

# Obrada otpadnih voda biljnim uređajima

---

Dikić, Nataša

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:109:951448>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO – TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENE TEHNOLOGIJE

Nataša Dikić

Obrada otpadnih voda biljnim uređajima

završni rad

Osijek, 2016.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO - TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA**

Tehnologija vode i obrada otpadnih voda

**Obrada otpadnih voda biljnim uređajima**

Završni rad

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mirna Habuda-Stanić

---

Studentica: Nataša Dikić

MB: 3728/13

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mirna Habuda-Stanić

Predano: 13.9.2016.

Pregledano:

---

**Ocjena:**

**Potpis mentora:**

---



## OBRADA OTPADNIH VODA BILJNIM UREĐAJIMA

### SAŽETAK:

Općenito govoreći, voda na Zemlji je važan izvor jer bez nje život ne bi bio moguć. Štoviše, više od 70% Zemljine površine je prekriveno vodom. Ali, danas ljudska nepažnja postaje uzrok zagađenja mnogih rijeka, jezera i oceana. Glavni problem je kako pronaći pravi način za obradu odvodnih voda uključujući otpadne vode iz slivnika, zahoda i posebno otpadnih voda iz industrijskih procesa. Sukladno toj ideji, biljni uređaji za obradu otpadnih voda mogu poslužiti kao rješenje ovog problema. Biljni uređaji uključuju: biljne uređaje sa slobodnim vodnim licem i biljne uređaje s podpovršinskim tokom koji može biti u obliku horizontalnog podpovršinskog toka ili vertikalnog. Nadalje, pročišćavanje biljnim uređajima se odvija pomoću posebnih biljnih vrsta kao što su trska, rogoz ili perunika. U konačnici, ako ljudi izgrade i upotrijebe biljne uređaje na pravilan način, uspjeh će smanjiti velik broj organskih i anorganskih onečišćivača u otpadnim vodama uključujući spojeve fosfora, dušika te suspendirane tvari.

### KLJUČNE RIJEČI:

otpadne vode, pročišćavanje otpadnih voda, biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda

## WETLANDS FOR WASTEWATER TREATMENT

### ABSTRACT:

Generally speaking, water on the Earth is essential resource because life on Earth would be non-existent without it. Moreover, water comprises over 70 % of the Earth's surface. But, today several polluted rivers, lakes and oceans are induced by human inattention. The main problem is how to find the regular way for treatment of the sewage including waste water from sinks, toilets and especially waste water from industrial processes. In line with the concept, constructed wetland for wastewater treatment can serve as the solution of that problem. Constructed wetland system includes: free water system and subsurface flow system which can be in a form of horizontal sub-surface flow or vertical. Next, purification in wetland system is performed by special plants such as reed, bull-rush or iris. Finally, if people construct and use wetland system regularly, they will succeed to reduce a huge number of many organic and inorganic pollutants in waste water including compounds of phosphorus and nitrogen or suspended solids.

### KEY WORDS:

waste water, wastewater treatment, wetland system

## SADRŽAJ

1	UVOD .....	7
2	OTPADNE VODE .....	8
2.1	VRSTE OTPADNIH VODA PREMA IZVORU NJIHOVOG NASTANKA .....	8
2.1.1	KOMUNALNE OTPADNE VODE.....	8
2.1.2	INDUSTRIJSKE OTPADNE VODE.....	8
2.1.3	POLJOPRIVREDNE OTPADNE VODE.....	9
2.1.4	OBORINSKE OTPADNE VODE .....	9
2.2	UZROCI ZAGAĐENJA OTPADNIH VODA.....	9
2.3	NAČINI OBRADNE OTPADNIH VODA .....	10
3	BILJNI UREĐAJI ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA .....	12
3.1	UVODNE ZNAČAJKE O BILJNIM UREĐAJIMA.....	12
3.2	VRSTE BILJNIH UREĐAJA .....	14
3.2.1	BILJNI UREĐAJI SA SLOBODNIM VODNIM LICEM.....	15
3.2.2	BILJNI UREĐAJI S PODPOVRŠINSKIM TOKOM .....	17
3.2.3	HIBRIDNI BILJNI UREĐAJI .....	20
3.3	KISIK U BILJNIM UREĐAJIMA.....	21
3.3.1	KISIK U PODPOVRŠINSKOM BILJNOM UREĐAJU.....	22
3.3.2	KISIK U POVRŠINSKOM BILJNOM UREĐAJU .....	22
3.4	TEMPERATURA I pH OTPADNIH VODA U BILJNIM UREĐAJIMA.....	23
3.5	BILJNA VEGETACIJA U MOČVARNIM SUSTAVIMA .....	23
3.6	PREDNOSTI I NEDOSTATCI BILJNIH UREĐAJA .....	24
4	POSTUPCI IZGRADNJE BILJNOG UREĐAJA .....	25
4.1	PLANIRANJE IZGRADNJE BILJNOG UREĐAJA.....	25
4.2	PROJEKTIRANJE BILJNOG UREĐAJA .....	26
4.2.1	PREDTRETMAN .....	27
4.2.2	TIJELO ILI BAZEN BILJNOG UREĐAJA .....	28
4.3	GRADNJA BILJNOG UREĐAJA .....	35
5	PROCES PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA BILJNIM UREĐAJIMA.....	38
5.1	OPĆE ZNAČAJKE O OBRADI OTPADNIH TVARI U VODAMA.....	38
5.2	UKLANJANJE SUSPENDIRANIH TVARI.....	40
5.3	UKLANJANJE ORGANSKIH TVARI.....	41
5.4	UKLANJANJE DUŠIKA.....	42
5.5	UKLANJANJE FOSFORA.....	44
5.6	UKLANJANJE MIKROORGANIZAMA.....	45
6	ZAKLJUČAK.....	45

# 1 UVOD

Onečišćenja površinskih i podzemnih voda su sve češći oblici onečišćenja okoliša u suvremenom svijetu. Postoji mnogo razloga koji dovode do ovog problema uključujući i one najistaknutije kao što su intenzivan razvoj poljoprivredne i industrijske proizvodnje, porast broja stanovnika te ispuštanje otpadnih voda u okoliš bez prethodnog njihovog pročišćavanja.

Ključno je potražiti učinkovito rješenje ovako velikog problema onečišćenja. Kako bi se ispunili kriteriji, vezani uz tehnologiju obrade otpadnih voda, koje nudi današnjica kao što su niski pogonski troškovi, mogućnost ponovne uporabe vode u industriji ili pri navodnjavanju te učinkovitost pri promjenama režima rada uređaja može se pristupiti jednom od rješenja, a to je primjena biljnih uređaja za obradu otpadnih voda.

Biljni uređaji svoj rad temelje na karakteristikama prirodnih močvarnih sustava. U pročišćavanju otpadne vode su uključene i mikrobiološke skupine. Osnovna razlika između prirodnih močvarnih sustava i biljnih uređaja je u tome što se kod pročišćavanja otpadnih voda biljnim uređajima proces provodi u kontroliranim uvjetima.

Iako se u Europi danas biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda primjenjuju u većoj mjeri, uporaba biljnih uređaja u Republici Hrvatskoj je još uvijek mala, a među postojeće se ubrajaju biljni uređaji u autokampu Glavotok na otoku Krku, u autokampu Biljar na otoku Cresu, u Žimnju, u Gorčici Sisak te u Vinogradcima kraj Valpova.

U daljnjem tekstu će biti riječ o važnosti obrade otpadnih voda primjenom upravo ovakvih uređaja, kao i o načinu njihove izgradnje, vrstama te primjeni. Važno je podignuti svijest kod stanovništva o očuvanju čistoće okoliša uključujući i vodu, a primjena ovakvih uređaja može poslužiti kao vrlo učinkovito rješenje.



## 2 OTPADNE VODE

### 2.1 VRSTE OTPADNIH VODA PREMA IZVORU NJIHOVOG NASTANKA

Pod okriljem ljudskog utjecaja uključujući unošenje, ispuštanje ili odlaganje u vode otpadnih i drugih tvari te toplinske energije dolazi do promjene kakvoće vode. Odtuda dobivaju i sam naziv, otpadne vode. Ovisno o izvoru nastanka otpadnih voda, u njima se mogu naći otpadne tvari u različitim količinama i vrstama.

#### 2.1.1 KOMUNALNE OTPADNE VODE

Komunalne otpadne vode uključuju otpadne vode iz javnih prostora, kućanstava te malih industrijskih pogona. Isto tako, razrijeđene do koncentrirane mješavine urina, papira, deterdženata, fekalija, plastike, kemikalija i masnoća iz industrije i domaćinstava pripadaju okviru komunalnih otpadnih voda. Uslijed pritoka otpadnih voda od pranja automobila, iz restorana ili pak praonica dolazi do povećanja ove vrste otpadnih voda. Njezin protok je konstantan, uz satne, dnevne i sezonske varijacije (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

#### 2.1.2 INDUSTRIJSKE OTPADNE VODE

Ove otpadne vode su specifične za svaki pojedini proizvodni proces jer i potječu od različitih postrojenja te procesa koji se odvijaju u velikim i malim industrijama. Različite procijedne vode koje nastaju procijeđivanjem kišnice kroz otpad koji nije pokriven, što se često događa na odlagalištima otpada, također pripadaju ovoj skupini voda. Njezina definicija uključuje i razrijeđenu do koncentriranu mješavinu emulzija nekoliko ili mnogo biorazgradivih i/ili nerazgradivih kemikalija (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

### **2.1.3 POLJOPRIVREDNE OTPADNE VODE**

Uslijed stalnih poljoprivrednih aktivnosti vezanih uz različite grane uzgoja i proizvodnje kao što su mljekarstvo, tovilišta, ribarstvo ili svinjogojske farme dolazi do nastanka poljoprivrednih otpadnih voda. To su razrijeđene do koncentrirane otopine biorazgradivih tvari te se provode kroz postupak obrade tj. pročišćavanja vrlo malo ili se pak uopće ne provode (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

### **2.1.4 OBORINSKE OTPADNE VODE**

Za ovu vrstu otpadnih voda je karakteristična tipično razrijeđena smjesa mineralnih i organskih krutina te otopljenih soli, nutrijenata i tvari koje se javljaju u tragovima. One uključuju slivne vode sa seoskih, gradskih te prigradskih površina. Neke od njih se obrađuju kao što su vode sakupljene s prometnih površina (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

## **2.2 UZROCI ZAGAĐENJA OTPADNIH VODA**

Uslijed nakupljanja određenih tvari u otpadnim vodama u koncentracijama koje mogu štetno djelovati na okoliš, nužna je primjena nekog procesa obrade pri kojemu će se djelovati na smanjenje njihovog nakupljanja ili pak na potpunu eliminaciju prije ponovnog korištenja te vode ili prije njezinog ispuštanja u okoliš. Što se tiče mirisa i boje otpadnih voda, miris najčešće komunalnih otpadnih voda potječe od plinova koji nastaju pri razgradnji otpadnih tvari u tim vodama i to hidrogen sulfida koji nastaje anaerobnom mikrobiološkom razgradnjom gdje se sulfat reducira u sulfid. Boja otpadnih voda oscilira od sivo-smeđe do crne te se javlja najčešće zbog metalnih sulfida. Sukladno tome, boja i miris otpadne vode mogu poslužiti za kvalitativno određivanje starosti vode (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Tvari koje zagađuju vode kao i njihove posljedične aktivnosti su navedene u **Tablici 1.**

Tablica 1. Onečišćivači u otpadnim vodama (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.)

ONEČIŠĆIVAČ	VAŽNOST
TEŠKI METALI	Izvori teških metala mogu biti komercijalne ili industrijske aktivnosti. Ukoliko će otpadna voda nakon obrade ponovno ići u uporabu, tada ih je potrebno ukloniti.
HRANJIVE TVARI	Ove tvari uključuju dušik, fosfor i ugljik te ukoliko se ispuste u vodeni okoliš, doći će do povećanog razvoja biljnih i životinjskih vrsta. Ukoliko se u poprilično velikoj količini ispuste u tlo, kao posljedica toga može doći do zagađenja podzemnih voda.
SUSPENDIRANE TVARI	Naslage mulja i anaerobni uvjeti mogu nastati njihovim posredstvom, ukoliko se otpadna voda ispusti u okoliš, a ne bude podvrgnuta prethodnoj obradi.
PATOGENI	Njihovom prisutnošću u vodi se mogu prenijeti zarazne bolesti.
STABILNI ORGANSKI SPOJEVI	Tu se ubrajaju površinski aktivne tvari, fenoli i pesticidi. Njih je vrlo teško ukloniti konvencionalnim metodama obrade.
BIORAZGRADIVE ORGANSKE TVARI	Sastoje se od masnoća, ugljikovodika, proteina te se mogu odrediti pomoću KPK (kemijska potrošnja kisika) ili BPK (biološka potrošnja kisika). Može doći do iscrpljivanja prirodnih izvora kisika i razvoja septičnih uvjeta, ukoliko je ova vrsta organskih tvari prisutna u većoj količini u otpadnoj vodi koja bi se kao neobrađena ispustila u okoliš.
OTOPLJENI ANORGANSKI SPOJEVI	Ukoliko će se otpadna voda nakon obrade ponovno upotrijebiti, kalcij, natrij i sumpor kao anorganski spojevi se moraju ukloniti iz vode.

