

Avtorici prispevka:
Darja Istenič, LIMNOS Podjetje za aplikativno ekologijo d.o.o., Slovenija,
darja@limnos.si

Maja Zupančič Justin, Limnos d. o. o., Slovenija, maja@limnos.si

Rastlinske čistilne naprave na območjih razpršene poselitve: čiščenje odpadnih voda in druge ekosistemske storitve

Izvleček

Ekoremediacije in metode ekološkega načrtovanja spodbujajo oblikovanje trajnostnih ekosistemov, ki povezujejo potrebe človeka z njegovim naravnim okoljem v korist obeh. Nekatere od takšnih metod so naravna in grajena mokrišča ali rastlinske čistilne naprave. Od leta 1989 je bilo v Sloveniji projektiranih več kot 140 načrtov rastlinskih čistilnih naprav za male čistilne sisteme in mnogi od teh so bili zgrajeni za čiščenje komunalnih, industrijskih in meteornih odpadnih voda ter izcednih voda iz odlagališč odpadkov. Njihovo uspešno delovanje je dokazalo, da lahko nizko cenovna, decentralizirana in na naravnih procesih temelječa infrastruktura za čiščenje odpadnih voda dosega zahtevane standarde izpustov. Poleg tega ti sistemi postajajo vedno bolj smotrni za učinkovito ravnanje z odpadnimi vodami na območjih razpršene poselitve s topografsko razdeljenimi in majhnimi naselji, saj omogočajo čiščenje in ponovno uporabo vode in hranil ter nudijo druge ekosistemske storitve, kot so privzem in vezava ogljika, uravnavanje poplavnih viškov, tvorba novih habitatov itd. V članku je predstavljena učinkovitost čiščenja, možnosti prihranka stroškov v primeru njihove rabe ter druge ekosistemske storitve, ki jih nudijo. Predstavljeni so tudi rezultati analiz večletnega spremljanja delovanja rastlinskih čistilnih naprav.

Ključne besede: ekološko načrtovanje, ekoremediacije, rastlinske čistilne naprave, ekosistemske storitve, decentralizirani čistilni sistemi

Constructed wetlands in areas of dispersed settlement: wastewater treatment and other ecosystem services

Summary

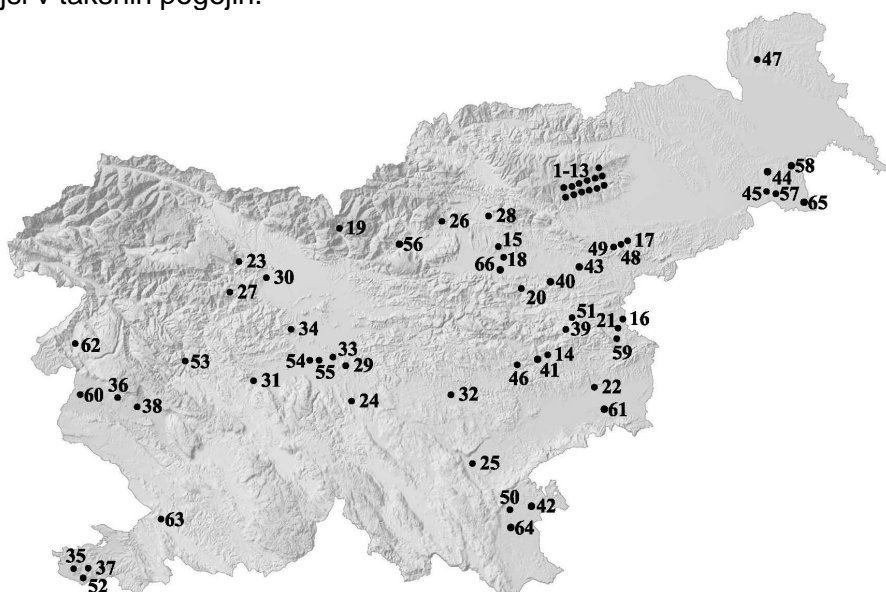
Ecorestorations and methods of ecological engineering promote the design of sustainable ecosystems that integrate human needs with its natural environment for the benefit of both. One such methods are natural and constructed treatment wetlands. Since 1989, more than 140 design projects on constructed wetlands for small scale wastewater treatment systems have been elaborated in Slovenia and many of them realised for treatment of municipal, industrial, urban and landfill wastewaters. Their successful operation proved that low-cost, decentralised naturally-based infrastructure for wastewater treatment reaches required outflow standards. Besides, they are becoming increasingly relevant for successful wastewater management in dispersed, topographically divided and small settlements as they promote recovery and reuse of wastewater resources and offer other ecosystem services like carbon capture and sequestration, flood control, new habitat creation, etc. Their treatment performance, cost saving possibilities and different ecosystem services are

discussed in the paper. The results from several years operation of constructed wetlands are presented.

