

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Hrast, T. 2012. Osnutek smernice za projektiranje rastlinskih čistilnih naprav v Sloveniji na osnovi primerjave praks v Evropi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kompare, B., somentorica Griessler Bulc, T.): 76 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Hrast, T. 2012. Osnutek smernice za projektiranje rastlinskih čistilnih naprav v Sloveniji na osnovi primerjave praks v Evropi. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kompare, B., co-supervisor Griessler Bulc, T.): 76 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
VODARSTVA IN
KOMUNALNEGA
INŽENIRSTVA

Kandidatka:

TANJA HRAST

**OSNUTEK SMERNICE ZA PROJEKTIRANJE
RASTLINSKIH ČISTILNIH NAPRAV V SLOVENIJI NA
OSNOVI PRIMERJAVE PRAKS V EVROPI**

Diplomska naloga št.: 193/VKI

**DRAFT OF THE GUIDELINES FOR THE DESIGN OF
CONSTRUCTED WETLANDS IN SLOVENIA BASED ON
PRACTICES IN EUROPE**

Graduation thesis No.: 193/VKI

Mentor:

prof. dr. Boris Kompare

Predsednik komisije:

doc. dr. Dušan Žagar

Somentorica:

doc. dr. Tjaša Griessler Bulc

Član komisije:

prof. dr. Franc Steinman

Ljubljana, 30. 10. 2012

Stran za popravke

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVE

Podpisana Tanja Hrast izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom »Osnutek smernic za projektiranje rastlinskih čistilnih naprav v Sloveniji na osnovi primerjalnih praks v Evropi«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 23. 10. 2012

Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček

UDK:	57:628.35(043.2)
Avtor:	Tanja Hrast
Mentor:	prof. dr. Boris Kompare
Somentor:	doc. dr. Tjaša Griessler Bulc
Naslov:	Osnutek smernic za projektiranje rastlinskih čistilnih naprav v Sloveniji na osnovi primerjalnih praks v Evropi.
Obseg in oprema:	76 str., 23 tab., 35 sl., 12 en.
Ključne besede:	Rastlinska čistilna naprava, načrtovanje rastlinskih čistilnih naprav, smernice, Danska, Italija, Avstrija, Slovenija

Izvleček

Rastlinske čistilne naprave (RČN) so umetno zasnovan sistem s primarno funkcijo čiščenja odpadnih voda. Pri učinkovitem čiščenju RČN posnemajo samočistilno sposobnost narave tako, da gre za poceni in preproste sisteme. RČN kot obstoječ sistem ne predstavlja večjega gradbenega posega in sistem kot tak skrbi za neokrnjen izgled naravnega okolja. Ti sistemi postajajo prepoznavni po vsej Evropi. Ker je evropsko območje v geografskem, geološkem in podnebnem smislu zelo raznoliko, se temu primerno prilagaja tudi načrtovanje sistemov, saj je potrebno upoštevati dejavnike okolja. V diplomski nalogi sem RČN predstavila v splošnem in smernice RČN v treh posameznih državah. To so Danska, Avstrija in Italija. Primerjala sem obstoječe sisteme iz teh treh držav ter Slovenije. Opredelila sem se na sisteme s horizontalnim in z vertikalnim tokom vode, ki so dimenzionirane za čiščenje komunalne odpadne vode. Glede na izkušnje Danske, Avstrije in Italije sem predpostavila smernice, ki veljajo za slovensko območje. Pri analizi podatkov sem ugotovila odstopanja med državami, ki so razlog dejavnikov okolja in smernic predpostavljenih v posamezni državi.

Bibliographic – Dokumentalistic information and abstract

UDC:	57:628.35(043.2)
Author:	Tanja Hrast
Supervisor:	prof. Boris Kompare, Ph.D.
Cosupervisor:	Assist. prof. Tjaša Griessler Bulc, Ph.D.
Title:	Draft of the guidelines for projecting CW in Slovenia based on comparing with practices in Europe.
Notes:	76 p., 23 tab., 35 fig., 12 eq.
Key words:	constructed wetlands, design of constructed wetlands, guidance, Denmark, Italy, Austria, Slovenia

Abstract

Constructed wetlands (CWs) refer to artificially designed systems with the main function of wastewater treatment. For effective cleaning CWs imitate the self-cleaning ability of nature, which makes such systems simple. Moreover, CWs don't have a large construction impact and its system interference has the natural appearance. These systems are already relatively widespread and are getting popular across Europe. As the European area has very different geographical, geological and climatic specifications, the designing of the system should be adjusted according to the specific location. In my degree work I present the CWs in general, together with the practice in European countries, such as Denmark, Austria and Italy. Within my work I compared the guidelines, which are prescribed for the design of systems for each country, mentioned above, and existing systems in these three countries and Slovenia. I have identified the systems with horizontal and vertical flow of water, which are dimensioned for the treatment of wastewater. Based on the experience of Denmark, Austria and Italy, I derived the guidelines, that can be applied for the Slovenian territory. While analyzing the data, I have found differences between countries, which are caused by environmental factors and guidelines assumed in each country.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Borisu Komparetu in somentorici doc. dr. Tjaši Griessler Bulc za vso pomoč pri izdelavi diplomske naloge. Hvala tudi vsem ostalim, ki so kakorkoli pripomogli k nastanku diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi družini in prijateljem za podporo in razumevanje tako pri diplomu kot tudi pri celotnem študiju.

Kazalo

1	UVOD.....	1
2	RAZVOJ RČN IN SMERNIC.....	2
3	RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE	4
3.1	Delovanje RČN.....	5
3.2	Tipi RČN	12
3.2.1	Sistemi s površinskim tokom vode	12
3.2.2	Sistemi s podpovršinskim tokom.....	13
4	NAČRTOVANJE IN SMERNICE RČN	17
4.1	Splošno o načrtovanju RČN	17
4.2	Smernice RČN na Danskem	23
4.2.1	Smernice za sisteme s horizontalnim tokom vode.....	23
4.2.2	Smernice za sisteme z vertikalnim tokom vode	24
4.3	Smernice RČN v Avstriji	30
4.3.1	Splošne smernice za načrtovanju RČN	30
4.3.2	Smernice za sisteme z vertikalnim tokom vode	32
4.4	Smernice RČN v Italiji	34
4.4.1	Splošne smernice za načrtovanju RČN	35
4.4.2	Smernice za sisteme s horizontalnim tokom vode.....	36
4.4.3	Smernice za sisteme z vertikalnim tokom vode	36
5	ANALIZA PODATKOV RČN PO POSAMEZNI DRŽAVI	38
5.1	Analiza podatkov o RČN na Danskem	38
5.1.1	Splošni podatki o RČN	39
5.1.2	Dimenzijski podatki sistemov z vertikalnim in horizontalnim tokom vode	39
5.1.3	Pokazatelji učinkovitosti pri sistemih z vertikalnim in horizontalnim tokom vode	40

5.1.4	Sestava čistilne grede pri sistemih z vertikalnim in horizontalnim tokom vode ..41
5.2	Analiza podatkov o RČN v Avstriji42
5.2.1	Splošni podatki o RČN42
5.2.2	Dimenzijski podatki sistemov z vertikalnim in horizontalnim tokom vode.....43
5.2.3	Pokazatelji učinkovitosti pri sistemih z vertikalnim in horizontalnim tokom vode44
5.2.4	Sestava čistilne grede pri sistemih z vertikalnim in horizontalnim tokom vode ..44
5.3	Analiza podatkov o RČN v Italiji45
5.3.1	Splošni podatki o RČN45
5.3.2	Dimenzijski podatki sistemov z vertikalnim in s horizontalnim tokom vode46
5.3.3	Pokazatelji učinkovitosti pri sistemih z vertikalnim in horizontalnim tokom vode47
5.3.4	Sestava čistilne grede pri sistemih z vertikalnim in s horizontalnim tokom vode47
5.4	Analiza podatkov o RČN v Sloveniji48
5.4.1	Splošni podatki o RČN48
5.4.2	Dimenzijski podatki sistemov z vertikalnim in s horizontalnim tokom vode49
5.4.3	Pokazatelji učinkovitosti pri sistemih z vertikalnim in horizontlanim tokom vode50
5.4.4	Čistilna greda pri sistemih z vertikalnim in horizontlanim tokom vode51
6	PRIMERJAVA PODATKOV RČN Z VERTIKALNIM IN HORIZONTALNIM TOKOM VODE.....51
6.1	Površina/PE51
6.2	Globina grede.....53
6.3	Naklon dna čistilne grede54
6.4	Hidravlična obremenitev RČN55
6.5	Zadrževalni čas55
6.6	Pokazatelj učinkovitosti57
6.7	Čistilna greda61

7	OSNUTEK SMERNIC V SLOVENIJI GLEDE NA PRAKSE V TUJINI.....	62
7.1	Splošne smernice za načrtovanje RČN	63
7.2	Smernice za sisteme s horizontalnim tokom vode.....	65
7.3	Smernice za sisteme z vertikalnim tokom vode.....	66
8	SKLEPI IN UGOTOVITVE	67
VIRI	70

Kazalo slik

Slika 1: Rastlinska čistilna naprava.	4
Slika 2: Prerez skozi gredo rastlinske čistilne naprave.	5
Slika 3: Najpogosteje uporabljeni rastlini v rastlinskih čistilnih napravah: navadni trst (Phragmites australis) (levo) in rogoz (Typha latifolia) (desno).	9
Slika 4: Potek temperature skozi sistem rastlinske čistilne naprave	10
Slika 5: Potek izgradnje rastlinske čistilne naprave	11
Slika 6: Rastlinska čistilna naprava s površinskim tokom vode.	13
Slika 7: Rastlinska čistilna naprava z elementi za sisteme s podpovršinskim tokom vode.	14
Slika 8: Sistem s podpovršinskim horizontalnim tokom vode.	15
Slika 9: Sistem z vertikalnim podpovršinskim tokom vode.	16
Slika 10: Shematski prikaz delovanja rastlinske čistilne naprave s podpovršinskim vertikalnim tokom s sedimentacijskim tankom.	26
Slika 11: Granulometrični prikaz velikosti substrata, primerne za uporabo v sistemih z vertikalnim tokom vode.	27
Slika 12: Prikaz drenažnega sistema v rastlinskih čistilnih napravah.	27
Slika 13: Danske smernice predpisujejo, da se rastlinskim čistilnim napravam pri večjih obremenitvah prostornina gred sorazmerno poveča.	28
Slika 14: Rastlinska čistilna naprava s sistemom za dodajanje aluminjevega poliklorida na Danskem.	29
Slika 15: Prikaz čistilne grede pri sistemih z vertikalnim tokom vode v Avstriji.	33
Slika 16: Shema sistema z vertikalnim tokom vode v Avstriji.	33
Slika 17: Pogostost in razporeditev rastlinskih čistilnih naprav v Italiji.	34
Slika 18: Granulometrični prikaz sestave filtrirne posteljice v Italiji.	37
Slika 19: Površina/PE za sisteme z vertikalnim tokom vode.	52
Slika 20: Površina/PE za sisteme s horizontalnim tokom vode.	52
Slika 21: Globina grede za sisteme z vertikalnim tokom vode.	53

Slika 22: Globina grede za sisteme s horizontalnim tokom vode.	53
Slika 23: Naklon dna čistilne grede pri sistemih z vertikalnim tokom vode.	54
Slika 24: Naklon dna čistilne grede pri sistemih s horizontalnim tokom vode.	54
Slika 25: Hidravlična obremenitev RČN.	55
Slika 26: Zadrževalni čas za sisteme z vertikalnim tokom vode.	56
Slika 27: Zadrževalni čas za sisteme s horizontalnim tokom vode.	56
Slika 28: Parameter BPK_5 za sisteme z vertikalnim tokom vode.	58
Slika 30: Parameter KPK za sisteme z vertikalnim tokom vode.	58
Slika 29: Parameter BPK_5 za sisteme s horizontalnim tokom vode.	58
Slika 31: Parameter KPK za sisteme s horizontalnim tokom vode.	59
Slika 32: Parameter N_{tot} za sisteme z vertikalnim tokom vode.	59
Slika 33: Parameter N_{tot} za sisteme s horizontalnim tokom vode.	59
Slika 34: Parameter P_{tot} za sisteme z vertikalnim tokom vode.	60
Slika 35: Parameter P_{tot} za sisteme s horizontalnim tokom vode.	60

Kazalo preglednic

Tabela 1: Sestava čistilne grede po standardih, predpisanih v Avstriji	32
Tabela 2: Podatki rastinskih čistilnih naprav o lokaciji, letu, številu PE, predčiščenju, iztoku očiščene vode in tipu sistema na Danskem.	39
Tabela 3: Podatki rastinskih čistilnih naprav o površini, dimenziji gred, globini, naklonu, hidravlični obremenitvi, zadrževalnem času in tipu zasaditve na Danskem	40
Tabela 4: Parametri BPK_5 , KPK , N_{tot} in P_{tot} na Danskem	41
Tabela 5: Sestava čistilne grede na Danskem	41
Tabela 6: Podatki rastinskih čistilnih naprav o lokaciji, letu, številu PE, predčiščenju, iztoku očiščene vode in tipu sistema v Avstriji	42
Tabela 7: Podatki rastinskih čistilnih naprav o površini, dimenziji gred, globini, naklonu, hidravlični obremenitvi, zadrževalnem časi in tipu zasaditve v Avstriji	43

Tabela 8: Parametri BPK_5 , KPK , N_{tot} in P_{tot} v Avstriji.....	44
Tabela 9: Sestava čistilne grede v Avstriji.....	44
Tabela 10: Podatki rastinskih čistilnih naprav o lokaciji, letu, številu PE, predčiščenju, iztoku očiščene vode in tipu sistema.....	45
Tabela 11: Podatki rastinskih čistilnih naprav o površini, dimenziji gred, globini, naklonu, hidravlični obremenitvi, zadrževalnem časi in tipu zasaditve v Italiji.....	46
Tabela 12: Parametri BPK_5 , KPK , N_{tot} in P_{tot} v Italiji	47
Tabela 13: Sestava čistilne grede v Italiji	47
Tabela 14 Podatki rastinskih čistilnih naprav o lokaciji, letu, številu PE, predčiščenju, iztoku očiščene vode in tipu sistema.....	48
Tabela 15: Podatki rastinskih čistilnih naprav o površini, dimenziji gred, globini, naklonu, hidravlični obremenitvi, zadrževalnem času in tipu zasaditve v Sloveniji.....	50
Tabela 16: Parametri BPK_5 , KPK , N_{tot} in P_{tot} v Sloveniji.....	50
Tabela 17: Sestava čistilne grede v Sloveniji.....	51
Tabela 18: Površina glede na PE za sisteme z vertikalnim tokom vode in H-RČN	52
Tabela 19: Globina grede V-RČN in H-RČN.....	53
Tabela 20: Naklon	54
Tabela 21: Hidravlična obremenitev RČN	55
Tabela 22: Zadrževalni čas pri sistemih z vertikalnim in horizontalnim tokom vode	56
Tabela 23: Pokazatelji učinkovitosti	57

KRATICE

RČN Rastlinska čistilna naprava

BPK Biokemijska potreba po kisiku

BPK₅ Biokemijska potreba po kisiku v petih dneh

PE Populacijska enota

N Dušik

N_{tot} Skupni dušik

P Fosfor

P_{tot} Skupni fosfor

Fe Železo

Si Silicij

Al Aluminij

KPK Kemijska potreba po kisiku

EPA Environmental Protection Agency (Agencija za varstvo okolja)

V – RČN Sistem z vertikalnim tokom vode

H – RČN Sistem s horizontalnim tokom vode

SIMBOLI

Simbol	Opis	Enota
Q	pretok skozi sistem	m^3/d
A	površina sistema	m^2
q	hidravlična obremenitev	m/d
t	čas	d
V	volumen vode v sistemu	m^3
Qi	vhodni pretok odpadne vode	m^3/d
Qo	izhodni pretok odpadne vode	m^3/d
h	globina	m
ε	poroznost substrata	
Ci	koncentracija onesnaževal na dotoku	mg/l
Co	koncentracija onesnaževal na odtoku	mg/l
LRi	koncentracija onesnaževal na dotoku	
LRo	koncentracija onesnaževal na iztoku	
Qc	prispevna stopnja odtoka	m^3/d
Qb	izguba	m^3/d
Qgw	infiltracija v podtalnico	m^3/d
Qsm	stopnja taljenja snega	m^3/d
P	padavine	m/d
ET	stopnja evapotranspiracije	m/d

k	koeficient površinske hitrosti odstranjevanja	m/dan
k_t	konstanta pri temperaturi T	l/da
Θ	temperaturni korekcijski faktor	

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

Absorpcija Navadno pomeni vpijanje ali raztapljanje ene snovi v drugi, npr. absorpcija plina v kapljevini (Vidmar, 2009).

Nitrifikacija Oksidacija amonijaka (iz odmrlih živalskih in rastlinskih organizmov) v dušikovo kislino oziroma v nitrate (Minet, 2012).

Biološki filter Prostor, v katerem so vzpostavljeni pogoji za masovno kolonizacijo bakterij, ki razgradijo amoniak do nitratov. (Minet, 2012)

Obrajenje Proces, s katerim se s spremembo topnosti (npr. z dodajanjem ustreznih kemikalij) iz raztopine izločijo raztopljene snovi, ki izpadejo kot oborina. Oborina se od matične raztopine loči z usedanjem ali filtriranjem (Kompere in Rismal, 1995–2006, Minet, 2009).

Emergentni makrofiti Ukoreninjene višje rastline, ki rastejo na stalno ali občasno poplavljenih tleh.

Plavajoči makrofiti Neukoreninjene rastline, ki živijo prosto v vodi ali na vodni površini. (Mechora, 2009)

Potopljeni makrofiti Ukoreninjene rastline pod vodno gladino, kjer je večino rastlinskega tkiva. (Mechora, 2009)

Oksidacija Kemijska reakcija, pri kateri prihaja do oddajanja elektronov ali oksidacije
Redukcija in prejetja elektronov ali redukcije (Vidmar, 2009).

Sedimentacija Gravitacijsko usedanje trdnih delcev (Vidmar, 2009).

Evapo-transpiracija Celotno izhlapevanje z rastlinami poraslega območja. Vključuje izhlapevanje vode s površine in iz tal ter aktivno oddajanje vode skozi listne reže.

Celostni fosfor Je vsota skupnih ortofosfatov, kondenzirane fosfatov in anorganske fosfat. (Capone, 2006)

Celostni Dušik Je vsota skupnega Kjedadlovega dušika (organski in amoniakov dušik) nitratni in nitritni dušik.(Capone, 2006)

1 UVOD

Voda je za življenje najbolj dragocen naravni vir, ki pokriva 70 % zemeljske površine. Je dobrina, ki ima edinstveno vlogo v življenju rastlin, živali in ljudi. Je snov, na kateri temelji celotna biosfera in ima ob uravnoveženem ekosistemu zagotovljeno samočistilno sposobnost.

Naravni procesi očiščevanja vode potekajo preko snovnih transportov in pretvorb v vseh pojavnih oblikah voda, npr.: površinskih voda – rek, jezer, potokov in mokrišč, kakor tudi podzemnih voda. (DuPold in sod., 1993)

Razvoj civilizacije je povzročil prekomerno porabo vode. V zadnjih petdesetih letih se je v svetovnem merilu poraba vode povečala kar za 4-krat. S spremembo odnosa do okolja ter ob nadzorovani količini onesnaževanja vod lahko prispevamo k boljšemu gospodarjenju z vodnimi viri. Povečanje porabe in onesnaževanja vode je privedlo do razvoja čistilnih tehnologij, ki zadoščajo zakonom o čiščenju odpadnih voda ter so prijazne okolju in ekonomsko dosegljive uporabnikom. Zaradi prekomerne porabe in posledičnega onesnaževanja vode so se v svetu in pri nas odločili za razvoj rastlinskih čistilnih naprav (RČN). RČN je alternativni način reševanja problema proti onesnaževanju vode. Uporabljajo se za izboljšanje kakovosti vode iz točkovnih in netočkovnih virov onesnaženja voda. RČN se uporablja za čiščenje več vrst odpadnih voda, kot so komunalne odpadne vode iz naselij, tehnološke ali industrijske vode iz industrijskih obratov, ribogojnic in kmetij ter izcedne vode iz komunalnih deponij in rudnikov (rudniške odpadne vode). (Hoffman in sod., 2011) Ti sistemi so zaradi učinkovitosti, majhne energijske porabe, minimalne operativne pozornosti in nenazadnje tudi zaradi ekonomske ugodnosti v samem razvojnem porastu po svetu in v evropskem prostoru. (DuPold in sod., 1993) V začetku diplomske naloge sem predstavila samo delovanje RČN. Opredelila sem se na načrtovanje sistemov, ki se glede na mesto gradnje razlikujejo. Predstavila sem smernice, ki so predpisane za načrtovanje RČN v evropskih državah. Glede na smernice, ki so predpisane za gradnjo RČN na Danskem, v Avstriji in Italiji sem povzela dejansko pridobljene podatke o delovanju in učinkovitosti RČN. Omejila sem se na komunalne vode. Primerjala sem učinkovitost čiščenja parametrov BPK₅, KPK, totalni dušik in fosfor v treh omenjenih evropskih državah (Danska, Italija in Avstrija) in v Sloveniji. Na osnovi le-teh sem v nadaljevanju predpostavila smernice, ki zadostujejo načrtovanju RČN v Sloveniji.

