



3.

Raba voda in vodni ekosistemi

VODNO BILANČNI MODEL MGROWA-SI

dr. Peter Frantar¹, dr. Mišo Andjelov¹, dr. Jože Uhan¹, dr. Frank Herrmann², dr. Frank Wendland²

¹Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, ²FZ Jülich, Wilhelm-Johnen-Strasse, 52425 Jülich, Nemčija

POVZETEK

Regionalni vodno-bilančni model mGROWA Slovenija (mGROWA-SI) nastaja v sodelovanju med Agencijo RS za okolje in nemškim raziskovalnim središčem JÜLICH. V okviru dveletnega razvojnega projekta 2016-2017 se izvaja prenos in aplikacija modela mGROWA na Agencijo RS za okolje. Empirični rastrski mrežni model bo omogočal sprotno spremljanje vseh glavnih členov vodnega kroga na območju Republike Slovenije v mesečni časovni skali. V prispevku je predstavljena metodologija, izboljšave v primerjavi z letnim modelom in prvi preliminarni rezultati.

Ključne besede:

komponente vodne bilance, vodni krog, vodna bilanca prsti ali tal, odtok, komponente odtoka, napajanje podzemne vode, upravljanje z vodami

1. Uvod

Model mGROWA-SI je prostorsko porazdeljen vodno bilančni model za območje Slovenije, ki je zasnovan na uporabi slovenskih nacionalnih zbirk podatkov. Model temelji na empiričnih enačbah in ne na simulaciji združevanja odtoka kot klasični hidrološki modeli padavine-odtok. Osnovni raster modela ima preko 2 mio. celic velikosti 100 x 100 m. Model mGROWA-SI nadaljuje in nadgrajuje letno in obdobjno modeliranje vodne bilance Slovenije, ki jo je začel model GROWA-SI (Andjelov, 2009). Zaradi modelske pokritosti celotnega ozemlja države je izrednega pomena za upravljanje voda in porečij ter kot podpora odločanju na lokalni in regionalni ravni (Andjelov et al., 2016a; Andjelov et al., 2016b).

2. Opis modela

Model mGROWA se uvršča v skupino distribuiranih determinističnih mrežnih hidroloških modelov vodne bilance. Hidrološke procese tako zajema v poenostavljeni bilančni shemi in vsaki rastrski celici za potrebe lokalnega in regionalnega upravljanja z vodnimi viri.

Časovna ločljivost modela je dvonivojska: vlaga v tleh, kapilarni dvig iz podzemne vode v koreninski sloj, dejanska evapotranspiracija in skupni odtok so računani na dnevni koraku; napajanje vodonosnikov in deleži neposrednega odtoka pa so agregirani in predstavljeni na mesečnem nivoju. Modelska simulacija se izvaja na dnevni nivoju in omogoča agregacije v različnih časovnih okvirih, ki so prilagojeni različnim uporabnikom.

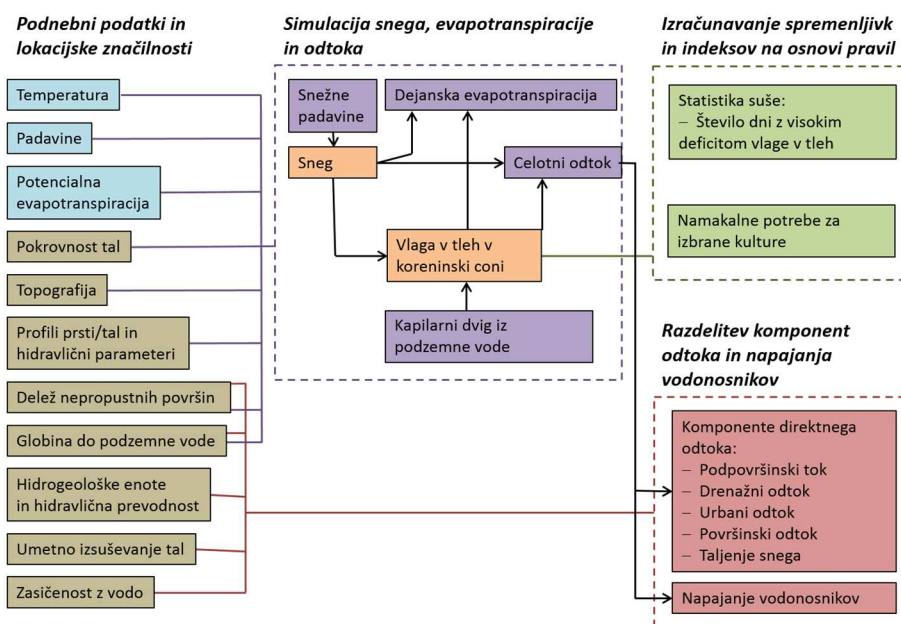
V modelu mGROWA imamo tako skupek modulov v rastrski mreži 100 x 100 metrov za izračune različnih spremenljivk: od dejanske evapotranspiracije, skupnega odtoka, direktnega

odtoka, podzemnega odtoka, vpliva snega, suše v tleh itd. Ob upoštevanju podnebnih pogojev, geološke zgradbe, lastnosti tal, pokrovnosti tal, topografije in globine do podzemne vode se z modelom izračunava glavne člene vodnega kroga za celotno ozemlje Slovenije.

Vodnobilančni model ne izračunava vzdolžnih tokov, zato je uporabljena redukcijska funkcija, ki jo priporočata tudi Minhas in sodelavci (1974) ter Disse (1995). Voda v tleh se izračunava vertikalno z uporabo večslojnega modela vodne bilance tal BOWAB (Engel et al., 2012). Model mGROWA-SI torej za vsako celico izdelava večslojni 1D "podmodel", ki temelji na opisih profilov tal in hidravličnih lastnostih podatkovnega sloja tal.

Izračunan skupni odtok je ločen na direktni odtok in na napajanje vodonosnikov. Uporabljena metoda razdelitve temelji na empiričnem principu indeksov baznega odtoka (BFI). Osnovna hidrološka enačba količine podzemne vode v porečju je povzeta po Meyboom (1961), ki v dolgoletnem povprečju količine baznega odtoka enači s količinami napajanja vodonosnikov. Vrednosti BFI so tako opredeljene kot deleži skupnega odtoka, ki napaja vodonosnike. Zanesljivost ocen količin napajanja vodonosnikov z uporabo indeksov baznega toka so potrdili rezultati več analiz (Kunkel and Wendland, 2002; Wendland et al., 2003; Huang et al., 2010; Krysanova et al., 1998).

V Sloveniji bomo zaradi velikega vpliva snega na dinamiko v vodnem krogu uporabili tudi analizo izračuna količine vode v snegu in vpliva tega na mesečno ali sezonsko vodno bilanco.



Slika 1 Konceptualna shema vodnobilančnega modela mGROWA-SI.

2.1 Simulacija evapotranspiracije in odtoka

Količina vode na dnevnem vertikalnem toku se izračunava po ustaljeni vodnobilančni enačbi:

$$ds = p + qi - et_a - qt$$

Sprememba količine vode (ds) je enaka padavinam (p) in vertikalnem dotoku v celico (qi), zmanjšana za evapotranspiracijo (et_a) in odtok (qt). Količina izhlapevanja na območjih pokritih z vegetacijo se izračunava preko koeficientov izhlapevanja pokrovnosti tal, ki so pridobljeni po literaturi in strokovni oceni. Na dnevnem nivoju se tako s pomočjo izračunanega potencialnega izhlapevanja, koeficientov in podatkov modela o tleh izračunava dejanska količina vode za izhlapevanje. Obenem se izračunava količina vode v koreninskem sloju tal,

kapilarni dvig in tudi odtok. Na urbanih in neprepustnih območjih model mGROWA sledi konceptu Wessolek-a in Facklam-a (1997), za izračun količine neposredne evaporacije iz vodnih površin pa konceptu Herrmann-a (2015).

2.2 Separacija odtoka in napajanje vodonosnikov

Model mGROWA na dnevnem nivoju ločuje tudi različne člene odtoka in napajanje vodonosnikov. Postopek ločevanja je hierarhičen, kot ga predlagata Kunkel in Wendland (2002), kjer se uporabi lokalne značilnosti v vsaki celici modela, da se lahko oceni in določi lokalni indeks baznega odtoka BFI za vsako rastrsko celico. Vrednosti BFI opredeljujejo različne komponente odtoka kot relativne deleže celotnega odtoka. Na osnovi tega je izračunano tudi napajanje vodonosnikov, ki se računa na površinah z vegetacijskim pokrovom. Na napajanje vpliva tudi plitva podzemna voda, ki povzroča kapilarno dviganje in lahko v času prevladujočega dviga modelira tudi negativne vrednosti napajanja. Na območjih, kjer prevladujejo urbane površine in drenažni odtok, pa lahko prihaja do zmanjšane napajanja. Za območja z vezanimi kamninami se napajanje vodonosnikov preračunava po BFI, ki večinoma temelji na tipologiji hidravlične prepustnosti posameznih vrst kamnin (Kunkel and Wendland, 2002), na območjih z nevezanimi kamninami pa se upoštevajo predvsem hidravlične lastnosti tal (Herrmann, et al. 2015).

2.3 Snežni modul

Pomembna regionalna značilnost območja Slovenije je za modeliranje z mGROWA količina snega v vodnem krogu na sezonskem, mesečnem in dnevnem nivoju. V modelu mGROWA-SI je implementiran snežni modul, ki s ti. »day-degree« metodo izračunava količino snega, izhlapevanje iz snega, taljenje snega in zamrzovanje vode v snegu (Herrmann, et al. 2016). Na osnovi izračunov količin vode, povezane s snegom, model mGROWA-SI ločuje in pripisuje količine in odtok te količin na dnevnem nivoju.

2.4 Zbirke podatkov

Med najpomembnejšimi elementi nadgradnje vodnobilančnega modela so bile pridobitev novih oz. izboljšanih vhodnih podatkov. Za model mGROWA-SI smo pridobili izboljšane digitalne pedološke podatke po 30 cm horizontih tal, ki so vključevali informacije o teksturi, gostoti, skeletu in hidropedoloških lastnosti. Za območje Slovenije smo pridobili prilagojene koeficiente izhlapevanja različnih vrst pokrovnosti tal, predvsem za kmetijske obdelovalne in gozdne površine. Pri podnebnih podatkih smo v model vnesli dnevne podatke o padavinah, temperaturah, sončnem obsevanju, snegu in druge. Za potrebe verifikacije modela smo pripravili novo prostorsko podatkovno zbirko razvodnic in porečij ter dnevnih vrednosti pretokov na vodomernih postajah ARSO. Novelirali smo tudi vse preostale osnovne karte. Preglednica 1 prikazuje glavne uporabljene baze podatkov za model mGROWA-SI.

Preglednica 1 Glavne zbirke podatkov za model mGROWA-SI.

Podatkovna baza in parameter	Podatkovni vir
Pokrovnost tal - kategorije pokrovnosti - delež neprepustnosti	Corine Land Cover Slovenia
Digitalni model terena - naklon - ekspozicija površja	Digitalni model reliefa Slovenije - GURS
Prsti/tla - globina - tekstura - BD gostota - poljska kapaciteta - točka venenja - prostornina organskih delcev - globina do podzemne vode - odvodnjavanje	Profili tal – baza BF Digitalna karta tal BF

Osuševalna območja	Karta vodotokov 1:25.000
Hidrogeološke enote - hidravlična prevodnost	Hidrogeološka karta Slovenije, GeoZS
Podnebni podatki - padavine - temperatura zraka - sončno obsevanje - veter - vlažnost - sneg	Agencija RS za okolje
Hidrološki podatki - dnevni pretoki - dnevni podzemni odtok	Agencija RS za okolje
Meje vodnih teles površinske in podzemne vode, razvodnice	Agencija RS za okolje

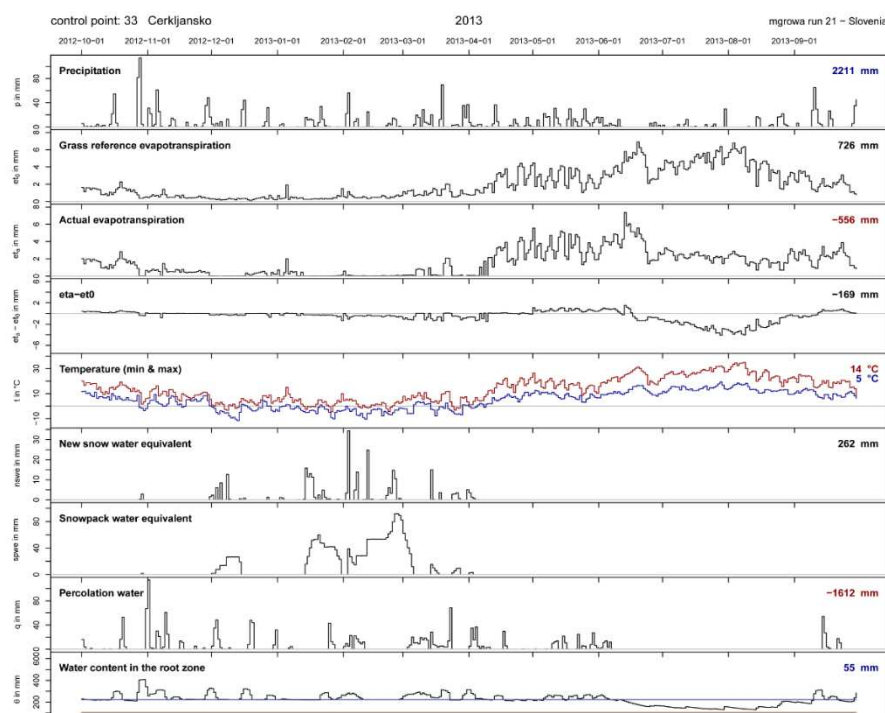
3. Preliminarni rezultati modeliranja

V okviru projekta mGROWA-SI 2016-2017 smo pridobili že tudi preliminarne rezultate modela mGROWA za območje Slovenije. Umerjanje in verifikacija modela še potekata, zato so rezultati informativnega značaja.

Z zagonom modela mGROWA-SI dobimo za vsako 100 m celico v Sloveniji vrednosti za posamezne člene vodnega kroga. V posamezni točki lahko dobimo vrednosti vseh členov, ki jih model izračunava v dnevni oz. mesečni časovni skali. Slika 2 kaže preliminarni rezultat na lokaciji Cerkljanskega hribovja za obdobje hidrološkega leta 2013 (oktober 2012 – september 2013): dnevne vrednosti za padavine, potencialno izhlapevanje, dejansko izhlapevanje, razliko izhlapevanj, dnevni potek temperature zraka, sneg, voda v snegu, pronicanje vode, zasičenost vode v tleh. Poleg teh parametrov lahko dobimo na dnevnem in mesečnem nivoju tudi vrednosti posameznih členov odtoka, napajanja vodonosnikov, vrednosti vode v tleh, primanjkljaj vode v koreninski coni, kapilarni dvig itd.

4. Sklep

Agencija RS za okolje je v večletnem razvojnem sodelovanju z nemškim raziskovalnim središčem JÜLICH vzpostavila letni regionalni vodno-bilančni modelski sistem GROWA-SI, ki na celotnem območju države omogoča modeliranje vseh členov vodnega kroga, vključno z oceno obnovljivih količin podzemnih voda, ki so v Sloveniji prevladujoči vir oskrbe prebivalstva s pitno vodo. Vodnobilančne analize so v preteklih letih pokazale, da je letni časovni okvir preučevanja vodnega kroga za sprotno operativno spremljanje hidroloških razmer preširok. Zaradi velike hidrogeografske pestrosti Slovenije je še posebej potrebna sezonska in medletna analiza komponent vodnega kroga, ki jo lahko simulira mesečni vodnobilančni model mGROWA-SI. Nadaljnji razvoj modeliranja vodne bilance bo tako v različni prostorski in časovni ločljivosti omogočal sprotno spremljanje razpoložljivosti vodnih virov, podpiral namakalne sheme in krizno upravljanje ob sušnih razmerah, simuliral vplive podnebnih sprememb na vodne vire ter omogočal fleksibilno vključevanje v procese operativnega in strateškega načrtovanja v državi.



Slika 2 Preliminarni modelski izračuni za primer Cerkljanskega brijovja v hidrološkem letu 2013.

5. Viri

- Andjelov, M., Frantar, P., Mikulič, Z., Pavlič, U., Savić, V., Souvent, P., Uhan, J., 2016a. Ocena količinskega stanja podzemnih voda za Načrt upravljanja voda 2015-2021 v Sloveniji. *GEOLOGIJA* 59/2, 205-219, Ljubljana. <http://dx.doi.org/10.5474/geologija.2016.012>
- Andjelov, M., Mikulič, Z., Tetzlaff, B., Uhan, J., Wendland, F., 2016b. Groundwater recharge in Slovenia, Results of a bilateral German-Slovenian research project. *Schriften des Forschungszentrums Jülich, Energy & Environment*, 339: 138. http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/036813-Energie_Umwelt_339.pdf
- Andjelov, M., 2009: Modeliranje napajanja vodonosnikov za oceno količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji v letu 2006. 20. Mišičev vodarski dan 2009, Maribor: 126–130. <http://mvd20.com/LETO2009/R19.pdf>
- Disse, M., 1995. Modellierung der Verdunstung und der Grundwasserneubildung in ebenen Einzugsgebieten, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH).
- Engel, N., Müller, U., Schäfer, W., 2012. BOWAB – Ein Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell. *GeoBerichte – Landesamt für Bergbau. Energie Geol.* 20, 85–98.
- Herrmann, F., Keller, L., Kunkel, R., Vereecken, H., Wendland, F., 2015. Determination of spatially differentiated water balance components including groundwater recharge on the Federal State level – A case study using the mGROWA model in North Rhine-Westphalia (Germany). *Journal of Hydrology: Regional Studies* 4 (2015) 294–312.
- Herrmann, F., Frantar, P., Andjelov, M., 2016. mGROWA Slovenia, State of works. Presentation at workshop, december 2016.
- Huang, S., Krysanova, V., Österle, H., Hattermann, F.F., 2010. Simulation of spatiotemporal dynamics of water fluxes in Germany under climate change. *Hydrol. Process.* 24 (23), 3289–3306, <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7753>.
- Krysanova, V., Müller-Wohlfeil, D.-I., Becker, A., 1998. Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds. *Ecol. Model.* 106 (2–3), 261–289, [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800\(97\)00204-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800(97)00204-4).

- Kunkel, R., Wendland, F., 2002. The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins – the river Elbe case study. *J. Hydrol.* 259 (1–4), 152–162, [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00579-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00579-0).
- Meyboom, P., 1961. Estimating ground-water recharge from stream hydrographs. *J. Geophys. Res.* 66 (4), 1203–1214, <http://dx.doi.org/10.1029/JZ066i004p01203>.
- Minhas, B.S., Parikh, K.S., Srinivasan, T.N., 1974. Toward the structure of a production function for wheat yields with dated inputs of irrigation water. *WaterResour. Res.* 10 (3), 383–393, <http://dx.doi.org/10.1029/WR010i003p00383>.
- Wendland, F., Kunkel, R., Tetzlaff, B., Dörhöfer, G., 2003. GIS-based determination of the mean long-term groundwater recharge in Lower Saxony. *Environ.Geol.* 45 (2), 273–278, <http://dx.doi.org/10.1007/s00254-003-0879-x>.
- Wendland, F., et al., 2008. European aquifer typology: a practical framework for an overview of major groundwater composition at European scale. *Environ.Geol.* 55 (1), 77, <http://dx.doi.org/10.1007/s00254-007-0966-5>.
- Wessolek, G., Facklam, M., 1997. Standorteigenschaften und Wasserhaushalt von versiegelten Flächen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160 (1), 41–46.

POMEN EKOSISTEMOV, ODVISNIH OD PODZEMNE VODE PRI DOLOČITVI KOLIČINSKEGA STANJA PODZEMNIH VODA V SLOVENIJI

dr. Mitja Janža, univ. dipl. inž. geol., Dejan Šram, univ. dipl. inž. geol., dr. Kim Mezga, univ.
dipl. inž. geol.

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Podzemna voda je obnovljivi naravni vir, dokler količine odvzemov podzemne vode ne presegajo možnosti njenega obnavljanja. Temelj sodobnega upravljanja podzemnih voda je določitev razpoložljivih količin vode za odvzeme, ob upoštevanju vseh njenih uporabnikov. Med temi tudi ekosistemov, katerih sestava, struktura, funkcije in storitve so odvisne od podzemne vode ali s skupnim imenom ekosistemov, odvisnih od podzemne vode. Ti pomembno prispevajo k biološki in krajinski raznovrstnosti in so vitalen, vendar trenutno še ne dovolj dobro razumljen del naravnega okolja. Zavedanje njihovega okoljskega in družbeno-ekonomskega pomena se odraža v okvirni evropski vodni direktivi, ki izpostavlja stanje ohranjenosti ekosistemov, odvisnih od podzemne vode kot enega izmed kriterijev za dobro količinsko stanje vodnih teles podzemnih voda. V prispevku je predstavljena prva ocena količin podzemnih voda v Sloveniji, potrebnih za ohranjanje ekosistemov, odvisnih od podzemne vode in pomen le-te pri oceni količinskega stanja vodnih teles podzemnih voda. Metodologija temelji na izračunih potreb po podzemni vodi gozdnih habitatov na aluvialnih vodonosnikih in habitatov dvoživk in mehkužcev na kraških območjih v varstvenem območju Natura 2000.

Ključne besede:

ekosistemi, odvisni od podzemne vode, vodno telo podzemne vode, razpoložljivost podzemne vode, upravljanje s podzemno vodo

1. Uvod

Ekosistemi, odvisni od podzemne vode (EOPV) so skupnosti različnih rastlin, živali in mikroorganizmov, ki za svoj obstoj oziroma ohranitev, ekološke procese in ekosistemske storitve zahtevajo stalen ali občasen stik s podzemnimi vodami [1]. EOPV vključujejo ekosisteme v podzemnih vodah, kopenske ekosisteme, odvisne od podzemne vode in vodne ekosisteme v površinskih vodah, odvisne od podzemne vode [2]. Ti ekosistemi in njihove ekosistemske storitve imajo lahko pomen pri proizvodnji hrane, čiščenju vode, ohranjanju biotske raznovrstnosti, habitatov in pokrajine [3]. EOPV pa so prav tako dober indikator stanja vodnih teles podzemnih voda in imajo pomembno vlogo pri ocenjevanju le-tega [4,5].

Sodobne metodologije, ki ocenjujejo razpoložljivost podzemnih voda so glede na prve metodologije iz štiridesetih let prejšnjega stoletja, celovitejše in upoštevajo različne vplive in posledice odvzemov podzemne vode. Kot najpomembnejši parameter je v vodni direktivi [6] opredeljena gladina podzemne vode, ki omogoča ugotavljanje vplivov in dolgoročnih trendov. Dobro količinsko stanje vodnega telesa podzemne vode pa dosežemo, ko odvzemi podzemnih voda [7]:

- ne presegajo razpoložljivih količin podzemnih voda,
- ne povzročajo pomembnih neugodnih sprememb kemijskega ali ekološkega stanja v povezanih površinskih vodah,
- ne povzročajo pomembnih poškodb kopenskih ekosistemov, odvisnih od podzemne vode in
- ne povzročajo vdorov slane vode.

V prispevku je predstavljena ocena potrebnih količin podzemnih voda za ohranjanje EOPV [8] in se nanaša na zahtevo iz tretje alineje prejšnjega odstavka.

2. Ekosistemi, odvisni od podzemne vode

V oceno količinskega stanja vodnih teles podzemnih voda smo vključili 39 območij (od skupno 48 območij) EOPV, ki so jih opredelili na Zavodu RS za varstvo narave [9]. Na območju Nature 2000 so določili 12 območij kopenskih EOPV (gozdni habitatni tipi) in 36 območij vodnih EOPV (habitati dvoživk in mehkužcev), določenih glede na ekološke zahteve vrst in habitatnih tipov, za katere je poznana odvisnost od podzemne vode. V Sloveniji se neugodno stanje ohranjenosti teh EOPV odraža predvsem s sušenjem in odmiranje gozdnih habitatov [10,11] in z upadom populacije vodnih EOPV [12,13].

Kopenski EOPV na območju Nature 2000 vključujejo 3 vrste gozdnih habitatnih tipov in so lahko predvsem pod vplivom podzemne vode ali pa pod vplivom tako poplavnih voda, kot podzemne vode. V neugodnem stanju ohranjenosti je opredeljenih vseh 12 območij gozdnih habitatov.

Med vodne EOPV prištevamo dvoživke, mehkužce, barja in močvirja, in goličave (skalovja, melišča in peščine). V študiji smo obravnavali le dvoživke (človeške ribice) in mehkužce (jamske školjke). Tako človeške ribice, kot školjke so vezane na podzemne tokove in na suhem ne preživijo. Na območju Nature 2000 je opredeljenih 25 območij, kjer se nahajajo človeške ribice. Od teh je 9 območij v neugodnem stanju ohranjenosti in 16 v ugodnem stanju ohranjenosti. Območje školjke je prav tako opredeljeno kot neugodno stanje ohranjenosti.

3. Metodologija

3.1 Ocena za kopenske ekosisteme, odvisne od podzemne vode na aluvialnih vodonosnikih

1)

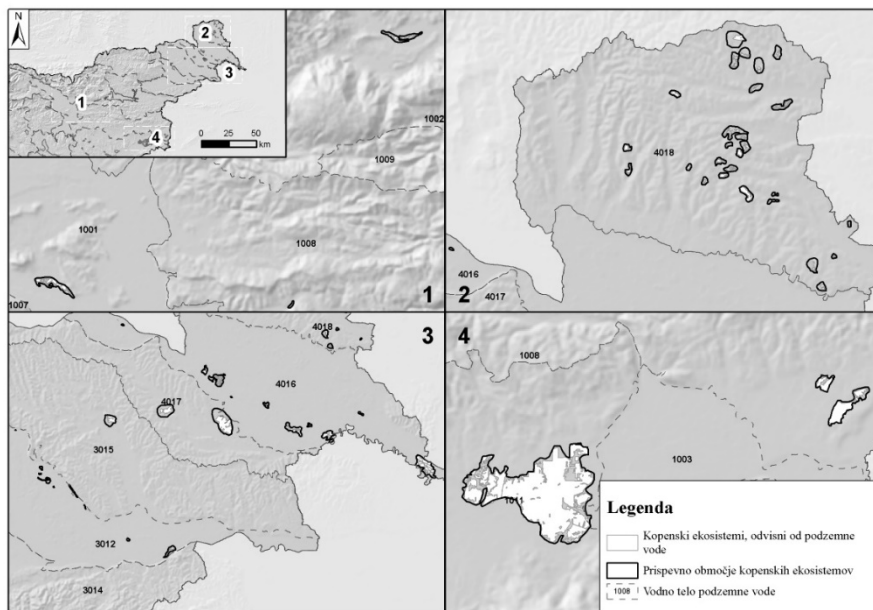
Vir vode za obravnavane kopenske EOPV (gozdove) so padavine in podzemna voda. Kot privzeto smo upoštevali, da gozdovi najprej porabijo razpoložljivo vodo iz padavin, preostalo potrebno količino vode pa nadomestijo s podzemno vodo. Količino vode, ki jo kopenski EOPV potrebujejo za obstoj smo privzeli 500 mm/leto [8].

V primerih, ko je količina razpoložljive vode iz padavin (P) manjša od 500 mm/leto, smo privzeli, da gozdovi nadomeščajo razliko (dV) s podzemno vodo:

$$dV = P - 500 \text{ (mm/leto)}$$

Za vsak EOPV smo izdelali konceptualni hidrogeološki model in določili prispevno območje posameznega habitata. To zagotavlja zadostno količino podzemne vode, ki jo potrebujejo EOPV za preživetje. V primeru odvzemov podzemne vode na določenih vplivnih območjih imajo lahko le ti vpliv na kopenske EOPV, kar je pomembno pri oceni razpoložljivih količin podzemne vode in načrtovanju rabe podzemne vode na teh območjih. Oceno smo izvedli na

ravni vodnih teles podzemnih voda s pomočjo podatkov iz vodno bilančnega modela GROWA-SI (30) [14] (Slika 1).

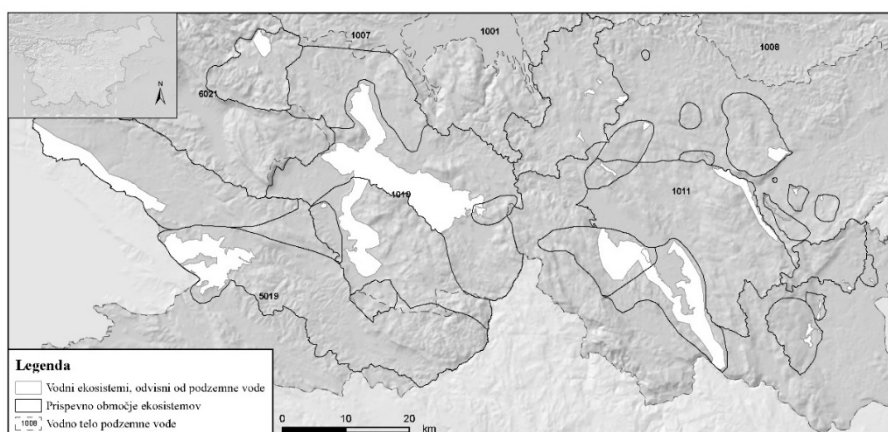


Slika 1 Območja kopenskih ekosistemov, odvisnih od podzemne vode [9] in njihova vplivna območja [8].

3.2 Ocena za vodne ekosisteme, odvisne od podzemne vode na kraških območjih

Vodni EOPV (človeške ribice in jamske školjke) so vezani na podzemne tokove in na suhem ne preživijo. Zaradi specifičnih hidrogeoloških razmer ima način pretakanja podzemne vode na krasu pogosto značilnosti površinskih odtokov. Zato smo pri oceni količine vode, ki zagotavlja ohranjanje vodnih EOPV privzeli, da ta količina ustreza ekološko sprejemljivemu pretoku (Q_{es}) in jo določili po analogiji določanja za površinske vode [15].

Za obravnavane vodne EOPV smo na podlagi poznavanja hidrogeoloških razmer (litološke zgradbe, orografskih značilnosti, vodovarstvenih območij, rezultatov sledilnih poskusov in mej vodonosnih sistemov podzemne vode) določili njihova prispevna območja [8] (Slika 2).



Slika 2 Območja vodnih ekosistemov, odvisnih od podzemne vode [9] in njihova prispevna območja [8].

4. Rezultati in diskusija

Ocene količin podzemnih voda za ohranjanje EOPV po posameznih vodnih telesih podzemne vode na območjih Nature 2000 so predstavljene v Preglednici 1. Pri upravljanju z vodami ta podatek pogosto obravnavamo kot ekološki odbitek.

Preglednica 1: Ocenjene količine podzemne vode za ohranjanje ekosistemov, odvisnih od podzemne vode (EOPV) [8].

Vodno telo podzemne vode		Površina (km ²)	GROWA-SI (30) napajanje (mm/leto)	Količina podzemne vode potrebne za ohranjanje EOPV		
				(mm/leto)	(m ³ /leto)	Delež napajanja (%)
VTPodV 1001	Savska kotlina in Ljubljansko Barje	774	393	1,5	1.127.989	0,4
VTPodV 1003	Krška kotlina	97	308	0,5	50.103	0,2
VTPodV 1006	Kamniško-Savinjske Alpe	1112	302	0,6	634.666	0,2
VTPodV 1007	Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko	850	346	0,2	187.130	0,1
VTPodV 1008	Posavsko hribovje do osrednje Sotle	1792	191	0,3	580.162	0,2
VTPodV 1010	Kraška Ljubljana	1307	403	50,0	65.336.015	12,4
VTPodV 1011	Dolenjski kras	3355	293	25,4	85.171.708	8,7
VTPodV 3012	Dravska kotlina	429	266	1,3	554.984	0,5
VTPodV 3015	Zahodne Slovenske gorice	756	93	0,2	176.701	0,3
VTPodV 4016	Murska kotlina	591	135	3,5	2.061.503	2,6
VTPodV 4017	Vzhodne Slovenske gorice	308	78	1,3	407.847	1,7
VTPodV 4018	Goričko	494	57	1,6	804.079	2,9
VTPodV 5019	Obala in Kras z Brkini	1589	259	31,6	50.247.517	12,2
VTPodV 6021	Goriška brda in Trnovsko-Banjška planota	1443	396	12,3	17.737.212	3,1

Ocenjeni ekološki odbitek na območjih vodnih teles podzemne vode z EOPV je v razponu med 0,1 % in 12 % napajanja. Največji ekološki odbitek je na območjih vodnih teles podzemne vode Kraška Ljubljana ter Obala in Kras z Brkini, najmanjši pa na območjih vodnega telesa Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko.

V oceni določena prispevna območja EOPV so občutljiva s stališča rabe vode. Zato je na teh območjih v prihodnje potrebno skrbno načrtovanje dodatnih odvzemov, saj lahko ti vplivajo na stanje ohranjenosti EOPV.

Predstavljena ocena količin podzemnih voda za ohranjanje EOPV je predvsem zaradi pomanjkljivih podatkov povezana z določenimi negotovostmi. Najbolj pomanjkljivi so podatki o dejanskih potrebah obravnavanih habitatnih tipov po podzemni vodi.

5. Zaključek

Predstavljena ocena količin podzemnih voda za ohranjanje EOPV [8] je prva tovrstna ocena na celotnem območju države. Izdelana je bila na ravni vodnih teles podzemne vode in namenjena predvsem strateškim odločitvam pri upravljanju podzemnih vodnih virov. Uporabljena metodologija izhaja iz rezultatov vodnobilančnega modela GROWA-SI (30) [14] in opredeljenih EOPV na območjih Nature 2000 [9], ki ob upoštevanju hidrogeoloških značilnosti slovenskega ozemlja omogoča oceno ekološkega odbitka, enega od ključnih podatkov za oceno razpoložljivih količin podzemnih voda.

6. Viri

- [1] RICHARDSON, S., IRVINE, E., FROEND, R., BOON, P., BARBER, S. AND BONNEVILLE, B., 2011. *The Australian groundwater-dependent ecosystems toolbox part 1: Assessment Framework. Waterlines Report Series No. 69* [online]. Natural water Commission Canberra, Australia. Dostopno na: http://nwc.gov.au/__data/assets/pdf_file/0006/19905/GDE-toolbox-part-1.pdf (dostop 2. februar 2015).
- [2] WetlandInfo, 2014. *Groundwater dependent ecosystems* [online]. Queensland Government, Queensland. Dostopno na: <http://wetlandinfo.qlld.gov.au/wetlands/ecology/aquatic-ecosystems-natural/groundwater-dependent/> (dostop 14. marec 2015).
- [3] IAH, 2016. *Strategic Overview Series: Ecosystem Conservation & Groundwater* [online]. Dostopno na: <https://iah.org/wp-content/uploads/2016/04/IAH-SOS-Ecosystem-Conservation-Groundwater-9-Mar-2016.pdf> (dostop 10. januar 2017).
- [4] ARSO, 2009. *Metodologija za ugotavljanje stanja vodnih teles podzemne vode* [online]. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. Dostopno na: <http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/Metodologija.pdf> (dostop 12. junij 2014).
- [5] EC, 2011. Technical report on Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems. Technical report No. 6. Common Implementation Strategy, European Commission.
- [6] DIREKTIVA, 2000. Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000, ki določa okvir za delovanje Skupnosti na področju vodne politike.
- [7] European Commission 2009: Guidance on groundwater status and trend assessment. WFD CIS Guidance Document No. 18. Technical Report 026-2009.
- [8] JANŽA, M., ŠRAM, D., MEZGA, K., ANDJELOV, M. IN UHAN, J., 2016. *Ocena potrebnih količin podzemnih voda za ohranjanje ekosistemov in doseganje dobrega ekološkega stanja površinskih voda*. Geologija, 59(2), 221-232.
- [9] ZRSVN, 2014. Pregled ekosistemov odvisnih od podzemnih vod (digitalni informacijski sloj). Zavod RS za varstvo narave.
- [10] TOME, S., 2010. *Ogroženost gozdov*. Naravoslovna solnica, 14(2), 8-13.
- [11] DREO, T., 2016. Bakterijske bolezni gozdnega drevja = Bacterial diseases of forest trees (conference paper). V: JURČ, M., ur. *Invasivne tujerodne vrste v gozdovih ter njihov vpliv na trajnostno rabo gozdnih virov: zbornik prispevkov posvetovanja z mednarodno udeležbo = Invasive alien species in forests and their impact on the sustainable use of forest resources: lectures presented at the conference with international participation. XXXIII. Gozdarski študijski dnevi, Ljubljana, 14.-15. april 2016 = XXXIII. Forestry Study Days, Ljubljana, 14.-15. april 2016*. Ljubljana, 25-33.
- [12] SKET, B., 1997. Distribution of *Proteus* (Amphibia: Urodela: Proteidae) and its possible explanation. *Journal of Biogeography*, 24(3), 263-280.
- [13] BULOG, B., 2012. Ocena okoljskega onesnaženja kraškega podzemlja v Jelševniku pri Črnomlju in vplivi na črno podvrsto močerila (*Proteus anguinus parkelj*, Amphibia, Proteidae). Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.

[14] ANDJELOV, M., MIKULIČ, Z., UHAN, J. IN DOLINAR, M., 2013. Vodna bilanca z modelom GROWA-SI za količinsko ocenjevanje vodnih virov Slovenije. V: 24. *Mišičev vodarski dan 2013, Maribor, 4. december 2013*. Maribor, 127-133. Dostopno na: <http://mvd20.com/LETO2013/R17.pdf> (dostop 14. avgust 2015).

[15] URADNI LIST RS, št. 97/2009. Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka.

VODOTOKI – HIDROLOŠKE NARAVNE VREDNOTE IN POSEGI NA NJIH

Mojca Tomažič, visoka naravovarstvena svetnica¹, Mina Dobravc, višja naravovarstvena svetovalka²

¹Zavod RS za varstvo narave, Območna enota Celje, Vodnikova ulica 3, 3000 Celje, ²Zavod RS za varstvo narave, Osrednja enota, Tobačna 5, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Vodotoki so hidrološke naravne vrednote, ki so le ena od dvanajstih zvrsti naravnih vrednot. Glede na nastanek lahko vodotoke opredelimo kot naravne (reke, potoki) in umetne (kanali, mlinščice, jarki). Vsi vodotoki niso hidrološke naravne vrednote, prepoznamo jih v procesu vrednotenja narave, na podlagi meril vrednotenja. Prispevek bo obravnaval zgolj hidromorfološke lastnosti vodotokov, in sicer kot pogoj za določitev naravne vrednote.

Gradnja in posegi v vodotoke vplivajo na lastnosti vodotokov. V prispevku želiva prikazati, kako določeni posegi vplivajo na naravno vrednoto, posamezno in kumulativno. Cilj naravovarstvene stroke je, da se lastnosti vodotokov - in s tem hidrološke naravne vrednote - kljub posegom vanje ohranjajo.

Ključne besede:

hidrološke naravne vrednote, merila vrednotenja, gradnja in posegi, kumulativa.

1. Hidrološke naravne vrednote

Slovenija je bogata z vodo, ki jo v naravi srečamo v različnih oblikah. Vodotoki, na katere se bova osredotočili v prispevku, so zgolj ena od oblik, v katerih se pojavlja voda in sodijo med hidrološke naravne vrednote, ki so ena od dvanajstih zvrsti naravnih vrednot. Hidrološke naravne vrednote so deli narave, ki so z vidika tekočih in stoječih voda:

- izjemni zaradi svoje oblike, dimenzije, načina delovanja,
- redki na zaključenem geografskem območju,
- naravno ohranjeni,
- tipični,
- kompleksno povezani pojavi oz. deli narave,
- imajo za naš narod velik simbolni pomen,
- imajo znanstveno - raziskovalni pomen.

V naravi se pojavljajo kot reka, potok, jezero, morje, del reke, potoka, jezera ali morja, ledenik, izvir, slapišče ali slap, ponor, estavela, mrtvica, mlaka itd.

Na Zavodu RS za varstvo narave (Zavod) smo hidrološke naravne pojave razdelili v tipe in za vsak tip pripravili merila vrednotenja, na podlagi katerih se pojav ovrednoti. V kolikor lastnosti hidrološkega naravnega pojava zadostijo merilom vrednotenja, se pojav prepozna za hidrološko naravno vrednoto. Trenutno je v Registru naravnih vrednot 1644 hidroloških naravnih vrednot, kar predstavlja deset odstotkov vseh naravnih vrednot.

Hidrološke naravne vrednote predstavljajo naše bogastvo, ki ga želimo deliti z našimi potomci. Ohranjamo jih s pomočjo različnih ukrepov varstva, ki jih glede na pomen naravne vrednote izvajajo država ali lokalne skupnosti. V Pravilniku o določitvi in varstvu naravnih vrednot (Uradni list RS, št. 111/04, 70/06, 58/09, 93/10, 23/15) so določene varstvene in razvojne usmeritve, ki zagotavljajo ohranjanje lastnosti, zaradi katerih je del narave določen za naravno vrednoto. Naravna vrednota se lahko tudi zavaruje in s tem pridobi status naravnega spomenika, naravnega rezervata ali strogega naravnega rezervata. Tako usmeritve, s katerimi usmerjamo ravnanje na naravni vrednoti, postanejo režimi, ki določijo pravila ravnanja na zavarovanem območju.

Zaradi različne rabe vodotokov in posegov vanje imamo v Sloveniji le še malo naravno ohranjenih vodotokov. V prispevku želiva prikazati, kako določeni posegi vplivajo na hidrološko naravno vrednoto, bodisi posamezno bodisi kumulativno. Cilj naravovarstvene stroke je, da se hidrološke lastnosti in s tem hidrološke naravne vrednote ohranjajo kljub posegom vanje.

2. Posegi v vodotoke

V literaturi je zaslediti preko 80 različnih vrst ureditev vodotokov. Med njimi prednjačijo tehnični (togi) pristopi, sonaravnih ali naravovarstveno ustrežnejših je precej manj. Pri togih ureditvah vodotokov se uporablja beton, betonske plošče, asfalt, žice, železne tirnice, pri sonaravnih ureditvah pa večinoma naravni materiali – les, zemlja, kamenje.

Na vodotokih, ki so hidrološke naravne vrednote, je potrebno ureditve, poseganja v vodotoke in gradnje načrtovati s posebno skrbnostjo in pozornostjo. V poštev pridejo sonaravni pristopi, pri načrtovanju posegov je potrebno upoštevati tudi vplive, ki se odrazijo dolvodno ali gorvodno na vodotoku ter v območju ob vodotoku. Pred vsakim poseganjem v vodotok in v njegovo neposredno bližino, naj gre za ureditev, gradnjo ali prečenje, je potrebno upoštevati stanje na celotnem vodotoku in tudi na porečju (upoštevaje velikost posega). Šele na podlagi celovitega pregleda se ugotovi, ali je dodatno poseganje potrebno in izbrani način le-tega ustrezen, ob predpostavki, da naj bodo posledice minimalne oz. da jih omilimo do tolikšne mere, da hidrološka naravna vrednota ne bo dodatno poškodovana ali celo uničena. Potrebno je najti rešitev, ki ne bo povzročala novih problemov, ali pa jih zgolj prenašala po vodotoku in jih s tem kumulirala na drugih lokacijah.

Posamičen poseg običajno nima bistvenega vpliva na vodotok ali del vodotoka. Več različnih posegov, tudi takšnih, ki se vsakoletno ponavljajo (košnja trave, čiščenje in sekanje obvodne vegetacije, odstranjevanje prodnih in drugih nanosov ter drugo), pa lahko privede do bistvenih sprememb v hidrologiji in morfologiji vodotoka. Potrebno je upoštevati, da vodotoki tečejo skozi več lokalnih skupnosti, preko urbaniziranih območij, po kmetijski krajini, itd. Vse prepogosto se jih namreč obravnava le od meje do meje ali od točke do točke.

S stališča naravovarstva je izjemnega pomena, da v strokovne presoje vključimo vse vidike in poiščemo najustreznejše in naravovarstveno sprejemljive rešitve. Pretirano poseganje se pogosto lahko obrne v neljube procese, kot so plazovi, spodjedanja, polzenja, poplave, upadi podtalnice in drugo.

Glede na vplive posegov v vodotoke, posege delimo na neposredne in posredne.

2.1 Neposredni posegi v vodotoke

Najpogostejši neposredni posegi v vodotoke so v nadaljevanju podani in na kratko opisani.

- Prestavitev naravne struge: Je korenit poseg, ki v celoti spremeni lastnosti in značaj vodotoka. Običajno se nova struga oblikuje kot kanal s pravilnim (ustreznim glede na hidrološke izračune) prečnim in vzdolžnim profilom. Pretok je nadzorovan. Stara struga se navadno zasuje.

- Kanaliziranje vodotokov je prav tako korenita ureditev, ki v celoti ali deloma spremeni hidrološke in morfološke lastnosti in značaj vodotoka. Kanalizirajo se krajši deli vodotoka, predvsem tisti, ki potekajo skozi pozidan, naseljen oz. urbaniziran prostor. Vodotok je lahko speljan v cev, prekrit z betonskimi ploščami, struga vodotoka je betonska ali kamnita.
- Izgradnja nove struge ob ohranitvi prvotne. Nova struga se uredi kot razbremenilni kanal, ki prevzema visoke vode ali viške vode. Po stari strugi se pretaka tolikšna količina, kot jo prenese osnovna struga.
- Izgradnja nove struge za odvod vode. Določena količina vode se odvede po kanalu ali ceveh za potrebe energetike, industrije (tehnološka voda), kmetijstva (namakanje), ribogojstva, turizma (okrasni ribniki).
- Sprememba pretočnega profila. Za potrebe povečanja ali zmanjšanja pretoka se izvedejo različne ureditve kot poglobitev in/ali razširitev struge, tlakovanje dna vodotoka, izvedba pragov in jezov ter drugo.
- Ureditev brežin in dna struge. Pretok vode se lahko regulira tudi z ureditvijo brežin. Med najmanj škodljive štejemo odstranitev "ovir" v vodotoku, kot so skale, podrta drevesa, grmovna zarast, nanešeno vejevje, posekana vegetacija, različni nanosi. Brežine lahko uredimo sonaravno (lesene jezbece, popleti, fašine, potaknjenci in zatravitev). Drugi načini poseganja so tlakovanje brežin in dna vodotoka, betonske stene, kamniti navpični zidovi, kamnometi, ki predstavljajo togo tehnično rešitev.
- Izgradnja zadrževalnikov in nasipov. Glede na način zadrževanja vode so lahko suhi ali mokri. Kadar so zgrajeni stran od vodotoka, je poseganje v vodotok minimalno (na stičnih točkah), kar predstavlja dobro naravovarstveno rešitev.

2.2 Posredni posegi v vodotoke

To so aktivnosti ali posegi v prostor, ki vplivajo na vodotoke, čeprav vanje neposredno ne posegajo:

- odvzemi ali odvodi vode za namakanje in gradnjo energetskih objektov, gradnja zadrževalnikov v porečju, gradnja nasipov za obrambo pred poplavami, ureditve poplavnih ravnic, ojezeritve, okrasni ribniki, različne infrastrukturne ureditve, prečenja vodotokov;
- športno rekreativne aktivnosti in gradnja športnih objektov, naprav za rekreacijo, turistični objekti;
- gradnja in urejanje stanovanjskih sosesk, obrtno industrijskih con, urejanje kmetijskih zemljišč itd.

Vsi naštetí posegi v prostor izven vodotokov vplivajo na način odtekanja voda iz pokrajine. Praksa kaže, da posegi in gradnja nima takojšnjega vpliva na same vodotoke, se pa ti zaradi drugačne dinamike pretokov voda in plavin začnejo morfološko spreminjati. Še več, zaradi povečane urbanizacije in dejavnosti v prostoru se slej ali prej poseže tudi v vodotoke in njihov obrežni pas. Predvsem gre za varstvo pred poplavami, odvodnjavanje padavinske vode z urbaniziranih površin, ureditve poti, transport, kmetijske dejavnosti in drugo.

2.3 Naravovarstvene ureditve vodotokov

Prikazani so trije primeri dobrih praks urejanja vodotokov. Prvi primer se nanaša na zavarovanje brežine Šmarskega potoka, kjer je erozija na delu Šmarskega potoka v Stranju

ogrožala stabilnost lokalne ceste, voda se je zajedala tudi v kmetijska zemljišča. Za umiritev erozije je bil odsek Šmarskega potoka ob lokalni cesti celostno urejen.

Uporabljeni so bili vrbovi popleti ali vrbove fašine, izvedene vrbove blazine ter podtaknjeni vrbovi količki. Različni načini zavarovanj dobro stabilizirajo brežine potoka, ob ukoreninjenju zagotavljajo dolgoročno obstojnost, izdelani so iz lesa in vej iz neposredne okolice in so izvedljivi z majhnim vložkom sredstev. Za izvedbo ni potrebna specializirana ali težka mehanizacija.

Pri drugem primeru gre za renaturacijo dela uravnane struge vodotoka Tresenec na Cerknškem polju, kjer so obnovili nekdanji potek struge na dobrem kilometru in pol dolgem odseku regulacije. Potek regulirane in stare struge je lepo viden na digitalnem ortofoto-posnetku.



Slika 1 Erozija brežine - april 2012 (foto: arhiv ZRSVN)



Slika 2 Zavarovanje brežine - april 2014 (foto: arhiv ZRSVN)



Slika 3 Po posegu - marec 2013 (foto: arhiv ZRSVN)



Slika 4 Po posegu - november 2016 (foto: arhiv ZRSVN)



Slika 5. Tresenec - regulirana in stara struga z meandri (vir: DOF, GURS2014)



Slika 6 Tresenec po posegu (foto: arhiv ZRSVN)



Slika 7 Tresenec po posegu (foto: arhiv ZRSVN)

Tretji primer, zamenjava jeza na Bači v Bači pri Modreju s talnim pragom, pokaže rekonstrukcijo prečnega objekta in vzpostavitev prehodnosti za vodne organizme. Sedem metrov visok opuščeni jez za vodno elektrarno, ki so jo zaradi zaježitve iztoka z Mostarskim jezerom prenehali uporabljati leta 1939, je visokovodni val Bače jeseni 2006 na pol podrli. Podrti jez so zamenjali s talnim pragom, zgrajenim iz velikih skal, s prelivom za nizke vode. Prag drži dno struge na primerni višini, obenem pa omogoča prehajanje vodnemu življu, kar prej ni bilo mogoče.



Slika 8 Nekdanji jez na Bači - marec 2007 (foto: arhiv ZRSVN)



Slika 9. Talni prag na mestu nekdanjega jeza - oktober 2009 (foto: arhiv ZRSVN)

3. Zaključek

Za vodotoke, ki so določeni za hidrološke naravne vrednote, bi moral veljati sonaravni pristop ne glede na to, ali so v pristojnosti lokalne skupnosti ali države. To pomeni, da se pri poseganju vanje ohranjajo lastnosti, katere jih opredeljujejo, ter da se v maksimalni meri uporabljajo in izvajajo ureditve, ki posnemajo naravne lastnosti vodotoka, stanje in procese v naravi.

V celotnem procesu, od evidentiranja lokacij ureditev, načrtovanja, iskanja ustrezne rešitve ob najmanjših posledicah, do upoštevanja izkušenj v podobnih primerih, je potrebno delovati na način, da se lastnosti hidroloških naravnih vrednot ohranjajo, ne konzervirajo.

Vodotok lahko hitro spremenimo v "lepo" urejeno strugo, ki jo do neke mere nadzorujemo, vendar nas narava vedno znova opomni na naša dejanja. Iluzorno je pričakovati, da v vodotoke ne bi več posegali, zagotovo pa je nastopil čas, da spremenimo način razmišljanja in poseganja vanje.

4. Zahvala

Za vso pomoč pri nastajanju prispevka se zahvaljujema sodelavkam in sodelavcem Zavoda RS za varstvo narave.

5. Viri

- [1] Zakon o ohranjanju narave – ZON (Uradni list RS, št. 56/1999, 31/2000 - popr., 110/2002 - ZGO1, 119/2002, 41/2004, 61/2006 - ZDru-1, 32/2008 - Odl. US, 8/2010 - ZSKZ-B, 46/2014).
- [2] Uredba o zvrsteh naravnih vrednot (Uradni list RS, št. 52/02, 67/03)
- [3] Pravilnik o določitvi in varstvu naravnih vrednot (Uradni list RS, št. 111/04, 70/06, 58/09, 93/10, 23/15)
- [4] BERGINC, M., KREMESEC – JEVŠENAK, J., VIDIC, J., 2006. Sistem varstva narave v Sloveniji. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor.
- [5] REPNIK MAH, P., 2010. Katalog dobrih praks urejanja voda. Slovenski vodar, 21/22, 79 -82.
- [6] MARUŠIČ, J., PENKO SEIDL, N., 2005. Pravila za vzdržno urejanje posegov v vode: raziskovalno razvojni projekt Ciljnega raziskovalnega programa "Konkurenčnost Slovenije 2001-2006": končno poročilo. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za krajinsko arhitekturo.
- [7] STRASSBERGER, S., 2009. Sonaravno urejanje voda v načrtovanju podeželskega prostora, Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Magistrska naloga št. 57.
- [8] Dokument dobre prakse ali ... Kaj moram vedeti kot lastnik ali upravljavec priobalnega zemljišča ob vodotoku 2. reda?, 2012. Zavod RS za varstvo narave. Projekt "Spodbujanje tradicije obrezovanja glavatih vrb in upravljanje s habitatom puščavnika (*Osmoderma eremita*)"
- [9] Strokovno mnenje ZRSVN glede primerov sonaravnega urejanja površinskih voda, št. 8-II-19/1-O-14/MN, ZRSVN, 2014
- [10] LIFE 06 NAT/SLO/000069 "Presihajoče Cerkniško jezero" "Akcijski plan renaturacije vodotokov na območju Cerkniškega jezera, Notranjski regijski park. Available from: http://life.notranjski-park.si/cmsfiles/cf_589.pdf

POMEN BIOFILMA V TEKOČIH VODAH – BIOFILM KOT PROMOTOR EKOLOŠKIH PROCESOV IN INDIKATOR STANJA

Nataša, Mori¹, dr., Barbara Debeljak¹, univ. dipl. biol., Tjaša Kanduč², dr., David Kocman²,
dr., Tatjana, Simčič¹, dr.

¹Nacionalni inštitut za biologijo, Oddelek za raziskave organizmov in ekosistemov, Večna
pot 111, 1000 Ljubljana; ²Inštitut Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju, Jamova 39, 1000
Ljubljana

POVZETEK

Tekoče vode so odprti ekosistemi, ki večino snovi prejmejo iz pokrajine, skozi katero tečejo. Kakovost in količina vode ter stanje habitatov in organizmov v vodnih ekosistemi so neposredni odraz podnebja, naravnih značilnosti porečja ter človekove dejavnosti. Delno očiščene ali neočiščene odpadne vode ter spiranje s kmetijskih površin povečajo vnos hranilnih snovi v ekosistem. Posledica je povišana biološka produkcija in več odpadne organske mase, ki se pospešeno razgrajuje tudi s pomočjo mikroorganizmov. Mikroorganizmi obraščajo površino dna in se nahajajo tudi globlje v substratu v obliki biofilma. Biofilm, sestavljen iz kompleksne združbe mikroorganizmov in zunajceličnega matriksa, v procesu mineralizacije učinkovito pretvarja kompleksnejše organske snovi v enostavne anorganske spojine. Večja površina substrata za obrast biofilma pomeni večjo sposobnost sistema za samoočiščenje. V skrajnem primeru, ko voda teče po betonskem koritu ali zamuljenem dnu, je ta sposobnost močno okrnjena. V tekočih vodah s hidrogeomorfološko raznolikim peščenim in prodnatim dnem, kjer voda na različnih predelih vstopa, se nekaj časa pretaka med zrni proda in peska ter nato ponovno izstopa iz sedimenta, ta stik omogoča kompleksne presnovne poti, ki v zadnji fazi vodijo v čistejšo vodo. Hidromorfološki posegi močno okrnijo eno izmed ključnih ekosistemskih storitev tekočih voda - doprinos k razbremenitvi ekosistema. To se odrazi v slabši kakovosti tako površinskih kot tudi podzemnih vod, ki so vir pitne vode. V članku so predstavljeni različni načini ocene aktivnosti biofilma v tekočih vodah. Na primeru različnih slovenskih rek so povzeti najnovejši izsledki o tem, kako človek s svojim delovanjem v prispevnem območju tekočih voda in neposredno v njih vpliva na mikrobne procese, ki so posredna ocena samočistilne sposobnosti ekosistema.

Ključne besede:

ekosistemske storitve, procesi kroženja snovi, stabilni izotopi, biofilm

1. Uvod

Ekosistemi celinskih voda zagotavljajo družbi številne dobrine in storitve, ki jih s skupnim izrazom imenujemo ekosistemske storitve (ES). Ločimo tri glavne skupine ES, ki vključujejo preskrbo z vodo, hrano in energijo (oskrbovalne storitve), samoočiščevalne procese in uravnavanje poplav (regulatorne storitve), rekreacijo, turizem in eksistenčne vrednote (kulturne storitve), ki človeka zadevajo neposredno ter podporne storitve, ki so potrebne za vzdrževanje drugih storitev (npr. kroženje hranil, primarna produkcija) [1]. Tekoče vode so odprti sistemi, ki sprejemajo snovi iz celotnega prispevnega območja, jih prenašajo po toku navzdol in jih na različnih odsekih z različno intenzivnostjo pretvarjajo ali kopičijo. Zdrav

ekosistem, oziroma ekosistem v dobrem stanju, je ekosistem, ki je v ravnotežju oziroma homeostazi, kar pomeni, da je sposoben trajno samovzdrževati zgradbo in procese kljub zunanjim stresorjem. Poleg tega zdrav ekosistem zagotavlja ljudem kakovostne dobrine in storitve [2]. Ključni stresorji, ki ogrožajo dobro stanje naših voda, so antropogene aktivnosti v prispevnem območju (kmetijstvo, urbanizacija, industrija), ki povzročajo povečan vnos organskih snovi, hranil in strupenih snovi v vode, hidromorfološke obremenitve in spreminjanje podnebja. Navedeni stresorji nikoli ne delujejo posamezno, ampak v različnih kombinacijah, ki imajo lahko sinergistične pa tudi antagonistične učinke.

Učinkoviti samočiščevalni procesi v tekočih vodah so ključni za vzdrževanje dobrega stanja voda. Promotorji samoočiščevalnih procesov, torej procesov porabe in razgradnje organske snovi in hranil, so rastline, živali in mikroorganizmi. Večina teh bioloških elementov (makrofiti, perifiton, vodni nevretenčarji, ribe) se uporablja za oceno ekološkega stanja površinskih voda v okviru nacionalnega monitoringa. Ključna komponenta samoočiščevalnih procesov pa je tudi biofilm, združba avtotrofnih in heterotrofnih mikroorganizmov (glive, bakterije, alge) v zunajceličnem matriksu, ki obrašča substrat v rečni strugi. Na površini substrata je biofilm pretežno avtotrofen in ga imenujemo perifiton, globje v rečnem dnu, ki se velikokrat nadaljuje oziroma povezuje z vodonosnikom, pa potekajo heterotrofni procesi. Biofilm v tekočih in podzemnih vodah ima ključno vlogo pri procesih razgradnje organske snovi, saj velik del površinske vode iz rečne struge vsaj del poti teče skozi medzrnske prostore v rečnem dnu in je v intenzivnem stiku z biofilmom. Rečna voda pogostoma hkrati napaja vodonosnike in se na poti do globljih predelov vodonosnika s pomočjo biofilma precej očisti. Številni antropogeni posegi kot je spiranje organske snovi ter glinenih in peščenih delcev s kmetijskih površin, hidromorfološko poenostavljanje sestave rečnega dna (zmanjševanje geomorfološke pestrosti struktur v strugi), ter pretiran točkovni vnos hranil ali toksičnih snovi, povzročajo krnjenje samočistilnih sposobnosti vodnih ekosistemov. Preučevanje in dobro poznavanje omejitvenih okoljskih dejavnikov, ki zavirajo optimalne samočistilne procese oziroma optimalno delovanje biofilma, je ključno za uspešnejše upravljanje z vodami. Za dobro razumevanje teh procesov je potrebno sodelovanje hidrologov (hidrološko modeliranje), kemikov (spremljanje kemijskih pretvorb) in biologov oziroma mikrobiologov (spremljanje aktivnosti mikrobnih združb).

V prispevku smo prikazali nekaj primerov, kako meriti aktivnost biofilma, njegove ekološke funkcije ter uporabnost različnih metrik, ki opisujejo strukturo in funkcijo biofilma kot indikatorja stresorjev v okolju. Osredotočili smo se predvsem na vpliv kmetijstva in urbanizacije v porečju ter vpliv zamuljevanja na ekološke procese v plitvih (10-20 cm) in globljih delih rečnega dna (20-40 cm).

2. Biofilm kot promotor dobrega ekološkega stanja

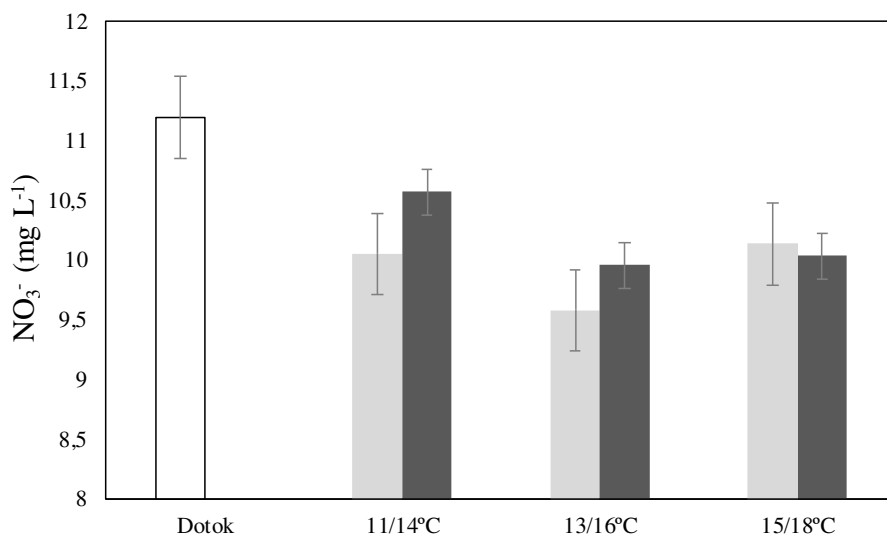
Biofilm, ki vključuje raznovrstno združbo tako avtotrofnih (primarni producenti) kot heterotrofnih mikroorganizmov (razgrajevalci), je v vodnih ekosistemih ključna komponenta ogljikovega cikla (pretvorbe kompleksnih organskih spojin, npr. ogljikovih hidratov do končnih spojin, kot sta CO_2 in CH_4), kot ostalih elementov (dušika, fosforja, žvepla, itd.) (3). Ko se voda z raztopljenimi hranili in detritom pretaka skozi medzrnske prostore v rečnem dnu, je v intenzivnem stiku z biofilmom in procesi pretvorbe in razgradnje so intenzivni. Raziskave so pokazale velike razlike v kemiji vode na območjih, ko površinska voda vstopa v rečno dno (npr. začetek prodišča) v primerjavi z območji, ko se po določeni dolžini (nekaj deset metrov) podzemnega, medzrnskega toka izliva nazaj v rečno korito (npr. na koncu prodišča) (4).

