo vodovarstvenih območij je treba razdeliti in razporediti. Za manjše vodne vire, ki oskrbujejo nekaj sto prebivalcev in katerih napajalna zaledja segajo le na območje občine, bi bilo treba pristojnosti varovanja vodnih virov podeliti občinam. V teh primerih bi država morala zadržati le nadzorno vlogo, s katero bi preverjala, ali se za te vire naloge varovanja izvajajo, in na kakšen način. V kontekst tega premisleka sodi tudi varovanje majhnih vodnih virov, ki oskrbujejo s pitno vodo manj kot 50 prebivalcev. Tudi varovanje teh virov bil lahko prenesli v pristojnost občin. V trenutni praksi se nekateri od teh vodnih virov ne varujejo več z vodovarstvenimi območji, kar je povsem napačno, tudi v nasprotju z vpisom o pravici do pitne vode v Ustavo. Država bi morala zadržati pristojnost nad varovanjem vodnih virov za velike vodovodne sisteme in za tiste vodne vire, katerih napajalna zaledja segajo preko občinskih meja. Podlago za implementacijo takšnega načina varovanja vodnih virov pa bi morala tvoriti ustrezna strategija.

V obdobju delovanja 10. vlade Republike Slovenije (2014-2018) smo bili pod izgovorom razvoja in zagotavljanja novih delovnih mest priča odobritvi nekaterih velikih posegov na vodovarstvena območja, ki dolgoročno spreminjajo kakovost vodnih virov pitne vode. Med najbolj



pereče posege sodita gradnja velike lakirnice podjetja Magna na Dravskem polju v neposrednem zaledju vodnega vira Dobrovce in gradnja povezovalnega kanalizacijskega kanala C₀ preko napajalnih zaledij vodnih virov na Ljubljanskem polju (vodarna Kleče). Našteli pa bi lahko še številne manjše posege. Svoj delež krivde pri tem nosi tudi stroka, ki je odgovorna za varovanje vodnih virov. To je predvsem posledica tržne odprtosti in odvisnosti te stroke in njene podcenjenosti, hkrati pa je to povezano tudi z nekaterimi postopki, ki jih določa zakonodaja, predvsem pa Pravilnik.

Osnova za presojanje ustreznosti posegov v prostor na vodovarstvenih območjih je analiza tveganja za onesnaženje podzemne vode. To analizo izdelata hidrogeolog, v kateri ugotovi, ali je poseg dopusten in pod kakšnimi pogoji. Pomemben del postopka je revizija izvedene analize. Pri tem nastopi vrsta težav in problemov, zaradi česar se je analiza tveganja sčasoma skoraj v celoti izrodila. Že površen pregled prakse izvajanja analiz tveganja pokaže, da so to predvsem dokumenti, ki opravičujejo poseg v prostor na vodovarstvenem območju, le v zelo redkih primerih pa so analize elaborati, ki bodisi zavrnejo poseg ali pa vsaj dosežejo spremembo izvedbenega projekta. Številni od teh elaboratov so tudi strokovno neustrezni in pomanjkljivi ter izdelani od nekompetentnih oseb. V nekaterih primerih je takšno stanje analiz tveganja povzročilo poslabšanje razmer na vodovarstvenih območjih. Kaj so vzroki za takšno stanje? V času priprave Pravilnika je bilo ugotovljeno, da je v primeru vpeljave analize tveganja v prakso treba postaviti mehanizem njenega preverjanja. V skladu s tedanjo prakso se je v ta namen predpisal enak model revizije, kot je bil v primeru gradbenih projektov za izvedbo v okviru tedaj veljavnega Zakona o graditvi objektov. Sčasoma pa se je izkazalo, da je ta kontrolni mehanizem povsem neustrezen. Izdelovalec analize tveganja in revident sta med seboj pogosto povezani osebi. Investitor posega v prostor neredko izbere tako izdelovalca kot tudi revidenta, zaradi česar sta oba finančno odvisna od njega. Dodatni problem predstavlja zelo majhno število ustrezno usposobljenih revidentov, ki so nemalokrat tudi sami izdelovalci analiz tveganja. Nad analizami tveganja je tudi zelo redko izvedena eksterna kontrola upravnih organov. Analizo tveganja za onesnaženje podzemne vode, kot je predpisana s Pravilnikom, je treba v najkrajšem možnem času ukiniti in nadomestiti z drugim ustrežnejšim postopkom presoje ustreznosti posegov v prostor na vodovarstvenih območjih.

Čista pitna voda postaja vedno bolj strateška surovina, to pomeni, da je treba varovati ne le obstoječe vodne vire, temveč tudi potencialne vire, ki bi jih morda lahko uporabili tudi v prihodnje. V dosednji praksi varovanja je povsem neustrezno rešeno vprašanje potencialnih vodnih virov pitne vode. Če se so se pred letom 2004 ta vprašanja vendarle do neke mere reševala, pa danes ni tako. To vprašanje je povsem stihijsko in prepuščeno intervencijam strokovnjakov, če le-ti uspejo prodreti s svojimi predlogi, ali pa jih na neki način »skrijejo« znotraj drugih rešitev. S primerom neformalnih potencialnih vodnih virov imamo opraviti na Dravskem polju. Tam so sedanja vodovarstvena območja v veliki meri prevzeta iz starejših vodovarstvenih območij, ki sta jih sprejeli nekdanji veliki občini Maribor in Ptuj. Na podlagi tedanje strategije oskrbe s pitno vodo so predvideli nekatere potencialne vodne vire, tudi potencialna črpališča, in jih zavarovali, čeprav se na teh območjih črpanje podzemne vode še ne izvaja. Območja ostajajo zavarovana še naprej, vendar pa težave nastopijo takrat, ko je treba presojati ustreznost posegov v prostor na teh območjih. Veljavni načini presoje temeljijo na podatkih o črpanju, ker iz tega izhajajo izračuni velikosti napajalnih zaledij, tega pa pri tako

zavarovanih vodnih virih ni mogoče podati, saj se črpanje ne izvaja, prav tako pa niso dostopni dokumenti, ki bi ocenili možne količine črpanja.

Prisotnost vodovarstvenih območij v prostoru povzroči omejitve za razvoj ostalih dejavnosti. Zaradi tega nastanejo konflikti, ki jih različni deležniki v prostoru rešujejo na različne načine, pogosto v odvisnosti od njihove družbene moči. Neredko so te rešitve v nasprotju z načelom o tem, da ima pitna voda prednost pred drugimi vrstami rabe prostora. Pri večjih posegih v prostor zasledimo rešitve, ki pogosto vodijo k ukinjanju posameznih vodnih virov ali k njihovemu »prestavljanju«. To izhaja iz neformalne doktrine neskončnega vodnega vira, ki nepremišljeno predpostavlja, da je vode dovolj in da je izgubljeni vodni vir možno nadomestiti z drugim. Takšno ravnanje je posledica naravnih danosti Slovenije, ki je z vodo med najbogatejšimi državami Evrope. Toda takšno ravnanje nas bo slej ko prej pripeljalo do tega, da bo ustreznih vodnih virov zmanjkalo. Na nekaterih območjih se to v Sloveniji že dogaja. Zaradi vsega naštetega je treba spremeniti trenutni odnos do vodovarstvenih območij. Vodovarstvena območja zaradi svoje narave predstavljajo dodano vrednost v prostoru, saj ščitijo dobro obstoječe stanje v okolju ali pa ga zaradi nekaterih ukrepov varovanja vodnih virov tudi izboljšujejo. Eden od načinov spremembe odnosa do vodovarstvenih območij je tudi ozaveščanje in izobraževanje javnosti o vodovarstvenih območjih. Pri tem je to ozaveščanje nujno tako na ravni laične javnosti kot tudi na ravni različnih strokovnih javnosti. Razen zelo redkih izjem poskusov, ki bi spremenili odnos do tega elementa varovanja zdrave in čiste pitne vode, skorajda ni.

Za konec prispevka nam preostane še zelo radikalen pogled na vprašanje vodovarstvenih območij v Sloveniji. Večina vodovarstvenih območij, ki varujejo vodne vire pitne vode v Sloveniji, je prevelikih. Vzrok za to je preslaba raziskanost napajalnih zaledij posameznih vodnih virov. Ker napajalna zaledja vodnih virov niso ustrezno raziskana, se pri dimenzioniranju vodovarstvenih območij uporablja previdnostni princip, posledično to pomeni, da je tam, kjer je stopnja raziskanosti območja slaba, treba upoštevati večjo stopnjo negotovosti, hkrati pa to pomeni, da so območja varovanja večja, kot bi bilo nujno potrebno. V raziskave napajalnih zaledij vodnih virov se skoraj ne vlagajo finančna sredstva. Izjeme so le večji vodovodni sistemi, ki razpolagajo z ustreznimi kompetencami in kritično maso sredstev ter kadrov. Posamezne lokalne skupnosti praviloma investirajo le v razvoj vodnega vira, skorajda nikoli pa ne investirajo v raziskave napajalnega zaledja, kar bi izboljšalo njegovo zaščito. V Sloveniji se zbirajo znatna sredstva, ki izhajajo iz različnih koncesij in rabe naravnega vodnega javnega dobra. Del teh sredstev, ki izhajajo iz izkoriščanja istih naravnih vodnih virov, kot so viri pitne vode, bi se moral vračati nazaj v te vire. Po javnodostopnih podatkih se ta sredstva ne uporabljajo v ta namen. V bodoče je treba nameniti več sredstev za raziskave vodnih virov. Nekatera vodovarstvena območja je treba zmanjšati, vendar le na podlagi trdnih, naravoslovno-tehnično podprtih podatkov. Hkrati s tem je na tako opredeljenih vodovarstvenih območjih treba zaostriti ukrepe za varovanje in na njih povsem onemogočiti nekatere posege v prostor. V bodoče bodo upravljavci nekaterih večjih vodovodnih sistemov morali razmisliti tudi o tem, da lastniško prevzamejo dele zemljišč napajalnih zaledij svojih vodnih virov in s tem preprečijo razvoj za vodo nevarnih dejavnosti. Tudi v takšnih primerih bi bilo smiselno uporabiti sredstva, ki se zbirajo v skladu, ki upravlja sredstva, ki izhajajo iz izkoriščanja naravnega javnega vodnega dobra.



5. SKLEP

Ali smo lahko nad stanjem varovanja vodnih virov v Sloveniji zaskrbljeni? Odgovor na to vprašanje ne more biti enoznačen. Varovanje vodnih virov pitne vode in iz tega izhajajoča vodovarstvena območja so problematika, ki ima tako svoje svetle kot temne strani. V nekaterih primerih je varovanje vodnih virov v Sloveniji na zavidljivo visoki ravni, v drugih primerih pa je povsem neustrezno. Na tem področju imamo zelo bogate izkušnje in po znanju gotovo sodimo v svetovni vrh, kljub temu pa v razvoju varovanja vodnih virov v prihodnje ne bi smeli zaostati. Obstoječe metodologije, pravne podlage in sisteme varovanja je treba izboljšati in nadgraditi. Pravne praznine, ki so se izkazale v preteklosti, je treba zapolniti. Hkrati s tem pa lahko ugotovimo, da na ravni države nimamo ustrezne strategije varovanja virov pitne vode, tako s stališča sedanje kot bodoče rabe.

ZAHVALA IN OPOZORILO

Avtor se zahvaljuje Lidiji Levičnik z Geološkega zavoda Slovenije za pomoč pri pripravi prispevka. Prispevek v celoti izraža mnenje avtorja in ne izraža mnenja ustanov, v katerih je zaposlen ali z njimi sodeluje.

LITERATURA IN VIRI

1. Brenčič, M., Kompare, B., Kranjc-Kušlan, S., Matoz, H., Prestor, J., 2003. Pravilnik za določanje vodovarstvenih območij: določanje ukrepov in omejitev na vodovarstvenih območjih. V: Roš, M. (ur.). Zbornik referatov. Ljubljana: Slovensko društvo za zaščito voda, 95-107.
2. Brenčič, M., Prestor, J., Kompare, B., Matoz, H., Kranjc-Kušlan, S., 2009. Integrated approach to delineation of drinking water protection zones. *Geologija* 52/2, 175-182.
3. Kompare, B., Prestor, J., Brenčič, M., Kranjc-Kušlan, S., Matoz, H., 2003. Pravilnik za določanje vodovarstvenih območij: določanje vodovarstvenih območij zajetij površinskih voda in kombiniranih zajemov. V: Roš, M. (ur.). Zbornik referatov. Ljubljana: Slovensko društvo za zaščito voda, 84-94.
4. Matoz, H., Brenčič, M., Prestor, J., Kompare, B., Kranjc-Kušlan, S., 2004. Nov način določanja vodovarstvenih območij. V: Zbornik referatov, 15. Mišičev vodarski dan 2004. Maribor: Vodnogospodarski biro, 43-53.
5. Matoz, H., Kranjc-Kušlan, S., Brenčič, M., Kompare, B., Prestor, J., 2003. Pravilnik za določanje vodovarstvenih območij: pravni okvir in pretekla praksa. V: Roš, M. (ur.). Zbornik referatov. Ljubljana: Slovensko društvo za zaščito voda. 2003, 1-8.
6. Prestor, J., Brenčič, M., Kompare, B., Matoz, H., Kranjc-Kušlan, S., 2003. Določanje meja vodovarstvenih območij. V: Roš, M. (ur.). Zbornik referatov. Ljubljana: Slovensko društvo za zaščito voda, 73-83.



PRIPRAVA PITNE VODE IZ ZAJETJA JAMA V KOSTANJEVICI NA KRKI

**Špela ARH MARINČIČ¹, Jože LESKOVAR², dr. Andrea CESAR³,
Jan ZADRAVEC⁴, Alen MALUS⁵**

Povzetek

Pretežni del prebivalstva Kostanjevice na Krki se oskrbuje s pitno vodo iz zajetja Jama. Po glavne težave pri oskrbi so bile povezane s povišano motnostjo vode ob močnejših nalivih in mikrobiološko neustreznostjo pitne vode. Zaradi zdravja uporabnikov je bil v letu 2015 za kar 83 dni izdan ukrep prekuhavanja pitne vode pred uporabo.

Predstavniki Kostak, d. d., in Občine Kostanjevica na Krki smo proučili različne postopke priprave pitne vode ter si ogledali primere dobrih praks. Pripravili smo projektno nalogo, katere glavni cilj je bil zagotoviti učinkovito pripravo pitne vode, sprejemljivo s finančnega vidika. S podjetjem Ekomot Artiče, d. o. o., smo sprojektirali in izvedli kombinirano napravo, ki zajema postopke: flokulacijo, filtriranje skozi peščeni filter, UV-dezinfekcijo ter sekundarno dezinfekcijo s klorom.

Ključne besede: investicija, motnost, peščeni filter, priprava pitne vode, UV-dezinfekcija

Abstract

The majority of the population of Kostanjevica na Krki is supplied from water source Jama from the carst cave of Kostanjevica. The main problem with the water supply was associated with increased water turbidity and microbiological contamination of drinking water during stronger rainfalls. In 2015 there were 83 days when it was necessary for the households to treat the water by boiling for the purpose of protecting public health.

Kostak, d. d., and the Municipality of Kostanjevica na Krki studied various drinking water treatment processes and reviewed examples of good practices. We launched a multi-step project with the objective to ensure the efficient preparation of drinking water, acceptable from financial point of view. In collaboration with company Ekomot Artiče, d. o. o., we have

1 Špela Arh Marinčič, univ. dipl. inž. grad., vodja VO-KA, Kostak, d. d.

2 Jože Leskovar, univ. dipl. inž. rud., direktor Sektorja komunala, Kostak, d. d.

3 Dr. Andrea Cesar, univ. dipl. biol., vodja nadzora kakovosti pitne vode, Kostak, d. d.

4 Jan Zadavec, univ. dipl. inž. str., vodja projektov, Kostak, d. d.

5 Alen Malus, vodja projektov, Ekomot Artiče, d. o. o.

developed and implemented a combined device for treatment of drinking water at source that includes: flocculation, filtration through sand filter, UV disinfection and secondary disinfection with chlorine.

1. UVOD

Podjetje Kostak, komunalno in gradbeno podjetje, d. d. (v nadaljevanju Kostak), izvaja obvezne gospodarske javne službe, med drugim tudi oskrbo s pitno vodo v občinah Krško in Kostanjevica na Krki. Kakovostno pitno vodo v zadostnih količinah zagotavljamo v okviru javne službe, ki jo izvajamo na podlagi koncesijskih pogodb s posameznima občinama, skoraj 26.000 uporabnikom obeh občin.

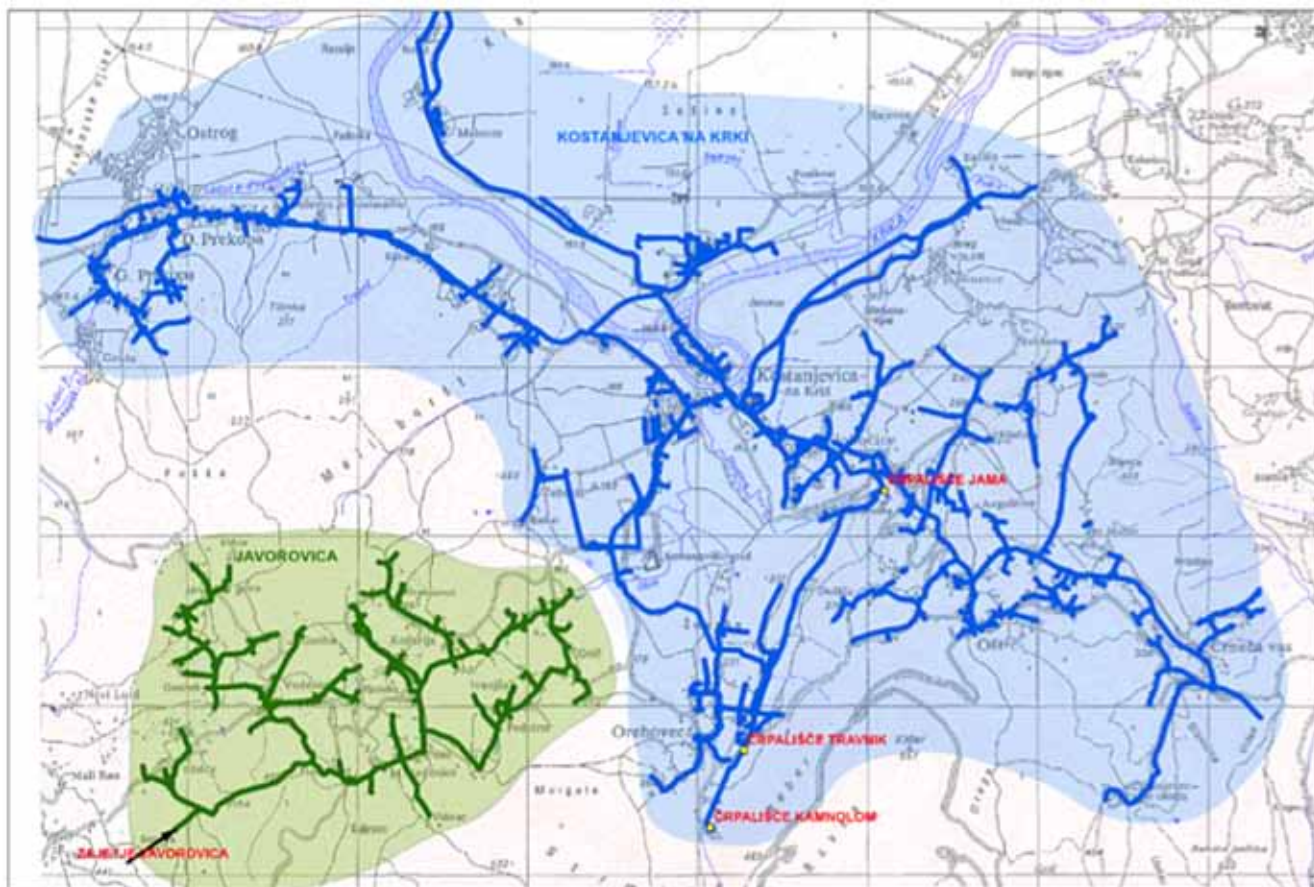
2. OSKRBA S PITNO VODO V OBČINI KOSTANJEVICA NA KRKI

Občina Kostanjevica na Krki je ena izmed 212 občin v Republiki Sloveniji, ustanovljena je bila 1. marca 2006 z izločitvijo iz Občine Krško. Vključuje 28 naselij, v katerih živi 2.437 prebivalcev. V okviru javne službe s pitno vodo oskrbujemo okoli 2.400 občanov, iz zasebnih sistemov oziroma lastnih virov pa se oskrbujejo zaselka Vrbje in Vrtača ter posamezni prebivalci na območju ostalih naselij, ki niso priključeni na javni vodovod.

