

# BILJNI PROČIŠĆIVAČI OTPADNIH VODA

---

**Karlović, Mladen**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:195851>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-23**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**ODJEL LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE**  
**STUDIJ LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE**

**MLADEN KARLOVIĆ**

**BILJNI PROČIŠĆIVAČI OTPADNIH VODA**

**ZAVRŠNI RAD**

**KARLOVAC, 2021.**

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**ODJEL LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE**  
**STUDIJ LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE**

**MLADEN KARLOVIĆ**

**BILJNI PROČIŠĆIVAČI OTPADNIH VODA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Mentor: Mr. sc. Hrvoje Buljan, pred.**

**KARLOVAC, 2021.**

## **Predgovor:**

Ovim putem zahvaljujem mentoru mr. sc. Hrvoju Buljanu, pred. koji je svojim znanjem i strpljenjem doprinio izradi ovoga rada.

Također veliko hvala mojim roditeljima i sestrama, a ponajviše mojoj ženi i sinu koji su mi bili dodatna motivacija pri izradi ovoga rada.

Želio bih zahvaliti i svim predavačima, na pruženom strpljenju i razumijevanju, koji su u ove tri godine doprinjeli mom osobnom razvitku.

# BILJNI PROČIŠĆIVAČI VODA

## SAŽETAK

Urbanizacijom dolazi do povećanja količine otpadnih voda koje nastaju i koje treba zbrinuti na kvalitetan način. Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda su efikasniji i jeftiniji za izgradnju i održavanje od ostalih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, mogu se koristiti za pročišćavanje otpadnih voda nastalih u naseljima, tvornicama kao i ostalih otpadnih voda.

Biljni uređaji su umjetno napravljene močvare čije biljke služe kao filter prije puštanja otpadne vode u krajnji recipijent.

**Ključne riječi:** biljni uređaj, otpadne vode, pročišćavanje, močvare, onečišćenje voda

# **PLANT WASTEWATER TREATMENT**

## **ABSTRACT**

Urbanization also increases the amount of wastewater that is generated and that needs to be disposed of in a quality manner. Constructed wetlands are more efficient and cheaper to build and maintain than other wastewater treatment devices. They can be used for the treatment of wastewater generated in settlements, factories and other wastewater.

Constructed wetlands are artificial swamps whose plant serve as a filter before releasing wastewater into the final recipient.

**Key words:** constructed wetland, wastewater, purification, swamps, water pollution

# SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OTPADNE VODE .....</b>	<b>2</b>
2.1	Onečišćivači u otpadnoj vodi.....	3
2.2	Nepovoljni utjecaji ispuštanja nepročišćenih otpadnih voda.....	5
<b>3</b>	<b>BILJNI UREĐAJI ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA.....</b>	<b>7</b>
3.1	Povijest biljnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.....	7
3.2	Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda u Hrvatskoj .....	8
3.3	Vrste biljnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda .....	9
3.3.1	Biljni uređaji sa slobodnim vodnim licem (BUSV) .....	11
3.3.2	Biljni uređaj s potpovršinskim tokom (BUPT).....	12
3.3.2.1	Biljni uređaj s vertikalnim potpovršinskim tokom (BUVPT) .....	12
3.3.2.2	Biljni uređaj s horizontalnim potpovršinskim tokom .....	13
3.3.2.3	Hibridni biljni uređaji (HBU).....	15
3.3.3	Prednosti i nedostaci vertikalnog i horizontalnog biljnog uređaja .....	16
<b>4</b>	<b>OBRADA OTPADNE VODE.....</b>	<b>18</b>
4.1	Predtretman otpadnih voda .....	19
4.2	Bazen za filtriranje – 1. faza pročišćavanja .....	19
4.3	Bazen za pročišćavanje – 2. faza pročišćavanja .....	19
4.4	Bazen za poliranje – 3. faza pročišćavanja .....	20
<b>5</b>	<b>VEGETACIJA U BILJNIM UREĐAJIMA .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>RASPRAVA .....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>26</b>

## POPIS PRILOGA

### Popis slika:

Slika 1 - Najveći biljni pročišćivač otpadnih voda u Hrvatskoj Kaštelir-Labinci (Parentium.com, 2016).....	9
Slika 2 - Postavljena nepropusna podloga (Parentium.com, 2016).....	10
Slika 3 - Biljni uređaj sa slobodnim vodnim licem (Malus i Vouk, 2012) .....	11
Slika 4 - Biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom (Malus i Vouk, 2012).....	13
Slika 5 - Biljni uređaj s horizontalnim podpovršinskim tokom (Malus i Vouk, 2012).....	14
Slika 6 - Hibridni biljni uređaj (Malus i Vouk, 2012).....	16

### Popis tablica:

Tablica 1 - Vrste otpadnih voda prema izvoru njihova nastanka (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).....	3
Tablica 2 - Onečišćivači u otpadnim vodama (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).....	4
Tablica 3 - Vrste onečišćenja otpadnih voda, štetne posljedice (Tušar, 2009) .....	5
Tablica 4 - Prednosti i nedostaci vertikalnog i horizontalnog biljnog uređaja (Ružinski i Anić Vučinić, 2010) .....	17
Tablica 5 - Pregled mehanizama uklanjanja tvari iz otpadne vode (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).....	18



# 1 UVOD

Voda, kao što je poznato, osnovni je element života, nalazi se u prirodi u ograničenim količinama, njezina je rasprostranjenost neujednačena, a vrlo je različite kakvoće. Radi toga je vrlo važno pravilno gospodarenje vodom, odnosno njezino racionalno korištenje da bude dostupna svima onima kojima je potrebna, a od naročite važnosti je da se održi njezina kakvoća da bi se mogla koristiti (Jurac, 2009).

Odražavajući procese koji se odvijaju u prirodnim vodnim sustavima, biljni uređaji predstavljaju složen integriran sustav u kojemu uz interakciju vode, biljaka, životinja, mikroorganizama i okolišnih faktora dolazi do poboljšanja kvalitete vode. Kombinacijom fizikalnih, bioloških i kemijskih procesa unutar biljnog uređaja odvija se uklanjanje otpadne tvari iz sirove otpadne vode (Malus i Vouk, 2012).

Zbog urbanizacije dolazi i do sve veće potrošnje vode. Povećanom potrošnjom vode dolazi i do sve veće potrebe za saniranjem otpadnih voda koje nastaju zbog urbanizacije. Način na koji možemo sanirati otpadne vode, bez obzira kako su nastale, jest pomoću konvencionalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ili nekonvencionalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (biljnih pročišćivača). Obje vrste uređaja imaju svoje prednosti i mane te s obzirom na ta obilježja možemo procijeniti koja vrsta uređaja je prihvatljivija za određeno područje. U ovome radu fokusirati ću se na način rada biljnih pročišćivača otpadnih voda.

Za izgradnju biljnih uređaja koriste se prirodni materijali te autohtono bilje koje se, za vrijeme eksploatacije, održava povremenom sadnjom novih biljaka. Nadalje, mehanička i električna energija gotovo su nepotrebne u primjeni ovakvih rješenja čime su značajno smanjeni troškovi pogona. Oblik i izgled biljnog uređaja te činjenica da se njegovom izgradnjom ne narušava stanište biljaka i životinja omogućuje primjenu BUPOV-a i u zakonom zaštićenim područjima prirode (Barišić i Kulić, 2020).

Ovisno o načinu prolaska otpadne vode postoje dvije vrste BUPOV-a: biljni uređaji sa slobodnim vodnim licem (BUSV) i biljni uređaji s potpovršinskim tokom (BUPT). Kod BUSV, voda polako teče iznad supstrata, stvarajući slobodno vodno lice pa je zbog toga izložen atmosferi i Sunčevu zračenju, dok kod BUPT voda protječe unutar poroznog supstrata (Barišić i Kulić, 2020).