Ker v Sloveniji skoraj ni raziskav ekoloških procesov v rečnih sedimentih (z izjemo raziskav perifitona in procesov razgradnje detrita), smo zasnovali pretočne laboratorijske inkubatorje, s katerimi bi opazovali procese pretvorbe hranil in aktivnosti biofilma v raznolikih rečnih

sedimentih (5) (Slika 1). Slika 2 prikazuje, kako hitro se porabljajo nitrati v sedimentih iz oligotrofnega in evtrofnega odseka Kamniške Bistrice ob različnih temperaturah. Rezultati potrjujejo, da se v vodi, ki se pretaka skozi rečni sediment, naseljen z raznoliko združbo mikroorganizmov, značilno zmanjšuje koncentracija hranil antropogenega izvora



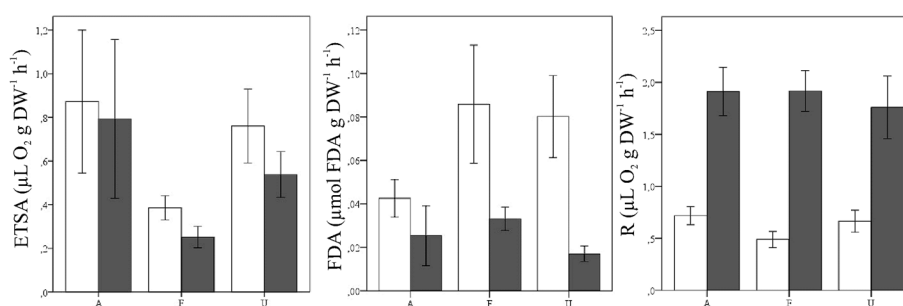
Slika 3 Pretočni inkubator za sedimente, kjer je mogoče meriti respiracijo (porabo kisika) v različnih sedimentih ob kontroliranih pogojih pretoka in temperature.



Slika 2 Poraba nitrata v pretočnem inkubatorju, napolnjenem s sedimenti iz oligotrofnega (Sp. Stranje – svetlo siv stolpec) in evtrofnega (Videm – temno siv stolpec) odseka Kamniške Bistrice ob različnih temperaturah. Dolžina pretočnega inkubatorja je 10 cm, pretok je bil 7 mL min⁻¹. Sedimenti so bili nabrani v poletni sezoni.

3. Biofilm kot indikator različnih stresorjev

Spiranje organskih, glinenih in peščenih delcev s kmetijskih površin povzroča mašitev medzrnskih prostorov in preprečuje vstopanje obremenjene površinske vode v rečno dno in nadalje v podtalnico, kjer bi bila v stiku z biofilmom in bi se tako očistila. Ugotovitev številnih raziskav je, da z uporabo različnih metrik biofilma lahko zaznamo odziv bodisi funkcije bodisi strukture biofilma na različne stresorje (6, 7). V naših raziskavah, ki so potekale na različnih pritokih Save, smo se osredotočili na 3 metrike, ki merijo aktivnost biofilma, in sicer metodi ETSA (aktivnost respiratornega sistema) in FDA (aktivnost specifičnih hidrolitičnih encimov) ter respiracijo (poraba kisika v sedimentih). Glavni cilj raziskave je bil bolje razumeti povezavo med odzivom biofilma in vplivom rabe prostora v porečju. Tovrstne raziskave predstavljajo izziv, saj je težko ločiti odziv biofilma na naravne spremembe hkrati z odzivi zaradi pritiskov spremenjene rabe tal. Velik problem predstavlja tudi pojavljanje večih stresorjev hkrati, ki imajo lahko sinergističen ali pa antagonističen učinek (8). Kmetijska raba zemlje je pogosto povezana z odstranitvijo obrežne vegetacije in s povečanjem vnosa hranil in finih sedimentov v vodo, medtem ko se urbanizacija kaže v povečanem površinskem odtoku, točkovnih vnosih očiščenih ali delno očiščenih odpadnih ali meteoritnih voda ter kanaliziranih strugah. Povečana količina hranil lahko poveča respiracijo (intenzivira procese razgradnje), medtem ko povečana vsebnost finih sedimentov procese razgradnje zavira. Kljub tem izzivom so pridobljeni podatki pokazali, da so izbrane tri metrike uporabne za oceno vpliva rabe prostora na procese razgradnje v rečnih sedimentih (Slika 3). Na rečnih odsekih, ki so izpostavljeni kmetijski rabi in urbanizaciji, je aktivnost biofilma, merjena kot aktivnost respiratornega sistema (ETSA), povečana, aktivnosti hidrolitičnih encimov in poraba kisika (respiracija) pa zmanjšana. ETSA meri potencialno aktivnost tako anaerobnih kot aerobnih mikroorganizmov, z metodo FDA merimo aktivnost hidrolitičnih encimov, ki razgrajujejo kompleksne organske spojine v manjše, respiracija (R) pa meri trenutno aktivnost aerobnih mikroorganizmov. Povišane vrednosti ETSA in R torej nakazujejo evtrofikacijo (vnos hranil), nižje FDA vrednosti pa manj kompleksnih organskih spojin kot so npr. huminske kisline. Razvidna je tudi vertikalna stratifikacija procesov, kjer se ETSA in FDA zmanjšata v globljih sedimentih, R pa je povečana. Prvi dve se znižujeta zaradi postopne porabe hranil, ko se voda pretaka skozi medzrnske prostore s površine v podzemlje, slednja pa se povišuje zaradi povečevanje deleža finih sedimentov z globino. Na površini vodni tok namreč fine sedimente konstantno spira, v globljih delih pa se le-ti nalagajo. Seveda v primeru, ko ne prihaja do prekomernih vnosov.

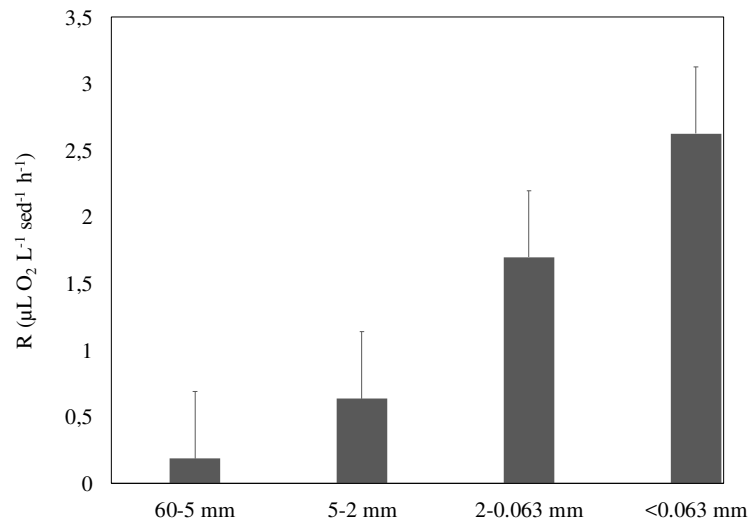


Slika 3 Aktivnost biofilma merjena kot ETSA, FDA in respiracija (R) v sedimentih 5 rek (Kamniška Bistrica, Selška Sora, Tržiška Bistrica, Kokra, Gradaščica na lokacijah z različno rabo prostora (A – prevladujoče kmetijske površine; U – prevladujoča urbana območja, F – prevladujoče gozdne površine) ter na dveh globlinah (bel stolpec: 10 – 20 cm; siv stolpec: 20 – 40 cm).

Kot že omenjeno, povečane količine finih sedimentov (glinenih in peščenih delcev) pomenijo do določene mere povečano aktivnost biofilma in s tem intenzifikacijo procesov razgradnje, saj se povečuje površina za obrast biofilma ter količina dostopnih hranil v medzrnskih prostorčkih. Ko je presežena kritična količina vnešenih finih delcev, pa prihaja do zaviranja

procesov, saj se medzrnski prostori zamašijo in preprečujejo dotok snovi in kisika. Prihaja do anaerobnih procesov in nastajanja toksičnih produktov (npr. vodikov sulfid).

Slika 4 prikazuje, kako se intenziteta respiracije (R) povečuje na sedimentih z manjšo velikostjo zrn. Kontroliran laboratorijski poskus, kjer smo merili respiracijo na sedimentih, ki smo jih prenesli iz struge Kamniške Bistrice ter jih v laboratoriju, s pomočjo presejalnih sit ločili v različne teksturne razrede, je jasno pokazal, da je intenziteta razgradnje, v našem primeru merjena kot intenziteta porabe kisika, v aerobnih okoljih značilno pogojena s teksturo (granulacijo) zrn (5).



Slika 4 Respiracija (R) merjena kot poraba kisika na liter sedimenta v eni uri na sedimentih z različno teksturo (zrnatostjo).

4. Zaključki

Dandanes je večina voda pod vplivom podnebnih sprememb in vplivom rabe prostora v zaledju oziroma vplivnem območju. Te spremembe vključujejo povečevanje kemičnega onesnaževanja in eutrofikacije, hidromorfološke spremembe strug, povečevanje temperature voda ter vnos finih sedimentov. Vsi ti dejavniki vplivajo na procese, ki vodijo v zmanjševanje raznolikosti organizmov in zmanjševanje zmogljivosti rečnih ekosistemov, da si opomore od naravnih in antropogenih motenj. S smotrno načrtovanimi in strokovno utemeljenimi renaturacijami, ki vključujejo lokalne hidrološke in ekološke posebnosti tarčnih ekosistemov, potrebe naravnih združb, ki so se v izbranih okoljih razvile tekom evolucije ter poznavanje njihovih omejujočih dejavnikov, lahko vsaj delno oživimo naravno sposobnost teh sistemov za samovzdrževanje.

5. Viri

- [1] CHOPRA, K. R., LEEMANS, R., KUMAR, P., & SIMONS, H. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Policy Responses. Findings of the Responses Working Group. Millennium Ecosystem Assessment. Washington DC: Island Press.
- [2] MEYER, J. L. 1997. Stream Health: Incorporating the Human Dimension to Advance Stream Ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 16 (2), 439-447.
- [3] BATLIN, T. J., BESEMER, K., BENGTTSSON, M. M., ROMANI, A. M., & PACKMANN, A. I. 2016. The ecology and biogeochemistry of stream biofilms. *Nature Reviews Microbiology*, 14 (4), 251-263.

- [4] MALARD, F., TOCKNER, K., DOLE-OLIVIER, M.-J., & WARD, J. V. 2002. A landscape perspective of surface-subsurface hydrological exchanges in river corridors. *Freshwater Biology*, 47(4), 621-640.
- [5] MORI, N., DEBELJAK, B., KOCMAN, D., & SIMČIČ, T. 2016. Testing the influence of sediment granulometry on heterotrophic respiration with a new laboratory flow-through system. *Journal of Soils and Sediments*, First Online, 1-9. doi:10.1007/s11368-016-1613-0.
- [6] FEIO, M. J., ALVES, T., BOAVIDA, M., MEDEIROS, A., & GRAÇA, M. A. S. 2010. Functional indicators of stream health: a river-basin approach. *Freshwater Biology*, 55 (5), 1050-1065.
- [7] NOGARO, G., DATRY, T., MERMILLOD-BLONDIN, F., DESCLOUX, S., & MONTUELLE, B. 2010. Influence of streambed sediment clogging on microbial processes in the hyporheic zone. *Freshwater Biology*, 55 (6), 1288-1302.
- [8] YOUNG, S. P., MATTHAEI, C. D., & TOWNSEND, C. R. 2008. Organic matter breakdown and ecosystem metabolism: functional indicators for assessing river ecosystem health. *Journal of the North American Benthological Society*, 27 (3), 605-625.

PREGLED ODNOSOV PRITISKOV IN STANJA NA EVROPSKIH REKAH S POUDARKOM NA SLOVENIJI

mag. Maja Koprivšek, univ. dipl. inž. vod in kom. inž., Luka Snoj, univ. dipl. geog., dr. Lidija
Globevnik, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana

POVZETEK

Evropske reke so podvržene različnim vrstam pritiskov, med katerimi so najpomembnejši: onesnaženje vode z organskimi, anorganskimi in toksičnimi snovmi, degradiranje rečne struge, odvzem vode, reguliranje rečnega toka, pokrovnost tal v ožjem rečnem koridorju in prispevnem območju reke ter klimatske spremembe. Večinoma so reke podvržene več vrstam pritiskov hkrati, njihov učinek pa je lahko aditiven, sinergijski ali antagonistični, zato je pomembno, da analiziramo vpliv vseh prisotnih pritiskov hkrati. S statističnimi analizami smo ugotavljali, kateri pritiski najbolj vplivajo na ekološki status vodnih teles. Vplivi se razlikujejo glede na tipologijo vodnega telesa in geografsko regijo, v kateri se vodno telo nahaja. Slovenija ima glede na Evropo dobro ekološko stanje vodnih teles.

V članku predstavljamo metodologijo analize in rezultate skupnega delovanja več pritiskov na primeru slovenskih rek, ki smo jo izvedli v okviru evropskega raziskovalnega projekta MARS. Identificirali smo najbolj pomembne pritiske, ki se ločijo glede na tip rek. Ti predstavljajo osnovo za določitev primernih ukrepov z največjimi učinki za izboljšanje ekološkega stanja vodnih teles.

Ključne besede:

evropske reke, analiza pritiskov in stanja, ekološko stanje, rečna tipologija.

1. Uvod

Namen raziskave je bil ugotoviti, kateri so pomembni in odločilni dejavniki, ki vplivajo na ekološko stanje evropskih rek. Pri tem smo se osredotočili na antropogene dejavnike, na katere človek lahko vpliva, ter jih obravnavali ločeno od naravnih dejavnikov (geografski položaj, nadmorska višina, velikost zaledja in podobno). Ker lahko isti dejavnik oz. ista vrednost nekega dejavnika drugače vpliva na ekološko stanje v različnih tipih rek, smo analize izvedli po posameznih rečnih tipih in v nekaterih primerih še dodatno po geografskih regijah. Cilj je bil določiti mejne vrednosti posameznih dejavnikov, ki še omogočajo doseganje vsaj dobrega ekološkega statusa, z namenom podpore upravljalcem porečij pri praktičnem izvajanju Okvirne vodne direktive [1]

2. Izhodišča za analizo

2.1 Prostorska baza (MARSgeoDB)

Z namenom ugotavljanja povezav med različnimi pritiski (in njihovimi kombinacijami) in ekološkim stanjem evropskih rek, smo izdelali prostorsko bazo, ki temelji na ECRINS hidrografski prostorski bazi [2]. Osnovni gradnik porečij je osnovno funkcionalno porečje -

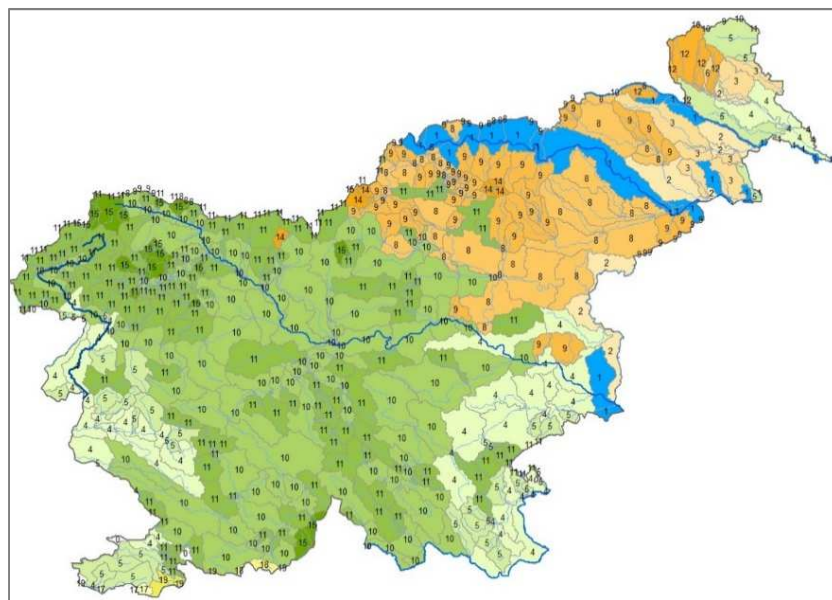
FEC (»Functional Elementary Catchment«), v vsakem od njih pa je več rečnih odsekov. Na Evropski agenciji za okolje so že naredili atributno povezavo med ECRINS rečnimi odseki in identifikatorji rečnih vodnih teles [4] glede na Okvirno vodno direktivo [1]. V sklopu MARS projekta smo FEC-e in rečne segmente prostorsko povezali z različnimi javno dostopnimi viri podatkov o obremenitvah na vode in stanju okolja: izpusti iz čistilnih naprav [5] po Direktivi o čiščenju komunalne odpadne vode [6], izpusti onesnaževal iz Evropskega registra izpustov in prenosov onesnaževal [7], statistični podatki evropskega statističnega urada Eurostat po državah in statističnih regijah [8], pokrovnost in raba tal (CORINE land cover 2006 [9], GlobCORINE2009 [10], Copernicus land cover / land use [11], klimatološki podatki (JRC [11], WorldClim v1.4 [13], kakovost [14] in količina [15] vode na WISE SoE postajah, indeks ribjih združb (EFI+) [16].

Dodatno so bili za potrebe projekta MARS modelirani pretoki večjih rek z modelom PCR-GLOBWB [17], s strani partnerjev iz inštituta Deltares, Nizozemska. Poleg modeliranja sedanjega stanja pretokov so naredili še hipotetični model brez upoštevanja odvzemov vode za človeške potrebe. Partnerji z Nacionalne tehniške univerze iz Aten (NTUA) so te pretoke prostorsko povezali s FEC-i ter s programom IHA [18] izračunali 67 hidroloških parametrov, ki smo jih nato primerjali med obema zagonoma modela. Obremenjenost s hranili je bila poleg podatkov z SoE postaj in EUROSTAT-a tudi modelirana z MONERIS-om (MOdelling Nutrient Emissions in RIver Systems) s strani IGB.

2.2 Evropska rečna tipologija

Evropske reke lahko zaradi lažje primerjave njihovega ekološkega stanja uvrstimo v 20 primerljivih tipov glede na fizično-geografske lastnosti, kot so velikost zaledja, nadmorska višina, geološka podlaga in v primeru Mediterana tudi biogeografska regija [19].

Preglednica 1 prikazuje evropske rečne tipe glede na tehnično poročilo ETC/ICM 2/2015 [20] z dodanima dvema stolpcema, ki prikazujeta zastopanost posameznih rečnih tipov v Sloveniji. Slika 4 prikazuje FEC-e v Sloveniji, pobarvane glede na tip reke na njegovem izlivu.



Slika 4: Osnovna funkcionalna porečja (FEC-i) v Sloveniji, pobarvana glede na rečne tipe (Preglednica 1). V zelenih odtenkih so prikazani rečni tipi na karbonatni geološki podlagi, v oranžnih pa rečni tipi na silikatni geološki podlagi. Z modro barvo so označene velike reke (velikost zaledja je večja od 10.000 m²).

Po površini v Evropi prevladujejo tipi na silikatni geološki podlagi (3, 9, 14, 2) in majhne mediteranske reke (tip 19), velik delež zastopanosti imata tudi tipa 4 in 5 (karbonatna podlaga, nižinski svet). V Sloveniji močno prevladujeta tipa 10 in 11 (karbonatna podlaga, med 200 m

in 800 m nadmorske višine), sledijo pa tipi 4, 8, 9 in 5 (karbonatna podlaga pod 200 m nadmorske višine in silikatna podlaga med 200 m in 800 m nadmorske višine).

Preglednica 1: Pregled evropskih rečnih tipov in njihov delež v Sloveniji [20].

Koda rečnega tipa	Rečni tip	Nadmorska višina (m)	Površina zaledja (km ²)	Geološka podlaga	Površina FEC-ov v Sloveniji [%]
1	Zelo velike reke	-	> 10000	-	4.6
2	Nižinske reke na silikatnih tleh, srednje - velike	≤ 200	100 - 10000	silikatna	2.5
3	Nižinske reke na silikatnih tleh, zelo majhne - majhne	≤ 200	≤ 100	silikatna	2.4
4	Nižinske reke na apnenčastih ali mešanih tleh, srednje – velike	≤ 200	100 - 10000	karbonatna / mešana	12.1
5	Nižinske reke na apnenčastih ali mešanih tleh, zelo majhne - majhne	≤ 200	≤ 100	karbonatna / mešana	6.3
6	Nižinske reke na organskih in silikatnih tleh	≤ 200	< 10000	organska in silikatna	0.1
7	Nižinske reke na organskih ali apnenčastih / mešanih tleh	≤ 200	< 10000	organska in silikatna / mešana	0.0
8	Reke srednjih nadmorskih višin na silikatnih tleh, srednje - velike	200 - 800	100 - 10000	silikatna	10.0
9	Reke srednjih nadmorskih višin na silikatnih tleh, zelo majhne - majhne	200 - 800	≤ 100	silikatna	6.5
10	Reke srednjih nadmorskih višin na apnenčastih ali mešanih tleh, srednje - velike	200 - 800	100 - 10000	karbonatna / mešana	31.9
11	Reke srednjih nadmorskih višin na apnenčastih ali mešanih tleh, zelo majhne - majhne	200 - 800	≤ 100	karbonatna / mešana	19.8
12	Reke srednjih nadmorskih višin na organskih in silikatnih tleh	200 - 800	< 10000	organska in silikatna	1.2
13	Reke srednjih nadmorskih višin na organskih in apnenčastih / mešanih tleh	200 - 800	< 10000	organska in karbonatna / mešana	0.0
14	Reke visokih nadmorskih višin na silikatnih tleh, vključno z organskimi (huminskimi)	> 800	< 10000	silikatna	0.5
15	Reke visokih nadmorskih višin na apnenčastih in mešanih tleh	> 800	< 10000	karbonatna / mešana	1.7
16	Ledeniške reke	> 200	< 10000	-	0.0
17	Sredozemske, nižinske, srednje - velike reke	≤ 200	100 - 10000	-	0.1
18	Sredozemske reke srednjih nadmorskih višin, srednje - velike	200 - 800	100 - 10000	-	0.1
19	Sredozemske zelo majhne – majhne reke	< 800	≤ 100	-	0.2
20	Sredozemske presihajoče reke	-	< 1000	-	0.0

3. Metode

Izbrane pritiske na rekah smo razdelili v tri večje skupine: hidrološke spremembe, pokazatelji morfoloških sprememb in obremenjenost s hranili. Hidrološke spremembe smo ocenili z razmerjem med vrednostmi različnih hidroloških parametrov (povprečni letni pretok, trajanje ekstremno nizkih pretokov, število visokovodnih konic iz modeliranih pretokov,...) izračunanih iz modela, ki posnema današnje stanje z odvzemi vode, v primerjavi s hipotetičnim modelom brez odvzemov vode. Kot pokazatelj morfoloških sprememb je bila upoštevana raba/pokrovnost tal v obrežnem pasu. Podatke o obremenjenosti voda s hranili smo dobili iz kemijskih parametrov na SoE postajah in iz izračunanega vnosa fosforja in dušika iz EUROSTAT-a in MONERIS-a. Vsi izbrani podatki so bili agregirani na osnovna funkcionalna porečja (FEC-e).

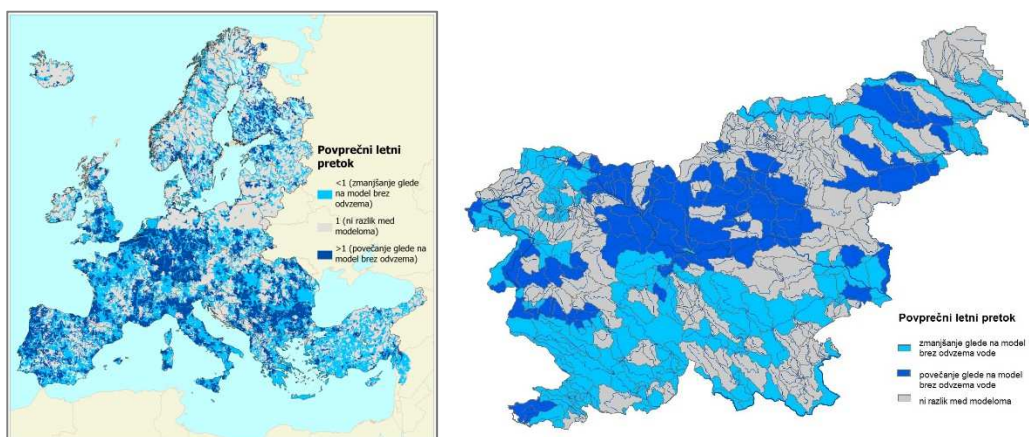
S metodo slučajno izbrane množice odločitvenih dreves iz področja strojnega učenja (random forest) smo na evropski ravni za vsak rečni tip določili najpomembnejše pritiske in njihovo mejno vrednost za doseganje dobrega ekološkega statusa. Vrednosti posameznih dejavnikov

in število pritiskov, ki presegajo mejne vrednosti, smo izrisali na karte pritiskov po FEC-ih za Evropo.

4. Rezultati

4.1 Hidrološke spremembe

Modelirane spremembe v povprečnem letnem pretoku za obdobje 2001-2010 so za Slovenijo zelo podobne tistim na evropski ravni. Na 40 % površine FEC-ov ni sprememb med modeloma z odvzemom vode in brez odvzema, na 34 % se pretok pri modelu z odvzemom zmanjša, na 26 % pa se pretok poveča (slika 5). Enako razmerje je značilno tudi za Evropo. Razlika je v tem, da v Sloveniji ni sprememb, večjih od 50 % navzgor ali navzdol, medtem ko je v Evropi 3,5 % FEC-ov s povečanjem za več kot 50 % pretoka in 1,2 % FEC-a z zmanjšanjem za več kot 50 % pretoka.



Slika 5 Razmerje med povprečnim letnim pretokom z odvzemom vode in brez odvzema vode za Evropo (levo) in Slovenijo (desno).

V Sloveniji je manjši delež FEC-ov (20 %) s povečanim trajanjem ekstremno nizkih pretokov (manjših od 5. percentila) kot v Evropi (27 %). Nekoliko večji je delež FEC-ov brez sprememb (54 %, Evropa 49 %). Delež FEC-ov s krajšim trajanjem ekstremno nizkih pretokov pa je podoben kot v Evropi (26 %). Povečanje trajanja ekstremno nizkih pretokov za več kot 50 % je v Sloveniji le na 2 % FEC-ov, medtem ko v Evropi na skoraj 6 %.

Med vsemi obravnavanimi hidrološkimi parametri je bilo največ razlik med modeloma brez odvzema in z odvzemom vode v številu visokovodnih konic (nad 75. percentilom). Na evropski ravni v 19 % ni bilo spremembe med obema modeloma, za območje Slovenije pa le na 12 %. V Sloveniji je bil večji delež povečanja števila visokovodnih konic (48 % v primerjavi z Evropo 42 %).

4.2 Kombinacije pritiskov na evropske in slovenske reke

V evropskem prostoru 42 % FEC-ov ne presega mejnih vrednosti za noben dejavnik, medtem ko je v Sloveniji takih FEC-ov kar 60 %. Poleg tega le na 9 % FEC-ov v Sloveniji delujeta več kot dva pomembna pritiska hkrati, medtem ko je v Evropi takšnih FEC-ov 18 %.

V Sloveniji je največkrat (v 19 % FEC-ov) presežena mejna vrednost za doseganje dobrega ekološkega statusa zaradi sprememb v morfologiji, sledijo pritiski zaradi sprememb v hidrologiji (16 %), v najmanj primerih pa dobro ekološko stanje ni doseženo zaradi onesnaženja s hranili. Za primerjavo je v Evropi največ nedoseganj dobrega ekološkega statusa posledica onesnaženja s hranili (kar 33 % FEC-ov), sledijo morfološke spremembe (31 %), najmanj pa je nedoseganja dobrega stanja zaradi sprememb v hidrologiji (11 %). Kot

kombinacija dveh različnih sklopov pritiskov v Sloveniji največkrat pomembno delujeta morfolologija in onesnaženost s hranili (5 % FEC-ov), morfolologija in hidrologija v 3 %, najmanjkrat pa se pojavi kombinacija hidrologije in hranil (1 % FEC-ov). Tudi v Evropi je na prvem mestu kombinacija sprememb morfolologije in hranil (10 % FEC-ov), na drugem mestu pa je kombinacija hidroloških sprememb in onesnaženja s hranili (5 %), medtem ko je najmanjši delež FEC-ov s kombinacijo sprememb morfolologije in hidrologije (3 %).

5. Zaključki

Iz rezultatov analize na evropski ravni je razvidno, da ima Slovenija v primerjavi z Evropo na večjem deležu FEC-ov dosežen vsaj dober ekološki status. V manjšem številu FEC-ov dober ekološki status ni dosežen zaradi preseganja mejnih vrednosti več kot ene skupine pritiskov (9 %), medtem ko je v Evropi to značilno za 18 % FEC-ov. Kot pomembna skupina pritiskov, ki vpliva na nedoseganje dobrega ekološkega statusa, se v Sloveniji največkrat pojavijo morfološke spremembe, najmanjkrat pa onesnaženost s hranili, medtem ko je v Evropi onesnaženost s shranili najpomembnejši razlog za nedoseganje dobrega ekološkega stanja, tesno pa mu sledijo morfološke spremembe. Hidrološke spremembe so v Sloveniji bolj pomembne kot v Evropi in presegajo mejno vrednost na 16 % FEC-ov, medtem ko v Evropi le na 11 %.

Analiza je bila opravljena na evropski ravni, zato se zavedamo, da ugotovitve analiz niso nujno odraz ekoloških procesov, temveč tudi omejene tako razpoložljivosti kot zanesljivosti podatkov ter metod določanja ekološkega stanja. Zanesljivost rezultatov bi lahko izboljšali, če bi bila na razpolago večja pokritost predvsem s fizikalno-kemijskimi podatki (suspendirane snovi, temperatura, pH, ...) in z uporabo ocene ekološkega stanja iz drugega poročanja po Okvirni vodni direktivi [1], ki vključuje bolj sistematičen pristop, celovitejšo metodo presoje in natančnejše metode interkalibracije pri oceni ekološkega stanja vodnih teles.

6. Zahvala

Analiza je bila opravljena v okviru projekta MARS (»Managing Aquatic ecosystems and water Resources under multiple Stress«, 2014 - 2018), ki ga financira Evropska unija v okviru 7. okvirnega programa po pogodbi št. 603378.

7. Viri

- [1] Direktiva evropskega parlamenta in sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike (2000). Uradni list evropskih skupnosti, L 327/1. [online]. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0060&from=SL>
- [2] Evropska agencija za okolje (2016). Biogeographical regions [online]. Available from: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/biogeographical-regions-europe-3>
- [3] Evropska agencija za okolje (2012). European catchments and Rivers network system (Ecrins). Version 1, Jun. 2012 [online]. Available from: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/european-catchments-and-rivers-network#tab-metadata>
- [4] Evropska agencija za okolje (2012). WISE WFD database [online]. Available from: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/wise_wfd
- [5] Evropska agencija za okolje (2012). Waterbase – UWWTD: Urban Waste Water Treatment Directive [online]. Available from: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/waterbase-uwwtd-urban-waste-water-treatment-directive-3>
- [6] Direktiva sveta z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode (91/271/EGS) (1991). Uradni list evropskih skupnosti, L 135/40. [online]. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=SL>

- [7] European Pollutant Release and Transfer Register [online]. Available from: <http://prtr.ec.europa.eu/#/home>
- [8] European Commission. Eurostat NUTS - Nomenclature of territorial units for statistic [online]. Available from: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts>
- [9] Evropska agencija za okolje (2016). Corine Land Cover (CLC) 2006, Version 18.5.1 [online]. Available from: <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2006/view>
- [10] ESA 2010 and UCLouvain. GlobCorine2009 [online]. Available from: http://dup.esrin.esa.int/page_project114.php
- [11] Evropska agencija za okolje. 2015. Copernicus Initial Operations 2011-2013 - Land Monitoring Service Local Component: Specific Contract No. 3436/B2015/R0-GIO/EEA.56131. Implementing Framework Service Contract No. EEA/MDI/14/001. September 2015. [online]. Available from: <http://land.copernicus.eu/local/riparian-zones/land-cover-land-use-lclu-image>
- [12] JRC (2015). Agri4Cast Data. NetCDF Lat-Lon regular grid Meteorological data in Europe [online]. Available from: <http://agri4cast.jrc.ec.europa.eu/DataPortal/Index.aspx?o=>
- [13] WorldClim, v1.4 [online]. Available from: <http://www.worldclim.org/>
- [14] Evropska agencija za okolje (2010). WISE SoE river quaity [online]. Available from: <http://dd.eionet.europa.eu/datasets/2864>
- [15] Evropska agencija za okolje (2016). Waterbase - Water Quantity [online]. Available from: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/waterbase-water-quantity-9>
- [16] Improvement and Spatial extension of the European Fish Index (EFI+) [online]. Available from: <http://efi-plus.boku.ac.at/>
- [17] PCR-GLOBWB [online]. Available from: <http://www.globalhydrology.nl/>
- [18] The Nature Conservancy (2009). Indicators of Hydrologic Alteration, Version 7.1. User's Manual. [online]. Available from: <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Pages/IHA-Software-Download.aspx>
- [19] Evropska agencija za okolje (2016). Biogeographical regions [online]. Available from: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/biogeographical-regions-europe-3>
- [20] ETC/ICM, 2015. European Freshwater Ecosystem Assessment: Cross-walk between the Water Framework Directive and Habitats Directive types, status and pressures. ETC/ICM Technical Report 2/2015. Magdeburg: European Topic Centre on inland, coastal and marine waters, 95 pp. plus Annexes.

DOBRO EKOLOŠKO STANJE LAHKO ZAGOTOVIMO KLJUB ODVZEMU VODE - PRIMER ALPSKIH VODOTOKOV

izr. prof. dr. Gorazd Urbanič¹, doc. dr. Nataša Smolar-Žvanut^{1*}, dr. Maja Pavlin Urbanič²,
dr. Gorazd Kosi³, dr. Samo Podgornik⁴, dr. Vesna Petkovska¹, Darko Anzeljc^{1*}, Sabina
Blumauer¹, mag. Maša Čarf⁴, Blažo Djurovič^{1*}, doc. dr. Tina Eleršek³, dr. Mojca Hrovat²,
Aljaž Jenič⁴, Miha Knehtl¹, mag. Gregor Kolman^{1*}, doc. dr. Aleksandra Krivograd
Klemenčič^{2**}, dr. Tanja Mohorko^{1*}, Dušan Rebolj^{1*}, dr. Rebeka Šiling¹, Janko Zakrajšek^{1*},
doc. dr. Igor Zelnik²

¹Inštitut za vode Republike Slovenije, Dunajska 156, 1000 Ljubljana, ²Univerza v Ljubljani,
Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, ³Nacionalni
inštitut za biologijo, Večna pot 111, 1000 Ljubljana, ⁴Zavod za ribištvo Slovenije, Spodnje
Gameljne 61a, 1211 Ljubljana – Šmartno

Op.: danes *Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova 28c, 1000 Ljubljana;

**Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Doseganje dobrega ekološkega stanja in raba voda pogosto razumemo kot aktivnosti z nasprotujočimi si cilji. Namen raziskave je bil ugotoviti, ali lahko kljub odvzemanju vode v alpskih vodotokih dosežemo dobro ekološko stanje in katere dejavnike obremenitve moramo upoštevati. Indekse ekološkega stanja smo izračunali na podlagi združb rib, bentoških nevretenčarjev in fitobentosa iz obravnavanih malih vodotokov (s prispevno površino med 10 in 100 km²) v hidroekoregiji Alpe. Kot podatke o obremenitvah smo uporabili hidrološke parametre, indekse hidromorfoloških obremenitev (indeksi metode SIHM), parametre pokrovnosti tal (Corine Land Cover), oddaljenost od dolvodne pregrade ter na mestih z evidentiranim odvzemom vode tudi vrednosti povprečnega in maksimalnega trenutnega odvzema. Preverjali smo povezanost združb organizmov in metod vrednotenja ekološkega stanja z obremenitvami ter ugotovili, da se na odvzeme vode najbolj in podobno odzovejo metode vrednotenja ekološkega stanja na podlagi bentoških nevretenčarjev (indeks SMEIH) in rib (indeks SIFAIR). Na podlagi ugotovljenih povezav med indeksi ekološkega stanja in parametri obremenitev smo razvili model, s pomočjo katerega lahko določimo količino vode, ki omogoča doseganje dobrega ekološkega stanja. Iz modela je tudi razvidno, da je ob določitvi količine vode, ki bo zadostila ciljem doseganja dobrega ekološkega stanja, treba upoštevati tudi rabo zemljišč in hidromorfološko stanje vodotoka ter zagotoviti prehodnost pregrad za vodne organizme.

Ključne besede:

Vodna direktiva, ekološko sprejemljiv pretok, ekološko stanje, raba voda

1. Uvod

Odvzemanje vode iz vodotokov vpliva na združbe vodnih organizmov in ekološko stanje vodotokov (Bunn in Arthington 2002, Urbanič in sod. 2016). Na podlagi združb organizmov oziroma bioloških elementov kakovosti vrednotimo vplive obremenitev. Nekatere že obstoječe metode vrednotenja v Sloveniji omogočajo ugotavljanje vplivov več obremenitev

(npr. indeks SIFAIR na podlagi rib), medtem ko druge vrednotenje vplivov posameznih obremenitev - npr. vplivov trofičnosti (Trofični indeks), obremenitve z organskimi snovmi (Saprobní indeks) ali hidromorfološke spremenjenosti (indeks SMEIH) (Urbanič in sod. 2013, 2015). Metode vrednotenja na podlagi različnih bioloških elementov so različno občutljive na odvzemanje vode (Urbanič in sod. 2016). Večina metodologij za določanje ekološko sprejemljivega pretoka (Qes) v posameznih državah EU ni v direktni povezavi s cilji vodne direktive in le nekaj metodologij upošteva hidrološke, morfološke in biološke značilnosti vodotokov (CIS Guidance document No. 31, 2015). V Sloveniji Zakon o vodah (2002) v 71. členu določa, da mora biti pri rabi površinskih voda, zaradi katere bi se lahko v površinskih vodah zmanjšal pretok ali znižala gladina ali poslabšalo stanje voda, ali emisiji snovi in toplote v površinske vode, v vseh letnih obdobjih zagotovljen ekološko sprejemljivi pretok ali gladina površinske vode. V Uredbi o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka (Ur. l. RS, št. 97/09) je predpisano, da se Qes določi na podlagi hidroloških izhodišč: vrednosti srednjega malega (sQnp) in srednjega (sQs) pretoka na mestu odvzema. Poleg določitve na podlagi hidroloških izhodišč je po Uredbi o Qes možen tudi celovit pristop k določanju Qes. Ključna težava uporabe celovitega pristopa določanja Qes z upoštevanjem ekoloških načel je pomanjkanje poznavanja povezav med rabo vode in vodnimi ekosistemi.

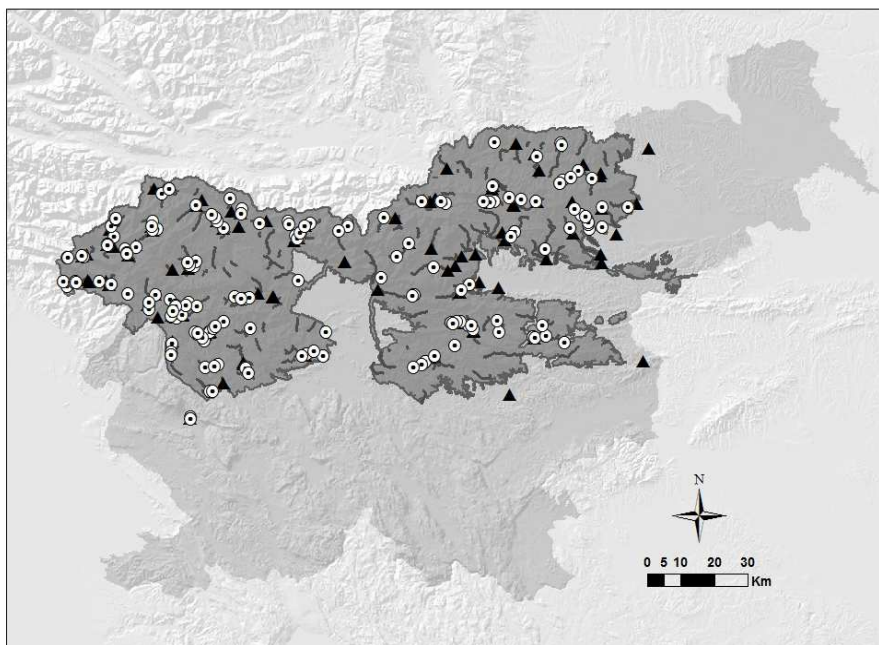
Namen raziskave je bil ugotoviti vpliv odvzemanja vode na ekološko stanje v povezavi s prisotnostjo drugih obremenitev (morfološke spremembe, onesnaženje) in pripraviti predlog dopolnitev metodologije za določanje ekološko sprejemljivega pretoka v Sloveniji, da bo zagotovljeno doseganje ciljev vodne direktive in načrtov upravljanja voda npr. dobro ekološko stanje.

2. Materiali in metode

2.1 Območje raziskave in podatki

Raziskavo smo izvedli na majhnih vodotokih s prispevno površino 10–100 km² hidroekoregije Alpe (Urbanič, 2008). V nadaljevanju podajamo povzetek opisa metodologije iz Urbanič in sod. (2016). Uporabili smo podatke o vzorcih fitobentosa, bentoških nevretenčarjev in rib, pridobljenih v okviru državnega monitoringa ter predvsem za potrebe razvoja metodologij vrednotenja ekološkega stanja za posamezne biološke elemente kakovosti (Urbanič in sod. 2013, 2015). Dodatno smo na vodotokih izbrali vzorčna mesta glede na zajem in izpust vode: pred zajemom, pod zajemom, pred izpustom in pod izpustom. Obravnavali smo 285 bioloških vzorcev (slika 1), od tega 82 vzorcev bentoških nevretenčarjev, 45 vzorcev fitobentosa in 158 vzorcev rib. Za posamezne vzorce smo ovrednotili ekološko stanje na podlagi rib, bentoških nevretenčarjev in fitobentosa (Urbanič in sod. 2013, 2015). Izračunali smo slovensko verzijo Saprobnega indeksa (SIG3) in indeksa SMEIH na podlagi bentoških nevretenčarjev, Trofični indeks (TI) in Saprobní indeks (SI) na podlagi fitobentosa ter indeks SIFAIR na podlagi rib. Za vzorce smo določili vrednosti hidroloških parametrov na podlagi hidrometričnih meritev in/ali hidroloških podatkov z vodomernih postaj (v.p.) za obdobje 1983–2012. Na vodotokih, kjer smo izvedli simultane hidrološke meritve (SHM), smo uporabili tudi podatke razmerja specifičnih odtokov SHM med vodomernim mestom (VM) in v.p. Za vsako VM pod vplivom odvzema vode smo uporabili podatke za koncesije in podatke o vodnih dovoljenjih iz geoportala ARSO [13] in izračunali oziroma uporabili podatek o maksimalnem trenutnem odvzemu (TOD) in povprečnem trenutnem odvzemu (LOD), izračunanem iz potencialnega letnega odvzema. Za preveritev vpliva odvzemov vode na ekološko stanje smo izračunali še relativne vrednosti odvzemov glede na izbrane hidrološke parametre. Poleg hidroloških parametrov smo za vsak biološki vzorec oziroma VM določili še devet spremenljivk rabe tal iz podatkovnega sloja Corine Land Cover; po štiri spremenljivke rabe tal v neposredni (NPP) in v skupni prispevni površini (SPP) ter indeks LUAL, razvit iz spremenljivk rabe tal,

hidromorfološke razmere; pet indeksov sistema SIHM (Tavzes in Urbanič 2009, Urbanič 2014, Petkovska in sod. 2015) in za vpliv vzdolžne povezanosti parameter oddaljenost od spodnje pregrade.



Slika 6 Vzorčna mesta (krogi s piko) s podatki bioloških elementov kakovosti in uporabljene vodomerne postaje (črni trikotniki). Označena je hidroekoregija Alpe ter vodotoki s prispevno površino 10–100 km².

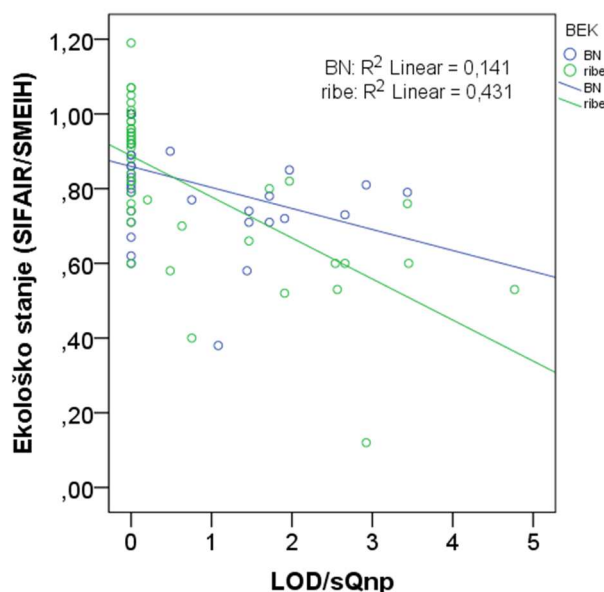
2.2 Statistične analize

Na podlagi korelacij med okoljskimi parametri in indeksi ekološkega stanja smo ugotovili, da spremembe hidromorfoloških značilnosti vplivajo predvsem na bentoške nevretenčarje in ribe ter da je ekološko stanje na podlagi teh dveh združb organizmov (izraženo z REK-HM) posledica več dejavnikov obremenitev (Urbanič in sod. 2016). Za ugotavljanje vpliva odvzemov vode na ekološko stanje smo preverili povezavo med indeksom povprečnega trenutnega odvzema glede na srednji mali pretok (LOD/sQnp) in indeksom SIFAIR na podlagi rib ali indeksom SMEIH na podlagi bentoških nevretenčarjev. Najprej smo z enosmerno analizo kovariance (ANCOVA) preverili, ali se odziva indeksov razlikujeta vzdolž gradienta obremenitve (naklon krivulje) in ali se razlikujejo vrednosti indeksov pri istih vrednostih obremenitve. Analizo smo izvedli s programom PAST 2.08 (Hammer in sod. 2001). V nadaljevanju smo z linearnim regresijskim modelom ugotavljali, kateri dejavniki obremenitve v kombinaciji z drugimi statistično značilno prispevajo k pojasnjevanju variabilnosti vrednosti REK-HM. Set podatkov smo pred izvedbo analiz razdelili na kalibracijski set (140 vzorcev) za razvoj modela ter validacijski set (100 vzorcev) za preveritev ustreznosti oziroma validacijo modela. Statistične analize korelacije in regresije smo izvedli s programom SPSS Statistics 21.0, multiplo linearno regresijo pa s programom PAST 2.08 (Hammer in sod. 2001).

3. Rezultati in razprava

Ugotovili smo, da ne obstajajo statistično značilne razlike v odzivu indeksov SIFAIR in SMEIH na odvzem vode. Razlik nismo opazili niti v povprečnih vrednostih indeksov SIFAIR in SMEIH (enosmerna ANCOVA, $F = 0,0233$, $p > 0,05$), niti v naklonu krivulj, s katerimi opišemo odziv teh indeksov na odvzem vode (enosmerna ANCOVA, $F = 3,083$, $p > 0,05$).

(slika 2). Ker nismo ugotovili statistično značilnih razlik v odzivih, smo v nadaljnjih analizah pri ugotavljanju vpliva odvzemov vode na ekološko stanje seta podatkov za bentoške nevretenčarje in ribe združili, vrednosti indeksov za vrednotenje ekološkega stanja (SMEIH in SIFAIR) pa uporabili skupaj kot REK-HM. Ugotovili smo, da se s povečevanjem relativnega odvzema vode statistično značilno ($p < 0,01$) poslabšuje ekološko stanje vodotoka (slika 2). Ob upoštevanju vrednosti $REK-HM = 0,6$ je glede na ugotovljene povezave in interval zaupanja regresijske krivulje lahko dobro stanje doseženo pri vrednostih relativnega odvzema, ki niso večje kot 2,5–4,5 sQnp. Z regresijsko krivuljo smo pojasnili $< 50\%$ variabilnosti podatkov, kar nakazuje, da ekološko stanje, izraženo z REK-HM, ni odvisno le od relativnega odvzema vode ampak tudi od drugih okoljskih dejavnikov.



SLIKA 7. Povezava med relativnim povprečnim trenutnim odvzgom ($LOD/sQnp$) in ekološkim stanjem oziroma vrednostmi REK na podlagi indeksa SIFAIR (ribe) in indeksa SMEIH (bentoški nevretenčarji - BN).

Na podlagi multiple regresije smo ugotovili, da REK-HM vrednosti dobro opišemo z modelom (ANOVA, $F = 74,442$, prilagojen $R^2 = 0,62$, $p < 0,0001$), ki zajema relativni maksimalni trenutni odzvem ($TOD/sQnp$), hidromorfološke značilnosti (indeks HQM), rabo tal v prispevnem območju (indeks LUAL) ter tudi konstanto. Za vse člene enačbe smo ugotovili, da statistično značilno ($p < 0,05$) prispevajo k pojasnjeni variabilnosti REK-HM, pri čemer smo najvišje standardizirane vrednosti ugotovili za indeks HQM, s katerim najbolj celostno opišemo hidromorfološke razmere izbranega odseka vodotoka. Dobro napovedljivost vrednosti REK-HM z razvitim modelom smo potrdili tudi s preveritvijo modela na validacijskem setu podatkov ($R^2 = 0,58$). Podobno smo ugotovili, kadar smo v modelu uporabili namesto $TOD/sQnp$ spremenljivko povprečni trenutni odzvem ($LOD/sQnp$).

Na podlagi simuliranih vrednosti indeksov HQM in LUAL smo določili teoretične vrednosti relativnega maksimalnega trenutnega odvzema ($TOD/sQnp$) pri vrednostih $REK-HM = 0,6$ (preglednica 1). Na podlagi razvitega modela smo podali pričakovanja, pri katerih vrednostih indeksov obremenitve bi bili možni odvzemi vode, v primeru izbrane ciljne vrednosti $REK-HM = 0,6$ (spodnja meja dobrega ekološkega stanja). Glede na izračunane vrednosti ugotavljamo, da s ciljem ne poslabševanja ekološkega stanja maksimalni trenutni odvzemi ne smejo biti višji kot 11-kratnik srednjega malega pretoka ($sQnp$).

Preglednica 2. Teoretične vrednosti relativnega maksimalnega trenutnega odvzema (TOD/sQ_{np}) pri izbranih vrednostih indeksov hidromorfološke kakovosti in spremenjenosti (HQM) in rabe tal v Alpah (LUAL) pri vrednosti ekološkega stanja – REK-HM = 0,6. S svetlo sivo barvo so označena polja, kjer je pričakovano zelo dobro ekološko stanje, s temno sivo barvo so označena polja, kjer dobro ekološko stanje ni pričakovano.

HQM/LUAL	100	80	60	40	20	0
1	22,6	20,5	18,3	16,1	14,0	11,8
0,8	14,7	12,6	10,4	8,2	6,1	3,9
0,6	6,8	4,7	2,5	0,3	-1,8	-4,0
0,4	-1,1	-3,2	-5,4	-7,6	-9,7	-11,9
0,2	-9,0	-11,1	-13,3	-15,5	-17,6	-19,8
0	-16,9	-19,0	-21,2	-23,4	-25,5	-27,7

4. Zaključki

- 1) Na ekološko stanje malih alpskih vodotokov poleg odvzete količine vode pomembno vplivajo tudi raba zemljišč v prispevnem območju (onesnaževanje in hidrološke spremembe), hidromorfološke razmere v vodotoku in dolvodna povezanost oziroma prisotnost pregrad.
- 2) Poleg minimalnega pretoka bi za določitev ekološko sprejemljivega pretoka, ki bi zagotavljal doseganje ciljev vodne direktive in načrtov upravljanja voda, morali določiti tudi povprečni trenutni odvzem in maksimalni trenutni odvzem. S tem bi zagotovili dinamičnost pretokov, ki kljub odvzemu vode, omogočajo ohranjanje značilnosti hidrološkega režima, podobnih naravnim.
- 3) Pri uporabi celovitega pristopa pri določitvi ekološko sprejemljivega pretoka je treba upoštevati obstoječe na evropski ravni usklajene (interkalibrirane) biološke metode vrednotenja ekološkega stanja.

5. Zahvala

Izvedba projekta je bila financirana s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije in Ministrstva za okolje in prostor Republike Slovenije.

6. Viri

- [1] BUNN, S.E., ARTHINGTON, A.H., 2002. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Environmental Management* 30: 492–507
- [2] CIS Guidance document No. 31, 2015. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. European Union, 106 str.
- [3] HAMMER, O., HARPER, D. A. T., RYAN, P. D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 1-9.
- [4] TAVZES, B., URBANIČ, G., 2009. New indices for assessment of hydromorphological alteration of rivers and their evaluation with benthic invertebrate communities; Alpine case study. *Review of Hydrobiology*, 2: 133–161
- [5] URBANIČ, G., 2008. Redelineation of European inland water ecoregions in Slovenia. *Review of Hydrobiology* 1: 17-25.
- [6] URBANIČ, G., 2014. Hydromorphological degradation impact on benthic invertebrates in large rivers in Slovenia. *Hydrobiologia*, 729(1): 191-207.

- [7] 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. Poročilo o delu za leto 2013. Ljubljana, 63 str. in priloge.
- [8] URBANIČ, G., PETKOVSKA, V., DOLINAR, N., KUCHAR, U., REMEC-REKAR, Š., ROTAR, B., SEVER, M., ELERŠEK, T., FRANCÉ, J., KOSI, G., MAVRIČ, B., ORLANDO-BONACA, M., GERM, M., GABERŠČIK, A., PODGORNIK, S., 2015. Dopolnitev metodologij vrednotenja ekološkega stanja in razvrščanja vodnih teles površinskih voda na podlagi bioloških elementov kakovosti pripravljenih v letu 2013. Poročilo o delu IzVRS za leto 2015. Ljubljana, 21 str. in priloge.
- [9] URBANIČ, G., SMOLAR-ŽVANUT N., PAVLIN URBANIČ M., KOSI G., PODGORNIK S., PETKOVSKA V., ANŽELJČ D., BLUMAUER S., ČARF M., DJUROVIČ B., ELERŠEK T., HROVAT M., JENIČ A., KNEHTL M., KOLMAN G., KRIVOGRAD KLEMENČIČ A., MOHORKO T., REBOLJ D., ŠILING R., ZAKRAJŠEK J., ZELNIK I., 2016. Določitev ekološko sprejemljivega pretoka z upoštevanjem ciljev Vodne direktive: katere dejavnike obremenitev moramo upoštevati? Mišičev vodarski dan 2016. Maribor, 8 str.
- [10] URADNI LIST RS, št. 14/2009. Uredba o stanju površinskih voda, str. 1757.
- [11] URADNI LIST RS, št. 97/2009. Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka, str. 12919.
- [12] URADNI LIST RS, št. 67/2002. Zakon o vodah.
- [13] http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso

BISTVO, OČEM NEVIDNO – PRIKRITI PRITISK NA KRAŠKE PODZEMNE VODE

dr. Mitja Prelovšek¹, mag. Mojca Zega²

¹Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, 6230 Postojna, ²Zavod RS za varstvo narave, OE Nova Gorica, Delpinova 16, 5000 Nova Gorica

POVZETEK

Kras je naravni pojav z značilnimi površinskimi in podzemeljskimi oblikami nastalimi zaradi raztapljanja kamnine (apnencev in dolomitov). Infiltrirana voda ustvarja v podzemlju kompleksen sistem razširjenih razpok in vodnih kanalov, ki tvorijo kraški vodonosnik – vir za oskrbo polovice slovenskega prebivalstva. Vodonosnik sestavlja zgornja nenasičena (vadozna) cona s pretežno vertikalnim pronicanjem vode in spodnja z vodo nasičena (freatična) cona, kjer se voda premika pod tlakom. Smeri toka generalno opredeljuje hidravlični gradient, v specifičnem pa so precej nepredvidljive in mnogotere, kar pomeni, da voda pod različnimi pogoji običajno teče v več okoliških izvirov – tudi več deset kilometrov daleč.

Nekatere poglobitve ekološke značilnosti kraškega podzemlja, kot so (i) kombinirana poroznost, (ii) izjemno slaba vezava hranil (odsotnost fotosinteze), (iii) slabo prezračevanje vode (problem kisika) in (iv) relativno velika biološka pestrost, prisotnost endemitov ter občutljivost vrst na onesnaževanje, kažejo na veliko specifičnost in ranljivost kraških vodonosnikov. Pretekle in obstoječe posledice neustreznega odlaganja odpadkov, neustreznega gnojenja ter odvajanja slabo očiščene, onesnažene vode se v grobem kažejo v slabi kvaliteti pitne vode na izviroh, občasni pogini rib in celo v lokalnih izginotjih proteusa, kljub relativno redki poseljenosti in visoki količini padavin. Zaradi slabe samočistilne sposobnosti in mestoma počasnega sproščanja onesnaževanja traja regeneracija praviloma več desetletij. Ugotavljamo, da ranljivost, kot tudi obstoječe obremenjevanje kraških vodonosnikov, zahteva boljše definirana merila, prilagojene zakonske podlage in strožji nadzor pri izvajanju predpisov, da bi dosegli strokovno in učinkovito varstvo izjemnega potenciala podzemne vode na krasu. Brez ustreznjega in bolj učinkovitega pristopa se bo ekološko stanje kraške podzemne vode v prihodnosti še slabšalo.

Ključne besede:

Kras, podzemna voda, kraški vodonosnik, ranljivost, onesnaževanje

1. Kras in kraška podzemna voda

Slaba polovica slovenskega ozemlja je kraška. Termin 'kras' posplošeno pomeni kamnito ozemlje z značilnimi površinskimi in podzemeljskimi oblikami, nastalimi zaradi raztapljanja, deloma pa tudi mehanskega delovanja vode v karbonatnih kamninah, večinoma apnencu in dolomitu (Gams, 2004; Pleničar, et al., 2006). Površinski in podzemni kras se razvije takrat, ko 'kislá' voda skozi razpoke ali lezike (presledek v kamnini, ki ločuje dve plasti) prične raztapljati karbonatne kamnine. Skozi pretrto in razpokano kamnino deževnica, preko skromnega prstenega pokrova, pronica v podzemlje, kjer se, večinoma v navpični smeri, pretaka proti gladini podzemne vode. Voda z raztapljanjem širi razpoke v kamnini. Sčasoma postanejo ti prehodi širši in ustvari se sistem različno velikih in med seboj povezanih podzemnih drenažnih

poti, ki lahko do določene mere zadrži del vode in tvori kraški vodonosnik (Ravbar, 2007). Vodonosnik sestavlja zgornja nenasočena (vadozna) cona s pretežno vertikalnim pronicanjem vode in spodnja z vodo nasičena (freatična) cona, kjer se voda premika pod tlakom. Vodotopnost in razpokanost karbonatnih kamnin, relativno enakomerno razporejene padavine in zadovoljiv višinski gradient so osnovni pogoji, ki ustvarjajo na površju značilno suh, v podzemlju pa prevotljen, zapleten in z vodo bogat kraški svet. Kraški vodonosniki imajo z medzrnskimi sicer mnoge skupne značilnosti, a tudi mnogo razlik - kraški so bolj heterogeni, anizotropni, živalsko bolj kompleksni, zlasti nižinski tudi bolj izolirani od okolice.

1.1 Izjemnost, ogroženost in ranljivost kraškega podzemlja

Izjemnost ter hkrati ogroženost in potreba po načelnem varovanju slovenskega krasa in kraških naravnih pojavov se odražajo v obliki številnih nacionalnih in mednarodnih sistemov varstva, kot so: razglasitve zavarovanih območij parkov in spomenikov, določitev naravnih vrednot ter uvrstitev na seznama RAMSAR in UNESCO. Poleg tega se Slovenija s Postojnsko-planinskim jamskim sistemom, pa tudi z drugimi okoliškimi jamami dinarskega krasa, ponaša kot vroča točka podzemne biodiverzitete (Culver in Sket, 2000), ki je ponekod temelj varovanja habitatov v okviru Nature 2000.

Kraško podzemlje je izjemno specifičen habitat. Označujejo ga relativno stabilne razmere in izoliranost ter zaradi odsotnosti fotosinteze nizka primarna produkcija in posledično, majhna razpoložljivost hranil. V kraškem podzemlju živeti organizmi so na dane pogoje prilagojeni. Spremembe pogojev (npr. povišana razpoložljivost hranil) lahko privedejo do vzpostavljanja novega ravnotežja in izpodrivanja na podzemlje vezanih živali. Prenekateri podzemni živali so endemne vrste z arealom manj kot 100 km² (npr. črna človeška ribica - *Proteus anguinus parkelj*). Ocenjuje se, da človeška ribica (*Proteus anguinus*) kot dvoživka tolerira do 10 mg NO₃⁻/l (Štangelj in Ivanovič, 2013) kaj je znatno manj od mejnega praga za pitno vodo in dobro kemijsko stanje podzemnih voda (50 mg/l; Uredba o stanju podzemnih voda, Ur. l. RS 25/09...). Pri tem znaša običajno naravno ozadje za nitrate, sulfate in kloride nekaj mg/l, za o-PO₄³⁻ pa okoli 0,01 mg/l.

