

# Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda

---

**Tatarin, Dorian**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:771817>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-09**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB



# ZAVRŠNI RAD

UREĐAJI ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Dorian Tatarin

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

# ZAVRŠNI RAD

UREĐAJI ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Damir Bekić

Student:

Dorian Tatarin

Zagreb, 2023.

## SADRŽAJ:

1.Uvod.....	1
2. O otpadnim vodama i onečišćenju.....	2
2.1. Podjela otpadnih voda.....	2
2.2. Procesi u vodnom sustavu.....	3
2.2.1. Otopljeni kisik.....	3
2.2.2. Potrošnja kisika u vodnom sustavu.....	4
2.2.3. Biokemijska potrošnja kisika BPK <sub>5</sub> .....	4
2.3. Štetni utjecaji ispuštanja nepročišćenih otpadnih voda.....	5
2.4. Pročišćavanje otpadnih voda u Republici Hrvatskoj.....	6
2.5. Globalni ciljevi UN-a odnosa prema vodi.....	7
3. Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda.....	9
3.1. Uređaji s prethodnim stupnjem pročišćavanja.....	9
3.2. Uređaji s prvim (I) stupnjem pročišćavanja.....	12
3.3. Uređaji s drugim (II) stupnjem pročišćavanja.....	13
3.4. Uređaji s trećim (III) stupnjem pročišćavanja.....	15
3.5. Muljevi s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.....	16
3.5.1. Obrada mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.....	16
3.6. Primjer uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.....	17
3.6.1. Osnovne karakteristike uređaja.....	17

3.6.2. Proces pročišćavanja otpadnih voda.....	18
4. Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda.....	22
4.1. Vrste biljnih uređaja.....	22
4.2. Obrada otpadne vode u biljnom uređaju.....	24
4.2.1. Uklanjanje suspendiranih tvari.....	24
4.2.2. Uklanjanje organskih tvari.....	24
4.2.3. Uklanjanje dušika.....	25
4.2.4. Uklanjanje fosfora.....	25
4.2.5. Uklanjanje mikroorganizama.....	25
4.3. Prednosti biljnih uređaja.....	26
5. Zaključak.....	27
6. Literatura.....	28
7. Sažetak.....	29
8. Abstract.....	29

## 1. UVOD

Voda je sastavni dio bez kojega nema života i prekriva 71% površine našeg planeta. Tu vodu 97,5% čine mora i oceani, a 2,5% čine slatke vode iz podzemlja, rijeka, jezera i ledenjaka. Voda se na zemlji obnavlja kruženjem vode u prirodi prilikom čega mijenja svoj sastav. [2]

Od početaka ljudske civilizacije, ljudi su naseljavali područja uz rijeke, jezera i obale kako bi koristili vodu za različite namjene kao što su: piće, sanitarne potrebe, proizvodnju električne energije, plovidba, ispuštanje otpada i slično.

U posljednjih 50-ak godina s naglim porastom stanovništva, razvojem industrije i većom potrošnjom pitke vode došlo je do intenzivnog djelovanja na kakvoću vode i vodni resurs te do potrebe za zaštitom voda. Potreba zaštite voda rješava se izgradnjom uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i raznim društvenim i političkim odnosima i zakonima prema vodi.[1]

Tema ovog rada bit će uređaji za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) čija izgradnja i uporaba je sve prisutnija u Europskoj Uniji, a samim time i Hrvatskoj. Takvim postrojenjima onečišćena voda se pročišćava prije propuštanja u kanalizaciju i njenog ispusta u okoliš. Cilj ovog rada je ukazati na problematiku vezanu uz otpadne vode i njene štetne utjecaje ukoliko se ispušta u okoliš bez prethodne obrade te isto tako prikazati kakvim postupcima se takav problem može riješiti.

