

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Zaletelj, A., 2016. Idejna zasnova čiščenja odpadne vode na Ajdovski planoti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Drev, D., somentor Krzyk, M.): 60 str.

Datum arhiviranja: 21-09-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Zaletelj, A., 2016. Idejna zasnova čiščenja odpadne vode na Ajdovski planoti. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Drev, D., co-supervisor Krzyk, M.): 60 pp.

Archiving Date: 21-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

ALEŠ ZALETELJ

**IDEJNA ZASNOVA ČIŠČENJA ODPADNE VODE NA
AJDOVŠKI PLANOTI**

Diplomska naloga št.: 326/VKI

**SOLUTION OF WASTE WATER TREATMENT FOR
THE COMMUNITY OF AJDOVEC**

Graduation thesis No.: 326/VKI

Mentor:

doc. dr. Darko Drev

Somentor:

doc. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 14. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani študent ALEŠ ZALETELJ, vpisna številka 26106979, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: IDEJNA ZASNOVA ČIŠČENJA ODPADNE VODE NA AJDOVŠKI PLANOTI

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)
 - a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
 - b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, kijih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Veliki Lipovec

Datum:

Podpis študenta:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.3(043.2)
Avtor:	Aleš Zaletelj
Mentor:	doc. dr. Darko Drev
Somentor:	doc. dr. Mario Krzyk
Naslov:	Idejna zasnova čiščenja odpadne vode na Ajdovski planoti
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	60 str., 14 pregl., 24 sl., 2 gr.
Ključne besede:	Male čistilne naprave, sonaravni sistemi, RČN, odpadna voda

Izvleček

Obravnavano območje Ajdovške planote ter njene vasi spadajo v območje, kjer zaradi razpršene poselitve ter majhnosti naselij, čiščenje odpadne vode predstavlja večji ekonomski problem. Ker je to ruralno območje, sem hotel, da se čiščenje izvede sonaravno in da tako ne posegamo preveč v okolje. RČN posnema samočistilne procese v naravnih močvirskih ekosistemih ter skupno s pomočjo substrata, rastlin in mikroorganizmov zadovoljivo očisti odpadno vodo. RČN velja za cenovno ugodno rešitev in nezahteven sistem za vzdrževanje. Predvsem pa za podeželja, kot je tudi Ajdovsko planoto, kjer je čutiti pomanjkanje vode, ponujajo možnost ponovne uporabe vode za namakanje ter pripomore k ohranjanju naravnega videza dane krajine.

V diplomski nalogi sem predstavil sonaravne sisteme čiščenja odpadne vode ter bolj podrobno RČN, ki bi odlično služil v malih vaseh Ajdovške planote. Planota spada v občino Žužemberk, ki ima najmanjšo gostoto naseljenosti v celotni državi. Obravnavano območje ima devet naselij, vendar skupaj ne šteje več kot 500 prebivalcev.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	628.3(043.2)
Author:	Aleš Zaletelj
Supervisor:	Assoc prof. Darko Drev, Ph.D
Co-Supervisor:	Assoc prof. Mario Krzyk, Ph.D.
Title:	Solution of waste water treatment for the community of Ajdovec
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	60 p., 14 tab., 24 fig., 2 graph.
Keywords:	Small treatment plants, natural purification, constructed wetlands, wastewater

Abstract

The project area of Ajdovška planota and its villages are in an area where, due to scattered and small settlements, wastewater constitutes a major economic problem. As this is a rural area, I wanted treatment to be carried out as sustainable and not intervene too much with the environment. Constructed wetlands mimics self-cleaning processes in natural wetland ecosystems, and with the help of substrate, plants and microorganisms sufficiently purify waste water. CW is inexpensive solution for wastewater treatment and system is simple to maintain. Especially in rural areas, like Ajdovška planota, where water is in shortage, the option of water reuse for irrigation. It helps maintain a natural appearance of a given landscape.

This thesis presents the natural systems of wastewater treatment, and more detailed CWs, which would perform well in small villages of Ajdovška planota. It falls within municipality of Žužemberk, which has the lowest population density in the entire country. The project area has 9 settlements, but not exceeding more than 500 people.

ZAHVALA

Za pomoč in nasvete pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Darku Drevu in somentorju doc. dr. Mariu Krzyku.

Zahvaljujem se tudi družini in Romani za podporo in pomoč v času študija.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 ZAKONODAJA S PODROČJA ODVAJANJA IN ČIŠČENJA ODPADNE VODE	2
2.1 Zakon o varstvu okolja	2
2.2 Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav	2
2.3 Pravilnik o nalogah, ki se izvajajo v okviru obvezne občinske gospodarske javne službe odvajanja in čiščenja komunalne in padavinske vode	2
2.4 Zakon o vodah	3
2.5 Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda ter o pogojih za njegovo izvajanje.....	3
3 NARAVNO IN DRUŽBENO GEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI AJDOVŠKE PLANOTE.....	4
3.1 Lega.....	4
3.2 Občina Žužemberk	4
3.3 Ajdovška planota	5
3.4 Relief	6
4 KANALIZACIJSKI SISTEMI IN ČIŠČENJE ODPADNE VODE	7
4.1 Komunalna odpadna voda	7
4.2 Sestava odpadne vode.....	7
4.3 Vrste kanalizacijskih sistemov	7
4.4 Osnovni mehanski in biološki procesi čiščenja odpadne vode.....	10
4.4.1 Mehanski procesi.....	10
4.4.2 Biološki procesi	11
4.5 Čiščenje na MKČN.....	11
4.5.1 Individualne čistilne naprave.....	12
5 VRSTE MALIH SONARAVNIH KOMUNALNIH ČISTILNIH NAPRAV.....	13
5.1 Greznice.....	13
5.2 Lagune	14
5.3 Namakanje.....	19
5.4 Ponikovalni vodi.....	19
5.5 Filtrski jarki	21
5.6 Ponikovalnice – vpojne jame.....	22

5.7 Sodobne KČN	22
6 RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE (RČN)	26
6.1 Vrste RČN	27
6.1.1 RČN s površinskim tokom vode	27
6.1.2 RČN s podzemnim tokom vode	28
6.1.3 RČN s plimovanjem vodnega toka	31
6.2 Čistilne sposobnosti:	31
6.3 Rastline na RČN	33
7 DIMENZIONIRANJE RČN	38
7.1 Parametri dimenzioniranja	41
7.2 Dimenzioniranje RČN za Ajdovško planoto	45
8 ZAKLJUČEK	57
VIRI:	58

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Število in gostota prebivalcev po posameznih vaseh Ajdovške planote ter nadmorska višina kraja (http://www.stat.si/).....	5
Preglednica 2: Glavne funkcije rastlin v rastlinskih čistilnih napravah.....	34
Preglednica 3: Različna povprečna površina RČN s horizontalnim in vertikalnim tokom vode glede na državo (Bulc, 2013).....	39
Preglednica 4: Uporabljene vstopne koncentracije in izstopni standardi (Rousseau in sod., 2004, povzeto po Vidmar, 2011).....	42
Preglednica 5: Empirična pravila za horizontalne sisteme RČN (EPA, 2000).....	42
Preglednica 6: Pravila za horizontalne sisteme RČN, ki jih podajata Wood in Kadlec & Knight	42
Preglednica 7: Minimalne in maksimalne priporočljive površine za RČN izračunane po empiričnih pravilih (EPA, 2000)	43
Preglednica 8: Dimenzije RČN Veliki Lipovec	48
Preglednica 9: Dimenzije RČN Sela	50
Preglednica 10: Dimenzije RČN Ajdovec.....	52
Preglednica 11: Dimenzije RČN Brezova Reber.....	53
Preglednica 12: Dimenzije RČN Srednji, Mali Lipovec	54
Preglednica 13: Dimenzije RČN Podlipa	55
Preglednica 14: Dimenzija RČN Boršt.....	56

KAZALO SLIK

Slika 1: Lega občine Žužemberk.....	5
Slika 2: Lega naselij na Ajdovski planoti ter meja občine Žužemberk.....	6
Slika 3: Relief območja Ajdovške planote.....	6
Slika 4: Glavne komponente tlačne kanalizacije (http://www.gvwater.vic.gov.au/).....	9
Slika 5: Vakuumska kanalizacija in batni vakuumski ventil, nameščen v hišnem jašku.....	10
Slika 6: Dvoprekatna greznica (Kompore in sod, 2007).....	13
Slika 7: Sistem čiščenja v lagunah – Tolmin (http://kraji.eu/slovenija/sotocje_soca_tolminka/eng)....	15
Slika 8: Proces čiščenja in osnovno načelo oblikovanja naprednega sistema lagun – AIWPS.....	17
Slika 9: Laguna s plavajočo mrežo v kateri raste vodna leča. http://www.holladayengineering.com/projects-wastewater-systems.html	18
Slika 10: Skica ponikovalnega voda. (http://www.opinio.si/).....	20
Slika 11: Skica filtrskih jarkov (http://www.opinio.si/).....	21
Slika 12: Skica ponikovalnice (http://www.opinio.si/).....	22
Slika 13: MBR sistem (http://www.lenntech.com/processes/crossflow-mbr.htm).....	24
Slika 14: Proces delovanja VRM sistema (http://www.huber.de/).....	25
Slika 15: Prerez grede RČN (http://www.limnos.si/rastlinske_cistilne_naprave.php).....	27
Slika 16: RČN s površinskim tokom vode.....	28
Slika 17: Shema horizontalne RČN.....	29
Slika 18: Shema vertikalne RČN (Korže in sod., 2014).....	30
Slika 19: Shematski prikaz delovanja RČN nad 50 PE (http://www.limnos.si/).....	32
Slika 20: Najbolj pogoste rastline v RČN: navadni trst – <i>Phragmites australis</i> (1), rogoz – <i>Typha latifolia</i> (2), trstična pisanka – <i>Phalaris arundinacea</i> (3), velika sladika – <i>Glyceria maxima</i> (4).....	35
Slika 21: Velikost delcev peska in gramoza (Brix in Johansen, 1999).....	37
Slika 22: Shema postavitve RČN.....	48
Slika 23: Veliki Lipovec z značilnimi vrtačami (http://www.zuzemberk.si/).....	48
Slika 24: Vesela vas na Selih, kje bi lahko v učne in turistične namene postavili RČN. http://www.informer.si/).....	50

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1 : Preživelost bakterije salmonelle na RČN in v laboratoriju, v poletnih mesecih (A) in zimskih mesecih (B) (Vega in sod., 2003).....	34
Grafikon 2: Preživelost MS2 bakteriofaga (virusa) na RČN in v laboratoriju, v poletnih mesecih (A) in zimskih mesecih (B) (Vega in sod., 2003).....	35

1 UVOD

Slovenija je bogata z vodami, vendar pa čiste vode ne smemo imeti za samoumevno. Večji del našega ozemlja spada v območje posebnega varstvenega območja Natura 2000. Za njegovo varovanje ter dobremu ekološkemu stanju voda moramo posvetiti posebno pozornost odvajanju in čiščenju odpadnih voda. V Sloveniji je za čiščenje odpadnih voda v večjih mestih dobro poskrbljeno, problem pa nastopi v manjših vaseh, saj zakonodaja ne vključuje naselij z manj kot 50 prebivalci v območja, kjer za odvajanje in čiščenje odpadnih voda skrbijo javne službe. V Sloveniji je po podatkih SURS takih naselij več kot 1.600.

Zaradi razpršene poselitve v Sloveniji ni ekonomska in racionalna gradnja velikih centralnih čistilnih naprav. Za manjša naselja, turistične kmetije, gorske postojanke, kampe so primernejše male čistilne naprave, z nizkimi stroški vzdrževanje in obratovanja, manjšimi investicijskimi stroški in manjšim posegom v okolje. S čiščenjem odpadne vode vsakega onesnaževalca pripomoremo k zmanjševanju negativnih vplivov na okolje, povečevanju okoljske učinkovitosti, zmanjšanju porabe naravnih virov in ohranjanju biotske raznovrstnosti.

Čiščenja odpadnih voda smo se naučili z opazovanjem naravnih procesov samočiščenja v vodotokih, le da smo procese močno intenzivirali in s tem bistveno skrajšali čas čiščenja. Odpadna voda se navadno v manjših naseljih zbere do čistilnih naprav po ločenem, v naseljih z več kot 1.000 prebivalcev pa po mešanem kanalizacijskem sistemu. Tehnološke postopke za čiščenje odpadne vode razdelimo na tri skupine:

- čistilne naprave z anaerobnimi in biološkimi postopki (greznice, Emšer, ponikovalni vodi, lagune, filtrski jarki, rastlinske čistilne naprave);
- čistilne naprave s pritrjeno biomaso (precejalniki, biodiski);
- čistilne naprave z lebdečo biomaso (ČN z aktivnim blatom, sekvenčni biološki reaktor – SBR) (Panjan, 2005).

Občina Žužemberk je s 4.550 prebivalci del statistične regije Jugovzhodne Slovenije eno izmed številnih zgoraj omenjenih razpršenih območij v Sloveniji. Ima 51 naselij, kar predstavlja velik, predvsem finančni problem občine, da uredi odvodnjavanje in čiščenje odpadne vode. Po površini meri 164 km², kar jo uvršča na 33. mesto po velikosti med občinami. Na kvadratnem kilometru površine občine živi povprečno 28 prebivalcev, kar predstavlja najmanjšo gostoto naseljenosti v celotni državi. S kanalizacijskimi vodi je za enkrat še zelo slabo urejena, čistilna naprava pa je obremenjena le do 30%. Občina Žužemberk oz. Suha krajina je ena najbolj kraških pokrajin v Sloveniji, zato je tu posebno varstvo okolja zelo pomembno. Onesnaženost voda v veliki meri prispeva kmetijstvo in razpršena poselitve z neurejenim odvajanjem odpadne vode.

2 ZAKONODAJA S PODROČJA ODVAJANJA IN ČIŠČENJA ODPADNE VODE

2.1 Zakon o varstvu okolja

Ta zakon ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj. Vlada Republike Slovenije v tem zakonu določa mejne vrednosti emisije, ki pri običajnih pogojih obratovanja naprave ne smejo biti presežene. Ureja ravnanje z odpadki, njihovo odstranjevanje, predelavo in vse ostalo povezano s tem. Presoja razne vplive na okolje in seznanja z okoljevarstvenimi soglasji. Ministrstvo tudi ugotovi če projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja ustreza projektnim pogojem za nameravan poseg v okolje.

Vsak upravljavec mora za obratovanje naprav oz. obrata, pridobiti okoljevarstveno dovoljenje, saj kjer ni kanalizacije lahko to predstavlja dodaten problem in strošek. Manjši kraji se tako tudi težje razvijajo in ljudje se zaradi neurejenosti in slabih pogojev selijo v večja mesta.

2.2 Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav

Uredba določa posebne zahteve v zvezi z emisijo snovi pri odvajanju odpadne vode iz MKČN. Podaja mejne vrednosti in posebne ukrepe v zvezi z odvajanjem odpadne vode. V uredbi so podane zahteve v zvezi z nadzorom nad MKČN in izvajanjem prvih meritev.

Uredba obravnava prepovedi in omejitve pri ravnanju z odpadno vodo, njeno ustrezno odvajanje in čiščenje, vodenje evidence MKČN, vodenje obratovalnih dnevnikov, inšpekcijski nadzor ter s tem povezane prekrške.

V uredbi so podane mejne vrednosti parametrov odpadne vode na iztoku MKČN. Mejna vrednost za KPK je 150 mg/l, za BPK₅ pa 30 mg/l, kar je za občutljivo kraško ozemlje občutno preveč. Po drugi uredbi, ki podaja mejne vrednosti parametrov za KČN z večjim PE, pa so te vrednosti nižje. Za napravo z zmogljivostjo večjo ali enako 100.000 PE je mejna vrednost KPK 100 mg/l, za BPK₅, pa 20 mg/l. Poleg tega v obravnavani uredbi niso podane mejne vrednosti parametrov za neraztopljene snovi, anonijev dušik, celotni dušik in fosfor ter mikrobiološki parametri. Ne vidim razloga, zakaj bi bili ti parametri višji pri MKČN, saj večji del ozemlja Slovenije leži na občutljivem območju in je potrebno zagotoviti zadostno čiščenje.

2.3 Pravilnik o nalogah, ki se izvajajo v okviru obvezne občinske gospodarske javne službe odvajanja in čiščenja komunalne in padavinske vode

Ta pravilnik določa zahteve odvajanja in čiščenja komunalne odpadne in padavinske vode. Določa za katera naselja je zadolžena javna služba, da morajo naselja z manj kot 50 PE odpadno vodo odvajati v kanalizacijo, ki ni nima statusa javne kanalizacije in se očistiti v MKČN, ki je last upravitelja stavb. Lastniki morajo sami vzdrževati, čistiti in tehnično preverjati, kanalizacijo, priključke in MKČN, lahko pa to prenesejo s pogodbo na izvajalca javne službe.

2.4 Zakon o vodah

Zakon ureja upravljanje z morjem, celinskimi in podzemnimi vodami ter vodnimi in priobalnimi zemljišči. Je zelo obširen saj zajema vsa področja in pravice v povezavi z vodo in njenim gospodarjenjem. Namen zakona je doseganje dobrega stanja voda in drugih ekosistemov, povezanih z vodo.

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

Ta pravilnik določa vrste parametrov odpadnih voda pri prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda, metodologijo vzorčenja in merjenja parametrov in količin odpadnih voda. Dodani so standardi, razne preglednice in navodila za izvajanje prvih meritev ter ocena obratovanja za MKČN, manjšo od 50 PE.

3 NARAVNO IN DRUŽBENO GEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI AJDOVŠKE PLANOTE

3.1 Lega

Ajdovška planota leži v Jugovzhodni statistični regiji, ki je po površini največja regija v Sloveniji, saj znaša 2.675 km². Delimo jo na tri podregije, to so Dolenjska, Bela krajina ter Kočevsko-Ribniška. Ajdovška planota spada v občino Žužemberk, ki je ena večjih občin Jugovzhodne Slovenije. Njena površina znaša 164,34 km², kar predstavlja 6,14 % površine regije. Od 142.680 prebivalcev Jugovzhodne regije jih 25,5 % oz. 36.371 prebiva v Mestni občini Novo mesto.

3.2 Občina Žužemberk

Občina Žužemberk leži v Suhi krajini. Po polovici jo razmejuje edina reka v občini, to je reka Krka, ki je tudi najdaljša reka v Sloveniji. Občina je bila ustanovljena leta 1998, pred tem je bila kot krajevna skupnost sestavni del občine Novo mesto. Občina Žužemberk ima 4.566 prebivalcev, ki živijo v 51. naseljih. Suha krajina je zelo razčlenjena in zakrasela regija. Povprečna nadmorska višina je med 300 in 600 m, kar predstavlja otežene pogoje za postavitve kanalizacije s skupno centralno čistilno napravo. Izgradnja cenejše gravitacijske kanalizacije ni možna za celo občino in se je potrebno posluževati tlačni. Težave povzročajo številni kraških pojavi, vrtače in uvale ter vrhovi, ki zelo razgibajo teren.

Suho krajino prekrivajo karbonatne kamnine, teh je več kot 90% površja, med njimi je desetina dolomitov, vse ostalo pa je apnenec. Odpadne vode na takšnem območju hitro pridejo do podtalnice in tudi do reke Krke. Velik del prebivalcev občine se ukvarja s kmetijstvom, ki prekomerno uporablja pesticide in gnojila. Zaradi malo ugodnih površin, želijo kmetje na teh površinah pridelati večjo količino in se zato poslužujejo prekomernega dognojevanja, brez predhodne analize zemlje. Višek dušika in fosforja, ki ga ne porabijo rastline, pronicajo v podtalnico in jo onesnažujejo.