Na območju občine upravlja Kostak dva ločena sistema za oskrbo s pitno vodo:

- vodovod Kostanjevica na Krki, ki ga oskrbuje z vodo iz dveh vrtin: Orehovec Travniki in Orehovec Kamnolom ter kraškega zajetja Jama, in
- vodovod Javorovica, ki ga oskrbuje z vodo iz Markovega izvira na Javorovici, v upravljanju Komunale Novo mesto.

Dolžina vodovodnega omrežja je 85,6 km. Za potrebe obratovanja omrežja je na sistemu zgrajenih 15 objektov z različnimi funkcijami: zajetje, črpališče, prečrpališče, vodohran, razbremenilnik in novo zgrajeni objekt za pripravo pitne vode. Za zagotavljanje požarne varnosti je na omrežju vgrajenih 86 hidrantov.



Slika 1: Shema javnih vodovodnih sistemov v občini Kostanjevica na Krki

Vir: Interno gradivo podjetja Kostak, d. d.

Dovoljeni maksimalni letni odvzem pitne vode iz vodnih virov na območju občine Kostanjevica na Krki, opredeljen v vodnih dovoljenjih, znaša 392.000 m³, od tega 51 % iz zajetja Jama, 31 % iz vrtine Orehovec Kamnolom in 18 % iz vrtine Orehovec Travniki.

Voda iz vrtin v Orehovcu je kakovostna, vendar jo je količinsko premalo za oskrbo celotnega vodovoda Kostanjevica na Krki. V zajetju Jama pa je vode količinsko dovolj, težave pa sta do vzpostavitve učinkovite priprave pitne vode predstavljala mikrobiološko onesnaženje in povišana motnost ob deževnem vremenu.

Tabela 1: Osnovni podatki o vodnih virih na območju občine Kostanjevica na Krki

Vodni vir	Vrsta vodnega vira	Leto začetka obratovanja	Globina vrtine (m)	Dovoljen konični odvzem (l/s)	Dovoljen letni odvzem (m ³)
Jama	Zajeti izvir	1971	/	17	200.000
Orehovec Travniki	Vrtina	1992	190	2	72.000
Orehovec Kamnolom	Vrtina	1994	250	4	120.000

Vir: Interno gradivo podjetja Kostak, d. d.

2.1. Vodni vir zajetja Jama

Vodni vir zajetja Jama se nahaja severovzhodno od naselja Kostanjevica na Krki, v neposredni bližini vhoda v Kostanjeviško jamo, na koncu doline, kjer na dan prihaja izdaten kraški izvir Studene. Gauss-Krugerjeve koordinate zajetja $x = 5077246$; $y = 5534082$; $z = 156$ m.



Slika 2: Fotografija zajetja ter objekta za pripravo in prečrpavanje pitne vode Jama
Vir: Interno gradivo podjetja Kostak, d. d.

V Strokovnih hidrogeoloških podlagah za pridobitev vodne pravice (vodni vir zajetja Jama), ki jih je izdelalo podjetje GeoAqua v letu 2004, je opredeljeno, da je glavna smer pretakanja podzemnih vod z jugovzhoda, kar nakazujejo tudi sledi površinskega toka, suha dolina, ki se vleče od Črneče vasi do Sv. Mohorja. Vir napajanja so padavine, ki padejo na prispevnem območju vodonosnika in vanj pritekajo po kraških, podzemnih kanalih ter delno z podzemno infiltracijo potoka Sušice.

Območje vodonosnika in njegovo prispevno območje sta relativno redko poseljena. Gre za večji del Gorjancev, ki jih prekriva pretežno listnati gozd, nekaj je tudi vinogradov in travnikov. Od dejavnosti prevladujeta kmetijstvo in vinogradništvo, industrijo pa predstavljajo posamezne obrtne delavnice v manjših zaselkih.

Dinamične zaloge vodonosnika s prispevnim območjem znašajo 906 l/s, v zajetju Jama je zajeto največ 17 l/s podzemne vode. V karbonatnem vodonosniku se pojavlja nivo podzemne vode na koti reke Krke, ki predstavlja erozijsko bazo širšega območja. Mreža površinskih vod je razvita samo na krednih kamninah, ki vsebujejo veliko laporja. Drugje pa ne obstaja, saj se večji del padavinske vode infiltrira preko brezen, razpok, ponorov in kanalov neposredno v vodonosnik.



Zaradi velikih dinamičnih zalog vodonosnika trenutne količine črpane vode ne predstavljajo težav. Vodno telo, iz katerega je zajeta podzemna voda, je zelo ogroženo zaradi svoje zgradbe ter načina pretakanja (velike filtrske hitrosti, pretakanja po podzemnih kanalih) podzemne vode. Območje vodnega vira še ni zavarovano z vodovarstvenimi pasovi, zato predvsem kmetijstvo lahko predstavlja močan razpršeni vir onesnaženja. Točkovne vire onesnaženja lahko predstavljajo objekti z neurejenim načinom odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda ter nelegalna odlagališča odpadkov.

2.1.1. Iskanje ustrezne rešitve

Vodni vir zajetja Jama je kraškega izvora in ob nalivih kali, voda je mikrobiološko onesnažena. Zato smo prvotno v prečrpališču izvajali dezinfekcijo pitne vode s plinskim klorom. Ob večjih nalivih in dolgotrajnem deževju, ko se je povišala motnost in je bila voda mikrobiološko oporečna, je bilo treba uporabnikom izdati preventivni ukrep prekuhavanja pitne vode, dokler se motnost ni ustrezno znižala. Preventivni ukrep prekuhavanja smo za vodovod Kostanjevice na Krki izdali tudi v primerih, ko je bilo območje zaradi obilnih padavin poplavljenno. Po močnem deževju, ko je začela motnost upadati, smo izvedli ukrep pranja vodohrana Bajin vrh in po potrebi izpiranje vodovodnega omrežja.

Rešitve za odpravo težav pri oskrbi s pitno vodo iz zajetja Jama so bile nakazane že v sklopu razvojnih možnosti vodnih virov v Dolgoročni študiji oskrbe s pitno vodo v občinah Krško in Kostanjevica na Krki iz leta 2007. V letu 2011 je bil izdelan Idejni projekt sanacije nezadostnih virov v občini Kostanjevica na Krki – zajetje Jama. V sklopu projekta je bila predvidena izvedba filtrirne naprave iz grobega pred filtra (samočistilni tlačni filter za odstranitev grobih delcev) v kombinaciji z ultrafiltrom (membranski ultrafilter za odstranitev vseh neraztopljenih trdnih snovi, mikroorganizmov oz. njihovih ostankov in tudi tistega dela raztopljenih organskih snovi, ki so adsorbirane na neraztopljenih trdnih delcih).

Vrednost projekta je bila ocenjena na 800.000 evrov, kar predstavlja več kot 57 % sedanje vrednosti infrastrukture za oskrbo s pitno vodo. Projekt je bil prijavljen v sklopu sofinanciranja iz Kohezijskega sklada, vendar ga je ministrstvo izločilo iz sofinanciranja. Zaradi pomanjkanja finančnih sredstev pa ga občina samostojno ni mogla začeti izvajati.

2.1.2. Opredelitev problematike – motnost in mikrobiološka neustreznost pitne vode

Poleti 2015 smo v Kostaku začeli projektno voditi problematiko povišane motnosti in mikrobiološke neustreznosti pitne vode na zajetju Jama. Sodelavci različnih strok (biologije, strojništva, geologije, gradbeništva ter ekonomije) so pripravili poglobljeno analizo obstoječega stanja, predloge dodatnih ukrepov za pridobitev potrebnih podatkov za načrtovanje ter projektno nalogo za izvedbo ustrezne rešitve zagotavljanja kakovostne pitne vode v zadostnih količinah, upošteva tudi omejitve glede investicijskih in obratovalnih stroškov.

V avgustu 2015 je bil izveden inšpekcijski pregled vodovoda Kostanjevica na Krki. Na podlagi pregleda rezultatov analiz pitne vode na sistemu ter ukrepov smo kot upravljavec sistema za oskrbo s pitno vodo Kostanjevica na Krki od Zdravstvenega inšpektorata prejeli odločbo, da do 30. 10. 2015 izvedemo potrebne ukrepe za zagotovitev skladnosti in zdravstvene ustreznosti

pitne vode. V strokovnih priporočilih Nacionalnega inštituta za varovanje zdravja (NIJZ) – opis indikatorskih parametrov, ki jih najdemo v pitni vodi, je motnost vode opredeljena kot pokazatelj prisotnosti delcev, velikosti od 1 nm do 1 mm (glineni delci, mulj, koloidni delci, huminske snovi, alge, plankton, bakterije ...). Izraža se v NTU-jih (nefelometrične turbidimetrične enote), metoda merjenja pa temelji na primerjavi sipanja svetlobe pri prehodu skozi vzorec vode in skozi standardno suspenzijo z znano motnostjo.

Prisotni delci lahko predstavljajo neposredno ali posredno nevarnost za zdravje ljudi. Ščitijo patogene mikroorganizme pred učinki dezinfekcije in večajo porabo dezinfekcijskega sredstva. Poleg tega stimulirajo rast bakterij v distribucijskem sistemu, ker se nanje adsorbirajo hranilne snovi. Adsorptivna sposobnost nekaterih delcev lahko prispeva k prisotnosti škodljivih anorganskih in organskih sestavin, npr. pesticidov, mikroelementov v vodi. Uživanje motne vode zato predstavlja ali kaže možnost večjega tveganja za zdravje. V primeru priprave pitne vode iz površinske vode motnost ne sme presegati 1,0 NTU v vodi po izstopu iz naprave za pripravo pitne vode.

Izvedena je bila analiza podatkov o izmerjeni motnosti v sklopu notranjega nadzora (NLZOH Novo mesto) za obdobje 2004–2015 na vodovodu Kostanjevica na Krki. Parameter je večkrat presegel mejno vrednost, najizraziteje v letu 2014, ko je bilo na območju Kostanjevice na Krki večje neurje, ki je dvignilo vodostaj Studene, poplavelo zajetje Jama ter povzročilo sprožitev številnih plazov. V analiziranem obdobju je bila surova voda iz zajetja Jama pred dezinfekcijo s klorom tudi mikrobiološko neustrezna (prisotne so bile *Escherichia coli*, *Enterokoki*, *Clostridium perfringens* s sporami, koliformne bakterije ter povišano število kolonij pri 22 °C in pri 37 °C).

V letu 2014 je bil v črpališču Jama vgrajen on line merilnik. Rezultati meritev so pokazali, da izmerjena motnost kratkotrajno preseže tudi vrednost 100 NTU, povprečna motnost v obdobju november 2014 do konca avgusta 2015 pa je znašala 1,4 NTU.

3. PRIPRAVA PITNE VODE V PREČRPALIŠČU JAMA

Izvedba projekta je vključevala primerjavo tehnologij priprave pitne vode, ogled dobrih praks pri Vodovod-Kanalizacija, javno podjetje, d. o. o., Celje, pripravo projektne naloge, izbor dobavitelja opreme ter samo izvedbo in poskusno obratovanje naprave.

Cilj projekta je bil zagotoviti varno oskrbo z učinkovito pripravo pitne vode, sprejemljivo s finančnega vidika.

3.1. Primerjava primernih tehnologij čiščenja pitne vode

Glede na prisotnost delcev (povišana motnost), mikrobiološko oporečnost surove vode iz zajetja Jama ter dobre prakse s peščenimi filtri iz Celja, smo se odločili, da kot ustrezni tehnologiji za pripravo pitne vode primerjamo filtracijo s tlačnim filtrom ter ultrafiltracijo.



Tabela 2: Analiza prednosti in slabosti posamezne tehnologije čiščenja pitne vode

Prednosti	Slabosti
FILTRACIJA S TLAČNIMI FILTRI	
– kompaktne dimenzije, – ekonomičnost, – enostavnost upravljanja, – avtomatsko delovanje, – robustnost, – delovanje brez komprimiranega zraka, – izpust pralne vode v vodotok.	– slaba odzivnost pri velikem nihanju motnosti vod, – ne zadržijo vseh mikroorganizmov, – poraba kemikalij (koagulant), – po filtraciji potrebna dezinfekcija vode.
ULTRAFILTRACIJA	
– konstantna stopnja filtracije, neodvisna od spremenljivih pogojev, – dobra in konstantna kakovost tretirane vode v smislu odstranjevanja trdnih delcev in mikroorganizmov, – kompaktne dimenzije, – preprosta avtomatika.	– tendenca nastajanja oblog na membranah, – potrebno čiščenje membran, – potreba po komprimiranem zraku, – večja poraba energije (visokotlačna metoda), – potrebna dezinfekcija vode za ultrafiltracijo.

Na podlagi izvedene analize smo se predvsem zaradi investicijskih in obratovalnih stroškov odločili za izvedbo peščenih filtrov v kombinaciji z UV-dezinfekcijo.

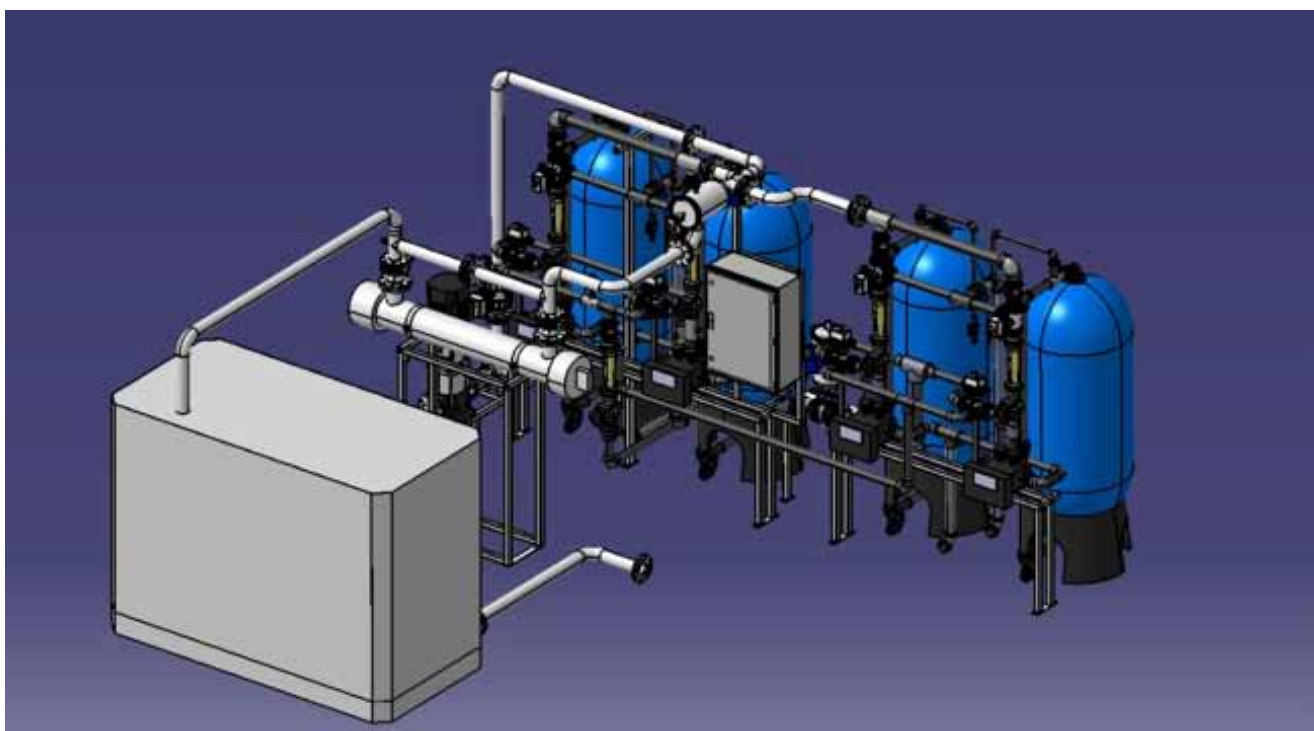
3.2. Projektna naloga

V projektni nalogi so bile opredeljene osnovne zahteve za izvedbo:

- izvedeta se dva peščena filtra (da se zagotovi nemoteno obratovanje v času pranja filtra),
- zmogljivost naprave za pripravo pitne vode mora biti 16 l/s, v prvi fazi se izvede za zmogljivost 12 l/s oziroma 43 m³/h vstopne surove vode,
- naprava mora omogočiti pripravo surove vode z vstopno motnostjo okoli 40 NTU, kratkotrajno tudi več (100 NTU),
- sistem mora biti zasnovan tako, da bo možna nadgradnja (dodatni moduli za pripravo dodatne količine vode),
- zahtevata se skladnost in zdravstvena ustreznost pripravljene vode po veljavnem Pravilniku o pitni vodi,
- oprema se vgradi v obstoječi objekt, dograditev ni predvidena,
- naprava mora delovati popolnoma avtomatsko, stalna prisotnost osebja ni predvidena,
- za nadzor delovanja naprave je treba predvideti vso potrebno opremo za meritve in analize za popolno avtomatsko delovanje in spremljanje kakovosti pitne vode,
- po filtraciji skozi peščeni filter se izvede UV-dezinfekcija,
- vzdrževanje in obratovanje objekta za pripravo pitne vode Jama je treba zagotoviti s čim nižjimi obratovalnimi stroški.

3.3. Načrtovanje in izvajanje del

Ker na trgu ni bilo tipske, ekonomsko sprejemljive rešitve s potrebno zmogljivostjo in upoštevanjem drugih lokalnih dejavnikov, kot sta Kostanjeviška jama (turizem) in ribogojnica, smo se odločili za razvijanje lastne rešitve v sodelovanju s podjetjem Ekomot iz Artič. Skupaj smo pripravili izvedbeni načrt. Investicija je vključevala dobavo in vgradnjo predfiltrrov z izmenljivimi vložki, sistema iz dveh peščenih filtrov (ter dodatni dve posodi v letu 2017), merilca motnosti, UV-dezinfekcijskega sistema, cevnih povezav (vključno z merilniki pretoka (rotometri) za vizualno spremljanje delovanja filtrov), elektro omare za avtomatično delovanje kompletnega sistema, možnosti priklopa daljinskega prikazovanja (motnost, tlak, delovanje UV-dezinfekcijske enote idr.).



Slika 3: 3D izris iz programa Catia

Vir: Interno gradivo Ekomot Artiče, d. o. o.



Slika 4: Prikaz izvedbe del

Vir: Interno gradivo družbe Kostak, d. d.

3.4. Osnovni tehnični podatki o vgrajeni opremi

Peščeni filter:

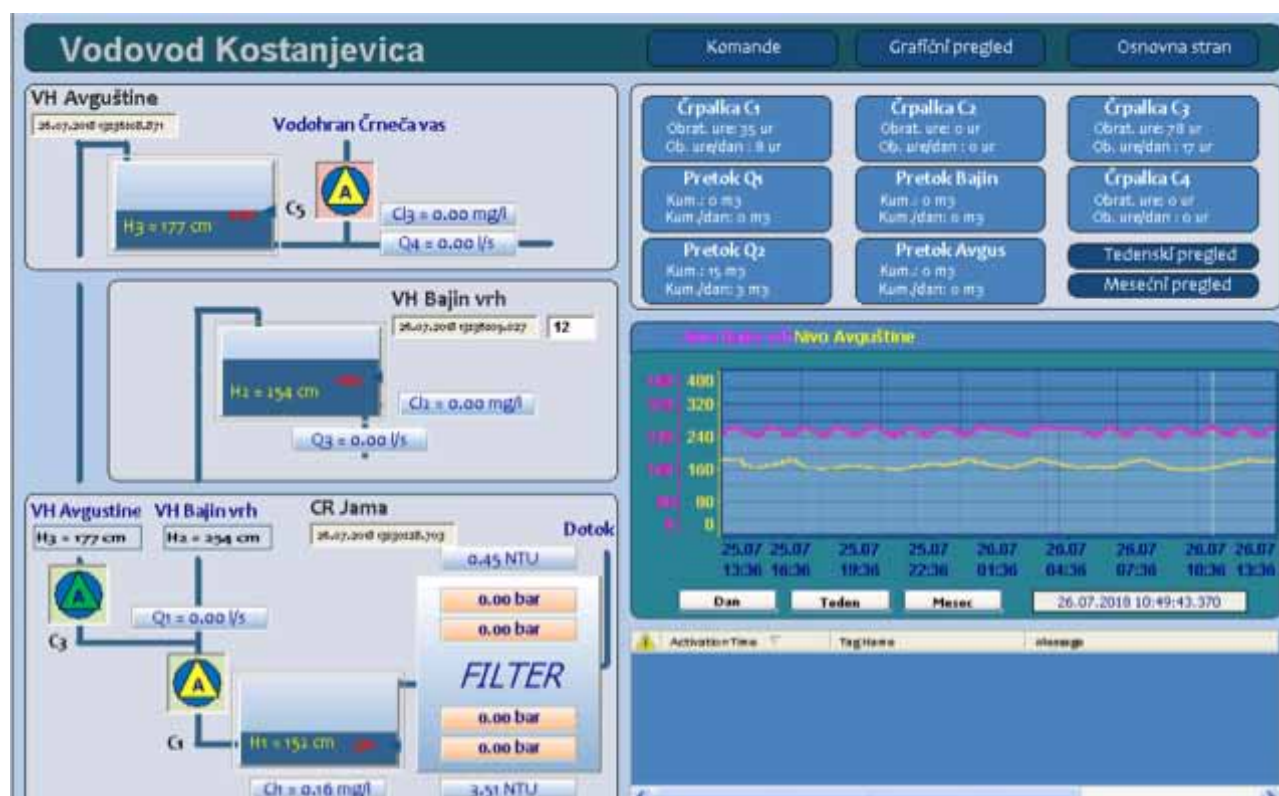
- posoda iz HDPE-ja, ojačana s steklenimi vlakni,
- pretok skozi filter $2 \times 17 \text{ m}^3/\text{h}$,
- izmenično pranje filtrov,
- pretok povratnega izpiranja $5 \text{ m}^3/\text{h}$ za filter,
- polnilo AG Plus R,
- flokulant EB-FLOC (z lovilno posodo).