## **2. O OTPADNIM VODAMA I ONEČIŠĆENJU**

Otpadne vode su tekućine koje nastaju upotrebom vode iz raznih vodoopskrbnih sustava za raznovrsne namjene, prilikom čega dolazi do promjene kemijskih, fizikalnih i bioloških svojstava. Otpadne vode isto tako sudjeluju u hidrološkom procesu tako da voda koja se koristi za opskrbu kućanstva gradova i sela te raznih proizvodnih i industrijskih pogona sustavom odvodnje vraća se u prirodni okoliš. [2]

### **2.1. Podjela otpadnih voda**

Otpadne vode dijelimo na:

a) Sanitarne otpadne vode

U sanitarne otpadne vode spadaju sve vode koje nastaju sanitarnom uporabom ljudi u domovima, restoranima, poslovnim prostorima i sl. za svakodnevne potrebe života. Takve vode onečišćene su organskom tvari te se njihova razgradnja odvija mikroorganizmima razlagačima.

b) Industrijske otpadne vode

U ovu skupinu otpadnih voda spadaju sve otpadne vode koje nastaju korištenjem voda u industrijskim i proizvodnim pogonima, međutim kako se tehnološki procesi proizvodnje u industrijama veoma razlikuju tako se i industrijske otpadne vode po svome sastavu razlikuju. Dvije osnovne skupine industrijskih otpadnih voda su biološki razgradive vode (najčešće iz prehrambene industrije) koje se mogu odvoditi istim sustavom zajedno sa

sanitarnim otpadnim vodama i biološki nerazgradive vode (kemijska i metalurška industrija) koje se prije zajedničke odvodnje sa sanitarnim otpadnim vodama moraju prethodno pročištit.

c) Oborinske otpadne vode

Oborinske vode su uglavnom čiste vode, ali prilikom njihovog ispiranja atmosfere, padanja i dostizanja nižih slojeva atmosfere i tla onečišćavaju se u manjoj ili većoj mjeri. Glavni primjer takvih voda su kisele kiše koje štetno djeluju na šume i vegetaciju te crvene i žute kiše koje nastaju ispiranjem pustinjske prašine. Takvi problemi mogu se umanjiti kontroliranim ispuštanjem štetnih tvari u atmosferu. [2] [4]

## **2.2. Procesi u vodnom sustavu**

Stanovništvo iz gradova, sela i drugih naseljenih područja rijeke i jezera koriste za vodoopskrbu te isto tako i za ispuštanje otpadnih voda nakon upotrebe. Intenzitet onečišćenja otpadne vode vraćene nazad u prijemnik rijeke ili jezera ovisi o raznim parametrima, ali ponajviše o temperaturi i vremenu. Gradske vode mogu se onečistiti čvrstom, koloidnom i otopljenom tvari, a prema vrsti onečišćenja, onečišćenje može biti organsko, anorgansko i biološko. Bitan parametar onečišćenih voda je masa štetne tvari koja se nalazi u jedinici volumena vode (mg/l ili g/m<sup>3</sup>).

### **2.2.1. Otopljeni kisik**

Većinu onečišćenja otpadnih voda (pogotovo sanitarnih) uzrokuju organske tvari za čije uklanjanje se troši otopljeni kisik u vodi. Tako da je onečišćenje organskom tvari u direktnoj korelaciji s količinom otopljenog kisika potrebnog za razgradnju organske tvari. [5] Kisik je isto tako bitan za život



vodnenih organizama te se njegovo otapanje dešava na granici plinovitog i tekućeg stanja. Povećanjem površine vode, povećava se količina otopljenog kisika. [2]