## 2.3 NAČINI OBRADNE OTPADNIH VODA

Komunalne, industrijske, oborinske i poljoprivredne otpadne vode je potrebno pročišćavati određenim tehnološkim postupcima prije ispuštanja u okoliš jer može doći do

nakupljanja onečišćenja koja prelaze granice prihvatljivosti za sigurnost okoliša. Ti procesi obrade uključuju:

- fizikalne procese obrade koji obuhvaćaju miješanje i taloženje ili sedimentaciju, flotaciju, filtraciju, otplinjavanje i odmuljavanje;
- kemijske procese obrade otpadnih voda koji uključuju precipitaciju, adsorpciju i dezinfekciju kao metode te se nepoželjni onečišćivači uklanjaju dodatkom kemikalija ili induciranjem kemijskih reakcija;
- biološke procese koji obuhvaćaju primjenu aktivnog mulja, biofiltera i drugih nosača mikroorganizama kako bi se proveo postupak nitrifikacije, denitrifikacije te uklanjanje fosfora (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda obuhvaćaju:

- predobradu,
- primarnu obradu,
- sekundarnu,
- tercijarnu obradu otpadnih voda (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Predobrada otpadnih voda se primjenjuje u cilju uklanjanja krutog otpada, grubih suspendiranih tvari koje mogu prouzročiti začepjenja sustava te eliminiranje većih količina površinskih nečistoća kao što su ulja ili masti koji se mogu ukloniti pomoću flotatora. U procesu predobrade se provode fizikalni procesi obrade otpadnih voda (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Primarna obrada je postupak pročišćavanja otpadnih voda koji podrazumijeva uklanjanje većih količina suspendiranih tvari te dio organskih tvari. Na samom početku postupka se provodi sedimentacija kako bi se reducirala koncentracija ukupnih suspendiranih tvari te se na taj način dobiva sedimentirani talog koji se izdvaja i odlazi na daljnju obradu. Ovi postupci najčešće podrazumijevaju fizikalne procese obrade otpadnih voda (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Sekundarna obrada otpadnih voda se ponajviše temelji na upotrebi bioloških procesa obrade gdje je cilj putem laguna, bazena, tankova ili na čvrstim površinama potaknuti rast algi, gljiva ili bakterija koji služe kako bi se pomoću njihovog rasta i sposobnosti razgradnje iz onečišćene vode uklonile preostale krute i otopljene organske tvari (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Nakon sekundarne obrade otpadnih voda biljnim uređajima, dobiveni sekundarni efluent može ići na:

- konačni ispušt;
- tercijarnu obradu i ispušt;
- ponovnu uporabu ili navodnjavanje (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Kako bi se iz otpadnih voda uklonile hranjive tvari poput dušika i fosfora, koriste se biološki procesi koji se svrstavaju u tercijarne procese obrade otpadnih voda.

## **3 BILJNI UREĐAJI ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA**

### **3.1 UVODNE ZNAČAJKE O BILJNIM UREĐAJIMA**

Biljni uređaj se zasniva na primjeni odlika močvarnog sustava. Takvi uređaji se projektiraju izvan prirodnog staništa kako bi se provodilo kontrolirano pročišćavanje otpadne vode. Močvarni sustavi se mogu definirati kao površine koje su veći dio godine potopljene vodom jer su smještene na nepropusnim ili slabo propusnim tlima. U močvarama rastu različite biljne vrste koje su se prilagodile rastu i u uvjetima s izrazito velikim količinama vode, ali i u uvjetima bez njih. Močvarni sustavi svoj rad zasnivaju na rastu korjenastih biljnih vrsta

koje obrađuju otpadne vode i smještene su u plitkim naplavljenim ili zasićenim sedimentima. U takvoj okolini, se formira anaerobni sedimentni i zemljani sloj te je valjano naglasiti da i pri takvim anaerobnim uvjetima tj. uvjetima bez kisika određene biljne vrste uspiju rasti i razvijati se te sudjelovati kao dio medija za pročišćavanje otpadnih voda (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Biljni uređaji se zapravo smatraju umjetnim močvarnim sustavima koji uklanjanje onečišćujućih tvari iz otpadne vode provode pomoću fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa. Osnova procesa se sastoji u tome što voda protječe kroz sredinu koja uključuje mikroorganizme, supstrat i biljke (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Pri odabiru prostora za smještaj biljnog uređaja treba uzeti u obzir da to budu prostori koji su nekada bili dio močvarnog sustava tj. trajno presušena močvarna tla ili pak područja uz močvare, dok se smještaj biljnog uređaja u depresiju smatra izrazito nepoželjnim i to bi se trebalo izbjegavati (Malus i Vouk, 2012.).

Biljni uređaji se koriste za pročišćavanje svih vrsta otpadnih voda, ali najviše za:

- pročišćavanje komunalnih otpadnih voda skupina kuća, farmi, naselja, kampova,
- otpadnih voda s autocesta,
- procjednih voda iz uređenih odlagališta otpada te voda koje sadrže otrovne tvari (teške metale, pesticide, fenole),
- pročišćavanje obojenih voda iz tekstilne industrije i organski onečišćenih otpadnih voda iz prehrambene industrije,
- sušenje mulja,
- zagađene oborinske vode s poljoprivrednih površina (netočkasto zagađenje),

- kondicioniranje pitke vode te zaštite izvora pitke vode, podzemnih voda i jezera,
- kućanstava kojima je udaljen priključak na javnu kanalizacijsku mrežu (Mudrovčić, 2015.).

### 3.2 VRSTE BILJNIH UREĐAJA

Uzimajući u obzir smještaj biljnih uređaja i način njihova nastanka, dijele se na:

- ❖ prirodne biljne uređaje – obrada otpadnih voda na lokacijama gdje su prirodno nastali za što se koriste močvarni sustavi;
- ❖ umjetno izvedeni biljni uređaji – podrazumijevaju mjesto gdje ti uređaji nisu nastali prirodnim putem (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Umjetno izvedeni biljni uređaji dijele se na:

- ❖ biljne uređaje sa slobodnim vodnim licem (BUSV) (eng. *Free water surface system*);
- ❖ biljne uređaje s potpovršinskim tokom (BUPT) (eng. *Subsurface flow system*) (Malus i Vouk, 2012.).

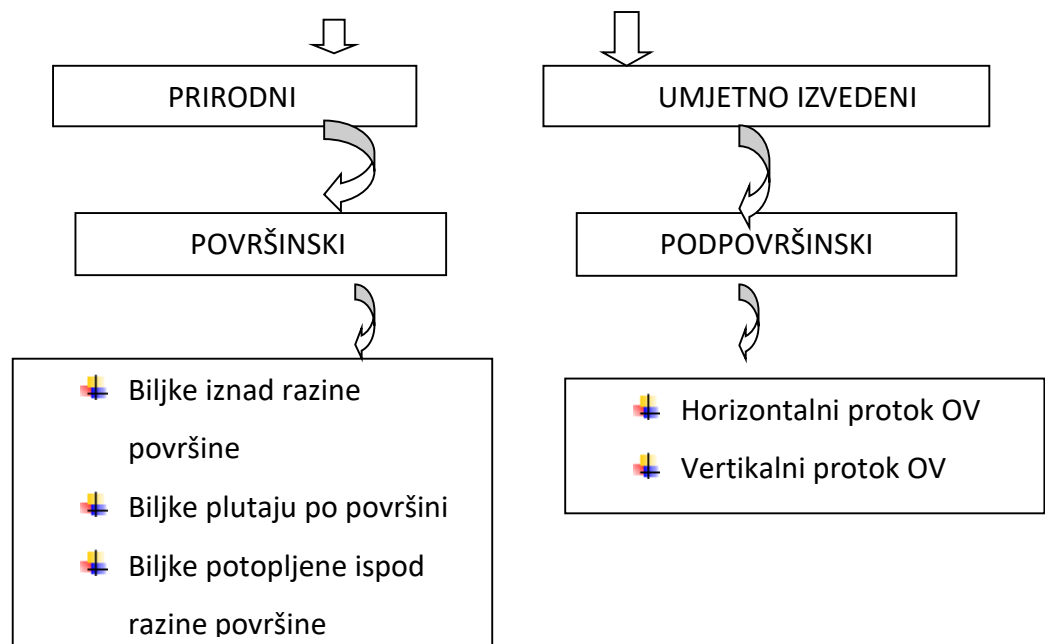
Biljni uređaji sa slobodnim vodnim licem, ovisno o biljkama koje u njemu rastu, dijele se na:

- ❖ biljni uređaji kojima dijelovi zasađenih biljaka izlaze iznad površine vode;
- ❖ biljni uređaji u kojima dijelovi biljaka plutaju po površini vode;
- ❖ biljni uređaji u kojima su biljke potopljene ispod razine vode (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Podpovršinski biljni uređaji, ovisno o smjeru toka vode kroz njih, mogu imati:

- ❖ horizontalni tok otpadne vode (BUHPT);
- ❖ vertikalni tok otpadne vode (BUVPT).

Prethodno spomenute podjele biljnih uređaja su dani na **Shemi 1.**



Shema 1. Podjela biljnih uređaja za obradu otpadnih voda (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.)

### 3.2.1 BILJNI UREĐAJI SA SLOBODNIM VODNIM LICEM

Trska, rogoz i šaš su najčešće zasađene biljke karakteristične za ovaj tip biljnog uređaja i izlaze iznad površine vode. Ova vrsta biljnih uređaja se često koristi kao tercijarna faza obrade otpadnih voda te ih se rijetko može naći u uporabi kao samostalne uređaje (Malus i Vouk, 2012.).



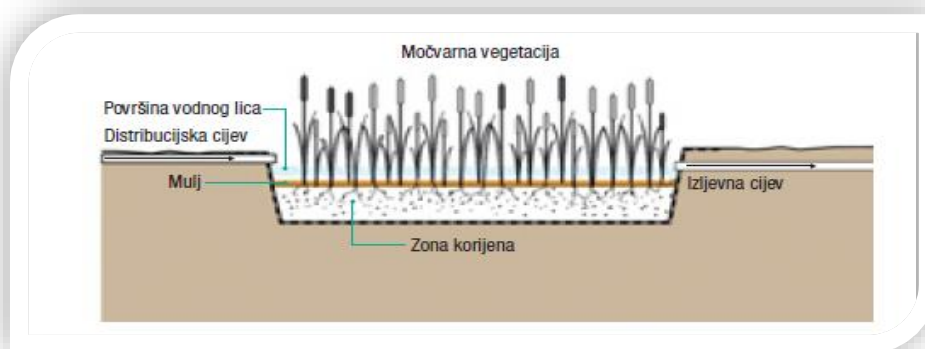
Slika 1. Prikaz biljnog uređaja sa slobodnim vodnim licem (Malus i Vouk, 2012.)



Strukturno gledano, ovi biljni uređaji uključuju plitke međusobno povezane bazene i kanale. Kako bi se spriječilo procjeđivanje otpadne vode u podzemlje, koristi se vodonepropusni sloj koji oblaže pokose i dno bazena i kanala (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.). Geomembrana ili glina male propusnosti čini zaštitni sloj koji omogućuje vodonepropusnost. Češću uporabu ipak ima geomembrana koja mora biti otporna na različite utjecaje koji uključuju UV, smrzavanje, agresivan utjecaj otpadnih voda, mehanička oštećenja supstratom te korištenjem biljaka. Za izradu geomembrane se najčešće koriste materijali od plastike. Uporaba gline male propusnosti donosi veće ekonomske gubitke jer je skupa za nabavu i ugradnju (Malus i Vouk, 2012.).