Key words (ecological engineering, ecoremediation, constructed treatment wetlands, ecosystem services, decentralised wastewater treatment systems)

1 Uvod

Večina 20.273 km² površine Slovenije je hribovita ali gorata, s približno 90% površine 200 m ali več nad morjem. Izjema je Panonska nižina na vzhodu in severovzhodu. Velik del območja je zaščiteno zaradi ekoloških in naravovarstvenih vrednosti. Jugozahodni del predstavlja kraški svet, ki pokriva približno 44 odstotkov površine, in je s stališča zaščite voda zelo ranljivo območje. Poleg posebnih geografskih in naravnih značilnosti je za Slovenijo specifična razpršena poselitev, kjer 59,5% prebivalcev živi v naseljih z manj kot 5000 prebivalci ali populacijskimi ekvivalenti (PE). Večina naselij je celo s 200 do 500 PE. Tako se zastavlja vprašanje, kakšen sistem zbiranja, odvajanja in čiščenja odpadne vode je najprimernejši v takšnih pogojih.



Slika 1: Rastlinske čistilne naprave (RČN) LIMNOWET® v Sloveniji zgrajene do konca leta 2010. RČN 1-37 so namenjene čiščenju komunalnih odpadnih voda posameznih gospodinjstev (3-40 PE), RČN 38-51 so namenjene čiščenju komunalnih odpadnih voda malih naselij (25-800 PE), RČN 52-58 so namenjene čiščenju izcednih voda z odlagališč odpadkov (100 -300 PE), RČN 59-65 so sistemi za čiščenje industrijske odpadne vode (50-300 PE) in RČN 66 čisti odtok z avtocestne površine.

Vir: Limnos d.o.o.

Leta 2004 je slovenska vlada sprejela Operativni program odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda, ki ga je potrebno uresničiti do leta 2018 (OP, 2004). Do sedaj so bili zgrajeni večji sistemi odvajanja in čiščenja odpadne vode (za 10.000 - 360.000 PE) s primarnim in sekundarnim sistemom čiščenja. Terciarno čiščenje je potrebno vzpostaviti do leta 2015 za čistilne naprave (ČN) med 2.000 in 10.000 PE. Odvajanje in čiščenje odpadnih voda za majhna naselja v velikosti do 2000 PE, ki predstavljajo okoli 52 % prebivalstva, bo treba izvesti do leta 2018. Po izgradnji velikih centraliziranih ČN z dolgimi kanalizacijskimi sistemi in prečrpališči pri nas in v Evropi je postalo jasno, da so razpršene rešitve z majhnimi ČN pogosto veliko bolj primerne s finančnega, operativnega in ekološkega vidika (Abra et al., 2011). Na tem področju se rastlinske čistilne naprave (RČN), izkazujejo kot učinkovit pristop, še posebej na področju čiščenja komunalnih odpadnih voda (Zupančič Justin et al., 2011).

Uporaba RČN za čiščenje odpadnih voda, kjer se prepleta biološki način čiščenja s principi fitoremediacije, je bila v Sloveniji uvedena leta 1989 s strani raziskovalne skupine formirane v okviru Vodnogospodarskega inštituta, ki je kasneje prerasla v podjetje Limnos (Vrhovšek in Bulc, 1994). Do leta 2011 je bilo izgrajenih več kot 66 RČN v Sloveniji (LIMNOWET[®]) za čiščenje različnih vrst odpadne vode, predvsem komunalne (51) s kapaciteto od 3 do 800 PE, industrijske odpadne vode - za predelavo hrane (7), izcedne vode (7) in čiščenje odtoka z avtocestnih površin (1) (Slika 1). Danes lahko najdemo številne objave, ki dokazujejo učinkovitost njihovega delovanja s stališča odstranjevanja posameznih onesnaževal, kot so zmanjševanje organske obremenitve v obliki BPK₅, KPK, dušika, fosforja, težkih kovin, in drugih kompleksnih organskih onesnaževal, kot tudi njihove prednosti s stališča nizkih stroškov gradnje in vzdrževanja v primerjavi z ostalimi tehnološkimi rešitvami (Kadlec in Wallace, 2009). Manj pozornosti v literaturi pa je bilo do sedaj posvečeno njihovim preostalim prednostim in storitvam, kot je možnost izrabe nastale biomase v energetske namene ter tako imenovanim ekosistemskim storitvam kot so zadrževanje hidravličnih viškov, ustvarjanje novih habitatov, vezava CO₂, itd.