## 2 OTPADNE VODE

Teoretski, otpadne vode jesu vode kojima je promijenjena kakvoća utjecajem ljudskoga djelovanja, odnosno unošenjem, ispuštanjem ili odlaganjem u vode hranjivih i drugih tvari, toplinske energije te drugih uzročnika onečišćenja u količini kojom se mijenjanju svojstva vode u odnosu na njihovu ekološku funkciju i namjensku uporabu (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Onečišćenjem vode dovodi se u opasnost zdravlje i život ljudi i mogu nastupiti poremećaji u gospodarstvu i drugim područjima poradi stanja kakvoće vodnog okoliša (ANONYMOUS, 1999).

Sve vode koje su iskorištene za nekakvu namjenu, bilo da je riječ o kućanskim, industrijskim ili poljoprivrednim vodama, potrebno je prikupiti, kao otpadnu vodu, te je na prikladan način obraditi i odvesti u prijemnike bez štetnih posljedica za okoliš i bez narušavanja prirodnog hidrološkog ciklusa. Prijemnici mogu biti prirodne vode – rijeke, jezera, mora, ali u nekim slučajevima veliki dio otpadne vode moguće je, uz određenu obradu, ponovno koristiti za prvobitne ili neke druge procese (Jurac, 2009).

S obzirom na to gdje nastaju, otpadne vode moguće je podijeliti na komunalne, industrijske poljoprivredne i oborinske otpadne vode (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Tablica 1 - Vrste otpadnih voda prema izvoru njihova nastanka (Ružinski i Anić Vučinić, 2010)

<b>Vrste otpadnih voda</b>	<b>Izvor</b>	<b>Opis</b>
Komunalna otpadna voda	Primarno stambeni i poslovni subjekti	Razrijeđena do koncentrirana mješavina urina, fekalija, papira, plastike, deterdženata, masnoća i kemikalija iz domaćinstva i industrije
Industrijska otpadna voda	Primarno industrijski procesi i procjeđivanje	Razrijeđena do koncentrirana mješavina emulzija nekoliko do mnogo biorazgradivih i/ili nerazgradivih kemikalija
Poljoprivredna otpadna voda	Intenzivne poljoprivredne aktivnosti, primjerice mljekarstvo ili stočarstvo i klaonice	Razrijeđene do koncentrirane otopine biorazgradivih tvari
Oborinska voda	Slivne vode s gradskih, prigradskih i seoskih površina	Tipično razrijeđena mješavina mineralnih i organskih krutina i otopljenih soli, nutrienata i tvari u tragovima

## 2.1 Onečišćivači u otpadnoj vodi

Neke tvari u otpadnoj vodi u određenim koncentracijama mogu štetno djelovati na okoliš. Stoga je procesom obrade potrebno smanjiti njihovu koncentraciju ili ih potpuno ukloniti prije ponovne uporabe te vode ili njezina ispuštanja u okoliš (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Tablica 2 - Onečišćivači u otpadnim vodama (Ružinski i Anić Vučinić, 2010)

Onečišćivač	Razlog važnosti
Suspendirane tvari	Suspendirane tvari mogu uzrokovati naslage mulja i anaerobnih uvjeta ako se neobrađena otpadna voda ispusti u vodeni okoliš
Biorazgradive organske tvari	Sastoje se od proteina, ugljikovodika i masnoća, najčešće se određuje pomoću BPK (biološka potrošnja kisika) i KPK (kemijska potrošnja kisika). Ako se otpadne vode bogate organskim tvarima ispuste neobrađene u okoliš, njihova biološka stabilizacija može uzrokovati iscrpljivanje prirodnih izvora kisika i razvoj septičnih uvjeta
Patogeni	Zarazne bolesti mogu se prenositi pomoću patogenih organizama u vodi
Hranjive tvari (nutrienti)	Dušik, fosfor i ugljik osnovno su hranivo za rast primarnih producenata. Ako se ispuste u vodeni okoliš, hranjive tvari mogu uzrokovati povećani razvoj biljnih i životinjskih vrsta. Ako se ispuste u velikoj količini na tlo, mogu također prouzročiti onečišćenje podzemnih voda.
Ostali onečišćivači	Ostali onečišćivači jesu određene organske i anorganske tvari klasificirane u tu skupinu temeljem sumnji u kancerogenost, mutagenost, teratogenost ili visoku akutnu toksičnost, a mnogi od njih nalaze se u otpadnim vodama
Stabilni organski spojevi	Te spojeve vrlo je teško ukloniti konvencionalnim metodama obrade otpadnih voda. Tipični primjerci tih spojeva jesu površinski aktivne tvari, fenoli i pesticidi.
Teški metali	Teški metali u otpadnoj vodi potječu od komercijalnih i/ili industrijskih aktivnosti, a potrebno ih je ukloniti ako se otpadna voda nakon obrade ponovno koristi
Otopljeni anorganski spojevi	Anorganski spojevi, kao što su kalcij, natrij i sumpor, moraju se ukloniti iz vode ako se ona nakon obrade ponovno upotrebljava.

## 2.2 Nepovoljni utjecaji ispuštanja nepročišćenih otpadnih voda

Ispuštanje otpadnih voda u prijemnike bez prethodnog pročišćavanja izazvati će niz neželjenih utjecaja, od kojih se posebno ističe:

- opasnost po ljudsko zdravlje
- štetne posljedice na vodenim biljnim i životinjskim vrstama
- smanjene mogućnosti iskorištavanja vode prijemnika
- širenje neugodnih mirisa
- narušavanje estetike krajolika (Tušar, 2009).

Tablica 3 - Vrste onečišćenja otpadnih voda, štetne posljedice (Tušar, 2009)

Vrsta onečišćenja otpadnih voda	Štetne posljedice	Ostvarena društvena korist od pročišćavanja otpadnih voda
<b>Krupni materijal: papir, tkanine, plastične vrećice, kondomi itd.</b>	Neuredan krajolik - nastaju naslage otpada na obalama rijeka, jezera i plaža; uslijed dodira mogu nastati opasnosti po zdravlje ljudi i životinja	Obale rijeka, jezera, mora i njihova okolica i plaže ponovo su lijepe i sigurne za radne aktivnosti i rekreaciju; unaprijeđena privreda koja se zasniva na rekreaciji i turizmu
<b>Organske tvari: otpaci hrane, fekalne tvari i neke industrijske otpadne vode</b>	Zbog prisutnosti bakterija i drugih viših vrsta vodenog svijeta koji se hrane organskom hranom, količina otopljenog kisika u vodi prijemnika se smanjuje, pa se javljaju pomori riba i drugih organizama te neugodni vonj nalik na trula jaja i truli kupus	Zaštita ribarstva i sportskog ribolova; ugodniji okoliš a život, rad i rekreaciju; unaprijeđena privreda koja se zasniva na rekreaciji i turizmu
<b>Ulja i masti</b>	Na površini vode formira se neugledan, štetan i opasan tanak nepropusni sloj, koji smanjuje mogućnost apsorpcije kisika iz atmosfere	Poboljšano otapanje atmosferskog kisika u vodi pomaže održavanju vodene flore i faune; ugodniji okoliš za život, rad i rekreaciju; unaprijeđena privreda koja se zasniva na rekreaciji i turizmu