Prethodno navedene biljne vrste koje su karakteristične za ovaj tip uređaja se sade u sloj zemlje koja je postavljena preko vodonepropusnog sloja te se potom sustav poplavljuje (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Distribucijska cijev može biti konstruirana tako da se nalazi ispod površine vode ili iznad zbog čega voda može slobodno dotjecati u bazen (Malus i Vouk, 2012.).



Slika 2. Shema biljnog uređaja sa slobodnim vodnim licem (Malus i Vouk, 2012.)

Tip ovakvog uređaja podsjeća na prirodni močvarni sustav, te su vrlo uspješni u uklanjanju ukupnog dušika za razliku od fosfora (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Biljne vrste kao što su lopoč i vodena leća se vrlo često i u prirodi mogu vidjeti kako plutaju po površini vode. Međutim, postoje i biljni uređaji koji koriste ovakve biljke za uklanjanje hranjivih tvari te za kontrolu rasta algi u otpadnoj vodi. Važnost ovih biljnih vrsta je u tome što one preko biljne mreže, koju stvaraju, reduciraju prolazak svjetlosti u vodu, nošenje biljaka vjetrom i turbulenciju. Pomoću njih se omogućuje lako taloženje suspendiranih tvari (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

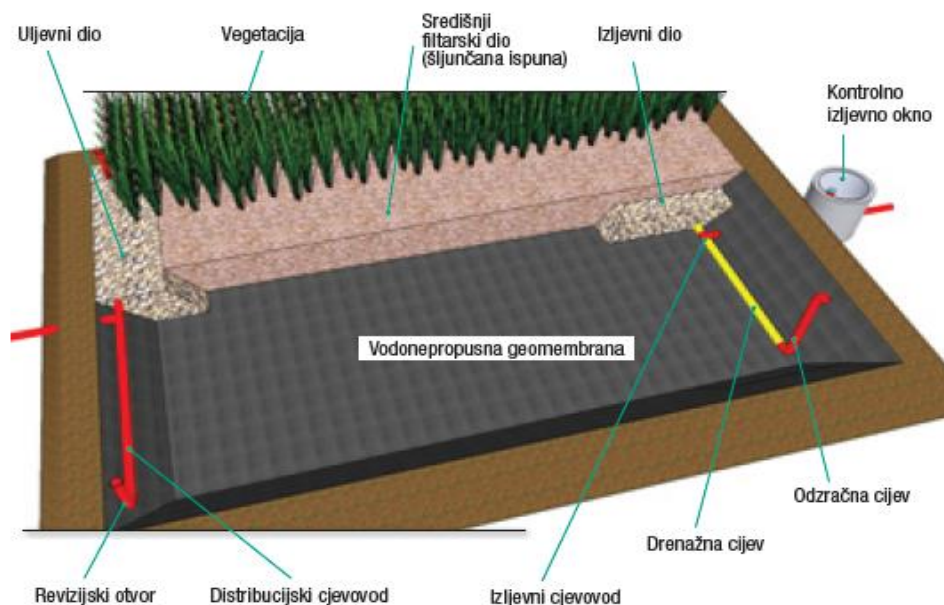


*Slika 3. Biljni uređaji u kojima dijelovi biljaka plutaju po površini vode (Malus i Vouk, 2012.)*

### **3.2.2 BILJNI UREĐAJI S PODPOVRŠINSKIM TOKOM**

Ovaj tip biljnih uređaja, strukturno gledajući, se sastoji od jednoga ili više bazena gdje protječe otpadna voda kroz supstrat. Pod supstratom se podrazumijeva medij različite granulacije. Kao supstrat se često koriste granulirani mediji kao što su pijesak, kamen manje granulacije ili šljunak. Nepropusni sloj se nalazi na dnu bazena, dok se na površini, koja može biti mokra ili suha, nalaze zasađene posebno odabrane biljke čije korijenje prolazi kroz supstrat. U ovakvom uređaju su osigurani uvjeti koji ne uključuju kontakt s atmosferom. Pročišćavanje otpadne vode se provodi pomoću mikroorganizama koji se pričvršćuju za korijenje i supstrat (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

**PODPOVRŠINSKI BILJNI UREĐAJ S HORIZONTALNIM PROTOKOM** je uređaj gdje biljke najvećim dijelom služe kao prijenosnik kisika u vodeni medij. Tu je prisutna zasićenost supstrata jer voda ulazi u biljni uređaj i struji kroz njega horizontalno sve do izlaza. Posebna važnost primjene ovakvog uređaja leži u njegovoj jednostavnosti, stoga ga mogu koristiti i područja bez komunalne infrastrukture kako bi se proveo postupak pročišćavanja komunalnih otpadnih voda (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).



Slika 4. Dijelovi biljnog uređaja sa horizontalnim podpovršinskim tokom (Malus i Vouk, 2012.)

Supstrat krupnije granulacije, kao što su već prije spomenuti šljunak, pijesak, kamen popunjavaju dio gdje se ulijeva otpadna voda. U središtu je postavljen glavni dio, a to je filtarski dio sa šljunčanim supstratom. Krupni šljunak i kamen, kao supstrati krupnije granulacije, nalaze se na izljevnom dijelu ovog biljnog uređaja (Malus i Vouk, 2012.).

Bazen ispunjen česticama različitog granulacijskog sastava potrebit za filtraciju ili distribucijska građevina, na čijoj se osnovi radi smještaj ulaza, ima funkciju u osiguravanju jednolikog toka otpadne vode (Mudrovčić, 2015.).

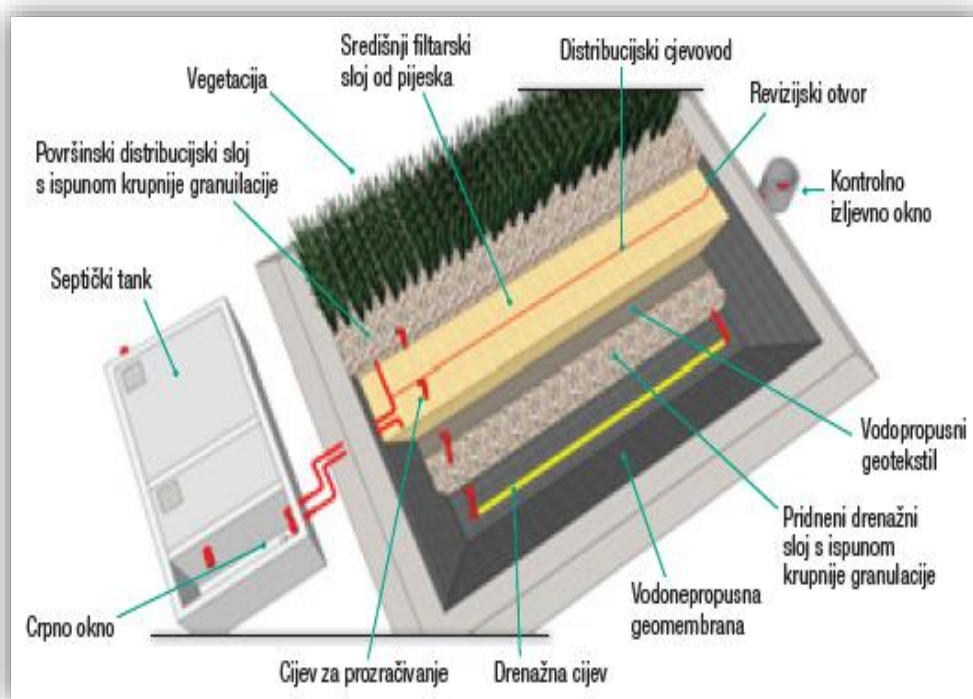
Tijek protjecanja otpadne vode se provodi na način da otpadna voda istječe iz distribucijske cijevi kroz male otvore koji su smješteni na odgovarajućim razmacima, a potom prolazi kroz supstrat krupne granulacije. Glavni i središnji filtarski dio je smješten pod malim nagibom, te voda nastavlja protjecati tim dijelom. Tu se pročišćavanje otpadne vode najintenzivnije odvija i on zauzima i najveći dio uređaja. Na kraju procesa pročišćenu vodu prikuplja drenažni cjevovod po cijeloj svojoj širini, a smješten je na dnu izljevne građevine. Nakon kontrolnog okna, krajnji primatelj ove pročišćene vode je nekakva prirodna sredina kao što je more, jezero ili rijeka (Malus i Vouk, 2012.).

**PODPOVRŠINSKI BILJNI UREĐAJI S VERTIKALNIM PROTOKOM** sadrže supstrat koji nije uvijek zasićen, što omogućuje lakši transport kisika iz atmosfere u vodenu sredinu. Proces se

ubraja među diskontinuirane procese obrade. Razlog tome je što se pomoću manje crpke postiže isprekidan dotok vode na uređaj čime se postiže da supstrat nije uvijek zasićen što osigurava prevladavanje aerobnih uvjeta razgradnje organskih tvari i nitrifikacije. Proces obrade ovim uređajima obuhvaća postupak procjeđivanja vode koja se potom sakuplja na dnu te odvodi perforiranim cijevima do izlaza (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Glavna karakteristika ovog tipa uređaja je što otpadna voda protječe okomito kroz supstrat biljnog uređaja što se osigurava pod djelovanjem gravitacijske sile (Malus i Vouk, 2012.).

Supstrat koji je sačinjen od krupnog šljunka predstavlja površinski sloj, dok supstrat od srednjeg do krupnog šljunka čini središnji filtarski sloj koji se i prozračuje što osigurava aerobne uvjete razgradnje tvari. Treći dio uređaja ima naziv pridneni drenažni sloj kojega čini supstrat od krupnog šljunka (Malus i Vouk, 2012.).



Slika 5. Osnovni dijelovi biljnog uređaja s vertikalnim podpovršinskim tokom (Malus i Vouk, 2012.)

Otpadna voda se prije svega mora izbistriti te kao takva ulazi u biljni uređaj. Voda ulazi u uređaj pomoću ravnomjerno raspoređenih cijevi koje se nalaze na površini supstrata ili pak u unutrašnjosti površinskog sloja. Glavni dio uređaja predstavlja središnji filtarski sloj koji ima

i najveću debljinu za razliku od prethodna dva sloja. Do kontrolnog okna voda dolazi pomoću drenažnih cjevovoda koji su smješteni u trećem sloju tj. u pridnenom drenažnom sloju. U konačnici, voda nakon ovakvog procesa pročišćavanja otječe do krajnjeg primatelja (Malus i Vouk, 2012.).

Kod podpovršinskih biljnih uređaja, ukoliko je prisutna dovoljno velika površina uređaja (>50 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>d) te ukoliko se tretman provodi na primarnom taložniku, može se ukloniti više od 90 % organskog opterećenja. Ovakav tip uređaja je pogodan za uklanjanje ukupne suhe tvari (UST) te BPK<sub>5</sub> iz otpadnih voda. Manje su pogodni za uklanjanje dušika i fosfora. Ukoliko je cilj dugoročnije uklanjanje fosfora, koji je velikim dijelom vezan za organske tvari, tada je pogodna uporaba horizontalnih sustava. Uklanjanje dušičnih spojeva se može postići učinkovitije putem vertikalnih sustava. Uobičajena primjena podpovršinskih biljnih uređaja je za sekundarnu obradu otpadnih voda (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.). Osnovne prednosti i nedostaci vertikalnog i horizontalnog biljnog uređaja su dani u **Tablici 2.**

Tablica 2. Prednosti i nedostaci vertikalnog i horizontalnog biljnog uređaja (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.)

	PREDNOSTI	NEDOSTATCI
VERTIKALNI PROTOK	Jednostavna hidraulika	Visoki tehnički zahtjevi
	Manja površina	Kratak put prolaska otpadne vode
	Dobra opskrba kisikom – dobra nitrifikacija	Slaba denitrifikacija
	Visoke karakteristike pročišćavanja od početka rada	Slabo uklanjanje fosfora
HORIZONTALNI PROTOK	Moguća nitrifikacija i denitrifikacija	Potrebna detaljnija hidraulička kalkulacija za optimalan unos kisika
	Dulje vrijeme trajanja	Teže je postići kontinuiranu dobavu otpadne vode
	Stvaranje huminske kiseline za uklanjanje dušika i fosfora	
	Mogući dulji put otpadne vode	Veća površina

### 3.2.3 HIBRIDNI BILJNI UREĐAJI

Hibridni ili višestupanjski biljni uređaj (HBU) se sastoji od dva ili više serijski povezana bazena s različitim tipovima biljnog uređaja (Malus i Vouk, 2012.). Njime se postiže veći učinak

kod pročišćavanja vode osobito uklanjanje patogenih mikroorganizama te dušika. Na samom početku sustava je ugrađen biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom. Razlog tomu je njegova pogodnost za nitrifikaciju zbog aerobnih uvjeta koji prevladavaju. Nasuprot tome, za denitrifikaciju se koristi biljni uređaj s horizontalnim podpovršinskim tokom jer u njemu vladaju anaerobni uvjeti tj. uvjeti bez prisustva kisika. Na kraju samog sustava se nalazi biljni uređaj sa slobodnim vodnim licem. Zadatak tog krajnjeg uređaja je poliranje pročišćene otpadne vode. Ovakav sustav predstavlja hibridni biljni uređaj koji zapravo obuhvaća brojne prednosti pojedinog biljnog uređaja i povezuje ih u jednu cjelinu.