2 RAZVOJ RČN IN SMERNIC

Začetki in ideje tovrstnega čiščenja segajo v klasično Grčijo. Prvi pisno omenjeni sistem se je pojavil leta 1557 v Prusiji. Te vrste sistemov so uporabljali preko 300 let. V 18 stol. so se pojavljali v Parizu, Berlinu in Moskvi. Leta 1857 je vlada v Angliji razglasila metodo za učinkovit način čiščenja mestnih odplak, ravno tako se je zgodilo v ZDA 13 let kasneje. V 20. stoletju so začeli biologi v ZDA in Evropi intenzivno raziskovati naravne močvirske ekosisteme. (Bulc Griesser, T., Vrhovšek, D., 2007) Leta 1973 so se v Kaliforniji pojavili prvi sistemi RČN s površinskim tokom. Sistemi s podpovršinskim horizontalnim tokom so se prav tako najprej pojavili v severni Ameriki leta 1972. Sistem s podpovršinskim vertikalnim tokom se je razvil v Evropi. (Kadlec, R., Wallace, S., 2009) Leta 1976 so se pričele konference o čiščenju z RČN. Konferencam so sledile različne raziskave, na katerih so ugotavljali delovanje različnih elementov, ki so potrebni pri zagonu in optimalnem delovanju RČN. Prve smernice za RČN so nastajale s pomočjo devetih raziskovalcev iz različnih držav Evrope. Konferenca, na kateri so potekale razprave o prvih smernicah za RČN, so potekale v Cambridgu v Veliki Britaniji pod vodstvom Paula Cooperja leta 1990. Smernice so predpostavili s poudarkom za sisteme s horizontalnim tokom vode. Šest let kasneje so nastale smernice, ki so natančneje opredeljene tudi za sisteme z vertikalnim tokom vode. Dandanes smernice zapisujejo države, v katerih se RČN pogosteje uporabljajo.

Glavni namen smernic je (EPA, 2000):

- da se glede na naraščanje povpraševanja o RČN ljudem predstavi varna izgradnja in se poskrbi za promocijo teh vrst sistemov;
- raznolikost vsake države je vzrok predpostavljanja smernic, predpisanih za točno določene značilnosti posamezne države;
- predpostavi se jih tudi glede na značilnosti posameznega območja države;
- smernice se predpostavi tako, da so varne pri nadaljnji uporabi že očiščene vode.

Na samem začetku predpostavljanja smernic so se raziskovalci različnih držav soočali s težavami. V Nemčiji so ugotovili, da mešanje zemlje v substrat (medij) povzroča mašenje

sistema. Ukrep, ki je sledil, je, da so količino zemlje zmanjšali in povečali količino peska v substratu (mediju). Angleži so ugotovili, da pri veliki količini gramoza v substratu (mediju) povzroča preveliko hidravlično prevodnost. Vendar, skozi izkušnje so prišli do skupnih ugotovitev o načrtovanju RČN. Razvoj RČN ne pozna meja. Dandanes se razvijajo kombinirani, imenovani kot hibridni sistemi, ki težijo k učinkovitejšemu očiščenju odpadne vode.

3 RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE

RČN so umetno zasnovan sistem, ki je izdelan tako, da so v njem zajete naravne funkcije močvirske vegetacije, tal in njihove mikrobne združbe. (ITRC, 2003) Imenujemo jih tudi grajena umetna močvirja s primarno funkcijo čiščenja odpadnih voda.

Močvirje je opredeljeno kot območje, kjer ima podzemna voda stalen ali občasen stik s površinsko vodo, ali površinska voda zaradi geološke sestave tal ne more pronicati v tla. (Brix, 2005)

RČN pri učinkovitem čiščenju onesnaženih voda posnemajo samočistilne sposobnosti narave tako, da gre običajno za sisteme z nizkimi investicijskimi in vzdrževalnimi stroški in preproste sisteme v primerjavi s klasičnimi biološkimi ČN. Večinoma delujejo gravitacijsko, brez strojne in električne opreme. (Vrhovšek in Vovk Korže, 2007)

Funkcija in vloga RČN ni samo čiščenje odpadne vode. Ti sistemi ponujajo možnost ponovne uporabe vode, povečujejo biodiverzitetu ter za prihodnost zelo pomembno – ohranjajo naravni videz okolja. Na sliki 1 je prikazana RČN.

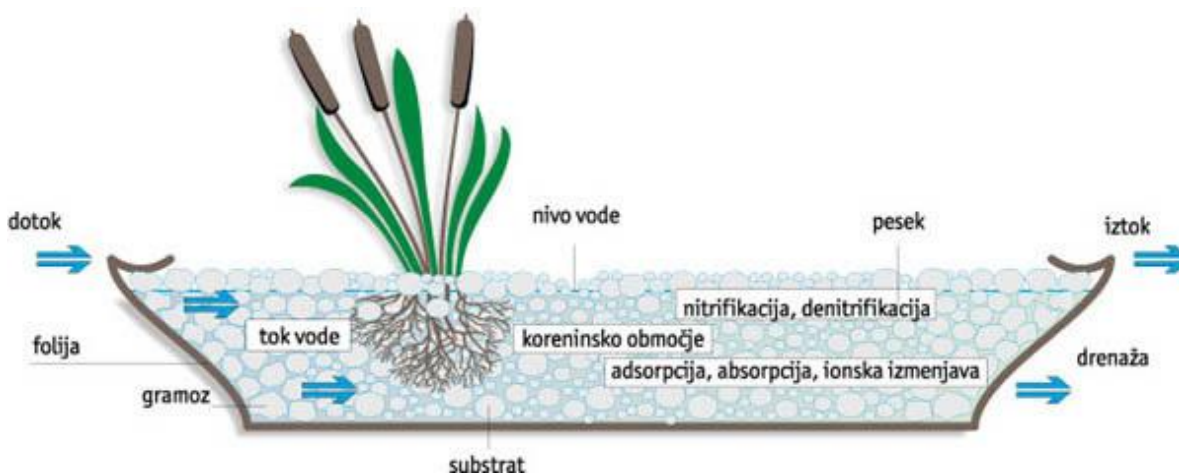


Slika 1: Rastlinska čistilna naprava. (www.limnos.si, 15. 6. 2012)

3.1 Delovanje RČN

Osnovni namen in ideja izgradnje RČN je čiščenje odpadnih voda s čim boljšim posnemanjem samočistilne sposobnosti narave. S pravilno izbiro površine, substratov (medija), rastlin in pretoka vode delovanje sistema prilagodimo glede na vrsto odpadne vode. V RČN potekajo biokemijski in fizikalni procesi. Osnovni procesi, ki se dogajajo v RČN, so aerobna in anaerobna razgradnja, sedimentacija in adsorpcija. Sistemi so učinkoviti tudi pri čiščenju usedljivih in suspendiranih snovi.

Na sliki 2 je prikazan prerez grede RČN z vsemi sestavnimi deli naprave ter s fizikalnimi in z biokemijskimi procesi.



Slika 2: Prerez skozi grede rastlinske čistilne naprave. (www.limnos.si, 14. 5. 2012)

Postopki pri čiščenju odpadnih voda potekajo v mikroekosistemih. Glavno vlogo zavzema ustrezna mešanica substrata (medija), mikroorganizmov in izbranih močvirskih rastlin s koreninskim sistemom.

Izbira substrata (medija) je odvisna od cene, zahtev in potreb čiščenja ter tipa RČN. V splošnem se najpogosteje uporablja pesek, gramoz, mivka, glina, pepel, zdrobljeni kamni in kombinacije le-teh. Frakcije gline in mivke omogočajo zaradi večje površine in manjše poroznosti boljšo filtracijo. Nizka hidravlična prevodnost gline in mivke povzroča mašenje sistema, zato je uporaba peska in gramoza kljub slabši filtraciji običajna. Pomembna je izbira substrata (medija) bogatega s Ca, ki ima velik vpliv na obarjenje P, medtem ko sta Fe in Al manj pomembna. Substrat (medij) bogat s Si ima velike sposobnosti absorpcije.

(Matichenkov in sod. 2000) Najpomembnejše pri izbiri substrata (medija) pri RČN je razporeditev zrn substrata (medija). (Brix in sod, 2001) Substrat (medij) nudi tudi oporo rastlinam in razpoložljivo površino za naselitev različnih vrst mikroorganizmov.

Površina sistema je brez naklona, kar olajšuje preplavljanje za preprečevanje razširjenja nezaželenih rastlinskih vrst ter zmanjšuje možnost za pojav površinskega toka. Tako je omogočen tudi homogen pretok in minimalna površinska erozija, ki jo povzroča voda ob večjih nalivih. (Urbanc–Berčič, 1991) Naklon dna omogoča lažje prehajanje vode skozi sistem. Naklon se najobičajneje giblje med 1 in 3 %. (Bulc, 1994) Če je naklon prevelik, lahko povzroči neenakomerno in prehitro prehajanje vode skozi sistem.

Razmerje med širino in dolžino je navadno 1:2. Kljub podanim razmerjem je potrebno najti pravo razmerje za vsako RČN posebej. Večja širina omogoča zmanjšanje površinskega toka, dolgi sistemi pa zmanjšujejo neenakomerni prehod vode skozi sistem. (Brix, 2005) Ker sistemi s horizontalnim tokom vode zahtevajo večje površine, sistemi z vertikalnim tokom vode pa manjše, se med drugim tip sistema prilagaja tudi glede na razpoložljivo površino.

Globina sistema je odvisna od razpoložljive površine, geološke sestave tal, izbire rastlinskih vrst in hidravličnega gradienta. Globina sistema je v vsaki državi predpostavljena drugače. Vendar pri manjših globinah prihaja do zmrzovanja ali do velike evapotranspiracije, medtem ko na večjih globinah koreninski sistem oslabi. Globino je potrebno prilagajati tudi vrsti substrata (medija). (Bulc, 1994)

Aerobni in anaerobni mikroorganizmi (virusi, plesni, bakterije, alge) so glavni nosilci razgradnje organskih snov. Končni produkti razgradnje so ogljikov dioksid, biomasa in voda. Rezultat te sposobnosti so zmanjševanje BPK_5 in KPK. Proces razgradnje teče v dveh stopnjah. Prva stopnja obsega oksidacijo ogljikovih organskih spojin, druga pa oksidacijo dušikovih organskih spojin. Ogljikove spojine se razgrajujejo v prisotnosti kisika. Razgradnja dušikovih spojin pa poteka v redukcijskih in oksidacijskih conah do amonijaka in amonija v procesu amonifikacije. V redukcijski – anaerobni plasti se amonijak lahko absorbira na substrat ali pa ga naprej uporabijo rastline in mikrobi. V aerobni plasti pa amonijak s pomočjo bakterij oksidira s postopkom tako imenovane nitrifikacije v NO_2 oziroma NO_3 . Nitrat je hitro reduciran v postopku denitrifikacije in denitrifikacijskim bakterijam v N_2 in N_2O . Nitrifikacijo omejuje oskrba s kisikom, z denitrifikacijo pa razpoložljiv ogljik. Dejavnik, ki prispeva k

učinkovitejšemu odstranjevanju dušikovih spojin, sta izbor rastlin in globine njihovih korenin. (Lapuh, 1994)

Različne močvirske vrste rastlin se med seboj razlikujejo v rasti podzemnega dela, občutljivost na spremembe v okolju, v sposobnosti privzema hranil in toksičnih snovi, produktivnosti ter drugih manj pomembnih lastnosti za delovanje RČN. Izbiramo jih glede na klimatske razmere, tip RČN, globino grede, hitrost rasti, stroške sajenja in vzdrževanja. Pomembna vloga močvirskih rastlin je, da (Vymazal in sod., 1998):

- so vključene v proces filtracije in adsorpcije suspendiranih in usedljivih snovi;
- rast korenin rahlja in stabilizira površino substrata (medija) ter preprečuje mašenje;
- zaradi difuzije kisika preko koreninskega sistema prezračujejo rizofero ter s tem omogočajo oksidacijske procese ter razvoj aerobnih mikroorganizmov;
- nudijo površino za pritrdjanje mikroorganizmov;
- odmiranje korenin in rizomov povzroči v vodi nastanek por in kanalčkov, ki povečujejo in stabilizirajo hidravlično prevodnost;
- privzemanje nutrientov skozi korenine in rizome, delno tudi potopljeno steblo in liste. Odgovorne so za 3–19 % dodatne odstranitve totalnega N in 3–60 % totalnega P; (Tanner, 2001)
- rastlinje v manjši meri vpliva tudi na izboljšanje BPK, KPK in dezinfekcijo;
- skozi koreninski sistem se sproščajo antibiotiki, kateri služijo za pobijanje bakterij, kot je npr. salmonela in sproščanje organskih snovi (vir ogljika za dentrifikatorje – večja stopnja dentrifikacije v nekaterih RČN);
- zmanjševanje intenzitete svetlobe zmanjšuje stopnjo rasti alg;
- pozimi imajo izolacijski učinek.

Najboljša izbira je izbira avtohtonih rastlinskih vrst, ki so značilne za posamezno območje, vendar najpogosteje v RČN uporabljamo dve vrsti rastlin. To sta navadni trst (*Phragmites australis*) in rogoz (*Typha latifolia*). Prikazana sta na sliki 3. (Griessler Bulc, 2001) Ti dve rastlinski vrsti pa ne uspevata na isti površini. Pojavi se problem alelopatije. Alelopatija je

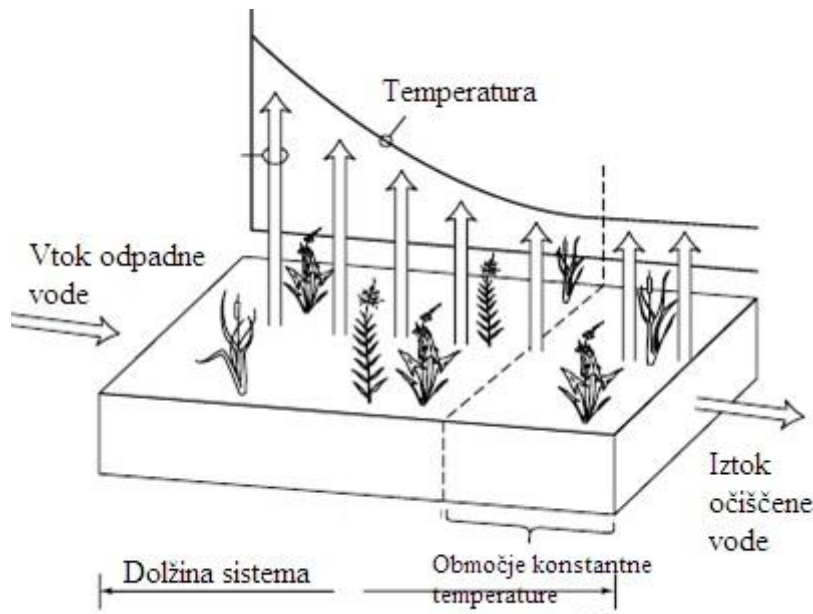
proces, ki ga rastline uporabljajo za zaščito pred drugimi rastlinami, je biološki pojav, pri katerem določeni organizem proizvaja eno ali več biokemijskih spojin, imenovanih alelokemikalije, ki vplivajo na rast, preživetje in razmnoževanje drugih organizmov. (Stamp, 2003) Daleč najpogosteje je uporabljen navadni trst (*Phragmites australis*). Sadimo ga lahko od marca do oktobra, vendar je najboljši čas sajenja v maju in juniju. Sadimo najkasneje do avgusta, paziti moramo, da ne sadimo v času zmrzali. Navadni trst (*Phragmites australis*) uspeva pri nadmorski višini do 800 m in temperaturi višji od 10 °C. Rogoz (*Typha latifolia*) je odpornejši, uspeva na višjih nadmorskih višinah in pri nižjih temperaturah.

Žetje navadnega trsta (*Phragmites australis*) se lahko izvede od enkrat do dvakrat na leto. To pomeni ob največji rasti in ob zaključku. Z žetjem se povečuje odstranjevanje N in P za od 3 do 5-krat. Slaba stran žetja je, da se lahko z rezanjem poškoduje ali celo uniči stebila. Zato je priporočljivo ročno žetje, to pomeni, brez uporabe strojne opreme. Ob preplavitvi ali zamrznitvi sistema pa se lahko pozimi zaradi pomanjkanja kisika uničijo tudi korenine. Žetev je nujno potrebna jeseni, ker se s staranjem tkiv uskladiščene snovi sproščajo nazaj v substrat. Zeleni odrez se pusti na gredi in služi pozimi za izolacijo, lahko pa se nadalje uporabi za produkcijo metana, v kmetijstvu, v industrijskih procesih ali za kompostiranje.



Slika 3: Najpogosteje uporabljeni rastlini v rastlinskih čistilnih napravah: navadni trst (*Phragmites australis*) (levo) in rogoz (*Typha latifolia*) (desno). (www.proteus.si, 05. 04. 2012)

Proces čiščenja odpadne vode na RČN poteka takole: voda priteče v zadrževalno-kompenzacijski bazen oziroma usedalnik, katerega funkcija je zadrževanje dnevnih viškov in mehansko očiščenje grobe odpadne vode. Nato sledi filtrirna greda, ki odstranjuje suspendirane delce. V čistilni gredi se zmanjšujejo koncentracije številnih onesnaževal v RČN. Namen polirne grede je dokončno čiščenje vode. Na učinkovitost čiščenja vpliva tudi temperatura. Slika 4 prikazuje potek temperature skozi sistem RČN. Temperatura je višja pri vtoku odpadne vode kot na iztoku. Skozi čistilno gredo temperatura pada in se proti koncu umiri in v območju konstantne temperature postane temperatura konstantna. Temperatura se spreminja glede na zadrževalni čas sistema. Ko je odpadna voda v območju konstantne temperature, se ne glede na dolžino sistema in s tem povezanega zadrževalnega časa, ne spreminja. (Kadlec, 2000)



Slika 4: Potek temperature skozi sistem rastlinske čistilne naprave (Kadlec, 2000)

Razgradnja onesnaževal v sistemu poteka v območjih anaerobnih in aerobnih pogojev. Bakterije v teh območjih prispevajo kar 80-odstotni delež čiščenja odpadne vode.

20 % čiščenja prispevajo rastline s privzemom mineralnih snovi v rastlinsko tkivo. V RČN potekajo fizikalni, biološki in kemijski procesi. (Kadlec, 2009) Očiščeno vodo iz RČN lahko odvajamo v okolje, lahko pa jo porabimo za namakanje, zalivanje rekreacijskih površin, zelenic, gašenje požarov pod pogojem, da očiščena voda ne onesnažuje okolja. Sama gradnja RČN ne predstavlja obsežnega gradbenega posega v okolje. Te vrste sistemov se zlijejo z okoljem in skrbijo za neokrnjen videz naravnega okolja. (slika 8)

Za učinkovito delovanje Pri RČN je potrebno tudi vzdrževanje sistema. Vsaka naprava doseže svoj namen, če pravilno deluje in je strokovno vzdrževana. Delovanje in vzdrževanje ne smeta vplivati na okolje in ne ogrozati ljudi. Vzdrževanje zajema vse aktivnosti, ki zagotavljajo funkcijsko sposobnost in zahtevano sposobnost čiščenja – to so uravnavanje potokov, košnja, ponovno zasajanje neporaslih delov gred, odstranjevanje plevela, zamenjava obrabljenih delov, čiščenje iztočnih in dotočnih cevi, vzorčenje odpadne vode na dotoku in iztoku ipd.

(Bulc, 1994) Ob pravilnem vzdrževanju je življenjska doba RČN tudi več deset let. Slika 5 prikazuje potek izgradnje RČN.



Slika 5: Potek izgradnje rastlinske čistilne naprave
(<http://www.constructedwetland.co.uk/gallery/>, 31. 08. 2012)

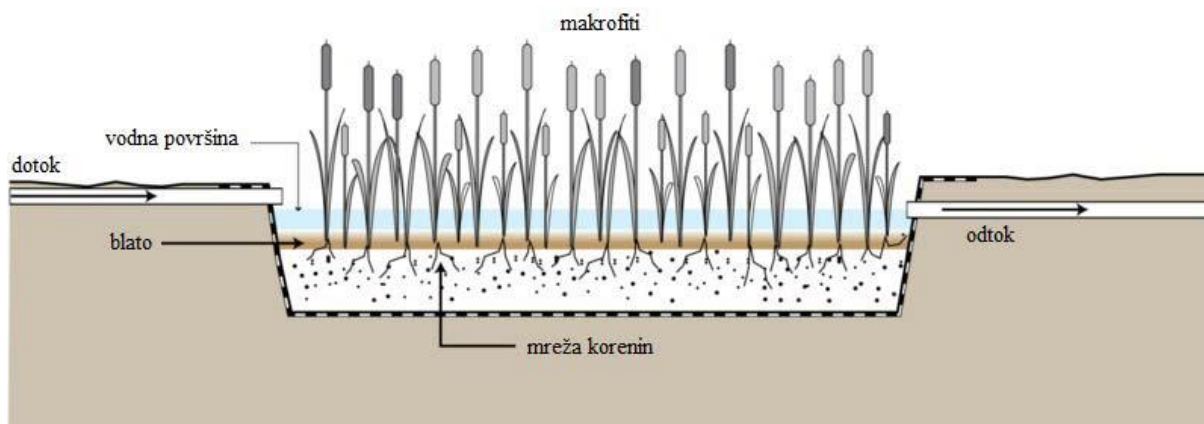
3.2 Tipi RČN

Poznamo dva glavna sistema RČN: sistem s površinskim tokom in sistem s podpovršinskim tokom. RČN s podpovršinskim tokom delimo na sisteme s horizontalnim tokom vode in sisteme z vertikalnim tokom vode skozi sistem. (Kadlec, 2000) Obstajajo tudi hibridni sistemi, ki vključujejo površinske in podpovršinske vode z drugačnim tokom vode. (Dupold, 1993) RČN s površinskim tokom lahko uvrščamo na sisteme z emergentnimi, plavajočimi in potopljenimi makrofiti.

3.2.1 *Sistemi s površinskim tokom vode*

Tehnologija sistemov s površinskim tokom vode najbolj natančno posnema procese, ki se dogajajo v naravi. Videti so podobno kot naravna močvirja, zato nudijo življenjski prostor divjim živalim, estetski videz in so učinkovite pri čiščenju vode. Sistem je sestavljen iz gred, ki so po dnu nasute s substratom (medijem). Podlaga lahko nudi oporo koreninskemu sistemu rastlin. Površinska voda teče nad podlago. Plast tik nad površino je v aerobnem stanju, medtem ko so plasti, ki so globlje v vodi in blizu podlage, v anaerobnem stanju.

