

UČNO GRADIVO

RČN – Rastlinska čistilna naprava



Ptuj, 2021



Vsebina

SLOVAR POJMOV IN KRATIC	4
1. ČIŠČENJE ODPADNE VODE	5
1.2 MALE KOMUNALNE ČISTILNE NAPRAVE	6
2. RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE (RČN)	7
2.1 VRSTE IN DELOVANJE RČN	10
2.2 STRUKTURA RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE	17
3. RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE V SLOVENIJI	24
4.1 Gradnja RČN v lastni režiji	26
4. IZGRADNJA RČN	27
5 ANALIZA ODPADNE VODE	29
5.1 Pomembni skupinski parametri pri čiščenju odpadne vode	29
6 VIRI	31

SLOVAR POJMOV IN KRATIC

Komunalna odpadna voda - je odpadna voda iz gospodinjstev in njej po naravi ali sestavi podobna voda iz proizvodnje ali storitvene ali druge dejavnosti ali mešanica teh odpadnih voda z odpadno vodo iz proizvodnje ali s padavinsko odpadno vodo (kemija.net).

Čiščenje odpadne vode - je proces pretvarjanja odpadne vode v vodo, ki izpolnjuje okoljske standarde ali druge standarde kakovosti za recikliranje ali vnovično uporabo. Ločimo tri vrste čiščenja: primarno, sekundarno in terciarno.

Mala komunalna čistilna naprava (MKČN) – je naprava za čiščenje komunalne odpadne vode z zmogljivostjo čiščenja manjšo od 2000 populacijskih ekvivalentov (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav).

Biološka čistilna naprava – vsaka mala čistilna naprava je biološka, saj vse vodo čistijo s pomočjo mikroorganizmov, po principu biologije.

Ekoremediacija – uporaba naravnih zakonitosti in procesov za varovanje in obnovo okolja

Rastlinska čistilna naprava (RČN) – spada med grajene ekoremediacije za čiščenje različnih vrst odpadnih vod.

Populacijska enota (PE) – je enota za obremenjevanje vode z organskimi biološko razgradljivimi snovmi, ki ustreza onesnaženju, ki ga na dan povzroči en prebivalec. V Sloveniji velja standard, da vsaka odrasla oseba dnevno ustvari 150 litrov odpadne vode. Tako se za dimenzioniranje naprav za odvajanje in čiščenje komunalnih odpadnih vod privzame, da je 1 PE = 150 litrov odpadnih vod/dnevno.

KPK (kemijska potreba po kisiku) – pomeni kisikov ekvivalent vsebnosti organske snovi v predpisanem vzorcu, ki oksidira s kemijskim oksidantom. Merilo onesnaženja vod z biološko razgradljivimi in nerazgradljivimi snovmi.

BPK₅ (biokemijska potreba po kisiku) – je količina kisika, ki je potrebna za oksidacijo razgradljivih organskih snovi s pomočjo mikroorganizmov, ki jih vzorec vsebuje. Merilo onesnaženja le z biološko razgradljivimi organskimi snovmi.

1. ČIŠČENJE ODPADNE VODE

Etična in zakonska odgovornost vsakega posameznika je zmanjševanje količine porabe vode in čiščenje komunalne odpadne vode.

Čiščenje komunalne odpadne vode ima tri glavne namene:

- da se prepreči širjenje bolezni,
- za zmanjšanje hranil in drugih onesnažil v vodi, ki ogroža kakovost in življenje v vodnih telesih,
- možnost recikliranja odvečnih hranil v odpadni vodi v kmetijstvu ali drugih dejavnostih, saj odpadna voda vsebuje vse hranilne snovi iz hrane, ki jo uživajo živa bitja (Vovk, Korže, 2015).

Namen čiščenja odpadne vode je pridobiti prečiščeno vodo za izpust v okolje (reke, jezera ali morje). Odpadna voda je po nastanku različna, zato so tudi postopki čiščenja različni. Najpogosteje se uporablja več postopkov čiščenja, pri katerih se posamezna onesnaževala odstranjujejo postopoma (Roš, 2015).

Osnovni cilj čiščenja odpadne vode je, da:

- pretvorimo odpadne snovi, prisotne v odpadni vodi, v stabilne oksidirane končne produkte, ki jih lahko varno odvajamo v površinsko vodo ali v zrak brez kakršnihkoli škodljivih učinkov na okolje;
- zaščitimo javno zdravje;
- poskrbimo, da bo odpadna voda učinkovita na regularen način, brez motenj ali kršitev predpisov;
- recikliramo in pridobimo nazaj koristne sestavine odpadne vode;
- poskrbimo za varčen postopek odstranjevanja odpadne vode;
- se podredimo zakonskim standardom (predpisom) in zagotovimo ustrezno odvajanje vode (Roš, Zupanič, 2010).

Čiščenje odpadne vode je kombinacija več ločenih procesov. Ti so: usedanje, biološko, kemijsko, fizikalno-kemijsko in membransko čiščenje. Te procese se dimenzionira tako, da na iztoku pridobimo željeno kakovost prečiščene vode. Z ustrezno kombinacijo teh procesov je možno pridobiti končni iztok dejanske kakovosti kateregakoli parametra odpadne vode. Pri uspešnem čiščenju je pomembna ustrezna sestava odpadne vode. Njena temperatura mora biti nižja od 30°C, vrednost pH mora biti med 7 in 8. Proces razkroja ovirajo strupene snovi, ki jih vsebuje odpadna voda.

1.2 MALE KOMUNALNE ČISTILNE NAPRAVE

MKČN je sodobna alternativa septične jame - greznice, predvsem zaradi ekonomske in ekološke sprejemljivosti. Z izgradnjo lastne čistilne naprave (ČN) se prihrani strošek vode, ker se prečiščena voda lahko ponovno vrača nazaj v naravo do površinskih in globinskih voda. V skladu z veljavno zakonodajo lahko vodo ponovno koristno uporabimo za zalivanje zelenic, vrtov in podobno. ČN so namenjene vsem, ki spodbujajo odgovoren odnos do okolja.

MKČN je naprava za obdelavo komunalne odpadne vode z zmogljivostjo čiščenja manjšo od 2.000 PE. MKČN so namenjene čiščenju odpadne vode iz gospodinjstev, manjših gostinskih in gospodarskih objektov, stanovanjskih blokov in podobno. Namenjene so za območje, kjer ni javnih kanalizacij.

ČN prečistijo komunalne odpadne vode iz sanitarij, kuhinj in podobnih virov onesnaževanja do 97,2 %, tako da se lahko voda varno izpušča v površinske vode ali ponikalnico ali pa se spelje v rezervoar za ponovno uporabo. MKČN delujejo varno in zanesljivo, skoraj neslišno in brez smradu ter so neobčutljive na nihanja temperatur v okolju.

MKČN na območju razpršene poselitve

Za Slovenijo so značilna območja redkih poselitev. Za gričevnate in hribovite predele Slovenije je značilen velik delež razpršene poselitve. V ta namen je gradnja MKČN ena izmed pomembnih alternativ in načinov zagotavljanja čiščenja komunalnih odpadnih vod na specifičnih geografskih področjih, kjer se pojavlja ogroženost okolja zaradi neočiščene vode in problematike financiranja izgradnje komunalnega omrežja.

