

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**MOŽNOST UPORABE PLAVAJOČIH RASTLINSKIH ČISTILNIH OTOKOV
ZA ZMANJŠEVANJE EVTROFNOSTI STOJEČIH VODA**

**THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF FLOATING TREATMENT WETLANDS
FOR THE REDUCTION OF EUTROPHIC CONDITIONS IN STANDING WATERS**

LUKA KRSTIČ

VELENJE, 2013

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**MOŽNOST UPORABE PLAVAJOČIH RASTLINSKIH ČISTILNIH OTOKOV
ZA ZMANJŠEVANJE EVTROFNOSTI STOJEČIH VODA**

**THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF FLOATING TREATMENT WETLANDS
FOR THE REDUCTION OF EUTROPHIC CONDITIONS IN STANDING WATERS**

LUKA KRSTIČ

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: doc. dr. Maja Zupančič Justin

VELENJE, 2013

Priloga 2: Sklep o diplomskem delu



Številka: 726-31/2011-2

Datum in kraj: 25. 10. 2011, Velenje

Na podlagi Diplomskega reda

izdajam

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentu-ki VŠVO

Luku Krstiču

se dovoljuje izdelati diplomsko delo pri predmetu: Uvod v okoljske tehnologije

Mentor-ica: doc. dr. Maja Zupančič Justin

Somentor-ica: _____/_____

Naslov diplomskega dela v slovenskem jeziku: Možnost uporabe plavajočih rastlinskih otokov za zmanjševanje evtrofnosti stoječih voda

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku: The possibility of application of floating treatment wetlands for the reduction of eutrophic conditions in standing waters

Diplomsko delo je potrebno izdelati skladno z Navodili za izdelavo diplomskega dela.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na Senat v roku 3 delovnih dni.



Dekanica
doc. dr. Natalija Špeh

Mentorstvo in izjava o avtorstvu:

Spodaj podpisani Luka Krstič, študent Visoške šole za varstvo okolja v Velenju, sem avtor diplomskega dela z naslovom: Možnost uporabe plavajočih rastlinskih čistilnih otokov za zmanjševanje evτροφnosti stojećih voda. Diplomsko delo je nastalo pod mentorstvom doc. dr. Maje Zupančič Justin.

S podpisom zagotavljam:

- da je diplomsko delo rezultat mojega samostojnega dela ob pomoči in usmeritvah mentorice;
- da so vsa dela tujih avtorjev ustrezno citirana in navedena v seznamu virov, po navodilih diplomskega reda fakultete (maj 2012);
- da je diplomsko delo lektorirano in ustrezno urejeno skladno z navodili diplomskega reda fakultete (maj 2012).

V Velenju, dne 28. 2. 2013

Luka Krstič

IZVLEČEK

V stojećih vodnih telesih se pogosto srečujemo z evτροφnostjo. To pomeni, da so v vodi povečane vsebnosti rastlinskih hranil, kar vodi v niz neželenih pojavov v vodnem telesu. Vzrok za nastanek omenjenega pojava so v veliki meri odpadne vode iz kanalizacije in gnojenih kmetijskih površin v naravno okolje, ki prispevajo velike količine dušikovih in fosforjevih spojin. Kljub čiščenju odpadnih voda in zmanjšanju vnosa s kmetijskih površin se ni možno vedno popolnoma izogniti tovrstnemu problemu. K zadrževanju in odlaganju hranil v stojećem vodnem telesu namreč prispevajo tudi drugi okoljski vplivi, kot so atmosferski depoziti ter stanje vodnega telesa (pretočnost, globina in količina vode itd.). Kot način odvzema presežka hranil in razgradnje raztopljenih organskih snovi v vodi se v svetu pogosto pojavljajo plavajoča čistilna mokrišča (ang. *floating treatment wetlands*), ki smo jih v tej nalogi poimenovali rastlinski čistilni otoki (RČO). V tujini so pogosta praksa, medtem ko so v Sloveniji še neraziskani. Namen diplomske naloge je bil preveriti hipotezo, ali je možno z uporabo RČO zmanjšati evτροφnost stojećih voda. V nalogi smo opravili pregled tuje literature s tega področja. Predstavljen je pregled raziskav in praktičnih izvedb RČO v tujini s ciljem postavitve okvirjev možnosti prenosa tovrstne tehnologije v slovenski prostor. V ta namen je bil v nadaljevanju opredeljen pregled rastlinskih vrst, ki so primerne za umeščanje v RČO v naših klimatskih razmerah, vpliv na že obstoječe vrste v vodnem okolju ter pregled nosilnih materialov RČO, ki bi bili primerni za uporabo z vidika trajnosti, možnosti recikliranja ter cene in razpoložljivosti na trgu. Med rastlinskimi vrstami smo izpostavili tri domače vrste, ki so primerne za umestitev v RČO, in eno tujo vrsto. Opazno je, da imajo RČO pozitiven vpliv na obstoječe živalske vrste. Zagotavljajo dodaten življenjski prostor. Kot najustreznejši nosilni materiali so se izkazale blazine iz polivinila, kovinske konstrukcije z mrežo in lesene konstrukcije s polistirenom in mrežo.

KLJUČNE BESEDE: plavajoči rastlinski čistilni otoki, evτροφikacija, obremenjevanje voda, rastlinske hranilne snovi, stoječe vode, rastlinski čistilni sistemi, ekosistem, fitoremediacija, ekotehnologije, plavajoča nosilna mreža, navadni trst, vetiver.

ABSTRACT

We frequently meet with eutrophy in standing water bodies. It means that the contents of plant nutrients are increased, which leads into series of unwanted phenomena in the water body. The cause for the mentioned phenomena are to a great extent wastewaters from sewage and fertilized agricultural land in the natural environment, which contribute to large amounts of nitrogen and phosphorus compounds. Despite cleaning of wastewaters and reduction of the input from farmland, it is not always possible to avoid this problem completely. The accumulation and disposal of nutrients in the standing water body are also contributed by other environmental factors, such as atmosphere deposits and the condition of the water body (flow, depth, and amount of water etc.). As a way of removal of a surplus of nutrients and decomposition of dissolved organic substances in water, floating treatment wetlands (FTW) frequently appear in the world, which we have named plant cleaning islands in the thesis. They are a frequent practice abroad; however, they have not been researched in Slovenia yet. The purpose of the diploma thesis has been to test a hypothesis if it is possible to lower the eutrophy of the standing water bodies with usage of FTW. We have done a research of foreign literature in this field. There has been done a review of the researches and practical executions of floating treatment wetlands abroad with the goal to state the frames of possibilities to transfer such technologies into the Slovenian area. A review of botanical species has been also done which are appropriate for growing in FTW in our climate conditions, the influence on already present species in the water environment, and a review of supporting materials of FTW which would be appropriate for using from the point of durability, possibility of recycling, price, and availability on the market. We have exposed three domestic plant species, which are appropriate for placing into FTW, and one foreign one. It is noticeable that FTW have a positive influence on existing animal species. They assure additional space for living. The most appropriate supporting materials were proven to be: polyvinyl pillows, metal constructions with nets, and wooden constructions with polystyrene and net.

KEY WORDS: floating treatment wetlands, eutrophication, water pollution, plant nutrients, standing waters, plant treatment systems, ecosystem, phytoremediation, eco-technology, floating supporting net, common reed, vetiver.

Kazalo

1 UVOD	1
1.1 Opis problema	1
1.2 Namen in cilji naloge	1
1.3 Delovna hipoteza	1
1.4 Materiali in metode	2
2 Stoječe vode	3
2.1 Obremenitve stoječih voda	3
2.2 Pojav evτροφikacije	4
2.2.1 Glavna dejavnika evτροφikacije	4
2.3 Namen plavajočih rastlinskih otokov	5
3 Plavajoči rastlinski čistilni otoki	6
3.1 Poimenovanje različnih plavajočih rastlinskih struktur	6
3.2 Določitev slovenskega izraza za plavajoče rastlinske otoke	7
4 Druge oblike plavajočih rastlinskih otokov	8
4.1 Splošne značilnosti naravnih plavajočih rastlinskih otokov	8
4.2 Prvi zapisi o plavajočih mokriščih	8
4.3 Človek v sobivanju s plavajočimi rastlinskimi otoki	9
5 Kriteriji, ki jih je potrebno upoštevati pri oblikovanju rastlinskih čistilnih otokov	11
6 Predstavitev različnih izvedb RČO	12
6.1 Primeri RČO	13
7 Mehanizmi zmanjševanja obremenitev voda s pomočjo RČO	15
7.1 Vloga mikroorganizmov pri zmanjševanju obremenitev	15
7.1.1 Biološka prerast ali biofilm	15
7.2 Vloga rastlin pri zmanjševanju obremenitev	16
8 Kriteriji za izbiro ustreznih rastlin v RČO	17
8.1 Najpogostejše rastlinske vrste, ki se uporabljajo v RČO	17
8.2 Ugotavljanje primernosti rastlin	28
8.3 Razpoložljivost rastlin na trgu	31
9 Način sajenja in uspevanje rastlin v RČO	32

9.1 Zagotavljanje zadostnih koncentracij kisika in hranil za doseganje uspešne razrasti rastlin v RČO	33
9.2 Način začetne vzpostavitve rasti rastline v nosilnem mediju.....	33
9.3 Metode sajenja.....	35
9.4 Čas sajenja	36
9.5 Zaščita pred škodljivci.....	36
10 Nosilni mediji RČO	37
11 Kaj je potrebno upoštevati pri načrtovanju RČO.....	42
11.1 Delež pokrite vodne površine.....	42
11.2 Regulacija RČO glede na višino vodne gladine	42
11.3 Vpliv RČO na vodni tok	42
11.4 Privez RČO	43
11.5 Zahteve za upravljanje.....	44
12 Habitatna vloga RČO in vpliv na neposredno okolje	45
12.1 Živali in RČO	45
Ptice	45
Ribe.....	46
Ostale živali.....	47
12.2 Odnos rastlin na otoku z rastlinami v neposrednem okolju.....	48
13 Razprava	49
13.1 Rastlinske vrste, primerne za uporabo v RČO v Sloveniji	49
13.2 Vpliv postavitve RČO v vodno okolje na obstoječe rastlinske in živalske vrste.....	50
13.3 Primernost izbire materialov za zagotovitev plovnosti RČO z vidika trajnosti in njihove možnosti recikliranja ter cene in razpoložljivosti na trgu.....	50
14 Sklepi	51
15 Povzetek	52
Summary	53
16 Viri	54
Zahvala	58

Kazalo slik

Slika 1: Naravno plavajoče mokrišče na jezeru Fibreno (Italija), (Vir: Panoramio, 2009)	8
Slika 2: Plavajoči otoki na jezeru Titikaka (Peru), (Vir: Gerth, 2010)	9
Slika 3: Pogled iz zraka na plavajočo vas (nekoč) blizu Nasirije (Irak), (Vir: Laputan logic, 2007)	10
Slika 4: Jezero Loktak, Manipur (Indija), (Vir: Manipur Online, 2010)	10
Slika 5: Plavajoči splavi v čistilni napravi na letališču Heathrow (V. Britanija), (Vir: Headley in Tanner 2006)	13
Slika 6: Rastlinska čistilna naprava, ki uporablja RČO in ima več prekatov, (Vir: FII, 2010)	13
Slika 7: Uporaba RČO pri linearnem čiščenju rečne struge (Kitajska), (Vir: Headley in Tanner, 2006) .	14
Slika 8: Razrast navadnega trsta, (Vir: Medmrežje 1)	19
Slika 9: Širokolistni rogoz, (Vir: Medmrežje 2)	20
Slika 10: Jezerski biček na Cerkniskem jezeru, (Vir: Notranjski park).....	21
Slika 11: Meritev šaša pred sajenjem – dolžina 30 cm, (Vir: Duncan, 2009).....	22
Slika 12: Šaš po 15 mesecih rasti v RČO, celotna dolžina 220 cm, (Vir: Duncan, 2009)	22
Slika 13: Koreninski sistem rastline vetiver v nosilnem mediju, (Vir: Medmrežje 4)	23
Slika 14: Razrast papirjevca v umetnem ribniku, (Vir: Medmrežje 5)	24
Slika 15: Vodna perunika v naravnem okolju na brežini jezera, (Vir: Medmrežje 6)	25
Slika 16: Razrast velike sladike v plitvem delu jezera, (Vir: Medmrežje 7).....	26
Slika 17: Pisana čužka, ki raste na brežini potoka, (Vir: Medmrežje 8)	27
Slika 18: Rast rastline (šaš) v nosilnem mediju, ki vsebuje substrat, (Vir: Sierra, 2011)	33
Slika 19: Sajenje sadik direktno v nosilni medij iz poliestra brez substrata, (Vir: Medmrežje 9).....	34
Slika 20: Pionirski RČO podjetja Bestmann Green Systems, (Vir: Headley in Tanner, 2006)	38
Slika 21: Nosilni medij iz polivinila v čistilnem bazenu in njegova prerast s koreninami, (Vir: Headley in Tanner, 2006)	38
Slika 22: RČO, ki uporabljajo bambus kot glavni material za nosilec, (Vir: Headley in Tanner, 2006) ..	39
Slika 23: Primer nosilnega medija iz poliestra (nosilni medij) in polistirena (omogoča plovnost), (Vir: Medmrežje 10)	40

Slika 24: Možni učinki regulacije vodnega toka s pomočjo RČO, (Vir: Headley in Tanner, 2006)	43
Slika 25: RČO, zaščiten pred pticami, (Vir: Land and Water).....	44
Slika 26: Zbiranje rib pred plenilci pod RČO, (Vir: Canadia, 2010)	47
Slika 27: Pestrost obiskovalcev RČO nad gladino in pod njo, (Vir: Green Living Guy, 2011).....	47
Slika 28: Visitorko jezero na višini 1755m s svojim naravnim RČO (Črna gora), (Vir: Panoramio, 2010)	48

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Razvrščanje rastlinskih vrst po njihovih lastnostih in primernosti za umeščanje v RČO.....	29
Preglednica 2: Ugotavljanje primernosti materialov za nosilne medije v RČO.....	41

1 UVOD

1.1 Opis problema

Diplomska naloga obravnava tematiko obremenjenosti stojećih voda in možnosti zmanjševanja že obstojećih obremenitev v vodnem telesu. V stojećih vodah v Sloveniji je pogost pojav evτροφikacije, kar pomeni, da so v vodi povečane koncentracije anorganskih hranil. To se odraža v povečanju primarne produkcije, temu pa sledi znižanje koncentracije kisika v vodi, ki postane nezadostna za preživetje drugih organizmov. Vzrok za nastanek evτροφikacije so v glavni meri odpadne vode iz kanalizacije in gnojnih kmetijskih površin v naravno okolje. Kljub postopnemu zmanjševanju onesnaževanja stojećih voda se ne bo mogoče popolnoma izogniti tovrstnemu problemu. Zato je potrebno preučiti tudi alternativne možnosti, ki so nam na razpolago za čiščenje voda oziroma zmanjševanje že obstojećih obremenitev v vodi. Ena iz med njih je umeščanje plavajočih rastlinskih čistilnih otokov (RČO), ki sem jo v nalogi obdelal.

RČO so običajno plavajoče strukture, zasajene z vlagoljubnimi rastlinami z gostim koreninskim prepletom, ki se ne vraščajo v dno vodnega telesa. Glavni mehanizmi odstranjevanja obremenitev iz vode s pomočjo rastlin v RČO so zadrževanje in razgradnja delcev v razraslem koreninskem sistemu ter privzem rastlinskih hranil v rastlino. V ta namen je potrebno izbrati rastline z ustreznimi lastnostmi, jih umestiti v primerne plavajoče nosilce ter s celotnim sistemom pravilno upravljati za dokončno odstranitev hranil iz sistema.

1.2 Namen in cilji naloge

V svetu so plavajoči rastlinski otoki pogosta praksa, predvsem v območjih z višjimi temperaturami in daljšo vegetacijsko dobo. Pri nas ta pristop še ni uveljavljen, zato je bil moj namen ugotoviti, kakšne so možnosti umeščanja RČO v stojećih vodah v naših klimatskih razmerah. Cilj naloge je bil preučiti, (1) katere rastlinske vrste so primerne za tovrstno aplikacijo, (2) kako bi poseg vplival na že obstojeće rastlinske in živalske vrste v habitatu ter (3) kateri materiali so primerni za zagotovitev plovnosti z vidika trajnosti in njihove možnosti recikliranja ter cene in razpoložljivosti na trgu.

1.3 Delovna hipoteza

Predpostavljam, da lahko za izboljšanje stanja stojećih vodnih teles tudi v naših klimatskih razmerah uporabimo RČO, ki temeljijo na naravnih samočistilnih sposobnostih rastlin in z njimi povezanimi mikroorganizmi.

1.4 Materiali in metode

Pri izdelavi diplomske naloge sem opravil pregled z opisom in predstavitvijo domačih in tujih virov literature, ki se nanašajo na področje evτροφikacije stoječih voda ter načinov zmanjševanja evτροφnosti vode. Večino podatkov sem iskal na svetovnem spletu, ker tovrstnih raziskav, ki se tičejo RČO v Sloveniji, do sedaj ni bilo opravljenih. Diplomsko delo je v zasnovi kabinetno delo, kar pomeni, da sam nisem izvajal eksperimentov, temveč je glavnino mojega dela predstavljalo zbiranje podatkov iz že obstoječe, v večini tuje literature. Terensko delo je predstavljalo le obisk nekaj podjetij, ki se ukvarjajo z vzgojo vodnih rastlin, da sem dobil iz prve roke podatke o možnostih za večja naročila istih vrst, ki so potrebne pri izdelavi plavajočih rastlinskih otokov.

