

NARAVNI ČISTILNI SISTEMI KOT INOVATIVNI PRISTOPI ZA ČIŠČENJE VODE NA PRIMERU ČEZMEJNEGA OBMOČJA MED MURO IN DRAVO – GAJŠEVSKO JEZERO

NATURAL CLEANING SYSTEMS AS INOVATION APPROACHES FOR CLEAN WATER (IN THE CASE OF CROSS-BORDER REGION BETWEEN MURA AND DRAVA – GAJŠEVSKO LAKE)

Ana VOVK KORŽE

Univerza v Mariboru
Filozofska fakulteta
Oddelek za geografijo
ana.vovk@um.si

Primljeno/Received: 14. 3. 2017.

Prihvaćeno/Accepted: 5. 6. 2017.

Izvorni znanstveni rad

Original scientific paper

UDK/UDC 556.18(497.4:497.5)“2014/2015”

502.64:628.1.033

Silvija ZEMAN

Međimursko veleučilište u Čakovcu
szeman@mev.hr

POVZETEK

Skrb za zdravo pitno vodo izhaja iz osnovnih človekovih potreb, saj je potrebno po mednarodni konvenciji na vseh ravneh zagotoviti čisto zdravo vodo za vse. Zato se občine in lokalne skupnosti že desetletja prijavljajo na razpise za pridobitev finančnih sredstev za sofinanciranje čistilnih naprav, saj prav odpadna voda iz gospodinjstev, ki teče v vodotoke, onesnažuje tako tekoče kot stoječe vode in podtalnico.

V prispevku je prikazan čezmejni projekt Slovenija – Hrvaška (2014 – 2015) z naslovom Doba voda za vse in prizadevanja, da bi prav preko zmanjševanja odpadnih voda, ki tečejo v reko Ščavnico zmanjšali onesnaževanje vodne akumulacije Gajševsko jezero. Čepav številni monitoringi kažejo slabo stanje vode v tem jezuru, novejšje ugotovitve kažejo, da se jezero zaradi zaraščenosti z vlagoljubno vegetacijo in zaradi močvirnih območij že čisti samo. Zato je bil cilj projekta tudi raziskati možnosti naravnih čistilnih sistemov za vodne akumulacije, kot je Gajševsko jezero.

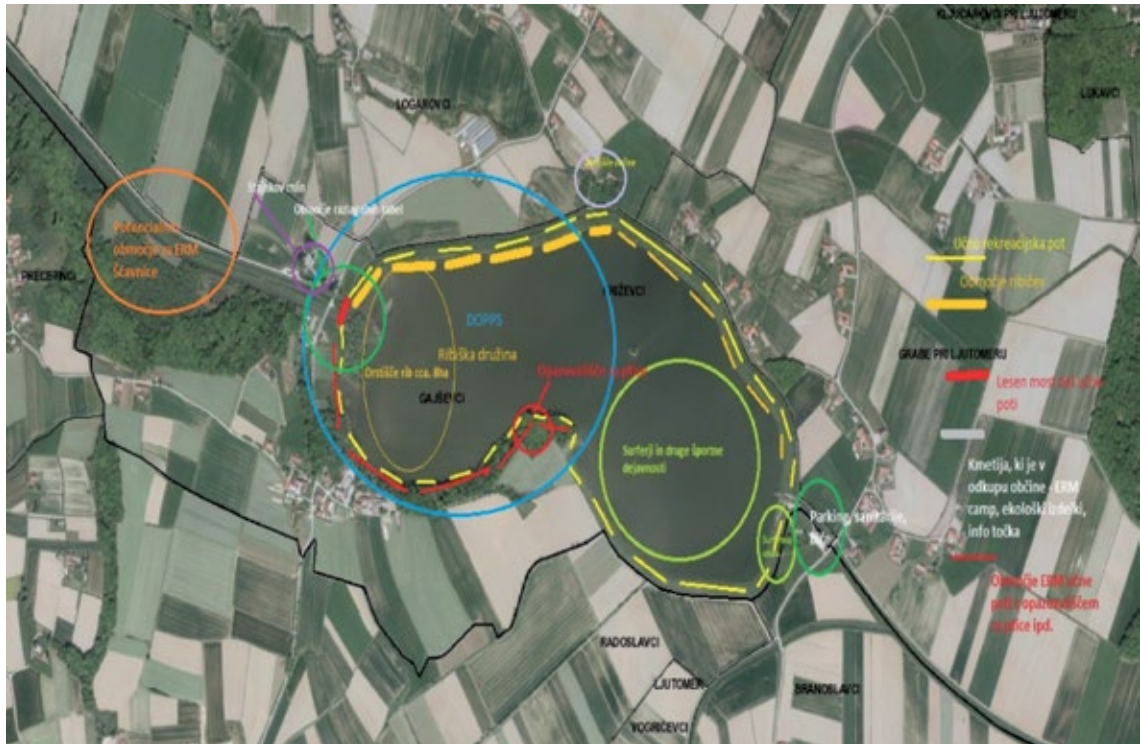
Ključne besede: ekosistemski pristop, čiščenje vode, naravni čistilni sistemi, revitalizacije.

Key words: ecosystem approach, wastewater cleaning, natural wastewater treatment systems, revitalisations.

UVOD

V okviru čezmejnega sodelovanja Slovenija – Hrvaška je potekal projekt v času od septembra 2014 do junija 2015 o trajnostnem upravljanju vodnih virov na območju med Muro in Dravo (<http://www.dobravodazavse.com/>). V projektu so sodelovalne strokovne inštitucije, ki se ukvarjajo z vodami v Sloveniji in na Hrvaškem. Bistveno spoznanje po zaključku projekta je nujnost prehoda iz načrtovalskega pristopa v aplikacijo. Torej številne ukrepe bi bilo potrebno takoj izvajati na vodotokih in stoječih vodah, če bi želeli zagotoviti trajnostno upravljanje.

V prispevku je prikazan primer trajnostnega upravljanja Gajševskega jezera, ki leži pretežno v občini Križevci in delno v občini Ljutomer kot primer dobre prakse za čezmejno območje med Muro in Dravo. Jezero je bilo izbrano kot primer dobre prakse za implementacijo ukrepov v praksi že v okviru čezmejnega sodelovanja med Hrvaško in Slovenijo.



Slika 1. Lega in conacija Gajševskega jezera (www.dobravodazavse).

Zadrževalnik je svoje ime dobil po bližnjem naselju Gajševci. Gajševsko jezero je nastalo leta 1973, z zaježitvijo reke Ščavnice, ko so zalili takratno polje, ki sta ga pred tem pokrivala gozd in travnik. Osnovni namen zaježitve je bil povečati poplavno varnost za prebivalstvo ob reki Ščavnici, ki je v preteklosti večkrat povzročila škodo in ogrožala domačine. Najhujše zabeležene poplave so se tod zgodile v minulem stoletju, predvsem leta 1925. Tudi po tem letu so se domačini večkrat borili z naraslimi vodami. V ta namen so v 80. letih 20. stoletja reko Ščavnico v večini njenega toka dodobra regulirali in uravnali. Po nastanku zaježitve v Gajševcih se je nevarnost poplav bistveno zmanjšala. Tudi v novodobnem času (predvsem v letih 2009 in 2013) je reka še ogrožala okolico, a stanje je bilo bistveno manj nevarno kot pred zaježitvijo.

Jezero je eno izmed še neodkritih naravnih biserov Prlekije, ki še zdaleč ne izkorišča svojih potencialov. Turizem je na splošno slabše razvit in izkoriščen, kot bi lahko bil. Jezero se, kljub onesnaženosti vode, ponaša z pestro biotsko raznovrstnostjo, saj so se razvili nadomestni habitati, prilagojeni na večje koncentracije dušika, ki prihajajo v vodo z reko Ščavnico. Ob njem so svoje gnezdišče našle številne vrste ptic, prav tako je bogata ribja favna in delež dvoživk. O bogati raznovrstnosti rastlinskih vrst ne moremo govoriti, saj je v okolici jezera manj rastlinja, kot bi ga ob kakšnem jezeru morda sprva pričakovali. Brežine so očiščene, prevladuje pokošen travnik, nekoliko bujnejši gozd ob vodi prevladuje le na jugozahodnem delu jezera, kjer pa se je na gladini v zadnjem času krepko razrasel vodni orešek. V okolici prevladujejo skoraj izključno kmetijske obdelovalne površine, od koder se v jezero spirajo pesticidi, ki jih sicer deloma v vodo prinaša tudi veter (Vovk Korže in drugi, 2015).

Gajševsko jezero lahko zadrži 1,93 milijonov m³ vode. Jezero se danes poleg rekreacijskih možnosti izkorišča predvsem za namene športnega ribolova. Del jezera ribiči uporabljajo kot ribogojnico, preostali del pa je večino leta namenjen ribolovu. Podatki dokazujejo, da Gajševsko jezero privablja številne ribiče (predvsem krapolovce) iz celotne Slovenije, v manjšem deležu pa tudi iz tujine (Avstrije, Hrvaške). Jezero za svoje športno udejstvovanje uporabljajo tudi deskarji na vodi (zaradi idealnih vetrovnih pogojev, prevladujoč je zlasti jugozahodnik), katerih pa je zaradi onesnaženosti vode in premajhne dodatne turistične ponudbe ob jezeru vse manj. Okolice jezera pa spada tudi v interesno sfero lokalne

lovske in ribiške družine, DOPPS- a (Društvo za opazovanje in proučevanje ptic Slovenije), okoliških sprehajalcev ter navsezadnje domačinov (Novak, 2014).