Površinske vode je malo, ker vsa pronica v podzemlje. Edini površinski vodotok v občini Žužemberk reka Krka. Območje občine v veliki meri prekrivajo gozdovi, ki predstavljajo občanom nek dodaten zaslužek. Industrije je tu malo, kmetijstvo pa je oteženo zaradi razgibanosti reliefa in razdrobljenosti površin, ki v veliki meri ne omogočajo strojne obdelave (Mavsar, 2013).

Občina je v zadnjih letih začela intenzivnejše graditi kanalizacijo predvsem v Žužemberku in bližnjem Dvoru in jo speljala na čistilno napravo med tema dvema krajema. Zdajšnja KČN ima še vedno rezerve, saj je obremenjena samo okoli 30%. Občina bi morala intenzivno delati na tem, da se pridružijo še ostale okoliške vasi in KČN začne delovati s polno obremenjenostjo. Roki za ureditev odvajanja odpadne vode na občutljivih območjih se po Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav, nevarno bližajo in ne verjamem, da se bo zagotovilo

potrebno čiščenje. Po predhodni uredbi, bi moralo biti to že urejeno, vendar so se roki podaljšali na 31. 12. 2021 za občutljiva območja.



Slika 1: Lega občine Žužemberk (<https://sl.wikipedia.org/>)

3.3 Ajdovška planota

Ajdovška planota zavzema vasi: Podlipa, Gornji in Dolnji Ajdovec, Brezova Reber, Mali Lipovec, Srednji Lipovec, Veliki Lipovec, Boršt in Sela pri Ajdovcu. Naselja se nahajajo na nadmorskih višinah od 250 m do 450 m. Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije je 1. januarja 2015 na Ajdovski planoti živel 499 prebivalcev.

Preglednica 1: Število in gostota prebivalcev po posameznih vaseh Ajdovške planote ter nadmorska višina kraja (<http://www.stat.si/>)

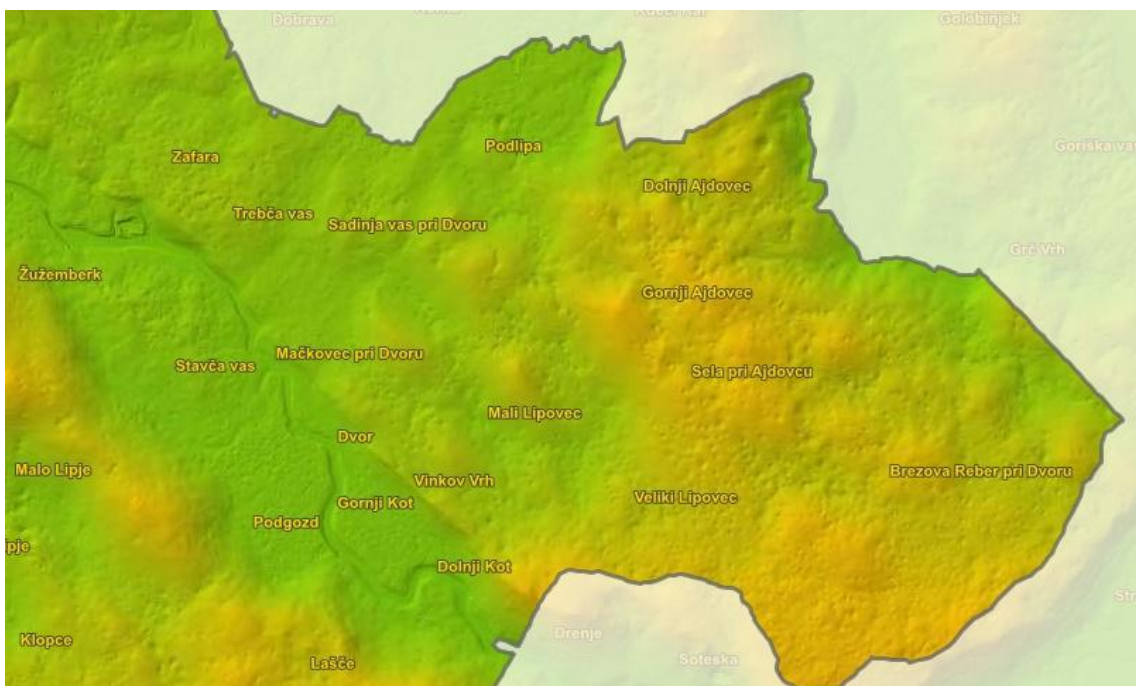
Naselje:	Št. prebivalcev:	Gostota [preb./km ²]	Nadmorska višina [m]
Boršt	43	30	415
Brezova Reber	48	3,9	428
Dolnji Ajdovec	57	11	435
Gornji Ajdovec	52	48	455
Mali Lipovec	65	24	343
Podlipa	39	13	242
Sela	8	3,9	485
Srednji Lipovec	94	76	346
Veliki Lipovec	93	17	457
Skupno	499		



Slika 2: Lega naselij na Ajdovski planoti ter meja občine Žužemberk (<http://www.geoprostor.net/>)

3.4 Relief

Na Ajdovski planoti in prav tako v občini Žužemberk je relief zelo razgiban. Večji del je prekrit z gozdovi. Teren je valovit s številnimi kraškimi pojavi: vrtače, uvale, kraške jame in brezna. Naselja so majhna z gručastimi vaškimi jedri ter običajno še z manjšimi zaselki, kjer živi le peščico ljudi, so pa vseeno pomembni onasneževalvi.



Slika 3: Relief območja Ajdovške planote (<http://www.geoprostor.net/>)

4 KANALIZACIJSKI SISTEMI IN ČIŠČENJE ODPADNE VODE

4.1 Komunalna odpadna voda

Sam pojem komunalne odpadne vode je že opisan v številni literaturi in uredbah. Podal, bi samo to, da glede na deležnike v procesu ločimo različne statusse sistemov odvajanja in čiščenja komunalne odplake:

- javni sistemi, namenjeni izvajanju javne gospodarske službe;
- skupni sistemi, skupnost več lastnikov stavb si deli lastništvo naprave. Prednost so nižji stroški investicije in obratovanja na priključno enoto ter bolj kontinuirana obremenitev male čistilne naprave;
- individualni sistemi so lastniški sistemi enega lastnika stavbe ali več stavb (Panjan, 2002).

4.2 Sestava odpadne vode

Na sestavo odplake vplivajo številni faktorji, kot je število priključenih prebivalcev in način življenja, industrija in obrt ter prometne površine. Odpadna voda vsebuje organske in anorganske snovi. Organska snov je v pretežni meri sestavljena iz ogljika, vodika, kisika, lahko pa tudi dušika. Organske substance v odpadni vodi so beljakovine (40–60 %), ogljikovi hidrati (25–50 %) ter masti in olja (10 %). V vodne sisteme vnašamo vedno večje količine dušikovih spojin. Večina dušika priteka v obliki amonijevih spojin, ki se v vodi z dovolj kisika, oksidira v nitratni ion. Neizrabljeni nitrati pa vplivajo oziroma povzročajo evtrofikacijo oz cvetenje naravnih voda. Na rast alg in drugih organizmov je tako kot dušik odgovoren tudi fosfor. V odpadni vodi so prisotni še mikroorganizmi, to so razne bakterije, virusi, paraziti (Premzl, 2001).

4.3 Vrste kanalizacijskih sistemov

Kanalizacijske sisteme delimo na:

Mešan kanalizacijski sistem

O mešanem kanalizacijskem sistemu govorimo, ko se v enotnem kanalizacijskem sistemu zbirajo vse vrste odtoka (padavinska, tuja in odpadna voda). Ta sistem ima prednost v nižji ceni in preprosti izvedbi, pomanjkljivosti pa so v slabši zaščiti odvodnika zaradi razbremenilnikov, delovanju čistilnih naprav in večjih dimenzij kanalizacijski cevi.

Ločen kanalizacijski sistem

Pri ločenem sistemu odvajamo odpadno vodo v svojem sistemu, padavinsko vodo pa v svojem. Prednosti tega sistema so, da dobro zaščiti odvodnik, poveča varnost pred preplavitvijo nizko ležečih delov priključnih objektov, zanesljivejše delovanje ČN. Glavna pomanjkljivost so predvsem večji investicijski stroški, dražje vzdrževanje, slabše samodejno izpiranje za odvod odpadne vode ter večja zapletenost sistema.

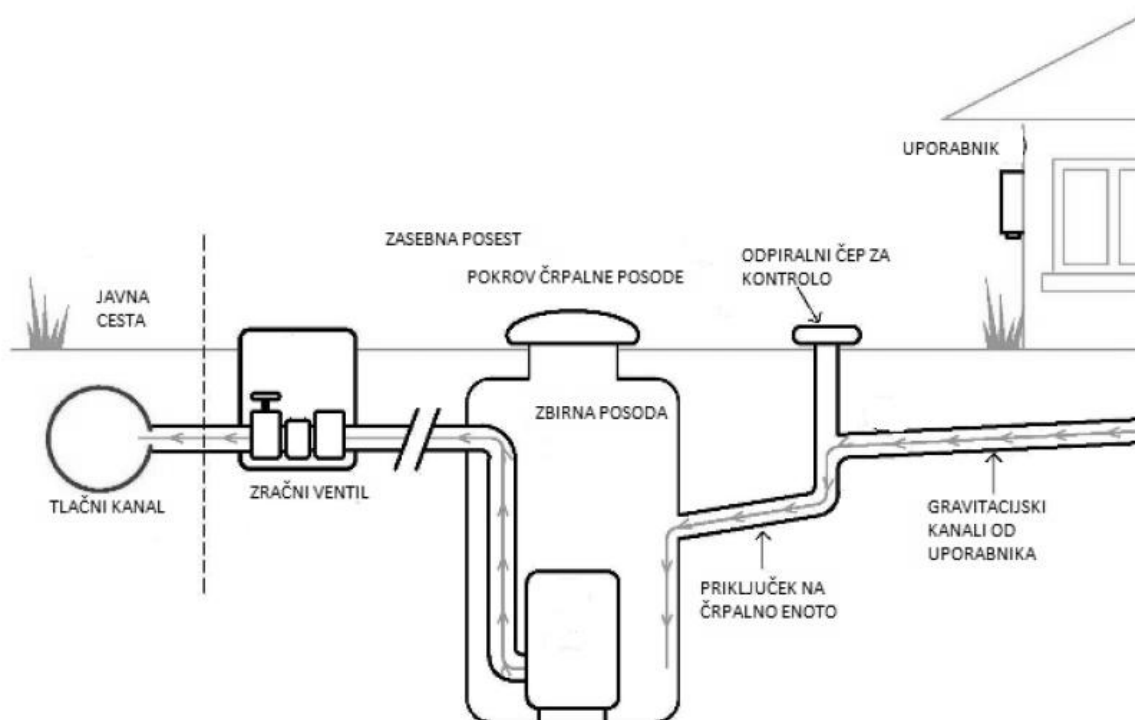
Kanalizacijske sisteme delimo še po načinu delovanja na gravitacijske, tlačne in vakuumske. Uporabljajo se pretežno gravitacijski ter v primerih večjih ravnin in naravnih ovir tlačni sistemi, kjer s pomočjo črpalk črpamo vodo do čistilne naprave. Vakuumska kanalizacija spada med manj znane, vendar zelo uporabne rešitve, kjer ni možna klasična gravitacijska kanalizacija (Panjan, 2002).

Gravitacijska kanalizacija

V takem sistemu vode v kanalih odtekajo zaradi hidravličnega padca oz. naklona kanalov. Ta način je enostaven in poceni, ker ne potrebujemo energije za delovanje, ter se ga zato tudi največ uporablja. Gravitacijsko odvajanje je manj primerno na ravnih terenih, kjer zaradi zahtevanega padca cevi ležijo vedno globlje. Primerna ni tudi v tleh z visoko podtalnico ter pri slabše nosilnih tleh, kjer moramo cevi utemeljiti.

Tlačna kanalizacija

Tlačni vodi se uporabljajo za odvod odpadne vode iz nižje ležečih delov v višje in nato naprej na KČN. Tlačne cevi, vode in črpalke moramo uporabljati z najmanjšim notranjim premerom 100 mm brez zožitve, da preprečimo mašenje sistema. Tudi hitrost pretoka mora znašati vsaj 0,80 m/s, da izpira usedline, ki se občasno nabirajo v kanalih. Pri tem sistemu se porabi veliko energije in tudi možnost okvar je večja zaradi velikega števila vgrajenih črpalk. Se jo pa moramo posluževati, posebej za naše ozemlje, ki je zelo razgibana in ni vedno možno gravitacijsko speljati vodo do čistilne naprave.

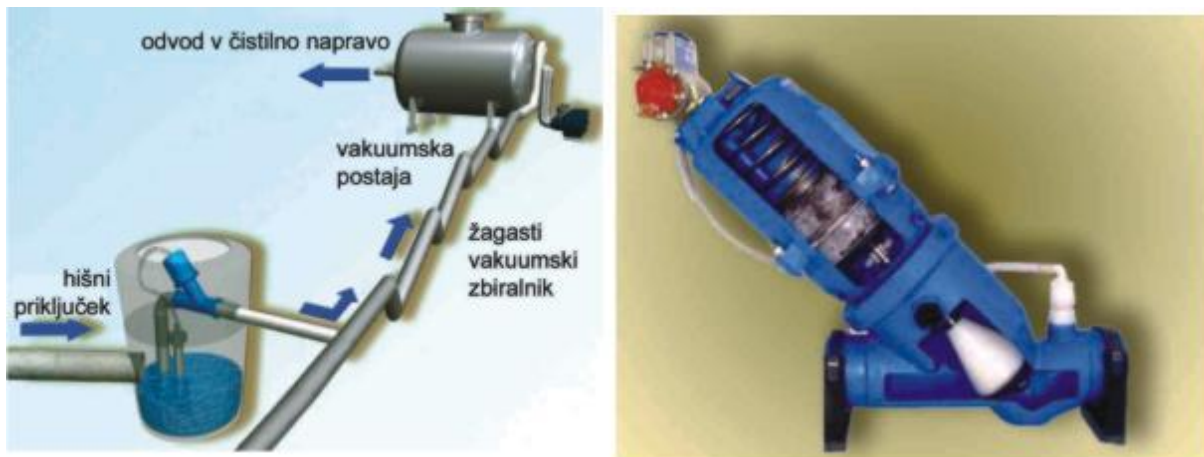


Slika 4: Glavne komponente tlačne kanalizacije (<http://www.gvwater.vic.gov.au/>)

Vakuumska kanalizacija

Primerna je za ravninska področja, barje, obmorska naselja ter za področja, kjer je višina podtalnice visoka. Uporablja se na zaščiteneh območjih (nacionalni parki, črpališča vode idp.), skalnatem področju (nepotrebno miniranje zaradi plitkega vkopa) in na področju manjših ruralnih naselij. Nepogrešljiva je tudi pri sanaciji industrijsko obrtnih površin in pri sanaciji starih mestnih središč z ozkimi ulicami.

Kanalizacija je izvedena iz popolnoma tesnega cevne razvoda, ki je položen v žagasti obliki. Pri tem cev pod površino nekaj časa položno pada, nato ostro zavije proti površini in po ostrem zavoju spet položno pada. Žagast profil omogoča bolj plitvo vgradnjo, kar pomeni enostavno polaganje in nižje stroške. Ob vsaki stavbi je v tleh vgrajen vakuumski jašek, v katerega je speljana odpadna voda. V jašku se nahaja poseben ventil, ki je opremljen s plavcem in občasno odpre povezavo z vakuumskim kanalizacijskim vodom, podtlak pa poseba odplake v odtočno kanalizacijo. Na drugem koncu kanalizacijske mreže se nahaja vakuumska postaja, v kateri je velik zbiralnik z vakuumsko črpalko. V trenutku odpiranja ventila v jašku ob hiši, podtlak poseba odplake ter jih pomakne proti centralni zbiralni postaji in se spet zapre, dokler nivo v jašku spet ne naraste.



Slika 5: Vakuumska kanalizacija in batni vakuumski ventil, nameščen v hišnem jašku
(<http://varcevanje-energije.si/>)

Prednosti vakuumske kanalizacije je zaprt sistem brez neprijetnih vonjav in brez možnosti dotokov in iztokov. Ni občutljiv na konfiguracijo terena, niso potrebni veliki izkopi ter ne potrebuje vzdrževanja, ker ni usedlin zaradi velikih hitrosti. Slabosti so v maksimalnem premeru omrežja (4 km), višjih stroških hišnih priključkov in vakuumske postaje ter v porabi energije.

4.4 Osnovni mehanski in biološki procesi čiščenja odpadne vode

4.4.1 Mehanski procesi

Sedimentacija

Sedimentacija (usedanje) je gravitacijska separacija težjih delcev v vodi in je najpogosteje uporabljen postopek. Zaradi različne koncentracije, narave delcev in obnašanja usedlin v suspenziji, poznamo štiri tipe sedimentacije: usedanje diskretnih delcev (se ne združijo v kosme), usedanje kosmov, upočasnjeno usedanje in zgoščevanje. Prod in pesek se usedata pri konstantni hitrosti (bistrenje), hitrost usedanja je različna pri delcih, ki se združijo v kosme oziroma se kosmi združijo v plasti. V nižjih plasteh se odvija proces zgoščevanja, ki ga povzroči pritisk teže delcev iz višjih plasti.

Flotacija

Flotacija (plavljenje) je proces, kjer se trdni in tekoči delci ločijo od preostale tekočine tako, da se dvignejo na površje, te delce nato odstranimo s posnemanjem. Separacija se zgodi s pomočjo finih plinskih mehurčkov, ki se pritrdijo na delce in se s pomočjo vzgona dvignejo na površje.

Filtracija

Filtracija je proces, pri katerem tekočina s primesmi prehaja skozi porozen medij (filter). Filter pri prehodu odpadne vode zadrži neraztopljene trdne delce večje od por. Pri postopku biološkega čiščenja

se v in na polnilu razraste biološka ruša, ki zmanjša prehodnost filtra in zagotavlja učinkovitejše čiščenje (Premzl, 2001).

4.4.2 Biološki procesi

Biološki procesi so lahko aerobni in anaerobni. Kvaliteta čiščenja je odvisna od okolja, saj biološko čiščenje temelji na veliki raznolikosti vrst mikroorganizmov, ki pridejo z odpadno vodo, iz zraka, tal ali živali blizu naprave. A raznolikost pa pripomore k boljšemu čiščenju fekalne vode. Rast mikroorganizmov je odvisna od temperature, hranil, pH, kisika ipd. Do pretvorbe snovi pride preko biološke rasti, hidrolize in razpada.

Bakterije izkoriščajo hranilne snovi z namenom, da preživijo in se razmnožujejo. V izoliranem prostoru število bakterij narašča toliko časa, dokler je na razpolago dovolj hranilnih snovi, ko jih zmanjka, se rast prekine in sistem lahko razpade. Zagotovljena mora biti družba različnih organizmov, tako, da je prirast organizmov, ali pa njihov odpadek hrana drugim. S hidrolizo se večje molekule pretvorijo v manjše razgradljive molekule.

Pri bioloških (aerobnih) postopkih čiščenja na KČN ločimo postopke, pri katerih je biološka ruša pritrjena na podlago in postopke, pri katerih biološka ruša lebdi (Panjan, 2005).

4.5 Čiščenje na MKČN

Najstarejši način čiščenja je čiščenje v tleh. Osnovni procesi so znani, to so precejanje, usedanje, adsorpcija in poraba hranil za rast rastlin. Ti naravni postopki so učinkoviti in za okolje neškodljivi, če le ni prevelike količine vode ali vsebnost nevarnih oz. strupenih snovi. Za manjša naselja, kjer ni industrije, odpadna voda ni tako onesnažena oz. ne vsebuje nevarnih snovi in so ti naravni postopki zadovoljivi za čiščenje. Delovanje je preprosto, ni visokih stroškov obratovanja in ne potrebujejo posebnega vzdrževanja, kljub temu pa zagotavljajo visoke učinke čiščenja. Čiščenje odpadne vode praviloma poteka s tremi fazami čiščenja. Prva faza je primarna faza, kjer se iz odpadne vode ločijo trde snovi. Naslednja stopnja je sekundarna obdelava, kjer se raztopina ali suspendiran material pretvori v mikrobnno biomaso, ki se loči od vode. Tretji in zadnji korak čiščenja se imenuje terciarno čiščenje, kjer se iz vode odstranijo še fosfor in dušikove spojine.