Nekaj več podatkov, ki mogoče niso tako nujni za razumevanje delovanja sistema RČO, se nanaša na plavajoča mokrišča po svetu, njihovo zgodovino in vpliv na človeka (bivanje, prehrana, zdravila, turizem itd.). Za to sem se odločil, ker je bilo moje delo na neki način »pionirsko« in sem želel na ta način s tem približati RČO domači javnosti. Moje raziskovanje v okviru razpoložljive literature je imelo naslednje cilje:

- Primerjava razpoložljivih podatkov o različnih rastlinskih vrstah z vidika rasti rastline, rastnih pogojev, mineralne sestave oz. kapacitete privzema hranil, produkcije biomase itd.
Za avtohtone vrste je bilo na razpolago zadosti domače literature, za tuje vrste pa sem uporabil dostopne podatke na spletu.
Z analizo teh podatkov sem podal nabor najprimernejših rastlinskih vrst za uporabo v naših klimatskih razmerah.
- Z enako metodo sem primerjal in analiziral podatke o nosilnih materialih, ki jih uporabljajo za plavajoče rastlinske otoke v tujini. Iskal sem podatke o materialih, ki jih uporabljajo v podobnih klimatskih razmerah, kot so na območju Slovenije.
- S pomočjo razpoložljivih podatkov o vplivu RČO na že prisotne rastlinske in živalske vrste sem opredelil morebitne posledice v našem okolju. Ugotavljal sem morebitne pozitivne in negativne vplive na rastline in živali.

2 Stojeće vode

Narava je v stoletjih preoblikovanja ustvarila velika območja mokrišč in številna vodna telesa. Mnoga med njimi so ekološkega, regionalnega in nacionalnega pomena. So zbirališča pitne vode, ki je v današnjem času vedno večja dragocenost in redkost.

Vodna telesa vsebujejo različne količine plinov, soli in organskih spojin, ki imajo večjo ali manjšo vlogo za organizme. Plini se izmenjujejo z atmosfero, s pritoki in iztoki ter padavinami. S padavinami tudi vstopajo in izstopajo v vodi raztopljene snovi. Procesi, ki omogočajo preraždeljevanje snovi v vodnem telesu, pa so povezani z letnimi toplotnimi spremembami (kroženje vode), vetrovi in biotskim premeščanjem snovi (Tarman, 1992).

2.1 Obremenitve stojećih voda

Glavni razlog za obremenitev stojećih voda in voda na splošno je v porastu števila prebivalcev in v razvoju raznih industrijskih dejavnosti. Obremenitve, ki jih zaznavamo v stojećih vodnih telesih, so točkovne narave (iztoki neprečiščene kanalizacije, pritoki onesnaženih vodotokov, itd.) in netočkovne narave ali razpršene obremenitve. Slednje predstavljajo vnos obremenitev v vodno telo s padavinskim odtokom z obdelanih in urbanih površin. Odpadne vode gospodinjstev so npr. po sestavi precej drugačne kot industrijske odpadne vode. Prve lahko vsebujejo veliko organskih snovi kot tudi rastlinskih hranil in drugih onesnažil v sledovih. Slednje pa so lahko strupene in vsebujejo več nerazgradljivih snovi. Padavinski odtok z obdelovalnih površin je lahko obremenjen z ostanki fitofarmaceutskih sredstev, gnojil in erodiranega materiala v obliki neraztopljenih delcev. S povečanim onesnaževanjem se je marsikje porušilo naravno ravnovesje in zmanjšala samočistilna sposobnost naravnega okolja.

Glavni viri obremenitev:

- Gospodinjske ali komunalne odpadne vode, pri katerih kanalizacija ni zaključena s čistilno napravo. K njihovi povečani količini pripomore tudi turizem. Obremenitve teh vod so v veliki meri razgradljive organske snovi in v manjši meri težje razgradljivi kompleksnejši ogljikovodiki v obliki ostankov mineralnih olj, itd. Med težje razgradljive snovi, ki jih najdemo v teh vodah, so ostanki pralnih sredstev ter sredstev za osebno higieno, zdravil itd. Pomembni deli predstavljajo tudi anorganske snovi, ki jih uvrščamo med rastlinska hranila, kot so različne spojine dušika in fosforja.
- Industrijske odpadne vode iz različnih tehnoloških postopkov, ki se premalo očiščene spuščajo v okolje. Te vode lahko vsebujejo večji delež neraztopljenih delcev in težje razgradljivih snovi, med katerimi so lahko strupene organske spojine in težke kovine.
- Odpadne vode iz kmetijstva, saj gnojenje obdelovalnih površin prispeva k pomembnemu deležu vnosa rastlinskih hranil, kot sta dušik in fosfor v vode. Uporaba rastlinskih zaščitnih sredstev pa vnos ostankov pesticidov, herbicidov in drugih sredstev v vodna telesa. Nezanemarljiv je tudi delež erozije z obdelovalnih površin, ki prispeva vnos sedimenta, neraztopljenih delcev. Še večji negativni vpliv na vodno

okolje pa lahko povzroča neposreden izpust gnojevke in drugih odpadnih vod iz živinoreje v vodotoke, kar pa je z zakonom prepovedano.

- Padavinski odtok s cestišč in drugih urbanih površin – v meteornih vodah z urbanih površin gre za manjše koncentracije onesnažil, vendar pa lahko prihaja do velikih hidravličnih nihanj in velikih nenadnih volumskih vnosov, ki lahko povzročajo erozijo brežin in nalaganje sedimenta na dnu vodnih teles. V zimskih obdobjih je nezanemarljivo tudi izpiranje soli, ki jo človek v zimskih mesecih uporablja. Ta se spira v vodno telo in ruši kemično sestavo v njem.
- Drugi točkovni viri obremenitev, kot so odlagališča odpadkov, nezaščiteni skladišča industrijskih objektov, nepravilno urejena gnojišča v živinoreji itd.
- Atmosferski depozit onesnaženega ozračja.

2.2 Pojav evτροφikacije

Oznaka evτροφikacija vodnega telesa pomeni, da se v vodnem okolju poveča količina hranil, ki povečujejo primarno produkcijo. Pri povečani primarni produkciji se količina alg in ostalih vodnih rastlin enormno poveča. Povečana količina biomase privede do pomanjkanja hranil. Posledično začno primarni producenti odmirati in s tem porabljajo kisik. Tako pretirana zarast z vodnimi rastlinami privede do porušitve kisikove bilance. V takem primeru, ko je mase preveč, se pojavijo anaerobni pogoji, ki posledično vplivajo na izumrtje rib in višjih živali v vodnem ekosistemu (Tarman, 1992).

Evτροφikacijo povzročajo snovi, ki pospešuje proces primarne produkcije (fotosinteze) v vodnem okolju. Glavna dejavnika sta fosfor in dušik. Evτροφikacija poteka v vseh vodnih telesih, v slanih in sladkih ter tekočih in stoječih vodah. Poleg hranil sta pomembna dejavnika evτροφikacije tudi svetloba in temperatura (Tarman, 1992).

Poznamo antropogeno in naravno evτροφikacijo. Pri antropogeni evτροφikaciji so vzroki v prekomernem onesnaževanju voda, ki ga povzroča človek. Naravni evτροφikaciji pravimo tudi ekološka sukcesija, saj se pojavi zaradi spreminjanja življenjskih združb. Vzroki za naravno sukcesijo so lahko različni. Vzroka sta lahko v spremembi klimatskih pogojev ali spremembi samih organizmov. V nasprotju z naravno evτροφikacijo umetna poteka zelo hitro in se danes zelo pogosto pojavlja predvsem v celinskih stoječih vodah (Tarman, 1992).

2.2.1 Glavna dejavnika evτροφikacije

Fosfor

Fosfor je ena izmed najpomembnejših snovi, ki jih organizmi potrebujejo za življenje. Raztopljen fosfor je v organski in anorganski obliki. Partikularni pa je vezan v mikrobih, algah in drugih rastlinah in živalih. Večina fosforja v vodo prihaja zaradi človeka, ki ga vnaša z mineralnimi gnojili, organskimi odplakami, pralnimi sredstvi ter industrijskimi odplakami. Z večjo količino fosforja se v vodi poveča primarna produkcija alg, nato pa njihovo razkranje

povzroča sekundarno onesnaženje. Količina fosforja je odvisna od sezonskih termičnih sprememb in primarne produkcije (Tarman, 1992).

Dušik

Dušik je en izmed najpomembnejših elementov organizmov. V vodnem okolju predstavlja poleg fosforja glavno hranilo (rastlinsko hranilno snov), ki vpliva na primarno produkcijo. Najdemo ga v obliki: molekularnega dušika, amonijaka, amonijeve soli, v katerih je dušik v obliki amonijevega iona, nitrita, nitrata in v številnih organskih spojinah (amini, proteini). Pri primarni produkciji se porablja dušik v obliki nitratov. Rastline ga vgrajujejo v lastne beljakovine. Vrednosti v vodi običajno ne presegajo 0,5 mg/l. Višje koncentracije se pojavijo zaradi izpiranja iz kmetijskih površin ter iztokov industrijskih in komunalnih odpadnih voda. Takrat se vrednosti povišajo na 25 mg/l in lahko v ekstremih dosežejo tudi 900 mg/l. V stojećih vodah koncentracija 1 mg/l stimulira rast alg in s tem posledično pojav evτροφikacije (Tarman, 1992).

2.3 Namen plavajočih rastlinskih otokov

Namen uporabe plavajočih rastlinskih otokov pri zmanjševanju obremenitev stojećih vodnih teles je predvsem odstranitev odvečnih hranilnih snovi iz vode (N in P). Kljub temu da imajo rastline zmožnost privzema kovin in drugih onesnaževal, je naš prvotni namen odstranitev hranilnih snovi, ki so glavni povzročitelj evτροφikacije.

3 Plavajoči rastlinski čistilni otoki

3.1 Poimenovanje različnih plavajočih rastlinskih struktur

V svetu najdemo več poimenovanj za različne rastlinske strukture, ki plavajo na vodi. Gre za naravne strukture kot tudi umetno grajene sisteme z različnim namenom. Praktično so vsi večji naravni rastlinski otoki oziroma plavajoča mokrišča po svetu dobila drugačno ime, ki je običajno lokalnega porekla. Tudi danes, ob sorazmerno novi vlogi v funkciji zmanjšanja obremenitev v vodi, grajeni plavajoči rastlinski otoki nimajo enotnega poimenovanja. V nadaljevanju so predstavljena nekatera poimenovanja, ki se uporabljajo (Headley in Tanner, 2006):

Naravni sistemi:

- »Floating island«: plavajoči otok je splošen izraz za katero koli plavajočo strukturo, običajno sestavljeno iz šote in druge vodne vegetacije. Ni nujno, da prevladujejo močvirske rastline.
- »Floating marsh«: tehnični izraz za naravno plavajoče mokrišče (S Amerika).
- »Floating typha mats: plavajoče mokrišče, kjer prevladuje rastlinska vrsta rogoz (Kanada).
- »Plav«: obsežne plavajoče preproge, kjer prevladujejo travniške vrste (večinoma *Phragmites australis*), ki zajema približno 100.000 ha delte na reki Donavi v Romuniji.
- »Embalsados«: v dobesednem prevodu so to plavajoča tla. Tvori jih pretežno šota (Argentina).
- »Floating peat«: plavajoča šota je izraz, ki se uporablja predvsem na Nizozemskem, kadar se na poplavljenem območju odtrga šotni mah in pluje po gladini.

Grajeni sistemi:

- »Floating Vegetation Mat«: v prevodu plavajoča vegetacijska preproga, ki jo v Kanadi uporabljajo predvsem za čiščenje drenaž rudnikov (Smith in Kalin 2000).
- »Floating reedbeds rafts«: v prevodu plavajoči splavi iz trstičja. Tako na območju Velike Britanije imenujejo grajene plavajoče strukture (SUDS, 2008)
- »Floating meadows«: v prevodu plavajoči travniki, kot jih imenujejo na Madžarskem (Headley in Tanner, 2006).
- »Floating Islands«: v prevodu plavajoči otoki. Floating Islands International je podjetje iz ZDA, ki zgrajene plavajoče rastlinske čistilne otoke imenuje preprosto plavajoči otoki (Headley in Tanner, 2006).

3.2 Določitev slovenskega izraza za plavajoče rastlinske otoke

Umetno ustvarjeni plavajoči rastlinski otoki se vedno pogosteje uporabljajo za čiščenje voda. Zaradi tega je tudi potreba po nekem skupnem poimenovanju podobnih sistemov. V tuji literaturi se je začel pojavljati izraz »floating treatment wetlands«, ker se zdi to najbolj splošno in pomensko razumljivo ime za tovrstne sisteme. Vendar pa je potrebno ločiti tako imenovane rastlinske čistilne naprave s prosto plavajočimi rastlinami, kot sta npr. vodna leča in vodna hijacinta, od rastlinskih čistilnih otokov, ki jih obravnava naloga. Gre za strukturno in funkcionalno različna sistema.

V slovenskem jeziku za zdaj ni poenotenega izraza za plavajoče rastlinske strukture, ki so grajene z namenom čiščenja vode. Za podoben čistilni sistem, ki uporablja rastline, pritrjene v tla (čistilni medij), je v uporabi izraz rastlinske čistilne naprave (RČN) (Vrhovšek in Vovk, 2007). V tem primeru RČN gre za naravne sisteme čiščenja odpadnih voda, ki jih v angleški literaturi pogosto imenujejo »treatment wetlands«, »constructed treatment wetlands« ali le »constructed wetlands«, v prevodu grajena čistilna mokrišča (ITRC, 2003; Kadlec in Wallace, 2009). Pod tem imenom in podobnostmi delovanja obeh sistemov se nam ponuja možnost za opredelitev izraza, ki bo poimenoval naš plavajoči sistem z rastlinami. Tudi po zgledu iz tuje literature in dilemah, ki se pojavljajo zaradi poimenovanja tovrstnih sistemov, se zdi najbolj preprosto in razumljivo ime rastlinski čistilni otoki (RČO).

Vsekakor je potrebno razumeti razliko med RČO in ostalimi podobnimi sistemi, ki so naravnega izvora ali umetno grajeni. Obstaja veliko otokov, katerih plovnost zagotavljajo rastline ali na njih tudi rastejo, vendar imajo drugačno funkcijo kot pri RČO. Sprva je potrebno ločiti naravne sisteme od umetnih. Slednjim je potrebno točno določiti njihovo funkcijo. V našem primeru so RČO namenjeni v prvi vrsti za čiščenje vodnih teles. Vse ostale funkcije so drugotnega pomena. Naš namen ni zagotavljanje habitata živalim in rastlinam, ki se lahko znajdejo na našem RČO. V določenih primerih je potrebno urediti tudi zaščito pred tovrstnimi nevarnostmi. Skratka RČO imajo točno določeno funkcijo in zaradi tega je takšno tudi njihovo poimenovanje. Natančnejša delitev in opis sta predstavljena v nadaljevanju.

V osnovi so RČO zasnovani tako, da povečajo procese in interakcije, ki se pojavljajo v naravnih mokriščih, med vodo, rastlinami, mikroorganizmi, podlago (tlemi) in ozračjem. Odstranjujejo nečistoče iz onesnažene vode na relativno pasiven in naraven način. RČO običajno vključujejo pretok vode skozi dva dela sistema. Površinski tok vode je v interakciji s stebli in drugimi nadvodnimi deli rastlin, podpovršinski tok pa s koreninskim delom rastlin in ostalimi morebitnimi potopljenimi deli. RČO se lahko primerja s hidroponskim sistemom gojenja rastlin. Rastline pridobijo svoja hranila neposredno iz vode, v kateri imajo svoje korenike in ne dosega dna (Headley in Tanner, 2006).

4 Druge oblike plavajočih rastlinskih otokov

4.1 Splošne značilnosti naravnih plavajočih rastlinskih otokov

Skupno po opisu jim je to, da lahko človek po njih hodi. Tako se jih loči od rastlinja, ki prosto plava po vodi in nima večje plovne sposobnosti (Swarzenski idr., 1991). Običajno se lahko prilagajajo nivoju vode. Zaradi tega so vplivi ob poplavah in sezonskem črpanju vode blažji. V naravi niso prav pogosti. Strukture, ki jih v angleški literaturi zasledimo pod imenom »floating wetlands« ali plavajoča mokrišča, so sorazmerno redke in običajno nastanejo, ko se od obale odtrga del šote med nevihtami. Redkeje se potopljena šota dvigne z dna, ko ob procesih razgradnje nastajajo plini (metan). Ko se enkrat ustvari plovnost, se ta s časom povečuje in omogoča, da na otoku rastejo celo večja drevesa. Tovrstna plavajoča mokrišča lahko najdemo po vsem svetu in imajo pomemben sestavni del v ekosistemih mokrišč (Hammond idr., 2008).

4.2 Prvi zapisi o plavajočih mokriščih

Plavajoča mokrišča so omenjali že Rimljani v svojih zapisih, in sicer Plinij v svoji enciklopediji *Naturalis Historia*. Na jezeru, ki so ga opisali, še danes obstaja otok iz rastlinja (slika 1). Plinij je omenil tudi otok iz rastlin, ki ga je bilo moč premikati po jezeru s pomočjo dolgih palic. Znanih je več zgodb o plavajočih otokih, na katere so se ljudje zatekali v vojnah. V folklori so se ohranile zgodbe vodnih vil, škratov itd., ki bi naj živeli na tovrstnih otokih (Van Duzer, 2004).



Slika 1: Naravno plavajoče mokrišče na jezeru Fibreno (Italija), (Vir: Panoramio, 2009)

4.3 Človek v sobivanju s plavajočimi rastlinskimi otoki

Naravne in umetne plavajoče otoke ali splave vegetacije so ljudje uporabljali za različne namene. Kmetijstvo podobno hidroponskemu gojenju rastlin se je izvajalo v več delih sveta in se ohranilo do danes v Bangladešu, Indiji, Burmi in Kambodži. V Bangladešu plavajoča ploščad (dhap) obsega kupe razpadajoče vodne hijacinte, ki jo uporabljajo za gojenje zelenjave in sadik (Islam in Atkings, 2007). Španski raziskovalec Acosta je že leta 1590 opisal azteške »plavajoče vrtove ali chinampas«, ki so bili namenjeni gojenju koruze in zelenjave. Ta starodavni način se danes še vedno uporablja v Mehiki. Na jezeru Titikaka v Peruju je naseljenih enainštirideset plavajočih rastlinskih otokov (slika 2). Avtohtono predinkovsko pleme Uros jih je prvotno uporabljalo za obrambne namene, sedaj pa v glavnem privabljajo turiste. S tem nadomestijo prihodek, ki so ga včasih zaslužili z ribolovom (Hammond idr., 2008).



