

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**REKONSTRUKCIJA RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE V
NASELJU STUDENEC**

NATALIJA ŠKULJ

VELENJE, 2015

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

REKONSTRUKCIJA RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE V NASELJU STUDENEC

NATALIJA ŠKULJ

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: izr. prof. dr. Viktor Grilc

Somentor: prof. dr. Danijel Vrhovšek

VELENJE, 2015

MENTORSTVO IN IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Natalija Škulj, z vpisno številko 34110048, študentka dodiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica diplomskega dela z naslovom Rekonstrukcija rastlinske čistilne naprave v naselju Studenec, ki sem ga izdelala pod mentorstvom izr. prof. dr. Viktorja Grilca in somentorstvom prof. dr. Danijela Vrhovška.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili VŠVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektoriral/a Alenka Cizel;
- da dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- da sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

V Velenju, dne _____

podpis avtorice

Priloga 2: Sklep o diplomskem delu



Številka: 726-3/2013-2

Datum in kraj: 29. 1. 2014, Velenje

Na podlagi Diplomskega reda
izdajam

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študent-ka VŠVO

Natalija Škulj

lahko izdela diplomsko delo pri predmetu: Tehnologije za zmanjševanje onesnaževanja zraka, vode in tal

Mentor-ica: izr. prof. dr. Viktor Grilc

Somentor-ica: prof. dr. Danijel Vrhovšek

Naslov diplomskega dela v slovenskem jeziku: Rekonstrukcija rastlinske čistilne naprave v naselju Studenc

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku: Reconstruction of wetland wastewater treatment in the village Student

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.



Dekan
doc. dr. Boštjan Pokornj

ZAHVALA:

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Viktorju Grilcu, ki me je usmerjal in pomagal pri nastanku mojega diplomskega dela. Prav tako se zahvaljujem somentorju prof. dr. Danijelu Vrhovšku in njegovi ekipi iz podjetja Limnos, ki so mi pomagali pri izdelavi diplomskega dela. Zahvala gre tudi Občini Sevnica, ki mi je nudila vso potrebno dokumentacijo, in Komunalnemu podjetju Komunala, d. o. o., Sevnica, ki mi je nudilo laboratorij za kemijske analize in vso potrebno pomoč.

Posebna zahvala pa gre mojima staršema in fantu Gregorju za vso podporo pri pisanju diplomskega dela.

IZVLEČEK:

V diplomski nalogi so podrobneje opisani različni tipi rastlinskih čistilnih naprav in njihovo delovanje. Rastlinske čistilne naprave so naravni sistemi za čiščenje različnih odpadnih voda. Kot vsake naprave potrebujejo tudi rastlinske čistilne naprave vzdrževanje za dolgotrajno delovanje. Če vzdrževanje ni primerno, se zgodi primer rastlinske čistilne naprave Studenec, kjer je bila potrebna rekonstrukcija, da bo naprava lahko normalno delovala in imela učinek čiščenja. Učinki čiščenja pa so vidni šele po določenem času. Vidi se tako vizualni učinek kot kemijski (ne)učinek, s pomočjo kemijskih analiz. Rekonstrukcija poteka postopoma in je lahko zelo obsežna.

KLJUČNE BESEDE: rastlinska čistilna naprava, rekonstrukcija, delovanje, kemijska analiza odpadnih vod.

ABSTRACT:

The diploma thesis presents in details different types of constructed wetlands and their operations. Constructed wetlands are natural systems used for wastewater treatment. As other devices constructed wetlands demand long-term maintenance. If maintenance is not carried out as it should be, problems occur. The same has happened to the Studenec constructed wetland. That wetland needed reconstruction in order to operate normally and produce treatment effects. Treatment effects are seen after a certain period of time. The thesis presents a visual as well as chemical (non)effect provided by chemical analyses. Reconstruction takes place gradually and can be very extensive.

KEY WORDS: constructed wetland, reconstruction, operation, chemical analysis of wastewater.

KAZALO VSEBINE

1. UVOD	1
1.1. Splošno.....	1
1.2. Namen in cilj diplomskega dela.....	3
2. TEORETIČNI DEL	3
2.1. Zakonodaja.....	3
2.2. Rastlinske čistilne naprave.....	6
2.2.1. Zgradba rastlinske čistilne naprave.....	8
2.2.2. Substrat	10
2.2.3. Trstičje in mikroorganizmi	11
2.3. Rastlinska čistilna naprava Studenec.....	13
2.3.1. Splošno o rastlinski čistilni napravi Studenec.....	13
2.3.2. Kanalizacijski sistem v naselju Studenec	16
2.4. Kemijske in fizikalne lastnosti odpadne vode	18
2.5. Vzorčevanje in monitoring.....	19
2.6. Vzdrževanje rastlinske čistilne naprave	20
2.7. Odstranjevanje snovi in hranil	20
3. MATERIALI IN METODE	22
3.1. Rekonstrukcija rastlinske čistilne naprave.....	22
3.1.1. Zakaj rekonstrukcija?.....	22
3.1.2. Vzorčenje odpadne vode	23
3.1.3. Opis analiz parametrov (hitri testi)	24
4. PRAKTIČNI DEL.....	26
4.1. IZVEDBA REKONSTRUKCIJE	26
4.2. Rezultati določanja parametrov vode	31
4.3. Trenutno stanje sanacije.....	32
5. PRIMERI DOBRO DELUJOČIH RASTLINSKIH ČISTILNIH NAPRAV	33
6. ZAKLJUČEK.....	36
7. POVZETEK.....	37
8. VIRI IN LITERATURA.....	39

KAZALO SLIK

Slika 1: Zemljevid občine Sevnica (Vir: Klenovšek, 2006–2007)	2
Slika 2: Prikaz najboljšega vtočnega in iztočnega sistema (Vir: Dzikus et al., 2008)	9
Slika 3: Zemljevid naselja Studenec (Vir: Medmrežje 4).....	13
Slika 4: Prikaz zgradbe rastlinske čistilne naprave Studenec (Vrhovšek, 2002)	15
Slika 5: Potek kanalizacijskega sistema v naselju Studenec (Vir: Medmrežje 5)	17
Slika 6: Prikaz odstranjevanja hranil in onesnažil (Stewart et al., 2003)	22
Slika 8: Drugo odzemno mesto (na jašku prve grede).....	23
Slika 7: Prvo odzemno mesto (na jašku usedalnika)	23
Slika 9: Rastlinska čistilna naprava pred čiščenjem rastlinja (Kuhar, 2014).....	26
Slika 10: Rastlinska čistilna naprava Studenec po čiščenju rastlinja	26
Slika 11: Drenažne cevi, ki so se nahajale v rastlinski čistilni napravi Studenec.....	29
Slika 12: Odstranjevanje substrata.....	29
Slika 13: Kompostna greda z odpadno vodo	29
Slika 14: Varjenje zaščitne folije.....	30
Slika 15: Polaganje filca in drenažnih cevi	30
Slika 16: Nasipavanje substrata	30
Slika 17: Ročno nasipavanje substrata okoli drenažnih cevi	31
Slika 18: Končni izgled grede.....	31

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Mejne vrednosti parametrov za male čistilne naprave (Vir: Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz malih komunalnih čistilnih naprav)	4
Preglednica 2: Mejne vrednosti težkih kovin v blatu iz čistilnih naprav (Vir: Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu)	5
Preglednica 3: Lastnosti substrata v RČN s podpovršinskim tokom vode (Vrhovšek, 2008, po Reed).....	10
Preglednica 4: Učinek čiščenja KPK po gredah (ocenjene vrednost)	16
Preglednica 5: Koncentracija snovi v odpadni vodi, ki prihaja na rastlinsko čistilno napravo	16
Preglednica 6: Dolžina kanalov v kanalizacijskem sistemu Studenec	17
Preglednica 7: Odstranjevanje hranil in onesnažil (Stewart et al., 2003)	21
Preglednica 8: Rezultati analiz na vtoku v rastlinsko čistilno napravo Studenec.....	32
Preglednica 9: Rezultati analiz na drugem odzemnem mestu (prvi jašek prve grede)	32
Preglednica 10: Prve meritve odpadnih vod rastlinske čistilne naprave Cvetkovci (Vir: Prve meritve odpadnih vod KČN Cvetkovci, 2015).....	33
Preglednica 11: Prve meritve odpadnih vode rastlinske čistilne naprave Bušinja vas (Vir: Izjava o skladnosti 2015/2985, 2015).....	33
Preglednica 12: Letna meritev odpadne vode rastlinske čistilne naprave Sveti Tomaž (Vir: Obratovalni monitoring odpadnih vod KČN Sv. Tomaž, 2015)	33
Preglednica 13: Letna meritev odpadne vode rastlinske čistilne naprave Sodinci (Vir: Obratovalni monitoring odpadnih vod MKČN Sodinci, 2014).....	34
Preglednica 14: Prve meritve odpadne vode rastlinske čistilne naprave Bazga, leta 2008 (Vir: Poročilo o obratovalnem monitoringu za KČN Bazga, 2008).....	34
Preglednica 15: Letne meritve odpadne vode rastlinske čistilne naprave Bazga 2010 (Vir: Poročilo o preskušanju, 2010).....	34

Preglednica 16: Letne meritve odpadne vode rastlinske čistilne naprave Bazga 2012 (Vir: Poročilo o preskušanju, 2012).....	34
Preglednica 17: Letne meritve odpadne vode rastlinske čistilne naprave Bazga 2014 (Vir: Poročilo o preskušanju, 2014).....	35

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Prikaz (ne)očiščenosti odpadne vode na rastlinski čistilni napravi Studenec	32
Graf 2: Prikaz učinkovitosti čiščenja odpadnih vod	34
Graf 3: Prikaz čiščenja odpadnih vod rastlinske čistilne naprave Bazga.....	35

1. UVOD

Voda je ena od naravnih dobrin, ki v naravi nenehno kroži. Ker je sladke vode na našem planetu zgolj nekaj odstotkov glede na vse vode, je potrebno z njo ravnati skrbno (Medmrežje 1). Varovanje okolja je v zadnjih desetletjih napredovalo tako na zakonodajni ravni kot tudi na javni zavesti. Eden od načinov varovanja okolja so ekoremediacije ali ekološka (sonaravna) čiščenja, ki pa zajemajo uporabo naravnih sistemov in procesov za zaščito in sanacijo okolja (Zupančič in sod. 2002). Ekoremediacije so zaradi kompleksnosti pristopa trajna in varna tehnologija. Vključujejo ekosistemski in inženirski pristop. Ekoremediacije na področju odpadnih voda vključujejo predvsem rastlinske čistilne naprave (RČN), ki pa so sestavljene iz dveh delov, in sicer iz neživega in živega dela, ki skupaj tvorita stabilni ekosistem, ki potrebuje čas za učinkovito čiščenje. Neživi del RČN sestavljajo tri skupine vidikov, in sicer:

- mehanski (hidromorfologija, erozija, tok odpadne vode in usedanje),
- fizikalni (svetloba, temperatura in hidravlična pretočnost),
- kemijski (pH in redoks potencial, CO₂, O₂, hranila (N, P, K) in mikroelementi (Mg, B)) in onesnaževala (KPK, BPK₅, soli, pesticidi in težke kovine).

Živi del RČN pa sestavljajo naslednji organizmi (Vrhovšek, 2008):

- primarni proizvajalci (alge, perifiton, mahovi in makrofiti),
- sekundarni proizvajalci (zooplankton in zoobentos),
- tercialni proizvajalci (ribe in sesalci),
- razgrajevalci (bakterije in glive) in
- patogeni organizmi (bakterije, virusi in glive).

Rastlinske čistilne naprave delujejo po principu naravnih mokrišč, le da so zgrajene umetno in namenjene čiščenju komunalnih ter nekaterih industrijskih in metreornih odpadnih vod (Bulc, 2008).

1.1. Splošno

Kratka zgodovina rastlinske čistilne naprave Studenec bo podrobneje predstavljena v točki 2.3.

Da je bila rekonstrukcija rastlinske čistilne naprave v naselju Studenec uspešna, gre zahvala Občini Sevnica, ki je rekonstrukcijo financirala, Javnemu podjetju Komunala, d. o. o. Sevnica, ki je izvajalo gradbena dela, in podjetju Limnos, podjetju za aplikativno ekologijo, d. o. o., ki je skrbelo, da je rekonstrukcija potekala pravilno.

Občina Sevnica je sestavljena iz 10 krajevnih skupnosti, kamor sodi tudi krajevna skupnost Studenec. V Občini Sevnica se nahaja 117 naselij. Občina Sevnica meri 272 km² in ima približno 18.000 prebivalcev (Klenovšek, 2006–2007).



Slika 1: Zemljevid občine Sevnica (Vir: Klenovšek, 2006–2007)

Javno podjetje Komunala, d. o. o., Sevnica izvaja svoje dejavnosti od leta 1956. Ukvarja se z naslednjimi dejavnostmi:

- zbiranje, prečiščevanje in distribucija pitne vode,
- ravnanje z odpadki,
- zbiranje in odvoz nenevarnih in nevarnih odpadkov,
- ravnanje z nenevarnimi odpadki,
- čiščenje cest in drugo čiščenje,
- urejanje in vzdrževanje zelenih površin in okolice,
- pogrebna dejavnost.

Javno podjetje Komunala, d. o. o., Sevnica ima v upravljanju centralno čistilno napravo Sevnica, rastlinski čistilni napravi Bazga in Lisca, mehansko biološko čistilno napravo na Kompolju s pritrjeno biomaso, hkrati bodo tudi upravljalci rastlinske čistilne naprave Studenec (Medmrežje 2).

LIMNOS, podjetje za aplikativno ekologijo, d. o. o., deluje od leta 1994. V podjetju se ukvarjajo z raziskovanjem, razvojem in uporabo naravnih ekosistemov za zaščito in obnovo okolja. Njihove storitve segajo na različna področja, in sicer (Medmrežje 3):

- rastlinske čistilne naprave (izdelava idejnih rešitev odvajanja in čiščenja odpadnih voda za razpršene naselitve, izdelava projektne dokumentacije za rastlinske čistilne naprave LIMNOWET, izgradnja rastlinske čistilne naprave LIMNOWET, nadzor nad gradnjo in optimizacija delovanja, izdelava obratovalnega poslovnika),
- vegetacijski pasovi,
- revitalizacija vodotokov,
- ekoremediacije stoječih voda,
- ekoremediacije degradiranih tal in sedimentov,
- prijave projektov na razpise,
- okoljsko izobraževanje in
- ostale okoljske storitve.

1.2. Namen in cilj diplomskega dela

Namen in cilji te diplomske naloge je predstaviti in opisati delovanje rastlinskih čistilnih naprav ter analizirati uspešnost rekonstrukcije rastlinske čistilne naprave v naselju Studenec. Kot rekonstrukcija je mišljeno odstranjevanje rastlinja in čiščenje gred ter ponovna vzpostavitev sistema do takšne mere, da bo delovanje čistilne naprave v določenem časovnem obdobju doseglo zahtevane standarde o čiščenju komunalnih odpadnih vod iz malih čistilnih naprav. Eden od ciljev diplomske naloge je tudi izdelava kemijskih analiz odpadne vode iz rastlinske čistilne naprave Studenec, opravljene pred rekonstrukcijo, medtem ko analiza po rekonstrukciji še ni bila možna, ker slednja še ni končana. Analiza odpadne vode vsebuje naslednje parametre: KPK, celotni dušik, amonij, nitrat in fosfor.

2. TEORETIČNI DEL

2.1. Zakonodaja

Rastlinske čistilne naprave urejajo tako slovenska kot evropska zakonodaja. Najvažnejša slovenska zakonodaja s tega področja obsega:

- Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 41/2004) (Medmrežje 6),
- Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št. 54/2011) (Medmrežje 7),
- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz malih komunalnih čistilnih naprav (Uradni list RS, št. 98/2007) (Medmrežje 8),
- Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu (Uradni list RS, št. 62/2008) (Medmrežje 9),
- Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode (Medmrežje 9).

Relevantna evropska zakonodaja zajema:

- Direktiva Sveta z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode (91/271/EGS) (Medmrežje 10) in
- Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktober 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike (2000/60/ES) (Medmrežje 11).