Uporabljajo se za čiščenje padavinskih vod, odpadnih vod iz kmetijske dejavnosti ter rudniških odplak. Sistemi s površinskim tokom vode imajo nizke stroške, povezane z gradnjo, obratovanjem in vzdrževanjem. Pomanjkljivost teh sistemov je v veliki površini, ki je potrebna za delovanje. (DuPoldt, 1993) Slika 6 prikazuje RČN s površinskim tokom vode.



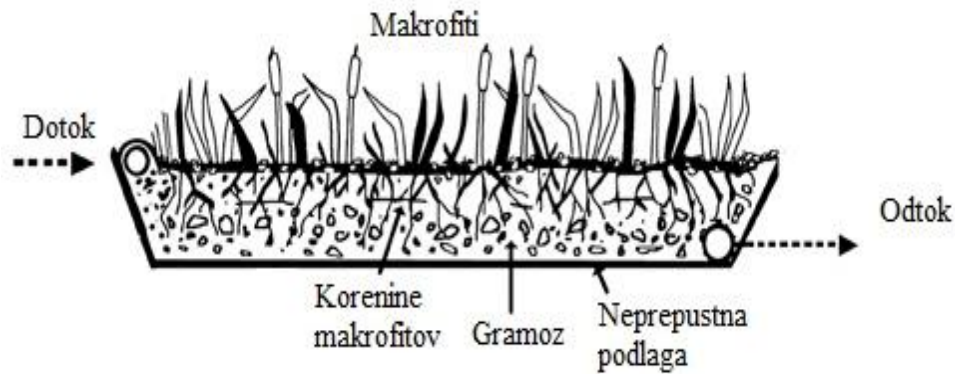
Slika 6: Rastlinska čistilna naprava s površinskim tokom vode. (Langergraber in Haberl, 2009)

3.2.2 Sistemi s podpovršinskim tokom

Sistemi s podpovršinskim tokom (slika 7) so sestavljeni iz gred. Grede so napolnjene s substratom, v katerega so zasajene rastline. Sekundarno čiščenje se prične s predhodnim čiščenjem s pomočjo usedalnika, grabelj, greznice ... Vodna površina ni v neposrednem stiku z atmosfero, kar pomeni, da težje zmrzne in preprečuje razvoj mrčesa in neprijetnega vonja. Razlika med sistemi je v površini, ki jo nudi podlaga za razvoj biofilma. Pri sistemih s podpovršinskim tokom je površina za razvoj biofilma večja. (Kadlec, 2000)

Boljši učinki čiščenja so zagotovljeni pri relativno konstantnih pogojih z nizko koncentracijo trdnih snovi zaradi možnega mašenja sistema.

Sistem je najbolj učinkovit pri zmanjšanju BPK_5 pri odpadnih vodah. Kljub zmanjšani učinkovitosti čiščenja sistemov v zimskem času so sistemi s podpovršinskim tokom vode v primerjavi s sistemi s površinskim tokom vode učinkovitejši, saj voda ne pride v stik s površjem, kar pomeni, da težje prihaja do zamrznitve vode v samem sistemu. Predvsem to velja za sisteme z vertikalnim tokom vode, kateri imajo globljo čistilno grede.

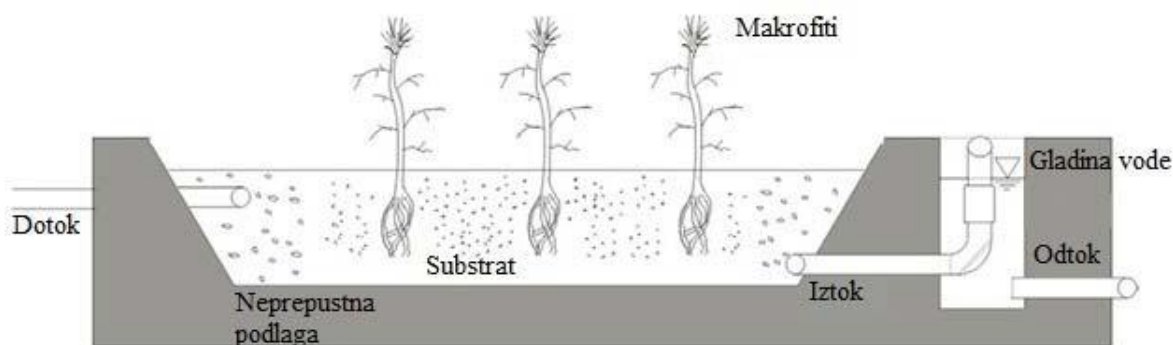


Slika 7: Rastlinska čistilna naprava z elementi za sisteme s podpovršinskim tokom vode. (Langergraber in Haberl, 2009)

Sistem s horizontalnim podpovršinskim tokom

RČN s horizontalnim podpovršinskim tokom imenujemo sistem, pri katerem je tok vode od vtoka do iztoka horizontalen. Voda skozi sistem prehaja v stik z aerobno, anoksično in anaerobno cono. (Kadlec, 2000) Sestavljena je iz gred, ki so največkrat zasajene z navadnim trstom (*Phragmites australis*), rogozom (*Thypha latifolia*) in togim šašom (*Catex elata*). Greda je zaščiten z vodotesno podlago. Pri RČN je pomemben zadrževalni čas sistema. Sistemi s podpovršinskim horizontalnim tokom vode (slika 8) potrebujejo večjo površino glede na sistem s podpovršinskim vertikalnim tokom. . Sistemi z vertikalnim tokom vode imajo krajše zdrževalne čase in pretočne razdalje, za razliko od sistemov s horizontalnim tokom vode, ki imajo lahko dolge pretočne razdalje in daljše čase zadrževanja odpadne vode v sistemu. Grede so pri sistemu s horizontalnim tokom vode napolnjene z večjo frakcijo zrn materiala kot sistemi z vertikalnim tokom vode, kar pomeni, da je poroznost substrata (medija) različna. Sistemi s horizontalnim tokom vode so, zaradi stalnega dotoka odpadne vode, v substratu anaerobne cone, kar vodi k nasičenosti substrata in omejenem prenosu kisika v sistem. To je vzrok, da imajo sistemi s horizontalnim tokom vode, zaradi večjih anoksičnih con pospešeno denitrifikacije, ki poteka v odstonosti kisika. Sistemi s horizontalnim tokom

vode so najbolj učinkoviti pri čiščenju, zagotavljajo predpisane vrednosti KPK in suspendiranih snovi. (Kadlec, 2000)

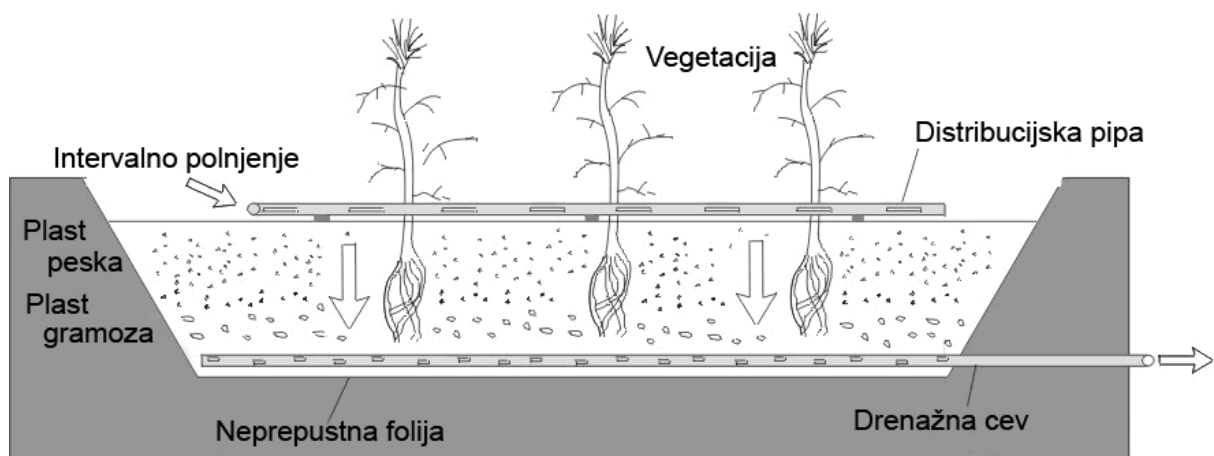


Slika 8: Sistem s pod površinskim horizontalnim tokom vode. (Langergraber in Haberl, 2009)

Sistemi s pod površinskim vertikalnim tokom

RČN z vertikalnim pod površinskim tokom (slika 9) imenujemo sistem, pri katerem tok vode potuje vertikalno. Odpadna voda teče skozi substrat (medij) proti dnu grede. Vertikalni sistem je sestavljen iz grede, prekrite z neprepustno folijo in napolnjeno s substratom (medijem) iz peska. (Kadlec, 2000) Sistemi so najpogosteje zasajeni z navadnim trstom (*Phragmites australis*), rogozom (*Thypha latifolia*) ali sitcem (*Scripus lacustris*). (Kadlec, 2000) Odpadna voda se v določenih intervalih dozira na gredo v velikih količinah, tako da pride do poplavljanja površine substrata v gredah. Intervalno polnjenje sistema se izvaja z uporabo mehničnega dozirnega sistema. RČN se polni v intervalih. Odpadna voda se zbira v drenažnih ceveh. Pred naslednjim polnjenjem sistema se greda popolnoma odcedi, kar omogoča, da se med intervali sistem napolni z zrakom. Prednost delovanja sistema z vertikalnim tokom vode je, da grede niso vedno poplavljenе, kar omogoča lažjo difuzijo, lažji dostop kisika v substrat, vnos večje količine kisika ter povečevanje aerobne cone v substratu. Pri tem pride do intenzivnejše nitrifikacije in drugih aerobnih procesov. S tem je večja količina dušika odstranjena ali vsaj spremenjena v oksidirani dušik in zato je tudi možnost

razgraditve BPK_5 večja. (IWA, 2000) Kisik v sistem prehaja tudi preko listov, stebela in koreninskega sistema, vendar je njegova količina v primerjavi s prenosom kisika z dozirnim sistemom manjša. (Kadlec in sod. 2000) Vertikalni sistemi so uspešni pri odstranjevanju KPK in skupnih suspendiranih snovi. (Kadlec in sod., 2000)



Slika 9: Sistem z vertikalnim podpovršinskim tokom vode. (Langergraber in Haberl, 2009)

4 NAČRTOVANJE IN SMERNICE RČN

4.1 Splošno o načrtovanju RČN

Prvi korak pri projektiranju je pridobitev podatkov za razumevanje lokacije, kjer je predvidena postavitve RČN. Zaradi pravih vhodnih podatkov in prej omenjenega razumevanja lokacije pri načrtovanju moramo upoštevati parametre, kot so:

- a) podnebje, zaradi količine padavin, povprečne temperature letnih časov;
- b) geografijo in sestavo tal zaradi specifičnosti tal, ki posledično vpliva na načrtovanje sistema;
- c) podtalnico zaradi njene globine;
- d) kemično sestavo padavin, pri kateri preučujemo kislost dežja;
- e) dotok odpadne vode zaradi vstopnih koncentracij onesnaževanja vode;
- f) ekonomski parameter.

Najprej moramo določiti vstopne koncentracije in pretok odpadne vode, sledi določevanje ciljnih vrednosti koncentracij ter preučitev dovoljenih vrednosti onesnaževal v očiščeni vodi, ki so prepisane z zakonom o Varstvu voda, Ukrepih za ravnanje s komunalno odpadno vodo. (16. člen) Ko imamo na razpolago te podatke, se lahko odločimo o tipu RČN.

Pri načrtovanju RČN je pomemben sistem hidrologije. Voda vstopa v sistem preko pretoka, to pomeni iz kanalizacijskega sistema in padavin. Upoštevati moramo tudi parameter prispevnega odtoka, to pomeni odtoka že očiščene vode. (Brix, 2008) Ti faktorji so najbolj spremenljivi. (Brix, 2008)

Opadno vodo je potrebno predhodno obdelati v sedimentacijskem bazenu z dvema ali tremi komorami.

Glede na to, da je bila v glavnem večina preiskav o RČN osredotočena na vhodne in izhodne podatke in ne na podatke notranjih procesov, se zdi, da so regresijske enačbe koristno orodje pri razlagi in uporabi teh vhodnih in izhodnih podatkov. Pomembni faktorji, kot so klima, material grede, greda (dolžina, širina, globina) itd., so zapostavljeni.

Hidravlična obremenitev naprave, oz. navidezna hitrost precejanja nam pove razmerje med pretokom in površino sistema.

$$\frac{Q}{A} = q \quad (1)$$

q = hidravlična obremenitev [m/d]

Q = pretok skozi sistem [m³/d]

A = površina sistema [m²]

Hidravlična obremenitev se spreminja tudi glede na letne čase. Pri samem načrtovanju je pomembna tudi globina vode in volumen v sistemu. Ti podatki so predvsem pomembni zato, da izračunamo zadrževalni čas sistema. Sistemi s horizontalnim tokom vode imajo zaradi večje površini, daljši zadrževalni čas, kot sistemi z vertikalnim tokom vode. Ta je eden najpomembnejših parametrov, saj v primeru, da je zadrževalni čas prekratek ali predolg, čistilna naprave ne deluje optimalno. (Brix, 2008)

$$t = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

t = čas [d]

V = volumen vode v sistemu [m³]

pri tem je pretok:

$$Q = \frac{(Q_i + Q_o)}{2} \quad (3)$$

Q_i = vhodni pretok odpadne vode [m^3/d]

Q_o = izhodni pretok odpadne vode [m^3/d]

Volumen vode prestavlja količino vode v RČN, ki se lahko zadržuje v sistemu:

$$V = A h \varepsilon \quad (4)$$

h = globina [m]

ε = poroznost substrata

Zadrževalni čas torej izrazimo:

$$t = \frac{A h \varepsilon}{Q} \quad (5)$$

Zmogljivost in uspešnost ali učinkovitost čiščenja sistema navadno izračunavamo glede na zastavljeni cilj o kakovosti delovanja ali glede na zmogljivost sistema oziroma količine vode, ki jo lahko očistimo. Temeljni deskriptorji delovanja RČN so koncentracije na dotoku in odtoku, volumenski pretok, površina in globina.

Koncentracija onesnaževal na dotoku v RČN je definirana kot:

$$LRi = qCi \quad (6)$$

LRi = koncentracija onesnaževal na dotoku

Ci = koncentracija onesnaževal na dotoku (mg/l)

Odstotek učinkovitosti zmanjševanja koncentracije je:

$$EFF = 100 \frac{(Ci - Co)}{Ci} \quad (7)$$

Co = koncentracija onesnaževal na odtoku (mg/l)

Odstotek učinkovitosti odstranjevanja mase pa je:

$$RED = 100 \frac{(LRi - LRo)}{LRi} \quad (8)$$

LRo = koncentracija onesnaževal na iztoku

Modeliranje RČN sestavljajo enačbe prvega reda, ki v primeru konstantnih pogojev (dotoka, pretoka in koncentracij) napovedujejo, da koncentracije onesnaževal eksponentno upadajo z razdaljo pri prehodu skozi sistem, od vtoka do iztoka. Rastlinska čistilna naprava je zasnovana kot kanal z omejeno širino in se zato obravnava kot cevni reaktor, kjer se odpadna voda giblje vzdolžno. (Kadlec, 2000)

Splošna enačba za vodno bilanco za rastlinske čistilne naprave je:

$$Q_i - Q_o + Q_c - Q_b - Q_{gw} + Q_{sm} + (P \times A) - (ET \times A) = dV/dt \quad (9)$$

Q_c = prispevna stopnja odtoka [m^3/d]

Q_b = izguba [m^3/d]

Q_{gw} = infiltracija v podtalnico [m^3/d]

Q_{sm} = stopnja taljenja snega [m^3/d]

P = padavine [m/d]

ET = stopnja evapotranspiracije [m/d]

Na vhodni in izhodni pretok odpadne vode v največji meri vplivajo padavine in evapotranspiracija. (Brix, 2008)

Torej velja, da je

$$Q_i - Q_o = \frac{dV}{dt} \quad (10)$$

Po upoštevanju enačb, ki veljajo za cevni reaktor, lahko izračunamo površino RČN.

$$A = Q(\ln C_i - \ln C_o)/k \quad (11)$$

k = koeficient površinske hitrosti odstranjevanja (m/dan)

Koeficient k ima enote hitrosti in je lahko priznan kot koeficient hitrosti usedanja v sedimentacijskih bazenih. Koeficient površinske hitrosti odstranjevanja je odvisen od temperature. Vpliv temperature je povzet z uporabo enačbe:

$$k_T = k_{20} \theta^{(T-20)} \quad (12)$$

k_t = konstanta reakcijske hitrosti pri temperaturi T (1/dan)

k_{20} = konstanta reakcijske hitrosti pri temperaturi 20°C .

Θ = temperaturni korekcijski faktor

Temperaturni korekcijski faktor Θ je empirično ocenjen na podlagi razpoložljivih podatkov za vsak posamezni parameter.

4.2 Smernice RČN na Danskem

Leta 1987 je danski parlament pričel z akcijskim načrtom proti onesnaževanju s hranili danskega vodnega okolja. Cilj te akcije je zmanjšati koncentracijo dušika iz kmetijskih, občinskih in industrijskih obratov za 50 % in fosforja za 80 %. (Brix, 2005) To akcijo so izpopolnili leta 1998. Zapisali so smernice za odstranjevanje organskih snovi v odpadni vodi. Za sisteme s horizontalnim tokom vode so predpisane vrednosti BPK₅ 90 % in za sisteme z vertikalnim tokom vode je predpisana vrednost BPK₅ 95 % in 90 % nitrifikacijo.

4.2.1 Smernice za sisteme s horizontalnim tokom vode

Pri sistemih s horizontalnim tokom vode so predpisi manj strogi za obravnavo. (Brix, 2005)

To pomeni 90 % odstranjevanje BPK₅. Nitrifikacija in odstranjevanje fosforja sta prav tako omejena. Smernice za dimenzioniranje RČN s horizontalnim tokom vode so navedene v nadaljevanju:

- potrebno je predhodno čiščenje odpadne vode v dvo- ali triprekatnem sedimentacijskem tanku. Obseg tanka znaša 2 m³ za gospodinjstvo do 5 PE;
- najmanjša velikost sistema je 5 m²/PE (minimalna površina na gospodinjstvo je 25 m²);
- najmanjša dolžina sistema znaša 10 m;
- naklon dna posteljice od vtoka proti iztoku mora biti 1 %, vendar površina filtrirne posteljice ne sme imeti nagiba;
- začetna globina na vstopni strani grede mora dosežati 0,6 m, globina se povečuje proti iztoku. Vstopna in izstopna območja so načrtovana najprej s prečnim jarkom napolnjenim z drobljencem.
- sistem s horizontalnim tokom vode mora biti na dnu grede zaščiten z folijo minimalne debeline 0,5 mm;

- pod folijo mora biti zaščita z geotekstilom ali peskom;
- čistilna greda mora biti sestavljena iz peska frakcije d_{10} med 0,3 in 0,2 mm in d_{60} med 0,5 in 0,8 mm. Koeficient enakomernosti $U=d_{60}/d_{10}$ mora biti 4;
- čistilna greda je zasajena z navadnim trstom (*Phragmites australis*);
- gostota zasaditve je 3–4 sadike na m^2 . Najbolj ugoden čas zasaditve je od aprila do maja. Zasaditvi se je potrebno izogibati v času zmrzali. (Brix, 2005)

Navedene smernice so v uporabi le nekaj let, saj smernice iz poznih devetdesetih niso dosegale predpisanih rezultatov pri odstranjevanju fosforja in nitrifikacije.