Slika 2: Plavajoči otoki na jezeru Titikaka (Peru), (Vir: Gerth, 2010)

V delti reke Tigris in Evfrat na jugu Iraka se je do nedavnega ohranila kultura nekaj skupin ljudi, ki so živeli tesno povezani z vodnimi splavi (slika 3). Močvirski Arabci (Ma'dan), kot so jih imenovali, so živeli na skoraj enak način kot zgodnja mezopotamska ljudstva iz pred pet tisočletij. Splavi, zgrajeni iz trstičja, so v zadnjih desetletjih utrpeli veliko škode in propada zaradi masovnega izsuševanja mokrišč za gospodarske namene. Preusmeritev tokov z jezovi v Turčiji in Siriji je še dodatno vplivala na hidrologijo mokrišč in tako prisilila ljudstvo Ma'dan k umiku in posledični spremembi načina življenja (Hammond idr., 2008).



Slika 3: Pogled iz zraka na plavajočo vas (nekoč) blizu Nasirije (Irak), (Vir: Laputan logic, 2007)

V Indiji obstajajo tako imenovani plavajoči »phumdi«, na katerih imajo prebivalci zgrajene koče. Uporablja jih širša skupnost ob jezeru (slika 4). Več kot sto dvaintrideset rastlinskih vrst je povezanih s temi plavajočimi otoki, ki se uporabljajo v številne namene – od pridelave hrane za ljudi in živali, za gorivo, zatočišče, ogrado za ribe, vir naravnih zdravilnih spojin itd. Rastlinski otoki imajo na tem območju kulturni pomen. Slabo polovico letnega ulova v jezeru Loktak je izvedenega na poseben način, ki uporablja umetne plavajoče otoke (»phum« način ribarjenja). Zaradi naraščanja prebivalstva na tem območju so ljudje prisiljeni v prekomerno izkoriščanje naravnih dobrin. Zaradi tega je tudi preveč umetno narejenih plavajočih otokov, ki rušijo naravno ravnovesje ekosistema (Trisal in Manihar, 2004).



Slika 4: Jezero Loktak, Manipur (Indija), (Vir: Manipur Online, 2010)

5 Kriteriji, ki jih je potrebno upoštevati pri oblikovanju rastlinskih čistilnih otokov

Človek opazuje naravo in se od nje uči. Razvila je svoje lastne sisteme in sedaj jih želimo posnemati, da bi dosegli učinek v okolju. Ta proces posnemanja narave v njeni strukturi in funkciji (biomimikrija, ang. biomimicry) nam omogoča, da na najbolj naraven način dosežemo zelene rezultate. Z izgradnjo RČO počnemo ravno to. Za rastline je pomembno, da imajo hranljive snovi in medij, kamor se lahko pritrdijo. Poti do tega je več. Izgradnja RČO je sedaj že znana praksa. Njihov namen je širok. Dosežemo lahko zmanjšanje vsebnosti hranil in drugih anorganskih snovi v vodnem telesu, razgradnjo organskih snovi v vodi, kot tudi ustvarjanje novih habitatov, povečanje estetske vrednosti in zmanjševanje erozije (Kadlec in Wallace, 2009).

Pri izdelavi RČO se moramo najprej vprašati, čemu bo služil končni izdelek. V grobem je potrebno upoštevati naslednje (Tanner, 2011):

- namen oz. cilje, ki jih je potrebno z uporabo RČO doseči,
- izbiro ustreznih materialov za zagotavljanje plovnosti in rast rastlin,
- izbiro ustreznih rastlinskih vrst,
- potencialne pozitivne in negativne vplive na ekosistem,
- življenjsko dobo RČO,
- potencialne zaplete (npr. škoda zaradi vremenskih nevšečnosti, divjih živali, vandalizem),
- vzpostavitev, vzdrževanje in odstranitev iz okolja,
- ekonomsko izvedljivost.

Upoštevanje zgoraj naštetih kriterijev nam omogoča, da se izognemo morebitnim zapletom pri nadaljnjem projektiranju in izdelavi RČO. Za začetek so nam ti kriteriji v pomoč, da lažje razberemo, ali bo uporaba RČO smiselna. Ob neprimerni uporabi RČO lahko pride do porušanja naravnega ravnovesja, ki ga kasneje težko popravimo. Zavedati se moramo, da posegamo v zapletene ekosisteme, zato so vsi zgoraj naštetih kriteriji v nadaljevanju podrobneje razloženi.

6 Predstavitev različnih izvedb RČO

Do danes se je uporaba RČO razširila na številna področja. Prvotni namen raziskav tovrstnih sistemov v naravi je bil čiščenje voda. Kasneje so začeli uporabljati RČO za izboljšanje kakovosti habitatov za naselitev ptic in rib, za estetske namene v okrasnih ribnikih itd. Z njimi je možno preprečiti erozijo brežin, ker zmanjšujejo valovanje. V zvezi z izboljšanjem kakovosti vode se uporabljajo predvsem za izboljšanje stanja in čiščenje (Headley in Tanner, 2006):

- meteorne vode,
- komunalne odpadne vode (odpadne vode iz gospodinjstev),
- kombinacije meteorne in komunalne odpadne vode,
- odpadne vode iz živilsko pridelovalne industrije,
- vodooskrbnih rezervoarjev,
- stoječih voda,
- kislih rudniških in izcednih voda itd.

Delovanje oziroma funkcija RČO za zmanjšanje obremenitev evτροφnosti stoječih voda je zelo podobna funkciji plavajočih mokrišč, ki jih srečamo v naravi. Rastline imajo v evτροφnih vodah dovolj hranilnih snovi za uspešno rast. Z rastjo rastlin prihaja do privzema rastlinskih hranil in s tem do zmanjšanja njihove vsebnosti v vodi. Učinkovitost čiščenja je odvisna od več dejavnikov (Kadlec in Wallace, 2009):

- stopnje onesnaženosti,
- globine vode,
- vrste rastlin v RČO,
- pritokov v vodno telo,
- deleža pokritosti vodne površine z RČO,
- koncentracije raztopljenega kisika v vodi,
- klimatskih razmer itd.

V vodah, ki so zelo obremenjene z organskimi snovmi, lahko pod RČO nastanejo anaerobni pogoji, ki negativno vplivajo na sposobnost čiščenja. Temu se lahko izognemo v prvi vrsti tako, da prekrijemo manjši delež vodne površine z RČO. V skrajnem primeru je možno z dodatnim prezračevanjem, ki uvaja v sistem kisik, občutno povečati učinkovitost čiščenja. Koncentracija kisika namreč vpliva na rast bakterij, pritrjenih na koreninah, ki imajo pomembno vlogo pri razgradnji organskih snovi v vodi. Z dodatnim prezračevanjem izboljšamo tudi življenjske pogoje vodnim živalim, ki v evτροφnih vodah običajno trpijo zaradi pomanjkanja kisika (Headley in Tanner, 2006).

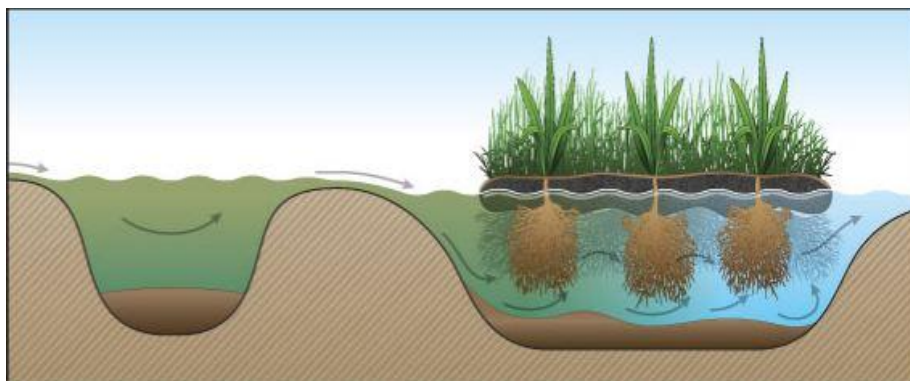
6.1 Primeri RČO

Prvotni sistemi so bili podobni kot pri RČN. Razlika je bila samo v tem, da so bili bazeni z odpadno vodo prekriti z rastlinami, ki so bile pritrjene v plavajoči nosilec. Ta sistem je še vedno v uporabi marsikje po svetu. Eden izmed prvih in največjih je bil postavljen leta 1994 za letališče Heathrow (Anglija, slika 5). Meteorne vode, pomešane z odpadnimi vodami zbirajo v podzemnih rezervoarjih, iz katerih prečrpavajo vodo v čistilno napravo, ki uporablja RČO (Richter idr., 2003).



Slika 5: Plavajoči splavi v čistilni napravi na letališču Heathrow (V. Britanija), (Vir: Headley in Tanner 2006)

Pri sistemih za čiščenje komunalnih odpadnih voda se uporablja več prekatov (slika 6). Prvi je namenjen usedanju, ki hkrati zmanjša moč pretoka v drugi bazen, kjer je nameščen plavajoči otok. S tem se zniža možnost, da bi velika količina močno onesnažene vode upočasnila ali celo onemogočila zeleno čistilno sposobnost sistema (Van Acker v Headley in Tanner, 2006).



Slika 6: Rastlinska čistilna naprava, ki uporablja RČO in ima več prekatov, (Vir: Fil, 2010)

Primer linearnega čiščenja na spodnji sliki prikazuje, kako je mogoče uporabiti sistem RČO na reki (slika 7). V močno onesnažen kanal pritekajo neobdelane kanalizacijske odplake dvanajst tisoč ljudi, padavinska voda, kot tudi voda iz gospodarskih objektov, šol, restavracij itd. Sistem je urejen, kot se vidi na sliki. Ob pohodni strukturi na sredini kanaliziranega vodotoka so rastline umeščene na nosilce. Dodatno prezračevanje sistema je zagotovljeno s podvodno cevjo, ki dovaja kisik v rastlinsko koreninsko območje, s čimer sistem deluje učinkoviteje. Kanalizacijo, ki priteka v vodotok na koncu sistema, prečrpajo navzgor proti toku in s tem občutno zmanjšajo onesnaženost vodotoka, ko zapusti čistilni sistem. Ob plavajočem delu naprave so pritrjene še sintetične tkanine, ki nudijo dodatno površino rastočim čistilnim bakterijam. Podatki po obnovi kanala kažejo, da je voda sedaj srednje onesnažena za razliko od predhodnega stanja visoke onesnaženosti. Občutno manj je neprijetnih vonjav ob reki in opazna je razlika v bistrosti vode (Headley in Tanner, 2006).



Slika 7: Uporaba RČO pri linearnem čiščenju rečne struge (Kitajska), (Vir: Headley in Tanner, 2006)

7 Mehanizmi zmanjševanja obremenitev voda s pomočjo RČO

7.1 Vloga mikroorganizmov pri zmanjševanju obremenitev

Najpomembnejši procesi odstranjevanja obremenitev iz vode se dogajajo v koreninskem sistemu rastlin. Korenine in mikroorganizmi, ki jih obdajajo, živijo v simbiozi. Rastline skozi korenine sproščajo enostavne sladkorje in kisik, ki omogočajo lažjo začetno rast mikroorganizmov. Mikroorganizmi z razgradnjo (mineralizacijo) različnih organskih spojin nudijo rastlinam mineralne snovi – hranila, pomembna za njihovo rast. Ovoj okrog korenin, ki ga sestavljajo bakterije skupaj z njihovim izvenzeličnim ovojem, imenujemo biofilm, na katerega se vežejo hranila, kovine in minerali. Nadaljnja razgradnja onesnaževal, kot so organske snovi, poteka v aerobnih in anaerobnih mikrookoljih koreninskega prepleta (rizosfere) plavajočih rastlin, kjer glavno vlogo odigrajo mikroorganizmi. Razgrajene mineralne produkte pa lahko privzemajo rastline preko koreninskega sistema in prenosa naprej v steblo in liste. Ravno v teh mešanih aerobnih in anaerobnih razmerah je možen najučinkovitejši proces denitrifikacije (Duncan, 2009).

7.1.1 Biološka prerast ali biofilm

Že v prejšnjem poglavju je bila omenjena povezava rastlin z mikroorganizmi. Ta proces je zelo pomemben pri delovanju RČO, če ne celo najpomembnejši. Zato mu je namenjeno dodatno poglavje. Mikroorganizme, ki rastejo na koreninah rastlin, imenujemo biofilm ali biološka prerast. Biofilm je lepljiv, želatinast in vsebuje veliko populacij živih organizmov. Na samem začetku rasti mikrobiološkega filma preko nosilca imamo najprej samo aerobno plast biofilma, ker je kisik povsod na razpolago. Z rastjo in delitvijo celic nastaja nova plast biofilma, ki se nalaga na prejšnjo plast. V plasti, ki nastaja, se ustvarjajo anaerobni pogoji.

Anaerobni del biofilma ne prispeva k neposredni razgradnji oz. mineralizaciji organskih snovi, raztopljenih v vodi, saj le-te v splošnem ne dosegajo njegove globine. Zato imenujemo aerobno plast efektivni del biofilma. Po drugi strani pa se lahko v anaerobni plasti biofilma reducirajo nekateri produkti, ki nastajajo v aerobni plasti. Koeksistenca aerobnega in anaerobnega dela je lahko velika prednost biofilma pred ostalimi sistemi, saj lahko po procesu nitrifikacije v aerobnem delu poteče še denitrifikacija v anaerobnem delu biofilma. Pri zmanjševanju obremenitev stoječih voda imata oba procesa zelo pomembno vlogo (Duncan, 2009).

7.2 Vloga rastlin pri zmanjševanju obremenitev

Rastline imajo pomembno vlogo pri zmanjševanju obremenitev v vodi kot tudi v tleh. V primeru uporabe rastlin za čiščenje voda in tal govorimo o fitoremediaciji. Zadrževanje, privzem in razgradnja onesnažil poteka na različne načine, zato govorimo o različnih mehanizmi fitoremediacije. Vsi mehanizmi fitoremediacije, ki se odvijajo tudi v RČO, so med seboj prepleteni in spodaj podrobneje opisani (Ralinda in Miller, 1996).

Fitoekstrakcija je opis mehanizma privzema, prenosa in zadrževanja onesnažil v nadzemnih delih rastline. Ta mehanizem je še posebej pomemben v primeru odstranjevanja kovinskih ionov. Privzemanje kovinskih ionov je splošna značilnost rastlin, ki pa variira med vrstami. Če so izbrane vrste rastlin dobri akumulatorji in imajo velik prirastek, lahko odstranimo velike količine kovin (Rozman, 2008).

Rizofiltracija je mehanizem filtriranja, koncentriranja in obarjenja snovi. V našem primeru iz vodnega telesa s pomočjo korenin. Rastlinski filter z veliko površino korenin je lahko zelo učinkovit sistem za filtriranje onesnaževal iz vode. Izbrane rastline v vlogi rizofiltracije naj bi imele močno razrasel koreninski sistem, maksimalen privzem onesnaževal in minimalen ostanek po odmrtnju (Dushenkov idr., 1997).

Fitostabilizacija je opis mehanizma, s katerim rastline s koreninskim sistemom zadržujejo onesnažila na območju rizosfere in s tem zmanjšujejo njihovo migracijo (Dushenikov idr., 1997).

Fitovoltalizacija je opis mehanizma, kjer rastline določeno onesnažilo privzamejo iz okolja in nato izločijo v hlapni obliki (Rozman, 2008).

Fitodegradacija je opis mehanizma razgradnje posameznih onesnažil s pomočjo samih rastlin. Gre za razgradnjo organskih snovi v procesu rastlinskega metabolizma do manj škodljivih ali neškodljivih snovi.

RČO so učinkoviti pri odstranjevanju kovin. Veliko študij dokazuje, da je možno z RČO občutno zmanjšati količino bakra in cinka v odpadnih vodah (38–96 %) (Kadlec in Wallace, 2009). Procesi odstranjevanja kovin iz vodnih teles s pomočjo RČO so filtracija, sedimentacija, adsorbpcija in kationska izmenjava v koreninskem sistemu, vključno z oksidacijo in vnosom kovin v samo rastlino (Odum, 2000).

8 Kriteriji za izbiro ustreznih rastlin v RČO

Ko iščemo primerne rastline za umestitev v RČO, je dobro, da si najprej določimo sistem, ali drugače rečeno merila, po katerih bomo določali primernost rastlin. Pred tem je seveda priporočljivo, da pregledamo čim širšo bazo podatkov oz. virov, ki so dostopni. S takšnim pristopom zmanjšamo možnosti, da pride ob potencialni realizaciji do kakršnihkoli nepredvidljivih zapletov. Od samega začetka se moramo zavedati, da posegamo v zapletene naravne ekosisteme, ki nam kljub današnjemu razvoju niso popolnoma razumljivi.

Pri izbiri rastlin moramo upoštevati naslednje dejavnike:

1. Avtohtone in neavtohtone vrste ter morebitne posledice izbora tujerodne vrste.
2. Trajnice, enoletnice oz. tiste vrste, ki ne prezimijo v naših klimatskih razmerah in s tem povezan način vzdrževanja sistema.
3. Nevarnosti za ekosisteme (invazivnost, morebitna strupenost za živali in človeka itd.).
4. Kakšna je razrast korenin (hitrost rasti, dolžina in gostota koreninskega sistema itd.).
5. Razpoložljivost rastlin na trgu in s tem povezan strošek gradnje in vzdrževanja.

8.1 Najpogostejše rastlinske vrste, ki se uporabljajo v RČO

Spodaj opisane rastlinske vrste so tiste vrste, s katerimi je bilo opravljenih največ raziskav in umeščanja v RČO v praksi. Zaradi njihovih lastnosti, kot so predvsem hitra rast in posledično črpanje hranil iz vodnega telesa, so se izkazale za najprimernejše. Na slovenskem trgu jih lahko dobimo pri ponudnikih, ki se ukvarjajo z okraševanjem ribnikov oz. ponujajo te vrste. Glede na to, da se za RČO potrebuje veliko število primerkov, se je potrebno predhodno dogovoriti z dobaviteljem, ker ti običajno skladiščijo manjše zaloge. Za okraševanje ribnikov se uporabi le nekaj posameznih rastlin, v našem primeru pa bi bile številke neprimerno večje. Semena se da naročiti tudi na spletu, vendar je vprašljiva kakovost. Poleg nakupa so možne tudi druge alternative. Lahko bi eno sezono zbirali semena v naravnem okolju, kjer je veliko število primerkov določene vrste in jih prihodnje leto uporabili v RČO. Tako bi imeli semena, ki so že prilagojena na naše okoljske razmere. Lahko bi jih tudi gojili, vendar bi za to potrebovali več časa in sredstev.