2 Materiali in metode

2.1 Načrtovanje in gradnja RČN za čiščenje odpadnih voda

Od leta 1989 do 2011 je Limnos izgradil 66 sistemov RČN v različnih regijah v Sloveniji (Slika 1). Prva pilotna RČN je bila zgrajena v Ajdovščini ob centralni ČN. Prvi sistem v celotnem obsegu pa je bil izgrajen v Ponikvi leta 1991 za čiščenje komunalnih odpadnih voda naselja in je še vedno v uporabi. Sistemi so bili zasnovani na osnovi hidravličnih in masnih obremenitve ob upoštevanju slovenskih predpisov odvajanja in čiščenja odpadnih voda (Ur. l. RS, 1996, Ur. l. RS, 2007). Peščeni substrat oziroma medij ima pomembno vlogo pri čiščenju odpadne vode, zato je za vsako RČN izbrana prilagojena mešanica substrata v skladu s specifičnimi obremenitvami. V začetkih načrtovanja so bile upoštevane smernice, ki jih navaja Cooper (1990). Danes v slovenskem okolju načrtujemo izključno sisteme s podpovršinskim tokom. V ta namen velik del pozornosti posvečamo rešitvam v smeri preprečevanja mašenja sistema. Po letu 1995 smo začeli z uvajanjem novih elementov, ki vključujejo izmenični horizontalni in vertikalni podpovršinski pretok vode. Danes sistem RČN običajno sestavljajo štiri ločene grede s prvo in zadnjo gredo s horizontalnim podpovršinskim tokom vode ter osrednjima čistilnima gredama z vertikalnim pretokom vode. Vertikalni pretok vode zagotavlja boljši vnos kisika v sistem in s tem intenzivnejše procese razgradnje organskih snovi kot tudi učinkovitejšo nitrifikacijo. Mehansko predčiščenje se odvija v zadrževalniku oziroma troprekadni greznici. Celoten sistem čistilnih gred je vodotesen in običajno izoliran s folijo HDPE. Substrat oziroma medij je predvsem mešanica različnih materialov (šota, zemlja, pesek, prod), ki se razlikujejo v velikosti zrn in deležu. Globine čistilnih gred RČN variirajo od 0,4 do 0,9 m. Površine izgrajenih sistemov RČN v Sloveniji se gibljejo med 20-1000 m². Gredice so zasajene predvsem s trsom (*Phragmites australis*), šaši (*Carex gracillis*) in rogozom (*Typha latifolia*). V primeru malih individualnih sistemov za posamezno gospodinjstvo se zagotavlja večja estetska vrednost z zasaditvijo irisa (*Iris pseudacorus*) v kombinaciji z rogozom in trsom.

2.2 Spremljanje učinkovitosti RČN

V prispevku je predstavljena uspešnost čiščenja odpadnih voda izbranih RČN, na katerih je bil opravljen daljši monitoring kakovosti vode. Spremljanje učinkovitosti čiščenja je bila opravljena v skladu s slovensko zakonodajo (Ur. l. RS, 2007). V primeru malih čistilnih naprav je potrebno spremljati vrednosti KPK in BPK₅ na vtoku in iztoku iz ČN. Na ČN z zmogljivostjo manj kot 200 PE se izvajajo meritve vsako tretje leto, za čistilne naprave z zmogljivostjo med 200 in 1000 PE vsako drugo leto in vsako leto za čistilne naprave z zmogljivostjo nad 1000 PE. Pri prikazu rezultatov smo zajeli RČN s kapaciteto med 50 na 350 PE, ki so v lasti in

upravljanju komunalnih podjetij. Na nekaterih RČN je bilo v okviru različnih raziskovalnih projektov opravljeno obsežnejše spremljanje učinkovitosti delovanja in je zato predstavljenih več podatkov. Vse analize so bile opravljene v akreditiranih laboratorijih.