Zakon o varstvu okolja ureja:

- varstvo okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj in v tem okviru določa temeljna načela varstva okolja,
- ukrepe varstva okolja,
- spremljanje stanja okolja in informacije o okolju,
- ekonomske in finančne instrumente varstva okolja,
- javne službe varstva okolja in
- druga z varstvom okolja povezana vprašanja.

Cilji tega zakona so naslednji:

- preprečitev in zmanjšanje obremenjevanja okolja,
- ohranjanje in izboljšanje kakovosti okolja,
- trajnostna raba naravnih virov,
- zmanjšanje rabe energije in večja uporaba obnovljivih virov energije,
- odpravljanje posledic obremenjevanja okolja, izboljšanje porušenega naravnega ravnovesja in ponovno vzpostavljanje njegovih regeneracijskih sposobnosti,
- povečanje snovne učinkovitosti proizvodnje in potrošnje,
- opuščanje in nadomeščanje uporabe nevarnih snovi.

Ti cilji pa bi se dosegli s spodbujanjem proizvodnje in potrošnje, ki prispeva k zmanjšanju obremenjevanja okolja, s spodbujanjem razvoja in uporabo tehnologij, ki preprečujejo, odpravljajo ali zmanjšujejo obremenjevanje okolja, s plačevanjem onesnaževanja in rabe naravnih virov.

Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda ter o pogojih za njegovo izvajanje določa:

- vrste parametrov odpadnih voda pri prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda,
- metodologijo vzorčevanja in merjenja parametrov in količino odpadnih voda,
- vsebino poročila o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu,
- način in obliko sporočanja podatkov ministrstvu, pristojnemu za okolje.

V tem pravilniku so kot osnovni parametri temperatura, pH, neraztopljene in usedljive snovi, KPK in BPK₅. Pravilnik velja tudi za čistilne naprave, ki so rekonstruirane.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz malih komunalnih čistilnih naprav določa:

- mejne vrednosti parametrov vode na izpustu,
- mejne vrednosti učinka čiščenja odpadne vode,
- posebne zahteve v zvezi z lastnim nadzorom obratovanja malih komunalnih čistilnih naprav,
- izvajanje monitoringa emisij iz malih čistilnih naprav.

Ta uredba zajema čistilne naprave za obdelavo komunalnih odpadnih voda z zmogljivostjo čiščenja, manjšo od 2000 PE. Ta uredba pravi tudi, da mora investitor nove ali rekonstruirane čistilne naprave zagotoviti prve meritve BPK₅ in KPK. Obratovalni monitoring izvaja izvajalec javne službe odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode in padavinske vode.

Preglednica 1: Mejne vrednosti parametrov za male čistilne naprave (Vir: Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz malih komunalnih čistilnih naprav)

Parameter	Mejna vrednost (mg/l O ₂)
KPK	150
BPK ₅	30

Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu med drugim določa:

- ukrepe in ravnanje z blatom iz komunalnih čistilnih naprav, če se uporablja kot gnojilo v kmetijstvu,
- prepovedi in omejitve v zvezi s tako uporabo,
- obveznost poročanja Evropski komisiji.

Ta uredba določa tudi mejne vrednosti težkih kovin v blatu, ki se uporabljajo v kmetijstvu.

Preglednica 2: Mejne vrednosti težkih kovin v blatu iz čistilnih naprav (Vir: Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu)

Težke kovine	Vsebnost (mg/kg _{ss})
Cd	1,5
Cr	200
Cu	300
Hg	1,5
Ni	75
Pb	250
Zn	1200

Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode je program, s katerim naj bi dosegli cilje o zmanjšanju onesnaževanja površinskih in podzemnih vod. Ta cilj bi se dosegel z zmanjšanjem vnosa dušika in fosforja ter mikrobioloških onesnažil, ki se nahajajo v odpadni komunalni vodi. S tem programom se določajo poselitvena območja, za katera je potrebno urediti odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode. Operativni program je sestavljen iz osnovnega programa, ki zajema velika poselitvena območja in mora biti odvajanje in čiščenje odpadne vode končano do 31. decembra 2015, ter iz dodatnih programov, ki imajo različne stopnje in je potrebno urediti odvajanje in čiščenje odpadne komunalne vode do konca leta 2017.

Direktiva Sveta z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode (91/271/EGS) med drugim ureja:

- zbiranje, čiščenje in odvajanje komunalne vode,
- čiščenje in odvajanje odpadne vode iz določenih industrijskih sektorjev.

Cilj te direktive je varstvo okolja pred škodljivimi vplivi biološko razgradljivih odpadnih vod.

Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktober 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike (2000/60/ES) med drugim ureja:

- načine in metode upravljanja z vodami
- in je okvir za vse zakonodajne akte Evropske skupnosti na področju upravljanja z vodami s poudarkom na varstvu voda pred onesnaževanjem.

Cilj te direktive je ohraniti in izboljšati vodno okolje v Evropski skupnosti.

2.2. Rastlinske čistilne naprave

Rastlinske čistilne naprave so umetni sistemi, ki posnemajo samočistilne sposobnosti naravnih močvirij. Rastlinske čistilne naprave so načrtovane in postavljene na takšen način, da omogočajo kontrolirane in intenzivne interakcije med vodo, rastlinami, mikroorganizmi in substratom. Vse te komponente imajo vlogo primarnega in sekundarnega čiščenja odpadne vode.

Ločimo dva glavna sistema rastlinskih čistilnih naprav glede na tok vode, to sta s površinskim tokom vode in podpovršinskim tokom vode.

Sistem s površinskim tokom vode:

- je podoben naravnim močvirjem,
- vodna površina je v stiku z atmosfero, zato je tudi možno zaznavanje vonjav,
- na dnu gred je pesek različnih granulacij, nad katerim pa se horizontalno pretaka voda,
- vsebuje aeroben pas pod vodno površino, kjer se nahajajo alge in makrofiti in
- v nižjih plasteh se pojavlja anoksično okolje in tam potekajo mikrobni procesi (Vrhovšek, 2008, povzeto po EPA, 1999).

Sistemi s površinskim tokom vode imajo perforirane cevi tako na površini kot pod njo. Perforirane cevi so cevi, ki zajemajo vtočni in iztočni sistem (Reed, 1993).

Sistemi s površinskim tokom vode se delijo na tri sisteme:

- Sistemi s prosto plavajočimi makrofiti: ti sistemi ne vsebujejo substrata, zato so grede v celoti napolnjene z vodo; rastline prosto plavajo na vodni površini, hijacinta (*Eichornia crassipes*) in vodna leča (*Lemna sp*), korenine pa imajo potopljene v vodo in s tem omogočajo površino za mikroorganizme; v nižjih plasteh se pojavljajo alge, kar je posledica pomanjkanja svetlobe; da se rastline na potopijo, se uporabljajo mreže, ki to preprečijo.
- Sistemi z ukoreninjenimi emergentnimi makrofiti: vsebujejo substrat na dnu grede, kar omogoča vodnim rastlinam, da se ukoreninijo v substrat; voda v tem sistemu se pretaka mimo rastlin; ta sistem je učinkovit pri odstranjevanju onesnaževal s pomočjo mikroorganizmov, prav tako pa potekajo razgradnja, flokulacija in sedimentacija; najpogostejše rastline so navadni trst, rogoz in šaš.
- Sistemi z ukoreninjenimi plavajočimi in potopljenimi makrofiti: nudijo prostor mikroorganizmom, oddaja se več kisika v vodnem stolpcu; ta sistem ima močvirske rastline, ki imajo liste na in pod vodno površino (*Nyuphea* in *Hydrocotyle*) (Vrhovšek, 2008).

Sistemi s podpovršinskim tokom vode:

- grede so v celoti napolnjene s substratom,
- v substrat so ukoreninjene močvirske rastline,
- odpadna voda ni v stiku z atmosfero, zato ni zaznavanja vonjav,
- substrat v teh sistemih nudi večjo površino za razvoj mikrobnega biofilma in
- najpogostejši močvirski rastlini sta navadni trst (*Phragmites australis*), rogoza (*Typha latidolia*) (Vrhovšek, 2008).

Sistem s podpovršinskim tokom vode ločimo še na dva sistema:

- Sistem s horizontalnim podpovršinskim tokom
- Sistem z vertikalnim podpovršinskim tokom: ta sistem omogoča intervalni pretok odpadne vode, ki poteka vertikalno od površine proti dnu grede; grede niso vedno poplavljene, zato je lažja difuzija in dostopnost atmosferskega kisika v substrat, poteka intenzivnejši proces nitrifikacije, vendar pa je omejena denitrifikacija (Vrhovšek, 2008).

Ti sistemi imajo nasajene vodoljubne rastline, ki jim koreninski sistem sega do 30 cm in je globina odpadne vode do 40 cm. V teh sistemih morajo rastline pokrivati več kot 50 % celotne površine, da sistem opravlja svojo nalogo (Vymazal, 2010).

V sistemih s površinskim tokom vode in podpovršinskim tokom vode je zadrževalni čas odpadne vode do 10 dni. V teh sistemih potekajo naslednji procesi:

- usedanje suspendiranih delcev,
- difuzija razgrajenih hranil v substrat in rastline,
- mineralizacija organskih snovi,
- odvzem hranil z mikroorganizmi in vegetacijo,
- mikrobna pretvorba hranil v plinaste komponente in
- fizikalno-kemijska adsorpcija in usedanje v substrat (Verhoeven, Meuleman, 1998).

Sistema z vertikalnim in horizontalnim tokom vode sodita v tako imenovano skupino za sistem čiščenja odpadne vode s trstičjo gredo. Horizontalni sistem za čiščenje odpadne vode potrebuje 2-2,5 m²/osebo površine, medtem ko vertikalni sistem za čiščenje odpadne vode potrebuje samo 1-2 m²/osebo površine (Tuladhar, Shrestha & Sherstha, 2006).

Poleg teh sistemov imamo tudi sisteme za čiščenje odpadnih vod, ki so med seboj mešani in jim pravimo hibridni sistemi. Ti sistemi so po navadi sestavljeni iz dveh sistemov, najpogostejša sistema sta sistem z vertikalnim tokom vode in horizontalnim tokom vode. Razporejena sta glede na odstranjevanje hranil, težkih kovin in suspendiranih delcev. Po navadi se hibridni sistem poimenuje po tistem sistemu, ki prevladuje oziroma predstavlja večji del. Na primer, če prevladuje sistem s horizontalnim tokom vode in je manjši del vertikalnega, se ta sistem imenuje horizontalno-vertikalni sistem čiščenja odpadne vode. Ta sistem je združen zaradi tega, ker horizontalni sistem boljše odstranjuje celotne suspendirane snovi in biokemijsko potrebo po kisiku, medtem ko je vertikalni sistem boljši pri dodajanju kisika v sam sistem. Tako se sistema med seboj dopolnjujeta (Dzikus et al., 2008). Seveda pa so še drugi sistemi čiščenja, ki so lahko med seboj združeni. Eden od teh sistemov je tudi sistem s površinskim tokom vode in horizontalnim tokom vode, ki se med seboj dopolnjujeta tako, da je horizontalni sistem boljši pri odstranjevanju organskih in suspendiranih snovi, medtem ko je sistem s površinskim tokom vode boljši pri odstranjevanju dušika in fosforja. Ta sistem ima višji pH kot drugi združeni sistemi za čiščenje odpadne vode, ker dlje časa zadržuje suspendirane snovi v sistemu (Vymazal, 2005). Hibridni sistemi so boljši od ostalih sistemov, ker bolje odstranjujejo organske in suspendirane snovi ter imajo boljši izkoristek pri kemijski potrebi po kisiku in biokemijski potrebi po kisiku. Odstranjevanje hranil pa je odvisno od izbire in združitve različnih sistemov (Sayadi et al., 2012).

Rastlinske čistilne naprave imajo veliko prednosti: velika učinkovitost čiščenja (80–90 %); za delovanje običajno nista potrebni energija in strojna oprema; ob razgradnji se določeni del med 10-20 % hranilnih snovi, težkih kovin, pesticidov in drugih toksičnih snovi vgradi v rastlinsko biomaso, medtem ko pri drugih čistilnih napravah brez dodatnih kemikalij za obarjene odtečejo; postavitve je enostavna in ne zahteva velikih posegov v prostor; vzdrževanje je enostavno in poceni; ne povzroča razvoja smradu in insektov, če je tok podpovršinski; se lepo vključuje v okolje in prispeva k lepšemu videzu degradiranih področij, prečiščena voda se lahko večnamensko uporabi (za pranje avtomobilov in zalivanje) (Amršek in sod., 2012).

Osnovni procesi, ki se dogajajo v rastlinskih čistilnih napravah, so adsorbpcija, mineralizacija, aerobna in anaerobna razgradnja. Glavni delež čiščenja prispevajo anaerobne in aerobne bakterije, ki živijo na koreninah in med njimi. Tako bakterije opravijo 80 % čiščenja odpadne vode, za ostalih 20 % pa prispevajo rastline z vezavo mineralnih snovi ter strupenih snovi v rastlinsko tkivo (Vrhovšek in sod., 2009).

2.2.1. Zgradba rastlinske čistilne naprave

Rastlinska čistilna naprava je sestavljena iz petih glavnih delov. Prvi del so zemeljska dela (oblikovanje gred), drugi del je podlaga, ki ne prepušča vode (lahko so naravni materiali, kot je glina, ali umetni materiali, kot so neprepustne folije), tretji del so vtočni in iztočni sistemi (cevi), četrti del je pesek različnih granulacij, na katerega nasadimo peti del, tj. vegetacijo, ki pa mora biti vodoljubna (Dzikus et al., 2008).

Rastlinske čistilne naprave so po navadi zgrajene iz sistemov gred, ki lahko vsebujejo mehansko predčiščenje za sedimentacijo in zadrževanje trdnih delcev. Grede so sestavljene iz vodotesne folije, ki prepreči, da pride odpadna voda v stik s podtalno vodo. Ko je v grede položena folija, se doda substrat, ki je različnih granulacij. Na grede, napolnjene s substratom, se nasadijo vodoljubne rastline. Za en populacijski ekvivalent (PE) se potebuje površina od 2 do 2,5 m² (Bulc, 2008).

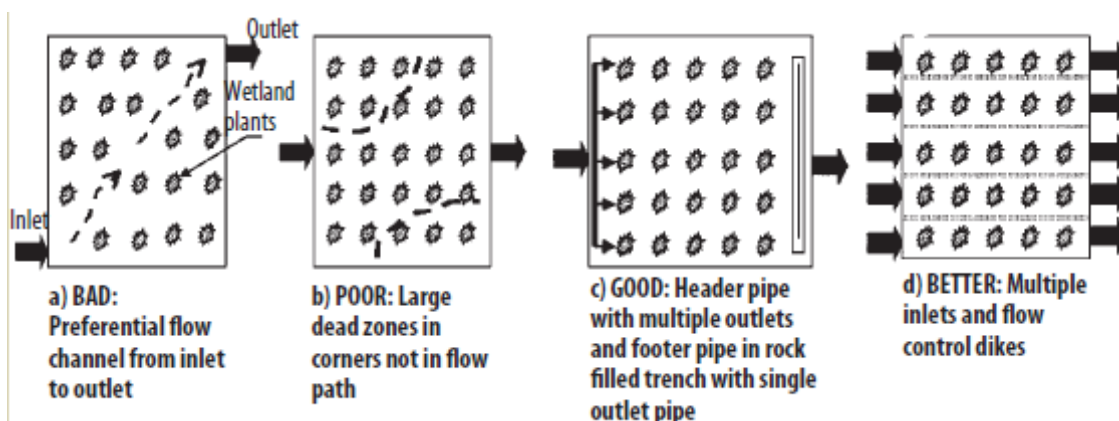
Zemeljska dela vključujejo izkop in premik zemlje za oblikovanje gred, ravnanje površine in utrjevanje zemlje. Grede morajo biti narejene tako, da imajo naklon okoli 1 %, zato da se odpadna voda po njih pretaka gravitacijsko. Ko so vsa zemeljska dela končana in so grede oblikovane, se položi neprepustna folija, ki mora biti položena ravno. Pri polaganju neprepustne folije je potrebno biti pozoren, da se folija ne poškoduje, saj ta folija preprečuje onesnaževanje okolja (Dzikus et al., 2008).