Tehnološke rešitve čiščenja odpadne vode MČN so zelo različne od uporabe anaerobnih postopkov (greznice, emšerji), kompaktne aerobne naprave s poživiljenim blatom ali pritrjeno biomaso, do tako imenovane alternativne tehnologije (peščeni filtri, lagune, rastlinske čistilne naprave, čiščenje v tleh rastlinske čistilne naprave). Primeren način čiščenja odpadnih vod v Sloveniji, ki je reliefno razgibana, ima visok delež ekološko pomembnih območij in občutljiv kraški teren, so sonaravne tehnologije, kot so RČN.

Mali sistemi čiščenja odpadne vode se od večjih razlikujejo predvsem da:

- pretoki zelo nihajo;
- je odpadna voda praviloma bolj obremenjena (ločen sistem);
- je veliko sistemov sezonsko (turistični kraji, kampi, planinski domovi ipd.) obremenjenih;
- so tehnološke rešitve malih čistilnih naprav zelo raznolike (Panjan, 2005).

Prednosti, ki se kažejo z razpršenimi, manjšimi kanalizacijskimi sistemi z MKČN so:

- izgradnja kanalizacijskih sistemov poteka v več fazah;
- manjše investicije v kanalizacijski sistem;
- lokalno reševanje problematike;
- manjša čistilna naprava v primeru izpada ne povzroči velike ekološke katastrofe in zahteva lokalno intervencijo;
- večja vključenost lokalnega prebivalstva pri odločitvah postavitve;
- manjši posegi v prostor in okolje;
- manjši stroški vzdrževanja in obratovanja;
- možnost dograjevanja MKČN ob povečanju PE;
- itd.

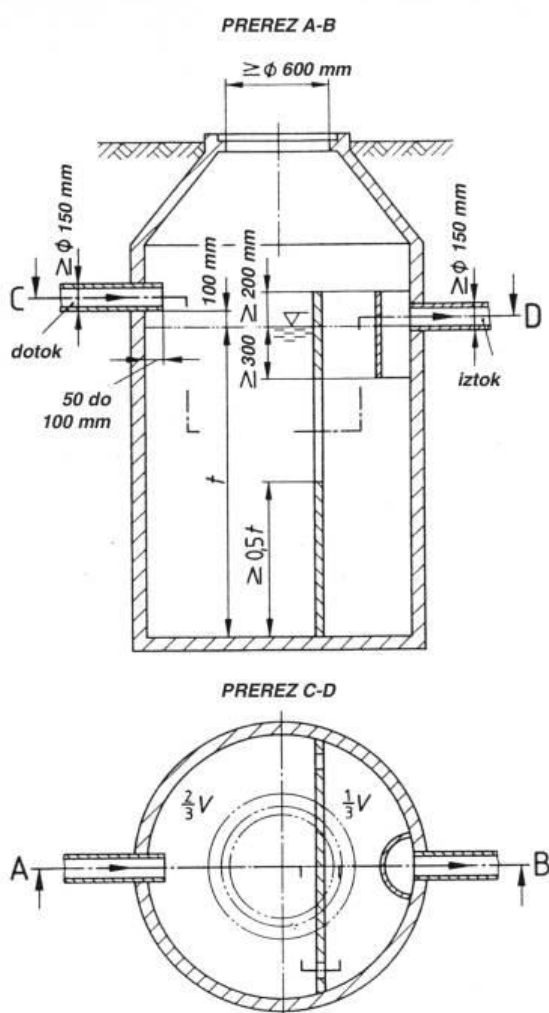
4.5.1 Individualne čistilne naprave

Čiščenje odpadne vode za objekte, ki niso priključeni na centralno čistilno napravo ali ni predvidena mala čistilna naprava, bo potrebno zagotoviti individualne čistilne naprave. Občine in javne službe bi morale obveščati prebivalstvo na območjih, kjer ni predviden razvoj javne kanalizacije, da morajo v skladu z veljavno zakonodajo izvesti ustrezno odvajanje in čiščenje komunalnih odpadnih vod. Morali bi posredovati informacije o tem, ali objekt leži na območju, opremljen z javnim kanalizacijskim sistemom, o možnih načinih opremljanja z individualnimi ali skupnimi malimi čistilnimi napravami. Ruralnim območjem bi lahko predstavili RČN, ki je cenovno ugodna in se lepo vključuje v okolje. Izgradnjo bi stimulirali s finančno pomočjo oziroma subvencijo ali ugodnimi posojili (Peterlin, 2012).

5 VRSTE MALIH SONARAVNIH KOMUNALNIH ČISTILNIH NAPRAV

5.1 Greznice

Greznica je podzemni rezervoar za zbiranje gospodinjske odpadne vode in je v Sloveniji najpogosteje uporabljen objekt za tretiranje odpadne vode. Poznamo pretočne in nepretočne greznice ter nato jih delimo še na dvo ali več prekatne. O greznicah, njihovem delovanju in dimenzioniranju je med prvimi pisal Kolar (1983). S spodnje slike je možno prebrati potrebne premere in višine, ki jih moramo upoštevati pri gradni, da dosežemo primerne učinke čiščenja.



Slika 6: Dvo-prekatna greznica (Kompore in sod, 2007)

Za delno biološko čiščenje uporabljamo večcelične greznice, z minimalnim volumnom 6000 l in maksimalno dopustno globino od 1,5 m do 3 m, odvisno od volumna. Nadaljnje čiščenje iztoka iz greznice izvedemo na več načinov:

- v jarkih in drenažnih sistemih;
- v talnih filtrih ali poljih;
- v nasipih;
- s sistemom namakanja;
- evapotranspiracijski sistemi;
- v konvencionalnih absorpcijskih bazenih in kanalih;
- v absorpcijskih bazenih in kanalih z doziranjem pod pritiskom;
- z rastlinskimi čistilnimi napravami.

Nadaljnje čiščenje se lahko opravi tudi na bližnji dovolj veliki KČN (Panjan, 2005).

5.2 Lagune

V lagunah je odpadna voda obravnavana s kombinacijo fizičnih, bioloških in kemičnih procesov. Mesto lagune mora biti načrtovano tako, da ima neprepustno dno in je ločeno od podtalnice in oddaljeno od naselij. Postavimo jo v vznožju naselja, da se izognemo dodatnim stroškom črpanja odpadne vode in tam, kjer veter ne nosi vonjav v naselje. Velikost in oblika lagun je načrtovana tako, da je zadrževalni čas maksimalni. Fakultativna laguna, velikosti 100 m², zadostuje za približno 50 domov oziroma 200 ljudi. Aerobne lagune so bolj učinkovite in zahtevajo do tretjino manjšo površino. Poznamo več vrst lagun:

Anaerobna laguna: proces čiščenja poteka brez prisotnosti kisika, kjer se voda zadržuje od 20 do 150 dni, pri globini od 2,5 do 4,5 m. Čiščenje v lagunah poteka z ločevanjem v več plasteh. Vrhnja plast vsebuje maščobo, peno in ostale plavajoče materiale. Težji delci se usedejo na dno, kje se začne anaerobni razkroj. Odpadna voda zahteva še nadaljnjo obravnavo.

Vonj pri anaerobnih lagunah je lahko problem, vendar se ga da uravnavati z različnimi metodami, kot z dodajanjem natrijevega nitrata, recirkulacijo odpadne vode in z rednim vzdrževanjem (odstranjevanje blata, košenje trave, čiščenje plevela).

Aerobna laguna: kisik je prisoten v večjem delu globine lagune, saj je tu globina veliko nižja, tako lahko svetloba in kisik bolje prodre v odpadno vodo. Primernejše so za vroča in sončna podnebja, kje je manjša možnost zmrzali. Zadrževalni čas je od 3 do 50 dni. Preprečiti moramo zaraščanje dna in izvajati občasno premešanje, da svetloba doseže vse alge in preprečimo nastajanje nepresojne plasti.



Slika 7: Sistem čiščenja v lagunah – Tolmin (http://krajlab.eu/slovenija/sotocje_soc_a_tolminka/eng)

Umetno aerirane: primerne so za manjše skupnosti. Z vpihovanjem zraka je čiščenje učinkovitejše in zahteva manjšo površino ter krajši zadrževalni čas.

Fakultativne lagune: sestavljena je iz treh slojev: zgornji sloj je aeroben, spodnji anaeroben, vmesni pa je mešanica le-teh. Fakultativne lagune so načrtovane tako, da zadržijo odpadno vodo dovolj časa, da se večji del težjih delcev usede in da nevarne bakterije, paraziti in virusi odmrejo. Pomembna je tudi svetloba, ki pripomore rasti zelenih alg na površini vode. Svetloba je potrebna za fotosintezo, tako je več kisika v lagunah v območjih, kjer je več sonca.

Sistemi čiščenja v lagunah

Sistem čiščenja v lagunah se je od preprostega zadrževanja odpadne vode v jami tehnološko zelo razvil, predvsem v Ameriki. Poznani so sistemi, kje so lagune pokrite, uporabljene lamelne pregrade, lagune s SBR in MBBR sistemom delovanja ipd.

Napredna integrirana laguna (Advanced Integrated Wastewater Pond Systems – AIWPS), se je razvijala več kot 60 let in združuje več različnih vrst lagun. Odvečno blato absorbira strupene snovi in

ga ni potrebno odstranjevati. Stroški konstrukcije in obratovanja so nižji od ostalih sistemov čistilnih naprav. Sestavljena je iz najmanj štirih zaporednih lagun:

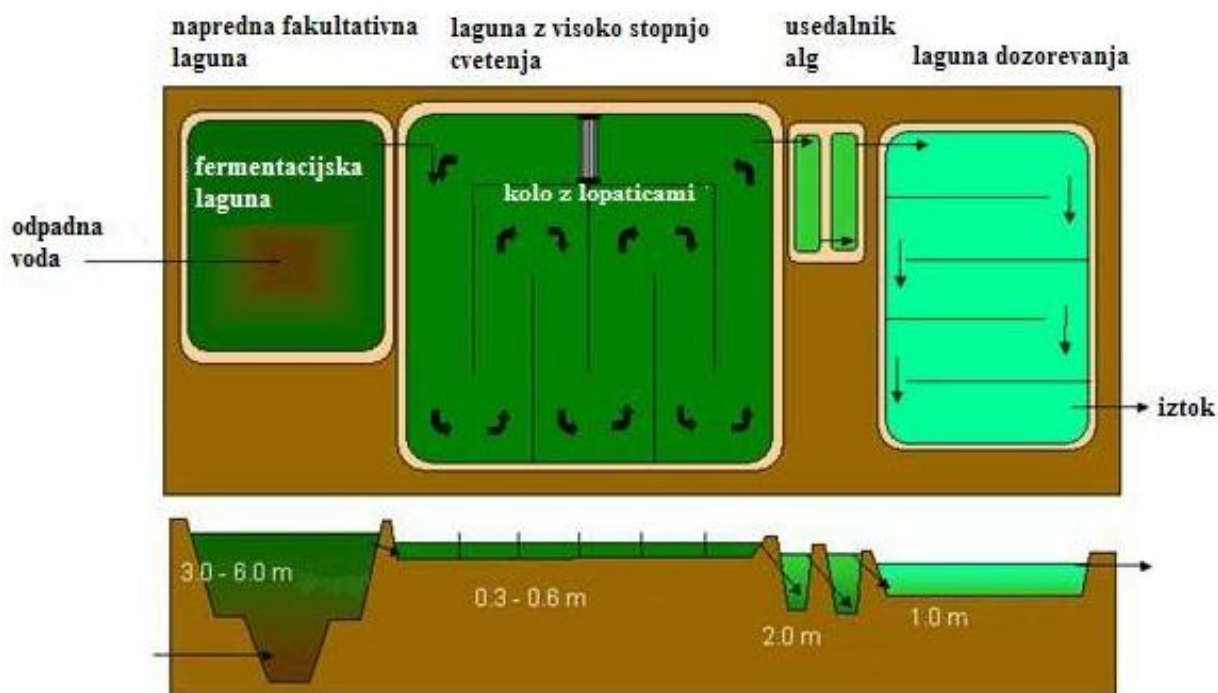
Napredna fakultativna laguna. Zgornji sloj vode je aeroben, blizu dna pa anaeroben. Sedimentacija in fermentacija metana se odvija globoko v zato posebej oblikovani laguni, da ne pride v stik z raztopljenim kisikom. Dotok odpadne vode je blizu dna, kjer so trdne snovi ujete in porabljene pri anaerobnem razkroju. Fakultativna laguna je globoko od 4 do 5 m, od tega je 1 m aerobnega območja, ki preprečuje neprijetne vonjave. Brežine so zaščitene pred erozijo s tlakovanjem.

Sekundarna fakultativna laguna ali laguna z visoko stopnjo cvetenja (algal high rate ponds).

Slednja ima nižjo globino, manjšo stopnjo zadrževanja in proizvede večjo količino kisika. Gojenje mikroalg je optimizirano z mešanjem vode s pomočjo lopat vodnega kolesa. Spodbujena je simbioza med algami in aerobnimi bakterijami. Alge s fotosintezo proizvedejo kisik, ki ga nato porabijo bakterije za oksidacijo. Velik prispevek alg je njihovo nihanje pH vrednosti v vodi. Celodnevna vrednost pH 9.2 uniči bakterije E-coli in večino ostalih patogenih bakterij.

Usedalnik alg. Alge očistimo z naravno sedimentacijo, kar pomeni, da moramo imeti dva vzporedna usedalnika, da omogočamo periodično odlivanje in odstranjevanje koncentracije alg.

Laguna dozorevanja. Za uporabo v kmetijstvu – namakanje se mora voda tu zadrževati od 10 do 15 dni, da se zagotovi odmrtnje vseh patogenih bakterij. Obdelana voda je izpostavljena soncu in vetru, kjer se oksidira in dezinficira.



Slika 8: Proces čiščenja in osnovno načelo oblikovanja naprednega sistema lagun – AIWPS (<http://www.sswm.info>)

Sistem čiščenja v lagunah z uporabo vodne leče

Vodna leča je naravno prisotna v vodi z razpadajočo organsko snovjo, ki jo dobavlja s hranilnimi snovmi. Značilna je njihova hitra rast, saj lahko pri idealnih pogojih podvoji svojo biomaso vsaka dva dni. Ta njihova sposobnost rasti se odraža pri porabi hranil v vodi in je zato odličen za čiščenje odpadne vode.

Čiščenje odpadne vode z uporabo vodne leče je podoben običajnemu sistemu čiščenja v laguni le s to razliko, da preprečuje rast alg. Plast vodne leče na površini zadrži svetlobo in tako prepreči rast alg. Rezultat je zmanjšanje skupnih neraztopljenih trdnih snovi in hranil. Odstranjevanje hranil v fitoplanktonu je zahtevnejše in pri tem vračamo hranila tudi nazaj v okolje. Pri tem sistemu pa z vodno lečo odstranimo vsa hranila. Rast fitoplanktona zavira visoko dnevno nihanje pH. Izhlapenje z vodne površine je pri sistemu z vodno lečo manjše kot v običajni laguni. Z večjo učinkovitostjo čiščenja kot pri konvencionalnih lagunah privarčujemo tudi na prostoru.

Vodna leča odpadno vodo očisti v sodelovanju z aerobnimi kot tudi z anaerobnimi bakterijami, tako da je sama vodna leča zadostna komponenta celotnega sistema čiščenja.

Heterotrofne bakterije razgradijo organske odpadne snovi v amonijev dušik in ortofosfate, ki jih porabijo rastline vodne leče. Razmere v laguni so zaradi plasti vodne leče anaerobne, razen sloj 10 cm na površini, kjer korenine vodne leče vnesejo kisik z atmosfere. Potek oksidacije organskih snovi in nitrifikacije se začne zaradi dodatne površine za biofilm med koreninami in listi vodne leče. Dušik se odstrani še s sedimentacijo organskih snovi in izhlapevanjem amonijaka.

Laguna sistema »Plug – flow« je najbolj uporabna za sekundarno in terciarno čiščenje odpadne vode. Zagotavlja maksimalni kontakt med odpadno vodo in vodno lečo ter minimizira možnost mešanja toka. Osnovna enota sistema je plitva pravokotna laguna. Obratuje lahko posamezno ali kot serija lagun. Razmerje med dolžino in širino naj bo tem večje (vsaj 10:1), da se zagotovi pretok. Zadrževalni čas je odvisen od različnih faktorjev, onesnaženosti, temperature, kakovost izpusta itn. Za doseg sprejemljive kakovosti in zmanjšanje patogenih bakterij v odpadni vodi je priporočen zadrževalni čas minimalno 20 dni. Ker vodna leča plava na vodni površini je podvržena premikanju zaradi vetra, kar rešimo s plavajočimi zadrževalnimi mrežami. Zaradi hitre rasti vodne leče jo je potrebno pogosto odstranjevati (tedensko), da ohranimo optimalno gostoto (Willett, 2005).



Slika 9: Laguna s plavajočo mrežo v kateri raste vodna leča

<http://www.holladayengineering.com/projects-wastewater-systems.html>

LEMNA Systems

Sistem čiščenja v lagunah z uporabo vodne leče, ki ga je razvilo podjetje Lemna Technologies, ponuja dva osnovna sistema čiščenja odpadne vode: Lemna Duckweed system in LemTech Biological Treatment Process.

Sistem z vodno lečo (Lemna Duckweed System)

Sestavlja ga serija fakultativnih ali aerobnih lagun s plavajočimi pregradami, ki ohranjajo vodno lečo enakomerno razporejeno na površini. Sledi aeracija odpadne vode v anaerobnih delih pod pokrovom vodne leče. Pravilno delovanje sistema zagotavljamo z redno žetvijo.

LemTech Biological Treatment Process. Čiščenje odpadne vode poteka skozi serijo aeriranih lagun. Pokrite so s posebnimi moduli, ki zadržuje toploto, zadržijo neprijetne vonjave in preprečuje rast alg. Ta sistem lagune je sestavljen s popolno mešanim aerobnim reaktorjem, delno aerobnim reaktorjem, pokritega anaerobnega reaktorja in polirnega reaktorja. Slednji je aeriran s posebnimi potopljenimi moduli za rast bakterij (Crites in sod., 2006).