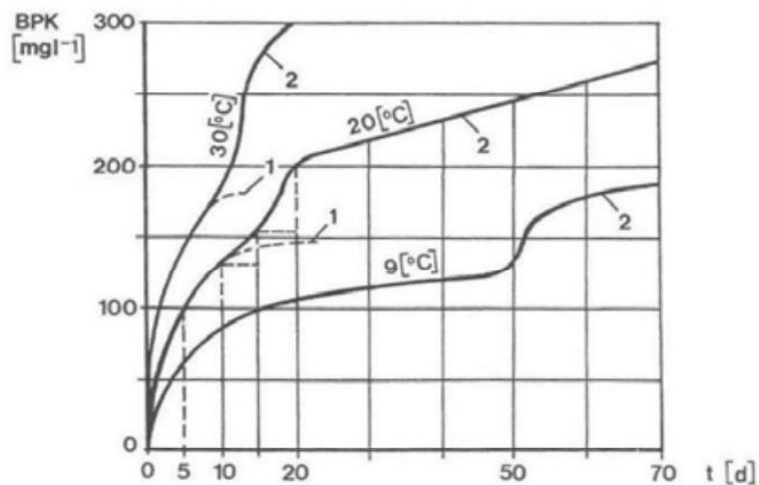
### **2.2.2. Potrošnja kisika u vodnom sustavu**

Disanjem vodenih organizama i mikroorganizama te razgradnjom organskih tvari troši se otopljeni kisik u nekom vodotoku. Prilikom potrošnje kisika dolazi do potrebe za njegovim obnavljanjem. Reaeracija (obnavljanje kisika) ovisi o manjku otopljenog kisika u vodi te što je voda nezasićenija kisikom proces reaeracije teče brže. Količina otopljenog kisika osnovni je kriterije ocjene stanja ekosustava. Prilikom pročišćavanja otpadnih voda potrebno je prognozirati što će se dogoditi s vodotokom nakon ispuštanja otpadnih voda u njega, tj. do kolike potrošnje otopljenog kisika će doći.[2]

### **2.2.3. Biokemijska potrošnja kisika BPK**

Biokemijska potrošnja kisika (BPK) predstavlja količinu kisika koja je potrebna kako bi se razgradila biološki razgradiva organska tvar pomoću aerobnih bakterija. BPK je važan pokazatelj jer služi kao mjerilo onečišćenja vode organskom tvari te isto tako pokazuje uspješnost uređaja za obradu vode. Za praktične svrhe koristi se pokazatelj petodnevne biokemijske potrošnje kisika (BPK<sub>5</sub>).

BPK<sub>5</sub> se određuje tako da se mali volumen otpadne vode pomiješa sa znatno većom količinom destilirane vode bogate kisikom. Takva smjesa se zatim stavlja u bocu u kojoj nema zraka te se 5 dana skladišti na temperaturi od 20 °C. Zatim se određuje koliko je otopljenog kisika potrošeno u miligramima kisika po litri otpadne vode ( mg/l). BPK<sub>5</sub> za sanitarne otpadne vode iznosi do 400 mg/l. [5]



*Slika 1 – Prikaz promjene BPK<sub>5</sub> kao kumulativne krivulje u funkciji vremena*

### 2.3. Štetni utjecaji ispuštanja nepročišćenih otpadnih voda

Ispuštanje otpadnih voda bez njihovog prethodnog pročišćavanja uzrokuje mogućnost narušavanja ljudskog zdravlja, štetne utjecaje na biljke i životinje u vodnim sustavima, nemogućnost korištenja vode iz prijemnika, neugodan miris i uništavanje estetskog izgleda prirode i krajolika.