UV-dezinfekcija:

- naprava Montagna MPM8E,
- pretok 10 l/s ,
- 4 nizkotlačne žarnice tipa MPM, kontaktni čas 5,7 s (pri pretoku $34 \text{ m}^3/\text{h}$).

3.5. Višina investicije

Prvotna investicija v vrednosti 97 tisoč evrov je bila nujno potrebna z vidika izvajanja varne oskrbe s pitno vodo. Pri samem obratovanju naprave v 2016 in 2017 je bilo ugotovljeno, da se zaradi občasne visoke motnosti (nad 80 NTU) pojavljajo težave s pranjem peščenih filtrov. V sodelovanju s predstavniki Občine Kostanjevica na Krki in dobaviteljem opreme smo se odločili, da se vgradi še dva peščena filtra. Dodatna investicija, ki se je izvajala konec 2017 in v začetku 2018, je znašala skoraj 30 tisoč evrov.



Slika 5: Prikaz zaslonske slike sistema daljinskega nadzora

Vir: Interno gradivo podjetja Kostak, d. d.

4. ZAKLJUČEK

Z izvedeno investicijo sta bila dosežena zastavljena cilja, in sicer:

- pretežnemu delu prebivalcev Kostanjevice na Krki je zagotovljena kakovostna pitna voda brez prekuhavanja (na vodovodu Kostanjevica na Krki zaradi povišane motnosti od začetka leta 2016 do danes ni bilo treba izdati nobenega ukrepa prekuhavanja pitne vode zaradi zdravja uporabnikov);
- v sodelovanju predstavnikov Občine Krško, Kostak, d. d., ter izvajalca Ekomot Artiče smo izbrali in glede na potrebe nadgradili ustrezno tehnologijo priprave pitne vode.

Zaposleni v družbi Kostak smo z ustreznim projektnim pristopom ter sodelovanjem z lastnikom komunalne infrastrukture, Občino Kostanjevica na Krki, uspeli izbrati ustrezno tehnolo-



gijo čiščenja pitne vode, ki je bila več kot šestkrat cenejša od prvotno predvidene. Tako smo občanom poleg pitja kakovostne pitne vode zagotovili nižjo ceno vodarine in omrežnine. Zadovoljstvo uporabnikov je po izvedenih anketah na bistveno višji ravni, saj po sredstvih javnega obveščanja ne zasledijo več obvestil z vsebino obveznega prekuhavanja vode pred uživanjem. Pridobili smo tudi veliko zaupanje uporabnikov.



Slika 6: Izvedena filtrirna naprava v objektu za pripravo in prečrpavanje pitne vode v Jami
Vir: Interno gradivo podjetja Kostak, d. d.

Projekt je uravnoteženo povezal ekonomski, okoljski in družbeni vidik v trajnostnem oz. vzdržnem modelu. Pri tem omogoča tudi podporo, ki omogoča institucionalno izvrševanje. Pomen in merilo projektne naloge se tako opredeljuje z vsemi razsežnostmi trajnostnega razvoja. Obenem pa potrjuje usmeritev v dolgoročno strateško opredelitev, ki zagotavlja koristi za vse deležnike.

LITERATURA IN VIRI

1. Fizikalno-kemični indikatorski parametri NIJZ. Dostopno na: <http://www.nijz.si/sl/fizikalno-kemicni-indikatorski-parametri#motnost> [31. 7. 2018].
2. Geoaqua inštitut za hidrogeologijo in okolje, 2004. Strokovne hidrogeološke podlage za pridobitev vodne pravice Kostak, d. d., (vodni vir: zajetje Jama).
3. Region, projektivni biro Brežice, d. o. o., 2007. Dolgoročna študija oskrbe s pitno vodo v občinah Krško in Kostanjevica na Krki.
4. Region, projektivni biro Brežice, d. o. o., 2011. Idejni projekt Sanacija nezadostnih vodnih virov v občini Kostanjevica na Krki, Zajetje Jama.



F3m zastopnik za WPL in Ventil Aqua.

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

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



Preizkušena in učinkovita rešitev
čiščenja odpadne vode.



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



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



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



IZBOLJŠANJE ODVODNJAVANJA S POMOČJO POLIMEROV

Klemen CEZAR¹

Povzetek

V Sloveniji je večina kanalizacijskih sistemov mešanega tipa, kar predstavlja probleme pri vedno pogostejših hujših nalivih. Veliko takšnih sistemov ni načrtovanih za tako visoke pretoke odpadnih in meteornih voda, kar lahko v skrajnem primeru privede do poplav. Izgradnja novih sistemov, ki bi omogočali višje zmogljivosti, je relativno draga, zato je vredno razmišljati o alternativah. Ena izmed cenejših in zanimivejših alternativ je uporaba polimerov kot sredstva za zmanjševanje hidrodinamičnega upora v turbulentnem toku. S pomočjo takšnih polimerov je mogoče povečati zmogljivost celotnega sistema tudi do 40 %. Ob izgradnji avtomatske dozirne postaje se lahko izognemo poplavam, avtomatizacija pa omogoča dobro odzivnost predvsem pri nenadni spremembi vremena.

Ključne besede: kanalizacija, odvodnjavanje, polimer, poplave, turbulenca, upor, zmogljivost

Abstract

Majority of sewer systems in Slovenia are of mixed type which can cause problems with growing chances of heavy rain. A lot of such systems are not designed for such high flowrates of wastewater and rain water, and can lead to floods. Building of new, bigger systems is relatively expensive so it's worth to think about alternative solutions. One of cheaper and interesting alternatives is the use of drag reducing polymers. With a help of such polymers, an increase of system's capacity up to 40 % can be achieved. We can avoid floods with fully automatic dosing stations. Furthermore, fully automatisation is giving a good reaction time in case of quick change of weather.

¹ Klemen Cezar, mag. inž. kem. inž., Allied Solutions CEE Ltd., Podružnica v Sloveniji

1. UVOD

Geografska lega in relief Slovenije sta razloga, da se jo na svetovni ravni uvršča med države z relativno visoko količino padavin na letni ravni. Razvitost meteornega kanalizacijskega sistema v urbanih predelih Slovenije je izjemno nizka in velika količina meteorne vode z zasebnih zemljišč konča v fekalnem ali mešanem kanalizacijskem sistemu. Ogromno število takšnih priključkov je nelegalnih, kar še dodatno otežuje projektiranje kanalizacijskih sistemov in velikokrat privede do poddimenzioniranih sistemov, kar se pri močnejših nalivih (ki so vedno pogostejši) lahko odrazi v poplavih preko kanalizacijskih sistemov.

2. KRAJŠI PREGLED ZGODOVINE UPORABE POLIMEROV KOT SREDSTEV ZA ZMANJŠEVANJE HIDRODINAMSKEGA UPORA

Prvo pomembnejše odkritje na tem področju je nastalo leta 1963, ko so prvič opazili močno zmanjšanje padca tlaka pri istem pretoku z dodatkom sledov (nekaj ppm) polimera v vodo. S pomočjo polietilenoksida in poliakrilamida (molekulska masa nad 10^6) jim je padec tlaka uspelo zmanjšati za približno 50 % ob zgolj 3,3 ppm dodatku polimera (Fisher in Rodriguez, 1971).

Kmalu se je princip delovanja polimerov kot sredstva za zmanjšanje hidrodinamskega upora v ceveh začel izkoriščati v petrokemiji. Z dodatki t. i. DRP-jev (angl. drag-reducing polymers) dosega občutno zmanjšanje upora (tudi do 80 %) ob relativno nizkih dozah (10–100 ppm). S tem se zmanjša potreben vnos moči pri transportu kapljevin po dolgih cevovodih (Al-Wahaibi idr., 2007).

Odkritje tega fenomena se je izkazalo za dobrodošlo pomoč tudi pri odvodnjavanju kanalizacijskih sistemov. Znanih je kar nekaj primerov, kjer se je uporaba polimerov dobro izkazala pri povišanju zmogljivosti sistema (SNF s. a. s.):

- New Jersey, ZDA, 1978 (29-% povišanje zmogljivosti),
- Bristol, Velika Britanija, 1980 (20–40-% povišanje zmogljivosti),
- Colorado, ZDA, 2002 (37-% povišanje zmogljivosti),
- Kanada, 2010 (30-% povišanje zmogljivosti).

Poleg že omenjenih aplikacij so se DRP-ji izkazali za uporabne tudi pri gasilcih (enkratno povišanje pritiska na šobi, daljši dolet in bolj usmerjen curek), polnjenje goriva v letalih (skrajšan čas), hladilno/grelnih sistemih in celo v biomedicini (Al-Wahaibi idr., 2007; SNF s. a. s.).

3. PRINCIP DELOVANJA

3.1. Delovanje DRP-jev na tok fluida

Kljub temu da je bil fenomen odkrit pred več kot polovico stoletja, še vedno ni popolnoma raziskan in mehanizem delovanja ni povsem znan. Pri nekaterih DRP-jih je moč opaziti povečanje območja laminarnega toka v območje višjih vrednosti Reynoldsovega števila kot sicer (nad 3000). Pri nekaterih drugih DRP-jih se opazi zmanjšanje padca tlaka kljub popolni razvitosti turbulentnega toka. Raziskovalci so vseeno uspeli narediti delne zaključke delovanja DRP-jev, ki si jih bomo ogledali v nadaljevanju (SNF s. a. s.; Warholic idr., 1999).



3.1.1. Ustvarjanje elastičnega območja

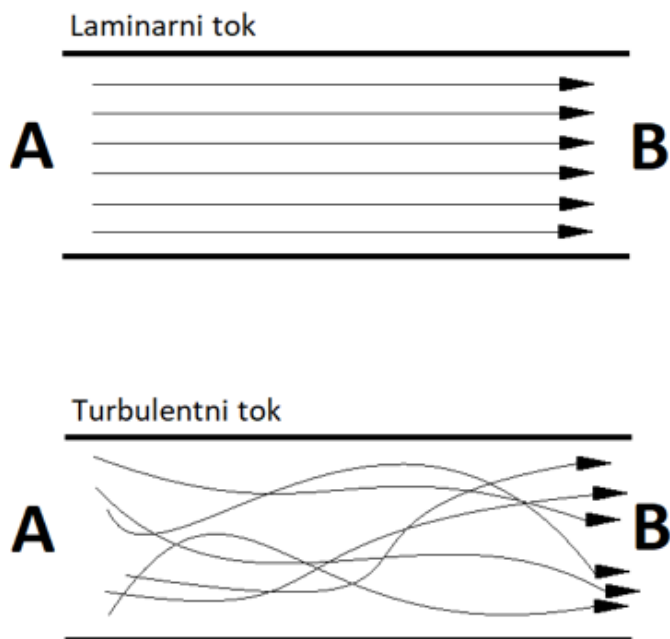
Teorija dinamike fluidov določa hitrostni profil tekočine, ki ima tanek sloj laminarnega toka tik ob steni cevi ($d \times u/v < 10$, kjer so d oddaljenost od stene, u hitrost in v kinematična viskoznost tekočine) ter logaritemski zakon za območje, ki je malenkost oddaljeno od stene ($d \times u/v < 50$). Ob dodatku polimera v kapljevino se med tema območjema ustvari t. i. »območje elastičnosti«, ki se povečuje z dodajanjem polimera. Ugotovljeno je bilo, da se s povečevanjem območja elastičnosti povečuje tudi učinkovitost zmanjševanja hidrodinamskega upora. Če elastično območje prekrije celotno območje toka, se tudi ob povišanju dodatka DRP-jev učinkovitost zmanjševanja upora ne poveča (Warholic idr., 1999).

3.1.2. DRP-ji in Reynoldsovo število

Pri toku tekočin poznamo predvsem dve pomembni območji – območje laminarnega toka in območje turbulentnega toka. Za prvega velja, da je vrednost Reynoldsovega števila (Re) nižja od 2300, medtem ko za drugega velja $Re > 3000$. Kot je omenjeno v poglavju 3.1., je bilo ob dodatku DRP-jev opaženo povečanje območja laminarnega toka v vrednosti Re , ki so tipične za turbulentni tok (nad 3000). V tem prispevku se bomo osredotočili predvsem na ta (bolje raziskan) fenomen (Warholic idr., 1999).

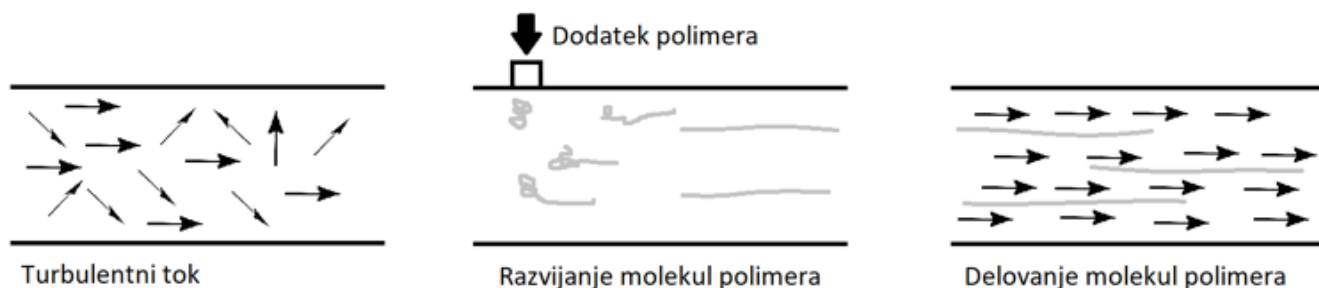
Glavna razlika med laminarnim in turbulentnim tokovnim režimom so turbulence pri zadnjem, medtem ko jih pri prvem ni. Pri laminarnem toku so vsi vektorji hitrosti usmerjeni v isto smer – tokovnice so urejene in gladke. Molekula za pot od točke A do točke B potrebuje minimalni čas, saj potuje po najkrajši poti (slika 1). Pri turbulentnem toku se pot molekule od točke A do točke B podaljša, saj molekula ne potuje po najkrajši poti. V turbulentnem toku se namreč ustvarjajo vrtnici (turbulence), ki podaljšajo pot in zadrževalni čas (Al-Wahaibi idr., 2007; SNF s. a. s.; Warholic idr., 1999).

Molekule vode so relativno majhne v primerjavi z molekulami polimerov, ki se uporabljajo kot DRP-ji. Ob dodatku polimera v vodo se dolga molekula polimera usmeri tako, da ima najmanjši upor – v smeri toka. Tako usmerjene molekule polimera predstavljajo pregrado molekulam vode, ki zaradi tega težje prehajajo v turbulence. S tem polimer »vsili« laminarni režim toka, kar skrajša čas potovanja molekul in posledično zadrževalni čas molekul. Na sliki 2 je prikazana shema delovanja polimera kot DRP-jev (SNF s. a. s.).



Slika 1: Prikaz poti molekule

Vir: Interno gradivo SNF s. a. s.



Slika 2: Prikaz delovanja DRP-jev

Vir: Interno gradivo SNF s. a. s.

3.1.3. Vpliv DRP-jev na vnos energije

Poleg zmanjšanja zadrževalnega časa in s tem hitrejšega odvodnjavanja se pri konstantnem pretoku zmanjša potreben vnos energije. Ustvarjanje večjih ali manjših vrtincev v toku (turbulentni režim) prispeva k izgubam energije, potrebne za pretakanje fluida po cevi. Z uporabo DRP-jev se število tovrstnih vrtincev zmanjša, s tem pa se poveča učinkovitost vnosa energije v sistem (SNF s. a. s.; Warholic idr., 1999).

3.1.4. Razpad DRP-jev

Kljub obetavnim rezultatom laboratorijskih testov in testov na realnih sistemih verjetno največji problem predstavlja razpad molekul polimera v toku kot posledica delovanja strižnih sil na molekulo. Razpadu molekul botruje tudi hidroliza C-C vezi zaradi alkalnosti odpadne vode v kanalizaciji.



pH-vrednost takšnih voda je navadno nad 7, za preprečevanje hidrolize DRP-jev pa je priporočljiva pH-vrednost pod 5,5. Žal zaradi kompleksnosti procesov in dejavnikov, ki vplivajo na razpad molekul DRP, ni mogoče določiti korelacije, ki bi napovedovala učinkovitost delovanja DRP v odvisnosti od njihove koncentracije, dolžine cevi, hitrosti pretoka ipd. Kljub temu se razpada molekul DRP ne sme zanemarjati in je ob načrtovanju takšnih sistemov treba upoštevati izgradnjo več dozirnih mest (Fisher in Rodriguez, 1971; SNF s. a. s.).

Poleg vprašanja o vplivu razpada molekul DRP na učinkovitost zmanjševanja upora se je treba vprašati tudi o vplivu zmanjševanja učinkovitosti DRP-jev zaradi potencialne flokulacije, ki bi se lahko začela znotraj kanalizacijskih sistemov. V podjetju SNF s. a. s. so opravili poskuse, s katerimi bi ugotovili vpliv flokulacije na učinkovitost delovanja DRP-jev. Ob dodatkih 10 ppm DRP-jev so zaznali do 20-odstotno zmanjšanje učinkovitosti DRP-jev zaradi flokulacije. Razlog se skriva predvsem v neaktivnosti polimera za flokulacijo. Čeprav so molekule DRP podobne molekulam polimerov, ki se jih navadno uporablja za flokulacijo, so DRP-ji navadno brez naboja ali celo z anionskim nabojem in so načrtovani za zmanjševanje upora kapljevina. Poleg tega se proces flokulacije močno upočasni pri pH-vrednostih nad 6, kar velja za večino kanalizacijskih sistemov (Fisher in Rodriguez, 1971; SNF s. a. s.).

4. NAČRTOVANJE SISTEMA ZA DODAJANJE DRP-JEV V KANALIZACIJO

Strokovnjaki podjetja Allied Solutions CEE Ltd. in SNF s. a. s. lahko sodelujejo pri načrtovanju in upravljanju dozirnih sistemov. Prav tako lahko sodelujejo pri iskanju optimalnega dozirnega mesta.