Če na rastlinsko čistilno napravo prihaja tako odpadna voda in meteorna voda, mora biti zgrajen zadrževalnik deževnih voda, in sicer pred usedalnikom rastlinske čistilne naprave. Zadrževalnik deževnih voda prepreči, da bi vsa voda prišla naenkrat v grede. S tem preprečimo previsok nivo vode v gredah, odnašanje substrata in vegetacije (Dzikus et al., 2008).

Usedalnik je po navadi narejen iz betona in je lahko različne velikosti, odvisno od količine odpadne vode, ki prihaja v rastlinsko čistilno napravo. Usedalnik je zgrajen iz prekatov, po navadi iz dveh, lahko tudi treh. Prekati v usedalniku morajo biti zgrajeni tako, da so vsaj 15

cm višji od nivoja vode, ki bo pritekala in se zadrževala v usedalniku. Prekati imajo lahko tudi funkcijo zadrževanja odpadne vode, predvsem če je poleg komunalne odpadne vode še meteorna voda. Prvi prekat ima največji volumen in funkcijo zadrževanja in usedanja večjih delcev in blata, prav tako pa upočasni tok vode. Ostali prekati imajo predvsem funkcijo umirjenja toka odpadne vode. Prekati so globoki od 1,5 do 2,5 m, prvi pa je lahko tudi globji. Usedalnik ima narejen tudi izpustni ventil za usedlino, ki se nabere v prvem prekatu (Tuladhar, Shrestha & Sherstha, 2006).

Rastlinska čistilna naprava ima vtočne in iztočne cevi oziroma sisteme. Ti sistemi nadzorujejo pot pritoka odpadne vode in nivo vode v gredah. Cevi morajo biti položene tako, da odpadno vodo porazdelijo po celotni gredi. Porazdelitev odpadne vode je zelo pomembna, saj je od tega odvisen zadrževalni čas vode v sami gredi. Zadrževalni časa odpadne vode v sistemu pa je odvisen od volumna sistema in pretoka odpadne vode v sistem, porazdelitev vode v sistem pa lahko spremeni aktivni volumen sistema. Vhodne cevi morajo biti oblikovane tako, da preprečijo zamašitev substrata in da vodo enakomerno porazdelijo po gredi. Iztočne cevi pa morajo biti oblikovane tako, da zberejo in odvajajo odpadno vodo iz grede. K iztočnemu sistemu sodi tudi jašek, v katerem je ventil, s katerim lahko vzdrževalec kontrolira nivo vode ali vodo iz grede polnoma izprazni. Perforirane cevi morajo biti primerne velikosti, imeti izvrtane luknjice, primerne velikosti, hkrati morajo biti luknjice porazdeljene enakomerno po cevi. Vse to uravnava tok vode (Dzikus et al., 2008).



Slika 2: Tlorisni prikaz najboljšega vtočnega in iztočnega sistema (Vir: Dzikus et al., 2008)

Komentar: Slika prikazuje najboljše vtok in iztok odpadne vode v tlorisnem pogledu. Slika 2a je najslabši pretok vode od vtoka do iztoka, saj odpadna voda nikoli popolnoma ne odteče in je zato v teh gredah zelo dolgi zadrževalni čas odpadne vode, saj naj bi tok vode potekal diagonalno. Malo boljši sistem vtoka in iztoka je na sliki 2b, kjer je vtok in iztok vode narajen vzporedno, vendar se v teh sistemih voda še vedno zadržuje predolgo in njena razporeditev ni enakomerna. Dober sistem vtoka in iztoka je na sliki 2c, kjer so cevi narejene tako, da odpadna voda priteka in odteka po celotni širini grede, voda je povsod razporejena in sistem deluje učinkovito. Ta sistem je najpogostejši pri izgradnji rastlinskih čistilnih naprav. Slika 2d pa prikazuje najboljši sistem vtoka in iztoka, kjer ima vsak vtok tudi svoj iztok.

2.2.2. Substrat

Substrat je najpogosteje mineralnega izvora: glina, peščene naplavine, kamenje, pesek, usedline in mineralizirane organske snovi, kot je šota (Bulc, 2008).

Lastnosti substrata so:

- kapaciteta,
- kationska izmenjava,
- pH,
- električna prevodnost,
- redoks potencial,
- površina substratnih delcev in
- površinski električni naboj.

Naloge substrata so:

- filtracija,
- sedimentacija in
- sorpcija raztopljenih in suspendiranih snovi, patogenih organizmov, dušika, fosforja in kovin.

Najbolj uporabljeni materiali za substrat so pesek, prodniki in kamenje, ki pa so različnih dimenzij. Seveda pa imajo tudi različne velikosti materiala svoje lastnosti, kot so:

- večji kot je material, večji sta poroznost in hidravlična prepustnost substrata,
- manjši delci pa imajo to lastnost, da nudijo večjo površino za razvoj biofilma, imajo laminarnejši tok vode, enakomernejšo razrast koreninskega sistema in
- manjši delci bolje odstranjujejo dušik kot večji (Vrhovšek, 2008).

Preglednica 3: Lastnosti substrata v RČN s podpovršinskim tokom vode (Vrhovšek, 2008, po Reed)

Tip substrata	Premer (mm)	Poroznost (%)	Hidravlična prevodnost (m ³ /m ² ·d)
Drobno zrnat pesek	2	32	1
Grobo zrnat pesek	8	35	5
Droben prod	16	38	7,5
Srednji prod	32	40	10
Grobo kamenje	128	45	100

Primeren substrat za rastlinsko čistilno napravo s podpovršinskim tokom je, če ima pesek hidravlično prepustnost od 10^{-4} do 10^{-3} m/s, plast peska mora biti debela od 40 do 80 cm, da ima funkcijo filtracije. Substrat ne sme vsebovati ilovice, mulja, drugega drobnega materiala in materiala z ostrimi robovi. Substrat prekrije tudi drenažne cevi, ki potekajo od vtoka v rastlinsko čistilno napravo do iztoka iz rastlinske čistilne naprave. Vrhnja plast, ki prekriva drenažne cevi, je debela 10 cm in vsebuje gromoz, ki pa ima nalogo, da preprečuje zastajanje odpadne vode (Hoffmann et al., 2010).

2.2.3. Trstičje in mikroorganizmi

Vse rastline, ki so nasajene v rastlinsko čistilno napravo, so vodoljubne rastline. To rastlinje je tako imenovano močvirsko rastlinje, ki ima toleranco do visoko in različno obremenjenih odpadnih vod. Te rastline so eden od dejavnikov čiščenja odpadne vode, saj njihov koreninski sistem daje površino za mikroorganizme, uravnovesi substrat, upočasnjuje tok odpadne vode, povečuje prevodnost in izloča kisik v odpadno vodo. Rastline imajo pomembno vlogo pri odstranjevanju dušika in fosforja. Odstranjevanje hranil se lahko spremlja preko prirastka biomase rastlin ali glede na prirastek na površino. Na uspešnost čiščenja vpliva tudi fiziologija rasti, kot je višina, oblikovanost listov in razraščanost koreninskega sistema (Vrhovšek, 2008).

Korenine in rizomi močvirskih rastlin so votli in zato vsebujejo z zrakom napolnjene kanalčke, ki so povezani z atmosfero in tako zagotavljajo kisik v poplavljenih delih rastlinske čistilne naprave.

Rastline imajo različne prednosti in slabosti, zato se jih izbira glede na globino vode, tolerančno pH-območje, estetsko vrednost in hrano za živali, kot so insekti, pajki, dvoživke, kače, želve, ptiči in glodavci.

V gredah rastlinskih čistilnih naprav najdemo različne vrste oziroma skupine rastlin, ki pa imajo tudi svoje lastnosti. Najpogostejše skupine so:

- Prosto plavajoče vodne rastline: te rastline so primerne za sisteme s površinskim tokom vode; njihove korenine oziroma koreninski splet visi s plavajočih listov; te rastline se premikajo s tokom vode; namen teh rastlin je, da iz vode odvzemajo hranilne snovi ter s svojimi listi naredijo senco in s tem preprečujejo rast alg; gosto plavajoče rastline tudi omejujejo difuzijo kisika iz atmosfere; nudijo tudi zavetje in hrano za živali, kot so insekti, pajki, dvoživke, kače, želve, ptice in glodavci.
- Ukoreninjene plavajoče vodne rastline in potopljene vodne rastline: te rastline so primerne za sisteme s površinskim tokom vode; po navadi so te rastline, potopljene v vodo, lahko pa imajo na vodni površini plavajoče liste; korenine imajo zakoreninjene na dnu gred; rastline nudijo površino za pritrnitev mikroorganizmov in po vodnem stolpcu rastline podnevi sproščajo kisik; prav tako te rastline omejujejo difuzijo kisika iz atmosfere; nudijo tudi zavetje in hrano za živali, kot so insekti, pajki, dvoživke, kače, želve, ptice in glodavci; te rastline so vodne trave.
- Ukoreninjene rastline: so primerne za sisteme s podpovršinskim tokom vode. So neolesenele; korenine imajo zakoreninjene na dnu grede in iz vode stojijo pokončno; omogočajo večjo flokulacijo in sedimentacijo; prav tako tudi senčijo in preprečujejo rast alg; upočasnjujejo tok vode in nudijo površino za pritrnitev mikroorganizmov; v zimskih mesecih pa te rastline delujejo kot izolator, saj preprečijo, da bi voda v gredah zamrznila; nudijo zavetje in hrano za živali, kot so insekti, pajki, glodavci, dvoživke, kače in želve. Te rastline so rogoz, šaš ali tako imenovano trstičje.
- V gredah najdemo tudi grmičevje in drevesa, ki nimajo opredeljenih funkcij čiščenja, vendar pa te rastline dobro prenašajo z vodo nasičena ali poplavljen tla. Pri drevesih sta to jelša in vrba, pri grmičevju pa dren in bodika (Brown et al., 2002).

Najpogostejši rodovi močvirskih rastlin so: trst (*Phragmites*), rogoz (*Typha*) in šaš (*Carex*). Vsaka rastlina ima tudi svoje značilnosti in sposobnosti odstranjevanja hranil in težkih kovin.

Gozdni sitec (*Scirpus sylvaticus*) raste tako v gozdovih kot na vlažnih travnikih in v močvirjih po vsej Sloveniji. Gozdni sitec ima 30-100 cm dolge liste, ki so 1 cm široki. Pozno spomladi mu zraste steblo, na katerem raste socvetje. Za normalno rast mu ustreza globina do 15 cm.

Širokolistni rogoz (*Typha latifolia*) zraste do 2 m visoko in ima na stebelu 2 cm široke ploščate liste, na koncu stebela pa ima en moten rjav valjasti socvet. Ima visoko zmožnost čiščenja polutantov iz vode. Raste po vsej Sloveniji. Ustreza mu pH-vrednost 3,0-8,5. Za normalno rast mu ustreza globina od 30 do 45 cm.

Ozkolistni rogoz (*Typha angustifolia*) zraste do 2 m visoko in ima na stebelu do pol cm široke ploščate liste, prav tako ima na koncu stebela rjav valjasti socvet, ki je obdan z dlačicami. Ta rastlina ima toleranco do slanosti. Raste po vsej Sloveniji. Ustreza mu pH-vrednost 3,7-8,5. Za normalno rast mu ustreza globina do 30 cm.

Navadni trst (*Phragmites communis*): njegovo steblo je visoko od 2 do 4 m. Na koncu stebela ima velike late, ki zacvetijo poleti in so rjave barve. Raste po vsej Sloveniji. Ustreza mu pH-vrednost 3,7-8,0. Za normalno rast mu ustreza globina do 7 cm.

Navadno ločje (*Juncus effusus*) je tolerantna rastlina tako za mokro kot suho stanje. Raste v šopih. Za normalno rast ji ustreza globina do 7,2 cm. Te rastline imajo liste podobne bilkam trav. Pri nas raste na vlažnih travnikih, v močvirjih in na bregovih voda. Zraste do 70 cm visoko in ima na koncu stebela socvetje.

Močvirsko sito (*Eleocharis palustris*) ima toleranco do senčnih leg. Za normalno rast ji ustreza globina do 7,2 cm. Raste po vsej Sloveniji. Steblo ima dolgo od 10 do 50 cm in na vrhu stebela 1 cm dolg rjav klas.

Rod šašov (*Carex spp.*): v to skupino sodijo kljunasti šaš (*Carex rostrata*), ostroluski šaš (*Carex acutiformis*), mehurjasti šaš (*Carex vesicaria*), obrežni šaš (*Carex riparia*), previsni šaš (*Carex pendula*) in čvrsti šaš (*Carex firma*). Za normalno rast jim ustreza globina do 7 cm.

Rumeni blatnik (*Nuphar luteum*) ima vsoko toleranco do nihanja globine vode. Prav tako ima toleranco do kisle vode, do pH 5,0. Za normalno rast mu ustreza globina do 152 cm.

Pravi kolmež (*Acorus calamus*) ima toleranco do suhih obdobij in ustreza mu delno sončna lega. Prav tako ima toleranco do kislega stanja. Za normalno rast mu ustreza globina do 7 cm. Raste skoraj povsod po Sloveniji, ne najdemo ga zgolj v submediteranskem okolju.

Indijanski riž (*Zizania aquatica*) potrebuje za rast veliko sonca. Za normalno rast mu ustreza globina do 30 cm. Je enoletna trava, ki zraste več kot dva metra visoko in ima velike in lepe late (Davis, 1995 in de Wit, 1978).

Sajenje rastlin na čistilno napravo se izvaja večinoma ročno in je zasnovano tako kot v naravnih območjih. Rastline se lahko sadijo s koreninami, rizosomi, gomolji ali kot sadike. Sadike lahko pridobimo na rastiščih trstičja, paziti je potrebno predvsem na to, da ne poškodujemo koreninskega sistema (Dzikus et al., 2008).

Močvirske rastline nudijo površino za pritrjevanje mikroorganizmov in za odmrlo organsko snov, ki pa je hrana za mikroorganizme. Prav tako močvirske rastline s svojimi koreninami izboljšajo rast mikroorganizmov, saj sproščajo enostavne sladkorje, aminokisliline, encime in aromatske snovi (Bulc in Vrhovšek, 2009). Mikroorganizmi so zelo pomembni pri pretvorbi

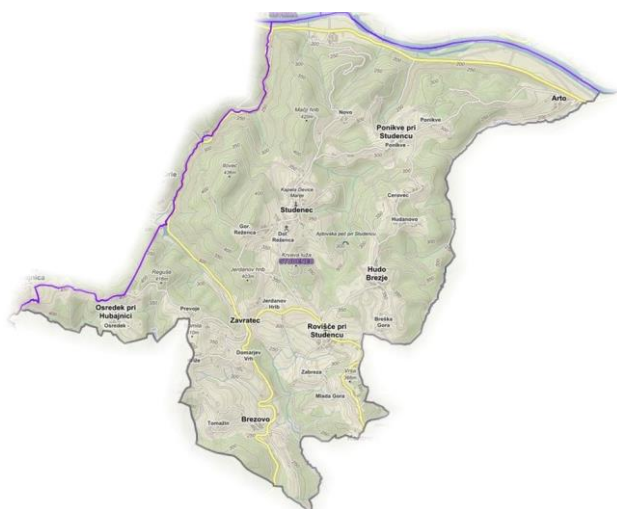
ogljika, dušika, fosforja, žvepla in železa, saj jih spremenijo v snovi, ki so dostopne rastlinam. Na procese, ki jih izvajajo mikroorganizmi, lahko vplivajo koncentracije reaktantov, redoks potencial in pH (Vrhovšek, 2008).

Mikroorganizmi, ki se nahajajo v rastlinskih sistemih, so predvsem bakterije in glive. Za čiščenje odpadne vode so pomembne tako heterotrofne kot avtotrofne združbe. Mikroorganizmi imajo predvsem vlogo pri kemijskih pretvorbah, ki pa so odvisne od encimskega delovanja, temperature, koncentracije raztopljenega kisika, pH in koncentracije kemijskih snovi (Bulc, 2008).