Problem pri čiščenju odpadne vode predstavljajo stavbe v območjih razpršene poselitve oziroma poselitvena območja z manj kot 50 PE. Odvajanje in čiščenje odpadne vode na območjih, ki niso opredeljena z OP, zakonsko ni v pristojnosti, ki bi jih bila dolžna opravljati občina, kar pomeni, da morajo lastniki stavb sami finančno poskrbeti za ustrezno odvajanje in čiščenje lastnih odpadnih voda. Gospodinjstva se na podlagi primerjave stroškov izgradnje ter obratovanja individualnih MKČN do 50 PE odločajo za najugodnejši sistem čiščenja komunalne odpadne vode.

Spremljanje pri MKČN

Za MKČN z zmogljivostjo manjšo od 50 PE se lahko namesto obratovalnega spremljanja, izdela poročilo o pregledu. Poročilo o pregledu naprave izdela izvajalec javne službe za vsako MKČN na območju občine, kjer izvaja javno službo in jo hrani v svoji evidenci MKČN. Določene podatke iz evidence mora izvajalec javne službe vsako leto poslati ministrstvu v elektronski obliki najkasneje do 31. marca za preteklo leto na obrazcu, ki je objavljen na spletni strani ARSO.

Poročilo o pregledu je potrebno izdelati prvič po petnajstih dneh od pričetka delovanja, nato pa na tri leta.

Naravni čistilni sistemi

Naravni sistemi, ki se običajno uporabljajo za čiščenje komunalnih odpadnih vod, so lagune in namakalna polja. Vsi naravni sistemi se uporabljajo za čiščenje odpadne vode iz manjših naselij (Roš, 2001).

Čiščenje odpadne vode z namakalnimi polji je kontrolirana uporaba odpadne vode na površini zemlje. S fizikalnimi, kemijskimi in biološkimi procesi skozi plasti rastline–zemlja–voda dosežemo načrtovano stopnjo čiščenja. Osnovne lastnosti tal, ki vplivajo na uspeh čiščenja odpadne vode, so odvisne od zgradbe in sestave zemlje, propustnosti, infiltracije vode in kapacitete ionske izmenjave.

Poznamo tri osnovne procese čiščenja z namakalnimi polji:

- čiščenje s počasnim pronicanjem,
- čiščenje s hitrim pronicanjem,
- čiščenje s tokom vode preko zemlje (Roš, 2001).

2. RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE (RČN)

RČN so se razvile iz naravnega sistema mokrišč, kjer je uporabljena naravna energija za čiščenje. RČN so sodobna umetna močvirja, ki s fizikalnimi in biokemijskimi procesi posnemajo funkcije naravnih. RČN so se razvila iz spoznanja in raziskav, kako izboljšati celinsko vodo, ki so preobremenjene z visokimi hranilnimi snovi, ki izvirajo iz odpadne vode in sanitarij, s pomočjo avtohtonih rastlinskih vrst, predvsem makrofitov. Močvirja imajo precej višjo samočistilno sposobnost vode v primerjavi z ostalimi ekosistemi. Komunalna odpadna voda se v RČN očisti do stopnje, da so pri izstopni vodi vrednosti hranil zanemarljive.

Pri učinkovitem čiščenju onesnaženih voda posnemajo samočistilne sposobnosti narave, tako da gre za poceni in preproste sisteme. Večinoma delujejo gravitacijsko, brez strojne in električne opreme, če teren to omogoča (Vrhovšek in Vovk Korže, 2007).

Delovanje RČN



Slika 1: Rastlinska čistilna naprava (www.ertc.si, 23.03.2010)

Osnovni princip delovanja RČN je, da se odpadna voda gravitacijsko vodi preko serije različnih prekatov, voda pa se med svojim zadrževanjem zaradi kemijskih in bioloških procesov očisti. Proces biokemijske razgradnje se vršijo od začetka do konca pretakanja vode skozi sistem. Odpadno vodo se v začetku vodi preko več prekatnega usedalnika ali preko več enoprekatnih, v katerih se usedajo grobi delci. Goščo iz usedalnikov se izprazni po potrebi oziroma, ko je posamezen usedalnik poln. Odpadna voda se nato iz zadnjega usedalnika pretaka preko več zaporedno nameščenih gred (filtrirne, čistilne, polirne), ki so vodotesno ločene od okolja. V gredah je nameščen substrat, ki ga sestavljajo različne velikosti prane drobljenca ali rečnega proda do debeline 64 mm. Substrat ima zelo veliko površino, saj so mikroorganizmi porazdeljeni po celotni površini vsakega prodnika. Substrat se lahko dopolni s šoto, različnimi prsti ali površinsko aktivnimi snovmi. V substrat so lahko zasajene vlagoljubne rastline, ki porabijo presežek hranil za svojo rast, lahko pa rastline prosto plavajo v vodi ali na njeni gladini. Glavni nosilci čiščenja odpadnih voda v RČN so mikroorganizmi, substrat in rastline. Mikroorganizmi, ki prispevajo do 80 % čiščenja v celotnem sistemu, se naselijo na rastline in na substrat, ki ima ogromno aktivno površino za pritrnitev biofilma. Preostalih 20 % se prečisti s pomočjo substrata in rastlin. Naloga rastlin je tudi dovajanje kisika preko koreninskega sistema v nižje plasti in odvajanje nastalih produktov biokemijske razgradnje. Pri sistemih s plavajočim rastlinjem je glavni nosilec čiščenja dispergirana biomasa, ki v sožitju z rastlinami čisti onesnaženo odpadno vodo.

V primeru sistema z algami, se pri fotosintezi sprošča kisik, ki ga potrebuje aerobna bakterijska biomasa za svojo rast. Povprečni zadrževalni čas odpadne vode od vstopa do izstopa znaša med 75 in 90 urami. Med obdobji brez dotoka pa se lahko voda zadrži daljše časovno obdobje in tako nosilci čiščenja v sistemu ostanejo aktivni. Strupene snovi se v procesu čiščenja

razgradijo, delno vgradijo v rastline, delno pa ostajajo v substratu, od koder se iz prvih bazenov v cikličnih obdobjih lahko odstranijo. Po potrebi se sistem zaključuje z bazenom za večnamensko uporabo prečiščene vode (namakanje oziroma zalivanje zelenih površin, gašenje požarov, gojenje vodnih kultur, sanitarne namene in podobno) ali kot krajinski element. Mulj iz mehanske stopnje se kompostira v kompostni gredi, ki je v osnovi podobna RČN.

Idealni tip tal za izgradnjo RČN so glinena tla. Dno RČN mora biti neprepustno, da onesnaževalci ne morejo pronicati v podtalnico. (Vovk Korže, 2015)

Osnovni elementi RČN so bazeni vkopani v tla, rastlinske vrste, pesek in gramoz v določeni velikosti. Za delovanje so potrebni še mikrobi in nevretenčarji, ki pa se v RČN razvijejo naravno, praviloma v koreninskem sistemu. Ena najbolj pomembnih sestavin pri delovanju RČN so mikrobi, ki izvajajo različne pomembne procese, kot so hidroliza, mineralizacija in denitrifikacija. Mikrobi naseljujejo praviloma koreninski svet rastlin. Pri gradnji RČN se praviloma uporablja tri vrste makrofitov: plavajoči makrofiti, potopljeni makrofiti in ukoreninjeni makrofiti. Rastline, ki se uporabljajo za biološko sanacijo, morajo imeti visoko koncentracijo biomase in visoko stopnjo rasti in sposobnosti, da lahko kopičijo tudi kovine v nadzemne dele. Morajo imeti sposobnost življenja v območju z visoko koncentracijo kovin in hkrati toleranco za več kovin (Vovk Korže, 2015).