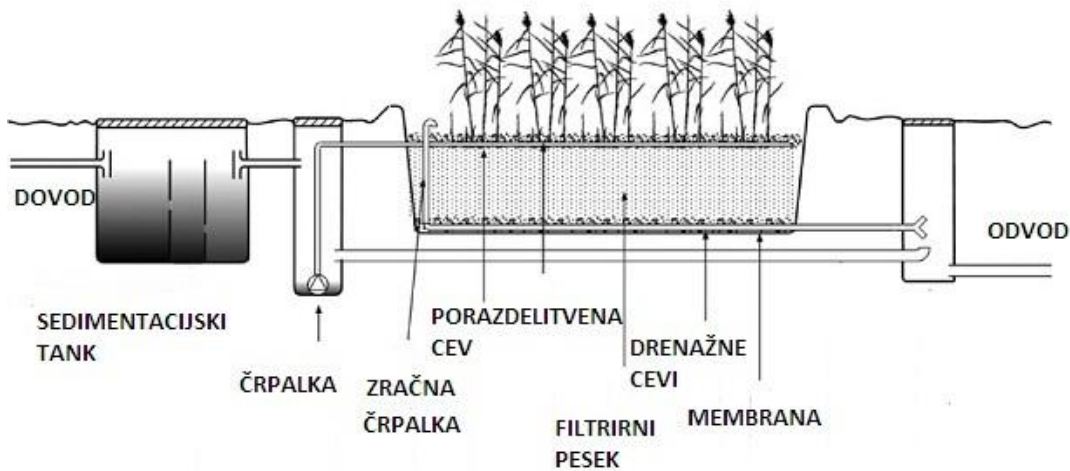
4.2.2 Smernice za sisteme z vertikalnim tokom vode

To so sistemi, ki dosegajo nizke stroške, vendar izkop čistilne grede zaradi globljih dimenzij čistilne grede na mnogih območjih zaradi bližine zajetij pitne vode, pogojev tal in visokih podzemnih vod ni mogoč. Pri navedenih ugotovitvah se projektanti na kraju samem odločijo za posege in rešitve, kot so biološki filtri, močvirja ... Po raziskavah so ugotovili, da je zmogljivost čiščenja sistemov z vertikalnim tokom RČN za odstranjevanje BPK_5 zelo visoka. Prav tako je učinkovita nitrifikacija. 95 % čiščenje BPK_5 pomeni < 10 mg/l za BPK_5 in < 5 mg/l skupnega dušika. Sistem bo izpolnjeval zahtevo po 90 % čiščenju P, kar pomeni $< 1,5$ mg/l P samo v primeru, če se čiščenje podaljša pred čistilno gredjo v sedimentacijskem tanku. (Brix, 2005) Dokumentirano je, da so vertikalni sistemi zelo učinkoviti pri odstranjevanju suspendiranih trdnih snovi in imajo sposobnost čiščenja tudi pri nizkih temperaturah. (Brix, 2004)

Smernice za dimenzioniranje RČN z vertikalnim tokom vode so navedene v nadaljevanju:

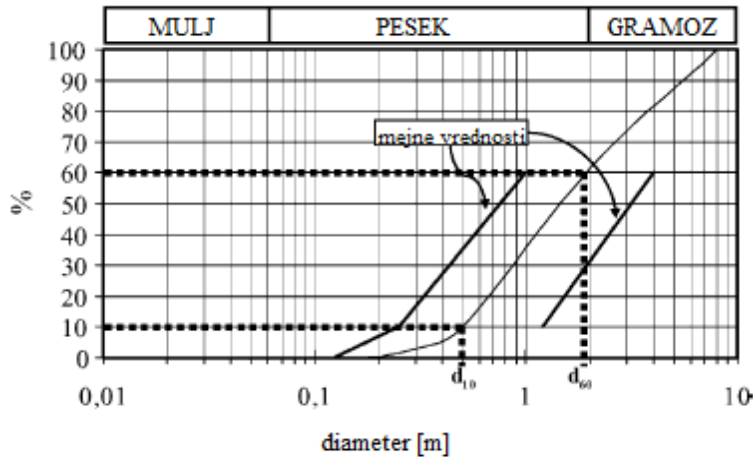
- potrebno je predhodno čiščenje odpadne vode v dvo- ali triprekatnem sedimentacijskem tanku. Obseg tanka znaša $2 m^3$ za gospodinjstvo do 5 PE; (slika 10)

- najmanjša velikost RČN je $3 \text{ m}^2/\text{PE}$ (minimalna površina na gospodinjstvo je 15 m^2);
- globina čistilne grede je 1,0 m. Greda je sestavljena iz peska frakcije d_{10} med 0,25 in 1,2 mm, d_{60} med 1 in 4 mm. Koeficient enakomernosti znaša manj kot 3,5; (slika 11)
- delež gline in mulja (delci, manjši od 0,125 mm) mora biti manjši kot 0,5 %; (slika 11)
- sistem z vertikalnim tokom vode mora biti zaščiten s folijo minimalne debeline 0,5 mm;
- 0,2 m visok nasip na robu sistema služi kot prepreka za vdor vode iz okolice;
- gredo zasadimo z navadnim trstom (*Phragmites australis*). Glavna naloga rastlin je preprečitev zamašitve filtra;
- gostota zasaditve je 4 sadike na m^2 . Najbolj ugoden čas zasaditve je od aprila do maja. Zasaditvi se je potrebno izogibati v času zmrzali; (Brix, 2005)
- odpadna voda mora biti enakomerno razporejena po površini grede s pomočjo cevi Φ 50–70 mm, ki so zaščitene proti zmrzali z 0,2 m debelo plastjo grobih lesenih sekancev ali morskih školjk. Na površini posteljice so vertikalno položene drenažne cevi v razmiku 0,3 m, ki služijo za prezračevanje sistema; (Brix, 2005)
- pogostost doziranja odpadne vode v sistem je od 16 do 24 impulzov na dan. Med intervaloma se mora sistem izprazniti do polovice;
- obravnavana voda se zbira na dnu čistilne grede, kjer se nahajajo drenažne cevi;
- drenažne cevi so nameščene 0,2 m nad dnom sistema;
- drenažni sloj je iz grobega gramoza Φ 8–16 mm, v katerem so drenažne cevi Φ 50 do 70 mm;
- drenažne cevi so povezane s polno cevjo Φ od 90 do 120 mm, ki služi za zbiranje očiščene vode iz čistilne grede do iztoka. (slika 12)

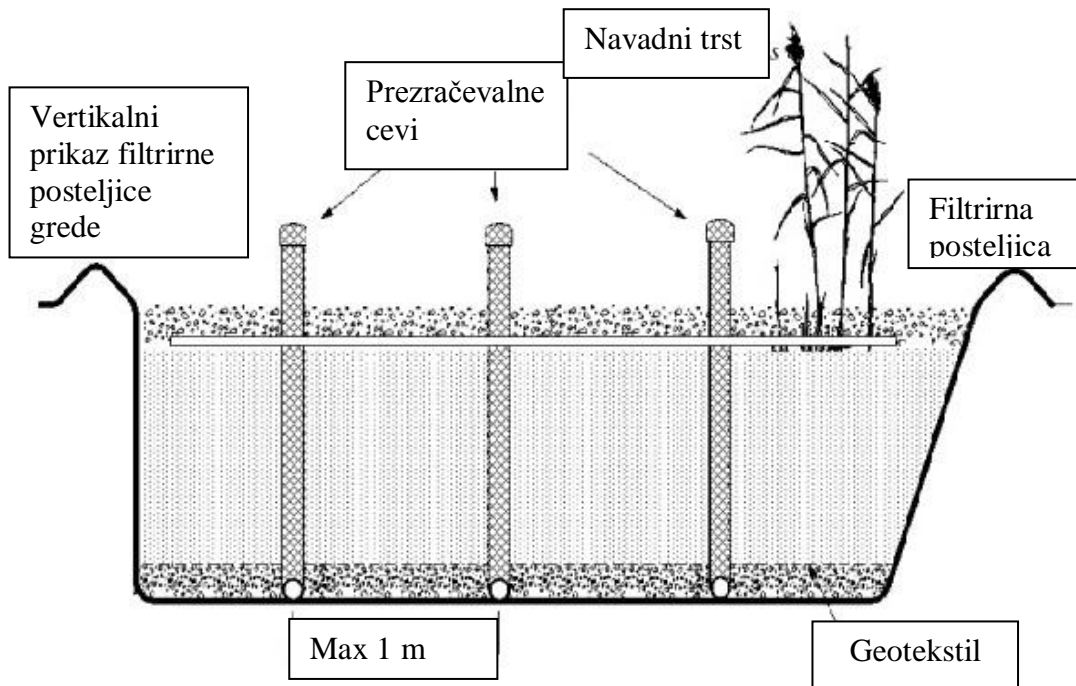


Slika 10: Shematski prikaz delovanja rastlinske čistilne naprave s podpovršinskim vertikalnim tokom s sedimentacijskim tankom. (<http://www.sciencedirect.com> 12. 05. 2012)

- Pri večjih sistemih se prostornina gred sorazmerno poveča. Obseg prve komore pri bazenu z dvema komorama mora biti 70 %–90 % skupne prostornine bazena.
- Pri rezervoarju s tremi komorami mora prva komora obsegati od 50 % do 70 % prostornine. Ostali dve se sorazmerno razporedi.
- Enkrat letno je potrebno čiščenje blata iz komor, da bi ohranili prostornino bazenov. (Brix, 2005)
- Čistilna greda ne sme biti prekrita z vodo, saj bi tako preprečevali dovod kisika v sistem. (Brix, 2005)
- Površina filtra mora biti ravna in filter ločen od drenažne plasti na dnu filtrirnega sloja.
- Uporaba težke mehanizacije med gradnjo ni dovoljena, saj bi s tem povzročili, da bi se substrat (medij) stisnil in s tem onemogočil učinkovito dreniranje.

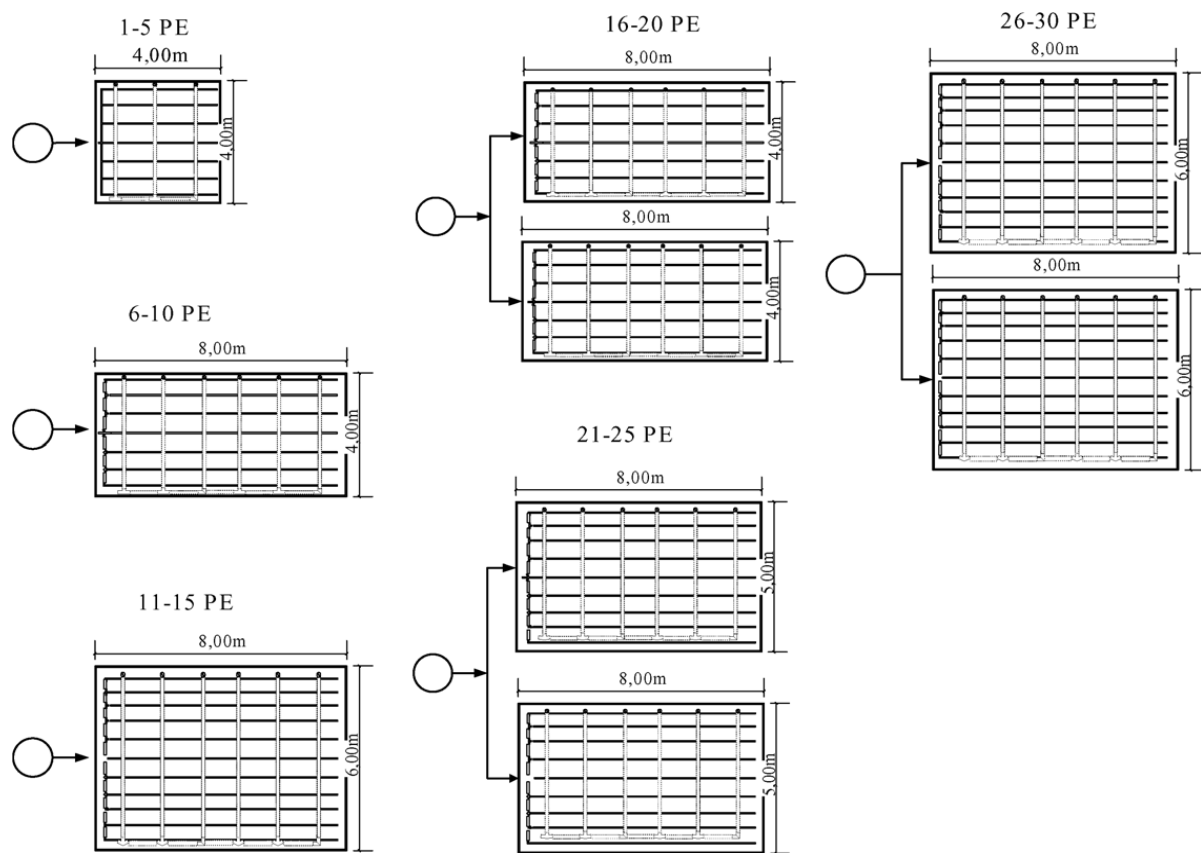


Slika 11: Granulometrični prikaz velikosti substrata, primerne za uporabo v sistemih z vertikalnim tokom vode. (Brix, 2005)



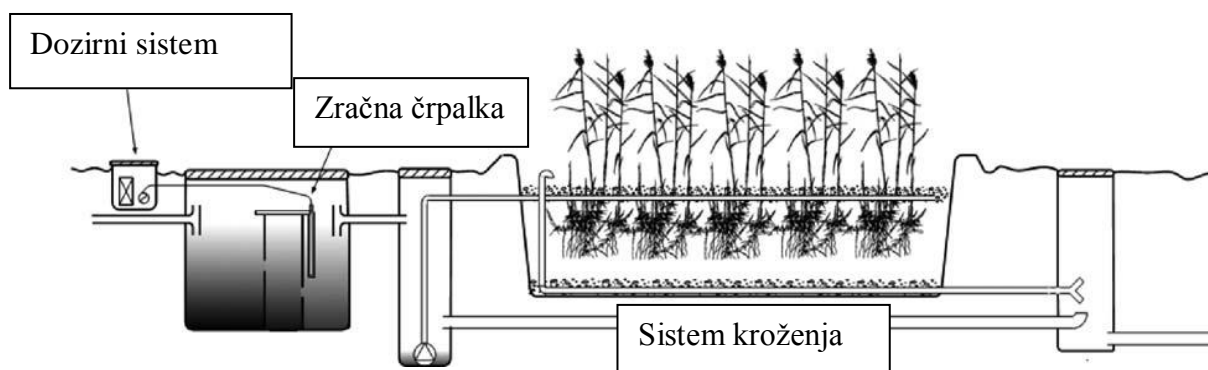
Slika 12: Prikaz drenažnega sistema v rastlinskih čistilnih napravah.
(<http://www.sciencedirect.com>, 12. 05. 2012)

Pri sistemih z večjimi zmogljivostmi kot 5 PE se sistem sorazmerno poveča z obremenitvijo. (slika 13) Pri sistemih, večjih od 15 PE, se sistem razdeli na dva enaka dela, ki sta si vzporedna. Pomembno pri tem sistemu je zmogljivost črpalke, ki mora zagotavljati enakomerno razporeditev vode po celotni površini grede. (Brix, 2005)



Slika 13: Danske smernice predpisujejo, da se rastlinskim čistilnim napravam pri večjih obremenitvah prostornina gred sorazmerno poveča. (<http://www.sciencedirect.com> 12. 05. 2012)

Odstranitev fosforja iz vertikalnih sistemov je običajno precej nizka in znaša od 20 % do 30 %. Preprosta rešitev pri čiščenju fosforja je dodajanje majhnih količin aluminijevega poliklorida v sedimentacijski rezervoar. Dozirni sistem se upravlja pod nadzorom. Sestavljen je iz majhne črpalke, nameščene ločeno od komore in ventila. Zračna črpalka dozira preparat v zadnjo sedimentacijsko komoro, tako da voda cirkulira iz tretje k prvi komori. S tem meša preparat z odpadno vodo brez mešanja blata na dnu komore. Odstranjevanje fosforja je tako učinkovitejše. (Brix, 2005) Slika 14 prikazuje sistem odstranjevanja fosforja.



Slika 14: Rastlinska čistilna naprava s sistemom za dodajanje aluminijevega poliklorida na Danskem. (<http://www.sciencedirect.com>, 12. 05. 2012)

Vzdrževanje na Danskem je predpisano za kontrole globine vode v RČN ob vsakem nalivu. Redno čiščenje odtočnih in iztočnih cevi, redni pregledi in ugotavljanje kakršnihkoli poškodb na samem sistemu, predvsem to velja za obdobja nalivov in zmrzali (lomljenje ledu na sistemu).

Košenje sistema je vsaj enkrat na leto. Priporočljivo v jeseni, od oktobra do novembra. Zeleni odrez se uporabi kot izolacija na sistemu. (Brix, 2005)

4.3 Smernice RČN v Avstriji

Splošni predpis opredeljuje, da je za spuščanje odplak v vodo ali za ponikanje potrebno imeti skupaj s pripadajočo napravo dovoljenje. Ob možnosti ponikanja manjše količine odplak so potrebni preizkusi glede učinka na podtalnico in podtalne razmere. (ÖNORM B2505, 2009) Ob čiščenju bazenov je treba nastalo blato posebej odstraniti.

RČN morajo biti locirane in oblikovane tako, da so izpostavljene čim manjšim vplivom v okoljskem pogledu. Razdalja naprave od predvidenega ali obstoječega vodnega vira in stanovanjskih naprav mora biti izbrana tako, da ne pride do oviranja pri uporabi.

4.3.1 Splošne smernice za načrtovanju RČN

Ob načrtovanju naprav je treba praviloma računati porabo vode.

150 l/(PE/dan). Ob nastanku večje količine odplak z višjo temperaturo je treba skrbeti, da temperatura dotoka v napravo ne preseže 40 °C.

Pri dimenzioniranju naprave upoštevamo vhodne podatke odpadne vode z organsko obremenitvijo 60g BPK₅/(PE/dan) in obremenitvijo dušika 12 g N_{tot}/(PE/dan).

Zahtevane mejne vrednosti, ki so zapisane v avstrijskih zakonih, so ob običajnih odpadnih vodah in pravilnem vzdrževanju v odtoku iz čistilnih naprav sledeče:

- Usedljive snovi: 0.3 ml/l;
- BPK₅ 25 mg/l;
- KPK: 90 mg/l;
- NH₄-N (pri temp. odpadne vode > 12°C): 10 mg/l.

Splošne zahteve pri načrtovanju RČN so opisane v nadaljevanju.

- Za zasajene čistilne grede je potrebna mehanska predobravnavna, ki zadrži trdne snovi in tako zagotovi hidravlično propustnost čistilne grede.
- Predčiščenje odpadne vode se izvaja s pomočjo paličnih, ločnih in bobnastih grabelj, bobnastih in košarastih sit, s katerimi se lahko odstrani grobe materiale v dotoku v čistilno napravo. S tem se zmanjša organska obremenitev dotoka.
- Priporočljivo je, da so razmaki med palicami oziroma luknje v situ med 10 in 20 mm.
- Odpadna voda mora v napravo padati preko cevi, visoke najmanj 10 cm, nad najvišjim vodostajem.
- Potrebno je predhodno čiščenje odpadne vode pri prekatnem sedimentacijskem tanku. Obseg tanka znaša 3 m³ za gospodinjstvo do 5 PE. (Mitterer-Reichmann, 2012)
- Gredo zasajujejo z močvirskimi rastlinami najpogosteje z navadnim trstom (*Phragmatis australis*). (Mitterer-Reichmann, 2012)
- Priporoča se gostota zasaditve 5 rastlin na m².
- Vzdrževanje imajo predpisano s standardom (ÖNORM B2505, 2009). Vzdrževanje lahko opravlja samo usposobljena oseba, ki ima ustrezne instrumente in navodila za uporabo.
- V sedimentacijskem bazenu je potrebno odstraniti plavajoči mulj, kontrolirati višino talnega mulja. Odvod mulja mora biti opravljen najkasneje, ko doseže višino več kot 1/3 globine vode.
- Vzdrževanje strojne opreme čistilne grede je potrebno opraviti vsaj 4-krat letno. Vsaka tri leta je priporočljivo pokositi rastlinje. Višina rezi ob košnji naj bo 25 cm nad dnom. Zeleni odrez je potrebno kompostirati ali uporabiti v kmetijstvu. Vmesna košnja ni nujna.

4.3.2 Smernice za sisteme z vertikalnim tokom vode

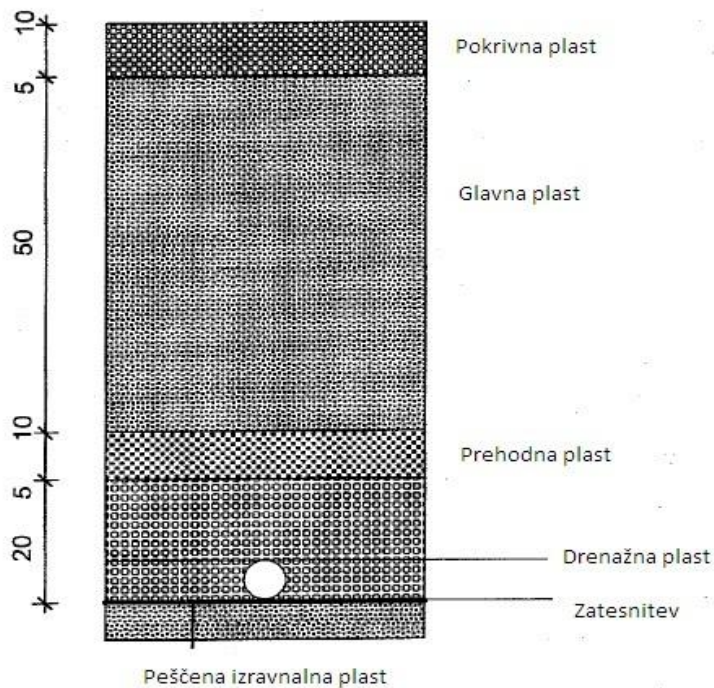
- Najmanjša velikost sistema je 4 m²/ PE (minimalna površina na gospodinjstvo je 20 m²).
- Globina čistilne grede je od 0,9 do 1,1 m. Sestavljena je iz štirih plasti. Navedene so v tabeli 1.

Tabela 1: Sestava čistilne grede po standardih, predpisanih v Avstriji (ÖNORM B2505, 2009)

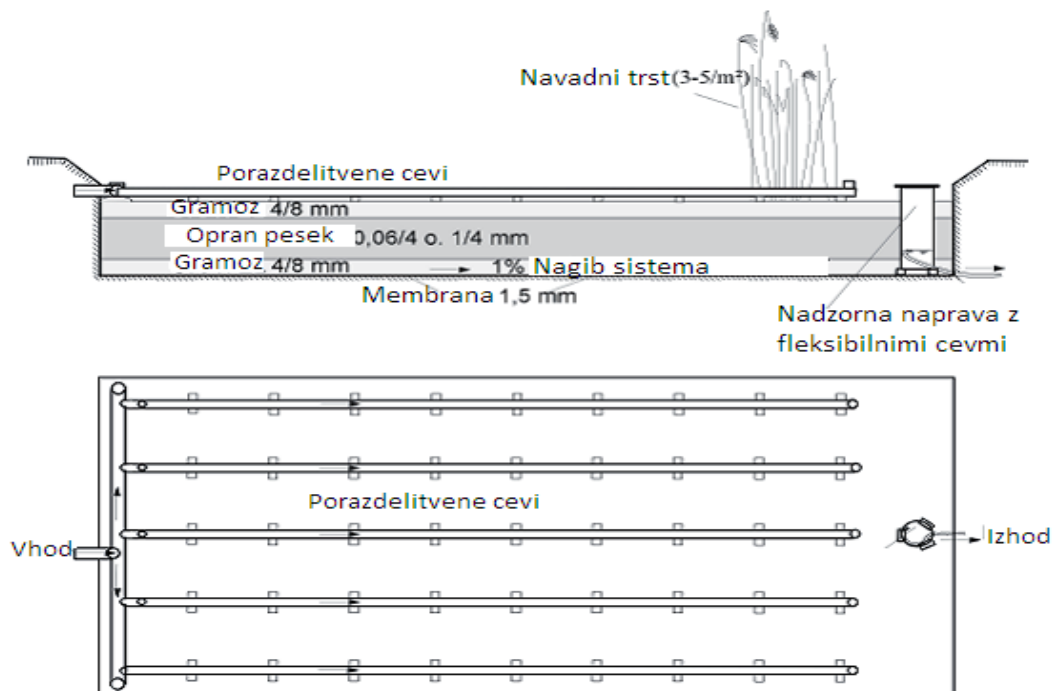
Element	Debelina	Material
Pokrivna plast	5 cm do 10 cm, pri neugodnih legah do 20 cm. Debeline do 35 cm so dovoljene za dimenzioniranje $\geq 5 \text{ m}^2 / \text{PE}$	Prod 4/8 mm ali 8/16 mm opran
Glavna plast	Najmanj 50 cm	Pesek 0/4 mm opran ($0,2 \leq d_{10} \leq 0,4$) (učinkovita velikost zrn)
Prehodna plast ali ločilna tkanina	5 cm do 10 cm	Prod 4/8 mm opran
Drenažna plast	20 cm	Prod 8/16 mm opran ali 16/ 32 mm opran

Na sliki 15 je prikazana sestava vertikalnega filtra, ki ga predpisujejo standardi v Avstriji.