Izjemni občutljivosti in ranljivosti kraškega podzemlja prispeva podzemni tok z močno omejeno samočistilno sposobnostjo ter kombinirano veliko prepustnostjo po kanalih in majhno po razpokah, od koder se onesnaženje spira daljši čas. Poraba hranil, predvsem nitratov in fosfatov, iz vode je izjemno omejena, biološki procesi pa potekajo na nižji trofični ravni. Delna izoliranost od površja dela podzemlje ranljivo pri razgradnji organske snovi, saj se že tako skromna količina kisika v vodi hitro porablja. Že v naravnih razmerah znaša na nižje ležečih izviri nasičenost s kisikom 90-95 % (v tekočih površinskih vodah je okoli 100 %), izjemoma tudi manj (Istenič, 1978), ob zmerni antropogeni obremenitvi pa neredko pade tudi na manj kot 20 % (2 mg/l; npr. Kočevsko polje; Prelovšek, 2015). Prevladujoč mehanizem, ki zmanjšuje koncentracije negativnih snovi v kraški podzemni vodi, je redčenje, ki pa ponekod zaradi prevelikih pritiskov ne zadostuje.

2. Antropogeni pritiski na kraško podzemlje

Antropogeni pritiski na kraške vode obsegajo mnogotere aktivnosti, med katerimi pogosto izpostavljammo intenzivno kmetijsko dejavnost z neustreznim gnojenjem in uporabo fitofarmacevtskih sredstev, odvajanje slabo ali neočiščenih odpadnih voda, neprimerno odlaganje komunalnih in drugih odpadkov, promet ter industrijo. V tem prispevku želimo podrobneje predstaviti zlasti prvi dve, ki jih približno v zadnjem desetletju prepoznavamo kot ključni, prikriti dejavnosti obremenjevanja kraške podzemne vode. Za razliko od drugih virov ta dva močno vplivata na zelo splošno mikrobovno onesnaženje. Ker je človeku fizično dostopen izredno majhen del kraškega podzemlja, saj ga večino tvorijo razpoke, manjši in z gruščem zapolnjeni kanali, navzgor odprti kamini ter s podori in ožinami razčlenjeni večji rovi, je neposreden vpogled v vir onesnaževanja zelo otežen in v večini primerov prikrit.

Različni viri onesnaževanja na krasu pa se zaradi kompleksnosti in večjega obsega prispevnega območja običajno tako zelo prekrivajo, da je identifikacija posameznega vira, zlasti na regionalnih vodnih virih, izjemno težavna. Pravzaprav je ta, brez multiparametrskega in zveznega merjenja, kljub dobremu poznavanju lokalnih razmer, praktično nemogoča. Omejena dostopnost in pomanjkljivo poznavanje kraškega podzemlja sta tudi temeljna vzroka človeške odtujenosti in pogoste malomarne rabe.

2.1 Neustrezna kmetijska raba in kras

V primerjavi z nepropustno kamninsko podlago so kras in prodni zasipi znatno ranljivejši z vidika gnojenja. Ob padavinah se hranila nepovratno izpirajo v globino profila in postajajo nedostopna za rastlinstvo ter okoljsko breme za podzemne vode. Razkorak med kmetijstvom in okoljevarstvom je posledica različnega fokusa, saj je prvo zainteresirano zgolj za rodovitnost talnega profila, ki ga s koreninami še dosegajo kulturne rastline in travinje, drugo pa večinoma na podtalnico, na katero zgolj enosmerno vpliva raba tal. Količinski vnos hranil se pri kmetijstvu, če izvajamo zakonsko sprejete okoljske omejitve, odmerja le na podlagi kmetijskih interesov - analize oz. potreb po gnojenju zgornjega sloja tal (5-20 cm) glede na razpoložljivost in vrsto kulture, količino in kvaliteto pridelka. Količina hranil v globljem profilu in podtalnici je za kmetijstvo brezpredmetna. Obratno je količina hranil v podtalnici za okoljevarstvo ključna in na kmetijskih območjih zelo odvisna od načina gnojenja. Opaža se, da se je doktrina skrbnega vračanja hranil zemlji z živalskimi izločki z razmahom rabe umetnih (rudninskih) hranil in bioplinske gnojevke mestoma povsem porušila. Bioplinska gnojevka se, nasprotno od prepričanj, pogosto primarno ne uporablja kot gnojilo, ampak kot odvečni produkt živinoreje oz. proizvodnje energije. Nasprotno od dušika, nekatera druga hranila (npr. fosfor, kalij) v splošnem ne delujejo toksično na rastline (Mihelič et al., 2010, 157), zato kmetje v osnovi niso zainteresirani za omejevanje vnosa. Vendar, njihova neustrezna raba povzroča škodo v kraškem podzemlju in vsaj kar se tiče fosforja, deloma pa tudi sufata in nitrata, tudi dolgotrajno akumulacijo v kraškem podzemlju (Kogovšek, 2010).

Z vidika varovanja okolja je sporna nedavna uradna izdaja Dovoljenja za podaljšanje obdobja gnojenja s tekočimi organskimi gnojili (2016) v november in december. V tem obdobju se organska snov in hranila zaradi nizkih temperatur ne morejo vezati v rastlinsko biomaso in so lahko podvržena izpiranju, čemur nasprotuje tudi kmetijska stroka (Mihelič et al., 2010). Z vidika vpliva na kvaliteto voda in skrbnega ravnanja z gnojili je povsem zgrešeno sklicevanje pobudnika gnojenja, Kmetijsko gozdarske zbornice Slovenije, na deževno jesen, ki je stalnica slovenskega podnebja, in omejene skladiščne kapacitete za gnojevko. Slednje so predvsem posledica napačnega načrtovanja - prevelike produkcije, premajhne kapacitete in/ali, kot navaja Mihelič s sodelavci (2010, 145), zlasti (pre)ozko zastavljenega kolobarja v povezavi z intenzivno živinorejo. Na pogost konflikt med industrijsko rejo živali in varovanjem okolja opozarja tudi kmetijska stroka, ki se ukvarja z gnojenjem (Mihelič et al., 2010, 163).

2.2 Odpadne vode, čistilne naprave in kras

Čistilne naprave (ČN) so objekti, kjer prihaja do koncentracije odpadne (in meteorne) vode z namenom učinkovitega odstranjevanja mehanskih, organskih, ponekod pa tudi kemično raztopljenih onesnaževal – ob ustreznem delovanju seveda. Ob neustreznem delovanju pa lahko ČN deluje kot koncentrirano obremenjevalo okolja, predvsem površinskih in podzemnih voda, kamor se iztočne vode iz ČN navadno stekajo. V Sloveniji razpolagamo s kar zajetnim številom pravnih aktov, od krovnega Zakona o varstvu okolja (ZVO, Ur.l. RS, 39/06...) do številnih Uredb ter državnih in občinskih načrtov (PIS 1, PIS 2), ki urejajo področje ravnanja z odpadnimi vodami in ČN. S pravnimi akti so določene tudi mejne vrednosti posameznih splošnih parametrov (BPK, KPK...) in onesnaževal (nitrati, fosfati...) v iztočni vodi iz ČN (PIS 3). Vendar, navedena določila izhajajo iz predpostavke, da se prečiščene odpadne vode stekajo v površinski vodotok ali kjer vodotokov ni, preprosto ponikajo v tla, kakršnakoli ta pač so. Ključna težava je prav v tem, da veljavna določila ne upoštevajo specifičnosti in ranljivosti kraškega podzemlja - prečiščena, odpadna voda iz malih,

hišnih in velikih ČN, pronica skozi razpoke in kanale kraškega podzemlja v freatično cono, brez možnosti dodatnega redčenja in prezračevanja.

Dolgoročne, izjemno resne probleme, kot so obsežna onesnaženost pitne vode na kraških zajetjih, izviri in v jamah, s katerimi se bomo očitno še bolj srečevali v prihodnosti, danes beležimo le priložnostno. Slednje je v veliki meri povezano s sporadičnimi onesnaževalci in običajno velikimi razredčitvami v kraških vodonosnikih. Dandanes se še premalo zavedamo dejstva, da bo ob razpršeni poselitvi krasa in prepletenosti kraškega podzemlja, večja onesnaženja zelo težko preprečiti, še težje pa najti povzročitelja. Zaenkrat se številna opozorila in pobude, posredovane na pristojna Ministrstva in Agencije s strani strokovnih služb, zdijo kot črnogleda, pretirana grožnja. Stroka, ki se ukvarja s to problematiko ter s konkretnimi primeri neustreznega delovanja ČN na krasu, vključno z visokogorjem, ugotavlja, da pridobljeni certifikati posameznih proizvajalcev, njihova ustna zagotovila in natisnjeni standardi na občutljivem kraškem območju ne zadostujejo. Za zagotavljanje zdravega, čistega okolja in čiste vode, nad in pod površjem, bo potrebno storiti veliko več, tako s strani pristojnih zakonodajnih, upravnih in inšpektorskih služb, kot tudi s strani načrtovalcev, ponudnikov in izvajalcev.

V nadaljevanju predstavljamo nekaj primerov in števil.

2.3 Praktični primeri s krasa

V Sloveniji so vse jame po Zakonu o varstvu podzemnih jam (ZVPJ, Ur. l. RS, 2/04...) varovane kot naravne vrednote državnega pomena. Jamarji že desetletja v nekaterih jamah spremljamo in opozarjamo na dotoke močno onesnažene vode. Zaradi stalnosti dotokov, tudi v sušnih poletnih mesecih, in bližine večjih čistilnih naprav se ponekod domneva, da onesnaženi dotoki v pretežni meri predstavljajo iztočne vode iz bližnjih ČN. Takšna dotoka rjavo-črno obarvane vode sta bila npr. opažena pred in za odtočnim sifonom v Jami 1 v Kanjaducah (jugovzhodno od Sežane). Vzorca, odvzeta avgusta 2004 in aprila 2013, kažeta močno povečano koncentracijo vseh analiziranih onesnaževal glede na naravno ozadje, in sicer nitratov (37,3 mg/l), sulfatov (63,2 mg/l), fosfatov (8,1 mg/l) in kloridov (104 mg/l) (Analiza vod..., 2011). Zaradi močno smrdeče prenikle vode so jamarji rov Kačne jame, ki se razprostira pod Divačo, nazorno poimenovali 'Rov divaške sramote'. V Kovačevi jami, kamor se najverjetneje stekajo vode iz ČN Andraž nad Polzelo, smo zabeležili visoke vsebnosti nitratov (44,5 mg/l), fosfatov (3,5 mg/l) in sulfatov (33,3 mg/l). Obstaja kar nekaj jam skozi katere, brez ustreznega monitoriranja, teče odpadna voda iz čistilnih naprav (Postojnska, Planinska, Križna, Kovačeva). Nova Križna jama, ki je ločena od Križne jame, a predstavlja njeno hidrološko nadaljevanje, je celo na seznamu zaprtih jam. V slednje je vstop mogoč le izjemoma in z dovoljenjem MOP, kljub temu pa v njej beležimo tok odpadne vode. V zadnjih letih se v Križni jami in Novi Križni jami, ob povišanem vodostaju, opaža povečan obseg onesnaženja, ki v jamo zelo verjetno zahaja z Bloške planote; ob nespremenjeni kmetijski rabi se lahko kaže vpliv ČN Fara na Blokah, s katero je bila podzemna zveza potrjena s sledenjem (Kogovšek et al., 2008).

Podatki Kogovškove (2010), ki je 17 let spremljala koncentracijo nekaterih onesnaževal v prenikli vodi, v Postojnski jami, tik pod greznico vojaškega objekta, kažejo, da lahko pod virom onesnaževanja, kljub debelini vadozne cone (100 m) in ob relativno visoki letni količini padavin (okoli 1.500 mm), pričakujemo visoke koncentracije onesnaževal: 170 mg NO₃⁻/l, 60 mg Cl⁻/l, 50 mg SO₄²⁻/l ter 2,7 mg o-PO₄³⁻/l. Fekalno onesnaženje krasa ima dolgotrajen vpliv, saj se je po zaprtju vojaškega objekta leta 1991 spiranje nadaljevalo; na 50 mg/l so nitrati upadli dve leti po koncu uporabe greznice, na 25 mg/l po šestih, sulfati ter o-fosfati pa so na polovično koncentracijo upadli šele po desetih letih.

Mikrobiološka kontaminacija kraških izvirov je stalnica, zato na krasu praktično ni večjega vodnega zajetja, kjer bi bila voda primerna za pitje brez čiščenja. Tako je na primer v Loški dolini od sedmih vzorčevanih izvirov le eden pokazal mikrobiološko ustreznost, eden prisotnost starega onesnaženja (prisotnost enterokokov), kar pet pa na večinoma stalno

prisotno fekalno onesnaženje (prisotnost *E. coli*) in to kljub relativno nizkim kemijskim parametrom (Klajič, 2007). Mikrobiološki parametri so na ponoru Obrha še slabši, kar kaže na znaten antropogeni vpliv na vode. Daleč najslabša kvaliteta vode je bila ugotovljena pod ČN Stari trg v Loški dolini.

Ločevanje posledic kmetijske rabe in komunalnega onesnaževanja je na krasu zapleteno, saj se obdelovalne površine pogosto prepletajo s poselitvenimi. Kljub temu nekateri primeri s Kočevskega polja, kjer smo, zaradi velike gostote plitvih vodnih jam, lahko uspešno vzorčevali podzemni tok, kažejo na znaten vpliv kmetijske rabe. Tak je primer Jame v Šahnu; vanjo poleg dokazanega podzemeljskega toka ponikalnice Rinže s strani podzemno doteka tudi močno onesnažena voda z njivskih površin (Prelovšek, 2016). Primerjava prav vseh analiziranih kemijskih parametrov med Rinžo in Jamo v Šahnu decembra 2015 in decembra 2016 kaže na povečanje nitratov (iz 6,0 na 9,2 mg/l oz. iz 3,0 na 9,2 mg/l), fosfatov (iz 0,10 na 0,14 mg/l oz. iz 0,58 na 0,65 mg/l) in kloridov (iz 7,1 na 8,8 mg/l oz. iz 15,3 na 17,5 mg/l; izdaten vir kloridov je gnojevka). Koncentracija nitratov je sicer daleč od kritične glede na Uredbo o stanju podzemnih voda (Ur. l. RS, 25/09...), a vse vrednosti kažejo, da je voda s kmetijskih površin bistveno bolj obremenjena s proučevanimi onesnaževali kot Rinža, ki teče skozi Kočevje. Kljub povečevanju pretoka se na podzemnem toku Rinže, ob odsotnosti razredčevanja z neobremenjeno vodo, koncentracije onesnaževal celo višajo. Med točkama merjenja, najverjetneje zaradi prisotnosti organske snovi v gnojevki, nasičenost s kisikom pade s 96 na 65 % oz. s 76 na 49 % in to kljub segrevanju vode na podzemni poti (fizikalno gledano se pri segrevanju vode nasičenost s kisikom viša zaradi zniževanja topnosti). V bližnji Vodni jami pri Cvišlerjih, ki ima 0,2 km² veliko zaledje na travniku oz. pašniku ter deloma gozdnatem območju, smo v vseh štirih primerih vzorčenja zaznali za človeško ribico prekomerne koncentracije nitratov (11,7-22,3 mg/l; Prelovšek, 2016), na sosednjih izvirih sredi travnikov pa celo 17,2-33,5 mg/l (Prelovšek, neobjavljeno). Slednje koncentracije ustrezajo manj namočenim in kmetijsko bolj obremenjenim območjem Ljubljanskega polja ter srednje obremenjenim kmetijskim omočjem Spodnje Savinjske doline, Dravskega in Murskega polja (Sušin et al., 2007). Tudi druge jame, ki predstavljajo habitat človeške ribice, imajo koncentracijo nitratov nad 12 mg/l ne glede na vodostaj, kar priča o veliki razpoložljivosti le-teh v zaledju. Ponekod na kmetijskih površinah ugotavljamo precejšnjo zalogo fosfatov, ki se začnejo sproščati ob intenzivnih padavinah in lahko brez težav dosežejo koncentracije 2,9 mg/l. Nasičenost s kisikom ni kritična v vodnih jamah, ki imajo dober stik s površjem in brzice, pri freatičnem toku blizu drenaže z gnojevko politih površinah pa zaznavamo tudi tako rekoč anoksične razmere (Prelovšek, 2016).

V jami pri Klinji vasi so z zveznim monitoringom in video posnetki (Gnojevka onesnažuje..., 2013) dokumentirani primeri izpustov izredno koncentrirane gnojevke v kraško podzemlje. Podoben primer izlita gnojevke v vrtačo je bil leta 2016 zabeležen nad rovi Postojnske jame.

3. Zaključki

Kras je eno izmed naših največjih bogastev. Na Krasu je bilo prvo območje v Sloveniji spoznano za mednarodno pomembno in uvrščeno na UNESCO-v seznam svetovne naravne dediščine. Vse jame so naravne vrednote državnega pomena, veliko jamskih živali pa je predmet najstrožjega nacionalnega varovanja. Izjemni kraški podzemni habitati so varovani kot pomemben življenjski prostor redkih in ogroženih vrst v okviru ekološkega omrežja Natura 2000 in Ramsarske konvencije o mokriščih. Koncentracija podzemne biodiverzitete je, zlasti na Dinarskem krasu, izjemna v svetovnem merilu. Kraški vodonosniki zagotavljajo pitno vodo približno polovici slovenskega prebivalstva.

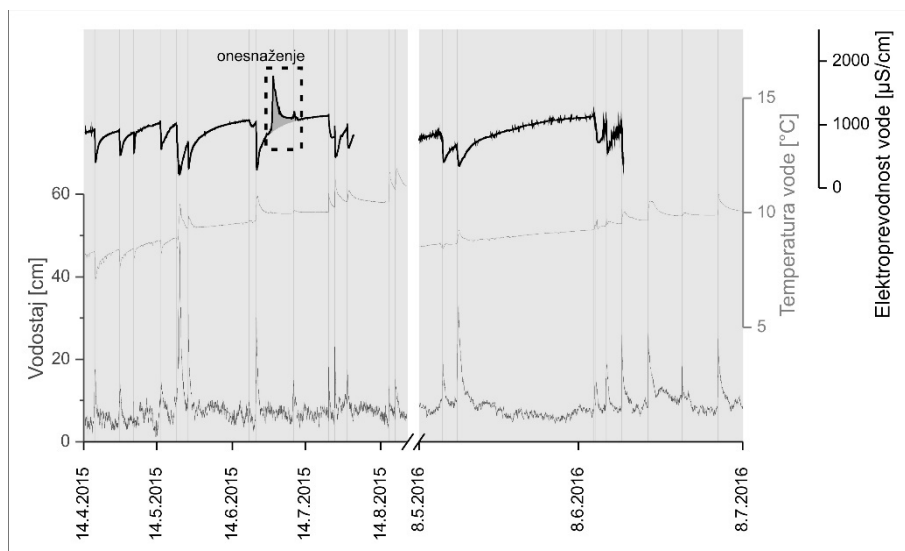
Dejstvo, ki se ga bistveno manj zavedamo od zgoraj naštetih kvalitet pa je, da se negativne aktivnosti na površini, na krasu odražajo očem prikrito - v kraškem podzemlju. V primerjavi s površinskimi vodami, pa tudi medzrnskimi podzemeljskimi vodonosniki, se kažejo kraške

podzemne vode še posebej ranljive in prikrito onesnaževane. Razmeroma dobro stanje na (večjih!) kraških izvirih, ki jih v sklopu rednih letnih meritev kvalitete vode izvaja ARSO (Gacin in Mihorko, 2015), je posledica velike količine padavin in močnega razredčevanja z meteorno vodo, ki doteka iz neposeljenih kraških planot. Na manjših vodnih telesih blizu virov onesnaževanja, kjer je redčenja manj, je stanje bistveno bolj zaskrbljujoče in primerljivo s srednje in bolj obremenjenimi vodonosniki. Tam se realna nasičenost s kisikom v povprečju giblje okoli 70 %, zabeleženi pa so tudi primeri z manj kot 40 % nasičenostjo s kisikom (Prelovšek, 2016; Prelovšek, neobjavljeno). Tik ob virih onesnaževanja z organskimi snovmi (gnojevka, komunalna odpadna voda) lahko pričakujemo celo anoksične razmere. Opažamo, da npr. človeška ribica izginja ob koncentracijah nitratov, ki so daleč pod zakonskim normativom za dobro kemijsko stanje podzemnih voda ($50 \text{ mg NO}_3/\text{l}$, Uredba o stanju podzemnih voda, Ur. l. RS, 25/09...). Izginjanje človeške ribice kaže, da je realna tolerančna vrednost ($10 \text{ mg NO}_3/\text{l}$; Štangelj in Ivanovič, 2013) bistveno nižja in jo veliko voda v poseljenih kraških območjih presega.

S pričujočim prispevkom smo želeli opozoriti prav na to – očem prikrito onesnaževanje kraškega podzemlja. Pristojne javne službe za varstvo narave in kompetentne strokovne institucije (Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU v Postojni) že vrsto let opozarjamo in osveščamo soglasodajalce, občinske uprave in načrtovalce o nujnosti vzpostavitve ustreznega varstvenega režima za kras glede čiščenja in odvajanja odpadnih vod iz ČN. Za dosego slednjega smo si skupaj aktivno prizadevali tudi v dveh primerih večjih ČN (obnova ČN Sežana in gradnja ČN Pivka) in pri gradnji manjše ČN (Fara na Blokah). Pri tem smo računali na pripravljenost in osveščenost soglasodajalca, lastnika in projektanta, a žal neuspešno. Kljub temu vztrajamo, saj smo mnenja, da bi lahko že z nekaj preprostimi, začetnimi rešitvami prišli vsaj do zmanjšanja obremenjevanja kraškega podzemlja. Te rešitve vidimo predvsem v: (i) zakonski določitvi mejnih vrednosti iztočnih parametrov iz ČN, ki bi upoštevali oz. bili prilagojeni za specifične lastnosti krasa vključno s specifikami podzemnega vodnega živalstva, (ii) vzpostavitvi za kras obveznega terciarnega čiščenja pred ponikanjem iztočne vode v podzemlje, (iii) spodbujanjem gradnje rastlinskih čistilnih naprav, (iv) vidnem in dostopnem iztoku iz ČN ter (v) zagotavljanju naključnega vzorčenja in zveznega monitoringa vsaj nekaterih ključnih parametrov na iztoku iz ČN. Na področju kmetijstva je potrebno zagotoviti količinsko ustrežnejši in časovno primeren vnos hranil v tla, upoštevajoč tudi koncentracije zlasti nitratov v lokalnih in ne zgolj na iztoku iz regionalnih vodonosnikov. Potrebno bi bilo izvajati (občasen) monitoring vsaj indikatorskih parametrov na lokalnem nivoju in z inšpekcijskimi službami bolj odzivno in uspešno reševati probleme.

Poudarjamo, da namen pričujočega prispevka ni iskanje in izpostavljanje morebitnih krivcev, povzročiteljev ali oškodovancev, temveč pozvati vpleteno stroko in zainteresirano javnost k čim prejšnjemu ukrepanju ter uvedbi pre-potrebni sprememb na kraških območjih. Slovenski kongres o vodah se nam zdi dobra priložnost, da seznanimo strokovnjake z vseh področij, povezanih s krasom in kraško podzemno vodo, z aktualnim dogajanjem in pozovemo vse zainteresirane za pomoč pri raziskovanju, osveščanju in aktivnem opozarjanju o nujnosti zagotavljanja čim bolj ugodnih rešitev za kras in njegove prebivalce.

Marsikateri bogat, regionalni kraški vodni vir ni zajet za vodooskrbo predvsem zaradi prekomerne prisotnosti bakterij fekalnega izvora, praktično povsod pa so na zajetjih potrebni znatni ukrepi čiščenja za zagotavljanje ustreznosti (Malni – Planinsko polje, Cerknica, Babno polje...). Zavajanje javnosti o ustreznosti kvalitete pitne vode, kot se je to zgodilo v Cerknici, ali predstavitev zajetja v primeru Loške doline je parcialen in kratkoročen korak k reševanju kvalitete pitne vode, dolgoročno pa očiten korak v stran od ustreznega, celovitega reševanja problemov na izvoru in stran od želenega izboljšanja okoljskega stanja. Prestavitev vodnih zajetij vodi praviloma v še slabše stanje na nekoč zajetem vodnem viru, saj se zaradi zmanjšanih zadržkov onesnaževanje v zaledju poveča.



Slika 8 Točkovno obsežno onesnaženje v bližini vodne jame na Kočevskem polju, najverjetneje z gnojevko, zaznано z zveznim spremljanjem prevodnosti, temperature in vodostaja s CTD registratorjem (interval merjenja 15 min; navpične črte so padavinski dogodki). Visoke vrednosti elektroprevodnosti v ozadju odražajo vpliv nekdanjega rudnika premoga (sulfator). Podobno onesnaženje je bilo vnorič slučajno odkrito in posneto oktobra 2016 (Gnojevka onesnažuje..., 2013).

Ugotavljamo, da z vidika nitrata previsoki, a legalni, normativi za ugodno kemijsko stanje voda (do 50 mg/l; Uredba o stanju podzemnih voda, Ur. l. RS 25/09), vodijo v nezmožnost ukrepanja ob sicer škodljivih koncentracijah celo za ogrožene živalske vrste. Posledica preteklega in aktivnega onesnaževanja je izginotje izjemno številčnih populacij človeške ribice, npr. v Vodni jami pri Klinji vasi in Jami v Šahnu pri Kočevju. Ponekod se človeške ribice v zadnjih letih ne opaža več, npr. na izviru Otovski breg pri Črnomlju (Hudoklin, ustni vir), kar se vzporeja z izmerjenim dvigom koncentracij nitratov in fosfatov. Slednje se povezuje s prekomerno uporabo bioplinske gnojevke v zaledju. Izginjanje človeške ribice se najverjetneje dogaja vzporedno ob opaženih poginih rib na ponikalnicah (Pivka v Postojnski jami junija 2016). Istega leta je bil namreč v Planinski jami prvič v zgodovini evidentiran pogin treh osebkov človeških ribic (Ciril Mlinar, ustni vir).

4. Viri

- [1] CULVER, D.C. AND SKET, B., 2000. Hotspots of Subterranean Biodiversity in Caves and Wells. *Journal of Cave and Karst Studies*, 62 (1), 11-17.
- [2] Dovoljenje za podaljšanje obdobja gnojenja s tekočimi organskimi gnojili [online]. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Dostopno na: http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/Medijsko_sredisce/2016/11_november/Dovoljenje_15.11.2016.pdf [dostop 11. januar 2017]
- [3] GACIN, M., Mihorko, P., 2016. Ocena kemijskega stanja podzemne vode v Sloveniji v letu 2015 [online]. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO. Dostopno na: http://www.arso.gov.si/vode/podzemne/vode/publikacije/in%20poro%C4%8Dila/Porocilo_podzemne_2015_objava_splet_22.11.2016_sken.pdf [dostop 11. januar 2017]
- [4] GAMS, I., 2004. Kras v Sloveniji v prostoru in času (druga pregledana izdaja). Ljubljana: Založba ZRC, ZRC SAZU.
- [5] Gnojevka onesnažuje Vodno jamo [online]. Kočevje, TV Kočevje. Dostopno na: <http://www.tvkocevje.si/narava-zdravje/ekologija/1948-gnojevka-onesnazuje-vodno-jamo> [dostop 15. januar 2017]
- [6] ISTENIČ, L., 1978. Pomanjkanje kisika v Putickovem jezeru Planinske jame. *Acta carsologica* 8, 330-352.

- [7] Analiza vod iz Jame 1 v Kanjaduach [online]. Sežana, JD Jamarski klub Sežana. Dostopno na: <http://jds.brlog.net/index.php/ekologija/97-analiza-vod-iz-jame-1-v-kanjaduach> [dostop 11. januar 2017]
- [8] KLAJČ, S., 2007. Spremljanje bioloških parametrov – elementov kakovosti površinskih in podzemnih voda (poročilo). Ljubljana, Zavod za zdravstveno varstvo Ljubljana, 40 str.
- [9] KOGOVŠEK, J., 2010. Characteristics of percolation through the karst vadose zone. Postojna-Ljubljana: Inštitut za raziskovanje krasi ZRC SAZU, 168 str.
- [10] KOGOVŠEK, J., PRELOVŠEK, M., PETRIČ, M., 2008. Underground water flow between Bloke plateau and Cerknica polje and hydrologic function of Križna jama, Slovenia. *Acta carsologica* 37/(2-3), 213-225.
- [11] MIHELČ, R., ČOP, J., JAKŠE, M., ŠTAMPAR, F., MAJER, D., TOJNKO, S., VRŠIČ, S., 2010. Smernice za strokovno utemeljeno gnojenje. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.
- [12] PIS 1 (Pravno informacijski sistem) [online]. Dostopno na: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pravniRedRSSearch?od=&search=%C4%8Distilne+naprave&page=1&sortOrder=relevantnost&do=&chosenFilters=vsiPredpisi&filter=&scrollTop=0> [dostop 11. januar 2017]
- [13] PIS 2 (Pravno informacijski sistem) [online]. Dostopno na: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pravniRedRSSearch?search=odpadne+vode> [dostop 11. januar 2017]
- [14] PIS 3 (Pravno informacijski sistem) [online]. Dostopno na: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pravniRedRSSearch?search=mejne%20vrednosti%20parametrov%20onesna%C5%BEenosti%20pri%20neposrednem%20in%20posrednem%20odvajanju%20ter%20pri%20odvajanju%20v%20javno%20kanalizacijo&filter=&chosenFilters=vsiPredpisi&od=&do=&sortOrder=relevantnost&page=1&scrollTop=0> [dostop 16. januar 2017]
- [15] PLENIČAR, M., et al., 2006. Geološki terminološki slovar. Ljubljana: Založba ZRC, ZRC, SAZU.
- [16] PRELOVŠEK, M., 2016. Prvo končno poročilo o kvaliteti podzemnih voda v izbranih vodnih jamah Kočevskega polja in izviri Bilpe in Radešice/Obrha. Postojna, Inštitut za raziskovanje krasi ZRC SAZU, 68 str. Dostopno na: http://life-kocevsko.eu/wp-content/uploads/2016/04/2016_02_28_Prvo-koncno-porocilo_podzemne-vode-v-jamah-A2.pdf [dostop 11. januar 2017]
- [17] RAVBAR, N., 2007. Vulnerability and risk mapping for the protection of karst waters in Slovenia. Application to the catchment of the Podstenjšek springs. Doktorska disertacija, Univerza v Novi Gorici. Nova Gorica.
- [18] ŠTANGELJ, M., IVANOVIČ, M., 2013. Narava Bele krajine. Metlika: Belokranjski muzej, 227 str.
- [19] Uredba o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16)
- [20] Zakon o varstvu okolja - ZVO (Uradni list RS, št. 39/06 – uradno prečiščeno besedilo, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09 – ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15 in 30/16)
- [21] Zakon o varstvu podzemnih jam – ZVPJ (Uradni list RS, št. 2/04, 61/06 – Zdru-1 in 46/14 – ZON-C)

ELEMENTI V VODI IN SEDIMENTIH MED VISOKIM IN NIZKIM VODOSTAJEM REKE SAVE

prof. dr. Radmila Milačič^{1,2}, dr. Tea Zuliani^{1,2}, Janja Vidmar, B.Sc.^{1,2}, Primož Oprčkal, B.Sc.^{2,3},
B. Sc., Gregor Pavec, B.Sc.^{1,2}, prof. dr. Janez Ščančar^{1,2}

¹Institut Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju, Jamova 39, 1000 Ljubljana, ²Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana Jamova 39, 1000 Ljubljana, ³Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za materiale, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Porečja so izpostavljena številnim stresorjem, med njimi tudi anorganskim onesnažilom. Da bi ocenili obnašanje onesnažil med ekstremnimi dogodki, smo preučevali, kako različni pogoji, kot sta veliki pretok in vodostaj reke, vplivajo na mobilizacijo elementov iz sedimentov v vodno fazo reke Save. Vzorčili smo septembra 2014, ko je bil vodostaj reke Save zelo visok in septembra 2015, ko je bil vodostaj reke nizek. Raziskava je potekala v okviru EU projekta GLOBAQUA [1], v katerem je reka Sava eno izmed preučevanih porečij. V vzorcih vode smo določili celotne koncentracije izbranih potencialno strupenih elementov (PTE) in njihov topni delež ($0.45 \mu\text{m}$). Onesnaženje sedimenta smo ovrednotili z analizo celotnih koncentracij in mobilnega deleža PTE (ekstrakcija z 0.11 mol L^{-1} ocatno kislino). Antropogeni vnos elementov smo ocenili z normalizacijo koncentracije PTE na koncentracijo Al v sedimentu. Rezultati so pokazali, da se koncentracije PTE v vodi in sedimentih zlagoma večajo s tokom reke od izvira do izliva. Celotne koncentracije PTE v vodi so bile višje med visokim vodostajem, medtem ko so bile njihove topne koncentracije v vodi višje pri nižjem vodostaju. Po dolgotrajnih poplavah na reki Savi, ki so v letu 2014 trajale od pomladi do pozne jeseni, so bile koncentracije elementov v sedimentih v letu 2015 nižje, ker so visoke vode odplavile večji del finih glinastih delcev, na katere so PTE vezani. Rezultati raziskave bodo koristni za upravljalce vodnih virov in lahko prispevajo k sonaravni rabi, upravljanju in zaščiti vodnih virov v porečju reke Save.

1. Uvod

Voda je nepogrešljiva naravna dobrina, ki omogoča življenje na Zemlji. Okoli 97% vode na našem planetu je slane in le 3% predstavljajo sladko vodo [2]. Vodne vire intenzivno izkoriščamo v industriji, kmetijstvu, proizvodnji električnega toka in v gospodinjstvih. V državah evropske unije (EU) nacionalne agencije kontrolirajo kvaliteto vode (Vodna direktiva in njene hčerinske direktive, WFD) [3,4]. Z zmanjšanjem onesnaževanja okolja se je izboljšala tudi kvaliteta površinskih voda. Kljub vsemu pa se polutanti, ki so se v preteklosti akumulirali v sedimentih, pod določenimi pogoji lahko re-mobilizirajo in onesnažijo vodno okolje [5]. Kontaminanti se iz rečnih sedimentov lahko re-mobilizirajo zaradi naravnih procesov mešanja sedimenta (velika deževja, poplave) [6] ali pa kot posledica človeških dejavnosti kot sta na primer poglobljanje rečnega dna [7] in rečni promet [8]. Vignati in sod. [9] so preučevali mobilizacijo kovin v vodo reke Po ob poplavah in v sušnem obdobju. Dodatno informacijo o stanju vodenega ekosistema dobimo z analizo topnega deleža ($< 0.45 \mu\text{m}$) potencialno strupenih elementov (PTE) [10] ter z določitvijo množine PTE vezanih na suspendirano snov (SPM) [11]. Kljub temu, da se vodostaji rek znatno spreminjajo glede na pogoje v okolju, je raziskav o obnašanju kontaminantov pri visokih in nizkih vodostajih rek, le malo.

Reka Sava teče čez Slovenijo, Hrvaško, Boso in Hercegovino ter Srbijo in je glede na vodnatost (povprečni pretok pri Beogradu $1700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) največji pritok Donave. V zgornjem toku je struga strma (povprečen naklon $>0.7 \text{ ‰}$). Sediment je grob in sestavljen predvsem iz apnenca, v nižinskem delu (povprečen naklon $>0.04 \text{ ‰}$) pa prevladuje fini silikatni sediment. Sava napaja vodonosnike, ki so vir pitne vode za 9 milijonov obrečnega prebivalstva. Glavni viri onesnaženja reke Save so industrijske dejavnosti in intenzivno kmetijstvo, zgoščeno prebivalstvo v velikih mestih, v spodnjem toku pa tudi neurejeni izpusti komunalnih vod [12].

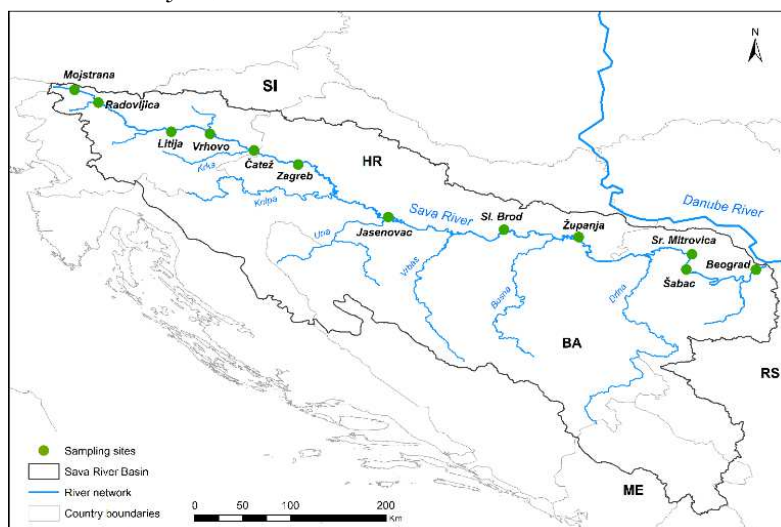
2. Eksperimentalni del

2.1 Instrumenti, metode dela

Koncentracije elementov smo določili z masno spektrometrijo z induktivno sklopljeno plazmo (ICP-MS). V vzorcih vode smo določili celotne koncentracije izbranih elementov in njihov topni delež (filtriranje skozi $0.45 \mu\text{m}$ filter). Onesnaženje sedimenta smo ovrednotili z analizo celotnih koncentracij in mobilnega deleža elementov (ekstrakcija z 0.11 mol L^{-1} ocatno kislino). Antropogeni vnos PTE smo ocenili z normalizacijo koncentracije elementov na koncentracijo Al v sedimentu. Analizni postopki so podrobno opisani v delu Vidmar in sod. [11].

2.1 Vzorčenje

Vzorčenje vod in sedimentov je potekalo septembra 2014 (med dvema poplavnima valoma) in septembra 2015 v času nizkega vodostaja. Vzorčna mesta prikazuje slika 1, način vzorčenja pa je opisan v delu Vidmar in sod. [11]. Ker je bil v času vzorčenja v letu 2014 vodostaj zelo visok, na vzorčnih mestih JAS, SLB in ZUP ni bilo možno vzeti sedimenta.



Slika 1 Vzorčna mesta in okrajšave: Mojstrana (MOJ), Radovljica (RAD), Litija (LIT), Čatež (ČAT), Zagreb (ZAG), Jasenovac (JAS), Slavonski Brod (SLB), Županja (ZUP), Sremska Mitrovica (SRM), Šabac (SAB) Beograd (BEO).

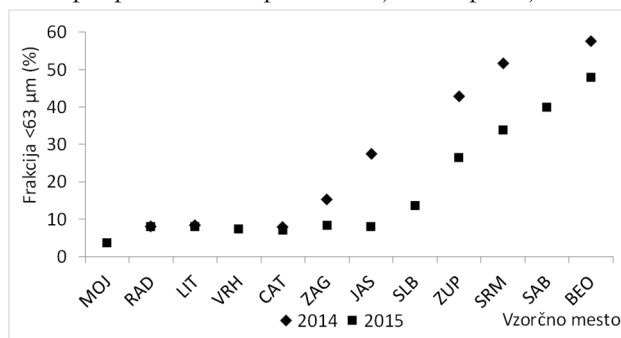
3. Rezultati in razprava

3.1 Hidrološki pogoji in porazdelitev velikosti delcev v sedimentih

Porazdelitev velikosti delcev v sedimentu prikazuje Slika 2. v času visokih vodostajev (2014) je bila množina suspendirane snovi med 60 in 130 mg L^{-1} , med nizkimi pretoki reke pa pod 10 mg L^{-1} . Zato v letu 2015 ni bilo možno določiti vsebnosti PTE v suspendirani snovi. Analiza

velikosti delcev je pokazala, da je le 10% delcev v sedimentih zgornje Save manjših od $<63 \mu\text{m}$, v spodnjem toku pa je ta odstotek dosegel do 60%.

Analiza masnega deleža glinastih delcev v frakciji $<63 \mu\text{m}$ je pokazala, da je bil le-ta v zgornji Savi pri Radovljici 39.8% v letu 2014 in 29.8% v letu 2015, pri Beogradu pa 52.5% v letu 2014 in 55.0% v letu 2015. Ti podatki kažejo na transport finega deleža sedimenta v zgornji Savi med velikimi poplavami (velika erozijska moč). V spodnji Savi se je fini sediment nalagal, k čemer so v največji meri prispevali Savini pritoki v njenem spodnjem toku.



Slika 2 Porazdelitev velikosti delcev v sedimentih reke Save med visokimi (2014) in nizkimi (2015) vodostaji.

3.2 Vpliv različnih hidroloških pogojev na koncentracije PTE v sedimentih in vodi reke Save

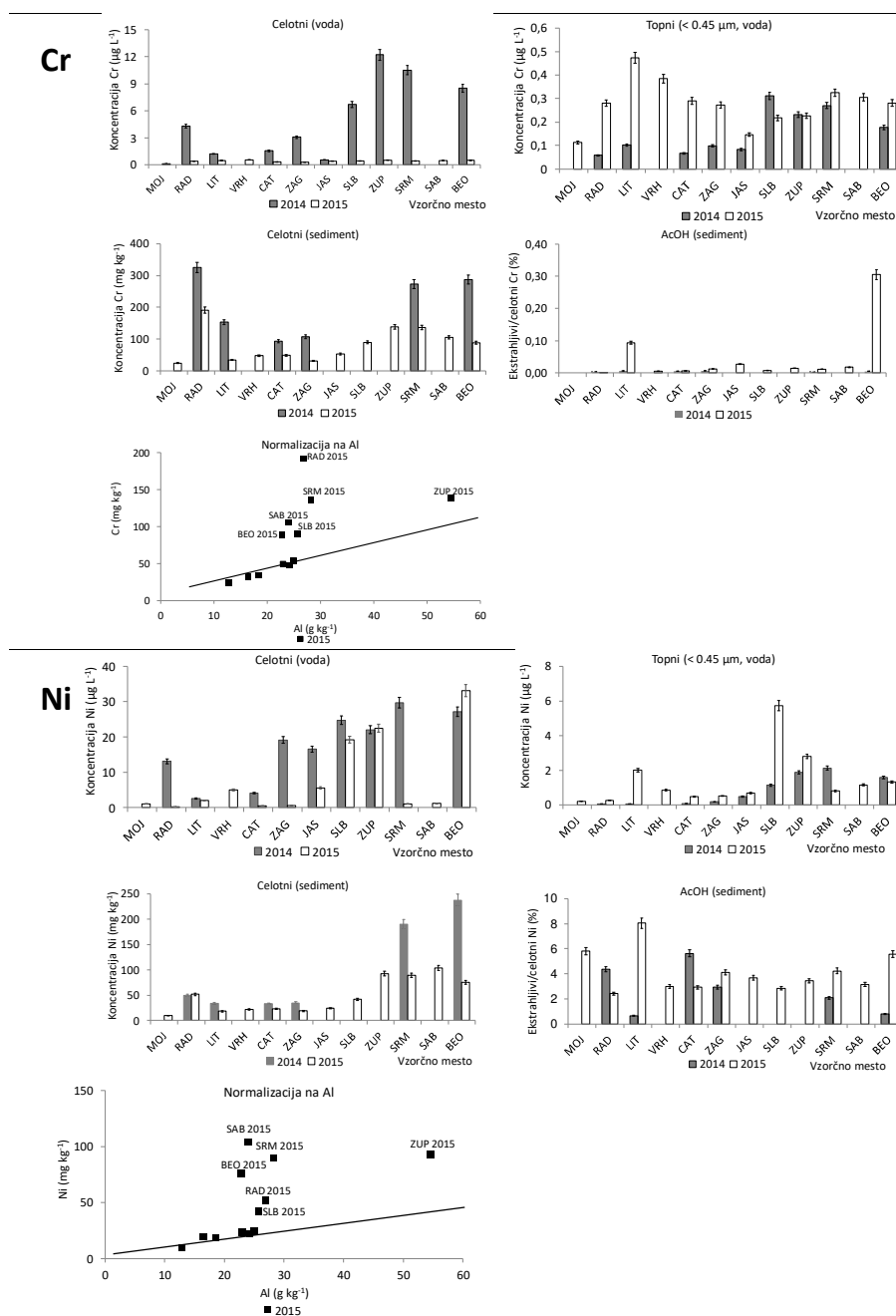
Vpliv različnih hidroloških pogojev na koncentracije PTE v sedimentih in vodi reke Save, smo ocenili s primerjavo podatkov vzorčenj 2014 in 2015. Primer za Cr in Ni prikazuje slika 3.

Razvidno je, da so koncentracije Cr in Ni v sedimentu v glavnem višje v letu 2014. Ta pojav je v zgornji Savi povezan s transportom fine glinaste frakcije, ki veže onesnažila, v spodnji Savi pa z odplavljanjem starih nanosov organske snovi, na katero se PTE vežejo ali z njo tvorijo komplekse. Posledično so bile koncentracije Ni in Cr v sedimentu nižje v letu 2015. Podatki normalizacije na Al kažejo na antropogene vplive Cr na vzorčnem mestu RAD, SLB, SRM, SAB in BEO, Ni pa se pojavlja v povišanih koncentracijah, ki so posledica človeških dejavnosti, na mestih SRM, SAB in BEO. Povišane koncentracije Cr pri RAD so posledica jeklarske industrije z Jesenic, medtem ko so povišane koncentracije pri SLB, SRM, SAB in BEO povezane z delovanjem metalurške in kemijske industrije. Podobno kot pri Savi, je Vignati s sod. [9] opazil višje koncentracije Cr in Ni v sedimentih reke Po v obdobju visokih vod. Podatki iz slike 3 nadalje kažejo, da je topni, mobilni delež Cr in Ni zelo nizek (pod 0.015% oziroma 8% njune celotne vsebnosti). Podobno so poročali Sakan in sod. za večino srbskih rek [14]. V primerjavi z vzorčenjem na Savi v letih 2005/2006 so vsebnosti Cr in Ni v sedimentih precej nižje [15]. Ker sta Cr in Ni prisotna v težko topnih oblikah, ne predstavljata nevarnosti za vodno okolje.

Pb, Cu in As se obnašajo podobno kot Cr in Ni. Cd, Zn in Mn pa so prisotni v večji meri (tudi do 60 % v topnih oblikah, kar je v skladu z opažanji Sakan in sod. za srbske reke [14]. Ker so njihove celotne koncentracije v sedimentih nizke, omenjeni elementi ne kažejo strupenih vplivov na žive organizme.

Sedimenti predstavljajo ponor za PTE. Med ekstremnimi dogodki, kot so bile velike poplave v 2014, so se celotne koncentracije PTE vezane na delce in organsko snov, zaradi mešanja sedimentov znatno povečale (Slika 3). Mešanje sedimentov je delno re-mobiliziralo v vodo tudi topen ($< 0.45 \mu\text{m}$) delež PTE, vendar so bile njihove koncentracije v času velikih vod nižje, zaradi redčenja v veliki vodni masi. Koncentracije topnega deleža PTE ne presegajo vrednosti, ki jih predpisuje WFD [3,4].

V splošnem so koncentracije PTE v sedimentih in vodi reke Save podobne ali nižje od tistih, ki so jih določili v reki Donavi [16] in reki Po [9], zato se Sava uvršča med zmerno onesnažene evropske reke.



Slika 3 Koncentracije Cr in Ni v vodi in sedimentih reke Save pri visokih (2014) in nizkih (2015) vodostajih.

4. Zaključki

Rezultati študije kažejo, da so velike poplave, ki so jim sledila sušna obdobja pomembno vplivali na spremembo koncentracij PTE (Cr, Ni, Cd, Zn, Pb, As, Cu in Mn) v vodi in sedimentih reke Save. Med poplavnim obdobjem se je del finih glinastih delcev sedimenta, na katere so vezani PTE, zaradi velike erozijske moči reke, odplovil iz zgornje Save dol vodno.

Zaradi tega so bile koncentracije PTE, ki smo jih določili na vzorčnih mestih zgornje Save znatno nižje v sušnem obdobju, ki je sledilo velikim poplavam. Podoben pojav smo opazili v sedimentih spodnje Save, kjer se je s poplavnim valom odplavil predvsem velik delež organske snovi, na katere so bili PTE adsorbirani ali so z organsko snovjo tvorili komplekse. Glede na podatke predhodnih raziskav v letih 2005-2006, so se koncentracije PTE v sedimentih znatno znižale. Cr in Ni, ki sta v zgornji Savi povečana na RAD, v spodnji Savi pa od ZUP do BEO, izvirata iz jeklarske in kovinsko predelovalne industrije. Ker so njune lahko topne koncentracije izjemno nizke, omenjena elementa ne predstavljata nevarnosti za okolje.

Zaradi intenzivnega mešanja sedimenta v času velikih vod (poplav), so bile celotne koncentracije PTE, vezane na delce suspendirane snovi in organsko snov v vzorcih vode, zelo visoke. PTE, ki so se v preteklosti akumulirali v sedimentih, so se v obdobju poplav delno re-mobilizirani v vodno fazo. Ker so se koncentracije re-mobiliziranih kontaminantov znatno razredčile v velikem volumnu rečne vode, so bile njihove topne koncentracije ($< 0.45 \mu\text{m}$) v sušnem obdobju, v splošnem nižje. Topne koncentracije PTE niso presegle vrednosti, ki jih določata WFD in Okoljske smernice za površinske vode. Glede na vsebnost PTE v vodi in sedimentih, lahko Savo uvrstimo v zmerno onesnažene evropske reke. Rezultati študije podajajo nova znanja o obnašanju PTE pri različnih pogojih pretokov rek (velike poplave, suše), ki so jih do sedaj le redko preučevali.

5. Viri in literatura

- [1] NAVARRO-ORTEGA, A., ACUÑA, V., BELLIN, A., BUREK, P., CASSIANI, G., CHOUKR-ALLAH, R., DOLÉDEC, S., ELOSEGI, A., FERRARI, F., GINEBRED, A., GRATHWOHL, P., JONES, C., KER RAULT, P., KOK, K., KOUNDOURI, P., LUDWIG, R.P., MILACIC, R., MUÑOZ, I., PANICONI, C., PAUNOVIĆ, M., PETROVIC, M., SABATER, S., SKOULIKIDIS, N.T.H., SLOB, A., TEUTSCH, G., VOULVOULIS, N., BARCELÓ, D., 2015. Managing the effects of multiple stressors on aquatic ecosystems under water scarcity. *Science of the Total Environment*, 503/504, 3-9.
- [2] McMICHAEL, C.E., 2014. Freshwater. *The Encyclopedia of Earth*. 2008. "Freshwater." V: *Encyclopedia of Earth*. Ur. Cleveland, C.J., Aiman Al-Rawajfeh, A., (Washington, D.C., USA). <http://www.eoearth.org/view/article/152861>
- [3] European Communities Environmental Objectives (Surface Waters) 2009. Regulations S.I. no. 272/2009.
- [4] European Communities Technical Report 2009-025. 2009. Common implementation strategy for the Water Framework directive (2000/60/EC), Guidance Document No. 19 guidance on surface water chemical monitoring under the Water Framework Directive.
- [5] KWOK, K.W.H., BATLEY, G.E., WENNING, R.J., ZHU, L., VANGHELUWE, M., LEE, S., 2014. Sediment quality guidelines: challenges and opportunities for improving SEDIMENT MANAGEMENT. *ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH*. 21, 17-27.
- [6] BORGA, M., STOFFEL, M., MARCHI, L., MARRA, F., JAKOB, M., 2014. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, 518, 194-205.
- [7] HO, H.H., SWENNEN, R., CAPPUYNS, V., VASSILIEVA, E., GERVEN, T.V., TRAN, T.V., 2012. Potential release of selected trace elements (As, Cd, Cu, Mn, Pb and Zn) from sediments in Cam River-mouth (Vietnam) under influence of pH and oxidation. *Science of the Total Environment*, 435-436, 478-498.
- [8] SUPERVILLE, P.-J., PRYGIEL, E., MAGNIER, A., LESVEN, L., GAO, Y., BAHEYENS, W., OUDDANE, B., DUMOULIN, D., BILLON, G., 2014. Daily variations of Zn and Pb concentrations in the Deûle River in relation to the resuspension of heavily polluted sediments. *Science of the Total Environment*, 470-471, 600-607.
- [9] VIGNATI, D., PARDOS, M., DISERENS, J., UGAZIO, G., THOMAS, R., DOMINIK, J., 2003. Characterisation of bed sediments and suspension of the river Po (Italy) during normal and high flow conditions. *Water Research*, 37, 2847-2864.
- [10] DRAGUN, Z., ROJE, V., MIKAC, N., RASPOR, B., 2009. Preliminary assessment of total dissolved trace metal concentrations in Sava River water. *Environmental Monitoring and Assessment*, 159, 99-110.
- [11] VIDMAR, J., ZULIANI, T., NOVAK, P., DRINČIĆ, A., ŠČANČAR, J., MILAČIĆ, R., 2016. Elements in water, suspended particulate matter and sediments of the Sava River. *Journal of Slits and Sediments* in press, DOI 10.1007/s11368-016-1512-4

- [12] KOMATINA, D., GROŠELJ, S., 2015. Transboundary Water Cooperation for Sustainable Development of the Sava River Basin. V: MILAČIČ, R., ŠČANČAR, J., PAUNOVIĆ, M. (Ur.), The Sava river, The handbook of environmental chemistry, 31. Springer, Heidelberg, 1-25.
- [13] BRILLY, M., ŠRAJ, M., VIDMAR, A., PRIMOŽIČ, M., KOPRIVŠEK, M., 2015. Climate change impact on flood hazard in the Sava River Basin V: MILAČIČ, R., ŠČANČAR, J., PAUNOVIĆ, M. (Ur.), The Sava river, The handbook of environmental chemistry, 31. Springer, Heidelberg, 27–52.
- [14] SAKAN, S., POPOVIĆ, A., ŠKRIVANJ, S., SAKAN, N., ĐORĐEVIĆ, D., 2016. Comparison of single extraction procedures and the application of an index for the assessment of heavy metal bioavailability in river sediments. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 21485-21500.
- [15] MILAČIČ, R., ŠČANČAR, J., MURKO, S., KOCMAN, D., HORVAT, M., 2010. A complex investigation of the extent of pollution in sediments of the Sava River. Part 1. Selected elements. *Environmental Monitoring and Assessment*, 163, 263-275.
- [16] VIGNATI, D.A.L., SECRIERU, D., BOGATOVA, Y.I., DOMINIK, J., CÉRÉGHINO, R., BERLINSKY, N.A., OAIE, G., SZOBOTKA, S., STANICA, A., 2013. Trace element contamination in the arms of the Danube Delta (Romania/Ukraine): Current state of knowledge and future needs. *Journal of Environmental Management*, 125, 169-178.

RABA VODA V SLOVENIJI

mag. Jana Meljo, univ. dipl. inž. grad., Jurij Krajčič, mag. geog., dr. Nataša Smolar Žvanut,
univ. dipl. biol.

Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova ul. 28c, 1000 Ljubljana

POVZETEK

V okiru priprave strokovnih podlag Načrtov upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2016-2021 so bili na ravni Republike Slovenije analizirani podatki, ki prikazujejo dovoljen obseg posameznih vrst rabe voda, razdelitev rabe voda po tipu odvzema, indekse kakšne? rabe voda in podrobnejši pregled posameznih vrst rabe voda. Skladno z Vodno direktivo in nacionalno zakonodajo s področja voda so določeni tudi cilj upravljanja voda, da se zagotovi varovanje in upravljanje z vodnimi viri in z njimi povezanimi ekosistemi. Glavni cilji rabe voda so trajnostna raba voda ob doseganju okoljskih ciljev, vzpostavitev podpore načrtovanju rabe voda, izboljšanje povezljivosti in uporabnosti evidenc o rabi voda, evidentiranje podatkov o količinah rabljene vode, zmanjšanje števila kršitev, vezanih na rabo voda, ter zagotovitev zadostne količine kakovostne pitne vode. Z namenom doseganja ciljev upravljanja voda je bil sprejet Program ukrepov upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2016-2021. Ukrepe sestavljajo temeljni in dopolnilni ukrepi. Z namenom izboljšanja izvajanja temeljnih ukrepov je sprejet dopolnilni ukrep, vezan na podporo odločanju o rabi ter nadgradnji in povezavi različnih evidenc s področja voda v skupni informacijski sistem.

Ključne besede:

načrt upravljanja voda, raba voda, vodne pravice, cilji rabe voda, ukrepi rabe voda

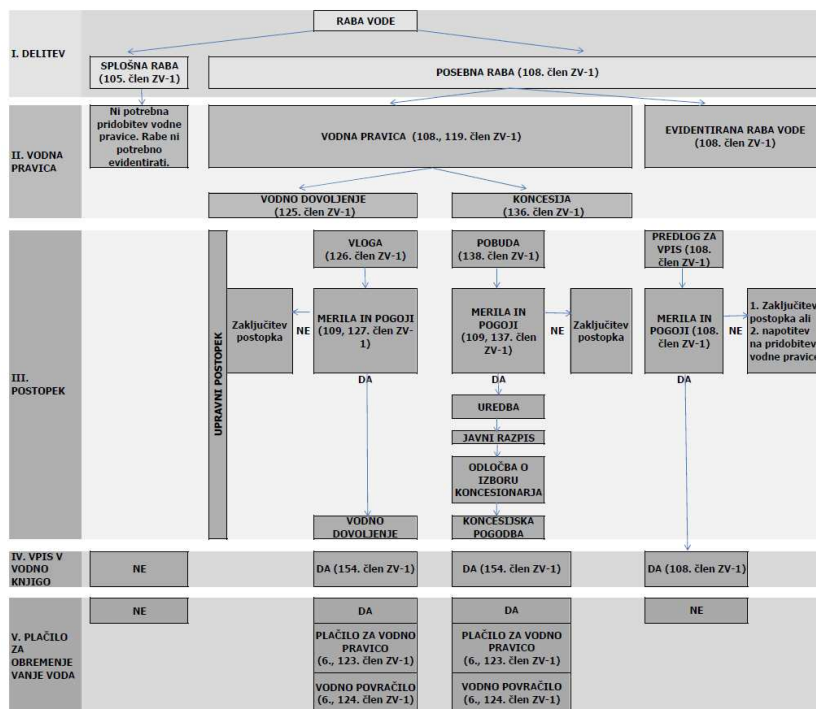
1. Uvod

Vodo potrebujemo za oskrbo s pitno vodo, tehnološke namene, proizvodnjo električne energije, namakanje, gojenje vodnih organizmov, rekreacijo, plovbo in podobno. V preteklosti je pogosto prevladovalo mnenje, da se lahko vodo uporablja ne glede na potrebe naravnih ekosistemov, v zadnjih desetletjih pa se čedalje bolj zavedamo potrebe po izboljšanju kakovosti in ohranjanju količin vode, ki omogočajo naravno ravnovesje vodnih in obvodnih ekosistemov.

Namen prispevka je predstavitev pregleda rabe voda v Sloveniji, način podeljevanja vodnih pravic, opis ciljev in ukrepov za doseganje trajnostne rabe voda. Z vodo moramo ravnati odgovorno in zagotoviti smotrno in učinkovito rabo voda z uporabo najboljše razpoložljive tehnike. Z rabo voda ne smemo poslabševati stanja voda. (Zakon o vodah, Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 - ZZdrI-A, 41/04 - ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14 in 56/15, v nadaljevanju: Zakon o vodah).

2. Raba voda

Po Zakonu o vodah se raba voda deli na splošno in posebno rabo voda. Splošna raba voda obsega predvsem rabo vodnega ali morskega dobra za pitje, kopanje, potapljanje, drsanje ali druge osebne potrebe. Takšna raba je dovoljena, če ni pogojena z uporabo posebnih naprav oziroma z graditvijo objekta ali naprave, za katero je treba pridobiti gradbeno dovoljenje. Za splošno rabo voda ni potrebno pridobiti posebnega akta in zanjo ni potrebno plačati. Za rabo vode, ki presega meje splošne rabe, za rabo naplavin in podzemnih voda je treba pridobiti vodno pravico na podlagi vodnega dovoljenja ali koncesije oziroma jo je potrebno evidentirati. Podatki o posebni rabi voda se zbirajo v vodni knjigi (Zakon o vodah, vir?).



Slika 9: Shematski prikaz »rabe voda« (vir: ARSO, 2014a; ARSO, 2014b in analize IzVRS, 2015)

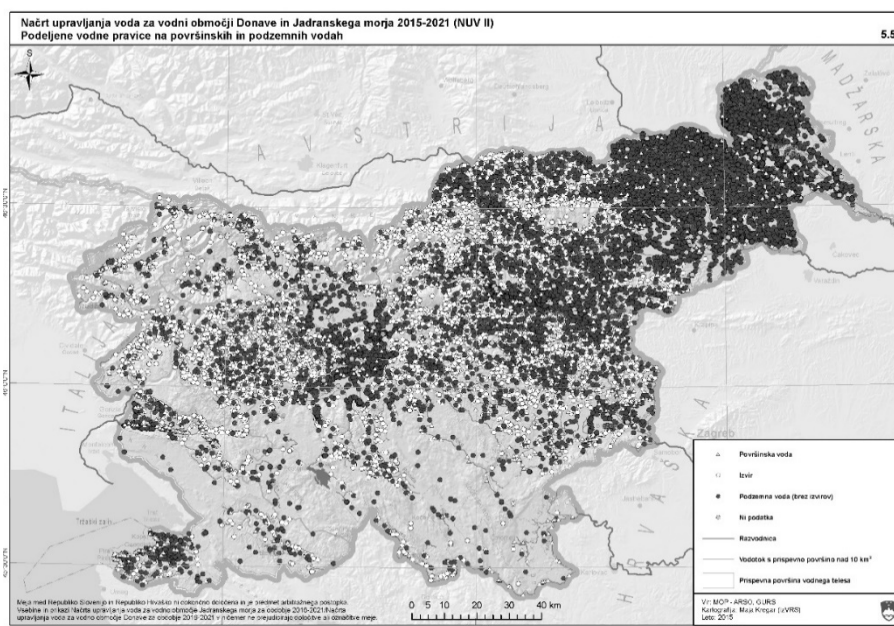
3. Vodna pravica

Vodna pravica je pravica do posebne rabe vodnega ali morskega javnega dobra kot tudi naplavin, razen vodnega zemljišča. Pridobi se jo lahko na dva načina: z vodnim dovoljenjem (v nadaljevanju VD) ali s koncesijo (v nadaljevanju K). Vodna pravica mora biti vpisana v vodno knjigo. Za vsako rabo vodnega ali morskega javnega dobra ali naplavin, razen za splošno rabo, se plačujeta plačilo za vodno pravico in vodno povračilo, ki sta okoljski dajatvi za rabo naravnih dobrin (Zakon o vodah).

Rabo voda se izvaja na površinskih ali podzemnih vodah (preglednica 1, slika 2). Med podzemno vodo se štejejo tudi izviri (Nagy in sod., 2008). Podatki o vodnih pravicah in obsegu rabe vode so pridobljeni iz vodne knjige (ARSO, 2014a; ARSO, 2014b in analize IzVRS, 2015).