4.1. Avtomatska dozirna postaja

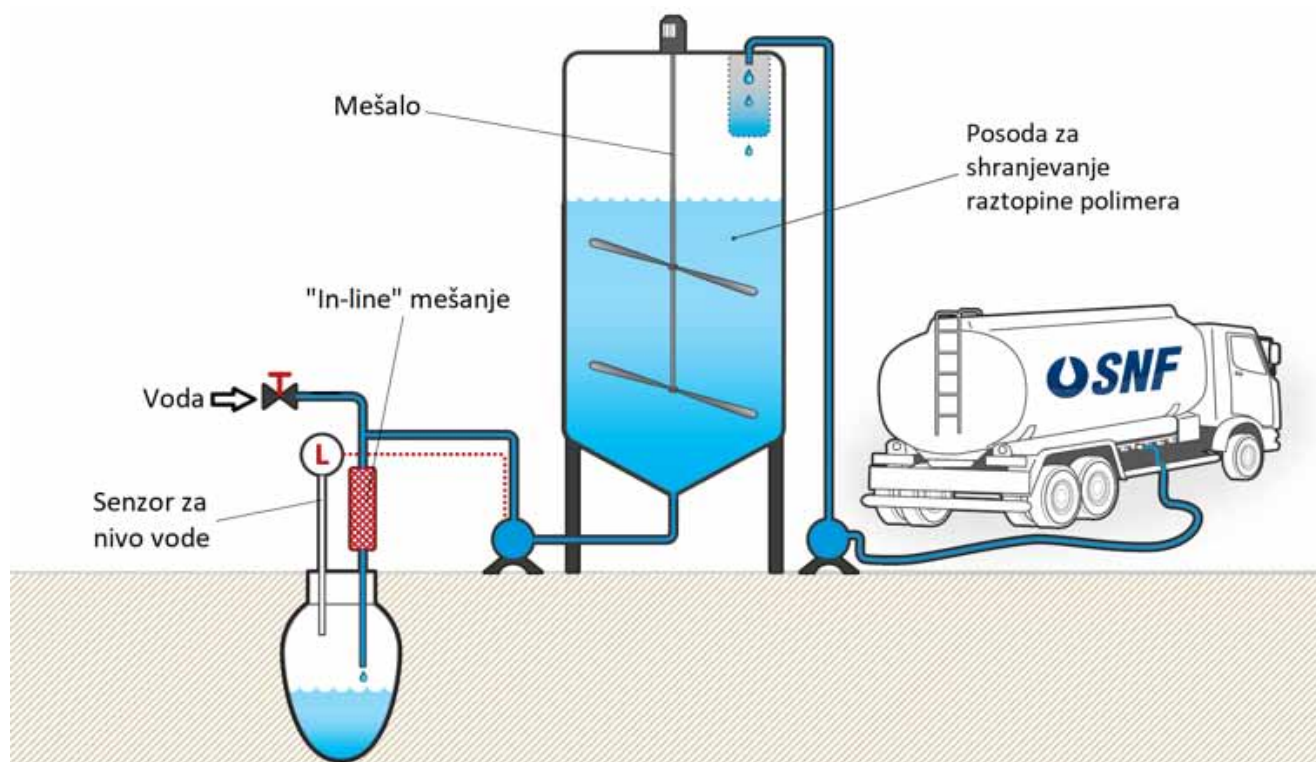
Avtomatska dozirna postaja omogoča takojšen odziv na spremembe v pretokih odpadnih in/ali meteorčnih voda. Avtomatizem se v takšnih sistemih izkaže kot zelo učinkovit, saj so dozirne postaje lahko tudi na odročnih krajih, kjer operater ni vedno prisoten, in tako zagotovijo primeren odziv ob nenadni spremembi vremena (SNF s. a. s.).

Načeloma je sam sistem relativno preprost. Za delovanje potrebujemo posodo z mešalom, kjer poteka priprava raztopine polimera. Pripravljena raztopina se nato prečrpa v zalogovnik, od koder se jo s pomočjo črpalke črpa v kanalizacijo. Pred vstopom raztopine polimera v kanalizacijo je priporočljiva vgradnja t. i. »in-line« mešanja. S tem se zagotovi boljša, predvsem pa hitrejša učinkovitost delovanja DRP-jev. Pri polno avtomatizirani postaji se v kanalizacijo vgradi merilec nivoja vode, ki uravnava doziranje raztopine polimera in pripravo le-te. Shema polno avtomatizirane dozirne postaje je na sliki 3 (SNF s. a. s.).

Za pripravo raztopine polimera se lahko uporablja polimer v obliki emulzije, kar dodatno poenostavi pripravo. Vseeno se v večini primerov uporablja praškast polimer, kar sicer malenkost oteži pripravo raztopine, a je ugodnejše z ekonomskega vidika. Praškast polimer ima namreč občutno daljši rok uporabe kot v emulziji (SNF s. a. s.).

Zaradi razpada polimera (poglavje 3.1.4.) je za optimalno zaščito pred poplavami s pomočjo DRP-

-jev potrebnih več dozirnih mest (število je odvisno od same arhitekture kanalizacijske mreže in drugih dejavnikov). Treba je razmišljati o postavitvi takšne postaje (ali postaj) tudi v določeni razdalji za kritičnim mestom, saj s tem zagotovimo hitrejše odvodnjavanje dolvodno. V nasprotnem primeru lahko pride do nezadostnega odvodnjavanja za kritičnim mestom, kar lahko privede do poplav in s tem do neučinkovitosti reševanja problema (SNF s. a. s.).



Slika 3: Shematski prikaz avtomatske dozirne postaje

Vir: Interno gradivo SNF s. a. s.

LITERATURA IN VIRI

1. Al-Wahaibi, T., Smith, M., Angeli, P., 2007. Effect of drag-reducing polymers on horizontal oil–water flows. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 57, pp. 334–346.
2. Fisher, H. D., Rodriguez, F., 1971. Degradation of Drag-Reducing Polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 15, pp. 2975–2985.
3. Interno gradivo podjetja SNF s. a. s.
4. Warholic, M. D., Massah, H., Hanratty, T. J., 1999. Influence of drag-reducing polymers on turbulence: effects of Reynolds number, concentration and mixing. *Experiments in Fluids*, 27, pp. 461–472.



ODVAJANJE IN ČIŠČENJE ODPADNIH VODA V OBČINI SEVNICA

Roman PERČIČ¹

Povzetek

Odvajanje in čiščenje odpadnih voda je ena najpomembnejših gospodarskih javnih služb varstva okolja. Občina Sevnica je področje sistematično začela urejati konec leta 2003, ko si je zastavila strateške cilje za urejanje celotnega območja občine. Za reševanje odvajanja in čiščenja odpadnih voda osrednjega poselitvenega jedra občine z mestom Sevnica je bil ključen regijski pristop, saj se je Občina Sevnica že leta 1999 vključila v regijsko povezovanje in za gradnjo centralne čistilne naprave pridobila namenska sredstva iz Kohezijskega sklada. Za območja, kjer izgradnja javnih kanalizacijskih sistemov s pripadajočimi čistilnimi napravami ni predvidena, Občina Sevnica že od leta 2010 sofinancira vgradnjo malih čistilnih naprav (MČN). Na podeželskih območjih je dober način reševanja povezovanje več objektov z izgradnjo skupne male čistilne naprave. Pri urejanju področja sledimo ciljem sonaravnosti, zato je zgrajenih tudi več rastlinskih čistilnih naprav.

Ključne besede: čistilne naprave, čiščenje odpadne vode, medobčinsko povezovanje, odvajanje, sofinanciranje malih čistilnih naprav, sonaravnost

Abstract

Separation and treatment of wastewater is one of the most important public utilities for environmental protection. The Sevnica Municipality systematically started to improve this area at the end of 2003, when strategic goals for the entire territory of the municipality were settled. In order to solve the separation and treatment of the wastewater of the central settlement of the municipality with the town Sevnica, the regional approach was crucial – Sevnica Municipality had joined the regional integration in 1999 and acquired funds from the Cohesion Fund for the construction of a central wastewater treatment plant. For areas where the construction of public sewerage systems with cleaning devices is not planned, Municipality Sevnica co-finances installations of small treatment plants since 2010. In rural areas, an example of good practice is to connect several buildings with the construction of a common small treatment plant. We follow the objectives of natural ways, and thus, several plant treatment plants are built.

¹ Roman Perčič, univ. dipl. inž. str., Občina Sevnica

1. UVOD

Odvajanje in čiščenje odpadnih voda je ena najpomembnejših gospodarskih javnih služb varstva okolja. Občina Sevnica je področje sistematično začela urejati konec leta 2003, ko si je zastavila strateške cilje za urejanje celotnega območja občine.

Po pristopu od večjih k manjšim ureditvam je bilo najprej urejeno območje osrednjega poselitvenega jedra občine, Sevnice, Boštanja in Loga s centralno čistilno napravo. Za območja, kjer izgradnja javnih kanalizacijskih sistemov s pripadajočimi čistilnimi napravami ni predvidena, Občina Sevnica kot ena prvih slovenskih občin že od leta 2010 sofinancira vgradnjo malih čistilnih naprav.

Na podeželskih območjih je dober način reševanja povezovanje več objektov z izgradnjo skupne male čistilne naprave. Pri urejanju področja sledimo ciljem sonaravnosti, zato je zgrajenih tudi več rastlinskih čistilnih naprav.

2. ODVAJANJE IN ČIŠČENJE ODPADNIH VODA V OBČINI SEVNICA

Področje odvajanja in čiščenja odpadnih voda, med katere poleg industrijskih in padavinskih odpadnih voda spadajo tudi komunalne odpadne vode, urejajo predpisi, izdani na podlagi Zakona o varstvu okolja v povezavi z zakonodajo, ki ureja področje gospodarskih javnih služb, prostorsko načrtovanje, graditev objektov in upravljanje voda.

Za doseganje ciljev iz Nacionalnega programa varstva okolja in zahtev evropskih direktiv je v letu 2004 Vlada Republike Slovenije sprejela Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode za obdobje 2005–2017, ki je bil noveliran leta 2010. Z operativnim programom so bili določeni cilji, obveznosti in ukrepi za zagotavljanje odvajanja in ustreznega čiščenja komunalne odpadne vode.

V operativnem programu so se podrobneje določile aglomeracije v posamezni občini, zahteve v zvezi z odvajanjem in čiščenjem komunalne odpadne vode za vsako posamezno aglomeracijo in roki za izpolnjevanje teh zahtev. Območje naselja, ki mora biti opremljeno z javno kanalizacijo, je določeno z enohektarsko kvadratno celico in s številom stalno prijavljenih prebivalcev, enakim ali večjim od 10PE/ha s skupnim številom PE več kot 50 PE v naselju. PE je populacijski ekvivalent oz. prebivalec.

V občini Sevnica so bile z državnim operativnim programom določene aglomeracije v osnovnem programu za območja naselij: Sevnica (nad 2000 PE) ter območja pod 2000 PE, ki so Boštanj, Krmelj, Loka-Račica, Arto, Kopolje in Rogačice. V dodatnem programu pa še za naselja Šentjanž, Log, Blanca, Šmarčna-Breg, Tržišče, Dolnje Brezovo, Orehovo, Gabrijele, Šentjur na Polju, Lukovec, Polje pri Tržišču, Pijavice, Konjsko, Zgornje in Spodnje Mladetiče, ki so vsa manjša od 500 PE.

Občinski svet Občine Sevnica je 29. 1. 2014 sprejel Novelacijo Študije odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda na območju Občine Sevnica. S to študijo je Občina Sevnica po



izhodiščih iz državnega operativnega programa s primernimi tehničnimi rešitvami in ocenami investicije izvedbe kanalizacijskih sistemov prikazala ekonomsko upravičenost in podala smernice za odločitev glede načina reševanja odvajanja in čiščenja odpadnih voda na posamezni aglomeraciji.

Za navedena manjša naselja Rogačice, Zgornje Mladetiče, Pijavice, Šentjur na Polju, Breg, Konjsko, Lukovec in Čanje se je po ekonomskih kriterijih ugotovilo, da se reši odpadne vode z individualnimi sistemi ali z gradnjo skupne male čistilne naprave, manjše od 50 PE. Iz aglomeracij naselij Sevnica, Boštanj, Dolenji Boštanj, Radna in Log se komunalne odpadne vode preko dograjenega mešanega kanalizacijskega sistema odvajajo v že zgrajeno centralno čistilno napravo Sevnica na Logu. Zgrajeni so že tudi kanalizacijski sistem s čistilno napravo Kompolje, javna kanalizacija s čistilno napravo Orehovo in javni kanalizacijski sistem s skupno čistilno napravo Dolnje Brezovo.

Na območju Občine Sevnica so tako zgrajene čistilne naprave v upravljanju Javnega podjetja Komunala, d. o. o., Sevnica (odslej Komunala).

- Sevnica: izveden kanalizacijski sistem, ki vodi do centralne čistilne naprave,
- Boštanj: izveden kanalizacijski sistem, ki je speljan na centralno čistilno napravo,
- Log: izveden kanalizacijski sistem, ki je speljan na centralno čistilno napravo,
- Orehovo: izveden kanalizacijski sistem s čistilno napravo,
- Dolnje Brezovo: delno izveden kanalizacijski sistem in priključen na skupno čistilno napravo Inplet–Dolnje Brezovo,
- Gabrijele: izveden kanalizacijski sistem z rastlinsko čistilno napravo.

Poleg navedenih sta izvedeni in v obratovanju tudi rastlinski čistilni napravi na Studencu in na Lisci ter čistilna naprava na Kompolju. Vse so v upravljanju Komunale.

Z zgoraj navedenimi območji so povezani obstoječi kanalizacijski sistemi, določene pomanjkljivosti občina sistematično širi, optimizira in z namenskimi vlaganji izboljšuje delovanje mreže kanalizacijskih sistemov in čistilnih naprav.

Študija opozarja, da je poleg zgrajenih čistilnih naprav v Občini Sevnica treba zgraditi še osem čistilnih naprav, ki bi zaključevale javne kanalizacijske sisteme (Krmelj, Loka, Arto, Šmarčna, Šentjanž, Tržišče, Zgornje Mladetiče in Pijavice). Ostala poselitvena območja se bodo reševala z individualnimi malimi čistilnimi napravami (MČN).

Občina Sevnica je bila ena izmed prvih občin v državi, ki je z lastnimi proračunskimi sredstvi uredila financiranje tudi zasebnih sistemov odvajanja in čiščenja odpadnih voda. Glede na priporočila iz državnega operativnega programa za ureditev odpadnih voda za območja izven aglomeracij je določila sofinanciranje iz proračuna za vgradnjo malih komunalnih čistilnih naprav na območju občine in zato sprejela tudi Pravilnik o dodeljevanju nepovratnih finančnih sredstev za sofinanciranje nakupa in vgradnje malih komunalnih čistilnih naprav ter izvedbo

individualnih kanalizacijskih priključkov na javno kanalizacijo v Občini Sevnica (Uradni list RS, št. 14/10, 22/14).

Za objekte zunaj naselij, določenih v Študiji odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda na območju Občine Sevnica, je že v letu 2010 izvedla prvi Javni razpis za sofinanciranje izvedbe malih tipskih čistilnih naprav za komunalne odpadne vode, manjših od 50 PE, in individualnih hišnih kanalizacijskih priključkov na javno kanalizacijo pri obstoječih stanovanjskih objektih v Občini Sevnica.

Od takrat do danes je bila tako sofinancirana vgradnja 124 tipskih malih komunalnih čistilnih naprav iz proračuna občine in namenjenih skoraj 162.000 evrov. V tabeli 1 je prikaz pregleda sofinanciranja MČN-jev po letih.

Tabela 1: **Pregled sofinanciranja MČN-jev po letih**

LETO	MČN	VREDNOST IZ PRORAČUNA	SOFINANCIRANJE
2010	4	6.200,91	1.700
2011	9	14.480,76	1.700
2012	11	16.271,15	1.700
2013	14	20.092,22	1.500
2014	16	22.445,10	1.500
2015	28	40.344,76	1.500
2016	22	22.000,00	1.000
2017	20	20.000,00	1.000
SKUPAJ	124	161.834,90	

Na podlagi 9. člena občinskega pravilnika se sofinancira 50 % upravičenih stroškov investicije (vključno z DDV-jem) vgradnje tipskega MČN-ja ali rastlinskega MČN-ja oz. izvedbe individualnega kanalizacijskega priključka. Pri MČN-ju je delež sofinanciranja največ 1.000 evrov. Pri vgradnji enega MČN-ja za več kot dva objekta (skupni MČN) pa je subvencija 300 evrov/PE ali največ skupaj 7.000 evrov na MČN. Delež sofinanciranja za izvedbo individualnega kanalizacijskega priključka je največ 300 evrov na stanovanjski objekt.

Upravičenci po tem razpisu so lastniki (fizične osebe) obstoječih naseljenih stanovanjskih hiš na območju Občine Sevnica. Sofinancira se tudi izgradnja male rastlinske čistilne naprave, ki ni tipska mala komunalna naprava, torej nima izjave o lastnostih kot gradbeni proizvod, je pa za gradnjo le te tudi sprejet standard na ravni EU-ja. Investitor mora za sofinanciranje pridobiti dokazilo o prvih meritvah, ki morajo ustrezati uredbi.

Na podeželskih območjih je dober način reševanja povezovanje več objektov z izgradnjo skupne male čistilne naprave. Primer dobre prakse je v sevniški občini tudi skupna rastlinska čistilna naprava za naselje Kamenica, ki čisti odpadne vode iz 11 stanovanjskih objektov. Poleg izgradnje kanalizacije in skupne rastlinske čistilne naprave je bila celovito posodobljena tudi cesta skozi naselje.



3. UGOTOVITVE

Trajna skrb za čisto in urejeno okolje je ena od prednosti dela Občine Sevnica. V prispevku so predstavljene ključne rešitve in načini dela na področju odvajanja in čiščenja odpadnih voda, ki jih ocenjujemo kot dober primer.

Predlagani ukrepi oziroma predlogi za naprej:

- spodbujati zanimanje občanov z več informacijami v medijih in poudarjanjem skupnih naporov za čisto okolje;
- izvesti delavnice pot od ideje do realizacije vgradnje MČN-ja;
- priprava ankete in preverjanje potreb in interesov uporabnikov preko spleta za načrtovanje nadaljnjih del občine in javne službe;
- izvajati terenske ogledе primerov dobrih praks in vključiti že obstoječe uporabnike vgrajenih MČN-jev (nova spoznanja, izkušnje, pobude);
- javno predstaviti primere dobrih praks s sodelovanjem občine in javne službe;
- povečati delež sofinanciranja na 1.500 EUR oz. vsaj 50 % stroškov vgradnje MČN-ja, kot je že bil pred leti, ker je glavni problem uporabnikov zagotoviti dovolj sredstev ob prihodkih gospodinjstva, ki so na našem območju pod državnim povprečjem;
- povečati delež sofinanciranja vsaj na 80 % na vodovarstvenih območjih in v manjših aglomeracijah, ki so po občinski študiji zaradi gospodarnosti primernejše za reševanje odpadnih voda z MČN-jev pod 50 PE;
- sistemsko vključevanje javne službe v zasnovo, načrtovanje in realizacijo skupnega MČN-ja pod 50 PE;
- slediti interesom uporabnikov za gradnjo skupnega MČN-ja (primer Kamenica);
- sonaravno čiščenje odpadnih voda.



Dehidracija in MBR tehnologija



Centrifuge



Zgoščevalci



MBR



**AQUA TURBO
SYSTEMS**
Water Water Treatment Equipment

Aeracija in dekantiranje



Samosesalni
aeratorji



Plavajoči
aeratorji



Potopni
aeratorji / mešala



SBR
Dekanterji



Mehansko predčiščenje



Grablje in kompaktorji



Pralniki peska



Kompaktne naprave

Črpanje in drobljenje

Črpalke in mlini za visoko viskozne medije



BORGER.



Kompletne črpalne postaje

**GRI
PUMPS**
A GORMAN RUPP COMPANY

STROJNIK AAA

STROJNIK, družba za inženiring,
storitve, servis in trgovino, d.o.o.
Tržaška cesta 21
2000 Maribor

Tel.: 02 / 3003 671
Fax. 02/ 6204 472
info@e-strojniki.si
www.e-strojniki.si



OBČUTLJIVO TROFIČNO STANJE BLEJSKEGA JEZERA

mag. Špela REMEC - REKAR¹, dr. Nataša DOLINAR²,
Nina ŠTUPNIKAR³, Edita SODJA⁴

Povzetek

Podatki monitoringa, pridobljeni v obdobju 1975–2017, kažejo razmeroma učinkovito reoligotrofikacijo Blejskega jezera, ki ga od leta 1990 ponovno uvrščamo med mezotrofna jezera. Kljub izboljšanju Blejsko jezero še vedno ne dosega okoljskih ciljev vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES), to je dobrega ekološkega stanja. Ocene na podlagi fitoplanktona, ki je najboljši indikator trofičnih razmer v jezerih, so na meji med dobrim in zmernim ekološkim stanjem. Stanje se od leta 2007 postopno slabša in opozarja na preobremenjenost Blejskega jezera s hranili in organskimi snovmi. Od leta 2010 se slabšajo tudi kisikove razmere in razmere za uspevanje makrofytov v litoralu jezera. Treba je razmisliti o smiselni ukrepih za zmanjšanje pritiskov in obremenjevanja jezera z nutrienti ter o posodobitvah obstoječega sanacijskega sistema.

Ključne besede: bioindikatorji, Blejsko jezero, celotni fosfor, Direktiva 2000/60/ES, ekološko stanje, eutrofikacija, fitoplankton, obremenitve, omilitveni ukrepi

Abstract

Monitoring data from the period 1975–2017 show relatively effective reoligotrophication of the Lake Bled, classified again as a mesotrophic lake since 1990. In spite of the marked improvement of the Lake Bled condition the environmental objectives of the Water Framework Directive (Directive 2000/60/EC), i. e. good ecological status, haven't been achieved yet. The assessment with phytoplankton, which is the best indicator of trophic status in lakes, shows the values near the boundary between good and moderate ecological classes. Since 2007 the Lake Bled status is gradually deteriorating as a result of overloading with nutrients and organic matter. Since 2010 oxygen conditions and also conditions for macrophytes growth in the lake littoral zone are becoming worse again. It is necessary to think about appropriate measures to reduce pressures and nutrient charging of the lake, and also how to modernize the existing remediation system.