### **3.3 KISIK U BILJNIM UREĐAJIMA**

Kisik je teško topljiv u vodenoj sredini iako je prisutan u atmosferi u značajnoj količini s udjelom od 21 % vol. Stoga, rast mikroorganizama i biljaka u biljnim uređajima uvelike ovisi o njegovoj prisutnosti.

Koncentracija kisika otopljenog u vodi ovisi o:

- a) temperaturi;
- b) otopljenim solima;
- c) biološkoj aktivnosti koja se odvija u tom mediju (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Kisik otopljen u otpadnoj vodi koja prolazi kroz određeni biljni uređaj je posljedica:

- a) procesa fotosinteze,
- b) fizikalnog prijenosa kisika iz zraka u vodu,
- c) prijenosa kisika zbog prolaska vode kroz supstrat i
- d) prijenosa kisika iz biljke u vodu (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

### 3.3.1 KISIK U PODPOVRŠINSKOM BILJNOM UREĐAJU

U ovim uređajima uglavnom prevladavaju procesi prijenosa kisika zbog prolaska vode kroz supstrat i prijenosa kisika iz biljke u vodu. Kisik dobiven procesom fotosinteze je prisutan u malom udjelu zbog gustoće vegetacije i supstrata (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Kako bi se postigla dodatna količina kisika, grade se podpovršinski biljni uređaji gdje se ispod površine krutog granuliranog supstrata smješta vodeni medij.

Biljke su se prilagodile ovim uvjetima okoline te imaju sposobnost prijenosa kisika iz nadzemnog dijela do rizoma u sitno korijenje aerenhima te tim procesom osiguravaju svom korijenju kisik iz atmosfere. Za to je zaslužno aerenhimsko tkivo smješteno u stabljici i korijenju helofita. Određena količina plinova kao što su  $O_2$ ,  $CO_2$  i  $N_2$  se prenose putem cijevnih sustava – aerenhima te putem kapilara smještenih u mrtvim dijelovima bilja. Kisik u zoni korijena ovakvog močvarnog bilja je važan zbog procesa disanja ili respiracije (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

### 3.3.2 KISIK U POVRŠINSKOM BILJNOM UREĐAJU

U ovakvim biljnim uređajima kisik se najčešće prenosi putem fotosinteze te fizikalnim prijenosom iz zraka u vodu.

Perifitoni tj. specifične zajednice algi koje prekrivaju površine potopljenog bilja, kamenja ili drveća te planktoni su prilagođeni uvjetima gdje se proces fotosinteze provodi ispod površine vode. Sunčeva svjetlost je važna za ovaj tip procesa. Prijenos kisika u vodu se odvija submerzno. Povišenje razine kisika do 15 – 20 mg/L se može postići uslijed velike zastupljenosti algi (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Kod fizikalnog prijenosa kisika iz zraka u vodu, prijenos kisika se provodi na osnovu procesa difuzije kisika kroz granicu faza zrak – voda, a potom u vodeni medij sustava. U tankom površinskom sloju vode vladaju uvjeti zasićenosti otopljenim kisikom. Ispod površine vode prijenos kisika se vrši putem molekularne difuzije i makroskopskog gibanja vodene mase. Proces difuzije je karakterističan za vode stajaćice. U močvarnim sustavima može doći do pojave vertikalnog gibanja uslijed strujanja vodenog medija čak i ako je prisutna jako niska razina vode (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

### 3.4 TEMPERATURA I pH OTPADNIH VODA U BILJNIM UREĐAJIMA

Temperatura otpadnih voda se kreće u intervalu od 10 – 21 °C. Temperatura okoliša i vodenog medija oscilira zbog brojnih čimbenika. Varijacije temperature vodene sredine se dijele na dnevne i sezonske. Solarna oscilacija tj. izmjena dana i noći pripadaju dnevnim oscilacijama. Sukladno s tom činjenicom, temperatura vode prati temperaturne oscilacije atmosfere. Učinak biljnog uređaja ovisi znatno o promjeni godišnjeg doba što je primjer sezonskih temperaturnih oscilacija (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Temperatura je važan parametar za brojne procese vezane uz pročišćavanje otpadnih voda, pa tako i za brzine kemijskih reakcija koje se u njoj provode. Povećanjem temperature zraka smanjuje se topljivost kisika. Povoljna temperatura za aktivnost mikroorganizama je od 25 – 35 °C.

pH vrijednost vodene sredine je značajna za brojne kemijske i biološke procese koji se odvijaju u biljnim uređajima. Za provođenje procesa izmjene kationa su važni ioni vodika koji su dio kationskog sadržaja vodene sredine u biljnom uređaju. pH karakteristična za prirodne močvare varira od jako kiselih vrijednosti (pH 3 – 4) pa do blago lužnatih ( pH 7 – 8). Pogodna pH vrijednost za veći dio bakterija se kreće od 4 – 9,5 (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

### 3.5 BILJNA VEGETACIJA U MOČVARNIM SUSTAVIMA

U močvarnim sustavima se većinom koriste biljne vrste koje imaju razvijenu prilagodbu na različite vremenske uvjete uključujući obilne padaline, suše, velike temperaturne oscilacije i dr.

Te biljne vrste uključuju:

- ❖ trsku (lat. *Phragmites australis*),
- ❖ žutu peruniku (lat. *Iris pseudacoris*),
- ❖ lopoč (lat. *Nymphaea alba*),
- ❖ rogoz (lat. *Typha latifolia*),
- ❖ vodena leća (lat. *Lemna minor L.*),
- ❖ uspravni ježinac (lat. *Sparganium erectum*),
- ❖ šaš (lat. *Carex sp.*),
- ❖ obični oblič (lat. *Scirpus lactustris*) (Malus i Vouk, 2012.).



Poželjna je uporaba autohtonih močvarnih vrsta. Neke egzotične vrste bi mogle djelovati invazivno.

Močvarna vegetacija ima sljedeće važne uloge za ostvarivanje učinkovitog rada biljnog uređaja:

- a) vezivanje dijela otpadnih tvari iz vode, poglavito dušik i fosfor,
- b) u hladnijim mjesecima biljna vegetacija služi kao toplinski izolator te štiti vodu od smrzavanja što omogućuje razlaganje organske tvari,
- c) korijenje i stabljike povećavaju površinu za razvoj mikroorganizama,
- d) prijenos kisika se vrši preko listova, kroz stabljiku, sve do korijena,
- e) njihanjem stabljika na vjetru rahli se površinski sloj supstrata što sprječava začepljenje pora, a ujedno se i prenosi kisik iz atmosfere,
- f) uginula vegetacija služi kao hranjiva podloga za mikroorganizme koji provode pročišćavanje otpadnih voda,
- g) estetska uloga (Malus i Vouk, 2012.).

### 3.6 PREDNOSTI I NEDOSTATCI BILJNIH UREĐAJA

Iako se biljni uređaji koriste već duži niz godina, još uvijek se ne može preko jasno prikupljenih i relevantnih informacija pristupiti njihovom optimalnom projektiranju jer i dalje nema dovoljno prikupljenih podataka o njihovim karakteristikama. U posljednjih nekoliko desetljeća napravljena su brojna istraživanja vezana uz područje biljnih uređaja te su utemeljene njihove mogućnosti i ograničenja (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.). Neke od prednosti i nedostataka biljnih uređaja su dani u **Tablici 3.**

Tablica 3. Prednosti i nedostaci biljnih uređaja za obradu otpadnih voda

BILJNI UREĐAJI	
PREDNOSTI	NEDOSTATCI
Rad pri različitim klimatskim i sezonskim uvjetima	Relativno spori procesi obrade otpadne vode
Mogućnost uklanjanja nutrijenata i drugih zagađivala iz otpadne vode u manjim naseljima gdje izgradnja uređaja za pročišćavanje nije isplativa	Potreban pad terena, a ako ga nema mora se na nekakav način osigurati pomoću crpki
Visoka učinkovitost obrade procjedne vode s odlagališta	Relativno velika površina biljnih uređaja za obradu otpadne vode

Uspješno uklanjanje azo – boje iz otpadnih voda tekstilne industrije	Visoke vrijednosti normalnog zadržavanja otpadne vode
Mogućnost uklanjanja sulfata tamo gdje su mogući mehanizmi uklanjanja precipitacijom s teškim metalima te gdje su moguće mikrobiološke sulfatne redukcije	Osjetljivost na anaerobne uvjete
	Uklanjanje korova, naročito tijekom sezone rasta
Obrada otpadnih voda u biljnim uređajima uzrokuje minimalne troškove jer se uglavnom koristi sila gravitacije te unos dodatnih tvari koje nekada niti nisu potrebne za unositi	Potrebno je nekoliko sezona rasta da bi se postigla optimalna gustoća vegetacije za procese obrade otpadnih voda
Manja količina proizvedenog mulja te njegovo lakše zbrinjavanje za razliku od konvencionalnih sustava u obradi komunalnih otpadnih voda	

## 4 POSTUPCI IZGRADNJE BILJNOG UREĐAJA

### 4.1 PLANIRANJE IZGRADNJE BILJNOG UREĐAJA

Prije izgradnje biljnog uređaja, mora se napraviti postupak planiranja koji je isto tako složena, zahtjevna i vrlo važna etapa.

Prvi korak koji je potrebno izvršiti je odabrati adekvatan biljni uređaj koji će poslužiti kao pogodno rješenje za proces pročišćavanja otpadnih voda. Nakon toga je vrlo bitno odrediti kakav će taj uređaj biti tj. definirati adekvatnu vrstu biljnog uređaja koja će na najbolji način poslužiti u postupku pročišćavanja. To mogu biti već prethodno opisani biljni uređaji kao što su biljni uređaj sa slobodnim vodnim licem ili pak s vertikalnim ili horizontalnim podpovršinskim tokom.

Također, potrebno je i odrediti adekvatne biljne vrste koje će se koristiti u tom uređaju za pročišćavanje kao i supstrat. Biljke i supstrat se odabiru ovisno o karakteristikama biljnog uređaja koji će se upotrijebiti. Hoće li se koristiti biljke ispod površine, na površini vode ili kombinirano je potrebno uzeti u obzir ako se odabere površinski biljni uređaj. Hoće li otpadna

voda dotjecati u biljni uređaj horizontalno ili vertikalno je pak potrebno uzeti u obzir pri odabiru podpovršinskog biljnog uređaja (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Neizostavan je i odabir lokacije. Pri toj odluci mora se posebna pozornost obratiti na čimbenike kao što su sastav tla, klimatske karakteristike te topografske značajke, socioekonomske čimbenike i postojanje podzemnih voda (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Proces planiranja uključuje i sljedeće korake:

- a) donošenje odluke o prihvatljivosti izgradnje biljnog uređaja;
- b) definiranje postojećeg stanja, preliminarna analiza ograničavajućih čimbenika i prepoznavanje mogućih problema;
- c) pronalaženje najprihvatljivijeg rješenja definiranih problema;
- d) odabir kriterija za oblikovanje i dimenzioniranje biljnog uređaja;
- e) odabir koncepta i tipa biljnog uređaja (jedan ili serijski, slobodni ili podpovršinski tok, horizontalni ili vertikalni,...);
- f) oblikovanje i dimenzioniranje elementa odabranog tipa biljnog uređaja;
- g) plan izgradnje i opis izvođenja radova;
- h) plan rada i održavanja biljnog uređaja te praćenja rada biljnog uređaja (Malus i Vouk, 2012.).