Večina bakterij v rastlinskih čistilnih napravah je heterotrofnih, kar pomeni, da dobijo hranila in energijo iz organskih snovi v odpadni vodi, nekaj bakterij pa je avtotrofnih in sintetizirajo organske molekule iz neorganskega ogljika, kot je CO₂. Glive imajo nalogo razgradnje ogljikovih spojin in hranil. Poleg gliv in bakterij so pomembne tudi nekatere alge. Mikroorganizmi in predvsem njihova mikrobna presnova so pomembni za pretvorbo hranil v snovi, ki so dostopne rastlinam (Kadlec & Wallace, 2009).

2.3. Rastlinska čistilna naprava Studenec

Naselje Studenec se nahaja v občini Sevnica, ki zajema 389,44 ha celotne površine v občini Sevnica. Naselje leži v severnem delu Krškega gričevja ob cesti Impoljca–Raka, vzhodno od gozdnatega griča Ilovca in doline Impoljskega potoka. Okolica naselja je gozdnata in porasla s travniki. V samem naselju prebiva okoli 200 prebivalcev. Gostota poselitve na hektar je 0,5. Naselje ima dve zaokroženi območji stavbnih zemljišč, ki pa se skoraj dotikata. Naselje ima tudi vodovarstveno območje 2. in 3. stopnje, območje spada v Naturo 2000, je ekološko pomembno območje, v naselju je tudi območje varovanja kulturne dediščine (Klenovšek, 2007).



Slika 3: Zemljevid naselja Studenec (Vir: Medmrežje 4)

2.3.1. Splošno o rastlinski čistilni napravi Studenec

Rastlinska čistilna naprava Studenec je bila zgrajena leta 1998 in deluje po principu fizikalno-kemijskega in biološkega načina čiščenja odpadne vode. Zgrajena je bila za 500 PE. Rastlinska čistilna naprava Studenec je sestavljena iz petih gred, ki imajo različne funkcije in učinke čiščenja.

Usedalnik ali zadrževalnik ima mehansko funkcijo, in sicer se v njem odstranjujejo oziroma usedajo večji delci, zato temu načinu čiščenja rečemo grobo čiščenje odpadne vode. Usedalnik je bil zgrajen iz armiranega betona, dimenzij 8 m dolžine, 3 m širine in 1,85-3,0 m višine. V usedalnik gre približno 33 m³ odpadne vode. Na poglobljenem delu usedalnika je narejen izliv na kompostno gredo, ki ima loputo za uravnavanje količine izliva. V usedalniku se nahaja še prekatna stena, višine 1 m in debeline 20 cm.

Prva greda je **filtrirna greda**, ki ima prav tako mehansko funkcijo, le da se tu zadržijo še vsi ostali suspendirani delci, ki se niso zadržali v usedalniku. Tako filtrirna greda zaščiti glavne tri sisteme rastlinske čistilne naprave, da nemoteno potekajo anaerobni in aerobni procesi čiščenja odpadne vode. Filtrirna greda je dolga 23 m, široka 10 m in globine 40 cm.

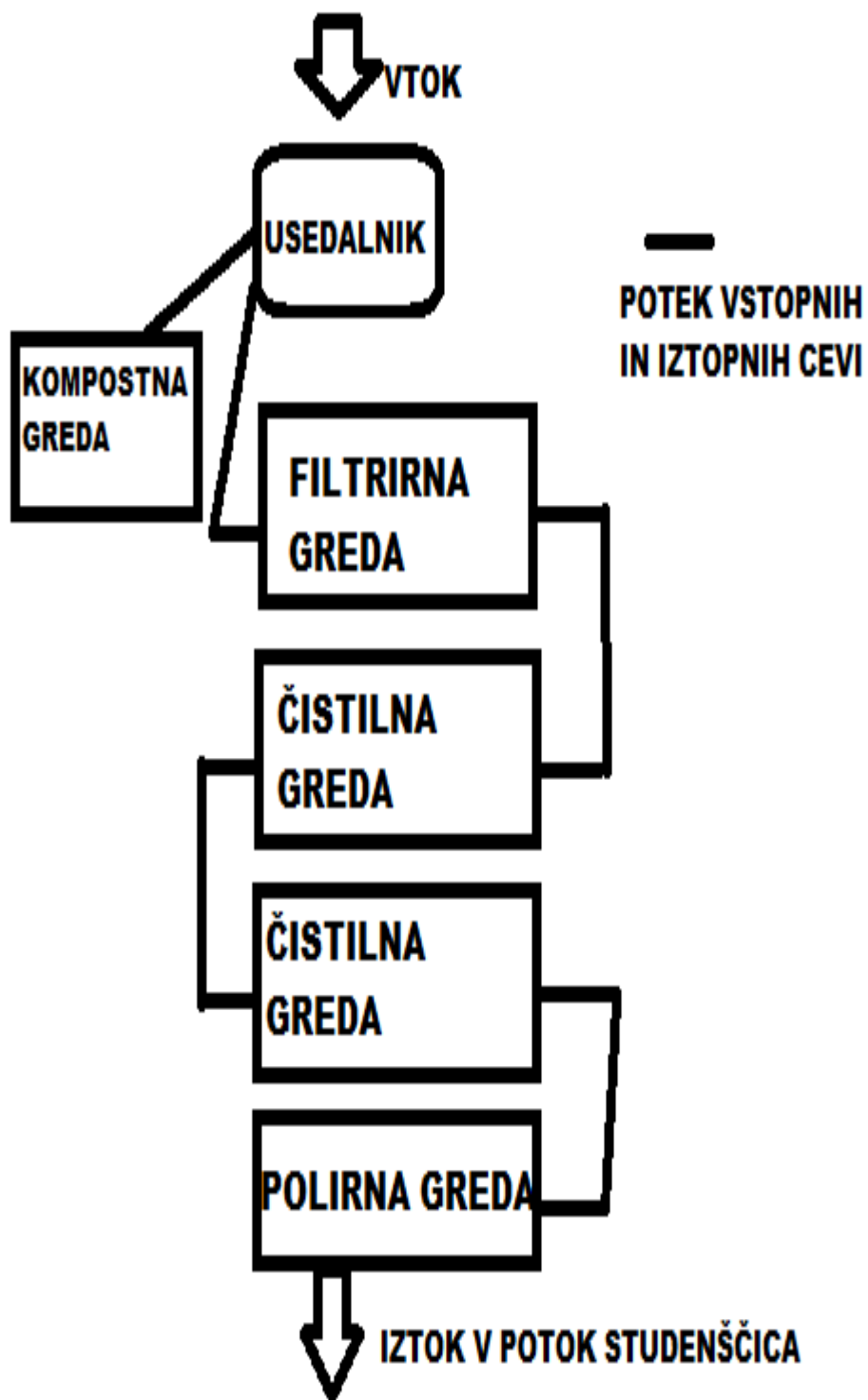
Sledita dve **čistilni gredi**, ki imata funkcijo, da s pomočjo močvirskih rastlin in mikroorganizmov ter anaerobnih in aerobnih procesov očistijo odpadno vodo. Sta tako imenovani glavni gredi za čiščenje odpadne vode. Čistilni gredi sta dolgi 46 m, široki 8,5 m in globoki 70 cm. V čistilnih gredah so bile narejene še pregrade, višine 60 cm, s katerimi naj bi se doseglo boljši globinski in površinski pretok.

Četrta greda je **polirna greda**, ki ima funkcijo dokončnega očiščenja odpadne vode ter vnosa kisika. Polirna greda je dolga 32 m, široka 9,5 m in globine 40 cm. Očiščena voda iz polirne grede po kaskadah odteka v potok Studenčnica.

Vse grede imajo drenažni sistem, ki vključuje vtočne in iztočne cevi ter jaške. Na določenih mestih so postavljeni jaški, ki imajo speljane cevi na grede. Ti jaški imajo nalogo dodajanja kisika v grede.

Na grede so nasadili navadni trst, v gostoti 5 rastlin/m².

Rastlinska čistilna naprava Studenec ima še peto gredo, in to je **kompostna greda**. Njena funkcija je, da se vanjo odlaga močvirske rastline, ki jih enkrat letno pokosijo, hkrati vanjo doteka še mulj iz usedalnika. Kompostna greda ali sušilna greda je dolga 11 m, široka 7 m in globine 40 cm (Vrhovšek, 2002 in PID (projekt izvedbenih del), Rastlinska čistilna naprava Studenec, 2002).



Slika 4: Prikaz zgradbe rastlinske čistilne naprave Studenec (Vrhovšek, 2002)

Kot vsaka rastlinska čistilna naprava ima tudi rastlinska čistilna naprava Studenec nekako porazdeljen učinek čiščenja po gredah (več v Preglednici 4).

Preglednica 4: Učinek čiščenja KPK po gredah (ocenjene vrednosti)

Greda	Učinek čiščenja po gredah (%)
Zadrževalnik	20-30
Filtrirna	20
Čistilna	60-70
Polirna	30
Kaskade	10
Skupaj	90-95

Odpadna fekalna voda, ki prihaja na rastlinsko čistilno napravo Studenec, vsebuje določene snovi, ki so bile izmerjene. Upošteevane so bili tako fizikalno-kemijske spremenljivke kot tudi sanitarno-mikrobiološke. V odpadni vodi se nahaja od 10^{12} do 10^{13} coli bakterij, ki kažejo na to, da ta odpadna voda prihaja iz gospodinjstev (Vrhovšek, 2002).

Preglednica 5: Koncentracija snovi v odpadni vodi, ki prihaja na rastlinsko čistilno napravo

Snovi	Količina (mg/l)
SS (suspendirane snovi)	600
KPK	350-400
BPK ₅	200-250
NH ₃	20-30
Celotni N	40-60
NO ₂	0,05-0,2
NO ₃	0-0,2
Maščobe	15-30

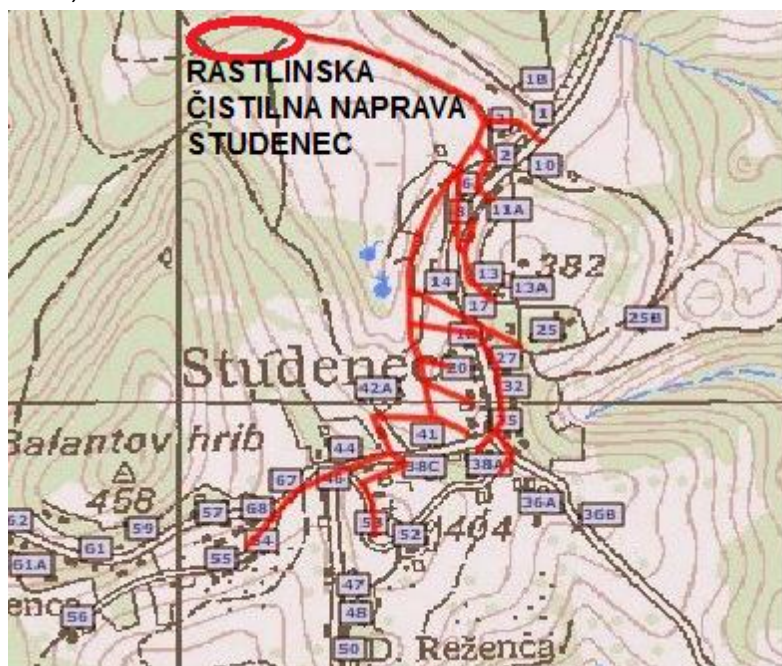
2.3.2. Kanalizacijski sistem v naselju Studenec

Kanalizacijski sistem Studenec je projektiral F.G. Inženiring, d. o. o., junija 1993. Naročnik kanalizacijskega sistema je bila Krajevna skupnost Studenec. Kanalizacijski sistem poteka gravitacijsko proti dolini Močilne. Sama ta dolina ima kraški značaj, kar pomeni, da voda ponikne in pride na plano v Impoljskem grabnu. Glavni kanal je kanal »A«, ki vodi do rastlinske čistilne naprave Studenec. Na kanal »A« so priključeni vsi sekundarni kanali, in sicer kanali »B«, »C«, »D1«, »D2«, »E«, »E1«, »E2«, »F«, »G«, »H« in »I«, ki pa so različne dolžine. Kanalizacijski sistem je bil grajen s PVC-cevmi, zaradi večjih padcev. Revizijski jaški so betonski. Ta kanalizacijski sistem zajema tudi del meteorne vode iz obstoječih prepustov oziroma požiralnikov. Zato je na jašku pred rastlinsko čistilno napravo zgrajen razbremenilnik visokih voda (Projekt PGD, 1993).

Preglednica 6: Dolžina kanalov v kanalizacijskem sistemu Studenec

Kanali	Dolžina kanalov (m)
»A«	1276
»B«	99
»C«	88
»D«	112
»D1«	60
»D2«	91
»E«	551
»E1«	83
»E2«	71
»F«	40
»G«	80
»H«	50
»I«	163
Skupaj kanali	2764

Rastlinska čistilna naprava Studenec čisti odpadno fekalno vodo iz naselja Studenec, v katerem prebiva okoli 200 prebivalcev. Na sam kanalizacijski sistem, ki vodi na rastlinsko čistilno napravo Studenec, je priključenih 27 stanovanjskih objektov in dva gospodarska objekta (Osnovna šola Studenec in trgovina Kmetijska zadruga Studenec) (Projekt PGD, 1993).



Slika 5: Potek kanalizacijskega sistema v naselju Studenec (Vir: Medmrežje 5)

2.4. Kemijske in fizikalne lastnosti odpadne vode

Odpadna voda ima tako fizikalne kot kemijske ter tudi biološke lastnosti vode. Odpadna voda je voda, ki je onesnažena in prihaja iz gospodinjstev, industrijskih obratov, kmetijskih objektov, padavinskih odtokov in infiltracije podtalnice. Fizikalne lastnosti odpadne vode so:

- trdne snovi so trde suspendirane snovi, različnih velikosti delcev, odvisne od nastanka odpadne vode. Ločimo naslednje suspendirane snovi: celotne trdne snovi, celotne hlapne snovi, celotne fiksirane snovi, celotne suspendirane snovi, hlapne suspendirane snovi, fiksirane suspendirane snovi, celotne raztopljene snovi, celotne hlapne raztopljene snovi, fiksirane raztopljene snovi in usedljive snovi.
- motnost je merilo za prepustnost svetlobe skozi odpadno vodo in je odvisna od koloidnih delcev in finih suspendiranih snovi.
- temperatura je nekoliko višja od voda v vodovodnem sistemu in vpliva na kemijske reakcije, vodno življenje in reakcijske hitrosti; topnost kisika je nižja pri višjih temperaturah, vendar pa so intenzivnejši biološki procesi; optimalna temperatura za bakterijsko aktivnost v aerobnih čistilnih napravah, kamor sodi tudi rastlinska čistilna naprava, je 25-35 °C.
- barva je odvisna od nastanka in starosti odpadne vode.

Kemijske lastnosti vode so:

- pH (pH v naravi mora biti med 6,5 in 8,5, kar pomeni, da se mora odpadna voda očistiti do navedenega pH-ja, kar se lahko doseže z biokemijskim procesom ali z nevtralizacijo),
- kloridi (ponovna uporaba odpadne vode je odvisna od koncentracije kloridov v njej),
- alkaliniteta (je rezultat prisotnosti hidroksidov, karbonatov, hidrogen karbonatov in kationov; v odpadni vodi preprečuje spremembe vrednosti pH, ki jih povzročajo dodatki kislin),
- dušikove spojine (dušik je eden od osnovnih gradnikov beljakovin in zato je pomemben pri biološkem čiščenju; najpogostejše oblike dušika v odpadnih voda so: amonijak (NH_3), amonij (NH_4^+), nitritni (NO_2) in nitratni ion (NO_3)),
- fosfor (je bistveni element za rast alg in drugih mikroorganizmov; komunalne odpadne vode vsebujejo med 4 in 16 mg/l fosforja),
- plini (odpadna voda lahko vsebuje raztopljene pline, kot so dušik, kisik, ogljikov dioksid, vodikov sulfid, amonijak in metan, klor in ozon),
- vonj (odpadne vode imajo tudi svoj vonj, kar je posledica razgradnje organskih snovi, najbolj značilen vonj pa je po vodikovem sulfidu),
- težke kovine (v odpadni vodi najdemo kovine, kot so kadmij, krom, cink, baker, železo, svinec, mangan, živo srebro in nikelj, ki pa v prekomernih količinah negativno vplivajo na organizme),
- skupne organske snovi (v odpadni vodi so predvsem proteini, ogljikovi hidrati, olja in maščobe, sečnina in sintetične organske molekule; te snovi so sestavljene iz ogljika, vodika, kisika in lahko tudi iz dušika in fosforja),
- biokemijska potreba po kisiku (predstavlja količino kisika, ki je potrebna za razgradnjo ogljikovih organskih snovi prisotnih v odpadni vodi),
- kemijska potreba po kisiku (predstavlja količino kisika, ki je potrebna za oksidacijo ogljikovih snovi prisotnih v odpadni vodi).