2.3 Primerjava stroškov ČN

Za primerjavo stroškovne učinkovitosti malih čistilnih naprav kot so RČN v primerjavi s klasičnimi biološkimi čistilnimi napravami smo uporabili vhodne podatke iz študije o Malih čistilnih napravah na območjih razpršene poselitve (Kompore et al., 2007). V njihovi študiji je bila opravljena analiza za ČN z razpršeno in pritrjeno biomaso, RČN, odprte lagunske sisteme, ter greznične sisteme za 5, 10, 20, 50 in PE. V analizi so bili predstavljeni investicijski stroški, ter stroški obratovanja in vzdrževanja z upoštevanjem naslednjih parametrov:

- Ekonomska doba investicije - 25 let
- Diskontna stopnja - 6%
- Življenjska doba malih ČN - 25 let (gradbeni del) in 13 let (strojni in elektro del).
- Letna taksa za obremenjevanje okolja - 26 €/PE (za 85% znižana taksa za obremenjevanje okolja znaša 3.9€/PE).
- Cena električne energije - 0.1€/kWh
- Cena čiščenja mulja za pretočne greznice in biološke čistilne naprave - 13.3 €/m³
- Cena čiščenja mulja za nepretočne greznice - 0.52 €/m³
- Cena odvoza mulja z 10m³ cisterno - 1.25 €/km
- Povprečna razdalja transporta mulja - 50 km

3. Rezultati in diskusija

3.1 Učinkovitost čiščenja RČN

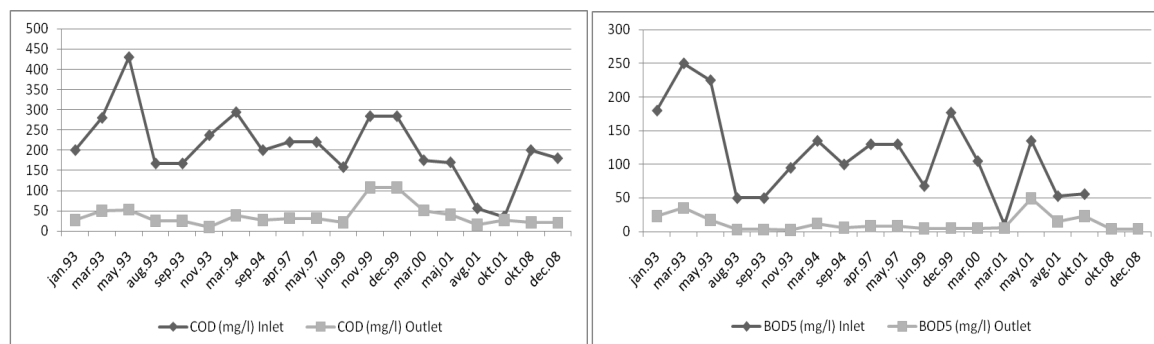
Rezultati rednih nadzornih meritev spremljanja učinkovitosti RČN so predstavljeni v Tabeli 1. Analize so bile opravljene v letu 2008 s strani akreditiranih laboratorijev. RČN so delovale v skladu z zahtevami zakonodaje (Uradni list RS, 2007).

Tabela 1: Analiza učinkovitosti delovanja RČN za čiščenje komunalnih odpadnih voda, opravljena v letu 2008 (spomladanska in jesenska analiza), opravljena s strani akreditiranih laboratorijev

		Ponikva pri Šentjurju	Velika Nedelja	Sv. Tomaž	Planina pri Sevnici	Bazga pri Sevnici
Leto izgradnje naprave		1992 obnovljena 1999	2001	2002	2002	2007
Št priključenih PE		350	400	250	550	500
Izvajalec analiz		ZZVC*	ZZVM**	ZZVM**	ZZVC*	ZZVNM***
Suspendirane snovi (mg/L)	vtok	29-35	26-82	-	-	-
	iztok	10	10	-	-	-
KPK (mg/L)	vtok	180-200	120-220	190-200	150	143-448
	iztok	21-22	33-60	30	35	20-24
	norm.	150	150	150	150	150
BPK₅ (mg/L)	vtok	-	60-100	50-70	-	-
	iztok	4	8	3	8	3.4 - 2
	norm.	30	30	30	30	30
P_{tot} (mg/L)	vtok	-	2,3-11	-	-	-
	iztok	-	1.2-1.4	-	-	-
Amonijev N	vtok	-	13-40	-	-	-