Preglednica 1: Podeljene vodne pravice v Sloveniji glede na vrsto vodnega vira (vir: ARSO, 2014a; ARSO, 2014b in analize IzVRS, 2015)

Vrsta vodnega vira (vrsta vodne pravice)	Slovenija	
Površinske vode (koncesije)	556	1.769
Površinske vode (vodna dovoljenja)	1.213	
Izviri (vodna dovoljenja)	15.921	15.921
Podzemne vode brez izvirov (vodna dovoljenja)	20.013	20.055
Podzemne vode brez izvirov (koncesije)	42	
SKUPAJ	37.745	



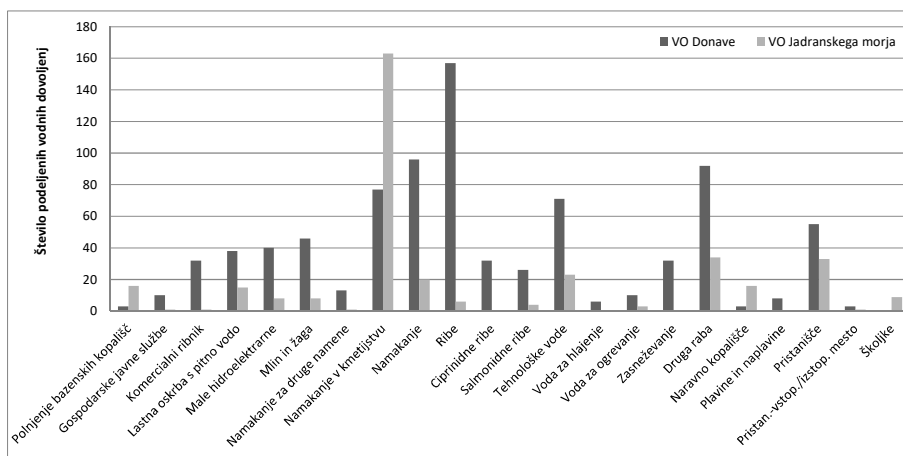
Slika 2 Posebna raba voda v Sloveniji (vir: ARSO, 2014a; ARSO, 2014b in analize IzVRS, 2015)

4. Pregled posebne rabe površinskih voda po vrstah rabe

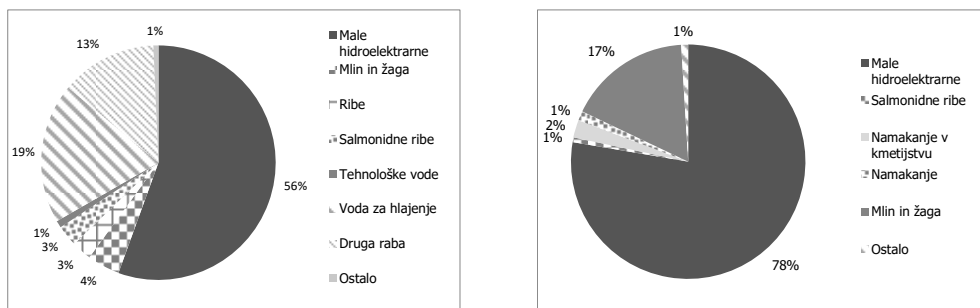
4.1 Vodna dovoljenja

Za rabo površinskih voda je podeljenih 1.212 vodnih dovoljenj, od tega 850 na VO Donave in 362 na VO Jadranskega morja. Največje število podeljenih vodnih dovoljenj za rabo vode na VO Donave je podeljenih za gojenje rib, za namakanje in za drugo rabo. Na VO Jadranskega morja pa je največ vodnih dovoljenj podeljenih za namakanje, drugo rabo (predvsem zalivanje) in pristanišča (Slika 3).

Deleži rabljene vode po posameznih vrstah rabe voda so prikazani na sliki 4 in sicer le za vrste rabe voda, ki so izražene s pretokom. Na VO Donave izstopajo raba vode za proizvodnjo električne energije v malih hidroelektrarnah, raba voda za hlajenje v tehnološke namene in druga raba, na VO Jadranskega morja pa raba vode za proizvodnjo električne energije v malih hidroelektrarnah ter za pogon mlinov in žag.



Slika 3: Število podeljenih vodnih dovoljenj na VO Donave in VO Jadranskega morja (vir: ARSO, 2014a; ARSO, 2014b in analize IŽVRS, 2015)



Slika 4: VD - delež rabljene vode na VO Donave (levo) in VO Jadranskega morja (desno) (vir: ARSO, 2014a; ARSO, 2014b in analize IŽVRS, 2015)

4.2 Koncesije

Za rabo voda na površinskih vodah je aktivnih 556 koncesij, od tega 421 na VO Donave in 135 na VO Jadranskega morja. Največ koncesij tako na VO Donave kot na VO Jadranskega morja je podeljenih za proizvodnjo električne energije v malih hidroelektrarnah. Na osnovi podeljenih koncesij se na VO Donave rabi največje količine vode za obratovanje hidroelektrarn (91 %) in malih hidroelektrarn (9 %), na VO Jadranskega morja pa za obratovanje hidroelektrarn (77 %) in malih hidroelektrarn (23 %). Na VO Jadranskega morja se največ vodnih površin rabi za gojenje morskih organizmov – školjk (99 %)

Gojitvena območja so namenjena gojenju morskih organizmov in obsegajo »območja koncesij« ter pripadajoče logistične površine. Velikost gojitvenega območja znaša približno 1.180.000 m², od tega v Sečovljah 865.942 m², v Strunjanu 133.469 m² in na Debelem Rtiču 180.353 m² (ARSO, 2015).

5. Delitev posebne rabe površinskih voda po tipu odvzema

Delitev rabe voda po »tipu odvzema« izkazuje, da je delež nepovratne rabe voda v Sloveniji v primerjavi s povratno rabo zelo majhen in znaša le dober odstotek. Vseh vrst rabe vode ni bilo mogoče deliti na povratne in nepovratne odvzeme, zato so odvzemi za tehnološke namene in odvzemi za drugo rabo voda obravnavani ločeno. Na VO Donave je količina le-teh cca. 30 % količine vode povratne rabe voda, na VO Jadranskega morja pa le 0,5 %. To razliko gre pripisati veliki količini vode za hlajenje jedrske elektrarne (Smolar-Žvanut in sod., 2015).

6. Cilji rabe voda

Cilji načrta upravljanja voda se delijo na okoljske cilje in cilje v zvezi z urejanjem in rabo voda. Okoljski cilji obsegajo cilje v zvezi z varstvom voda. (Uredba o podrobnejši vsebini in načinu priprave načrta upravljanja voda; Uradni list RS, št. 26/06, 5/09, 36/13 in 74/16). Cilji, vezani na rabo voda, morajo biti skladni z drugimi cilji, ki se nanašajo na varstvo in urejanje voda. Na območjih s posebnimi zahtevami so lahko zastavljeni višji cilji, ki posledično narekujejo strožje ukrepe, npr. dodatno omejevanje rabe voda (Zakon o vodah).

Poglavitni cilj rabe voda je doseganje trajnostne rabe voda ob spoštovanju okoljskih ciljev, vzpostavitev podpore načrtovanju rabe voda v Sloveniji, izboljšanje povezljivosti in uporabnosti evidenc o rabi voda, evidentiranje podatkov o količinah rabljene vode, zmanjšanje števila kršitev, vezanih na rabo voda, ter zagotovitev zadostne količine kakovostne pitne vode. Cilji v zvezi z rabo voda so v največji možni meri opredeljeni po načelih SMART (specific, measurable, achievable, realistic, timeline), ki predstavljajo načrt za pripravo ciljev, merljivost napredka in izvedljivost ciljev.

Potencialni problemi vezani na doseganje ciljev trajnostne rabe voda lahko nastopijo v koliziji interesov zasledovanja okoljskih, družbenih in gospodarskih ciljev, kot so na primer:

- varstvo okolja: doseganje dobrega stanja voda;
- energetika: doseganje 20 % energije iz obnovljivih virov energije do leta 2020;
- kmetijstvo: povečanje samooskrbe s hrano in
- gospodarstvo in turizem: razvoj gospodarstva in turizma. (Smolar-Žvanut in sod., 2015).

7. Ukrepi rabe voda

V letu 2013 je bilo pripravljeno poročilo o izvajanju Programa ukrepov Načrta upravljanja voda za obdobje 2011–2015 (Vlada RS, 2016a). Od skupno 66 ukrepov jih je izvedenih 9 (predvsem ukrepi, vezani na prepovedi, omejitve in pogoje rabe voda, določene z Uredbo o načrtu upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja; Uradni list RS, št. 61/11, 49/12, v nadaljevanju Uredbe). 30 ukrepov se izvaja, 27 ukrepov pa še ni izvedenih. Iz poročila izhaja, da za izvajanje dopolnilnih ukrepov ni bilo na voljo dovolj sredstev. (Vlada RS, 2016a).

Izvedeni ukrepi, ki se nanašajo na prepovedi, omejitve in pogoje rabe površinske vode, so:

- Omejitev rabe površinskih voda za namakanje (DUPPS1 8.1.2), 5. člen Uredbe,
- Omejevanje nepovratne rabe voda na območjih velikih namakalnih sistemov (DUPPS 8.1.3), 5. člen Uredbe,
- Prepovedi rabe površinskih voda na odsekih za določitev referenčnih razmer in v zaledju (DUPPS 8.2.1), 6. člen Uredbe,
- Prepoved rabe površinskih voda na povirjih in vodotokih z malimi specifičnimi odtoki malih vod (DUPPS 8.3.2), 5. člen Uredbe,
- Prepoved stalnega sidranja izven območij pristanišč (DUPPS 8.3.5), 5. člen Uredbe,
- Prepovedi, pogoji in omejitve za podelitev rudarske pravice in vodne pravice v gramoznicah (DUPPS 8.7), 5. člen Uredbe.

V obdobju 2011-2015 sta bila za delovno področje rabe voda izvedena še dva dopolnilna ukrepa Analiza razpoložljivih zalog podzemne in površinske vode ter obstoječe in predvidene

¹ Dopolnilni ukrepi za preprečitev poslabšanja ali slabšanja stanja

rabe vode za obdobje do 2021 (DDU² 26) ter Ureditev primarne in sekundarnih rab vode v večnamenskih akumulacijah (DDU 19) .

Program ukrepov upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2016–2021 sestavljajo temeljni in dopolnilni ukrepi, ki so razdeljeni v tri skupine (t. i. temeljni ukrepi »a«, temeljni ukrepi »b« in dopolnilni ukrepi). Temeljni ukrepi »a« so ukrepi, ki se že izvajajo na podlagi predpisov, ki urejajo področje voda, varstva okolja in ohranjanja narave. To so ukrepi skupne vodne politike, ki se v skladu z določili Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES (v nadaljevanju: vodne direktive) upoštevajo pri pripravi načrtov upravljanja voda. Temeljni ukrepi »b« so ukrepi, ki dopolnjujejo oz. nadgrajujejo aktivnosti, izhajajoče iz temeljnih ukrepov »a« in odpravljajo prepoznane pravne, upravne, administrativne ali strokovno raziskovalne vrzeli. Dopolnilni ukrepi so ukrepi, ki so potrebni zaradi doseganja dobrega stanja voda. Ukrepi za vodna telesa površinskih voda in podzemnih voda so opredeljeni na podlagi ocene verjetnosti, da okoljski cilji leta 2021 oz. 2027 ne bodo doseženi (Vlada RS, 2016b).

Temeljni ukrepi »a«, ki se že izvajajo, so:

- Sistem podeljevanja vodnih pravic (R1a)
- Omejitve, prepovedi in pogoji rabe voda (R3a)
- Sistem oskrbe s pitno vodo (R4a)
- Spodbujanje učinkovite in trajnostne rabe vode (R5a)

V sklopu vsebin vezanih na rabo voda je predviden tudi temeljni ukrep »b« Sistem za podporo odločanju o rabi voda (R1b1), ki obsega analizo obstoječe rabe voda in količinskega stanja podzemnih voda, analizo razpoložljivih količin vode in ranljivosti vodnega okolja ter omejitve rabe voda. Upoštevajo se varovana zaledja vodnih virov in možnost njihove optimizacije ter vključitev v sistem obvladovanja tveganj pri oskrbi s pitno vodo. Vključene bodo tudi sektorske potrebe po rabi voda. Predvideno izvajanje naloge je v obdobju 2017–2020.

8. Zaključki

Kljub temu, da je Slovenija je med najbolj vodnatimi državami v Evropi in svetu, je treba rabo voda skrbno načrtovati. S predlaganimi temeljnimi in dopolnilnimi ukrepi dosegamo trajnostno rabo voda in sledimo doseganju skupne vodne politike. Najobsežnejši ukrep, ki se bo izvajal v naslednjem vodno-načrtovalskem obdobju je Sistem za podporo odločanju o rabi voda (R1b1), ki je namenjen racionalizaciji upravnega postopka podeljevanja vodnih pravic. Ukrep »Sistem za podporo odločanju o rabi voda« obsega analizo obstoječe rabe voda, analizo količinskega stanja podzemnih in površinskih voda, analizo razpoložljivih količin vode, analizo ranljivosti vodnega okolja in omejitve rabe voda. V sklopu ukrepa se bodo pripravile strateške ocene o primernosti odsekov za nadaljnjo rabo vode. Z upoštevanjem ciljev varstva narave in potreb po rabi voda bodo rezultati ukrepa lahko v pomoč pri odločanju o rabi voda.

9. Viri

[1] ALCAMO, J., HENRICH, T., RÖSCH, T., 2000. World Water in 2025 – Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century. Report A0002, Centre for Environmental System Research, University of Kassel, Germany.

[2] ARSO, 2014a. Geoportal ARSO - izpis okoljskih prostorskih podatkov: koncesije za rabo voda (točke) Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana. (pridobljeno 27. 5. 2014)

² Drugi dopolnilni ukrepi

- [3] ARSO, 2014b. Geoportal ARSO - izpis okoljskih prostorskih podatkov: vodna dovoljenja (točke) Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana. (pridobljeno 7. 5. 2014)
- [4] ARSO, 2014c. Kazalci okolja v Sloveniji – Indeks izkoriščanja vode. Dostopno s http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=593 (pridobljeno februar 2014).
- [5] ARSO, 2015. Podatki o podeljenih vodnih pravicah. Lastni preračuni (IzVRS) iz podatkov Atlasa okolja. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana.
- [6] EEA, 2004. Indicator fact sheet: (WQ1) Water exploitation index. Copenhagen, European Environment Agency: 8 str.
- [7] EEA, 2009. Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought. Copenhagen, European Environment Agency: 55 str.
- [8] Nagy, M., Lenz, K., Windhofer, G., Fürst, J., Fribourg-Blanc, B., 2008. Data Collection Manual for the OECD/Eurostat, Joint Questionnaire on Inland Waters Tables 1 – 7; Concepts, definitions, current practices, evaluations and recommendations, version 2.21: 157 str.
- [9] SMOALRr-ŽVANUT N., MELJO, J., KOLMAN, G., KRAJČIČ, J., SMILJIČ, L. Integracija vsebin, vezanih na rabo voda (v2.0 – strokovne podlage). Poročilo o realizaciji naloge I/1/1/9. Inštitut za vode Republike Slovenije. Ljubljana. 2015.
- [10] Vlada RS, 2016a. Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2016–2021. Ljubljana. Oktober, 2016.
- [11] Vlada RS, 2016b. Program ukrepov upravljanja voda. Ljubljana. Oktober 2016.
- [12] Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 - ZZdrI-A, 41/04 - ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14 in 56/15).
- [13] ZAL, N. 2012. Overview of EEA's water indicators and water exploitation index (WEI+). Seminar for Eastern Europe, Caucasus and Central Asia Countries (EECCA) on Water Statistics, Kazakhstan, Almaty, 11.-12.11.2012: 30 prosojnic.

RABA VODE V VEČNAMENSKIH ZADRŽEVALNIKIH

mag. Jana Meljo, univ. dipl. inž. grad., Jurij Krajčič, mag. geog., dr. Nataša Smolar Žvanut,
univ. dipl. biol.

Direkcija Republike Slovenije za vode, Hajdrihova ul. 28c, 1000 Ljubljana

POVZETEK

V Sloveniji so zgrajeni večnamenski zadrževalniki, na katerih se izvajajo različne vrste rabe voda in ostale dejavnosti, ki niso vedno skladne z načrtovano rabo voda. Nenačrtovana raba zadrževalnikov, predvsem ribištvo, ribogojstvo, rekreacija in turizem, otežuje njihovo upravljanje in sofinanciranje vzdrževalnih del. Za uspešnejše upravljanje zadrževalnikov je ključna določitev prioritete rabe vode in drugih dejavnosti v večnamenskih zadrževalnikih.

V ta namen je bila v prvem vodnonačtovalskem obdobju izvedena naloga, v sklopu katere je bilo obravnavanih 56 večnamenskih zadrževalnikov in 2 hidroenergetska derivacijska kanala. Zbrani so podatki o tehničnih značilnostih zadrževalnikov, obstoječih in predvidenih vrstah rabe voda, o obremenitvah, hidromorfologiji in podatki, vezani na ekonomske vsebine. Na podlagi teh podatkov je bil podan predlog prednostne uporabe vodnih zadrževalnikov.

Določeni so bili tudi nosilci stroškov uporabe vodne infrastrukture za druge namene. Za zagotovitev enotnega sistema ureditve razmerij glede finančnih obveznosti, ki nastanejo z uporabo vodne infrastrukture, je bil izdelan tudi predlog kriterijev delitve finančnih stroškov za uporabo vodnih objektov in naprav v večnamenskih zadrževalnikih med različnimi uporabniki. Izbrani kriterij je bil preizkušen na štirih primerih večnamenskih zadrževalnikov: Slivniško, Šmartinsko in Žovneško jezero ter za akumulacijo HE Vrhovo.

Ključne besede:

raba voda, zadrževalniki, pregrade

1. Uvod

V Sloveniji so zgrajeni večnamenski zadrževalniki, na katerih se izvajajo različne vrste rabe voda in ostale dejavnosti, ki niso vedno skladne z načrtovano rabo. Vodni objekti in naprave v večnamenskih zadrževalnikih se lahko uporabljajo za različne namene, in sicer za:

- splošno rabo vodnega dobra,
- posebno rabo vodnega dobra,
- urejanje voda (ohranjanje in uravnavanje vodnih količin, varstvo pred škodljivim delovanjem voda, vzdrževanje vodnih in priobalnih zemljišč, skrb za hidromorfološko stanje vodnega režima) - (vodna infrastruktura),
- izvajanje monitoringa (vodna infrastruktura),
- zmanjšanje vplivov onesnaževanja voda dolvodno (bogatenje voda v sušnih mesecih)
- kombinacijo teh dejavnosti.

V članku so prikazani delni rezultati naloge DDU19 »Ureditev primarne in sekundarnih rab vode v večnamenskih akumulacijah«, ki se je izvajala v obdobju 2012-2014. Namen naloge je bil izboljšanje upravljanja vodnih objektov in naprav v večnamenskih zadrževalnikih, cilj naloge pa je bil pripraviti predlog prioritete uporabe večnamenskih vodnih objektov in naprav ter določiti kriterije delitve finančnih stroškov za rabo vodnih objektov in naprav med različnimi uporabniki.

2. Metoda dela

V nalogi je bilo analiziranih 58 objektov, med njimi 48 mokrih in 8 suhih zadrževalnikov ter 2 derivacijska kanala Formin in Zlatoličje. V sodelovanju z Agencijo RS za okolje (zdaj Sektorji območij Direkcije Republike Slovenije za vode, v nadaljevanju DRSV) in predstavniki izvajalcev gospodarskih javnih služb urejanja voda so bili izvedeni terenski ogledi zadrževalnikov.

Podatki o vodnih objektih in rabi vode za proizvodnjo električne energije v velikih hidroelektrarnah so bili pridobljeni s strani hidroenergetskih družb: Dravske elektrarne Maribor d.o.o. (DEM), Savske elektrarne Ljubljana d.o.o. (SEL), Hidroelektrarne na Spodnji Savi, d.o.o. (HESS) in Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o. (SENG).

V tabelarni obliki so zbrani rezultati povpraševanj, poizvedb in analiz, ki so bile izvedene v okviru naloge. Zbrani podatki se delijo v naslednje sklope:

- Osnovni podatki o zadrževalnikih
- Podatki o obstoječih dejavnostih in vrstah rabe vode v zadrževalnikih
- Podatki za potrebe določitve ekološkega potenciala zadrževalnikov:
 - Osnovni podatki
 - Nihanje vode v zadrževalniku
 - Nihanje vode v vodotoku pod pregrado
- Podatki o stanju voda in podatki za analizo hidromorfoloških obremenitev in vplivov
- Podatki, potrebni za izvedbo ekonomskih vsebin
- Drugi podatki

2.1 Osnovni podatki o zadrževalnikih in pregradah

Zbrani so osnovni podatki, ki izhajajo iz študij, projektne dokumentacije in drugih dokumentov:

- Upravljaivec
- Vrsta zadrževalnika (suhi/mokri)
- Tip zadrževalnika (pretočni/akumulacijski)
- Čas zadrževanja vode (dni)
- Obseg (km) (mokri: pri stalni ojezeritvi; suhi: max. vrednost)
- Površina zadrževalnika (km²)
- Globina zadrževalnika (m)
- Volumen zadrževalnika (m³)
- Obratovalna kota zadrževalnika (m.n.v.)
- Min in max. višina vode v zadrževalniku (m.n.v.)
- Višina pregrade (m)

2.2 Podatki o obstoječih dejavnostih in vrstah rabe voda v zadrževalnikih

Na podlagi podatkov vodne knjige so bile popisane vse vrste rabe voda, ki se izvajajo na zadrževalnikih. Iz projektne dokumentacije so bili pridobljeni podatki o vlogi vodnih objektov za varstvo pred poplavami. V nalogi so vključeni tudi podatki o dejanski in načrtovani rabi voda za namakanje kmetijskih zemljišč, ki izhajajo iz projekta CRP *Ocena vodnih perspektiv na območju Slovenije in možnosti rabe vode v kmetijski pridelavi* (Pintar in sod., 2010). Evidenca je bila dopolnjena s podatki o ribiških okoliših. Podatki iz ribiškega katastra so dostopni preko Zavoda za ribištvo Slovenije (ZZRS). Na podlagi teh podatkov je bilo prepoznano, kateri zadrževalniki so vključeni v Ribiško gojitvene načrte (RGN) in kolikšna površina zadrževalnika je vključena v RGN. Zbrani so bili tudi podatki o potrebah po rabi vode v prihodnje.

V nalogi so bile evidentirane tudi vrste rabe voda, ki se ne izvajajo, vendar so predvidene v uradnih dokumentih, pravilnikih in drugih aktih. Zbrani so tudi podatki o posebnih vrstah rabe voda, ki se izvajajo brez vodne pravice.

2.3 Podatki, potrebni za določitev ekološkega potenciala

Zadrževalniki, ki so s predpisi, ki opredeljujejo vodna telesa površinskih voda, določeni kot močno preoblikovana vodna telesa ali umetna vodna telesa, morajo skladno z Zakonom o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 - ZZdrI-A, 41/04 - ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14 in 56/15) (v nadaljevanju: ZV-1) dosegati cilje dobrega stanja voda, to je dober ekološki potencial. S tem namenom so v nalogi zbrani podatki, ki vključujejo naslednje vsebine:

Osnovni podatki:

- Podatki o vrednostih ekološko sprejemljivega pretoka (Qes)
- Pogostost praznjenja (npr. x-krat letno)
- Pogostost odstranjevanja proda, mulja iz zadrževalnika
- Vrsta izpusta (npr. hipolimnijski)
- Omilitveni ukrepi (npr. ribja steza, prehod za druge vodne organizme)
- Najnižja gladina vode v zadrževalniku, ki se še rabi (m.n.v.)
- Krivulja odvisnosti volumna in višine vode v zadrževalniku (V-h) in krivulja odvisnosti površine zadrževalnika in višine vode v njem (F-h)
- "Naključnost upravljanja vodostaja" (zaželen podatek povprečnega leta)

Nihanje vode v zadrževalniku:

- Podatki o operativnem monitoringu gladin
- Oblika dostopnih podatkov operativnega monitoringa gladin (digitalni/analogni)
- Hitrost dviganja in spuščanja vode (npr. cm/dan)
- Pogostost spreminjanja višine vode (npr. dnevno, obdobjno)

Nihanje vode v vodotoku pod pregrado:

- Merodajna vodomerna postaja (nacionalni ali operativni monitoring)
- Oblika dostopnih podatkov operativnega monitoringa gladin (digitalni/analogni)
- Hitrost dviganja vode pod pregrado (npr. cm/h)
- Hitrost upadanja gladine pod pregrado (npr. cm/h)
- Pogostost spreminjanja višine vode (npr. dnevno, obdobjno)
- Velikost izpusta oz. povečanje pretoka (m^3/s)

2.4 Podatki o stanju voda in podatki, vezani na analizo vplivov in obremenitev

V nalogu so vključeni tudi podatki o stanju vodnih teles površinskih voda iz Načrta upravljanja voda 2009-2015 (Uredba o načrtu upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja, Ur.l. RS, št. 61/2011, 49/2012), ki lahko služijo kot dodatna informacija pri odločanju o primernosti predlagane rabe vode v zadrževalniku. V primeru nedoseganja ciljev bo v prihodnosti verjetno treba izdelati presojo vpliva rabe vode na stanje voda in odločiti, ali se bo predlagana prioriteta raba voda oz. dejavnost lahko izvajala. Zbrani drugi podatki, ki so potrebni za dopolnitev hidromorfoloških analiz obremenitev in vplivov (AOV):

- Prisotnost umetnega materiala (beton, kamen,..), opis obsega Popis naravnega substrata (blato, mulj, pesek, prod, grušč, kamenje, skale, organski substrat)
- Način urejanja obrežnega in vodnega rastlinstva (košnja oz. odstranjevanje vodnih rastlin)
- Odstranjevanje plavnega lesa (ne, občasno, redno)
- Podatki, vezani na premeščanje plavin
- Delež brežin z antropogeno ureditvijo (% dolžine)
- Ureditve brežin
- Pokrovnost tal v obrežnem pasu in % dolžine
- Pokrovnost tal na priobalnih zemljiščih oz. poplavni ravnici (mokrišča, gozdovi, mrtvice...) (% spremenjene površine)

2.5 Podatki, potrebni za izvedbo ekonomskih vsebin

Za zagotovitev enotnega sistema ureditve razmerij glede finančnih obveznosti, ki nastanejo z uporabo vodne infrastrukture, so predlagani kriteriji delitve finančnih stroškov za uporabo vodnih objektov in naprav med različnimi uporabniki. Rezultati naloge bodo v pomoč pri pripravi pogodb po 48. in 191. členu ZV-1. Zbrani podatki, ki so potrebni za izvedbo ekonomskih vsebin, so:

- Kdo so izvajalci dejanske rabe (imena pravnih ali fizičnih oseb, imena oseb, podjetij, ribiških družin...; zbrano v internem delu poročila)?
- Kdo in v kakšnem razmerju je financiral gradnjo zadrževalnika in pregrade?
- Kdo in v kakšnem razmerju financira vzdrževanje in obratovanje zadrževalnika in pregrade?
- Kakšni so letni stroški vzdrževanja in obratovanja zadrževalnika in pregrade?
- Ali je sofinanciranje vzdrževanja optimalno (DA/NE)? Predlog sprememb:
- Ali je morda sklenjena pogodba med lastniki vodne infrastrukture in drugimi uporabniki te iste infrastrukture, skladno z 48. členom ZV-1? (DA/NE)
- Ali gre za vodno infrastrukturo, vodne objekte za posebno rabo voda ali objekte vodne in energetske infrastrukture v nedeljivem razmerju?

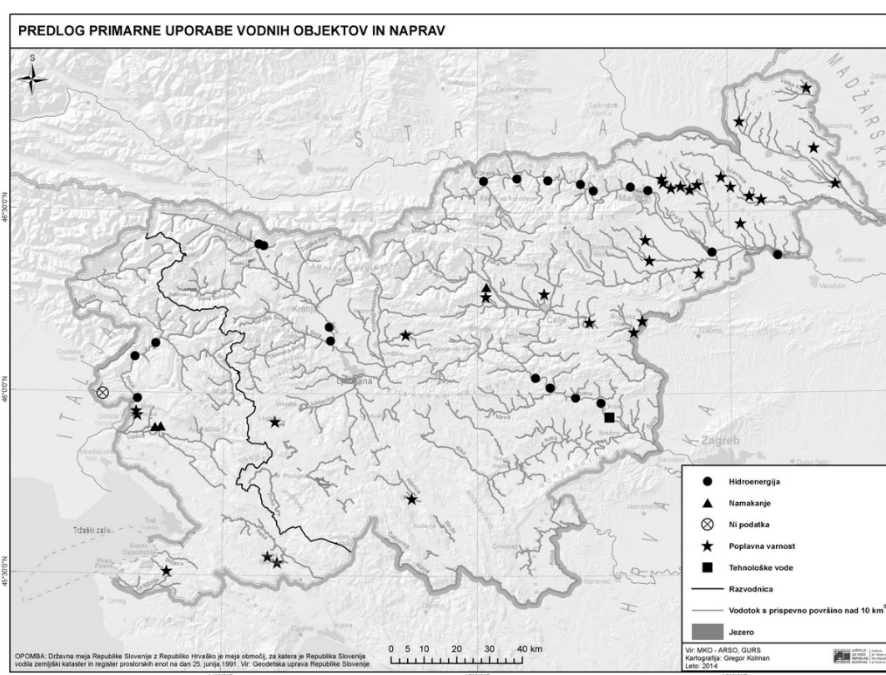
3. Rezultati

Na podlagi zbranih podatkov o »dejanski in projektirani rabi«, ki izhajajo iz študije Strokovne podlage s področja voda za potrebe prostorskega plana: Zadrževalniki in zbiralniki (Pirc, 1989), podatkov o »osnovni rabi« zadrževalnikov, ki izhajajo iz prispevka Realnost nadzora in ukrepanja na večnamenskih pregradah v Sloveniji (Globevnik, 2010) ter ostalih zbranih podatkov iz vodne knjige, ribiškega katastra, pravilnikov in poslovnikov o obratovanju

zadrževalnikov, podatkov iz koncesijskih pogodb in prilog ter informacijah o splošni rabi vode, ki so bile pridobljene s strani upravljavcev, internetnih povezav, prispevkov in drugih študij, je bil pripravljen strokovni predlog prioritete uporabe vodnih objektov. Predlog prioritete uporabe vodnih objektov in naprav je prikazan na sliki 1.

Največ zadrževalnikov je prioritetno namenjeno zagotavljanju poplavne varnosti in proizvodnji električne energije v hidroelektrarnah. Le trije zadrževalniki so namenjeni namakanju in eden za tehnološko rabo vode. Rezultati naloge so pokazali, da se na večini zadrževalnikov izvajata vsaj po dve vrsti rabe vode. Največ različnih vrst rabe vode se izvaja na Šmarinskem jezeru, ki je primarno namenjen zagotavljanju poplavne varnosti, vodo pa se rabi še za vzrejo vodnih organizmov, zalivanje, deskanje na vodi in skoke v vodo.

V nalogi so izdelane tudi podlage za zagotovitev enotnega sistema ureditve razmerij glede finančnih obveznosti, ki nastanejo z uporabo vodne infrastrukture. Izbran je ustrezen kriterij za delitev finančnih stroškov uporabe vodnih objektov in naprav v večnamenskih akumulacijah med uporabniki. Imetniki vodne pravice so nosilci finančnih stroškov v primerih, ko gre za objekte in naprave, ki so namenjene samo posebni rabi vodnega dobra. Država je nosilec finančnih stroškov uporabe vodnih objektov in naprav, ki se uvrščajo med vodno infrastrukturo v primerih, ko se vodna infrastruktura ne uporablja za druge namene. V primerih, ko se vodna infrastruktura uporablja tudi za druge namene (npr. za posebno rabo vode), je nosilec stroškov poleg države tudi imetnik vodne pravice.



Slika 10: Predlog primarne uporabe vodnih objektov in naprav (Meljo in sod., 2016)

4. Zaključki

Zbrani podatki so podlaga za ureditev prioritete uporabe večnamenskih zadrževalnikov. Z določitvijo nosilcev stroškov uporabe vodnih objektov in naprav v večnamenskih zadrževalnikih ter ključa za delitev stroškov med različnimi uporabniki bodo rezultati naloge lahko v pomoč pri pripravi pogodb glede sofinanciranja pri rednemu in investicijskemu vzdrževanju vodne infrastrukture.

5. Viri

- [1] Globevnik, L. 2010. Realnost nadzora in ukrepanja na večnamenskih pregradah v Sloveniji. 12. posvetovanje SLOCOLD Varnost pregrad v Sloveniji. V: Varnost pregrad v Sloveniji: zbornik prispevkov. Krško, SLOCOLD – Slovenski nacionalni komite za velike pregrade: str. 61–70
- [2] Meljo, J., Petelin, Š., Kolman, G., Krajčič, J., Kavčič, I., Peček, M., Zakrajšek, J., Damjanovič, B., Jeriha, Ž., Lajevec, D., Penko, J., Lah, P. Končno poročilo o realizaciji naloge DDU19 Ureditev primarne in sekundarnih rab vode v večnamenskih akumulacijah. Direkcija Republike Slovenije za vode, Ljubljana, 2016.
- [3] Načrt upravljanja voda 2009-2015 - besedilni del (Uredba o načrtu upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja Ur.l. RS, št. 61/2011, 49/2012).
- [4] Pintar in sod. 2010. CRP Ocena vodnih perspektiv Slovenije in možnost rabe vode v kmetijski pridelavi (V4-0487). Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Biotehniška fakulteta: str. 74–101
- [5] Pirc, V. 1998. Strokovne podlage s področja voda za potrebe prostorskega plana. Zadrževalniki in zbiralniki vode. C-788. Ljubljana, VGI družba za gospodarjenje z vodami, d.o.o.: 74 str.
- [6] Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 - ZZdrI-A, 41/04 - ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14 in 56/15).

CELOVITOST IN IZZIVI IZVAJANJA KOPALNE DIREKTIVE – KOPALNE VODE KOT RAZVOJNI POTENCIAL

Luka Snoj, univ. dipl. geog.¹, Gašper Šubelj, univ. dipl. geog.¹, mag. Mateja Poje, univ. dipl. ing. kemije², dr. Lidija Globevnik, univ. dipl. inž. grad.¹

¹TC Vode d.o.o., Pot za Brdom 102, 1000 Ljubljana, ²MOP ARSO, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Države članice Evropske unije ter Švica in Albanija vsako leto v skladu s Kopalno direktivo celostno upravljajo več kot 21.000 kopalnih voda. Celostno upravljanje, poleg spremljanja kakovosti voda, zajema tudi informiranje javnosti, identifikacijo tveganj, izdelavo kopalnih profilov ter druge aktivnosti. Podatke o kakovosti voda in ostalih aktivnostih na kopalnih vodah države vsake leto posredujejo tudi Evropski komisiji in Evropski agenciji za okolje. V zadnjih petih letih beležimo velik porast kopalnih vod, ki se nahajajo znotraj urbaniziranih območij. Takšne kopalne vode so prav zaradi svoje večfunkcionalnosti izredno pomembne, upravljanje z njimi pa je lahko del širšega koncepta zelene infrastrukture. Poleg rekreativne in socialne funkcije namreč lahko nudijo pomembne ekološke (prilaganje podnebnim spremembam, ohranjanje biodiverzitete) in ekonomske (zmanjševanje poplavne ogroženosti) storitve. Upravljanje s kopalnimi vodami, ki se nahajajo v urbanih območjih, predstavlja še poseben izziv, saj so takšne vode nemalokrat podvržene kombinaciji različnih pritiskov. Revitalizacija kopalnih voda znotraj urbanih območij postaja v praksi vedno bolj mogoča zaradi izboljšanja kanalizacijske infrastrukture, renaturacije vodnih teles, deindustrializacije, čiščenja komunalnih odpadnih voda in drugih dejavnikov. V članku predstavljamo različne obremenitve kopalnih voda in ukrepe, ki jih države članice, predvsem pa Slovenija, sprejemajo za zagotavljanje ustrezne kakovosti kopalnih voda oz. celovitega izvajanja Kopalne direktive. Z različnimi razvojnimi in političnimi instrumenti, ki so opisani v članku, lahko pripomoremo k uspešnemu upravljanju kopalnih voda. V članku se sprašujemo, zakaj države redko širijo uradne sezname kopalnih voda, čeprav lokalne skupnosti kopalne vode obravnavajo tudi kot pomemben razvojni potencial. Tako je tudi v Sloveniji. V članku opišemo nekaj takih primerov.

Ključne besede:

kopalne vode, Kopalna direktiva, upravljanje z vodami, kakovost voda.

1. Uvod

Kopanje je široko uveljavljena praksa s higienskimi, rekreacijskimi, zdravstvenimi in tudi ritualnimi motivi; skozi zgodovino je bilo tako potreba kot del človekove kulture. Ko gre za kopanje v naravnem okolju, zaščita zdravja kopalcev sovpada s zagotavljanjem celovite kakovosti vodnega okolja. S takšnim ozadjem je bilo vprašanje kakovosti kopalnih voda naslovljeno v neodvisnih raziskavah, študijah javnih institucij, nacionalnih zakonodajah in mednarodnih organizacijah. Na globalno raven se pojem "kopalne vode" uveljavlja ravno iz Evrope, kjer je bila potreba po zaščiti naravnega kopalnega okolja prepoznana že v

sedemdesetih letih. Kako torej v Evropski uniji implementiramo evropsko zakonodajo – kaj za nas pomeni v praksi?

Naravno okolje Slovenije tako na morskih kot celinskih vodah nudi priložnosti rekreativnega kopanja lokalnemu prebivalstvu, obenem pa predstavlja nezanemarljiv turistični potencial in kot tak gospodarsko panogo. Država ima lastno zgodovino spremljanja kakovosti kopalnih voda, ki ga je v procesu vstopanja v Evropsko unijo uskladila z ravno tako razvijajočim se evropskim pravnim redom. Kam na spisku držav Evropske unije se Slovenija umešča po kakovosti svojih kopalnih voda ter po upravljanju teh?

Upravljanje s kopalnimi vodami ni zgolj spremljanje fizikalno-kemijske kakovosti vode. V ospredje bolj in bolj prihaja celovito upravljanje kopalnih voda, ki skrb za vodo postavlja v kontekst odnosa med človekom in njegovim okoljem. Postavlja se torej vprašanje, ali uveljavljeni pristopi koristijo le aktivnim kopalcem ali širši družbi, morda (celo) naravnemu okolju samemu. Eno od aktualnih poglavij upravljanja s kopalnimi vodami je oživljanje kopanja v naravnih vodah urbanega okolja, ki sodi v okvir zelene ekonomije in zelene ter modre infrastrukture. Je potemtakem kakovostnim kopalnim vodam mogoče pripisati tudi druge vloge v spletu ekosistemskih storitev?

2. Upravljanje kopalnih voda v Evropi

Leta 2006 sta Evropski parlament in svet sprejela novo Direktivo o upravljanju kakovosti kopalnih voda in razveljavitvi Direktive 76/160/EGS (v nadaljnjem besedilu: Direktiva 2006/7/ES oz. nova direktiva). Direktiva 2006/7/ES upošteva aktualne znanstvene dokaze in kazalnike pri identifikaciji različnih zdravstvenih tveganj, ki jih lahko povzročijo neustrezne mikrobiološke razmere na kopalnih vodah (EEA, 2016a). V primerjavi s prvo direktivo katera je bila sprejeta že leta 1976 (v nadeljevanju besedila Direktiva 76/160/EEC) so določbe Direktive 2006/7/ES usklajene z drugimi evropskimi prostorskimi akti na področju voda. Prenovljena direktiva tako posveča velik poudarek prav celostnemu upravljanju kopalnih voda. Učinkovita implementacija takšnega upravljanja pa praviloma vodi k doseganju ustrezne kakovosti vode.

Države članice morajo vsako leto pred začetkom kopalne sezone pripraviti koledar monitoringa vsake kopalne vode. Direktiva 2006/7/ES predpisuje vzorčenje dveh parametrov (Intestinalni enterokoki in *Escherichia coli*), ki sta pokazatelja stopnje mikrobiološke onesnaženosti oz. onesnaženja s fekalijami. Poleg rednega vzorčenja kopalnih voda celovito upravljanje kopalnih voda zajema tudi druge aktivnosti in ukrepe. Na kopalnih vodah se tako spremlja tudi možnost pojava drugih potencialnih nevarnosti in tveganj, kot so naprimer morski odpadki, cvetenje cianobakterij, makroalg in fitoplanktona. Če upravljalec kopalne vode oceni, da je zdravje uporabnikov kopalne vode zaradi takšnih in drugačnih dogodkov ogroženo, na to tudi javno opozori neposredno na kopalni vodi (npr. na informacijskih tablah) ter preko javnih občil (EEA, 2016a).

Kopalne vode se, glede na štiriletni niz meritev z izračunom mejnih vrednosti 95. oziroma 90. percentila, razvrstijo v odlične, dobre, zadostne in slabe, pri čemer so za kopanje primerne le tiste kopalne vode, ki dosegajo vsaj zadostno stanje (EC, 2006; EEA, 2016a; ARSO, 2016a). Kopalnim vodam, ki dosegajo slabo stanje, je treba s programom ukrepov (npr. investicije v izboljšavo kanalizacijskega omrežja, izgradnja čistilne naprave) zagotoviti vsaj zadostno kakovost vode najkasneje v petih letih, v nasprotnem primeru se takšne kopalne vode ne sme več uporabljati za namen kopanja (EC, 2006; ARSO, 2016a).

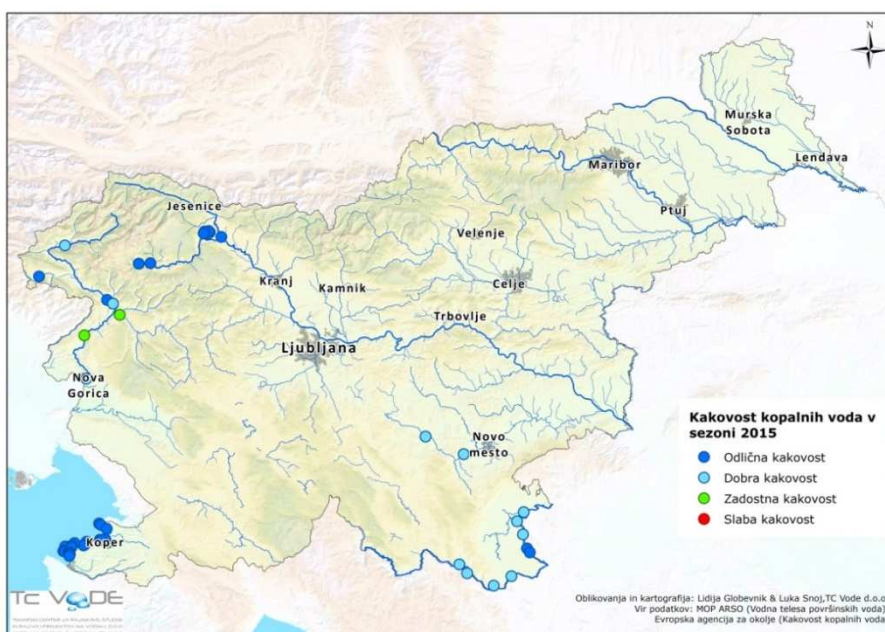
V letu 2015 je bilo v skladu z evropsko zakonodajo v Evropi vzorčenih več kot 21 tisoč kopalnih voda. Od vseh kopalnih voda jih je kar 91 % ustrezalo minimalnim kakovostnim zahtevam Direktive 2006/7/ES (doseženo vsaj zadostno stanje), medtem ko je strožjim zahtevam (doseženo odlično stanje) ustrezalo 84 % kopalnih voda. Zadostna kakovost (minimalna kakovostna zahteva direktive 2006/7/ES) na vseh kopalnih mestih je bila

dosežena na Cipru, v Grčiji, Latviji, Luxemburgu, na Malti in v Sloveniji. Neustrezno oziroma slabo kakovostno stanje je bilo ugotovljeno na manj kot 2 % kopalnih voda. (EEA, 2016a).

3. Upravljanje kopalnih voda v Sloveniji

Kopalna direktiva je prenesena tudi v pravni red³ Slovenije, s čimer je slovenska zakonodaja usklajena z zahtevami Direktive 2006/7/ES. Nacionalni predpisi določajo seznam kopalnih voda, kopalno sezono, pripravo ukrepov za izboljšanje kakovosti kopalnih voda, ukrepe upravljanja med kopalno sezono, kot je naprimer pravočasno obveščanje javnosti v primeru izpostavljenosti uporabnikov kopalne vode morebitnemu onesnaženju (ARSO, 2016a; Vodopivec, Poje, 2004).

Na slovenskih rekah, jezerih in morju imamo 48 uradnih kopalnih voda, na katerih se že sicer običajno kopalci zbirajo v večjem številu in ustrezajo zakonsko določenim kriterijem za določitev naravnih kopalnih voda. Vzorčenje in analizo kopalnih voda izvaja Nacionalni laboratorij za zdravje in hrano, ki ob vzorčenju opravi terenske meritve in organoleptično oceni prisotnost vidnih nečistoč, površinsko aktivnih snovi, mineralnih olj, fenolov in pojava cvetenja, v mikrobiološkem laboratoriju pa izvede analize prisotnosti bakterij v vodi (*Escherichia coli*, intestinalni enterokoki) (ARSO, 2016b). Ob vsakem vzorčenju kopalne vode so bile opravljene meritve temperature zraka in vode, pH vrednosti ter na celinskih kopalnih vodah tudi električne prevodnosti (ARSO, 2016a). Zadnji podatki o kakovosti vode so javnosti na voljo preko spletne aplikacije⁴ in informacijskih tabel, ki so postavljene neposredno na kopališčih (ARSO, 2016b).



Slika 1 Dosežena kakovost slovenskih kopalnih voda v letu 2015.

³ Področje upravljanja kakovosti kopalnih voda tako urejajo Zakon o vodah, Pravilnik o podrobnejših kriterijih za ugotavljanje kopalnih voda in Uredba o upravljanju kakovosti kopalnih voda.

⁴ Spletna aplikacija oz. interaktivni zemljevid je na voljo preko sledeče povezave:
<http://gis.arso.gov.si/apigis/kopalnevode/>

Vseh 21 kopalnih vod na morju je že vrsto let razvrščenih v najvišji kakovostni razred “odlično”. Celinske kopalne vode sicer ne dosegajo tako dobrih rezultatov kot morske. Kljub temu pa vseh 27 celinskih kopalnih voda od leta 2010 dalje (odkar obstajajo meritve po aktualni metodologiji) izpolnjuje minimalne standarde kakovosti. 12 oziroma 44 % vseh celinskih kopalnih voda je v letu 2015 doseglo razred “odlično”. Najkakovostnejše celinske kopalne vode so tako jezerske kopalne vode Bohinjskega jezera, Blejskega jezera in Šobčevega bajerja ter rečne kopalne vode na Nadiži in mestoma na Kolpi. Dobro kakovost dosega 12 (44 %) rečnih kopalnih voda na Kolpi, Krki in Soči. Dve celinski kopalni vodi sta bili v letu 2015 razvrščeni v “zadostni” kakovostni razred. To sta kopalni območji Idrijca v Bači pri Modreju in Kanal na Soči. Na slabšo kakovost teh dveh kopalnih vod v porečju Soče močno vplivajo lokalne vremenske razmere. V poletju 2015 so bile v zaledju teh dveh kopalnih vod namreč pogoste močne lokalne padavine v zahodnem delu države, ki so povzročile intenzivnejše spiranje površin. Sklepamo lahko, da je posledično prišlo tudi do prelivov iz preobremenjenih kanalizacijskih sistemov ob kopalni vodi in njenem zaledju (ARSO, 2016b), kar je povzročilo povišane vrednosti indikatorskih bakterij na območju kopalnih voda. Doseženi kakovostni razred kopalnih voda v sezoni 2015 je prikazan na **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti..**

4. Razvojni potenciali kopalnih voda in izzivi upravljanja z njimi

Zadnjih nekaj let vse slovenske kopalne vode ustrezajo zahtevam evropske in nacionalne zakonodaje. To zagotovo ni samo doprinos novega sistema vrednotenja, pač pa k boljšemu stanju voda znatno prispeva tudi dograjevanje in posodabljanje kanalizacijskih sistemov, gradnja čistilnih naprav ter drugi ukrepi.

Zaradi specifične geografske lege so poleti med kopalno sezono predvsem v zahodnih legah pogoste intenzivne konvekcijske padavine, ki lahko kratkotrajno močno poslabšajo kakovost voda zaradi prelivov kanalizacijskih sistemov, spiranja gnojil s kmetijskih površin in onesnažil z urbanih površin. Poleg povišanih vrednosti mikrobioloških elementov se ob takšnih vremenskih situacijah kopalne vode tudi ohladijo, zaradi sedimenta postanejo motne, lahko tudi deroče, nevarne in za kopalce neprivlačne. Zaradi intenziviranja ekstremnih vremenskih pojavov – daljša sušna obdobja ter krajša in krajevno razporejena obdobja intenzivnih padavin (Kajfež-Bogataj, 2006; Zakon o podnebni spremembi, 2010) –, urbanizacije in intenziviranja kmetijstva (Plut, 2014) pa lahko pričakujemo večje kemijske, hidrološke in mikrobiološke obremenitve kopalnih voda. Izpiranje onesnažil in hranil (predvsem fosfor in dušik) s kmetijskih in urbanih površin ob intenzivnih padavinskih dogodkih v kombinaciji s pomanjkanjem kisika v vodi lahko povzroči višek hranil in eutrofikacijo voda. Predvsem na jezerih in morju lahko pride do cvetenja planktona in modrozelenih alg, ki zaradi toksičnosti predstavlja tveganje za človeka oziroma kopalca (EEA, 2012; EEA, 2016b).

V Sloveniji se kar nekaj lokacij poteguje za pridobitev statusa kopalne vode. Ob določitvi mora lokacija izpolnjevati številne zakonsko določene kriterije kot so število kopalcev (pričakuje se vsaj 300 kopalcev na dan trikrat v kopalni sezoni), omogočen dostop po javni poti, za kopanje zagotovljena ustrezna širina in dolžina brega, odsotnost izpustov komunalnih odpadnih voda, dobro kemijsko in ekoliško stanje danega vodnega telesa ter drugi kriteriji. V ta namen številne lokalne skupnosti oz. Nacionalni laboratoriji za zdravje, okolje in hrano izvajajo mikrobiološke analize tudi na lokacijah, ki še niso uradne kopalne vode, z namenom ugotoviti obstoječe stanje voda oziroma z ukrepi zagotoviti izboljšanje le-te na potencialnih lokacijah. Tako se dodatne analize vode občasno že izvajajo na nekaterih lokacijah na Ljubljani, Krki, Sori ter Velenjskem jezeru. Ker zakonodaja določa, da kopalne vode določi vlada v okviru zakonodajnega postopka, je vključevanje novih kopalnih voda dolgotrajen postopek, ki ga vodi Ministrstvo za okolje in prostor.

Kopalne vode zagotovo predstavljajo pomemben turistični potencial, ki pa ga je potrebno ustrezno tržiti. Podnebne spremembe predstavljajo izziv, ki prinaša globalnemu turizmu več

tveganja kot priložnosti ter napoveduje regijsko, sezonsko in produktno prerazporeditev turističnih tokov. Vedenje potrošnikov se hitro spreminja, turisti vedno pogosteje iščejo zelene, odgovorne destinacije. Okoljski znak Modra zastava je mednarodno priznan sistem odličnosti, ki ga pridobijo kopališča, ki imajo odlično kakovost vode, zadostijo zahtevnim kriterijem glede varnosti, storitev, okoljske vzgoje in informiranja in le-te tudi v praksi udejanjijo skozi okoljski management. Ta znak se letno podeljuje tudi naravnim kopališčem in je namenjen povečevanju okoljske ozaveščenosti na kopališčih, (so)oblikovanju okoljske etike ter spodbujanju okoljsko odgovornega obnašanja. V letu 2015 je okoljski znak Modra zastava pridobilo 12 slovenskih kopališč. Zgovoren je podatek, da je po številu podeljenih Modrih zastav na kilometer obale Slovenija druga na svetu (Živeti z morjem, 2017).

V Evropi poznamo kar nekaj primerov, ko je zaradi ustreznih ukrepov varno kopanje postalo mogoče tudi v večjih mestih. V Kopenhagnu (Danska) so odpadne vode iz kanalizacije in industrije več desetletij onesnaževale vodo v pristanišču. Od leta 1995 dalje so občinske oblasti posodobile kanalizacijsko infrastrukturo in čistilne naprave. Zgradile so tudi zbiralnice odpadne vode, ki so aktivirani, ko pride do preobremenitev kanalizacijske infrastrukture. Do izlivanja odpadnih voda v pristanišče pride tako le še ob izredno močnem deževju. Prebivalci mesta se danes lahko kopajo na petih uradnih kopališčih v pristanišču, kjer se meri kakovost vode. Kakovost vode je v pristanišču vzorčena avtomatsko; podatki so tako sproti beleženi v spletni sistem. V primeru, da je ugotovljena neustrezna kakovost vode, se kopališče nemudoma zapre (DAC&Cities, 2015). Kompleksno raba urbanega obmorskega prostora prikazuje Slika 2.



Slika 2 Kopanje znotraj urbanega območja - Mestno kopališče Koper (avtorica fotografije mag. Mateja Poje).

5. Zaključek

Naravna vodna telesa so prepoznana kot okoljski vir s številnimi funkcijami. To prepozna tudi uradna zakonodaja na evropski ravni, ki državam nalaga ustrezno upravljanje tega okoljskega vira. Izvajanje zakonodaje prinaša dobre rezultate v Sloveniji tako zaradi dobrih regeneracijskih sposobnosti naravnega okolja kot zaradi ustreznega upravljanja v večini primerov.

Že sama narava Kopalne direktive je usmerjena v varovanje človekovega zdravja na prvem mestu, ne pa v zaščito okoljskih virov kot takih. Ne glede na to ima pozitivne vplive na kakovost naravnega okolja, še posebej ko gre za njeno sinergijo z ostalimi vodnimi direktivami ter tistimi, ki naslavljajo skrb za kakovost okolja; še pomembnejše je zbiranje podatkov in

razvoj prakse dobrega upravljanja, ki lahko služi za nadaljnje dobre pristope k varovanju vodnega in siceršnjega okolja. Prav ti podatki bodo ob dobri politiki služili kot podlaga za smiselne odločitve v prihodnosti – zaenkrat tega še ni mogoče trditi zaradi premalo zbranih podatkov, čeprav so ravno podatki Kopalne direktive eden bogatejših vsakoletno dopolnjenih virov o kakovosti voda po celotni Evropski uniji ter celo širše.

Izvajanje direktive je še toliko bolj pomembno, ko je očitno, da gre z roko v roki s širšimi razvijajočimi se pristopi razvoja zelene infrastrukture. Takšna praksa, predvsem pa njen nadaljnji razvoj, je vezana na kapaciteto skupnosti, da zagotovi financiranje zbiranja podatkov ter ostalo upravljanje kopalne vode; da je dovolj fleksibilna z zakonodajnega pogleda in da izvajanje direktive sprejme kot instrument, ki naj pomaga usmerjati skrb za okolje.

6. Viri

ARSO, 2016a, Kakovost kopalnih voda na naravnih kopališčih in na kopalnih območjih v Sloveniji v letu 2015.

Ljubljana. Available from:

http://www.arso.gov.si/vode/kopalne%20vode/KV%202015_Kon%C4%8Dna%20splet%20podpisi.pdf [dostop 28. december 2016].

ARSO, 2016b, Kopalne vode. Available from: <http://www.arso.gov.si/vode/kopalne%20vode> [dostop 28. december 2016].

DAC&Cities, 2015, Copenhagen: From sewer to harbour bath. Available from: <http://www.dac.dk/en/dac-cities/sustainable-cities/all-cases/water/copenhagen-from-sewer-to-harbour-bath/> [dostop 4. januar 2017].

EC, 2006, Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC, OJ L 64, 4.3.2006.

EEA, 2012, European waters — Assessment of status and pressures, EEA Report No 8/2012, European Environment Agency, Available from: <http://www.eea.europa.eu/publications/european-waters-assessment-2012> [dostop 3. januar 2017].

EEA, 2016a, European bathing water quality in 2015, EEA Report No 9/2016, European Environment Agency, Available from: <http://www.eea.europa.eu/publications/european-bathing-water-quality-2015> [dostop 27. december 2016].

EEA, 2016b, European water policies and human health - Combining reported environmental information, EEA Report No. 32/2016, EEA Report No 9/2016, European Environment Agency, Available from: <http://www.eea.europa.eu/publications/public-health-and-environmental-protection> [dostop 4. januar 2016].

Kajfež-Bogataj L., 2006. Podnebne spremembe in nacionalna varnost. Ujma 20, Ljubljana, 170-176. Available from: <http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2006/bogataj.pdf> [dostop 03. januar 2017].

Plut, 2014, Sonaravni razvoj Slovenije – priložnosti in pasti. Univerza v Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Available from: http://geo.ff.uni-lj.si/sites/default/files/geograff_13_0.pdf [dostop 03. januar 2017].

Vodopivec N., Poje M., Upravljanje kopalnih voda v Sloveniji, Delo, 19.6.2004. Available from: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/clanek_upravljanje_kopalnih_voda.pdf [dostop 19. junij 2004].

Zakon o podnebnih spremembah (drugi osnutek), 2010, Služba vlade RS za podnebne spremembe, Ljubljana.

Available from:

http://www.vlada.si/fileadmin/dokumenti/si/projekti/2010/Zakon_o_podnebnih_spremembah_splet.pdf [dostop 3. januar 2017].

Živeti z morjem. Available from: <http://zivetizmorjem.si/media/> [dostop 18. januar 2017].

POTENCIAL REČNEGA PROSTORA ZA RAZVOJ VESLAŠKIH DEJAVNOSTI

pred. dr. Aleš Golja

Univerza v Ljubljani, FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Reke predstavljajo slikovit in privlačen prostor, ki ima naravni potencial in široko uporabnost za športnorekreativne dejavnosti. Razvojne priložnosti rečnega prostora so v Sloveniji zaradi količine in tipologije voda velike, vendar je treba razvojne posege zaradi njihove ranljivosti skrbno načrtovati. Veslaške dejavnosti predstavljajo multidimenzionalno obliko rekreacije, s katero se ukvarjajo ljudje različnih znanj, spretnosti in izkušenj. Izziv, v procesu načrtovanja razvoja rečnega prostora za veslaške dejavnosti, je opredeliti pritiske rečnega prostora ter v skladu z njimi zasnovati prostorski razvoj in njihove rabe. Obravnavali smo problematiko koriščenja naravnih vrednot rečnega prostora v turistične in športnorekreativne namene ter analizirali izvajanje veslaških dejavnosti na slovenskem rečnem prostoru. Iz analize upravljanja rek, ki jih je zaslediti v občinskih odlokih, lahko zaključimo, da ni skupne vizije na državni in regionalni ravni glede urejanja rečnega prostora za veslaške dejavnosti. Posledično je reševanje razvojnih možnosti na lokalni ravni parcialno in neusklajeno. Pomanjkanje skupne strategije in zavedanje o pomembnosti razvoja rečnega turizma povzroča stihijo, ki je trenutno prisotna na našem rečnem prostoru. V prispevku želimo opozoriti na trenutne razmere in pomen načrtovanega razvoja slovenskega rečnega prostora za veslaške dejavnosti.

Ključne besede:

Rečni prostor, veslaške dejavnosti, šport, rekreacija, turizem

1. Raba rečnega prostora za veslaške dejavnosti

Reke predstavljajo slikovit in privlačen prostor, ki ima naravni potencial in široko uporabnost za športnorekreativne dejavnosti. V zadnjih tridesetih letih se trend zanimanja in povpraševanja za veslaške dejavnosti na rekah hitro širi na vseh vrstah rek, od mestnih, podeželskih, alpskih, počasnih do hitro tekočih. Evropska agencija za okolje (ang. European Environment Agency) v okviru Vodne direktive (Globevnik et al., 2006) posveča veliko pozornost trenutnemu stanju voda v Evropi z vidika ohranjanja dobrega ekološkega stanja in vzdržnega razvoja ob upoštevanju razmer med ekonomskim razvojem in potrebi po zaščiti okolja. Številne evropske študije kažejo, da je obnova rek (ang. River restoration) pripomogla k izboljšanju rečnega ekosistema, povečanju poplavne varnosti, ustvarjanju družbenih in ekonomskih koristi, možnosti za rekreacijo ter boljši podobi javnega prostora (ECRR, 2013).

Športnorekreativne dejavnosti na rečnem prostoru predstavljajo različne oblike veslanja in čolnarjenja. Po podatkih svetovne turistične organizacije predstavljata kajakaštvo in rafting pomembno, uspešno ter hitro rastočo tržno nišo pustolovskega turizma. Veslaške dejavnosti kot ena izmed oblik pustolovskega turizma predstavljajo protiutež množičnemu turizmu in se od ostalih vrst turizma (ekoturizem, geoturizem, odgovorni turizem, trajnostni turizem ipd.) ne razlikuje bistveno, saj tovrstne destinacije predstavljajo raziskovanje, potovanje, fizično aktivnost v naravnem okolju lokalnih kultur oddaljenih območij, kjer obiskovalci iščejo redke in edinstvene izkušnje. Vožnje z rafti, kanuji in kajaki predstavljajo prevladujoče avanturistične

dejavnosti na rečnem prostoru, ki ne zadovoljuje samo potrebe posameznikov, turistov v povezavi z naravo, ampak predstavljajo tudi poživljajočo rekreativno izkušnjo tudi v odročnih in težko dostopnih krajih gorskega sveta (npr. Nepal, Tajvan, Nova Zelandija).

V svetu je izdelanih veliko strategij, akcijskih planov, študij ter dokumentov o pomenu multifunkcionalnosti nacionalnih vodnih poti (Baumgartner in Blumer, 2012). V Angliji se za področje športne rekreacije na rečnem prostoru sprejemajo smernice, strategije in lokalni (operativni) plani v želji povečevanja priložnosti vodnih poti za prosti čas in rekreacijo (The Wye waterway plan, 2011). Primeri dobrih praks razvoja in upravljanja veslaških dejavnosti na rečnem prostoru kažejo, da so se v mednarodnem prostoru z leti uveljavili različni načini upravljanja z naravnimi viri, ki glede na značilnosti pravnih in družbenih sistemov uravnavajo stopnjo obremenitev različnih vrst rab. Omejevanje obiska naravnih območij tako z vidika absolutnega števila obiskovalcev na dan, mesec in obdobje kot z vidika prevoznih sredstev, dostopnosti območij, daljšega zadrževanja in podobno je v večini držav z razvito tradicijo varstva narave samoumevno (A guide to planning and developing small vessel water trails in Ireland, 2013).