Biološke lastnosti odpadne vode predstavljajo mikroorganizmi, kot so bakterije, glive, praživali, virusi, patogene bakterije, patogene glive, patogene praživali in patogeni virusi (Roš in Zupančič, 2010).

2.5. Vzorčevanje in monitoring

Vzorčevanje je pomemben postopek za spremljanje fizikalno-kemijskega in biološkega stanja odpadne vode. Vsaka čistilna naprava ima in mora imeti načrt vzorčevanja in analiziranja in s tem določeno mesto odvzema reprezentativnega vzorca. Najpogosteje je mesto odvzema na vtoku in iztoku čistilne naprave.

Reprezentativno vzorčenje je postopek, ki ima osnovni cilj, da je dobljeni vzorec reprezentativen vodnemu toku, ki ga je treba analizirati. Pri tem vzorčevanju sta glavnega pomena pravilni izbor vzorčevalnega mesta in tehnika vzorčevanja.

Odvzem vzorca je odvisen od vrste informacij, ki jih potrebujemo in od narave procesa analiziranja. Vzorce, ki jih potrebujemo za analizo, lahko zbiramo ročno ali avtomatsko. Odvzem je lahko enkrat ali večkrat. Pri večkratnem odvzemu se vzorce zbira glede na časovni termin, npr. na 30 minut, in se jih nato združi v en vzorec. Tako zbrani vzorci se uporabljajo za laboratorijske analize. Nekatere analize pa lahko opravimo kar na samem mestu ali kontinuirano, npr. pH, električno prevodnost in temperaturo.

Odvizno od načina vzorčevanja ločimo različne vrste vzorca, in sicer:

- naključni ali trenutni vzorec: to je vzorec, ki ga odvezemo ročno in je diskretni, s tem vzorcem pridobimo hitre informacije o procesnem toku ter z njim pridobivamo analize nestabilnih parametrov (pH, raztopljeni kisik, topni sulfid, temperatura ...);
- sestavljeni ali kompozitni vzorec: pridobi se ga tako, da se zmešajo naključni vzorci, ki se pridobijo v specifičnem obdobju, najpogosteje v času 24-ih ur, takšen vzorec poda podatke o povprečnih lastnostih odpadne vode; odvzem poteka avtomatsko ali pa ročno;
- časovno sorazmerni vzorec: primeren je za procesne tokove, ki pa niso odvisni od pretoka, prav tako se zbirajo ročno in avtomatsko;
- pretočno sorazmerni vzorec: je točno merjenje in upoštevanje pretoka vode, kjer je mesto vzorčenja na gostoto ali količino odvzema vzorcev.

Pri vzorčenju lahko pride tudi do napak, ki nato vplivajo na končni rezultat analiz. Najpogostejše napake, ki se zgodijo, so:

- nepravilni izbor načina vzorčevanja,
- napačno izbrano odzemno mesto,
- nepravilno skladiščenje in konzerviranje vzorca,
- analize plinov in komponent, ki hitro razpadejo.

Pri vzorčevanju se moramo seznaniti tudi z vrsto odpadne vode, kanalizacijskim sistemom in odvzemom vzorca ter ogledom odzemnega mesta (Roš in Zupančič, 2010).

V Pravilniku o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadne vode ter o pogojih za njegovo izvajanje je navedeno, da reprezentativni vzorec za komunalne čistilne naprave od 200 do 2000 PE, kamor sodi tudi rastlinska čistilna naprava Studenec, traja 6 ur ter da se vzorčenje za meritve odvzema dvakrat letno. Vzorčenje je namenjeno meritvam osnovnih in dodatnih parametrov. Vzorčenje odpadne vode ima standard SIST ISO 5667-10 (1996).

Pri rastlinskih čistilnih napravah se analize delajo po navadi na vtoku v rastlinsko čistilno napravo in na iztoku iz nje. Tedenske meritve toka odpadne vode se opravljajo za temperaturo, raztopljeni kisik, pH-vrednost in pretočnost. Mesečne meritve se opravljajo za biokemijsko potrebo po kisiku po petih dneh (BPK₅), celotne suspendirane snovi, klorid, žveplo, celotni dušik, celotni fosfor, amonij in nitrat. Enkrat letno se morajo analizirati tudi rastline, kjer se preverjajo predvsem organska in neorganska onesnažila (Stewart et al., 2003).

2.6. Vzdrževanje rastlinske čistilne naprave

Vse naprave za čiščenje odpadne vode zahtevajo vzdrževanje. Če se jih pravilno ne vzdržuje, lahko pride do motenega delovanja ali celo prenehanja delovanja čistilne naprave. Prav tako je treba pravilno poskrbeti za rastlinske čistilne naprave. Zato so odgovorni upravljalci, ki morajo redno pregledovati rastlinsko čistilno napravo in po potrebi tudi čistiti. Da delovanje rastlinske čistilne naprave poteka nemoteno, mora upravljalec:

- redno pregledati vse pretoke vode v in iz gred,
- čistiti grobe delce, usedlino in mulj (2 x letno je potrebno čiščenje drenažnih cevi, ki vodijo do čistilnih gred, prav tako 2 x letno čistiti pretočne jaške; zbrani mulj pa se odlaga v kompostno gredo),
- po potrebi se odstranijo zbrane maščobe v usedalniku,
- čistiti se morajo mulde na začetku in koncu gred, zaradi nabranega erozijskega materiala,
- mulj, ki se odlaga v kompostno gredo, se mora enakomerno porazdeliti po gredi (do debelini 10 cm); nato se na ta mulj nasipa prst (20 cm) in posadi močvirske rastline (4-5 sadik/m²),
- redno se mora skrbeti za okolico rastlinske čistilne naprave; košnja trave in odstranitev odpadkov,
- dodajati morajo pesek, kjer se vidi odpadna voda,
- dosaditi morajo močvirske rastline (4-5 sadik/m²),
- odstranjevati morajo rastline (plevel in grmovnice), ki ne sodijo na rastlinske čistilne naprave,
- jeseni pokositi trstičje 15 cm nad površino in trstičje enakomerno položiti nazaj na grede ter ga spomladi odstraniti v kompostno gredo,
- spremljati pojav vonjav in
- opravljati monitoring učinkovitosti rastlinske čistilne naprave; odvzem vzorca poteka 1-2 x letno, izvedejo ga pooblaščen osebe za analiziranje odpadne vode in odvzem vzorca (Roš in Zupančič, 2010).

2.7. Odstranjevanje snovi in hranil

Za odstranjevanje hranil in snovi iz odpadnih vod so pomembni tako biotični kot abiotični dejavniki. Abiotični dejavniki za odstranjevanje onesnažil v rastlinskih čistilnih napravah so usedanje, sorbcija, kemična oksidacija, redukcija ali obarjanje, fotorazgradnja/oksidacija in izhlapevanje. Sedimentacija in usedanje odstranjujeta drobne delce in suspendirane snovi. Sorbcija je sestavljena iz adsorpcije in absorpcije. Redukcija ima nalogo imobilizirati toksične kovine.

Biotični dejavniki vključujejo predvsem mikrobne in fitološke procese, ti procesi pa so: aerobna in anaerobna biorazgradnja, fitoakumulacija, fitostabilizacija, fitorazgradnja,

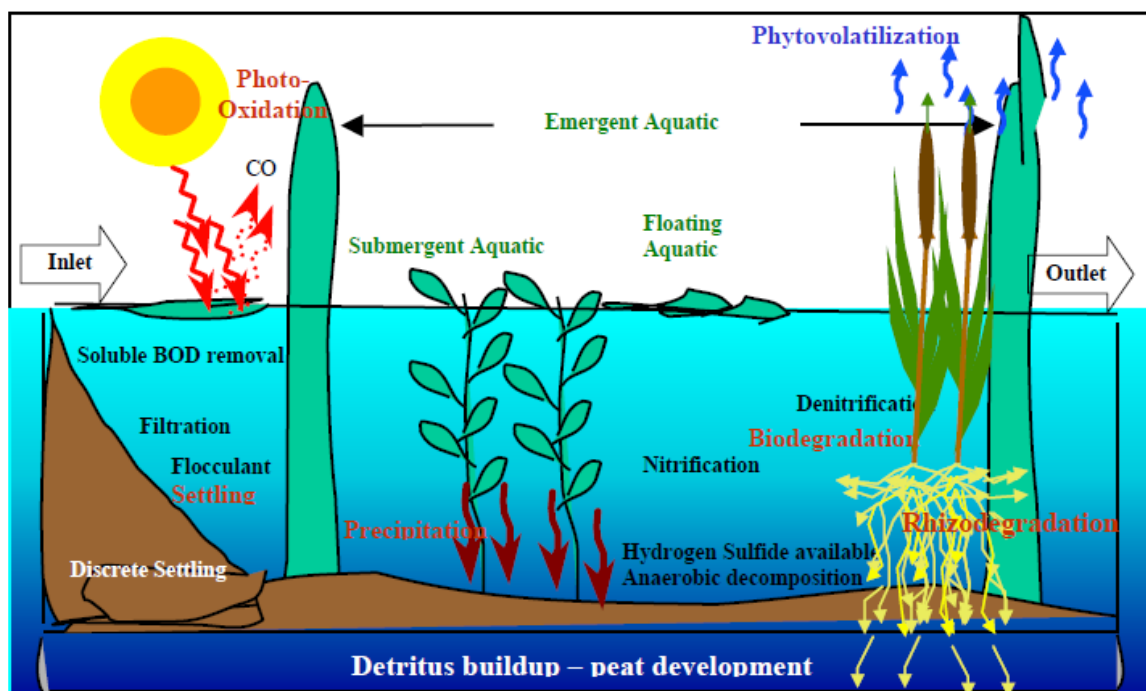
koreninska razgradnja, fitoizhlapevanje in evaporacija. Biotični mehanizmi za odstranjevanje snovi in hranil pa so: aerobna – mikrobna respiracija, anaerobna – mikrobna fermentacija, metanogeneza, rastlinska absorpcija, zunaj- in znotrajcelična encimska reakcija, nebiotična ekstrakcija in mikrobna predacija.

Metabolični procesi mikroorganizmov imajo posebno vlogo pri odstranjevanju organskih snovi, tako v aerobnem kot v anaerobnem okolju rastlinske čistilne naprave. Mikroorganizmi s svojo metabolično presnovo organske snovi pretvorijo v snovi, ki so dostopne rastlinam. Večina kemijskih reakcij za pretvorbo onesnažil poteka v odpadni vodi rastlinske čistilne naprave in v koreninsko-zemeljski coni. Fizikalni procesi imajo pomembno vlogo pri redukciji onesnažil, saj odstranjujejo neorganske in suspendirane snovi. Celotne suspendirane snovi se odstranjujejo z gravitacijskim usedanjem. Odstranjevanje organskega ogljika vključuje izhlapevanje, fotokemično oksidacijo, sedimentacijo, sorpcijo in biorazgradljivost. Del organske snovi pa razgradi mikrobna aktivnost v sedimentu. Organska snov vsebuje 45-50 % ogljika. Odpadna voda vsebuje veliko organskih snovi, ki jih merimo z biokemično potrebo po kisiku, kemijsko potrebo po kisiku in celotnim organskim ogljikom. Dušik je eno glavnih hranil, ki ga rastlina lahko odstranjuje, vendar ga morajo mikroorganizmi najprej pretvoriti v snovi, ki so rastlinam dostopne. Pretvorbe dušika potekajo z nitrifikacijo, denitrifikacijo, amonifikacijo, fiksacijo dušika in dušikovo asimilacijo. Amonifikacija je pretvorba organskega dušika v amonijak. Nitrifikacija je mikrobna pretvorba amonijevih soli v nitrit in nitrat. Za nastanek nitrita je potrebna bakterija *Nitrosomonas*, za nastanek nitrata pa bakterija *Nitrobacter*. Odstranjevanje nitrata poteka z biološkim procesom denitrifikacije, ki nitrat pretvori v plinasti dušik. Amonijak in nitrat se akumulirata tudi v rastlinske dele. Za odstranjevanje fosforja sta pomembna dva fizikalna procesa, in sicer sedimentacija delcev fosfatnih snovi in sorpcija topnega fosforja. Za odstranjevanje težkih kovin pa so pomembni naslednji procesi: filtracija zemlje, sorpcija na organske snovi, oksidacija in hidroliza, ogljikova pretvorba, netopna žveplova pretvorba, vezanje kovin, redukcija nemobilnih snovi z bakterijsko aktivnostjo, biološka metilizacija in izhlapevanje živega srebra (Stewart et al., 2003).

Preglednica 7: Odstranjevanje hranil in onesnažil (Stewart et al., 2003)

Skupine onesnažil	Načini odstranjevanja		
	Fizikalni	Kemijski	Biološki
Celotne suspendirane snovi	Usedanje	/	Biorazgradnja
Potrebe po kisiku (KPK, BPK)	Usedanje	Oksidacija	Biorazgradnja
Ogljikovodiki (goriva, olje, maščobe, alkohol, PAH-i, pesticidi, insekticidi, herbicidi)	Difuzija/izhlapevanje, Usedanje	Fotokemična oksidacija	Biorazgradnja, fitorazgradnja, fitoizhlapevanje, evaporacija
Dušikove snovi (organski N, NH ₃ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻)	Usedanje	/	Biodenitrifikacija, nitrifikacija, rastlinski odvzem
Fosforjeve snovi (organski P, PO ₄ ⁻³)	Usedanje	Obarjanje, adsorpcija	Mikrobna razgradnja, rastlinski odvzem
Kovine (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni, Se, Ag, Zn)	Usedanje	Obarjanje, adsorpcija, ionska izmenjava	Biorazgradnja, fitorazgradnja, fitoizhlapevanje

Patogeni organizmi	/	UV-sevanje	Odmrtje in mikrobna razgradnja
--------------------	---	------------	--------------------------------



Slika 6: Prikaz odstranjevanja hranil in onesnažil (Stewart et al., 2003)

3. MATERIALI IN METODE

3.1. Rekonstrukcija rastlinske čistilne naprave

3.1.1. Zakaj rekonstrukcija?

Rekonstrukcija rastlinske čistilne naprave v naselju Studenec je bila potrebna zaradi nepravilnega upravljanja z njo. Ker se s to napravo ni upravljal tako, kot bi bilo treba, kar pomeni redno pregledovanje in čiščenje usedalnika, pregledovanje vtočnih in iztočnih cevi na vsaki gredi, enkrat letno košnja trstičja pred zimo ter večkrat letno košnja brežin in okolice rastlinske čistilne naprave, je prišlo do zaraščanja samih gred. Po gredah in brežinah so začele rasti grmovnice, trave in drevesa. Zamašile so se vtočne in iztočne cevi ter drenažne cevi z muljem. Prav tako je pesek prekril mulj. Problem te rastlinske čistilne naprave je bil tudi v tem, da se niso znali dogovoriti, kdo bo upravljal te naprave in tako ni nihče skrbel zanjo, zato je prišlo do nedelovanja čistilne naprave.

3.1.2. Vzorčenje odpadne vode

Za vzorčenje odpadne vode sem izbrala naključni oziroma trenutni postopek vzorčevanja, ker je ta postopek primeren za ročni odvzem vzorca. Vzorce odpadne vode iz rastlinske čistilne naprave sem odvzela ročno s pomočjo teleskopske palice, na kateri je bila pritrjena plastična posodica, prostornine 2 l. Odpadno vodo iz obeh odzemnih mest sem dala vsako posebej v belo plastenko, prostornine 1 l, in nanjo napisala, kje sem vzela vzorec. Vzorce sem odpeljala v laboratorij, kjer sem naredila analize.