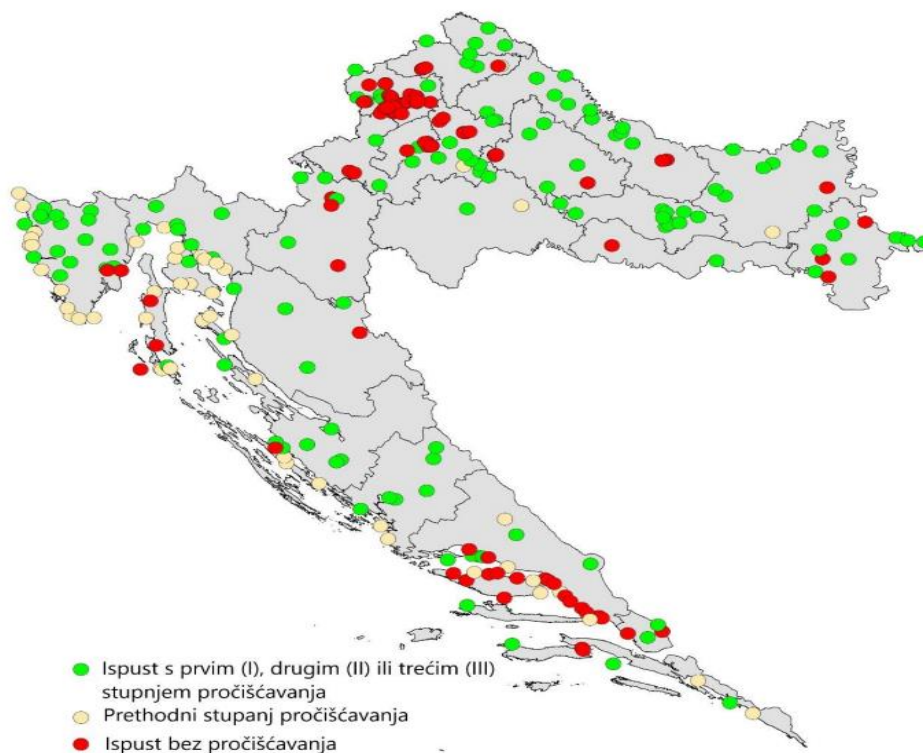
U nepročišćenim otpadnim vodama postoji rizik od pojave bakterija i virusa koje uzrokuju razne bolesti (kolera, tifus, salmonela i sl.), toksičnih tvari iz raznih industrijskih proizvodnih pogona koje uzrokuju uništenje vodene flore i faune, krupnih krutih materijala i plastike čijim nakupljanjem nastaje neuredan krajolik i potencijalna opasnost po zdravlje ljudi i životinja. Isto tako u otpadnim vodama često se nalaze ulja i masti koja na površini vode stvaraju nepropustan sloj koji onemogućava apsorpciju kisika iz atmosfere te dušik i fosfor i druge štetne tvari koje djeluju kao gnojiva i potiču rast raznih algi, morskih trava i sličnog bilja koje

se nakuplja i onečišćuje obale rijeka, jezera i mora. Također postoji opasnost od cvjetanja algi koje sadrže toksine koji mogu biti opasni po zdravlje ljudi ako se otrovane školjke, ribe i drugi organizmi koriste za prehranu.

Najveće količine otpadnih voda proizvode se od postrojenja termo i hidroelektrana, zatim slijede poljoprivreda, razne industrije i na kraju kućanstva. [2]

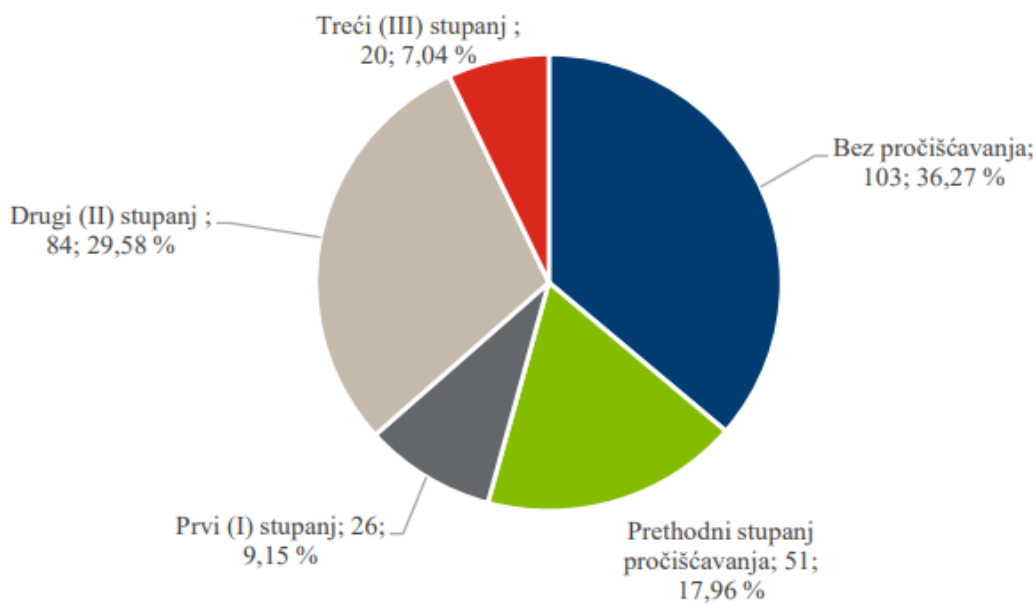
## 2.4. Pročišćavanje otpadnih voda u Republici Hrvatskoj