1.1 Motivi za ukvarjanje z veslaškimi dejavnostmi

V literaturi je zaslediti, da je motivacija za rekreacijo tako raznolika kot sama dejavnost. Pri nekaterih prevladujejo motivi, kot so telesna pripravljenost, druženje, izboljšanje in obvladovanje spretnosti, samopotrjevanje pri drugih pa uživanje v naravi, novih okoljih ali umik iz vsakdanjega življenja (Kline et al, 2014; Kerr in Houge Mackenzie, 2012). Williams in Soutar (2009) sta izoblikovala model za raziskovanje motivov za ukvarjanje s pustolovskimi dejavnostmi. Motivom sta pripisala štiri vrednosti, in sicer:

- Funkcionalno vrednost, ki se nanaša na kakovost, zanesljivost, trajnost in ceno. Za pustolovski turizem predstavlja število videnih znamenitosti, pravočasno izvedbo dejavnosti, udobje, ceno, varnostne standarde in načrtovanje za zmanjšanje tveganja, ki lahko vplivajo na funkcionalno dožemanje vrednosti.
- Čustveno vrednost, ki je psihosocialna dimenzija in je odvisna od doživljajske izkušnje, ki lahko vzbuja različne čustvene občutke, kot so veselje, navdušenje, strah, obotavljanje, zaskrbljenost ipd. Čustvena vrednost je verjetno ključni dejavnik za ukvarjanje s pustolovskimi dejavnostmi.
- Socialne vrednosti v turizmu predstavljajo interakcije med ljudmi na potovanju, odnose med popotniki in vodičem, individualno prepoznavanje pomembnosti destinacije potovanja lahko ustvari družbeno vrednost. Socialna vrednost ima lahko večji vpliv v majhnih potovalnih skupinah, ki jih izvajamo pri raftingu in kajakaških izletih.
- Epistemološka vrednost je ključna sestavina pustolovske izkušnje, saj vključuje nove dejavnosti in potovanja. Epistemična vrednost se ustvari, ko dejavnost zbuja radovednost, ponuja novost in/ali izpolnjuje željo po znanju. V turizmu so novosti in iskanje novega znanja pomembni motivi za pustolovščino. Epistemična vrednost predstavlja ključni dejavnik pri mnogih pustolovskih turističnih proizvodih zaradi želje turistov po raziskovanju in iskanju različnih novosti.

Buckley (2012) pravi, da je ključ motivacije hitrost odvijanja dejavnosti in posameznikova osebna doživljajska izkušnja. Podal je štirinajst kategorij motivov za izvajanje pustolovskih dejavnosti (Preglednica 1).

Zaradi narave dejavnosti in vlaganja v znanje veslaških veščin se izoblikujejo lastnosti, ki vplivajo na samostojnost, usposobljenost in povezanost z drugimi (Evans 2012). Varnost in

gneča na rekah predstavljata velik dejavnik tveganja, zato je pomembno, da uporabniki veslajo varno, se zavedajo svojih sposobnosti in upoštevajo težavnost rečnih odsekov.

Preglednica 1 Motivacije za pustolovske dejavnosti (Buckley, 2012)

Notranja / opravljanje dejavnosti	
Vznemirjenje	Adrenalin, razburjenje
Strah	Premagovanje strahu
Nadzor	Ohranjanje fizične in psihične kontrole nad telesom
Sprenosti	Uporaba strokovnega znanja za izvajanje zelo težkih nalog
Dosegljivost	Premagovanje izzivov za doseg težkih ciljev
Fitness	Aktivnost zgolj kot način za ohranjanje fizično kondicije
[Tveganja]	[Nevarnost kot neposredna motivacija]
Notranji / zunanji, mesto v naravi	
Narava	Ceniti lepoto
Umetnost	Zaznavanje dejavnosti kot umetniške
Duhovnost	Aktivnost kot duhovna izkušnja
Zunanji, družbeni položaj	
Prijatelji	Užitek v delitvi dejavnosti z drugimi
Podoba	Izboljšanje podobe z gledišča drugih
Pobeg	Spremenba glede na rutino doma ali delovnega mesta
[Tekmovanje]	[Tekmovanje z drugim]

Opomba: postavke, prikazane v oglatih oklepajih [], so nekatere študije opredelile kot motive, druge pa so jih izključile, saj so udeleženci izrecno zanikali, da so motivirani s tveganjem ali konkurenco.

2. Pregled stanja veslaških dejavnosti na slovenskem rečnem prostoru

V sklopu lastnega terenskega dela smo opravili obsežno analizo izvajanja veslaških dejavnosti na področju slovenskih rek v času turistične sezone. Po pregledu stanja na slovenskem rečnem prostoru in pogovorih z lokalnimi ponudniki veslaških storitev lahko rečemo, da se komercialne veslaške dejavnosti v Sloveniji najbolj intenzivno odvijajo na rekah Soča in Kolpa, zmerno na Savi Bohinjki, Savi Dolinki, Krki, Savinji, Ljubljani ter najmanj na Dravi in Muri.

Preglednica 2 Motivacije za pustolovske dejavnosti (Golja, 2016),

Reka	Padec reke	Tež. Stopnja	Dolžina veslaških poti [km]
Sava Bohinjka	2% - 8%	II+ - IV-	33
Sava Dolinka	1% - 8%	I-III	74
Krka	1% - 6%	I+ -III-	67
Kolpa	1% - 5,5%	I-IV-	69
Ljubljana	1%	I-II	26
Mura	1% - 2%	I-II	52
Drava	1% - 2%	I-II	25
Savinja	5% - 18%	I- IV(V)	39
Soča + pritok Koritnice	1% - 33%	I - VI	65
SKUPAJ km :			Cca 450

Iz analize posameznih rečnih odsekov je razvidno, da je za organizirane komercialne veslaške dejavnosti na voljo približno 450 km vodnih poti (Preglednica 2). Izvajanje dejavnosti ni enakomerno porazdeljeno, temveč se izvajajo glede na težavnostne stopnje rek (opisane s

težavnostno stopnjo odsekov po mednarodni lestvica težavnostne stopnje za divje vode) in doživljajskega potenciala ter dostopnosti.

Seznam podjetij, ki uradno tržijo veslaške dejavnosti po slovenskih rekah je preko 65 in jih je možno zaslediti na slovenskih spletnih straneh. Lokalni ponudniki menijo, da delež tujih podjetij, ki tržijo slovenski rečni prostor v času turistične sezone ni zanemarljiv.

Po pogovorih z ekstremnimi kajakaši, se nekomercialne veslaške dejavnosti izvajajo na rekah Kokra, Idrijca, Radovna, Bača, Tolminka ipd., kjer obstaja veliko rečnih odsekov, ki so zaradi razgibanosti terena, ozkih prehodov, manjših in večjih skokov ter hitrih sprememb težavnostnih stopenj na kratkih razdaljah primerni le za zelo izkušene kajakaše. Po večini je veslanje na teh odsekih mogoče le spomladi in po dežju, od veslača pa zahteva veliko pozornosti, znanja, izkušenj ter poznavanja terena. Ocenjujemo, da je za ekstremno kajakaštvo na voljo še najmanj 50 km veslaških poti.

2.1 Težave pri izvajanju občinskih odlokov o plovnih režimih v praksi

Krovni zakon upravljanja z vsemi vodami v Sloveniji z vidika varstva, urejanja in odločanja o njeni rabi na nacionalni ravni je Zakon o vodah (Uradni list RS, 56/2015), ki ureja športnorekreativne dejavnosti in rabo na rekah. Zakona, ki urejata upravljanje plovbe in varnost po slovenskih vodotokih, sta Zakon o plovbi po celinskih vodah (Uradni list RS, št. 30/2002) in Zakon o varstvu pred utopitvami (Uradni list RS, št. 9/2011). Plovbo na posamezni celinski vodi na svojem območju, ob upoštevanju naravne danosti, ureja lokalna skupnost. Odloki o določitvi plovbnega režima na katerih se izvajajo prostočasne in komercialne veslaške dejavnosti (vožnja s kajaki, rafti, kanuji ipd.) posameznih občin na posameznih vodnih območjih se izvajajo na reki Ljubljanici, Savi, Savinji, Dravi, Muri, Krki in Soči. Na večini vodotokov je plovba časovno omejena, za uporabo je na nekaterih vstopno-izstopnih mestih treba plačati pristojbine za izvajanje športnorekreativnega veslanja na Savi Bohinjki (občina Bohinj), Soči (občine Bovec, Kobarid in Tolmin) in Savinji (občina Luče). Na večini slovenskih rek, kjer se izvajajo veslaške dejavnosti, kljub sprejetim odlokom in določenim vstopnim in izstopnim mestom ta niso urejena. Parkirnih mest ni dovolj, vstopno-izstopna mesta in ostala infrastruktura so neurejena, ni oznak, tako da posamezniki ne vedo, kje vstopiti ali izstopiti. Izjema je reka Soča, ki je v primerjavi z ostalimi rekami kljub pomanjkljivostim zgledno urejena.

Veliko nezadovoljstva med izvajalci dejavnosti je v letu 2015 povzročil poostren nadzor nad izvajanjem 23. člena Zakona o plovbi po celinskih vodah, ki pravi, da je za komercialne namene potrebna registracija športnih plovil, manjših od pet metrov. V Pomorskem zakoniku (Uradni list UI RS, št. 42/2006, 217. člen) za tovrstne dejavnosti ni potrebna registracija plovil, kar pomeni, da so ponudniki, ki opravljajo gospodarske dejavnosti (izposoja športnih veslaških plovil) na rekah in jezerih, v neenakopravnem položaju s ponudniki tovrstnih storitev na morju. Večina ponudnikov meni, da odločitve brez usklajevanja strokovnjakov vodarske stroke, varstva okolja, pravne stroke ter ostalih deležnikov in brez upoštevanja dobrih praks iz tujine ne pripomore k razvoju veslaškega turizma v Sloveniji.

Domači ponudniki športnih storitev izražajo nejevoljo nad tem, da lahko pridobitno športno dejavnost rečnem prostoru izvajajo tudi tuja podjetja. Zakonodaja (Zakon o varstvu pred utopitvami, Uradni list RS, št. 9/2011, 32. a člen) ne omejuje tujim državljanom opravljanja vodenih dejavnosti na rekah, dokler imajo le-ti opravljeno ustrezno izobraževanje v matični državi. V združenju slovenskih podjetij že leta prosijo, naj država podeli koncesije za rabo reke in tako prepreči nelojalno konkurenco.

Iz pregleda stanja obstoječe zakonodaje, vezane na plovbo po slovenskih rekah, in iz analize občinskih odlokov, ki obravnavajo plovne režime na plovnih območjih, sledi, da odloki problematiko obravnavajo parcialno in neusklajeno, predvsem pa je zaznati odsotnost skupne vizije urejanja rečnega prostora za veslaške dejavnosti na državni ravni.

3. Zaključki

Rečni prostor spada med najlepše in najprestižnejše naravne lokacije za razvoj številnih, tudi veslaških dejavnosti. Območja rečnega prostora zato lahko predstavljajo ogrodje zasnove sistema veslaških dejavnosti v prostoru. Pestrost in zanimivost voda z vidika preživljanja prostega časa je ena izmed pomembnih značilnosti slovenskega prostora, hkrati pa je to okolje zaradi izjemne biotske raznolikosti ranljivo in kot takšno neprimerno za razvoj množičnega turizma.

V Sloveniji poglobljenega in načrtnega pristopa k razvoju rečnega prostora za športnorekreativne dejavnosti ni kljub evropskim in svetovnim trendom, ki veslanje na rekah prepoznavajo kot izredno pomembno turistično destinacijo in dodano vrednost lokalnemu, regionalnemu in državnemu gospodarstvu. Zaradi medsektorskih neusklajenosti, različnih strategij trajnostnega razvoja vodnega in obvodnega prostora in turistične ponudbe na regionalnem in lokalnem nivoju, rečnemu prostoru iz več razlogov ni posvečena posebna pozornost. Kljub zavedanju, da preživljanje prostega časa s športnorekreativnimi dejavnostmi vpliva na dobro počutje, zdravje in zdrav življenjski slog, lahko zaključimo, da po pregledu domače literature in državnih dokumentov ni zaslediti, da bi v Sloveniji imeli lastno filozofijo, ki bi podrobneje govorila o vizijah, priložnostih in razvoju na temo prostorskega načrtovanja veslaških dejavnosti na slovenskem rečnem prostoru.

Za celostno in konsistentno obravnavo dejavnosti rečnega prostora ter načrtovanje uporabnikom prijaznih storitev je treba razviti model upravljanja potencialnih veslaških območij, s katerim bi izboljšali organiziranost, varnost uporabnikov rečnega prostora ter vzpostavili sodelovanje med obiskovalci, ponudniki storitev in lokalnimi prebivalci, kar predstavlja osnovo za multifunkcionalno načrtovanje razvoja veslaških dejavnosti (Golja 2016).

4. Viri

[1] A guide to planning and developing small vessel water trails in Ireland. 2013. Dublin, Waterways Ireland and the Irish Sports Council. Available from:

<http://www.waterwaysireland.org/SiteAssets/Corporate/ Guide to Planning and Developing Small Vessel Trails.pdf> (dostop julija 2015.)

[2] BAUMGARTNER, C., BLUMER, A. 2012. Strategic Position of Danubeparks for Tourism, Environmental Education and Regional Development. Available from:

http://www.danubeparks.org/files/698_Tourism_Strategy_Final.pdf (dostop maja 2014.)

[3] BUCKLEY, R. 2012. Rush as a key motivation in skilled adventure tourism: Resolving the risk recreation paradox. *Tourism Management*, 33(4), 961–970.

[4] EVANS, J. 2012. Predictors of motivation to participate in whitewater kayaking. Thesis,

Graduate School of Clemson University. Available from:

http://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2531&context=all_theses (pridobljeno avgust 2015.)

[5] ECRR. 2013. Rivers by Design: Rethinking development and river restoration. Bristol. Available from:

http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=R ESTORE_Rivers-by-design.pdf (dostop januarja 2014.)

[6] GLOBEVNIK, L., BIZJAK, A., SMOLAR ŽVANUT, N., PINTAR, M., URBANIČ, G., SLUGA, G., ... URŠIČ, M. 2006. Izvajanje vodne direktive v sloveniji. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije. Available from:

http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/vodna_direktiva.pdf (dostop maja 2014.)

[7] GOLJA, A. 2016. Razvoj vodnega in obvodnega prostora za pristočne dejavnosti. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IPŠPUP.

- [8] KLINE, C. S., GREENWOOD, J. B., SWANSON, J., CÁRDENAS, D. 2014. Paddler market segments: Expanding experience use history segmentation. *Journal of Destination Marketing and Management*, 2(4), 228–240.
- [9] KERR, J. H., HOUGE MACKENZIE, S. 2012. Multiple motives for participating in adventure sports. *Psychology of Sport and Exercise*, 13(5), 649–657.
- [10] Pomorski zakonik. Uradni list RS, št. 42/2006.
- [11] The Wye waterway plan. 2011. Midlands, Environment Agency. Available from: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291394/gemi0112bvfq-e.pdf (dostop marca 2014.)
- [12] WILLIAMS, P., SOUTAR, G. N. 2009. Value, Satisfaction and Behavioral Intentions in an Adventure Tourism Context. *Annals of Tourism Research*, 36(3), 413–438.
- [13] Zakon o plovbi po celinskih vodah (ZPCV). 2002. Uradni list RS, št. 30/2002.
- [14] Zakon o varstvu pred utopitvami (ZVU). 2011. Uradni list RS, št. 9/2011.

VEČNAMENSKI PROJEKT UREDITVE LJUBLJANICE NA OBMOČJU ŠIRŠEGA CENTRA LJUBLJANE

dr. Andrej Širca, univ.dipl.inž.grad.¹, mag. Marko Fatur, univ.dipl.inž.grad.², Dušan Ciuha,
univ.dipl.inž.grad.³, dr. Metka Povž, univ.dipl.biolog.⁴

¹IBE, d.d., Hajdrihova ulica 28, 1000 Ljubljana, ²LUZ, d.d., Verovškova ulica 64, 1000 Ljubljana, ³Redelonghijeva 26a, 1000 Ljubljana, ⁴Zavod Umbra, Ulica bratov Učakar 108, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Prispevek opisuje predlog projekta ureditve Ljubljanice in Gruberjevega prekopa za namene energetske izrabe, plovbe in varstva narave. Opisani so prostorski, tehnološki in okoljski vidiki tega kompleksnega projekta. Poleg velikih koristi, ki bi jih z ureditvijo Ljubljanice na predlagan način dal izboljšani javni prostor v Ljubljani, bi projekt izboljšal energetske bilanco mesta in hkrati tudi ekološke lastnosti vodnega prostora ob reki. Dodatna korist projekta je rešitev problema dotrajanosti objektov za regulacijo nivoja vode v Ljubljani in s tem tudi na Barju.

Za pridobivanje do 7 GWh električne energije letno so predlagani najsodobnejši pretočni energetske objekti z visokimi izkoristki in majhnim vplivom na okolje. Posebna pozornost je posvečena variantnim rešitvam na lokaciji Plečnikove zapornice na Ambroževem trgu. Bistveni elementi krožne plovnosti so novi jez dolvodno od sotočja Ljubljanice in Gruberjevega prekopa ter splavnici na Plečnikovi zapornici in na novem jezu v Gruberjevem prekopu. Novi jez pod sotočjem zagotavlja zadostno globino za plovbo tudi v času nižjih pretokov, obe splavnici pa sklenjeno plovno pot okoli Grajskega hriba. Pričakovani so pozitivni vplivi predlaganih objektov na lokacijah zapornic v Gruberjevem prekopu in Ambroževem trgu na naravno okolje, saj na obeh lokacijah vzpostavljamo prehodnost pregrad z izgradnjo sodobnih ribjih prehodov in s tem kakovostno povezavo z območjem Natura 2000 – Ljubljansko Barje.

Predlagani projekt združuje elemente pridobivanja energije iz obnovljivih virov, trajnostne urbane mobilnosti ter ohranjanja naravnega okolja, zato lahko njegova izvedba predstavlja zgleden primer integracije običajno nasprotujočih interesov energetike, varstva narave in varstva kulturne dediščine. Izkazuje tudi dobre možnosti za nepovratno financiranje.

Ključne besede:

energetska izraba, plovna pot, prehod za ribe, hidroenergija, kulturna dediščina, ohranjanje narave, prostorsko načrtovanje, javni prostor, Plečnikova zapornica, Ljubljana.

1. Uvod

Projekt [1] obravnava odsek Ljubljanice od cestnega mostu pri Livadi do peš mostu preko Ljubljanice gorvodno od Fužin, to je do »fužinskega praga«. Osnova zanj je želja ljubljanske mestne uprave in Energetike Ljubljana, da se zagotovi sklenjena plovna pot po Ljubljani in Gruberjevem prekopu okrog Grajskega hriba ter da se na tem odseku izkoristi razpoložljiv energetske potencial. Vsi posegi in ureditve morajo zagotavljati čim manj vplivov na vodno okolje. Sočasno se s projektom vzpostavlja izboljšana funkcionalnost obeh jezov na Ljubljani z vidika zagotavljanja poplavne varnosti Barja in jugozahodnega dela Ljubljane ter z vidika

prehodnosti za ribe. Pričakuje se, da se bodo z ureditvijo in rednim vzdrževanjem plovnih poti izboljšale tudi odtočne razmere ob visokih vodah. Rešitve in predlogi za nadaljevanje projekta vključujejo tudi ožji (zasnove objektov) in širši prostorski vidik, saj bi javni prostor Ljubljane z ureditvijo plovnosti, obrežij in programov, ki reko izkoriščajo kot priložnost, pridobil nove kvalitete.

2. Prostorska izhodišča in usmeritve

Ljubljana z Gruberjevim prekopom, Grajski hrib, Rožnik in Golovec predstavljajo edinstveno kombinacijo morfoloških in naravnih prvin, v kateri se je skozi zgodovino oblikovalo mesto Ljubljana. Ljubljana na svoji poti povezuje raznolike mestne predele, ki so v veliki meri povezani z urejanjem prostora na brežinah. Ljubljana predstavlja tudi koridor med dvema zelenima prvinama v in ob mestu: Barjem na jugu in reko Savo na severu. Z nabrežji in mostovi je Ljubljana najpomembnejši in največji javni prostor v mestu.

V zvezi z urejanjem območja Ljubljane in Gruberjevega prekopa je bilo izdelanih že veliko študij, načrtov in predlogov. Nekateri imajo zgodovinsko vrednost. V zadnjem času se je urejalo predvsem odseke Ljubljane skozi najgostejše grajen in najstarejši del mesta. Tu so obrežja reke že povezana z mestnim prostorom, medtem ko imajo odseki na območju Roške ceste, Kodeljevega in Most z reko še vedno slabo povezavo. Kljub temu, da je bila Ljubljana v zgodovini mnogokrat regulirana, preusmerjana, območja ob njej pa preurejana, je v kontekstu krožne plovbe odprtih še veliko možnosti za prostorski razvoj, predvsem v vzhodnem delu obravnavanega območja. Javni prostor Ljubljane bi z ureditvijo slabo izkoriščenih območij ob vodi vzdolž Zaloške ceste in Gruberjevega prekopa pridobil nove razsežnosti, prispeval h kakovosti življenja v mestu in tudi k njegovi turistični privlačnosti in tržni vrednosti. Celovita ureditev Ljubljane z Gruberjevim prekopom je priložnost za vzpostavitev še ene krožne poti (poleg POTi), ki bi obiskovalcem in domačinom z ureditvami ob vodi, na vodi in nad vodo ter z vzpostavitvijo plovnosti okrog Grajskega hriba ponujala nove rekreacijske in doživljajske možnosti. Sočasno z urejanjem krožnih poti ob in na Ljubljani bi se revitalizirala in preuredila širša območja ob reki.

Ljubljana lahko postane dostopna in vodilna prvina zelene infrastrukture v središču mesta in navzven. Reko in možnosti vzpostavitve plovne poti je možno izkoristiti za izboljšanje mobilnosti v mestu in razvoj trajnostnega prometa skozi zagotavljanje različnih možnosti javnih prevozov, ki se povezujejo in dopolnjujejo. Pri vzpostavitvi nove vodne poti je treba predvideti povezovanje pristanov z drugimi oblikami javnega prometa ter povezovanje lokacij pristanišč z obstoječo in načrtovano turistično in drugo infrastrukturo. Ureditev je lahko povod za prenovo ali pa za nove ureditve še neurejenih ali degradiranih območij. Kot območja prenove izpostavljamo npr. prenove brežin z vzpostavitvijo poti, kjer še niso urejene, prenovo Zaloške v povezavi z Ljubljano, prenovo parka Kodeljevo v povezavi z Ljubljano in Cukrarno. V prihodnosti se ob Ljubljani lahko razvijejo nova programska območja, kot npr. na Roški ulici ali ob Gruberjevem prekopu, uredijo se lahko parki ob vodi, zgradijo novi mostovi ali pa se razvijejo dodatni turistični programi v povezavi s »Park and Ride« (P+R) mobilnostjo.

Projektne ideje, ki gradijo na teh prostorskih izhodiščih, so v okviru [1] razvite in analizirane v posebni študiji »Sinergijski učinki energetske izrabe in krožne poti v kontekstu urejanja prostora«. Ta podaja programske zasnove za posamezne odseke Ljubljane in Gruberjevega prekopa od navezave na Barje do Fužin. Za posamezne lokacije so pripravljene usmeritve za zasnovo objektov z vidika urejanja prostora, ki izhajajo iz naslednjih vprašanj:

- Kakšne so sicer načrtovane ureditve na območju in kako medsebojno vplivajo?
- Kakšne so omejitve pri načrtovanju in kakšen pomen imajo lahko pri umeščanju in izvedbi projektov?
- Kakšni so potenciali, ki bi jih lahko ponudila izgradnja pregrad?

V študiji predstavljene rešitve upoštevajo znane omejitve, t.j. tehnične, vodnogospodarske, ihtiološke, varstvene in druge pravno-formalne režime, vendar niso edine možne. Lahko jih je še več in se v nadaljnjih fazah projekta pridobijo z dodatnimi optimizacijami in postopki javnega natečaja.

3. Tehnične obdelave in predlagane rešitve

Energetska izraba Ljublanice je bila v preteklosti obravnavana predvsem na lokaciji Plečnikove zapornice, kjer jo je predvidel že sam Plečnik. Ob izvedbi jezusa sicer energetski objekti niso bili zgrajeni, je pa bilo kasneje s študijami IBE (1984 – 1994) potrjeno, da je ta lokacija na območju mestnega jedra energetsko najprimernejša. Energetska raba na odseku pod sotočjem je bila obravnavana v študiji Agencije za prestrukturiranje energetike (2010), medtem ko za Gruberjev prekop hidroenergetske analize do sedaj niso bile narejene.

Načrtovanje »krožne plovbe« ima krajšo zgodovino. Prve ocene variant lokacij objektov za zagotavljanje krožne plovbe so bile narejene v letih 1999 in 2000 na Vodnogospodarskem inštitutu. Ugotovljeno je bilo, da obnova jezusa v Gruberjevem prekopu ni upravičena in je bolj smiselno načrtovati nov objekt. V nadaljevanju analiz so bile v letu 2007 na Inštitutu RS za vode (IzVRS) obravnavane različne lokacije jezusa pod sotočjem, dve lokaciji splavnice na Ambroževem trgu ter več lokacij novega objekta v Gruberjevem prekopu.

Prehodnost pregrad za ribe na območju Špica – Fužine je bila do sedaj obravnavana v projektu LIFE10 NAT/SI/000142, ki pa še ni zaključen. Izveden je bil poskus usposobitve ribjega prehoda na Plečnikovi zapornici, v Gruberjevem prekopu pa ukrepi niso bili predvideni.

3.1 Energetika

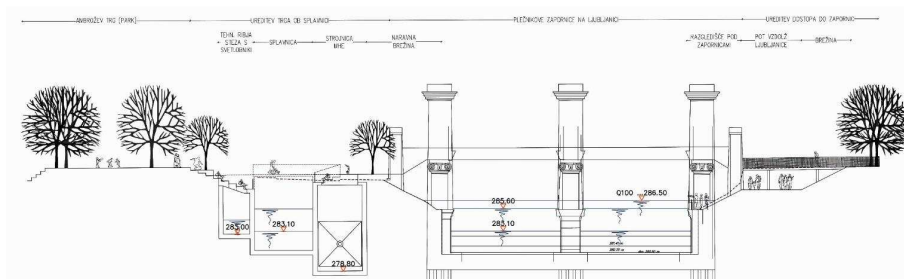
Bistven rezultat predstavljene študije sta zelo točen izračun in analiza možne proizvodnje na odseku mestne Ljublanice (ML) ali Gruberjevega prekopa (GP) ter na lokaciji združenega toka pri Toplarni Moste. Variantni izračuni možne energetske izrabe so izvedeni za obstoječe stanje na Ljublanici in Gruberjevem prekopu brez izgradnje praga pri Toplarni ter za bodočo »krožno pot« z novim pragom pri Toplarni. Za gorvodna pregradna objekta na mestni Ljublanici in Gruberjevem prekopu sta variantno upoštevani osnovna kota 285,60 m n.m. ter kota 286,00 m n.m. Delitev pretoka je upoštevana v treh (3) variantah: a) večina po Ljublanici (ML), b) večina po Gruberjevem prekopu (GP) in c) v enaki količini po ML in GP. Na ML je edina lokacija hidroenergetske izrabe (HE) v profilu Plečnikove zapornice. Na GP so bile preliminarne analizirane lokacije v profilu obstoječe pregrade, 300 m dolvodno od obstoječega profila pregrade in 1200 m dolvodno od obstoječe pregrade (profil pri stadionu Slovan). Za podroben energetski izračun je bila izbrana lokacija 300 m dolvodno od obstoječe. Upoštevane so izgube zaradi obratovanja prehodov za ribe, zaradi atrakcijskega toka, preliivanja ter delovanja splavnic.

Preglednica 1: Izpisek variantnih izračunov energetske proizvodnje na Ljublanici in Gruberjevem prekopu (Oznake primerov pomenijo sedanje (SED) ali bodoče (BOD) stanje na lokacijah ML in GP pri zajeznih kotah 285,60 m n.m. ali 286,00 m n.m. Navedeni so le primeri, kjer je letno število obratovalnih dni najmanj 300).

	Oznaka primera	Lokacija	Št. agregatov	Qinst	Proizvodnja
	(-)	(-)	(-)	(m ³ /s)	(GWh/leto)
1	SED-ML-285,60	ML	1	25	2,439
2	SED-GP-285,60	GP	1	15	1,208
3	SED-ML-286,00	ML	1	30	3,208
4	SED-GP-286,00	GP	1	20	1,772
5	BOD-ML-285,60	ML	1	25	2,112
6	BOD-GP-285,60	GP	1	20	1,564

7	BOD-MLinGP-285,60	ML in GP	2	25	2,127
8		ML	1	15	1,336
9		GP	1	10	0,791
10	BOD-ML-286,00	ML	1	30	2,942
11	BOD-GP-286,00	GP	1	25	2,243
12	BOD-MLinGP-286,00	ML in GP	2	40	3,640
13		ML	1	25	2,228
14		GP	1	15	1,412

Na lokaciji Toplarna smo analizo izvedli za primer minimalne energetske izrabe (0,3 GWh/leto), ki bi služila le zagotavljanju atrakcijskega toka za ribjo stezo z uporabo vijačnih turbin ter za primer bistveno večje energetske proizvodnje v primeru poglobitve dolvodne struge in uporabe gibljivih strojnic z realno proizvodnjo med 2,6 in 3,1 GWh/leto. Glavno vodilo končnega predloga za izvedbo energetske in hidravlično optimalne variante je maksimalna energetska izraba celotnega sistema in ne posameznih stopenj. Sočasno so predlagane energetske rešitve zasnovane tudi za optimalno plovbo in ohranjanje obstoječega hidrološkega stanja s približno polovično delitvijo toka po obeh krakih skozi mesto.



Slika 11 Predlagane ureditve v profilu Plečnikovke žapornice (varianta 3). Od leve si sledijo prehod za ribe, splavnica in strojnica MHE. Na levem bregu posegi niso predvideni.

3.2 Plovba

Ljubljanka je za plovbo zelo primerna reka. Od Vrhnike do Ljubljane ima ob običajnem pretoku manj kot meter padca, zaradi česar je počasna. Dno Ljubljanice od Špice gorvodno sestavljajo mehke meljaste in glinene strukture. Zato ni nevarnosti, da bi plovilo trčilo v čer ali nasedlo na sipinah. Na poti od Cankarjevega trga na Vrhniki do Ljubljane ima Ljubljanka celo ob minimalnem vodostaju primerno globino za plovbo. Nevarnejša za plovbo je le takrat, kadar se njen pretok poveča preko 100 m³/s. Ob plovbi po Ljubljanki je treba upoštevati razmerje med parametri predpisanega plovila, plovno potjo in vremenskimi vplivi. Upoštevati je treba še hidro-morfološke lastnosti Ljubljanice in Gruberjevega prekopa (zamuljenje ali poglobljanje) ter potrebe po vzdrževanju in po intervencijah ali pomoči pri plovbi. Predpisano plovilo za plovbo po reki Ljubljanki je največji možni čoln, ki ga dopušča zakonodaja za plovbo po reki. Gabariti čolna znašajo največ 10 m v dolžino, 5 m v širino, maksimalni ugrez trupa pa je lahko 0.6 m. Hitrost plovila po zdajšnji zakonodaji ne sme presegati 8 km/h.

V študiji smo s hidravličnim matematičnim modelom določili glavne parametre toka na predvidenem območju plovbe (preglednica 2). Preverili smo tudi prehodnost pod mostovi, kjer sta ugotovljeni najbolj kritični točki pri mostu na Kajuhovi in pri brvi za pešce od Kajuhove proti Štepanjskemu naselju. Ta dva mostova določata najvišjo možno koto zaježitve pod sotočjem, ki znaša 283,10 m n.m. Po drugi strani kota gladine ne sme biti nižja, ker v nasprotnem primeru nastopijo težave z nezadostno globino pod zapornicama v Gruberjevem prekopu in na Ambroževem trgu.

Preglednica 2 Glavni parametri toka na območju krožne plovbe: B = širina proste gladine; H = globina vode; V = hitrost toka. Podane so najmanjše, srednje in največje vrednosti na posameznih odsekih za pričakovani razpon pretokov, pri katerih je plovba še mogoča.

		Bmin	Bmax	Bpovp	Hmin	Hmax	Hpovp	Vmin	Vmax	Vpovp
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Mestna Ljubljana	pod zapornico 3 m ³ /s	20,80	41,74	28,13	1,60	3,41	2,48	0,03	0,11	0,06
	pod zapornico 55 m ³ /s	25,55	41,72	29,39	2,40	3,52	2,87	0,56	1,14	0,86
	nad zapornico 3 m ³ /s	22,05	48,39	28,56	2,57	5,10	3,62	0,02	0,05	0,04
	nad zapornico 55 m ³ /s	22,11	49,26	28,77	2,86	5,10	3,74	0,38	0,77	0,63
Gruberjev prekop	pod zapornico 3 m ³ /s	17,19	23,25	19,07	0,52	4,49	2,00	0,05	0,37	0,15
	pod zapornico 55 m ³ /s	18,43	23,25	21,03	1,97	4,48	2,76	0,90	1,51	1,31
	nad NOVO zapornico, 3 m ³ /s	22,27	32,13	25,07	2,53	4,97	3,18	0,02	0,05	0,04
	nad NOVO zapornico, 55 m ³ /s	22,50	49,42	25,76	2,82	5,31	3,39	0,37	1,09	0,87
Skupna	pod sotočjem 10 m ³ /s	41,75	44,16	42,58	2,95	3,29	3,15	0,10	0,10	0,10
	pod sotočjem 90 m ³ /s	41,73	43,98	42,50	2,86	3,25	3,11	0,90	0,93	0,92

3.3 Prehodnost jezov in omilitveni ukrepi za ribe

V okviru študije je bilo pripravljeno poročilo o stanju rib, ki vključuje pregled razpoložljivih ihtioloških podatkov za porečje Ljubljane s poudarkom na ihtiofavni na območju zapornic na Gruberjevem prekopu in na Ljubljani na Ambroževem trgu ter na lokaciji predvidenega jezusa pod sotočjem. Ocenila se je prehodnost prečnih objektov v strugi vodotoka na območju projekta in na lokacijah predlaganih omilitvenih ukrepov, s katerimi se bo vzpostavil rečni kontinuum (povezanost reke).

Na Ljubljani sta zgrajeni dve zapornici in sicer na mestni Ljubljani na Ambroževem trgu in na Gruberjevem prekopu 420 m dolvodno od Karlovškega mostu. Zapornica na Gruberjevem prekopu ni prehodna za ribe, na Ambroževem trgu pa prehodnost po zadnjih ukrepih še ni potrjena (stanje september 2016). Ob izvedbi predvidenih posegov smo predlagali omilitvene ukrepe, kot so ureditev prehodov za ribe, ukrepe za vzpodbujanje gorvodnega in dolvodnega ter prečnega prehajanja vodnih organizmov, zasaditev tipične obrežne vegetacije in obogatitev vegetacije na obrežnem pasu, ki bo predstavljala tudi zaščito pred erozijo. Takšna ureditev zagotavlja habitat za različne razvojne stopnje in velikosti ter vrste rib, dopušča nihanje vode zaradi energetske izrabe in je hkrati prilagojena naravnemu sezonskemu pretočnemu režimu s spremenljivimi hitrostmi toka, pretoki in vodnimi količinami.

3.4 Predlog večnamenske ureditve

Pri Plečnikovi zapornici je za desni breg predlagana izgradnja male hidroelektrarne (MHE) z enim klasičnim agregatom inštaliranega pretoka 25 m³/s, splavnice za plovila do 10 m dolžine in prehod za ribe v tehnični obliki. Na pregradi je predlagana zamenjava zapornice. Navedeni objekti in naprave se bodo vključili v predvideno ureditev Ambroževega trga in obnovljene Cukrarne. Na Gruberjevem prekopu je predlagana izgradnja jezusa z visokovodnim prelivom, najsodobnejša MHE z gibljivo strojnico z inštaliranim pretokom 20 m³/s, splavnica za plovila do 10 m dolžine, prehod za ribe v sonaravni izvedbi ter premostitev za peš in kolesarski promet. Širšo okolico tega večnamenskega objekta se uredi kot zeleno območje za rekreacijo z izobraževalnimi vsebinami. Na lokaciji pri Toplarni predlagamo izgradnjo nizkega jezusa za potrebe krožne plovbe in energetske izrabe, namestitev dveh gibljivih strojnic s skupnim inštaliranim pretokom 41 m³/s ter poglobitev dolvodne struge v dolžini približno 1800 m (vzdolž soseske Nove Fužine). Na lokacijah v Gruberjevem prekopu in pri Toplarni so

predlagani najsodobnejši pretočni energetski objekti z velikimi izkoristki in majhnim vplivom na okolje, razviti v okviru programa LIFE06, projekt ENV/D/000485.

4. Zaključki

Študija predstavlja prvo celostno tehnično analizo možnosti sočasnega urejanja treh vidikov Ljubljane: Energetske izrabe, razširitve območja plovnosti pod obstoječima pregradama ter zagotovitve prehodnosti za ribe. S slednjim se bo vzpostavil rečni kontinuum za varovana območja narave kot so Natura 2000 »Ljubljana - Gradaščica - Mali Graben« (SI3000291), naravna vrednota Ljubljana (ID 167 V) in ekološko pomembno območje Ljubljansko barje (ID 31400). Študija vključuje tudi oceno investicije, vendar zaradi odsotnosti vrednotenja nekaterih širših družbenih vidikov še ne predstavlja študije izvedljivosti. Kljub temu menimo, da je projekt urejanja Ljubljane za namene energetske izrabe, plovbe in varstva narave z upoštevanjem širših družbenih koristi in sinergij realno izvedljiv. Zaradi elementov pridobivanja čiste energije, urbane mobilnosti in ekoloških koristi ima dobra izhodišča za pridobivanje nepovratnih evropskih finančnih sredstev. Kot takšen si tudi zasluži pozornost in sodelovanje državnih institucij, saj sočasno zagotavlja sanacijo vodnih pregrad v Ljubljani, ki sta ključni za zmanjševanje poplavne ogroženosti Ljubljane in Barja.

5. Zahvala

Naročnik študije je bila Energetika Ljubljana, avtorji se zahvaljujemo za dovoljenje za objavo rezultatov. Poleg partnerjev IBE in LUZ so bili podizvajalci na projektu Montavar Ljubljana, iS Projekt, IZVO-R in SI consult.

6. Viri

[1] Energetska izraba Ljubljane ob istočasni vzpostavitvi krožne plovne poti. Študija št. HPLJ-B040/084, mapa 0X/M01. IBE in LUZ, september 2016.

DEVELOPMENT OF WATERFRONTS IN WARSAW: CHALLENGES AND SINS

dr Karolina Thel¹, Marta Zimny²

¹Academy of Fine Arts in Warsaw, ²SGH Warsaw School of Economics

ABSTRACT

The presented paper discusses the multidimensional presence of Vistula River in the development of Warsaw and the challenges the river presents for said development. For many decades Warsaw was “turning its back” from the river. In the last few years we observe an opposite trend. Thanks to the Vistula river, which is the longest river in Poland, Warsaw has its own beaches, beach bars and offer of water-related activities, that are influencing the quality of life.

Vistula river divides Warsaw into two parts. On the right river bank (Praga) there is a large green terrain with paths for walking and cycling. There are several sand beaches with developed infrastructure, which are being used intensively in the summer. On the left side one can find an elevated motorway - the Wislostrada, and below the road a complex of paths, small bars, areas with playgrounds and boat bars. There is a bike path running the entire length of Warsaw river bank (around 30 km.). This picture should not obscure the fact, that the accumulation of years of negligence against the river requires a considered long-term strategy, as well as cooperation between different actors and shared vision of development.

The main objective of our research was to determine factors that influence spatial changes on the river banks and nearest neighborhood. We show the historical conditions of development of riverside areas, indicate the main flaws in spatial planning. In conclusion we emphasize that it is not only strategic thinking and effective planning that matters, but also the social perception of the river.

Keywords:

waterfront, Vistula river, Warsaw, urban development

1. Introduction

Vistula river has a special place in Polish history and culture. It was also important as a transportation corridor linking south and north part of the country. Important urban centres, including Krakow, Warsaw and Gdańsk have developed at Vistula. History of the waterfronts' management in Warsaw can be seen through the prism of untapped potential. Evidence in the form of photographs and reports shows that Vistula's potential for the recreation and leisure activities was used until sixth decade of the XX century (Skalski, 2011). One reason was that the problems with the quality of water and lack of infrastructure were appearing. The other problem was in social perception - for years river had not been considered as important component for the urban development in Warsaw.

2. Conditions for development - past and present

Historically, the perspective on river bank development in Warsaw can be summarized through the context of four key issues: bridges, river transport, floods and ecology.

2.1 Bridges

The river in Warsaw is a strongly marked and established barrier preventing a balanced development of the city or collaboration with another center established on the opposite shore. Generally, lack of effective connections limits the process of building up strong relationship between the two entities. In the case of Warsaw there were not enough impulses for cooperation between city parts and the city was developing mainly on better located and adapted, left shore, where city center is located. We observe this phenomenon by analyzing the history of the Warsaw bridges.

First wooden bridge was open in 1573. It was founded by king and using it was free of charge. This construction was destroyed by ice and floe after 30 years, but what is significant, for the next permanent bridge Warsaw needed to wait more than two centuries. In the meantime, between 1775 and 1809, during the warm months there existed only a temporary bridge. Construction of the first steel bridge was finished only in 1864. It is worth mentioning, that it was a year after London opened its first metro line (Skorupski, 2000).

Nowadays within the 28-kilometer long river bank in the administrative borders of Warsaw there are 10 permanent bridges - 8 of them are road bridges and 2 are railway bridges. Two banks are also connected by a metro line going under the river bed. From the urban and architectural point of view the key factor is, that bridges in Warsaw mainly do not connect areas close to the banks, but those located at a distance from the river. This enhances distances between parts of the city and makes it difficult to integrate the river into the urban system.

Plans of building new bridges are an important topic in public debates about the future of the city. For example, plans of building Krasiński Bridge are being opposed by left bank habitants from a district of Żoliborz, who claim, that connecting them with less developed Praga Północ district will not bring them any benefits and will decrease their quality of life because of traffic.

2.2 River transportation

As stated earlier, the river is a challenge for transport and communication between the two sides, but also in itself is a potential transport corridor. This also refers to the history of Vistula. In the second half of XVII century first bigger ships were appearing on the river, the first steamer in 1828. In half of XX century shipping covered 25% of goods coming to Warsaw (Skorupski, 2000). However, with the development of other forms of transport importance of inland shipping decreased.

Because of the technical reasons, mass river transportation cannot be seen as effective solution for transportation challenges in Warsaw, but is developed for touristic needs. Currently, banks of the Vistula in Warsaw are joined by four ferries operated by the same agency as public transport in Warsaw. Ferries are free of charge and used for the transport of people and bicycles, which promotes optimal use of the Vistula bike paths and recreational infrastructure.

2.3 Floods

Vistula is the biggest river in Poland, about 1000 km long and collecting about 50% of river tributaries of the whole country. Fluctuations of water level in the unregulated river and passage of ice masses during the winter are linked with the risk of flooding.

Through the centuries floods were a reason for marginalisation of river neighbourhoods as parts of the urban structure. Although the plans of regulation of the river bank in order to protect them from flooding were prepared earlier, the first implementation was completed on a little part of left bank, just before the Second World War. Except for plans of river bank

regulation, since 1970s another solution was promoted – recommendations and limitations for building and the use of land.

The threat of flooding is a serious challenge, even today. The right-bank Warsaw is much more at risk. Flood protection of riverside areas is the most basic condition for their development, regardless of the chosen development strategy. At the same time the issue of modernization of the levees reveals a conflict of interests between the city authorities, ecological lobby, developers, private owners of allotments etc.

2.4 Ecology

Although it may seem that emphasis on the ecological aspect is a relatively new approach in urban planning, important role of Vistula River valley for air circulation in the city of Warsaw was noticed already in plans from 1916, and protection of green river areas appears as a concept in spatial planning in 1978 (Skorupski, 2000). The valley of the Vistula River in Warsaw, which extends to an area of about 30 km., is one of the major national migration routes for living organisms, including about 200 protected species of birds. It also functions as an ecological corridor. These natural factors were perceived for many decades not as precious heritage, that can be used for recreation and tourism, but as a limitation for development.

Although keeping the river surroundings as green areas dedicated for sport and recreation seems to be at first sight a sustainable idea, we have to face facts. About 50% of area of Warsaw is located in a geographically defined river valley. Financing green areas in this scale would be a great burden for municipality budget that Warsaw can not afford.

Another problem is the quality of water. Vistula is a source of water for communal and industrial usage. Currently water quality is one of the biggest problems of Vistula river. In the socialist times communal waste water was discharged directly into the river. Repairing damages that accumulated for years, will take time. Since 1991 waste water management was supported by the Czajka sewage treatment plant, but only after modernization finalized in 2012 we can speak about real improvement. Still, the management of storm water that collects car pollution from the streets poses a great problem.

3. The sins of the development of waterfronts in Warsaw

The popularity of revitalization of the riverside areas is based on the fact that those areas are considered important. Rinio Bruttomesso calls them even “a strategic asset of the city” (Bruttomesso, 2006).

In most European countries, public entities increasingly recognize the development of waterfronts as an obligatory choice to revive the economy, improve the image of the city or develop the area that was previously a peripheral or had serious problems with availability. Revitalization means to “re-discover” natural space, infrastructure and architecture that can be adapted to new functions. Research on many successful waterfront revitalization projects have shown that they reveal the ability to create a new image of the city (*ibidem*). Creation of a “new face” of waterfronts attracts public and private investment, especially in the real estate sector. It all confirms the strategic value of revitalized waterfronts. They often have an impact on other parts of the agglomeration, introducing significant changes to various aspects of social and economic life of the city.

Based on the literature, examples from both Europe and other parts of the world, and own observations we have identified the “seven sins” committed during the planning process and development of waterfronts in Warsaw.

Sin # 1 Disregarding the need to ensure adequate water quality and the environment

Ensuring the good quality of water is a necessary condition and is of paramount importance when taking actions, whose aim is to encourage residents and tourists to spend time at the

water. The responsibility for bringing it to a satisfactory condition and keep it that way belongs to the administrative authorities. In Warsaw, few steps have been taken to improve water quality in the river, by building and development of the sewage treatment. The city council was forced to do so under the threat of pay as much as 1.5 billion PLN (350 million EUR) penalty for pouring raw sewage to the river, which is against the European Union law.

Sin # 2 Failure to maintain the balance between the benefits for the environment and the needs of residents of urban areas

The occurrence of valuable plant populations does not exclude the presence of people in the same place, and reasonable use of green areas does not necessarily mean the loss of benefits for the environment. The right bank of the river in Warsaw is unique in Europe because of its “wild character”. Development is synonymous with a certain adaptation. If this area is to serve the inhabitants of Warsaw, it is necessary to organize this place. For this purpose, it is essential to create compromise between the supporters of leaving this part of the valley in its natural state, and the followers of the notion of allowing to make recreational urban areas in this part of the city.

Sin # 3 Underestimation of a priority, which is the public access and diversity of the use of waterfronts.

River waterfront in the cities should be available to all potential users. An extremely important element of human life is the opportunity to spend free time in an attractive location and in an interesting way. This is one of the factors determining the quality of life, which is taken into consideration, when choosing a place of residence. Proper management, in line with the expectations of future users, is to ensure public participation in the planning process and later, during the implementation of the investment.

In Warsaw, the most attractive area at the river Vistula is the area of Powiśle. Although this area is eagerly visited, and the building of the University Library is popular because of aesthetic reasons, the space of the library is a separated place and is available mostly for students. The library itself does not affect the attractiveness of the area, it is rather attributed to the public gardens and the services offered in the building. The first step in the right direction is the opening of the Copernicus Science Centre. Another success – the construction of left-bank boulevards.

Sin # 4 Lack of vision or lack of the courage to carry it out

One of the most important elements in public projects is the vision of changes. Each plan should have clearly defined goals and ways to achieve them. It should also take into account the cooperation of decision-makers with people interested in a project, providing a chance for civic initiative.

Sin # 5 Neglecting the fact that development is a long term process and must be continuous

Development plans or revitalization of the river banks cover mostly large areas. Due to the fact their implementation is usually costly and time consuming. It is important to ensure the continuity of the project durations and the financial security of investments. Achieving this objective requires to ensure that it is more important than the cadential volatility of authorities.

Sin # 6 Unwillingness or underestimation of public – private partnership

Public – private partnerships can help to speed up the process of managing waterfronts.

Warsaw authorities are aware of the benefits of this type of partnership in arranging public spaces. Among other advantages, public-private partnerships should reduce the costs that must be covered with funds from the budget of municipalities.

Sin # 7 Not using opportunities to learn from mistakes, knowledge and experience of others

Increasingly popular is the formation of national and international networks, which bring together specialists in various fields, business and administrative centers involved in the creation of urban public space at water. The exchange of information can be a valuable asset,

greatly facilitate and shorten the work on the plans. The most popular of international networks is the Waterfront International Network.

4. Conclusions

As was mentioned in the introduction, Warsaw for decades seemed to be turning back from the river. The left bank, close to the downtown, has been developed by a boulevard type of infrastructure that was very basic and perceived as unattractive by inhabitants. On the right river bank (Praga) there is a large green terrain, several hundred metres wide, with few beaches, perceived for years as a dangerous area, not offering much options for leisure activities.

For the last few years this image is dynamically changing. Nowadays riverside area in Warsaw is facing increasing pressure for development. In the central part of Warsaw, the river is fully regulated, which reduces the risk of flooding and increases the investment security. Infrastructure for recreation has been developed, as well as services such as catering and sport equipment rentals.

River bank is also a symbolic place, where interests of different stakeholders are meeting. Main stakeholder are: local government, investors, widely conceived social activists and inhabitants. Actions taken by NGOs, dedicated to the animation of public space at the Vistula River (especially the functioning since 2005 Ja-Wisła Foundation) were a starting point for changing the social perception of the river. There were very different activities carried out, including for example cultural projects, film screenings, tours, kayaking, bank cleaning and preparation of projects within the framework of participatory budgeting. The goal of those actions was to build knowledge, identity and responsibility among inhabitants regarding Vistula (Pasek, 2017). Polish Parliament, appreciating the importance of the Vistula in the life of the nation and state, announced 2017 the Year of the Vistula River.

To talk about real cessation of sins appearing in the past, we need a systematic and consistent implementation of a vision, with the priority for sustainable development. It seems that the increasing public interest and awareness of the importance of the river in the city and its potential for the quality of life can be the foundation of social control, which will not allow the return of a situation, where Warsaw was developed in isolation from the Vistula River.

5. Sources

- [1] BRUTTOMESSO R., Waterfront redevelopment. A strategic choice for cities on water, International Waterfront Speakers Luncheon IV, 03.03.2006
http://www.harbourbusinessforum.com/download/060303_transcript.pdf, [accessed on 29. november 2010]
- [2] Kara za ścieki zatopi Warszawę? Pomóc może Sejm [online]. Warszawa. Gazeta Wyborcza. Available from:
http://warszawa.gazeta.pl/warszawa/1,34889,8502612,Kara_za_scieki_zatopi_Warszawe__Pomoc_moze_Sejm.html#ixzz16shJ0x3H, [accessed on 29. november 2010]
- [3] OLSZEWSKA D. (2010). Warszawa wylewa do Wisły surowe ścieki. Zapłaci karę? [online]. Warszawa. Gazeta Wyborcza. Available from:
http://warszawa.gazeta.pl/warszawa/1,34889,8556325,Warszawa_wylewa_do_Wisly_surowe_scieki__Zaplaci_kare_.html#ixzz16siB9zeM, [accessed on 29. november 2010]
- [4] OSOWSKI, J. (2016). Wisła w Warszawie. Konkurs na kolejny odcinek bulwarów i "ikoniczny obiekt" [online]. Warszawa. Gazeta Wyborcza. Available from:
<http://warszawa.wyborcza.pl/warszawa/1,34862,21184892,wisla-w-warszawie-konkurs-na-kolejny-odcinek-bulwarow-i-ikoniczny.html> [accessed on 2. januar 2017]
- [5] PASEK, P. (2017). Czysta Wisła [online]. Warszawa. Fundacja Ja-Wisła. Available from:
<http://www.jawisla.pl/> [accessed on 10. januar 2017]
- [6] SKALSKI, J., 2011. Ocena walorów krajobrazu w procesie postrzegania na przykładzie krajobrazu doliny Wisły w Warszawie [online]. Warszawa. Available from:

<http://www.sztukakrajobrazu.pl/skalski.pdf> [accessed on 2. januar 2017]

[7] SKORUPSKI, J., 2000. Rozwój Warszawy i powiększanie się “warszawskiego” odcinka Wisły. V: Biuro Zarządu m. st. Warszawy, Biuro Planowania Przestrzennego i Architektury. *Wisła w Warszawie*. Dom Wydawniczy ELIPSA, 139-153.

EKOSISTEMSKÉ TEHNOLOGIJE ZA TRAJNOSTNO UPRAVLJANJE Z VODAMI: VEČNAMENSKI POPLAVNI ZADRŽEVALNIK PODUTIK

izr. prof. dr. Tjaša Griessler Bulc¹, dr. Matej Uršič², mag. Marta Vahtar³, doc. dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič⁴

¹Zdravstvena fakulteta, Univerza v Ljubljani, Zdravstvena pot 5, 1000 Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana, ²Hidrolab, projektiranje in inženiring, d.o.o., Ulica Nikole Tesle 33a, 5290 Šempeter pri Gorici, ³ICRO - Institut za celostni razvoj in okolje Domžale, Savska cesta 5, 1230 Domžale, ⁴Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Ekosistemske tehnologije (ET) s posnemanjem naravnih procesov in sistemov omogočajo zmanjševanje okoljskega odtisa človeške družbe, večjo prilagodljivost na podnebne spremembe, trajnostno ravnanje z naravnimi viri in dvig kakovosti bivalnega okolja. ET predstavljajo inovativen celostni pristop do narave, prostora in varovanja okolja. V prispevku je predstavljen primer ET za upravljanje padavinskih voda in sicer poplavni zadrževalnik Podutik v Mestni občini Ljubljana. Obstoječi zadrževalnik iz leta 1986 je bil leta 2005 preoblikovan v večnamenski poplavni zadrževalnik z izboljšanimi ekosistemskimi storitvami. V kontekstu trajnostnega gospodarjenja z vodami ima ET v Podutiku hkrati funkcijo zadrževanja visokih voda in čiščenja onesnaženih zalednih voda, zagotavlja visoko raven biotske raznovrstnosti, kar zagotavlja večjo stabilnost ekosistema in večjo prilagodljivost na podnebne spremembe, v sušnih obdobjih pa nudi rekreacijske in izobraževalne dejavnosti.

Ključne besede:

biotska raznovrstnost, čiščenje vode, ekoremediacija, ekosistemske storitve, ekosistemske tehnologije, večnamenski poplavni zadrževalnik

1. Uvod

Naraščajoča urbanizacija in poraba naravnih virov ter ekstremni podnebni dogodki zahtevajo vedno večjo prilagodljivost urbanega okolja in trajnostno rabo naravnih virov s pomočjo zapiranja snovnih in energetskih tokov. Ekosistemske tehnologije (ET), ki posnemajo naravne procese, za svoje delovanje uporabljajo fotosintezo, gravitacijo in v večini primerov naravne materiale. ET povečujejo odstotek zelenih površin, in s tem dodatnih možnosti za rekreacijo, hkrati pa lahko zmanjšujejo toplotni učinek, kar povečuje kakovost bivanja mestnega človeka [1, 2, 3].

Primeri ET so rastlinske čistilne naprave, vrtni sistemi za čiščenje odpadnih voda, čistilne naprave z algobakterijsko biomaso, akvaponika za gojenje rib in zelenjave, poplavni obvali in zadrževalniki, čistilni jarki, zelene strehe in stene, zelena blažilna območja, urbani vrtovi, itd. Za ET je značilno, da posnemajo naravne procese, kot so sedimentacija, filtracija, adsorpcija, rastlinski privzem in stabilizacija ter mikrobna razgradnja, pri čemer pomembno prispevajo k ekosistemskim storitvam.

V prispevku je predstavljen primer ET za upravljanje padavinskih voda in sicer poplavni zadrževalnik Podutik v Mestni občini Ljubljana.

2. Večnamenski poplavni zadrževalnik Podutik

Mesto Ljubljana se s poplavami sooča že vrsto let, dogajanja zadnjih nekaj let pa opozarjajo, da so za varovanje pred poplavami nujni dodatni ukrepi. Na vodotoku Glinščica v Ljubljani je bilo izvedenih že nekaj ureditvenih projektov z namenom zadrževanja visokih voda in izboljšanje stanja voda. Prvi večji ukrep beležimo že leta 1986, ko je bil izgrajen vodarski objekt »zadrževalnik III Podutik« za zadrževanje visokovodnega vala na Glinščici zaradi bližnje zazidave s stanovanjskimi objekti. Tako je bilo zamočvirjeno območje v naselju Podutik spremenjeno v zadrževalnik visokih voda. Na območju zadrževalnika visokih voda v Podutiku sta se razvila dva predela, prvi je stalno poplavljen mokrišče, drugo pa je namenjeno občasnim preplavitvam v času večjih deževij.

Leta 2005 je bil na delu vodarskega objekta »zadrževalnik III Podutik« postavljen ekoremediacijski (ERM) sistem, ki sestoji iz čistilnega jarka in meandriranega jarka za namene čiščenja zalednih voda in s tem zmanjševanja vpliva onesnaženih voda na vodotok Glinščica. Na ta način je bil vodarski objekt »zadrževalnik III Podutik« spremenjen v večnamenski poplavni zadrževalnik Podutik.

Večnamenski poplavni zadrževalnik Podutik je bil kot demonstracijski objekt vključen v EU projekt 7.OP TURAS (2011-2016, www.turascities.org) in projekt Mestne občine Ljubljana, kot primer dobre prakse na področju prilagajanja na podnebne spremembe in blažitve njihovih posledic ter dviga kakovosti bivanja prebivalcev Ljubljane.

2.1 Hidravlična funkcija zadrževalnika

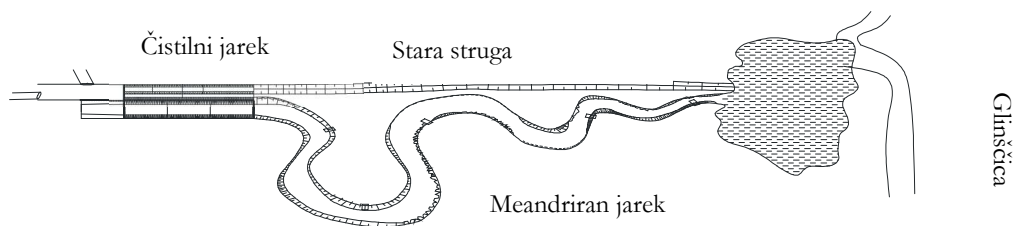
Zadrževalni bazen Podutik II, ki je bil predmet ocene hidravlične funkcije, je najbolj nizvoden objekt na obravnavanem odseku povodja. Hidravlično funkcijo zadrževalnika smo ugotavljali za dogodke z 10 in 100 letno povratno dobo in ugotovili, da obstoječi zadrževalni volumen obstoječega zadrževalnika Podutik ustreza zadrževanju dogodkov s cca. 10 letno povratno dobo. Glede na predvidene protipoplavne ukrepe (Odlok o občinskem podrobnem prostorskem načrtu za območje zadrževalnika Brdnikova, Ur.l. RS št. 63/2012) in njihova temeljna strokovna izhodišča (nedopustno zmanjšanje poplavne površine od mosta pod AC do Podutika) izpusta iz zadrževalnega bazena ni mogoče poljubno povečati, oziroma ga je mogoče povečati največ do cca. 10.3 m³/s (izhodišče študije št. E-02-RF/11, Inženiring za vode d.o.o., november 2011). Glede na to, da so okoliški objekti poplavno ogroženi zaradi obtekanja iztočnega objekta zadrževalnika Podutik in preplavljanja brežin zadrževalnika samega, bi bilo potrebno zagotoviti dodaten zadrževalni volumen visokih voda (okoli 22 300 m³) nad Kozakovo ulico z izgradnjo suhega zadrževalnika.

2.2 Čistilna funkcija zadrževalnika

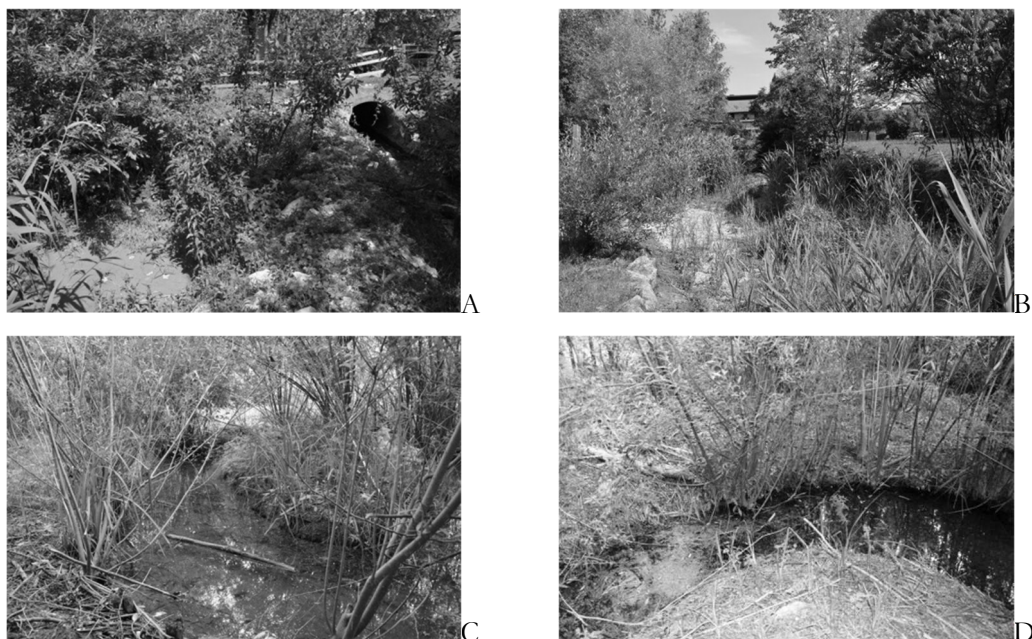
ERM sistem postavljen v sklopu večnamenskega poplavnega zadrževalnika Podutik sestavljata čistilni jarek in meandriran jarek v skupni dolžini 70 m, največjo širino 3 m in globino do 1 m (Slika 1, Slika 2). Od postavitve sistema do danes se je na sistemu ERM izvajal redni monitoring za sledenje učinkovitost delovanja ter redna vzdrževalna dela z namenom optimizacije sistema [4].