Poleg terestričnih vrst, ki se uporabljajo v RČN, in so običajno primerne za RČO, je možno uporabiti tudi plavajoče rastline. Te rastline uporabljajo različne mehanizme za zagotavljanje lastne plovnosti, npr. zračne korenine, ki podpirajo njihovo težo (vodni orešek), plovnost ustvarjajo listi, ki so tako oblikovani, da plujejo po vodni gladini (rumeni blatnik), itd. Običajno je zrak ujet v delu rastline in zagotavlja plovnost. Te rastline se omenjajo predvsem v zvezi s tem, ker v naravi ustvarijo pogoje, ki omogočajo drugim vrstam, da se zarastejo in skupaj tvorijo tako imenovana plavajoča mokrišča. Poznamo tri tipe plavajočih rastlin:

- Prosto plavajoče rastline: celotna rastlina plava na vodni gladini in ni nikjer pritrjena. Premika se z vodnimi tokovi in vetrom.
- Plavajoče rastline, zakoreninjene v dno: listi in cvetovi rastejo na vodni gladini, njihova korenina pa je pritrjena v dno.
- Plavajoče rastline, pritrjene v plitvini: pritrjene so v plitvini ali brežini in se širijo po vodni gladini. Za njih je značilno, da tvorijo »preproge« na vodni gladini.

Različni raziskovalci RČO opozarjajo, da so plavajoče rastline primerne samo, kjer imajo ugodne pogoje za rast (klimatske razmere) in v nadzorovanih okoliščinah. Večina poznanih vrst z bujno razrastjo, dobro uspeva v tropskih in subtropskih krajih, zato bi se v našem okolju razvijale razmeroma počasi. To bi pomenilo manj črpanja hranilnih snovi iz vodnega telesa. Poleg tega je za njih značilno, da so invazivne in prisilijo druge vrste k umiku, medtem ko se same širijo po vodni gladini. V naših klimatskih razmerah bi tako večina plavajočih rastlin pozimi odmrlo, se potopila na dno in hranila bi ostala v vodnem telesu. Lahko bi jih sicer odstranili v jesenskem času, ampak poznavalci rastlinskih čistilnih sistemov ugotavljajo, da te vrste niso tako učinkovite pri črpanju rastlinskih hranil kot terestrične vrste (Headley in Tanner, 2006; Hammond idr., 2008; Duncan, 2009; Kania, 2010). Zaradi teh ugotovitev poznavalcev so v nadaljevanju opisane samo terestrične vrste, katerih prednosti so predvsem gost koreninski sistem, ki omogoča razvoj mikroorganizmov, in v sposobnosti črpanja razmeroma velikih količin hranilnih snovi, ki so vzrok za pojav evτροφikacije.

Navadni trst (*Phragmites australis*)

Zraste do štiri metre visoko, korenine lahko segajo več kot 0.5 metra globoko, razrast korenin je odvisna predvsem od razpoložljivih količin hranil – v primeru primanjčovanja se le-te razrašajo še močneje. Največ hranil črpa na začetku rasti v prvih mesecih, v četrtem letu pa doseže maksimalno razrast. Raste na soncu kot tudi v senci, prilagojen je na vlago. Je avtohtona vrsta. Zaradi hitrega razrašanja in posledičnega izpodrivanja drugih vrst je tudi invazivna vrsta. Nekoč je bila to hrana za krave. Rastlina je poznana po tem, da lahko prevzame velike količine hranil, ki ji omogočajo bujno rast, ki se kaže v visoki produktivnosti biomase (tri do trideset ton suhe nadzemne biomase na hektar). Ni plovna rastlina. Najdemo jo praktično po celem svetu (tropski in zmerno topli pas). Pri nas raste kot obrežna rastlina v vseh stoječih vodah. V naših klimatskih razmerah prezimi, vendar njen nadzemni del propade, gostota trstov se navadno giblje med 60 do 250 poganjkov na kvadratni meter (IUCN, 2006).

Navadni trst je ena izmed najpogosteje uporabljenih rastlin v rastlinskih čistilnih sistemih.



Slika 8: Razrast navadnega trsta, (Vir: Medmrežje 1)

Širokolistni rogoz (*Typha latifolia*)

Steblo rastline je visoko do dva metra in pol, korenine lahko zrastejo več kot 0,3 metra globoko, ima močne in razvejane korenike, iz katerih zraste veliko koreninic. Je najštevilčnejša vrsta rogoza pri nas. Produkcija biomase je visoka (približno 15 ton suhe biomase na hektar). Za popolno razrast potrebuje dobre tri mesece. Primerna osvetlitev je sonce oz. polsenca. Prilagojena je na vlago. Je avtohtona vrsta in tudi invazivna – kadar tvori večje homogene sestoje, vendar običajno ne povzroča težav. Surovi rizomi so užitni, ampak je potrebno upoštevati nahajališče rasti (onesnažene vode vsebujejo toksine). V rastlinskih čistilnih sistemih se uporablja zaradi velike zmožnosti privzema hranilnih snovi (N in P). V osnovi ne tvori plavajočih sestojev, vendar je pogosto prisotna na naravnih plavajočih mokriščih. Čez zimo prezimi, vendar v jesensko-zimskem času njen nadzemni del odmre. Najdemo jo v obrežnem pasu vodnih teles. Poleg razmnoževanja s podzemnimi poganjki se razmnožuje tudi s semeni, število semen v plodovih enega ženskega socvetja je od 100.000 do 300.000. Ko pride plod v stik z vodo, se stena osemenja v hipu odpre in semena potonejo v vodo (EOL, 2012).



Slika 9: Širokolistni rogoz, (Vir: Medmrežje 2)

Jezerski biček (*Schoenoplectus lacustris*)

Zraste do tri metre visoko, za njegov koreninski sistem so značilne močno razraščene podzemne oz. podvodne korenine, korenine se razraščajo horizontalno in vertikalno, tako da nudijo veliko površino za mikrobnost. Skupaj z vrsto *Phalaris arundinacea*, ki je travniška vrsta, imata zelo veliko produkcijo biomase (do 60 ton na hektar). Uspeva na soncu in tudi v polsenci. Prilagojen je na vlago. Je avtohtona in neagresivna vrsta, zato jo lahko druge vrste izpodrinejo. Zaužite korenine delujejo kot diuretik, v tradicionalni medicini je veljala kot zdravilo za raka, vendar se danes ne uporablja več. Z visoko produkcijo biomase prispeva k privzemu hranil. Rastlina ni plovna. Je hermafrodit in se oprahuje z vetrom. Je zelo trdoživa vrsta, saj lahko preživi v poplavnem območju kot tudi daljše sušno obdobje. Preživi temperature do $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, vendar nadzemni del v jeseni propade (Medmrežje 3). Jezerski biček je prisoten v običajnih mokriščih in velja za kozmopolitansko vrsto. V Sloveniji najdemo večja rastišča na Cerkniškem jezeru (Notranjski park).



Slika 10: Jezerski biček na Cerkniškem jezeru, (Vir: Notranjski park)

Šaši (*Carex*)

V višino zraste več kot meter in pol, korenine lahko zrastejo tudi do enega metra globoko. Za rastlino je značilna močna razraščanost korenin horizontalno in vertikalno. Spada v zelo obsežen rod, v katerem je več kot 2.000 vrst. Večina biomase je v koreninskem sistemu, suhe nadzemne biomase je v enem letu okoli pet ton na hektar. Primerna osvetlitev je sonce in tudi polsenca. Je tujerodna vrsta, ki je prilagojena na vlago. Raste v gostih šopih in je ponekod v Sloveniji invazivna. Zaradi gostega in zelo razvejanega koreninskega sistema ima velike sposobnosti privzema rastlinskih hranil. Ni plovna, vendar jo pogosto najdemo v naravnih plavajočih mokriščih, razmnožuje se s semeni in z delitvijo, je prezimna vrsta, vendar nadzemni del pozimi odmre (Darrouzet - Nardi, 2003).

Najdemo jih praktično povsod. V sušnih predelih in mokriščih, ob morju in na višjih nadmorskih legah. Zaradi številčnosti in slabe raziskanosti posameznih vrst rastlin je opis omejen na eno vrsto, ki je prilagojena na vodno okolje. Pri nas so najpogostejši ostri šaš (*Carex acuta*), togi šaš (*Carex elata*), kljunasti šaš (*Carex rostrata*) in črni šaš (*Carex nigra*). Opisana vrsta je kljunasti šaš.



Slika 11: Meritev šaša pred sajenjem – dolžina 30 cm, (Vir: Duncan, 2009)



Slika 12: Šaš po 15 mesecih rasti v RČO, celotna dolžina 220 cm, (Vir: Duncan, 2009)

Vetiver (*Vetiveria zizanioides*)

Je visoka trava, ki zraste do dva metra. Njene korenine so goste, močne ter globoke in večinoma rastejo vertikalno in lahko merijo več kot tri metre. Je velika proizvajalka biomase (več kot 30 ton na hektar v zmernem pasu). Uspeva na soncu ali polsenci in ima rada vlago. Tujerodna vrsta, ki ni invazivna. Je večnamensko uporabna rastlina (fitoremediacija, hrana, medicina itd.) – eterično olje njenih korenin se uporablja za večino parfumov. Znana je po visokem privzemu rastlinskih hranil (N in P). Ni plovna in kot tropska rastlina ni prezimna, vendar preživi krajše zmrzali do -15°C , lahko jo množimo s potaknjenci, semeni in sadikami. Raste v Aziji in Afriki. Njena posebnost je, da kot tropska rastlina zelo dobro uspeva tudi v hladnejših podnebjih (Truong idr., 2008).



Slika 13: Koreninski sistem rastline vetiver v nosilnem mediju, (Vir: Medmrežje 4)

Papirjevec (*Cyperus papyrus*)

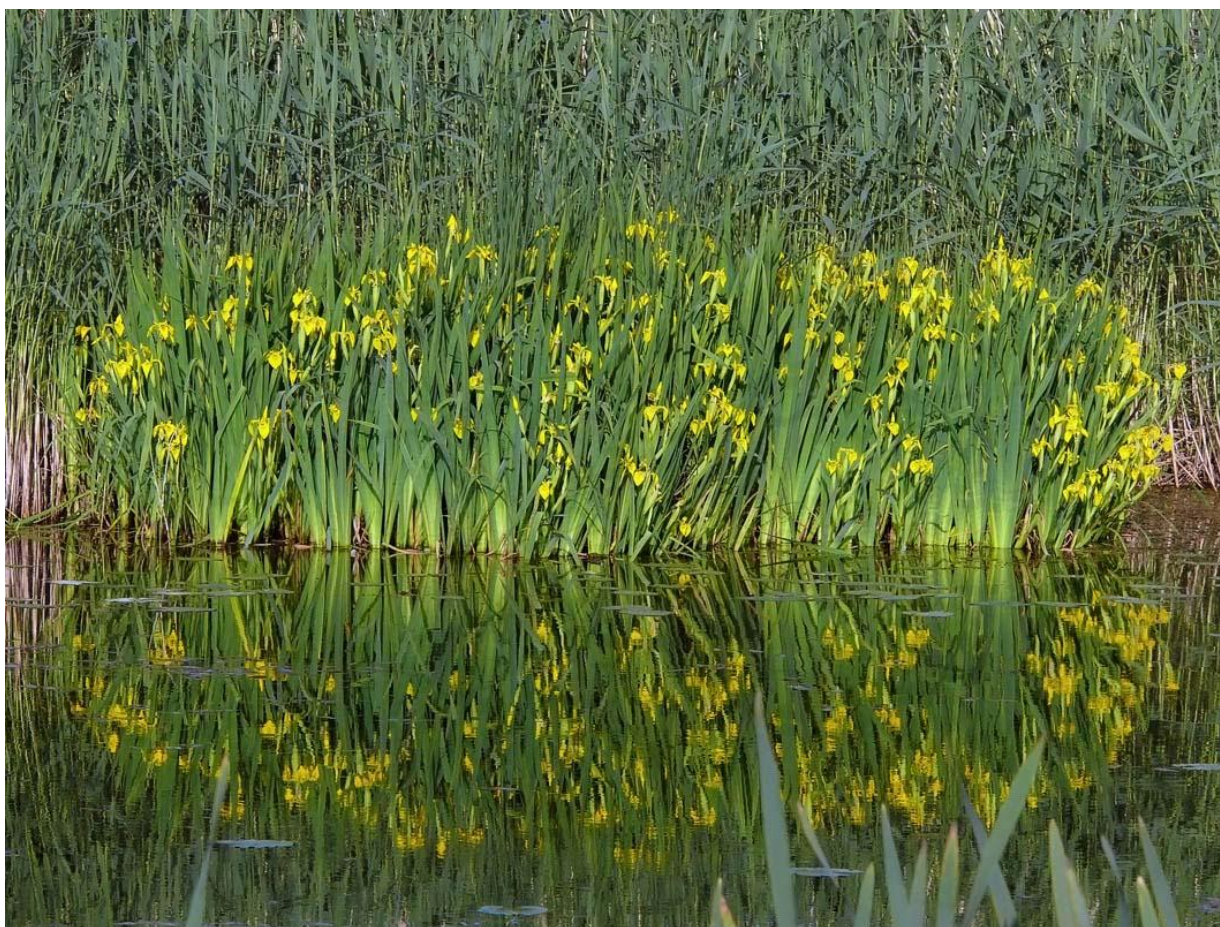
Šašem sorodna vrsta, ki spada v družino *Cyperaceae*. Rastlina je visoka do tri metre, ima tanke in razvejane korenine, ki so dolge do 0.5 metra. Ima visoko steblo in iz vrha razrastle liste (podobno palmi), zaradi česar je primerna v kombinaciji z nižje rastočimi rastlinami, ki so občutljive na direktno svetlobo. Proizvede lahko do petindvajset ton biomase na hektar v treh mesecih (primerna za poletno obdobje). Uspeva na soncu in tudi v polsenci, ima rada vlago in ni plovna. Je tujerodna vrsta, ki ni invazivna. Uporabna so njena vlakna. Zaradi načina razrasti korenin je primerna za črpanje hranilnih snovi iz vodnih teles. Ker ne prezimi, jo je potrebno odstraniti v septembru. V naših klimatskih razmerah je primeren način sajenja s sadikami in potaknjenci. Doma je v srednji in južni Afriki (Archer, 2004).



Slika 14: Razrast papirjevca v umetnem ribniku, (Vir: Medmrežje 5)

Vodna perunika (*Iris pseudacorus*)

Rastlina, ki doseže največ meter višine, ima debele mesnate korenike, ki se širijo horizontalno, iz katerih rastejo v vertikalni smeri do 0.3 metra dolge korenine. V enem letu lahko proizvede do petindvajset ton suhe biomase na hektar. Uspeva na soncu ali v senci in ima rada vlago. Je avtohtona vrsta, ki ni invazivna. Rastlina je zelo uporabna pri odstranjevanju težkih kovin iz vodnih teles. Ni plovna. Je prezimna trajnica, ki ji v zimskem času odmre nadzemni del. Zelo uspešno se razrašča s potaknjenci. Večinoma se razmnožujejo z delitvijo in tudi s semeni. Od naših perunik je najbolj vezana na vodo. Je divje rastoča vrsta, ki se pogosto uporablja v okrasnih vrtovih in ribnikih zaradi njenih značilnih in lepih rumenih cvetov. Ker veže težke kovine in veliko hranilnih snovi, je uporabna pri čiščenju voda (Stone, 2009).



Slika 15: Vodna perunika v naravnem okolju na brežini jezera, (Vir: Medmrežje 6)

Velika sladika (*Glyceria maxima* – »Variegata«)

Rastlina je visoka do dva metra in pol, ima razvejane do 0,6 metra dolge korenine, ki rastejo v vse smeri. Njena produkcija biomase je odvisna od količine hranil in vode (od 5 do 40 ton na hektar). Uspeva na soncu in tudi v polsenci, potrebuje normalno vlažno rastišče, prenaša tudi občasno zastajanje vode. Je avtohtona vrsta, izven naravnega rastišča je lahko invazivna vrsta, zato je pri gojenju potreben reden nadzor. Uporablja se kot krmna rastlina za živino. Zaradi gojenja za krmo in njene lastnosti, da izpodriva druge vrste, je postala ponekod v S Ameriki, Avstraliji in Novi Zelandiji monokulturna rastlina. V našem okolju ni posebej nevarna, ker je avtohtona, drugje po svetu pa ima lahko negativen vpliv na biodiverzitetu. Ker se hitro razrašča in je preprosta za vzgojo, je primerna tudi za odstranjevanje hranil iz vodnih sistemov. Ni plovna. Je prezimna, vendar nadzemni del odmre v zimskem času. V naravi se razmnožuje predvsem vegetativno s potaknjenci in izrastki iz korenike, skoraj nikoli s semeni (Noxious, 2013).



Slika 16: Razrast velike sladike v plitvem delu jezera, (Vir: Medmrežje 7)

Pisana čuška, pisanka (*Phalaris arundinacea*)

Rastlina je visoka do enega metra, korenine zrastejo do 0,4 metra globoko. Večina mase korenin doseže le polovico te dolžine, ampak v vertikalni in horizontalni smeri se hitro razrašča, kar omogoča več žetev v eni sezoni, zato ima visoko produkcijo biomase (več kot 10 ton na hektar). Uspeva na soncu, v polsenci ali senci, potrebuje normalno vlažno rastišče in dobro prenaša tudi občasno zastajanje vode. Je avtohtona vrsta in je invazivna v primeru porušenega ravnovesja v okolju. Ker se hitro prilagaja in razmnožuje, se uporablja v okrasne namene, izboljšanje prsti (fitoremediacija), primerna je za pridobivanje bio-goriva, v večini pa je krma živalim. Ni plovna, je prezimna vrsta in se naslednje leto ponovno sama razraste vegetativno in s semeni. To kozmopolitansko vrsto najdemo po celem svetu. Raste na travnatih površinah, mokriščih in ob vodnih telesih. Je tipičen primer travniške vrste, ki dostikrat po naravni poti zaide na plavajoča mokrišča, kjer se uspešno razmnožuje in dostikrat tudi prevladuje (USDA, 2003).