<p><b>Nutrienti: dušik fosfor i tragovi štetnih tvari</b></p>	<p>Djeluju kao gnojiva koja stimuliraju rast algi, morskih trava i ostalog vodenog bilja koje se nakuplja i truli kao organski otpad na obalama rijeka, jezera i plaža; zbog navedenog također može doći i do cvjetanja algi, čije se toksične tvari akumuliraju u školjkama, koje mogu biti opasne po zdravlje ljudi ako se koriste za prehranu</p>	<p>Poboljšani i sigurniji uvjeti za uzgoj riba i školjaka; ugodniji okoliš za život, rad i rekreaciju; unaprijeđena privreda koja se zasniva na rekreaciji i turizmu</p>
<p><b>Bakterije i virusi, uzročnici bolesti: kolera, tifus, salmonela</b></p>	<p>Onečišćenja voda koje se koriste za vodoopskrbu ili natapanje poljoprivrednih površina na kojima se uzgajaju kulture za prehranu; onečišćenje voda koje se koriste za uzgoj riba i školjaka; onečišćenje voda koje se koriste za sport i rekreaciju</p>	<p>Sigurniji opći zdravstveni uvjeti za uzgoj školjaka, riba i drugih organizama, unaprijeđena privreda koja se zasniva na rekreaciji i turizmu</p>
<p><b>Toksične tvari iz industrijskih otpadnih voda</b></p>	<p>Ovisno o koncentraciji toksičnih tvari dolazi u prijemniku:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• do pojave uništenja ili oštećenja vodene flore i faune;</li> <li>• akumulacije štetnih tvari u mesu riba i školjaka, koje se koriste za prehranu, mogu štetno djelovati na zdravlje ljudi</li> </ul>	<p>Poboljšani uvjeti za život vodene flore i faune; poboljšani opći zdravstveni uvjeti</p>

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

Biljni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda umjetno je oblikovana močvara u kojoj su stvoreni uvjeti za poboljšano pročišćavanje otpadnih voda koje kroz nju prolaze. U njemu se međudjelovanjem vode, biljaka, životinja, mikroorganizama te ostalih ekoloških faktora simuliraju prirodni procesi u kombinaciji sa svim biološkim, fizikalnim i kemijskim procesima koji se odvijaju unutar samog uređaja čime se poboljšava kvaliteta vode (Barišić i Kulić, 2020).

Izdvajanje suspendiranih tvari nije potrebno, jer se dobro obavlja u močvari (sustavom korijenja biljaka kroz koje voda protječe). Biljke troše organsku tvar i hranjive tvari iz vode te zadržavaju suspendirane tvari. U vodi se nalaze i mikroorganizmi koji istovremeno razgrađuju organske tvari i generiraju hranjive soli koje biljke asimiliraju. Kisik se dobiva otapanjem iz zraka i procesima fotosinteze u vodi. Voda postupno teče s jednog kraja bazena (močvare) prema drugome. Na tom putu se pročišćava procesima biološke razgradnje koji su slični procesima koji se odvijaju u vodnim resursima. Hranjive soli i mulj služe za rast bilja, odnosno pretvaraju se u biljnu masu (Margeta, 2007).

#### **3.1 Povijest biljnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda**

Nastanak biljnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda povezan je s manje poznatom njemačkom hidrobotaničarkom dr. Käthe Seidel (1907.-1990.), nastavnicom i znanstvenicom koja je cijeli život posvetila proučavanju močvarnih biljaka. Štoviše, tvrdila je da se biljke najbolje osjećaju u prirodnom okruženju s organskim tvarima, mikrobima i životinjama oko svoga korijenskog sustava. Današnje stajalište, koje je danas uglavnom općeprihvaćeno, izazivalo brojna osporavanja jer su mnjogi tvrdili da biljke najbolje napreduju u nezagađenim vodama. Štoviše dr. Seidel svoje je znanstvene spoznaje pretopila u prvi poznati biljni uređaj za pročišćavanje koji je izgrađen u gradiću Plön u njemačkoj saveznoj državi Schleswig-Holstein sredinom šezdesetih godina prošlog stoljeća. Nedugo je potom prof. Reinhold Kickuth sa Sveučilišta u Göttingenu razvio poseban biljni sustav pročišćavanja otpadnih voda metodom korijenskog područja. U toj se metodi, za razliku od dr. Seidel, umjesto sustava filtracije visoke hidrauličke vodljivosti uporabilo slabo propusno tlo s visokim udjelom gline. Taj je sustav prvi put pušten u rad 1974. na zajedničkom uređaju za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda gradića Liebenburg i Othfresen u njemačkoj saveznoj državi Donja Saska (Nadilo, 2013).

### **3.2 Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda u Hrvatskoj**

Čini se da je prvi izgrađeni biljni uređaj u nas bio onaj za autokamp Bijar na Cresu za 330 ES (ekvivalent stanovnika) koji je pušten u rad 2001. i ima visoku učinkovitost pročišćavanja. Potom je za odlagalište Jakuševac u Zagrebu izgrašen pilot-uređaj za pročišćavanje dijela procjednih voda, a pročišćena se voda ispušta u retencijski bazen koji je sadnjom biljaka pretvoren u lagunu i sada je stanište nekoliko vrsta ptica. Slijedila je prva faza autokampa Glavotok, potom i druga (svaka od 300 ES) na Krku, a zatim na istom otoku i autokamp Politin. Od izgrađenih komunalnih sustava treba spomenuti Žminj u Istri, naselje Vinogradci između Valpova i Bečišća te uređaj u Lukaču, sjedištu istoimene općine pokraj Virovitice (Nadilo, 2013).

U listopadu 2016. godine završen je najveći biljni pročišćivač otpadnih voda u Republici Hrvatskoj i nalazi se u općini Kaštelir-Labinci i dostojan je za 3000 ES (ekvivalent stanovnika).

Dosadašnja praksa u Republici Hrvatskoj bilježi neznatan broj izvedenih biljnih uređaja u usporedbi s ostalim europskim zemljama poput Češke koja posjeduje više od 100 biljnih uređaja za obradu otpadne vode. Neki od biljnih uređaja na području Republike Hrvatske, izgrađeni sa svrhom pročišćavanja sanitarnih otpadnih voda, su: Gruda u općini Konavle, Općina Kaštelir-Labinci, Prud pokraj Metkovića, Vinogradci pokraj Belišća, pilot biljni uređaj Jakuševac, autokamp Glavotok na Krku i autokamp Bijar na Cresu (Barišić i Kulić, 2020).





Slika 1 - Najveći biljni pročišćivač otpadnih voda u Hrvatskoj Kaštelir-Labinci (Parentium.com, 2016)

### 3.3 Vrste biljnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

Za obradu otpadnih voda mogu se koristiti različite vrste biljnih uređaja. Biljni uređaji mogu se podijeliti prema načinu nastanka, odnosno prema njihovom smještaju:

- prirodni biljni uređaji – postojeći močvarni sustavi koji se koriste za obradu otpadnih voda na mjestu gdje su prirodno nastali, i
- umjetno izvedeni biljni uređaji - smješteni na lokaciji gdje nisu nastali prirodno (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Prirodne močvare ne smiju se koristiti za čišćenje (Margeta, 2007)!

Umjetno izvedeni biljni uređaji mogu se podijeliti na dva osnovna tipa:

- površinski biljni uređaji,
- podpovršinski biljni uređaji (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Močvare sa slobodnom vodnom površinom imaju veći kapacitet te se stoga koriste kod sirove otpadne vode. Močvare/biljni uređaji bez vodene površine se rijetko koriste i za sirovu otpadnu vodu, a češće kao treći stupanj čišćenja otpadnih voda – izdvajanje hranjivih soli (Margeta, 2007).