Naklon dna posteljice iz vtoka proti iztoku mora biti 1 %, vendar mora biti površina vodoravna, brez naklona. Za pospešitev učinka odvodnjavanja je potrebno celotno talno površino v drenažni plasti opremiti z drenažnimi cevmi v razdalji do max. 3 m in jih priključiti na skupni vod do $\Phi 110$ mm. Dolžina intervala natapljanja grede je odvisna od prepustnosti talnega materiala. Pri upoštevanju smernic v večini primerov pri vertikalni propustnosti znaša dozirni interval od 3 do 6 ure. Trajanje polnjenja grede ne sme preseči 15 minut. Slika 16 prikazuje dozirni sistem čistilne grede.



Slika 15: Prikaz čistilne grede pri sistemih z vertikalnim tokom vode v Avstriji. (ÖNORM B2505, 2009)

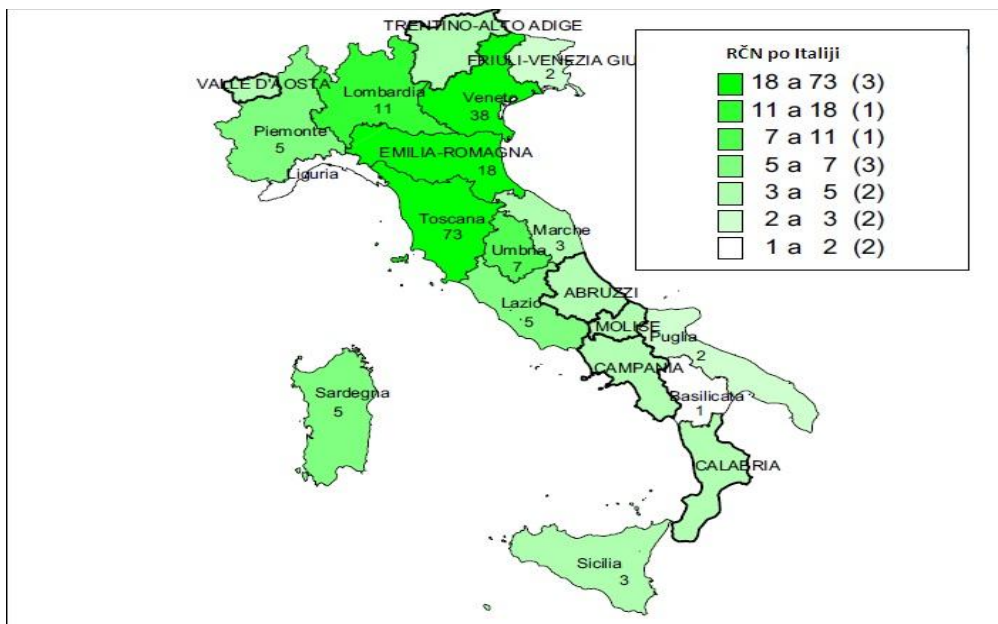


Slika 16: Shema sistema z vertikalnim tokom vode v Avstriji. (ÖNORM B2505, 2009)

4.4 Smernice RČN v Italiji

Italija se spopada s podnebjem, ki ni prav prijazno RČN. Poletja so sušna in topla, zime precej hladne. (Massi, 2007) V zadnjih letih je tudi Italija pridobila bogate izkušnje in podrobno študijo, zasnovo in izvedbo sistema za prečiščevanje vode za čiščenje odpadnih voda. Nacionalna zakonodaja zahteva za majhna naselja med 50 in 2.000 PE uporabo čistilnih tehnik z majhnim vplivom na okolje, kot so RČN in lagune. (Salvati, 2012) Pogostost RČN v Italiji je razvidna iz grafičnega prikaza na sliki 17.

Prostorski razporeditvi RČN so večina sistemov zgradili v osrednji in severni Italiji. 75 % nadzorovanih, to je 172 sistemov, je razdeljenih med Toskano, Veneto in Emilia Romagna. To so regije, kjer so lokalne oblasti pokazale več interesa za tovrstne sisteme.



Slika 17: Pogostost in razporeditev rastlinskih čistilnih naprav v Italiji. (Salvati, 2012)

4.4.1 Splošne smernice za načrtovanju RČN

- V Italiji povprečno porabijo do 200 l/(PE/ dan).
- Pri dimenzioniranju naprave so vhodi podatki organske obremenitve odplak 60 g BPK₅/(PE/dan).
- Zahtevano je prečiščenje sistemov v triprekatnem sedimentacijskem tanku.
- Sistem mora biti vodotesen, debelina geotekstila, nameščena v filtrirni posteljici, mora znašati od 0,5 do 2 mm. (Pucci in sod., 2005)
- Sisteme najpogosteje zasajajo s sitcem (*Scirpus lacustris*), navadnim trstom (*Phragmites australis*), rogozem (*Typha latifolia*). (Pucci in sod., 2005)
- Priporočljiva gostota zasaditve znaša od 3 do 4 sadike/m².
- Naklon dna sistema mora znašati od 1 do 5%.
- Iz sistemov, ki jih opazujejo, so ugotovili, da za odstranitev organskih snovi dosežajo BPK₅ od 95 % do 99 %, kar pomeni največ 25 mg/l O₂, 95 % dentrifikacijo, kar pomeni 35 mg/l Ntot. Dovoljena koncentracija fosforja očiščene vode je 10 mg/l.
- Priporočljivo vzdrževanje je enkrat letno; košnja v jesenskem času, brez strojne opreme. Zeleni odrez je potrebno kompostirati na kompost z vodotesno podlago.
- Enkrat letno je potrebno čiščenje odtočne in iztočne cevi; menjava in čiščenje elementov, če jih sistem vsebuje.

4.4.2 Smernice za sisteme s horizontalnim tokom vode

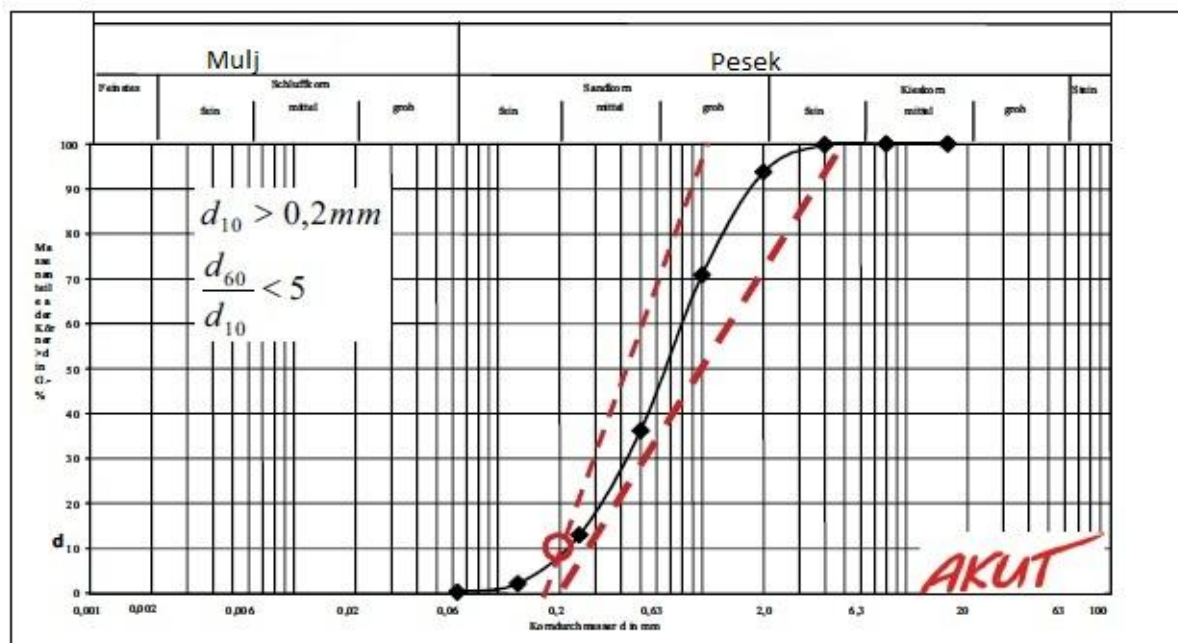
- Površina sistema s horizontalnim pretokom vode je predpisana od 3 do 5 m²/PE.
- Debelina medija horizontalnega sistema mora znašati najmanj 0,7 m.
- Zgornja plast peska mora biti debeline najmanj 10 cm z debelino od 1 do 2 mm. Nato sledi plast gramoza od 8 do 16 mm, ki mora segati v globino najmanj 30 cm. Zadnja plast gruščica dimenzij od 25 do 50 mm pa mora segati 15 cm v globino. (Pucci in sod., 2005)
- Globina srednjega dela čistilne grede je odvisna od predpostavljene globine korenin rastlin zasajenih v sistemu. (Pucci in sod., 2005)
- Sistem zasajen z navadnim trstom (*Phragmites australis*) s koreninskim sistemom seže 0,7 m globoko. Sitec (*Scirpus lacustris*) seže do 0,8 m v globino ter rogoz (*Typha latifolia*) doseže le 0,3–0,4 m globine. (Pucci in sod., 2005)
- Na površini so cevi, zaščitene proti zmrzali, ki služijo za enakomerno porazdelitev vode po celotnem sistemu.
- Premer cevi je odvisen od hidravlične obremenitve in znaša od 63 do 160 mm.

4.4.3 Smernice za sisteme z vertikalnim tokom vode

- Površina sistema vertikalnim tokom vode je predpisana od 2 do 3 m²/PE.
- Naklon dna sistema je predpisan od 1 do 2 %.
- Globina vertikalnega sistema mora biti od 0,9 do 1 m.
- Globina srednjega dela čistilne grede je odvisna od predpostavljene globine korenin zasajenih v sistemu.
- Sistem zasajen z navadnim trstom (*Phragmites australis*) s koreninskim sistemom seže 0,7 m globoko. Sitec (*Scirpus lacustris*) seže do 0,8 m v globino ter rogoz (*Typha latifolia*) doseže le 0,3–0,4 m globine.

- Glavni sloj je iz peska dimenzije $d_{10} > 0,2$ in faktorja $U = d_{60}/d_{10}$ znaša < 5 .

Slika 18 prikazuje granulometrično sestavo filtrirne posteljice.



Slika 18: Granulometrični prikaz sestave filtrirne posteljice v Italiji. (<http://www.irdra.it>, 15. 05. 2012)

5 ANALIZA PODATKOV RČN PO POSAMEZNI DRŽAVI

Iz vsake države (Italije, Danske, Avstrije in Slovenije) sem primerjala podatke posameznih RČN. Primerjala sem število populacijskih enot, površino, globino, tip sistema, tip zasaditve, sestavo čistilne grede ter parametre BPK₅, KPK, N_{tot} in P_{tot}. Iz primerjave podatkov so razvidne razlike, do katerih prihaja zaradi geografskih, podnebnih ter ekonomsko usmerjenih vidikov posameznih držav. Vsi sistemi, ki so obravnavani, so načrtovani za čiščenje komunalne odpadne vode.

5.1 Analiza podatkov o RČN na Danskem

Na Danskem je večina sistemov zasnovanih za manjša naselja. Sistemi so v velikosti od 10 do 500 PE. (Vyzmal in sod., 1998) Danci imajo najstrožje predpise, predvsem, kar zadeva končne koncentracije fosforja v očiščeni vodi. Danska je država, ki se sooča s podnebnimi nizkimi temperaturami. Zato je pogostejši sistem z vertikalnim tokom vode. Ta sistem zahteva globljo čistilno gredo, kar pomeni, da sistem težje zamrzne in s tem omogoča učinkovitejše čiščenje. Smernice za sisteme s horizontalnim tokom vode so predpisane v zadnjih desetih letih, saj pred tem niso dosegale predpisanih učinkov.

5.1.1 Splošni podatki o RČN

V tabeli 2 so trije sistemi z vertikalnim tokom vode ter trije sistemi s horizontalnim tokom vode. Zgrajeni so bili po različnih predelih Danske v različnih obdobjih. Najstarejši sistemi so navedeni v tabeli 2, ki je iz leta 1985. Prav tako so dimenzionirani za različno število populacijskih enot.

Pri sistemih z vertikalnim tokom vode imajo sisteme dimenzionirane za 4 PE, 400 PE in 5 PE. Vsi imajo predčiščenje in urejen iztok očiščene vode.

Sistemi s horizontalnim tokom vode so dimenzionirani za 5 PE, 180 PE in 80 PE. Prav tako imajo urejen iztok očiščene vode in predčiščenje.

Tabela 2: Podatki rastinskih čistilnih naprav o lokaciji, letu, številu PE, predčiščenju, iztoku očiščene vode in tipu sistema na Danskem (Brix in sod., 2001, Brix,2005, Brix, 2008)

Število sistemov	1	2	3	4	5	6
Lokacija	Friland	Uggerhalne	Mosehuset	Marke	Moesgaard	Landborup
Leto	2008	1985	2004	2002	2005	2003
Št. P.E.	4	400	5	5	180	80
Predčiščenje	da	da	da	da	da	da
Izток očiščene vode	vodotok 300 m od hiše	vodotok	vodotok	vodotok	vodotok	vodotok
Tip sistema	V - RČN	V-RČN	V -RČN	H- RČN	H- RČN	H- RČN

5.1.2 Dimenzijski podatki sistemov z vertikalnim in horizontalnim tokom vode

V tabeli 3 so dimenzijski podatki. Površina, ki je izračunana glede na število PE in skupno površino sistema, znaša za vertikalne sisteme 4,6 m²/PE, kar je za te vrste sistemov veliko. Smernice predpisujejo 3 m²/PE, ki so veljavne že nekaj let, zato menim, da do odstopanja prihaja zaradi RČN, ki so bile zgrajene v osemdesetih letih. Za prvi in drugi sistem je predpisana velikost najmanj 15 m². Velikost površine je v skladu z danskimi smernicami.

Podobno velja za sisteme s horizontalnim tokom vode. Površina znaša 3,76 m²/PE, kar je manj kot predpisujejo smernice (najmanj 5 m²/PE). Odstopa RČN pod številko sistema 5, saj je izračunana površina glede na PE zgolj 2,7 m². Dimenzije gred so v razmerju 1:2 z manjšim odstopanjem, kar ne predstavlja večjih težav pri čiščenju odpadne vode. Globine grede in

naklon ustrezajo predpisanim danskim smernicam. Hidravlična obremenitev sistemov znaša od 120 do 160 l/dan. Povprečna merjena poraba vode je 146 l/dan, kar je manj od predpisane maksimalne vrednosti. Smernice predpisujejo dnevno porabo 150 l/PE. Zadževalni časi sistemov so teoretični. Vidna razlika zadrževalnih časov je med vertikalnim in horizontalnim sistemom. Horizontalni sistemi, ki so pravilno dimenzionirani, zahtevajo bistveno daljši zadrževalni čas kot vertikalni sistemi. Teoretične podatke za RČN imam navedene zato, ker izmerjeni niso bili navedeni v bazi podatkov sistemih RČN. Tip zasaditve je povsod enak, navadni trst (*Phragmites australis*). Gostota zasaditve je od 4 do 5 sadik/m².

Tabela 3: Podatki rastinskih čistilnih naprav o površini, dimenziji gred, globini, naklonu, hidravlični obremenitvi, zadrževalnem času in tipu zasaditve na Danskem (Brix in sod., 2001, Brix, 2005, Brix, 2008)

Število sistemov	V - RČN			H - RČN		
	1	2	3	4	5	6
Skupna površina [m ²]	15	2640	15	28	500	470
Dimenzija grede [m]	8,3x6,5	33x80	3,85x3,75	7x5	razmerje 1:2	razmerje 1:2
Globina [m]	1,1	0,65	1,1	0,9	0,9	0,9
Naklon [%]	1,1	1,2	1	1	1	1
Hidravlična obremenitev [l/dan/PE]	160	150	130	110	120	140
Zadrževalni čas [dan]	7,7	8,85	7,6	13,7	6,25	11,3
Tip zasaditve	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)

5.1.3 Pokazatelji učinkovitosti pri sistemih z verikalnim in horizontalnim tokom vode

Učinkovitost RČN je predstavljena v tabeli 4. Dejanska učinkovitost v večini primerov dosega predpostavljene danske smernice. Predvsem uspešni so pri odstranjevanju BPK₅ in fosforja. Odstopa primer RČN številka 5, saj je površina premajhna za število PE, kar je glavni razlog za neučinkovito čiščenje.

Tabela 4: Parametri BPK₅, KPK, Ntot in Ptot na Danskem (Brix in sod., 2001, Brix,2005, Brix, 2008)

Število sistemov	V - RČN			H - RČN		
	1	2	3	4	5	6
BPK ₅ [%]	75	97	95	90	99	98
KPK [%]	94	82	90	80	96	71
Ntot [%]	88	30	75	50	38	62
Ptot [%]	90	30	56,4	90	/	/

5.1.4 Sestava čistilne grede pri sistemih z vertikalnim in horizontalnim tokom vode

Čistilno gredo sestavljajo plasti, katere debeline so določene v danskih smernicah. V tabeli 5 so razvidni vertikalni sistemi, ki sestavljajo štiri plasti različnih debelin in frakcij substrata (medija), ki so predpisani v smernicah. Prav tako velja za horizontalne sisteme. Žal je dostopen podatek zgolj za sistem številka 4, vendar je novejši in zato lahko sklepamo, da so horizontalni sistemi sestavljeni iz treh plasti različnih debelin in frakcij zrn, kot so navedeni v tabeli številka 5.

Tabela 5: Sestava čistilne grede na Danskem (Brix in sod., 2001, Brix, 2005, Brix, 2008)

Število sistemov	V - RČN			H - RČN		
	1	2	3	4	5	6
Čistilna greda	0,2 m prsti	/	0,2 m prsti	0,2 m gramoz Φ 4-10	/	/
	0,2 m gramoz Φ 4-10 mm		0,2 m gramozΦ 4-10 mm	0,5m pesek Φ 2-4		
	0,5m pesek Φ 2-4 mm		0,5m pesek Φ 2-4 mm	0,2 m gramoz Φ 4-10		
	0,2 m gramozΦ 4-10		0,2 m gramozΦ 4-10			

5.2 Analiza podatkov o RČN v Avstriji

V Avstriji so razmere in sprejemanje RČN zahtevnejše. Avstrijci te vrste sistemov za čiščenje odpadnih voda sprejemajo počasneje kot v drugih evropskih državah. (Hoffman, 2011) Osredotočajo se na sisteme z vertikalnim tokom vode, za katere imajo tudi prepisane smernice. Sistemi s horizontalnim tokom vode so redkejši, smernic za te vrste RČN zaenkrat še ni.

5.2.1 Splošni podatki o RČN

V tabeli 6 je predstavljenih pet sistemov. Štirje sistemi so z vertikalnim tokom vode in eden s horizontalnim tokom vode. Sistemi so bili grajeni v osemdesetih in devedesetih letih. Izjema je zgolj sistem pod številko 1.

Vsi iztoki očiščene vode so v vodotok in prav tako imajo vsi sistemi predčiščenje. Dva vertikalna sistema imata enako število PE, s tem ko se ostala dva razlikujeta v številu PE. Prvi sistem je načrtovan za 5 PE in drugi za 90 PE. Sistem s horizontalnim tokom vode je načrtovan za 10 PE.

Tabela 6: Podatki rastinskih čistilnih naprav o lokaciji, letu, številu PE, predčiščenju, iztoku očiščene vode in tipu sistema v Avstriji (Haberl in sod., 1992, Haberl in sod., 1993, Hoffman, 2011, Müllegger, 2012)

<i>Število sistemov</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Lokacija</i>	Ernstshofen	Mannersdorf	Wolfem Schillhuber	Wartberg- Gruber	Pollhan - Mader
<i>Leto</i>	2005	1983	1991	1991	1991
<i>Št. P.E.</i>	5	90	8	8	10
<i>Predčiščenje</i>	da	da	da	da	da
<i>Iztok očiščene vode</i>	vodotok	vodotok	vodotok	vodotok	vodotok
<i>Tip sistema</i>	V -RČN	V -RČN	V -RČN	V -RČN	H - RČN

5.2.2 Dimenzijski podatki sistemov z vertikalnim in horizontalnim tokom vode

V tabeli 7 lahko primerjamo površino med posameznimi sistemi. Smernica za vertikalne sisteme je od 3 do 5 m²/PE. Povprečna površina izračuna glede na število PE in skupno površino sistema znaša za vertikalne sisteme 5m²/PE, kar zadošča danim smernicam. (Hoffman, 2011) Dimenzije gred so v treh primerih 1:1. V dveh primerih sistemov z vertikalnim tokom vode in sistem s horizontalnim tokom vode pa imajo razmerje približno 1:1,5.