Večnamenski poplavni zadrževalnik Podutik ob ustreznem delovanju omogoča tri pomembne funkcije s stališča varovanja okolja [4, 5]:

- a) zadrževalno funkcijo visokih voda;
- b) čistilno funkcijo zalednih voda (vpliv vrtničkarjev, kanalizacijskih prelivov) s pomočjo naravnega močvirja in ERM sistema;
- c) biodiverzitetno funkcijo.



Slika 1 Ekoremediacijski (ERM) sistem v sklopu večnamenskega poplavnega zadrževalnika Podutik, Ljubljana.



Slika 2 Ekoremediacijski (ERM) sistem v sklopu večnamenskega poplavnega zadrževalnika Podutik, Ljubljana. A - usedalniki (levo) in obstoječa struga (desno), B - rastlinska čistilna naprava zasajena z navadnim trstom, C, D - meandrirana struga (foto: K. Jarni, T. Griessler Bulc).

2.2.1 Učinkovitost čiščenja

Učinkovitost delovanja ERM sistema smo preverjali z meritvami kemijskih parametrov (kemijska potreba po kisiku (KPK), biokemijska potreba po kisiku (BPK₅), celokupne suspendirane snovi (TSS), amonijev dušik (NH₄-N), nitratni dušik (NO₃-N), nitritni dušik (NO₂-N), celokupni Kjeldahov dušik (TKN), celokupni dušik (TN), organski dušik (ON) in celokupni fosfor (TP)) dne 14.11.2013 in 19.6.2014 na 9 vzorčnih mestih preko celotnega ERM sistema (Tabela 1) [4].

Tabela 1: Vrednosti merjenih kemijskih parametrov na ekoremediacijskem (ERM) sistemu v letih 2013 in 2014. Vtok – vtok v ERM sistem, iztok 1 – iztok iz čistilnega jarka, iztok 2 – iztok iz meandriranega jarka.

Parameter	Enota	14.11.2013			19.6.2014		
		Vtok	Iztok 1	Iztok 2	Vtok	Iztok 1	Iztok 2
KPK	mg/L	37	22	16	41,25	39,5	3,5
BPK ₅	mg/L	19	1	5	21,5	8	5
TSS	mg/L	56	16	9	110	98	97
NH ₄ -N	mg/L	2,05	0,15	0,26	3,44	5,62	0,24

Parameter	Enota	14.11.2013			19.6.2014		
		Vtok	Iztok 1	Iztok 2	Vtok	Iztok 1	Iztok 2
NO ₃ -N	mg/L	2,6	2,2	0,6	4,17	3,39	1,88
NO ₂ -N	µg/L	10	2	13	254,5	104,5	96,5
TKN	mg/L	7,5	11,3	3,8	/	/	/
TN	mg/L	10,11	13,50	4,41	9,75	10,4	2,5
ON	mg/L	5,45	11,15	3,54	/	/	/
TP	mg/L	1,5	1,03	0,93	0,76	0,85	0,16

Izmerjene vrednosti kemijskih dejavnikov tako jeseni 2013, kot tudi poleti 2014 niso presegale zakonsko določenih mejnih vrednosti pri odvajanju odpadnih voda neposredno ali posredno v vode (Ur.l. RS, št. 64/2012). Izjema je le TSS, ki je poleti 2014 na vseh treh vzorčnih mestih presegal zakonodajno določene vrednosti. Vzrok za to je najverjetneje stalno premikanje naplavin iz gorvodno ležečih mest na območje zadrževalnika Podutik v času obilnejših padavinskih dogodkov.

2.3 Biodiverziteta

Alge

Biodiverziteta alg je v ERM sistemu visoka, saj smo samo ob prvem vzorčenju dne 14.11.2013 določili skupno kar 52 različnih taksonov alg, ob drugem vzorčenju dne 19.6.2014 pa 51 različnih taksonov alg, kar kaže na ugodne pogoje za bujno uspevanje alg. Po številu določenih taksonov so ob obeh vzorčenjih prevladovali kremenaste alge (Bacillariophyceae), sledile so zelene alge (Chlorophyceae) in cianobakterije (Cyanobacteria). Pojavljanje kremenastih alg v večjem številu je običajno za jesensko in zimsko obdobje, ko so temperature vode nižje. V spomladanskem in poletnem obdobju pričakujemo znatno višje število predstavnikov ostalih skupin alg, predvsem nitastih zelenih alg iz rodov *Spirogyra*, *Mougeotia* in *Zygnema*, ki se običajno pojavljajo v obdobjih z višjimi temperaturami vode in daljšim dnem. Biodiverziteta alg je v ERM sistemu višja kot v Glinščici (št. identificiranih taksonov je bilo v Glinščici najnižje), iz česar lahko sklepamo, da ERM sistem vpliva na višjo biodiverziteto alg na obravnavanem območju. V ERM sistemu so bile prisotne nekatere vrste, ki jih v Glinščici nismo zabeležili [4].

Vegetacija

Vegetacijo smo popisali na območju zadrževalnika in deloma v neposredni okolici. Popis je rezultat terenskega dela v aprilu in avgustu 2014. Obdelano območje z vegetacijskega vidika predstavlja mozaik močvirskih in vlagoljubnih habitatnih tipov oz. rastlinskih združb. Te so gozdne, grmiščne in traviščne in se v odvisnosti od rastiščnih razmer in drugih vplivov mozaično prepletajo na relativno majhni površini.

Največjo površino pokrivajo sestoji črne jelše (*Alnus glutinosa*) in vrb (pretežno pepelnatosiva – *Salix cinerea* in bela vrba – *S. alba*). Vrbe so večinoma grmičaste. Mestoma sta primešana še siva jelša (*Alnus incana*) in veliki jesen (*Fraxinus excelsior*). Primerki slednjega so v sestojih črne jelše večinoma majhni – do 3 m visoki, ob strugi Glinščice pa najdemo večja drevesa.

Tovrstna vegetacija uspeva na mezotrofnih do eutrofnih rastiščih (rastišča, zmerno do precej bogata s hranili). Tla so redno poplavljen, večino časa pa tudi nasičena z vodo. Le poleti se nivo vode spusti do nekaj deset centimetrov pod površje. Ponavadi so poplavljen spomladi, ko se tali sneg in jeseni, ob močnejših padavinah. Ta voda je bogata s hranilnimi snovmi, ki se tu kopičijo. Dotoka mineralnih snovi je bistveno manj [4].

2.4 Učna in rekreacijska funkcija zadrževalnika

Območje zadrževalnika ima v urbanističnem kontekstu veliko naravovarstveno vrednost, zlasti v času vročinskih valov, kar je prepoznano tudi v obstoječem veljavnem občinskem prostorskem načrtu (OPN) MO Ljubljana. Ker območje leži praktično sredi naselja, ga okoliški prebivalci vsakodnevno uporabljajo kot prostor za rekreacijo in oddih že sedaj. Za oblikovanje učne poti in drugih parkovnih ureditev območja je na podlagi hidrološke študije potrebno vzdrževati mokri del zadrževalnika (povečanje biotske, krajinske in ambientalne pestrosti) na podlagi sušnih pretokov, kar bi omogočalo naselitev vodnih rastlin in živali. Potrebna sta nadvišanje bregov in nadgradnja prelivnega objekta in sicer tako, da se po nasipih in prelivnem objektu hkrati omogoča vzpostavitev rekreacijske in učne poti. Pot bi se lahko nadgradila v daljšo sprehajalno/učno pot po širšem območju z namenom spoznavanja in prepoznavanja različnih vodnih tem (novi suhi zadrževalnik, mokri zadrževalnik, protipoplavni ukrepi, ekoremediacijski ukrepi itd.) ter naravne, kulturne, tehnične, zgodovinske in druge dediščine širšega območja. Pri tem lahko obstoječi zadrževalnik Podutik z učno potjo postane kot element »Zelenega mesta« osrednja atrakcija tega prostora, s prepletom različnih učno-vzgojnih in demonstracijskih vsebin, ki so dejansko že v prostoru in se jih z novimi učnimi in demonstracijskimi vsebinami dodatno ustrezno osmisli in nadgradi.

3. Zaključki

Območje zadrževalnika Podutik ne spada med varovana območja narave, vendar je njegova nesporna naravovarstvena vrednost v tem, da se je sredi poseljenega prostora ohranil mozaik raznolikih močvirskih in vlagoljubnih združb ter potencialno primernih rastišč ogroženih vrst, ki dodajajo pomembo ekosistemsko storitev obstoječemu poplavnemu zadrževalniku. Zadrževalnik Podutik primarno ob poplavih zagotavlja določeno poplavno varnost, v času odsotnosti poplavnih dogodkov pa pripomore k čistilni funkciji pritokov Glinščice in k biotski pestrosti. Glede na hidravlične, biodiverzitetne in čistilne funkcije ima zadrževalnik Podutik tudi potencial v smislu učno-vzgojnih in demonstracijskih funkcij, še posebej, če upoštevamo tudi urbanistične in širše dolgoročne vizije ureditve demonstracijskega centra z vodarskimi vsebinami.

4. Zahvala

Avtorji prispevka se zahvaljujemo Mestni občini Ljubljana za finančno podporo, mag. Ivani Leskovar za izvedbo popisa vegetacije ter Klari Jarni in Mihi Žitniku za pomoč pri izvedbi raziskave.

5. Viri

- [1] CORDELL, D., 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19 (2), 292-305.
- [2] DAIGGER, G., 2009. Evolving Urban Water and Residuals Management Paradigms: Water Reclamation and Reuse, Decentralization, and Resource Recovery. *Water Environment Research*, 81 (8), 809-823.
- [3] SCHUETZE, T. in THOMAS, P., 2011. Sustainable sanitation systems as a key for circular economy – Three examples from Germany. V: 3. Internationales Symposium "Re-Water Braunschweig".
- [4] GRIESSLER BULC, T., URŠIČ, M., KOMPARE, B., KRIVOGRAD KLEMENČIČ, A., JARNI, K., ŽITNIK, M., BABIČ, R., LESKOVAR-ŠTAMCAR, I., BERCE, T., VAHTAR, M., 2015. Raziskava možnosti ureditve poplavnega zadrževalnika Podutik v večnamenski objekt: zaključno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko. 91 str.

[5] GRIESSLER BULC, T., KRIVOGRAD KLEMENČIČ, A., JANKOVIČ, M., POPIT, S., JAZBINŠEK SRŠEN, N., 2016. Lessons learned and way forward. Podutik. V: Rivers and lakes in European cities. Past and future challenges. EEA Report, 26, 41-51.

VODOODGOVORNO PRILAGAJANJA KMETIJSTVA PODNEBNIM SPREMEMBAM

dr. Rozalija Cvejić, univ. dipl. inž. agr.¹, dr. Matjaž Tratnik, univ. dipl. inž. agr.², dr. Marina Pintar, univ. dipl. inž. agr.³

¹Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Katedra za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora ter ekonomiko in razvoj podeželja, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, ²Hidrotehnik d.d., Slovenčeva ulica 97, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Kmetijstvo je pomembna ekonomska aktivnost submediteranskih porečij. Pogostejše pojavljanje ekstremnih vremenskih dogodkov kot so suša, poplave in močni vetrovi močno omejuje njegov razvoj. V prihodnosti zaradi učinka podnebnim sprememb pričakujemo še bolj pogosto pojavljanje teh vremenskih pojavov, kar povezujemo z negativnim učinkom na socio-ekonomski status kmetijskih gospodarstev na teh območjih.

Ob pomoči LIFE finančnega instrumenta Evropske unije in projekta LIFE15 CCA/SI/000070 – LIFE ViVaCCAdapt si prizadevamo razviti in implementirati ukrepe za prilagoditev na posledice podnebnih sprememb v Vipavski dolini. Končni rezultat projekta je razviti in predati v uporabo operativni model napovedovanja namakanja, vzpostaviti nove zelene protivetrne pasove, nadgraditi rezultate projekta BeWater (7.OP) in oblikovati prilagoditvene ukrepe ter strategijo kmetijstva za porečje Vipave, ki bodo povečali odpornost tega submediteranskega porečja na podnebne razmere v prihodnje.

Uresničitev tega cilja zahteva kartiranje in primerjalno analizo dobrih praks za prilagajanje kmetijstva podnebnim spremembam, ki so na območju že implementirane in nam med drugim zagotavljajo zmanjšanje pritiska kmetijstva na lokalno vodno okolje ter zagotavljajo uresničevanje ciljev dosega in vzdrževanja dobrega stanja voda na porečju. V prispevku so prikazani primeri dobrih praks vodoogovornega prilagajanja kmetijstva podnebnim spremembam, ki imajo učinke na vetrno erozijo, izhlapevanje, kakovost vode ter količinsko in prostorsko razporeditev vodnih količin.

Ključne besede:

namakanje, dobre prakse

1. Uvod

Ugodne podnebne danosti (Honzak et al., 2017) in obsežna pretekla vlaganja v izboljšanje talnih lastnosti in pogojev obdelave zemljišč (Tratnik, 2015) nudijo relativno dobre pogoje za kmetijstvo na porečju Vipave (PV). Na podlagi podnebnih modelov in simulacij se pričakuje, da bodo podnebne spremembe (PS) spremenile pogoje kmetijske pridelave na PV. Prišlo bo do povišanja temperature zraka, povečane potencialne evapotranspiracije in zmanjševanja količine padavin (Honzak et al., 2017). Brez prilagoditvenih ukrepov (PU) bo višja izpostavljenost povečala ranljivost kmetijstva na PS (MOP, 2016). Prvi večji PU, ki so omogočili izboljšanje pridelovalnih razmer v PV, so bili izvedeni v 80-ih letih prejšnjega stoletja (Tratnik, 2015). Ukrepi niso bili namenjeni prilagajanju ali blaženju vplivov PS. Cilj je bil izboljšati splošne pridelovalne razmere na območju in zmanjšati ranljivost kmetijstva na vetrno

in vodno erozijo, sušo, pozebo in poplave. Zavedanje o prihajajočih PS se je pričelo šele pozneje, po letu 2000 (Cvejić et al., neobjavljeno). Osuševanje, komasacije in namakalni sistemi niso bili izvedeni na celotnem območju PV, kot je bilo prvotno načrtovano (Tratnik, 2015). V vmesnem času so lokalni pridelovalci, zaradi vzpodbud razvojnih programov in tudi povsem samostojno, začeli izvajati kopico manjših, dopolnilnih PU. Cilj razsiakve je bil identificirati manjše dopolnilne PU z namenom njihove promocije, saj bi v prohodnosti na ravni porečja lahko pomembno doprinesli k povečanju odpornosti kmetijstva na PS.

2. Dobre prakse

2.1 Uporaba protitočnih mrež

Protitočne mreže v trajnih nasadih pridelek in drevesa učinkovito zaščitijo pred točo. Zmanjšajo tudi odpadanje nezrelih sadežev, nasad deloma zaščitijo pred ptiči, zmanjšajo temperaturno razliko med dnevom in nočjo, ščitijo pred poznimi pozebami in zmanjšajo udarjanje dežnih kapelj pri poletnem dežju (Klein, 2000). Njihova postavitve v začetku predstavlja visok strošek, a so koristi pozneje velike. Večina novih trajnih nasadov v Vipavski dolini že opremljenih s protitočnimi mrežami (Slika 1).

2.2 Zelena protivetrna infrastrukture

V okviru ureditvenih del v 80-ih je bila na PV v določenem obsegu vzpostavljena protivetrna zaščita. Optimalno je ohranjena le v manjšem obsegu in bi jo bilo potrebno obnoviti. Kot primer dobre prakse izpostavljamo protivetrno zaščito, ki si jo je lastnik sam postavil, da bi lahko vzgajal sadike sadnih rastlin za nadaljnjo prodajo. Za njihovo vzgojo je pomembna bližina vodnega vira za namakanje (reka Vipava), kjer pa ni bila zagotovljena protivetrna zaščita. Lastnik jo je vzpostavil sam in si tako zagotovil optimalne pogoje za svojo dejavnost (Slika 2).

2.3 Prilagojeni gojitveni sistemi

Na PV so najbolj rodovitna tla ob vodotokih, zato se pridelovalci odločajo za zasnovo trajnih nasadov prav na teh območjih. Običajno tu voda nima rušilne moči, ki bi resneje poškodovala trajni nasad. Večjo ima plavje (drevesa, veje), ki lahko poškoduje oporo rastlin ali jo poruši. Ob načrtovanju trajnih nasadov ob poplavnih vodotokih je zato pomembno vzpostaviti dovolj močno oporo rastlinam, da poplavna voda ne poškoduje opore in rastlin (Slika 3). Pri postavitvi opore vinogradov ali sadovnjakov je na PV zaradi burje treba biti pozoren tudi smer postavitve vrst, saj se bolj izpostavljene vrste nagnejo ali celo prevrnejo (Slika 4). Pri načrtovanju postavitve kovinska opora, ki je običajno šibkejša od lesene, je dobra praksa postavitve vrst v smeri prevladujoče smeri vetra.

2.4 Natančnejše tehnike namakanja

V obdobju 1990-2016 se je veliko vlagalo v nakup opreme za namakanje. Za namakanje poljščin se uporablja bobenske namakalnice ali stabilne razpršilce (Slika 4). V večini novejših sadovnjakov se uporablja kapljično namakanje, ki uporabnikom omogoča, da medvrstni prostori ostanejo suhi (Slika 5). V sadjarstvu se največ uporabljajo stabilni razpršilci, nameščeni nad krošnjami dreves – ki se je uporabljalo v času gradnje namakalnih sistemov (v obdobju 1985–2000), ko je bila glavna dejavnost pridelava hrušk in breskev – ki omogočajo tudi protislansko zaščito. Med novejša načina namakanja umeščamo mikrorazpršilce za lokalizirano namakanje. Zaradi majhnih kapljic jih kmetje uporabljajo za namakanje vrtnin, ki jim ustreza visoka zračna vlaga (npr. kapusnice) in aktinidije. Pri namakanju dreves jih namestijo pod krošnje. Ker ne močijo listja, lahko namakajo vsak dan in vzdržujejo količino vode v tleh v ozkem intervalu.

2.5 Lokalno zadrževanje vode

Alternativa velikim zadrževalnikom za zagotavljanje vode za potrebe namakanja so mali zadrževalniki, z volumnom do nekaj 1000 m³ (Slika 6). Na PV je takšnih zadrževalnikov (manj kot 10), zgradili so jih individualni uporabniki za namakanje lastnih površin, kjer v bližini ni drugih primernih virov vode za namakanje. Ena od možnosti nabire vode so tudi že obstoječe pregrade in mlinščice, ki niso več v uporabi, vendar bi bilo treba njihovo rabo uskladiti s pristojnimi institucijami.

2.6 Prilagoditev termina in postopka osnovne obdelava tla

Zgodnje jesensko oranje prispeva k hitrejši kosolidaciji tal preko zime, kar pripomore k vzpostavitvi kapilarnega toka vode do površine ter omogoča zgodnejšo spomladansko setev (Cergan et al., 2008). Vendar ta ukrep na območjih z močnejšimi zimskimi vetrovi poveča ranljivost na vetrno erozijo; na območjih z večjim naklonom pa poveča ranljivost na vodno erozijo. Za taka območja se priporoča, da se strniščnega dosevka jeseni ali zgodaj pozimi ne preorje. Pri implementaciji tega ukrepa je potrebno predvsem ozaveščanje kmetov o pomembnosti pravočasnega oranja in seznanjanje s tem, kakšne posledice na prihodnje lastnosti zemljišča ima oranje v neprimernem terminu (Slika 7).

2.7 Organska snov v tleh

Prilagajanje klimatskim spremembam zahteva prilagajanje obema skrajnostma – viškom in pomanjkanju vode. Eden od ključnih elementov, s katerim lahko odgovarjamo obema skrajnostma je organska snov, ki izboljšuje in stabilizira strukturo zemlje, tako da lahko zemlja absorbira več vode. (FAO, 2007). Pomemben je delež organske snovi v zgornjem sloju tal. Organska snov neposredno vpliva na povečanje obstojnosti strukturnih agregatov ter s tem na povečanje infiltracijske sposobnosti in zmanjšanje površinskega odtoka vode in erozije. Organska snov vpliva na izboljšanje strukture tal, kar pripomore k ugodnejšemu razmerju med makro in mikroporami, tako da taka tla lahko vpijejo in zadržijo več vode. Povečanje organske snovi lahko dosežemo z večjim vnosom organskih snovi (živinska gnojila, komposti, podorine) v tla.

2.8 Prilagoditev kolobarja in zimska ozelenitev njiv

Prilagoditev kolobarja (vrstenja rastlin) je povezana z večanjem odpornosti na burjo v zimskem in spomladanskem času. V kolobar kmetje uvrščajo kulture s katerimi njive ozelenijo tudi preko zime. Zgodno sajenje jesenskih posevkov jim omogoči, da se pred pojavom burje dobro ukoreninijo. Če kmetje ne ozelenijo tal preko zime na burji izpostavljenih legah, je smiselno z oranjem počakati vsaj do 20. februarja. K uvrščanju prezimnih in neprezimnih dosevkov v kolobar pripomore Programa razvoja podeželja Republike Slovenije za obdobje 2014–2020, ukrep kmetijsko-okoljska-podnebna plačila (KOPOP), in zavedanje o pomenu zelenega podora pri skrbi za humus v tleh.

2.9 Zatravljanje medvrstnih prostorov

Neporaščena tla, še zlasti v naklonu, so bolj ranljiva za erozijo kot poraščena. Ukrep programa KOPOP vzpodbuja k povečanju zatravljenosti medvrstnih prostorov in pripomore, da se v vinogradih in sadovnjakih uveljavlja obdelava vsakega drugega medvrstnega prostora in mulčenje (Slika 8). V sodobnih sadovnjakih se uvaja mečkanje rastlin zelene ledine, ki zmanjšuje konkurenčnost rastlin gojene ledine podobno, kot pri mulčenju, vendar je pomečkana ruša bolj ugoden prostor za koristne žuželke kot pogosto mulčena (Tojnik et al., 2015).

2.10 Gojenje kultur, prilagojenih na podnebne spremembe

Na PV potekajo poskusi gojenja rastlin, ki bolje prenašajo sušni stres, a njihova pridelava na območju še ni tržno razširjena. Na PV poteka pilotni poskus, katerega namen je preveriti

prilagojenost novih rastlin na podnebne razmere na porečju, vključno z odzivom rastlin na burjo. V poskus so vključene tako enoletne rastline (afriška kumara, sladki krompir, okra, muškatna buča, maslenka), kot tudi trajnice (dren, mandelj, aronija, žižula, goji jagode, sibirski borovnica asimina) (Krkoč Lasič, 2015).

2.11 Upoštevanje agro-klimatoloških danosti

V sklopu Agrometeorološkega portala je v Sloveniji vzpostavljena mreža agrometeoroloških postaj (Slika 9), s pomočjo katerih se izvaja monitoring, ki je podlaga za izdelavo različnih napovedi za kmete. V realnem času omogoča dostop do podatkov o temperaturi, relativni zračni vlagi, padavinah ter omočenosti lista. Pridelovalci preko njega spremljajo napovedi razvoja bolezni in pojava škodljivcev na posamezni kmetijski kulturi. Prognostična obvestila in priporočila so dostopna na spletnih straneh agrometeorološkega portala (<http://agromet.mkgp.gov.si/pp/>). Naročeni uporabnik jih prejemajo preko e-pošte. Postaja ima omejeno uporabnost zaradi lokalnega pojavljanja predvsem poletnih neviht. S povečanjem števila opazovalnih postaj bi pridobili še bolj natančne podatke, ki bi pripomogli k še bolj natančnemu varstvu rastlin, s čimer se časovno in količinsko optimizira uporaba fitofarmacevtskih sredstev ter tako zmanjša verjetnost izpiranja njihovih ostankov preko tal v vodo.

2.12 Izobraževanje in prenos znanja

Ukrep KOPOP je namenjen ohranjanju in spodbujanju nadstandardnih kmetijskih praks, ki predstavljajo višje zahteve od običajne kmetijske prakse. Ukrepe sestavlja 19 operacij, znotraj katerih so obvezne in, kjer so na voljo, tudi izbirne zahteve, ki jih morajo kmetijska gospodarstva upoštevati. V sklopu programa je predvidenih več ukrepov, ki prispevajo k prenosu znanja in k temu, da predlagani ukrepi tudi v praksi zaživijo in jih kmetje znajo implementirati v praksi. Poleg tega morajo v obdobju trajanja obveznosti vsako leto opraviti najmanj 4 urni program usposabljanja v zvezi s kmetijsko okoljsko podnebnimi vsebinami ter v prvih treh letih trajanja obveznosti najmanj enkrat uporabiti storitev svetovanja, v okviru katere se upravičencu svetuje glede pogojev in zahtev ter pravilnega izvajanja prevzetih kmetijsko okoljsko podnebnih obveznosti. K prenosu znanja naj bi doprinesla tudi regionalna delovna skupina za razvoj namakanja, ki jo minister pristojen za kmetijstvo imenoval v letu 2012.



Slika 1 Protitočne mreže v nasadu aktinidije (Tratnik M.).



Slika 2 Protivetrni pas za zaščito drevesnice (Tratnik M.).



*Slika 3 Padle opornih stebrov
vinograda ni močno poškodovalo (Stibilj
U.).*



*Slika 4 Nagnjena drevesa v krajni vrsti
sadovnjaka na območju izpostavljenemu burji
(Tratnik M.).*



*Slika 5 Namakanje poljščin z
bobenskim namakalnikom (Tratnik M.).*



*Slika 6 Trajni nasad opremljen s
kapljičnim sistemom (Tratnik M.).*



*Slika 7 Manjši zadrževalnik vode
za namakanje (Tratnik M.).*



*Slika 8 Ponovno profiliranje in Sanacija
osuševalnega jarka po burji (Stibilj U.).*



Slika 9 V vinogradih in sadovnjakih uveljavlja obdelava vsakega drugega medvrstnega prostora in mulčenje (Tratnik M.).



Slika 10 Meteorološka postaja Slap pri Vipavi v sklopu Agrometeorološkega portala (Tratnik M.).

3. Zahvala

Pripravo prispevka je delno omogočil projekt LIFE15 CCA/SI/000070 – LIFE ViVaCCAdapt.

4. Viri

CERGAN, Z., DOLNICAR, P., KNAPIC, M., POJE, T., SUSIN, J., SKERLAVAJ, V., UGRINOVIC, K., VERBIC, J., VERBIC, J., ZEMIČ, A., KAPUN, S. & HARDI, Z. 2008. Tehnološka priporočila za zmanjšanje občutljivosti kmetijske pridelave na suso : poljedelstvo, travništvo, zelenjadarstvo in hmeljarstvo, Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.

CVEJIČ, R., ZUPANC, V. & PINTAR, M. neobjavljeno. Experiences and Lessons from Large-Scale Irrigation Systems Development in Slovenia. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana.

HONZAK, L., GLAVAN, M. & PINTAR, M. 2017. Analiza podnebnih scenarijev za 21. stoletje na porečju Vipave. LIFE15 CCA/SI/000070 - LIFE ViVaCCAdapt. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana.

KLEIN, K. 2000. Vpliv protitocne mreže na kakovost plodov jablan : diplomska naloga.

KRKOČ LASIČ, S. 2015. V občini Ajdovščina nadaljujejo poskusno gojenje novih kmetijskih kultur. Available: <https://dnevnik.si/1042719576/lokalno/primorska-in-kras/v-obcini-ajdovscina-nadaljujejo-poskusno-gojenje-novih-kmetijskih-kultur->.

MOP 2016. Dolgoročni nacionalni strateški okvir za prilagajanje podnebnim spremembam z usmeritvami za ukrepe v srednjeročnem obdobju (osnutek, julij 2016). Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije, Ljubljana.

TOJNKO, S., LESNIK, M. & UNUK, T. 2015. Tehnološka navodila za izvajanje operacije Sadjarstvo : v okviru ukrepa kmetijsko-okoljska-podnebna placila za obdobje 2014-2020 [Online]. Maribor; Ljubljana: Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede : Republika Slovenija, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Available: <http://www.program-podezelja.si/sl/knjiznica/18-tehnoloska-navodila-za-izvajanje-operacije-sadjarstvo/file> [Accessed 07.03.2017].

TRATNIK, M. 2015. Optimizacija rabe in delovanja vodnega zadrževalnika in namakalnih sistemov na primeru Vogrsca : doktorska disertacija = Optimising the use and operation of water reservoir and irrigation systems in case of Vogrscek : doctoral dissertation.

HIDROELEKTRARNE NA SPODNJI SAVI – KRAJINSKE UREDITVE OD NAČRTOVANJA DO IZVEDBE

mag. Jelka Hudoklin

ACER Prostorsko načrtovanje, projektiranje in varstvo okolja, Novo mesto, d.o.o.,
Šentjernejska cesta 43, 8000 Novo mesto

POVZETEK

Z izgradnjo hidroelektrarn na spodnji Savi se pomembno spreminjajo ekološke značilnosti doline Save in podoba Posavja. Prostorsko načrtovanje posameznih hidroelektrarn je bilo izjemno kompleksno, saj so se predvidene ureditve povezovale s številnimi drugimi ureditvami. Zlasti zahtevno je bilo umeščanje HE Brežice. Glede na takratne zakonske določbe so morale biti v postopek priprave državnega prostorskega načrta vključene različne razvojne pobude s širšega območja HE, vplivno območje je bilo zelo obsežno in tu so bile uveljavljene številne naravovarstvene in druge omejitve. Potem ko so bile še pred nekaj desetletji na tem območju opredeljena različna, medsebojno izključujoča se državna izhodišča, je bilo treba sprejeti strateške odločitve o prioritetah, kar je na izvedbeni ravni načrtovanja zahtevalo številna in dolgotrajna usklajevanja številnih deležnikov. Projektiranje in prostorsko načrtovanje hidroelektrarne in drugih objektov je zahtevalo razumevanje kompleksne problematike vodnih in obvodnih ekosistemov, dinamike voda in drugih naravnih procesov, pa tudi zakonitosti urbanega razvoja, prometnih in drugih ureditev ter sobivanja energetskega objekta in poselitve. Rešitve v prostorskih aktih in projektni dokumentaciji se med izvedbo preverjajo in po potrebi korigirajo, tako da zagotavljajo visoko raven varstva narave in obenem nudijo različne možnosti za večplastno rabo vode in obvodnega prostora.

Ključne besede:

prostorsko načrtovanje, hidroelektrarne, nadomestni habitati

1. Prostorsko umeščanje hidroelektrarn

Realizacija načrtovanih energetskega objekta in spremljajočih ureditev, kot so prilagoditve prometne infrastrukture, nadomestni habitati in različne rekreacijske ureditve, z vsako novo hidroelektrarno (HE) vnaša velike spremembe v krajino in naselja ob reki Savi ter ustvarja novo prepoznavnost Posavja. Še posebej velike spremembe nastajajo na območju HE Brežice. Tu je bilo v 80-tih letih prejšnjega stoletja v prostorskih planskih aktih opredeljeno območje ene od organizacijskih nalog, ki bi jih bilo treba razrešiti v naslednjem planskem obdobju. Na tem območju so bila opredeljena kar tri obvezna republiška izhodišča, ki so se medsebojno izključevala: območje varstva kmetijskih zemljišč, območje varstva narave in območje energetske izrabe Save. Takrat namreč še niso bile jasno postavljene prioritete med temi izhodišči in do odločitve o tem, katero bo prevladalo, je prišlo šele ob pripravi državnega prostorskega načrta (DPN) za območje HE Brežice, ki je bil sprejet v letu 2012.

HE Brežice predstavlja peti člen v HE verigi na spodnji Savi. Njeno območje sega v občino Krško in Brežice in obsega 12 km dolg odsek Save od HE Krško do sotočja Save in Krke. Zaradi zahtev za zagotavljanje protipoplavne zaščite naselij na vplivnem območju in za ohranjanje vodnega režima Save na državni meji z Republiko Hrvaško so v DPN vključene

zelo obsežne površine za zadrževanje visokih voda. Območje DPN tako obsega kar 2.350 ha. Tu veljajo še številne druge okoljske omejitve. Na delu območja so opredeljena območja Natura 2000 in naravne vrednote. Na pretežnem delu območja so najboljša kmetijska zemljišča, nekaj je tudi arheoloških območij. Jezovna zgradba s strojnico HE Brežice je načrtovana v bližini starega mestnega jedra Brežice in brežiškega gradu. Vpliva tudi na območje Nuklearne elektrarne Krško. Z DPN so se poleg same pregrade HE urejali visokovodno-energetski nasipi z akumulacijskim bazenom, dostopna cesta, priključni kablovod, prehod za vodne organizme, različni nadomestni habitati ter protipoplavni nasipi okoli naselij. V prostor so bile umeščene še številne druge prostorske ureditve: splavnica, center za zaposlene in obiskovalce hidroelektrarne, premostitve Save, različne rekreacijske ureditve, kolesarske poti, zbirni center za odpadke, čistilna naprava pri Brežicah in del obvoznice Krškega. Na območjih zadrževanja visokih voda (retenzij) posebne prostorske ureditve niso načrtovane, so pa določene vse dopustne rabe prostore. S tem DPN deloma prevzema tudi vlogo občinskega prostorskega načrta.

Vsebina in postopek priprave DPN za HE Brežice nekoliko odstopata od večine drugih DPN – delno zaradi navedenih posebnosti načrtovanih ureditev in okoljskih omejitev ter nedorečenih prioritet, delno zaradi takratne zakonodaje. Ta je DPN opredelila kot prostorski akt za območje in ne kot prostorski akt za prostorsko ureditev. Zato so bile v DPN na podrobni (izvedbeni) ravni načrtovane številne državne in lokalne prostorske ureditve. Tako ta DPN na obsežnem območju rešuje zelo kompleksno prostorsko problematiko v dokaj detajlnem merilu. V njegovo pripravo so bili vključeni številni, različni ter medsebojno komajda usklajeni deležniki (pobudniki, naročniki, investitorji, projektanti oz. izdelovalci različnih strokovnih podlag, pa tudi številni nosilci urejanja prostora). Vse to je ob pripravi DPN zahtevalo dolgotrajna usklajevanja projektnih rešitev, ki so se medsebojno razlikovale glede vrste, vsebine in investitorjev. Izdelovali so jih različni in nepovezani projektanti. Žal zakonodaja v zvezi s tem ni predvidela ustreznih postopkov, predvsem pa ne nosilca tovrstnih usklajevanj. K usklajevanju rešitev je poleg izdelovalca DPN in pripravljavca (MOP) bistveno prispeval odgovorni vodja idejnega projekta HE; obseg njihovih pristojnosti in dela je bistveno presegel običajne okvire priprave DPN. Usklajenost rešitev v sprejetem DPN za HE Brežice je zato ne le rezultat zahtevnih usklajevanj, ampak tudi volje in znanja vseh sodelujočih ter njihove pripravljenosti za nadgradnjo znanj in za iskanje inovativnih rešitev. V postopku so sodelovali predstavniki ministrstev za okolje in prostor, za energijo in za infrastrukturo, koncesionarji, projektanti in strokovnjaki za različna področja varstva okolja, prostorski načrtovalci, izdelovalci okoljskih poročil in vsi uradni nosilci urejanja prostora ter lokalne skupnosti. Pri tem ni nepomembno, da smo mnogi imeli izkušnje tudi z načrtovanjem že zgrajenih hidroelektrarn na spodnji Savi.

Priprava projektne dokumentacije za HE Brežice se je začela kmalu po uveljavitvi DPN. Mnogi izmed projektantov in drugih strokovnjakov, ki smo sodelovali že v zgodnjih fazah načrtovanja verige HE na spodnji Savi, npr. pri pripravi idejnih rešitev, prostorske dokumentacije in strokovnih gradiv za presojanje vplivov na okolje, smo bili vključeni tudi v pripravo projektne dokumentacije po sprejetju DPN. Nekateri sodelujemo tudi pri nadzoru in monitoringu, kar nas postavlja pred raznovrstne izzive in prinaša številne izkušnje.

Vključenost v različne faze načrtovanja in izgradnje verige hidroelektrarn ali zgolj posameznega objekta omogoča širok pogled na problematiko, poglobljen vpogled v vzročno-posledične povezave in razumevanje prostorskih, vodarskih, naravovarstvenih in drugih vidikov načrtovanja in gradnje energetske in vodne infrastrukture. Nekatere rešitve, začrtane v zgodnjih fazah projekta, so se spremenile že v postopkih usklajevanja ob pripravi DPN, nekatere so bile preprojektirane v izvedbeni projektni dokumentaciji ali spremenjene med gradnjo glede na razmere na terenu. Na ta način so bile izvedene boljše oz. učinkovitejše rešitve, ki pa jih je bilo treba sproti projektno preverjati in usklajevati s pristojnimi soglasodajalci. V tem pogledu se je zahtevnost in hkrati pripravljenost naročnika oz. investitorja na iskanje optimalnih rešitev izkazala kot dober pristop k reševanju problemov.

Potrebna je bila velika prilagodljivost, inovativnost in iznajdljivost ter hitra odzivnost vseh vpletenih.

2. Projektiranje in izvedba krajinskih ureditev na območju HE Brežice

HE Brežice in spremljajoče ureditve so trenutno v gradnji. Zaradi obsežnosti projekta je tudi pri izdelavi projektne dokumentacije za krajinske ureditve sodelovalo več projektantov. Rešitve na desnem bregu bazena smo načrtovali v podjetju Acer Novo mesto, rešitve na levem bregu pa kolegi iz podjetja Savaprojekt Krško. V okviru krajinskih ureditev so bili načrtovani raznovrstni nadomestni habitati in rekreacijske ureditve ter zasaditve vegetacije vzdolž bazena. Projektne rešitve, vključno z usmeritvami za vzdrževanje krajinskih ureditev in preprečevanje razvoja tujerodnih invazivnih vrst, temeljijo na določilih DPN, zahtevah poročila o vplivih na okolje in na nekaterih dodatnih strokovnih podlagah. Načrt krajinske arhitekture je nastajal ob tesnem sodelovanju s projektanti gradbenih konstrukcij in drugih načrtov, z eksperti za posamezne rastlinske in živalske vrste in s pristojno službo za varstvo narave.

Vse krajinske ureditve so načrtovane ob predpostavki, da se na brežinah Save gorvodno od visokovodno-energetskih nasipov (nad jezom pri NEK), ki zaradi načrtovanih posegov ne bodo preurejene, v čim večji meri ohranja obstoječa zarast. Na preostalem območju so predvidene ureditve, ki bodo omogočile razvoj vegetacije in posameznih habitatov v kar najkrajšem času in ki bodo hkrati nudile različne možnosti za večplastno rabo vode in obvodnega prostora.

2.1 Zasaditve

Na območju visokovodno-energetskih nasipov in drugih ureditev je poleg zatratitve predvidena saditev avtohtonih vrst dreves, grmovnic, plezalk in močvirskih rastlin. Načrt zasaditve smiselno upošteva obstoječe krajinske vzorce na tem delu doline Save in vrstno sestavo vegetacijskih združb na območju urejanja. Zasaditve so načrtovane predvsem kot inicialni ukrepi, s pomočjo katerih bo zagotovljena nadaljnja razrast vegetacije z naravno sukcesijo, kolikor bo to sprejemljivo z vidika obratovanja in vzdrževanja energetskih objektov in vodne infrastrukture. V ta namen je predvidena saditev gozdarskih sadik dreves ter gozdarskih sadik grmovnic, ki se dokaj hitro in uspešno vraščajajo in zahtevajo razmeroma malo vzdrževanja.

Na zračni strani nasipov je predvidena saditev dreves in grmovnic v nesklenjenih linijah vzdolž večnamenske poti na brežini in drenažnega kanala ob vznožju nasipov, tako da se oblikujejo strnjene poteze zasaditev in sklenjena območja zatratljenih brežin. Na vodni strani nasipov so zasaditve omejene na rob krone in zgornji del kamnitih oblog, kjer se fragmentarno zasadijo linije grmovnic, vrbovih potaknjencev in plezalk, ki se bodo prevešale in sčasoma prekrile kamnite obloge. Kot dodatni ukrep za čim hitrejšo ozelenitev kamnitih oblog je predvidena setev travnega semena s primesjo semena drevnine.

Izbor predvidenih rastlinskih vrst je prilagojen rastiščem na tem območju, zato je načrtovana uporaba sadik dreves, grmovnic in plezalk, ki se pridobijo z okoliških območij oziroma iz slovenskih drevesnic, ki skrbijo za pogozdovanje. Drevnina se sadi v neformalno oblikovanih vzdolžnih skupinah. Podatki za določanje lokacij sajenja so v načrtu podani s sadilnimi vzorci, v okviru katerih so prikazani lokacije in število sadik, sadilne razdalje in način razmeščanja sadik, ki v osnovi povzema vzorce naravne zarasti.

Načrt določa podrobnejše pogoje za izvedbo zasaditev posameznih vrst in za zatratitev. Posebna pozornost je namenjena vzdrževanju krajinskih ureditev, kot so redna košnja in vzdrževanje drevnine, preverjanje zamuljenosti in globine dna v tolmunih drenažnega jarka ter višina in stabilnost posamičnih kamnitih zgradb pri brzicah, grobljah in odbijačih. Poleg tega so še posebej poudarjeni ukrepi za preprečevanje razraščanja tujerodnih invazivnih vrst rastlin. Na obravnavanem območju so predvsem zlata rozga, topinambur in japonski dresnik (Slika 1)

zelo agresivni in se izjemno hitro razraščajo ter postopno zatrejo razrast lesnatih in zelnatih avtohtonih rastlin v obvodnem prostoru, kar vodi v korenito spremembo obvodnih habitatov. Glede na zahtevnost predvidenih del in zaradi nedorečenosti nekaterih ukrepov (npr. mikroreliefno oblikovanje brežin, točne lokacije predvidenih zasaditev, morebitne zamenjave v projektu predvidenih elementov oziroma rastlinskih vrst, ureditve nadomestnih habitatov) je v načrtu predpisan projektantski nadzor in nadzor ekspertov za posamezne živalske in rastlinske vrste.

Izvajanje zasaditev sodi med zadnje faze izvedbe projekta. Treba jo je ustrezno načrtovati, saj zasaditev ni mogoče izvajati pozimi ali poleti, ob tem pa je treba pravočasno zagotoviti ogromno število sadik ustreznih vrst, velikosti in kakovosti. Nekatere (npr. močvirske rastline, vrbove potaknjence, plezalke) je treba pridobiti v okolici ureditvenega območja, lesnate rastline pa nabaviti v specializiranih drevesnicah, ki dobavljajo sadike za pogozditve. Nabavljeni sadilni material je treba primerno skladiščiti na gradbišču ali v bližini, da ga bo mogoče uporabiti po zaključenih zemeljskih in pripravljalnih delih. Tako se bo saditev dreves in grmovnic na območju HE Brežice lahko začela, ko bo zaključeno humuziranje.

2.2 Nadomestni habitat gramoznica Jevščina

Na desnem bregu bo tik ob bazenu urejena gramoznica Jevščina z okoli 5 ha vodne površine. Ob njej bodo urejene makadamske poti z razširitvami ob vodi, postavljeni bodo pomoli, opazovalnice za ptice in urbana oprema. Te ureditve bodo s številnimi naravoslovnimi in rekreacijskimi vsebinami dopolnjevale ureditve na bližnjem arheološkem območju Zasavje.

Gramoz iz izkopa je uporabljen za nasipe. Stene gramoznice imajo neenakomerne naklone, ki bodo prešli v organsko oblikovane razgibane brežine. Deli brežin z največjo možno strmino, ki jo omogoča material, bodo primerni za gnezdenje breguljk, mogoče tudi čebelarjev in vodomcev. Strme prodne stene se bodo zaradi erozije sčasoma porušile in za gnezdenje breguljk ne bodo več primerne. Zato se gramoznica v prvi fazi izvaja v manjšem obsegu, od 15 do 20 m proti notranjosti glede na končni obod. S tem bo omogočeno kasnejše ponovno odkopavanje oz. oblikovanje ustrezno strmih sten za gnezdenje ptic. Izkop in ureditev gramoznice še nista dokončana, že po enem letu od izkopa pa so na brežinah zrastle zelne rastline in v vodi vodne rastline ter loček. Ker so razmere za razrast rastlin ugodne, je treba zaraščanje spremljati in preprečevati naseljevanje tujerodnih invazivnih vrst.



Slika 1 Japonski dresnik na brežini bazena HE Krško



Slika 2 Gramoznico je že med gradnjo zalila voda, v kateri so se razrasle vodne rastline

Ko bodo zemeljska dela v gramoznici zaključena, bo na obali zgrajen pomol kot lesena ploščad s finalno površino tik nad vodno gladino. Na razširitvah makadamske poti v bližini vode sta predvideni dve večji opazovalnici za ptice v obliki lesenih panojev s tlorisno lomljeno linijo. V stenah opazovalnice bodo neenakomerno porazdeljene line za opazovanje ptic z loputami. Ob opazovalnicah in ob pomolu bodo postavljeni informacijske table, koši za smeti in klopi. Po obodu gramoznice bodo zasajena drevesa in grmovnice ter močvirske rastline kot inicialna zasaditev, ki bo sprožila naravno sukcesijo. Na južnem obrobju gramoznice bo obrežna zarast gosta, da bo predstavljala bariero na stiku z obdelovalnimi površinami.

Pred zalitjem obstoječih gramoznic na levem bregu Save je potrebna fizična premestitev vitalnih osebkov posameznih rastlinskih vrst in manj mobilnih živalskih vrst (larve kačjih pastirjev, močvirska sklednica, ribe in drobni nevretenčarji, žabe idr. dvoživke, ipd.) v gramoznico pod nadzorom biologa oz. drugega ustreznega strokovnjaka za posamezne živalske vrste.

2.3 Drenažni kanal vzdolž visokovodno-energetskega nasipa

Na desnem bregu se drenažni kanal vzdolž nasipa uredi kot življenjsko okolje za reofilne vrste rib (Slika 3). V okviru zemeljskih del je že bil izveden kanal s situacijsko in niveletno razgibanim dnom in s 25 razširitvami. Tu bodo urejene prodne brzice za prezračevanje vode, ki bodo ustrezen habitat za vodne organizme in bodo omogočale drstenje rib. Za brzicami bodo urejene lokalne poglobitve dna kanala v obliki tolmunov. V kanalu bodo tudi groblje in zložbe kamenja večjih dimenzij, ki bodo z usmerjanjem in stiskanjem vodnega toka pospeševale hitrost vode. Za zagotovitev sence in zaklonišč za ribe in druge vodne organizme je predvidena postavitev posamičnih betonskih cevi v vodi. Zgornji deli brežin drenažnega kanala bodo zasajeni z avtohtonimi vrstami dreves in grmovnic ter močvirskih rastlin v prekinjenih linijah na levem in desnem bregu.

2.4 Otoki, splavi in gnezdilne stene

Kot habitati za ptice in tudi kot počivališče za prostoživeče živali, ki prečkajo akumulacijo, so načrtovani štirje otoki v bazenu v velikosti okoli 3000 m² (Slika 4). Po zapolnitvi bazena bodo temena otokov cca 1 m nad srednjo obratovalno gladino. Na treh otokih bo deloma zasajena drevnina, četrti pa bo neporaščen, ker je namenjen gnezdenju čiger. Pod nasutjem proda in posamičnimi skalami na tem otoku je položena folija, ki bo omejila zaraščanje. Otoki so zgrajeni na ravnici ob Savi in bodo po zapolnitvi bazena dostopni le s plovili. Vzdrževanje neporaščenega otoka bo verjetno precejšen izziv, zato bo morda otok kasneje prepuščen naravni sukcesiji in drugim živalskim vrstam.



Slika 3 Drenažni kanal vzdolž nasipov, ki se ureja kot habitat za reofilne vrste rib



Slika 4 Otoki med gradnjo. En otok naj bi ostal neporaščen.

V akumulaciji bodo izven struge Save, približno 100 m od obale bazena, na kateri bo na kroni nasipa speljana večnamenska pot, nameščeni trije z gramozom in opečnim drobirjem nasuti splavi dimenzij 4 × 5 m, namenjeni gnezdenju čiger. Splavi bodo sidrani z jekleno vrvjo v betonski temelj na dnu bazena. Pri načrtovanju te rešitve je bila posebna pozornost namenjena varnosti oz. zanesljivosti pritrdjevanja splavov, da jih visoke vode in povečana hitrost toka ne bi odplavili na turbine.

Za gnezdenje vodomcev so na razširitvah nasipov in na enem od otokov v bazenu predvidene gnezdilne stene kot nasipi z izmenjujočimi se uvaljanimi plastmi melja, gline in proda (Slika 5). Višina nasipa bo okoli 2 m, dolžina 10 m, širina do 6 m. Na vodni strani bo stena strma in pri vznožju utrjena z leseno konstrukcijo. Na zračni strani bo zatravljena. Gnezdilne stene se bodo v nadaljnjih letih zaradi erozije spreminjale, zato se bodo z ustreznim vzdrževanjem vzpostavile na novo ali utrjevale z latami in koli.



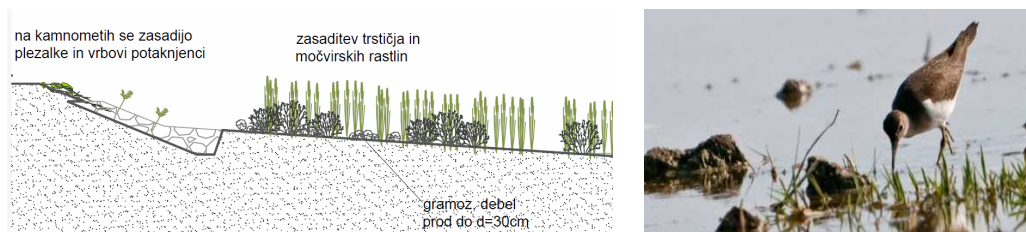
Slika 5 Gnezdilna stena za vodorce: levo projektna rešitev, desno med gradnjo

2.5 Druge ureditve za varstvo narave

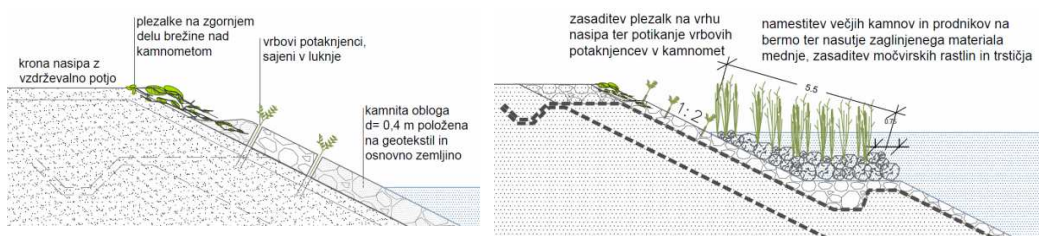
Razširitve brežin bazena oz. nasipov na vodni strani so izvedene na šestih potezah v dolžini približno 250 m in v širini cca 10 m. Na ta način je oblikovana razgibana linija brežin bazena in omogočena ozelenitev zgornjih delov brežin z avtohtono vegetacijo. Poleg tega so na dolvodni strani posameznih razširitev, kjer je moč vodnega toka malo manjša, ugodne razmere za ureditev skrivališč za ribe v krošnjah posekanih vrb, nameščenih na kamnitih oblogah tik pod vodno gladino.

Predvidena je ozelenitev kamnitih oblog. Poleg zasaditve drevnine na zračni strani nasipov so na vodni strani na zgornjem delu kamnitih oblog predvideni inicialni ukrepi, ki bodo omogočili nadaljnji razvoj ozelenjevanja brežin (setev trave, potikanje vrbovih potaknjencev, saditev plezalk ter grmovnic (joint planting)). Pred tem se napolni bazen, saj je treba zagotoviti ustrezno omočenost kamnitih oblog.

Na nekaj odsekih brežin bazena so kot habitat za gnezdenje malega martinca predvidene plitvine s trstišči v bazenu. Plitvine bodo nastale z nasutjem plasti debelega proda in kamnja večjih dimenzij in z zasaditvijo trstičja in drugih močvirskih rastlin ter hidrofilnih grmovnic. Za ureditev plitvin s trstišči v globoki vodi je treba preprečiti odplavljanje rastlin in substrata, zato, se ponekod na bermah namesti kamenje in tonjače. Tudi pri teh ureditvah je zelo pomembna časovna dinamika izvajanja, saj je treba zagotoviti ustrezne rastne razmere, predvsem pa ustrezno omočenost tal.



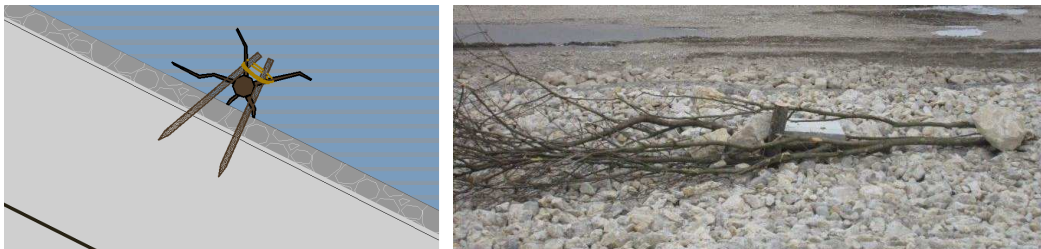
Slika 6 Plitvine s trstišči v bazenu za malega martinca



Slika 7 Plitvine s trstišči v globoki vodi bodo prispevale k večji pestrosti obrežnega pasu bazena

Na zahtevo strokovnjakov za ribe so za zagotavljanje večje pestrosti razmer za vodni živelj na kotih pod vodno gladino načrtovana tudi skrivališča za ribe z namestitvijo drevesnih debel (vrb)

z nekaj ohranjenimi vejami. Na videz enostaven ukrep je pri izvedbi zahteval veliko inovativnosti, saj se je izkazalo, da prvotno predvideno pritrjevanjem debel s koli, zabitimi v kamnito oblogo, komajda izvedljivo in da je bila potrebna dodatna obtežitev s skalami oz. betonskimi bloki.



Slika 8 Tik pod predvideno vodno gladino so nameščena razvejana debela vrba, ki bodo služila kot skrivališča za ribe (foto: Jani Štusej)

Na desnem bregu Save so bogata rastišča številnih vrst kukavičevk (orhidej), kar daje temu območju izjemno naravovarstveno vrednost. S posegi se jim ni bilo mogoče izogniti, zato so bile v načrtu predvidene rešitve za prenos zgornjega sloja tal s travno rušo in podzemnimi deli teh rastlin z območja trajne zasedbe na levi breg bazena, kjer je načrtovana ureditev nadomestnega habitata suhih travnikov. Z odvzemom travne ruše s korenikami kukavičevk sta bila že v začetnih fazah izvajanja zemeljskih del pridobljena sadilni material in substrat za ureditev tega habitata. Na lokacijah, ko jih je določil biolog, je bila zgornja plast tal odrezana v debelini 10 – 15 cm v posameznih zaplatah v skupnem obsegu cca 500 m²; te so bile prepeljane na levi breg bazena, kjer so bile položene na vnaprej pripravljena tla na območju suhih travnikov.



Slika 9 Suhi travniki na desnem bregu Save so bogata rastišča številnih vrst kukavičevk (orhidej).

Pred začetkom zemeljskih del so bila posekana številna drevesa v obvodnem prostoru Save. Mnoga odrasla drevesa so bila prestavljena v ekocelice – kupe posekanih dreves na gozdnih območjih na levem bregu bazena. Zaradi izgube starih dreves in dupel je bilo za ohranjanje ugodnih razmer za netopirje na drevesa v ohranjenih gozdovih v bližini načrtovanih posegov nameščenih še 39 netopirnic.

2.6 Ureditve dostopov do vode in ureditve za rekreacijo

Na obeh bregovih bazena so urejeni dostopi do vode, namenjeni za zaščito in reševanje, namakanje kmetijskih površin, zajem požarne vode, rekreacijo in ribolov. Urejeni so v okviru utrjenih razširitev krone nasipa, do katerih se na zračni uredijo dovozne rampe, na vodni strani pa klančine za splavljanje plovil in za intervencijski dostop do vode z betonskimi stopnicami in podestom za dostop gasilcev.

Ureditve arheološkega območja Zasavje, lokacije nekdanje vasi, ki so jo pred cca 150 leti uničile visoke vode Save, so namenjene obeležitvi te lokacije in ureditvam za posedanje, druženje in opazovanje narave. Predvidena je ureditev pešpota, ki se navezuje na poti iz smeri Brežic in Krške vasi in po brežini nasipa vodi do razširjene krone. Tu se postavijo klopi in informacijska

tabla ter razgledišče kot lesena konstrukcija s ploščadjo na višini 2 m od tal. Tik nad vodno gladino v bazenu bo postavljena lesena ploščad, na katero se bo dostopalo po nekaj stopnicah neposredno s krone nasipa. Služila bo kot počivališče in razgledišče nad vodo, obenem pa tudi kot privez za čolne. Ob ploščadi bo na vodni strani izvedena široka poteza betonskih stopnic za posedanje. Na njih bodo nameščeni leseni škatlasti elementi za sedenje.

3. Zaključek

Krajinske ureditve na območju HE Brežice so načrtovane na podlagi zahtevnih in zelo kompleksnih določil predhodne prostorske, projektne in okoljske dokumentacije, sledijo pa tudi izkušnjam z načrtovanjem in izvedbo gorvodnih hidroelektrarn. Tako kot je v vseh fazah priprave dokumentacije potekalo usklajevanje v široki delovni skupini projektantov različnih strok in z drugimi deležniki, tudi med gradnjo poteka aktivno spremljanje izvedbe posameznih ureditev na terenu. Do dokončanja gradnje HE Brežice bo treba izvesti še velik del načrtovanih krajinskih ureditev, ki so usmerjene predvsem v čim hitrejšo ozelenitev visokovodno-energetskih nasipov bazena in v zelen razvoj nadomestnih habitatov. Uspešnost izvedbe bo vsekakor odvisna od kakovosti rešitev, izvedenih del in uporabljenih materialov. Vendar pa je treba posebej izpostaviti pomen kakovostnega in rednega vzdrževanja vseh krajinskih ureditev. V tem pogledu se velja ozreti na dobro prakso s prenosom in nadgrajevanjem znanj in izkušenj v široki delovni skupini projektantov in drugih strokovnjakov ter tudi v fazo vzdrževanja vnesti znanje, izkušnje in dobro prakso iz drugih tovrstnih ali podobnih objektov. Samo na ta način bo dolgoletno in zahtevno delo od začetnih faz prostorskega načrtovanja in projektiranja do faze izvedbe, pripeljalo do zelenega rezultata – verige hidroelektrarn na spodnji Savi z zgledno urejenimi energetskimi, vodnimi in spremljajočimi objekti, na katere bo Posavje lahko ponosno in ki bi si jih želeli in si jih zaslužimo vsi sodelujoči pri tem projektu.

4. Viri

[1] HE Brežice – infrastrukturne ureditve. Načrt krajinske arhitekture, PZI. Št. proj.: IBBR-A201/010A, št. načrta: ARBRB—7K/01, november 2014

[2] HE Brežice – infrastrukturne ureditve. 2. prioriteta. Načrt krajinske arhitekture (nadomestni habitat), PZI. Št. proj.: IBBR-A201/010A, št. načrta: SPBRB—7K/21, oktober 2015

[3] Fotografije: posnete na terenskih ogledih ob izdelavi projektne dokumentacije (Acer Novo mesto, 2014) in pri zunanji kontroli kakovosti pri gradnji HE Brežice (področje krajinske arhitekture, Acer Novo mesto, oktober-december 2016)

ANALIZA NAČRTOVANJA MALIH HIDROELEKTRARN NA GORENJSKEM V OBDOBJU 2006-2016 Z VIDIKA VARSTVA NARAVE

Metod Rogelj, univ. dipl. biol.

Zavod RS za varstvo narave, Območna enota Kranj, PC Planina 3, 4000 Kranj

POVZETEK

Prispevek analizira pobude za gradnjo malih hidroelektrarn na Gorenjskem, ki so bile v zadnjih enajstih letih obravnavane s strani Zavoda RS za varstvo narave (Zavod). Predstavi tri vrste formalnih postopkov, v katerih Zavod obravnava umeščanje elektrarn na vodotoke. V vsakem od njih obravnava različne vsebine: spremembo namembnosti zemljišča, rabo vode in gradnjo objektov. Poleg sodelovanja v formalnih postopkih Zavod na željo vlagatelja napiše tudi predhodno mnenje. Kljub temu, da na gorenjskih vodotokih že deluje mnogo elektrarn, število obravnavanih vlog kaže precejšnje zanimanje za gradnjo novih in obnovo oziroma nadgradnjo že obstoječih, tako na velikih kot na malih vodotokih. Skoraj sedemdeset odstotkov obravnavanih vlog je bilo z vidika varstva narave sprejemljivih. V prispevku so naštetih razlogi za negativno opredelitev do umestitve novih malih HE. V prispevku so predstavljeni tudi predlogi za pospešitev odločanja in razbremenitev javnih služb ter vlagateljev, saj so postopki kompleksni in zato dolgotrajni.

Ključne besede:

male hidroelektrarne, varstvo narave, naravovarstveno soglasje, vodno dovoljenje

1. Uvod

Obilje vodotokov in veliki strmci omogočajo gradnjo vodosilnih naprav na Gorenjskem; v preteklosti žag in mlinov, danes elektrarn. Na najugodnejših lokacijah elektrarne že stojijo. Ostajajo pa še manj ugodne lokacije in takšne, na katerih se iz določenih omejitvenih razlogov elektrarne doslej niso smele graditi. Po precej stihijemskem obdobju graditve elektrarn v drugi polovici prejšnjega stoletja je bil v zadnjih dvajsetih letih postavljen sistem dovoljevanja gradenj, ki je z vidika varstva voda in varstva narave učinkovitejši. Privlagatelj se pojavlja nejevolja, saj elektrarn ni več mogoče graditi "prosto". Vendar pa tudi obstoječi sistem ni brez slabosti, na kar je opozorjeno v nadaljevanju prispevka. Predstavljene bodo naravovarstvene aktivnosti v zadnjih enajstih letih in predlagane nekatere rešitve.