Čiščenje onesnaževal RČN vključuje štiri mehanizme čiščenja in sicer:

- Neposredna poraba, kopičenje, presnova onesnaževalcev v rastlinskih tkivih (razstrupljanje)
- Transpiracija hlapnih organskih ogljikovodikov iz listov
- Sprostitev izcedkov iz korenin, ki bodo spodbudili mikrobne aktivnosti in biokemijske transformacije
- Prisotnosti mikoriznih gliv in mikrobnih konzorcijev, povezanih s koreninskimi površinami, ki povečajo mineralizacijo onesnaževal v rizosferi.

RČN iz odpadnih vod odstranjujejo tudi organske snovi, predvsem dušik, fosfor, težke kovine. Omogočajo pa tudi odstranjevanje koliformnih bakterij iz padavinske vode, komunalnih odplak in kmetijskih odplak. Korenine rastlin zagotovijo zrak in življenjski prostor za organizme, kot so bakterije glive in vodne nevretenčarje, ki razgrajujejo organske snovi. Prisotnost organskih snovi se meri v biokemijski potrebi po kisiku in skupnih suspendiranih delcih. Biološka potreba po kisiku meri količino kisika, ki jo potrebujejo organizmi v vodi, pri čemer visoka stopnja BPK pomeni onesnaženo vodo, ki jo je potrebno očistiti.

Obstaja več razlogov za odstranitev organske snovi. Prvi razlog je, da visoka količina suspendiranih snovi zmanjšuje bistrost vode, kar preprečuje lovljenje plena vodnim organizmom. Drug razlog je, da se lahko zaradi prevelike količine organskih snovi zlepijo škrge ribam in jih pomorijo. Suspendirani delci tudi blokirajo dostop svetlobe v večje globine, kar preprečuje nastanek fotosinteze.

Dušikove spojine se iz odpadne vode v RČN odstranjujejo s pomočjo mikrobov, ki spreminjajo amonija in nitrat v plinski dušik. Takšna oblika odstranjevanja dušika je najbolj učinkovita pri višjih vrednostih vnosa dušika.

Fosfor nima atmosferskega vira zato se v fazi čiščenja veže na substrat RČN. Oba anorganska elementa prevzamejo v RŠN tudi rastline. Pomembno je, da se dušik in fosfor s pomočjo čiščenja odstranita, kar v nasprotnem primeru, ko se voda odvaja v naravno vodo telo z velikimi količinami hranil pride do eutrofikacije. Eutrofikacija se zgodi, ko je prekomerna rast organizmov, kot so alge, kar povzroči izločanje kisika, ki povzroči smrt drugih organizmov, kot so ribe, ki potrebujejo določeno količino kisika v vodi za življenje. Če velike količine dušika pridejo v pitno vodo pa je nevarno za človeka (Vovk Korže, 2015).

Iz odpadne vode je nujno potrebno odstraniti tudi fekalne kaliformne organizme, kot so E.coli. Njihova prisotnost pomeni, da drugi patogeni organizmi verjetno ne bodo prisotni. Prisotnost teh organizmov pri človeku povzroči bolezni, kot so griža, tifus in hepatitis A. Mehanizem za odstranitev fekalnih koliformnih organizmov v RČN še ni podrobneje raziskan, vendar se domneva, da odstranjevanje poteka s pomočjo sedimentacije, adsorpcije in denaturacije.

RČN glede na različne analize lahko odstrani do 99 % fekalnih koliformnih organizmov po 6. dneh in 99,9 % po 10. dneh. Na podlagi teh ugotovitev lahko zatrdimo, da RČN učinkovito odstranjuje tudi patogene organizme, ki ogrožajo zdravje ljudi.

Vsaka snov v odpadi vodi ima v RČN pri najmanjšem hidravličnem zadrževalnem času čas, da se odstrani, tako dušik potrebuje 3 – 5 dni, medtem o fosfor kar 21 dni.

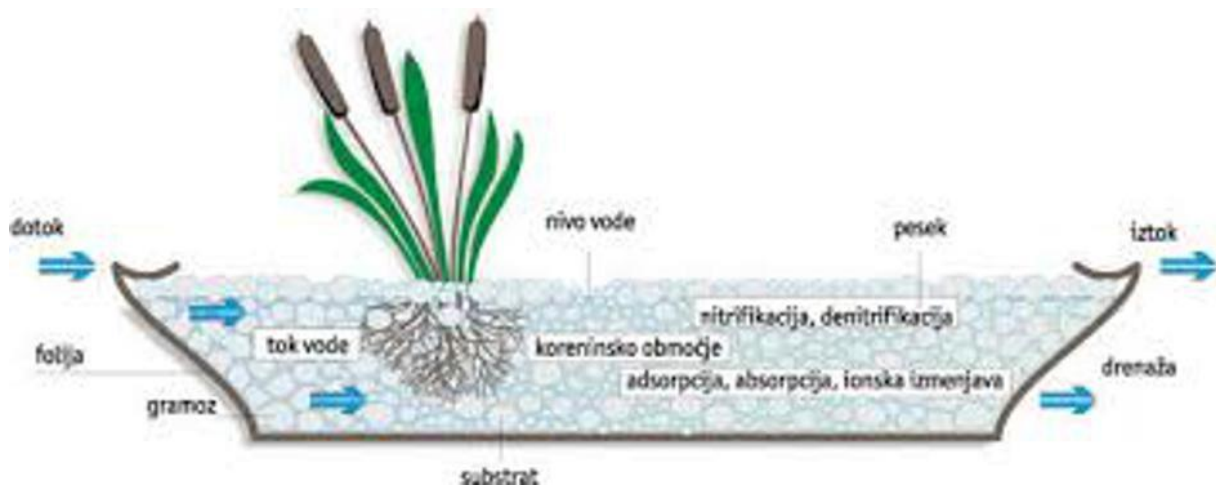
2.1 VRSTE IN DELOVANJE RČN

ČN, ki jih pogosto imenujemo rastlinske čistilne naprave (RČN), so razširitev namakalnih polj s tokom vode preko zemlje. RČN so tehnično bolj dovršene od lagun, ker imajo običajno definirano sestavo zemlje (nekateri jo imenujejo substrat) in urejeno dno naprave (neprepustna folija). Namesto trave ali rastlinske stelje se uporabljajo točno določene rastline (višje rastline). Na splošno pa imajo enake prednosti in slabosti kot ostala namakalna polja. Najbolj znane in najpogosteje uporabljene RČN so grajena mokrišča, ki se uporabljajo podobno kot namakalna polja.

Rastlinske čistilne naprave (RČN) so ena od možnosti biološkega čiščenja odpadne komunalne vode iz gospodinjstva, ki pri tem izkorišča mikrobiološke procese, v katerih večino dela opravijo mikroorganizmi.

Primerna izbira je za vse tiste, ki želijo čim manj dela z vzdrževanjem, ki prisegajo na naravno, trajnostno delovanje, brez rabe elektrike, imajo za to prostor, ki ga lahko namenijo zgolj RČN, saj ta ni povozna.

RČN delujejo po principu, da odpadne vode skozi napravo tečejo po zakonu gravitacije, zato je idealno, če je teren nekoliko nagnjen. V prvem delu, usedalniku, se odstranijo delci, ki se usedajo in suspendirani delci. Ti predstavljajo blato, ki ga je treba vsaj vsaka tri leta odstraniti. V delu, ki je zasajen z rastlinami in napolnjen s substratom oziroma peskom, poteka mikrobiološki proces čiščenja, sistem pa se zaključi z iztekom očiščene vode v ponikalnice, lahko pa se uredi tudi zajem.