Slika 17: Pisana čuška, ki raste na brežini potoka, (Vir: Medmrežje 8)

8.2 Ugotavljanje primernosti rastlin

Na področju fitoremediacije obstajajo kriteriji glede izbora rastlin. Njihove lastnosti ne smejo imeti negativnega učinka na okolje.

V ta namen se izogibamo vrstam, ki so invazivne, razen v primeru, da le-te rastejo v kontroliranih pogojih. V diplomski nalogi sta omenjeni dve invazivni vrsti, in sicer navadni trst ter pisana čužka. Obe vrsti sta na območju Slovenije avtohtoni, tako da je nevarnost invazivnosti manjša kot sicer. Razlog za to je prilagojenost ostalih vrst na ti dve invazivni. Poleg tega je njuna bujna razrast vezana le na določene razmere v okolju. Navadni trst se tako bujno razrašča le v obvodnih predelih s primerno globino vode oz. mokriščih. V primeru primernih rastišnih pogojev se lahko tako ti dve vrsti na danih območjih prekomerno razširita in ob opustitvi vzdrževanja (rednega odstranjevanja) izpodrineta ostale vrste in s tem zmanjšata biodiverzitetu.

Ključnega pomena raziskovanja rastlinskih vrst za umeščanje v RČO je njihova zmožnost privzema hranil (N in P). Tukaj ne gre samo za privzem hranil v samo rastlino, ampak je zelo pomemben tudi mikrobni ovoj (biofilm), ki se naredi v koreninskem sistemu. Skupni delež teh dveh nam da dokončno vrednost, koliko hranil je možno odstraniti s pomočjo določene rastline. Zmotno bi bilo trditi, da je produkcija biomase edini pokazatelj privzema rastlinskih hranil. V prejšnjem poglavju je opisan pomen mikroorganizmov za odstranjevanje hranil iz vodnih teles.

V nadaljevanju smo izdelali preglednico v kateri smo rastline opredelili glede na njihovo avtohtonost, potencial invazivnosti, produkcijo biomase, enostavnost vzdrževanja, prezimnost in velikost razrasti koreninskega sistema (Preglednica 1). S pomočjo prikazanih podatkov smo opredelili najprimernejše vrste, ki bi jih lahko uporabili v RČO v naših razmerah.

Preglednica 1: Razvrščanje rastlinskih vrst po njihovih lastnostih in primernosti za umeščanje v RČO

Ime rastline	Domača vrsta	Invazivna	Produkcija biomase	Enostavnost razmnoževanja	Prezimmnost	Koreninski sistem
Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	Da	Da	+++	++	Da	+++
Širokolistni rogoz (<i>Typha latifolia</i>)	Da	Pogojno	+	+++	Da	++
Jezerski biček (<i>Schoenoplectus lacustris</i>)	Da	Ne	+++	++	Da	+++
Šaši (<i>Carex</i>)	Da	Pogojno	++	++	Da	+++
Vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>)	Ne	Ne	+++	+++	Ne	+++
Papirjevec (<i>Cyperus papyrus</i>)	Ne	Ne	+	+	Ne	++
Vodna perunika (<i>Iris pseudacorus</i>)	Da	Ne	++	+++	Da	+
Velika sladika (<i>Glyceria maxima</i> - »Variegata«)	Da	Pogojno	++	+++	Da	++
Pisana čužka, pisanka (<i>Phalaris arundinacea</i>)	Da	Da	++	+++	Da	+

Opombe:

- Beseda *pogojno* v stolpcu (invazivna) pomeni, da rastlina pod običajnimi pogoji ni invazivna, vendar lahko postane, če je v ekosistemu večje neravnovesje.
- Produkcija biomase: +++ visoka produkcija biomase, ++ povprečna produkcija biomase, + nizka produkcija biomase.
- Enostavnost razmnoževanje: +++ enostavno in hitro razmnoževanje, ++ manj zahtevno razmnoževanje, + zahtevna rastlina za razmnoževanje.
- Koreninski sistem: +++ primeren koreninski sistem za mikroorganizme (globoke in razvejane korenine), ++ krajše korenine in posledično manj površine za mikroorganizme, + pri odstranjevanju hranil je bistven privzem hranil v rastlino, mikroorganizmi nimajo pomembne vloge.

Na podlagi ugotavljanja in razvrščanja rastlin po primernosti za umeščanje v RČO v našem okolju so v prednosti tri vrste (ena iz med treh je primernejša v kombinaciji s četrto – pisano čužko):

- Navadni trst: rastlina se sicer lahko ob ustreznih pogojih močno razrašča, vendar je pri nas plošno razširjena. Z ustreznim pristopom pri gojenju te vrste se brez težav izognemo morebitnim negativnim posledicam njenih lastnosti. Potrebno je odstranjevanje nadzemnega dela v jesenskem času. To bi bil tudi zaželen način za odstranjevanje hranilnih snovi iz vodnega sistema. Je odporna vrsta z lastnostmi (produkcija biomase, razmnoževanje, koreninski sistem), ki so primerne za umeščanje v RČO.
- Jezerski biček: to rastlino bi bilo najbolje kombinirati s pisano čužko (pisanko), ker ti dve vrsti v naravi skupaj dobro uspevata. Jezerski biček omejuje pretirano razrast pisanke in tako skupaj tvorita zelo visoko produkcijo biomase. Koreninski sistem pisanke sam po sebi ne bi bil primeren, ker ni dovolj globok in razvejan. To pomanjkljivost nadomesti jezerski biček. Za odvzem hranil iz sistema bi bilo potrebno odstranjevanja nadzemnega dela po koncu rastne sezone
- Vetiver: Je tuja rastlinska vrsta, ki ne prezimi v našem okolju. Ker je odporna na krajše zmrzali (-15°C), ni nevarnosti, da bi odmrla ob spremenljivem vremenu v času sezonske rasti. Njene lastnosti so idealne za RČO, ker ima primerno razvit koreninski sistem, ni invazivna, prilagojena na zastajanje vode, tvori visoko produkcijo biomase in je znana po tem, da odstranjuje velike količine hranil iz sistema. Vzdrževanje bi v tem primeru zahtevalo odstranjevanje celotne rastline po koncu rastne sezone ter ponovno zasaditev v spomladanskem času.

8.3 Razpoložljivost rastlin na trgu

Vse zgoraj naštetе rastlinske vrste so dosegljive na domačem trgu z izjemo vrste vetiver. V večini primerov jih prodajajo kot sadike. V obliki semen lahko dobimo samo pisano čužko, ki je najcenejša vrsta med izbranimi za RČO. Nekateri prodajalci so pripravljени ob predhodnem fiksnem dogovoru narediti iz sadik rastlin večje število potaknjencev, ki jih lahko umestimo v za njih primerne nosilne medije (razloženo v naslednjem poglavju).

Večina prodajalcev nima na zalogi večjega števila rastlin (tristo sadik ali več). V našem primeru bi mogoče potrebovali večje število ene ali več vrst. Za to je potrebno predhodno naročilo pri enem ponudniku. Druga možnost bi bila, da se dogovorimo za nakup pri več ponudnikih. Na ta način bi povečali pestrost genov iste rastlinske vrste.

Zgoraj opisane rastline imajo nizke cene. Običajno jih prodajajo več skupaj (od tri do pet sadik) in stanejo manj kot pet evrov. V našem primeru bi kupili znatno večje število rastlin, kar bi pomenilo, da bi bila cena za eno sadiko pod 1 evro. V primeru nakupa potaknjencev bi bili ti še cenejši. Vrsto vetiver, ki je ni v ponudbi na slovenskem trgu, je možno kupiti preko spleta. Cene so primerne našim avtohtonim rastlinam, ki so zastopane na domačem trgu.

9 Način sajenja in uspevanje rastlin v RČO

Začetniki RČO so bili najprej negotovi glede izbora primernih vrst za RČO. V začetku so se zgledovali po naravnih plavajočih mokriščih, na katerih so rastle obrežne rastline, ki so imele velik prirastek biomase in dobro razvit koreninski sistem. Kania (2010) omenja, da je bila opazna razlika v rasti istih vrst rastlin na brežinah in v RČO. Na slednjih so bile rastline bolj zdrave in številčnejše. Po predvidevanjih Kanie (2010) so bili razlogi za to v stabilnejših pogojih za rast in manjši konkurenci med samimi rastlinami.

Pogoji za rast v RČO so podobni hidroponskemu gojenju rastlin. To pomeni, da so korenine rastlin stalno v vodi, od koder črpajo hranilne snovi. Na ta način se rastlini omogočajo stabilnejši pogoji med njeno rastjo. Drugače je pri obrežnih rastlinah, ki se spopadajo z različnim nivojem vode. Kadar je vode preveč, ta preplavi nadzemne dele rastline in ovira procese fotosinteze itd. Ko je vode premalo, rastlina ne more črpati vode in hranil ter posledično je ovirana njena rast.

V poletnih mesecih so na območju Slovenije pogosta sušna obdobja. Temperature so razmeroma visoke in negativno vplivajo na rastline, še posebno na obrežne rastline, ki običajno trpijo zaradi pomanjkanja vode v sušnem obdobju. RČO imajo v tem primeru prednost, ker imajo njihove rastline zadosti vode čez vse leto. Hkrati voda v sušnem obdobju hladi rastlino in ozračje v okolici, kar omogoča rastlini boljše pogoje za rast kot na obrežju. Kania (2010) omenja, da so rastline v RČO zelo dobro uspevale tudi v sušnem obdobju, ko so iste vrste na brežini zaradi pomanjkanja vode začele odmirati.

Konkurenca, ki je prisotna med rastlinami na obrežju, je običajno nenadzorovana za razliko od RČO, saj sami določimo vrsto oz. več vrst, ki bodo rastle na otoku. Tukaj Kania (2010) opozarja, da obstaja možnost prehajanja drugih vrst na naš RČO. Temu se zelo težko izognemo. Najboljša rešitev je izbira takšnih vrst, ki so v okolju prevladujoče in izpodrivajo ostale vrste. Hkrati Kania (2010) ponovno opozarja, da lahko tudi naša vrsta zaide na nabrežje in tam začne izpodrivati že prisotne vrste.

Danes v RČO gojijo ogromno število rastlin. Vrste, ki so znane po učinkovitem čiščenju vode, imajo običajno prednost pri uporabi v RČO. Kania (2010) je v svojih raziskavah z različnimi vrstami ugotovil, da praktično ni omejitev pri izbiri rastlin. V svojih RČO, ki so namenjeni za okrasne ribnike, uporablja različne eksotične vrste, kot so npr. kaktusi, ingver, maline itd. Uspešni so bili tudi poizkusi gojenja zelenjave za prehranske namene, ampak to ni nič novega, saj so to počela že starodavna ljudstva (poglavje 4) (Hammond idr., 2008).

9.1 Zagotavljanje zadostnih koncentracij kisika in hranil za doseganje uspešne razrasti rastlin v RČO

Razvoj koreninskega dela rastline je običajno največji v aerobnih razmerah, medtem ko lahko zmanjšanje tovrstnih pogojev bistveno zavira rast korenin. Študije in stališča raziskovalcev na tem področju kažejo, da razmere postajajo anaerobne pod plavajočim otokom zlasti, kadar pride do večje organske obremenitve na vodno telo (Headley in Tanner, 2006).

Koncentracijo raztopljenega kisika v vodi je mogoče regulirati. Da se izognemo pomanjkanju kisika, velja v praksi običajno pravilo, da ne prekrijemo več kot polovice vodnega telesa z RČO. Druga možnost je s pomočjo fotosinteze alg. Dodatno je mogoče občutno povečati koncentracijo raztopljenega kisika s tehnologijo vpihovanja. Pri tej tehnologiji dovajamo kisik iz ozračja in ga sproščamo v vodno telo na njegovo dno. Ko se kisik dviga, le-ta prehaja v koreninski sistem in omogoča aerobne pogoje (Swarenzski, 1991).

Vpliv koncentracije hranil ima manj neposreden vpliv na razvoj korenin. Po eni strani zadostna količina hranil spodbuja dobro rast rastlin in njihovo vitalnost. Po drugi strani pa rastline v revnih razmerah pogosto razvijejo bolj obsežne korenine, da bi povečale površino in s tem vnos hranil. Ravno to je lahko tudi naš cilj, saj vemo, da lahko povečana površina koreninskega sistema veže na sebe več hranil in finih delcev. Najbolj pomembno pa je to, da se na večji površini korenin lahko zadržuje več mikroorganizmov, za katere vemo, da so zelo pomembni pri čiščenju vode (Headley in Tanner, 2006).

9.2 Način začetne vzpostavitve rasti rastline v nosilnem mediju

Nosilni medij je plavajoče ogrodje, v katerem rastline rastejo oz. plavajo na vodi. Slednjega ne smemo zamenjati za substrat, ker ju običajno uporabljamo skupaj. Substrat vsebuje organska in anorganska hranila, ki omogočajo rastlini rast (slika 18).



Slika 18: Rast rastline (šiš) v nosilnem mediju, ki vsebuje substrat, (Vir: Sierra, 2011)

Izbor ustreznega medija za rast je še posebej pomemben v začetni fazi rasti rastline. Glede na fizikalne lastnosti rastnega medija je pomembno ravnotežje razpoložljive vode in zračnosti. To je bistvenega pomena za vzpostavitev zdravih rastlin. Materiali, ki jih uporabljamo, morajo imeti ustrezne majhne pore, ki dajejo prostor rastlini za vstop v vodo. Hkrati pa morajo biti pore dovolj velike za izmenjavo zraka v mediju, da ohranimo aerobne pogoje. Upoštevati je potrebno tudi navlažen del rastline in plovno sposobnost medija. Če razmerje ni pravilno, se lahko zgodi, da rastline niso v optimalnem položaju za rast ali celo, da otok potone (Headley in Tanner, 2006).

Ustrezne lastnosti za rast, ki jih je potrebno upoštevati pri nosilnem mediju, so: poroznost, zadrževanje vode, kapilarnost in v določenih primerih tudi substrat s hranilno vrednostjo. Pri dodajanju hranil v medij je potrebno paziti, da ne izgubimo hranil v vodno telo, ker s tem dodatno povečamo pogoje za evτροφikacijo (Headley in Tanner, 2006).

Uporaba anorganskih hranil lahko povzroči kopičenje soli, ki so škodljive za rast mnogih sladkovodnih rastlin. Materiali, uporabljeni za rastni medij, morajo zagotavljati pH vrednost nekje med 5,0 in 6,5. Vrednost pH substrata lahko preverimo že pred uporabo. Uravnavamo pa ga lahko z dodajanjem apnenca v medij (Kadlec in Wallace, 2009).

Dva izmed najbolj pogosto uporabljenih materialov za nosilni medij sta bila nekoč kokos in šota. Vendar je problem, ker na našem območju ni prvega. Pri šoti pa so drugačne težave, saj pri procesu razkrajanja postaja medij kisel. Odstranjevanje šote v šotiščih je tudi okoljski problem, ker s tem uničujemo kompleksen naravni ekosistem. Iz tega razloga so šotišča pri nas zaščitena. Zaradi takšnih in drugačnih problemov se je razvoj usmeril v umetne medije, na katerih rastejo rastline z majhno lastno plovnostjo. Nosilni mediji imajo majhne prostore, kjer je dodan organski substrat, iz katerega rastline v začetni fazi rasti črpajo potrebna hranila (Kadlec in Wallace, 2009).

Kadar je v vodi dovolj hranilnih snovi, je mogoče rastline posaditi direktno v medij brez dodatnih hranil. V teh primerih se uporablja predvsem matrika iz poliestra (slika 19). Sadike se posadi neposredno v za to narejene odprtine. Prednost v tem primeru je ta, da začne rastlina takoj črpati hranilne snovi iz vodnega telesa (Duncan, 2009).



Slika 19: Sajenje sadik direktno v nosilni medij iz poliestra brez substrata, (Vir: Medmrežje 9)

9.3 Metode sajenja

Obstajajo tri glavne tehnike, s katerimi lahko začnemo gojiti rastline v plavajočih rastlinskih otokih (Headley in Tanner, 2006):

- neposredno sejanje semen
- sajenje potaknjencev
- uporaba sadik

Neposredno sejanje se uporablja, če želimo hitro razmnožiti rastlino na velikih področjih. Za to pa morajo biti idealni pogoji. Nosilni medij mora biti primeren za kaljenje semen. Zagotavljati mora pogoje za rast rastlin. Prepuščati mora hranljive snovi do semen in jih hkrati ne sme zadrževati pod vodo, če semena niso prilagojena temu. Dopusčati mora, da se rastlina razrašča po njenih najboljših zmožnostih. Hkrati mora biti medij takšen, da zadržuje seme na mestu v nosilcu, ko se dogajajo spremembe v okolju (povišanje vodne gladine, ob padavinah, močnejši tok vode) (Headley in Tanner, 2006).

Ta sistem sajenja je najcenejši od naštetih treh možnosti, vendar ima določene slabosti. Kaljivost semen skoraj nikoli ni stoo odstotna. Lahko se zgodi, da vzklije manj semen, kot smo pričakovali, in med temi jih nekaj odmre v začetni fazi rasti. V takšnem primeru bi imeli premalo rastlin za porast RČO. Poleg tega potrebujejo rastline, ki jih običajno uporabljamo za RČO, približno dve leti za popolno razrast. Torej v tem času ne moremo pričakovati, da bo rastlina črpala s takšno intenziteto kot pri popolni razrasti. Nekatere domače vrste vodnih rastlin nerade hitro kalijo iz semena ali pa je semena primernih vrst težko najti. Med drugim lahko ob izpostavljenosti v naravnem okolju pride do neželenega razraščanja plevela pred kaljenjem semen (Headley in Tanner, 2006).

Sajenje potaknjencev, zlasti korenike, je običajen pristop k vzpostavitvi rasti rastlin pri rogozih in šaših. Njihovo razmnoževanje je cenejše od nakupa sadik, ampak se tudi tukaj pojavi problem, ker vseh vrst ni mogoče razmnoževati na ta način (FII, 2011).