2. Postopki za dovoljevanje rabe vode in gradnjo malih HE

Na Gorenjskem male HE zasedajo vse tipe vodotokov, od manjših hudourniških potokov do večjih rek. V osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja so bile grajene kot novi objekti na nedotaknjenih delih vodotokov ali kot nadomestilo drugih vodosilnih naprav (mlinov, žag) na obstoječih vodnih zajetjih in pregradah. Največje koncentracije malih HE so na potokih z velikim padcem v Karavankah in Kamniško-Savinjskih Alpah ter vzdolž

Kamniške Bistrice in Tržiške Bistrice. Več jih je tudi na pritokih Save Bohinjske (npr. Bohinjska Bistrica) in Save Dolinke (npr. Radovna) v Julijskih Alpah. Prve male HE so bile zgrajene brez pridobitve predhodnih usmeritev in pogojev za gradnjo, zadoščala je priglasitev del. Kasneje je bilo treba pridobiti lokacijsko dovoljenje in gradbeno dovoljenje. Za vse že zgrajene male HE je bilo potrebno pridobiti pravico za rabo vode oziroma vodno dovoljenje.

Služba varstva narave na Gorenjskem v osemdesetih letih prejšnjega stoletja še ni delovala. Večina vodotokov je status naravne dediščine oziroma naravnih vrednot pridobila kasneje. Ker mehanizmi usmerjanja in varovanja narave še niso bili razviti, so bile nekatere elektrarne zgrajene tudi na najvrednejših delih narave, ali pa na manj primerne načine, s čimer so bili nekateri odseki vodotokov tudi uničeni ali poškodovani.

Z razvojem sistema varstva narave, sprva na podlagi Zakona o naravni in kulturni dediščini (ZVNKD, 1981) in kasneje na podlagi Zakona o ohranjanju narave (ZON, 1999), se je pričelo tudi bolj načrtovano umeščanje malih HE. Zakon o naravni in kulturni dediščini je regionalne Zavode za varstvo naravne in kulturne dediščine vključil v postopek pridobitve lokacijskega in gradbenega dovoljenja preko prostorskega planiranja, in sicer s soglasji. ZON pa je področje varstva narave preko naravovarstvenih smernic še dodatno vključil v prostorsko načrtovanje in v postopke dovoljevanje rabe vode.

Danes je za umestitev male HE v prostor treba izpeljati tri vrste formalnih postopkov, ki pa (časovno) niso soodvisni.

- 1) V fazi prostorskega načrtovanja Zavod RS za varstvo narave sodeluje pri pripravi občinskega prostorskega načrta (OPN). Zavod na podlagi 97. člena ZON za posamezen OPN ali njegovo spremembo pripravi naravovarstvene smernice, ki se upoštevajo pri pripravi OPN. Z naravovarstvenim mnenjem Zavod potrdi upoštevanje usmeritev iz naravovarstvenih smernic. V OPN se določa namembnost zemljišča in opredelijo okvirni pogoji za gradnjo. Za male HE pa je treba namembnost zemljišča, na katerem bo stala strojnica hidroelektrarne, spremeniti, in sicer v območje stavbnih zemljišč s podrobno namensko rabo: "območje energetske infrastrukture".
- 2) Za rabo vode je treba po Zakonu o vodah (ZV, 2002) pridobiti vodno dovoljenje oziroma koncesijo. V okviru pridobitve vodnega dovoljenja Zavod na podlagi 44. člena ZON pripravi varstvene in razvojne usmeritve ter varstvene režime za ohranjanje naravnih vrednot. Le-ti so del pogojev za posebno rabo vode in so sestavni del vodnega dovoljenja. Hkrati s pripravo usmeritev in režimov za rabo vode se Zavod opredeli do količine ekološko sprejemljivega pretoka (Qes), ki mora ostati v strugi za ohranitev ugodnega ekološkega stanja vodotoka. Podlaga za opredelitev je v 9. členu Uredbe o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka (2009).
- 3) ZON nalaga vlagatelju pridobitev naravovarstvenih pogojev in naravovarstvenega soglasja za gradnjo male HE na območju z naravovarstvenim statusom. To je običajno dvostopenjski postopek, ki temelji na Zakonu o graditvi objektov (ZGO, 2004) ter 105. členu ZON. Za območja Natura 2000 in zavarovana območja narave se v okviru postopka izvede tudi presoja sprejemljivosti posega na varovana območja. Naravovarstveno soglasje se izda za izvedbo gradnje male HE in pripravljalnih ter vzporednih del (dostopi, trafo-postaje ipd) potem, ko so v projektno gradbeni dokumentaciji upoštevani predhodno predpisani naravovarstveni pogoji.

V postopkih za pridobitev vodnega dovoljenja in naravovarstvenega soglasja Zavod sodeluje posredno, preko Agencije za okolje (ARSO), ki je nosilec postopka.

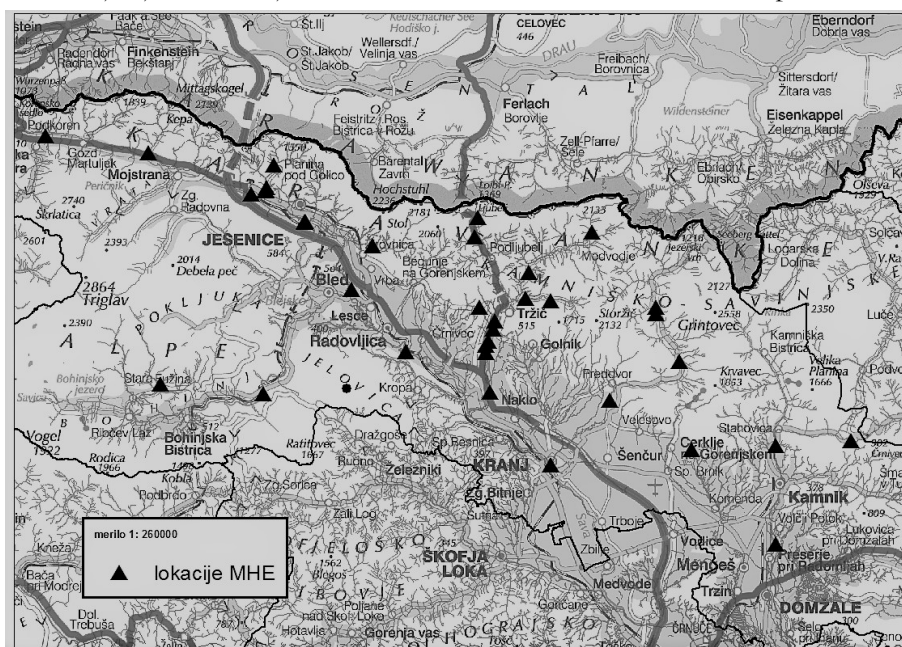
Vlagatelji v posameznih primerih zaprosijo Zavod za predhodno mnenje še pred začetkom kateregakoli postopka. Na ta način se primernost umestitve male HE preveri naenkrat glede na vse dele gradnje elektrarne, ki lahko vplivajo na naravo. Možni vplivi na naravo so: dolgoročen odvzem vode, gradnja zajetja, cevovoda in strojnice, ter spremljajoča ureditev.

3. Analiza obravnave malih HE na Gorenjskem v okviru izdaje vodnega dovoljenja in naravovarstvenega soglasja

Meja med malimi in velikimi hidroelektrarnami v Sloveniji ni jasna. Zato sem v analizo vključil vse vloge za elektrarne pod 2MW moči, kar je meja za izvedbo presoje vplivov na okolje po Uredbi o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje (2014).

Kot območje obravnave sem izbral območje, ki ga pokriva Območna enota Kranj Zavoda RS za varstvo narave.

Skupno smo v enajstletnem obdobju izdali 87 mnenj za pridobitev vodnega dovoljenja in naravovarstvenega soglasja. Ker je bila posamezna lokacija lahko obravnavana v obeh postopkih, to ne pomeni, da smo obravnavali 87 različnih lokacij za male HE. Če ne upoštevamo večkratnih obravnav posameznih lokacij, smo za različne vlagatelje v navedenem obdobju obravnavali 37 lokacij malih HE (slika 01). Največ (16) pobud je bilo na pritokih večjih vodotokov (npr. Radovna, Jesenica, Lomščica, Pišnica, Završnica). Med večjimi vodotoki je bil pritisk največji na Tržiško Bistrico (7), Savo Dolinko (6) in Kokro (5). Najmanj pobud je bilo na Kamniški Bistrici (2) in Savi med sotočjem Save Dolinke in Save Bohinjke (1). Sava Bohinjka je edina večja reka, na kateri nismo obravnavali nobene pobude.



Slika 01 Lokacije obravnavanih malih HE na pregledni karti severozahodnega dela Slovenije.

Večina pobud (32) je na območju s statusom naravne vrednote, sedem jih je na območju Natura 2000 in tri na zavarovanem območju narave. Čeprav je Zavod vključen v postopke le za posege, ki so na območjih z naravovarstvenim statusom, smo v predhodnih mnenjih obravnavali tudi štiri pobude na vodotokih brez naravovarstvenega statusa. Nekatere pobude so na območjih, ki imajo več naravovarstvenih statusov.

Petindvajset malih HE je bilo načrtovanih kot derivacijski tip elektrarne z naslednjimi deli: talno zajetje s peskolovom, cevovod, strojnica in izpust vode v vodotok. Osem jih je bilo načrtovanih kot akumulacijski tip: pregrada oziroma jez akumulira vodo in jo vodi na strojnico, ki je neposredno pod pregrado. Vse akumulacijske elektrarne so bile locirane na že obstoječe jezove oziroma prodne pregrade. Ena prečrpalna elektrarna se je načrtovala kot rekonstrukcija sedanje derivacijske, ena pa se je načrtovala kot plavajoči tip elektrarne. V enem primeru je šlo za kombinacijo akumulacijske in derivacijske elektrarne.

Na povsem novih odsekih in lokacijah vodotokov je bilo predvidenih 22 elektrarn. Pri 15 je šlo za povečavo obstoječe.

Za 28 pobud (68%) je bilo izdano pozitivno mnenje s pogoji, za 9 pobud (32%) pa negativno mnenje. Za vse pobude na vodotokih brez naravovarstvenega statusa je bilo izdano pozitivno mnenje, čeprav je bila v enem primeru gradnja elektrarne zaradi nestabilnosti terena - in s tem velikega vpliva na vodotok - odsvetovana. Ključni razlogi za izdajo negativnega mnenja so bili:

- Uničen ali močno spremenjen bi bil morfološko povsem naraven del vodotoka z izrazito izraženimi morfološkimi lastnostmi, zaradi katere ima vodotok status geomorfološke naravne vrednote: s skalami in balvani razgibana struga, ozka soteska vodotoka, ipd.
- Uničen ali močno spremenjen bi bil hidrološko povsem naraven del vodotoka z izrazito izraženimi hidrološkimi lastnostmi, zaradi katerih ima vodotok status hidrološke naravne vrednote: tolmun, brzice, draslje, skočniki, slapovi in velika pestrost hidroloških lastnosti na krajšem odseku vodotoka.
- Zaradi odvzema vode na daljši razdalji vodotoka bi bile ogrožene kvalifikacijske živalske vrste in habitatni tipi območja Natura 2000.
- Kumulativni vpliv elektrarne bi poslabšal ugodno stanje populacije varovanih živalskih vrst (npr. prekinitev migracijskih poti populacije sulca, ki ima že sedaj poslabšane življenjske razmere).
- Gradnja elektrarne ni skladna z varstvenim režimom in cilji ohranjanja zavarovanega območja.

4. Specifike postopkov in predlogi izboljšav

Gradnja male hidroelektrarne je z vidika varstva narave sprejemljiva, če:

- se s z gradnjo in delovanjem ne slabša lastnosti naravne vrednote, zaradi katerih ima vodotok ta status,
- se z gradnjo ne slabša stanje ohranjenosti kvalifikacijskih rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov na varovanih območjih,
- je gradnja skladna z odlokom o zavarovanju oziroma upošteva cilje ter varstvene režime zavarovanega območja,
- se bistveno ne poslabšuje stanja ohranjenosti redkih in ogroženih ter zavarovanih rastlinskih in živalskih vrst ter varovanih habitatnih tipov.

Našteti pogoji veljajo za odsek vodotoka, na katerega bo elektrarne neposredno vplivala (odsek o zajetja do izpusta iz strojnice). Veljajo pa tudi za posredne vplive nad od zajetjem in pod izpustom iz strojnice. Obenem se upošteva tudi kumulativni vpliv skupaj z že zgrajenimi elektrarnami in drugimi objekti na celotnem vodotoku.

Za celovito obravnavo naravovarstvene sprejemljivosti male HE potrebujemo podatke o količini odvzete vode, lokacijah zajetja in izpusta vode iz strojnice, tipu elektrarne (akumulacijska, derivacijska), trasi cevovoda, lokaciji strojnice, lokaciji izpusta ter spremljajočih posegih (dostopi oz. dovozi do objektov, transformatorska postaja, električni priključek, ribja steza). Razumljivo je, da vlagatelj na začetku načrtovanja še ne more predložiti detajlnih rešitev, vendar pa so za osnovno naravovarstveno presojo dovolj že osnovni zgoraj naštetih podatki. Vsak od treh formalnih postopkov obravnava specifično vsebino umeščanja elektrarne v prostor, zato nosilec postopka (npr. ARSO, občina) od vlagatelja ne more zahtevati podatkov, ki niso relevantni za postopek.

Pri obravnavi občinskega prostorskega načrta so idejne zasnove za gradnjo MHE še na zelo splošnem, nedodelanem nivoju. V mnogih primerih obravnavamo le lokacijo strojnice, ni pa še na voljo niti podatkov o trasi in dolžini cevovoda, lokaciji zajetja, količini odvzete vode ipd. Zato se o ideji še ni mogoče celovito opredeliti.

Podoben problem se pojavlja pri obravnavi vloge za pridobitev varstvenih in razvojnih usmeritev po 44. členu ZON ter opredelitev do količine ekološko sprejemljivega pretoka (Qes), kjer se obravnava le načrtovane količine odvzete vode in vpliv na ekosistem. Po končanem postopku vlagatelj pridobi vodno dovoljenje in z njimi določene obveznosti, še vedno pa ne razpolaga s celovito informacijo o sprejemljivosti elektrarne. Zato obstaja možnost, da naravovarstvenega soglasja ali gradbenega dovoljenja zaradi drugih predpisov ne bo dobil.

Najbolj celovit vpogled v načrtovano gradnjo male HE dobimo z vlogo za izdajo naravovarstvenih pogojev. V njej je običajno vključena celotna idejna zasnova s podatki o zajetju, cevovodu, strojnici in izpustu ter spremljajočih posegih, nemalokrat tudi o odvzeti količini vode, čeprav slednji podatek za postopek ni pomemben.

Glede na to, da časovno zaporedje postopkov ni določeno, dokončno informacijo o sprejemljivosti gradnje z vidika varstva narave dobi vlagatelj šele ob zaključku zadnjega od postopkov. Za vlagatelja in Zavod (ter druge institucije, ki sodelujejo v postopkih), je to slabo; vlagatelju povečuje tveganje izgube vloženih sredstev v načrtovanje in postopke, Zavod pa mora pripraviti več mnenj, kot bi bilo potrebno.

Predvsem v okviru izdaje predhodnega mnenja skušamo z namenom usmerjanja vlagatelja že pri prvi obravnavi celovito obravnavati malo HE. Da bi usmerjali vlagatelja, skušamo že pri prvi obravnavi malo HE obravnavati celovito, predvsem z izdajo predhodnega mnenja, v katerem opozorimo na pomanjkljivosti načrtovanja, morebitne prepovedi in omejitve, ki bodo aktualne ob obravnavi v naslednjih postopkih in se z vlagateljem usklajujemo o možnih rešitvah.

Teoretično torej vsako novo lokacijo male HE obravnavamo tudi do trikrat. Mnogokrat vlagatelji končajo s postopki že po prvem mnenju. V usklajevanjih z vlagatelji ali zaradi pogojev drugih mnenj- oziroma soglasodajalcev se mnogokrat spremenijo lastnosti elektrarne in gradbene ter tehnične rešitve. S tem se število obravnav in napisanih mnenj lahko še precej poveča. V nekem primeru smo na pobudo istega vlagatelja v desetletnem obdobju napisali 12 mnenj za eno lokacijo male HE.

Ključni problem obravnave pobud za gradnjo malih HE je torej razdrobljenost postopkov. Z namenom racionalizacije in pospešitve postopkov predlagam:

- Združitev vsebin postopkov izdaje naravovarstvenega soglasja in vodnega dovoljenja. Trenutno je nosilec postopkov Agencija RS za okolje, oziroma dva sektorja v njeni sestavi, zato bi bila združitev postopka organizacijsko enostavna. Zakonsko podlago je mogoče zagotoviti v okviru nastajajočih sprememb gradbene in prostorske zakonodaje.
- Usmerjanje vlagateljev v pridobivanje predhodnih mnenj. Preden vlagatelj vloži vlogo za katerega od treh formalnih postopkov, je dobro, da s strani Zavoda pridobi »neformalno« predhodno mnenje o naravovarstveni sprejemljivosti elektrarne.
- Navajanje priporočil in usmeritev mnenjedajalcev. V mnenju za rabo vode, ki ga po 44. členu ZON napiše Zavod, so običajno tudi priporočila in usmeritve za načrtovanje elektrarne, torej za vsebine, ki niso obravnavane v tem postopku, ampak bodo obravnavane v okviru izdaje naravovarstvenega soglasja. ARSO v odločbo povzame le tiste vsebine Zavodovega mnenja, ki zadevajo rabo vode. Za stranko je koristno, da

je obveščena tudi o ostalih vsebinah mnenja, zato bi ARSO naša priporočila in usmeritve lahko vključil v obrazložitev odločbe, ali pa odločbi priložil mnenje Zavoda.

- Skupno obravnavo vloge vseh mnenjedajalcev. Skupna obravnavo vloge s strani vseh mnenjedajalcev poveča celovitost obravnave in pospeši postopek. Predvsem to velja za primere, ko so pogoji mnenje dajalcev nasprotujoči, oziroma je postopek še v fazi, ko so mogoča usklajevanja in iskanja kompromisov oziroma drugačnih rešitev. Na obravnavi se dogovori o pogojih rabe oziroma gradnje in opredeli do nadaljevanja postopka.

5. Zaključki

Kljub številnim elektrarnam, ki na Gorenjskem že obratujejo, je zanimanje za gradnjo novih še vedno prisotno, tako na manjših kot na večjih vodotokih. V zadnjih enajstih letih sta bili vsako leto obravnavani po dve novi elektrarni. Večinoma se načrtuje derivacijski tip elektrarne. Preko dve tretjini vlog za nove elektrarne oziroma povečave ali rekonstrukcije je z vidika varstva narave sprejemljivih. Postopki dovoljevanja gradnje malih HE so razdrobljeni, presoje o njihovi sprejemljivosti niso celovite. S tem se negotovost vlagatelja ohranja skozi celoten proces načrtovanja. Razdrobljenost postopkov tudi po nepotrebnem obremenjuje službe, ki v njih sodelujejo. Sedanje postopke je mogoče poenostaviti in racionalizirati, za kar bi bilo treba spremeniti zakonodajo.

6. Viri

[1] Arhiv Zavoda RS za varstvo narave, Območna enota Kranj

[2] Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdrI-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14 in 56/15)

[3] Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje (Uradni list RS, št. 51/14 in 57/15)

[4] Zakon o naravni in kulturni dediščini (Uradni list SRS, št. 1/81, 42/86, Uradni list RS, št. 26/92, 75/94 – ZUJIPK,

[5] Zakon o ohranjanju narave (Uradni list RS, št. 96/04 – uradno prečiščeno besedilo, 61/06 – ZDru-1, 8/10 – ZSKZ-B in 46/14)

[6] Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka (Uradni list RS, št. 97/09)

[7] Zakon o graditvi objektov (Uradni list RS, št. 102/04 – uradno prečiščeno besedilo, 14/05 – popr., 92/05 – ZJC-B, 93/05 – ZVMS, 111/05 – odl. US, 126/07, 108/09, 61/10 – ZRud-1, 20/11 – odl. US, 57/12, 101/13 – ZDavNepr, 110/13 in 19/15)

OMEJEVANJE POJAVA ANTIBIOTIČNE REZISTENCE V VODNEM OKOLJU Z UPORABO NAPREDNIH OKSIDACIJSKIH TEHNIK

mag. Igor Boševski, univ. dipl. inž. kem. inž., doc. dr. Gabriela Kalčíkova, izr. prof. dr.
Andreja Žgajnar Gotvajn, univ. dipl. inž. kem. inž.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Večna pot 113, SI-1000
Ljubljana, Slovenija

POVZETEK

Uporaba antibiotikov v sodobni družbi je pomemben vir onesnaženja okolja, še posebej v primeru okoljsko obstojnih molekul. Nizke koncentracije antibiotičnih molekul v okolju spodbujajo razvoj na antibiotike odpornih bakterij. Namen študije je ovrednotiti dve oksidacijski tehniki za zmanjšanje strupenosti odpadne vode, ki vsebuje biološko težko razgradljivo, obstojno antibiotično učinkovino. Uporabili smo veterinarski antibiotik tiamulin, modelno raztopino smo obdelovali z ozonom in Fentonovim reagentom, ter ob tem spremljali učinkovitost odstranjevanja s TOC (koncentracija skupnega organskega ogljika) in KPK (kemijska potreba po kisiku), predvsem pa nas je zanimalo zmanjšanje strupenosti na mikroorganizme aktivnega blata. Rezultati kažejo, da za pomembno zmanjšanje strupenosti na aktivno blato zadostuje že ozoniranje v saržnem načinu, s precej manjšo dozo oksidanta, kot je sicer v rabi pri običajni Fentonovi oksidaciji.

Ključne besede:

Antibiotična rezistenca, antibiotik, čiščenje odpadne vode, ozoniranje, oksidacija

1. Uvod

Uporaba antibiotikov v sodobni družbi je pomemben vir onesnaženja okolja, še posebej v primeru okoljsko obstojnih molekul. Ker so koncentracije nekaterih najpogostejše uporabljenih antibiotikov v evropskih rekah zelo nizke (10 ng L^{-1}), ne pride do pojavov akutne strupenosti pač pa je z emisijo teh snovi v okolje povezan predvsem pojav bakterijske rezistence (Boxall, 2003) (Jensen, 2003) (Halling-Sorensen, 2000) (Johnson, 2015). Raziskave na primeru oksitertaciklina in ciprofloksacina tako kažejo, da prisotnost teh dveh antibiotikov v vodnem okolju neposredno vodi do pojava visokega deleža na antibiotike odpornih bakterij (Daojin, 2009). V blatu biološke čistilne naprave se prav tako pojavljajo na antibiotike odporne bakterije MRSA (methicilin-resistant *Staphylococcus aureus*), predvsem v prvih stopnjah biološkega čiščenja (Börjesson, 2009). Za razliko od kemijskih polutantov, katerih koncentracija se v okolju postopoma zmanjšuje zaradi (bio)razgradnje ali razredčenja, so bakterije (in s tem njihovi na antibiotike odporni geni) v okolju lahko veliko bolj obstojne oz. se v okolju celo širijo. Na antibiotike odporni geni se lahko v gostiteljskih bakterijskih celicah multiplicirajo, prenašajo na druge bakterijske populacije in postanejo del širše evolucije. Iz tega razloga, je razširjanje antibiotične rezistence v okolju resno tveganje za zdravje ljudi (Berendonk, 2015). V okviru raziskave smo preiskali učinkovitost odstranjevanja veterinarskega antibiotika tiamulina s Fentonovim reagentom (raztopino vodikovega peroksida kot oksidantom in Fe^{2+} ionov kot

katalizatorjem) in ozonom v saržnem procesu čiščenja. Želimo razviti tehnologijo, ki bo predvsem zmanjšala okoljski vpliv (antibiotično delovanje) molekule, ni pa potrebno, da molekulo v celoti odstrani, mineralizira. Molekula naj bi po oksidativni obdelavi izgubila strupenost na aktivno blato in s tem postala bolj biorazgradljiva v konvencionalnem, aerobnem biološkem sistemu čiščenja odpadne vode.

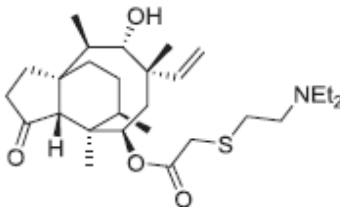
2. Metode dela

Strupenost tiamulina na aktivno blato smo določali po metodi ISO 8192, 2007, biorazgradljivost pa po metodi ISO 9408, 1991. Razgradnjo tiamulina v obeh izbranih oksidacijskih procesih smo spremljali posredno z merjenjem KPK (ISO 6060, 1989) in TOC (ISO 8245, 1999). S tem smo potrdili mineralizacijo vzorca, nismo pa spremljali dejanskih koncentracij tiamulina, niti nismo identificirali morebitnih nastalih intermediatov. Kot dodatni vpogled v stopnjo oksidacije modelne molekule v raztopini smo iz parametrov KPK in TOC izračunavali povprečno oksidacijsko stanje ogljika po naslednji enačbi (Stumm, 1981):

$$\text{oksidacijsko stanje} = \frac{4 (TOC - KPK)}{TOC}$$

TOC je izražen v mol C L⁻¹ ter KPK v mol O₂ L⁻¹. Oksidacijsko stanje izrazimo s številom brez enote. Koncentracijo ozona v poskusih ozonacije smo orientacijsko določili na kolorimetrični način z hitrim testom (118755, Merck Ozone Test).

Za ozonacijo smo uporabili generator ozona proizvajalca Xylem Water Solutions Herford GmbH, tip OCS Modular 8 HC. Delovni tlak je bil 0,5 bar, pretok plina 0,08 m³ h⁻¹, kapaciteta sistema pa 8 g h⁻¹. Nominalna koncentracija ozona v plinu je bila 100 g m⁻³. Ozon smo vodili v stekleno laboratorijsko kolono z mehurčki, volumna 250 mL. Kot modelno snov smo v raziskavi uporabili obstojni veterinarski antibiotik tiamulin (Committee for veterinary medicinal products, 1999), diterpenski antibiotik (slika 1).



Slika 12 Strukturna formula tiamulina (Neal J. Fazakerley, 2004)

Raziskave kažejo, da je razpolovna doba za tiamulin v matriksu živalskega gnoja večja od 180 dni, medtem ko imajo nekateri drugi antibiotiki razpolovno dobo vse od 6 dni (salinomycin) do 41 dni (eritromicin) (Schluesener, 2006). Podobno je je tiamulin pri koncentraciji 600 mg L⁻¹, v destilirani vodi pri 37 °C, povsem stabilen in ne kaže znakov hidrolize, medtem ko v jezerski vodi (ob prisotnosti različnih soli, naravnih in antropogenih organskih snovi ter (mikro)organizmov) ob enakih temperaturnih in koncentracijskih pogojih, izgubi polovico aktivnosti po 10 tednih (Cosgrove, 1979).

3. Rezultati z diskusijo

Strupenost tiamulina na mikroorganizme aktivnega blata smo določili po metodi ISO 8192, 2007, z merjenjem inhibicije porabe kisika aktivnega blata za oksidacijo organskih snovi in amonijevega dušika. Za tiamulin so tako izmerjene vrednosti 30minEC₅₀: za vse mikroorganizme 700 mg L⁻¹, za heterotrofne mikroorganizme 1.660 mg L⁻¹ in za nitrifikacijske mikroorganizme 180 mg L⁻¹. Biorazgradnja, določena po metodi ISO 9408, 1991, se prične

še le 20. dan, po zelo dolgi lag fazi in doseže le $40 \pm 2\%$ v 43 dneh testa, nato se njegova biorazgradnja ustavi. Abiotske razgradnje nismo zaznali ($\leq 2\%$).

3.1 Fentonova oksidacija

Poskuse Fentonove oksidacije smo izvajali v molskem razmerju KPK : oksidant : katalizator vse od razmerja 1 : 1 : 0,3, pa do razmerja 1 : 6 : 0,3. Zanimale so nas predvsem nizke doze oksidanta, ker cilj raziskave ni bila popolna mineralizacija pač pa zmanjšanje strupenosti na mikroorganizme aktivnega blata, povečanje biorazgradljivosti ter s tem izboljšanje sposobnosti nadaljnega biološkega čiščenja. Raztopina tiamulina v demineralizirani vodi je imela začetno koncentracijo 400 mg L^{-1} in KPK 880 mg L^{-1} ter TOC 272 mg L^{-1} . Ta koncentracija je bila izbrana zato, ker je v tem koncentracijskem območju mogoče dovolj zanesljivo izmeriti spremembo strupenosti na mikroorganizme aktivnega blata. Učinke na KPK oz. TOC pri različnih razmerjih oksidanta v Fentonovem reagentu kaže Diagram 1.

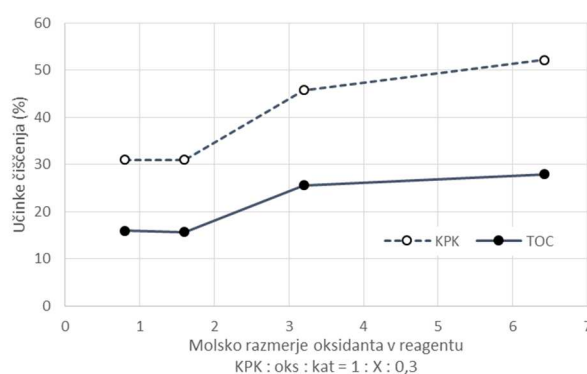


Diagram 1: Učinke čiščenja na KPK oz. TOC v odvisnosti od molskega razmerja oksidanta (x) glede na KPK in katalizator v Fentonovem reagentu

Izkazalo se je, da popolna mineralizacija v procesu Fentonove oksidacije ni dosežena, saj učinki odstranitve glede na KPK ne presežejo bistveno 50%, niti pri podvojeni dozi oksidanta. Enako nizek učinek razgradnje tiamulina (28%) smo potrdili tudi s TOC meritvami. Iz sprememb KPK in TOC izračunana sprememba oksidacijskega stanja ogljika v raztopini je prikazana v Diagramu 3. Sprememba oksidacijskega števila (oz. oksidacijskega stanja) ogljika v raztopini je indikator stopnje oksidacije ogljikovih atomov v molekuli, ki so obdelujemo z izbrano oksidacijsko metodo. Popolna mineralizacija bi pomenila oksidacijsko stanje ogljika +4, kot ga ima CO_2 , ki je končni produkt mineralizacije. Oksidacijsko stanje pri Fentonovi oksidaciji doseže največ 0,78 (Diagram 2) kar pomeni, da smo dosegli približno tretjino popolne mineralizacije ogljika v raztopini.

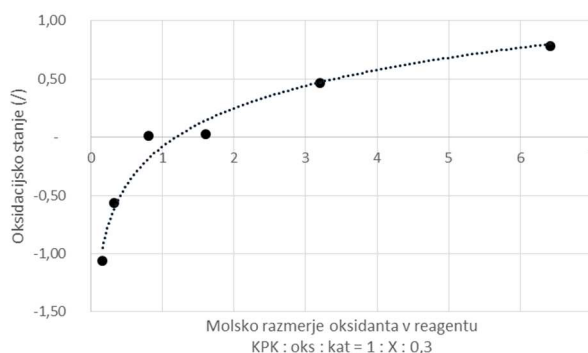


Diagram 2 Oksidacijsko stanje ogljika v odvisnosti od molskega razmerja oksidanta (x) glede na KPK in katalizator v Fentonovem reagentu

Učinek Fentonove oksidacije smo nato v skladu s standardnim postopkom ovrednotili še z vidika strupenosti na mikroorganizme aktivnega blata. Pri tem smo ovrednotili vpliv na vse mikroorganizme aktivnega blata ter posebej na heterotrofne mikroorganizme, odgovorne za razgradnjo ogljikovih spojin in nitrifikacijske mikroorganizme, potrebne za oksidacijo amonijevega dušika. Oba procesa sta za optimalno delovanje aerobne biološke čistilne naprave nepogrešljiva. V Diagramu 3 je podana relativna strupenost oksidiranih vzorcev glede na začetno raztopino. Vrednost 100% pomeni, da je strupenost v celoti odpravljena.

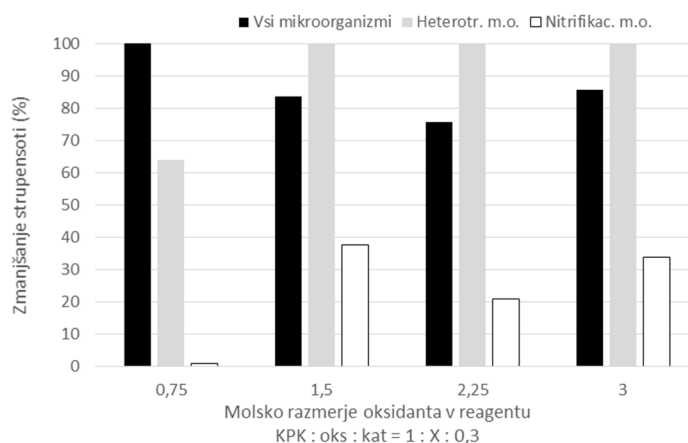


Diagram 3 Zmanjšanje strupenosti na aktivno blato v odvisnosti od molskega razmerja oksidanta (x) glede na KPK in katalizator v Fentonovem reagentu

Kot kaže Diagram 3, Fentonova oksidacija v vseh preiskovanih razmerjih učinkovito odstrani strupenost tiamulina na heterotrofne mikroorganizme aktivnega blata. Za vsaj delno zmanjšanje strupenosti na nitrifikacijske mikroorganizme, pa mora biti razmerje KPK : oksidant : katalizator najmanj 1: 1,5 : 0,3. Ne moremo pa določiti neposredne korelacije med razmerjem uporabljenih reagentov v procesih oksidacije ter zmanjšanjem strupenosti, kar je verjetno posledica omejitev izbrane metode.

3.2 Ozonacija

Ozoniranje smo izvedli v saržnem načinu (250 ml reaktor), s kar najmanjšo dozo oksidanta, ozona. V vodno raztopino ozona (10 mg L^{-1}) smo dodali tiamulin, tako, da je bila začetna koncentracija 400 mg L^{-1} in po določenih časovnih obdobjih (30 min) smo ozoniranje ponovili še 3-krat z 10-minutnim preprihovanjem raztopine z ozonom (30 L h^{-1} , nominalna koncentracija ozona 100 g m^{-3}). Izvedli smo poskus s tremi ponovitvami saržnega ozoniranja, učinke smo spremljali z meritvami KPK in TOC, kar vidimo na Diagramu 4.

Doza oksidanta je bila v tem primeru zelo majhna, v molskem razmerju glede na KPK le 1: 0,01. Zaradi tega in posledično majhnega učinka na zmanjšanje KPK (17%) in TOC (8%) je tudi povečanje oksidacijskega stanja ogljika v raztopini manjše, kot pri Fentonovi oksidaciji in doseže le -0,2.

Kot pri Fentonovi oksidaciji smo tudi po ozonaciji določili spremembo strupenosti na mikroorganizme aktivnega blata. Zmanjšanje strupenosti ob enkratni saržni ozonaciji je za vse mikroorganizme aktivnega blata 20% (Diagram 5). Ob tem je posebej pomembno zmanjšanje strupenosti na nitrifikacijske mikroorganizme, ki so posebej občutljivi, (35%, Diagram 5). Glede na nizko dozo oksidanta je to zelo učinkovito znižanje strupenosti.

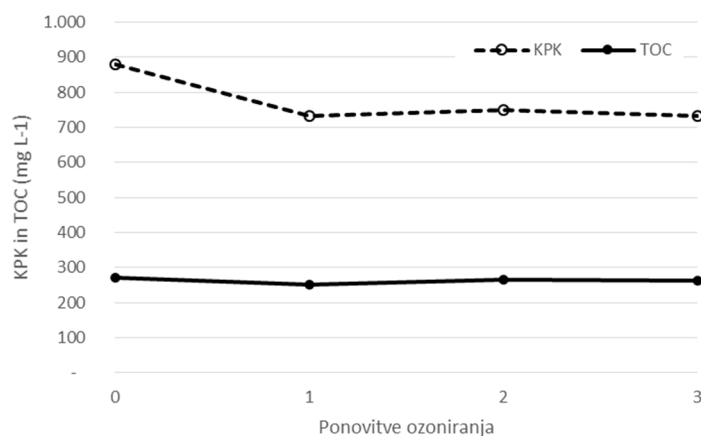


Diagram 4 KPK in TOC med šaržnim ozoniranjem raztopine tiamulina, 400 mg L⁻¹

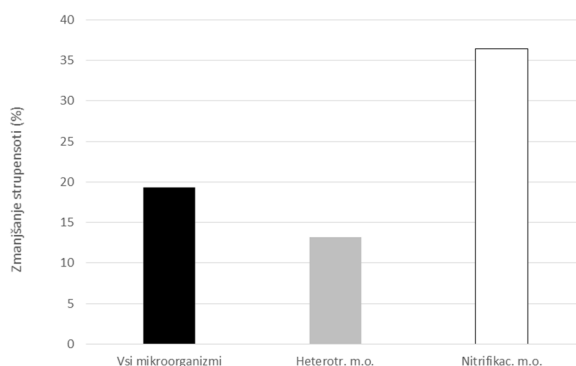


Diagram 5 Zmanjšanje strupenosti na aktivno blato pri enkratni šaržni oksidaciji z ozonom

4. Zaključki

Namen študije je bil primerjati učinkovitost dveh oksidacijskih tehnik (Fentonove oksidacije, ozonacije) za zmanjšanje strupenosti raztopine modelne antibiotične učinkovine tiamulin na aktivno blato. Rezultati poskusov s Fentonovo oksidacijo kažejo, da strupenost na heterotrofne mikroorganizme popolnoma odpravimo z molskim razmerjem v Fentonovem reagentu KPK : oksidant : katalizator = 1 : 1,5 : 0,3. Zmanjšanje strupenosti na nitrifikacijske mikroorganizme je ob tem razmerju 20 do 40%.

Primerljivo zmanjšanje strupenosti na nitrifikacijske mikroorganizme dosežemo z ozonom in to že pri molskem razmerju KPK : ozon = 1 : 0,01. Zmanjšanje strupenosti na heterotrofne mikroorganizme je ob tem manjše, le okoli 10%, kar je mogoče povezati tudi z manjšim zmanjšanjem KPK oz. TOC.

Ozonacija je očitno obetavna tehnika za zmanjševanje strupenosti odpadne vode, ki vsebuje biološko težko razgradljive, obstojne antibiotične učinkovine in bi jo lahko uporabili v sistemu predčiščenje pred konvencionalno biološko čistilno napravo. Dokončno uporabnost je potrebno potrditi še s testi biološke razgradljivosti in v pogojih realnega matriksa.

5. Viri

BOXALL A.B., KOLPIN D.W., HALLING-SØRENSEN B., TOLLS J., 2003. Are veterinary medicines causing environmental risks? *Environmental Science & Technology*, 286-294.

- JOHNSON, A.C., 2015. Assessing the concentrations and risks of toxicity from the antibiotics ciprofloxacin, sulfamethoxazole, trimethoprim and erythromycin in European rivers. *Science of the Total Environment*, 747–755.
- ERENDONK, T.U., 2015. Tackling antibiotic resistance: the environmental framework. *Nature Reviews Microbiology* 13, 310–317.
- BÖRJESSON, S., 2009. Antibiotic Resistance in Wastewater, Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) and antibiotic resistance genes. Linköping: Linköping University Medical Dissertations No. 1128.
- Committee for veterinary medicinal products, 1999. Tiamulin, Summary report. London: The European Agency for the Evaluation of Medicinal Products, Veterinary Medicines and Information Technology Unit.
- COSGROVE, R., 1979. Tiamulin: Preliminary, small scale environmental impact studies, Report number IDL/MR/80. New York: Squibb Research and Development.
- DAOJIN YU, X. Y., 2009. Effects of administration mode of antibiotics on antibiotic resistance of *Enterococcus faecalis* in aquatic ecosystems. *Chemosphere*, 915–920.
- HALLING-SØRENSEN, B., 2000. Algal toxicity of antibacterial agents used in intensive farming. *Chemosphere*, 731–739.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1991. International standard, ISO 9408:1991. Water Quality - Evaluation in an aqueous medium of the ultimate aerobic biodegradability of organic compounds - Method by determining the oxygen demand in a closed respirometer. Geneva, Switzerland.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007. International standard, ISO 8192:2007. Water quality - Test for inhibition of oxygen consumption by activated sludge for carbonaceous and ammonium oxidation.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999. International standard, ISO 8245:1999. Water quality — Guidelines for the determination of total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC)
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1989. International standard, ISO 6060:1989. Water quality — Determination of the chemical oxygen demand
- JOHN JENSEN, P. H., 2003. Effects of the antibacterial agents tiamulin, olaquinox and metronidazole and the anthelmintic ivermectin on the soil invertebrate species *Folsomia fimetaria* (Collembola) and *Enchytraeus crypticus* (Enchytraeidae). *Chemosphere*, 437–443.
- SCHLUESENER, M. P., 2006. Elimination of Macrolides, Tiamulin, and Salinomycin During Manure Storage. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 21–28.
- FAZAKERLEY, N. J., 2004. Synthesis and synthetic chemistry of pleuromutilin. *Tetrahedron*, 6911–6930.
- STUMM, W., MORGAN J.J., 1981. Aquatic Chemistry, 2^{ed}, New York: John Wiley & Sons.

UPORABA AEROBNEGA REAKTORJA ZA ODSTRANJEVANJE IZBRANIH ANTIBIOTIKOV IZ BOLNIŠNIČNE ODPADNE VODE

Severina Stavbar, univ. dipl. inž. kem. tehnol.¹, red. prof. dr. Andreja Goršek², Katarina Premzl, mag. ind. farm.³, izr. prof. dr. Mitja Kolar⁴, red. prof. dr. Sonja Šostar Turk¹

¹Univerza v Mariboru, Fakulteta za zdravstvene vede, Žitna ulica 15, 2000 Maribor,

²Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Smetanova ulica 17, 2000

Maribor, ³Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano Prvomajska ulica 1, 2000

Maribor, ⁴Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Večna pot 113, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Ostanki zdravil in drugih farmacevtskih pripravkov, vstopajo v okolje na različne načine in postajajo vse resnejši problem. Najdemo jih v izpustih iz farmacevtskih, proizvodnih obratov, bolnišnic, prisotni so v človeških in živalskih izločkih, odplakah iz čistilnih naprav, itd. Antibiotiki lahko v okolje vstopajo tudi kot posledica nepravilnega ravnanja z neuporabljenimi zdravili ali zdravili, ki jim je potekel rok uporabe, saj se le-ti velikokrat odvržejo med odpadke oz. sperejo neposredno v kanalizacijske sisteme. Številne raziskave, ki so bile izvedene v različnih delih Evrope in ZDA, so pokazale, da so ostanki zdravil prisotni v odpadnih in površinskih vodah, zadnje študije pa kažejo trend zviševanja tudi v tleh, podtalnici ter pitni vodi. Čeprav so izmerjene koncentracije v širokem koncentracijskem območju od ng/L do µg/L, so lahko nekateri razgradni produkti aktivnih snovi celo bolj toksični kot izvorna snov. Antibiotiki, ki se v okolju pojavljajo kot obstojni ostanki, lahko povzročijo razvoj odpornih mikroorganizmov, zlasti patogenih vrst. Njihova odpornost na protimikrobna sredstva povzroča nove bolezni, ki jih je težko zdraviti. Za odstranjevanje tovrstnih onesnaževal obstoječe čistilne naprave niso primerne, saj velike količine ostajajo v vodi tudi po čiščenju.

Namen raziskave je bil v laboratorijskem aerobnem reaktorju z aktivnim blatom iz komercialne čistilne naprave vzpostaviti sistem čiščenja z antibiotiki onesnažene odpadne vode. Osredotočili smo se na dva antibiotika, ki sta v Sloveniji med najpogosteje uporabljenimi, to sta ciprofloksacin iz skupine fluorokinolonov ter amoksicilin iz skupine β-laktamov. Za pridobitev realnih rezultatov glede učinka čiščenja odpadne vode smo morali v prvi vrsti zagotoviti ponovljivost priprave sintetične odpadne vode na vtoku v reaktor. Koncentracije antibiotikov v vzorcih na vtoku in iztoku smo vrednotili s pomočjo LC/MS/MS metode. Pri danih pogojih obratovanja, smo dosegli zelo visoko učinkovitost čiščenja. KPK se je znižal za 99 %. Koncentracijo ciprofloksacina smo uspeli zmanjšati za 80 %, medtem ko smo koncentracijo amoksicilina znižali za 95 %.

Ključne besede:

antibiotiki, sintetična odpadna voda, aktivno blato, LC/MS/MS, aerobni reaktor

1. Uvod

Farmacevtske spojine predstavljajo pomembno skupino vodnih onesnaževal, zaradi svoje raznovrstnosti in visoke porabe v zadnjih letih, kakor tudi zaradi svoje obstojnosti v okolju. V okolje vstopajo preko bolnišničnih in komunalnih odpadnih vod, po čiščenju proizvodnih

obratov v farmacevtski industriji, lahko tudi s človeškim urinom ali kot posledica nepravilnega odstranjevanja neporabljenih zdravil [1]. V okolju so prisotni v širokem koncentracijskem območju od ng/L do µg/L. Kljub relativno nizkim koncentracijam pa so zaradi svoje biološke učinkovitosti in stalne prisotnosti lahko škodljivi za zdravje ljudi in vodne organizme. Glavni naravni procesi razgradnje v okolju so hidroliza, fotorazgradnja ter biorazgradnja [2, 3, 4]. Glavno skrb predstavljajo antibiotiki, ki lahko prispevajo k odpornosti naravnih bakterijskih populacij. Najvišja obremenitev odpadne vode z antibiotiki se pričakuje v odplakah domov za ostarele in bolnišnic [3, 4, 5].

Amoksisilin in ciprofloksacin sta najpogostejše predpisana antibiotika, tako pri nas kot tudi drugje v EU. Uporabljata se za zdravljenje številnih bakterijskih infekcij, vključno z akutnim vnetjem srednjega ušesa, okužbah kože, okužbah sečil, z infekcijami urinarnega trakta, pljučnico in okužb sinusov. Ciprofloksacin velja za enega najmočnejših in najučinkovitejših antibiotikov, ki delujejo proti Gram-negativnim bakterijam [6].

Metabolna stabilnost antibiotikov se kaže tudi kot obstojnost v okolju in kot neučinkovita odstranitev med čiščenjem odpadnih vod, kar predstavlja breme za okolje. S konvencionalnimi postopki čiščenja odpadnih vod na čistilnih napravah, s primarnim, sekundarnim in terciarnim čiščenjem je razgradnja antibiotikov omejena, zato je potrebno razviti nove, učinkovitejše čistilne naprave. Biološko čiščenje odpadne vode postaja vedno bolj zanimivo, saj temelji na razgradnji organskih in anorganskih snovi s pomočjo mikroorganizmov [7]. Najpogostejše uporabljen postopek obdelave je proces z uporabo aktivnega blata. Veliko število organskih onesnaževalcev, izraženih kot kemijska potreba po kisiku (KPK), biokemijska potreba po kisiku (BPK) in hranila, kot sta dušik in fosfat, lahko učinkovito odstranimo s procesom uporabe aktivnega blata. Vendar pa lahko nekatere farmacevtske spojine ostanejo v nespremenjeni obliki tudi po procesu aktivnega blata in se sprostijo v okolje, skupaj z odplakami odpadnih vod, kar predstavlja potencialno tveganje za vodne organizme in ekosistem.

2. Metode in materiali

2.1 Materiali

Standardi antibiotikov in izotopsko označeni interni standardi so bili dobavljeni od podjetij Sigma-Aldrich (Nemčija) in Cambridge Isotope Laboratories (USA). Vsi reagent so bili HPLC čistosti in dobavljeni od podjedja Sigma-Aldrich (Nemčija) ali Merck (Nemčija).

2.2 Metode

2.2.1 Priprava sintetične odpadne vode

Sintetična odpadna voda je bila pripravljena iz deionizirane vode z dodatkom 5 g peptonske vode (Biolife) v 10 L, katere vsebnosti so prikazane v tabeli 1:

Tabela 1 Seznam spojin, potrebnih za pripravo sintetične odpadne vode

SPOJINA	KONCENTRACIJA
Pepton	2,50 g/L
Natrijev klorid	1,25 g/L
Brezvodni dinatrijev hidrogenfosfat	0,88 g/L
Mono kalijev fosfat	0,38 g/L
Raztopina A	10 mL/L
Raztopina B	10 mL/L

Sestava raztopine A

V mešanici vode in metanola v razmerju 50:50, smo raztopili 10 mg antibiotika amoksicilina, ga kvantitativno prenesli v 10 mL merilno bučko ter razredčili do oznake. Pripravljena raztopina je imela koncentracijo, $\gamma=1\text{g/L}$.

Sestava raztopine B

V mešanici vode in metanola v razmerju 50:50 z dodatkom 0,2 % klorovodikove kisline, smo raztopili 10 mg antibiotika ciprofloksacina, ga kvantitativno prenesli v 10 mL merilno bučko ter z isto zmesjo razredčili do oznake. Pripravljena raztopina je imela koncentracijo, $\gamma=1\text{g/L}$.

2.2.2 Aerobni pretočni reaktor

Raziskave so potekale v laboratorijskem aerobnem reaktorju proizvajalca Armfield. Reaktor je namenjen simulaciji procesa čiščenja aerobne biološke čistilne naprave. Reaktorska posoda ima pri maksimalnem nivoju skupno prostornino 12,5 L.

Aerobni pretočni reaktor smo napolnili z aktivnim blatom (do 8,0 L aktivne prostornine) obstoječe komunalne čistilne naprave. Nato smo pričeli s postopnim uvajanjem sintetične odpadne vode ($\gamma_{\text{KPK,vtok}} = 2045\text{ mg/L}$) v reaktor. Volumski pretok sintetične odpadne vode smo nastavili na 2,0 L/d, kar ustreza bivalnemu času 4 d. Hitrost pretakanja skozi vhodno cevko je bila 0,165 cm/s. S pomočjo termostata smo vzdrževali temperaturo raztopine, $T = 23,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proces je trajal približno 72 h, zato smo po vsakih 24 h pripravili novo raztopino sintetične odpadne vode in s tem dosegli, da so ob teh pogojih mikroorganizmi v aktivnem blatu preživel tudi več kot 72 h. Vzorce odpadne vode smo odvezemali na vtoku in iztoku.

Vrednost KPK, izraženo v mg/L, izračunamo po naslednji enačbi:

$$\gamma_{\text{KPK}} = \frac{8000 \cdot c \cdot (V_1 - V_2) \cdot f_r}{V_0} \text{ (mg/L)}$$

kjer je, c koncentracija raztopine amonijevega železo (II) sulfata (mol/L), V_1 volumen porabljene raztopine amonijevega železo (II) sulfata pri slepi meritvi (mL), V_2 volumen porabljene raztopine amonijevega železo (II) sulfata pri vzorcu (mL), V_0 volumen vzorca (mL) ter f_r faktor redčitve.

Najpomembnejši parameter, ki opisuje učinek biološkega čiščenja odpadne vode, je učinek čiščenja glede na γ_{KPK} , ki je podan v procentih glede na vtok odpadne vode in je določen po naslednji enačbi:

$$\eta_{\text{KPK}} = \frac{8000 \cdot c \cdot (V_1 - V_2) \cdot f_r}{V_0} \text{ (mg/L)}$$

kjer je η_{KPK} – učinek čiščenja glede na γ_{KPK} (%).

2.2.3 Določanje vrednosti KPK

Za določanje vrednosti KPK smo potrebovali naslednje kemikalije: žveplova (VI) kislina (H_2SO_4), srebrov sulfat (Ag_2SO_4), kalijev dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), živosrebrov sulfat (HgSO_4), amonijev železo (II) sulfat heksa hidrat ($(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 10-fenantrolin monohidrat ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

V 500 mL bučko smo odpipetirali 10,0 mL vzorca, dodali 5,0 mL raztopine $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ in vrelne kamenčke. Zmes smo dobro premešali in počasi dodajali 15 mL raztopine Ag_2SO_4 in H_2SO_4 . Vsebinsko bučke smo ponovno premešali ter jo povezali s povratnim vodnim hladilnikom. S pomočjo pečene kopeli smo vsebinsko bučke segrevali 120 min. Po 2 h smo bučko hitro ohladili z vodo do $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vsebinsko bučke smo nato razredčili na 75 mL z destilirano vodo, ohladili na sobno temperaturo ter dodali 2 kapljici ferionskega indikatorja. Tako pripravljen vzorec smo titrirali z raztopino $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Opisana metoda je primerna za določanje vrednosti KPK v območju koncentracije kisika (O_2) med (30 – 700) mg/L, zato je bilo potrebno vzorce z višjimi vrednostmi KPK redčiti.

2.2.4 LC-MS/MS metoda

Vrednotenje antibiotikov je potekalo na HPLC sistemu Agilent Technologies 1260 Infinity, sklopljenim z API 2000 trojnim-kvadropolnim masnim spektrometrom. Za kromatografsko ločitev smo uporabili Synergi Fusion-RP 100 A kolono (Phenomenex 50 x 2.0 mm, 2.5 μ m). Kromatografski pogoji so podani v tabeli 2:

Tabela 2 Kromatografski pogoji določanja antibiotika v sintetični odpadni vodi

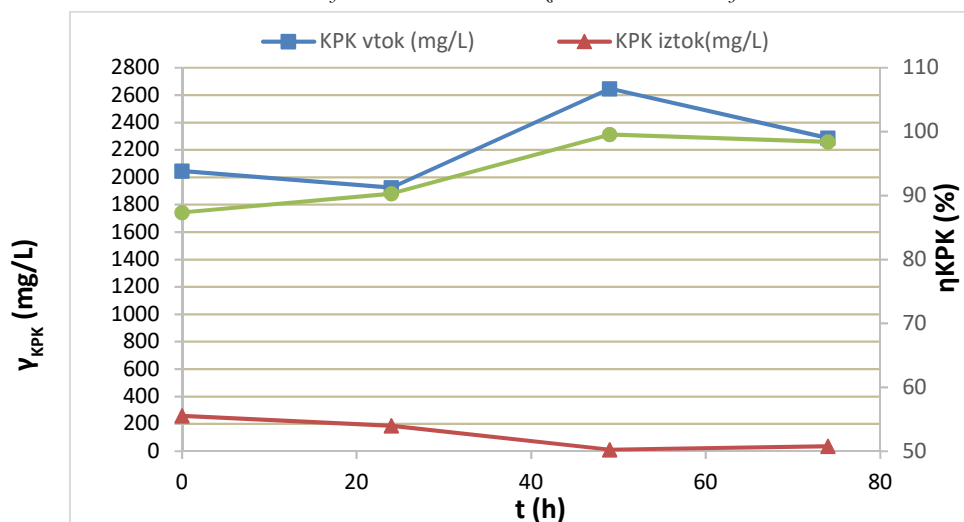
mobilna faza	A = 0,1 % mravljična kislina v mešanici topil H ₂ O : CH ₃ CN (95:5)
	B = 0,1 % mravljična kislina v mešanici topil CH ₃ OH : CH ₃ CN (50:50)
pretok	300 μ L /min
volumen injiciranja	50 μ L
čas analize	17 min
temperatura kolone	40 °C

Detekcijo antibiotikov smo izvedli z masnim spektrofotometrom v MRM načinu pri pozitivni polariteti.

3. Rezultati

Iz grafa 1 lahko razberemo, da je bila koncentracija KPK na vtoku v povprečju med 1900 in 2600 mg/L. Predvidevamo, da je do nihanja vrednosti KPK prišlo zaradi aktivnosti antibiotika in peptona, katerega natančna sestava ni znana. Dotok sintetične odpadne vode je bil 1,39 mL/min. Vidimo, da smo že po 24 h dosegli visoko učinkovitost čiščenja, ki se je z vsakim dodanim dnevom stopnjevala. Predvidevamo lahko, da tako visoko stopnjo čiščenja v tako kratkem času, dosežemo zaradi majhne prostornine reaktorja in zelo majhnega dotoka sintetične odpadne vode. Glede na dobljene rezultate lahko prav tako ugotovimo, da so se mikroorganizmi po prenosu v laboratorijski aerobni pretočni reaktor zelo hitro prilagodili novemu okolju, saj so bili pogoji pri prenosu in v reaktorju podobni kot v njihovem primarnem okolju. Po 49 h je bil učinek čiščenja okoli vrednosti 99 % in se ni več bistveno spreminjal. Trdimo lahko, da so lastnosti aktivnega blata ostale nespremenjene in da smo dosegli optimalni učinek čiščenja.

Graf 1 KPK vtoka, KPK iztoka in učinek čiščenja



S pomočjo LC/MS-MS metode, smo analizirali vzorčne raztopine na vtoku in iztoku iz aerobnega pretočnega reaktorja. Koncentracijsko območje določanja je bilo med 50 ng/mL in 1000 ng/mL.

Tabela 3 Koncentracije amoksisilina in ciprofloksacina

t (h)	vtok		iztok	
	C _{amoksisilin} (ng/mL)	C _{ciprofloksacin} (ng/mL)	C _{amoksisilin} (ng/mL)	C _{ciprofloksacin} (ng/mL)
0	961	875	< 50	98
24	835	725	< 50	90
49	1380	1300	< 50	< 50
74	1120	1040	< 50	53

Iz tabele 3 je razvidno, da se je koncentracija amoksisilina in ciprofloksacina zmanjšala. Medtem, ko se je koncentracija amoksisilina zmanjšala (> 95 %) že po 24 h izpostavljenosti mikroorganizmom v aktivnem blatu, vidimo, da se je koncentracija ciprofloksacina manjšala z daljšo izpostavljenostjo in tako dosegla največji učinek po 74 h. Izbrana metoda določanja s tekočinsko kromatografijo v povezavi s tandemsko masno spektrometrijo, se je izkazala za ustrezno, saj je bil odziv instrumenta linearen ($r^2 \geq 0,99$), točnost in natančnost meritev pa znotraj predvidenih mej.

4. Zaključki

Letno se po svetu proizvede od 100.000 do 200.000 ton antibiotikov, zato lahko pričakujemo, da se bo njihova uporaba v prihodnosti višala, s tem pa seveda tudi možnosti širjenja njihovih ostankov v okolju in potencialnih škodljivih vplivov na zdravje ljudi.

Namen naših raziskav je bil vzpostaviti sistem čiščenja odpadne vode z aktivnim blatom obstoječe čistilne naprave v laboratorijskem aerobnem pretočnem reaktorju. Ker se sestava odpadne vode na obstoječi čistilni napravi spreminja (v odvisnosti od letnega časa, temperature, obremenitev, itd.), smo eksperimente izvajali s sintetično odpadno vodo. Skušali smo doseči ponovljivost laboratorijskih analiz glede na aktivno blato ob predpostavki, da je koncentracija antibiotika pri pripravi sintetične odpadne vode vedno enaka. Aerobni pretočni reaktor se je pokazal kot učinkovit, pri čiščenju odpadne vode, ki vsebuje antibiotike, saj smo njihovo vsebnost zmanjšali za 94 %. V nadaljevanju dela, bomo preučili še druge možne postopke čiščenja z uporabo ozona (O₃) in superkritične vode.

5. Viri

- [1] GROS, M., PETROVIC, M., GINEBRED, A., BARCELÓ, D., 2010. Removal of pharmaceuticals during wastewater treatment and environmental risk assessment using hazard indexes. *Environment International*, 36(1), 15-26.
- [2] ARSLAN-ALATON, I. and DOGREUL, S., 2004. Pre-treatment of penicillin formulation effluent by advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials*, B112, 105-113.
- [3] TROVO, A.G., MELO, S.A.S., NOGUEIRA, R.F.P., 2008. Photodegradation of the pharmaceuticals amoxicillin, bezafibrate and paracetamol by the photo-Fenton process: application to sewage treatment plant effluent. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 198, 215-220.
- [4] MAGUREANU, M., PIROI, D., MANDACHE, N.B., DAVID, V., MEDVEDOVICI, A., BRADU, C., PARVULESCU, V.I., 2011. Degradation of antibiotics in water by non-thermal plasma treatment. *Water research*, 45, 3407-3416.
- [5] HRIBOVŠEK, T., JERMAN, B., PLEŠA, H., ŠEMRL, H., 2013. Ambulantno predpisovanje zdravil v Sloveniji po ATC klasifikaciji v letu 2012, Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije.

[6] HOMEM, V. and SANTOS, L., 2011. Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices – A review. *Journal of Environmental Management*, 92, 2304-2347.

ENERGY DEMAND REDUCTION IN SLUDGE DEWATERING USING BIO-NANO - COMPOSITE

Edhem Salihovic

EWT Wassertechnologie, Ingenieurbüro für Maschinenbau und Umweltbiotechnologie,
5020 Salzburg

ABSTRACT

This presentation investigates the energy required to dewater the activated sludge by centrifugation using bio nano-composites, as compared to commonly used polyacrylamide-based polymers and different conditioners used as skeleton builders or filtering aids. The ability to reduce the energy requirements for the treatment of sludge by using nano-composite materials and biopolymers has been proven through research projects and in practice. In addition, there is a patent documentation for our first biopolymers based on cellulose (WO2003016226, DE10139829).

Keywords:

Biopolymers; Sludge dewatering; Nanocomposite; Energy

1. Introduction

Energy consumption is an essential parameter which determines the economic viability of dewatering an activated sludge by applying a solid-liquid separation device. The removal of water from a suspension requires that the bond strength between the adjacent water and the solid surface are broken down and that this water is moved from its original position in suspension to outside the system (1). "The most difficult problem for us is sewage sludge which accounts for only 1% of treated waste water, but accounts for about 30% of the sewage costs and 90% of the headaches" (Imhoff 1933).

In order to increase the efficiency of this process and at the same time lower the energy requirement, various chemical flocculants have been used. It has been found that they function as skeleton builders to reduce solid compressibility. Most chemicals used are polyvalent cationic coagulants such as aluminum or iron salts or with synthetic polyelectrolytes such as synthetic polyacrylamides (PAM). However, PAM and its derivatives are highly toxic. In the EU, the annual consumption of polymer for sludge dewatering is approximately 60.000 tonnes (2). For this reason, there is a need for sustainable, natural, biobased alternatives to the conditioning of sewage sludge.

Biodegradability is one of the most important environmental aspects of water chemicals since it determines their long-term ecological effects. Because of that; synthetic polymers in Germany from 1.1.2017, can only be used in the drying of sewage sludge if they reduced by at least 20% in two years.

In the last twenty years we have investigate different natural polymers as a means of replacing synthetic and inorganic water chemicals and to decrease energy demand in sludge dewatering processes (3).