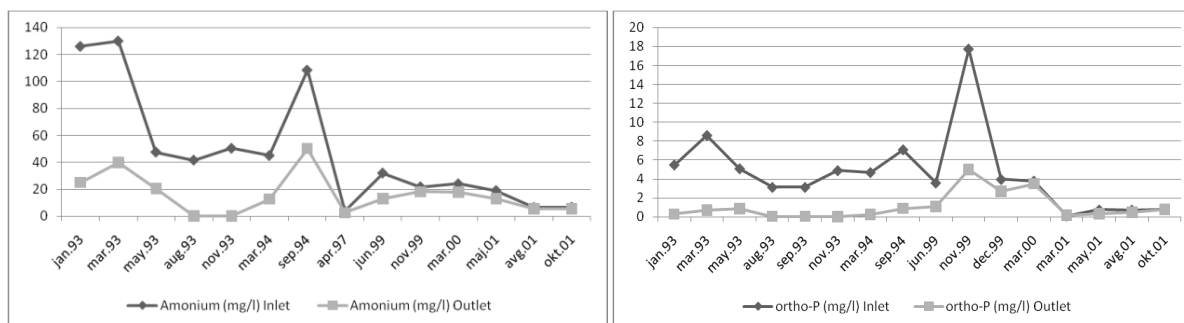
(mg/L) iztok - 13-26 - - -

* Zavod za zdravstveno varstvo Celje, **Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, *** Zavod za zdravstveno varstvo Novo Mesto



Slika 2: Vrednosti KPK (COD) in BPK₅ (BOD₅) na vtoku (inlet) in iztoku (outlet) iz RČN v Ponikvi od januarja 1993 do decembra 2008

Sliki 2 in 3 predstavljata rezultate večletnih meritev delovanja RČN Ponikva, ki je bila zgrajena za 350 PE. Iz rezultatov je razvidno, da je prihajalo do večjih nihanj koncentraciji BPK₅ in KPK na dotoku v RČN, med tem ko iztočne koncentracije ostajajo nizke v celotnem obdobju delovanja naprave, z izjemo iztočnih vrednosti KPK izmerjenih v letu 1999. Visoke koncentracije KPK odkrite v letu 1999 so bile posledica zamašitve substrata po osem-letnem delovanju naprave. Po zamenjavi substrata se je znova vzpostavila visoka učinkovitost delovanja. V nasprotju s konstantnimi koncentracijami KPK in BPK₅ na iztoku, to ne velja vedno za koncentracije amonijevega dušika. Iztočne koncentracije amonija sledijo dotočnim vrednostim. Večja učinkovitost odstranjevanja se izkazuje pri višjih koncentracijah amonija na dotoku. Nihanja v učinkovitosti so posledica spreminjanja kisikovih razmer v horizontalnem sistemu RČN, ki morajo biti oksične, da dosežemo zadostno oksidacijo amonija. Oksigenacijo celotnega sistema RČN je mogoče izboljšati z uvajanjem vertikalnega in izmeničnega pretoka vode, ki ga RČN Ponikva, kot ena izmed prvih izgrajenih sistemov še nima. Novejši izgrajeni sistemi RČN v Sloveniji imajo zato v osrednjem delu čistilni gredi vertikalni pretok vode. Kljub temu, da nekateri avtorji poročajo o težavah pri odstranjevanju fosforja iz odpadne vode (Brix, 2001) lahko v primeru RČN Ponikva ugotovimo učinkovito odstranjevanje le-tega.