Slika 2: Shema RČN, EU Skladi

Naprava posnema samočistilno sposobnost narave za čiščenje odpadnih voda. Glavni procesi, ki potekajo v RČN, so adsorpcija, mineralizacija ter aerobna in anaerobna razgradnja. Večji del procesov opravijo mikroorganizmi na pesku in koreninah, del pa rastline, ki nase vežejo mineralne snovi, kot so nitrati in fosfati ter nekatere druge strupene snovi. Učinkovitost čiščenja je od 70 do 90 odstotna. Glavna naloga rastlin je zagotavljanje pretočnosti naprave, saj se prehranjujejo z odmrli mikroorganizmi. RČN izredno dobro prenaša nihanja dotoka odpadne vode, in ker deluje takoj po začetku uporabe, je primerna za stalno in tudi samo občasno naseljene objekte.

Pred prekatom z rastlinami je treba namestiti usedalnik. To je lahko obstoječa greznica, če ima vsaj dva prekata in je vodotesna. Če ta ni ustrezna, pa se v teren vkoplje betonski ali polietilenski usedalnik. Od tu se spelje cev v prekat, kjer poteka čiščenje komunalne vode. Pri izvedbi RČN je izjemno pomembno, da izberemo pravi pesek, na katerem se bodo naselili mikroorganizmi. Pred tem dno prekata obložimo z varjeno vodotesno folijo, ki jo dodatno zaščitimo z gradbenim filcem, da se ne bi poškodovala. Na koncu v pesek zasadimo močvirne rastline, največkrat je to trs ali rogoz, lahko pa so različni šaši. Rastline, ki so čez leto zrasle, za to rast pa so porabile odmrle mikroorganizme, pozno jeseni pokosimo in jih kot zastirko položimo čez prekat. Tako so njihove korenine dodatno zaščitene in delujejo tudi pozimi. Ves proces čiščenja poteka pod zemljo, zato večji del korenin ne pomrzne in je lahko aktiven, prav tako pa mikroorganizmi. Globina procesa je tudi razlog, da se iz RČN ali okoli nje ne širi nikakršen smrad. Vsa voda je pod površino, tako da ne moremo priti v stik z to vodo.

HEMA DELOVANJA RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE



Slika 3: Shema delovanja RČN

Delovanje RČN

Če želimo, da bo RČN delovala kar se da učinkovito, je treba mikroorganizmom zagotoviti optimalne pogoje. Zato ni dobro, da v odtoke in straniščne školjke spuščamo in mečemo kar vse po vrsti. Držimo se priporočil: dobro je uporabljati manj agresivna čistila, če je le mogoče, ekološka, raje izberimo tekoča kot trdna čistila, saj se prva lažje raztopijo, dezinfekcijska sredstva in močnejša čistila (vsebujejo naj čim manj nevarnih kemikalij) uporabljamo večkrat po malem, tako se mikroorganizmi lažje navadijo nanje, čistil ne menjamo prepogosto, ker imajo mikroorganizmi raje tista, ki jih že poznajo, v odtoke ne mečemo težko razgradljivih snovi, kot so papirnate brisače, tamponi, vložki, bombažne vate, palčke za ušesa, cigaretni ogorki, ostanki hrane, v odtoke in stranišče tudi ne spadajo maščobe iz gospodinjstva, saj preprečijo dostop zraka do mikroorganizmov, tudi kisline, razredčila, vnetljive snovi, pripravki za gojenje rastlin, motorno in druga olja, barve ... ne spadajo v odtoke.

Ne dolgo tega so bile RČN horizontalne, po katerih je čiščenje vode potekalo vzdolžno skozi več prekatov oziroma bazenov, zato je bilo zanje potrebna kar precej prostora. Novejše izvedbe so bolj kompaktne, saj čiščenje poteka vertikalno, zato imajo zgolj en prekat, naprave pa so manjše.

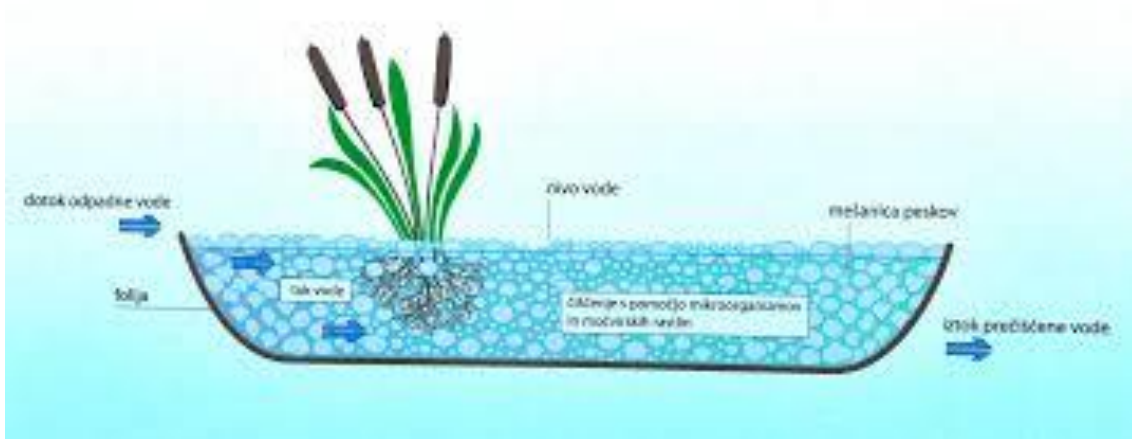
Vrste RČN

RČN se delijo v več skupin in delitev izhaja iz dveh parametrov: iz tipa makrofitov in režima pretoka vode (ali je pretok površinski ali podzemni).

Obstaja pet glavnih vrst rastlinskih čistilnih čistilnih naprav:

- Podpovršinske RČN - voda prosto odteka po površini;
- Podpovršinske RČN s horizontalnim tokom;
- RČN z vertikalnim tokom;
- RČN z vertikalnim tokom surove odpadne vode;
- RČN za sušenje blata.

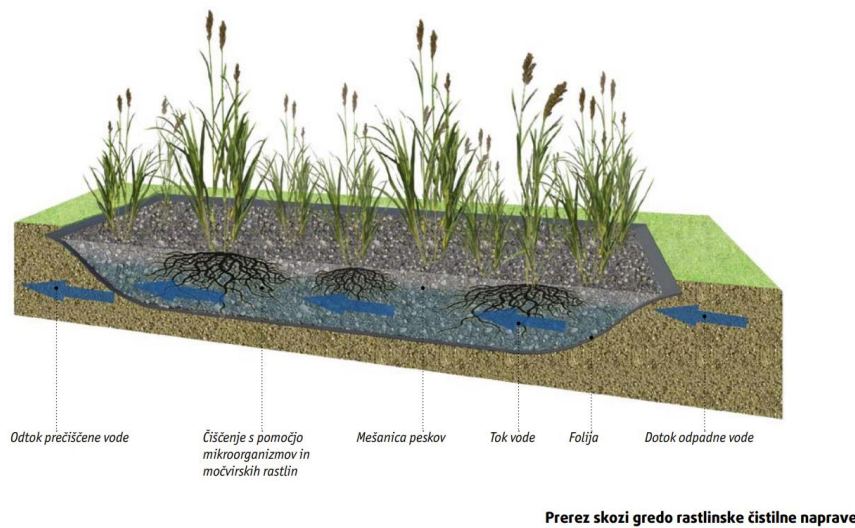
a) Površinske RČN



Slika 4: Shema površinske RČN, pzs.si

Najpogosteje uporabljena vrsta RČN v Združenih državah Amerike za čiščenje domače odpadne vode, kjer jih uporabljajo predvsem za terciarno čiščenje kakovostnih sekundarnih tokov za velike populacije (do 500.000 PE). Na območjih čiščenja odpadna voda teče po površju, zato je pomanjkljivost tega sistema ta, da vlaga privablja izredno veliko komarjev. Ta sistem je bil uporabljen tudi v Franciji, vendar so po nekaj letih to prakso opustili zaradi prevelikega zadrževanja komarjev.