Prispevno območje jezera (slika 1) po namembnosti sestavljajo kmetijske površine (59,3 %), gozd (34,6 %) in nerodovitne površine (6,13 %). Na prispevnem območju jezera je v značilnih razpršenih naseljih leta 2010 živelo 13 616 prebivalcev.

METODOLOGIJA

Podatke o Gajševskem jezeru zbira Agencija RS za okolje, ki je zadolžena za izvajanje monitoringa in ocenjevanja stanja kakovosti voda v Sloveniji za obdobje 2007-2012. Del podatkov je bil pridobljen na delavnicah v okviru projekta Dobra voda za vse v letu 2015, ki jih je organiziral in izvajal Mednarodni center za ekoremediacije v sodelovanju s partnerji (www.dobravodaza.vse). Dodatne fizikalne in kemijske analize vode so bile opravljene v laboratoriju Mednarodnega centra za ekoremediacije UM FF. V okviru projekta Dobra voda za vse smo razvili na osnovi tujih spoznanj pristope – naravne čistilne sisteme, ki uspešno zmanjšujejo onesnažila v vodi. Uporabili smo primerjalno metodo in s pomočjo podatkov iz Arhiva Limnos, kjer so spremljali delovanje samočistilnega jarka, pridobili kvantitativne podatke o delovanju naravnih čistilnih sistemov. Ta spoznanja smo povezali z ugotovitvami tujih avtorjev, ki prav tako dokazujejo uspešnost delovanja teh sistemov. V okviru projekta smo izdelali tudi načrt uporabe naravnih čistilnih sistemov za območje Gajševskega jezera, ki je predstavljen na spletni strani projekta Dobra voda za vse (www.dobravodazavse).

STANJE KAKOVOSTI VODE V GAJŠEVSKEM JEZERU

V letu 2007 se je monitoring kakovosti jezer prvič začel izvajati v skladu z Vodno direktivo, ki zahteva določitev kemijskega in ekološkega stanja vodnih teles. V program je bilo poleg obeh naravnih jezer, Blejskega in Bohinjskega, vključeno tudi umetno Velenjsko jezero, rečni akumulaciji Ptujsko jezero in Ormoško jezero ter vsi zadrževalniki v Republiki Sloveniji s površino vodne gladine >0,5 km², ki so po Pravilniku o določitvi in razvrstitvi vodnih teles dobila status kandidatov za močno preoblikovana vodna telesa. To so Šmartinsko, Slivniško, Perniško, Gajševsko in Ledavsko jezero v vodnem območju Donave ter Klivnik, Molja in Vogršček v vodnem območju Jadranskega morja (Kakovost jezer v letu 2007).

Preglednica 1: Gajševsko jezero – vodno telo vključeno v program monitoringa stanja jezer

Šifra VT	Tip VT	Nadmorska višina (m)	Površina (km ²)	Največja globina (m)	Vol. (mio.m ³)	Globina (m)	V zem. širina	S zem. dolžina
SI434VT52	kMPVT	206	0,77	10	2,6	<3 povp.	154883	586581

VIR: ARSO

Legenda: SI434VT52 – vodno telo Gajševsko jezero

JkMPVT – kandidat za močno preoblikovano vodno telo

Ekološko stanje jezer se vrednoti na osnovi stanja bioloških elementov kakovosti (fitoplanktona, fitobentosa in makrofitov, rib in bentoških nevretenčarjev), splošnih fizikalno kemijskih parametrov in posebnih onesnaževal. Kriteriji za vrednotenje so opredeljeni v Uredbi o stanju površinskih voda Ur.l.14/2009. Celovito ekološko stanje se oceni na osnovi najslabše ocenjenega elementa in se podaja za daljše, 3 do 6-letno obdobje (Ocena stanja jezer v Sloveniji v letu 2012, 8). Mejne vrednosti razredov ekološkega stanja za biološke elemente kakovosti jezer so prikazane v tabeli 2.

Razred ekološkega stanja	Razmerje ekološke kakovosti (REK)
ZELO DOBRO	≥ 0,80
DOBRO	0,6 – 0,79
ZMERNO	0,4 – 0,59
SLABO	0,2 – 0,39
ZELO SLABO	<0,2

Preglednica 2: Mejne vrednosti razredov ekološkega stanja za biološke elemente kakovosti jezer

VIR: Kakovost jezer v letu 2009, 18

Preglednica 3: Ekološko stanje Gajševskega jezera po posameznih letih

EKOLOŠKO STANJE	Biološki elementi kakovosti				Posebna onesnaževala			Splošni fi-ke parametri				
	Ocena stanja	MMI_FPL	TI-FB	TI_MA	MMI_BN	Terbutilazin	Metolaklor	Moliboden-filt.	SO ₄	O ₂	Celotni fosfor	Skupni anorganski dušik
Enota	REK	REK	REK	REK	μg/l	μg/l	μg/l	mg/l	mg/l	μg/l	μg/l	
LP-OSK	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	24	150	<1,0*	++	++	
2007					/	/	0,65		9,7	155	2752	
2008					0,47	0,918	0,75		9,7	89	890	
2009					0,78	1,522	/		11,5	122	804	
2010	NDDS	++	++	++	++	/	0,375	/	/	9,1	112	792
2011	NDDS	++	++	++	++	0,29	0,36	-	-	9,5	99	599
2012	/	++	-	-	-	0,4	0,24	-	-	10,1 (>4*)	109	652

VIR: ARSO

Legenda:

LP-OSK - Letno povprečje – okoljski standard kakovosti

NDDS – Ne dosega dobrega stanja

REK – Razmerje ekološke kakovosti

MMI_FPL – Multimetrijski indeks fitoplanktona

TI – FB – Trofični indeks_fitobentos

TI_MA – Trofični indeks_makrofiti

MMI_BN – Multimetrijski indeks bentoških nevretenčarjev

*Izračun 10-percentila

>4* - V zelo plitkih zadrževalnikih vsebnost kisika ni relevanten kriterij za oceno ekološkega standarda

++ Kriteriji v pripravi, parameter se spremlja

- Parameter se ni spremljal

V tabeli 3 so zbrani pridobljeni podatki analiz za biološke elemente, posebna onesnaževala in splošne fizikalno – kemijske parametre. Na osnovi parametrov, ki so bili letno analizirani, lahko le ocenimo ekološko stanje Gajševskega jezera. Opazimo lahko, da v posameznih letih niso bile opravljene meritve vseh parametrov za oceno ekološkega stanja jezera, zato so rezultati pomanjkljivi. Gajševsko jezero se uvršča med močno preoblikovana vodna telesa, zato se za oceno ekološkega stanja lahko uporabi le kriterije za splošne fizikalne in kemijske parametre in posebna onesnaževala, ki veljajo za vsa jezera. Na težavo pri oceni ekološkega standarda Gajševskega jezera naletimo tudi pri vsebnosti kisika, ki je splošni fizikalno kemijski parameter. V izredno plitvih jezerih, kakršno je Gajševsko, ki je s hranili in organskimi snovmi sicer najbolj obremenjeno, se vodne mase stalno mešajo zaradi vetra in stika atmosfere z jezersko površino, zato do pomanjkanja kisika kljub preobremenjenosti ne prihaja. Vsebnost kisika zato v zelo plitvih jezerih ni relevanten kriterij za oceno ekološkega stanja, saj se kisik vmešava iz površine (stične plasti vode in atmosfere).

Na pomanjkljivost pri oceni ekološkega standarda naletimo tudi pri kriterijih za oceno ekološkega potenciala v močno preoblikovanih vodnih telesih, saj kriteriji za ovrednotenje stanja z biološkimi elementi in drugimi splošnimi fizikalno - kemijskimi parametri trenutno še niso izdelani in vrednotenje ekološkega stanja jezera na podlagi bioloških elementov ni možno. Tako je ekološko stanje Gajševskega jezera ovrednoteno le na osnovi splošnih fizikalno kemijskih parametrov in posebnih onesnaževal. Z biološkimi elementi je trenutno možna le ocena ekološkega stanja obeh slovenskih naravnih jezer. Za ostala jezera se določeni parametri (stanje fitoplanktona) zgoj spremljajo.

Prav tako v Sloveniji še nimamo izdelanih kriterijev za vrednotenje hidromorfoloških elementov kakovosti (oblikovanost jezerske sklede, dna in brežin), ki jih je potrebno upoštevati pri razvrstitvi površinske vode v dobro ali zelo dobro ekološko stanje, zato ta element še ni vključen v oceno ekološkega stanja.

Večina zadrževalnikov v Sloveniji, tudi Gajševsko jezero, je podvržena prekomerni obremenitvi s hranilnimi snovmi, predvsem fosforjem. Fosfor je v jezerih ključni biogeni element, ki vpliva na intenzivnost evtrofikacij, to je prezasičenosti vode s hranili.

Od leta 2008 do 2011 je bil presežen okoljski standard za povprečno letno vsebnost triazinskega pesticida metolaklor, kar je vplivalo na to, da Gajševsko jezero ni doseglo kriterijev za dobro ekološko stanje (leta 2010 in 2011). Leta 2009 je bila presežena še povprečna letna koncentracija terbutilazina, ostale izmerjene vrednosti v posameznih letih pa so prav tako blizu mejne koncentracije za dobro stanje, kar kaže na stalno uporabo fitofarmaceutvskih sredstev v okolici Gajševskega jezera. Ostalih parametrov ni mogoče analizirati, saj so meritve za Gajševsko jezero pomanjkljive ali pa sploh niso bile izvedene.