Slika 3: Vrednosti koncentracij amonija in ortofosfata (mg/L) na vtoku in iztoku iz RČN v Ponikvi med januarjem 1993 in avgustom 2001

3.2 Decentralizirano čiščenje odpadne vode s pomočjo RČN v primerjavi s centraliziranim čiščenjem v centralnih ČN

Odločitev med izbiro več malih decentraliziranih ČN in enim posameznim velikim centralnim sistemom je danes velik izziv (Abra et al., 2011). Običajno se primerjajo stroški čiščenja za kubični meter odpadne vode, ki se nižajo z večjo količino čiščene vode na napravi, kar govori v prid večjim čistilnim sistemom. Vendar pa to vedno ne drži, še posebej če upoštevamo značilne vzorce poselitve zaradi specifičnih geografskih danosti (dolgi kanalizacijski sistemi, velika prečrpališča), enkratne velike stroške investicij, zahtevno vzdrževanje in obratovanje velikih naprav, kot tudi druge okoljske in družbene vplive.

Tabela 2: Celotni stroški obratovanja in izvedbe ČN, preračunani na populacijski ekvivalent (PE) in m³ odpadne vode za 25-letno obratovalno obdobje

Nazivna velikost ČN [PE]	5	10	20	50	5	10	20	50
Tip ČN	€/PE				€/m ³			
Razpršena biomasa (SBR)	1,970.94	1,561.40	1,177.34	755.53	1.44	1.14	0.86	0.55
Pritrjena biomasa	1,720.73	1,278.90	1,103.61	804.19	1.26	0.93	0.81	0.59
Rastlinska čistilna naprava	1,180.03	934.78	704.76	452.14	0.86	0.68	0.51	0.33
Lagune	985.52	851.06	721.97	604.52	0.72	0.62	0.53	0.44
Nepretočne greznice	8,133.89	7,083.52	6,398.91	6,351.30	5.94	5.18	4.68	4.64
Pretočne greznice	820.44	664.81	575.59	519.90	0.60	0.49	0.42	0.38

Vir: Kompare et al, 2007, str 55.

Drug problem predstavljajo mala in razpršena naselja z manj kot 50 PE, ki se nahajajo izven aglomeracij in niso priključene na centralni kanalizacijski sistem (Kompare et al., 2007). Na teh območjih so gospodinjstva ali mala naselja sama odgovorna za čiščenje odpadnih voda. V tem primeru je prava odločitev glede izbire malega čistilnega sistema velikega pomena. Stroški se lahko zelo razlikujejo s stališča začetne investicije, obratovanja in vzdrževanja naprave. Dinamična analiza stroškov, ki so jo opravili Kompare s sod. (2007) je pokazala, da so najvišji stroški v primeru uporabe nepretočnih greznic, zaradi potrebe po rednem praznjenju in odvozu blata (Tabela 2). Najnižji stroški pa se po tem izračunu izkazujejo pri uporabi RČN, lagunskih sistemov ter pretočnih greznic. Tudi tu se stroški čiščenja zmanjšujejo z večanjem števila priključenih PE. Analiza je tudi pokazala, da je v primeru razpršene poselitve, ko so posamezna gospodinjstva oddaljena več kot 100 m, primerna individualna čistilna naprava za posamezno gospodinjstvo.

3.3 Ekosistemske storitve RČN v primerjavi s konvencionalnimi ČN

Zgornjo dinamično stroškovno analizo mikro ČN bi lahko nadgradili s primerjavo učinkovitosti čiščenja, zunanjega izgleda naprave in sprejemljivosti s strani javnosti, zahtevami po potrebni površini kot tudi drugimi ekosistemskimi vrednostmi naprave.

Danes se ponovno odkriva dodatni potencial mokrišč. Njihova ekološka, kulturna in estetska vrednost je danes splošno priznana (Steer et al, 2003; Ogden, 2001). Med tovrstna mokrišča lahko uvrščamo RČN. Vendar pa predstavitev vrednosti oziroma stroškov teh naprav v glavnem temelji na predstavitvi kapitalskih stroškov nastalih med gradnjo, obratovanjem in vzdrževanjem. Drugi potenciali RČN, kot so estetske, ekološke in kulturne vrednosti pa po navadi niso vključeni v celotno oceno stroškov in koristi (Steer et al., 2003). Steer et al. (2003) pa je v svoji raziskavi pokazal, da bi neto trenutna vrednost stroškov RČN lahko bila do 3.000 ameriških dolarjev nižja od stroškov primerljivih peščenih filtrov, če upoštevamo tudi