Da sem lahko naredila analize, sem morala za vsak kiventni test v čaše naliti dobro premešano odpadno vodo, ki sem jo ročno odvzela na rastlinski čistilni napravi Studenec. Vsak kiventni test sem naredila dvakrat in nato pri rezultatih vzela povprečje pri dveh analizah. Vsak hitri test ima svoj postopek za določanje snovi. Kivete so pripomoček za izvajanje fotometrične analize.



Slika 7: Prvo odzemno mesto (na jašku usedalnika)



Slika 8: Drugo odzemno mesto (na jašku prve grede)

3.1.3. Opis analiz parametrov (hitri testi)

a) amonijev dušik

Analizo za amonij sem naredila s hitrim testom LCK 303, proizvajalca Hach Lange d.o.o.. Najprej sem iz označenih plastenk, kjer sem imela odvzeto odpadno vodo, to odpadno vodo nalila v dve čaši. V eno čašo sem dala odpadno vodo iz prvega odvzemnega mesta, v drugo pa odpadno vodo iz drugega odvzemnega mesta. Nato sem ti dve čaši segrela na grelniku do sobne temperature (18-28 °C). Odpadno vodo v čašah sem s pomočjo homogenizatorja homogenizirala in s tem dosegla, da se je odpadna voda dobro premešala in da so se večji delci zdrobili. Najprej sem homogenizirala eno čašo, nato drugo. Preden sem homogenizirala drugo čašo, sem homogenizator očistila z destilirano vodo. S tem sem preprečila, da bi se drugi vzorec še dodatno onesnažil. Odpadno vodo iz vsake čaše sem nato z injekcijo prefiltrirala skozi mikrofilter, ki ima pore, velike 1,2 mikro metra, v drugi dve čaši. Vzela sem 4 kivete (dve za prvo odvzemno mesto in dve za drugo odvzemno mesto odpadne vode) in iz vsake kivete odstranila zaščitno folijo, pod to folijo je bil prah, ki je reagent, kivete sem dobro premešala, da se je reagent raztopil. Potem sem vzela pipeto in v vsako kiveto odpipetirala 2,0 ml odpadne vode. Nato sem kivete dobro zaprla in jih pretresla, kivete so postale vroče zaradi termične reakcije. Potem se dala kivete v termostat za 15 minut na 180 °C in počakala, da je začela temperatura padati do 80 °C, nakar sem odprla termostat, kivete ponovno pretresla in jih dala nazaj, da so se ohladile na sobno temperaturo, na okoli 25 °C, nato sem vsako kiveto posebej postavila v spektrofotometer in odčitala rezultat.

Analize amonija z odpadno vodo iz vtoka sem morala ponoviti, ker je spektrofotometer pokazal absorpcijo nad 3,5 mg/l. Analize sem nato naredila z razredčitvijo, in sicer sem naredila razredčitvev 0,2 ml vzorca in 0,18 ml destilirane vode in postopek ponovila. Nato sem dobljeni rezultat pomnožila z 10 in tako dobila pravilni rezultat.

b) nitratni dušik

Analizo za nitrat sem delala s hitrim testom LCK 339, proizvajalca Hach Lange d.o.o.. Najprej sem iz označenih plastenk, kjer sem imela odvzeto odpadno vodo, to odpadno vodo nalila v dve čaši. V eno čašo sem dala odpadno vodo iz prvega odvzemnega mesta, v drugo pa odpadno vodo iz drugega odvzemnega mesta. Nato sem ti dve čaši segrela na grelniku do sobne temperature (18-28 °C). Odpadno vodo v čašah sem s pomočjo homogenizatorja homogenizirala in s tem dosegla, da se je odpadna voda dobro premešala in da so se večji delci zdrobili. Najprej sem homogenizirala eno čašo, nato drugo. Preden sem homogenizirala drugo čašo, sem homogenizator očistila z destilirano vodo. S tem sem preprečila, da bi se drugi vzorec še dodatno onesnažil. Odpadno vodo iz vsake čaše sem nato z injekcijo prefiltrirala skozi mikrofilter, ki ima pore, velike 1,2 mikro metra, v drugi dve čaši. Vzela sem 4 kivete (dve za prvo odvzemno mesto in dve za drugo odvzemno mesto odpadne vode) in vanje odpipetirala 1,0 ml vzorca, dobro pretresla, v kivete sem odpipetirala še 0,2 ml reagenta A in ponovno dobro pretresla. Potem se dala kivete v termostat za 15 minut na 180 °C in počakala, da je začela temperatura padati do 80 °C, nakar sem odprla termostat in kivete ponovno pretresla, jih dala nazaj, da so se ohladile na sobno temperaturo, na okoli 25 °C, nato sem vsako kiveto posebej postavila v spektrofotometer in odčitala rezultat.

c) kemijska potreba po kisiku

Analizo za kemijsko potrebo po kisiku (KPK) sem delala s hitrim testom LCK 514, proizvajalca Hach Lange d.o.o.. Najprej sem iz označenih plastenk, kjer sem imela odvzeto odpadno vodo, to odpadno vodo nalila v dve čaši. V eno čašo sem dala odpadno vodo iz prvega odvzemnega mesta, v drugo pa odpadno vodo iz drugega odvzemnega mesta. Nato sem ti dve čaši segrela na grelniku do sobne temperature (18-28 °C). Odpadno vodo v čašah sem s pomočjo homogenizatorja homogenizirala in s tem dosegla, da se je odpadna voda dobro premešala in da so se večji delci zdrobili. Najprej sem homogenizirala eno čašo, nato drugo. Preden sem homogenizirala drugo čašo, sem homogenizator očistila z destilirano

vodo. S tem sem preprečila, da bi se drugi vzorec še dodatno onesnažil. Vzela sem 4 kivete (dve za prvo odvzemno mesto in dve za drugo odvzemno mesto odpadne vode), odstranila zaščitno folijo, pod katero je bil reagent ter vanje odpipetirala 2,0 ml vzorca in dobro pretresla. Kivete so postale vroče zaradi termične reakcije. Potem se dala kivete v termostat za 15 minut na 180 °C in počakala, da je začela temperatura padati do 80 °C, nakar sem odprla termostat in kivete ponovno pretresla, jih dala nazaj, da so se ohladile na sobno temperaturo, na okoli 25 °C, nato sem vsako kiveto posebej postavila v spektrofotometer in odčitala rezultat.

d) celotni dušik

Analizo za celotni dušik (TN_b) sem delala s hitrim testom LCK 238, proizvajalca Hach Lange d.o.o.. Najprej sem iz označenih plastenk, kjer sem imela odvzeto odpadno vodo, to odpadno vodo nalila v dve čaši. V eno čašo sem dala odpadno vodo iz prvega odvzemnega mesta, v drugo pa odpadno vodo iz drugega odvzemnega mesta. Nato sem ti dve čaši segrela na grelniku do sobne temperature (18-28 °C). Odpadno vodo v čašah sem s pomočjo homogenizatorja homogenizirala in s tem dosegla, da se je odpadna voda dobro premešala in da so se večji delci zdrobili. Najprej sem homogenizirala eno čašo, nato drugo. Preden sem homogenizirala drugo čašo, sem homogenizator očistila z destilirano vodo. S tem sem preprečila, da bi se drugi vzorec še dodatno onesnažil. Vzela sem dve dodatni večji kiveti (za prvo odvzemno mesto in drugo odvzemno mesto odpadne vode) in v njiju odpipetirala 0,5 ml vzorca, dodala 2,0 ml raztopine natrijevega hidriksida ter oksidant v obliki tabletki B. Nato sem ti dve veliki kiveti dala v termostat 15 minut na 180 °C in ju nato ohladila. Ko sta se ti dve kiveti ohladili, sem dodala v kiveto tableto MicroCap C in dobro pretresla. Vzela sem 4 kivete (dve za prvo odvzemno mesto in dve za drugo odvzemno mesto odpadne vode) in vanje odpipetirala 0,5 ml vzorca, dobro pretresla, v kivete sem odpipetirala še 0,2 ml raztopine D in ponovno dobro pretresla. Kivete sem pustila 15 minut mirovati in po 15 minutah sem vsako posebej postavila v spektrofotometer in odčitala rezultat.

e) fosfor

Analizo za fosfor sem delala s hitrim testom LCK 348, proizvajalca Hach Lange d.o.o.. Najprej sem iz označenih plastenk, kjer sem imela odvzeto odpadno vodo, to odpadno vodo nalila v dve čaši. V eno čašo sem dala odpadno vodo iz prvega odvzemnega mesta, v drugo pa odpadno vodo iz drugega odvzemnega mesta. Nato sem ti dve čaši segrela na grelniku do sobne temperature (18-28 °C). Odpadno vodo v čašah sem s pomočjo homogenizatorja homogenizirala in s tem dosegla, da se je odpadna voda dobro premešala in da so se večji delci zdrobili. Najprej sem homogenizirala eno čašo, nato drugo. Preden sem homogenizirala drugo čašo, sem homogenizator očistila z destilirano vodo. S tem sem preprečila, da bi se drugi vzorec še dodatno onesnažil. Vzela sem 4 kivete (dve za prvo odvzemno mesto in dve za drugo odvzemno mesto odpadne vode) in z vsake kivete odstranila zaščitno folijo, pod to folijo je bil prah, ki je reagent, kivete sem dobro pretresla, da se je reagent raztopil in vanje odpipetirala 0,4 ml vzorca, nato vse dobro pretresla. Kivete so postale vroče zaradi termične reakcije. Kivete se nato za 15 minut dala v termostat na 180 °C ter pustila, da se ohladijo. Potem sem vanje dodala 0,5 ml reagenta B, kivete nato zaprla s pokrovčkom C in dobro pretresla. Kivete sem pustila 15 minut mirovati in po 15 minutah sem vsako posebej postavila v spektrofotometer in odčitala rezultat.

4. PRAKTIČNI DEL

4.1. IZVEDBA REKONSTRUKCIJE

Prvi del rekonstrukcije rastlinske čistilne naprave Studenec se je začel marca 2014. V tem mesecu so očistili z gred in okolice rastlinske čistilne naprave rastlinje, grmovje in drevesa, saj je bila čistilna naprava popolnoma zaraščena. Čiščenje rastlinja, grmovja in dreves so opravili delavci Javnega podjetja Komunala, d. o. o., Sevnica. Delo je potekalo ročno in strojno. Ročno so z motornimi žagami podrli debelejša drevesa. Strojno so kosili in mulčili rastlinje in grmovje, ki je rastle po gredah, brežinah ter v okolici rastlinske čistilne naprave.



Slika 9: Rastlinska čistilna naprava pred čiščenjem rastlinja (Kuhar, 2014)



Slika 10: Rastlinska čistilna naprava Studenec po čiščenju rastlinja

V mesecu novembru smo nadaljevali z rekonstrukcijo rastlinske čistilne naprave Studenec. In sicer so delavci Javnega podjetja Komunala, d. o. o., Sevnica, najprej še enkrat po gredah in brežinah pokosili rastlinje, nato pa s pomočjo malega gradbenega stroja in s tovornjakom odstranjevali substrat s prve, druge in tretje grede, očistili so tudi del četrte grede. Substrat, ki je bil sedaj na gredah, je bil zelo pomešan glede na granulacijo substrata, na samih gredah je bilo kar za 15 cm na debelo mulja. Substrat trenutno tudi ni bil hidravlično prepusten. Delavci so morali paziti, da niso z mehanizacijo poškodovali folije. Substrat se je odvažal v bližnjo gramozno jamo, nekaj so ga porabili za vzdrževanje gozdnih poti. V prvi gredi je bilo za odstraniti okoli 150 m³ substrata in mulja, v drugi okoli 310 m³ substrata in mulja, v tretji gredi je bilo 230 m³ substrata in mulja, v četrti gredi pa je bilo za odstraniti 50 m³ substrata in mulja. Pregledal se je usedalnik rastlinske čistilne naprave Studenec, ki je vizualno dober. Bil je zamašen zaradi higienskih robčkov in vložkov, vatiranih palčk, peska

in drevja. Usedalnik smo izpraznili ročno in s pomočjo cisterne, ga sprali z vodo ter pogledali pregrade v usedalniku, saj so pomembne pri zadrževanju večjih delcev, ki lahko v nadaljevanju motijo delovanje čistilne naprave. Usedalnik ima ventil, ki spušča blato na kompostno gredo oziroma sušilno gredo. Ta ventil deluje, saj smo morali zapreti dotočni ventil, ki vodi odpadno vodo v grede in jo preusmeri na kompostno gredo. To smo naredili zato, da se je lahko začelo čiščenje substrata iz gred. S tem smo preprečili dotok odpadne vode v grede. V usedalniku se je dodatno zgradil še en prekat, ki bo imel funkcijo lovljenja maščob in zadrževanja večjih delcev. Cevi, ki so bile v gredah, so bile zamašene z muljem in peskom.

Čiščenje prve grede je potekalo po naslednjih postopkih. Najprej se je odstranilo 15 cm mulja, nato se je začelo z odstranjevanjem substrata, in sicer s strojno mehanizacijo. Po odstranitvi substrata so se odstranile drenažne cevi in betonski jaški, ki pa se ne bodo ponovno uporabili, saj smo jih zamenjali z novimi. Potem smo z vodo očistili zaščitno folijo. Ker je bila folija tudi na nekaterih delih pretrgana, so jo delavci s pomočjo posebne smole in folije zavarili. Nato smo na zaščitno folijo položili še filc ali geotekstil, ki zagotovi zaščito pred prdtjem. Na začetku prve grede smo položili dotočne perforirane PVC-cevi in vanje navrtali luknje s premerom 12 mm na razdaljo 20 cm. Betonski jašek smo zamenjali s plastičnim jaškom. Prav tako smo iztočne cevi zamenjali s perforiranimi PVC-cevmi in vanje navrtali luknje s premerom 12 mm na razdaljo 20 cm. Vse cevi so položene na dno grede. Nato se je začelo nasipavanje novega substrata. Na dotočne in iztočne cevi smo ročno nasipali substrat s frakcijo 16/32 mm. Celotno gredo se je nato nasipalo s strojno mehanizacijo, in sicer s homogeno mešanico substrata, frakcije 8/16 in 16/32, v razmerju 1 : 2. Nato smo s pomočjo grabelj substrat lepo porazdelili in poravnali po celotni gredi. Nato smo v sam substrat dali še prezračevalne cevi, ki so dolge 80 cm. Sama greda je dolga 22 m, široka 9 m in visoka 0,5 m. Kar pomeni, da se je za prvo gredo porabilo približno 100 m³ substrata.

Čiščenje druge grede je potekalo po naslednjih postopkih. Najprej se je odstranilo 15 cm mulja, nato se je začelo z odstranjevanjem substrata, ki se ga je odstranjevalo s strojno mehanizacijo. Po odstranitvi substrata so se odstranile drenažne cevi in betonski jaški, ki pa se ne bodo ponovno uporabili, saj smo jih zamenjali z novimi. Potem smo z vodo očistili zaščitno folijo. Ker je bila folija tudi na nekaterih delih pretrgana, so jo delavci s pomočjo posebne smole in folije zavarili. Nato smo na zaščitno folijo položili še filc ali geotekstil, ki zagotovi zaščito pred prdtjem. Na začetku druge grede smo položili dotočne perforirane PVC cevi in vanje navrtali luknje s premerom 12 mm na razdaljo 20 cm. Betonski jašek smo zamenjali s plastičnim jaškom. Prav tako smo iztočne cevi zamenjali s perforiranimi PVC-cevmi in vanje navrtali luknje s premerom 12 mm na razdaljo 20 cm. Vse cevi so položene na dno grede. Nato se je začelo nasipavanje novega substrata. Na dotočne in iztočne cevi smo ročno nasipali substrat s frakcijo 16/32 mm. Večino grede se je nasipalo s homogeno mešanico substrata, frakcije 16/32 mm, 8/16 mm, 4/8 mm, v razmerju 1 : 2 : 1, na dveh mestih pa se je nasipalo s frakcijo 2/4 mm z namenom, da se upočasni tok vode. Nato smo s pomočjo grabelj substrat lepo porazdelili in poravnali po celotni gredi. Nato smo v sam substrat dali še prezračevalne cevi, ki so dolge 80 cm. Sama greda je dolga 46 m, široka 7,5 m in visoka 0,75 m. Kar pomeni, da se je za drugo gredo porabilo približno 250 m³ substrata.