Biološke in kemijske lastnosti vode

V zadrževalnikih se spremlja stanje fitoplanktona, ekološko stanje na osnovi fitoplanktona pa ni ocenjeno, ker kriteriji za oceno ekološkega potenciala, ki se določa v močno spremenjenih in umetnih vodnih telesih, ki ne dosegajo dobrega stanja, trenutno še niso izdelani.

V primeru Gajševskega jezera, ki je podvrženo evtrofikaciji zaradi dotoka vode iz reke Ščavnice, ki teče po kmetijskih površinah, je kot biološki element kakovosti vključen fitoplankton, ki najbolje odraža trofične razmere v vodnem telesu. Parametri in metrike, ki so razviti za vrednotenje posameznih obremenitev jezer, so navedeni v preglednici 4.

Preglednica 4: Parametri in metrike, ki so razviti za vrednotenje posameznih obremenitev jezer

Element kakovosti	Parameter/metrika	Obremenitev, ki jo kaže parameter/metrika
Biološki elementi kakovosti		
Fitoplankton	Multimedijski indeks za fitoplankton (MMI_FP)	Onsnaženje s hranili
Makrofiti in fitobentos	Trofični indeks (TI)	Onsnaženje s hranili
Bentoški nevretenčarji	Multimedijski indeks za bentoške nevretenčarje (MMI_BN)	Hidromorfološke spremembe

VIR: Program monitoringa stanja voda za obdobje 2010 – 2015
http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_gorjak_mojca.pdf diploma makrofiti v Ščavnici

Splošni fizikalno-kemijski parametri

V Uredbi o stanju površinskih voda (Ur.l.RS 14/09) so mejne vrednosti za dobro stanje med splošnimi fizikalno-kemijskimi parametri podane samo za vsebnost kisika v hipolimniju, to je zgornji plasti vode v jezeru. Parameter je primeren le za oceno stanja globokih jezer, v plitvih jezerih, kakršno je Gajševsko, pa zaradi stalnega mešanja vode, do pomanjkanja kisika ne prihaja.

Preglednica 5: Vsebnost hranil, prosojnost in vsebnost klorofila v Gajševskem jezeru v posameznih letih

Leto	Celotni fosfor (povprečje) (µg P/l)	Anorganski dušik (povprečje) (µg N/l)	Prosojnost (povprečje) (m)	Klorofil-a (povprečje) (µg/l)	Biovolumen (mm ³ /l)
2007	222	4615	0,38	24,7	4,3
2008	88,7	889,9	0,5	34,0	6,4
2009	122	804		35,9	9,2
2010	112	792	0,5	22,1	5,7
2011	99	599	0,8	30,9	7,7
2012	109,5	652	0,5	50,9	9,8

VIR: ARSO

V tabeli 5 je pregled stanja hranil, prosojnosti in vsebnosti klorofila v jezeru, ki se po OECD kriterijih uporablja za oceno trofičnosti (onesnaženosti) jezer. Razvidno je, da se Gajševsko jezero po OECD kriterijih za razvrstitev jezer v trofično kategorijo uvršča med evtrofna (oranžna barva) do hiperevtrofna (rdeča barva) jezera z visoko vsebnostjo celotnega fosforja in dušika. To se odraža tudi v produktivnosti jezera, kar je razvidna iz visoke povprečne vsebnosti klorofila-a in povprečnem biovolumnu fitoplanktona. Jezero je plitvo, zamuljeno in preobremenjeno z ribami. Visoka vsebnost dušika in fosforja spodbuja visoko produkcijo fitoplanktona, ki vpliva na slabo prosojnost jezera (ne preseže globine 1 m). Poleg planktonskih alg in cianobakterij na zmanjšano prosojnost vpliva še količina suspendiranega materiala, (glej vir: <http://mvd20.com/LETO2008/R27.pdf>), ki ga med hranjenjem dvigujejo ribe, ter veter, ki zaradi plitvosti jezera večkrat premeša vso vodo od površine do dna. Slabe svetlobne razmere ne omogočajo bujne rasti podvodnim makrofitom.

Preglednica 6: Povprečne letne vrednosti terenskih meritev opravljenih s sondo v Gajševskem jezeru v posameznih letih

Leto	Vonj	Vidna barva	Vidne odplake	Motnost (Secchi) (m)	pH	El. prevodnost (25°C) (µS/cm)	Kisik (mg/l)	Nasičenost s kisikom (%)	Redoks potencial (mV)
MEJNE VREDNOSTI					6,5-9,5 pH	2500 µS/cm		>110 %	
2007	brez	rjava; kalna	naravnega izvora	3,8	8,3	357	9,7	106	277
2008	brez	kalna	naravnega izvora	/	8,2	424	9,7	93	342
2009	brez	kalna	naravnega izvora	/	8,3	386	11,5	113	312
2010	brez	kalna; rjava	naravnega izvora	/	8,5	418	9,1	98	240
2011	brez	kalna	naravnega izvora	/	8,3	395	9,5	101	442
2012	/	/	/	/	8,6	390	10,1	111	358

VIR: ARSO

Povprečna letna temperatura vode v Gajševskem jezeru ne presega zgornje mejne vrednosti 25 °C. Vonj vode določajo hlapne snovi raztopljene v vodi. Odvisen je tudi od temperature vode, toplejša je voda, močnejši je vonj. Za Gajševsko jezero je bilo v obdobju 2007-2011 izmerjeno, da voda ni imela posebnega vonja po hlapnih snoveh.

Barva vode ni nujno vedno znak onesnaženosti vode. Voda se obarva zaradi prisotnosti in aktivnosti nekaterih bakterij, fitoplanktona in drugih organizmov, zaradi plavajočih delcev gline, peska in zemlje, ter zaradi razpadanja rastlinskega materiala (Vovk Korže in Bricelj, 2004). Posebno pozornost je potrebno nameniti nenaravnim barvnim odtenkom (rdeči, oranžni, pretirano zeleni), saj so lahko v vodi raztopljene nevarne snovi. Naravne barve (rjavkasta, sivkasta, rumenkasta), kakršne so bile določene za Gajševsko jezro v letu 2007 in 2010 (rjava), pa so običajno posledica erozijsko akumulacijskih procesov v vodnem telesu. Dvig pH lahko povzroči oksidacijo raztopljenih železovih ionov v vodi, kar vodi do rjave obarvanosti vode. Voda lahko postane rjava in motna tudi zaradi prehitrga dviga pH-ja, rjava barva pa je lahko tudi pokazatelj prisotnosti železa v vodi.

Odplake, ki so bile v času meritev vidne na Gajševskem jezeru v obdobju 2007-2011, so bile le naravnega izvora, to je nanešeno blato in listje. Za leto 2012 pa ni podatka.

Ekološko stanje jezer se vrednoti tudi na osnovi posebnih onesnaževal v zadrževalnikih. Leta 2008, 2009 in 2010 je bila v Gajševskem jezeru presežena povprečna letna vsebnost triazinskega pesticida metolaklor in s tem preseženi okoljski standardi za dobro stanje jezera. Povprečna letna koncentracija terbutilazina je bila presežena v letih 2008 in 2009. Leta 2009 je bilo Gajševsko jezero najbolj obremenjeno s pesticidi v Sloveniji (ARSO). V maju in juniju je koncentracija metolaklora znašala 3,2, oz. 3,7 µg/l, kar po Uredbi o stanju površinskih voda presega tudi največjo dovoljeno koncentracijo (2,7 µg/l) metolaklora v površinskih vodah. V jezeru je bila presežena tudi mejna povprečna letna koncentracija za terbutilazin.

Kemijsko stanje vode

Kemijsko stanje se določa na osnovi parametrov kemijskega stanja v Uredbi o stanju površinskih voda, Ur.l.14/2009 in 98/10 (Ocena stanja jezer v Sloveniji v letu 2012).

Leto	Število opravljenih meritev	Stanje	Stopnja zaupanja*
2007	4	dobro	srednja
2008	12	dobro	visoka
2009	ni emisije/4	dobro	srednja
2010	ni emisije	dobro	visoka
2011	4	dobro	srednja
2012	4	dobro	srednja

Preglednica 7: Kemijsko stanje Gajševskega jezera v posameznih letih

VIR: ARSO

* Stopnja zaupanja ocene kemijskega stanja je visoka v primeru spremljanja parametra s frekvenco 12-krat letno in v primeru, ko v Uradnih evidencah Agencije RS za okolje o emisijah snovi in toplote v vodno okolje za posamezno leto ni evidentiranih pritiskov. Stopnja zaupanja ocene kemijskega stanja je srednja, če je frekvenca spremljanja parametra manjša od 12 –krat letno in nizka, če podatkov monitoringa ni, emisija pa je evidentirana.

Leta 2011 in 2012 je bila v Gajševskem jezeru v času največje rabe fitofarmaceutskih sredstev analizirana prisotnost organoklornih, triazinskih in ostalih pesticidov.