b) Podpovršinske RČN s horizontalnim tokom



Slika 5: Podpovršinske RČN s horizontalnim tokom, *limnowet_prospekt.pdf*

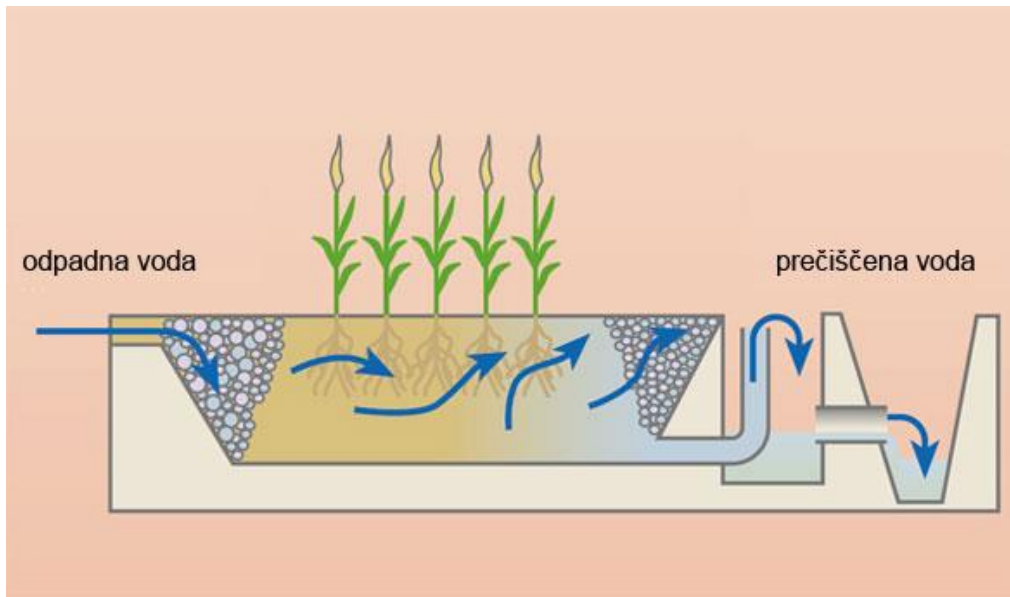
Podpovršinske RČN s horizontalnim tokom so vrsta RČN, ki so najpogosteje uporabljajo za domače čiščenje odpadnih vod v veliki Britaniji.

Tipične podpovršinske RČN so grajene tako, da so čistilne grede izkopane in položene z neprepustno folijo. Zapolnjene so z gramozom velikosti 5 – 10 mm. Globina posameznih čistilnih ležišč znaša 0,6 m, ker je to največja globina do katere zrastejo korenine rastline trstičevja. Horizontalni vodni odtok odpadne vode se nahaja približno 0,1 m pod površjem. Čistilne grede so posejane z različnimi vodnimi makrofiti. Najpogosteje se uporabljajo širokolistni rogoz, zebrinus in vodni biček. Prav tako lahko v čistilnih gredah gojimo okrasne vodne rastline npr. *Iris pseudacorus*, *Canna* spp., *Zantedeschia* spp.,...

Rastline imajo pri RČN izreden pomen, ker so korenine tiste, ki vplivajo na zmanjšanje anorganskih suspendiranih snovi v odpadni vodi. Tako se amoniak preoblikuje v nitrat v mikro-aerobnih conah okoli korenine rastlin (Vovk Korže, 2015). Uporaba proda z visokimi vsebnostmi fosforja izboljšuje odstranitev P, vendar je količina omejena, saj lahko pride do reakcije desorbiranja v času nekaj tednov ali mesecev. Zato se praviloma bolj primerne RČN z vertikalnim odtokom za odstranjevanje fosforja iz odpadne vode (Vovk Korže, 2015).

V primerjavi z RČN s horizontalnim tokom, ki je v večini na površju so RČN s podpovršinskim tokom bolj učinkovite, ker imajo večjo sposobnost mineralizacije biorazgradljivih organskih snovi in večjo sposobnost prenove kisika (Qaisar Mahmood in sod., 2013)

c) Podpovršinska RČN z vertikalnim tokom



Slika 6: Shematski prikaz Podpovršinska RČN z vertikalnim tokom, Bodi eko

Današnji sistem RČN z vertikalnim tokom je dodelam in najbolj običajna velikost take RČN je 2m² na PE.

Fosfor se z vertikalnim tokom odstranjuje s pomočjo padavin, absorpcija fosforja v materialu čistilne grede in kristalizacija. Ugotovitve kažejo, da je najbolj učinkovita čistilna greda globine 0,27 m, ki je zasajena s *Pharagmites.*, pri čemer pa nima skoraj nobenega pomena dolžina, širina in velikost srednje grede. Glede globine pretoka odpadne vode je potrebno upoštevati, da se zagotovi hidravlična prepustnost in doseže zadrževalni čas. V primeru, da je čistilna greda preveč globoka, je potrebno zagotoviti tudi črpanje (Vovk Korže, 2015).

Vzdrževanje te vrste RČN je zelo preprosto. V prvem letu delovanja je potrebno iz čistilnih gred odstraniti plevel, zatem pa to ni potrebno. Naprej je redno potrebno preverjati razdelitev odpadne vode skozi grede, za zagotovitev primerne razporeditve preko površine. Pomemben je nivo vode, da teče pod površjem.

Pozno jeseni ali v začetku zime, je potrebno posekati rastline na gredah nekje do višine 250 mm.

d) Kompaktni sistem RČN za čiščenje surove odpadne vode



Slika 7: Kompaktni sistem RČN za čiščenje surove odpadne vode, www.radlje.si

Sestavljene so iz dveh delov. Prvi del sestavljajo tri čistilne grede, ležijo vzporedno in odvajajo vodo v drugi del, ki je sestavljen iz dveh gred in prav tako ležita vzporedno. Ti dve zadnji gredi opravljata predvsem sekundarno čiščenje vode. Vsaka od teh petih čistilnih gred je velika 0,4 m² na osebo, če gre za ločene kanalizacijske sisteme in 0,5 m² na osebo, kadar gre za kombinirane sisteme. Samo ena izmed gred na prvi stopnji čiščenja se uporablja redno, v tej gredi voda počiva 6 do 8 dni in tako se paralelno porabljata še ostali dve gredi. Nato voda izteče v gredo na drugi stopnji čiščenja, kjer se voda zadrži 6 do 8 dni.

e) Trstične grede za sušenje blata



Slika 8: Trstične grede za sušenje blata

Ta vrsta RČN je namenjena sušenju, mineralizaciji in stabilizaciji blata iz čistilnih naprav. Zgrajena je iz več vzporednih gred z nepropustno podlago globine 1 m. Na dnu je plast peska in zasajene avtohtone rastline (navadni trst). Deluje tako, da se grede izmenično polnijo z nekaj centimetri neobdelanega blata, ki se dovaja na površino grede. Polnjenju sledi faza mirovanja (zaradi rasti in gibanja trstičja v vetru, se blato suši, potekajo procesi razgradnje

organskih snovi). Pri tem nastane proizvod mineralizirano blato z 42-45% suhe snovi primerno za gnojenje kmetijskih površin (po predhodni analizi).