1 Mag. Špela Remec - Rekar, okoljski inženir I, Agencija Republike Slovenije za okolje

2 Dr. Nataša Dolinar, vodja Sektorja za ekološko stanje voda, Agencija Republike Slovenije za okolje

3 Nina Štupnikar, okoljski inženir I, Agencija Republike Slovenije za okolje

4 Edita Sodja, okoljski inženir II, Agencija Republike Slovenije za okolje

1. UVOD

Masovno in ponavljajoče »cvetenje« cianobakterije ***Planktothrix rubescens*** (De Candolle ex Gomont) Anagnostidis et Komárek 1988 (sinonim *Oscillatoria rubescens* De Candolle ex Gomont) je že v 50. letih 20. stoletja opozarjalo na porušeno biološko ravnotežje in hiperev-trofno stanje Blejskega jezera ter sprožilo prve raziskave in razmišljanja o sanaciji s hranili in organskimi snovmi preobremenjenega jezera. Program ukrepov za izboljšanje stanja Blejskega jezera oziroma njegovo reoligotrofikacijo, ki ga je na podlagi sklepov Komisije za sanacijo Blejskega jezera v letih 1954–1958 začel izvajati Inštitut za zdravstveno hidrotehniko FAGG v sodelovanju s Kemijskim inštitutom Borisa Kidriča, je poleg dovoda Radovne (1964), hipolimnijskega iztoka z natega (1980/81) in postopne ureditve kanalizacije (1982/85, 2015/17...) vključeval tudi vzpostavitev rednega monitoringa, ki je bil naravnan predvsem na spremljanje trofičnosti. Trofično stanje jezer se je od leta 1982 do 2006 vrednotilo na podlagi mednarodnih OECD kriterijev (OECD, 1982), v sklopu raziskovalne naloge Bioprodukcija Blejskega jezera pa se je od leta 1988 spremljalo tudi stanje makrofitov, fitobentosa, zooplanktona, rib in predvsem fitoplanktona.

Monitoring v skladu z vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES), ki je poudaril celovito vrednotenje vodnega ekosistema in pomen spremljanja bioloških elementov, se je začel izvajati v letu 2007, v zakonodajo pa je bil vključen s Pravilnikom o monitoringu stanja površinskih voda (Uradni list RS, št. 10/09, 81/11 in 73/16) in z Uredbo o stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13 in 24/16). Novosti so v raziskovalnem programu monitoringa Blejskega jezera bistveno zmanjšale frekvenco vzorčenja in številčnost vzorcev, ker pa so postopki monitoringa ves čas sledili standardnim analiznim postopkom, je bilo stare podatke monitoringa možno brez večjih težav prilagoditi novim metodologijam vrednotenja.

2. PREGLED PODATKOV

Osnovni podatki monitoringa iz obdobja 1975–2017 so strnjeni v preglednici 1 in grafičnem prikazu (graf 1), ki na podlagi OECD kriterijev za uvrščanje jezer v trofično kategorijo kažejo razmeroma učinkovito sanacijo – reoligotrofikacijo Blejskega jezera, ki ga že od leta 1990 lahko ponovno uvrščamo med mezotrofna jezera.

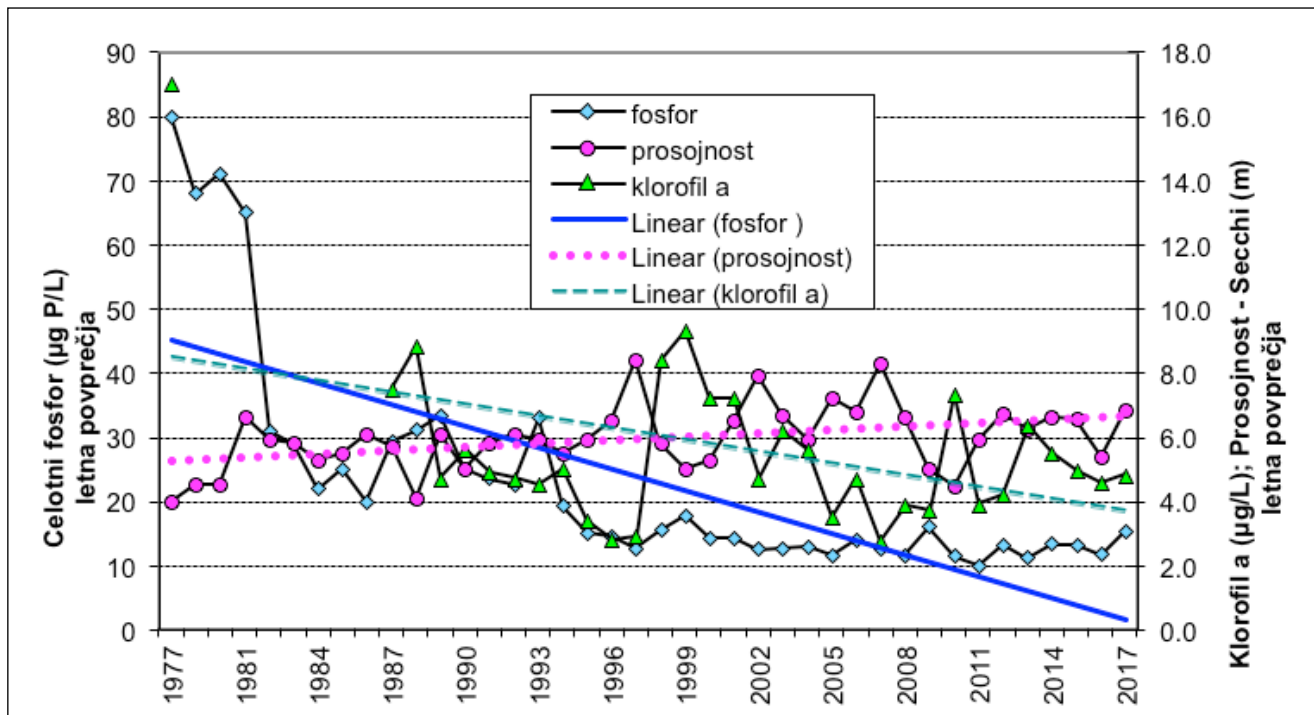


Preglednica 1: **Uvrstitev Blejskega jezera v trofično kategorijo po OECD kriterijih, ki so se za ocenjevanje trofičnosti jezer uporabljali do leta 2007 (OECD, 1982)**

OECD	FOSFOR	DUŠIK	PROSOJNOST	PROSOJNOST	KLOROFIL a	KLOROFIL a
kriteriji	($\mu\text{g P/L}$)	($\mu\text{g N/L}$)	(m)	(m)	($\mu\text{g/L}$)	($\mu\text{g/L}$)
stopnja trofičnosti	povprečje	povprečje	letno povprečje	minimum	letno povprečje	maksimum
u-oligotrofno	< 4	< 200	> 12	> 6	< 1	< 2,5
oligotrofno	< 10	200 - 400	> 6	> 3	< 2,5	< 8
mezotrofno	10 - 35	300 - 650	6 - 3	3 - 1,5	2,5 - 8	8 - 25
evtrofno	35 - 100	500 - 1500	3 - 1,5	1,5 - 0,7	8 - 25	25 - 75
hiperevtrofno	> 100	> 1500	< 1,5	< 0,7	> 25	> 75
Trofično stanje Blejskega jezera 1975–2017						
1975-1979	80,0	986	3,0	0,5	22,3	80,5
1980-1989	35,8	456	5,7	2,1	11,2	45,6
1990-1999	19,9	406	6,0	2,4	5,1	25,8
2000-2005	13,1	269	6,6	3,4	5,8	21,3
2006-2008	12,8	342	7,2	4,3	3,8	14,8
2009-2010	13,8	370	4,7	2,7	5,5	19,4
2011-2012	12,0	284	6,0	4,0	4,1	5,8
2013-2014	12,3	301	6,4	4,4	5,7	9,8
2015-2016	12,5	266	6,0	3,5	4,8	8,3
2017	15,3	223	6,9	5,0	4,8	7,2

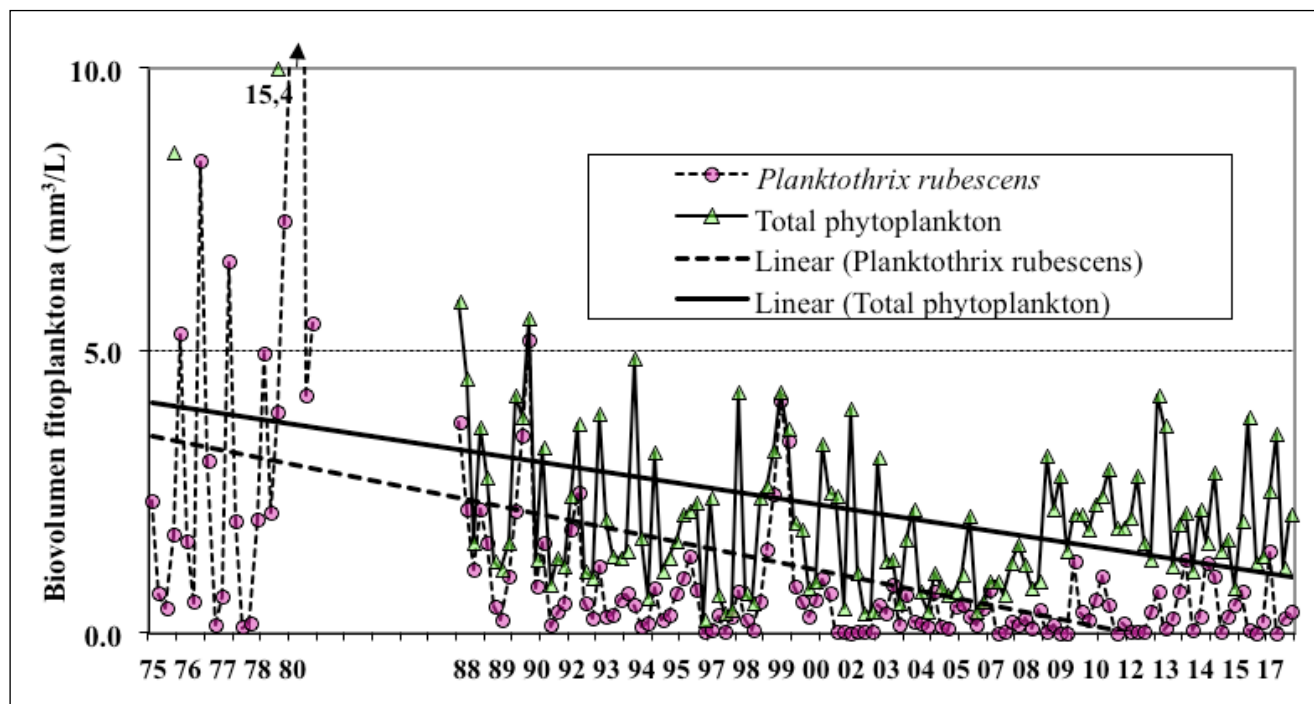
Zmanjšanje koncentracije celotnega fosforja je vplivalo na zmanjšanje koncentracije klorofila a in povečanje prosojnosti Blejskega jezera (graf 1) že kmalu po začetku delovanja natege (1980/81) in po delni sanaciji kanalizacijskega sistema na Bledu (1987).

Graf 1: **Trend osnovnih parametrov za določanje trofičnosti (celotnega fosforja, klorofila a in prosojnosti) v Blejskem jezeru, 1977–2017**



Spremembe fitoplanktonske združbe, predvsem manj pogosta in masovna »cvetenja« ter upadanje prisotnosti cianobakterij (graf 2), ki so posledica zmanjšanja koncentracije nutrien-tov, kažejo na postopno izboljšanje trofičnega stanja Blejskega jezera po letu 1994.

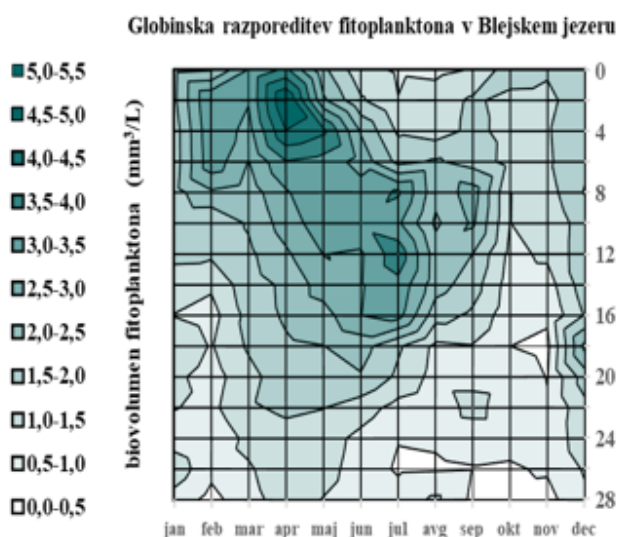
Graf 2: **Upadanje skupnega biovolumna fitoplanktona (mm^3/L) in prisotnosti ciano-bakterije *Planktothrix rubescens* v Blejskem jezeru, 1975–2017**



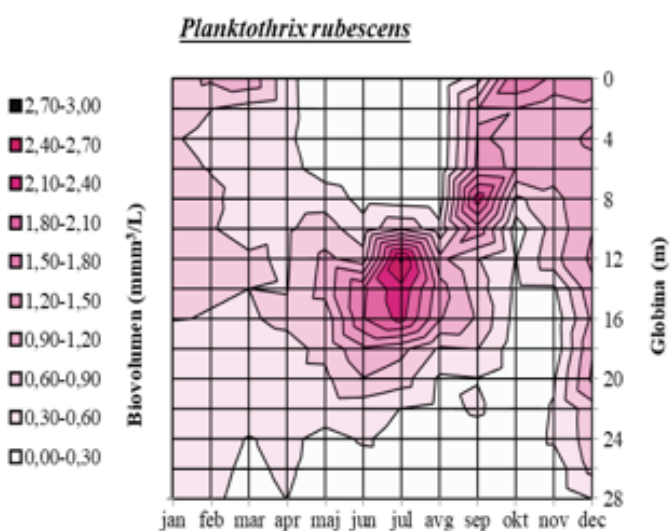


Fitoplankton, ki ga sestavljajo v vodi prosto lebdeči fotosintetski organizmi, ki pripadajo različnim taksonomskim skupinam evkariontskih alg in prokariontskih cianobakterij, velja za najboljšega pokazatelja trofičnih razmer v jezerih. S spremenjeno vrstno sestavo in številčnostjo se fitoplankton izredno hitro odziva na spremembe prisotnosti in razpoložljivosti limitirajočega nutrienda v vodi, ki je tako kot v večini evropskih jezer tudi v Blejskem jezeru fosfor. Vrstna sestava in pogostost fitoplanktona se je v Blejskem jezeru 1986–2006 spremljala točkovno na vsak drugi meter po globinski vertikali, v vzhodni in zahodni jezerski kotanji, v mesečnih intervalih, kar je omogočilo vpogled v značilno sezonsko dinamiko in globinsko razporeditev fitoplanktona.

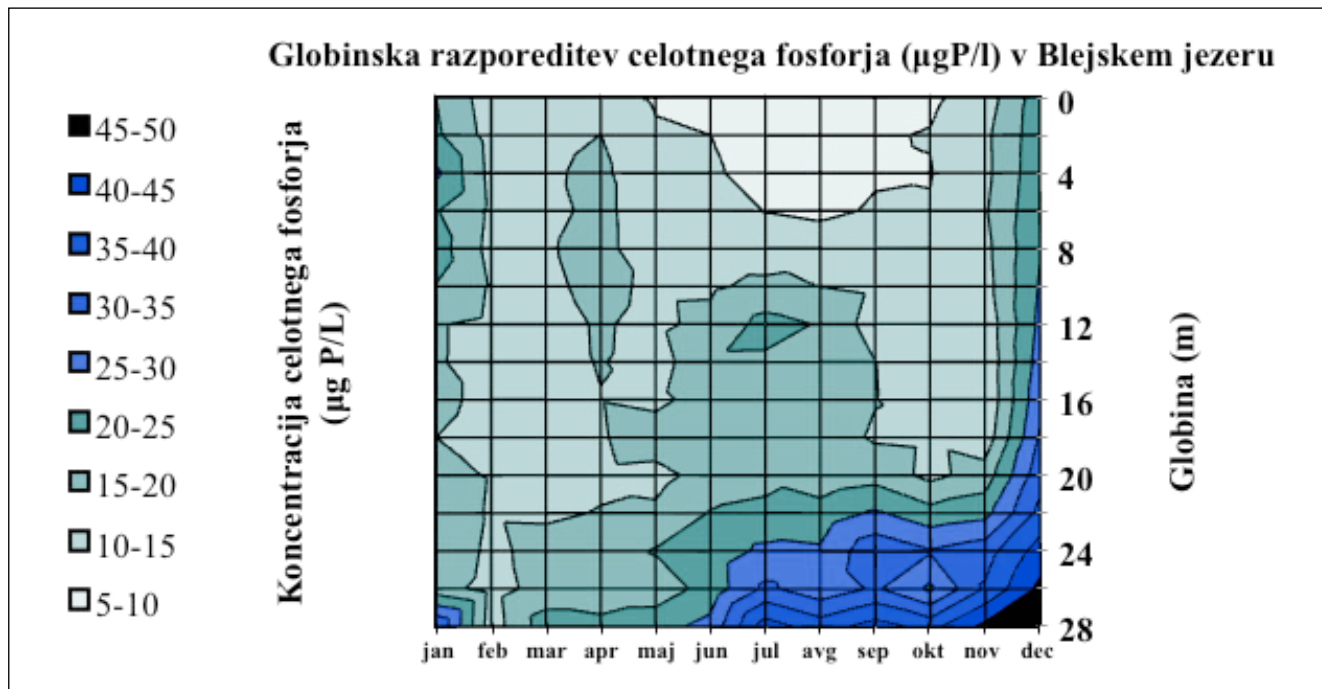
Graf 3: Značilna sezonska in globinska razporeditev fitoplanktona (mm^3/L) v Blejskem jezeru 1994–2006



Graf 4: Značilna sezonska in globinska razporeditev cianobakterije *Planktothrix rubescens* (mm^3/L) v Blejskem jezeru, 1994–2006



Graf 5: Značilna sezonska in globinska razporeditev celotnega fosforja ($\mu\text{g P/L}$) v Blejskem jezeru, 1994–2006



Distribucijski trendi fitoplanktona (grafa 3 in 4) skupaj s splošnimi fizikalno-kemijskimi parametri vode (graf 5) omogočajo razumevanje ekoloških zahtev posameznih fitoplanktonskih vrst, njihovih morfoloških in fizioloških prilagoditev ter reprodukcijske strategije, na podlagi česar lahko sklepamo tudi na kompeticijske in trofične odnose v pelagialu, ki v globokih jezerih predstavlja prevladujoči življenjski prostor.

Zbrani podatki so osnova za možno nadgradnjo in optimalno upravljanje sanacijskih naprav, dotoka Radovne in natege ter posredno tudi pojezerja. S popravilom in nadgradnjo natege, ki bi vključevala možnost nastavitve ustja natege na različnih globinah, bi bil lahko sanacijski sistem Radovne in natege veliko učinkovitejši od zdajšnjega.

3. PREGLED STANJA BLEJSKEGA JEZERA, 2006–2017

Od leta 2007 se monitoring Blejskega jezera izvaja v skladu z vodno direktivo oziroma Uredbo o stanju površinskih voda ter njenimi dopolnitvami (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13 in 24/16).



Preglednica 2: Ocena ekološkega stanja Blejskega jezera, 2007– 2017

Mejne vrednosti razredov ekološkega stanja	Biološki elementi kakovosti				Splošni fizikalno-kemijski elementi kakovosti					POSEBNA ONESNAŽEVALA	EKOLOŠKO STANJE v obdobju	Raven zaupanja
	FITOPLANKTON (MMI_FPL)	FITOBENTOS in MAKROFITI (TI, SMILE)	BENTOŠKI NEVRETEČARJI (LBI)	RIBE	Secchi (m)	Fosfor (µg/L)	Kisik (% nasičenosti v hipolimniju)	pH	Specifična električna prevodnost (25 °C)			
	ZD/D	0,8	0,8	0,8	-	6,0	10,0	≥ 70	7,5- 9,0			
D/Z	0,6	0,6	0,6	-	4,0	14,0						
Ocena ekološkega stanja v obdobju												
NUV I 2006- 2008	0,59	-	0,64	-	7,2	13	78	8,3	336	dobro	zmerno	srednja
NUV II 2009- 2015	0,58	0,68	0,73	-	5,9	13	72	8,1	333	dobro	zmerno	srednja
2016	0,64	0,58	-	-	5,4	12	50	8,2	327	dobro	"	-
2017	0,56	-	-	-	6,9	15	54	8,2	322	-	"	-
ZD/D – meja med zelo dobrim in dobrim razredom ekološkega stanja; D/Z – meja med dobrim in zmernim razredom ekološkega stanja; - parameter ni bil spremljan oziroma zanj ni bilo ustrezne metodologije za oceno stanja; » skupna ocena ekološkega stanja se določa le v daljšem obdobju na podlagi vseh elementov.												