Važni parametri pri dimenzioniranju biljnih uređaja su protok vode te kakvoća vode. Ulazna količina otpadne vode je ključna zbog određivanja kapaciteta biljnog uređaja. Koncentracija onečišćenja koju je nužno reducirati je važna jer predstavlja kakvoću otpadne vode. BPK<sub>5</sub>, KPK, UST, dušični spojevi, fosfati i bakterije su važni parametri kakvoće otpadne vode. I kod kakvoće otpadne vode i protoka kao važnih parametara pri dimenzioniranju biljnih uređaja se moraju sagledati i dnevne i sezonske i tjedne oscilacije. Ovi parametri se moraju sagledati prije izvršenja proračuna (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

## 4.2 PROJEKTIRANJE BILJNOG UREĐAJA

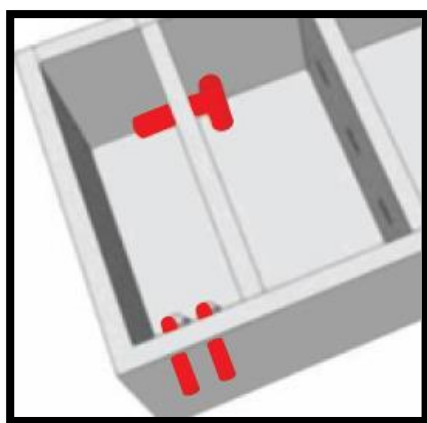
Projektiranje je postupak koji slijedi postupak planiranja biljnog uređaja i nije ništa manje zahtjevan u odnosu na planiranje. U ovom procesu se uzima u obzir koncentracija otpadnih tvari u vodi te protok otpadne vode na temelju čega se provodi oblikovanje i

dimenzioniranje pojedinih dijelova biljnog uređaja (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.). Svaki biljni uređaj obuhvaća predtretman i tijelo tj. bazen.

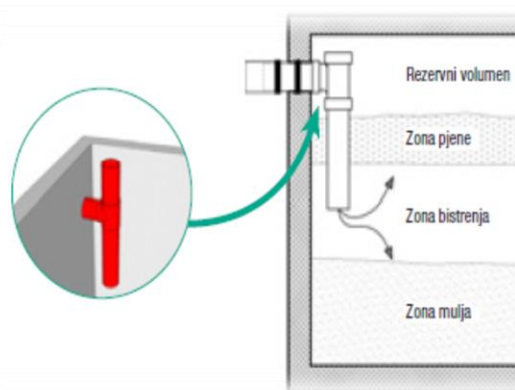
#### 4.2.1 PREDTRETMAN

Važnost ovog postupka kod pročišćavanja otpadnih voda je u sprječavanju mogućeg začepjenja porozne ispune tijela biljnog uređaja te eliminiranje mogućnosti neučinkovitog pročišćavanja. U ovom dijelu se provodi proces bistrenja gdje se uklanjaju onečišćujuće tvari kao što su suspendirane čestice, masti i ulja, a određenim dijelom i neke druge otpadne tvari. U predtretmanu se provodi postupak prvog stupnja pročišćavanja otpadne vode. Za predtretman je karakteristična uporaba septičkog tanka ili Imhofovog taložnika.

**SEPTIČKI TANK** obuhvaća dvije ili tri komore, moguće i četiri zbog smještaja crpke koja služi za prijenos vode iz tanka u bazen uređaja. Tank je smještan ispod zemlje. Prva komora služi za ulijevanje sirove otpadne vode, a u drugim dvjema se provodi postupak bistrenja. Poželjna je uporaba T-komada kako bi se provodilo slobodno i uronjeno dotjecanje otpadne vode u septički tank. Vremenski interval zadržavanja vode u septičkom tanku je od dva do četiri dana gdje se vrši taloženje te početak procesa biološke anaerobne razgradnje otpadnih tvari. 70 – 85 % obujma septičkog tanka zauzima otpadna voda.



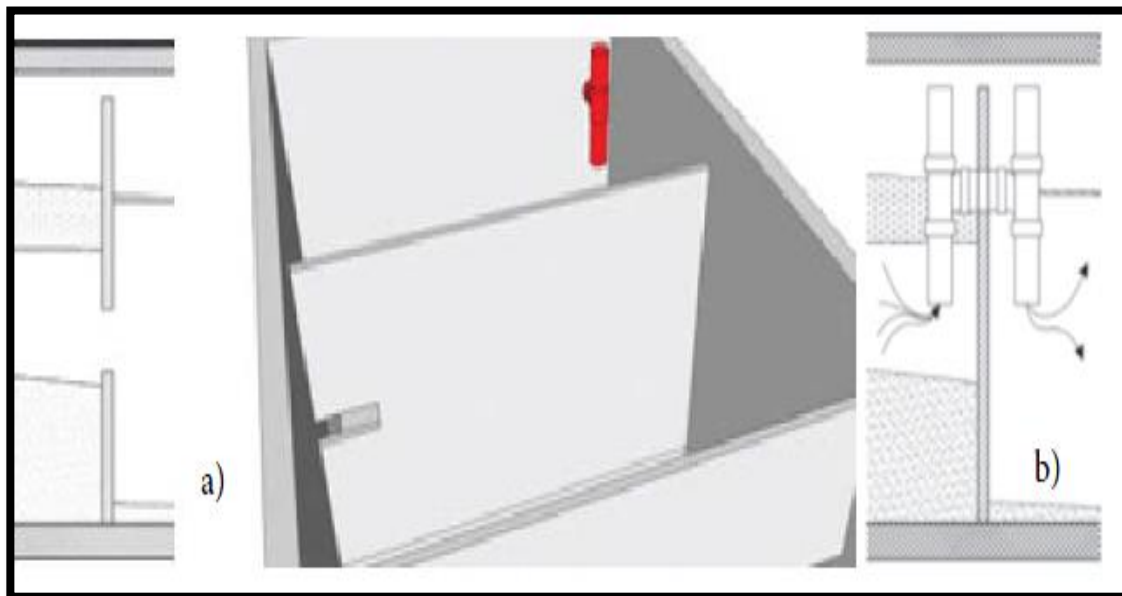
Slika 6. T-komad



Slika 7. Shematski prikaz septičkog tanka s uljevnim dijelom

Pregrade u septičkom tanku služe za odvajanje komora (Malus i Vouk, 2012.). Kroz njih protječe otpadna voda putem proreza koji se nalaze na pregradama ili pak preko H-cijevi.

Prethodno spomenuta H-cijev je smještena u zoni bistrenja s donje strane dok je zbog lakšeg održavanja s gornje strane slobodna.



Slika 8. a) Uronjena pregrada s prorezima ili b) H-cijevi

U okviru dimenzioniranja septičkog tanka potrebno je ostvariti sljedeće:

- ukoliko se tank sastoji od dvije komore, prva tj. uljevna komora zauzima 75 % ukupnog volumena;
- ukoliko se tank sastoji od tri komore, prva zauzima 50 – 60 % ukupnog volumena, a druge dvije su jednake (20 – 25 % od ukupnog volumena).

Omjer dužine i širine tanka iznosi 3:1 što upućuje na to da je septički tank izduženog oblika. Terenske značajke i ukupni volumen tanka su važni za parametar dubine vode koja se kreće od jedan i pol do tri metra.

Dio kojega zatvara površina vodenog lica u tanku sa zidovima i dnom tanka predstavlja korisni volumen tanka koji ne bi trebao biti manji od  $0,3 \text{ m}^3/\text{ES}$ , dok se ukupni volumen dobije ako se korisnom volumenu pridoda 15 – 30 % slobodnog prostora u svrhu prozračivanja i ujednačavanja dotoka vode.

#### 4.2.2 TIJELO ILI BAZEN BILJNOG UREĐAJA

Neki od mogućih problema koji se mogu pojaviti pri dimenzioniranju biljnih uređaja su:

- predimenzioniranje biljnog uređaja (u zimskim mjesecima može doći do smrzavanja vode, a u ljetnim do evapotranspiracije što predstavlja velik problem);
- prevelik omjer duljine i širine (povećanje hidrauličkog opterećenja poprečnog presjeka i opterećenja otpadnom tvari);
- nepravilno isplaniran uzdužni i poprečni pad (Malus i Vouk, 2012.).

Prilikom projektiranja biljnog uređaja važno je odrediti sljedeće:

- a) definiranje potrebnog kapaciteta, hidrauličko opterećenje, ulazno opterećenje otpadnom tvari te masene dotoke za pokazatelje kakvoće vode;
- b) površinu uređaja (trostruki umnožak broja ekvivalent stanovnika u svrhu postizanja 95% - tnog uklanjanja BPK<sub>5</sub>);
- c) volumen biljnog uređaja (masa vode koja se može smjestiti u bazen biljnog uređaja);
- d) dubinu podpovršinskog biljnog uređaja kako bi korijenje biljaka prodiralo kroz cijeli bazen i omogućilo aeraciju (optimalna je 0,27 m);
- e) odabir supstrata (materijali: pijesak, šljunak, lomljeni kamen, reciklirani otpadni materijal dobro poznatih značajki,...) (Malus i Vouk, 2012.).

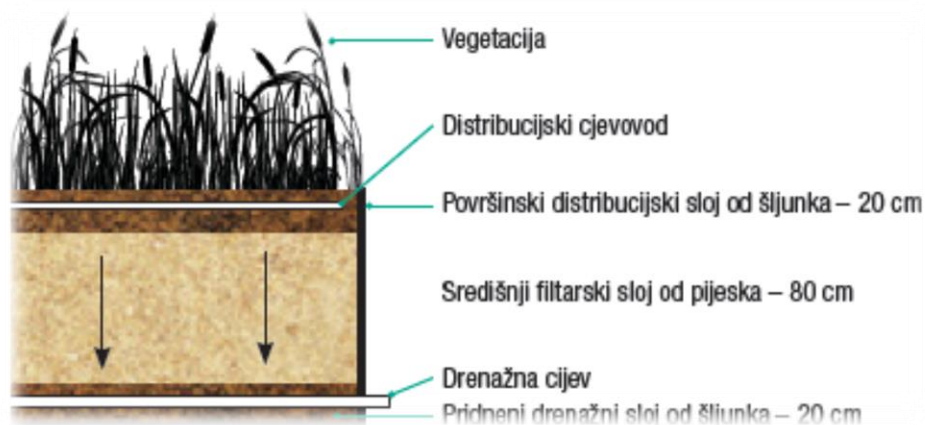
#### 4.2.2.1 PROJEKTIRANJE BILJNOG UREĐAJA S VERTIKALNIM PODPOVRŠINSKIM TOKOM

Ovaj tip biljnog uređaja se sastoji od tri osnovna sloja: površinski ili distribucijski sloj, središnji filtarski te pridneni drenažni sloj (Malus i Vouk, 2012.). Prilikom dimenzioniranja ovog tipa biljnog uređaja određuju se sljedeći parametri koji su navedeni u **Tablici 4**.

Tablica 4. Parametri pri dimenzioniranju BUVPT (Malus i Vouk, 2012.)

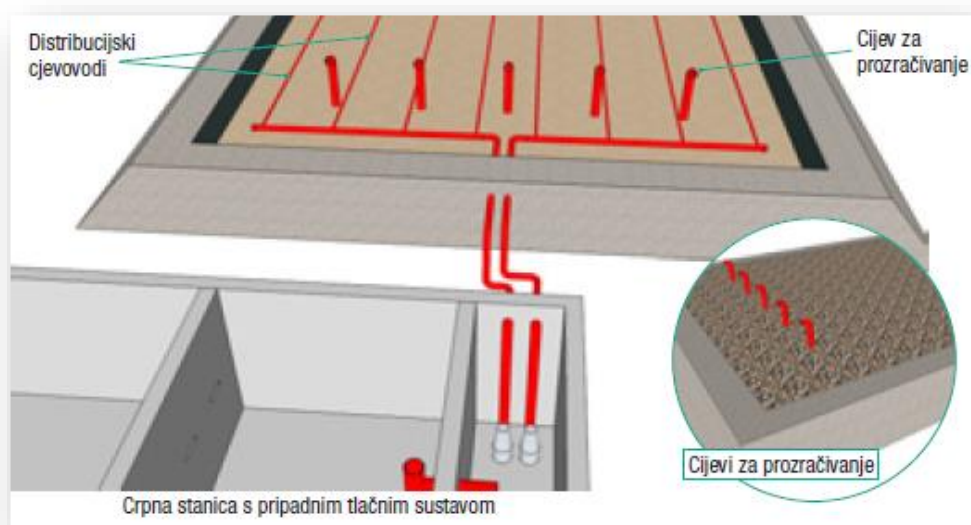
DIMENZIONIRANJE BILJNOG UREĐAJA	
POVRŠINA	3 – 5 m <sup>2</sup> /ES (može biti veća ili manja od ove vrijednosti) -pravokutnog ili kvadratnog oblika
POVRŠINSKO HIDRAULIČNO OPTEREĆENJE	Za sanitarne otpadne vode u intervalu 25 – 60 L/m <sup>2</sup> *D
DUBINA	Za površinski sloj iznosi 20 – 30 cm

	Za srednji filtarski sloj 60 – 80 cm Za pridneni sloj jednaka površinskoj dubini u većini slučajeva Minimalna ukupna dubina je 1m
BOČNE STRANICE	Izvedba pod nagibom od 2:1 do 5:1



Slika 9. Presjek kroz BUVPT sa debljinom slojeva (Malus i Vouk, 2012.)