5.3 Namakanje

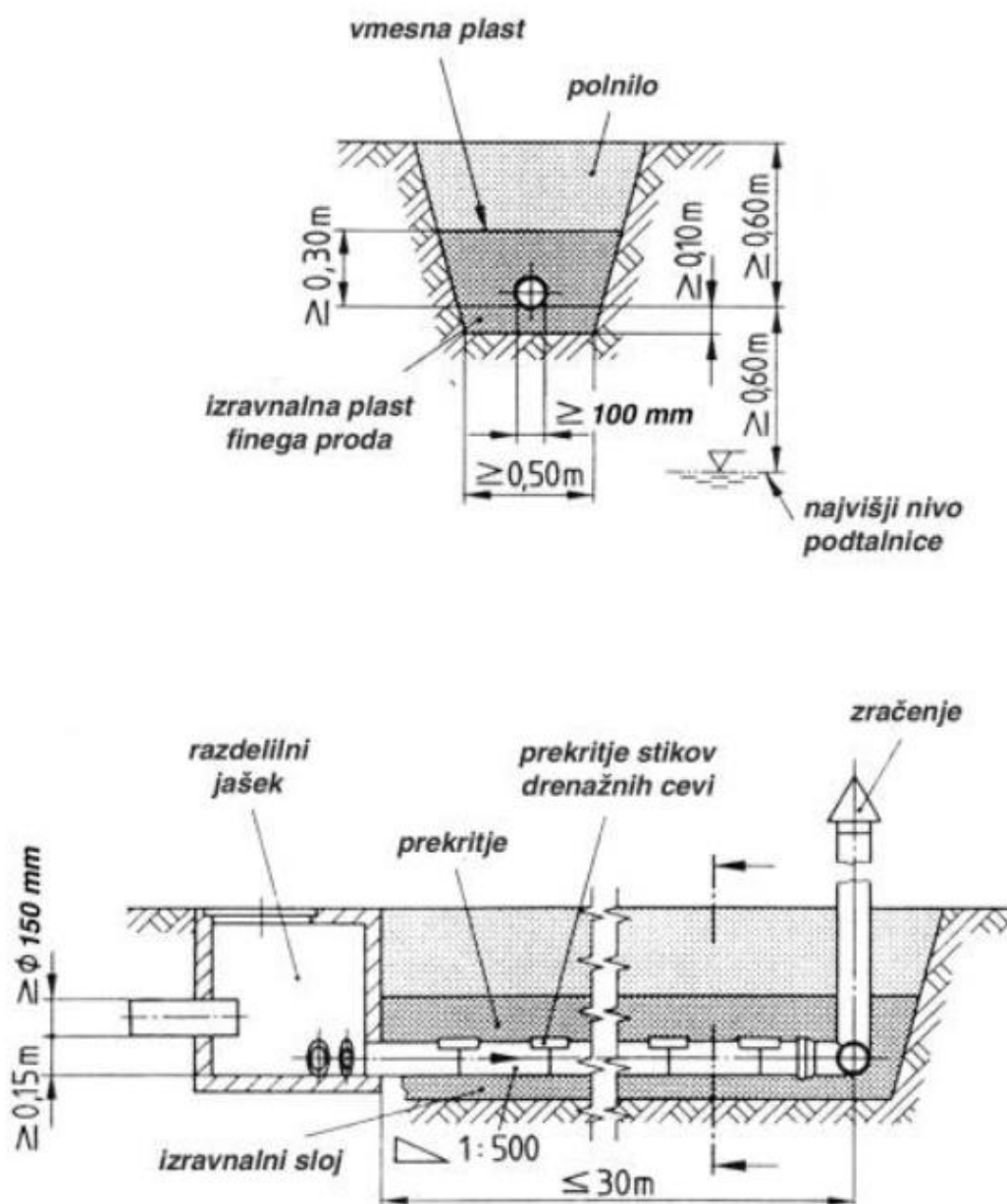
Življenjski procesi v tleh se dogajajo samo v razmeroma tanki zgornji plasti tal. Življenjsko združbo predstavljajo heterotrofni in avtotrofni organizmi. Heterotrofni organizmi za razgradnjo organskih snovi potrebujejo kisik, zato se nahajajo samo v zgornjih nekaj deset centimetrih zemljine. Kadar odpadno vodo uporabljamo za namakanje poljedelskih površin, moramo vodo najprej analizirati, da ne vsebuje snovi, ki bi povzročile poslabšanje rodovitnosti, ali pa snovi in organizmov, ki bi v nedopustni meri zmanjšale uporabnost pridelka. Preveriti moramo tudi možnost odvajanja vode, ko namakanje ni mogoče ali dopustno. Namen namakanja z odpadno vodo je, da bi čim bolj izkoristili hranljive snovi za rast rastlin, izboljšali kvaliteto tal in da bi vodo na ta način tudi očistili in jo varno spustili v naravni vodni krog. Tla, ki vsebujejo dovolj humusa, imajo dobro sposobnost za filtracijo, z globino in časom pa se zmanjšuje tudi število klic. V odpadni vodi so organske snovi, dušik, fosfati in kalij, kar pomeni, da je gnojilna vrednost odpadne vode zelo pomembna, saj lahko v določeni meri nadomesti umetna gnojila. Odpadno vodo iz naselij lahko uporabljamo za namakanje, še posebno, kjer je letna višina padavin 600 mm. Dopustna letna obremenitev z odpadno vodo je ocenjena na okrog 1500 m³/ha (Kolar, 1983).

5.4 Ponikovalni vodi

Ponikovalni vodi v kombinaciji s primarnimi usedalniki zagotavljajo temeljito čiščenje odpadnih voda. Konstrukcijsko so zelo enostavni in ne potrebujejo velikih vzdrževanj. Za čiščenje v ponikovalnih vodih moramo v teren izkopati jarke, globine od 0,5 do 0,6 m, v katere položimo drenažne cevi, premera 10 cm. Odpadna voda priteče iz pretočne greznice, preko razdelilnega jaška v drenažne cevi, kjer se očisti preko poroznega medija in vrhnjega sloja zemljine, kjer je dovolj kisika in veliko število mikroorganizmov. Skozi metabolične procese, ki se v tem okolju vršijo, postaja sloj biomase vedno večji in debelejši (Kompore in sod., 2007).

Za enakomerno razporeditev odpadne vode po posamičnih krakih morajo vsi kraki mreže izhajati iz razdelilnega jaška. Če voda ne doteka v sunkih, je potrebno v razdelilni jašek vgraditi napravo za sunkovito napajanje vodov. Ureditev sunkovitega napajanja preprečuje preobremenjevanje ali zamašitev posameznih vodov in zagotavlja primerno izpiranje razrasle biološke ruše. Skrajni del

ponikovalnega voda mora imeti zračnik za vzdrževanje aerobnih razmer. Priporočljivo je tudi, da se posamezni ponikovalni vodi med seboj prečno povežejo in se tako omogoči boljše prezračevanje. Uporaba ponikovalnih vodov je dovoljena le tam, kjer je podtalnica dovolj globoko, da se odpadna voda na poti skozi zemeljske plasti dokončno očisti, preden se steka vanjo. Minimalna dolžina vodov je odvisna od ponikovalne sposobnosti tal na izbranem terenu. Dolžina ponikovalnega voda običajno znaša med 10 in 20 m/PE oz. največ 30 m/PE v primeru slabše ponikovalne sposobnosti terena (Premzl, 2001).

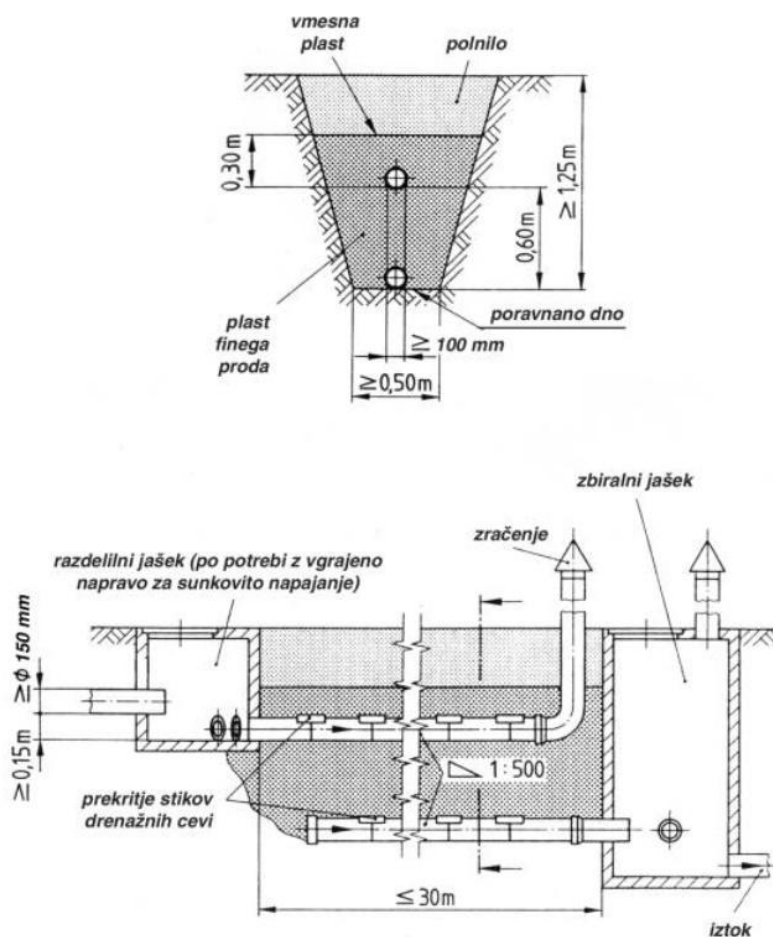


Slika 10: Skica ponikovalnega voda. (<http://www.opinio.si/>)

5.5 Filtrski jarki

Filtrski jarki se uporabljajo, kjer čiščenje s ponikanjem v tla ni možno, zaradi slabo prepustnih zemljišč. Predhodno čiščena odpadna voda se spelje v drenažne cevi, skozi katere ponika v nižje ležečo filtrsko plast. Med ponikanjem se dodatno očisti v pretežno aerobnem biološkem postopku in se na koncu zbira v globlje ležečih vodih, ki vodijo proti vodotoku. Voda se je tako očistila z mehansko filtracijo skozi sloj peska, biološko s pomočjo mikroorganizmov ter tudi s pomočjo vsrkavanja korenin. Filtrski jarki so na dnu široki najmanj 0,5 m in globoki najmanj 1,25 m. Na dnu leži drenažna cev, ki vodi v vodotok in je zasuta s finim peskom (od 2 do 8 mm) do višine 0,6 m. Na to plast položimo spet drenažne cevi, ki vodijo iz greznice in jih zasujemo z 0,3 m debelo plastjo gramoza, ki ga pred zablatenjem zaščitimo s folijo. Naklon drenažnih cevi mora biti približno 2 ‰, oddaljenost med posameznimi rovi pa najmanj 1 m. Tako dobimo neke vrste filtrsko polje. Zgornji in spodnji vodi imajo konce cevi podaljšanje v zračnik.

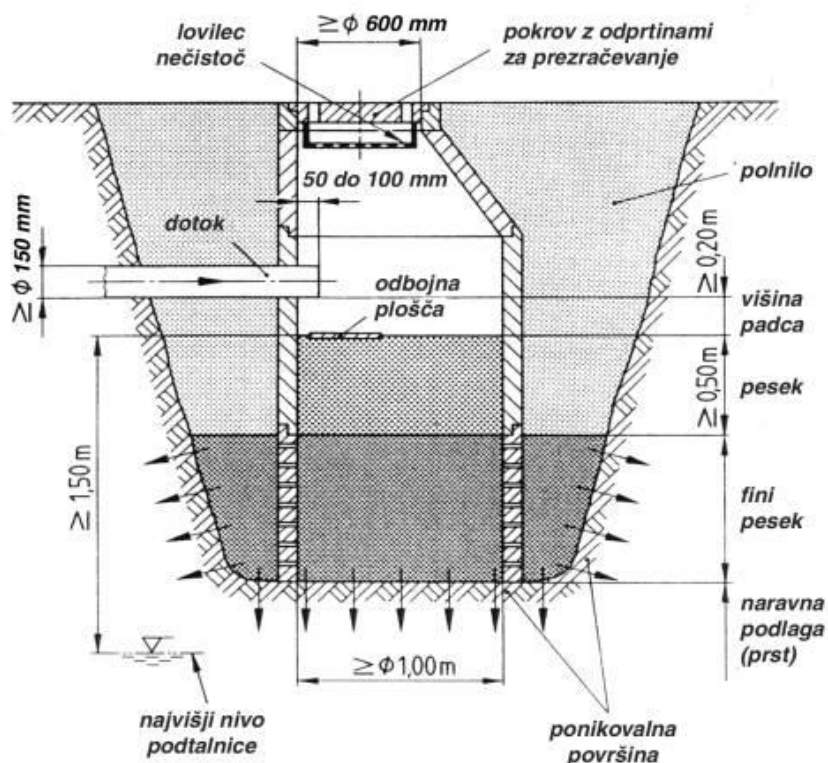
Minimalna dolžina filtrskih jarkov mora znašati najmanj 6 m/PE, dolžina enega kraka pa ne sme presežati 30 m. Dimenzije in postavitve so vidne na spodnji sliki (Premzl, 2001).



Slika 11: Skica filtrskih jarkov (<http://www.opinio.si/>)

5.6 Ponikovalnice – vpojne jame

Vpojne jame se uporabljajo na območjih, kjer so prepustni sloji zemljine v večji globini in ni ogrožena podtalnica. Poglavitna pogoja za uporabo ponikovalnice sta obstoj prepustnih slojev na sprejemljivi globini in zadostno predhodno biološko čiščenje. Vsi dodatni detajli so vidni na sliki 12 (Premzl, 2001).



Slika 12: Skica ponikovalnice (<http://www.opinio.si/>)

5.7 Sodobne KČN

Za primerjavo sem navedel še dva druga sistema čiščenja odpadne vode, ki ne delujeta sonaravno in za delovanje potrebuje energijo. Ti tehnološko bolj napredni tehnologiji sta dražji, zahtevata več vzdrževanja, izobražen kader in stalni nadzor.

MBR

Membranski biološki reaktor (MBR), predstavlja kombinacijo biološkega čiščenja z aktivnim blatom in membranske filtracije. Ločevanje poteka v območju mikrofiltracije do ultrafiltracije, odvisno od velikosti por v membrani (0,04 - 0,5 μm). Skozi membrano preidejo samo določene spojine, temu pravimo pol-prepustnost. To je fizikalni proces, kjer komponente ostanejo kemično nespremenjene. Sistem MBR vključuje membrane v aerinanem delu reaktorja, anaerobno cono in sistem recirkulacije aktivnega blata. Glede na postavitev filtracijske enote, poznamo:

Potopni sistem uporablja votlo-vlaknaste membrane, ki deluje pod vakuumom z vsesavanjem skozi votle cevi membranskega modula. Potrebno je vpihovanje zraka, ki preprečuje mašenje membrane.

Sistemu z ločenim modulom membrane, kjer je modul nameščen izven reaktorja. Proces filtracije poteka v izoliranem delu reaktorja, kjer poteka recirkulacija aktivnega blata. Odpadno vodo, z aktivnim blatom črpamo skozi membrano pod visokim tlakom in veliko tangencialno hitrostjo. Ta sistem nam omogoča lažje čiščenje membrane.

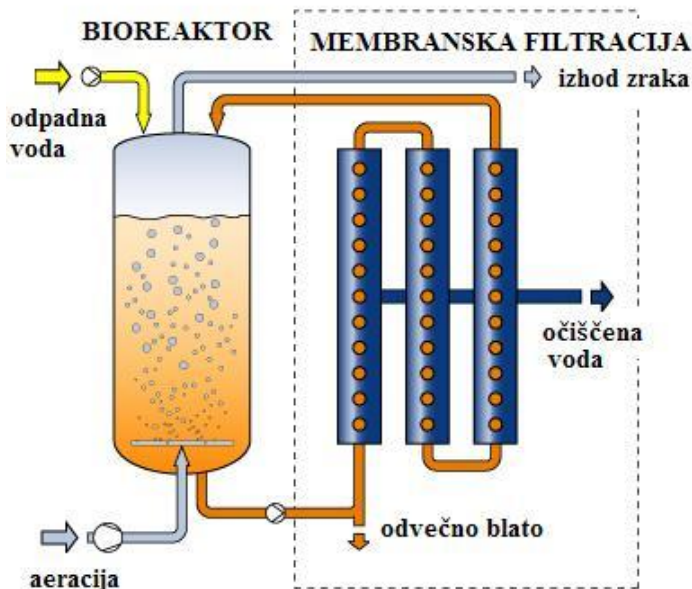
Kombinaciji ločenega in potopljenega sistema.

Pri MBR tehnologiji, nastopi problem mašenja membran zaradi nekontrolirane rasti biofilma. Odpadno vodo najprej očistimo, uporabimo sisteme z aktivnim blatom, kjer mikroorganizmi sodelujejo v procesu nitrifikacije in denitrifikacije. Nato biološko očiščeno odpadno vodo s pomočjo podtlaka filtriramo skozi membrane.

Prednost MBR sistema je, da membrana nadomešča funkcijo usedalnika in loči očiščeno vodo od aktivnega blata. Ker ne potrebujemo naknadnih usedalnikov in je lahko aktivno blato bolj koncentrirano, se zmanjša volumen biološkega bazena in s tem privarčujemo na prostoru in stroških. Sistem je dovolj majhen, da je lahko v zgradbi in ne vpliva na okolico, ter ne povzroča smradu in hrupa. Učinkovit je tudi pri zadrževanju patogenih bakterij, pod pogojem, da so pore dovolj majhne. Površina naprave se tako še dodatno zniža, ker ne potrebujemo UV dezinfekcije. Voda iz MBR sistema je dovolj dobro očiščena in primerna za namakanja v kmetijstvu.

Da preprečimo nezaželene trdne delce v rezervoarju z membrano in njeno zamašite ter daljšo življenjsko dobo opravimo prečiščenje. MBR tehnologija je zaradi membran, vpihovanja zraka in porabe energije ter strokovne izgradnje, dražja od ostalih KČN, vendar je na iztoku voda bolj prečiščena in primerna za ponovno uporabo. Vzdrževanje mora opraviti izkušeni inženir. Opraviti je potrebno tedensko čiščenje membrane in obnovitev v prvotno stanje vsako leto. Zamašitev MBR membran je zelo zapleten pojav in s težavo se odkrije mesto zamašitve (Radjenović in sod., 2008).

Membranska tehnologija zagotavlja dober iztok in primernost vode za ponovno uporabo, vendar je ponavadi cena tisti pogoj, ki igra veliko vlogo pri izbiri. Izbira se najugodnejši ponudnik in se ne upošteva toliko na kakovost vode, ki jo spuščamo v okolje. Na trgu je veliko kompaktnih KČN, primernih za enodružinske hiše ali večstanovanjske objekte, kot je SBR, vendar ti ne zagotavljajo zadostnih vrednosti po KPK in BPK₅ na izpustu, kljub zagotovitvi. Predvsem za občutljiv kraški teren. Tu bi morala tudi zakonodaja poseči in dvigniti prag očiščenosti vode. Sedaj obstajajo tehnologije, ki lahko to brez težav zagotovijo.

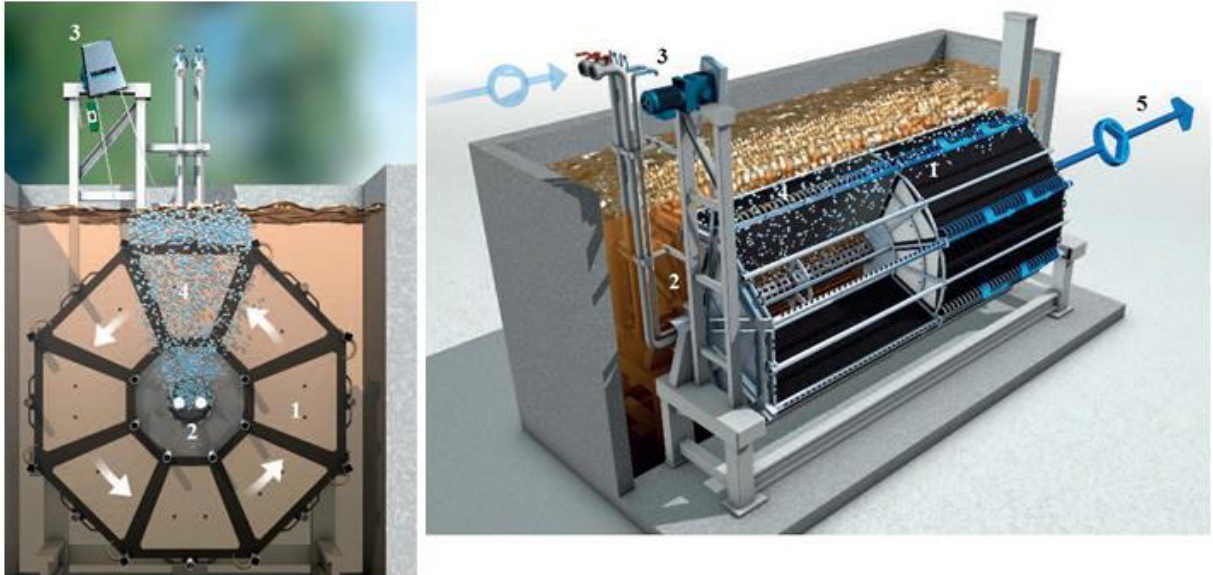


Slika 13: MBR sistem (<http://www.lenntech.com/processes/crossflow-mbr.htm>)

SISTEM ROTIRAJOČE MEMBRANE (VRM[®] - Vacuum Rotation Membrane System)

VRM sistem je kombinacija biološkega čiščenja in visoko učinkovitega ločevanja trdne snovi od tekočine prek tlačne razlike. Membrane imajo pore velikosti okoli 38 nm, ki omogoča visoko stopnjo pretoka (do 60 l/m²h) pri nizkem transmembranskem tlaku (< 100 mbar), medtem ko zadrži vse trdne snovi, bakterije in večino mikrobov.