U Hrvatskoj u 2021. godini prijavljeno je ukupno 284 ispusta otpadnih voda. U tih 284 ispusta spadaju svi ispusti neovisno o pročišćavanju ili nepročišćavanju vode.



*Slika 2 – Raspored ispusta otpadnih voda u RH*

Od 284 ispusta, na njih 103 ispuštanje se odvija bez prethodnog pročišćavanja otpadnih voda, iz čega vidimo da u Hrvatskoj ima još prostora i potreba za izgradnju UPOV-a i poboljšanja našeg odnosa prema vodi i okolišu. [3]



*Slika 3 – Broj ispusta otpadnih voda i njihov stupanj pročišćavanja*

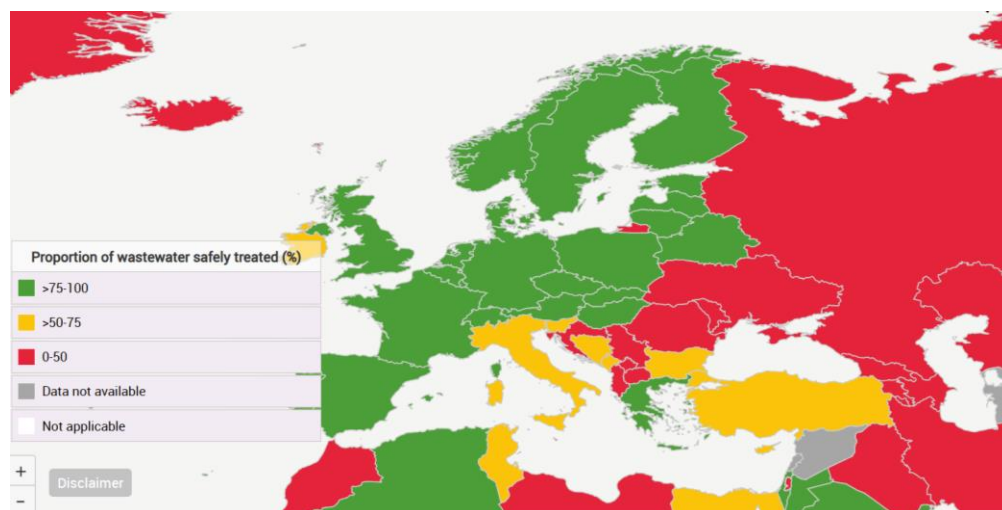
## 2.5. Globalni ciljevi UN-a prema vodi

Ujedinjeni narodi (UN) 2001. godine donijeli su 17 glavnih globalnih ciljeva za održivi razvoj svijeta (SDG) za koje će se izraditi programi i politika odnosa u slijedećih petnaest godina. Globalni ciljevi se odnose na različite probleme, kao npr. siromaštvo, ali isto tako i čistu vodu i sanitarne uvjete (SDG 6). Cilj SDG-a 6 (Sustainable Development Goals 6) je osigurati svim ljudima pristup pitkoj i čistoj vodi i osnovne higijenske uvjete te održivo i odgovorno upravljanje vodama. Određeni podciljevi SDG-a 6 se odnose na ispuštanje otpadnih voda u okoliš na siguran i prihvatljiv način bez štetnog djelovanja na prirodu (SDG 6.3.). 58% ukupne svjetske otpadne vode se na siguran i prihvatljiv način ispušta u okoliš, a 60% promatrane svjetske vode rijeka, jezera i drugih vodenih površina ima zadovoljavajuću kakvoću. Cilj je da se do 2030. godine poboljša kvaliteta i kakvoća svjetske vode reduciranjem štetnih ispusta (raznih štetnih kemikalija, materijala i sl.) u prirodne vodotoke. S tim ciljem UN prati napredak zadovoljavajućeg