Kod oba je tipa izuzetno važno osigurati prethodno pročišćavanje sirove otpadne vode. Pri tome je u sklopu predtretmana važno postići što učinkovitije uklanjanje suspendirane tvari te ulja i masti. U slučajevima u kojima nije osiguran predtretman, javljaju se brojne poteškoće u radu biljnih uređaja (učestalo začepljenje, smanjena učinkovitost pročišćavanja, pojava

neugodnih mirisa i dr.), a često dolazi i do potpunog prekida rada biljnog uređaja (Malus i Vouk, 2012).

Zbog opasnosti od gubitka vode procjeđivanjem u tlo, a time u nekim slučajevima i do onečišćenja podzemnih voda, dno biljnih uređaja treba biti nepropusno ili slabo propusno. Taj se cilj može postići korištenjem slabo propusnih glina ili korištenjem vodonepropusnih obloga od sintetskih materijala (geomembrane od PE ili EPDM). Može se reći da se danas gotovo isključivo koriste obloge od sintetskih materijala (Malus i Vouk, 2012).



Slika 2 - Postavljena nepropusna podloga (Parentium.com, 2016)

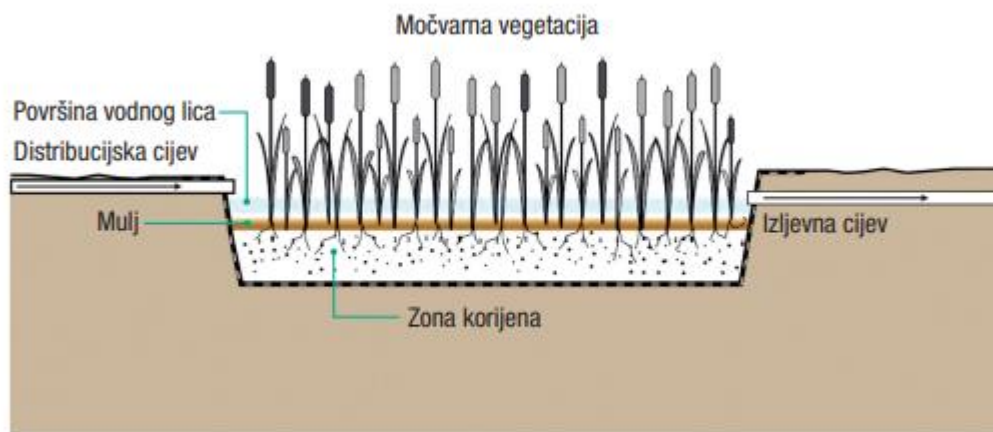
Površinski biljni uređaji jesu sustavi u kojih je vodeni medij koji prolazi kroz sustav izložen atmosferi, a u njemu su rijetko zasađene različite biljne vrste. Daljnja podjela površinskih biljnih uređaja može se napraviti na osnovi vrsta biljaka koje su u njima zasađene:

- površinski biljni uređaji s biljkama kojima dijelovi izlaze iznad razine površine vode
- površinski biljni uređaji u kojima biljni dijelovi plutaju po površini vode, i

- površinski biljni uređaji u kojima su biljke potopljene ispod razine površine vode (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

### 3.3.1 Biljni uređaji sa slobodnim vodnim licem (BUSV)

Površinski biljni uređaji u kojima dijelovi bilja izlaze iznad razine površine vode najčešći su sustavi za obradu otpadnih voda, a sastoje se od niza kanala i/ili bazena koji su međusobno povezani, a svaki od njih obložen je vodonepropusnim slojem da bi se spriječila/ograničila infiltracija. Na vodonepropusni sloj postavlja se sloj zemlje u koji se sade biljke. A zatim se kanal/bazen naplavljuje. Vodeni medij ima relativno mali protok. Takvi su uređaji učinkoviti pri uklanjanju ukupnoga dušika i manje ukupnog fosfora (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).



Slika 3 - Biljni uređaj sa slobodnim vodnim licem (Malus i Vouk, 2012)

Površinski biljni uređaji u kojima biljni dijelovi plutaju po površini vode koriste biljke kojima dijelovi plutaju po površini (lopoči, vodena leća i biljke slične njima), a koriste se za uklanjanje nutrienata i kontrolu rasta algi u otpadnoj vodi. Biljna plutajuća mreža smanjuje prodiranje svjetlosti u vodu, smanjuje nošenje biljaka uzrokovano vjetrom i turbulenciju te omogućava lako taloženje suspendiranih tvari (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Močvare sa slobodnom vodnom površinom imaju veći kapacitet te se stoga koriste kod sirove otpadne vode. Močvare/biljni uređaji bez vodene površine se rijetko koriste i za sirovu otpadnu vodu, a češće kao treći stupanj čišćenja otpadnih voda – izdvajanje hranjivih soli.

Sustavi površinskih biljnih uređaja s biljkama potopljenim ispod razine površine vode za sada su još u eksperimentalnoj fazi. Površinski biljni uređaji preporučaju se za primjenu u tercijarnoj obradi otpadne vode (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

### **3.3.2 Biljni uređaj s potpovršinskim tokom (BUPT)**

BUPT su plitki kanali ili bazeni, obloženi vodonepropusnim materijalom i ispunjeni poroznom ispunom (supstratom). Različiti materijali mogu se koristiti kao supstrat, iako se najčešće primjenjuju pijesak, šljunak i kamen odgovarajuće granulacije. Tečenjem otpadne vode kroz supstrat dolazi do uklanjanja otpadne tvari procesima filtracije, sorpcije, taloženja i biološke razgradnje organske tvari (Malus i Vouk, 2012).

Površina, koja može biti suha ili mokra, zasađena je odabranim biljkama, a njihovo korijenje prodire kroz supstrat kao podrška korijenskom sustavu, ali i kao površina za razvoj mikroorganizama (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

BUPT se u odnosu na smjer tečenja otpadne vode kroz supstrat mogu podijeliti na:

- biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom (Slika 4)
- biljni uređaj s horizontalnim podpovršinskim tokom (Slika 5)

#### **3.3.2.1 Biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom (BUVPT)**

Promatrano od površine prema dnu BUVPT se sastoji od triju karakterističnih slojeva odgovarajuće debljine i karakteristika supstrata:

- površinski sloj sa supstratom od krupnog šljunka
- središnji filtarski sloj sa supstratom od pijeska (srednje do krupne granulacije)
- pridneni drenažni sloj sa supstratom od krupnog šljunka (Malus i Vouk, 2012).