Prepisana globina je od 0,9 do 1,1 m. Globini dveh sistemov nista skladni z avstrijskimi smernicami, imata odstopanje za 0,1 m in 0,2 m. 1 % naklon ter 150 l/dan hidravlične obremenitve sta podatka, ki sledita predpisanim smernicam. Zadrževalni časi sistemov so teoretični. Vidna razlika v zadrževalnih časih je med vertikalnim in horizontalnim sistemom. Horizontalni sistemi, ki so pravilno dimenzionirani, zahtevajo bistveno večji zadrževalni čas kot vertikalni sistemi. Vendar so v praksi zadrževalni časi krajši od izmerjenih. Teoretične podatke imam navedene zato, ker izmerjeni niso bili navedeni v bazi podatkov o sistemih RČN. Tip zasaditve je povsod enak – navadni trst. (*Phragmites australis*). Gostota zasaditve je od 4 do 5 sadik/m².

Tabela 7: Podatki rastinskih čistilnih naprav o površini, dimenziji gred, globini, naklonu, hidravlični obremenitvi, zadrževalnem času in tipu zasaditve v Avstriji (Haberl in sod., 1992, Haberl in sod., 1993, Hoffman, 2011, Müllegger, 2012)

Število sistemov	V - RČN				H - RČN
	1	2	3	4	5
Skupna površina [m ²]	30	450	42	40,5	54,55
Dimenzija grede [m]	5x5	15x10	6,5x6,5	4,5x4,5	3,5x7,5
Globina [m]	0,9	0,9	0,7	0,8	0,6
Naklon [%]	1,1	1	1	1	1
Hidravlična obremenitev [l/dan/PE]	128	155	150	157	160
Zadrževalni čas [dan]	2,1	8,7	7,35	7,7	6,1
Tip zasaditve	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)

5.2.3 Pokazatelji učinkovitosti pri sistemih z vertikalnim in horizontalnim tokom vode

Učinkovitost RČN je predstavljena v tabeli 8. Rezultati čiščenja BPK₅ in KPK so visoki (BPK₅ nad 95 % in KPK nad 90 %). Učinkovitost čiščenja Ntot in Ptot pa je manjša.

Tabela 8: Parametri BPK₅, KPK, Ntot in Ptot v Avstriji (Haberl in sod., 1992, Haberl in sod., 1993, Hoffman, 2011, Müllegger, 2012)

Število sistemov	V - RČN				H - RČN
	1	2	3	4	5
BPK₅ [%]	98,7	95	95	95	75
KPK [%]	95,9	90	90	85	70
Ntot [%]	53,2	52	50	50	40
Ptot [%]	/	50	60	40	65

5.2.4 Sestava čistilne grede pri sistemih z vertikalnim in horizontalnim tokom vode

Čistilno gredo sestavljajo plasti in sicer tako, kot je prikazano v tabeli 9, iz katere je razvidno, da vertikalne sisteme sestavljajo od dva do štiri plasti različnih debelin in frakcij materiala, ki so predpisani v smernicah. (Haberl in sod., 1993)

Prav tako velja za čistilne grede za sistem s horizontalnim tokom vode, ki ima čistilno gredo sestavljeno iz dveh slojev različnih debelin. Sistem z debelino plasti in frakcijami zrn sledi predpisanim smernicam.

Tabela 9: Sestava čistilne grede v Avstriji (Haberl in sod., 1992, Haberl in sod., 1993, Hoffman, 2011, Müllegger, 2012)

Število sistemov	V- RČN				H - RČN
	1	2	3	4	5
Čistilna greda	Glavni sloj pesek debeline Φ 2 -3,2 mm	/	10 cm debel sloj peska Φ 4-8mm	5 cm debel sloj peska Φ 4-8mm	60 cm debel sloj peska Φ 2-4mm
			60 cm debel sloj peska Φ 0-4 in Φ =4-8	50 cm debel sloj peska Φ 1-4	
	Drenažni sloj d10 = 0,2mm, d60=0,8mm		10 cm debel sloj peska Φ 4-8	5 cm debel sloj peska Φ 4-8	10 cm debel sloj peska
			20 cm debel sloj gramoza = 16-32mm	20 cm debel sloj glin	

5.3 Analiza podatkov o RČN v Italiji

Italija se pospešeno razvija in gradi RČN. Zaradi sušnih poletij in hladnih zim je najugodejša klima za RČN v osrednji Italiji. Tam so RČN najbolj pogoste.

5.3.1 Splošni podatki o RČN

V tabeli 10 so podatki šestih RČN. Izmed šestih sistemov so trije sistemi z vertikalnim tokom vode ter trije s horizontalnim tokom vode. Pogostejši so sistemi s horizontalnim tokom vode, vendar se v zadnjih letih pojavljajo tudi sistemi z vertikalnim tokom vode.

Vsi sistemi so zgrajeni v osrednji Italiji od leta 2000 do 2008 z različnim številom PE. Najmanjši sistem je načrtovan za 30 PE, največji pa sega do 1000 PE. Predčiščenje imajo urejeno v sedimentacijskem bazenu. V prvem primeru očiščeno vodo uporabljajo za namakanje, v zadnjem primeru pa se očiščena voda izteka v jezero. Pri vseh ostalih RČN je iztok urejen v vodotok.

Tabela 10: Podatki rastinskih čistilnih naprav o lokaciji, letu, številu PE, predčiščenju, iztoku očiščene vode in tipu sistema v Italiji (Pucci, 2005., Salvati, 2012., Bendoricchio, 2000)

<i>Število sistemov</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>Lokacija</i>	Bolzano	Bolzano	Perugia	Firence	Bolonja	Terni
<i>Leto</i>	2005	2008	2008	2002	2003	2000
<i>Št. P.E.</i>	1000	280	450	30	120	450
<i>Predčiščenje</i>	DA	DA	DA	DA	DA	dA
<i>Iztok očiščene vode</i>	Ponovno uporaba-namakanje	vodotok	vodotok	vodotok	vodotok	jezero
<i>Tip sistema</i>	V -RČN	V -RČN	V -RČN	H - RČN	H - RČN	H - RČN

5.3.2 Dimenzijski podatki sistemov z vertikalnim in s horizontalnim tokom vode

Površine RČN glede na število PE malenkost odstopajo od predpisanih smernic. Pri sistemih z vertikalnim tokom vode znaša površina 1,53 m²/PE, pri sistemih s horizontalnim tokom vode pa znaša 2,3 m²/PE. Dimenzije gred so v razmerju 1:2 z manjšim odstopanjem. (tabela 11) Globina verikalnega sistema je v povprečju 1,1 m, pri horizontalnem sistemu pa sega v povprečju do 0,8 m. Naklon grede je med 1 in 2 %. Hidravlična obremenitev sega do 180 l/dan. Smernice predvidevajo porabo 200 l/dan. Zadrževalni čas je v povprečju od 3 do 4 dni. Zadrževalni časi sistemov so teoretični. Razlika med vertikalnim in horizontalnim sistemom je približno en dan. V večini primerov zasajajo navadni trst (*Phragmites australis*). V dveh primerih sem zasledila zasajevanje rogoza (*Typha latifolia*), perunike (*Iris*) in prstatega trsikoca (*Miscanthus sinensis*).

Tabela 11: Podatki rastinskih čistilnih naprav o površini, dimenziji gred, globini, naklonu, hidravlični obremenitvi, zadrževalnem času in tipu zasaditve v Italiji (Pucci, 2005., Salvati, 2012., Bendoricchio, 2000)

	V - RČN			H - RČN		
	1	2	3	4	5	6
<i>Število sistemov</i>						
Skupna površina [m²]	1670	425	558	109	360	909
Dimenzija grede [m]	9x30	/	12x24	/	/	44,52X20
Globina [m]	0,55	1	1,8	0,8	0,8	0,8
Naklon [%]	1 ÷ 2	1 ÷ 2	1 ÷ 2	1 ÷ 2	1 ÷ 2	1 ÷ 2
Hidravlična obremenitev	180	180	180	180	180	180
Zadrževalni čas [dan]	2,7	3	4,4	5,8	4,8	3,2
Tip zasaditve	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>), Rogoz (<i>Typha</i>), Perunike (<i>Iris</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>), Prstati trsikocev (<i>Miscanthus sinensis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)

5.3.3 Pokazatelji učinkovitosti pri sistemih z vertikalnim in s horizontalnim tokom vode

Učinkovitost čiščenja dosega dobre rezultate glede na podane italijanske smernice. (tabela 12) To velja predvsem za sisteme z vertikalnim tokom vode. Učinkoviti so pri čiščenju BPK₅ in KPK. V tretjem primeru je slabše učinkovito čiščenje fosforja, ki pa je lahko posledica slabe mešanice substrata ali ne-vračanja odpadne vode v prvi prekat.

Tabela 12: Parametri BPK₅, KPK, Ntot in Ptot v Italiji (Pucci, 2005., Salvati, 2012., Bendoricchio, 2000)

Število sistemov	V - RČN			H - RČN		
	1	2	3	4	5	6
BPK ₅ [%]	97	98,2	89,1	88	72	85
KPK [%]	96	97,1	88,6	84	66	84
Ntot [%]	99,2	83,6	69,1	47	62	52
Ptot [%]	/	99,3	33,1	72	/	/

5.3.4 Sestava čistilne grede pri sistemih z vertikalnim in s horizontalnim tokom vode

Podatki o sestavi čistilne grede niso natančni. Imamo podatke zgolj o substratu (mediju) in frakciji zrn. (tabela 13) Sklepamo lahko, da je substrat premešan in da ni razporejen po plasteh, kot to lahko vidimo pri RČN v Avstriji in na Danskem.

Tabela 13: Sestava čistilne grede v Italiji (Pucci, 2005., Salvati, 2012., Bendoricchio, 2000)

Število sistemov	V - RČN			H - RČN		
	1	2	3	4	5	6
Čistilna greda	Prod in pesek	Pesek	Prod Φ8 ÷ Φ 12	Prod Φ8	Prod Φ8	/

5.4 Analiza podatkov o RČN v Sloveniji

Ideja o RČN se je v Sloveniji pojavila v drugi polovici osemdesetih let. Med leti 1989 in 1996 je bilo v Sloveniji zgrajenih 17 sistemov. V večini primerov so ti sistemi s horizontalnim tokom vode. (Urbanc – Berčič, 1998)

Kasneje so se pogosteje pričeli pojavljati sistemi z vertikalnim tokom vode. Slovenski trg še ni popolnoma ozaveščen o samem delovanju in učinkovitosti teh sistemov, zato se le ti ne pojavljajo pogosto na tržišču. Iz tega vzroka tudi slovenske smernice za RČN še niso zapisane.

5.4.1 Splošni podatki o RČN

V tabeli 14 imam navedene 3 sisteme z vertikalnim tokom in 3 sisteme s horizontalnim tokom vode. Najstarejši sistem je zgrajen v letih 1989, trije sistemi pa so zgrajeni v letu 2000.

Zgrajeni so bili za različno število PE.

RČN Goričar je bila zgrajena za gospodinjstvo in odpadno vodo, obremenjeno z organskimi snovmi iz ribogojnice. Vsi sistemi imajo urejeno predčiščenje in iztok očiščene vode. Ta se izliva v potoke in reke.

Tabela 14: Podatki rastlinskih čistilnih naprav o lokaciji, letu, številu PE, predčiščenju, iztoku očiščene vode in tipu sistema v Sloveniji (Bulc, 1994, Šajn S., 2003, Kavkler, 2002)

<i>Število sistemov</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>Lokacija</i>	Velika Nedelja	Planina	Krasinec	Ajdovščina	Goričar	Ponikva
<i>Leto</i>	2000	1990	2000	1989	2000	1992
<i>Št. P.E.</i>	400	500	250	70	5+ ribogojnica	350
<i>Predčiščenje</i>	da	da	da	da	da	da
<i>Iztok očiščene vode</i>	vodotok	potok	potok	reka	potok	potok
<i>Tip sistema</i>	V- RČN	V - RČN	V-RČN	H -RČN	H - RČN	H - RČN

5.4.2 Dimenzijski podatki sistemov z vertikalnim in s horizontalnim tokom vode

Dimenzijski podatki so navedeni v tabeli 15. Površina, ki je izračunana glede na število PE, znaša v Sloveniji 2,3 m²/PE za vertikalne sisteme in 2,1 m²/PE za horizontalne sisteme.

Dimenzija gred je v podatkih, ki jih imamo na voljo, v razmerju 1:2 z manjšim odstopanjem.

Globina je malenkost večja pri sistemih z vertikalnim tokom vode, ki je 0.66 m.

Naklon sistemov v povprečju znaša za vertikalne sisteme 1 %, za horizontale 2 %. Hidravlična obremenitev v povprečju znaša 145 l/dan. Zadrževalni časi so za vertikalne sisteme okrog 2,8 dneva, s tem, da so za horizontalne sisteme nekoliko daljši. Časi so teoretični, v primeru številka 6 so bili izmerjeni, znašajo od 3,8 do 4,8 dneva. Po ugotovitvah so zadrževalni časi krajši od teoretičnih. Ti odstopajo tudi do celega dneva. V Sloveniji so RČN zasajene v večini primerov z navadnim trstom (*Phragmites australis*). V enem primeru je bila zasajena vodna hiacinta (*Eichhornia crassipens*), togi šaš (*Carex elata*) in pokončni ježek (*Sparagnum erectum*). Ugotavljam, da gre za poizkus, pri katerem so ugotavljali, ali so te vrste rastlin primerne za razmere, s katerimi se soočamo v Sloveniji. To so nizke zimske temperature in vroča poletja. Zasaditev je raznolika. V prvem primeru je zasaditev glede na m² gostota, saj znaša kar 6 – 10 sadik/m². Gostota je odvisna od vrste rastline. Pri ostalih primerih pa niha nekje med 3 in 5 sadik/m². V primeru Triglavskega narodnega parka moramo zasaditi avtohtone vrste. Iz izkušenj V Domu na Menini planini RČN v prvi fazi ni bila učinkovita z zasajenim navadnim trstom (*Phragmites australis*). Zaradi previsoke nadmorske višine in nizkih temperatur navadni trst namreč ni uspeval. RČN so porasle druge vrste, med njimi kislica, kopriva in druge odpornejše rastline, ki pa po raziskavah prispevajo pri procesu čiščenja. Pri koči na planini Pri jezeru uspeva togi šaš (*Carex elata*) in črni šaš (*Carex nigra*), katerega bi bilo v primeru RČN najbolje zasaditi, saj je rastlinska vrsta prilagojena na razmere Triglavskega narodnega parka. (Erhartič, 2004)

Tabela 15: Podatki rastinskih čistilnih naprav o površini, dimenziji gred, globini, naklonu, hidravlični obremenitvi, zadrževalnem času in tipu zasaditve v Sloveniji (Bulc, 1994, Šajn S., 2003, Kavkler, 2002)

Število sistemov	V - RČN			H - RČN		
	1	2	3	4	5	6
Skupna površina [m ²]	800	1000	930	150	153	600
Dimenzija grede [m]	5x9	/	/	9,5x15,5	/	10x25
Globina [m]	0,6	0,7	0,7	0,65	0,7	0,6
Naklon [%]	1,1	1	1	3	1	2
Hidravlična obremenitev [l/dan/PE]	150	140	140	142	150	143
Zadrževalni čas [dan]	0,6	4	2	2	0,9	4
Tip zasaditve	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>), Vodna hiacinta (<i>Eichhornia crassipens</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>),	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>), Togi Šaš (<i>Catex</i>)	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>),	Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>),	Pokončni ježek (<i>Sparagnum erectum</i>), Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>),
Zasajevanje sadik/m ²	10 in 6	2 ÷ 3	3 ÷ 4	3	3 ÷ 4	4 ÷ 5

5.4.3 Pokazatelji učinkovitosti pri sistemih z vertikalnim in s horizontlanim tokom vode

Učinkovitost čiščenja za vertikalne sisteme, bi glede na izkušnje v tujini pričakovali boljše rezultate. Vendar so ti sistemi v Sloveniji v fazi razvoja. Pri horizontalnih sistemih beležimo boljšo učinkovitost, saj dosegamo dobre rezultate pri čiščenju BPK₅ in KPK. (tabela16) Tudi čiščenje fosforja je v povprečju okrog 60 %.

Tabela 16: Parametri BPK₅, KPK, Ntot in Ptot v Sloveniji (lasten vir)

Število sistemov	V - RČN			H - RČN		
	1	2	3	4	5	6
BPK ₅ [%]	60,2	84,58	77	86	98	92
KPK [%]	42	50,18	92	78	88,1	87
Ntot [%]	12	71,47	62	/	/	24,5
Ptot [%]	53,5	86,3	41	54	84	37,5

5.4.4 Čistilna greda pri sistemih z vertikalnim in horizontalnim tokom vode

Pri horizontalnih sistemih imajo čistilno gredo navadno sestavljeno iz treh različnih vrst materiala. (tabela 17) Gre za mešanico mivke, zemlje in peska ali grušča. Čistilne grede vertikalnih sistemov polnimo s peskom, gramozom in gruščem od $\Phi 4-8$ mm in $\Phi 8-16$ mm.

Tabela 17: Sestava čistilne grede v Sloveniji (Bulc, 1994, Šajn S., 2003, Kavkler, 2002)

Število sistemov	V - RČN			H - RČN		
	1	2	3	4	5	6
Čistilna greda	pesek gramoz	pesek $\Phi 4 - 8$ in $\Phi 8-16$	pesek	zemlja	zg.sloj pesek+prod $\Phi 16-32$ mm v debelini 10cm	Mešanica iz 40% mivke, 50% pesa in 10 % zemlje
				grušč		
				mivka		

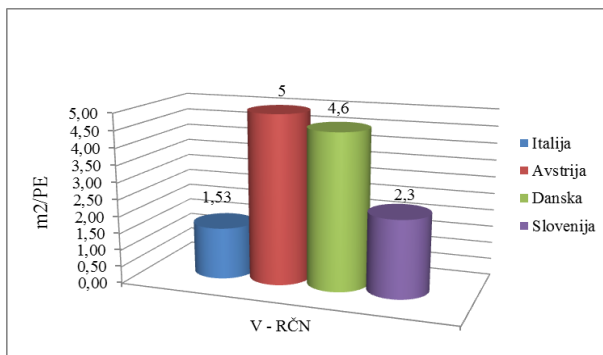
6 PRIMERJAVA PODATKOV RČN Z VERTIKALNIM IN S HORIZONTALNIM TOKOM VODE

6.1 POVRŠINA/PE

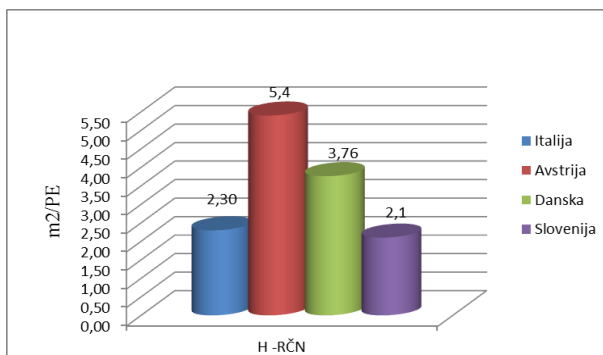
Površine po posameznih državah se med seboj razlikujejo. (tabela 18) Iz slike 19, v katerem so primerjave površin za vertikalne sisteme, lahko vidimo, da se površina RČN glede na PE pri Avstriji in Danski razlikuje zgolj za $0,4 \text{ m}^2/\text{PE}$. Med Italijo in Slovenijo je tudi manjša razlika ($0,8 \text{ m}^2/\text{PE}$). Če primerjamo slovenske RČN z danskimi in avstrijskimi, ugotovimo, da so te razlike precejšnje, tudi do $2 \text{ m}^2/\text{PE}$. Iz slike 20 je razviden sistem s horizontalnim tokom vode – podobno kot v prejšnjem primeru, ko ugotovimo, da so razlike med Avstrijo in Dansko manjše, prav tako je s primerjavo Italije in Slovenije. Vendar, pri avstrijskih sistemih sem primerjala en sam sistem s horizontalnim tokom vode, pri katerem ugotavljam, da je odstopanje za več kot $1 \text{ m}^2/\text{PE}$.

Tabela 18: Površina glede na PE za sisteme z vertikalnim tokom vode in H-RČN

Tip sistema	V - RČN	H - RČN
država/enota	m ² /PE	m ² /PE
Italija	1,53	2,30
Avstrija	5	5,4
Danska	4,6	3,76
Slovenija	2,3	2,1



Slika 19: Površina/PE za sisteme z vertikalnim tokom vode.



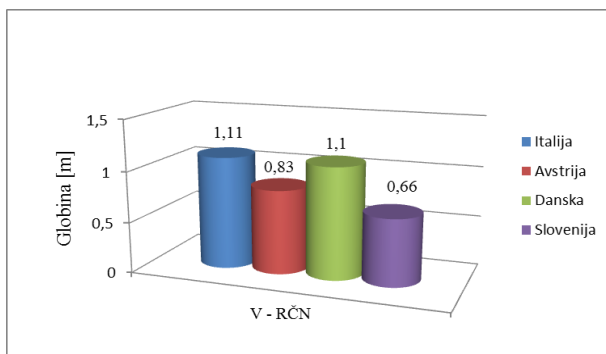
Slika 20: Površina/PE za sisteme s horizontalnim tokom vode.

6.2 GLOBINA GREDE

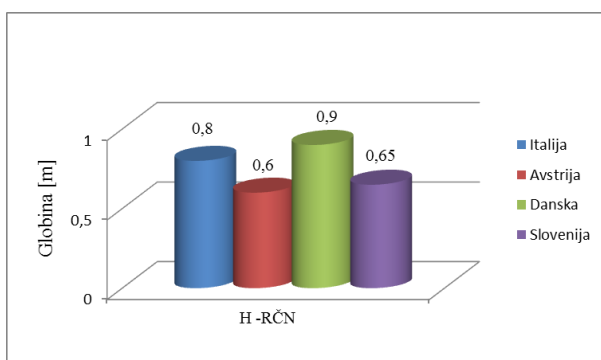
Globino grede po državah prikazuje tabela 19. Iz slike številka 21 lahko razberemo, da je globina vertikalnih sistemov v Sloveniji primerljiva z Avstrijo. Prav tako velja za horizontalne sisteme (slike 22). Odstopanja so največ za 0,2 m.