V preglednici 2 je na podlagi spremljanih elementov kakovosti prikazana ocena ekološkega stanja za Blejsko jezero v obdobju prvega in drugega Načrta upravljanja voda – NUV I (2006–2008) in NUV II (2009–2015) ter v posameznih letih 2016 in 2017. Zaradi ocene ekološkega stanja na podlagi fitoplanktona, ki je najboljši indikator trofičnosti jezer, Blejsko jezero v obdobju NUV I in NUV II ni doseglo dobrega stanja, v letu 2016 pa je tudi ostalo rastlinstvo (fitobentos in makrofiti) z zmernim stanjem opozorilo na slabšanje trofičnih razmer v jezeru. Slabšajo se kisikove razmere in koncentracija celotnega fosforja v jezeru je v letu 2017 narasla nad mejno koncentracijo za dobro ekološko stanje. Koncentracija fosforja, ki je v večini evropskih jezer razpoznan kot limitirajoči dejavnik produkcijskih – trofičnih procesov, je osnova za vrednotenje ekološkega stanja tudi v Metodologiji vrednotenja ekološkega stanja jezer na podlagi fitoplanktona, ki je nastala v Alpski geografski interkalibracijski skupini za jezera (Wolfram idr., 2009).

Metodologija upošteva vse ključne reakcije fitoplanktona na spremembe koncentracije nutrientov, to je količino in vrstno sestavo. Spremlja se skupna količina oziroma biovolumen fitoplanktona (SIST EN 15204; CEN TC 230/WG 2/TG 3/2007), koncentracija klorofila a (SIST

ISO 10260:2001) in trofični Brettum indeks (Brettum, 1989; Dokulil in Teubner, 2006), ki omogoča vrednotenje vrstne sestave fitoplanktonske združbe na podlagi indikatorskih vrst. Izmerjene vrednosti parametrov za fitoplankton se transformirajo z referenčnimi vrednostmi, značilnimi za ekološki tip jezera, v vrednosti razmerja ekološke kakovosti (REK) in se normalizirane uporabijo za izračun multimetrijskega indeksa za fitoplankton (MMI_FPL), ki določa razred ekološkega stanja (preglednica 3).

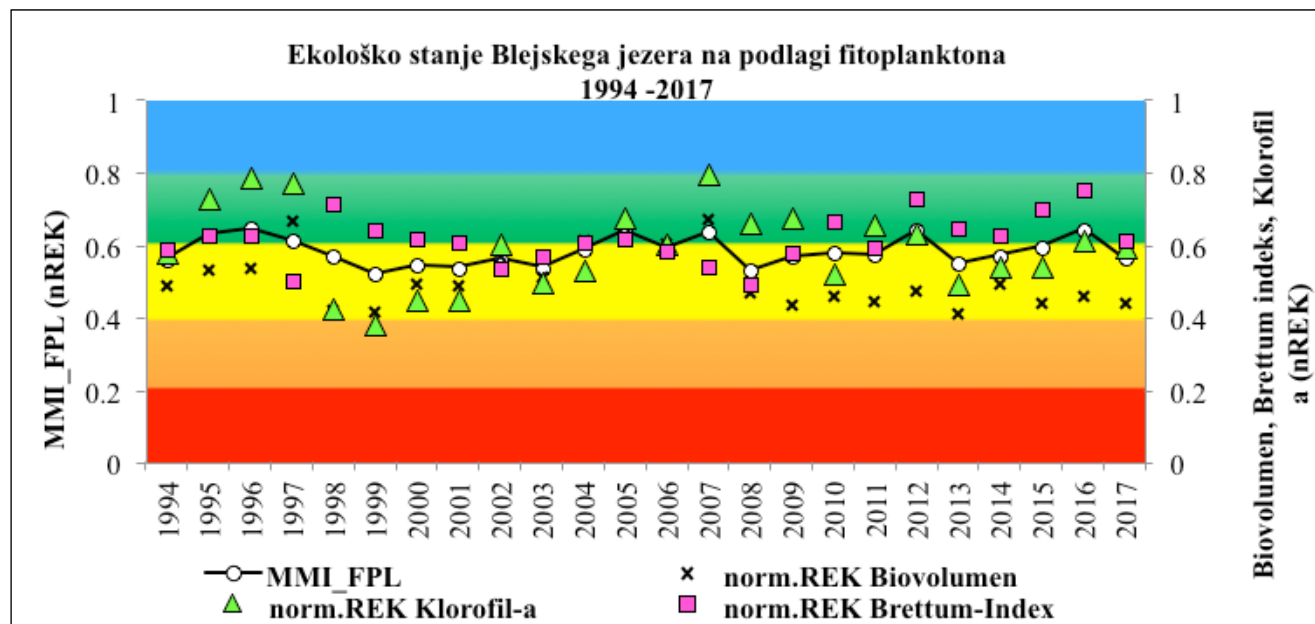
Preglednica 3: **Izračun vrednosti multimetrijskega indeksa za fitoplankton (MMI_FPL) z mejnimi vrednostmi razredov ekološkega stanja**

$\text{MMI_FPL}_i = \frac{(\text{n REK}_{\text{BV}_i} + \text{n REK}_{\text{Chla}_i})/2 + \text{n REK}_{\text{BI}_i}}{2}$ MMI_FPL_i – vrednost multimetrijskega indeksa fitoplanktona v I-tem letu nREK_BV_i – normalizirana REK vrednost za povprečni letni biovolumen fitoplanktona v I-tem letu nREK_Chla_i – normalizirana REK vrednost za povprečno letno vsebnost klorofila-a v I-tem letu nREK_BI_i – normalizirana REK vrednost indeksa Brettum v I-tem letu	
MMI_FPL	Razredi ekološkega stanja
1,00-0,80	Zelo dobro
0,79-0,60	Dobro
0,59-0,40	Zmerno
0,39-0,20	Slabo
0,19	Zelo slabo

Zaradi velike sezonske in letne dinamike fitoplanktonske združbe (graf 6) se za uvrstitev vodnega telesa v razred ekološkega – trofičnega stanja na podlagi fitoplanktona zahteva najmanj triletni zaporedni niz opazovanj fitoplanktona z minimalno frekvenco 4 vzorčenj na leto v različnih limnoloških obdobjih (graf 7).

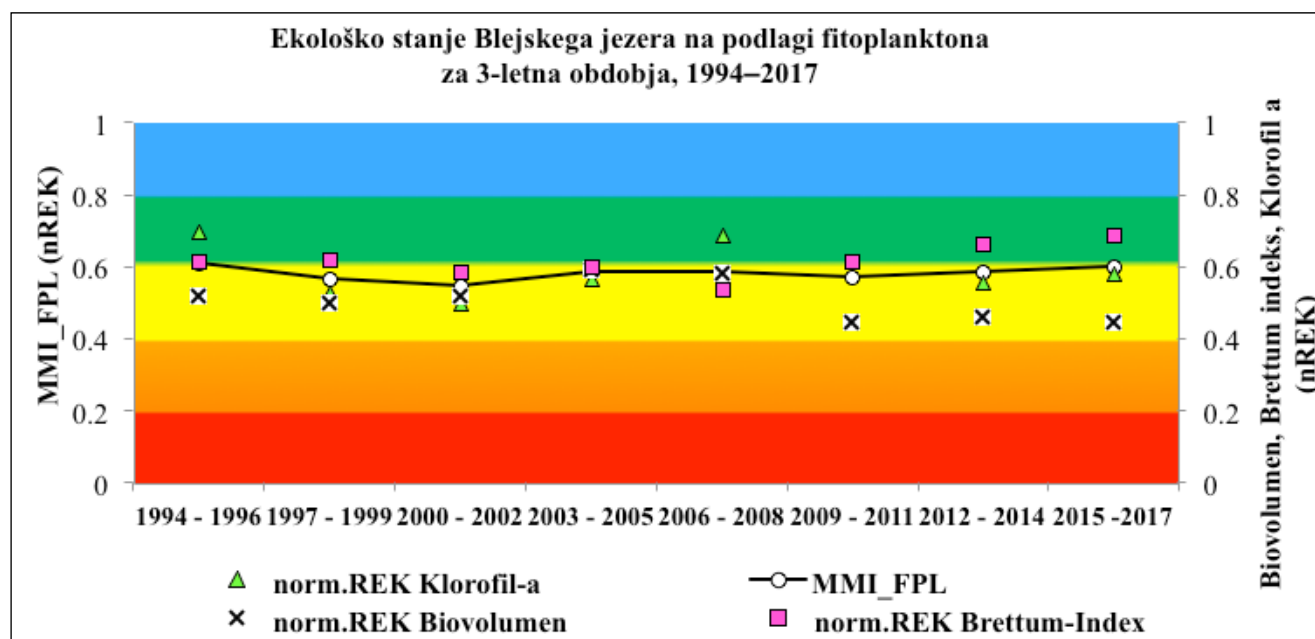


Graf 6: **Letne REK-vrednosti za posamezne parametre fitoplanktona, ki vplivajo na vrednost multimetrijskega indeksa fitoplanktona (MMI_FPL), v Blejskem jezeru, 1994–2017**



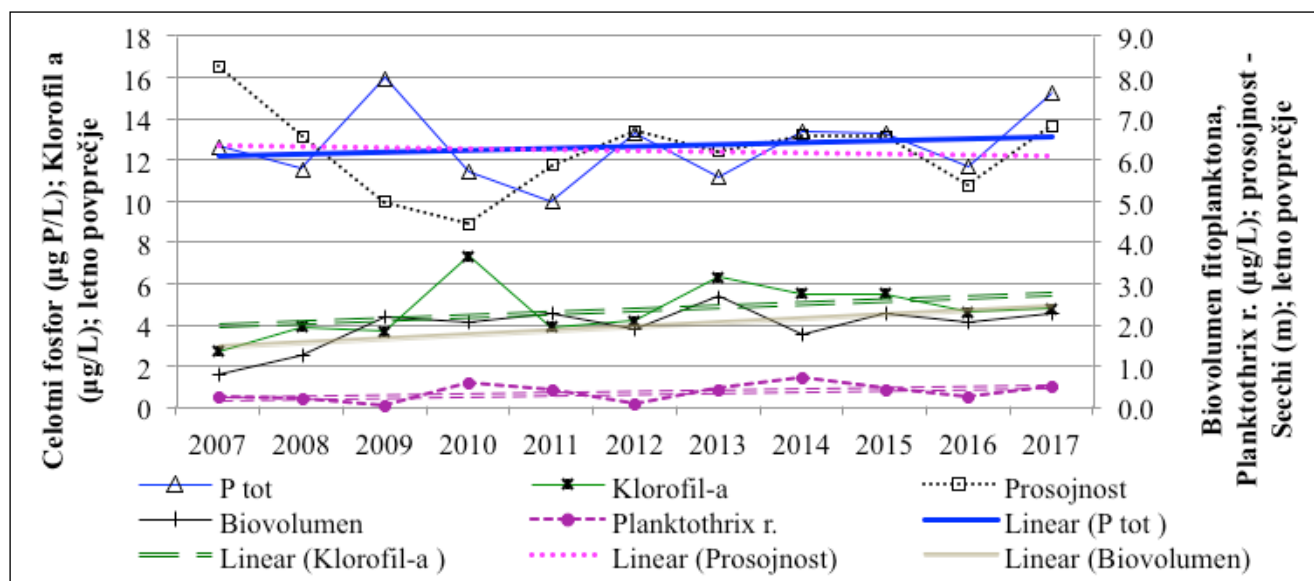
Vrednosti multimetrijskega indeksa fitoplanktona, na podlagi katerega določamo ekološko stanje jezer, so v Blejskem jezeru že od leta 1994 na meji med zmernim in dobrim ekološkim stanjem. Kaže se tudi naraščanje vrednosti Brettum indeksa v zadnjem 12-letnem obdobju (graf 7), kar pomeni, da so v Blejskem jezeru vedno pogostejše vrste, ki so značilne za manj obremenjene ekosisteme, vendar pa njihova produktivnost narašča.

Graf 7: **Prikaz triletnih povprečnih vrednosti multimetrijskega indeksa fitoplanktona (MMIFPL), ki se uporablja za uvrstitev vodnega telesa v razred ekološkega – trofičnega stanja**



Podrobnejši pregled splošnih fizikalno-kemijskih parametrov (graf 8) kaže, da koncentracija celotnega fosforja v zadnjem 10-letnem obdobju blago narašča, medtem ko je naraščanje skupnega biovolumna fitoplanktona in koncentracije klorofila a bolj očitno. Rahel trend naraščanja kaže tudi populacija cianobakterije *Planktothrix rubescens*, kar prav tako opozarja na naraščajočo trofičnost Blejskega jezera. Posledica naraščajoče produktivnosti je postopno manjšanje prosojnosti jezera (graf 8).

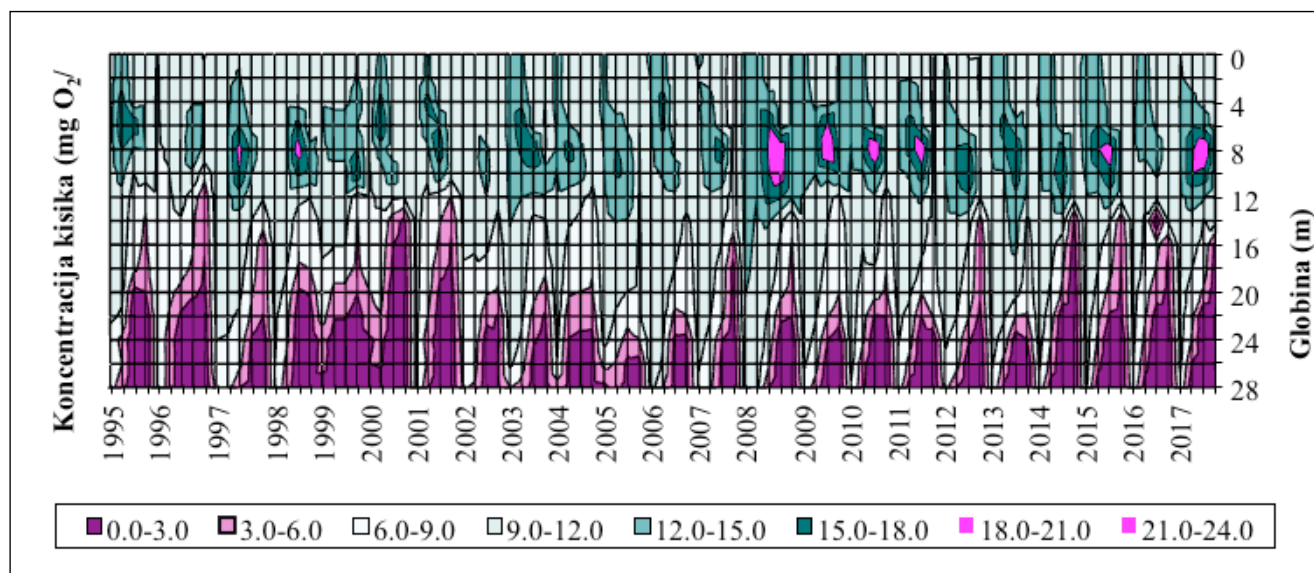
Graf 8: **Trend osnovnih parametrov za določanje trofičnosti (celotnega fosforja, klorofila a, prosojnosti in biovolumna fitoplanktona) v Blejskem jezeru, 2007–2017**



Naraščajoče pomanjkanje kisika na dnu jezera (graf 9) ne opozarja samo na preobremenjenost Blejskega jezera z anorganskimi nutrienti, temveč tudi na obremenjevanje jezera z organskimi snovmi. Po obdobju očitnega izboljšanja v letih 2002–2007 se prezračenost jezera od leta 2008 ponovno slabša. Obdobja brez kisika so daljša in zajamejo večji del hipolimnija, celo do globine 16 m. V metalimnijski plasti na globinah od 8 do 12 m pa se v zadnjih 10 letih stopnjuje tudi hipernasičenost s kisikom, ki je posledica intenzivne fotosintetske aktivnosti fitoplanktona, ki od leta 2009 narašča. »Cvetenja« fitoplanktona so bolj pogosta in intenzivnejša kot v obdobju 1995–2007.

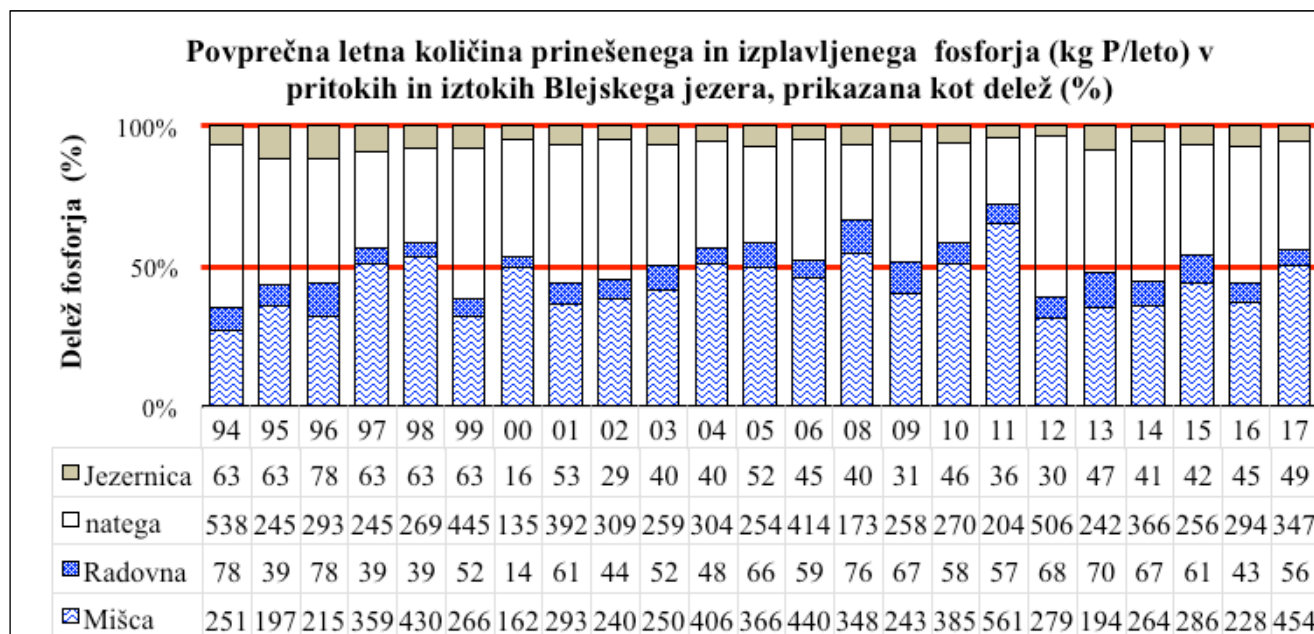


Graf 9: Razporeditev kisika v Blejskem jezeru, 1995–2017



Samo Mišca in Radovna sta v zadnjih 10 letih prinesli v Blejsko jezero povprečno 397 kg fosforja letno, količina izplavljenega fosforja z natega in Jezernico pa je znašala povprečno 406 kg P/leto. Razlika med količino izplavljenega in vnesenega fosforja znaša v povprečju le 9 kg v prid izplavljenega fosforja, v posameznih letih pa je vnos fosforja celo večji (graf 10).

Graf 10: Povprečna letna količina fosforja (kg P/leto) v glavnih pritokih in iztokih Blejskega jezera



Ostali viri fosforja, manjši pritoki, depoziti iz ozračja, vnos ribičev – kraparjev, vnos kopalcev in vodnih ptic, spiranje iz urbanih površin in agrarnega pojezerja, vključno z deležem še neurejene kanalizacije, ki po podatkih Občine Bled predstavlja 5 % celotnega komunalnega

omrežja, pri tem še niso upoštevani. Po naših ocenah je skupna obremenitev jezera večja od 600 kg fosforja letno (preglednica 4).