Čiščenje tretje grede je potekalo po naslednjih postopkih. Najprej se je odstranilo 15 cm mulja, nato se je začelo z odstranjevanjem substrata, ki se ga je odstranjevalo s strojno mehanizacijo. Po odstranitvi substrata so se odstranile drenažne cevi in betonski jaški, ki pa se ne bodo ponovno uporabili, saj smo jih zamenjali z novimi. Potem smo z vodo očistili zaščitno folijo. Ker je bila folija tudi na nekaterih delih pretrgana, so jo delavci s pomočjo posebne smole in folije zavarili. Nato smo na zaščitno folijo položili še filc ali geotekstil, ki zagotovi zaščito pred prdtjem. Na začetku tretje grede smo položili dotočne perforirane PVC-cevi in vanje navrtali luknje s premerom 12 mm na razdaljo 20 cm. Betonski jašek smo zamenjali s plastičnim jaškom. Prav tako smo iztočne cevi zamenjali s perforiranimi PVC-cevmi in vanje navrtali luknje s premerom 12 mm na razdaljo 20 cm. Vse cevi so položene

na dno grede. Nato se je začelo nasipavanje novega substrata. Na dotočne in iztočne cevi smo ročno nasipali substrat s frakcijo 16/32 mm. Večino grede se je nasipalo s homogeno mešanico substrata, frakcije 4/8 mm, 8/16 mm, v razmerju 2 : 1, na dveh mestih pa se je nasipalo s frakcijo 2/4 mm z namenom, da se upočasni tok vode. Nato smo s pomočjo grabelj substrat lepo porazdelili in poravnali po celotni gredi. Nato smo v sam substrat dali še prezračevalne cevi, ki so dolge 80 cm. Sama greda je dolga 45 m, široka 7 m in visoka 0,5 m. Kar pomeni, da se je za tretjo gredo porabilo približno 150 m³ substrata.

Čiščenje četrte grede, ni bilo načrtovano, zato smo očistili samo polovico prvotne grede, ker ni potrebe, da bi bila četrta greda tako velika. Smo pa tisti del grede očistili, in sicer najprej se je odstranilo 15 cm mulja, nato se je začelo z odstranjevanjem substrata, ki se ga je odstranjevalo s strojno mehanizacijo. Po odstranitvi substrata so se odstranile drenažne cevi in betonski jaški, ki pa se ne bodo ponovno uporabili, saj smo jih zamenjali z novimi. Potem smo z vodo očistili zaščitno folijo. Ker je bila folija tudi na nekaterih delih pretrgana, so jo delavci s pomočjo posebne smole in folije zavarili. Nato smo na zaščitno folijo položili še filc ali geotekstil, ki zagotovi zaščito pred predrtjem. Na začetku četrte grede smo položili dotočne perforirane PVC-cevi in vanje navrtali luknje s premerom 12 mm na razdaljo 20 cm. Betonski jašek smo zamenjali s plastičnim jaškom. Prav tako smo iztočne cevi zamenjali s perforiranimi PVC-cevmi in vanje navrtali luknje s premerom 12 mm na razdaljo 20 cm. Vse cevi so položene na dno grede. Nato se je začelo nasipavanje novega substrata. Na dotočne in iztočne cevi smo ročno nasipali substrat s frakcijo 16/32 mm. Celotno gredo se je nasipalo s substratom frakcije 2/4 mm. Nato smo s pomočjo grabelj substrat lepo porazdelili in poravnali po celotni gredi. Sama greda je dolga 9 m, široka 7 m in visoka 0,5 m. Kar pomeni, da se je za tretjo gredo porabilo približno 30 m³ substrata.

Na rastlinsko čistilno napravo Studenec se bo sadilo navadno trstičje (*Fragmites australis*). Trstičje se ob odvezlo iz okolice občine Sevnica ali pa z Ljubljanskega barja. Sadike navadnega trstičja se nabira ročno, in sicer se nabirajo koreninski rizomi, ki morajo imeti zeleni del nakaljen. Koreninski rizomi se nabirajo zaradi tega, ker so že prilagojeni na vodo, zeleni del pa mora imeti nakaljen zato, da trstičje hitreje vzkljuje, se prime in razraste po gredah. S tem tudi rastlinska čistilna naprava začne hitreje delovati in dosegati standarde o čiščenju odpadne vode. Trstičje se bo sadilo ročno s pomočjo lopate. Sadi se vsako sadike posebej, in sicer 10 sadik/m², zato da se hitreje razraščajo pa gredah. Sadijo se 15-20 cm globoko, koreninski rizomi morajo biti v stiku z odpadno vodo, zeleni del pa na svetlobi, zato da se proizvaja fotosinteza za rasti. Če je trstičje pravilno nasajeno, je rezultat razraščanja viden že v 2 mesecih in pol.

Zgradil se je tudi razbremenilnik, ki bo služil za zadrževanje padavinske oziroma meteorne odpadne vode ob večjem deževju. Problem te čistilne naprave je bila namreč tudi preobremenjenost z odpadno vodo ob deževju. Razbremenilnik je dolg 4 metre in visok 2,30 metra, povezan je z usedalnikom, da odpadna voda počasi prihaja na rastlinsko čistilno napravo. Razbremenilnik ima tudi izpust v kompostno gredo za primer prepolnega razbremenilnika. Razbremenilnik je plastične izvedbe.

V usedalniku se je naredil tudi prekat, ki bo služil kot peskolov. Kar pomeni, da bo zadrževal večje delce (pesek, veje) in s tem preprečil zamašitev vtočnih cevi.

Ves čas rekonstrukcije se odpadna voda odvaja v kompostno gredo. Kompostna greda se bo rekonstruirala po naslednjem postopku. Najprej se bosta odstranila mulj in substrat, potem sledi pregled vodotesnosti zaščitne folije, če bo treba, se jo bo zavarilo. Odstranile se bodo zdajšnje cevi, ki so v gredi in se bodo položile nove cevi, ki bodo vodile v usedalnik, ker pri odlaganju trstičja nastane tudi odpadna voda. V gredo se bo tudi nasipal novi substrat oziroma pesek.



Slika 11: Drenažne cevi, ki so se nahajale v rastlinski čistilni napravi Studenec



Slika 12: Odstranjevanje substrata



Slika 13: Kompostna greda z odpadno vodo



Slika 14: Varjenje zaščitne folije



Slika 15: Polaganje filca in drenažnih cevi



Slika 16: Nasipavanje substrata



Slika 17: Ročno nasipavanje substrata okoli drenažnih cevi



Slika 18: Končni izgled grede

4.2. Rezultati določanja parametrov vode

Odvzem vzorcev sem naredila 18. 4. 2014, in sicer na dveh odzemnih mestih. Ti dve mesti sta bili na prvem jašku, ko odpadna voda priteče v usedalnik, drugi odzem pa je bil na prvi gredi pri prvem jašku. Odvzem je bil možen le na dveh mestih, ker voda nato teče kar po gredah, ker so ostali jaški zamašeni. Nato sem vzorce odpeljala v laboratorij na Centralno čistilno napravo Sevnica, kjer sem jih analizirala s hitrimi testi. Analizirala sem naslednje snovi:

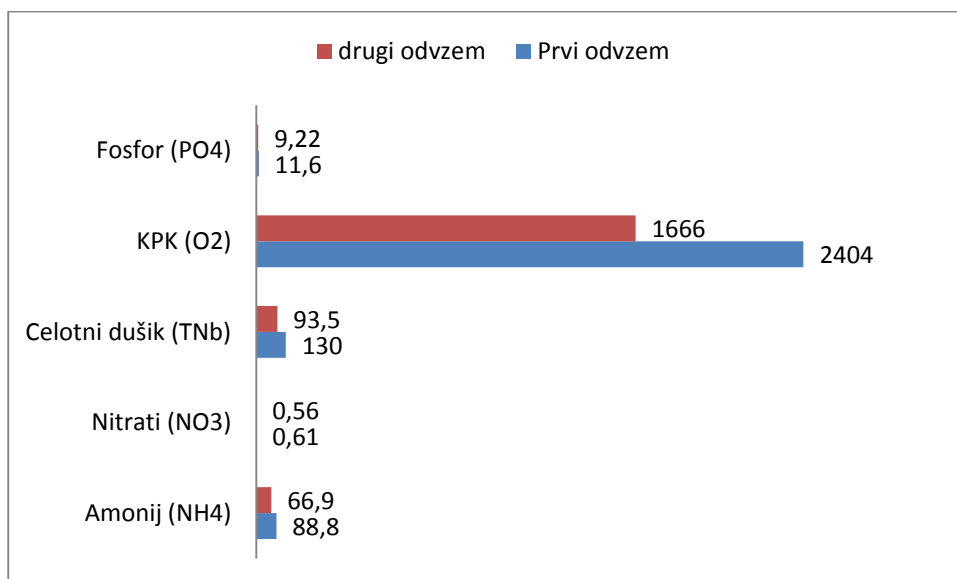
- Amonij –test LCK 303 (2-47 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$; 2,5-60,0 mg/l NH_4^+)
- Nitrat –test LCK 339 (0,23-13,50 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$; 1-60 mg/l NO_3^-)
- KPK –test LCK 514 (1000-2000 mg/l O_2)
- Celotni N –test LCK 238 (5-40 mg/l TN_b)
- Fosfor –test LCK 348 (0,5-5,0 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$; 1,5-15 mg/l PO_4^{3-})

Preglednica 8: Rezultati analiz na vtoku v rastlinsko čistilno napravo Studenec (prvo odvzemno mesto)

Analize	Rezultat (mg/l)
Amonij (NH ₄)	88,8
Nitrati (NO ₃)	0,61
Celotni dušik (TN _b)	130
KPK (O ₂)	2404
Fosfor (PO ₄)	11,6

Preglednica 9: Rezultati analiz na drugem odvzemnem mestu (prvi jašek prve grede)

Analize	Rezultat (mg/l)
Amonij (NH ₄)	66,9
Nitrati (NO ₃)	0,56
Celotni dušik (TN _b)	93,5
KPK (O ₂)	1666
Fosfor (PO ₄)	9,22

Graf 1: Prikaz (ne)očiščenosti odpadne vode na rastlinski čistilni napravi Studenec

Kot je razvidno iz preglednic, se odpadna voda iz naselja Studenec ni nič očistila na rastlinski čistilni napravi, saj je bila le-ta zaraščena, cevi pa zamašene. Zaradi neupravljanja z rastlinsko čistilno napravo je prišlo do takšnega poraznega rezultata.

4.3. Trenutno stanje sanacije

Trenutno so sanirane filtrirna greda, obe čistilni gredi in polirna greda. Na do sedaj sanirane grede pa se mora nasaditi še vegetacija. Sanacija kompostna greda pa bo potekala, ko se bo na ostale štiri grede nasadilo trstičje in se bo nato lahko spustilo odpadno vodo v te grede. Saj zdaj vsa odpadna voda priteka v kompostno gredo.

Pri rekonstrukciji rastlinske čistilne naprave Studenec, je potrebno še narediti razbremenilnik, ki bo namenjen zadrževanju večje količine odpadne vode ob deževju. Prav tako se bo v usedalniku naredil še en prekat, ki bo služil kot peskolov.

Odpadna voda priteka sedaj v kompostno gredo, ker pa je zaščitna folija v tej gredi vrjetno raztrgana odpadna voda počasi pronica v zemljo. In tako lahko prihaja do manjšega onesnažnja zemlje.

5. PRIMERI DOBRO DELUJOČIH RASTLINSKIH ČISTILNIH NAPRAV

V Sloveniji ima zelo razpršena naselja, zato so za čiščenje odpadnih voda zelo primerne rastlinske čistilne naprave. V Sloveniji imamo, kar nekaj dobro delujočih čistilnih naprav, kar je razvidno iz naslednjih analiz.

Dobro delujoča je rastlinska čistilna naprava Cvetkovci (700 PE), katero upravlja komunalno podjetje Ormož d.o.o..

Preglednica 10: Prve meritve odpadnih vod rastlinske čistilne naprave Cvetkovci (Vir: Prve meritve odpadnih vod KČN Cvetkovci, 2015)

	KPK (mg/l O ₂)	BPK ₅ (mg/l O ₂)
Vtok	540	290
Iztok	30	3
Učinek čiščenja (%)	94	99

Dobro delujoča je tudi rastlinska čistilna naprava Bušinja vas (250 PE), ki jo upravlja občina Metlika.

Preglednica 11: Prve meritve odpadnih vode rastlinske čistilne naprave Bušinja vas (Vir: Izjava o skladnosti 2015/2985, 2015)

	KPK (mg/l O ₂)	BPK ₅ (mg/l O ₂)
Vtok	15397	/
Iztok	61	13
Učinek čiščenja (%)	99	/

Rastlinsko čistilno napravo Sveti Tomaž (250 PE) upravlja komunalno podjetje Ormož d.o.o..

Preglednica 12: Letna meritev odpadne vode rastlinske čistilne naprave Sveti Tomaž (Vir: Obratovalni monitoring odpadnih vod KČN Sv. Tomaž, 2015)

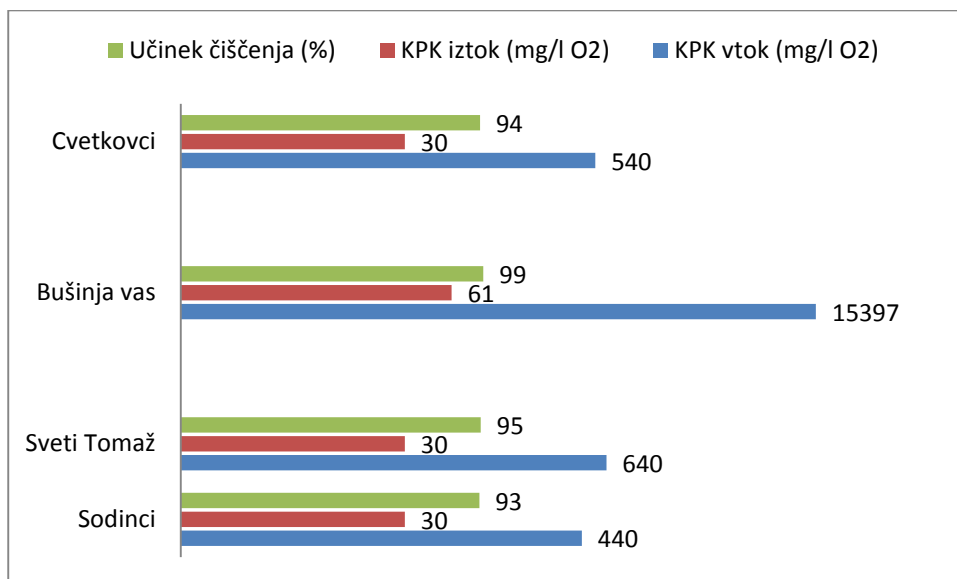
	KPK (mg/l O ₂)	BPK ₅ (mg/l O ₂)
Vtok	640	260
Iztok	30	4
Učinek čiščenja (%)	95	99

Rastlinsko čistilno napravo Sodinci (1100 PE) upravlja komunalno podjetje Ormož d.o.o..

Preglednica 13: Letna meritev odpadne vode rastlinske čistilne naprave Sodinci (Vir: Obratovalni monitoring odpadnih vod MKČN Sodinci, 2014)

	KPK (mg/l O ₂)	BPK ₅ (mg/l O ₂)
Vtok	440	200
Iztok	30	6
Učinek čiščenja (%)	93	97

Graf 2: Prikaz učinkovitosti čiščenja odpadnih vod



V občini Sevnica je dobro delujoča rastlinska čistilna naprava Bazga, ki obratuje od leta 2008. Upravljalec te čistilne naprave je javno podjetje Komunala d.o.o. Sevnica.