Zamuljenost dna

Težava z zamuljenostjo dna Gajševskega jezera lahko v prihajajočih letih povzroči veliko tegob, tako upravljavcem kot domačemu prebivalstvu. Ob zmanjšani vodni kapaciteti zadrževalnika bi lahko ob visokem povodju voda prestopila obrambne nasipe in se razlila po okoliških površinah, kar bi z seboj prineslo številne nevšečnosti, katerim pa bi se lahko izognili z ustrežno sanacijo. Z odstranitvijo mulja, morda ne v celoti, temveč le deloma, bi veliko pripomogli k večji pretočnosti jezera in tudi k boljši kakovosti vode. Mulj je nasičen z dušikom in fosforjem, ki se kopičita v sedimentih, onesnažene delce pa z seboj prinaša tudi ščavnica. Od nastanka umetne akumulacije Gajševsko jezero je bil mulj z dna odstranjen dvakrat. Prvič leta 1987, ko so odstranili 5000 m³, ter drugič leta 1997, ko so odstranili 3800 m³ mulja. Na iztoku iz jezera je bil zgrajen zaporniški objekt za reguliranje vode (Novak, 2014). Vse od leta 1997 pa mulja iz različnih razlogov niso več odstranjevali, kar pomeni, da se je sedaj nabrala že kar precejšnja plast sedimentov.

SONARAVNE TEHNIKE REVITALIZACIJE VODNIH VIROV

Prednostne usmeritve upravljanja z vodo so zapisane v razvojnih dokumentih kot so v Občinskih programih varstva okolja občin, Območnih razvojnih programih za obdobje 2014–2020, v Lokalnih razvojnih strategijah partnerskih občin LAS ter v drugih dokumentih. Prednostne usmeritve, ki so vključene tudi v novo finančno perspektivo poudarjajo trajnostno gospodarjenje z naravnimi viri, trajnostno usmerjeno kmetijstvo in ustrezno opremljenost naselij z infrastrukturo. Poseben poudarek je namenjen varovanju ekosistemov ter podpiranju ekosistemskih storitev (Vrhovšek, Vovk Korže, 2008).

Ekoremediacije (ERM) so naravni način za čiščenje okoljskih sestavin. Te sposobnosti je narava razvila v svoji evoluciji in so tud danes, kljub tehnizaciji okolja prisotne okoli nas, le da ji pogosto ne opazimo. V naravi namreč poteka veliko procesov, ki vzdržujejo naravno ravnotežje in antropogene dejavnosti jih spreminjajo, tako s pozidavo površin in z drugimi i posegi. Glede na to, da ima narava sposobnost samočistenja in samočiščenja, kar so zelo dobro poznali naši predniki, je to izjemna vrednost narave in lahko danes služi kot preventiva ali kurativa za varovanje ali sanacijo okolja.

Bistvo ERM je, da so ti procesi konstantnosti in sigurni, da se vedno znova ponovijo in da preverjeno delujejo tisočletja ter imajo mnoge sinergijske pozitivne učinke, ki jih niti ne poznamo v potankosti. Ker ekoremediacije na eni strani omogočajo rabo ekosistemskih dobrin (voda, zemlja, prod, sedimenti, zrak, rastline) in ekosistemskih storitev (energija iz okolja, biodiverziteteta, čistilna sposobnost, sposobnost ponorov CO₂), imajo v 21. stoletju zaradi pomanjkanja naravnih virov izjemno vrednost in pomen.

Ekoremediacijske tehnologije vključujejo principe puferskih sposobnosti narave, fiteremediacije (fitostabilizacijo, fitoekstrakcijo, fitostimulacijo, fitodegradacijo, fitotransformacijo, fitovolatizacijo) in bioremediacijo za sanacijo onesnaženja v okolju. Sonaravni (zeleni) pristopi večajo biodiverziteteto in s tem vračajo ekosistem v ravnotežje. Ekoremediacijske metode imajo potencial za zmanjševanje, preprečevanje in odpravo naravnih katastrof (poplav, suš, plazov), netočkovnih virov onesnaženja (kmetijstvo, transport) in točkovnih virov onesnaženja (komunalne, industrijske odplake). Visoko učinkovitost lahko dosežemo z varovanjem življenjskega prostora, posebej vodnih virov, potokov, rek, jezer, podtalnice in morja. Osnovne funkcije ekoremediacij so visoka puferska sposobnost, samočistilna sposobnost, večanje biotske pestrosti in zadrževanje vode. Z ekoremediacijami (fitoremediacijo, puferskimi območji in rastlinskimi čistilnimi napravami (RČN) lahko revitaliziramo degradirana območja (kamnolomi, obrobje cest), odstranjujemo čezmerne vsebnosti hranil in čistimo odpadne vode.

Ekosistemske funkcije so odločilnega pomena za delovanje sistema vzdrževanja življenja. Nekatere ekološke funkcije so očitne, druge so skrite. Sistematično jih lahko razdelimo na tri sklope:

- fizične funkcije kot so absorpcija fosforja v zemlji, erozija in sedimentacija mulja, prestrezanje padavin, infiltracija padavinske vode v tla
- kemične funkcije kot so proizvodnja kisika in poraba ogljikovega dioksida v procesu fotosinteze, denitrifikacija in sproščanje hranil preko biodegradacije
- biološke funkcije kot so fotosinteza, opraeševanje, raztros semen, obvladanje škodljivcev, proizvodnja biomase in ustvarjanje makropor v prsti.

Posebej pa je potrebno omeniti tudi fizikalno-kemične funkcije, kot so vezava in sproščanje ogljikovega dioksida ter oksidacija in redukcija (Vrhovšek in Vovk Korže, 2007).

Tudi danes se, sicer posodobljene, uporabljajo vedno pogosteje tovrstne remediacijske metode za preprečevanje oziroma za odpravljanje posledic onesnaževanja in preventivno varovanje okolja. Sonaravna zaščita se doseže z rastlinskimi čistilnimi napravami, z nevtralizacijo tal in razgradnjo strupenih snovi, z vegetacijskimi barierami, revitalizacijo vodotokov in ukrepi za zmanjševanje evtrofikacije (Vrhovšek in Vovk Korže, 2007).

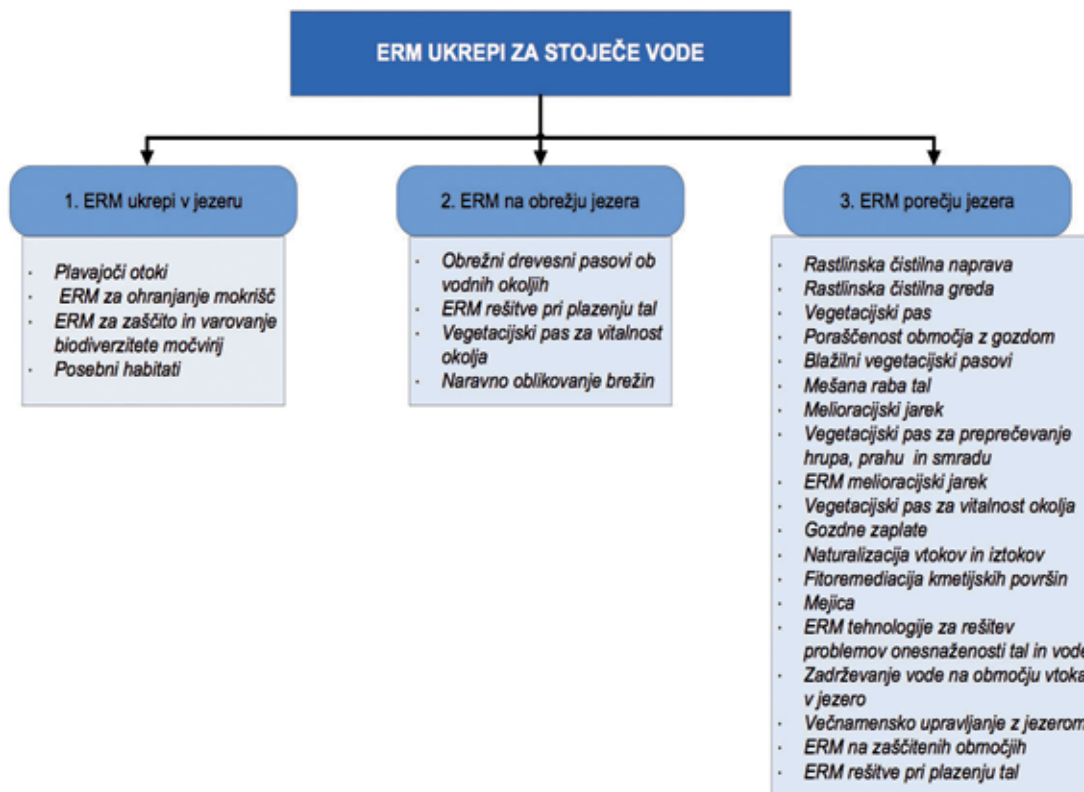
V tab. 8 so navedeni ukrepi, ki zahtevajo trajnostno ravnanje z vodnimi ekosistemi in so skladni z raziskavo, opravljeno v okviru projekta Dobra voda za vse za čezmejno območje, kjer smo ugotovili največjo primernost naravnih čistilnih sistemov za varovanje vodnih virov (www.dobravodazavse.com).