Tabela 19: Globina grede V-RČN in H-RČN

Tip sistema	V - RČN	H -RČN
država/enota	m	m
Italija	1,11	0,8
Avstrija	0,83	0,6
Danska	1,1	0,9
Slovenija	0,66	0,65



Slika 21: Globina grede za sisteme z vertikalnim tokom vode.



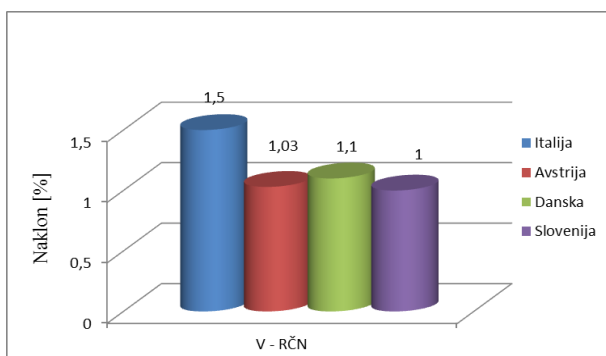
Slika 22: Globina grede za sisteme s horizontalnim tokom vode.

6.3 NAKLON DNA ČISTILNE GREDE

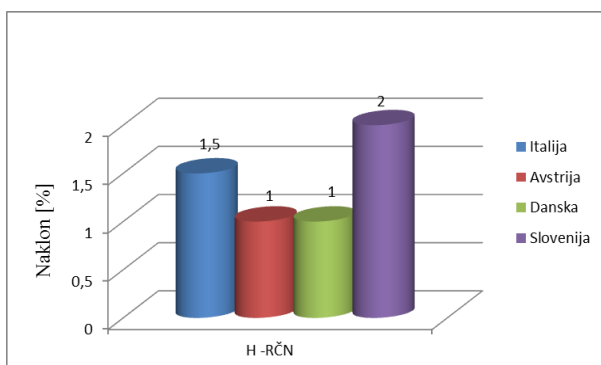
Naklone v vseh štirih državah si lahko ogledamo v tabeli 20. Odstopanja so zanemarljiva. Pri vertikalnih sistemih (slika 23) imajo vse države naklon od 1 % do 1,5 %. Pri horizontalnih sistemih (slika 24) imamo v Sloveniji povprečne naklone RČN 2 %. V Italiji gradijo z 1,5 % naklonom.

Tabela 20: Naklon dna čistilne grede

Tip sistema	V - RČN	H -RČN
država/enota	%	%
Italija	1,5	1,5
Avstrija	1,03	1
Danska	1,1	1
Slovenija	1	2



Slika 23: Naklon dna čistilne grede pri sistemih z vertikalnim tokom vode.



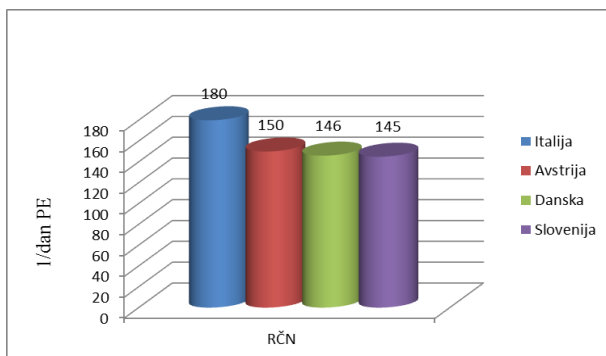
Slika 24: Naklon dna čistilne grede pri sistemih s horizontalnim tokom vode.

6.4 HIDRAVLIČNA OBREMENITEV RČN

Kot prikazujeta tabela 21 in slika 25 se hidravlična obremenitev giblje od 145 do 150 l/dan. Odstopanje Italije nima znanega vzroka.

Tabela 21: Hidravlična obremenitev RČN

Tip sistema	RČN
država/e nota	l/dan PE
Italija	180
Avstrija	150
Danska	146
Slovenija	145



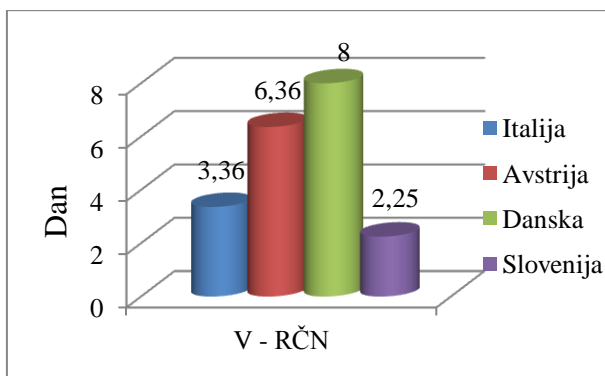
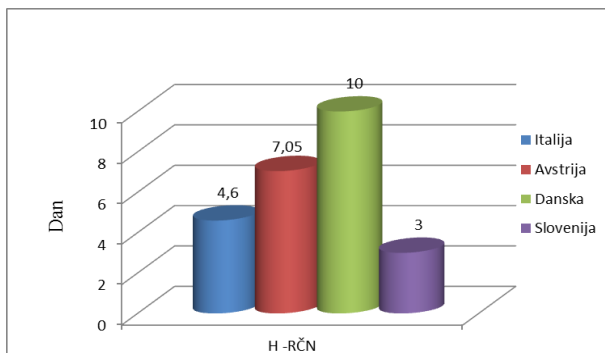
Slika 25: Hidravlična obremenitev RČN.

6.5 ZADRŽEVALNI ČAS

Zadrževalni časi, predstavljeni v tabeli 22, so teoretični. Z njimi si lahko pomagamo pri samih meritvah dejanskega zadrževalnega časa, na osnovi katerega sledimo dotočnim in iztočnim vrednostim pokazateljev onesnaženosti. (Bulc, 1994) Iz slike 26 je razvidno, da so si zadrževalni časi RČN v Avstriji in Danski bližje kot v Italiji in Sloveniji. To pomeni, da je zadrževalni čas sistemov z vertikalnim tokom vode krajši kot zadrževalni časi sistemov s horizontalnim tokom vode. (slika 27) V Sloveniji imamo najkrajše zadrževalne čase.

Tabela 22: Zadrževalni čas pri sistemih z vertikalnim in s horizontalnim tokom vode

Tip sistema	V - RČN	H -RČN
država/enota	dan	dan
Italija	3,36	4,6
Avstrija	6,36	7,05
Danska	8	10
Slovenija	2,25	3

**Slika 26: Zadrževalni čas za sisteme z vertikalnim tokom vode.****Slika 27: Zadrževalni čas za sisteme s horizontalnim tokom vode.**

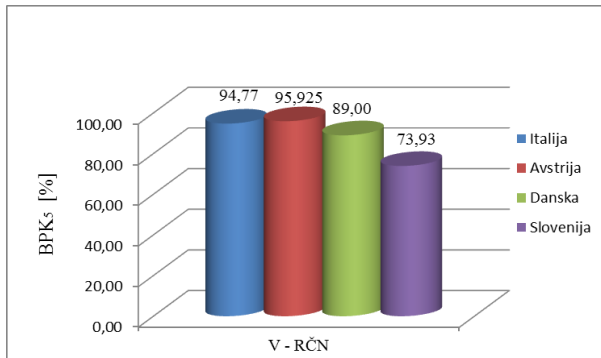
6.6 POKAZATELJI UČINKOVITOSTI

Parametri BPK₅, KPK, Ntot in Ptot so pokazatelji učinkovitosti delovanja RČN. (tabela 23)

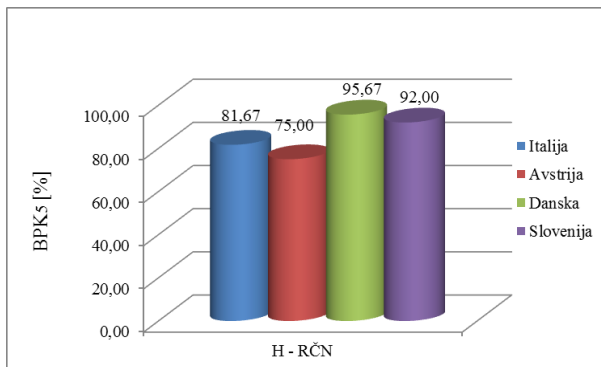
Slika 28 in slika 29 nam nazorno prikazujeta čiščenje BPK₅ pri sistemih z vertikalnim in s horizontalnim tokom vode. V Italiji in Avstriji so pri čiščenju BPK₅ uspešnejši pri sistemih z vertikalnim tokom vode, ravno obratno velja za Slovenijo in Dansko. Parameter KPK (slika 30 in slika 31) dosega, v primeru sistemov z vertikalnim tokom vode, boljše rezultate kot pri sistemih s horizontalnim tokom vode. To ne drži v primeru Slovenije, saj je čiščenje KPK pri horizontalnih sistemih učinkovitejše kot je razvidno v tabeli 23. Iz slike 32 in slike 33 si lahko ogledamo parameter Ntot. Pri čiščenju Ntot je najuspešnejša Italija, sledi ji Danska, nato Avstrija in na koncu Slovenija. Fosfor predstavlja največjo skrb na Danskem. Veliko študij je bilo opravljenih glede čiščenja fosforja iz odpadne vode. Posebej so uspešni pri sistemih s horizontalnim tokom vode (90 % čiščenje). (slika 34) Slovenija dosega najboljše rezultate čiščenja fosforja od vseh štirih držav pri sistemih z vertikalnim tokom vode. (slika 35)

Tabela 23: Pokazatelji učinkovitosti

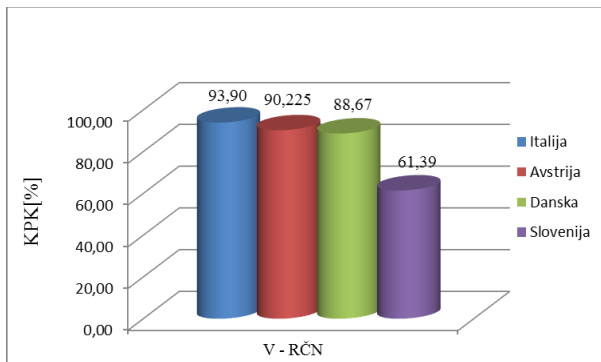
Tip sistema	V - RČN				H - RČN			
	BPK5	KPK	Ntot	Ptot	BPK5	KPK	Ntot	Ptot
država/enota	%	%	%	%	%	%	%	%
Italija	94,77	93,90	83,97	44,13	81,67	78,00	53,67	72,00
Avstrija	95,925	90,225	51,3	50	75,00	70,00	40,00	65,00
Danska	89,00	88,67	64,33	58,80	95,67	82,33	50,00	90,00
Slovenija	73,93	61,39	48,49	60,27	92,00	84,37	24,50	58,50



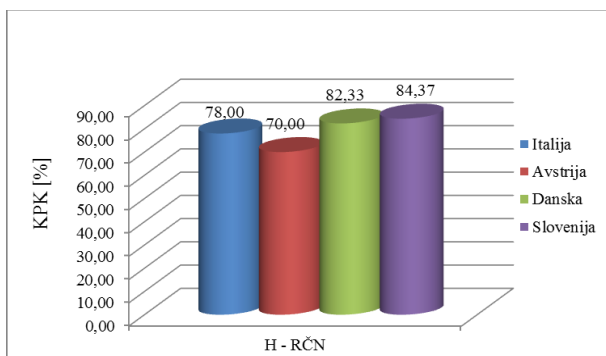
Slika 28: Parameter BPK_5 za sisteme z vertikalnim tokom vode.



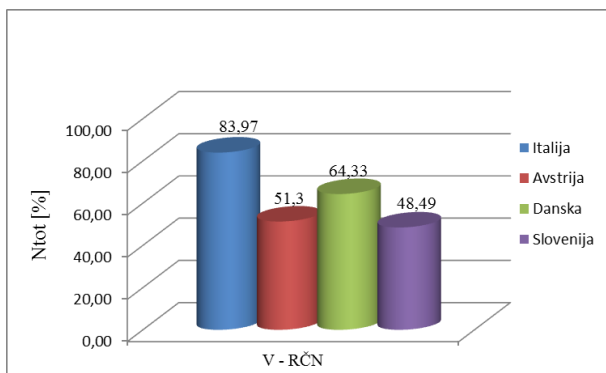
Slika 29: Parameter BPK_5 za sisteme s horizontalnim tokom vode.



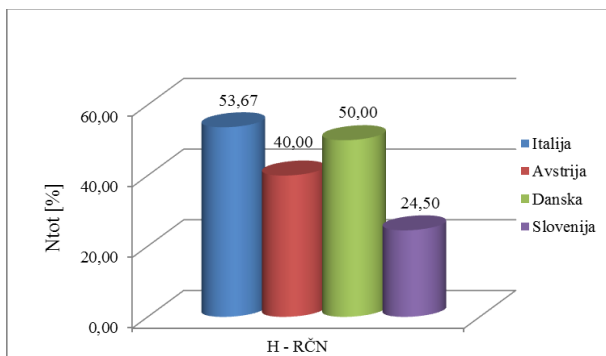
Slika 30: Parameter KPK za sisteme z vertikalnim tokom vode.



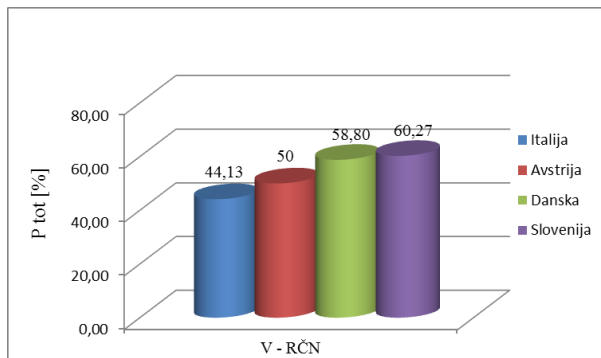
Slika 31: Parameter KPK za sisteme s horizontalnim tokom vode.



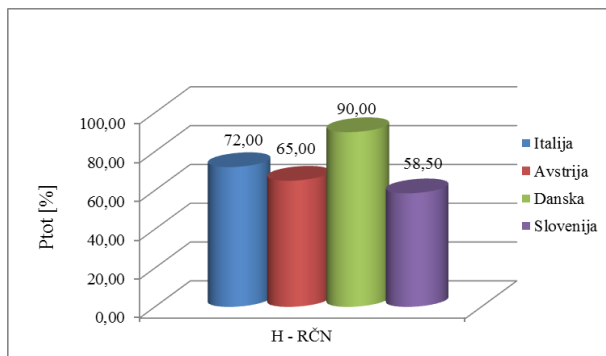
Slika 32: Parameter Ntot za sisteme z vertikalnim tokom vode.



Slika 33: Parameter Ntot za sisteme s horizontalnim tokom vode.



Slika 34: Parameter P_{tot} za sisteme z vertikalnim tokom vode.



Slika 35: Parameter P_{tot} za sisteme s horizontalnim tokom vode.

6.7 ČISTILNA GREDA

Danska ima čistilno gredo za sisteme z vertikalnim tokom vode. Sestavljene so iz štirih plasti. Prva (zgornja) plast, debeline 20 cm, je sestavljena iz prsti, naslednjo (drugo) plast, ki meri ravno tako 20 cm, sestavlja gramoz debeline od 4 do 10 mm. Tretjo (najdebelejšo) plast (50 cm) sestavlja pesek debeline od 2 do 4 mm. Zadnjo (četrt) plast pa sestavlja 20 cm gramoza, debeline od 4 do 10 mm. Pri sistemih s horizontalnim tokom vode čistilno gredo sestavljajo tri plasti. Prvo plast, debeline 20 cm, sestavlja gramoz debeline od 4 do 10 mm. Druga plast (50 cm) je nasuta s peskom debeline od 2 do 4 mm. Zadnjo (tretjo) plast, ki meri 20 cm, sestavlja zopet gramoz debeline od 4 do 10 mm.

Avstrija ima podobno sestavo čistilne grede za vertikalne sisteme. Prvo plast sestavlja 10 cm debel sloj peska, debeline od 4 do 8 mm, nato mu sledi 60 cm debel sloj peska debeline od 0 do 4 mm in od 4 do 8 mm. Tretji (10-centimetrski), sloj sestavlja pesek debeline od 4 do 8 mm. Zadnji (20-centimetrski) sloj pa je sestavljen iz gramoza debeline od 16 do 32 mm. Pri horizontalnih sistemih čistilno gredo sestavljata dva sloja. Prvi (60-centimetrski) sloj sestavlja pesek debeline od 2 do 4 mm in drugi sloj 10 cm gramoza oziroma peska.

V Italiji čistilne grede niso sestavljene iz plasti. Imajo frakcije materiala, največkrat je to pesek ali prod debeline od 8 do 12 mm.

Slovenija je pri sestavi čistilnih gred najbolj podobna Italiji. Čistilna greda je sestavljena iz mešanice grušča, peska, mivke in zemlje. Predvsem to velja za sisteme s horizontalnim tokom vode. Sistemi z vertikalnim tokom vode so sestavljeni iz peska in gramoza, debeline od 4 do 8 mm in 8 do 16 mm.

7 OSNUTEK SMERNIC V SLOVENIJI GLEDE NA PRAKSE V TUJINI

Smernice so predpostavljene glede na prakse v tujini in rezultate čiščenja v Sloveniji. Po prvih ugotovitvah so slovenske RČN najbolj podobne italijanskim RČN. Podobnosti so v površini/ PE, saj so tam odstopanja pri sistemih z vertikalnim tokom vode zgolj za 0,8 m²/PE ter pri sistemih s horizontalnim tokom vode 0,2 m²/PE. Ravno tako lahko primerjamo naklone. Odstopanja med Italijo in Slovenijo so za 0,5 %. Zadrževalni časi so glede na ostali dve državi manjši tako v Sloveniji kot v Italiji. Sestava čistilne grede ni v plasteh z znanimi debelinami frakcij in plasti, vendar imamo znano debelino grede in mešanico substrata (medija). Globina slovenskih RČN je primerljiva z Avstrijo. Namreč, obe državi imata nižjo globino sistemov kot v Italiji in na Danskem. V Sloveniji je učinkovitost čiščenja za sisteme s horizontalnim tokom vode primerljiva z Dansko, s tem pa smo pri sistemih z vertikalnim tokom vode nižje od drugih primerljivih držav. Za Slovenijo je zanimivo načrtovanje RČN na planinskih postojankah v Triglavskem narodnem parku. Glavna omejitvena dejavnika sta nadmorska višina (do 2000 m) in pomankanje ustreznega postora. (Erhartič, 2004) Visoka nadmorska višina predvsem vpliva na čas delovanja RČN. Zaradi nadmorske višine in s tem povezanih nižjih temperatur, je učinkovito delovanje RČN krajše, saj so zime daljše in meseci višjih temperature krajši.

7.1 Splošne smernice za načrtovanje RČN

- V Sloveniji povprečno porabimo do 150 l/(PE/dan).
- Zahtevano prečiščenje sistemov v dvo ali trikomornem sedimentacijskem tanku.
- Obseg sedimentacijskega tanka znaša 2 m³ za gospodinjstvo do 5 PE.
- Sistem mora biti vodotesen, zaščiten z membrano.
- Sisteme najpogosteje zasajmo z navadnim trstom (*Phragmites australis*). V primeru gradnje RČN v Triglavskem narodnem parku moramo izbirati avtohotne rastlinske vrste. Dobro uspevajo togi šaš (*Catex elata*), črni šaš (*Catex nigra*) in rogoz (*Typha latifolia*).
- Priporočljiva gostota zasaditve znaša od 3 do 5 sadik/m².
- Naklon dna sistema naj znaša od 1 do 2 %
- Iz sistemov, ki jih opazujemo, smo ugotovili, da za odstranitev organskih snovi dosegajo BPK₅ od 90 % do 95 % , KPK do 85 % . Ntot najmanj 70 % in Ptot do 90 % .
- Načrtovana dimenzija grede naj bo širina proti dolžini v razmerju 1:2.
- 0,2 m visok nasip na robu sistema služi kot prepreka za vdor vode, sedimenta iz okolice in omogoča odstanjevanje in čiščenje neustreznih rastlinskih vrst.
- RČN ne potrebuje posebnega vzdrževanja glede medija. V primeru, da se medij zamaši, je potrebno medij v eni ali večih gredah zamenjati. Običajna doba menjave medija je ob pravilni vgradnji in vzdrževanju 10 let. V sedimentacijskem bazenu je potrebno odstraniti plavajoči mulj, kontrolirati višino talnega mulja.
- Vzdrževanje strojne opreme čistilne grede je potrebno opraviti vsaj enkrat letno; čiščenje dotočnih in iztočnih cevi, kontroliranje čiščenja dotočnih in iztočnih cevi, spreminanje pretokov glede na iztočne vrednosti in občasno vzorčenje odpadne vode na dotoku in iztoku. (Buc, 1994)
- Košnja naj bo enkrat letno. Višina rezi ob košnji naj bo 15 cm nad dnem. Zeleni odrez je potrebno kompostirati na vodotesni podlagi ali uporabiti v kmetijstvu.