V številnih evropskih državah je ena pogostejših tehnologij obdelave blata iz čistilnih naprav. Je pasivna in sonaravna obdelava blata brez dodatka kemikalij. Znatno zmanjša stroške obdelave blata.

2.2 STRUKTURA RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE

Substrat

Substrat je eden izmed pomembnih dejavnikov v rastlinski čistilni napravi. Ustrezna izbira substrata je pomembna za uspešno delovanje, saj mikroorganizmi, ki so pritrjeni na substratu in koreninskem sistemu odstranjujejo onesnažila iz odpadne vode. Prav tako ima substrat pomembno vlogo pri ionski izmenjavi, filtraciji in sedimentaciji. S sposobnostjo filtracije in sedimentacije odstranimo iz vode suspendirane in koloidne delce, najpomembneje pa je, da se odstranijo škodljivi mikroorganizmi. Pomemben je tudi pri naseljevanju mikroorganizmov na površino ter pri ukoreninjanju rastlin v sistem (Pšeničnik, 2018 str. 14).

Za substrat najpogosteje uporabimo materiale kot so pesek, kamenje, zemlja, šota, mivka in prodniki. Ta material se razlikuje po obliki in frakcijah ter ga glede na globino ustrezno izberemo. V spodnjih plasteh v gredah uporabimo večje premere substrata, za vrhnje pa manjše (Pšeničnik, 2018 str. 13).

- površinski električni naboj (Škulj, 2015 str. 10)

Različni substrati imajo različno funkcijo. Materiala, kot sta mivka in zemlja, imata večjo površino delcev in s tem večjo filtracijsko učinkovitost, hidravlična prevodnost pa je manjša. Gramoz in pesek imata nasprotno kot mivka in zemlja večjo hidravlično sposobnost ter manjšo učinkovitost filtracije. Z večanjem premera zrn substrata, se večja odstotek poroznosti, prav tako kot tudi hidravlična prevodnost (tabela 2), vendar to velja tudi za druge primere, ne samo pri RČN (Pšeničnik, 2018 str. 13)

Mikroorganizmi

Mikroorganizme ločimo glede na različne izrabe energetskih virov, glede na področja naseljevanja ter potrebe po kisiku. Tiste, ki za svoje delovanje potrebujejo kisik, imenujemo aerobni mikroorganizmi in so odgovorni za nitrifikacijo. Anaerobni mikroorganizmi, ki delujejo brez porabe kisika, pa so glavni pri procesu denitrifikacije (Pšeničnik, 2018 str. 14)

Učinkovitost čiščenja odpadne vode je odvisna od razpoložljive površine, torej tam, kamor se lahko naselijo mikroorganizmi na koreninski sistem in medij. Večina mikroorganizmov ima pomembno vlogo pri pretvorbi organskih in anorganskih snovi. V glavnem so to bakterijske združbe in glive, ki za rast in razvoj potrebujejo v prvi vrsti vodo ter minerale, vitamine, vir

ogljika in dušika. Delovanje je odvisno od temperature – najustreznejša temperatura za delovanje mikroorganizmov je v območju med 20 in 30°C, od koncentracije raztopljenega kisika, koncentracije kemijskih snovi ter od pH. Z aerobnimi bakterijami se večina organskih snovi pretvori v CO₂ in H₂O. Te snovi so pritrjene na medij ter koreninski sistem, mikroorganizmi pa sproščajo kisik iz podzemnih delov rastlin (Pšeničnik, 2018 str. 14)

Vodne rastline

Vodne rastline so pomemben dejavnik v RČN. Vse rastline, ki so v RČN, so vodoljubne rastline oziroma močvirske rastline, ki so eden izmed dejavnikov, ki omogočajo čiščenje obremenjenih odpadnih vod (Pšeničnik, 2018 str. 15).

Rastline v procesu čiščenja opravijo približno 10–20 odstotkov dela (deloindom.delo.si).

Rastline s svojim koreninskim sistemom nudijo podlago za naselitev mikroorganizmom, prav tako upočasnjujejo tok odpadnih voda ter izločajo kisik v odpadno vodo, pomembno funkcijo pa imajo pri odstranjevanju dušika in fosforja. Kisik, katerega pridelajo rastline je pomemben element, ki je potreben za uspešno razmnoževanje in za razvoj aerobnih mikroorganizmov. Ta potuje preko koreninskega sistema, listov in stebela v koreninsko plast, kjer se ustvari aerobno območje – območje s prisotnostjo kisika, pri čemer prihaja do razgradnje organskih snovi

Vodoljubne rastline nudijo dobre pogoje pri filtraciji, upočasnijo tok onesnažene vode ter preprečujejo zamašitev. Deli rastlin nad vodno površino nudijo senco, ki preprečujejo razvoj alg pri sistemih s površinskim tokom vode. Pri nizkih temperaturah ozračja odpadni deli nudijo izolacijski sloj in tako delovanje RČN ni ogroženo, oziroma je omogočeno delovanje tudi pri nižjih temperaturah (Pšeničnik, 2018 str. 15)

Učinkovitost RČN je odvisna od ustrezne uporabe močvirskih rastlin. Med seboj se razlikujejo po občutljivosti oziroma prilagodljivosti sprememb v okolju, v zarasti podzemnega dela, odpornosti na različne bolezni, temperaturne razlike, sproščanje kisika ter drugih lastnosti, ki so manj pomembne za delovanje RČN. Močvirske rastline imajo v RČN široko vlogo pomembnosti, tako da:

- sodelujejo pri procesu adsorpcije in filtracije usedljivih in suspendiranih snovi,
- dajejo površino mikroorganizmom, da se nanjo pričvrstijo,
- prezačujejo rizosfero preko koreninskega sistema ter s tem omogočajo razvoj organizmov zaradi posledice difuzije kisika,
- število patogenih bakterij zmanjšujejo s svojimi izločki,
- privzemajo anorganske in organske snovi iz korenin (Pšeničnik, 2018 str. 15)

Rast močvirskih rastlin je odvisna od pretoka vode, ki teče skozi celoten sistem. Pretok vode namreč vpliva na količino kisika ter na količino hranilnih snovi, ki so na razpolago za rast in razvoj teh rastlin. Najprimerneje je, da izberemo takšne rastline, ki imajo votle rizome in korenine, katere posledično vsebujejo kanalčke, ki so napolnjeni z zrakom in so v stiku z atmosfero. Rastline s takšnim koreninskim sistemom so najbolj učinkovite pri sistemih RČN (Pšeničnik, 2018 str. 16).