VRM sistem membranske ultra-filtracije uporablja ravne plošče membran ki rotirajo okoli horizontalne osi. Membranski segmenti (1) so razporejeni okoli ceveh za zrak (2). Pogonski sistem (3) vrti trapezne membranske plošče s hitrostjo 1 obrata na minuto, skozi curek zraka (4), ki zagotavljajo čiščenje manjšega dela v navpični smeri. Zračni mehurčki se dvigajo iz osi in kontinuirano odstranjujejo zgoščeno blato s površine membran. Plasti med membranskimi ploščami se zanesljivo odstranijo in tako preprečijo zamašitve. Vrtenje membranskih plošč odpravi problem vključenosti zraka v iztočni sistem (5).



Slika 14: Proces delovanja VRM sistema <http://www.huber.de/>

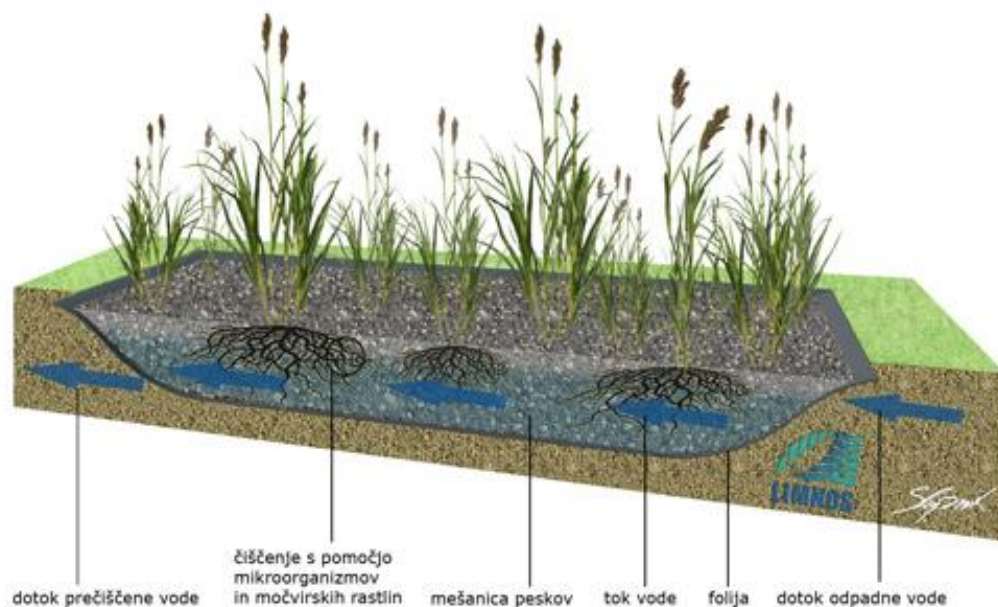
6 RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE (RČN)

V diplomski nalogi bom več pozornosti namenil RČN, saj med sonaravnimi sistemi dosegajo najboljši učinek čiščenja in bi se lepo vključile v ruralno okolje ter doprinesle nov biotop za organizme. Sodiijo tudi med najbolj poznane ekoremediacije, ki jih najdemo predvsem v mediteranskih državah. V Sloveniji je zgrajenih že kar nekaj RČN, predvsem za manjša naselja oz. individualne hiše, ki jih gradi slovensko podjetje Limnos d.o.o. (Bulc, 2013).

RČN posnemajo samočistilne procese v naravnih močvirskih ekosistemih, pravimo jim tudi umetna močvirja. Sestavljene so iz več med seboj povezanih gred, na katerih so na ustreznem substratu, skozi katerega se pretaka odpadna voda, posajene različne vrste rastlin. Čiščenje ima tri glavne dejavnike: rastline, mikroorganizme in substrat. Rastline, kot so trst, rogoz, sitec, asimilirajo mineralizirane snovi (fosfate, amonijak, nitrate, težke kovine, fenole ipd.) iz odpadne vode, predvsem pa zagotavljajo podlago in ustrezne pogoje za razvoj mikroorganizmov. Kisik iz ozračja prehaja z difuzijo v plast okoli korenin in s tem ustvarja aerobna območja, kjer poteka razgradnja organskih snovi. Na rastlinah potekajo še fizikalni in kemični procesi, kot so vezava na električno nabite delce koreninskih laskov, obarjanje z različnimi kationi, vpliv korenin na hidravlično prevodnost substrata in povečanje površine za naselitev mikroorganizmov (Vrhovšek, 2009).

Mikroorganizmi sodelujejo pri transformacijah C, N, Fe in S. Bakterije v aerobnih razmerah prispevajo glavni delež čiščenja. V območjih brez kisika pa delujejo anaerobni mikroorganizmi ter tako povečajo učinkovitost čiščenja.

Izbira primerne mešanice substrata (rečni prod, mivka, pesek, zemlja, šota) je pri načrtovanju RČN izjemno pomembno. Substrat omogoča filtracijo, sedimentacijo in sorbcijo raztopljenih in suspendiranih snovi, patogenih organizmov, N, P in kovin. Omogoča pritrditev rastlin in površino za naselitev mikroorganizmov (Vrhovec, 2008).



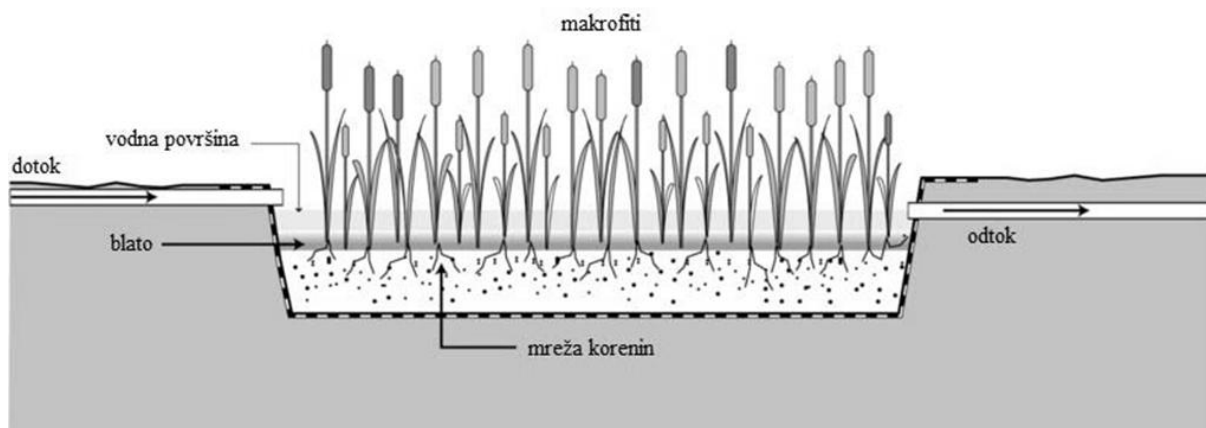
Slika 15: Prerez grede RČN (http://www.limnos.si/rastlinske_cistilne_naprave.php)

6.1 Vrste RČN

Glede na vodni režim ločimo tri tipe RČN:

- RČN s površinskim tokom vode;
- RČN s podzemnim tokom vode;
- RČN s plimovanjem vodnega toka.

6.1.1 RČN s površinskim tokom vode, ki so po svoji funkciji zelo blizu naravnim mokriščem. Grede na dnu vsebujejo substrat, nad katerim se pretaka voda, ki obliva rastline. Oksična plast je pod vodno površino, ki jo naseljujejo alge (makrofiti). Ločimo še sisteme s prosto plavajočimi, z ukoreninjenimi in z ukoreninjenimi plavajočimi ter potopljenimi makrofiti. Glavne prednosti teh sistemov so nizki stroški obratovanja in visoka ekološka vrednost ter enostavnost gradnje, obratovanja in vzdrževanja. Glavna slabost pa so velike površine, ki so potrebne za učinkovito delovanje tega sistema.



Slika 16: RČN s površinskim tokom vode (www.akvo.org)

Najpogostejše se uporabljajo sistemi z vodno hijacinto (*Eichornia crassipes*) ali sistemi z vodno lečo (*Lemna spp.*) ali drugimi prosto plavajočimi rastlinami. Nujno je redno odstranjevanje biomase. Te sisteme lahko imenujemo tudi lagune.

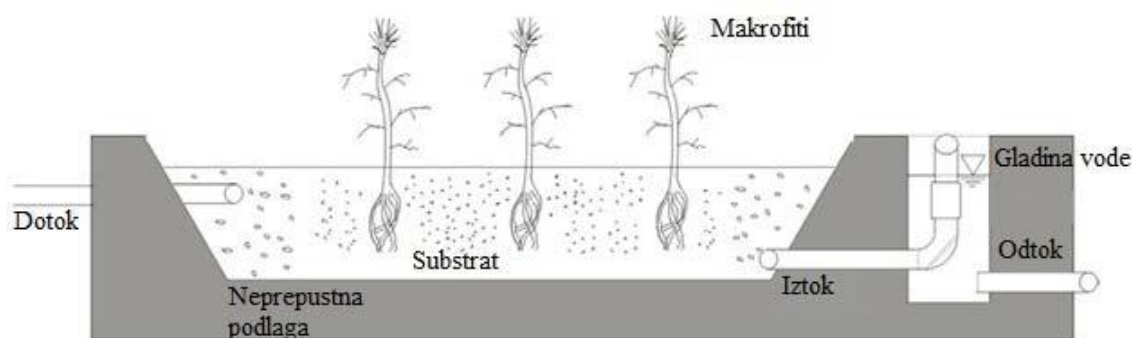
6.1.2 RČN s podzemnim tokom vode

Tu se voda pretaka skozi substrat in ni v stiku z atmosfero, tako ne povzroča smradu, razvoj mrčesa in težje zmrzne. Čiščenje je intenzivnejše, saj substrat nudi večjo površino za razvoj mikroorganizmov. Takšni sistemi so najbolj primerni za čiščenje odpadnih voda v relativno konstantnih pogojih toka vode in z relativno nizko koncentracijo trdnih snovi, zaradi možnega mašenja. Prednosti teh sistemov so večje dopuščanje nizkih temperatur, zmanjševanje problemov s škodljivci in s smradom. Območje Ajdovške planote ima nižje temperature zaradi višje nadmorske višine, zato je ta sistem primernejši. Prednost pa je tudi v tem, da se ne razmnožujejo komarji in drugi insekticidi. Njihova prednost je tudi manjša površina, v primerjavi s sistemi s površinskim tokom vode, saj so lahko ti sistemi, zaradi zagotavljanja večje kontaktne površine poroznega medija za rast mikroorganizmov. Zgoraj omenjeni sistemi so pogosto bolj učinkoviti in dosežejo hitrejšo čiščenje, vendar pa so lahko stroški izgradnje bistveno večji kot pri površinskih sistemih (Vidmar, 2011).

Prednost RČN s podzemnim tokom vode je, da je tu sistem zaščiten pred prenašalci, živalmi in ljudmi, ni ga potrebno zaščititi z ograjo oz. ga na drug način zaščititi pred ljudmi in živalmi. Sama postavitev je dražja, predvsem zaradi medija, zaradi tega je tudi bolj primerna za posamezne hiše in manjše skupnosti, kjer je pomembno, da nimamo komarjev in se ograja ne bi vključila v okolje (EPA, 1999). Delimo jih glede na tok vode skozi grede na horizontalne in vertikalne sisteme s podpovršinskim tokom.

Horizontalni sistem

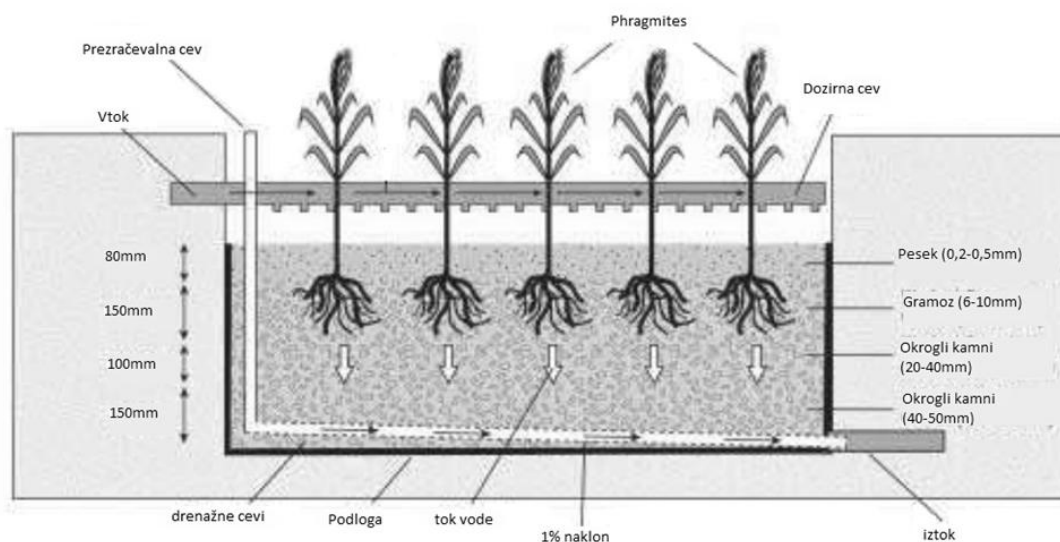
Neprepustnost zagotovimo tako, da gredo obložimo z neprepustno podlago. Pri tem se največkrat uporabljamo HDPE ali PVC folijo, glino ali pa geotekstil. Gladina vode se v gredi ohranja od 5 do 15 cm pod površino, da se zagotovi podpovršinski tok. V gredo se položi gramoz, premera od 3 do 32 mm, ki mora biti čist. Tudi pesek je sprejemljiv, vendar je večja možnost mašenja sistema. Material se pridobi na lokalni ravni. Na začetku ter na koncu je priporočljivo uporabljati večji substrat (od 40 do 80 mm), da ne pride do zamašitve sistema. Filtracijska greda je globine od 0,6 do 0,8 m, kar omogoča prodor korenin močvirnatih rastlin skozi celotno gredo in zagotavlja oksidacijo s kisikom, ki ga dovajajo korenine. Korenine in korenike močvirskih rastlin so votle in vsebujejo z zrakom napolnjene kanale, ki so povezani z atmosfero z namenom transporta kisika v koreninski sistem (Vidmar, 2011).



Slika 17: Shema horizontalne RČN (Langergraber, 2008)

Vertikalne RČN

Sestavljene so iz ravne grede, obložene z neprepustno podlago, napolnjene z gramozom in pokrite s peskom, na katerih rastejo enakomerno posajene rastline. Velikost frakcije gramozja je od 8 do 16 mm na dnu grede, v višjih plasteh je frakcija manjša in sicer velikosti približno 6 mm. Odpadna voda se v intervalih dozira na gredo, tako da pride do poplavljanja površine substrata. Odpadna voda tako v intervalih vertikalno pronica skozi substrat proti dnu grede, kjer se zbira s pomočjo drenažnih cevi. RČN z vertikalnim tokom vode potrebujejo manjšo površino v primerjavi s horizontalnimi sistemi (IWA, 2000).



Slika 18: Shema vertikalne RČN (Korže in sod., 2014)

Vertikalne RČN so lahko obremenjene z enkratnim pretokom, intervalno z od 8 do 12 pulzi na dan ali z intervalno obremenitvijo od 16- do 24-krat na dan (Brix in Arias, 2005). Ob intervalnem polnjenju se predčiščena odpadna voda v intervalih dozira na vertikalni sistem. Če teren omogoča gravitacijski pretok v gredi, je možna uporaba mehanskih naprav brez energije, kot so ventili in sifoni. Če to ni mogoče, se uporablja električna, fosilna in sončna energija oziroma se uporabljajo črpalke. Doseči želimo enakomerno porazdelitev odpadne vode po celotni filtrirni površini RČN, kar je odvisno od prečnih prereзов cevi, razdalj cevi, razdalj lukenj in količine obremenitve v intervalu. Odpadna voda je porazdeljena po gredi z distribucijsko cevjo s premerom med 32–45 mm in ima na vsakih 0,4–0,7 m, 5–7 mm veliko luknjo na dnu cevi. Drenažni sistem je pasivno aeriran z vertikalnimi cevmi, ki segajo 0,3 m nad površino grede (Brix in Arias, 2005).

Hibridni sistemi

Glavna razlika med vertikalnimi in horizontalnimi sistemi je, kot že sami imeni povesta, njuna smer toka vode. Sistema se razlikujeta tudi v načinu doziranja, zato pride do razlike v tehničnih zahtevah sistemov. Med glavne razlike spada tudi velikost sistemov, saj horizontalni sistem za učinkovito čiščenje potrebuje veliko večjo površino (3–5 m²/PE), medtem ko vertikalni sistem potrebuje le 2–3 m²/PE. Vertikalni sistemi imajo krajše zadrževalne čase in krajše pretočne razdalje z razliko od horizontalnih, ki imajo lahko dolge pretočne razdalje in daljše čase zadrževanja odpadne vode v sistemu (Masi, 2005).

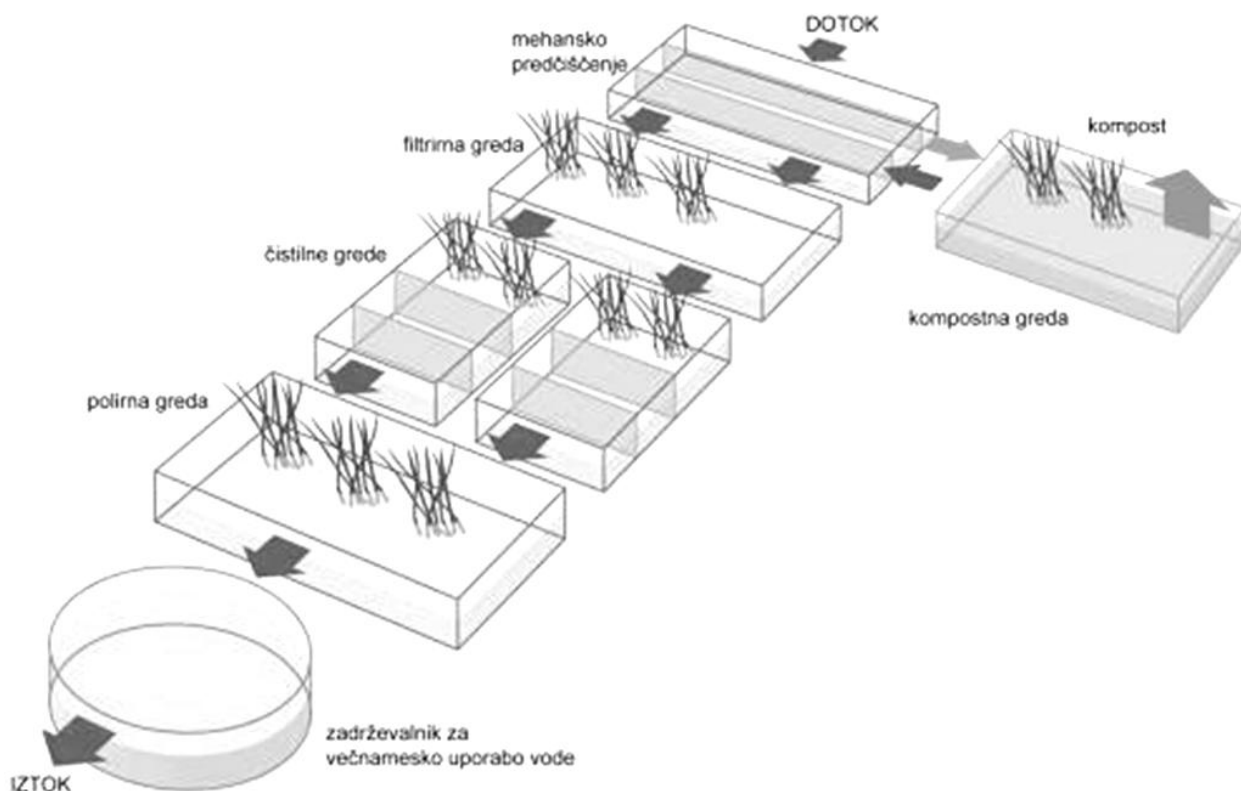
Hibridni sistem izkoristi prednost vsakega sistema in se hkrati izogne osnovnim pomanjkljivostim. V horizontalnih gredah se učinkovito odstranijo neraztopljene snovi, v vertikalnih gredah, pa se zmanjšajo vrednosti BPK₅ in dušika (Bulc, 2013).