Preglednica 14: Prve meritve odpadne vode rastlinske čistilne naprave Bazga, leta 2008 (Vir: Poročilo o obratovalnem monitoringu za KČN Bazga, 2008)

	KPK (mg/l O ₂)	BPK ₅ (mg/l O ₂)
Vtok	448	/
Iztok	20	4
Učinek čiščenja (%)	96	/

Preglednica 15: Letne meritve odpadne vode rastlinske čistilne naprave Bazga 2010 (Vir: Poročilo o preskušanju, 2010)

	KPK (mg/l O ₂)	BPK ₅ (mg/l O ₂)
Vtok	1528	/
Iztok	37	7,5
Učinek čiščenja (%)	97	/

Preglednica 16: Letne meritve odpadne vode rastlinske čistilne naprave Bazga 2012 (Vir: Poročilo o preskušanju, 2012)

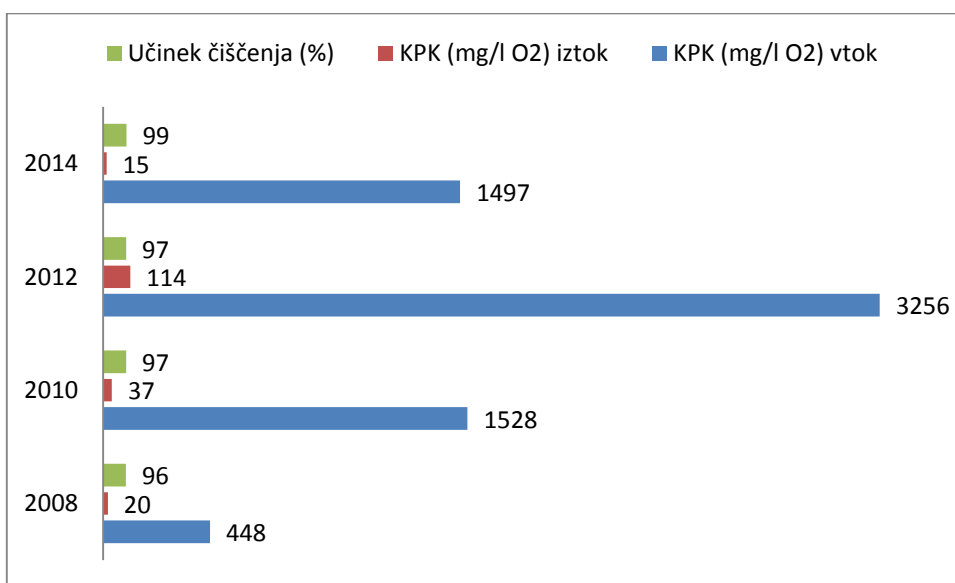
	KPK (mg/l O ₂)	BPK ₅ (mg/l O ₂)
--	----------------------------	---

Vtok	3256	/
Iztok	114	51
Učinek čiščenja (%)	97	/

Preglednica 17: Letne meritve odpadne vode rastlinske čistilne naprave Bazga 2014 (Vir: Poročilo o preskušanju, 2014)

	KPK (mg/l O ₂)	BPK ₅ (mg/l O ₂)
Vtok	1497	/
Iztok	15	1
Učinek čiščenja (%)	99	/

Graf 3: Prikaz čiščenja odpadnih vod rastlinske čistilne naprave Bazga



Takšene rezultate, bi morala dosegati rastlinska čistilna naprava Studenec od začetka obratovanja.

6. ZAKLJUČEK

Rastlinska čistilna naprava Studenec je bila zgrajena za kanalizacijski sistem iz vasi Studenec. Vendar so pri izgradnji kanalizacijskega sistema zraven naredili še jaške za meteorno vodo, zato je ob deževju nastal problem na čistilni napravi, saj usedalnik ni mogel zadržati velike količine odpadne vode. Zaradi prevelikih količin odpadne vode je voda vdiralna na grede in s tem mašila in odnašala substrat in vegetacijo. Ker za upravljanje čistilne naprave ni bilo poskrbljeno, se je rastlinska čistilna naprava počasi zaraščala in izgubljala funkcijo čiščenja odpadne vode.

Občina Sevnica se je po 12 letih odločila, da bo rastlinsko čistilno napravo Studenec ponovno oživila. Vendar je bila potrebna velika rekonstrukcija, ki je vsebovala čiščenje in odstranjevanje grmovja, travinja in dreves. Potrebno je bilo očistiti grede in odvoziti mulj in substrat. Odstranile so se tudi vtočne in iztočne cevi, saj niso bile več primerne za uporabo. Potrebno je bilo čiščenje zaščitne folije in varjenje le-te, kjer je bila raztrgana. Nato so se ponovno postavile vtočne in iztočne cevi, dalo novi substrat različnih granulacij in nasadilo se bo še trstičje. Naredila sta se tudi razbremenilnik in prekat v usedalniku. Rastlinska čistilna naprava Studenec bo ponovno začela čistiti odpadno vodo maja 2016, ko se bo trstičje do takrat predvidoma dobro razrastlo po gredah. Rekonstrukcija se je uspešno zaključila, zdaj se mora samo počakati še na rezultate čiščenja odpadne vode, ki se bodo pokazali po določenem času delovanja čistilne naprave. Predvidoma je to eno leto od vzpostavitve sistema.

Da se ne bo ponovila zgodba rastlinske čistilne naprave Studenec, se je občina Sevnica odločila, da bo upravljalec te naprave Javno podjetje Komunala, d. o. o., Sevnica. Saj ima v upravljanju že dve rastlinski čistilni napravi Lisca in Bazga, ki dajeta dobre rezultate čiščenja odpadne vode.

Naredila sem kemijske analize iz rastlinske čistilne naprave Studenec, ki so pokazale, da čistilna naprava ni čistila odpadne vode iz naselja Studenec, ker ni bila več funkcionalna.

7. POVZETEK

Ekoremediacije so učinkoviti naravni sistemi za obnovo okolja. K ekoremediacijam sodi tudi rastlinska čistilna naprava, ki čisti odpadno vodo. Slovenija ima zelo razpršeno poselitev z manjšimi naselji, zato so za čiščenje odpadne vode zelo primerne rastlinske čistilne naprave. Rastlinske čistilne naprave za delovanje ne potrebujejo elektrike. Po navadi so zgrajene tako, da se odpadna voda po gredah pretaka gravitacijsko. Poznamo več tipov rastlinskih čistilnih naprav: horizontalni, vertikalni in hibridni sistem. Izbere se sistem, ki najbolj ustreza vrsti odpadne vode. Glavni pomen pri rastlinskih čistilnih napravah imajo mikroorganizmi, vegetacija in substrat.

Rastlinske čistilne naprave potrebujejo celoletno upravljanje, ki ni zahtevno, vendar je potrebno, da čistilna naprava primerno deluje in da so vidni rezultati pri čiščenju odpadne vode. Rekonstrukcije pri rastlinskih čistilnih napravah so uspešne in dosegajo učinek čiščenja kot novozgrajene naprave.

Pred rekonstrukcijo izbrane čistilne naprave smo naredili kemijske analize, ki so pokazale, da se odpadna voda na čistilni napravi ni čistila, saj čistilna naprava ni delovala. Rekonstrukcija je potekala postopoma. Najprej se je ogledalo stanje rastlinske čistilne naprave, nato se je postopek odpravljanja težav napisal v dokument, šele nato se je začela sanacija. Rekonstrukcija je zajemala kompletno čistilno napravo, saj ni bil noben del rastlinske čistilne naprave v delovanju. Rekonstrukcija se je uspešno zaključila, potrebni so samo še učinki delovanja, ki jih bo možno preveriti, ko bo čistilna naprava v naslednjem letu začela redno obratovati.

SUMMARY

Ecorestorations are effective natural systems of restoration. One of them is a constructed wetland which treats waste water. Dispersed settlements are typical of Slovenia so constructed wetlands are very appropriate for wastewater treatment. They do not use electricity for their operation. They are usually built in such a way that waste water circulates down the beds gravitationally. There are different types of constructed wetlands: horizontal, vertical and hybrid ones. Choice is made according to type of waste water. There elements play an important part in constructed wetlands: microorganisms, vegetation and substrate.

Constructed wetlands need to be managed the entire year. It is not a demanding job but it is necessary if we want the wetland to run smoothly and see the results of its operation. Constructed wetlands reconstructions are successful and reach percentage of reduction of modern devices.

Before the chosen constructed wetland reconstruction chemical analyses were made to prove that waste water was not treated at all because the wetland was not active. Reconstruction was carried out gradually. First we checked the condition of the wetland, then the procedure of mistakes elimination took place, the third step was remediation. Reconstruction involved the complete wetland for none of its parts was active. The reconstruction has been successfully finished. Now all we have to do is wait for the final results for cleaning the faecal water, which will appear after period of time while the

wastewater treatment plant is running. Approximately it should be within one year since the system has started working.

8. VIRI IN LITERATURA

Amršek, I., Hercog, A., in Vidmar, U., (2012). Projekt za izvedbo rastlinske čistilne naprave »LIMNOWET« za Tončkov dom in Jurčkovo kočo na Lisci. Ljubljana.

Bulc, T. G., (2008). Vloga rastlinskih čistilnih naprav v prihodnosti. Ekoremediacije sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije. Ljubljana: KATR, 33–51.

Brown, D. S., in ostali, (2002). Manual – Constructed wetlands treatment of municipal wastewater. Ohio.

Davis, L. (1995). A handbook of constructed wetland. Washington.

de Wit H. C. D. (1978). Rastlinski svet 2. del, Semenovke. Mladinska knjiga, Ljubljana.

Dzikus, A., in ostali (2008). Constructed wetlands manual. Kenya, UN-HABITAT.

Izjava o skladnosti 2015/4958, prve meritve odpadnih vod KČN Bušinja vas, naročnik občina Metlika, izvajalec Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (Oddelek za okolje in zdravje Novo mesto), 2015.

Kadlec, R. H., Wallace, S. (2009). Treatment Wetlands – Second Edition. New York.

Klenovšek, U., (2006–2007). Demografska analiza za območje občine Sevnica. Naročnik – Občina Sevnica.

Klenovšek, U., (2007). Analiza gostote poselitve po naseljih v občini Sevnica. Naročnik – Občina Sevnica.

Hoffmann, H., in ostali (2010). Technology Review / Constructed wetlands: Overview of subsurface flow constructed wetland of greywater and domestic wastewater treatment in developing countries. Eschborn, Sustainable sanitation – ecosan program.

Medmrežje 1: Agencija Republike Slovenije za varstvo okolja (ARSO), <http://www.arso.gov.si/vode/>, 3. 7. 2014.

Medmrežje 2: Javno podjetje Komunala, d. o. o., Sevnica, <http://www.komunala-sevnica.si/podjetje.htm>, 27. 6. 2014.

Medmrežje 3: LIMNOS ali podjetje za aplikativno ekologijo, d. o. o., <http://www.limnos.si/predstavitev.php>, 27. 6. 2014.

Medmrežje 4: Občina Sevnica, <http://www.obcina-sevnica.si/krajevne-skupnosti/studenec>, 15. 9. 2014.

Medmrežje 5: Prostorski informacijski sistem občin (PISO), <http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=SEVNICA>, 1. 9. 2014.

Medmrežje 6: Zakon o varstvu okolja, <http://www.uradni-list.si/1/content?id=48407>, 9. 6. 2014.

Medmrežje 7: Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda ter o pogojih za njegovo izvajanje, <https://www.uradni-list.si/1/content?id=104428>, 9. 6. 2014.

Medmrežje 8: Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav, <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200798&stevilka=4857>, 9. 6. 2014.

Medmrežje 9: Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu, <http://www.uradni-list.si/1/content?id=87180>, 9. 6. 2014.

Medmrežje 10: Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode, http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/zakonodaja/varstvo_okolja/operativni_programi/operativni_program_komunalne_vode.pdf, 9. 6. 2014.

Medmrežje 11: Direktiva Sveta z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode, Direktiva 91/271/EGS, http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/ALL/;ELX_SESSIONID=C31hTy8pFhTGKhdvJyByPMLzyZlnwX07GbSiNltFH12X3GdRqwtHI-919877753?uri=CELEX:31991L0271, 9. 6. 2014.

Medmrežje 12: Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktober 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike, Direktiva 2000/60/ES, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20140101&rid=1>, 9. 6. 2014.

Obratovalni monitoring odpadnih vod KČN Sv. Tomaž, naročnik Komunalno podjetje Ormož d.o.o., izvajalec Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (Oddelek za okolje in zdravje Marobor), 2015.

Obratovalni monitoring odpadnih vod MKČN Sodinci, naročnik Komunalno podjetje Ormož d.o.o., izvajalec Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (Oddelek za okolje in zdravje Marobor), 2014.

Poročilo o obratovalnem monitoringu za KČN Bazga, naročnik javno podjetje Komunala d.o.o. Sevnica, izvajalec Zavod za zdravstveno varstvo Novo mesto (Sanitarno – kemični laboratorij), 2008.

Poročilo o preskušanju, obratovalni monitoring odpadnih vod KČN Bazga, naročnik javno podjetje Komunala d.o.o. Sevnica, izvajalec Zavod za zdravstveno varstvo Novo mesto (Sanitarno – kemični laboratorij), 2010.

Poročilo o preskušanju, obratovalni monitoring odpadnih vod KČN Bazga, naročnik javno podjetje Komunala d.o.o. Sevnica, izvajalec Zavod za zdravstveno varstvo Novo mesto (Sanitarno – kemični laboratorij), 2012.

Poročilo o preskušanju, obratovalni monitoring odpadnih vod KČN Bazga, naročnik javno podjetje Komunala d.o.o. Sevnica, izvajalec Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (Oddelek za okolje in zdravje Novo mesto), 2014.

Prve meritve odpadnih vod KČN Cvetkovci, naročnik Komunalno podjetje Ormož d.o.o., izvajalec Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (Oddelek za okolje in zdravje Marobor), 2015.

Projekt (PGD), Kanalizacija Studenec, investitor Krajevna skupnost Studenec, projektant F.G. inženiring, d. o. o., št. projekta 25/93, junij 1993.

PID (Projekt izvedbenih del), Rastlinska čistilna naprava Studenec, investitor Občina Sevnica, projektant CRP, d. o. o., Brežice, št. projekta 02-04/04, marec 2002.

Reed, S. C., (1993). Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment, A technology assessment. EPA. New Orleans.

Roš, M., Zupančič G. D. (2010). Čiščenje odpadnih voda. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja.

Sayadi, M. H., in ostali (2012). Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment: A worldwide review. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences.

Stewart, S. in ostali. (2003). Technical and regulatory guidance document for constructed treatment wetland. Orlando.

Tuladhar, B., Shrestha, P., Sherstha, R., (2006). Decentralised wastewater management using constructed wetlands. Environment and Public Health Organization (ENPHO). Nepal.

Vrhovšek, D. (2002). Poslovnik za obratovanje in vzdrževanje rastlinske čistilne naprave Studenec. Brezovica.

Vrhovšek, D. (2008). Ekoremediacije – najbolj vzdržni mehanizem varovanja in obnove okolja. Ekoremediacije sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije. Ljubljana: KATR, 13–16.

Vrhovšek, D., Korže Volk, A. (2008). Ekoremediacije kanalizacijskih vodotokov. Ljubljana.

Vrhovšek, D., Ameršek, I. in Sajovic, A. (2009). Inovacije za okolje: Rastlinske čistilne naprave – narava ve, kako. Embalaža – okolje – logistika. Ljubljana: Fit Media, d. o. o., december 2009, 47, 30 in 31.

Verhoeven, J. T. A., Meuleman, A. F. M., (1998). Wetlands of wastewater treatment: Opportunities and limination. Utrecht University. The Netherlands.

Vymazal, J., (2005): Horizontal Sub-Surface Flow and Hybrid Constructed Wetlands Systems for Wastewater Treatment. Duke University Wetland Center. USA.

Vymazal, J. (2010): Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Medmrežje: <http://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.mdpi.com%2F2073-4441%2F2%2F3%2F530%2Fpdf&ei=2NhzUtusDMKshQfl64DgCA&usq=AFQjCNFuBMzbVYFr1UHmYjOZBfkuoDBicg&bvm=bv.55819444,d.ZG4> (1. 11. 2013).

Zupančič, M., Vrhovšek, D. in Bulc, T. (2002). Razstrupljanje okolja z naravnimi procesi in rastlinske čistilne naprave. Proteus. Ljubljana: december 2002, 4/65, 165–172.