Preglednica 4: **Pregled virov fosforja za Blejsko jezero, 2007–2017**

VIR	Povprečna letna obremenitev	Povprečna letna količina izplavljenega fosforja	
Pritoki izračun	kg P	Iztoki	kg P
Radovna*	62		
Mišca*	335	NATEGA*	303
Ostali pritoki *	40	JEZERNICA*	41
Skupaj pritoki	437	Skupaj iztoki	344
Drugi viri ocena			
Spiranje iz prispevnih površin ¹	80		
Padavine / površino jezera ²	50		
Kopalci ¹	25		
Intenzivni krapolov	80		
Vodne ptice ²	60		
Vsi viri skupaj	672		
Preobremenitev jezera	328		

Legenda: *Podatki Agencije RS za okolje – izračun na osnovi meritev; ¹Guidlines for the ecological survey and evaluation of stagnant surface waters (ÖNORM M 6231); ²Jorgensen S. E., Vollenweider R. A., Guidlines of lake management, Vol. 1.

Pri optimalnem delovanju natege je 450 kg fosforja skrajna meja, do katere se lahko brez bistvenega poslabšanja obremeni Blejsko jezero (Rismal, 1993). Iz preglednice 4 in grafa 10 je razvidno, da je dovoljena obremenitev že zdaj močno presežena (328 kg P), kar kaže tudi zmerno ekološko stanje jezera.

4. ZAKLJUČEK

Po podatkih Zavoda za pospeševanje turizma, Turizem Bled se je število nočitev na Bledu od leta 1994 do leta 2016 povečalo za 260 %, v letu 2017 pa še za dodatnih 160 %. Izgradnja ustrezne infrastrukture, ki je v pristojnosti Občine Bled, težko sledi skokovitemu naraščanju turizma, zato se pritiski stopnjujejo na vseh ravneh. Povečal se je promet ob in na jezeru, več je kopalcev in ribičev, večja je tudi obremenitev komunalnega omrežja. Vse našteto, vključno z gradbenimi posegi na Bledu, vpliva tako na stanje jezera kot tudi na dodatno obremenitev pritokov jezera.

Obe sanacijski napravi imata pozitivne učinke na stanje jezera, vendar je njuna učinkovitost tudi zaradi dotrajanosti omejena. Lahko bi ju obnovili in na podlagi obstoječih podatkov ustrezno posodobili. Trajnejše izboljšanje stanja in stabilizacijo razmer v jezeru lahko zagotovi le odstranitev vzrokov za onesnaženje z ukrepi, ki bi zagotovili **manj intenzivno rabo pojezerja**.



Poleg že standardnih ugotovitev o nujnosti dokončne sanacije kanalizacije, zmanjšanju prometa ob jezeru, nujnosti plinifikacije itd. bi morali poskrbeti, da se številčnost ptičje populacije ob Blejskem jezeru zmanjša, predvsem pa bi morali prepovedati vsakršno krmljenje rib in perjadi ob Blejskem jezeru, tudi krmljenje krapov, ki je zakonsko podprto s Pravilnikom o ribolovnem režimu (Uradni list RS, št. 99/07, 75/10) in dovoljuje vnos 5 kg vab/ribiča/dan. Vnos vab za krape v Blejsko jezero je na podlagi prodanih dovolilnic in navedene količine hranil iz pravilnika ocenjen na okoli 10,35 tone letno, kar ni zanemarljiva količina brez vpliva na okolje. Velika količina organskih snovi, ki jo predstavlja vaba, na dnu jezera v postopku mineralizacije porablja kisik. V razmerah brez kisika se zaloga fosfatov, ki je sicer ujeta v sediment, začne sproščati v vodo in vključevati v prehranjevalno verigo. Jezero se tako dodatno bogati s fosforjem tudi iz notranjih virov in procesi eutrofikacije se stopnjujejo.

Brez ukrepov za zmanjšanje obremenitev se stanje Blejskega jezera slabša in vse kaže, da verjetno tudi do leta 2021 ne bo doseglo okoljskih standardov oziroma dobrega ekološkega stanja, ki jih predpisuje Evropska skupnost z vodno direktivo (Direktiva 2000/60/ES).

LITERATURA IN VIRI

1. Brettum, P., 1989. Alger as indikatorer par vannkvalited i norske innsjoer. Planteplankton. Oslo: NIVA, Blindern.
2. CEN TC 230/WG 2/TG 3/2007 Kakovost vode – Smerni standard za določanje biovolumna fitoplanktona.
3. Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. Bruselj.
4. Dokulil, M. in Teubner K., 2006. Bewertung der Phytoplanktonstruktur stehender Gewässer gemäß der EU-Wasser- rahmenrichtlinie: Der modifizierte Brettum Index. In: DGL-Tagungsbericht 2005 (29.9.–2.10.2005) Karlsruhe: 356–360.
5. Metodologija vrednotenja ekološkega stanja jezer na podlagi fitoplanktona. Dostopno na: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/ekolosko_stanje/metod_vredn_ekoloskega_st_jezer_fitoplanktona.pdf [26. 7. 2018].
6. Monitoring kakovosti jezer – Letna poročila. Hidrometeorološki zavod RS, ARSO. 1994–2014.
7. OECD, 1982. Eutrophication of waters, Monitoring, Assessment and Control. Paris: OECD. 154 pp.
8. Rismal, M., 1993. Methoden und Resultate der Sanierung des Bleider See, EIPOS, Schriftenreihe zur Wissenschaftlichen Weiterbildung, Nr. 10.
9. SIST EN 15204 (2007). Smerni standard za štetje fitoplanktona z invertno mikroskopijo (Utermöhl-Technik).
10. SIST ISO 10260:2001. Kakovost vode – Merjenje biokemijskih parametrov – Spektrometrično določevanje koncentracije klorofila-a.
11. Wolfram, G., Argillier, C., de Bortoli, J., Buzzi, F., Dalmiglio, A., Dokulil, M. T., Hoehn, E., Marchetto, A., Martinez, P. J., Morabito, G., Reichmann, M., Remec-Rekar, Š., Riedmüller, U., Rioury, C., Schaumburg, J., Schulz, L., Urbanič, G., 2009. Reference conditions and WFD compliant class boundaries for phytoplankton biomass and chlorophyll-a in Alpine lakes. Hydrobiologia.



ODPADNO BLATO IZ ČISTILNIH NAPRAV: PONOVA UPORABA, ZMANJŠANJE KOLIČINE IN INHIBICIJA RASTI NITASTIH BAKTERIJ Z UPORABO ULTRAZVOČNE NAPRAVE

doc. ddr. Marko ŠETINC¹

Povzetek

Ultrazvočne naprave se danes vse pogosteje uporabljajo v večjih čistilnih napravah in bioplinarnah, ker postajajo zahteve po čim večji učinkovitosti čiščenja in čim manjši proizvodnji odpadka (blata) vse večje. Ultrazvočna naprava zmanjša količino odpadnega blata (z vidika suhe snovi in z vidika učinkovitosti dehidracije), zmanjša potrebo po dodajanju hranil (metanola, očetne kisline ...) v fazo denitrifikacije, bistveno zmanjša zadrževalni čas v anaerobnih digestorjih (oz. »poveča njihovo zmogljivost«), omogoča večjo proizvodnjo bioplina in kot stranski učinek inhibira rast nitastih bakterij.

Ultrazvočna naprava ni splošna rešitev za vse težave, ampak je za njeno učinkovito delovanje pred instalacijo treba določiti vrsto naprave, ki ima najustreznejši vnos energije v sistem, najprimernejšo obliko reaktorja in kje v sistemu jo je najprimerneje vgraditi s tehničnega in ekonomskega vidika.

Ključne besede: čistilne naprave, denitrifikacija, dezintegracija, nitaste bakterije, odpadna voda, odpadno blato, ultrazvočna naprava, ultrazvok

Abstract

Ultrasonic devices are increasingly used in large waste water treatment plants and biogas plants, since there are requirements for maximisation of efficiency and minimization of waste production (sludge). The ultrasonic device reduce of the amount of waste sludge (from the point of dry matter and the dehydration efficiency), reduces the addition of organic nutrients (methanol, acetic acid ...) in the denitrification phase, significantly reduces the retention time in anaerobic digesters (or »increases their capacity«), increase the biogas production and, as a side effect, inhibits the growth of filamentous bacteria.

¹ Doc. ddr. Marko Šetinc, Geopolis, d. o. o., Alma Mater Europaea – Evropski center, Fakulteta za znanosti o okolju, Univerza v Novi Gorici

The ultrasonic device is not a general solution for all problems. For its efficient operation, it is necessary to determine the type of device that has the most useful input of energy in the system, the most suitable form of the reactor, and find the where it the best position to install device in the system from a technical and economical point of view.

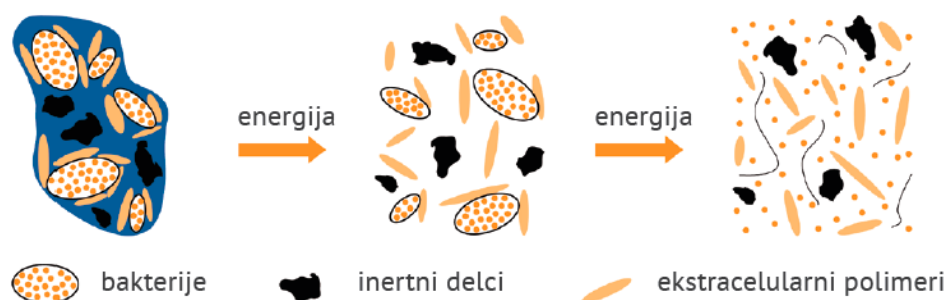
1. UVOD

Odpadno blato iz čistilnih naprav postaja vse večji problem, saj njegova količina z leti narašča, njegova nadaljnja obdelava oz. uničenje pa je vse dražje. V preteklosti odstranitev blata ni predstavljala velikega stroška pri obratovanju čistilne naprave, saj je bilo blato mogoče poceni odložiti na kmetijska zemljišča oz. odlagališča. Danes to ni več dovoljeno, saj je blato pogosto onesnaženo s težkimi kovinami. Izjema sta kompost in digestat 1. kakovosti, ki se ju lahko odlaga na kmetijske površine, in posebej obdelano blato (npr. pomešano s pepelom), ki je inertno in omogoča prekrivanje, npr. odlagališč odpadkov.

Po uradnih podatkih je v letu 2014 nastalo okoli 28.300 t (izraženo kot suha snov) blata iz komunalnih in skupnih čistilnih naprav (MOP, 2016). Napovedi kažejo (MOP, 2016), da je do leta 2020 predvideno, da se bo proizvedena količina odpadnega blata povečala do te mere, da bo potrebno 20 % povečanje zmogljivosti kompostarn za obdelavo odpadnega blata (MOP, 2016). Druga možnost je, da se izboljšajo postopki čiščenja odpadne vode do te mere, da bo nastalo manj odpadnega blata.

To je možno doseči s ponovno uporabo blata ali z njegovo večjo izrabo v anaerobni fazi. Uporaba ultrazvočnega dezintegratorja odpadnega blata omogoča oboje: uporabo blata v procesu čiščenja odpadne vode (v fazi denitrifikacije) (Vergara idr., 2012) ali za izboljšanje učinkovitosti razgradnje pri anaerobni fazi obdelave blata (Banduch, 2011). Pri denitrifikaciji se porablja lahko dostopen organski ogljik, s pomočjo katerega se nitrati s pomočjo mikroorganizmov spremenijo v atmosferski dušik. Lahko dostopen ogljik iz odpadnega blata, ki nastane v procesu ultrazvočne dezintegracije blata, nadomesti druge vire ogljika, kot so na primer metanol ali očetna kislina. Pri uporabi dezintegratorja v anaerobni fazi obdelave odpadnega blata ta lahko poveča hitrost in učinkovitost nastajanja metana, saj so organske snovi v dezintegriranem blatu lažje dostopne mikroorganizmom.

Uporaba ultrazvoka sama po sebi ni rešitev, saj nekatere frekvence in moči ultrazvoka celo pospešujejo rast mikroorganizmov. Odpadno blato so odmrli ali še živi mikroorganizmi, ki imajo hranljive snovi zaprte v celici, ki jo obdaja celična stena. Da postanejo ta hraniva dostopna, je treba celico razbiti. Pri ultrazvočni napravi je pomembno, da le-ta povzroča zelo močne strižne sile, ki razbijejo celične stene in sprostijo vsebino celic v vodo, kot je prikazano na sliki 1.



Slika 1: Razbitje celic biomase v odvisnosti od vnosa energije z ultrazvočnim dezintegratorjem

Vir: <http://www.ultrawaves.de/technology/ultrasonic-disintegration>.

Slika 1 prikazuje, da lahko odpadno blato z ustreznim vnosom energije vanj dezintegriramo tako, da postane dostopno hranilo za druge mikroorganizme.

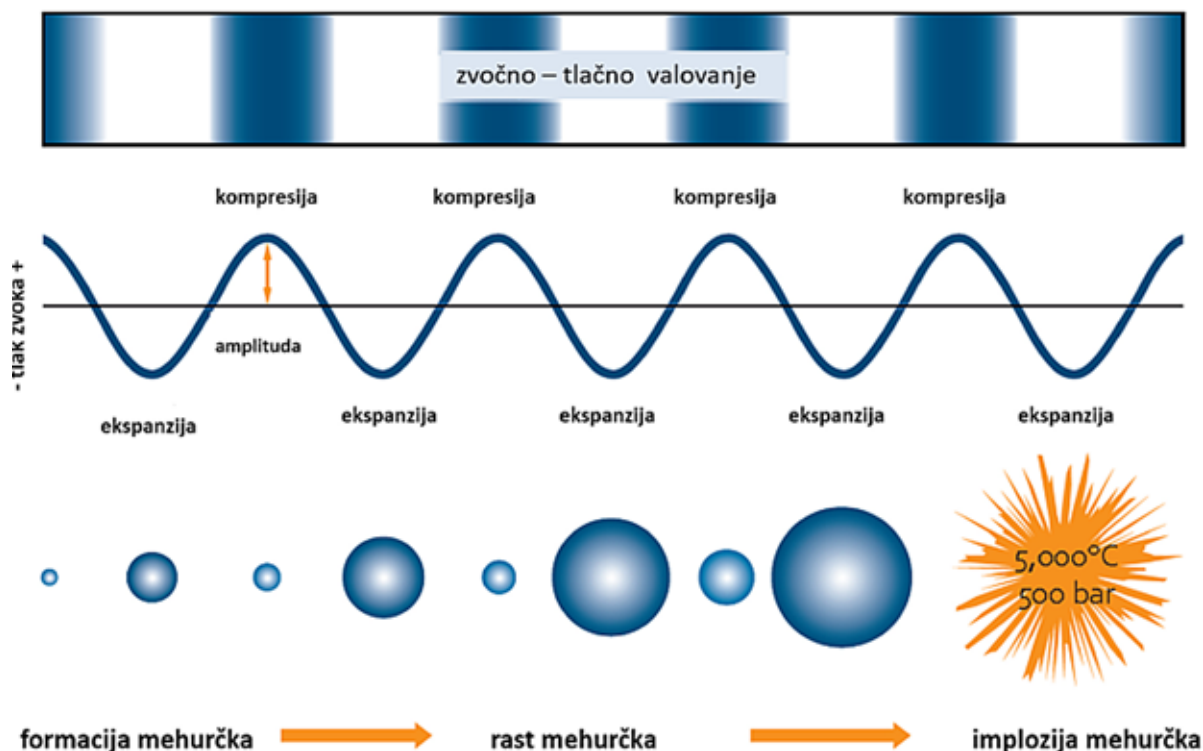
Če tako obdelano blato vrnemo v katerikoli proces v čistilni napravi, ta hranila predstavljajo hrano za druge mikroorganizme in jo pretvorijo v CO_2 (v aerobni fazi) ali CH_4 (v anaerobni fazi). Bistveni ekonomski učinki, ki so posledica tega procesa (dezintegracije odpadnega blata in vračanja v proces), so:

- zmanjšanje količine odpadnega blata (z vidika količine suhe snovi),
- zmanjšanje dodajanja hranil (metanola, očetne kisline ...) v fazo denitrifikacije,
- bistveno zmanjšanje zadrževalnega časa v anaerobnih digestorjih (s tem se zelo poveča njihova kapaciteta),
- povečana proizvodnja bioplina iz biomase,
- izboljšana dehidracija odpadnega blata (delež suhe snovi v blatu se poveča),
- inhibira se rast nitastih bakterij.

Namen prispevka je pokazati možnost ponovne uporabe odpadnega blata iz čistilnih naprav ter izboljšanje učinkovitosti odpadnega blata pri nadaljnji anaerobni obdelavi. Cilj prispevka pa je pokazati učinkovitost postopka dezintegracije blata z vidika zmanjševanja stroškov, povezanih z odpadnim blatom, in izboljšanja procesa čiščenja vode s tehničnega vidika.

2. NAČELO DELOVANJA ULTRAZVOČNEGA DEZINTEGRATORJA

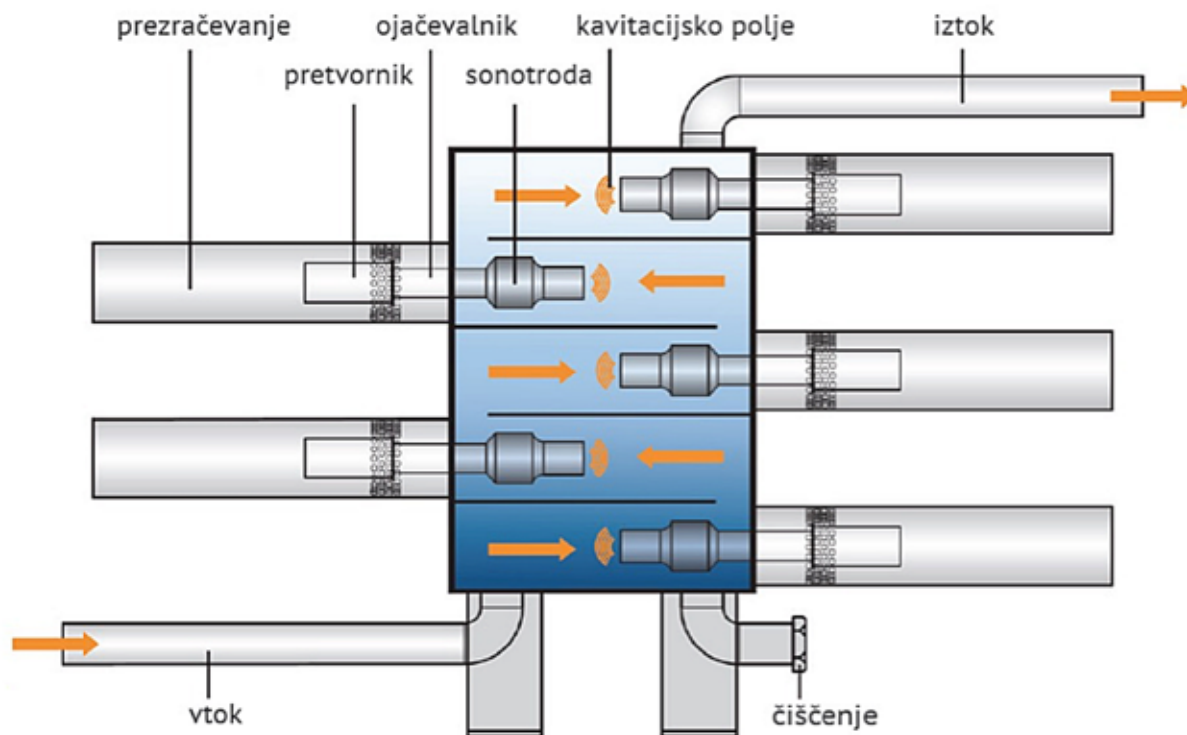
Dezintegrator deluje na podlagi ultrazvoka, zvoka, ki ima frekvence nad slišnim območjem človeka. To območje je nad 20 kHz pa vse do reda velikosti MHz. V tekočem mediju ultrazvočno valovanje povzroča ponavljajoče stiskanje in raztezanje vodne faze. Pri tem nastajajo majhni mehurčki, ki se raztezajo in krčijo do točke, ko implodirajo, kot je prikazano na sliki 2.



Slika 2: Prikaz formiranja mehurčkov pri obdelavi vode z ultrazvokom in nastanek implozije (kavitacije)
Vir: <http://www.ultrawaves.de/technology/ultrasonic-disintegration>.

Temu učinku rečemo kavitacija. Pri tem se na mikro nivoju ustvarita visok tlak in temperatura. Posebno veliki mehurčki nastajajo v frekvenčnem območju med 20 in 100 kHz. Pri imploziji ti mehurčki povzročijo zelo močne strižne sile, ki razbijejo še tako robustno površino. Tak postopek je priznan kot zelo učinkovit tudi po priporočilih Nemškega združenja za vodo, odpadno vodo in odpadke (DWA, 2015).