6.1.3 RČN s plimovanjem vodnega toka.

Ta sistem je novejši in temelji na poplavljanju grede. Izvršimo dva ali več cikla na dan, kjer poplavimo in izpraznimo odpadno vodo z grede. V tem sistemu se organski ogljik oksidira z nitrati, ki se proizvedejo skozi serijo poplavljanja in praznjenja, z ene do druge strani RČN.

6.2 Čistilne sposobnosti:

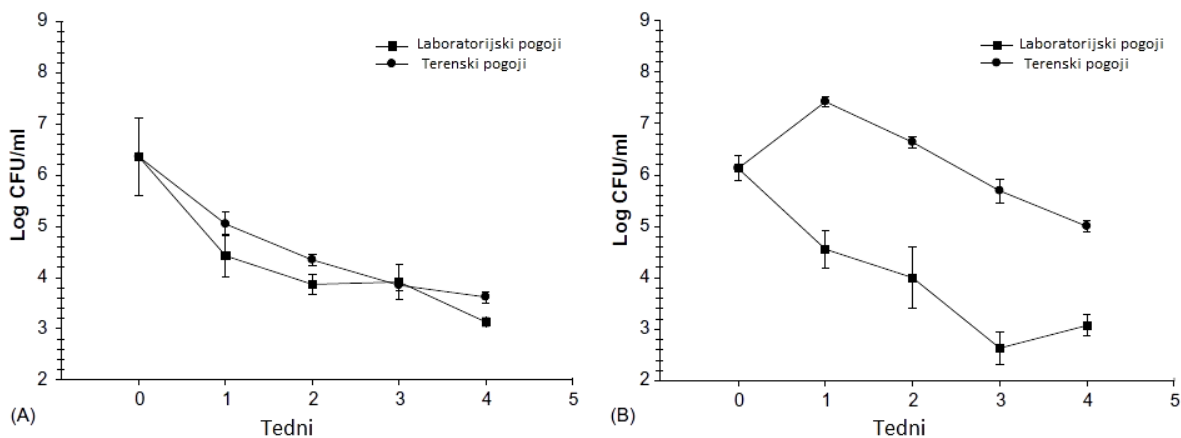
Substrat, rastline in mikroorganizmi skupaj tvorijo sistem čiščenja onesnažene vode. Odpadna voda se filtrira skozi substrat, organsko onesnaženje razgrajujejo bakterije, ki so pritrjene na peščenem mediju in koreninah, korenine pa porabljajo tudi hranila (N in P). Čistilni procesi v RČN so odstranjevanje organskih in suspendiranih snovi, dušikovih in fosforjevih spojin, patogenih bakterij in toksinov. Odstranijo lahko večino onesnaževal v komunalnih in industrijskih odpadnih vodah. Njihova dobra lastnost je tudi ta, da v njih potekajo nitrifikacijski in denitrifikacijski procesi. Na dobro zasnovanih RČN se vrednosti BPK in KPK zmanjšajo do 95 %, celokupni fosfor in dušik do 85 % in razne bakterije do 99 % (Kompore in sod., 2007).



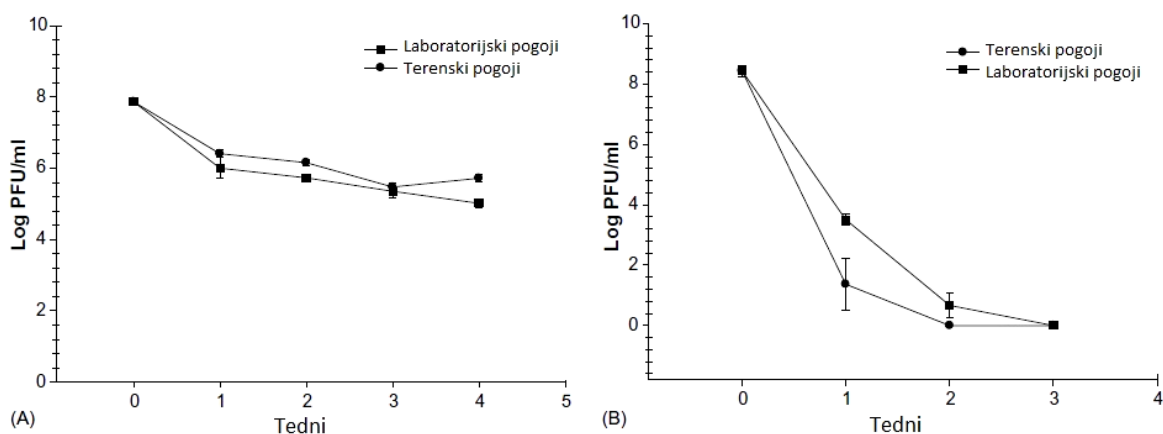
Slika 19: Shematski prikaz delovanja RČN nad 50 PE (<http://www.limnos.si/>)

Odstranjevanje bakterij in patogenih virusov

Narejena je bila študija, kjer so testirali odstranjevanje patogenih bakterij na RČN. Kot sledilo so uporabili bakterijo salmonele (*Salmonella typhimurium*) in MS2 bakteriofag kot sledilo za viruse ter gostitelj bakterije *E. coli*. Dodan je bil še bromid, v obliki kalijevega bromida, kot kemično sledilo. Uporabili so RČN s podpovršinskim tokom vode, dimenzij 7,6 m in 3,0 m. Greda je bila napolnjena z gramozom velikosti 0,01 m, do globine 0,3 m in naklonom 1 %. Odpadna voda se je črpala na RČN iz usedalnika in je ostala na zadrževalniku preden se je izpustila v okolje. Študijski primer je bil postavljen na jugozahodnem delu ZDA, kjer se temperature gibljejo od 9,4 do 25,2 °C. Vzorci vode, ki so bili analizirani, so bili zbrani na različnih lokacijah RČN. Preživetje bakterij salmonele in MS2 faga (virus) je bilo testirano pri različnih temperaturah čez zimo in poletje. Vzorci odpadne vode so bili odvzeti iz greznice in shranjeni v 50 ml epruvetah. V vsako epruveto so vcepili bakterijo salmonele in virus MS2 ter jih nato dali naključno v RČN. Vzorci, tako poletni kot zimski so bili shranjeni tudi v laboratoriju za primerjavo. Študija je potekala štiri tedne. Po zaključku meritev so na iztoku še vedno našli bakterije salmonele, ne glede na letni čas. Največje zmanjšanje bakterije se je pojavilo v prvem tednu ter v najtoplejših dneh, nato pa je koncentracija ostala približno enaka. Na preživetje virusov je imela temperatura velik vpliv, tako je v poletnem času prisotnost virusov ostala razmeroma enaka, medtem ko v zimskem času, po štirih tednih, niso zaznali več preživelih virusov. Zmanjšanje števila patogenih bakterij je potekalo na račun adsorpcije in sedimentacije na delcih medija. Pri vertikalnih RČN je zaradi prodora sončne svetlobe v sistem večja učinkovitost odstranjevanja patogenih mikroorganizmov. Rezultat študije je pokazal, da so RČN učinkovite pri zmanjševanju virusov, medtem, ko pri patogenih bakterijah, niso dovolj učinkovite in je potrebna končna dezinfekcija (Vega in sod., 2003).



Grafikon 1: Preživelost bakterije salmonelle na RČN in v laboratoriju, v poletnih mesecih (A) in zimskih mesecih (B) (Vega in sod., 2003)



Grafikon 2: Preživelost MS2 bakteriofaga (virusa) na RČN in v laboratoriju, v poletnih mesecih (A) in zimskih mesecih (B) (Vega in sod., 2003)

6.3 Rastline na RČN

Rastline dajo RČN ime, čeprav niso glavni dejavnik čiščenja odpadne vode. Prispevajo pa k samemu izgledu naprave in nudijo tudi zavetišče za razne živali.

Izbiramo jih glede na podnebne razmere, tip RČN, globino grede, hitrost rasti, stroške sajenja in vzdrževanja. Najprimernejše so lokalne rastline, ker imajo že zagotovljene ustrezne pogoje za rast.

Pomembna vloga močvirskih rastlin je, da:

- so vključene v proces filtracije in adsorpcije suspendiranih in usedljivih snovi;
- rast korenin rahlja in stabilizira površino substrata ter preprečuje mašenje;
- nudijo površino za pritrjanje mikroorganizmov;
- prezračujejo rizosfero ter s tem omogočajo oksidacijske procese ter razvoj aerobnih mikroorganizmov;
- odmiranje korenin in rizomov povzroči v vodi nastanek por in kanalčkov, ki povečujejo in stabilizirajo hidravlično prevodnost;
- privzemanje nutrientov skozi korenine in rizome;
- zmanjševanje intenzitete svetlobe zmanjšuje stopnjo rasti alg;
- pozimi imajo izolacijski učinek.

Najboljša izbira je izbira avtohtonih rastlinskih vrst, ki so značilne za posamezno območje, vendar najpogosteje v RČN uporabljamo dve vrsti rastlin. To sta navadni trst (*Phragmites australis*), ki oblikuje horizontalne korenike tako, da prodrejo skozi celotno globino substrata in rogoz (*Typha latifolia*). Uporablja se še trstična pisanka (*Phalaris arundinacea*) in velika sladika (*Glyceria maxima*)

Korenine in korenike močvirskih rastlin so votle in vsebujejo z zrakom napolnjene kanale, ki so povezani z atmosfero z namenom transporta kisika v koreninski sistem. Večino kisika porabijo že same korenine in korenike za dihanje, vendar pa, ker korenine niso popolnoma neprepustne za plin, se nekaj kisika izgubi v rizosferi (Kadlec in sod., 2000).

Preglednica 2: Glavne funkcije rastlin v rastlinskih čistilnih napravah

Deli makrofita	Vloga pri čiščenju
Rastlinsko tkivo na zraku	<ul style="list-style-type: none"> - Zmanjševanje svetlobe – zaviranje rasti fitoplanktona - Vpliv na mikroklimo – izolacija v času zime - Zmanjšanje moči vetra – zmanjšanje nevarnosti resuspenzije - Estetski izgled - Kopičenje zaloge hranil
Rastlinsko tkivo v vodi	<ul style="list-style-type: none"> - Filtracija – odstranitev večjih delcev - Zmanjševanje hitrosti vodnega toka – povečana sedimentacija, manjša možnost resuspenzije sedimenta - Povečanje aktivne površine za pritrjevanje mikroorganizmov - Izločanje fotosintetiziranega kisika – povečanje aerobne razgradnje - Prevzem hranil
Rizomi in korenine v mediju	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilizacija površine sedimenta – zmanjšanje erozije - Preprečevanje mašenja medija v vertikalnih sistemih - Sproščanje kisika povečuje razgradnje procese (nitrifikacija) - Prevzem hranil - Izločanje antibiotikov

Hranilne snovi se jeseni prerazporedijo iz stebel in listov v rizomski sistem, kjer se shranjujejo preko zime in omogočajo rast poganjkov v zgodnji pomladi. Tako se prerazporedijo elementi, kot so N, P, K, Mg, medtem ko Na, Ca, Fe, Mn ostanejo v odmirajočih listih. V vlažnih in evtrofnih področjih lahko pride do spiranja K, N, P, Mg iz listov, še predno se le-ti prerazporedijo v rizomski sistem (Bulc, 2013).



Slika 20: Najbolj pogoste rastline v RČN: navadni trst – *Phragmites australis* (1), rogoz – *Typha latifolia* (2), trstična pisanka – *Phalaris arundinacea* (3), velika sladika – *Glyceria maxima* (4)

6.4 Mikroorganizmi v RČN

Mikroorganizmi se nahajajo med substratom in koreninami ter rizomi močvirskih rastlin. Glede na različna področja naseljevanja ločimo, suspendirane in epifitske mikroorganizme ter mikroorganizme na površini sedimentne plasti in mikroorganizme v interfazi zrak, voda. Najustreznejše temperaturno območje za delovanje mikroorganizmov je med 20 in 30 °C. Aktivnost encimov je različna, nekateri delujejo pri pH 3–4, medtem ko drugi pri pH 11–12. Večini mikroorganizmov pa ustreza nevtralnno območje pH.

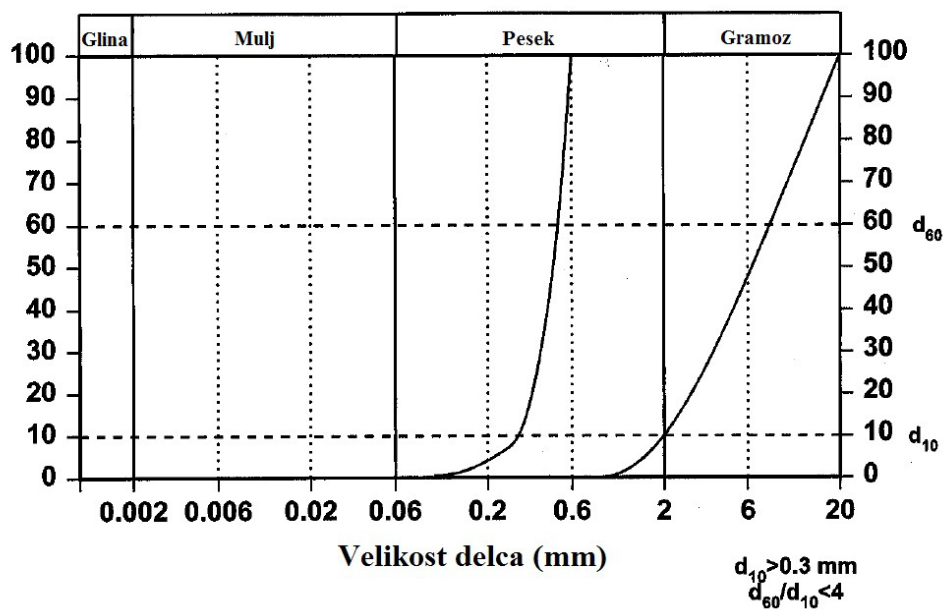
Večina organskih snovi se pretvori v CO₂ in H₂O z aerobnimi bakterijami. Zmanjšanje BPK₅ poteka na račun razgradnje ogljikovih organskih snovi, pri čemer mikroorganizmi porabljajo kisik.

Heterotrofne amonifikacijske bakterije razgradijo dušikove spojine, katere oksidirajo organske snovi in sproščajo amonijak. Kemoavtotrofne nitrificirajoče bakterije pa oksidirajo amonijak do nitrata in nitrita. Obe skupini porabljata kisik, zato je količina raztopljenega kisika tisti dejavnik, ki lahko omejuje razgradnjo organskih snovi. Na razporeditev aerobnih področij vplivata učinkovitost, s katero močvirske rastline sproščajo kisik iz koreninskega sistema, in difuzija kisika iz zraka. V anaerobnih področjih, denitrificirajoče bakterije razgrajujejo nitrat, ki kot akceptor elektronov nadomešča kisik, pri čemer se tvori plin N₂, ki uhaja iz sistema (Bulc, 2013).

6.5 Medij v RČN

Neposredna vloga medija v koreninski coni je čiščenje s pomočjo fizikalnih in kemijskih interakcij ter posredna kot površina za naseljevanje mikroorganizmov. V substrat posadimo močvirske rastline, na primerno globino, odvisno od vrste rastline. Vloga medija je pomembna predvsem za odstranjevanje fosfata, delno pa igra tudi vlogo pri zmanjšanju vsebnosti dušika v odpadni vodi. V mešanico medija lahko dodajamo tudi zemljino, ki lahko igra pomembno vlogo pri čiščenju odpadne vode. Reaktivnost zemlje določata površina delcev in elektrostatična nabitost. Naboj različnih zemljin je povezan z velikostjo delcev in vsebnostjo organskih snovi v zemlji. Večina zemljin ima negativni naboj na površini delcev, ki je odgovoren za elektrostatske vezi s pozitivno nabitimi kationi. Ti z ionsko vezjo povezani kationi na površini delcev se lahko zamenjajo z drugimi kationi. Tako poteka ionska izmenjava. Zemljine ne uporabljamo pogosto, ker močno znižuje hidravlično prevodnost in povzroča mašenje sistema. Omogoča pa boljšo rast koreninskega in rizomskega sistema v globino, s čimer je celotna aktivnost rizosfere večja. Ob zamažitvi sistema pa potem nastopijo večji stroški z zamenjavo substrata. (Bulc, 2013).

Premer medija se giblje 0,2–30 mm. Hidravlična prevodnost substrata mora biti med 200 m/dan in 1.000 m/dan. To lahko dosežemo z izbiro peska ali gramoza za substrat, ki ustreza naslednjim kriterijem: d₁₀ naj bo med 0,3 in 2,0 mm, d₆₀ med 0,5 in 8 mm in d₆₀/d₁₀ naj bo manj kot 4 (Brix in Johansen, 1999, povzeto po Bulc, 2013).



Slika 21: Velikost delcev peska in gramoza (Brix in Johansen, 1999)

7 DIMENZIONIRANJE RČN

Predčiščenje

RČN brez predhodnega čiščenja se pogosto soočajo s predčasnimi težavami mašenja, ki povzročajo površinski tok, s tem pa je povezana manjša učinkovitost čiščenja ter težave z razvojem insektov in smradu. Navadno uporabljamo za predčiščenje usedalnike, kot so dvoetažni usedalniki, zadrževalnike, greznice, filtre, aeracijske bazene, lagune. Delovanje omenjenih usedalnikov so že opisani v zgornjem delu diplomske naloge.

Površina

RČN zavzemajo v povprečju za mnoge uporabnike še vedno preveliko površino, zlasti v državah z visoko ceno zemljišča. Za postavitev RČN je po Evropi uveljavljen izračun, da za 1 PE potrebujemo 2–2,5 m² za horizontalne RČN, medtem ko za vertikalne RČN potrebujemo 1,5–5 m².

Površino RČN izračunamo s pomočjo naslednje enačbe:

$$A = Q_d (\ln C_o - \ln C_t) / K$$

A – površina RČN (m²)

Q_d – povprečen dnevni pretok (m³/dan)

C_o – povprečna dnevna vrednost BPK₅ na dotoku (mg/l)

C_t – zahtevana povprečna dnevna vrednost BPK₅ na iztoku (mg/l)

K – konstanta (m/dan)

$$K = k_T H n$$

k_T – konstanta pri temperaturi T (1/dan)

H – globina sistema (m)

n – poroznost medija

Vrednost K je odvisna od temperature v sistemu RČN. Kljub različnim izračunom K vrednosti, se v hladnejših podnebnih pogojih za velikost RČN za 1 PE giblje okoli 4–5 m²/PE za komunalno odpadno vodo.