Najpogostejše skupine rastlin so:

- Prosto plavajoče vodne rastline: te rastline so primerne za sisteme s površinskim tokom vode; njihove korenine oziroma koreninski splet visi s plavajočih listov; te rastline se premikajo s tokom vode; namen teh rastlin je, da iz vode odvzemajo hranilne snovi ter s svojimi listi naredijo senco in s tem preprečujejo rast alg; gosto plavajoče rastline tudi omejujejo difuzijo kisika iz atmosfere; nudijo tudi zavetje in hrano za živali, kot so insekti, pajki, dvoživke, kače, želve, ptice in glodavci (Škulj, 2015 str. 11).
- Ukoreninjene plavajoče vodne rastline in potopljene vodne rastline: te rastline so primerne za sisteme s površinskim tokom vode; po navadi so te rastline, potopljene v vodo, lahko pa imajo na vodni površini plavajoče liste; korenine imajo zakoreninjene na dnu gred; rastline nudijo površino za pritrnitev mikroorganizmov in po vodnem stolpcu rastline podnevi sproščajo kisik; prav tako te rastline omejujejo difuzijo kisika iz atmosfere; nudijo tudi zavetje in hrano za živali, kot so insekti, pajki, dvoživke, kače, želve, ptice in glodavci; te rastline so vodne trave (Škulj, 2015 str. 11).
- Ukoreninjene rastline: so primerne za sisteme s podpovršinskim tokom vode. So neolesenele; korenine imajo zakoreninjene na dnu grede in iz vode stojijo pokončno; omogočajo večjo flokulacijo in sedimentacijo; prav tako tudi senčijo in preprečujejo rast alg; upočasnjujejo tok vode in nudijo površino za pritrnitev mikroorganizmov; v zimskih mesecih pa te rastline delujejo kot izolator, saj preprečijo, da bi voda v gredah zamrznila; nudijo zavetje in hrano za živali, kot so insekti, pajki, glodavci, dvoživke, kače in želve. Te rastline so rogoz, šaš ali tako imenovano trstičje (Škulj, 2015 str. 11).
- V gredah najdemo tudi grmičevje in drevesa, ki nimajo opredeljenih funkcij čiščenja, vendar pa te rastline dobro prenašajo z vodo nasičena ali poplavljen tla. Pri drevesih sta to jelša in vrba, pri grmičevju pa dren in bodika (Brown et al., 2002). (Najpogostejši rodovi močvirskih rastlin so: trst (*Phragmites*), rogoz (*Typha*) in šaš (*Carex*). Vsaka rastlina ima tudi svoje značilnosti in sposobnosti odstranjevanja hranil in težkih kovin (Škulj, 2015 str. 11).

Gozdni sitec (*Scirpus sylvaticus*) raste tako v gozdovih kot na vlažnih travnikih in v močvirjih po vsej Sloveniji. Gozdni sitec ima 30-100 cm dolge liste, ki so 1 cm široki. Pozno spomladi mu zraste steblo, na katerem raste socvetje. Za normalno rast mu ustreza globina do 15 cm (Škulj, 2015 str. 12).



Slika 9: Gozdni sitec (petersfoto.si)

Širokolistni rogoz (*Typha latifolia*) zraste do 2 m visoko in ima na stebelu 2 cm široke ploščate liste, na koncu stebela pa ima en moten rjav valjasti socvet. Ima visoko zmožnost čiščenja polutantov iz vode. Raste po vsej Sloveniji. Ustreza mu pH-vrednost 3,0-8,5. Za normalno rast mu ustreza globina od 30 do 45 cm (Škulj, 2015 str. 12).

Ozkolistni rogoz (*Typha angustifolia*) zraste do 2 m visoko in ima na stebelu do pol cm široke ploščate liste, prav tako ima na koncu stebela rjav valjasti socvet, ki je obdan z dlačicami. Ta rastlina ima toleranco do slanosti. Raste po vsej Sloveniji. Ustreza mu pH-vrednost 3,7-8,5. Za normalno rast mu ustreza globina do 30 cm (Škulj, 2015 str. 12)



Slika 10: Rogoz (*Survival in nature*)

Navadni trst (*Phragmites communis*): njegovo steblo je visoko od 2 do 4 m. Na koncu stebela ima velike late, ki cvetijo poleti in so rjave barve. Raste po vsej Sloveniji. Ustreza mu pH vrednost 3,7-8,0. Za normalno rast mu ustreza globina do 7 cm (Škulj, 2015 str. 12)



Slika 11: Navadni trst (*zgd.si*)

Navadno ločje (*Juncus effusus*) je tolerantna rastlina tako za mokro kot suho stanje. Raste v šopih. Za normalno rast ji ustreza globina do 7,2 cm. Te rastline imajo liste podobne bilkam trav. Pri nas raste na vlažnih travnikih, v močvirjih in na bregovih voda. Zraste do 70 cm visoko in ima na koncu stebela socvetje (Škulj, 2015 str. 12).



Slika 12: Navadno ločje (zgd.si)

Močvirsko sito (*Eleocharis palustris*) ima toleranco do senčnih leg. Za normalno rast ji ustreza globina do 7,2 cm. Raste po vsej Sloveniji. Steblo ima dolgo od 10 do 50 cm in na vrhu stebela 1 cm dolg rjav klas (Škulj, 2015 str. 12).



Slika 13: Močvirsko sito (epond.eu)

Rod šašov (*Carex spp.*): v to skupino sodijo kljunasti šaš (*Carex rostrata*), ostroluski šaš (*Carex acutiformis*), mehurjasti šaš (*Carex vesicaria*), obrežni šaš (*Carex riparia*), previsni šaš (*Carex pendula*) in čvrsti šaš (*Carex firma*). Za normalno rast jim ustreza globina do 7 cm. (Škulj, 2015 str. 12).



Slika 14: Obrežni šaš (zgd.si)

Rumeni blatnik (*Nuphar luteum*) ima vsoko toleranco do nihanja globine vode. Prav tako ima toleranco do kisle vode, do pH 5,0. Za normalno rast mu ustreza globina do 152 cm (Škulj, 2015 str. 12).



Slika 15: Rumeni blatnik (aquareja.si)

Pravi kolmež (*Acorus calamus*) ima toleranco do suhih obdobij in ustreza mu delno sončna lega. Prav tako ima toleranco do kislega stanja. Za normalno rast mu ustreza globina do 7 cm. Raste skoraj povsod po Sloveniji, ne najdemo ga zgolj v submediteranskem okolju (Škulj, 2015 str. 12).



Slika 16: *Pravi kolmež* (arso.gov.si)

Indijanski riž (*Zizania aquatica*) potrebuje za rast veliko sonca. Za normalno rast mu ustreza globina do 30 cm. Je enoletna trava, ki zraste več kot dva metra visoko in ima velike in lepe late (Škulj, 2015 str. 12).



Slika 171: *Indijanski riž* (pfaf.org)

3. RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE V SLOVENIJI

Rastlinske čistilne naprave krasi širok spekter uporabe. Uporabljajo se za čiščenje odpadnih voda iz naselij, enodružinskih hiš, kmetij, raznih turističnih obrti, naravnih parkov, manjših industrijskih obratov. Še posebej pride v poštev njihovo delovanje na območjih Nature 2000, saj v rastlinskih čistilnih napravah poteka tudi terciarno čiščenje, pri katerem se odstranjujejo patogene bakterije in določena hranila. Na območjih Nature 2000 je za delovanje malih čistilnih naprav potrebno pridobiti naravovarstveno soglasje ARSA.

V Sloveniji je izgrajenih okrog 280 rastlinskih čistilnih naprav med katerimi najdemo majhne individualne RČN namenjene čiščenju odpadnih vod posameznih gospodinjstev, takšne RČN velikosti okrog 50 PE za čiščenje odpadnih vod iz manjših naselij in pa tudi večje nad 500 PE za čiščenje odpadnih vod v manjših občinah. Največja RČN v Sloveniji je v občini Ormož velikosti 1000 PE. V nadaljevanju so na kratko predstavljeni trije primeri takšnih rastlinskih čistilnih naprav.