Transport prethodno izbistrene otpadne vode u tijelo BUVPT se provodi preko uljevnog ili distribucijskog dijela. Prikaz distribucijskog dijela biljnog uređaja je vidljiv na **Slici 10**.



Slika 10. Prikaz detalja uljevnog dijela BUVPT (Malus i Vouk, 2012.)

Prilikom dimenzioniranja uljevnog dijela uređaja, potrebno je posebnu pozornost obratiti na pravilan odabir distribucijskih cijevi kao i njihov raspored, odrediti kapacitet crpne stanice s pripadnim tlačnim cjevovodom koji ima svrhu u transportu otpadne vode do biljnog uređaja, odrediti broj otvora (uključujući i razmake među njima) potrebnih za izlivanje otpadne vode iz distribucijskih cjevovoda u površinski sloj biljnog uređaja (Malus i Vouk, 2012.).

Distribucijski cjevovod je važan dio distribucijskog dijela biljnog uređaja, a smješten je u površinskom sloju koji sadrži supstrat krupnije granulacije. Kako ne bi došlo do pojave začepjenja distribucijskih cijevi te kako bi se obavilo njihovo pravilno čišćenje, pregled i održavanje, koriste se revizijski otvori. Mogu biti postavljeni na krajevima distribucijskih cijevi te uzdužno (Malus i Vouk, 2012.).

Sljedeća bitna stavka pri dimenzioniranju BUVPT je definiranje kapaciteta crpke. Njezina uloga je uspostavljanje ravnomjernog dotoka otpadne vode po površini BUVPT. Zbog toga se kapacitet crpke definira prema potrebnom protoku i manometarskoj visini dizanja. Vrijeme rada ove pumpe je od pet do petnaest minuta po jednom ciklusu (Malus i Vouk, 2012.).

Osim uljevnog dijela, biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom (BUVPT) sadrži i izljevni ili drenažni dio. Prilikom dimenzioniranja ovog dijela biljnog uređaja potrebno je uzeti u obzir definiranje broja paralelno položenih drenažnih cijevi uključujući i razmak među njima, odabrati profil za pripadajuće drenažne i izljevne cijevi kao i cijevi za prozračivanje te projektiranje kontrolnog izljevnog okna (Malus i Vouk, 2012.).

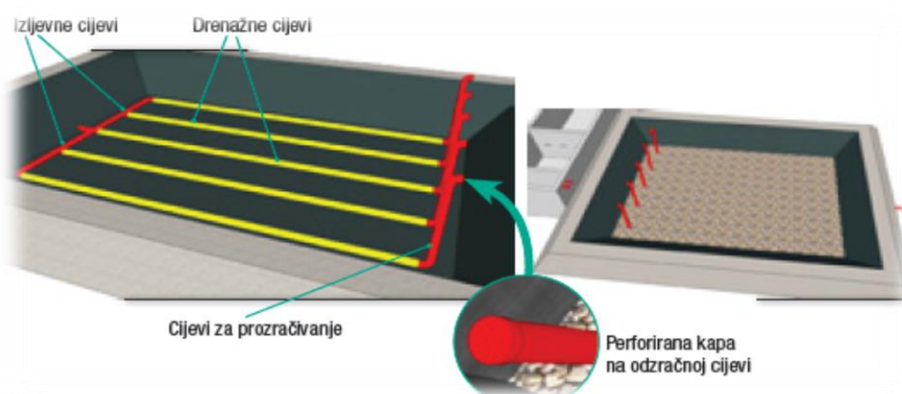
Tablica 5. Projektiranje drenažnog dijela BUVPT (Malus i Vouk, 2012.)

Komponente drenažnog dijela BUVPT	Smještaj i uloga
DRENAŽNE CIJEVI	-smještene horizontalno, u pridnenom sloju koji uključuje supstrat krupnije granulacije -na njih mogu biti vezane i cijevi za prozračivanje (uloga: prozračivanje ispune)
IZLJEVNI CJEVOVOD	-nadovezuje se na drenažne cijevi - uloga: transport vode iz tijela biljnog uređaja do kontrolnog izljevnog okna



KONTROLNO IZLJEVNO OKNO	-uloga: kontrola razine vode u tijelu biljnog uređaja (u početku rada uređaja veća razina vode; poslije, u razini pridnenog sloja)
-------------------------	--

Supstrat krupnije granulacije kao što su kamen te krupniji šljunak se nalaze na izljevnom dijelu (debljina minimalno dvadeset centimetara). Geotekstil se koristi za oblaganje površinskog dijela drenažnog sloja.



Slika 11. Prikaz izljevnog (drenažnog) dijela BUVPT (Malus i Vouk, 2012.)

#### 4.2.2.2 PROJEKTIRANJE BILNOG UREĐAJA S HORIZONTALNIM PODPOVRŠINSKIM TOKOM (BUHPT)

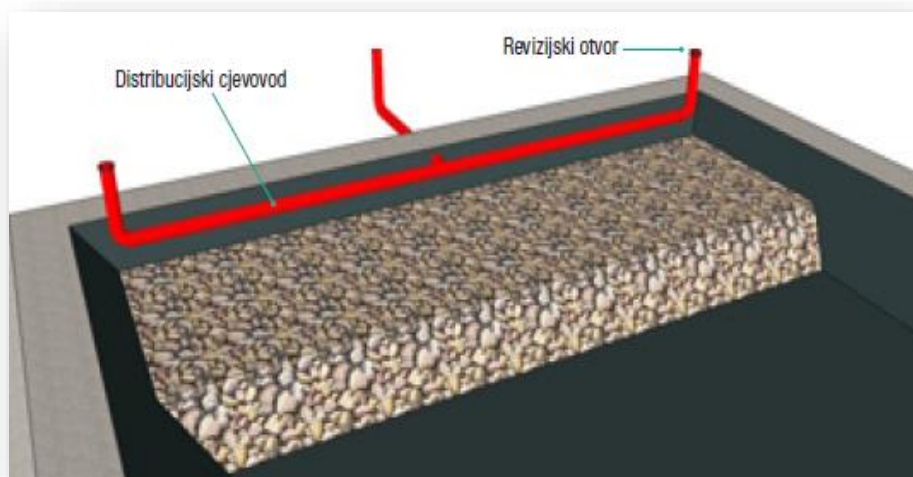
Osnovni dijelovi biljnog uređaja s horizontalnim podpovršinskim tokom su: uljevni dio, središnji filtarski dio te izljevni dio. Glavni parametri koji se razmatraju pri dimenzioniranju ovog tipa biljnog uređaja su:

- ❖ dužina i širina – minimalna dužina BUVPT iznosi šest metara, a maksimalna širina nije propisana već se treba prilagoditi kako bi bila adekvatna za ravnomjernu raspodjelu vode po cijeloj širini; odnos L/B se nalazi u intervalu od 1:3 do 5:1;
- ❖ dubina – određuje se ovisno o prodiranju korijena odnosno o vegetaciji koja će biti zasađena (pr. za rogoz koji ima plitko korijenje je minimalna dubina 0,3 metra, a za veću dubinu prodiranja su u uporabi prikladni bazeni dubine 0,6 – 0,9 metara);
- ❖ uzdužni pad – 0,5 – 1 %;
- ❖ vrijeme zadržavanja vode u BUVPT – od četiri do pet dana.

Kako bi se izvršio transport prethodno izbistrene vode u tijelo biljnog uređaja s horizontalnim podpovršinskim tokom postavljen je uljevni ili distribucijski dio. Prilikom dimenzioniranja ovog dijela biljnog uređaja potrebno je obratiti pažnju na sljedeće stavke:

- ❖ odabir profila distribucijskih cijevi;
- ❖ broj i veličinu otvora (uključujući i razmak među njima) koji imaju važnu ulogu u izlivanju otpadne vode u tijelo biljnog uređaja;
- ❖ način dotoka otpadne vode (tlačni ili gravitacijski) (Malus i Vouk, 2012.).

Problematika koja se javlja kada je riječ o distribucijskim cjevovodima je njihovo moguće začepljenje taložnim ili suspendiranim tvarima. Stoga je nužno ostvariti da svi otvori na distribucijskom cjevovodu budu slobodni. Za održavanje, čišćenje i pregled su ugrađeni revizijski otvori koji se s gornje strane zatvaraju kapičom. Smještaj distribucijskog cjevovoda je sa horizontalnim ili vertikalnim padom u površinski dio uljevnog dijela (Malus i Vouk, 2012.).



*Slika 12. Komponente uljevnog (distribucijskog) dijela BUHPT (Malus i Vouk, 2012.)*

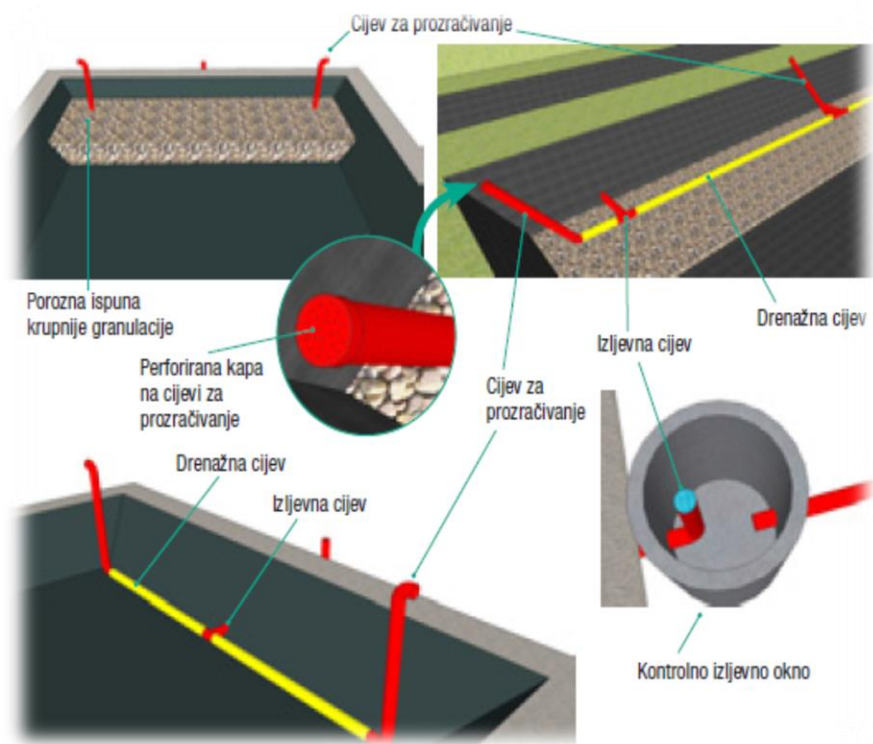
Kako bi se pročišćena otpadna voda transportirala iz tijela BUHPT ključan je drenažni dio biljnog uređaja. Pri dimenzioniranju ovog tipa biljnog uređaja su važne sljedeće stavke:

- ❖ profil izljevni cijevi, drenažnih cijevi kao i cijevi za prozračivanje;
- ❖ kontrolno izljevno okno (Malus i Vouk, 2012.).

Osnovne karakteristike ovih dijelova su dane u **Tablici 6**.