Preglednica 3: Različna povprečna površina RČN s horizontalnim in vertikalnim tokom vode glede na državo (Bulc, 2013)

Vrste RČN	Horizontalna RČN	Vertikalna RČN
Enota	m ² /PE	m ² /PE
Slovenija	2,5	2,3
Avstrija	5,4	5
Danska	3,8	5
Italija	2,3	2,5

Razmerje med dolžino in širino RČN je 0,15 oziroma od 0,17 do 0,4 m širine/PE. V splošnem imajo sistemi z gruščem višje razmerje, kohezivni zemeljski pa nižje. Globina sistema je odvisna od razpoložljive površine, izbire rastlinskih vrst in nagiba sistema. Globina se giblje 0,3–1,2 m, vendar pa je najpogosteje uporabljena globina za horizontalne RČN 0,6 m ter 1 m za vertikalne RČN. Pri manjših globinah lahko prihaja do zamrzovanja ali do velike evapotranspiracije, medtem ko na večjih globinah koreninski sistem oslabi.

Za določitev globine uporabimo Darcyjev zakon.

$$Q = KWD_w (d_h/L)$$

$$L = \text{dolžina} = \text{površina} / \text{širina}$$

Širino dobimo tako po enačbi:

$$W^2 = (QA_{si}) / (KD_w d_h)$$

A_{si} = površina obravnavane površine (m)

D_w = globina vode (m)

W = širina grede (m)

Q = pretok v grede (m³/dan)

K = Hidravlična prevodnost (m/dan)

d_h = največja dopustna višinska izguba (m)

Greda ima brežine, ki so vsaj 0,2–0,5 m nad površino sistema in omogočajo počasno polnjenje z rastlinskim odpadnim materialom, pulzno ali občasno poplavljanje. Naklon dna je prisoten v nekaterih RČN in je najpogosteje od 0 do 3 %, vendar jih je vedno več brez naklona. Vertikalne RČN nimajo naklona.

Vodotesnost zagotovimo z uporabo zemlje s hidravlično prevodnostjo, večjo od 10^{-9} m/s, glino ali 10 mm polietilensko folijo. Najbolj zanesljiva je uporaba folije, ki pa jo moramo s filcem zaščititi pred mehanskimi poškodbami in preveriti vodotesnost pred polnitvijo z medijem. Vodotesnost je zelo pomembna, saj tako preprečimo pronicanje odpadne vode v podtalnico. Pri polnitvi z gramozom pa pazimo, da folije ne poškodujemo.

Uporabljamo medij s hidravlično prevodnostjo 10^{-3} m/s na horizontalnih in 10^{-4} m/s v vertikalnih RČN. Najpogosteje uporabljen material pa je grušč ter pesek frakcij s premerom 0–6 mm v vertikalnih RČN.

Hidravlična obremenitev

Uporablja se povprečna količina dnevnega pretoka, ki pa se spreminja zaradi nihanja količine odpadne vode in padavin. Hidravlična obremenitev, ki tako pomeni stopnjo pretoka na enoto površine sistema, se za sistem, ki vsebuje zemljo, giblje 2–9 cm/dan, medtem ko se za sistem z gruščem in peskom giblje 5–16 cm/dan.

Nivo vode v sistemu mora biti pod površino medija (2–10 cm) razen pri vertikalni RČN, kjer je pulzno polnjenje sistema. S tem, ko je voda pod površino, se rešimo težav smradu, razvojem alg in insektov ter manjšo učinkovitostjo. Nivo vode občasno spreminjamo bodisi zaradi boljšega razvoja korenin in rizomov bodisi povečane evapotranspiracije ter poplavljanja.

Dotok in iztok

Dotok oblikujemo tako, da se dotočna voda razporeja preko cele širine oz površine sistema, z možnostjo spreminjanja pretoka. Dotočne cevi morajo imeti možnost čiščenja, kadar pride do mašenja. Voda v horizontalni RČN se iz dotočne cevi izliva v 0,5 m širok pas grobega kamenja premera 16–32 mm, ki olajšuje enakomerno razporejanje dotočne vode po celem preseku sistema in zadržuje usedljive snovi, s čimer preprečuje prehitro mašenje medija. V vertikalnih sistemih se voda izliva s kapljanjem po površini peska ali mivke.

Iztok je urejen na koncu RČN, kjer se voda iz drenažne cevi, ki je položena na dnu sistema izteka v zadrževalnik za ponovno uporabo vode. V horizontalni RČN iztočno cev navadno položimo v 0,5 m širok pas kamenja premera 16–20 mm. Drenažna cev povežemo s polno iztočno cevjo, ki omogoča spreminjanje nivoja vode v napravi. Izvedba uravnavanja pretoka mora omogočati dvig nivoja vode 20 cm nad površino medija in spuščanje do dna.

Zasaditev rastlin

Za čiščenje uporabljamo različne vrste močvirskih rastlin, najpogosteje pa navadni trst. Sajenje je v zadnjem času najbolj uveljavljeno z uporabo semen, saj je tako razvoj hitrejši, gostota večja, sestoj enakomernjši in možnost razvoja drugih nezaželenih rastlinskih vrst manjša. Zaradi stroškov priprave semen še vedno pogosto uporabljamo stebelne poganjke in rizome. Gostota sajenja je za rizomske dele 2 rizoma/m² in za stebelne poganjke 4–5 poganjkov/m².

Vzdrževanje

RČN ne zahteva posebnega vzdrževanja, dokler se zmogljivost medija ne zasiti. Horizontalni sistem praviloma ne potrebuje električne energije, ker se voda pretaka na podlagi gravitacije, medtem ko za vertikalno RČN potrebujemo črpalke, ker se odplake dovajajo pulzno. Nekatere RČN tudi prisilno prezračujemo ali ogrevamo. Pomembno je občasno čiščenje dotočnih in iztočnih cevi, spreminjanje pretokov glede na iztočne vrednosti in glede na veljavno zakonodajo vzorčenje in analizo odpadne vode na dotoku in iztoku. Menjava medija, zaradi zamašitve s suspendiranimi trdnimi organskimi in anorganskimi snovmi in razvojem mikrobnе biomase, je ocenjena na 15–25 let.

Ker je obravnavano območje kmetijsko, bi lahko samo košnjo, z dogovorom javne službe, izvajal eden izmed prebivalcev omenjenega območja (Bulc, 2013).

7.1 Parametri dimenzioniranja

Dimenzioniranje RČN (horizontalne) je odvisno od mnogih parametrov, ki jih je treba preveriti pri predhodnem vrednotenju izvedljivosti.

Vhodni podatki za prikaz spremenljivosti in negotovosti napovedi so bili pridobljeni v Aartselaarju, v Belgiji, kjer je bila opravljena pilotna študija RČN s horizontalnim tokom vode za 10 PE.

Predpostavljeno je, da je dnevna poraba 190 L/PE dan, s tem je povprečen pretok ocenjen na 1.9 m³/dan in, da je dnevni maksimalni pretok dvakrat večji, tj. 3,8 m³/dan. Podatki o značilnosti dotoka in iztočnih standardov so predstavljeni v preglednici 4.

Slovenska zakonodaja za male čistilne naprave predpisuje Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav, kjer so dovoljene celo višje vrednosti BPK₅ in KPK. Znatna razlika vrednosti BPK₅ in KPK nastopi v uredbi za male čistilne naprave, kjer je vrednost za BPK₅ višja za 5 do mg/l, pri KPK pa celo za 25 mg/l. V Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav (>2.000 PE) se te vrednosti ujemajo. Tako imamo dve uredbi, ki različno opredeljujeta vrednosti BPK₅ in KPK na čistilnih napravah.

Preglednica 4: Uporabljene vstopne koncentracije in izstopni standardi (Rousseau in sod., 2004, povzeto po Vidmar, 2011)

	C_{in} [mg/l]	C_{out} [mg/l] (Belgija)	C_{out} [mg/l] (Slovenija)
BPK ₅	48	25	30, 25
KPK	184,7	125	150, 125
TSS	71	35	60
TN	17,2	15	15
TP	2,8	2	2
Pretok	1,9	m ³ /dan	

Nacionalne smernice, ki vsebujejo preprosta priporočila za dimenzioniranje RČN, so prikazana v preglednici 5.

Preglednica 5: Empirična pravila za horizontalne sisteme RČN (EPA, 2000)

Parameter	Nemčija	Avstrija	Nemčija	ZDA	Češka	Velika Britanija	EC priročniki
	ATV	Önorm	IÖV	EPA	Vymazal	WRC Cooper	CEMAGREF
Površina	5 m ² /PE min. velikost 20 m ²	6 m ² /PE za BPK	5 m ² /PE		5 m ² /PE* 1 m ² /PE**	5 m ² /PE* 0.5- 1m ² /PE**	5 m ² /PE za BPK <300mg/l drugače 10 m ² /PE
Organska obremenitev		11.2 g BPK/m ² dan		6 g BPK/m ² dan	8 g BPK/m ² dan		

* za sekundarno čiščenje

** za terciarno čiščenje

Prikaz še ostalih kriterijev.

Preglednica 6: Pravila za horizontalne sisteme RČN, ki jih podajata Wood in Kadlec & Knight

Kriterij	Wood	Kadlec & Knight
hidravlični zadrževalni čas [dan]	2–7	2–4
max BPK ₅ obremenitev [kg BPK ₅ / (ha dan)]	75	Ni podatka
hidravlična obremenitev [cm/dan]	0,2–3,0	8–30

Iz zgornjih dveh preglednic lahko ob upoštevanju posameznih kriterijev izračunamo minimalno in maksimalno priporočljivo površino RČN, kar je prikazano v preglednici 7.

Preglednica 7: Minimalne in maksimalne priporočljive površine za RČN izračunane po empiričnih pravilih (EPA, 2000)

Kriterij	Min. površina [m ²]	Max. površina [m ²]
t	15,83	55,42
LR (Önorm)	8,14	
LR (ZDA-EPA)	15,20	
LR (Vymazal)	11,40	
LR (Wood)	12,16	
q (Wood)	63,30	950
q (Kadlec&Knight)	6,3	23,75
A [m ² /PE] (ATV)	50	
A [m ² /PE] (Önorm)	60	

Večina RČN se uporablja za čiščenje komunalnih odpadnih voda, kjer je osnovni namen sistema odstranitev BPKs iz odpadne vode in je zato izbran kot kritični parameter pri oblikovanju. Naslednja enačba, ki jo je predlagal Kickuth (Bulc, 2013), se je razširila pri dimenzioniranju horizontalnih RČN za gospodinjske odpadne vode:

$$A = Q \frac{(\ln C_{in} - \ln C_{out})}{k_A} = Q \frac{(\ln C_{in} - \ln C_{out})}{k_V \times \varepsilon \times d}$$

Določitev količine hišnih odpadnih vod q_H [l/s]

Za določitev količine hišne odpadne vode moramo vedeti oz. predvideti količino porabljene pitne vode, saj je običajno enaka.

Količino hišnih odpadnih vod določimo na podlagi:

- števila uporabnikov

V naseljih, kjer sklepamo, da se število prebivalcev v 50. letih ne bo bistveno povečalo, upoštevamo trenutno število prebivalcev P.

- norme porabe vode na prebivalca n_p in zaposlenega n_z

Norma porabe vode na prebivalca na dan: $n_p = 150$ l/osebo do 250 l/osebo; za zaposlene: $n_z = 60$ do 80 l/dan; povprečni dnevni dotok: $q_{od} = n_p * P_n + n_z * Z_n$ [l/dan].

Za ruralno naselje z minimalnim prirastom prebivalstva se uporabi letni prirast (p) 0,5 %. Število prebivalcev v prihodnosti izračunamo z enačbo (Panjan, 2005)

$$A = A_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n$$

Kjer je:

A	število prebivalcev čez n let [P]
A_0	trenutno število prebivalcev [P]
P	letni prirast prebivalcev [%]
n	doba planiranja oz. amortizacije [leto]

Poraba vode v gospodinjstvu ter v gospodarskih in negospodarskih dejavnostih na prebivalca se po podatkih SURS od leta 2008 ni bistveno spremenila. V zadnjih letih se je skupna količina porabljene vode zmanjšala za 0,2 %. Povprečna poraba v gospodinjstvih je 57 m^3 vode na prebivalca oz. 117 litrov na prebivalca na dan. Največ vode v gospodinjstvu na prebivalca so v letu 2010 porabili v osrednjeslovenski statistični regiji, skupaj 57 m^3 načrpane vode na prebivalca; v gorenjski in obalno-kraški regiji je bilo porabljenih po 42 m^3 , v notranjsko-kraški in goriški regiji po 37 m^3 , v savinjski in podravski regiji po 36 m^3 , v zasavski regiji 34 m^3 , v spodnjeposavski regiji in v jugovzhodni Sloveniji po 33 m^3 , v koroški regiji 30 m^3 , najmanj pa v pomurski regiji, 27 m^3 vode na prebivalca. Ajdovška planota spada v jugovzhodno statistično regijo, zato sem se odločil za normo porabo vode (n_p) $93 \text{ l}/(\text{P} \cdot \text{dan})$. Dotok (hišne) odpadne vode iz gospodinjstev (čez n let) izračunamo z enačbo (Panjan, 2005):

$$q_h = A \cdot n_p$$

Kjer je:

q_h	dotok odpadne vode iz gospodinjstev čez [l/s]
A	število prebivalcev čez n let [P]
n_p	norma porabe vode na prebivalca [$\text{l}/(\text{P} \cdot \text{dan})$]

Količino tuje vode sem določil po Imhoffu, kjer je delež tuje vode za 100 % povečan sušni odtok, torej je kar $q_h = q_t$.

Skupna količina vode

Upoštevamo naslednje dotoke:

q_s ... skupna odpadna voda za sušni odtok [l/s],

- q_h ... odpadna voda iz gospodinjstev [l/s],
- q_i ... odpadna voda iz obrti ter industrijskih obratov [l/s],
- q_t ... tuje vode [l/s].

Za dimenzioniranje sistema sta pomembna maksimalni urni odtok Q_{max} [l/s] in minimalni urni odtok Q_{min} [l/s]. Oba izračunamo tako, da najprej skupni sušni odtok q_s [l/s] izrazimo z drugimi enotami v obliki dnevnega odtoka [m^3/dan] Q_d . Za manjša naselja velja sledeče:

$$Q_{max} = Q_d/8 \quad [l/s]$$

$$Q_{min} = Q_d/37 \quad [l/s]$$

$$Q_{sr} = Q_d/24 \quad [l/s],$$

Kjer je:

Q_{max} maksimalni urni odtok [l/s]

Q_{min} minimalni urni odtok [l/s]

Q^{sr} srednji urni odtok [l/s].

Biokemijska obremenitev BPK_5

Biokemijsko obremenitev izražamo s potrebo odpadne vode po kisiku v petih dneh pri 20 °C. Količina BPK_5 znaša 60 g/(P. dan).

$$G = g \cdot A$$

Kjer je:

G skupna dnevna biokemijska potreba po kisiku [g/dan] BPK_5 ,

g dnevna biokemijska potreba po kisiku na enega prebivalca g/(P. dan) BPK_5 ,

A število prebivalcev po n letih [P].

Parametri:

Postavimo zahtevo za BPK_5 iztoka: $C_i = 10$ mg/l

Za gramoz velikosti zrn 16–32 mm je določena poroznost $n^a = 0,38$

Temperaturni koeficient pri 20 °C je $K_t = 1,104$

7.2 Dimenzioniranje RČN za Ajdovško planoto

Vsa naselja so ruralna z minimalnim naraščanjem prebivalstva, zato sem v izračunih upošteva 0,5 % letno naraščanje prebivalstva. Pravilnik o tehnični izvedbi in uporabi javnih objektov in naprav za odvajanje in čiščenje odpadnih komunalnih ter padavinskih voda predpisuje projektno dobo

kanalizacijskega sistema 50 let. Dejavnosti v naselju sem upošteval samo za Ajdovec, kjer stoji osnovna šola in manjši gospodarski objekt. Tu sem obremenitev izrazil s populacijskimi ekvivalenti, kot jih navaja Panjan (2001). Obrtne dejavnosti v drugih naseljih so redke, predvsem pa majhne, tako da jih lahko zanemarimo, saj ta odpadna voda spada pod gospodinjsko odpadno vodo.

Za dimenzioniranje obstaja veliko različnih enačb, ki upoštevajo različne pogoje ter imajo spreminjajoče vrednosti za razne konstante. Rezultati se lahko po teh enačbah zelo razlikujejo. Za dimenzioniranje RČN sem se zato odločil, da uporabim smernice, ki veljajo v Evropi. Te se gibljejo od 2,3 do 5,4 m²/PE (Bulc, 2013) za horizontalni podpovršinski sistem, za katerega sem se tudi odločil. Podpovršinsko RČN sem izbral, ker odpadna voda ne prihaja direktno v stik z atmosfero in zato ne oddaja smradu ter težje zmrzne. Planota leži na precej visoki nadmorski višini in tu so zime izrazitejše kot v nižjih predelih, zato je izbrana RČN primernejša, saj tako vsaj delno preprečimo zmrzovanje ter zagotovimo učinkovitejše delovanje v mesecih z nižjo temperaturo. Ker prostor za postavitev RČN ni problematično in planota ponuja tudi zapuščene ter zaraščene dele, lahko izberem večjo površino na populacijski ekvivalent. Večjo površino ter s tem kakovostnejše čiščenje, bi izbral tudi s tem razlogom, ker bi se voda iz RČN uporabljala za namakanje. Pri izgradnji RČN bi lahko sodelovali tudi vaščani, saj imajo ti na razpolago razne delovne stroje in bi s tem še dodatno znižali stroške izgradnje. Globina grede bi znašala 0,6 m, kar je primerna globina za rast najbolj pogosto uporabljene močvirske rastline, navadni trst. RČN bi sestavljala filtrirna in čistilna greda, pred tem bi bil postavljen Imhoffov usedalnik, na koncu pa zadrževalnik prečiščene vode za namene namakanja.

UV dezinfekcija

Primerno vodo za namakanje, brez patogenih bakterij, dosežemo z uporabo UV filtrov, ki jih namestimo pred zadrževalnikom RČN. UV dezinfekcija je dezinfekcija vode pri kateri s fizikalno inaktivacijo mikroorganizmov dosežemo mikrobiološko neoporečno vodo. Dezinfekcija z UV svetlobo poteka pri prehodu vode skozi reaktor, kjer so mikroorganizmi izpostavljeni energiji fotonov svetlobe v UV-C spektru (200–280 nm). Pri tem se poškoduje genski zapis celic mikroorganizmov, zato se ti ne morejo uspešno razmnoževati. Dezinfekcija z UV svetlobo je metoda dezinfekcije vode brez uporabe kemičnih oksidacijskih sredstev, zato se v vodi ne tvorijo nevarni oksidirani stranski produkti dezinfekcije (MAK CMC).

Dimenzioniranje usedalnika

Opadno vodo pred iztokom na RČN predhodno očistimo v večprekatni greznici ali Imhoffovem usedalniku, ki ne povzroča zgnitja vode. V Imhoffovem gnilišču se odpadna voda očisti že do 40 %, predvsem pa zagotovi usedanje delcev, kateri zamašijo grede RČN. Zasnova za dimenzioniranje (Premzl, 2001):

- usedalnik 30l/PE (minimalno 1.500 l);
- gnilišče 60l/PE (minimalno 3.000 l);
- prostornina za plavajoče blago 30l/PE (minimalno 1.500 l);
- skupna prostornina 120 l/ PE.

Velik Lipovec

Vas ima 93 prebivalcev, ki se ukvarja pretežno z živinorejo, ki je velik porabnik pitne vode. Odpadna voda iz živinoreje se zbira ločeno v nepretočnih greznicah in se uporablja za gnojenje. Greznica mora biti zadostne velikosti, ker se gnojevke pozimi ne sme uporabljati. Čistilno napravo bi lociral na začetek vasi, smer Novo mesto, tako bi vsa odpadna voda gravitacijsko dotekala na RČN. Na predvideni lokaciji so travniki oz. pašniki, del ozemlja je tudi zaraščen. Prečiščena voda bi se iztekala v zadrževalnik, namenjen namakanju v kmetijstvu. Potrebna je zadostna odstranitev patogenih bakterij, da ne pride do kontaminacije pridelka.