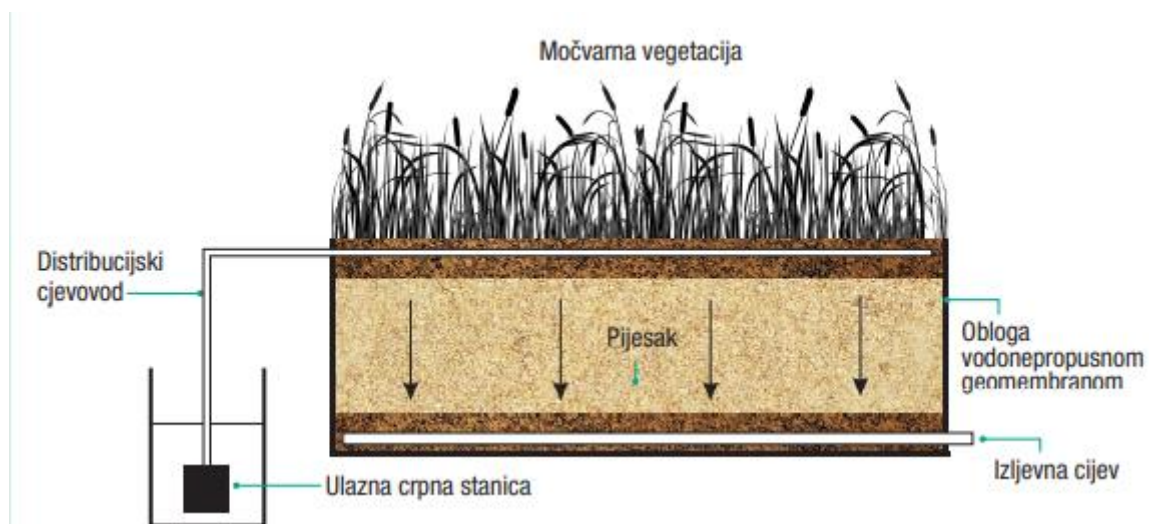
Kod BUVPT se prethodno izbistrena otpadna voda distribuira ravnomjerno po čitavoj površini uređaja kroz mrežu distribucijskih cijevi koje mogu biti položene na površinu supstrata (rjeđe se koristi u praksi) ili unutar samog površinskog sloja (češće se koristi u praksi i ujedno se preporučuje). Distribucijski cjevovodi polažu se na način da ravnomjerno pokriju cjelokupnu površinu BUVPT, čime se osigurava ravnomjerna raspodjela otpadne vode unutar uređaja, što je neophodno za njegov uspješan rad. Istjecanje otpadne vode iz distribucijskih cijevi osigurano je kroz male otvore koji se buše na odgovarajućim razmacima. Nakon toga otpadna voda pod djelovanjem gravitacije vertikalno se procjeđuje kroz čitavo tijelo biljnog uređaja i na tom se putu odvija njezino pročišćavanje (Malus i Vouk, 2012).

Središnji je filtarski sloj najaktivniji u procesu pročišćavanja otpadnih voda u BUVPT-u i stoga je znatno deblji od površinskog i pridnenog sloja (Malus i Vouk, 2012).

Pridneni drenažni sloj ima funkciju dreniranja procijeđene i pročišćene vode te se unutar njega polažu drenažni odvodni cjevovodi, kroz koje pročišćena voda otječe iz BUVPT do kontrolnog okna. Pridneni drenažni sloj s površinske strane oblaže se filtarskom tkaninom

(geotekstilom), čija je funkcija sprječavanje ispiranja supstrata iz središnjeg filtarskog sloja. U normalnim pogonskim uvjetima poželjno je osigurati konstantnu potopljenost pridonog sloja u iznosu 90-100% njegove visine (Malus i Vouk, 2012).

Kod BUVPT iznimno je važno osigurati isprekidano dotjecanje otpadne vode, pri čemu se čitava površina uređaja potapa otpadnom vodom nekoliko puta na dan. Kod BUVPT se stoga u sklopu objekata prethodnog tretmana instalira manja crpka, kojom se izbistrena otpadna voda u određenim vremenskim intervalima tlači kroz distribucijske cjevovode na površinu BUVPT. U periodu mirovanja između dva dotjecanja otpadne vode na površinu BUVPT omogućeno je prozračivanje središnjeg filtarskog sloja (prodor zraka u pore ispunje), što je važno za održavanje aerobnih uvjeta razgradnje organske tvari i postizanje potpune nitrifikacije (Malus i Vouk, 2012).



Slika 4 - Biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom (Malus i Vouk, 2012)

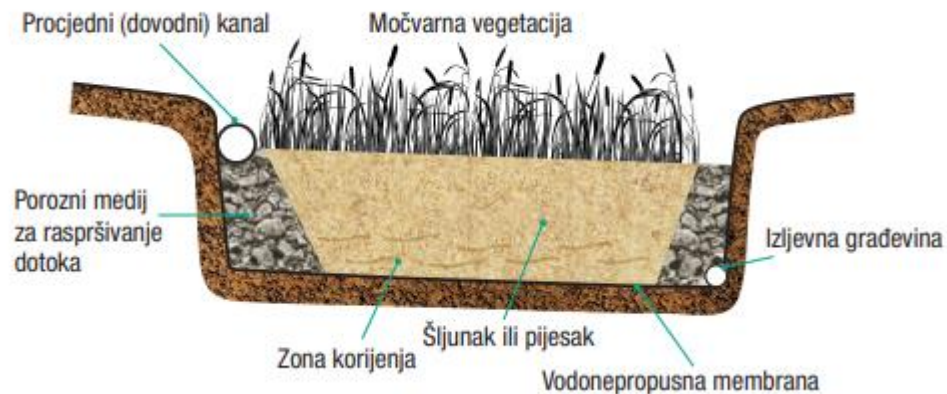
### 3.3.2.2 Biljni uređaj s horizontalnim podpovršinskim tokom

U podpovršinski biljni uređaj s horizontalnim protokom voda ulazi i teče kroz njega horizontalno do izlazne zone. Pri takvu načinu prolaska otpadne vode kroz uređaj supstrat je stalno zasićen te se kisik iz atmosfere u vodeni medij najvećim dijelom prenosi uz pomoć biljaka. Podpovršinski biljni uređaji s horizontalnim protokom često se koriste za obradu komunalnih otpadnih voda, napose u područjima gdje nema komunalne infrastrukture, a osnovni razlog odabira takve tehnologije jest u njezinoj jednostavnosti (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Samo tijelo BUHPT može se podijeliti u tri karakteristične zone (promatrano od uljevnog prema izljevnom dijelu) odgovarajuće debljine i karakteristika supstrata:



- uljevni dio sa supstratom krupnije granulacije (krupnim šljunkom, kamenom)
- glavni središnji filtarski dio sa supstratom od šljunka
- izljevni drenažni dio sa supstratom krupnije granulacije (krupnim šljunkom, kamenom) (Malus i Vouk, 2012).



Slika 5 - Biljni uređaj s horizontalnim podpovršinskim tokom (Malus i Vouk, 2012)

Kod BUHPT prethodno izbistrena otpadna voda distribuira se unutar uljavnog dijela uređaja. Distribucijski cjevovod ugrađuje se plitko ispod površine uljavnog dijela uređaja, rjeđe na samu površinu, a najbolje u mali humak iznad uljavnog dijela uređaja. Dotjecanje otpadne vode do BUHPT može biti kontinuirano i isprekidano, ovisno o terenskim prilikama i mogućnostima konfiguriranja cjelokupnog uređaja. Neovisno o načinu dotjecanja, važno je osigurati ravnomjernu raspodjelu otpadne vode iz distribucijskih cijevi po čitavoj širini BUHPT, što je neophodno za njegov uspješan rad. Istjecanje otpadne vode iz distribucijskih cijevi osigurano je kroz male otvore koji se buše na odgovarajućim razmacima. Nakon istjecanja otpadne vode iz distribucijskih cijevi, ona se prvo procjeđuje kroz supstrat krupnije granulacije, čime se dodatno potpomaže ravnomjerna distribucija vode po čitavoj širini uređaja (Malus i Vouk, 2012).

Tečenje se nastavlja kroz glavni središnji porozni dio tijela uređaja od šljunka. Horizontalno tečenje potpomognuto je malim uzdužnim padom dna uređaja. Središnji je dio najaktivniji u procesu pročišćavanja otpadnih voda u BUHPT, stoga zauzima gotovo čitavo tijelo uređaja (Malus i Vouk, 2012).