Učinkovitost dezintegratorja je bistven podatek, ki ga potrebujemo za dimenzioniranje procesa. Vnos energije, ki je namenjena dezintegraciji celic odpadnega blata, je bistveni parameter, ki ga je treba preveriti. Ta je odvisen od mnogih spremenljivk, kot so na primer amplituda nihanja, frekvenca nihanja, količina vnesene energije na površinsko enoto in sama oblika oz. vrsta reaktorja. Tako lahko na primer oblika reaktorja vpliva na doseganje višjih konverzij do 30 %, če se uporabi reaktor s čepastim tokom v primerjavi z mešalnim reaktorjem (Šetinc, 2017). Primer reaktorja s čepastim tokom je prikazan na sliki 3.

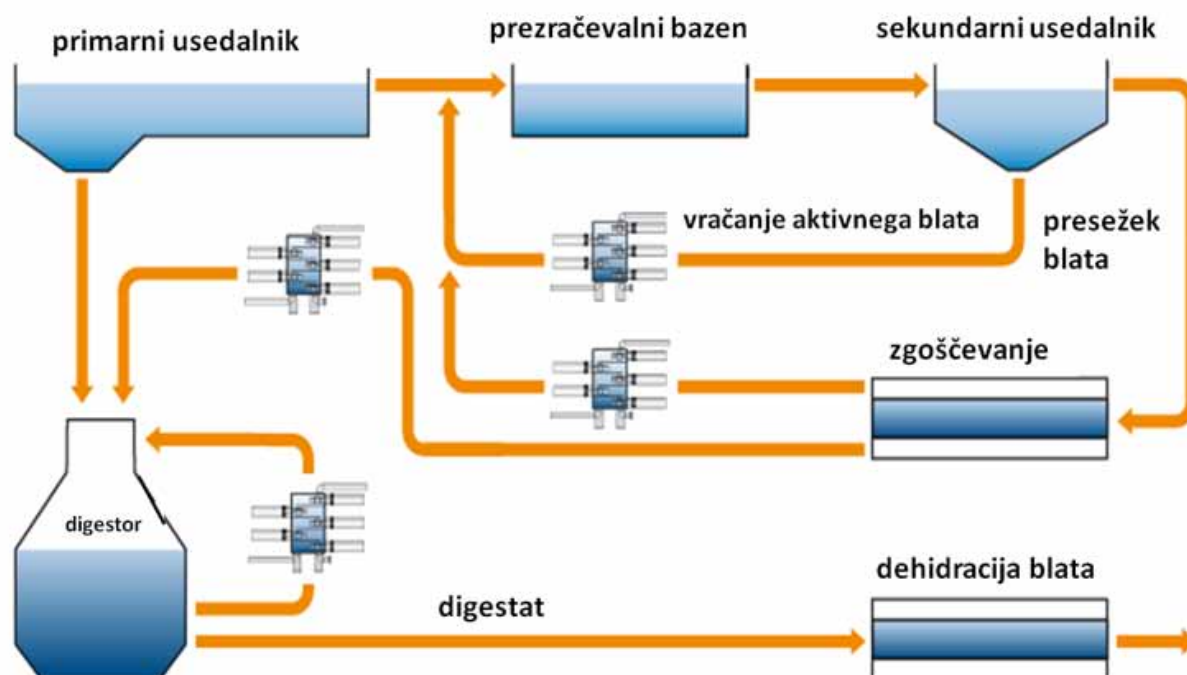


Slika 3: Ultrazvočna naprava za dezintegracijo odpadnega blata s čepastim tokom (moč 5 kW)

Na koncu je za smiselnost investicije bistven ekonomski izračun, ki ga je treba laboratorijsko preveriti in potrditi s pilotnimi testi.

3. PROCES ČIŠČENJA ODPADNE VODE IN UPORABA ULTRAZVOČNEGA DEZINTEGRATORJA

Proces čiščenja odpadne vode je običajno sestavljen iz faz, ki so prikazane na naslednji sliki: primarni usedalnik, prezračevalni bazen, sekundarni usedalnik, zgoščevalnik, digestor in dehidracija blata. Ultrazvočni dezintegrator je možno vključiti na različna mesta, kot je prikazano na sliki 4. Najtipičnejša so cev za vračanje aktivnega blata (presežno ali zgoščeno), pred digestor ali kot recikel digestorja. Postavitev je odvisna od procesa in problema, ki se ga rešuje s postavitvijo ultrazvočnega dezintegratorja.



Slika 4: Možnosti postavitve dezintegratorja v proces čiščenja odpadne vode

Vir: <http://www.ultrawaves.de/wastewater-treatment-plants>.

Vsaka pozicija dezintegratorja ima svoj namen. Osnovni namen dezintegratorja pa je povečanje biorazgradljivosti blata, kar omogoča njegovo večjo izrabo v samem procesu (Wünsh idr., 2002; Nickel in Neis, 2007; Neis idr., 2007; Neis idr., 2008). Dezintegrator poleg zmanjšanja odpadnega blata omogoča tudi večjo proizvodnjo bioplina v anaerobni stopnji, preprečuje razrast nitastih bakterij, ki povzročajo penjenje, in izboljšuje postopek dezinfekcije vode z razbitjem večjih skupkov mikroorganizmov na manjše, ki so občutljivejši za dezinfekcijska sredstva (Blume idr., 2002; Blume idr., 2003).

4. VPLIV UPORABE ULTRAZVOČNEGA DEZINTEGRATORJA NA EKONOMIKO PROCESA

Ultrazvočni dezintegrator je mogoče uporabiti v različnih delih procesa čiščenja odpadne vode. Postavitev je odvisna od problema, ki ga rešuje, in od možnih tehničnih in ekonomskih koristi. Največkrat se uporablja v naslednjih primerih:

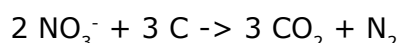
- ponovna uporaba blata v fazi denitrifikacije,
- zvišanje učinkovitosti delovanja anaerobne faze in s tem povečanje zmogljivosti digestorja,
- zmanjšanje količine odpadnega blata na izstopu iz procesa,
- preprečitev razrasta nitastih bakterij.

V vsakem od naslednjih poglavij bo opisan bistveni del koristi, ki jih omogoča njegova uporaba.



4.1. Ponovna uporaba blata v fazi denitrifikacije

Pri čiščenju odpadnih vod poteka tudi odstranjevanje dušika iz vode. Ta je običajno največ v oblikah NH_4^+ in NO_3^- . V fazi nitrifikacije se NH_4^+ oksidira do NO_3^- . Ta faza poteka v aerobnih pogojih, kar pomeni, da je v vodi prisotnega dovolj kisika. Druga faza odstranjevanja dušika iz vode poteka v fazi denitrifikacije, kjer se NO_3^- spremeni v N_2 . To poteka v pogojih, kjer je primanjkljaj kisika v vodi. Pri tem denitrifikacijske bakterije porabljajo organski ogljik v vodi, kisik pa uporabijo iz NO_3^- . Tako se ta spremeni v N_2 po naslednji enačbi:



Če v vodi ni dovolj prisotnega razpoložljivega organskega ogljika, je treba dodajanje zunanje- ga vira ogljika (ocetna kislina, metanol, razni pripravki ...). Te je treba kupovati, kar povečuje strošek čiščenja vode.

Z uporabo ultrazvočnega dezintegratorja del odpadnega blata dezintegriramo in dobimo tekočino, ki ima večjo vsebnost razpoložljivega organskega ogljika, ki ga denitrifikacijske bakterije lahko uporabijo. Koristi pri tem so proporcionalne zmanjšanju porabe zunanjega ogljika.

4.2. Zvišanje učinkovitosti delovanja anaerobne faze oz. povečanje zmogljivosti digestorja

V anaerobni fazi procesa se odpadno blato spremeni v bioplin. Hitrost in količina nastalega bioplina sta odvisni od razpoložljivosti organskega ogljika v odpadnem blatu. Z dezintegracijo odpadnega blata se poveča količina razpoložljivega organskega ogljika, ki ga metanogene bakterije lahko spremenijo v metan. To nam omogoča krajši zadrževalni čas v digestorju oz. povečanje zmogljivosti digestorja. Tu sta dve možni koristi, in sicer:

- večja proizvodnja bioplina in s tem večji prihodki s prodajo elektrike,
- nižji strošek gradnje digestorjev.

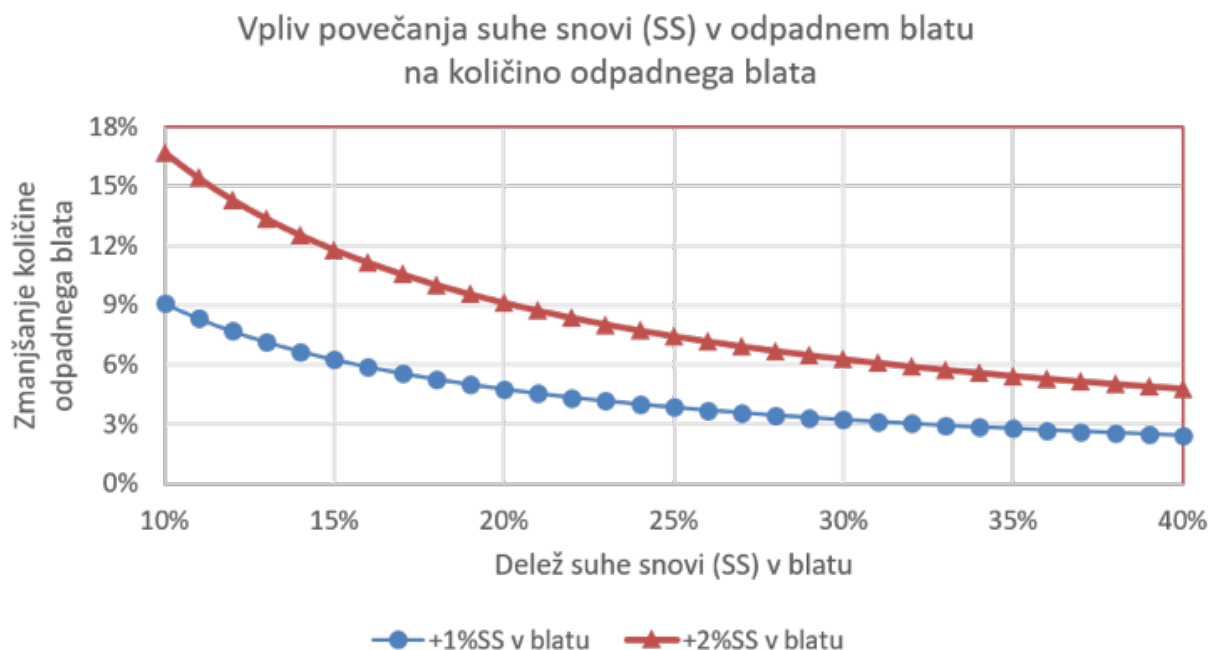
Če gradimo nov digestor, je le ta lahko manjši in so zato nižji investicijski stroški. Če pa je zgrajen digestor premajhen, lahko njegovo zmogljivost zvišamo z obdelavo blata z ultrazvočnim dezintegratorjem. Tu so prihranki veliki, saj nam v tem primeru ni treba zgraditi novega digestorja.

4.3. Zmanjšanje količine odpadnega blata na izstopu iz procesa

Opadno blato na izstopu iz procesa se poleg ustreznega vodenja procesa zmanjša še na tri načine:

- s povečanjem suhe snovi v blatu v procesu dehidracije,
- z uporabo blata v procesu denitrifikacije,
- z večjo izrabo blata v anaerobni fazi procesa, kjer posledično nastane iz blata več metana.

Pri ultrazvočni dezintegraciji odpadnega blata pride do razklopa celic, kar povzroči zmanjšanje količine vode v celicah in dehidriranem odpadnem blatu. Te vrednosti so običajno med 1–2 % povečanja suhe snovi (absolutno). Npr., namesto 18 % suhe snovi se po obdelavi z dezintegratorjem poveča na 20 % suhe snovi. Dejanska količina zmanjšanja odpadnega blata je odvisna od začetne vsebnosti suhe snovi, kot je prikazano na sliki 5.

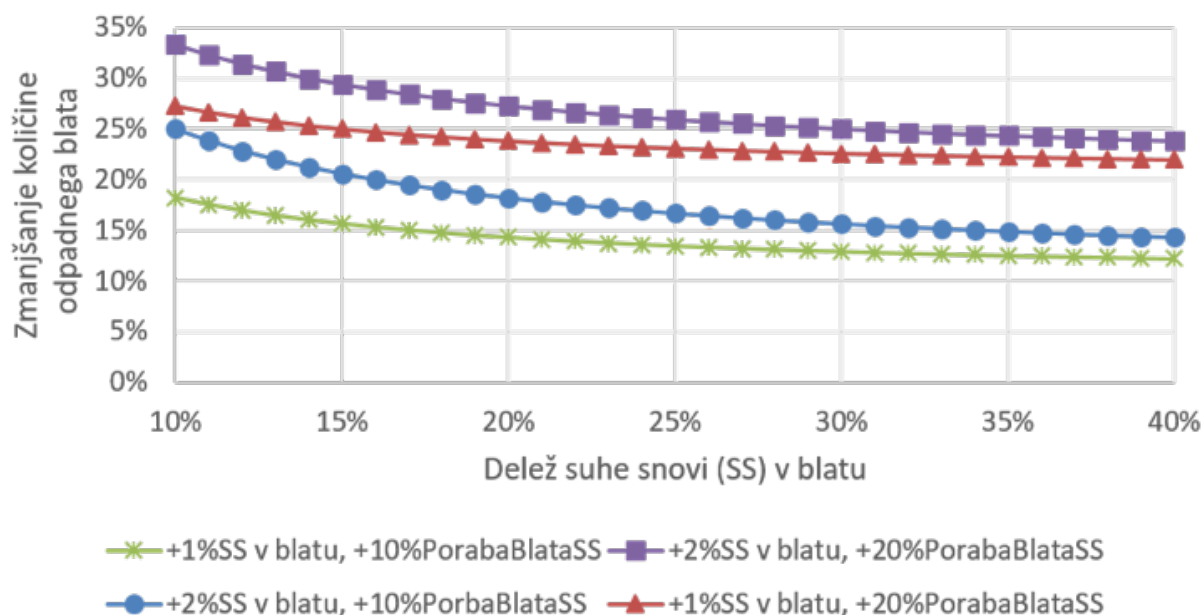


Slika 5: Zmanjšanje količine odpadnega blata v odvisnosti od začetne vsebnosti suhe snovi v blatu

Iz slike 5 je razvidno, da povečanje suhe snovi povzroči zmanjšanje odpadnega blata v teh dveh primerih med 3–17 %. Če se del ali celota odpadnega blata dezintegrira in vodi v fazo denitrifikacije ali anaerobni digestor, se s tem večji del tega blata porabi za nastanek CO_2 v fazi denitrifikacije in CH_4 v anaerobni fazi. Na tak način se konservativno gledano zmanjša količina blata za 10–20 %. Če seštejemo oba efekta, dobimo zmanjšanje odpadnega blata v odvisnosti od prvotnega deleža suhe snovi v blatu, kot je prikazano na sliki 6.



Vpliv povečanja suhe snovi (SS) v odpadnem blatu in porabe blata na količino odpadnega blata



Slika 6: Zmanjšanje količine odpadnega blata v odvisnosti od začetne vsebnosti suhe snovi v blatu kot posledica boljše dehidracije in njegove boljše izrabe

Iz slike 6 je razvidno, da se ob teh dveh predpostavkah zmanjša količina odpadnega blata med 12 in 33 %.

4.4. Preprečitev razrasta nitastih bakterij

Nitaste bakterije so velik problem v čistilnih napravah, predvsem zato, ker povzročajo čezmerno penjenje. Razlogov za čezmeren razrast nitastih bakterij je več. Običajno se tak problem rešuje z antipenilci ali z optimizacijo procesa čiščenja odpadnih vod. Z ustrezno uporabo in postavitvijo ultrazvočnega dezintegratorja je mogoče ustvariti okolje, ki je neugodno za nitaste bakterije in preprečuje njihov razrast. Vzpostavitev takega okolja običajno poteka nekaj tednov in je trajno. Kljub temu, da tovrstna korist ne prinaša velikih ekonomskih koristi kot prejšnji primeri, pa omogoča enostavnejše vodenje procesa s tehničnega vidika in prepreči morebitna izlitja pene iz anaerobnih digestorjev in bazenov.

5. ZAKLJUČEK

Na podlagi prispevka lahko zaključimo, da je uporaba ultrazvočnega dezintegratorja koristna tako z ekonomskega kot tehničnega vidika. S teh dveh vidikov ima v slovenskem prostoru uporaba ultrazvočnih dezintegratorjev še velik potencial. Njihova ustrezna uporaba omogoča v prvi vrsti zmanjšati količino odpadnega blata, ki predstavlja vse večji delež stroškov čiščenja odpadne vode, poleg tega pa omogoča tudi izboljšati proces čiščenja odpadne vode (večja učinkovitost odstranjevanja nitratov), povečati proizvodnjo bioplina in preprečiti razrast nitastih bakterij, ki je pogosto povezan s penjenjem v čistilnih napravah in digestorjih.

Za njihovo optimalno uporabo je treba najprej narediti analizo procesa, včasih tudi njegovo modeliranje, analizo vode, laboratorijski preizkus ter ekonomsko oceno koristi vgradnje naprave. Za potrditev predpostavk se običajno izvede še pilotni preizkus. Običajna doba vračanja investicije je odvisna od vzroka in namena vgradnje. Ta je lahko v primeru nadomestka izgradnje dodatnih digestorjev 0 let, medtem ko je običajna doba vračanja investicije v ostalih primerih običajno od 2–5 let. Ustrezna uporaba ultrazvočnih dezintegratorjev omogoča izboljšanje trajnostnega razvoja pri procesu čiščenja odpadnih vod in predvsem zmanjšanje stroškov čiščenja in povečanje koristi pri proizvodnji bioplina.

LITERATURA IN VIRI

1. Banduch, I., 2011. Die Wirkung von Ultraschall auf die mikrobiologische Diversität und Abbauleistung eines biologischen Reaktors zur Abwasserreinigung (Doktorsko delo). Technischen Universität Hamburg-Hamburg.
2. Blume, T., Martinez, I., Neis, U., 2002. Wastewater disinfection using ultrasound and UV light, in: Ultrasound in Environmental Engineering II, TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary Engineering, 35, str. 117–128.
3. Blume, T., Martin Perez, I., Neis, U., 2003. A combined acustical-chemical method for wastewater disinfection. Applications for Power Ultrasound in Physical and Chemical Processing, Besancon, France, 22–23. 5. 2003.
4. DWA-Regelwerk, 2015. Merkblatt DWA-M 301, Klärschlammdeintegration, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfälle e.V.
5. MOP, 2016. Opis snovnih tokov odpadkov, naprav za obdelavo odpadkov in predvidenih ukrepov za doseganje ciljev iz programa ravnanja z odpadki. Dostopno na: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/cpvo/okoljsko_porocilo_op_odpadki_priloga1.pdf [20. 8. 2018].
6. Neis, U., Nickel, K., Lunden, A., 2007. Improving anaerobic and aerobic degradation by ultasonic disintegrator of biomass. IVA-Conference Antalya/Turkey 28–30. 3. 2007.
7. Neis, U., Nickel, K., Lundén, A., 2008. Improving anaerobic and aerobic degradation by ultrasonic disintegration of biomass. Journal of Environmental Science and Health Part A.
8. Nickel, K. in Neis, U., 2007. Ultrasonic disintegration of biosolids for improved biodegradation. Ultrasonic Sonochemistry Journal. 14 (2007) str. 450–455.
9. Šetinc, M., 2017. Vpliv oblike reaktorja na dezintegracijo odpadnega blata iz čistilnih naprav. 36. mednarodna konferenca o razvoju organizacijskih znanosti 22.–24. marec 2017, Portorož, Slovenija.
10. Vergara, L., Nicke, K., Neis, U., 2012. Desintegrating sludge as carbon source for denitrification. 17th European Biosolids Organic Resouces Cenference, Seminar & Exhibition.
11. Wastewater Treatment Plants. Dostopno na: <http://www.ultrawaves.de/wastewater-treatment-plants> [20. 8. 2018].
12. Wünsch, B., Heine, W., Neis, U., 2002. Combating bulking sludge with ultrasound. TU Hamburg-Harburg reports on Sanitary Engineering 35.
13. Ultrasonic Disintegration. Dostopno na: <http://www.ultrawaves.de/technology/ultrasonic-disintegration> [20. 8. 2018].