ekosistemske storitve RČN. Pri izračunih so upoštevali ekosistemsko vrednost mokrišč, ki je bila ocenjena na 14.785 ameriških dolarjev na hektar letno (Costanza et al., 1997). Pri vrednotenju ekosistemskih vrednosti mokrišč so upoštevali, da lahko mokriča nudijo več ekosistemskih storitev, kot so regulacija plinov (vezava CO₂, sproščanje O₂), uravnavanje vodnih viškov (sušnih in poplavnih), čiščenje in zagotavljanje vode (npr. ponovna uporaba za namene namakanja), habitatno funkcijo, hrano, krmo in druge surovine, kot tudi rekreacijske in kulturne storitve. Vrednotenje teh storitev pa temelji predvsem na različnih tehnikah ocenjevanja »pripravljenosti plačila« posameznika za ekosistemsko storitev.

Ogden (2001) je izpostavil kapaciteto RČN k zmanjšanju atmosferskega ogljika (preračunanega iz CO₂). Le to lahko dosežemo zaradi majhnih potreb po električni energiji za delovanje RČN in s pomočjo zadrževanja ogljikovih spojin v sistemu RČN v primerjavi z drugim sistemi za čiščenje odpadnih voda. Veliki čistilni sistemi, kot so npr. biološke ČN z dispergirano biomaso, lahko obratujejo z relativno nizkimi stroški na količino očiščene vode. Vendar pa ostaja poraba energije velika in narašča s kompleksnostjo tehnologije (Ogden, 2001). Po izračunih Ogdena (2001) ČN z aktivnim blatom, ki je najpogostejši tip ČN, generira med 1 in 4 kg atmosferskega ogljika na vsak kilogram odstranjenega ogljika zaradi potrebe po energiji v času čiščenja vode. RČN pa lahko deluje po gravitacijskem principu brez uporabe električne energije. Pri tem zagotavlja dvojje: prihranek energije in posledično zmanjšanje izpustov CO₂. V nedavni študiji so Pan Tao et al. (2011) izračunali, da ČN lahko sprostijo celo 7,3 kg ekvivalenta CO₂ pri odstranitvi 1 kg BPK₅, medtem ko RČN odda le 3.18 kg CO₂-eq ob upoštevanju celotnega življenjskega cikla obeh naprav. Po ocenah Pan Tao et al. (2011) so emisije klasične ČN skoraj sedemkrat večje v primerjavi z vertikalnim sistemom RČN v času čiščenja odpadne vode. Zaključki njihove študije so pokazali, da je vertikalni sistem RČN učinkovita izbira za zmanjševanje emisij toplogrednih plinov na področju čistilnih naprav.

V primeru ko bi lahko tudi ves ogljik, dušik in fosfor iz odpadne vode pretvorili v estetske in energetske ali drugače uporabne rastline, bi dosegli idealen sistem z vezavo ogljika. Tega za enkrat ni mogoče doseči tudi s pomočjo RČN oziroma mokrišč, saj je pretvorba ogljika iz odpadne vode in cel ogljikov cikel zelo kompleksen. Ravno tako se mokrišča močno razlikujejo v načinu kroženju ogljika in emisijah, ki pri tem nastajajo. Odločilno vlogo imajo vrste rastlin, višina vodnega stolpca ter podnebje (Brix et al, 2001.). Po nekaterih ocenah se le 2% ogljika iz odpadne vode veže v mokrišču (Ogden, 2001). Kljub temi pa lahko 4 ha veliko mokrišča s 160 mg/L ogljika na vtoku veže približno 3,4 tone ogljika na leto ali 0,8 t/ha/leto po tem preračunu (Ogden, 2001).

Trs (*Phragmites australis*) proizvede v povprečju v RČN med 0,3 – 4,5 kg nadzemne suhe mase na kvadratni meter na leto (Brix et al, 2001.). V slovenskih razmerah pa smo izmerili celo 6,5 kg/m²/leto suhe mase nadzemnega dela trsa (pilotna RČN v Ajdovščini za čiščenje komunalnih odpadnih voda). Razmerje med podzemnim in nadzemnim delom biomase je ocenjeno na 2.5 (Brix et al., 2001). S stališča vezave ogljika to znese med 0,15 - 3,25 kg C/m²/leto za nadzemni del ter med 0,5 in 11,38 kg C/m²/leto za celotno biomaso trsa, ob predpostavki, da 1 g suhe biomase vsebuje 0,5 g ogljika. Ob predpostavki, da lahko iz sistema odstranimo le nadzemni del biomase, lahko iz RČN odstranimo med 1,5 - 32,5 t C / ha/leto. To so nekoliko višje vrednosti kot jih je izračunal Ogden (2001) za naravna mokrišča, kar je posledica različnih vnosov hranil in vode, ki različno vplivajo na rast rastlin.