Preglednica 8: Predlog ukrepov za varovanje vodnih virov v novem programskem obdobju

UKREP	CILJ UKREPA
Ohranjanje voda in upravljanje z vodami	Izboljšana kakovost površinskih in podzemnih vod Zagotovljena ustrezna kakovost pitne vode Zmanjšana ogroženost zdravja ljudi Celovito ravnanje z odpadnimi vodami Revitalizacija jezer in vodotokov; melioracijskih jarkov
Infrastrukturna opremljenost	Izboljšana kakovost površinskih in podzemnih vod Zmanjšana poraba vode Zagotovljena ustrezna kakovost pitne vode Zmanjšana ogroženost zdravja ljudi Trajnostno ravnanje z okoljem Ustrezna izgradnja infrastrukture za izboljšanje človekovega življenjskega standarda
Okoljsko izobraževanje in osveščanje	Zmanjšana ogroženost zdravja ljudi Zmanjšana poraba vode v gospodinjstvih in gospodarstvu
Trajnostno kmetijstvo in razvoj podeželja	Trajnostno in sonaravno kmetovanje (gospodarjenje z naravnimi viri in okolju prijazni načini pridelave) Izboljšanje pogojev za namakanje kmetijskih zemljišč; sonaravni ukrepi za zadrževanje vode

Vir: Projekt Dobra voda za vse (www.dobravodazavse)

Ker Evropska unija od držav članic zahteva urejeno odvajanje in čiščenje odpadne komunalne vode do določenega roka, države (občine) hitijo z gradnjo kanalizacijskih omrežij. Velikokrat se zgodi, da le-ta ekonomsko niso upravičena, občine pa se zadolžujejo. Centralizirani sistemi, ki so ekonomsko in okoljsko upravičeni v večjih aglomeracijah, ekonomsko in okoljsko velikokrat niso upravičeni v območjih z razpršeno poselitvijo, kjer je zelo razgiban relief. Zato je smiselno razmišljati o trajnostnih ekosistemskih pristopih varovanja vodnih ekosistemov, ki izhajajo iz narave.



Slika 1. Kategorije naravnih sistemov za varovanje vidnih virov (Vovk Korže, Kokot Krajnc, 2013).

Naravni čistilni sistemi za zmanjšanje onesnaženosti vodnih virov

Pilotna raziskava, ki jo je opravilo podjetje Limnos v času od 2007 – 2010 na primeru delovanju samočistilnega meandra je pokazala učinkovito zmanjšanje števila negativnih bakterij v vodi. Povprečna uspešnost redukcije Gram negativnih bakterij je bila $93,0 \pm 5,2 \%$. V meandru se je tudi učinkovito zmanjšalo število koliformnih enterobakterij v vodi. Močna redukcija vseh gram negativnih bakterij in tudi koliformnih enterokokov pa dokazuje, da je ERM peščeni filter uspešno znižal koncentracije bakterij v komunalni odpadni vodi.

V vodi po samočistilnem meandru so v večini vzorčenj izmerili nižje vrednosti amonija kot pred meandrom. Povprečna uspešnost redukcije amonija je bila kar $95,0 \pm 1,4 \%$. Visoka stopnja redukcije amonija nakazuje uspešno naselitev nitrifikatorskih mikroorganizmov v substratu meandra. V prisotnosti raztopljenega kisika lahko mikrobi v vodnem stolpcu ali v biofilmu pretvorijo amonij najprej v nitrit in v drugem koraku v nitrat. Tvorba nitrata je omejena z dinamiko počasnejšega prvega koraka. V tem procesu je potrebno približno $4,3 \text{ g O}_2/\text{g NH}_3\text{-N}$. Proces je odvisen od temperature in pH. Reakcija se lahko izvrši v aerobnem vodnem stolpcu s pomočjo suspendiranih bakterij in v aerobnih biofilmih. Najnižja koncentracija raztopljenega kisika za učinkovito nitrifikacijo je 2 mg/l .

Nitrat se ne imobilizira in ga lahko privzamejo rastline ali mikrobi v asimilacijski nitratni redukciji (pretvorba v biomaso preko amonijevega dušika) ali pa se v anaerobnih pogojih denitrificira.

V vodi po samočistilnem meandru so v večini vzorčenj izmerili nižje vrednosti nitratov kot pred meandrom. Povprečna uspešnost redukcije nitratov je bila $38,3 \pm 13,0 \%$. To kaže na precejšno dejavnost denitrifikacijskih mikroorganizmov in na deloma anoksične pogoje v substratu ERM meandra.

Denitrifikacija poteka s pomočjo mikroorganizmov v anoksičnih pogojih, z nitratom kot akceptorjem in ogljikom kot donorjem elektrona. Produkta denitrifikacije sta plina N_2 in N_2O . Za denitrifikacijo $1 \text{ g NO}_3\text{-N}$ je potreben 1 g ogljika ali pa $2,47 \text{ g}$ metanola. Optimalna temperatura za denitrifikacijo je $33\text{-}50 \text{ }^\circ\text{C}$, poteka pa tudi pri $T < 5^\circ\text{C}$. Optimalen pH je okrog 7, stopnja denitrifikacije se zmanjša pri $8 < \text{pH} < 6$. Stopnja denitrifikacije v grajenih močvirjih s površinskim tokom lahko doseže 50 kg/ha/dan . V naravi poteka denitrifikacija v anoksičnih sedimentih in anaerobnih perifitonskih biofilmih, kjer je malo (ali nič) raztopljenega kisika, razpoložljivega ogljika pa dovolj. Proces lahko definiramo kot redukcija oksidirane dušika, ki je sklopljena z oksidacijo organske snovi (= dekompozicija, razgradnja). Tako denitrifikacijske bakterije oksidirajo organsko snov do CO_2 in CO_3^{2-} z uporabo kisika v nitratu. V tem procesu so elektroni, sproščeni pri oksidaciji, prenešeni na dušik, ki je postopoma reduciran do plinaste oblike – N_2 (Limnos, arhiv podatkov).

Navedene ugotovitve kažejo, da so naravni čistilni sistemi trajnostna usmeritev varovanja vodnih virov in da bi jih morali bolj aktivno vključevati v načrtovalske in izvajalske prakse.

V nadaljevanju predstavljamo primere naravnih sistemov za varovanje vodnih virov po tujih praksah (Massoud s sod., 2008; Mlynarczyk, 2012; Sim, 2003; Stovall, 2007; Sustainable Ecotechnologies, 2013; Vymazal, 2010 in Wastewater treatment in a small village 1999).

Ribniki za stabilizacijo onesnažil so v zahodni Evropi postavljeni ob posameznih domovih, apartmajskih kompleksih in na podeželju. Pravilno zasnovani ribniki so enostavni za uporabo, redko proizvajajo odvečno blato in ne smrdijo. Pri sistemu gre za sekundarno čiščenje, saj se voda vanj izteka po primarnem čiščenju. Z dodajanjem apna se v vodi poveča pH, oborina trdih delcev in fosfor. Gašeno apno se v vodo dodaja za reakcijo s fosforjem. Vodo je v ribniku nato potrebno zadržati približno deset dni, velikost ribnika pa mora biti okoli 250 m^3 . Najprimerneje je oblikovanje dveh ribnikov, z možnostjo prelivanja. Za ta sistem čiščenja so najbolj primerni dolgi in ozki ribniki, ki imajo ugodne hidravlične pogoje in so lahko dostopni za opremo za odstranjevanja blata na dnu.

S tem sistemom je mogoče odstraniti več kot 90% fosforja iz odpadne vode. Večina BPK v odpadni vodi v trdnih delcih se izloči v primarni stopnji čiščenja, organsko vezane frakcije dušika se usedejo na dno ribnika, del anorganskega dušika pa izhlapi kot amonijak. pH vode bo zaradi dodanega gašenega apna visok (okoli 11) in bo v tem času v vodi omogočil zmanjšanje dušika za 50% . Blato na dnu ribnika se nato lahko uporabi kot gnojilo. Zaradi visoke stopnje pH bodo v ribniku uničeni patogeni organizmi, organske snovi in ostala onesnažila.

Skalni filtri so podzemne enote čiščenja odpadne vode z horizontalnim tokom. Čistilna greda je napolnjena z grobo zrnatim medijem (40–200 mm). Obstajajo brez prezračevalni skalni filtri in prezračevalni skalni filtri. Brez prezračevalni skalni filtri so z vidika ekonomskega vložka ena izmed najcenejših metod NČS. Ta tip skalnih filtrov je primeren za odstranitev BKP in substanc. Glavna pomanjkljivost je, da hitro postane aoksičen in nima sposobnosti odstranjevanja amonijaka iz odpadne vode. Zračni skalni filtri so primeri za čiščenje odpadnih voda, ki so prekomerno obremenjene z amonijakom. Na vrhu ima filter dodano kupolo, ki predstavlja zračnik in deluje podobno kot difuzni prezračevalni sistem greznic aktivnega blata. S pomočjo zračnika se odpravi neprijeten vonj po žveplu, izboljša BPK, kar omogoča vzpostavitev pogojev za nitrifikacijo. Po raziskavah v Veliki Britaniji je ugotovljeno, da filter izboljša kakovost voda za 95 %.

Kopenski sistemi čiščenja odpadne vode za čiščenje uporabljajo zemljišča. Zemljišče je preplavljeno z odpadno vodo, ki se tako obdela in čisti. Obseg in pogoji čiščenja so odvisni od značilnosti tal, odpadne vode, topografije območja čiščenja, prisotnosti dodatnih medijev v tleh in ostalih dejavnikov. Prečiščena voda se lahko nato naprej uporablja v sistemu razprševanja za namakanje. Sistemi predstavljajo alternativo za ravnanje z odpadno vodo v primerih, ko gradnja konvencionalnih čistilnih naprav ni mogoča. Sistem je primeren za majhne podeželske skupnosti, domove, majhne industrijske obrate, saj porabi malo energije in ima nizke stroške obratovanja in vzdrževanja. Sistemi so močno odvisni od fizikalnih, kemijskih in bioloških reakcij v tleh. Potrebno je tudi območje z vegetacijo, ki prevzame hranilne snovi in onesnaževala ter upočasniti iztok ter tako omogoči boljše čiščenje.