ispuštanja ukupnih otpadnih voda (industrijskih i komunalnih) svih svojih članica prema globalnim standardima. Prema podacima Ujedinjenih naroda Republika Hrvatska na siguran način tretira i ispušta 33,97% komunalne otpadne vode i 24,74% industrijske otpadne vode, a 56% ukupne vode Republike Hrvatske iz rijeka i jezera i drugih prirodnih vodenih površina zadovoljava propisanu kakvoću i kvalitetu vode. [10] [11]



*Slika 4 – Postotak količine kvalitetne vode u državama Europe*



*Slika 5 – Postotak sigurnog tretiranja otpadnih voda u državama Europe*

Iz priloženog vidimo da se Republika Hrvatska u pogledu prihvatljivog odnosa prema otpadnoj vodi sukladno s globalnim normama nalazi pri samom dnu u Europi te postoji još mnogo mjesta za napredak. Isto tako vidimo da u pogledu kvalitete i kakvoće vode Republika Hrvatska se nalazi ispod Europskog prosjeka.

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

Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda su hidrotehničke građevine s postrojenjima kojima se vrši pročišćavanje vode sustava javne odvodnje prije njihovog ispuštanja u za to predviđeni prijemnik. Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda se međusobno razlikuju prema tehnologiji i stupnju pročišćenja. Prema stupnju pročišćenja otpadnih voda razlikujemo uređaje:

- s prethodnim stupnjem pročišćavanja
- s prvim (I) stupnjem pročišćavanja
- s drugim (II) stupnjem pročišćavanja
- s trećim (III) stupnjem pročišćavanja.

Svaki od spomenutih uređaja s većim stupnjem pročišćavanja sadrži i tehnologije pročišćavanja uređaja s manjim stupnjem pročišćavanja. [3]

#### **3.1. Prethodni stupanj pročišćavanja**

Uređajima s prethodnim stupnjem pročišćavanja odvija se mehaničko pročišćavanje voda prilikom čega iz vode uklanjaju krupne, plutajuće, lebdeće i masne tvari. Takvo pročišćavanje je osnovni preduvjet za više razine pročišćavanja

(biološko i fizikalno – kemijsko pročišćavanje). Ovim stupnjem pročišćavanja BPK se snižava 5-10%, a suspendirana tvar 10-20%. Prethodan stupanj pročišćavanja obuhvaća slijedeće radnje:

- rešetanje i/ili usitnjavanje (dezintegracija)
- taloženje i isplivavanje
- izjednačavanje (egalizacija) i/ili neutralizaciju [5]

**Rešetanje** je prva i najjednostavnija operacija kojom se uklanjaju krupne tvari (drveta, plastike, stakla, lišća i sl.) radi zaštite ostalih dijelova uređaja za pročišćavanje. Rešetanje se uglavnom odvija na rešetkama koje se razlikuju ovisno o veličini otvora među šipkama rešetke. [5]

Uglavnom se koriste:

- grube rešetke sa slobodnim otvorom 50-100 mm
- srednje rešetke sa slobodnim otvorom 10-25 mm
- fine rešetke sa slobodnim otvorom 3-10 mm.