Splošne smernice sem predpostavila glede na izkušnje, ki so se izkazale za dobre v državah, ki sem jih primerjala, in izkušnje, ki jih imam v Sloveniji z načrtovanjem in delovanjem RČN. Splošna poraba vode na prebivalca je rezultat meritev. Zahtevano predčiščenje pri RČN je nujno, saj v nasprotnem primeru prihajao do mašenja sistema. Predpis o 2 m² za 5 PE se je v tujini, natančneje na Danskem, izkazal kot učinkovit, zato sem ga predpostavila tudi v slovenskih smernicah. Vodotesnost grede je pogoj za pravilno delovanje RČN, tudi pri samem dimenzioniranju upoštevamo, da je izguba vode zaradi pronicanja vode v tla onemogočena. Predpostavljno zasajanje in gostota zasaditve je učinkovit rezultat izkušenj v Sloveniji in tujini. Navadni trst (*Phragmites australis*) na slovenskem območju uspeva, ravno tako togi šaš (*Catex elata*) in rogoz (*Typha latifolia*). Ker imamo zakonsko določene mejne vrednosti koncentracij onesnaževal v okolju, je predpostavljena učinkovitost čiščenja BPK₅ in KPK v navedenih procentih nujna. Namreč, mejne vrednost za komunalno odpadno vodo za KPK so 120 mg/l, BPK₅ znaša mejna vrednost 25 mg/l in dovoljena koncentracija totalnega fosforja v komunalni odpadni vodi pri izpustu v vodotoke je 2 mg/l. Pri samem dimenzioniranju se je razmerje dolžine proti širini 1:2 izkazalo kot uspešno. Sevede je potrebno pri vsakem sistemu prilagoditi dimenzije grede, vendar splošen predpis naj velja 1:2. Nasip v višini 20 cm, katerega namen je, da zadržuje vdor vode in sedimenta v sistem iz okolice in omogoča odstanjevanje in čiščenje neustreznih rastlinskih vrst. Naklon dna grede v novejših smernicah po državah ni predpisan, saj gre za podatek, ki nima vpliva na samo delovanje sistema. Ne glede na naklon dna grede je gladinska pretočna krivulja skozi sistem vodoravna in očiščena voda odteka skozi sistem. Spremija se zgolj višina gladinske krivulje. V kolikor želimo, da je delovanje RČN optimalno, je vzdrževanje sistema nujo. Sicer sistem kot tak ne potrebuje posebnega in pogostega vzdrževanja, vendar, kot navajam v splošnih smernicah, je le-ta potreben vsaj enkrat na teden. Košnja trsta je priporočena 1X krat letno, vendar ni nujna. Višina rezi naj bo 15 cm nad tlemi zaradi neovirane nadaljne rasti rastlin in posledično učinkovitega čiščenja odpadne vode v RČN.

7.2 Smernice za sisteme s horizontalnim tokom vode

- Površina sistema s horizontalnim pretokom vode naj bo predpisana od 3 do 5 m²/PE.
- Minimalna površina sistema je 20 m².
- Debelina medija horizontalnega sistema naj znaša najmanj 0,7 m.
- Zgornja plast peska naj bo debeline najmanj 10 cm z debelino finega peska od 1 do 2 mm. Nato sledi plast gramoza od 8 do 16 mm, ki mora segati v globino najmanj 30 cm. Zadnja plast grušča dimenzij od 25 do 50 mm pa mora segati 15 cm v globino.
- Sistem naj bo zasajen z navadnim trstom (*Phragmites australis*) ali rogozom (*Typha latifolia*).

Predpostavljena površina pri sistemih s horizontalnim tokom vode je rezultat učinkovitega delovanja dosedanjih sistemov v tujini. Pri predpostavljenem cilju učinkovitosti sistema je pri dani površini od 3 do 5 m²/PE mogoč. Povprečna površina dosedanjih sistemov z horizontalnim tokom vode znaša 2,3 m²/PE. Učinkovitost čiščenja pa ni zadovljiva pri N_{tot} in P_{tot} . Zato sem površino glede na PE predpostavila večjo kot jo praska načrtovanja sistemov v Sloveniji. Prav tako velja za globino sistema. Čistilna greda je sestavljena iz treh plasti. V tujini, natančneje v Italiji, se je ta sestava grede pokazala za učinkovito. Predpostavila sem jo tudi v Sloveniji.

7.3 Smernice za sisteme z vertikalnim tokom vode

- Sistem z vertikalnim pretokom vode naj bo od 2 do 3 m²/PE.
- Minimalna površina sistema je 15 m².
- Glavni sloj je iz finega drobenga peska in peska dimenzije $d_{10} > 0,2$ in faktorja $U = d_{60}/d_{10}$ znaša < 5 .
- Globina vertikalnega sistema naj bo od 0,9 do 1 m.
- Sisteme najpogosteje zasajmo z navadni trstom (*Phragmites australis*), togim šašom (*Catex elata*) in rogozom (*Typha latifolia*).

RČN z vertikalnim tokom vode se v Sloveniji ne gradijo pogosto. Površino glede na PE sem predpostavila od 2 do 3 m²/PE. Po sedanjih izkušnjah se je ta v tujini izkazala kot uspešna. Površino glede na PE sem predpostavila od 2 do 3 m²/PE. Po sedanjih izkušnjah se je ta v tujini izkazala kot uspešna. Globina grede sistemov z vertikalnim tokom vode je večja kot pri sistemih s horizontalnim tokom vode. Predpostavila sem jo od 0,9 do 1 m, ker je praksa v tujini to globino pokazalo kot učinkovito.

8 SKLEPI IN UGOTOVITVE

Na podlagi primerjav RČN med državami Danska, Avstrija, Italija in Slovenija je razvidno, da imajo najbolj dodelane RČN na Danskem. Smernice na Danskem so najstrožje izmed vseh ostalih držav. Predpis učinkovitosti čiščenja glede na onesnaženo odpadno vodo, predvsem onesnaževano s fosforjem, znaša očiščenje do 90 %. Da bi dosegali željene rezultate, so po raziskavah pričeli dodajati nadzorovane količine aluminijevega poliklorida. Testi, katere so opravili, kažejo pozitivne rezultate. Predpisi glede postavitev in dimenzij drenažnega sistema so prav tako natančno določeni. Doziranje pri sistemih z vertikalnim tokom vode znaša od 16 do 24 pulzov na dan. Razvite imajo predvsem sisteme z vertikalnim tokom vode, saj jim geološka sestava tal to omogoča. Analiza, opravljena glede na podatke sistemov na Danskem, tudi kaže na dovršenost sistemov. Predvsem pri sestavi čistilnih gred imajo natančno predpisane smernice, katere tudi vidno upoštevajo.

Avstrija ima otežen razvoj RČN. Glavni vzrok je nespreejemanje teh sistemov med avstrijsko populacijo. Največ imajo sistemov z vertikalnim tokom vode, za katere imajo tudi predpisane smernice. Sistemi s horizontalnim tokom vode niso razviti in tudi smernice niso predpostavljene. RČN, ki so postavljene v Avstriji, dosegajo po ugotovitvah in primerjavah zadovoljivo in v skladu s smernicami učinkovito čiščenje. Čistilne grede imajo sestavljene podobno kot Danci, torej iz točno določenih dimenzij plasti.

Italija se spopada s spremenljivim vremenom, to pomeni, da imajo vroča poletja in hladne zime. Smernice, ki so zapisane, so novejšje. Posodobljene so bile v letošnjem letu 2012. Poudarek imajo na horizontalnih sistemih, katere imajo tudi bolj razvite. Čiščenje imajo učinkovito. Čistilna greda je sestavljena iz mešanih frakcij in materialov.

Slovenske RČN so najbolj podobne italijanskim. Namreč, glede površine, zadrževalnih časov, čistilne grede in pri doseganju učinkovitosti smo v naši državi najbližje Italiji. Čistilno gredo imamo sestavljeno iz mešanih materialov ter frakcij. Menim, da je izbira mešanega substrata (medija) boljša, saj ima vsak material svoje specifične lastnosti in s tem boljši privzem snovi iz odpadne vode. To pripomore k učinkovitejšemu čiščenju odpadne vode. Več vrst materiala in s tem dobra mešanica substrata (medija) je boljša izbira kot homogen substrat(medij).

Odstopanja imamo pri dveh parametrih. To je hidravlična obremenitev in globina grede. Italijani so z vodo potrošno ljudstvo, saj imajo predpis v smernicah o porabi vode do 200

l/dan. Sisteme imajo sicer načrtovane na 180 l/dan, kar je še vedno visoka vrednost. V povprečju ostale tri države porabimo le 150 l/dan ali celo manj.

Osnutek smernic je predpostavljen glede na izkušnje iz Slovenije v primerjavi z RČN v Italiji, Avstriji in na Danskem. Ugotovila sem, da v Sloveniji povprečno porabimo 150 l/dan in da imamo pri samem dimenzioniranju RČN predpostavljeno predčiščenje. To je nujno, če želimo dosegati rezultate primerljive s smernicami po Evropi. Sistem naj bi bil vodotesen zato, da ne prihaja do vdora odpadne vode do podtalnice. S tem bi bila podtalnica oporečna in nepriporočljiva za pitje. V sisteme zasajamo v veliki meri navadni trst (*Phragmites australis*), glede na tip sistema imamo še dve različni vrsti rastlin rogoz (*Typha latifolia*) in togi šaš (*Catex elata*). Priporočljiva zasaditev bi bila od 3 do 5 sadik/m². Naklona dna grede nisem predpostavila, saj nima vpliva na delovanje sistema in odtokanje očiščene vode skozi sistem. BPK₅, KPK, Ptot in Ntot so kazatelji čiščenja. Te parametre sem glede na izkušnje v ostalih državah prepostavila za željeno očiščenje odpadne vode. Predpostavila sem odstranitev organskih snovi BPK₅ od 90 % do 95 %, KPK do 85 %, Ntot najmanj 70 % in Ptot do 90 %. Načrtovana dimenzija grede naj bo širina proti dolžini v razmerju 1:2, kot so v splošnem v ostalih državah.

Smernice za sisteme s horizontalnim tokom vode se razlikujejo od sistemov z vertikalnim tokom vode po površini glede na PE, globini sistema, sestavi čistilne grede in zasajevanja.

Pri sistemih s horizontalnim tokom vode je površina predpostavljena od 3 do 5 m²/PE, Debelina medija naj znaša najmanj 0,7 m. Zgornja plast peska naj bo debeline najmanj 10 cm z debelino peska od 1 do 2 mm. Nato sledi plast gramoza od 8 do 16 mm, ki mora segati v globino najmanj 30 cm. Zadnja plast grušča dimenzij od 25 do 50 mm pa mora segati 15 cm v globino. Sistem naj bo zasajen z navadnim trstom (*Phragmites australis*) ali rogozom (*Typha latifolia*). 0,2 m visok nasip na robu sistema služi kot prepreka za vdor vode iz okolice in zato sem ga tudi dodala k smernicam.

Pri sistemih z vertikalnim tokom vode sem predpostavila površino glede na PE od 2 do 3 m²/PE. Globina vertikalnega sistema naj bo od 0,9 do 1 m. Sisteme najpogosteje zasajamo z navadnim trstom (*Phragmites australis*) in togim šašom (*Catex elata*), tako sem tudi predpostavila v smernicah. 0,2 m visok nasip na robu sistema služi kot prepreka za vdor vode iz okolice. Čistilna greda bi lahko bila v plasteh, saj to omogoča učinkovitejše doseganje

rezultatov očiščene vode. Ker gradnja RČN ne predstavlja obsežnega gradbenega posega v okolje in skrbi za neokrnjen videz naravnega okolja, so RČN sistemi predlagani kot alternativna rešitev za čiščenje odpadne vode na postojankah v Triglavskem narodnem parku. Edina omejitev, ki zavira gradnjo RČN v Triglavskem narodnem parku je velikokrat premajhna razpoložljiva površina.

V svoji diplomski nalogi sem primerjala zgolj sisteme s horizontalnim in sisteme z vertikalnim tokom vode. Hibridni sistemi, ki so dandanes vedno pogostejše v uporabi, pa zaradi kombiniranih sistemov dosegajo željene rezultate čiščenja in ne odstopajo od smernic predpisanih v posamezni državi. Razprave potekajo glede na zaporedje sistemov pri hibridnih sistemih. To pomeni, ali naj bo sistem s horizontalnim tokom vode pred sistemom z vertikalnim tokom vode ali obratno. Menim, da bi dosegali boljše rezultate čiščenja takrat, ko je sistem s horizontalnim tokom vode pred sistemom z vertikalnim tokom vode. Sistem s horizontalnim tokom vode ima večja anaerobna območja, zato ima pospešeno denitrifikacijo in oslABLJENO nitrifikacijo. Nitrifikacija poteka tudi v sistemih s horizontalnim tokom vode, vendar ni popolna. Sistemi z vertikalnim tokom vode imajo zaradi intervalnega polnjenja sistema večji vnos kisika v sistem in s tem posledično boljše nitrifikacijo, katera se vrši pri aerobnih pogojih. Menim, da bi se nepopolna nitrifikacija v sistemih s horizontalnim tokom vode podaljšala in izpopolnila v sistemih z vertikalnim tokom vode. Tako bi pripomogla k učinkovitejšemu čiščenju odpadne vode. Hibridni sistemi so pokazatelj, da se RČN pospešeno razvijajo in dosegajo učinkovite rezultate ne glede na to, da gre za naravne procese in izgled.

VIRI

Bendoricchio, G. 2000. Guidelines for free water surface wetlands design. *EcoSys* 8: str. 51–91.

<http://pixelrauschen.de/wet/design.pdf> (Pridobljeno 28. 03. 2012.)

Brix, H., Arias, A. C. 2008. Low cost treatment of waste water. Aarhus, Aarhus University, Department of Biological Sciences, Ole Works Alle: 378 str.

Brix, H., Arias, A. 2005. Danish guidelines for small-scale constructed wetland systems for onsite treatment of domestic sewage. Aarhus, University of Aarhus, Department of Biological Sciences, , *Water Science & Technology* 51, 1-2: 1–9.

Brix, H., Arias, C. A. 2005. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. Aarhus, *Ecological Engineering* 25,1: 491–500.

Brix, H., Arias, C. A. 2005. Wastewater treatment in Filter Beds Result from the pilot plant DK1 at Marke, Aarhus, Aarhus University, Department of Biological Sciences, Ole Works Alle: 28 str.

Brix, H., Arias, C. A. 2005. Wastewater treatment in Filter Beds Result from the pilot plant DK2 at Friland. Aarhus, Aarhus University, Department of Biological Sciences, Ole Works Alle: 31 str.

Brix, H., Arias, C. A. 2001. Media selection for sustainable phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands. Aarhus. University of Aarhus, Department of Biological Sciences, Water Science and Technology 44,1: 47–54.

Bulc, T., Vrhovšek, D., Macarol, D. 2001. Alternativni način reševanja problema odpadnih voda v razpršeni poselitvi na območju Ljubljane. Ljubljana. Projektno poročilo. Limnos d. o. o.

<http://www.ljubljana.si/si/mol/varstvo-okolja/> (Pridobljeno 03. 03. 2012.)

Bulc, T. 1994. Primerjava rastlinskih čistilnih naprav v Sloveniji. Magistersko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo (samozaložba T. Bulc): 137 str.

Capone, D.G., Popa R., Flood, B. 2006. Geochemistry. Follow the nitrogen. Science 321: 708-709.

Cooper, P. F. 1990. European design and operations guidelines for reed bed treatment systems. Cambridge. Conference on Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control: 33 str.

DuPoldt, C. in sod. 1993. A Handbook of Constructed wetlands (Volume 1): A Guide to Creating Wetlands for Agricultural Wastewater, Domestic Wastewater, Coal Mine Drainage and Stormwater in the Mid-Atlantic Region. Washington, United States Environmental Protection Agency: str. 1 - 153.

<http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/hand.pdf> (Pridobljeno 10. 03. 2012.)

EPA. 2000. Guiding principles for constructed treatment wetlands: Providing for Water Quality and Wildlife Habitat. Washington. Office of wetlands, oceans and Watersheds. 843-B-00-003: str. 1 - 41

<http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/constructed.pdf> (Pridobljeno, 31.09.2012.)

Erhartić, B. 2004. Presoja uporabnosti rastlinskih čistilnih naprav pri planinskih postojankah Triglavskega narodnega parka. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za geografijo (samozaložba B. Erhartić): 134 str.

Griessler Bulc, T., Vrhovšek, D. 2007. Rastlinske čistilne naprave za čiščenje odpadnih voda. Konferenca Katedre za biotehnologijo, Ljubljana. Limnos d.o.o.

www.limnos.si/rastlinske_cistilne_naprave (Pridobljeno 18. 04. 2012.)

Haberl, R., Perfler, R. 1984. Seven years of research work and experience with wastewater treatment by a reed bed system. Wien, Universität für Bodenkultur, Institute für Wasserversorge, Amtes der o.o: 67 str.

Haberl, R., Perfler, R. 1992. Pilotanlagen abwasserreinigung mit Pflazen. Wien, Universität für Bodenkultur, Institute für Wasserversorge, Amtes der o.o: 53 str.

Haberl, R., Perfler, R. 1992. Pilotanlagen Abwasserreinigung mit Pflazen. Wien, Universität für Bodenkultur, Institute für Wasserversorge, Amtes der o.o: 69 str.

Haberl, R., Perfler, R. 1993. Pilotanlagen abwasserreinigung mit Pflazen. Wien, Universität für Bodenkultur, Institute für Wasserversorge, Amtes der o.o: 87 str.

Haberl, R., Perfler, R. 1993. Pilotanlagen abwasserreinigung mit Pflazen. Wien, Universität für Bodenkultur, Institute für Wasservorsorge, Amtes der o.o. 88 Str.

Hoffman, H., Winker, M. 2011. Technology review of counstructed wetlands. Subsurface flow constructed wetlands for graywater and domestic wastewater treatment. Germany Eschbor, Deutshe Gesellschaft fur GIZ, Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5: str. 1-35.

<http://www2.gtz.de/dokumente/bib-2011/giz2011-0474en-wetlands-greywater-wastewater.pdf>

(Pridobljeno 09. 09. 2012.)

Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J. 2000. Constructed wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation. London, IWA publishing: 156 str.

Kadlec H. Rober, Wallace D. 2009. Treatment wetlands second edition. Broken Sound Parkway NW, U.S. Governmet works, CRC PressTaylor and Francis Group: 1015 str.

Kavkler, L. 2002. Fizikalni in kemijski parametri kot merilo učinkovitosti rastlinskih čistilnih naprav. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubjani, Biotehniška fakulteta (samozaložba L. Kabkler): 102 str.

Kompare, B., Atanasova, N., Uršič, M. 2007. Male čistilne naprave na območju razpršene poselitve FGG. Ljubljana, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, ICRO – Inštitut za celostni razvoj in okolje: 58 str.

Kompare, B., Rismal, M. 1995-2006. Čiščenje pitne vode. Skripta v delu. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 190 str.

Langergraber, G., Leroch, L., Pressl, A. 2009. High - rate nitrogen removal in a two-stage subsurface vertical flow constructed wetland. Vienna, Universtiy of Natural Resources and Applied Life Esience, Institute of Sanitary Engineering and Water Pollution Control, BOKU 247: 56–69.

Lapuh, M. 1994. Rastlinska čistilna naprava za čiščernje odpadnih voda. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (samozaložba M. Lapuh): 46 str.

Masi, F., Bendoricchio, G., Conte, G. 2007. Constructed wetlands for wastewater treatment in Italy: State-of-the art and obtained results. Italy, Padova. University od Padua: str. 1 - 58.

http://www.iredra.it/pubblicazioni/Masi_WaterPollution_ORAL.pdf

(Pridobljeno 20. 05. 2012.)

Matamros, V., Arias, C., Birx, H. 2009. Preliminary screening of small-scale domestic wastewater treatment system for removal of pharmaceutical and presonal care products. London, IWA 43: 55–62.

Matichenkov, V., Calvert D., Snyder, G. 2000. Reduction in nutrient Leaching from sandy soils by Si-rich materials. 7th International. Washington. Conferenc on Wetland Systems for Water Pollution Control 55,1: 585–594.

Mechora Š. 2009. Okoljska ocena in makrofiti vodotokov Bloščice in Cerknishčice. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo (samozaložba Š. Mechora): 64 str.

Müllegger E., Langergraber G., Lechner M. 2012. Treatment wetlands. Vienna, EcoSan Club
Schopenhauerstr. 15,8: str. 1 - 40.

http://www.ecosan.at/ssp/issue-12-treatment-wetlands/SSP-12_Jul2012.pdf

(Pridobljeno 27. 07. 2012.)

ÖNORM B2505:2009. Klaranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter
(Pflanzenklaranlagen).

Pucci, B., Masi, F., Conte, G. 2005. Linee guida per la progettazione gestione dizone umide
artificiali per la depurazione der reflucivili. Roma, Susanna Cavalieri Patrizia Medea
Veronica Pistolozzi Angela Podda ARPAT: 88 str.

Salvati, S., Bianco, A., Bardasi, G. 2012. Guida Tecnica per la progettazione e gestione dei
sistemi di fitodepurazione per il trettamento delle acque reflue urbane. Roma, Istituto
Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale: 173 str.

Stamp, N. 2003. Out of the quagmire of plant defense hypotheses. The Quarterly Review of
Biology 78, 1: 23–55.

Šajn Slak, A. 2003. Terciarno čiščenje odpadnih voda v grajenem močvirju s podpovršinskim
tokom v zadrževalniku. Doktorska disertacija. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška
fakulteta, Oddelek za biologijo (samozaložba A. Šajn Slak): 145 str.

Tanner C.C. 2001. Plants as ecosystem engineers in subsurface –flow treatment wetlands
Water Science and Technology, 44, 11: 9–11.

Urbanč – Berčič, O. 1991. Vodne rastline in čiščenje onesnaženih voda. Življenje in tehnika
42, 35–39.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih istilnih naprav. Uradni List RS št. 98/07: 13265-13270.

Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav. Uradni List RS št. 30/10: 4061-4064.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih istilnih naprav. Uradni List RS št. 45/07: 6170-6181.

Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav. Uradni List RS št. 105/10: 16396-16399.

Vidmar U. 2009. Primerjava vertikalnih in horizontalnih sistemov rastlinskih čistilnih naprav. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba U. Vidmar): 87 str.

Vrhovšek, D., Vovk Korže, A. 2007. Ekoremediacije. Maribor, Ljubljana. Maribor, Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Mednarodni center za ekoremediacije, Limnos d. o. o.: 128 str.

Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F. 1998. Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe. Leiden, Backhuys Publishers: 366 str.

Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F. 1998. Removal Mechanisms and types of constructed wetlands. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe. The 12th World Lake conference: str. 17–66.

<http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/wlc12/h-%20constructed%20wetlands/h-1.pdf>

(Pridobljeno, 10. 10. 2012)