Število prebivalcev:

$$A = A_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = 119 \text{ P}$$

Dnevni pretok:

$$q_h = A \cdot n_p = 0,128 \text{ l/s} = 11,06 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Količina tuje vode:

$$q_h = q_t = 0,128 \text{ l/s}$$

Skupna količina vode:

$$q_s = q_h + q_t = 0,256 \text{ l/s}$$

$$Q_{\max} = Q_d/8 = 0,768 \text{ l/s}$$

$$Q_{\min} = Q_d/37 = 0,166 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{sr}} = Q_d/24 = 0,256 \text{ l/s}$$

Biokemijska obremenitev:

$$G = g \cdot A = 7,14 \text{ kg/dan BPK}_5$$

BPK5 vtoka:

$$C_v = G/q_h = 645,6 \text{ mg/l}$$

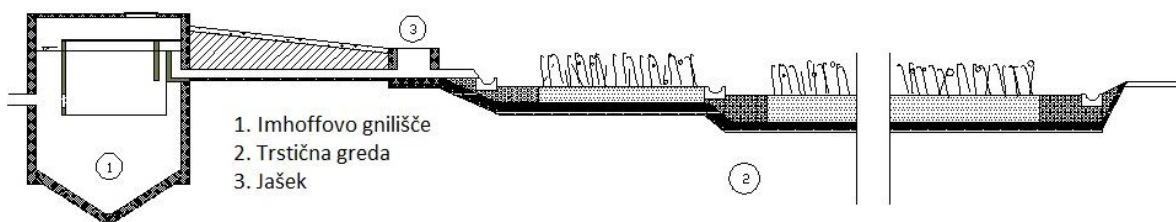
Zahteva za BPK5 iztoka:

$C_i = 10 \text{ mg/l}$

$$A = Q \times (\ln(C_v/C_i)) / (K_t \times d \times n) = 183,1 \text{ m}^3$$

Preglednica 8: Dimenzije RČN Veliki Lipovec

Velikost usedalnika [m ³]	Povprečna površina [m ² /PE]	Št. prebivalcev	Velikost RČN [m ²]	Razmerje š:d	Širina [m]	Dolžina [m]
14	5	11čn9	595	1:3	15	45



Slika 22: Shema postavitve RČN



Slika 23: Veliki Lipovec z značilnimi vrtačami (<http://www.zuzemberk.si/>)

Sela

Sela so manjši zaselek, oddaljen ne daleč od Velikega Lipovca, z le osmimi prebivalci.

Prebivalstvo se je v zadnjih letih še zmanjšalo in je ostala le starejša populacija. Pred kratkim se je začel razvijati kmečki turizem, ki bi ponujal prenočišča, vendar se je zaradi smrti lastnika projekt ustavil. Tu bi predlagal, ob morebitnem ponovnem zagonu kmečkega turizma, tudi neko učno RČN, kjer bi ozaveščali ljudi o pomembnosti vzdrževanja našega okolja. Samo čistilno napravo bi opremili s tablami, z raznimi poučnimi dejstvi in informacijami ter principu delovanja RČN. Kmečki turizem z 12 posteljami doprinese še 12 PE (Panjan, 2001).

Število prebivalcev:

$$A = A_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = 25 \text{ P}$$

Dnevni pretok:

$$q_h = A \cdot n_p = 0,027 \text{ l/s} = 2,33 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Količina tuje vode:

$$q_h = q_t = 0,027 \text{ l/s}$$

Skupna količina vode:

$$q_s = q_h + q_t = 0,054 \text{ l/s}$$

$$Q_{\max} = Q_d/8 = 0,162 \text{ l/s}$$

$$Q_{\min} = Q_d/37 = 0,035 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{sr}} = Q_d/24 = 0,054 \text{ l/s}$$

Biokemijska obremenitev:

$$G = g \cdot A = 1.5 \text{ kg/dan BPK}_5$$

BPK5 vtoka:

$$C_v = G/q_h = 643,8 \text{ mg/l}$$

$$A = Q \cdot (\ln(C_v/C_i)) / (K_t \cdot d \cdot n) = 38,6 \text{ m}^3$$

Preglednica 9: Dimenzije RČN Sela

Velikost usedalnika [m ³]	Povprečna površina [m ² /PE]	Št. prebivalcev	Velikost RČN [m ²]	Razmerje š:d	Širina [m]	Dolžina [m]
3	5	25	125	1:3	6,5	19,5



Slika 24: Vesela vas na Selih, kje bi lahko v učne in turistične namene postavili RČN (<http://www.informer.si/>)

Ajdovec

Ajdovec je razdeljen na Dolnji in Gornji Ajdovec, skupaj imata 109 prebivalcev. Ajdovec kot središče planote ima šolo, cerkev, gasilski dom, trgovino in gostilno. Kraj ima tudi manjši lesno proizvodnjo z okoli 30 zaposlenimi. Prebivalstvo se tu manj ukvarja s kmetijstvom. V bližini vasi je tudi manjši zaselek, iz katerega bi ravno tako vodila kanalizacija na RČN Ajdovec. Za dimenzioniranje upoštevam še (Panjan, 2002): 15 PE na račun tovarne, 2 PE zaradi šole ter še 4 PE, ker ima vas manjšo gostilno in trgovino, skupaj 130 PE.

Število prebivalcev:

$$A = A_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = 167 \text{ P}$$

Dnevni pretok:

$$q_h = A \cdot n_p = 0,180 \text{ l/s} = 15,55 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Količina tuje vode:

$$q_h = q_t = 0,180 \text{ l/s}$$

Skupna količina vode:

$$q_s = q_h + q_t = 0,360 \text{ l/s}$$

$$Q_{\max} = Q_d/8 = 1,08 \text{ l/s}$$

$$Q_{\min} = Q_d/37 = 0,234 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{sr}} = Q_d/24 = 0,360 \text{ l/s}$$

Biokemijska obremenitev:

$$G = g \cdot A = 10,02 \text{ kg/dan BPK}_5$$

BPK5 vtoka:

$$C_v = G/q_h = 644,4 \text{ mg/l}$$

$$A = Q \times (\ln(C_v/C_i)) / (K_t \times d \times n) = 257,4 \text{ m}^3$$

Preglednica 10: Dimenzije RČN Ajdovec

Velikost usedalnika [m ³]	Povprečna površina [m ² /PE]	Št. prebivalcev	Velikost RČN [m ²]	Razmerje š:d	Širina [m]	Dolžina [m]
20	5	167	835	1:3	16,7	50

Brezova Reber

Vas ima 48 prebivalcev in leži na strmem pobočju. Vas leži na robu občine in meji z občino Mirna Peč. Cesta tu naprej vodi proti Novemu mestu. RČN bi postavil v križišču s to cesto, kjer je tudi zaraščen predel in bi s postavitvijo gred izboljšali tudi preglednost križišča.

Število prebivalcev:

$$A = A_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = 62 P$$

Dnevni pretok:

$$q_h = A \cdot n_p = 0,067 \text{ l/s} = 5,79 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Količina tuje vode:

$$q_h = q_t = 0,067 \text{ l/s}$$

Skupna količina vode:

$$q_s = q_h + q_t = 0,134 \text{ l/s}$$

$$Q_{\max} = Q_d/8 = 0,402 \text{ l/s}$$

$$Q_{\min} = Q_d/37 = 0,087 \text{ l/s}$$

$$Q_{sr} = Q_d/24 = 0,134 \text{ l/s}$$

Biokemijska obremenitev:

$$G = g \cdot A = 2,88 \text{ kg/dan BPK}_5$$

BPK5 vtoka:

$$C_v = G/q_h = 642,5 \text{ mg/l}$$

$$A = Q \times (\ln(C_v/C_i)) / (K_t \times d \times n) = 95,8 \text{ m}^3$$

Preglednica 11: Dimenzije RČN Brezova Reber

Velikost usedalnika [m ³]	Povprečna površina [m ² /PE]	Št. prebivalcev	Velikost RČN [m ²]	Razmerje š:d	Širina [m]	Dolžina [m]
7,5	5	62	310	1:3	10	30,5

Mali in Srednji Lipovec

Mali Lipovec je prva vas Ajdovške planote iz smeri Žužemberk in takoj za njo sledi Srednji Lipovec. Ker je med vasema le nekaj sto metrov razlike in sta nagnjeni proti stičišču obeh vasi, bi se tu odločil za skupno RČN. Skupaj imata 159 prebivalcev. Srednji Lipovec ima tudi še manjši zaselek, z nekaj hišami, ki je dlje oddaljen od predvidene RČN, za katerega bi predvidel tudi samostojno ureditev čiščenja.

Število prebivalcev:

$$A = A_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = 204 P$$

Dnevni pretok:

$$q_h = A \cdot n_p = 0,220 \text{ l/s} = 19,01 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Količina tuje vode:

$$q_t = q_i = 0,220 \text{ l/s}$$

Skupna količina vode:

$$q_s = q_h + q_t = 0,440 \text{ l/s}$$

$$Q_{\max} = Q_d/8 = 1,320 \text{ l/s}$$

$$Q_{\min} = Q_d/37 = 0,285 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{sr}} = Q_d/24 = 0,440 \text{ l/s}$$

Biokemijska obremenitev:

$$G = g \cdot A = 12,24 \text{ kg/dan BPK}_5$$

BPK5 vtoka:

$$C_v = G/q_h = 643,9 \text{ mg/l}$$

$$A = Q \times (\ln(C_v/C_i)) / (K_t \times d \times n) = 314,6 \text{ m}^3$$

Preglednica 12: Dimenzije RČN Srednji, Mali Lipovec

Velikost usedalnika [m ³]	Povprečna površina [m ² /PE]	Št. prebivalcev	Velikost RČN [m ²]	Razmerje š:d	Širina [m]	Dolžina [m]
24,5	5	204	1020	1:3	18,5	55

Podlipa

Vas od ostalih vasi nekoliko bolj izstopa iz planote, tudi njena nadmorska višina je nižja, za približno 200 m. Pot iz Podlipse vodi naprej proti Trebnjem. Vas ima 39 prebivalcev. Vas je dokaj združena, razen dveh stanovanjskih hiš, ki sta bolj oddaljeni od centra. Za en objekt bi predlagal izgradnjo individualne KČN saj je razdalja do središča vasi prevelika.

Število prebivalcev:

$$A = A_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = 50 P$$

Dnevni pretok:

$$q_h = A \cdot n_p = 0,054 \text{ l/s} = 4,66 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Količina tuje vode:

$$q_h = q_t = 0,054 \text{ l/s}$$

Skupna količina vode:

$$q_s = q_h + q_t = 0,108 \text{ l/s}$$

$$Q_{\max} = Q_d/8 = 0,324 \text{ l/s}$$

$$Q_{\min} = Q_d/37 = 0,070 \text{ l/s}$$

$$Q_{sr} = Q_d/24 = 0,108 \text{ l/s}$$

Biokemijska obremenitev:

$$G = g \cdot A = 3,0 \text{ kg/dan BPK}_5$$

BPK5 vtoka:

$$C_v = G/q_h = 643,8 \text{ mg/l}$$

$$A = Q \times (\ln(C_v/C_i)) / (K_t \times d \times n) = 77,1 \text{ m}^3$$

Preglednica 13: Dimenzije RČN Podlipa

Velikost usedalnika [m ³]	Povprečna površina [m ² /PE]	Št. prebivalcev	Velikost RČN [m ²]	Razmerje š:d	Širina [m]	Dolžina [m]
6	5	50	250	1:3	9	27,5

Boršt

Boršt je vinogradniška gora in se razteza od Ajdovca do Velikega Lipovca. Samih zidanic in redkih posameznih hiš ne bom upošteval, saj ne pride do velikega onesnaženja, posamezne hiše pa si bodo individualno uredile čiščenje odpadne vode. Samo prebivalstvo je združeno bolj na začetku in šteje 43 ljudi.

Število prebivalcev:

$$A = A_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = 55 P$$

Dnevni pretok:

$$q_h = A \cdot n_p = 0,059 \text{ l/s} = 5,10 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Količina tuje vode:

$$q_h = q_t = 0,059 \text{ l/s}$$

Skupna količina vode:

$$q_s = q_h + q_t = 0,118 \text{ l/s}$$

$$Q_{\max} = Q_d/8 = 0,354 \text{ l/s}$$

$$Q_{\min} = Q_d/37 = 0,077 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{sr}} = Q_d/24 = 0,118 \text{ l/s}$$

Biokemijska obremenitev:

$$G = g \cdot A = 3,3 \text{ kg/dan BPK}_5$$

BPK5 vtoka:

$$C_v = G/q_h = 647,1 \text{ mg/l}$$

$$A = Q \times (\ln(C_v/C_i)) / (K_t \times d \times n) = 84,5 \text{ m}^3$$

Preglednica 14: Dimenzija RČN Boršt

Velikost usedalnika [m ³]	Povprečna površina [m ² /PE]	Št. prebivalcev	Velikost RČN [m ²]	Razmerje š:d	Širina [m]	Dolžina [m]
6,5	5	55	275	1:3	9,5	28,5

8 ZAKLJUČEK

V manjših in razpršenih naseljih večinoma zaradi ekonomskih razlogov v preteklosti niso vlagali v komunalno infrastrukturo, tako velja tudi za Ajdovško planoto. V občini Žužemberk je postavljena le ena čistilna naprava velikosti 3.000 PE, ki je sedaj obremenjena okoli 30 %. V diplomski nalogi sem predstavil različne sonaravne sisteme čiščenja odpadne vode, posebno pozornost sem namenil RČN. Odločil sem se za izgradnjo le-teh za posamezno vas, saj kanalizacija predstavlja velik delež stroška odvajanja in čiščenja odpadne vode. Tudi sam teren je zelo razgiban in za večjo RČN ni primerne prostora. Izbral sem RČN s horizontalnim podpovršinskim tokom vode, ki je zaradi nižjih tehničnih zahtev, cenejši od vertikalnega sistema. Vzdrževalni in obratovalni stroški so manjši, saj ni potrebna električna energija. Odločitev za podpovršinski sistem pa temelji na tem, da ta preprečuje razmnoževanje komarjev in pojav smradu. Odstranjevanje BPK₅ in TSS ne povzroča problemov, iztočne koncentracije so po navadi v mejah zakonskih okvirov Uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav. Za določitev površine RČN sem se odločil za parameter 5 m³/PE, po izračunih pa sem prišel do vrednosti 1,5 m³/PE. Za večji parameter sem se odločil, ker sem hotel zagotoviti boljši iztok iz RČN, saj bi vodo uporabljali za namakanje.

RČN veljajo za cenejšo rešitev čiščenja odpadne vode, predvsem v ruralnih območjih, kjer so cene zemljišč nižje. Izberemo lahko zaraščena oz. neobdelane površine in tako dodatno uredimo krajino. Slovenija ima skoraj polovico ekološko pomembnih območji, več kot tretjino območji pa spada v Naturo 2000. Ohranjanje in varovanje teh območij pred različnimi viri onesnaževanje je naša prioritarna skrb in odgovornost, saj to vpliva na stanje pitnih voda ter posledično na bivalne in življenjske razmere vseh živih bitji.

VIRI:

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

Bulc, G. T. 2013. Okoljske tehnologije in ekoremediacije. Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta: 84 str.

Crites, W., R., Middelbrooks, E., J., Reed, C., S., 2006. Natural wastewater treatment systems. Boca Raton, London, New York, CRC Press, Taylor & Francis Group: 552 str.

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

Kolar, J. 1983. Odvod odpadne vode iz naselij in zaščita voda. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 523 str.

Kompare, B., Ananasova, N., Uršič, M., ZRev, D., Jahtar, M., 2007. Male čistilne naprave na območju razpršene poselitve. Ljubljana, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: loč. pag.

Masi, F. 2005. Constructed wetlands for wastewater treatment. Train-the-Trainer Seminar: 34 str.
<http://www.medawater-rmsu.org/archive/projects/ZERO-M%20project/reports/09%20Constructed%20Wetland/Constructed%20wetlands.pdf> (Pridobljeno 8. 8. 2016.)

Mavsar, M. 2013. Zemljiška politika v občini Žužemberk. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Mavsar): 112 str.

Panjan, J., 2002. Odvodnjavanje onesnaženih voda. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 92 str.

Panjan, J. 2005. Čiščenje odpadnih voda. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 169 str.

Peterlin, B., 2011. Čiščenje odpadnih voda na območjih disperzne poselitve. Seminarska naloga Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Fakulteta za zdravstvo (samozaložba B. Peterlin): 46 str.

Premzl, B., 2001. Čiščenje odpadnih vod v malih čistilnih napravah. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Fakulteta za zdravstvo (samozaložba B. Premzl): 97 str.

Radjenović, J., Matošić, M., Mijatović, I., Petrovi, M., Barceló, D., Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology: 101 str.

http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/RADJENOVIC%202008%20MBR%20as%20an%20Advanced%20Wastewater%20Treatment%20Technology.pdf (Pridobljeno 9.8. 20116.)

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav, Ur. l. RS št. 45/07: 2451, spremembe in dopolnitve 63/09: 2988 in 105/10

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED4442> (Pridobljeno 18. 7. 2016.)

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav (Uradni list RS, št. 98/2007, 30/2010) <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED4606> (Pridobljeno 18. 7. 2016.)

Vega, E., Lesikar, B., Pilaii, S. D., 2003. Transport and survival of bacterial and viral tracers through submerged-flow constructed wetland and sand-filter system: 139 str.

https://boa.unimib.it/retrieve/handle/10281/42353/62851/phd_unimib_049340.pdf (Pridobljeno 7.8.2016.)

Vidmar, U. 2011. Primerjava vertikalnih in horizontalnih sistemov rastlinskih čistilnih naprav, Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba U. Vidmar): 87 str.

Vrhovec, S. 2005 Možnost uporabe RČN na zaščiteneh območjih. Diplomski naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta. Oddelek za biologijo (samozaložba S. Vrhovec): loč. pag.

Willett, D. 2005. Duckweed-based Wastewater Treatment Systems: Design Aspects and Integrated Reuse Options for Queensland Conditions: 20 str.

http://era.daf.qld.gov.au/2051/2/24_Duckweed_Rep_QI05019-sec.pdf (Pridobljeno 4. 8. 2016)

Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 - ZZdrI-A, 41/04-ZVO1, 57/08, 57/12, 100/13 in 40/14) <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1244> (Pridobljeno 18. 7. 2016.)

OSTALI VIRI:

Ameriška okoljevarstvena agencija, 2016. <http://www.epa.gov/wetlands> (Pridobljeno 8. 8. 2016.)

Limnos. Podjetje za aplikativno ekologijo, 2015. <http://www.limnos.si/> (Pridobljeno 24. 11. 2015.)

MAK CMC tehnologija vode d. o. o., 2016. <http://www.mak-cmc.si/> (Pridobljeno 24. 8. 2016.)

Ministrstvo za okolje in prostor, 2015. <http://www.arhiv.mop.gov.si/> (Pridobljeno 23. 5. 2016.)

Prostorski informacijski sistem občin, 2016. <http://www.geoprostor.net> (Pridobljeno 27. 4. 2016.)

Revija varčujemo z energijo, 2015. <http://varcevanje-energije.si/komunalna-energetika/vakuumska-kanalizacija.html> (Pridobljeno 18. 11. 2015.)

Slovensko društvo za zaščito voda, 2015. <http://www.sdzv-drustvo.si/si/si-index.html> (Pridobljeno 23. 11. 2015.)

Statistični urad RS, 2016. <http://www.stat.si/> (Pridobljeno 27. 4. 2016.)

Wikipedija, 2016. <https://sl.wikipedia.org/> (Pridobljeno 27. 4. 2016.)