**Usitnjavanje** je operacija koja u potpunosti zamjenjuje rešetku ili se vrši nakon prolaska otpadne vode kroz grubu rešetku. Tim postupkom otpadne tvari se usitnjavaju u čestice veličine 3-8 mm kako bi se spriječila opasnost od začepjenja crpki i ostalih dijelova uređaja. [5]

**Taloženje** je postupak kojim se iz otpadne vode uklanjaju taložive čestice (pijeska i ostalih krupnih materijala mineralnog porijekla). Ova operacija se koristi radi zaštite rotora crpki, cjevovoda i ostalih dijelova od abrazije te se odvija u uređajima koji se zovu pjeskolovi. [5]



*Slika 6 – Pjeskolov na uređaju za pročišćavanje u Zadru*

**Isplivavanje (flotacija)** je postupak kojim se čestice odvajaju izdizanjem na površinu vode. Ovaj proces se uglavnom koristi za uklanjanje masti i ulja. Razlikujemo prirodno isplivavanje čestica koje je uzrokovano manjom gustoćom čestice od gustoće vode, te prisilno isplivavanje koje se vrši upuhivanjem zraka (plina). Prirodnim isplivavanjem sadržaj plutajućih čestica može se smanjiti za 80-90%, dok se prisilnim isplivavanjem sadržaj plutajućih čestica smanjuje i do 98%. Ovaj proces odvija se u uređajima sličnim taložnicima zvanim floatorima. [5]

**Izjednačavanje** je proces kojim se otpadna voda zadržava u spremniku kako bi se izjednačila temeljna svojstva vode (boja, koncentracija vodikovih iona  $H^+$ , BPK, KPK (kemijska potrošnja kisika), mutnoća i dr.). Ovaj proces uglavnom se provodi za industrijske otpadne vode te vrijeme zadržavanja ovisi o industrijskim (tehnološkim) procesima.



**Neutralizacija** je temeljni proces za prethodno pročišćavanje industrijskih otpadnih voda. Ovim procesom vrši se promjena koncentracije vodikovih H<sup>+</sup> iona (pH vrijednosti). Industrijske otpadne vode često sadrže razne kiseline i lužine koje se ne smiju ispuštati u prirodne vodne sisteme. Dopušta se ispuštanje otpadnih voda s pH vrijednosti od 6 do 9. Neutralizacija se postiže miješanjem različitih voda (kiselih s bazičnim vodama) ili dodavanjem reagensa (npr. natrijeve lužine u kisele vode).

### 3.2. Prvi (I) stupanj pročišćavanja

Prvim stupnjem pročišćavanja iz prethodno pročišćene vode uklanjaju se suspendirane tvari. Prema zakonskoj regulativi ulaznoj onečišćenoj vodi vrijednost BPK<sub>5</sub> se smanjuje za minimalno 25%, dok se ulazne suspendirane tvari smanjuju za najmanje 60%.

Glavni postupak prvog stupnja pročišćavanja je taloženje u prethodnim ili naknadnim taložnicima te se od drugih postupaka još vrši isplivavanje, miješanje, zgušavanje i pahuljičenje. [2] [6]

**Zgušavanje** je proces kojim se remeti stabilnost koloidnih čestica u otpadnoj vodi pomoću koagulanata (mineralnih soli i polielektrolita). Vrsta i doziranje sredstava za zgušavanje određuju se pokusima zgušnjavanja.

**Miješanje** se provodi zato što je bitno da se dodane kemijske tvari izmiješaju sa sadržajem otpadnih voda i da se čestice nastale kemijskom reakcijom održaju u suspenziji.

**Pahuljičenje** je proces kojim se destabilizirane koloidne čestice spajaju u veće čestice (flokule) koje se brže talože.

**Taloženjem** se smanjuje prisutnost anorganske i dijela organske lebdeće tvari u otpadnoj vodi. U ovom stupnju pročišćavanja primjenjuje se taloženje u prethodnim taložnicima čime se iz otpadne vode uklanjaju anorganske i dijelom organske suspenzije u obliku pahuljica i zrna.