V pregledu smo pokazali, da lahko s izbiro naravnega čistilnega sistema, kot je RČN, ne le očistimo odpadno vodo do zahtevanih standardov na stroškovno učinkovit način, temveč prispevamo tudi k drugim ekosistemskim storitvam (kot je zadrževanje ogljika in sproščanje kisika, povečanje habitatne funkcije, omilitev sušnih in vodnih viškov, tvorba uporabne večnamenske biomase, itd), k zmanjševanju porabe energije ter s tem k zmanjšanju prispevka k tvorbi toplogrednih plinov.

Literatura in viri

Abra J., Lutter S., Miedzinski M., Water Inovation: How Eco-Innovation can contribute to the sustainability of Europe's water resources. EIO Thematic report. 2011. Dostopno na: www.eco-innovation.eu. (1.3. 2012)

Brix H., Sorrell B. K., Lorenzen, B., 2001: Are Phtagmites-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic botany*, 69, 313-324.

Cooper, P.F., 1990: *European Design and Operation Guidelines for Reed Bed Treatment Systems*, Report No UI 17, Water Research Centre, Swindon, UK.

Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Raskin R.G., Sutton P., van del Belt M., 1997: The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.

Kadlec R.H., Wallace S. D., 2009: *Treatment Wetlands*, second edition, CRC Press.

Kompare, B., Atanasova, N., Uršič M., Drev, D., Vahtar, M., 2007: Male čistilne naprave na območjih razpršene poselitve. Domžale: ICRO – Inštitut za celostni razvoj in okolje; FGG, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, Ljubljana. http://www.fgg.uni-lj.si/izh/izh1/0_Dokumenti/Projekti/MCN/Brosura.pdf (8.3.2012).

Ogden, M.H., 2001: Atmospheric carbon reduction and sequestration in small community wastewater treatment systems using constructed wetlands. In: *On-Site Wastewater Treatment, Proceedings of the Ninth National Symposium on Individual and Small Community Systems*, March 11-14, 2001, Fort Worth, Texas; American Society of Agricultural Engineers.

OP, 2004: Operativni program odvajanja in čiščenje odpadnih voda, 41 str.. Dostopno na internetu: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/okolje/varstvo_okolja/operativni_programi/operativni_program_komunalne_vode.pdf (8.3.2012).

Steer, D., Aseltyne T., Fraser L., 2003: Life-cycle economic model of small treatment wetlands for domestic wastewater disposal. *Ecological Economics*, 44, 359-369.

Tao Pan, Xiao-Dong Zhu, Ya-Ping Ye, 2011: Estimate of life-cycle greenhouse gas emissions from a vertical subsurface flow constructed wetland and conventional wastewater treatment plants: A case study in China. *Ecological Engineering* 37, 248–254.

Ur. l. RS, 1996: *Official Gazette of the Republic of Slovenia*. Decree on the Emission of Substances and Heat in the Drainage of Wastewater from Pollution Sources, (in Slovenian), 35, 11-24.

Ur.l. RS, 2007: *Official Gazette of the Republic of Slovenia* (2007). Decree on the Emission of Substances and Heat in the Drainage of Wastewater from municipal wastewater treatment plants 45, 6170 - 6182.

Urbanč-Berčič, O., Bulc, T., Vrhovšek, D., 1998: Slovenia, In: *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*, J. Vymazal, H. Brix, P.F. Cooper, M.B. Green, R. Haberl (ed.), Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 241-250.

Vrhovšek, D., Bulc, T. 1994: Development of Constructed Wetlands in Slovenia. *Aquaphyte*, 14, 14-15.

Zupančič Justin M., Vrhovšek M., Istenič D., Ameršek I., Vrhovšek D. Phytoremediation and other ecosystem services of constructed wetlands for wastewater treatment: 22 years of experiences in Slovenia. STREPOW International Workshop, Andrevlje-NoviSad, Srbija, Februar 23-24, 2011.