Vodni sistemi za čiščenje odpadne vode. Sistemi ribnikov so naravni sistemi, kjer biokemični, hidrodinamični in meteorološki procesi delujejo za čiščenje odpadne vode. Gonilna sila v prečiščevalnem procesu je sonce. Nihanja v kakovosti vode povzročijo spremembe meteoroloških dejavnikov. Bistvenega pomena za aerobno oksidacijo organskih odpadkov je fotosinteza, ki se časovno spreminja z jakostjo svetlobnih žarkov. S cvetenjem vode se poveča fotosinteza alg in ogljikov dioksid se porablja hitreje, kot se proizvaja. To omogoči, da alge povečajo s porabo CO₂ koncentracijo hidroksilnih ionov v vodnem stolpcu zaradi česar se poveča pH na več kot 10.

Ribnik za stabilizacijo onesnažil v odpadni vodi je potrebno zgraditi in umetno oblikovati. Odplake, ki pritečejo v ribnik pred ali po obdelavi, se tu zadržijo in v tem času pride do mikrobiološke transformacije onesnažil. Ribniki so najprej območja odpadne vode, s pomočjo zadrževanja vode in mikrobioloških procesov v vodi pa se po naravni poti spremenijo v stoječa vodna telesa s primerno vodo za nadaljnjo rabo.

Čiščenje odpadne vode s pomočjo energije gozda z namakanjem. Tu je uporabljena odpadna voda, ki je že bila primarno očiščena. Odpadna voda se izteka v rezervoar ali ribnik, kjer se nekaj časa zadrži. Rezervoar je vir namakanja gozda v poletnih mesecih. Najbolj primerni za to vrsto čiščenja so listnati gozdovi s prevlado vrbe, jelše, topola in breze – visoka sposobnost vezave onesnažil v korenine in nadzemne dele. Ko drevesa dovolj zrastejo (4–6 let), jih predelajo v sekance za kurjavo.

V tem sistemu čiščenja se ustvari zaprti vodni cikel, ki je načeloma brez izpustov. V primeru čiščenja odpadne vode z namakanjem gozda in njegovo energijo je dosežena ponovna raba odpadne vode. Hranila namreč omogočajo hitrejšo rast dreves, ki se jih nato uporabi kot energijski material, pepel, bogat s fosforjem, pa se nato lahko uporabi kot gnojilo na polju. Z dolgotrajnim skladiščenjem in nizkotlačnim namakanjem se tveganje patogene razpršitve zmanjša. Varnost se še poveča, če namakanje izvajamo samo ponoči. Priporoča se, da so sistemi čiščenja odpadne vode kar se da oddaljeni od domov prebivalcev.

Čiščenje odpadne vode s pomočjo biofiltrnega jarka poteka v ozkem jarku (mokrišče) in je najpogosteje nameščeno vzporedno z vodotokom. Namen jarka je zmanjševanje fosforja, dušika in patogenih organizmov. Sistem pravilno deluje le, če iz jarka redno odstranjujemo usedline in rastline. Odpadna voda se v sistemu najprej pretoči v črpališče, kjer poteka primarna stopnja čiščenja. Naprej se črpa do recirkulacijskega kapalnega sistema z namenom, da voda kroži večkrat skozi čistilno gredo biofiltra. Recirkulacija razredči dohodne odpadne vode in ustvari nižje stopnje BPK in amonija, s čemer so zagotovljeni ugodnejši pogoji za nitrifikacijo bakterij v biofiltru. Proizvodnja biofilma v precdnem filtru skupaj z blatom zbranim v primarnem čiščenju omogoči zmanjšanje N in P za približno 30 %. Biofil-

trirni jarki zgrajeni iz ilovice imajo visoke sposobnosti zadrževanja fosforja. 90 % znižanje fosforja je doseženo, če se 40 gramov fosforja ujame na kvadratni meter na leto. Čas, ki je potreben za učinkovito čiščenje prispele odpadne vode v biofiltrirni jarek, je približno 14 dni – brez upoštevanja izgub pronicanja in transpiracije.

Z visoko stopnjo nitrifikacije (25–50 %) v redno očiščenem biofiltrirnem jarku je mogoče zagotavljati učinkovito zmanjšanje P. Denitrifikacija v jarku zadošča za pretvorbo nitrata v precdnem filtru v plinski dušik. Dolgo časovno zadrževanje bo pomagalo zmanjšati vsebnost hranilnih snovi in fekalnih mikroorganizmov. Visoka je tudi reciklaža hranil. Blato in materiali odstranjeni iz biofiltrirnih jarkov se lahko nato po procesu stabilizacije snovi uporabijo na kmetijskih površinah.

Sistem čiščenja odpadne vode s pomočjo kolobarnega posevka in mokrišča je bil na območjih s toplim in zmernim podnebjem uporabljen že v preteklosti. Zanj je značilno, da pride do občasne spremembe v rabi tal in del se v tem primeru nameni za čiščenje odpadne vode. Obdobje mokrišča (kot RČN) je potrebno začeti po spravilu pridelka pozno poleti ali jeseni. Uporaba vode poteka na zgornjem delu, kjer je poplavljen z več decimetri vode. V obdobju poplav so postopki čiščenja odpadnih voda enaki kot pri biofiltrirnem jarku. Faza čiščenja odpadne vode v RČN kolobarju se konča naslednje leto avgusta in takrat se začne izsuševati in pripravljati tla za naslednje obdelovalno leto. Če je mogoče, se lahko pridelek seje že isto leto, ko se izsuši RČ greda. Naslednje leto ima tako območje dovolj hranil za rast poljščin. S tem zmanjšamo potrebo po uporabi kemičnih gnojil. Zmanjša se tudi zatiranje plevela, ker redne in dolgotrajne poplave uničijo zemeljski plevel.

Čiščenje odpadne vode v peščenem filtru. Večji del postopka čiščenja poteka v peščenem filtru, ki omogoča razdelitev organskih snovi, zadržuje fosfor in omogoča nitrifikacijo dušikovih spojin. Peščeni filtri se tako lahko dodajo mokriščem kot polirni sistemi, predvsem za zmanjšanje dušika s postopkov denitrifikacije.

Primarna obdelava čiščenja iz odpadne vode odstrani neraztopljene trdne snovi in omogoči zmanjšanje BPK. Ta voda se nato prečrpa v peščeni filter, kjer čiščenje poteka po celotni površini, ki je razdeljena na odseke zaradi boljše porazdelitve in regeneracije za sposobnost infiltracije in vezave kapacitete fosforja. Dimenzije peščenega filtra so določene z vidika vodnega toka med obdobji visoke vode, s katero predvidevamo, da bo 70 m³/dan. Vsi postopki čiščenja se pojavijo v zgornji plasti visoki 1–2 dm, vendar je standardna praksa, da je peščeni filter globok meter ali več in je zakopan v zemljo.

Peščeni filter zmanjšuje vsa onesnažila in hranila, je stabilen in zelo dobro deluje pri čiščenju patogenih organizmov.

Čistilna greda prisiljenega zračenja je nova tehnologija čiščenja odpadne vode, ki povečuje učinkovitost čiščenja s pomočjo izdelanega mokrišča. Uporablja se pri horizontalnih in vertikalnih tokovih RČN. Omogočen je dostop zraka skozi mokrišče, ki naredi večjo dostopnost kisika ter tako poveča stopnjo obdelave onesažil za 15-krat. Ta tehnologija lahko čisti odpadne vode z visoko BPK, suspendiranih delcev in dušikovih spojin ter drugih organskih onesažil. Čistilna greda prisilnega zračenja je poraščena s trstičjem in skupaj z poraščenostjo dosega sledeče:

popolnoma lahko odstrani dušikove spojine iz odpadne vode

v sistemu čistilne grede prisilnega zračenja lahko trstičevje globlje razvije koreninski sistem kot pri ostalih RČN in tako poveča površino čiščenja za okoli 50 % v primerjavi z navadnimi RČN

rastline, ki rastejo v čistilnih gredah prisilnega zračenja preprečujejo nastajanje strupenih snovi, ki lahko vodi do anaerobnega stanja.

Evapotranspiracijska greda odpadne vode čisti s pomočjo evapotranspiracije. Evapotranspiracijske čistilne grede se uporabljajo, kadar zemlja ne more očistiti odpadne vode, preden bo ta pronicala v podtalnico (skalnata tla) ali kadar tla preprečujejo, da odpadne vode odtečejo iz območja uporabe (težka glinena tla). Sistemi čiščenja niso primerni za izredno vlažna območja.

Pred evapotranspiracijsko čistilno gredo je postavljena greznica, kjer se odložijo trdi materiali in nato se odpadla voda pretoči v čistilno gredo po celotni njeni površini. Čiščenje odpadne vode se začne z izhlapevanjem in transpiracijo, del raztopljenih organskih snovi v vodi pa uporabijo rastline za rast in razvoj. Ko voda izhlapi, se v čistilni gredi odložijo soli, minerali in trde snovi iz odplak. V deževnih

obdobjih se v čistilni gredi voda kopiči, evapotranspiracija in izhlapevanje pa se močno poveča v sušnih obdobjih.

Evapotranspiracijska čistilna greda je sestavljena iz jarkov za shranjevanje, ki so obdani z ilovico. Vse je nasipano s peščeno ilovnatimi tlemi in poraščeno najpogosteje s travo. Čistilna greda se razdeli v dve manjši gredi, ki omogočajo preklapljanje med gredami. Na dnu je vzpostavljen sistem shranjevanja iz plasti kamenja in gramoza do globine 12 cm pod dnom čistilne grede. Tla, ki prepuščajo vodo, so varovana z filtrom iz geotekstila, ki upočasni prepuščanje. Temu se doda ilovica, nad to pa še peščena ilovica. Najpogosteje se območje zaraste s travo.