Pročišćena se voda nakon procjeđivanja kroz središnji dio uređaja prikuplja u izljevnom drenažnom dijelu koji je ispunjen supstratom krupnije granulacije. Pri dnu izljevnog dijela ugrađuje se drenažni cjevovod po cijeloj širini, koji drenira i prikuplja pročišćenu vodu. Na drenažni se cjevovod pomoću oblikovnih T- komada spajaju izljevne cijevi koje izlaze izvan

tijela uređaja i završavaju u kontrolnim oknima koja se ugrađuju uz samo tijelo BUHPT. Visinom polaganja krajnjeg dijela izljevog cjevovoda unutar kontrolnog okna kontrolira se razina vode unutar tijela BUHPT. Isplivavanje vode na površinu BUHPT smatra se nepoželjnim te ga je potrebno izbjeći pod svaku cijenu (Malus i Vouk, 2012).

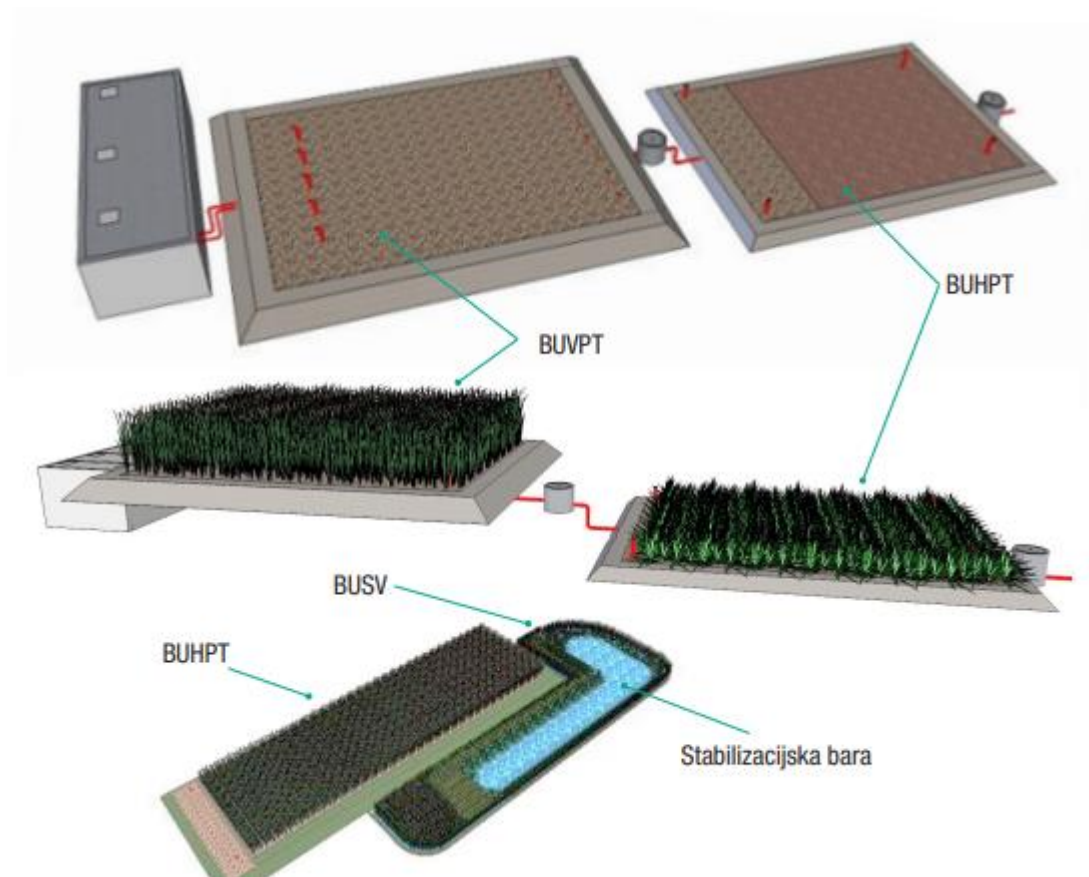
Pročišćena voda iz kontrolnog okna istječe prema konačnom recipijentu (Malus i Vouk, 2012).

### **3.3.2.3 Hibridni biljni uređaji (HBU)**

Hibridni biljni uređaji (HBU) sustavi su koje karakteriziraju dva ili više serijski povezanih bazena s različitim tipovima biljnih uređaja (Malus i Vouk, 2012).

Oba načina imaju nekih svojih prednosti, pa se primjerice za horizontalno strujanje postiže vrlo dobra učinkovitost (90 – 95%), a u vertikalnom dobra (80 – 95%). Stoga se obično zajednički koriste kombinirani ili hibridni sustavi s horizontalnim i vertikalnim strujanjem i tu je učinkovitost najbolja (veća od 90%), posebno pri uklanjanju dušika te patogenih mikroorganizama (bakterija i virusa). Bazeni s vertikalnim strujanjem pokazali su se zbog održanja aerobnih uvjeta pouzdanima u postizanju potpune nitrifikacije pa se najčešće primjenjuju na početku sustava. Zbog stalne potopljenosti kod horizontalnih strujanja većim dijelom vladaju anaerobni uvjeti koji omogućuju procese denitrifikacije, a aerobni su samo djelomično uz korijenje močvarne vegetacije (Nadilo, 2013).

Otpadna se voda potpuno pročisti uz pomoć bioloških procesa (aerobna i anaerobna razgradnja i ugradnja u tijelo biljke), ali i fizikalnih i kemijskih (isparavanje, taloženje i usisavanje). Gotovo se potpuno odstranjuju svi organski i mineralni sastojci te otrovne tvari i bakterije fekalnog i drugog podrijetla, a obojene se vode potpuno izbistre (Nadilo, 2013).



Slika 6 - Hibridni biljni uređaj (Malus i Vouk, 2012)

### 3.3.3 Prednosti i nedostaci vertikalnog i horizontalnog biljnog uređaja

Kako bi mogli što bolje procijeniti koji biljni uređaj je prirodniji za pročišćavanje određene vrste otpadne vode i na određenom području važno nam je znati koji su nedostaci, a koje su prednosti određenog biljnog uređaja. U tablici 4. uspoređeni su biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom i biljni uređaj s horizontalnim podpovršinskim tokom.



Tablica 4 - Prednosti i nedostaci vertikalnog i horizontalnog biljnog uređaja (Ružinski i Anić Vučinić, 2010)

	<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
<b>Vertikalni protok</b>	Manja površina	Kratak put prolaska otpadne vode
	Dobra opskrba kisikom – dobra nitrifikacija	Slaba denitrifikacija
	Jednostavna hidraulika	Visoki tehnički zahtjevi
	Visoke karakteristike pročišćavanja od početka rada	Slabo uklanja P
<b>Horizontalni protok</b>	Moguć dulji put otpadne vode	Veća površina
	Moguća nitrifikacija i denitrifikacija	Potrebna detaljnija hidraulička kalkulacija za optimalan unos O <sub>2</sub>
	Formiranje huminske kiseline za uklanjanje N i P	Teže je postići kontinuiranu dobavu otpadne vode
	Dulji vijek trajanja	