1.1 Energy demand during sludge dewatering

The energy consumption by sludge dewatering using different dewatering systems (Tab.1)

Tab.1 The Energy consumption (4, 5, 6)

Dewatering system		Dec anter centrifuge	Belt filter press	Screw press
Discharge solids concentration				
Primary sludge	[% DS]	32-40	30-38	30-38
Mixed sludge from PS + SS (Freight ratio ~ 1: 1)	[% DS]	26-32	24-30	24-30
Anaerobic digested sludge	[% DS]	22-30	20-28	20-28
Consumption of polymeric flocculants				
Specific flocculants consumption	[kg AS/t DS]	8-14	6-12	6-15
Power consumption				
Specific energy consumption	[kWh/m ³]	0,9- 1,6	0,4-0,8	0,2-0,6
Specific energy consumption	[kWh/t DS]	40-60	20-30	8-20
Power consumption per PE	[kWh/PE a]	0,74- 1,0	0,2-0,45	0,17- 0,28

2. Bio –nano composite for sludge dewatering

Biopolymers are macromolecules synthesized in the cells of living organisms on the basis of the genetic code that was developed during millions of years of evolution of life on Earth. In our research we used cellulose, starch, chitin and chitosan. All of these biopolymers have the same monomer molecule and that is glucose. The nature is in orientation of the hydroxyl group on the first carbon atom and the nature of molecule on the second carbon atom designated use of these polymers. Difference between chitin and cellulose is type of the molecules on second atom. The cellulose has OH group, chitin (NHCOCH₃) and chitosan amine group (NH₂) (Fig.1).

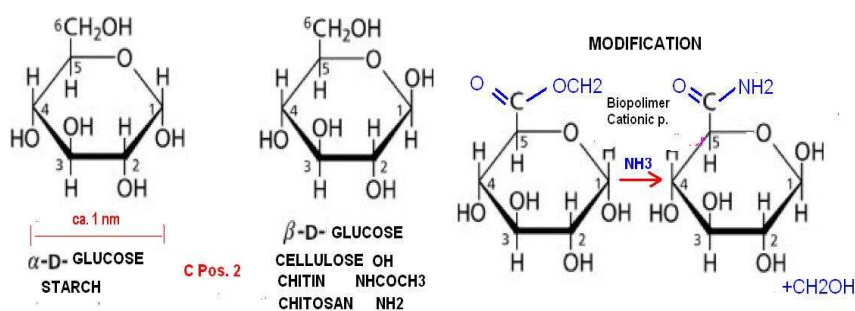


Fig.1 Starch and cellulose single unit and modification process

Molecules of starch, cellulose, chitin and chitosan up to a molecular weight of 100 are in the range of nanoparticles. Nanocomposite is a blend of two or more materials which are more effective in the treatment of sludge than any of added components. A further increase in the efficiency of the bio-nano-composite depends on the amount of extra-cellular polymers in an activated sludge, since they contain about 50% proteins and the proteins are also biopolymers.

In the preparation of our bio - nano composite (Fig.2, 3) we also use various properties of metal ions that bind with activated sludge. Because of the existing other factors that cause the activated sludge flocculation, such as:

- Microbial flocks' population structure (eg. amount of filamentous bacteria)
- EPS composition
- Fractal dimensions etc.

more efforts are still needed to fully understand the bio nano composite flocculation mechanisms with the activated sludge.

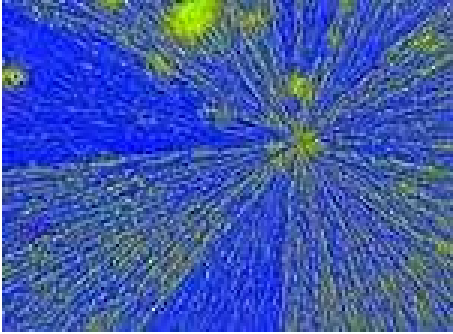


Fig.2 Nano composite

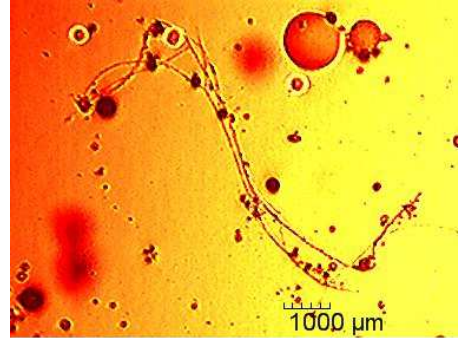


Fig. 3 Bio – Nano composite

3. Results and summary

Various activated sludge structures (Fig. 4) could be a possibility in our opinion of increasing the dewaterability and energy requirement reduction by using the bio-nano-composite. Complete results of our research are presented on biopolimeri (2) website.

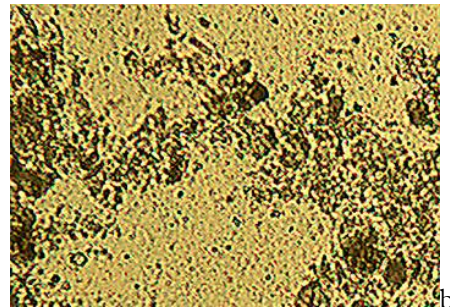
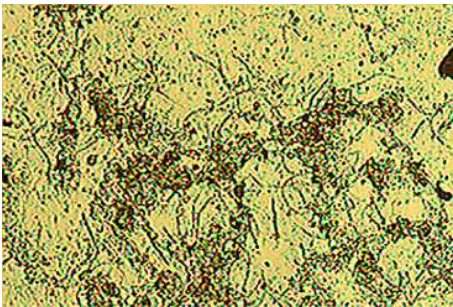


Fig. 4 Microscopic photographs of (a) original sludge and (b) treated sludge

4. Conclusions

The role of bio- nano – composites to improve the dewaterability of activated sludge was evaluated by means of laboratories and full scale trials at various WWTP, leading to the following conclusions:

Application of bio- nano composites improve sludge dewaterability with reduced amount of synthetic polymer, based most on polyacrylamide, and same time reducing energy demand.

5. Acknowledgments

This work was supported by the Innovation Research Funding of the state of Salzburg through following projects

- Nano composite coatings of Biomolecular Templates
- Bioleaching
- Frequency based mixing system

6. References

- [1] CHUA, C. P., 2005. Energy demand in sludge dewatering Water Research 39, 1858–1868 [2]. BIOPOLYMER in biopolimeri.eu
- [3] SALIHOVIC, E, Additive for stabilising biomass. Patents WO 03016226,. DE10139829
- [4].DWA-M 350 (2013) « Preparation of polymeric flocculants »DWA Hennef, Germany
- [5]. DWA-M 366 (2013) « Machine sludge dewatering » DWA Hennef, Germany
- [6]. DWA-M 383 (2008) « Characteristics of sewage sludge dewatering »

VODNA BILANCA CERKNIŠKEGA JEZERA

doc. dr. Mario Krzyk, Špela Bobnar, doc. dr. Darko Drev, izr. prof. Jože Panjan

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Cerkniško jezero je presihajoče jezero in v povprečju obstaja tri četrtine leta, četrtno leta pa je dno Cerkniškega polja suho. Skoraj vsako leto doseže površino 20 km² in prostornino 29 milijonov m³. S pomočjo ustvarjenega modela dna jezera ter dnevnih sprememb vodostaja jezera na vodomerni postaji Dolenje Jezero smo določili dnevne vrednosti prostornine vode in izračunali vodno bilanco jezera. Ta bo osnova za nadaljnje analize vplivnih faktorjev na kakovost vode v jezeru. Ocena vodne bilance Cerkniškega jezera je bila nazadnje narejena leta 2010 za hidrološko leto 1975. V prispevku so prikazani rezultati analize vodne bilance za obdobje od leta 2004 do leta 2014.

Ključne besede:

Cerkniško jezero, vodna bilanca, padavine, prostornina jezera

1. Uvod

Cerkniško jezero je bilo zaradi njegovega posebnega značaja že v zgodovini zelo zanimivo za številne raziskovalce s celega sveta. Jurij Leonberger je bil eden izmed prvih, ki je leta 1537 opisoval Cerkniško jezero, leta 1551 pa je Jurij Wernher izdal bolj znanstveni opis jezera. Profesor naravoslovja p. Atanazij Kircher je v svojem delu iz leta 1678 pisal predvsem o podzemnem svetu in tudi o Cerkniškem jezeru. Tako Wernherjeva kot tudi Kircherjeva razlaga o delovanju jezera sta vsebovali podobno teorijo o pravem jezeru in jezeru pod njim, katerega napajajo vode iz podzemnih jezerc iz okoliških hribov. Najbolj znana razprava o Cerkniškem jezeru je bila napisana leta 1689 v knjigi Slava vojvodine Kranjske, ki jo je napisal Janez Vajkard Valvasor (1641-1693). Knjiga vsebuje zemljevid jezera in bakrorez, ki predstavlja Valvasorjevo razlago o delovanju presihajočega jezera, ki temelji predvsem na Kircherjevem opisu tega jezerskega fenomena. [1], [2], [3]

Opis delovanja Cerkniškega jezera najbolj nazorno prikaže njegova vodna bilanca. Ocena vodne bilance Cerkniškega jezera je bila nazadnje narejena leta 2010 za hidrološko leto 1975. V tem prispevku pa smo preučili obdobje od leta 2004 do leta 2014.

Poleg vodne bilance, na kakovost vode v jezeru, katere analiza se predvideva v nadaljevanju raziskav, vplivajo še pedološka sestava tal, pokrovnost tal, vegetacija Cerkniškega jezera ter okoliška naselja.

2. Značilnosti širšega območja Cerkniškega jezera

Največji vpliv na pedološko sestavo tal Cerkniškega polja ima jezerska voda. Ob Cerkniščici so nastale evtrične rjave prsti, ki so primerne za izkoriščanje v kmetijske namene. Slaba stran te prsti je, da skozi njo umetna gnojila in pesticidi izjemno lahko pronikajo v podtalnico.

Na območju višje talne vode so tla močvirnata. Na širšem območju Cerknškega polja se je razvilo več različnih tipov prsti: na delu jezera, kjer se voda najdlje zadrži so molični glej, hipoglej in amfiglej, na suhem delu polja so rendzina, rjava pokarbonatna tla, obrečna tla in evtrična rjava tla, v hidrološkem zaledju Cerknškega jezera prevladujeta rjava pokarbonatna tla in rendzina [4].

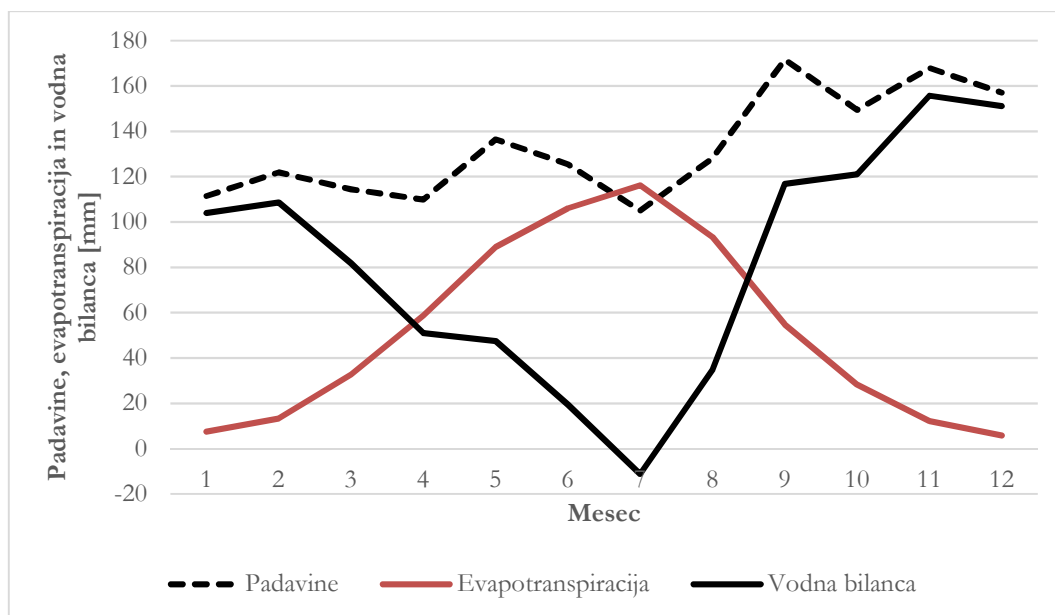
Preglednica 3: Tipi pokrovnosti tal hidrološkega zaledja Cerknškega jezera [5], [7]

Pokrovnost tal (CLC 2012)	Površina [km ²]	Delež [%]
Mešani gozd	167,867	35,34
Iglasti gozd	119,725	25,21
Listnati gozd	56,425	11,88
Kmetijske površine drobnoposestniške strukture	37,771	7,95
Pašniki	29,436	6,20
Pretežno kmetijske površine z večjimi območji vegetacije	20,175	4,25
Celinska barja	19,416	4,09
Grmičast gozd	12,278	2,58
Naravni travniki	5,605	1,18
Neskljenjene urbane površine	4,545	0,96
Barje in resave	0,745	0,16
Industrija, trgovina	0,652	0,14
Površine za šport in prosti čas	0,349	0,07
VSOTA	475	

S spletne strani Geoportal ARSO [5] smo pridobili podatke o pokrovnosti tal za leto 2012 (CLC 2012). Podatke smo uvozili v program AutoCAD in jih omejili s hidrološkim zaledjem, katerega je določil Kranjc – površina le-tega znaša 475 km² [6]. Pridobljeni podatki so vsebovali le mejna območja posameznih tipov pokrovnosti tal na 3. nivoju. S pomočjo spletne strani Atlas okolja [4] smo tem mejnim območjem določili tipe pokrovnosti tal in jih uvozili v program AutoCAD. Glede na to, da so na omenjeni spletni strani razpoložljivi le podatki o pokrovnosti tal za območje naše države, del hidrološkega zaledja jezera pa sega tudi na območje države Hrvaške, smo za ta del hidrološkega zaledja uporabili podatke s spletne strani Copernicus [7]. Prikaz pokrovnosti tal (CLC 2012) celotnega hidrološkega zaledja Cerknškega jezera je prikazan v Preglednici 1.

Na Cerknškem jezeru so se zaradi presihanja jezera in nihanja vodne gladine ustvarile različne rastlinske vrste. Kjer so tla večino prekrita z vodo, uspevajo bleščeči in češljasti dristavec, rumeni blatnik in navadna smrečica. Na območjih, kjer je vodostaj vode najvišji prevladujejo parožnice. Na območju jezera, kjer je voda plitva in se zadržuje dlje časa uspevajo amfibijske združbe. Na tistih delih Cerknškega jezera, kjer se voda zadržuje krajši čas in so tla daljše obdobje namočena (60 – 70 % površja Cerknškega jezera), uspevajo močvirske združbe (navadni trst, jezerski biček, vodno presliče, togo, obrežno in kljunasto šašje, močvirska sita in trstična pisanka). Na območjih, kjer je podtalnica višja, in na obrobju poplavnega dela jezera uspevajo mokrotni travniki [8]. Najbolj razširjena in najpomembnejša rastlina na Cerknškem jezeru je navadni trst [9].

3. Evapotranspiracija



Slika 1 Povprečna mesečna višina padavin, vsota mesečne evapotranspiracije in mesečna vodna bilanca v obdobju 2004-2014 [10], [11]

Na časovno razporeditev poplav vpliva tudi evapotranspiracija. Na Cerkniškem polju ni nobene opazovalne postaje, ki bi merila evapotranspiracijo (v nadaljevanju ETP). Zato smo za izračune uporabili podatke iz opazovalne postaje Nova vas na Blokah, saj je to edina postaja v hidrološkem zaledju Cerkniškega jezera, ki opravlja te meritve. Na Sliki 1 je podan potek povprečnih mesečnih višin padavin, vsote mesečne ETP in mesečne vodne bilance v obdobju 2004-2014. Razvidno je, da je ETP najnižja v zimskih mesecih, najvišja pa v poletnih. Meseca julija je ETP celo večja od količine padavin, zato je vodna bilanca v tem mesecu negativna (-11,18 mm). Vodna bilanca je najvišja v mesecu novembru (155,7 mm), sledita mu meseca december (151,17 mm) in oktober (121,1 mm). V povprečju znaša letna višina padavin 1598,73 mm, vsota letne ETP je 618,09 mm, višina letne vodne bilance pa je 980,64 mm [11].

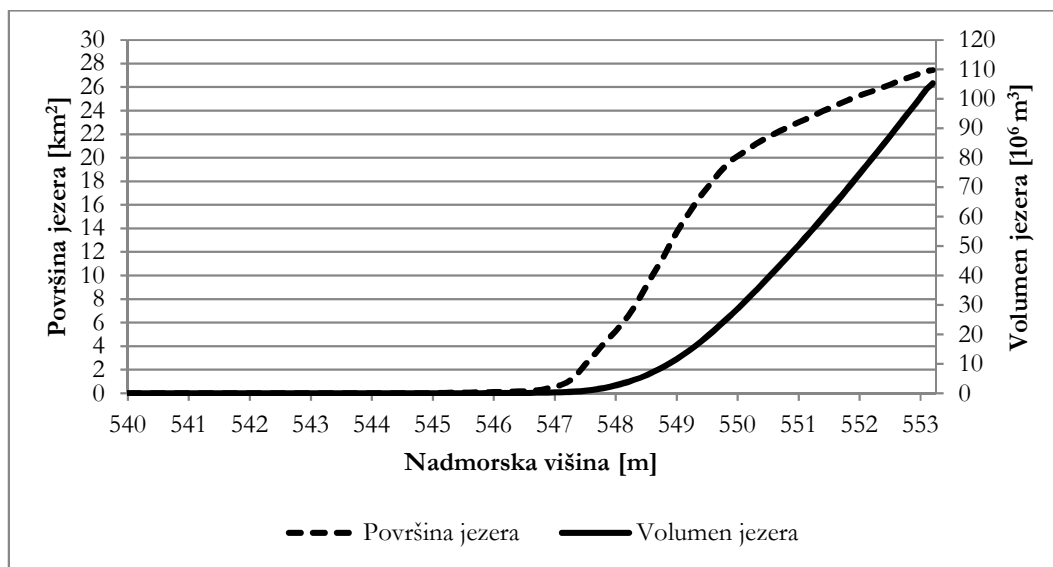
4. Vodna bilanca v obdobju 2004-2014

Vodno bilanco Cerkniškega jezera smo izračunali glede na spremembo volumna vode v jezeru in količino odtekle vode iz jezera, glede na aktivacijo požiralnikov na različnih nadmorskih višinah.

4.1 Digitalni model višin

Za izdelavo digitalnega modela višin smo uporabili podatke pridobljene na GURS-u, ki so bili pripravljeni na osnovi aerosnemanja Slovenije, ki je bilo dokončano leta 2014. Uporabljeni so bili podatki Digitalnega modela višin 5 x 5 m (v nadaljevanju DMV 5). Podatki so zapisani v formatu YXZ. [12], [13]

V programu AutoCAD Civil 3d smo pripravili tridimenzionalno ploskev terena dna Cerkniškega polja. Zaradi prevelikega števila podatkov, katero je predstavljalo omejitev za obdelavo, smo območje Cerkniškega polja omejili s plastnico 560 m (rob polja). To je bila osnova za izračun ploščin in volumnov vode, ki nastanejo pri različnih vodostajih. Le-te smo izračunali za vsak centimeter dviga gladine vode, vse do najvišje izmerjene višine vode v jezeru, to je do nadmorske višine 553,17 m. Rezultati so prikazani na Sliki 2.



Slika 2 Površina in prostornina jezerske vode pri različnih vodostajih

4.2 Padavine v obdobju 2004-2014

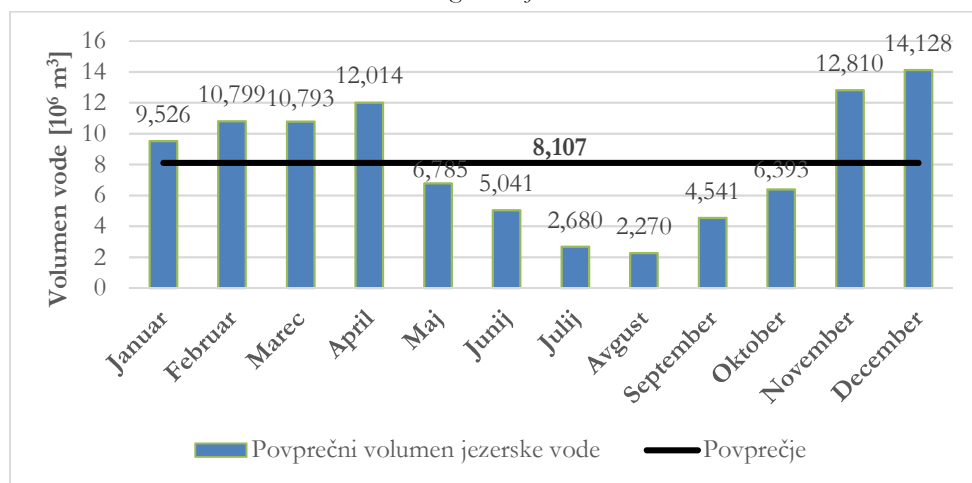
V obdobju raziskovanih let, to je med letoma 2004 in 2014, je v hidrološkem zaledju Cerknškega jezera delovalo šest padavinskih postaj: Cerknica, Mašun, Šmarata, Babno polje, Nova vas na Blokah in Sveti Vid. V tem obdobju sta delovali še dve postaji v bližini hidrološkega zaledja, Juršče in Hrib, kateri smo tudi upoštevali pri izračunu povprečne višine padavin. [11] Količino padavin hidrološkega zaledja Cerknškega jezera smo izračunali s pomočjo metode Thiessenovih poligonov.

4.3 Prostornina jezerske vode v obdobju 2004-2014

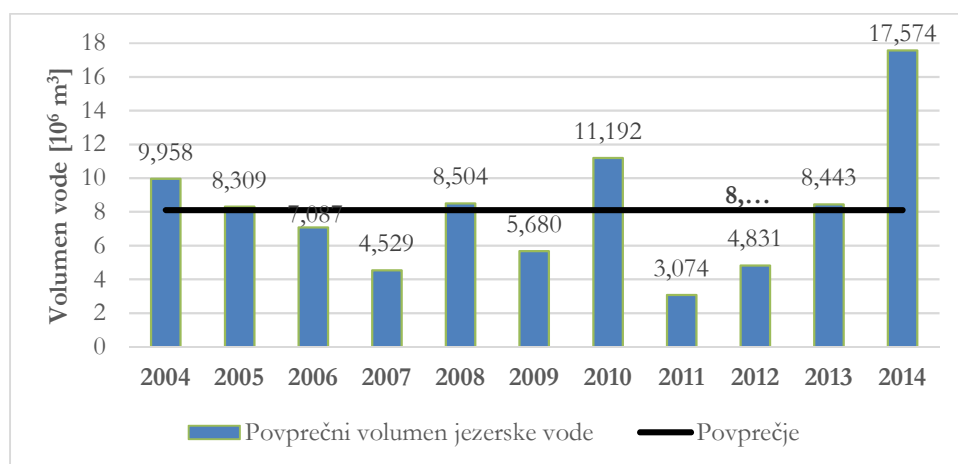
V programu AutoCAD Civil 3D smo iz podatkov DMV 5 izrisali teren Cerknškega polja in glede na nadmorsko višino vodomerne postaje Dolenje Jezero ter višino dnevnega vodostaja na vodometri postaji Dolenje Jezero izračunali dnevne volumne jezerske vode za celotno obravnavano obdobje.

V izbranem obdobju je Cerknško jezero na dnu polja v povprečju obstajalo (vodna gladina $\geq 547,4$ m. n. m) 271 dni v letu. To pomeni, da je jezero v povprečju obstajalo tri četrtine leta, četrtino leta pa je bilo dno Cerknškega polja suho. Leta 2014 je Cerknško jezero najdlje obstajalo (352 dni), leta 2011 pa je obstajalo najmanj časa (178 dni). Torej je med mokrim letom ojezeritev trajala še enkrat dlje časa kot pa med suhim letom. Normalna poplava (vodna gladina 547,4 - 550 m. n. m) je v povprečju trajala 257 dni na leto. Najdaljše trajanje normalne poplave je bilo leta 2005 (308 dni), najkrajše pa leta 2011 (178 dni). Najkrajše trajanje normalne poplave je bilo po pričakovanjih leta 2011, saj je bilo to suho leto. Izredna poplava (vodna gladina > 550 m. n. m) v letih 2006, 2007 in 2011 sploh ni nastopila. Najdaljše trajanje izredne poplave je bilo po pričakovanjih leta 2014 (74 dni), saj je bilo to mokro leto. V povprečju je ta poplava trajala 14 dni na leto.

Povprečni volumni jezerske vode po mesecih v obravnavanem obdobju so prikazani na Sliki 3 in po letih obravnavanega obdobja na Sliki 4.



Slika 3, Povprečni volumni jezerske vode po mesecih v letih 2004 do 2014



Slika 4, Povprečna prostornina jezerske vode po letih od 2004 do 2014

5. Zaključki

S primerjavo mesečnih minimumov in maksimumov padavin z mesečnimi minimumi in maksimumi jezerske vode ugotovljamo, da se primarni padavinski minimum ujema s sekundarnim minimumom količine jezerske vode. Oba nastopita meseca julija. Sekundarni padavinski maksimum nastopi meseca novembra, prav takrat pa nastopi tudi sekundarni maksimum količine jezerske vode. Po pričakovanjih je bilo v jezeru najmanj vode leta 2011 (3,074 milijonov m^3), največ pa leta 2014 (17,574 milijonov m^3), saj je leta 2011 padlo najmanj padavin, leta 2014 pa največ. Razlika v količini jezerske vode teh dveh let je izredno velika, v povprečju 14,5 milijonov m^3 . To pomeni, da je bilo v povprečju leta 2014 skoraj šestkrat več vode v jezeru kot pa leta 2011.

6. Viri

[1] KEBE, J., 2011. Cerkniško jezero in ljudje ob njem. Koper. Ognjišče: str. 17-23, 38, 39, 62-77.

- [2] Notranjski regijski park, (2008). Akcijski plan renaturacije vodotokov na območju Cerknškega jezera. http://life.notranjski-park.si/cmsfiles/cf_589.pdf (dostop 3. september 2015.)
- [3] Cerknško jezero in njegovi raziskovalci, (2009). <http://www.oocities.org/thetropics/island/5410/raziskovalci.htm> (dostop 3. september 2015.)
- [4] Agencija Republike Slovenije za okolje. Atlas okolja. http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXI@Arso (dostop 17. november 2015.)
- [5] Geoportal ARSO. <http://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page> (dostop 24. november 2015.)
- [6] Kranjc, A. 1985. Cerknško jezero in njegove poplave. http://giam.zrc-sazu.si/sites/default/files/zbornik/GZ_2501_071-123.pdf (dostop 28. oktober 2015.)
- [7] Steel, A. 2016. CLC 2012. Copernicus Land Monitoring Services. <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012> (dostop 14. junij 2016.)
- [8] Notranjski regijski park. 2009. Podrobnejši načrt upravljanja za projektno območje Presihajoče Cerknško jezero. http://life.notranjski-park.si/cmsfiles/cf_630.pdf (dostop 3. september 2015.)
- [9] Remec – Rekar, Š., Bat, M. Jezera. http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno_bogastvo_3jezera.pdf (dostop 2. september 2015.)
- [10] Agencija Republike Slovenije za okolje. 2015. Arhiv meritev. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (dostop 5. december 2015.)
- [11] Agencija Republike Slovenije za okolje. 2016. Evapotranspiracija, višina padavin, temperatura zraka na 2 m in 5 cm za izbrano postajo, leto in mesec. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/data/month/> (dostop 1. februar 2016.)
- [12] Geodetska uprava Republike Slovenije. 2014. DMV 5.
- [13] MOP - Geodetska uprava Republike Slovenije. 2015. Digitalni model višin 5 x 5 m (DMV 5). http://www.eprstor.gov.si/si/zbirke_prostorskih_podatkov/topografski_in_kartografski_podatki/digitalni_model_v_isin/digitalni_model_visin_5_x_5_m_dmv_5/ (dostop 8. september 2015.)

IZJEMNA PESTROST EDINSTVENEGA ŽIVALSTVA V PODZEMNIH VODAH SLOVENIJE

Maja Zagmajster, Cene Fišer, Simona Prevorčnik

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Skupina za speleobiologijo,
Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

POVZETEK

V Sloveniji se je začelo načrtno raziskovanje življenja v podzemnih habitatih. Podzemne vode so pomemben ali celo edini življenjski prostor za številne živalske vrste. Slovenija v svetovnem merilu izstopa po visoki vrstni pestrosti izključno podzemnih živali, med katerimi je precej posebnitev. Čeprav je podzemno živalstvo izjemna naravna dediščina, ki prispeva k visoki kvaliteti vode, je večinoma izključeno iz monitoringa voda in presojo primernosti posegov v okolje. Dejavniki z negativnim vplivom na življenje v površinskih vodah delujejo enako tudi v podzemlju, njihov vpliv je tu lahko še povečan. Nezažena raziskovanost podzemnih vrst, ki jih lahko izgubimo še preden jih bomo odkrili, je dodaten razlog za ohranjanje edinstvenosti te, ne le naše, ampak svetovne naravne dediščine. Mednarodna in slovenska zakonodaja sicer varujeta podzemne vode kot ekosistem in posebej tudi nekaj podzemnih vrst, vendar je upoštevanje teh določil in prenos v prakso prej izjema kot pravilo. Ohranjanje izjemne vrstne pestrosti in, posledično, visoke kvalitete podzemnih voda, predstavlja osnovo za dolgoročen trajnostni razvoj države.

Ključne besede:

podzemne vode, podzemno živalstvo, visoka vrstna pestrost, naravna dediščina, ogroženost, Slovenija

1. Podzemne vode – ne le vir pitne vode, tudi življenjsko okolje

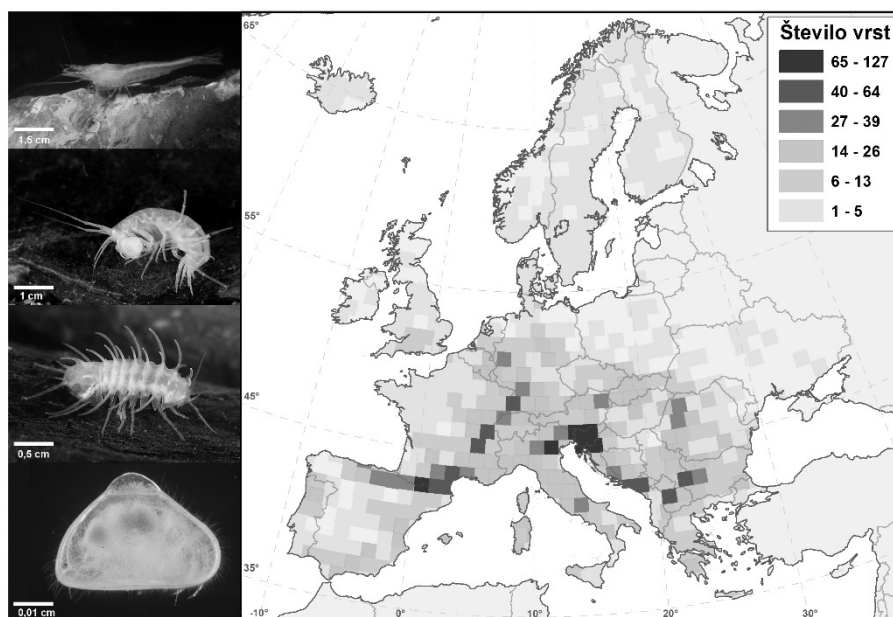
Podzemna voda je neprecenljiv vir kakovostne pitne vode, nepogrešljiva je tudi v kmetijstvu in industriji (Griebler in Avramov 2015). Poleg tega, da je pomembna za normalno delovanje ekosistemov na površju, je tudi sama posebno življenjsko okolje. Za razliko od površinskih, spremljanje stanja podzemnih voda zaenkrat vključuje le oceno njihovega kemijskega in količinskega, ne pa tudi biološkega stanja. Pomen podzemne vode kot obsežnega življenjskega prostora z edinstvenimi prebivalci, ostaja večinoma prezrt.

Bistvena razlika podzemnih okolij od površinskih je odsotnost svetlobe in rastlin, zato so živali v njih odvisne od vnosa hranil s površja. Nihanje temperature z oddaljenostjo od površja hitro upade (Sket in Velkovrh 1981; Culver in Pipan 2009). Živali, ki živijo v vodonosnikih z medzrnsko (v t.i. intersticijski vodi) in tistih s kraško in razpoklinsko poroznostjo (v t.i. jamski vodi), so lahko tu le slučajno ali občasno, številne pa živijo izključno tu (t.i. vodni troglobionti ali stigobionti). Ti predstavljajo 8% vrst vseh sladkovodnih živali v Evropi (Sket 1999). Stigobionti imajo večinoma majhna območja razširjenosti, t.j. so ozko endemični (Trontelj in sod. 2009; Zagmajster in sod. 2014).

2. Slovenija je svetovna vroča točka edinstvenega podzemnega živalstva

Na svetu je več kot 6700 stigobiotskih vrst, od tega približno 1800 v Evropi (Gibert in Culver 2009). Njihova vrstna pestrost je najvišja v zmernih zemljepisnih širinah (Culver in Sket 2000; Deharveng in sod. 2009; Zagmajster in sod. 2014). Prav severozahodni del Dinarskega krasa, ki obsega celotno južno Slovenijo, je svetovna vroča točka v podzemni biodiverziteti (Sket 2012), še posebej vodni (slika 1). V Sloveniji je bilo najdenih več kot 200 stigobiotskih vrst (Sket 1999). Postojnsko-Planinski jamski sistem je z vrstami najbogatejši jamski sistem na svetu, od skupno 99 podzemnih vrst je kar 62 vodnih (Sket 2004). V Sloveniji pa so tudi izjemno bogate intersticialne vode prodišč: podtalnica na Ljubljanskem polju je dom kar 29 stigobiontom (Zagmajster in sod. 2015).

V Sloveniji živi precej podzemnih posebnicev, med katerimi je najbolj znana človeška ribica (*Proteus anguinus* Laurenti, 1768). Njena temna podvrsta, imenovana tudi parkelj (*Proteus anguinus parkelj* Sket & Arntzen, 1994), živi samo v jamskih vodah okoli Črnomlja. Edinega podzemnega ožigalkarja velkovrhijo (*Velkovrhia enigmatica* Matjašič & Sket, 1971), so doslej našli le v petih jamah od južne Slovenije do Hercegovine (Zagmajster in sod. 2013). Črv cevkar marifugija (*Marifugia cavatica* Absolon & Hrabe, 1930) je edini podzemni sladkovodni predstavnik med okoli 10.000 pretežno morskimi vrstami na svetu (Glasby in Timm 2008). Le v intersticialnih vodah žive npr. drobni raki peščinarji (Bathynellacea), s črvastim telesom prirejenim za življenje v majhnih prostorih.



Slika 1. Razporeditev vrstne pestrosti podzemnih rakov v Evropi, izražene v številu vrst v 100x100 km velikih kvadratih (povzeto iz študije Zagmajster s sod. 2014). Vidna je izjemna pestrost v Sloveniji. Na fotografijah je nekaj predstavnikov podzemnih rakov vključenih v analizo, od zgoraj navzdol si sledijo: jamska kozica *Troglocaris anophthalmus* (foto: M. Zagmajster), slepa postranica *Niphargus arbuter* (foto: T. Delić), jamski ježek *Monolistra spinosissima* (foto: T. Delić) in dvoklopnik *Typhocypris cavicola* (foto: N. Mori).

3. Podzemno živalstvo – raziskovalni izziv

Načrtne raziskave podzemnega živalstva so se pričele šele v prvi polovici 19. stoletja, z najdbo jamskega hrošča drobnovratnika (*Leptodirus hochenwartii* Schmidt, 1832) v Postojnski jami

in njegovim opisom kot podzemne živali. Tako velja prav slovenski kras za “zibelko speleobiologije”, raziskovalne discipline, ki proučuje živalstvo različnih podzemnih habitatov. Dolgo tradicijo teh raziskav, predvsem živalstva podzemnih voda, tako znanstveno kot pedagoško vzdržujemo v Skupini za speleobiologijo na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Terensko vzorčenje stigobiontov je lahko fizično in časovno zahtevno (npr. premagovanje jamskih brezen), včasih zahteva posebno opremo (slika 2). Celovito popisovanje stigobiontov zahteva večkratno obiskovanje lokacij, ker so živali redke, pogosto skrite v nam nedostopnih razpokah. Temu se težko izognemo, morda pa nam bo v prihodnje pri raziskavah razširjenosti vrst v pomoč t.i. analiza okoljske DNA. To je metoda za zaznavo minimalne količine DNA živali v vodi, kar trenutno preizkušajo na primeru človeške ribice (Gorički in sod., v recenziji).



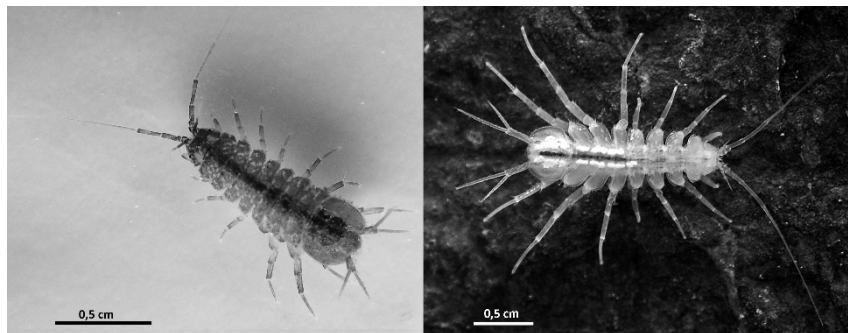
Slika 2. Podzemno živalstvo nabiramo z različnimi tehnikami. Zgoraj: uporaba Bou-Rouch sonde za črpanje vode z intersticialnimi živalmi iz prodišč (levo); vzorčenje izvirov, kjer nekatere podzemne živali pridejo na površje (desno). Spodaj: za vstop v večino jam je treba uporabiti jamarsko vrtno tehniko (levo); vzorčenje z vodno mrežo (sredina); vzorčenje s potapljanjem (desno). Vse foto: M. Zagmajster.

Identifikacijo stigobiontov pogosto otežuje izrazita morfološka podobnost tudi med nesorodnimi vrstami, ki je lahko posledica življenja v podobnih življenjskih razmerah. Oceno o tem, ali so minimalne razlike med osebki posledica geografske oddaljenosti ali pa te res pripadajo različnim vrstam, dodatno ovira majhnost vzorcev (Fišer in Zagmajster 2009). S prelomno uvedbo raziskovanja zaporedij DNA pred ca. 15 leti, se je veliko na videz komajda različnih stigobiotskih populacij izkazalo za prave vrste, ločene že več milijonov let. Tak kompleks t.i. kriptičnih vrst, je tudi že desetletja proučevana človeška ribica (Gorički in Trontelj 2006). Le del novo odkritih vrst je že opisan. Vseskozi dopolnjujemo knjižnico DNA zaporedij, ki je že ali še bo v pomoč tudi pri prepoznavi vrst. Analize DNA lahko služijo tudi za pridobivanje ocen o velikosti populacij, ki za podzemne živali manjkajo. Ta pristop uporabljamo v aplikativnem raziskovalnem projektu namenjenem razvoju znanstvenih temeljev za varstvo človeške ribice (Trontelj in Zakšek 2016).

Slovensko podzemlje je edinstven naravni evolucijski laboratorij. Raziskave kažejo, da je prav tu center nastanka številnih vrst, predvsem podzemnih rakov (Zakšek in sod. 2007; Verovnik in sod. 2009; Meleg in sod. 2013; Fišer in sod. 2015). Njihova večkratna in neodvisna vselitve v podzemlje na različnih lokacijah omogoča proučevanje prilagajanja živali ob vselitvi v novo okolje; prilagajanje še vedno poteka npr. pri vodnem osličku (*Asellus aquaticus* (Linné, 1758)), ki je zato ena od modelnih živali za raziskave (slika 3; Konec in sod. 2015).

Nenazadnje, če želimo poznati in razumeti razloge za prostorsko razporeditev stigobiontov, moramo imeti na voljo dovolj podatkov o njihovi razširjenosti. Podatki iz številnih literaturnih virov in lastnih terenskih raziskav so zajeti v naši podatkovni zbirki SubBioDB (Zagmajster in

sod., v pripravi). Geografski obseg zbirke predstavljajo predvsem Dinaridi z okolico, za izbrane živalske skupine pa tudi večja geografska območja. Zbirka trenutno vključuje preko 35.000 podatkov o razširjenosti več kot 5.000 taksonov ter zbirko njihovih molekulskih in morfoloških podatkov. Zaenkrat je celotna zbirka dostopna le registriranim uporabnikom, vsi obiskovalci pa si lahko izdelajo zemljevid razširjenosti za izbrano vrsto na naslovu <http://subbio.net/db>.



Slika 3. Rak vodni osliček (Asellus aquaticus) živi tako v površinskih kot v jamskih vodah. Levo: pigmentiran in okat površinski osliček A. a. aquaticus (foto: S. Prevorčnik) in desno: depigmentiran jamski osliček A. a. cavernicolus, ki je brez oči in ima podaljšane okončine (foto: Ž. Fišer).

4. Viri groženj in zakonsko varstvo podzemnega vodnega živalstva

Na podzemne vode negativno vplivajo številne dejavnosti, ki ogrožajo tudi živali v površinskih vodah. Ti učinki so v podzemnih vodah še izrazitejši, ranljivost stigobiontov pa še dodatno povečujeta njihov endemizem (mnogo je znanih le iz ene, dveh lokacij) in nizka stopnja reprodukcije (Malard in sod. 1994; Notenboom in sod. 1994; Sket 1999).

Onesnažila, ki pronikajo v podzemlje, so zlasti v globljih kraških in nekraških vodonosnikih vir kroničnega stresa ali celo smrtonosna za stigobionte, ki so v stiku z onesnaženo vodo in sedimenti. Dejavnosti, ki zmanjšajo ali prekinajo povezavo med površjem in podzemljem (npr. regulacije rečnih strug, črpanje podtalnice), oropajo stigobionte hranil nujnih za življenje. Enako težaven kot prekinjen je zanje tudi pretiran vnos hranil; tako onesnaženje nanje nima le neposrednega ampak tudi posreden negativni učinek, s tem, da omogoči vdor energetsko zahtevnejših živali s površja (Sket in Velkovrh 1981).

Stigobionte ogroža tudi fizično spreminjanje njihovega življenjskega okolja, najbolj neposredno v primeru odstranitve, npr. ob odvozu proda s prodišč ali uničenju jamskih habitatov ob gradbenih posegih. Tudi posegi na rekah, npr. ob izgradnji jezov, uničijo življenjski prostor v rečnih prodiščih pred jezom zaradi zastajanja vode in posledičnega zablatenja intersticijskih prostorov (Perrow in sod. 2002).

Nekateri stigobionti so uvrščeni na nacionalni (Ur. l. RS, št. 82/2002) in/ali mednarodni (www.iucn.org) Rdeči seznam ogroženih živalskih vrst; a te bi morali dopolniti in posodobiti na podlagi podatkov, ki bi izhajali iz boljšega poznavanja razširjenosti in ekologije vrst. Podzemne vode so kot habitat vključene v nekatere mednarodne in nacionalne predpise. Pri nas so le Škocjanske jame uvrščene med pomembna podzemna mokrišča po Ramsarski konvenciji. Podzemne vode kot ekosistem so vključili v evropsko »Vodno direktivo« (2006/118/EC), ki poleg pomena vira pitne vode poudarja tudi varstvo podzemnih ekosistemov (Danielopol in sod. 2007), še posebej v Direktivi o podzemnih vodah (Direktiva 2000/60/ES). Ta vidik je – nerazumljivo in nerazumno – ostal izključen iz slovenske Uredbe o stanju podzemnih voda (Ur. l. RS, št. 25/09, 68/12). Evropska »Habitatna direktiva« med habitate posebnega varstvenega pomena (Uredba o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000), Ur. l. RS št. 49/04) vključuje številne podzemne jame, od stigobiontov pa vrstno

varuje človeško ribico in školjko kongerijo (*Congerius kuseri* Bole, 1962). V Uredbi o zavarovanih prosto živečih živalskih vrstah (Ur. l. RS, št. 46/04) je vrstno poleg teh dveh stigobiontov zavarovan še rak jamska veslavka (*Sphaeromides virei* (Brian, 1923)), medtem ko je na seznamu habitatnega varstva v okviru te uredbe navedenih več stigobiontov. Stigobionte iz jamskih voda posredno ščiti Zakon o varstvu podzemnih jam (Ur. l. RS, št. 02/04 in 64/14 – ZON-C), ki varuje jame kot habitat. Krovni slovenski naravovarstveni zakon, Zakon o ohranjanju narave (Ur. l. RS, št. 96/04), v svojem 14. členu pravi: »Zniževati število rastlin ali živali posameznih populacij, ožati njihove habitate ali slabšati njihove življenjske razmere do take mere, da je vrsta ogrožena, je prepovedano.«, ki pa ostaja v praksi prezrt. Tako so stigobionti, še posebej nejamski, večinoma izključeni iz postopkov presoje vpliva posegov na okolje, pa čeprav imajo ti potencialno negativen ali uničujoč vpliv na njihov habitat.

5. Zakaj varovati podzemno živalstvo?

Podzemno živalstvo je ne le neprecenljiva slovenska, ampak tudi svetovna naravna dediščina. Večina nacionalnih endemitov, tj. vrst, ki živijo znotraj političnih meja Slovenije, živi pravzaprav pod zemljo. Neizodostna raziskanost podzemnih vrst, ki jih lahko izgubimo še preden jih bomo odkrili, je le še dodaten razlog za obvezo, da to bogastvo zaščitimo. Številni stigobionti igrajo pomembno vlogo pri kroženju in ohranjanju kvalitete vode. Prav v svetovnem merilu izstopajoča vrstna pestrost in z njo povezana čista voda sta priložnost za dolgoročni trajnostni razvoj države. Obstoječo nacionalno in mednarodno varstveno zakonodajo bi zato morali začeti dosledno upoštevati v praksi, kar je še vedno prej izjema kot pravilo.

6. Zahvala

Za pripombe na zgodnje verzije besedila smo hvaležni T. Deliću, Ž. Fišerju, B. Sketu, P. Trontlju in V. Zakšek, članom Skupine za speleobiologijo OB BF UL. Raziskave podpira ARRS, v okviru raziskovalnega programa Integrativna zoologija in speleobiologija (P1-0184) in aplikativnega projekta Znanstveni temelji za varstvo človeške ribice (*Proteus anguinus*): metodologija monitoringa, ocena izhodiščnega stanja ter identifikacija varstveno pomembnih enot (L1-6731).

7. Viri

CULVER, D.C. AND PIPAN, T., 2009. The biology of caves and other subterranean habitats. New York: Oxford University Press.

CULVER, D.C. AND SKET, B., 2000. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. Journal of Cave and Karst Studies, 62, 11-17.

DANIELOPOL, D., GRIEBLER, C., GUNTILAKA, A., HAHN, H.J., GIBERT, T.J., MERMILLOD-BLONDIN, F., MESSANA, G., NOTENBOOM, J., SKET, B., 2007. Incorporation of groundwater ecology in environmental policy. V: P. Quevauviller, ur. Groundwater science and policy: an international overview. RSC Publishing, 671-689.

DEHARVENG, L., STOCH, F., GIBERT, J., BEDOS, A., GALASSI, D.M.P., ZAGMAJSTER, M., BRANCELJ, A., CAMACHO, A.I., FIERS, F., MARTIN, P., GIANI, N., MAGNIEZ, G., MARMONIER, P., 2009. Groundwater biodiversity in Europe. Freshwater Biology, 54(4), 709-726.

FIŠER, Ž., ALTERMATT, F., ZAKŠEK, V., KNAPIČ, T., FIŠER, C., 2015. Morphologically cryptic Amphipod species are 'ecological clones' at regional but not at local scale: a case study of four Niphargus species. PLoS ONE 10: e0134384.

FIŠER, C. AND ZAGMAJSTER, M., 2009. Cryptic species from cryptic space: the case of Niphargus fongi sp. n. (Amphipoda, Niphargidae). Crustaceana, 82, 593-614.

- GIBERT, J., CULVER, D.C., DOLE-OLIVIER, M.J., MALARD, F., CHRISTMAN, M.C., DEHARVENG, L., 2009. Assessing and conserving groundwater biodiversity: synthesis and perspectives. *Freshwater biology*, 54, 930-941.
- GLASBY, C.J. AND TIMM, T., 2008. Global diversity of polychaetes (Polychaeta; Annelida) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 107-115.
- GORIČKI, Š. AND TRONTELJ, P., 2006. Structure and evolution of the mitochondrial control region and flanking sequences in the European cave salamander *Proteus anguinus*. *Gene*, 378, 31-41.
- GRIEBLER, C. AND AVRAMOV, M., 2015. Groundwater ecosystem services: a review. *Freshwater Science*, 34, 355-367.
- KONEC, M., PREVORČNIK, S., SARBU, S.M., VEROVNIK, R., TRONTELJ, P., 2015. Parallels between two geographically and ecologically disparate cave invasions by the same species, *Asellus aquaticus* (Isopoda, Crustacea). *Journal of Evolutionary Biology*, 28, 864-875.
- MALARD, F., REYGROBELLET, J.L., MATHIEU, J., LAFONT, M., 1994. The use of invertebrate communities to describe groundwater flow and contaminant transport in a fractured rock aquifer. *Archiv für Hydrobiologie*, 131, 93-110.
- MELEG, I.N., ZAKŠEK, V., FIŠER, C., KELEMEN, B.S., MOLDOVAN, O.T., 2013. Can environment predict cryptic diversity? The case of *Niphargus* inhabiting Western Carpathian groundwater. *PLoS ONE* 8: e7676
- PERROW, M.R., TOMLINSON, M.L., ZAMBRANO, I., 2002. Fish. V: M.R. Perrow, A.J. Davy, ur. *Handbook of ecological restoration*, Vol. 1: Principles of restoration. Cambridge: Cambridge University Press, 324-354.
- SKET, B., 1999. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. *Biodiversity & Conservation*, 8(10), 1319-1338.
- SKET, B. AND VELKOVHRH, F., 1981. Postojnsko-Planinski jamski sistem kot model za preučevanje onesnaženosti podzemeljskih voda. *Naše jame*, 22, 27-44.
- SKET, B., 2004. Dinaric karst: biospeleology. V: J.j. Gunn, ur. *Encyclopedia of cave and karst science*. New York London: Fitzroy Dearborn, 289-291.
- TRONTELJ, P. AND ZAKŠEK, V., 2016. Genetic monitoring of *Proteus* populations. *Natura Sloveniae*, 8(1), 53-54.
- VEROVNIK, R., PREVORČNIK, S., JUGOVIC, J., 2009. Description of a neotype for *Asellus aquaticus* Linné, 1758 (Crustacea: Isopoda: Asellidae), with description of a new subterranean *Asellus* species from Europe. *Zoologischer Anzeiger*, 248, 101-118.
- ZAGMAJSTER, M., DELIĆ, T., PREVORČNIK, S., ZAKŠEK, V., 2013. New records and unusual morphology of the cave hydrozoan *Velkovrhia enigmatica* Matjašič & Sket, 1971 (Cnidaria: Hydrozoa: Bougainvilliidae). *Natura Sloveniae*, 15, 13-22.
- ZAGMAJSTER, M., EME, D., FIŠER, C., GALASSI, D., MARMONIER, P., STOCH, F., CORNU, J.F., MALARD, F., 2014. Geographic variation in range size and beta diversity of groundwater crustaceans: Insights from habitats with low thermal seasonality. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 1135-1145.
- ZAGMAJSTER, M., FIŠER, C., PREVORČNIK, S., SKET, B., 2015. Seznam troglobiontov v podzemnih vodah reke Save. Delovno gradivo. Skupina za speleobiologijo, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, 4 str.
- ZAKŠEK, V., SKET, B., TRONTELJ, P., 2007. Phylogeny of the cave shrimp *Troglocaris*: Evidence of a young connection between Balkans and Caucasus. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 42, 223-235.

RABA PROSTORA IN OSKRBA S PITNO VODO – RAZLIČNI INTERESI DELEŽNIKOV V PROSTORU

mag. Branka Bračič Železnik¹, asist. dr. Anja Torkar², doc. dr. Primož Banovec³, Ajda Cilenšek³ & doc. dr. Barbara Čenčur Curk²

¹JP Vodovod-Kanalizacija d.o.o., Vodovodna cesta 90, 1000 Ljubljana, ²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Privoz 11, 1000 Ljubljana, ³Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za okoljsko gradbeništvo, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana, Slovenija

ABSTRACT

Podzemna voda, ki predstavlja večino pitne vode v Ljubljani in v Sloveniji, predstavlja skrito bogastvo in tega se je potrebno zavedati, ko načrtujemo prostorske načrte in rabo prostora. S problematiko zaščite vodnih virov in z učinkovitimi praksami upravljanja prostora se ukvarja projekt PROLINE-CE, ki se izvaja v okviru programa Srednja Evropa. Kot pilotno območje je bilo v okviru projekta izbrano območje rezervnega vira pitne vode v Kosezah. Zaradi svoje lokacije v Draveljski dolini je na tem območju visok pritisk na rabo prostora, prav tako je območje poplavno z neustrezno urejeno odvodnjo površinskih voda, ki prihajajo iz zaledja. V projektu bomo preučevali konflikte rabe prostora protipoplavne ukrepe in varovanje virov pitne vode, poleg tega je cilje projekta povezati vse deležnike na širšem območju vodnega vira.

Ključne besede:

zaščita vodnih virov pitne vode, upravljanje z vodami, raba prostora, Ljubljana

1. Uvod

Javna oskrba s pitno vodo v Ljubljani bo v maju 2017 praznovala častitljivih 127 let. Izbira lokacije za prvo vodarno, vodarno Kleče, je sledila rabi prostora v letu 1890. V tistem obdobju kmetijska dejavnost ni bila prepoznana kot raba prostora, ki ogroža kakovost podzemne vode, zato so bili prvi vodnjaki izkopani sredi kmetijskih površin. V naslednjih 100 letih so se urbana območja Ljubljana povečala za nekajkrat, na obrobju mesta so nastala industrijska območja, na vodovarstvenih območjih pa se je tradicionalno ohranila kmetijska raba prostora. Širjenje mesta, vzpostavitev industrijskih območij, umeščanje obvoznice in novih cest v prostor, intenzivna proizvodnja zelenjave, vse to pušča močan pečat na kakovosti podzemne vode.

Stroka tistega obdobja se je zavedala, da je potrebno določene aktivnosti na prispevnih območjih vodarne prepovedati oziroma omejiti, zato je bil l. 1955 sprejet prvi občinski odlok o varovanju pitne vode. Odlok je pravočasno preprečil pozidavo vplivnega območja vodarne Kleče in ožjega območja vodarne Hrastje. Pomanjkljivost odloka je bila, da ob gradnji novih sosesk le-ta ni zahteval izgradnje kanalizacije. Prepovedi odloka so popustile pod pritiski in generalni urbanistični načrt iz leta 1966 je dovolil gradnjo novih sosesk v prispevnih območjih vodarne Kleče in Hrastje. Ob izdaji lokacijske odločbe za novo gradnjo je sicer bila izdana zahteva po obveznem priključku na kanalizacijo, ki je bila načrtovana in naj bi se zgradila kasneje, vendar so nekatera območja še vedno komunalno neurejena.

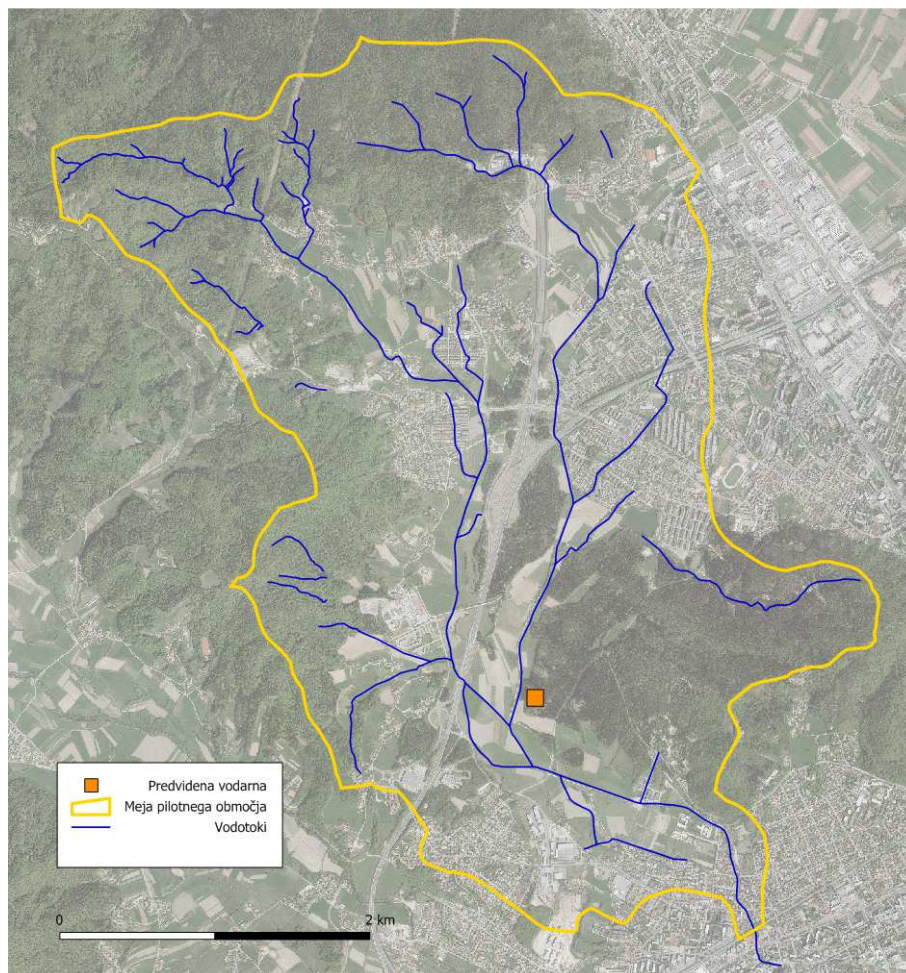
Zaradi potencialne ogroženosti obstoječih virov pitne vode je Mestna občina Ljubljana je v občinskem prostorskem načrtu predvidela rezervni vodni vir na območju Kosez, v Draveljski

dolini. Rezervni vodni vir se nahaja v Krajinskem parku Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib. Širše območje je naseljeno, prečka ga avtocesta, vendar geološka zgradba območja, 20 m debela krovna plast gline, ščiti podzemno vodo.

2. Raba prostora in varovanje virov pitne vode

Zaradi širjenja mesta so potrebe po čisti, zdravi pitni vodi vedno večje in bolj zaželeni. Podzemna voda, ki predstavlja večino pitne vode v Sloveniji ter prav tako v Ljubljani, predstavlja skrito bogastvo in tega se je potrebno zavedati, ko načrtujemo prostorske načrte in rabo prostora. Kar pred 100 leti ni bilo prepoznano kot grožnja kakovosti pitne vode, npr. kmetijstvo, danes pušča zelo močan pečat na kakovosti podzemne vode.

S problematiko zaščite vodnih virov in učinkovitimi praksami upravljanja prostora se ukvarja projekt v okviru programa Srednja Evropa PROLINE-CE (Učinkovite prakse upravljanja s prostorom z vključevanjem zaščite vodnih virov in negradbenih protipoplavnih ukrepov). Ključni cilji projekta so v zvezi z rabo prostora in z upravljanjem vodnih virov pitne vode: (1) zaščita virov pitne vode, (2) medsebojno povezovanje navzkrižnih interesov rabe zemljišč, varstva okolja in zaščita vodnih virov, (3) zmanjševanje vplivov poplav in suš na vire pitne vode, (4) prilagajanja podnebnim spremembam.



Slika 1 Pilotno območje s predvideno lokacijo vodarne Koseže.

Dejavnosti rabe prostora, ki vplivajo na kakovost in količino podzemne vode so poselitev, obrtna in industrijska območja, poljedelstvo, gozdovi, pašniki in transport. Poselitev na kakovost podzemne vode vpliva z neurejenim odvajanjem odpadnih voda ali puščanjem kanalizacije ter z uporabo pesticidov na športnih površinah, v parkih in na pokopališčih. Industrijska območja lahko vplivajo na kakovost podzemne vode z neustreznimi izpusti strupenih snovi in s težkimi kovinami. Zaradi kmetijstva je podzemna voda onesnažena z nitrati, pesticidi in njihovimi razgradnimi produkti. Gozdovi imajo pozitiven učinek na kakovost podzemne vode, saj predstavljajo bariero med vodnimi viri in onesnaževanjem iz urbanega okolja in s kmetijskih površin. Transport ima tudi negativne posledice na kakovost podzemne vode, če prihaja do neustreznega odvajanja padavinske vode s cestnišč. Prav tako so okolju in podzemni vodi neprijazna pretirana uporaba soli v času zmrzovanja cest.

V projektu je bilo kot pilotno območje izbrano območje rezervnega vira pitne vode v Kosezah (Slika 1). Zaradi svoje lokacije v predmestju Ljubljane je na tem območju visok pritisk na rabo prostora. Prav tako je Draveljska dolina poplavno območje z neustrezno urejeno odvodnjo površinskih voda, ki prihajajo iz zaledja. Večino teh vod se steka v mestno kanalizacijo, ki pa ob visokih vodah ne more odvesti toliko vode. Meritve in scenariji podnebnih sprememb kažejo na povečanje pogostnosti intenzivnejših nalivov in pojavljanja poplav v prihodnosti, zaradi česar je potrebno najti rešitve in ukrepe. Potrebno je usklajeno upravljanje rabe prostora, zaščite pred poplavami in vodnih virov, ki so predpogoj za kakovostno pitno vodo in življenje.

3. Zaključek

Cilj projekta PROLINE-CE je med seboj povezati vse deležnike na širšem območju vodnega vira, medsebojno sodelovanje in povečana aktivnost deležnikov. Kljub temu, da je podzemna voda na območju Ljubljane kakovosten vir pitne vode, pa posamezne aktivnosti na vodovarstvenih območjih in posledično pojavi onesnaženj opozarjajo na to, da moramo v bodoče zelo premišljeno in nadzorovano posegati v prostor, saj lahko le tako ohranimo kvalitetno podzemno vodo. Interes po ohranitvi in zagotavljanju zdrave pitne vode mora biti prvi interes v prostoru, ostali interesi pa se mu morajo prilagoditi in podrediti.