V večini primerov je sajenje sadik najboljše. Čeprav je zelo verjetno, da bo ta pristop najdražji na kratek rok. S sajenjem sadik zagotovimo največ možnosti za uspešno rast rastline in to že v prvi sezoni. Poleg tega rastlina v najkrajšem možnem času začne najhitreje črpati največje možne količine hranil iz vodnega telesa, gledano s stališča tehnik sajenja. Danes je tudi mnogo specializiranih trgovin z vodnimi rastlinami, tako da ni več težav z dobavo. Ena od možnosti za optimizacijo pri zagotavljanju rastlin za umeščanje na plavajoče otoke je ta, da predhodno gojimo sadike, kakorkoli je to mogoče. Pri tem moramo upoštevati nadaljnje težave, ki se lahko pojavijo. Potrebno je skrbeti za nasad in kasneje urediti prevoz, ki pa je lahko nevaren za bolj krhke vrste (Duncan, 2009).

9.4 Čas sajenja

Sajenje na območju Slovenije je najbolje izvajati spomladi ali na začetku poletja. Pri vrstah, ki so prezimne, pa do vključno septembra, ker imajo tako dovolj časa za rast pred zimo in s tem posledično prilagoditev. V tem obdobju je rast rastlin na splošno počasna oz. omejena. Pri času sajenja moramo upoštevati tudi živali, ki lahko zaradi pomanjkanja hrane v določenem obdobju uničijo sadike ali pojedo semena (Tanner idr., 2011).

9.5 Zaščita pred škodljivci

Uspešno rast rastlin na plavajočih otokih lahko ovira nenadzorovana rast plevela. Problem se navadno pojavi, kjer plavajoči otok ni potopljen v vodo. Zato je potrebna posebna skrb na začetku vzpostavitve rasti rastlin. V naprej je dobro urediti plavajoči otok prilagojen tako, da ga lahko premikamo. Če ga je potrebno očistiti plevela in drugih invazivnih vrst, je najbolje, da ga prestavimo v plitvejšo vodo, od koder povečamo dostopnost. Veliki plavajoči otoki so iz tega razloga zgrajeni na tak način, da podpirajo težo odraslega človeka (Headley in Tanner, 2006).

Vodne ptice, zlasti race lahko povzročijo resne poškodbe na novih nasadih. Še posebej, če so na območju prisotne v večjem številu. Dokler se sadike ne zakoreninijo, jih živali zlahka izvlečejo iz medija. V tem primeru lahko večja populacija v nekaj dneh naredi nepopravljivo škodo na RČO, če ta ni zavarovan. Iz prakse je znano, da so živali lahko pomembna ovira pri vzpostavitvi RČO, ker so idealno zatočišče za številne vodne ptice, ki lahko tam gnezdiijo ali se samo prehranjujejo (Headley in Tanner, 2006).

10 Nosilni mediji RČO

Do sedaj je bila za izdelavo RČO uporabljena široka paleta materialov. Pri izbiri metod in materialov je smotno upoštevati naslednje dejavnike:

- vzdržljivost
- funkcionalnost
- okoljske normative
- težo
- plovnost
- pritrditev (sidranje)
- cenovno primernost

Pri RČO je značilno to, da je potrebno umetno zagotoviti plovnost oz. splav, ki podpira rast rastlin. Podjetje Floating Islands International na primer uporablja peno iz polistirena, ki jo vbrizga v matrico poliestra, da zagotovi želeno raven plovnosti. Druge možne aplikacije so z uporabo cevi PVC ali PP in listi polistirena; bambus ali napihljive vinil blazine (Headley in Tanner, 2006). Na splošno pa obstajata dva glavna postopka, ki sta bila sprejeta v praksi:

- Izdelava plavajočega okvirja, ki podpira neke vrste mrežo, na kateri rastline rastejo.
- Uporaba materiala, ki služi samo za podporo rasti rastline.

Tretji pristop, ki zagotavlja plovnost, je možen z uporabo plavajočih rastlin. Vključuje lahko majhne strukture plavajočih rastlin, ki imajo afiniteto za ustvarjanje plovnih preprog. Znano je, da se nekatere vrste, kot je npr. rogoz, same razrastejo in lebdi na vodni površini (Headley in Tanner, 2006).

Običajno je najpogostejši pristop ta, ki umetno zagotavlja plovnost. Sestavljen je iz takšnega materiala, da omogoča prepustnost rastlinam in jim daje oporo za rast. V mnogih primerih je plavajoči okvir sestavljen iz združenih PVC ali drugih plastičnih cevi. Ta je lahko sklenjen tako, da tvori kvadrat ali pravokotni okvir ali pa se uporablja posamezno v linearnih odsekih, ki so priključeni na drugačen način, da tvorijo plavajoči okvir. Obstaja nekaj poročil, kjer so bili splavi narejeni iz železa, lesenih okvirjev, stiropora in zaprtih plastičnih rezervoarjev. Pri zagotavljanju plovnosti se običajno računa nosilnost oz. lebdenje na 1m² plovnega materiala (Headley in Tanner, 2006).

Spodaj (slika 20) je eden izmed prvih splavov iz devetdesetih let prejšnjega stoletja. Enakostranični trikotnik s stranico malo daljšo od dveh metrov je omogočal povezavo v različnih oblikah in velikostih. Ti splavi so bili zgrajeni iz polietilena, poliuretana in neoprena. Danes podjetje Bestmann Green Systems proizvaja različne vrste plavajočih otokov, hkrati pa ohranja to začetno linijo, vendar iz drugih materialov (Hoeger v Headley in Tanner, 2006).



Slika 20: Pionirski RČO podjetja Bestmann Green Systems, (Vir: Headley in Tanner, 2006)

Nosilni medij (slika 21 A) za RČO je proizvod nemškega proizvajalca Bestmann Green System. Uporablja se za čiščenje odpadne vode (B). Pod točko C se vidi, kako je razvit koreninski sistem (Headley in Tanner, 2006). Za tovrstne nosilne medije se uporablja material polivinil, ki zagotavlja plovnost z žepki, ki so napolnjeni z zrakom.



Slika 21: Nosilni medij iz polivinila v čistilnem bazenu in njegova prerast s koreninami, (Vir: Headley in Tanner, 2006)

V Indiji so razvili poceni način konstrukcije za RČO. Uporabljajo lokalno razpoložljive vire. Plavajoči splavi so izdelani z uporabo bambusa, ki ima zaradi svojih lastnosti plovno sposobnost (slika 22). Steblo bambusa namreč vsebuje zaprte komore z zrakom. Čeprav se ti sistemi razgradijo po nekaj letih, je možno, da v tem času rastline razvijejo lastno plovnost. Potrebno je izbrati ustrezne rastlinske vrste (Headley in Tanner, 2006; Smith in Kalin 2000).



Slika 22: RČO, ki uporabljajo bambus kot glavni material za nosilec, (Vir: Headley in Tanner, 2006)

Poleg ustaljenih sistemov so bili razviti še številni drugi, ki odstopajo od konvencionalnega pristopa za izgradnjo plavajočih splavov, ki podpirajo substrat za sajenje. Ti novi pristopi vključujejo plovno matriko, v katero je posejana vegetacija. Navadno so v prodaji kosi v različnih velikostih, ki vključujejo vse v enem.

Matrika lahko vsebuje tudi različne medije za rast rastlin in druge uporabne spojine, ki spodbujajo odstranjevanje onesnaženja. To so lahko npr. zeoliti, ki imajo učinek adsorpcije, in materiali, ki so sposobni absorbirati fosfor (Headley in Tanner, 2006).

Za matriko uporabljajo tudi reciklirane plastenke, ki imajo po obdelavi podobno zgradbo kot običajne kuhinjske gobice. Dodatek naravnega pigmenta rjave barve daje naravni videz. Ta vlaknasta struktura je fleksibilna in ima majhno gostoto. Posledica je velika površina in visoka poroznost (>90%). Plavajoče otoke s takšnimi mediji uporabljajo za okrasne ribnike, zagotavljanje boljšega življenjskega prostora za ptice in ribe. Seveda pa je mogoče z njimi tudi čistiti evτροφna vodna telesa. Uspešni so bili tudi testi pri čiščenju meteornih voda (Headley in Tanner, 2006).

Floating Islands International je razvil sistem plavajočih otokov, sestavljenih iz grobe matrike vlaken poliestra. Z vbrizgavanjem polistirena so dosegli plovnost (slika 23). To podjetje je danes eno najuspešnejših pri umeščanju RČO v naravna okolja. Njegovi izdelki imajo več različnih namenov – zmanjševanje evτροφikacije, nudenje življenjskega prostora v prvi vrsti pticam in tudi drugim živalskim vrstam, čiščenje odpadnih in meteornih voda ter na koncu še kot estetski dodatki v raznih vodnih telesih. Podjetje je prisotno na več kontinentih in deluje kot lastnik licence, ki omogoča drugim podjetjem, da na svojem tržišču z njihovo pomočjo umeščajo RČO v različne naravne in umetne sisteme (Headley in Tanner, 2006).



Slika 23: Primer nosilnega medija iz poliestra (nosilni medij) in polistirena (omogoča plovnost), (Vir: Medmrežje 10)

Okvirne cene na tržišču se gibljejo med 30–200 evrov za 1m² nosilnega medija z rastlinami. Cene so zelo različne, ker je veliko dejavnikov, ki določajo stroške same postavitve oz. vzpostavitve v okolje. Vedno več uporabljajo reciklirane materiale, predvsem plastiko. Samo recikliranje odsluženih RČO v njihovi celoti še ni bilo raziskano. Uspešna je bila le uporaba rastlinske biomase, ki so jo uporabili kot vhodno surovino za bioplinarne (Duncan T., 2009).

V nadaljevanju smo izdelali preglednico v kateri smo opredelili nosilne materiale za RČO glede na obstojnost, plovnost, možnost recikliranja ter dosegljivost in ceno na trgu (Preglednica 2). S pomočjo prikazanih podatkov smo v nadaljevanju opredelili najprimernejši nosilni material, ki bi ga lahko uporabili v RČO v naših razmerah.

Preglednica 2: Ugotavljanje primernosti materialov za nosilne medije v RČO

Vrsta nosilnega materiala ➤	Bambus z mrežo	Polivinil blazine	Kovinska konstrukcija z mrežo	Poliester polnjen s polistirenom	Lesena konstrukcija s polistirenom in mrežo
Obstojnost	+	++	+++	+++	+++
Plovnost (podpira težo človeka)	Ne	Ne	Da	Da	Da/Ne
Recikliranje	+++	++	++	+	++
Dosegljivost	+	+++	+++	+++	++
Cena	+++	++	++	+	+++

Opombe:

- **Obstojnost:** +++ material je obstojen in ima večletno garancijo (do 10 let), ++ material je primeren za več let uporabe, vendar se z leti izrablja, + v našem okolju je material primeren za eno sezono.
- **Plovnost (podpira težo človeka):** materiali, ki podpirajo težo človeka, imajo prednosti pri nadaljnji uporabi (sajenje, kontrola, žetev itd.).
- **Recikliranje:** +++ naraven material, ki ga je možno kompostirati ali sežgati, ++ materiale je potrebno po končani uporabi odstraniti iz okolja, ker vsebujejo nerazgradljive snovi in jih ločeno reciklirati, + enako kot predhodni opis, le da je reciklaža otežena, ker sta združeni v nosilnem mediju dve vrsti plastike (PES in PS), ki se težko ločita.
- **Dosegljivost:** V Sloveniji trenutno ni ponudnikov nosilnih medijev za RČO (25. 2. 2013). +++ material je možno kupiti oz. naročiti v tujini, ++ nabava materiala je možna v Sloveniji, vendar moramo samostojno izdelati nosilni medij, + material je potrebno naročiti iz tujine (možno preko slovenskega posrednika) in samostojno izdelati nosilni medij.
- **Cena:** +++ nizka cena materiala in stroški postavitve (pri bambusu je potrebno samostojno izdelati nosilni medij), ++ cena za 1m² se giblje med 30 in 140 evri, odvisno od ponudnika, načina dostave in vzpostavitve v vodno telo (ponudnik, samostojno), + cena za 1m² se giblje od 50 do 200 evrov in več.

Najprimernejši materiali v našem okolju so polivinil blazine, kovinska konstrukcija z mrežo in lesena konstrukcija s polistirenom in mrežo. Izbira med temi tremi bi bila odvisna od velikosti RČO in razpoložljivih finančnih sredstev. Poliester, polnjen s polistirenom bi bil primeren za manjša vodna telesa (ribnik, manjše jezero), ker ima visoko ceno in se ga da uvoziti samo iz ZDA. Nosilni mediji v prodaji so običajno 10-krat dražji od rastlin, ki rastejo na njihovi površini, zato bi bilo smiselno premisliti o samostojni izdelavi, ker predstavljajo glavni delež stroškov celotne aplikacije.

11 Kaj je potrebno upoštevati pri načrtovanju RČO

11.1 Delež pokrite vodne površine

Pri uporabi RČO v vodnih telesih je potrebno upoštevati delež pokrite vodne površine, ki jo bo ta pokrival. Ker z njihovo uporabo spreminjamo pogoje v vodnem ekosistemu, moramo predvideti mogoče posledice. Običajno se spreminja količina raztopljenega kisika v vodi. Vpliv imajo tudi na sedimentacijo, saj njihov koreninski sistem veže na sebe prosto plavajoče delce. V primeru, da otok popolnoma ali v veliki večini prekriva gladino vode, se bodo pod njim ustvarili anaerobni pogoji. V obratnem primeru bo prišlo do razširjanja alg, ki s fotosintezo tvorijo kisik (Headley in Tanner, 2006). V 6. poglavju je opisan sistem dovajanja atmosferskega zraka (kisika), ki ga je možno uporabiti za zmanjšanje anaerobnih pogojev.

11.2 Regulacija RČO glede na višino vodne gladine

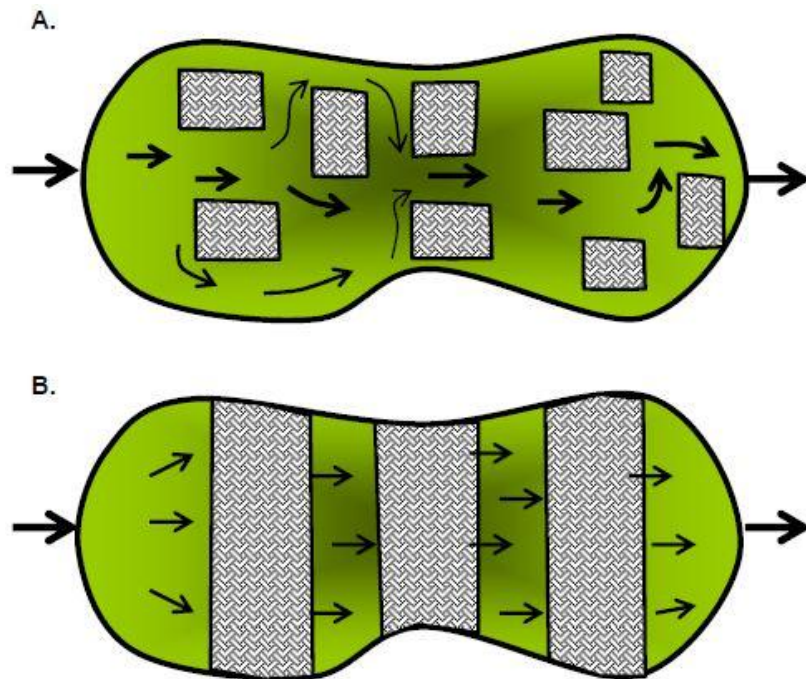
Pred namestitvijo RČO je potrebno dobro poznati nihanja gladine vodnega telesa. Umetna jezera imajo urejeno regulacijo višine vode za razliko od naravnih. Vseeno pride do nihanj pri obojih preko celega leta. Dobra lastnost RČO je ta, da so se sposobni prilagajati nivoju vodne gladine, ker plavajo na vodi. Da ne pride do zapletov, ko se poviša nivo vode, je potrebno imeti pravilno urejeno pritrditev. Sistem je enak prilagajanju ladij na plimovanje, ko so v privezu ali zasidrane (Headley in Tanner, 2006).

Upoštevati moramo tudi globino vode, ker ne želimo, da bi se koreninski sistem zarastel v dno. S tem bi zmanjšali prečrpavanje hranil neposredno iz vode v rastlino. Poleg tega otok z rastlinami, pritrjenimi na dno, ob morebitnem dvigu gladine ne bi mogel lebdeti na vodni gladini, ker bi mu bilo to preprečeno z zakoreninjenjem v dno. V tem primeru bi se lahko zgodilo, da bi otok potonil. Ob uporabi rastlinskih vrst, ki niso prilagojene na daljše zadrževanje v vodi, bi te odmrle (Headley in Tanner, 2006).

11.3 Vpliv RČO na vodni tok

Zavedati se moramo, da z uporabo rastlinskih otokov vplivamo na vodni tok (slika 24). Posebej se to pozna v plitvinah, kjer je koreninski sistem razširjen po večini vodne globine. Načeloma korenine ovirajo vodni tok, zato lahko to uporabimo v različne namene.

Z RČO lahko usmerimo tok (slika 24, shema A) ali upočasnimo (slika 24, shema B). Z občutno prevelikim upočasnjevanjem vode je mogoče doseči negativni učinek, saj se povečajo možnosti za nastanek mrtvih območij z anaerobnimi razmerami. Upoštevati je potrebno tudi potrebe živali, ki jim lahko z nepravilno postavitvijo omejimo gibanje, npr. labodom, ki potrebujejo dovolj proste površine (gladine) za vzlet (Headley in Tanner, 2006).



Slika 24: Možni učinki regulacije vodnega toka s pomočjo RČO, (Vir: Headley in Tanner, 2006)

11.4 Privez RČO

Nezavarovani plavajoči otoki, ki niso privezani ali zasidrani, se bodo premikali po vodni površini zaradi vetrov, vodnih tokov in valovanja vode. S časom bi se v takšnem primeru nakopičili v zavetnih delih vodnih teles. Zato je potrebno preučiti in prilagoditi tehnike priveza razmeram. Običajno se uporabljajo sintetične vrvi ali verige, ki so pritrjene na treh ali štirih vogalih otoka. Materiali in naprave morajo biti močne in dovolj vzdržljive, da vzdržijo morebitne skrajnosti, kot so valovi, veter, močni tokovi in sprememba vodne globine. Skratka kljubovati morajo spremembam v vodnih telesih in vremenskim razmeram. Kot je že bilo rečeno v prejšnjem poglavju, je potrebno upoštevati spremembo vodne gladine in temu prilagoditi privez (Headley in Tanner, 2006).