## 4 OBRADA OTPADNE VODE

Mehanizmi obrade otpadne vode u biljnom uređaju vrlo su kompleksni i najviše ovise o sastavu otpadne vode. Poznavanje sastava otpadne vode bitan je čimbenik u odabiru, projektiranju, optimiranju i radu uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Karakterizacija otpadne vode provodi se prema fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima otpadne vode. U fizikalna svojstva otpadne vode ubraja se boja, miris i krutine koje se u njoj nalaze. Kemijska svojstva otpadne vode određuju prisutne organske tvari (ugljikohidrati, ulja, masti, pesticidi, fenoli, proteini, primarni polutanti, površinski aktivne tvari, lako hlapljivi ugljikovodici i dr.) i anorganske tvari (alkalitet, kloridi, teški metali, dušik, pH, fosfor, primarni polutanti, sumpor, plinoviti hidrogen sulfid, metan i kisik). Biološkim svojstvima otpadne vode pridonose životinje, biljke, bakterije i virusi. Fizikalno-kemijski uvjeti pri kojima rade biljni uređaji direktno utječu na sve biološke procese koji se unutar njih odvijaju, a time i na učinkovitost njihova rada (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Tablica 5 - Pregled mehanizama uklanjanja tvari iz otpadne vode (Ružinski i Anić Vučinić, 2010)

<b>Tvari sadržane u otpadnoj vodi</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	Sedimentacija, nitrifikacija/denitrifikacija, mikrobiološka razgradnja
Fosfor	Sedimentacija, filtracija, adsorpcija, adsorpcija biljkama i mikroorganizmima
Metali	Sedimentacija, adsorpcija biljkama, mikrobiološki oksidacijsko/redukcijski procesi
Patogeni	Sedimentacija, filtracija, prirodno odumiranje, UV zračenje, antibiotsko djelovanje iz korijena biljka

#### **4.1 Predtretman otpadnih voda**

Predtretman otpadnih voda ima funkciju prethodnog bistrenja sirove otpadne vode, odnosno izdvajanja čestica raspršene tvari, ulja i masti, prije dotjecanja otpadne vode do BU. Drugim riječima, prije dotjecanja otpadne vode do BU potrebno je osigurati I. stupanj pročišćavanja. Ispuštanje sirove otpadne vode u BU, bez prethodnog tretmana, rezultiralo bi učestalim začepljenjem ispune i smanjenom učinkovitosti pročišćavanja (Malus i Vouk, 2012).

Postoje različita tehnička rješenja predtretmana otpadnih voda, koja se u okviru svjetske prakse uspješno primjenjuju. U okviru primjene BU u funkciji pročišćavanja otpadnih voda iz ruralnih naselja (manjeg kapaciteta), ističu se Imhofov taložnik i septički tank kao dva tehnička rješenja koja se najčešće koriste i prostorno se smještaju uz sam BU. S obzirom da se kod BU općenito koristi neznatan udio elektrostrojarske opreme, trebalo bi i kod predtretmana opremu izbjegavati, osim u slučajevima gdje postoji potpuna opravdanost primjene takvih rješenja, odnosno, gdje nije moguće ostvariti traženu učinkovitost predtretmana bez primjene elektrostrojarske opreme. Isto tako, Imhofov taložnik drži se slabijim rješenjem (Malus i Vouk, 2012).

Osnovna značajka septičkih jama jest u tome što se u njima izdvajaju suspendirane tvari taloženjem i nastavlja dalje truljenje istaloženog mulja (Tušar, 2004).

#### **4.2 Bazen za filtriranje – 1. faza pročišćavanja**

Bazen za filtriranje je prvi bazen u koji dotječe voda, u njemu se provodi filtriranje i zadržavanje preostalih suspendiranih tvari, te se na taj način štiti glavni sustav biljnog uređaja. U ovom se bazenu odvija aerobno i anaerobno pročišćavanje, adsorpcija, apsorpcija i ugrađivanje hranjivih i otrovnih tvari u biomasu biljaka i mikroorganizama. Poprečni i uzdužni nagib dna bazena iznosi 1%. Protok vode kroz sustav u ovom bazenu je horizontalan (Šperac i sur., 2013).

#### **4.3 Bazen za pročišćavanje – 2. faza pročišćavanja**

Bazen za pročišćavanje drugi je po redoslijedu bazen u kojeg dotječe voda, tlocrtno je podijeljen u dvije prostorno razdvojene uzdužne sekcije koje se izmjenično pune (slika 4). Razdijeljenost je postignuta izvedbom desetcentimetarskog nadvišenja kamenim materijalom u odnosu na površinu gornjeg šljunčanog sloja. Poprečni i uzdužni nagib dna bazena iznosi 1%. U ovom se bazenu provodi filtriranje suspendiranih tvari, aerobno pročišćavanje,

intenzivan unos kisika, ugradnja hranjivih tvari u biomasu biljaka i mikroorganizama te redukcija patogenih bakterija. Protok vode kroz sustav u ovom bazenu je verikalan i horizontalan (Šperac i sur., 2013).

#### **4.4 Bazen za poliranje – 3. faza pročišćavanja**

U ovom se bazenu provodi konačno pročišćavanje otpadnih voda i kondicioniranje kisika, filtracija, adsorpcija, apsorpcija, ugradnja hranjivih i otrovnih tvari u biomasu biljaka i mikroorganizama te aerobno/anaerobno pročišćavanje. Protok vode kroz sustav u ovom bazenu je horizontalan (Šperac i sur., 2013).

## 5 VEGETACIJA U BILJNIM UREĐAJIMA

Makrofiti imaju nekoliko posebnih svojstava koja ih čine prijeko potrebnom komponentom biljnog uređaja. Najvažnija uloga makrofita u odnosu na obradu otpadnih voda jest fizički učinak. Makrofiti stabiliziraju površinu biljnog uređaja, osiguravaju dobre uvjete za fizičku filtraciju, štite od smrzavanja tijekom zime te omogućuju stvaranje velike površine za rast mikroorganizama (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Prilikom izgradnje BU, močvarna vegetacija može se uspostaviti na više načina:

- presađivanjem korijenja biljke,
- presađivanjem podanka biljke,
- presađivanjem mladica biljaka iz rasadnika,
- presađivanjem izraslih biljaka iz okoliša,
- zasijavanjem (Malus i Vouk, 2012).

Najučinkovitiji i najčešći je slučaj direktna sadnja (presađivanje) mladica iz rasadnika. Kod presađivanja korijena, podanka i izraslih biljaka veći je rizik da se biljke neće priviknuti na novu okolinu i da će odumrijeti. Zasijavanje vegetacije predstavlja jeftinije, ali manje kvalitetno rješenje kod kojeg je potrebno duže vrijeme za potpunu uspostavu vegetacije (Malus i Vouk, 2012).

Najčešće se siju trska (*Phragmites australis*), rogoz (*Typha latifolia*), uspravni ježinac (*Sparganium erectum*), obični oblič (*Scirpus lacustris*), žuta perunika (*Iris pseudacorus*), šaš (*Carex sp.*), blještac (*Phalaris arundinacea*) i dr. To su široko rasprostranjene biljke i prilagođene različitim uvjetima, čak i niskim temperaturama. Uvijek se preporučuje izbor autohtone močvarne vegetacije jer najbolje uspijeva, ali trska je najzastupljenija vjerojatno stoga što je najraširenija (Nadilo, 2013).

Potrebno je izbjegavati primjenu egzotičnih biljnih vrsta, koje nisu karakteristične za konkretno podneblje. Pojedini tipovi egzotične močvarne vegetacije mogu se brzo i invazivno širiti na okolno područje (sjeme nošeno, vjetrom, vodom i dr.) te izazvati neželjene posljedice u okolišu, onemogućujući razvoj autohtonoj flori (Malus i Vouk, 2012).