RČN Sveti Tomaž

- Velikost: 500 PE
- Leto izgradnje: 2014

Rastlinska čistilna naprava v občini Sveti Tomaž je zgrajena za čiščenje dela odpadnih voda iz naselja Sveti Tomaž in ostalih okoliških zaselkov v občini. Sestavljena je iz 3 polj s skupno površino 1.250 m². Vsa odpadna voda se zbira na najnižji točki in prečrpava do usedalnika. Od tam naprej voda gravitacijsko teče čez celoten sistem RČN.



Slika 20: RČN Sveti Tomaž (vir: limnos.si)

RČN Podsreda

- Velikost 49 PE
- Leto izgradnje 2011

Rastlinska čistilna naprava Limnowet® je zgrajena za čiščenje dela odpadnih voda iz naselja Podsreda v občini Kozje. Sestavljena je iz 3 polj s skupno površino 125 m². Ker je konfiguracija terena takšna da je dovolj gravitacijskega padca, RČN za svoje delovanje ne potrebuje strojne in električne opreme.



Slika 21: RČN Podsreda (vir: limnos.si)

Individualna RČN – Janez Petek

- Velikost 4 PE
- Leto izgradnje 2016

Individualna RČN s horizontalnim tokom na lokaciji Slatina v občini Cirkulane. Namenjena je za čiščenje odpadne vode iz gospodinjstva. Odpadna voda se zbira v primarnem in sekundarnem usedalniku in se gravitacijsko dovaja na čistilno gredo površine 10 m².



Slika 22: RČN Janez Petek

4.1 Gradnja RČN v lastni režiji

Gradnja RČN v lastni režiji je dovoljena in v kolikor predvidevamo gradnjo RČN manjše od 50 PE za to ni potrebno pridobiti gradbenega dovoljenja. Moramo pa priložiti projekt za izvedbo (PZI), ki dokazuje pravilno izgradnjo rastlinske čistilne naprave. PZI investitor naroči pri projektantu, ki s podpisom zagotavlja ustreznost rešitve in pripravljene dokumentacije in je zanj odgovoren. Potrebno je pridobiti tudi vodno soglasje.

Izgradnja rastlinske čistilne naprave ni zahtevna, opraviti je potreben izkop jame, polaganje jaškov v samo jamo, zasutje z gramozom ter zasaditev rastlin. Ne potrebujemo pa električne napeljave, saj ta deluje samostojno, brez električne energije.

RČN se projektira za vsakega investitorja posebej, zato niso podvržene tipskemu preizkusu skladno z normativom 12566-3. Pri RČN je lastnik sam dolžan z meritvami dokazati ustreznost delovanja s prvimi meritvami KPK in BPK5, ki jih izdela akreditirani laboratorij.

4. IZGRADNJA RČN

Na spodnjih slikah je prikazana izgradnja RČN na določenem terenu v Grajenščaku. Glede na standarde RČN za 5 PE se je izkopala jama v velikosti 2,5m x 4m in globine 1m. Jama se je obdala z nepropustno folijo, na katero so položene cevi za zbiranje vode. Nato se je jama zasula s substratom, v našem primeru je to bilo kamenje različnih debelin. Ob tem je potrebno namestiti še prezračevalne cevi in pa infiltracijske cevi. Ob tem se je pripravil še usedalnik, ki je nameščen pred samo čistilno gredo in izlivni jašek iz katerega odteka prečiščena voda.





Slika 24: Fotografije prikazujejo izgradnjo RČN na Grajenščaku (vir: LEA Spodnje Podravje, 2021)

5 ANALIZA ODPADNE VODE

5.1 Pomembni skupinski parametri pri čiščenju odpadne vode

KPK (kemijska potreba po kisiku) določi vse organske snovi, ne moremo pa ločiti med biološko razgradljivimi in biološko nerazgradljivimi organskimi snovmi. KPK je parameter, s pomočjo katerega sklepamo o onesnaženju odpadnih vod z organskimi snovmi.

BPK (Biokemijska potreba po kisiku) je množina kisika, ki je potrebna za aerobno mikrobiološko presnovo organskih in/ali anorganskih snovi prisotnih v odpadni vodi. BPK je parameter, ki nam pove stopnjo onesnaženosti odpadne vode z biološko razgradljivimi organskimi in/ali anorganskimi snovmi.

TOC (celotni organski ogljik) zajema organsko vezan ogljik in je v nasprotju z BPK5, ker so v TOC zajete tudi spojine, ki so težko biološko razgradljive.

TKN (celotni dušik po Kjeldahlu) zajema organsko vezan dušik in amonijev dušik. Celotni dušik TN (LATON) zajema organsko vezan dušik, amonijev dušik ter nitritni in nitratni dušik.

Merjenje pH Vrednost pH se spreminja razmeroma hitro zaradi kemijskih in bioloških procesov v vzorcu. Zato pH izmerimo ob zajetju vzorca, kjer lahko uporabimo Lakmusov papir. Najpogosteje pa pH izmerimo z umerjenim pH metrom in elektrodo, ki nam omogočata natančnejšo meritev.

5.2. Nekaj laboratorijske opreme, potrebne za meritve pH in KPK.



pH lističi



Kivetni testi



pipeta, za natančno odmerjanje



Konice za pipeto



Termoblok



Fotometer



6 VIRI

- Klančnik, J. 2016. Rastlinska čistilna naprava na ekološki kmetiji Kapl.
- PUČNIK, N.: Opremljenost z malimi komunalnimi čistilnimi napravami v občini Oplotnica, VŠVO, Velenje, 2019
- Qaisar Mahmood, Bibi Saima Zeb, Habiba Zaffar, Hajra Yaqoo, Arshid Pervez, Muhammad Waseem, Sumera Afsheen, 2013: Neutral Treatment Systems as Sustainable Ecotechnologies for the Developing Countries. Bio Med Research International Volume 2013(2013), Article ID 796373, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/796373>
- Vidmar, U. 2011. Primerjava vertikalnih in horizontalnih sistemov rastlinskih čistilnih naprav. Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva.
- Vovk Korže, A. 2015: Naravni čistilni sistemi,
- Vrhovšek, D., Vovk Korže, A. 2007. Ekoremediacije. Maribor, Ljubljana, Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Mednarodni center za ekoremediacije, Limnos d.o.o.: 128 str.
- Roš, M. (2001). Biološko čiščenje odpadne vode. Ljubljana, GV založba.
- Roš, M., Zupančič G.D. (2010). Čiščenje odpadnih voda. Velenje: Visoka šola za varstvo okolja.
- <https://www.limnos.si/storitve/rastlinske-cistilne-naprave/>
- <https://www.pasivnagrada.com/zelene-tehnologije-za-ciscenje-odpadnih-voda/>

Gradivo za učence je nastalo v okviru projekta Čisto v naravo, ki je bil izbran na 5. Javnem pozivu LAS za izbor operacij za uresničevanje ciljev Strategije lokalnega razvoja LAS Bogastvo podeželja občin Kidričevo, Hajdina, MO Ptuj, Markovci, Dornava, Juršinci, Trnovska vas in Destrnik za leto 2019 in 2020 sofinanciranjih iz Evropskega kmetijskega sklada za razvoj podeželja.

Avtorji: dr. Janez Petek

Roman Kekec

Brigita Godec Bezjak