Plavajoče otoke lahko po želji premikamo in združimo. S tega stališča so primerni za jezera, ki so običajno brez vodnih aktivnosti (npr. športna tekmovanja). Kadar pa se izvajajo aktivnosti, po želji plavajoče otoke premaknemo oz. umaknemo (Headley in Tanner, 2006).

11.5 Zahteve za upravljanje

Ob predpostavki, da upoštevamo napotke za načrtovanje, ki so opisani v predhodnih poglavjih, RČO zahtevajo razmeroma minimalno sprotno vzdrževanje. Odstranjevanje nadzemne biomase je relativno enostavno ob predpostavki, da je plovna sposobnost otokov zadostna za težo posameznega človeka. V primeru, da je potrebno odstraniti tudi koreninski sistem, se to lahko izvede tako, da pomaknemo otok k obali, kjer je izvedba opravila preprostejša kot v globoki vodi (Headley in Tanner, 2006).

Omenjena je že bila problematika vodnih ptic, ki se lahko reši na več načinov. Z uporabo rastlinskih vrst, ki odvrčajo ptice, namestijo se lahko naprave, ki opravljajo to delo, ali pa se zaščiti otok z mrežo oz. ograjo (slika 25) (Kania, 2010).



Slika 25: RČO, zaščiten pred pticami, (Vir: Land and Water)

12 Habitatna vloga RČO in vpliv na neposredno okolje

RČO lahko poleg čistilne funkcije opravlja tudi vrsto drugih pomembnih funkcij v ekosistemu in zagotavlja habitat za številne rastlinske in živalske vrste. V tem primeru čistilna funkcija ni več prvenstvena funkcija RČO, temveč postane element povečanja pestrosti v danem okolju oziroma nov habitat za naselitev organizmov (Trisal in Manihar, 2004).

Zagotavljanje možnosti za ohranitev vrst je danes s pomočjo RČO realnost in lahko bi rekli, da tudi nuja. Z naraščanjem človeške populacije so živalske vrste prisiljene zapustiti svoje naravne habitate. Z izgradnjo RČO, ki je zelo enostaven in lep primer prevzet iz narave, omogočimo vrstam, da zavzamejo nov življenjski prostor. Ta nov življenjski prostor jim zaradi same osnove, ki ga nudi RČO, zagotavlja boljšo možnost za obstanek. Vse več vodnih teles, predvsem jezer je preurejenih človeškim potrebam. Tukaj so mišljene predvsem urejene rekreativne poti ob obalah, ki povzročajo motnjo v okolju. Glede na to, da se tovrstnim težavam skorajda ne moremo izogniti, je uporaba plavajočih otokov ena izmed najboljših rešitev za številne vrste (Kania B, 2010).

V Sloveniji imamo več kot osemdeset jezer in akumulacij, ki so ekološko in gospodarsko zelo zanimive, ker nudijo možnost razvoja različnih panog, kot so turizem, energetika, kmetijstvo in ne nazadnje so jezera tudi strateškega pomena kot potencialni vir pite vode. V osnovi so imela akumulacijska jezera predvideno namembnost, vendar je v veliko primerih ne upoštevamo več. Žal je večina naših akumulacij v slabem stanju in brez opredeljene namembnosti ali pa jih uporabljajo le enonamensko.

Zato so temu prilagojene tudi živalske in rastlinske vrste, ki marsikje živijo v neprimernem okolju (Vrhovšek in Šajn - Slak, 1997).

Kakovost jezerske vode povsod po svetu je skrb vzbujajoča. Zaradi slabega pretoka so stoječe vode veliko bolj degradirane in posledice težko popravljive. RČO so ena redkih možnosti, ki nam dajejo priložnost, da z relativno nizkimi sredstvi izboljšamo razmere (Headley in Tanner, 2006).

12.1 Živali in RČO

Število živalskih vrst, ki jih lahko povežemo z RČO je ogromna. Dosedanje raziskave in izkušnje iz prakse nam dajejo veliko upanja za njihovo uporabo. Kljub temu da so na prvi pogled plavajoči otoki nekaj neobičajnega, je prav neverjetno, koliko živali privabijo. Površje otoka daje prostor rastlinam, ki privabijo žuželke. Rastline in žuželke skupaj privabijo ptice. Pod površjem med koreninami se v senčnih predelih zadržujejo ribe, kjer se med hranjenjem skrivajo v zavetju pred plenilci (Kadlec in Wallace, 2009). Vseeno je težko združiti habitatno vlogo in odstranjevanje hranil iz vode s pomočjo RČO. Običajno se je potrebno odločiti za eno namembnost RČO, ki jo brez težav določimo sami.

Ptice

Ptice običajno potrebujejo velik življenjski prostor. Mnoge izmed njih so ogrožene zaradi krčenja in spreminjanja njihovega okolja. So plašne živali in nekatere se težko prilagodijo novim razmeram. Plavajoči otoki zagotavljajo pticam varna območja za gnezdenje, kjer to

naravno ni mogoče. S tem problemom se sooča mnogo ogroženih vrst. Z RČO, oziroma v tem primeru le plavajočimi rastlinskimi otoki, je mogoče zagotoviti boljše pogoje pticam, predvsem za gnezdenje in prehranjevanje. Poleg tega je tovrstna oblika habitata veliko manj stresna za vrste, ki se neuspešno prilagajajo urbanemu okolju (Kadlec in Wallace, 2009).

Do sedaj sta bili s pomočjo RČO uspešno izvedeni dve večji aplikaciji umetnih habitatov za kaspjsko čigro (*Hydroprogne caspia*) in ameriško vrsto žerjavovca (*Rallus longirostris*). V teh dveh primerih je bil cilj zagotoviti habitat pticam, ki so izgubile prvovrstne habitate na poti selitve. Drugače pa so v večini izvedb dosedanjih plavajočih otokov habitati za ptice sekundarnega pomena. Vseeno se je v številnih primernih razvil veliko bolj pester spekter obiskovanja plavajočih otokov s strani ptic, kot je bilo sprva pričakovano (Kadlec in Wallace, 2009).

Ribe

Z uporabo RČO je mogoče občutno izboljšati življenjske pogoje ribam. Ravno te so eden od pokazateljev čistosti oz. onesnaženosti vodnega telesa. To lahko prepoznamo po njihovi vrstni sestavi in številčnosti, ki je prisotna v jezeru. Za ribe je posebno pomembna količina razpoložljivega kisika v vodi. Problem, ki lahko nastane pri uporabi RČO, je ta, da se pod samim otokom lahko razvijejo anaerobni pogoji, ki niso primerni za ribe. To se zgodi, kadar je prekrit večinski delež vodnega telesa z RČO. Ker je mogoče nadzirati prekomerno rast RČO, ni velike nevarnosti, da bi z uporabo RČO zmanjšali kakovost življenjskih pogojev za ribe. Kadar je dovolj odprte vodne površine za prehod zraka v vodo ob otoku, se ustvarijo ravno pravšnji pogoji za ribe in celoten ekosistem (Kadlec in Wallace, 2009).

S plavajočimi otoki vplivamo tudi na temperaturo vode (Tanner, 2011). Ker so nihanja preko leta na območju Slovenije razmeroma velika, lahko to negativno vpliva na ribe. Predvsem poleti je temperatura vode pri površju občutno višja kot v globini. To predstavlja nevarnost za ribe, ki potrebujejo večjo količino raztopljenega kisika v vodi, ki se nahaja bližje površini. Problem nastane, ker nekatere vrste rib niso zmožne prenašati tako visokih temperatur, ki so ob tem letnem času pri površju vodne gladine (Skubic J., 2006).

Zato je ribam pod plavajočim otokom omogočen življenjski prostor, kjer se zadržujejo v zavetju pred številnimi plenilci (slika 26). Še posebej ugoden vpliv imajo plavajoči otoki na razmnoževalni cikel rib. RČO so primerni za jezera, ki so namenjena športnemu ribolovu (Kadlec in Wallace 2009).



Slika 26: Zbiranje rib pred plenilci pod RČO, (Vir: Canadia, 2010)

Ostale živali

Pestrost obiskovalcev RČO (slika 27) se ne konča pri ribah in pticah. Kot je bilo omenjeno, so prisotne tudi žuželke. Vodne kače so med plazilci najpogostejši obiskovalci plavajočih otokov. V številnih primerih je bilo mogoče zaslediti celo manjše sesalce, kot je npr. pižmovka in drugi glodavci (Kadlec in Wallace, 2009).



Slika 27: Pestrost obiskovalcev RČO nad gladino in pod njo, (Vir: Green Living Guy, 2011)

12. 2 Odnos rastlin na otoku z rastlinami v neposrednem okolju

Pri umeščanju RČO v neko okolje se moramo zavedati, da običajno posegamo v že vzpostavljen ekosistem. Ker so ti naravni ali umetni sistemi že dlje časa v delovanju, so se po svojih zmožnostih temu tudi prilagodili. Dobro je poznati vrste, ki so že od prej prisotne na tem območju. S takšnim pristopom se lahko izognemo morebitnim negativnim posledicam umeščanja RČO. Raziskave so pokazale, da je po svetu veliko mokrišč, ki propadajo zaradi invazivnih rastlinskih vrst. To so rastline, ki so prišle na območje v bližnji preteklosti. Človek jih je prinašal nehote ali namenoma zaradi njihovih lastnosti. V mnogih primerih se priseljene rastline med samoniklimi rastlinami ne uveljavijo in je zato njihov obstoj kratkotrajen. Lahko pa se zgodi, da se priseljene rastline uveljavijo in tako zmanjšajo delež samoniklih rastlin. Ker z RČO spreminjamo razmere v okolju, obstaja možnost, da s tem omogočimo pogoje za razrast tujih vrst, ki drugače ne bi preživele v tem okolju. Lahko se zgodi celo to, da se ta vrsta s časom prilagodi na okolje in zavzame večje območje kot na začetku, ko je uspevala le na RČO (Hammond idr., 2008).

Druga nevarnost, na katero moramo biti pozorni, je ta, da lahko najde domača vrsta pot na RČO in tam spremeni ravnovesje med rastlinami. Trst je recimo takšna vrsta, ki prevladuje v svojem okolju in hitro izpodrine druge vrste. Rast lahko ovira tudi nekontrolirana rast plevela. Še posebej je to nevarno v začetku rasti. Posledice so lahko takšne, da je RČO neenakomerno poraščen, kar vodi v zmanjšanje njegove čistilne funkcije. Iz vseh teh razlogov se priporoča uporaba avtohtonih vrst, ki so dobro prilagojene na neposredno okolje in hkrati ne ogrožajo drugih vrst (Headley in Tanner, 2006). S takšnim pristopom posnemamo naravo, ki nam kaže rešitve. Mi jih moramo le videti in uporabiti (slika 28).



Slika 28: Visitorko jezero na višini 1755m s svojim naravnim RČO (Črna gora), (Vir: Panoramio, 2010)

13 Razprava

13.1 Rastlinske vrste, primerne za uporabo v RČO v Sloveniji

Kot je že bilo rečeno v poglavju o rastlinskih vrstah, se na področju fitoremediacije uporabljajo določeni kriteriji za izbor rastlin. Najpomembneje je, da rastline niso nevarne za ožje in širše okolje, v katerem rastejo. Sledijo kriteriji, ki ločujejo vrste po primernosti za določeno aplikacijo. V tem primeru so bile te vrste prilagojene na vodno okolje, kjer lahko rastejo s koreninami potopljenimi v vodi.

Na podlagi izbranih kriterijev so bile izbrane tri vrste, ki so primerne za umeščanje v RČO. Dve sta primerni kot samostojni vrsti v RČO (navadni trst, vetiver). Tretja vrsta, jezerski biček, je tudi primerna kot samostojna vrsta, vendar je veliko bolje, da jo uporabimo s pisano čužko (pisanko), ker dobro uspevata skupaj. Vse te tri oz. štiri rastline imajo lastnosti, ki so potrebne za naš namen (odstranjevanje hranil iz vodnega telesa). Predlog izbora je v našem primeru podan na teoretični osnovi. Dejansko primernost vrst pa bi bilo potrebno preizkusiti tudi v praksi.

Navadni trst je avtohtona vrsta, ki se hitro razrašča in tvori vsako leto visoko produkcijo biomase, torej črpa veliko hranil iz vode. Ima dobro razvit koreninski sistem, v katerem se razvijejo pogoji za mikroorganizme, ki občutno pomagajo pri čiščenju vode. Je nezahtevna vrsta za vzgojo in se hitro razmnožuje. Vsako leto ji nadzemni del odmre tako, da je potrebno odstraniti ta del biomase pozno jeseni ali v začetku zime. Pri nas jo lahko dobimo skorajda v vsaki trgovini z rastlinami, kjer se cene za eno sadiko gibljejo od enega evra naprej. Pri nakupu večjega števila sadik je lahko cena znatno nižja. Poleg tega obstaja tudi možnost, da jo nabereimo v naravnem okolju, kjer jo je v izobilju.

Vetiver je tujerodna vrsta, ki jo je možno uporabiti v našem prostoru, ker ne predstavlja nikakršnih nevarnosti v našem okolju in ima poleg tega zelo dobre lastnosti črpanja hranil iz vode. Kljub temu da je tropska vrsta, preživi krajše obdobje temperature pod lediščem, zato ni nevarnosti, da bi ob nenadni spremembi vremena na začetku ali koncu sezone nenadno odmrla. Njene lastnosti na področju fitoremediacije so odlične. Tvori gost in zelo prepleten koreninski sistem, ki raste v globino. Zato je možno posaditi večje število posameznih rastlin na manjšo površino, kar pripomore učinkovitejšemu čiščenju vode. Sadik v času raziskave (25. 6. 20013) ni bilo mogoče dobiti v Sloveniji. Ponudniki iz tujine prodajajo večje količine sadik (nad 200) po ceni en evro za sadiko. V primeru naročila iz tujine obstajajo nevarnosti, med katere spadajo poškodbe med samim prevozom in stres, ki ga doživijo med tem časom.

Jezerski biček in pisana čužka, ki dobro uspevata skupaj, sta avtohtoni vrsti v Sloveniji. Skupaj zelo na gosto prerasteta površino RČO, pod katerim je prepleten koreninski sistem, ki nudi dobre pogoje za mikroorganizme. Pri obeh rastlinah nadzemni del v zimskem času odmre, tako da ga je potrebno odstraniti. Skupna cena obeh rastlin je primerljiva z zgoraj omenjenima.

13.2 Vpliv postavitve RČO v vodno okolje na obstoječe rastlinske in živalske vrste

Ugotovljeno je bilo, da RČO nimajo vpliva na obrežne rastlinske vrste, ampak samo na tiste, ki rastejo v vodi, in sicer so to vrste, ki so pritrjene na dno ali plujejo po vodni gladini. Med tistimi, ki so pritrjene na dno, ene vrste rastejo v globini, druge pa so zakoreninjene v dno, med tem ko njihovi listi in cvetovi plujejo po vodni gladini. Tistim, ki rastejo v globini, bi z umeščanjem RČO zmanjšali dotok sončnih žarkov, potrebnih za fotosintezo, in s tem omejili njihovo rast. Na vrste, ki so zakoreninjene v globini in njihovi listi ter cvetovi plujejo po gladini, uporaba RČO ne bi imela vpliva oz. bi bil ta zanemarljiv. Upoštevati pa je potrebno možnost prehoda (npr. prenos s semeni) obrežnih rastlinskih vrst na otok in obratno, zaradi česar je potrebno sistemem ustrezno vzdrževati.

Vpliv RČO na živalske vrste bi bil v večini pozitiven. Negativen bi bil samo v primeru, da bi napačno umestili RČO, tako da bi prekrili preveliko površino vodne gladine in bi na ta način zmanjšali kakovost pogojev za ribe. Zmanjšali bi jim razpoložljivo količino kisika. Temu se lahko enostavno izognemo tako, da ne prekrijemo več kot polovice vodne gladine z RČO. Ostalim živalim sama umestitev RČO ne povzroča težav in se hitro prilagodijo, celo tako, da lahko povzročajo težave, ker naseljujejo prevelike površine RČO. Obstaja nevarnost, da se hranijo z rastlinami, umeščenimi v RČO, kar ima lahko negativen vpliv na prečrpavanje hranil. Temu se lahko izognemo z zaščitami proti živalim, kot so npr. mreže ali z uporabo rastlin, ki odganjajo določene živali. Lahko namestimo tudi zvočne odganjalce in vonjave, ki so živalim neprijetne.

13.3 Primernost izbire materialov za zagotovitev plovnosti RČO z vidika trajnosti in njihove možnosti recikliranja ter cene in razpoložljivosti na trgu

Tako kot pri izbiri rastlin je bilo potrebno tudi pri izbiri materialov določiti kriterije. Materiale, ki jih uporabljamo za RČO, lahko kasneje recikliramo. Pred tem je treba ročno odstraniti rastline iz nosilnih medijev in določene dele razstaviti. Najbolj obstojni materiali so iz kovinske in lesene konstrukcije, ki ima mrežo, v kateri rastejo rastline in pa poliester, polnjen s polistirenom. Slednji je najdražji material in zato ni primeren za širšo uporabo, poleg tega ga je tudi najtežje reciklirati, ker vsebuje dve vrsti plastike, ki se težko ločita. Primeren bi bil za ribnike in manjša jezera. Z uporabo kovinskih in lesenih konstrukcij, pri katerih se uporablja za dodatno plovnost še polistiren, bi lahko prekrili znatno večje površine vodnega telesa z isto razpoložljivo količino finančnih sredstev. Ti dve vrsti nosilnih materialov lahko enostavno recikliramo. Ročno se ločijo različni deli nosilnega medija. Vsi od naštetih materialov imajo dovolj močno konstrukcijo in plovnost, da podpirajo težo človeka. Na ta način znatno olajšamo delo, ki ga imamo na RČO (sajenje, pregled, odstranjevanje rastlin).