*Tablica 6. Dimenzioniranje izljevniog dijela BUHPT*

KOMPONENTE IZLJEVNOG DIJELA BUHPT	SMJEŠTAJ/ULOGA
DRENAŽNE CIJEVI	-smještaj: preko cijele širine dna izljevno dijela, horizontalno
CIJEVI ZA PROZRAČIVANJE	-smještaj: vertikalno ugrađene na drenažni cjevovod ili pak u produžetku s oba kraja cjevovoda; na vrhu se nalazi perforirani zatvarač -uloga: prozračivanje ispune
IZLJEVNI CJEVOVOD	-uloga: odvod pročišćene otpadne vode iz bazena biljnog uređaja do kontrolnog izljevno okna -veći broj izljevno cjevovoda je moguć u slučaju veće širine BUHPT te bi u tom slučaju svaki izljevno cjevovod trebao biti povezan na svoje vlastito kontrolno izljevno okno
KONTROLNO IZLJEVNO OKNO	-može uključivati luk po 90 ° s nastavcima u svrhu kontrole razine vode u BUHPT



Slika 13. Komponente drenažnog dijela BUHPT (Malus i Vouk, 2012.)

### 4.3 GRADNJA BILJNOG UREĐAJA

Važno je odabrati povoljno vremensko razdoblje da bi se uopće mogla započeti gradnja biljnih uređaja. Najpovoljnije je započeti izgradnju, prvenstveno radove iskopa i pripreme bazena, za vrijeme suhog dijela godine (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

U fazi pripremnih radova je potrebno napraviti sljedeće:

- ❖ geodetsko snimanje terena;
- ❖ organizaciju gradilišta;
- ❖ izgradnju pristupnih puteva;
- ❖ dopremu mehanizacije (Malus i Vouk, 2012.).

Nakon pripremnih radova slijede zemljani radovi koji uključuju sljedeće aktivnosti:

- ❖ skidanje humusa;
- ❖ iskop tijela biljnog uređaja;
- ❖ iskop rovova za polaganje distribucijskih i izljevni cjevovoda koji prolaze kroz bočne stranice;
- ❖ iskop za ugradnju kontrolnih okana;
- ❖ iskop rovova oko bazena biljnog uređaja za povećanje stabilnosti geomembrane (Malus i Vouk, 2012.).



*Slika 14. Radovi iskopa i pripreme bazena*

Nakon iskopa potrebno je postaviti sloj pijeska sitne granulacije na dno bazena ukoliko bi došlo do pojave propusnosti folije. Tek nakon postavljanja sloja pijeska, stavlja se nepropusna folija u bazen (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Da ne bi došlo do začepljenja tijekom procesa, šljunak se mora adekvatno isprati prije postavljanja u bazen kod podpovršinskog biljnog uređaja. Supstrat krupnije granulacije se koristi na ulazu te izlazu iz biljnog uređaja, dok se sitnija granulacija postavlja kao ispuna središnjeg, a ujedno i najvećeg dijela biljnog uređaja (Ružinski i Anić Vučinić.).

Perforirane plastične cijevi su bitan sastavni dio biljnih uređaja. Njihova funkcija je ostvariti ravnomjeran dotok otpadne vode u biljni uređaj.

Crpke adekvatnog kapaciteta su također važan sastavni dio biljnih uređaja kod kojih se ne može postići gravitacijski tok otpadne vode. Ovakve crpke se postavljaju iz tog razloga na ulazu. Ključan nedostatak primjene pumpi je njihova osjetljivost na niže temperature. To iziskuje pri uvjetima nižih temperatura izolaciju ili pak uklanjanje prije nego što nastupi smrzavanje (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Nakon postavljanja supstrata u vidu šljunka kod podpovršinskog biljnog uređaja slijedi faza sadnje biljaka. Da bi se postigao adekvatan rast biljnih vrsta potrebno je oko godinu dana. Pogodno doba godine za sadnju je proljeće (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Postoje dva osnovna načina pripreme vegetacije. Može se vršiti presađivanje korijena ili podanka biljke, rasađivanje ili pak zasijavanje. Kako bi se izbjegla opasnost da se biljke neće primiti, najpogodniji način je presađivanje već izraslih biljnih vrsta. Kod zasađivanja biljke je potrebno saditi ravnomjerno s gustoćom 4 – 8 sadnica po m<sup>2</sup> (Malus i Vouk, 2012.).

Nakon presađivanja biljni uređaj se ispuni vodom iz obližnjeg izvora ili vodonosnika kako bi se biljke kvalitetno razvijale te kako bi se suzbio korov. U početku je povoljna visoka razina vode koja se kasnije snižava. Gnojivo također može biti uključeno u uporabu (Malus i Vouk, 2012.).



*Slika 15. Prikaz pravilno izgrađenog biljnog uređaja*

Prikaz pojedinih faza gradnje biljnog uređaja i s horizontalnim i vertikalnim podpovršinskim tokom je dan u **Tablici 7.**

*Tablica 7. Etape izgradnje biljnih uređaja (Malus i Vouk, 2012.)*

	<b>BUHPT</b>	<b>BUVPT</b>
<b>1.</b>	Pripremni radovi	Pripremni radovi
<b>2.</b>	Zemljani radovi	Zemljani radovi
<b>3.</b>	Ugradnja kontrolnih izljevnih okana	Ugradnja kontrolnih izljevnih okana
<b>4.</b>	Polaganje distribucijskih i izljevnih cijevi kroz bočne strane BU	Polaganje distribucijskih i izljevnih cijevi kroz bočne strane BU
<b>5.</b>	Pokrivanje dna, pokosa, nasipa i obodnih rovova geotekstilom	Pokrivanje dna, pokosa, nasipa i obodnih rovova geotekstilom
<b>6.</b>	Nasipavanje tankog sloja pijeska na površinu geotekstila, kojim se ostvaruje uzdužni pad	Polaganje geomembrane na dno, pokose, nasipe i obodne rovove; brtvljenje
<b>7.</b>	Polaganje geomembrane na dno, pokose, nasipe i obodne rovove; brtvljenje	Pokrivanje dna, pokosa, nasipa i obodnih rovova drugim slojem geotekstila
<b>8.</b>	Pokrivanje dna, pokosa, nasipa i obodnih rovova drugim slojem geotekstila	Zatrpavanje obodnih rovova oko BU materijalom iz iskopa
<b>9.</b>	Zatrpavanje obodnih rovova oko BU materijalom iz iskopa	Ugradnja drenažnih cijevi i cijevi za prozračivanje

10.	Ugradnja drenažnih cijevi i cijevi za prozračivanje	Zatrpavanje drenažnih cijevi krupnijim supstratom – ugradnja izljevnog dijela; ispiranje supstrata prije ugradnje
11.	Zatrpavanje drenažnih cijevi krupnijim supstratom – ugradnja izljevnog dijela; ispiranje supstrata prije ugradnje	Ugradnja filtarske tkanine s površinske strane izljevnog sloja (vodopropusnog geotekstila veličine pora 180–360 µm)
12.	Ugradnja krupnijeg supstrata; ispiranje supstrata prije ugradnje	Ugradnja središnjeg filtarskog sloja od glatkog i zaobljenog pijeska koji se prethodno ispire; površina filtarskog sloja treba biti horizontalna, bez padova
13.	Polaganje distribucijskih cijevi i ugradnja revizijskih okana	Ugradnja dijela supstrata krupnije granulacije u uljevnom površinskom dijelu; supstrat mora biti gladak i zaobljen i prethodno se ispire
14.	Zatrpavanje distribucijskih cijevi supstratom krupnije granulacije	Polaganje distribucijskih cijevi i ugradnja revizijskih okana
15.	Ugradnja središnjeg filtarskog sloja od glatkog zaobljenog šljunka koji se prethodno ispire; površina filtarskog sloja treba biti horizontalna bez padova	Zatrpavanje distribucijskih cijevi preostalim krupnijim supstratom krupnije granulacije, koji mora biti gladak i zaobljen i prethodno se ispire
16.	Propuštanje čiste vode kroz tijelo BU	Propuštanje čiste vode kroz tijelo BU
17.	Sadnja vegetacije	Sadnja vegetacije

## 5 PROCES PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA BILJNIM UREĐAJIMA

### 5.1 OPĆE ZNAČAJKE O OBRADI OTPADNIH TVARI U VODAMA

Proces pročišćavanja otpadnih voda se temelji na upotrebi biljaka koje iz vode uklanjaju različite anorganske tvari. Uloga vodenih biljnih vrsta se sastoji u sljedećem:

- ❖ služe kao stanište mikroorganizama,
- ❖ izvor su kisika,
- ❖ razgrađenu organsku materiju ugrađuju u svoje tkivo što omogućuje uporabu ovih biljaka za kompostiranje ili proizvodnju energije poslije košnje,

- ❖ akumuliraju i pojedine otrovne tvari poput teških metala ili pesticida (pri koncentracijama tih opasnih tvari iznad dopuštene granice, ove biljke se neće koristiti za košnju nego se odlažu na deponij) (Bieco, 2015.).

Voda se može pročišćavati, kako je ranije navedeno, fizikalnim, kemijskim ili biološkim postupcima. Pročišćavanje se provodi u bazenu ili tijelu biljnog uređaja. Prije bazena, otpadna voda se dovodi do taložnica (Bieco, 2015.).

Osnovne tvari koje uzrokuju onečišćenja otpadnih voda kao i način njihova uklanjanja je dan u **Tablici 8.**

*Tablica 8. Pregled mehanizama uklanjanja tvari iz otpadnih voda (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.)*

<b>OTPADNE TVARI</b>	<b>MEHANIZMI UKLANJANJA</b>
Ukupne suspendirane tvari	Sedimentacija i filtracija
Organske tvari (mjerene kao BPK)	Biološka degradacija i sedimentacija
Organski zagađivači (npr. pesticidi)	Adsorpcija, isparavanje, fotoliza (biološka i nebiološka degradacija)
Dušik (N)	Sedimentacija, nitrifikacija/denitrifikacija, mikrobiološka razgradnja
Fosfor (P)	Sedimentacija, filtracija, adsorpcija biljkama i mikroorganizmima



Metali	Sedimentacija, adsorpcija biljkama, mikrobiološki oksidacijsko/redukcijski procesi
Patogeni	Sedimentacija, filtracija, prirodno odumiranje, UV zračenje, antibiotsko djelovanje iz korijana biljke

## 5.2 UKLANJANJE SUSPENDIRANIH TVARI

Ukupne tvari predstavljaju tvari koje zaostaju nakon evaporacije pri temperaturi od 103 – 105 °C. Taložne tvari u vodi se mogu definirati kao tvari koje će se istaložiti u posudi konusnog oblika (Imhoffov lijevak) nakon vremena od jednog sata. Da bi se odredile suspendirane tvari koristi se filtracija kroz filter veličine pora 0,45 – 1,6 µm. Filtrat predstavlja u tom slučaju otopljenu suspendiranu tvar (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Uklanjanje suspendiranih tvari pomoću biljnog uređaja se provodi pomoću supstrata i prisutne biljne vegetacije jer oni osiguravaju slijeganje i filtraciju krutih čestica na temelju razlike u gustoći.