Nakon presađivanja vegetacije, preporučuje se tijelo BU u potpunosti ispuniti čistom vodom (iz obližnjeg površinskog ili podzemnog izvora vode), do nekoliko centimetara iznad površine terena. Nikako se ne preporučuje u početnoj fazi ispuniti tijelo BU otpadnom vodom. Potpuna ispunjenost vodom tijela BU onemogućit će rast i razvoj korova, dok će se presađena močvarna vegetacija uspješno razvijati. Ukoliko navedena tehnika sprječavanja rasta korova ne da zadovoljavajuće rezultate, potrebno je primijeniti drugu tehniku. Razinu vode u BU je u

početnoj fazi (do nekoliko tjedana) potrebno održavati visokom, sve dok se vegetacija ne prilagodi novoj okolini. Nakon toga, razinu je vode potrebno postupno snižavati kako bi se usmjerio rast korijena u dubinu (Malus i Vouk, 2012).

## 6 RASPRAVA

Zaštita voda i postupci pročišćavanja otpadnih voda naglo se razvijaju u cijelom svijetu. Za zadovoljenje sve višeg standarda pročišćavanja otpadnih voda, a naročito komunalnih, dosad su uglavnom služile konvencionalne metode pročišćavanja, za koja su potrebna visoka financijska ulaganja. Stoga je razumljivo da se u svijetu sve više traže postupci koji iziskuju manje troškove uz potrebnu visoku učinkovitost (Mudrovičić, 2009).

U prvoj godini rada biljnog uređaja potrebno je kontrolirati barem jednom tjedno razinu vode u uređaju, protok, rad pumpe, ulazni i izlazni sustav cijeli. Nakon što se rad uređaja optimira (u prvoj godini rada), te parametre potrebno je prekontrolirati jednom do dva puta mjesečno. Biljke je potrebno pokositi svaka 3-4 tjedna u sezoni rasta (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Što se tiče rada pumpe, ona je potrebna jedino ukoliko tijekom izgradnje biljnog uređaja nije prisutan pad koji bi omogućio otpadnoj vodi da samostalno teče prema biljnome uređaju.

Tijekom rada uređaja potrebno je pratiti meteorološke parametre (temperaturu, vlagu, oborine) da bi se prikupljeni podatci mogli koristiti pri procjeni utjecaja tih čimbenika na rad biljnog uređaja (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Učinkovitost biljnih uređaja ovisi o protoku i nominalnom vremenu zadržavanja (NVZ), a dosadašnji rezultati određivanja uglavnom su dobiveni pri uvjetima zadržavanja otpadne vode od 3 do 10 dana. Niski protoci i relativno velika površina biljnih uređaja za obradu otpadne vode i visoke vrijednosti nominalnog vremena zadržavanja svrstavaju biljne uređaje u relativno spore procese obrade otpadne vode. Međutim, biljni uređaji nisu osjetljivi na oscilacije u protocima, ne zahtijevaju energiju za rad, a izvedba im je jednostavna i jeftina (Ružinski i Anić Vučinić, 2010).

Biljni uređaji koji prirodno razgrađuju organske i brojne štetne tvari u otpadnim vodama zaista nemaju nikakav miris. To potiče na razmišljanje kako bi i oko većih gradova trebalo graditi velike biljne uređaje jer se ionako mnogo zemljišta uopće ne obrađuje, a ovako bi sve izgledalo i pitomije i kultiviranije. Uostalom mogla bi se otpadna voda velikim kolektorima odvoditi do velikih umjetnih močvara (možda čak i prirodnih) gdje bi se temeljito pročišćavala i koristila, primjerice za ribnjake (Nadilo, 2013).

Kako bi pročišćavanje otpadnih voda biljnim uređajima bilo što učinkovitije, važno je izabrati odgovarajući biljni uređaj za pojedino područje na kojem gradimo. To znači, ako biljni uređaj gradimo na području gdje su niske temperature, nebi sagradili biljni uređaj sa

slobodnim vodnim lice, jer bi nam se površina ledila, nego bi sagradili uređaj s potpovršinskim tokom da izbjegnemo zaleđivanje.



## 7 ZAKLJUČAK

Konvencionalni uređaji za pročišćavanje voda iziskuju skupocjena ulaganja u samo izradu uređaja kao i visoka ulaganja u održavanje istih, dok je kod biljnih uređaja trošak izgradnje relativno malen naspram konvencionalnih uređaja i iziskuje male napore u održavanju. Glavni razlog tome što iziskuje male napore u održavanju je to što nema mehaničkih dijelova koje je potrebno održavati kako bi uređaj normalno funkcionirao.

Biljni uređaji u Hrvatskoj nisu široko rasprostranjeni, a ni dovoljno poznati, makar su nam mogućnosti za realizaciju izrazito velike jer imamo jako puno neiskorištenoga prostora koji je moguće iskoristiti za izgradnju biljnoga uređaja. S obzirom na to da u Hrvatskoj veliki broj naselja nema provedenu kanalizaciju, a izgradnja konvencionalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda je neisplativa zbog velikih troškova same izgradnje, a i održavanja, izgradnja biljnih uređaja je logično rješenje za sanaciju otpadnih voda u manjim naseljima. Iako još nisu dovoljno istraženi što se tiče dugogodišnjeg rada biljnog uređaja, važno je napomenuti da su izrazito efikasni u pročišćavanju otpadnih voda iz kućanstava i manjih industrijskih područja.

Izgradnjom biljnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ne utječemo znatno na okoliš gdje se nalazi, doduše moglo bi se reći kako ga i obogaćujemo, zbog indirektnih pozitivnih utjecaja, kao što je privlačenje mnogih životinjskih vrsta koje su nužne za opstanak jedne drugih.

Mogući negativan utjecaj je taj, što bi se na relativno malom području, nalazio veliki broj jedinki, te bi se tako brže i jednostavnije mogle širiti bolesti među njima.

Nakon svega napisanoga u ovome radu može se doći do zaključka da je obrada otpadnih voda biljnim pročišćivačima otpadnih voda put ka čistoj i zelenijoj budućnosti planeta Zemlje, nego što je korištenjem konvencionalnih uređaja za obradu otpadnih voda.

## 8 LITERATURA

1. BARIŠIĆ, I., KULIĆ, T. (2017): Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda. Suma 4, str. 66-68.
2. JURAC, Z. (2009): Otpadne vode. Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, str. 27-64.
3. MALUS, D., VOUK, D. (2012): Priručnik za učinkovitu primjenu biljnih uređaja za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda. Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, str. 9-65.
4. MARGETA, J. (2007): Oborinske i otpadne vode: teret onečišćenja, mjere zaštite. Sveučilište u Splitu, Split, str. 237.
5. MUDROVIČIĆ, J. (2009): Biološko pročišćavanje otpadnih voda/biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda.  
[http://arhiva.slobodnalika.com/novosti/4236\\_biolosko+prociscavanje+otpadnih+voda++biljni+uredaji+za+prociscavanje+otpadnih+voda.html](http://arhiva.slobodnalika.com/novosti/4236_biolosko+prociscavanje+otpadnih+voda++biljni+uredaji+za+prociscavanje+otpadnih+voda.html) (11.9.2021).
6. NADILO, B. (2013): Biljni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Vrlici. Građevinar, Vol. 65, 10: str. 931-941.
7. ANONYMOUS (1999): Zakon o vodama. Narodne novine br. 107/95.
8. RUŽINSKI, N., ANIĆ VUČINIĆ, A. (2010): Obrada otpadnih voda biljnim uređajima. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, str. 11-39.
9. ŠPERAC, M., KALUĐER, J., ŠRENG, Ž. (2013): Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda. e-gfos 7, str. 76-86.
10. TUŠAR, B. (2004): Ispuštanje i pročišćavanje otpadne vode. CROATIANKNJIGA, Zagreb, str. 50.
11. TUŠAR, B. (2009): Pročišćavanje otpadnih voda. Kigen d.o.o., Zagreb, str. 56-58.