Cene na trgu so razmeroma visoke, ker ni veliko konkurence med podjetji, ki se ukvarjajo z izdelavo nosilnih medijev in postavitvijo RČO v okolje. Najbližje podjetje, ki se ukvarja z uporabo tovrstne tehnologije, ima sedež v Nemčiji. Do sedaj na območju Slovenije ni poznana uporaba RČO.

Pri pregledu materialov, ki sestavljajo nosilne medije v RČO, je bilo ugotovljeno, da sami materiali niso tako dragi, kot je na koncu končni izdelek. Hkrati je bilo ugotovljeno, da je nosilni medij daleč najdražji del RČO. Ta ugotovitev je lahko spodbuda za samostojno izdelavo nosilnega medija in kasnejšo umestitev v vodno okolje.

14 Sklepi

S pomočjo predstavljenih rezultatov lahko potrdimo postavljeno hipotezo, da v naših klimatskih razmerah lahko izboljšamo stanje stojećih vodnih teles s pomočjo RČO, ki temeljijo na naravnih samočistilnih sposobnostih rastlin in z njimi povezanimi mikroorganizmi.

- V Sloveniji so na razpolago avtohtone rastlinske vrste, ki imajo visoko sposobnost asimilacije hranilnih snovi iz vode in so hkrati primerne za umestitev v RČO.
- Vpliv, ki ga imajo RČO na rastlinske in živalske vrste, je ob pravilni uporabi pozitiven in ne predstavlja nevarnosti za ekosistem. V več raziskavah je bilo ugotovljeno, da RČO povečajo biotsko raznovrstnost in nudijo nov življenjski prostor številnim živalskim vrstam.
- Materiali, ki se uporabljajo za RČO, imajo večletno obstojnost in jih je možno po končani uporabi reciklirati. Zaradi majhne konkurence so cene na trgu razmeroma visoke. Kljub temu je na trgu razpoložljivih več tipov RČO, ki so sestavljeni iz različnih materialov in se jih lahko v Slovenijo uvozi.
- Vzdrževanje RČO ni zahtevno. Najpomembnejša je pravilna umestitev v vodno okolje, s katero preprečimo morebitne težave v nadaljevanju. V vmesnem obdobju je potreben občasen pregled stanja. V jesenskem ali zimskem času je zaželen odstranitev nadzemnega dela rastlin.

15 Povzetek

Cilj diplomske naloge je bil preveriti hipotezo, ali je možno uporabiti rastlinske čistilne otoke (RČO) za zmanjšanje evτροφnosti stojećih voda v klimatskih razmerah, ki so na območju Slovenije. Hipoteza je skozi diplomsko nalogo sistematično potrjena in povzeta v razpravi in sklepih. Izhajanje iz dejstva, da je obremenjenost stojećih voda v Sloveniji problem, za katerega ni ene temeljite rešitve, ampak je možnih več posameznih pristopov k zmanjšanju tega problema, je bila pobuda za raziskavo alternativne možnosti čiščenja vodnih teles. Eden izmed teh sistemov so RČO, ki posnemajo samočistilne sisteme v naravi. Pri raziskavi smo bili prisiljeni iskati podatke o RČO, ki so dostopni na spletu in v tuji literaturi. V naši literaturi praktično ni zapisov o tovrstnih sistemih, kljub temu da so podobni sistemi pri nas že poznana praksa (rastlinske čistilne naprave).

V tujini so RČO večletna praksa. Uporabljajo se predvsem za čiščenje onesnaženih voda. Sestavljeni so iz dveh ključnih delov. Prvi del so rastline, ki prispevajo k razgradnji in zadrževanju delcev v razraslem koreninskem sistemu ter privzemajo rastlinska hranila v rastlino. K temu veliko pripomorejo mikroorganizmi, zato je smiselno izbrati takšne vrste rastlin, ki tvorijo gost in prepleten koreninski sistem z veliko površine za mikroorganizme. Drugi del, ki je pomemben v RČO, je nosilni medij. Ta daje rastlinam oporo za rast in po potrebi na začetku rasti tudi hranila.

Pri izboru rastlinskih vrst za umestitev RČO smo uporabili določene kriterije, s katerimi smo razvrstili rastline po njihovih lastnostih in posledične primernosti za uporabo v RČO. Rezultati so pokazali, da je pri nas več primernih vrst, med katerimi izstopa navadni trst. Kombinacija dveh vrst (jezerski biček in pisana čužka), ki sta avtohtoni, ravno tako izkazujeta velike potencialne za črpanje rastlinskih hranil iz vodnega telesa. Od tujerodnih rastlin bi bila primerna vrsta vetiver, ki ima zelo obetajoče lastnosti za umestitev v RČO, saj tvori med vsemi obravnavanimi rastlinami najgostejši in zelo prepleten koreninski sistem.

Materiali, ki se uporabljajo v RČO, ne predstavljajo nevarnosti za okolje in se jih da po koncu uporabe brez težav reciklirati. Problem glede materialov, ki jih uporabljamo za nosilne medije, smo videli v tem, da podjetja, ki jih prodajajo, trenutno nimajo »pozitivne« konkurence. To se kaže v ceni nosilnih materialov, ki so po naših predvidevanjih dosti dražji kot sami materiali, ki jih sestavljajo. Na tržišču je sicer več tipov nosilnih materialov, iz katerih bi lahko nosilce za RČO z nekaj truda izdelali samostojno in tako privarčevali kar nekaj denarja.

Z umestitvijo RČO v stoječe vode bi izboljšali pogoje za mnoge živalske vrste, predvsem ptice in ribe. Na že obstoječe rastline v okolju bi bil vpliv zanemarljiv. Naloga je imela sicer poudarek na zmanjšanju evτροφnosti stojećih voda, vendar je jasno razvidno, da imajo lahko RČO zelo pozitiven vpliv na živali.

Summary

The purpose of the diploma thesis has been to test the hypothesis whether it is possible to use floating treatment wetlands (FTW) to lower eutrophication of standing water bodies in the Slovenian climate conditions. The hypothesis has been confirmed systematically throughout the diploma thesis and summarized in the discussion and conclusions. The fact that the pollution of standing water bodies in Slovenia is a problem, which has not got one thorough solution but there are several approaches possible to lower that problem, has been an initiative for researching the alternative possibilities for cleaning the water bodies. One of the systems are FTW which imitate self-cleaning systems in nature. The research has forced us to search for the data about FTW that are accessible on the Internet and in the foreign literature. There are practically no recordings of such systems in our literature even though similar systems are a well-known practice in Slovenia (constructed wetlands).

FTW have been a practice for years abroad. They have been used mainly for cleaning of polluted waters. They are consisted of two key parts. Plants which contribute to decomposition and retention of particles in the branched out root system and uptake plant nutrients, are the first part. Microorganisms aid a lot to the process. Therefore, it is sensible to choose such sorts of plants, which create dense and intertwined root system with a large area for microorganisms. The second part, which is important in FTW, is the supporting medium. It gives support for growth to plants and (if needed) nutrients at the beginning of growth.

When choosing plant species for FTW, certain criteria have been used for placing the plants according their characteristics and consequentially appropriateness for using in FTW. The results have shown that there are several appropriate plant species, however, the common reed stands out with its features. The combination of two autochthon species (*Schoenoplectus lacustris* and *Phalaris arundinacea*) also expresses high potentials for uptaking of plant nutrients from a water body. The vetiver would be appropriate among the non-native ones which has promising characteristics for placing into a FTW because it has the densest and very intertwined root system among all researched plants.

Materials that have been used for FTW do not present dangers for environment and they can be recycled after using them. A problem with materials which are used for supporting media has been seen in the fact that the companies that sell them currently do not have "positive" competition. This can be seen in the price of supporting materials, which are according to our opinion much more expensive than the materials they are composed of. There are several types of supporting materials on the market from which we could make supports for FTW by ourself and save some money.

By placing FTW in standing water bodies, we would improve conditions for many animal species, especially birds and fish. The influence on existing plants in the environment would be negligible. The stress of the diploma thesis has been on lowering eutrophication of standing waters, however, it is evident that FTW can have a very positive impact on animals.

16 Viri

- Archer, C., (2004). National Herbarium. Medmrežje: <http://www.plantzafrica.com/plantcd/cyperuspap.htm> (27.2.2013).
- Canadia Ponds Products Ltd. (2010). Floating Islands. Medmrežje: http://www.canadianpond.com/floating_islands.html (27.2.2013).
- Darrouzet-Nardi, A., (2003). Systematics of the genus *Carex*. Medmrežje: <http://anthony.darrouzet-nardi.net/works/carex.html> (27.2.2013).
- Duncan, T., (2009). Floating treatment wetlands: Floating biofilter research trials. Stormwater 2009 Conference paper, Albury-Wodonga. Medmrežje: <http://www.aquabiofilter.com/Tom%20Duncan%20Stormwater%2009%20Floating%20Biofilter%20Conference%20Paper%20V1.pdf> (27.2.2013).
- Dushenkov, S., Kapulnik, Y., Blaylock, M., Sorochinsky, B., Raskin, I., Ensley, B., (1997). Phytoremediation: A Novel Approach to an Old Problem. In: Global Environmental Biotechnology. Amsterdam, Elsevier Science, str. 563-572.
- EOL, (2012). *Typha latifolia*. Encyclopedia of life. Medmrežje: <http://eol.org/pages/526590/details> (27.2.2013).
- FII (Floating Islands International), (2010). Biohaven technology. Medmrežje: <http://www.floatingislandinternational.com/products/biohaven-technology/> (27.2.2013).
- Gerth, (2010). Myworldshots: Peru. Lake Titicaca. Medmrežje: <http://www.myworldshots.com/landmarks-around-the-world/Lake-Titicaca-10521.html> (27.2.2013).
- Green Living Guy, (2011). Medmrežje: <http://www.greenlivingguy.com/greenliving/minnesota-landscape-architects-to-install-floating-islands-i.html> (27.2.2013).
- Hammond, M., Ellis, P., Leake, C., (2008). Floating wetlands: Assessment of viability as a method for restoration of wet mineral workings. Leeds, Hafren Water. Medmrežje: http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/mist/I0087_ma_6_2_013.pdf (27.2.2013).
- Headley, T.R., Tanner, C.C., (2006). Application of floating wetlands for enhanced stormwater treatment: A review. Auckland, National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd. Medmrežje: <http://www.midwestfloatingisland.com/files/floatingisland/files/TP324%20Floating%20Wetland%20Review-Final.pdf> (27.2.2013).
- Islam, T., Atkins, P. (2007). Indigenous floating cultivation: a sustainable agricultural practice in the wetlands of Bangladesh. Development in Practice, Volume 17 (1), str. 130-136, United Kingdom, CRC Press.

ITRC, (2003). Technical and regulatory guidance document for constructed treatment wetlands. Medmrežje: www.itrcweb.org/Guidance/GetDocument?documentID=106 (27.2.2013).

IUCN, (2006). Phragmites australis (grass). Global invasive species database. Medmrežje: <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?fr=1&si=301> (27.2.2013).

Kadlec, R. H., Wallace, S. D., (2009). Treatment wetlands – Second edition. New York, CRC Press.

Kania, B., (2010). What can grow on a Biohaven. Floating Islands West LLC. Medmrežje: http://www.floatingislandswest.com/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=60 (29. 1. 2013).

Land and Water, Medmrežje: <http://www.land-water.co.uk/environmental-solutions/biomatrix> (27.2.2013).

Laputan Logic, (2007). Marsh Arabs. Medmrežje: <http://www.laputanlogic.com/articles/2004/01/24-0001.html> (27.2.2013).

Manipur Online, (2010). Loktak lake – The largest freshwater lake in North-East India. Medmrežje: <http://manipuronline.com/gallery/loktak-lake-4/2010/12/07> (27.2.2013).

Medmrežje 1: http://www.gardensandplants.com/uk/plant.aspx?plant_id=2432 (27.2.2013).

Medmrežje 2: http://www.nwplants.com/business/catalog/typ_lat.html (27.2.2013).

Medmrežje 3: <http://www.pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Schoenoplectus+lacustris> (27.2.2013).

Medmrežje 4: <http://vetivernetinternational.blogspot.com/2010/04/vetiver-system-and-pollution-control.html> (27.2.2013).

Medmrežje 5: http://simple.wikipedia.org/wiki/File:Papyrus,_Fonte_Aretusa,_Syracuse,_Italy.JPG (27.2.2013).

Medmrežje 6: <http://www.luontoportti.com/suomi/en/kukkakasvit/yellow-iris> (27.2.2013).

Medmrežje 7: <http://www.onlineplantguide.com/Plant-Details/3763/> (27.2.2013).

Medmrežje 8: http://courses.missouristate.edu/pbtrewatha/reed_canarygrass.htm (27.2.2013).

Medmrežje 9: <http://www.canadianponds.ca/productinfo.aspx?pc=biohaven&cc=island> (27.2.2013).

Medmrežje 10: <http://patriotlwm.com/biohaven-sales/> (27.2.2013).

Notranjski (regijski) park, Učno gradivo: Rastline Cerkniškega jezera. Medmrežje:

http://life.notranjski-park.si/ulist_slide.php?pid=247 (27.2.2013).

Noxious weeds, (2013). Reed sweetgrass: *Glyceria maxima*. Medmrežje:

<http://www.kingcounty.gov/environment/animalsAndPlants/noxious-weeds/weed-identification/reed-sweetgrass.aspx> (27.2.2013).

Odum, H. T. (2000). Heavy metals in the environment: using wetlands for their removal. Florida, Lewis Publishers.

Panoramio, (2009). Lago di Posta Fibreno. Medmrežje:

<http://www.panoramio.com/photo/25606412> (27.2.2013).

Panoramio, (2010). Visitorsko Jezero 1775m. Medmrežje:

<http://www.panoramio.com/photo/38211436> (27.2.2013).

Ralinda, R., Miller, R., (1996). Phytoremediation, technology overview report. Water remediation technologies analysis center. Series E. Volume 1. Medmrežje:

http://www.cluin.org/download/toolkit/phyto_o.pdf (27.2.2013).

Richter, K. M., Margetts, J. R., Saul, A.J., Guymer, I., Worrall, P. (2003). Baseline hydraulic performance of the Heathrow constructed wetlands subsurface flow system, Water Science and Technology, Sheffield, IWA Publishing.

Rozman, R., (2008). Fitoremediacija sedimentov in drugih kontaminiranih zemljin. Diplomsko delo. UN v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Medmrežje: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_rozman_renata.pdf (27.2.2013).

Sierra Magazine, (2011). Floating Islands Give Hope to Flooding Community. Medmrežje:

<http://sierraclub.typepad.com/greenlife/2011/09/floating-islands-give-hope-to-flooding-community.html> (27.2.2013).

Skubic, J., (2006). Vpliv obremenitve in morfologije jezera na kakovost jezera. Diplomsko delo. UN v Ljubljani, FGG. Medmrežje: http://eprints.fgg.uni-lj.si/852/1/VKI_0053_Skubic.pdf

(27.2.2013).

Smith, M. P., Kalin, M., (2000). Floating Wetland Vegetation Covers for Suspended Solids Removal, In: *Treatment Wetlands for Water Quality Improvement*, Proceedings of Quebec 2000 Conference, Canada.

Stone, K., (2009). Iris pseudacorus. In: Fire effectst information system. Medmrežje:

<http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/forb/iripse/introductory.html> (27.2.2013).

SUDS, (2008). Floating reed-beds. Bristol. Medmrežje:

http://antonylyons.macmate.me/bristolgreenmachine/bristolgreenmachine/Intro_files/Floating-reedbeds.pdf (27.2.2013).

Swarzenski, C.M., Swenson, E.M., Sasser, C.E. & Gosselink, J.G. (1991). Marsh mat flotation in the Louisiana Delta Plain. *Journal of Ecology*, Volume 79, str. 999–1011.

Tanner, C., C., Sukias, J., Park, J., Yates, C., Headley, T. (2011). Floating treatment wetlands: A new tool for nutrient management in lakes and waterways. Medmrežje:

http://www.massey.ac.nz/~flrc/workshops/11/Manuscripts/Tanner_2011.pdf (27.2.2013).

- Tarman, K. (1992). Osnove ekologije in ekologija živali. Ljubljana, Državna založba Slovenije.
- Trisal, C.L., Manihar, T. (2004). Loktak: the atlas of Loktak Lake. Wetlands International and Loktak Development Authority. New Dehli, CRC Press.
- Truong, P., Tarn, T. V., Pinners, E., (2008). Vetiver system applications – technical reference manual. 2nd Edition. The Vetiver Network International. Medmrežje:
<https://docs.google.com/file/d/0B93pPxeKEsjRMjE0ZjBiZDctNjY0NS00YWMxLTlhMTctZDYwOTU5ZTE4OTg4/edit?pli=1&hl=en> (27.2.2013).
- USDA, (2003). Reed canarygrass. Plant Guide. United States Department of Agriculture, Natural Resources Concesrvation Service. Medmrežje:
http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg_phar3.pdf (27.2.2013).
- Van Acker, J., Buts, L., Thoeve, C., De Gueldre, G. (2005). Floating plant beds: BAT for CSO Treatment?, in: *Book of Abstracts from International Symposium on Wetland Pollutant Dynamics and Control, Sept. 4-8, 2005, Ghent Belgium*, str. 186–187.
- Van Duzer, C. (2004). Floating islands: A global bibliography. Los Altos Hills, Cantor Press.
- Vrhovšek, D., Vovk K. A., (2007). Ekoremediacije. Ljubljana, Limnos.
- Vrhovšek, D., Šajn-Slak, A., (1997). Večnamenska raba vodnih akumulacij.
<http://mvd20.com/LETO1997/R8.pdf> (29. 1. 2013).

Zahvala

Najprej bi se rad zahvalil mentorici, doc. dr. Maji Zupančič Justin za sprejem, vodenje, pomoč, razumevanje in prijaznost v času pripravljanja te diplomske naloge.

Zahvalil bi se tudi vsem sodelujočim na Visoki šoli za varstvo okolja, ker ste mi omogočili pridobiti takšno znanje oziroma izobrazbo, kot sem si želel.

Rad bi se zahvalil vsem, ki ste mi kakor koli pomagali na poti do diplome.

ISKRENA HVALA!