Važna problematika u ovom procesu je sposobnost ukupnih suspendiranih tvari, ukoliko su prisutne u velikoj količini, da uzrokuju začepljenja pora unutar podpovršinskog biljnog uređaja. Tijekom transporta ukupne suspendirane tvari kroz biljni uređaj dolazi do odvijanja sedimentacije ili taloženja, filtracije, resuspenzije te stvaranja nove suspendirane tvari (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Taloženje ili sedimentacija se ostvaruje sporim protokom vode kroz biljni uređaj, a njihova resuspenzija se odvija u određenoj, ali manjoj mjeri. Turbulencije potaknute vjetrom, oslobađanjem plinova iz vode te aktivnostima životinja mogu doprinosti postupku resuspendiranja kod slučaja otvorenih vodenih površina. Kod podpovršinskih biljnih uređaja vjetar ne može doprinijeti resuspenziji suspendiranih tvari. Sprječavanje postupka resuspenzije pospješuje hvatanje suspendiranih tvari na slojeve krutih tvari koje su već prisutne u biljnom uređaju što predstavlja filtraciju. Takav proces doprinosi učinkovitosti uklanjanja suspendiranih tvari iz otpadne vode (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

### 5.3 UKLANJANJE ORGANSKIH TVARI

Tvari koje u svom sastavu posjeduju ugljik predstavljaju organske tvari. Njihova razgradnja je aerobna, ali može se raditi i o anaerobnoj razgradnji u sistemima koji uključuju anaerobne zone (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Pregled organskih tvari u otpadnoj vodi s njihovim osnovnim karakteristikama je dan u **Tablici 9.**

Tablica 9. Organske tvari u otpadnoj vodi

ORGANSKE TVARI U OTPADNOJ VODI	STRUKTURA I KARAKTERISTIKE
PROTEINI	-proces razgradnje:hidroliza do osnovnih gradivnih jedinica tj. aminokiselina -uloga:gradivne jedinice biljaka i životinja -velika $M_r$ , relativna nestabilnost
UREA I URIČNA KISELINA	-nastanak – urea kao produkt pri proizvodnji energije kod sisavaca pomoću aminokiselina; urična kiselina je produkt insekata i ptica -predstavnik su forme organskog dušika
PIRIMIDINI I PURINI	-sinteza iz aminokiselina -uloga:osnovne su gradivne jedinice nukleotida koji tvore DNK organizama -prisutan dušik na određenim mjestima u prstenu jer su predstavnici cikličkih organskih spojeva
ŠEĆERI, ŠKROB, CELULOZA, DRVENA VLAKNA	-različit način razgradnje kao i topljivost u vodi
ULJA I MASTI, ESTERI GLICEROLA I ZASIĆENIH MASNIH KISELINA	-čest sastojak otpadnih voda, netopljivi u vodi, topivi u organskim otapalima, u vodi tvore koloidne ili micelarne otopine, teško se razgrađuju mikrobiološkim putem
POVRŠINSKI AKTIVNE TVARI	-organske molekule neznatne topljivosti u vodi -formiraju pjenu na površini vode
OPASNI ONEČIŠIVAČI (ARSEN, KADMIJ, OLOVO, ŽIVA, KLOBENZEN, PESTICIDI,...)	-predstavljaju tvari koje imaju potencionalna kancerogena, mutagena, teratogena ili toksična svojstva -prisutnost u izrazito malim količinama u otpadnim vodama

Ugljikovi spojevi, važni za procese asimilacije i održavanja sustava, se stvaraju preko ciklusa kruženja ugljika u močvarnim ekosustavima, a CO<sub>2</sub> je izrazito važan pri procesu fotosinteze gdje biljke proizvode šećere kao hranu. Za unutarnje mikrobiološke procese je važan ugljik koji ulazi u sustav te onaj koji nastaje razgradnjom tvari koje sadrže u svom sastavu ugljik (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Ugljik iz atmosfere je bitan za procese rasta, odumiranja i razgradnje životnih oblika u biljnim uređajima. Kao produkti nastaju razni plinovi, krutine te otopljeni organski spojevi. Razni oblici razgradnje organskih spojeva se odvijaju u određenim zonama unutar biljnog uređaja. U aerobnoj zoni se provodi: disanje ili respiracija, dok se u anaerobnoj zoni provode:

fermentacija, metanogeneza, redukcija sulfata, denitrifikacija, redukcija željeza (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Tijekom procesa aerobne razgradnje organska tvar može biti izložena:

- oksidaciji do CO<sub>2</sub> i drugih nutrijenata - u obliku dušika, fosfora i sumpora posebno;
- asimilaciji u biomasu;
- prolasku kroz sustav kao nepromijenjena (organska tvar u tom slučaju se ne može razgraditi biološkim putem) (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

## 5.4 UKLANJANJE DUŠIKA

Dušik se nalazi u mnogim organskim i anorganskim spojevima. U biljnim uređajima osnovni anorganski spojevi koji se mogu naći su: amonijak, nitrit, nitrat, nitrooksid, oksidul, otopljeni elementarni dušik te diatomarni dušik u plinovitom agregatnom stanju. Organski spojevi koji sadrže dušik uključuju: ureu, aminokiseline, amine, purine te pirimidine (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.). Pregled s karakteristikama pojedinih dušičnih spojeva u otpadnim vodama je dan u **Tablici 10**.

Tablica 10. Dušični spojevi u otpadnim vodama

DUŠIČNI SPOJEVI U OTPADNIM VODAMA	KARAKTERISTIKE
AMONIJAK, NH <sub>3</sub>	-često prisutan u otpadnim vodama (naročito komunalnim) -velika je potrošnja kisika pri njegovoj kemijskoj oksidaciji -jedan od glavnih izvora dušika za biljne vrste i autotrofne bakterijske vrste -u vodenoj sredini se može naći u dva oblika (ioniziranom ili neioniziranom obliku) ovisno o pH i temperaturi vode

NITRIT (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	-oksidacijsko stanje +3 -kemijski nestabilan -proizvodi se u izrazito malim koncentracijama -ako je njegova koncentracija mjerljiva u biljnim uređajima, znači da postoje antropogeni izvori dušika
NITRAT, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-oksidacijsko stanje +5 -kemijski stabilan -može koristiti kao osnovni nutrijent za rast biljaka -u suvišku dolazi do pojave eutrofikacije površinske vode

U biljnim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda se primjenjuju sljedeći postupci gdje se u većini slučajeva dušik transformira iz jednog oblika u drugi, dok se samo određeni broj postupaka koristi za uklanjanje većeg dijela dušika. To su: isparavanje, nitrifikacija, denitrifikacija, fiksacija dušika, ugradnja u biljke i mikroorganizme, amonifikacija, redukcija nitrata u amonijak, anaerobna oksidacija amonijaka, fragmentacija, apsorpcija, desorpcija i procjeđivanje (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Amonifikacija se definira kao biološka pretvorba organskog dušika u amonijak. Predstavlja prvi korak u mineralizaciji organskog dušika. Ovaj proces dovodi do oslobađanja energije koja se može upotrijebiti uglavnom za rast mikroorganizama (biomasu). Amonijak se ugrađuje u mikrobnu biomasu. Amonifikacija se znatno sporije provodi u anaerobnim uvjetima tj. uvjetima bez prisustva kisika za razliku od provođenja u aerobnim uvjetima. Brzina provedbe amonifikacije je veća nego kod nitrifikacije što posljedično dovodi do povećanja sadržaja amonijaka prilikom protjecanja vode u biljnom uređaju (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Nitrifikacija predstavlja aerobni mikrobiološki proces razgradnje amonijaka. Kao produkt nastaje nitrat, a proces se odvija u dva stupnja. To je jedan od osnovnih načina smanjenja koncentracije amonijaka u otpadnim vodama pomoću biljnih uređaja. Najznačajnije bakterije potrebne za ovaj proces su: bakterije roda *Nitrosomonas sp.* koje vrše oksidaciju amonijaka u nitrit te bakterije roda *Nitrobacter sp.* koje provode oksidaciju nitrita u nitrat. Nitrifikacija se uglavnom smatra aerobnim procesom, iako su istraživanja pokazala i mogućnost postojanja anaerobne oksidacije amonijaka (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

Denitrifikacija uključuje sposobnost sudjelovanja mikroorganizama u transformaciji nitrata u plinoviti dušik. U prvom koraku dolazi do transformacije nitrata u nitrit, nakon toga dolazi do nastajanja dušičnog oksida, dušičnog oksidula. Na samom kraju nastaje dušik. Proces se događa u anoksičnim uvjetima odnosno uvjetima bez kisika te pri temperaturama od 20 °C – 40 °C konstantnom brzinom. Ukoliko su temperature niže, ispod 10 °C, proces će biti usporen. Za redukciju nitrata kao donori ugljika mogu poslužiti: etanol, glukoza, glicerol, metan, octena kiselina i drugi iz skupine organskih tvari, dok se od anorganskih tvari mogu iskoristiti sumpor i vodik. Bakterije roda *Pseudomonas sp.*, *Alcaligenes sp.*, *Flavobacterium sp.*, *Moraxella sp.*, *Thiobacillus sp.*, *Klesbsiella* su pogodne za provođenje denitrifikacije. Važno je naglasiti da denitrifikacija uzrokuje povećanje pH vrijednosti otpadnih voda (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

## 5.5 UKLANJANJE FOSFORA

Najčešći oblici fosfora koji mogu biti prisutni u vodenim otopinama su ortofosfati, polifosfati te organski fosfati. U vodenim otopinama može doći do hidrolize polifosfata koji se zatim transformiraju u oblik ortofosfata. Za komunalne otpadne vode organski vezan fosfor je uglavnom manje značajan, dok kod nekih industrijskih otpadnih voda te otpadnog mulja može biti značajan sastojak.

Uklanjanje fosfora iz otpadne vode se može izvršiti na sljedeće načine:

- putem biološke aktivnosti mikroorganizama (naročito preko bakterija koje imaju sposobnost nakupljanja fosfora u aerobnim uvjetima ili otpuštanja u anaerobnim uvjetima);
- preko fizikalnih procesa od kojih su najčešći: sedimentacija tvari koje sadrže fosfor i precipitacija otopljenog fosfata ionima kalija, željeza, kalcija te aluminijskih iona);

- većina supstrata u biljnom uređaju kao što su zemlja, šljunak, pijesak mogu imati mali adsorpcijski kapacitet za uklanjanje fosfora. Ipak, nedostatak je u brznoj zasićenosti tog kapaciteta. Industrijski adsorpcijski materijali poput zeolita u kombinaciji sa zemljom će povećati učinak uklanjanja fosfora;
- pri  $\text{pH} > 6$  radi se uglavnom o kombinaciji precipitacije i fizikalne adsorpcije na željezne i aluminijske okside;
- pri nižem  $\text{pH}$  precipitacija se provodi putem stvaranja aluminijeva fosfata (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

## 5.6 UKLANJANJE MIKROORGANIZAMA

Patogeni mikroorganizmi kao što su bakterije, virusi, gljivice, praživotinje i plijesni bi se trebali ukloniti iz otpadne vode. Budući da je postupak njihovog mjerenja i određivanja u pročišćenoj vodi izrazito skup, u upotrebi su uglavnom indikatorski mikroorganizmi koje je lako pratiti. Koliformne bakterije se koriste kao indikator fekalnog onečišćenja vode koje provode fermentaciju laktoze uz nastanak plina. U nekim državama se isto tako upotrebljava i *Escherichia Coli*, a mogu se koristiti i fekalni streptokoki. Često se provode procesi filtracije, koagulacije i adsorpcije, međutim veliki dio patogenih organizama se akumulira procesom sedimentacije (Ružinski i Anić Vučinić, 2010.).

# 6 ZAKLJUČAK

Primjenom biljnih uređaja u cilju pročišćavanja otpadnih voda može se postići visoka učinkovitost pročišćavanja komunalnih otpadnih voda. Važno je odabrati adekvatan biljni uređaj koji će moći poslužiti kao zadovoljavajuće rješenje. Kao primjer može poslužiti odabir primjene potpovršinskog biljnog uređaja u područjima s hladnijom klimom jer se procesi odvijaju ispod površine vode te populacije bakterija nisu izložene niskim temperaturama zraka.

Budući da izgradnja sustava za pročišćavanje voda u manjima naseljima nema značajnu isplativost, tu se pročišćavanje, koje uključuje uklanjanje raznih zagađivača i hranjivih tvari iz

vode, može uspješno provesti putem biljnih uređaja. Uz to, ovi uređaji mogu biti također uspješni u obrađivanju čak i procjednih voda s odlagališta.

Ipak, unatoč mnogim dobrim karakteristikama biljnih uređaja u svrhu pročišćavanja, mora se naglasiti da još uvijek nema dovoljno saznanja o njihovim značajkama nakon dugogodišnjeg vremena rada te se ne mogu naći sveobuhvatne smjernice da bi se izvršilo optimalno projektiranje. Isto tako, kao nekakvi nedostaci se mogu istaknuti neke karakteristike kao što su osjetljivost biljnog uređaja na vremenske uvjete ili potreba za velikom površinom za pročišćavanje male količine vode.

Ali, nakon uzimanja u obzir svih prednosti i nedostataka uporabe biljnih uređaja, ipak treba imati na umu da je njihova primjena za obradu otpadnih voda prije svega ekološki, a zatim i ekonomski opravdana.

# LITERATURA

Bieco - zaštita okoliša <http://www.biec.hr/hr/biljni.html> (22.8.2016.)

Malus, D., Vouk, D. Priručnik za učinkovitu primjenu biljnih uređaja za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet 2012.

Mudrovčić, J. Slobodna Lika

[http://slobodnalika.com/novosti/4236\\_biolosko+prociscavanje+otpadnih+voda++biljni+uredaji+za+prociscavanje+otpadnih+voda.html](http://slobodnalika.com/novosti/4236_biolosko+prociscavanje+otpadnih+voda++biljni+uredaji+za+prociscavanje+otpadnih+voda.html) (3.9.2016.)

Ružinski, N., Anić Vučinić, A. Obrada otpadnih voda biljnim uređajima, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 2010.