Žive tovarne. Naravni čistilni sistem žive tovarne spada med vodne NČS. To so vrsta cistern z rastlinskimi in drugimi organizmi. Skozi rezervoarje se prečrpava odpadna voda, kjer se nato očisti in odteče v vodotok. Delujejo po principu mokrišč. V primerjavi z naravnimi mokrišči ta NČS potrebuje manj prostora za čiščenje odpadne vode in je tudi bolj učinkovit, saj so pogoji čiščenja nadzorovani.

Ecoparque je poseben NČS. Gre za naraven park z naravno čistilno napravo. Nahaja se v mestu Tijuana v Mehiki in čisti vodo tega mesta ter tako odpravlja slabe higienske razmere, ki so jih imeli tu ljudje. *Ecoparque* čisti komunalno vodo iz soseke 1200 PE, pri čiščenju pa niso uporabljene nobene kemikalije. Odpadna voda zaradi gravitacije teče do *Ecoparque*. Čistilna naprava je sestavljena iz usedalnika, kjer se odložijo trdne snovi. V nadaljevanju je filter iz mikrovlačen in naprej še dva biofiltra, ki opravljata sekundarno čiščenje vode. Poseben filter iz mikrovlačen izloči večje količine organskih snovi, ki se nato kompostirajo skupaj s črvi in se v nadaljevanju uporabljajo v *Ecoparque*. Dva biofiltra, ki sta napolnjena s kolonijami bakterij, čistita vodo. S pomočjo čistilca pa se izločajo trdne snovi iz vode. Operaterji NČS nato opravljajo teste vode in če le ta ne izpolnjuje standardov, mora ponovno skozi biofilter. Voda, ki po ponovnem čiščenju še vedno vsebuje preveč hranil, se nato uporabi za namakanje rastlin v *Ecoparque*.

Naravno čiščenje odpadne vode gospodinjstva s pomočjo naravne biološke čistilne naprave poteka s pomočjo čiščenja odpadne vode v koreninskem delu rastja. Ta učinkovita in poceni tehnologija se lahko zgradi z uporabo recikliranih materialov. Na koncu ima lahko ribnik, od koder voda teče naravnost na travnik, vrt ali pa nazaj v sistem za gospodinjstve vode.

Čistilna naprava je sestavljena iz dveh 1m³ velikih rezervoarjev in ima zmogljivost čiščenja odpadne vode enega gospodinjstva (3–4 PE). Rezervoarji in drenažni kanali so med seboj povezani s PVC-cevmi obsega 10 cm. Cevi vodijo v jamo filtra globoko 1,5 m. Na dnu jame namestimo drenažo, voda pa nato lahko odteče do zunanjega ribnika. Prvi rezervoar služi kot usedalnik in ga zakopljemo v zemljo najmanj 5 m od hiše. Potrebno ga je izprazniti na 2–3 leta, material pa lahko kompostiramo. Drugi rezervoar postavimo neposredno za prvim, tako da se siva voda (odpadna voda) pretaka iz prvega rezervoarja v drugega. Iz drugega pa je siva voda napeljana v jamo filtra. Filtrirna jama je obložena s plastično prevleko, tako da se odpadna voda ne izceja v tla. Korenine rastlin, ki poraščajo filter pa z različnimi bakterijami nato čistijo vodo. Očiščena voda se nato izteka iz jame na travnik. V zimskem času pa je potrebno jamo filtra še dodatno prekriti s slamo, da preprečimo zmrzovanje. V prvi rezervoar se za učinkovito čiščenje dodajo tudi mikroorganizmi. Prečiščena voda se lahko uporabi tudi v krožnem gospodinjstvem sistemu (WC, umivalnik, tuš, kad).

Čiščenje odpadne vode s pomočjo biološkega zračnega filtra. Biološki zračni filter opravlja sekundarno čiščenje odpadne vode in je lahko del grezničnega sistema, kjer greznica opravlja primarno funkcijo čiščenja. Sistem biološkega zračnega filtra je sestavljen iz primarnega rezervoarja za odlaganje trdega materiala, potopljenega zračnega filtra obdanega z biofilmom in sekundarnega rezervoarja. Trde snovi se lahko zaradi lažjega uravnavanja odpadne vode včasih pretočijo tudi v sekundarni rezervoar, s čemer se pospeši postopek denitrifikacije. Običajno se sistemi uporabljajo za čiščenje odpadne vode iz posameznih gospodinjstev. V sekundarni rezervoar je potrebno dodati mikroorganizme za opravljanje funkcije sekundarnega čiščenja. Sistem običajno vsebuje ogljik, ki se porablja v postopku oksidacije. Zaradi preprečevanja zamašitve prezračevalnih con je nujno, da preprečimo maščobi dotok v sistem.

Čiščenje odpadne vode s pomočjo sistema biološkega kontaktorja. Sistem biološkega kontaktorja je sestavljen iz primarnega rezervoarja, sekundarnega predela čiščenja in sekundarnega rezervoarja za poravnavo. Mikroorganizmi so vezani na inertno površino medijev, inertni mediji pa so montirani na

grede, ki se vrtijo z elektromotorjem. Mediji so delno potopljeni v odpadni vodi. Biofilm se v medijih ves čas razvija in s tem čisti odpadno vodo.

Čiščenje odpadne vode s pomočjo sistema sekvenčnega biološkega reaktorja. Sekvenčni biološki reaktor je postopek obdelave aktivnega blata, v katerem je hkrati zagotovljeno prezračevanje, poravnava in dekantiranje. Proces je sestavljen iz pet stopenjskega cikla: izpopolniti prostore, proces reagiranja, poravnava, praznjenje in počitek. Odpadna voda vstopi v reaktor v fazi dopolnjevanja. Anaerobna obdelava se začne v procesu reagiranja; biomasa se oblikuje v fazi poravnave. Blato se umakne iz reaktorja v fazi mirovanja in krog spet začne z novo fazo polnjenja. Sistem je primeren za eno družinske hiše, pri čemer je potrebno zagotoviti najprej primarno čiščenje vode in šele nato postopek čiščenja vode v biološkem reaktorju. V reaktor ne sme priti maščoba. Sistem čiščenja je odvisen od zanesljivega delovanja mehanizma krmiljenja. Kritične komponente vključujejo zračenje – postopek mešanja. Sistem iz odpadne vode odstranjuje hranila, možno pa ga je predelati tudi tako, da odstranjuje še fosfor in dušik.

Membranski filtrirni sistem. Sistem omogoča čiščenje suspendiranih trdnih snovi in raztopljene molekularne snovi iz odplak. Odpadna voda prehaja v filter preko posebnega membranskega materiala. Sistem uporablja rezervoar za čiščenje z zračenjem in membransko filtrirno enoto. Ponavadi ti sistemi zelo visoko očistijo vodo. Posebna membrana, montirana na nosilni okvir filtra, omogoča čiščenje od vhodnega do izhodnega konca sistema. Prezračevanje znotraj obdelovalne enote ima dve funkciji – ohranjanje aerobnih pogojev in nenehno čiščenje prehoda zraka. Celovit membranski filter je ključnega pomena za pravilno delovanje sistema.

Zemeljski sistem čiščenja odpadne vode – zemeljski filter se lahko uporablja tam, kjer se pojavljajo težke razmere (npr. plitva gladina vode). Filtrirni sistem se lahko oblikuje z uporabo navožene zemlje z ugodnimi lastnostmi, ali pa z uporabo zemlje v območju, pri čemer je potrebno gornji sloj odstraniti in ga nadomestiti z distribucijsko plastjo gramoza. Iztok iz greznice v filtrirni sistem tal je porazdeljen preko filtra z uporabo pritiska (črpalka).

Peščeni filtri so učinkovita oblika čiščenja odpadne vode na kraju samem. Obdelava poteka pod pretežno nenasičenimi in aerobnimi pogoji. Uporabljamo dve vrsti peščenih filtrov – tla pokrita in odprta. Tla prekrita s prekinjenimi peščenimi filtri so lahko pod zemljo, del podzemnega in nadzemnega sistema ali nadzemno. Odprti presihajoči peščeni filtri so izdelani podobno kot zajeti peščeni filtri, vendar brez kritja tal (sloja gramoza), ki se da na površino, da se omogoči inšpekcijski pregled in vzdrževanje.

Sloji peska različnih dimenzij ustvarijo peščene filtre, ki se vgradijo v čistilne grede.. Posamezne plasti oz. sloji peska so globoki 700–900 mm. Filtri imajo veliko sposobnost odstranjevanja fosforja, pri čemer je zelo pomembna mineraloška sestava. Pri peščenih filtrih pokritih z zemljo je potrebno dodati še geotekstil, ki ločuje pokrov tal in vrh peščenega filtra. Odpadne vode iz greznice tečejo skozi peščeni filter, kjer se prečistijo. Zračniki so razširjeni navpično nad tlemi.

ZAKLJUČEK

Spiranje škodljivih snovi in dotok onesnažene reke Ščavnice povzroča prenasičenost Gajševskega jezera z organskimi hranili, predvsem povečane količine organskega ogljika, celotnega dušika in fosforja, kar povzroča evtrofikacijo jezera. Pospešeno razraščanje alg in ostalih rastlinskih organizmov bo povzročilo nadaljnjo zaraščanje gladine jezera. Sedaj je vodni orešek razširjen le na zahodnem predelu jezera, kjer se nahaja dotok reke Ščavnice, toda v primeru, če se ne bo ukrepalo, bi se lahko to v sledečih letih in/ali desetletjih razširilo na večino jezera, v najslabšem primeru celo na celotno jezersko površino. Dodatno težavo povzroča zamuljenost dna Gajševskega jezera. S to težavo se običajno sooča večina umetnih akumulacij in zadrževalnikov vode. Meritve so pokazale, da se dušik in fosfor kopičita v sedimentih pri iztoku Ščavnice iz jezera. Drugi vzrok pa je že prej omenjena prenasičenost z organskimi hranili, ki povzroča prekomerno rast alg in odmiranje organizmov, ki se nato usedajo na dno in tam gnijejo, kar posledično pomeni dodatno usedanje na dnu jezera. Debelina mulja se vsako leto poveča za 5-10 cm po celotnem dnu jezera. To pomeni, da bi se lahko v 10 letih nabral dodatni 1 m, v 20 letih pa 2 metra novega mulja. V kolikor vzamemo v obzir, da je povprečna globina Gajševskega jezera okoli 3

m, dobimo podatek, da bi se kapaciteta jezera bistveno zmanjšala. Enostavno povedano to pomeni, da bi bilo jezero zmožno zadržati bistveno manjšo količino vode kot je načrtovano. Glede na to, da je bila akumulacija načrtovana za zaščito pred poplavami, bi bila njena prvotna funkcija ogrožena. Pretočnost jezera bi se prav tako močno zmanjšala. Nevarnost poplav za prebivalce v okolici jezera bi bila znova uresničljiva grožnja.

Ukrepi, ki bi lahko zmanjšali obremenitev in onesnaževanje Gajševskega jezera zaradi obdelovanja bližnjih kmetijskih površin so sledeči:

- omejevanje uporabe FFS, pesticidov in količine umetnih gnojil,
- ozaveščanje kmetovalcev o pravilni in zmerni uporabi teh sredstev in gnojenja,
- povečanje nadzora s strani inšpekcijskih služb, še posebej na vodovarstvenih območjih,
- več raziskav o vplivu obdelovanja kmetijskih površin na kakovost vode v vodnih telesih,
- boljši prenos znanja raziskovalcev in rezultatov raziskav do kmetovalcev,
- izboljšanje strokovnega znanja kmetovalcev in njihovo ozaveščanje o nevarnostih uporabe FFS,
- ozaveščanje o sonaravnem kmetovanju,
- demonstrirati delovanje in učinkovitost RČN in pozitivne posledice ERM ukrepov v okolju.

Rezultati projekta Dobra voda za vse so pokazali, da bi z naravnimi čistilnimi sistemi uspešno zmanjšali onesnaženost vodnih virov v čezmejnem območju, kar bi pozitivno vplivajo na kvaliteto življenja ljudi.

VIRI IN LITERATURA

- Agencija RS za okolje. Jezera in zadrževalniki – izpisi podatkov po jezerih za leto 2007. Pridobljeno 12. 5. 2014, http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/Gajsevsko_jezero_2007.pdf.
- Agencija RS za okolje. Jezera in zadrževalniki – izpisi podatkov po jezerih za leto 2008. Pridobljeno 12. 5. 2014, http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/Gajsevsko_jezero_2008.pdf.
- Agencija RS za okolje. Jezera in zadrževalniki – izpisi podatkov po jezerih za leto 2009. Pridobljeno 12. 5. 2014, <http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/Gaj%20evsko%20jezero%202009.pdf>.
- Agencija RS za okolje. Jezera in zadrževalniki – izpisi podatkov po jezerih za leto 2010. Pridobljeno 12. 5. 2014, <http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/Gaj%20evsko%20jezero%202010.pdf>.
- Agencija RS za okolje. Jezera in zadrževalniki – izpisi podatkov po jezerih za leto 2011. Pridobljeno 12. 5. 2014, http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/Gaj%20evsko%20jezero%202011_podatki.pdf.
- Agencija RS za okolje. Jezera in zadrževalniki – izpisi podatkov po jezerih za leto 2012. Pridobljeno 12. 5. 2014, <http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/Gajsevsko%20jezero%202012.pdf>.
- Agencija RS za okolje (2008). Kakovost jezer v letu 2007. Pridobljeno 12. 5. 2014, <http://www.arso.gov.si/vode/reke/arhiv-jezera.html>.
- Agencija RS za okolje (2009). Kakovost jezer v letu 2008. Pridobljeno 12. 5. 2014, <http://www.arso.gov.si/vode/reke/arhiv-jezera.html>.
- Agencija RS za okolje (2010). Kakovost jezer v letu 2009. Pridobljeno 12. 5. 2014, <http://www.arso.gov.si/vode/jezera/>.
- Agencija RS za okolje (2011). Kakovost jezer v Sloveniji v letu 2010. Pridobljeno 12. 5. 2014, <http://www.arso.gov.si/vode/jezera/>.
- Agencija RS za okolje (2012). Ocena stanja jezer v Sloveniji v letu 2011. Pridobljeno 12. 5. 2014, <http://www.arso.gov.si/vode/jezera/>.
- Agencija RS za okolje (2013). Ocena stanja jezer v Sloveniji v letu 2012. Pridobljeno 12. 5. 2014, <http://www.arso.gov.si/vode/jezera/>.
- Agencija RS za okolje. Program monitoringa stanja voda za obdobje 2010-2015. Pridobljeno 12. 5. 2014, <http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Program%202010%20-%202015.pdf>.
- Atlas okolja. Pridobljeno 10. 5. 2014, <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja>.
- Čehić, S. (2007): *Pogled na vode v Sloveniji*. Ljubljana: Statistični urad Republike Slovenije, številka 9, 27. Okolje. Geopedia. Pridobljeno 10. 5. 2014, <http://www.geopedia.si>.
- Jež, M. (2011): Narava v občini Križevci. *Glasilo Občine Križevci Glas občine*, letnik 10, številka 1. 18-19.
- Limnos, d.o.o., arhiv podatkov (osebni vpogled).

- Massoud, M. A., Tarhini, A., Nasr, J. A. (2008): Decentralized approaches to wastewater and management: applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, Volume 90, issue 1, January 2009, pages 652-659.
- Młynarczyk, A., (2012): Natural biological waste water purification system for one household, Ecovillage LAS. http://balticecovillages.eu/system/files/natural_biological_waste_water_purification_system_for_one_household.pdf
- Ocena stanja jezer v Sloveniji, 2012.
- Program monitoringa stanja voda za 2010 – 2015.
- Sim, C.H. (2003): The use of constructed wetlands for wastewater treatment. Wetlands International – Malaysia Office, website: www.wetlands.org.
- Stovall, H., (2007): Natural Alternatives to Conventional Wastewater Treatment. <http://lda.ucdavis.edu/people/2007/hstovall.pdf>.
- Qaisar Mahmood, Bibi Saima Zeb, Habiba Zaffar, Hajra Yaqoo, Arshid Pervez, Muhammad Waseem, Sumera Afsheen, 2013: Natural Treatment Systems as Sustainable Ecotechnologies for the Developing Countries. *BioMed Research International* Volume 2013 (2013), Article ID 796373, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/796373>
- Statistični urad Republike Slovenije. Pridobljeno 10. 5. 2014, <http://www.stat.si/>.
- Toman, T. (2007): Ocena ekološkega stanja reke Savinje po izgradnji centralne čistilne naprave Celje – Tremerje. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo. Ljubljana.
- Tome, D. (2006): Ekologija: organizmi v prostoru in času. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, d.d.
- Vovk Korže, A. (2003): Kopenske vode v geografskem okolju. *Geografski obzornik*, letnik 50, številka 3/4. 4-7.
- Vovk Korže, A. in Bricej, M. (2004): *Vodni svet Slovenije*. Priročnik za interdisciplinarno
- Vovk Korže, A., Kokot Krajnc, M., (2013): Katalog naravnih čistilnih sistemov. FF UM.
- Vrhovšek, D., Vovk Korže, A., Lovka, M., Kryštufek, B., Sovinc, A., Bertok, M. idr. (2008): Ekoremediacije kanaliziranih vodotokov. Maribor: Filozofska fakulteta.
- Vymazal, J., 2010: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water* 2010, 2, 530-549; doi:10.3390/w2030530. ISSN 2073-4441, www.mdpi.com/journal/water.
- Wastewater treatment in a small village – options for upgrading. WRS – Water Revival Systems. WES Uppsala AB, SwedEnviro Report no. 1999:1.

ABSTRACT

Concern for a healthy drinking water derived from the basic human needs, because it is required under the international convention to ensure clean safe water for all at all levels. Therefore, municipalities and local communities are already submitting their proposals for decades to obtain financial resources for co-financing wastewater treatment plants. Since this kind of tenders are no longer available, and the majority of rural areas (in Slovenia 60%) still does not have regulated sewerage, other approaches, that allow reducing the concentrations of pollutants in the water, which are harmful for our health, are becoming more and more important.

In this paper we presented the possibility of using natural wastewater treatment systems, which in the comparative method pilot test work reliably and are ready to be quickly, without major investment used in practice.

We analyzed Gajševsko Lake as an example of highly contaminated water accumulation. In a cross-border project Slovenia - Croatia we developed approaches to reduce pollutants in water and this has an important influence on the quality of the soil and human health.