### 3.3. Drugi (II) stupanj pročišćavanja

Drugi stupanj pročišćavanja se provodi za uklanjanje otopljene organske tvari u kućanskim i industrijskim otpadnim vodama. Zahtjev za drugi stupanj pročišćavanja je smanjenje suspendirane tvari za 90%, smanjenje BPK<sub>5</sub> za 70% i smanjenje KPK (kemijske potrošnje kisika) za 75%. Ovaj stupanj pročišćavanja temelji se na biološkim procesima. Biološke procese pri pročišćavanju otpadnih voda moguće je primijeniti ako su onečišćenja biološki razgradiva i ako ne sadržavaju otrovne tvari u kritičnim količinama. Pročišćavanje voda biološkim procesima temelji se na aktivnosti mikroorganizama koji razgrađuju mrtvu organsku tvar i koriste je kao hranu te se umnožavaju. Mikroorganizme koji obavljaju razgradnju ovisno o potrebi za kisikom dijelimo na:

- aerobne mikroorganizme (kisik otopljen u vodi potreban je za život)
- anaerobne mikroorganizme (žive bez otopljenog kisika u vodi)
- fakultativne anaerobne mikroorganizme (mogu živjeti uz otopljen kisik u vodi ili bez njega)

Stoga s obzirom na količinu otopljenog kisika razlikujemo aerobne i anaerobne procese.

Do aerobnih procesa dolazi kada u vodi ima dovoljno otopljenog kisika. Kisik se troši prilikom razgradnje otopljene organske tvari koju mikroorganizmi koriste kao hranu. Istovremeno mikroorganizmi razgrađuju vlastite stanice (respiracija) uz dodatnu potrošnju kisika.

Anaerobni procesi nastaju kada u vodi nema otopljenog kisika. U prvoj (kiseljoj) fazi bakterije kiselog vrenja razgrađuju organsku tvar do organskih kiselina koje zatim u drugoj (metanskoj) fazi razgrađuju metanske bakterije. Prilikom

anaerobnih procesa nastaje mnogo manje novih mikroorganizama nego tokom aerobnih procesa.

S obzirom na način održavanja mikroorganizama na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda razlikujemo različite objekte prikazane u tablici.

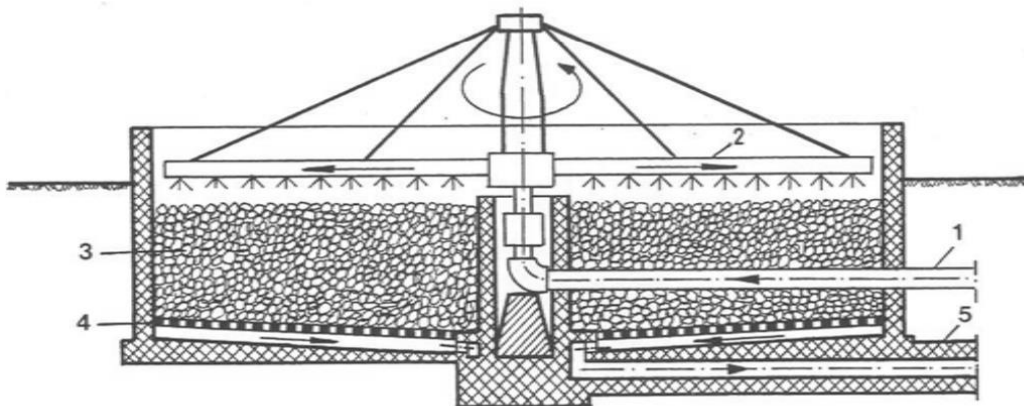
Način održavanja mikroorganizama	Objekti	
	Aerobni procesi	Anaerobni procesi
Mikroorganizmi suspendirani u vodi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aerirani spremnici s aktivnim muljem (bioaeracijski bazeni)</li> <li>2. Lagune (aerobne i aerirane)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Digestori (anaerobni)</li> <li>2. Lagune (anaerobne)</li> </ol>
Mikroorganizmi pričvršćeni na podlozi (u obliku biološke opne)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prokapnici (biološki filtri)</li> <li>2. Okretni biološki nosači (biodiskovi)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lagune (anaerobne)</li> <li>2. Procjeđivači (anaerobni)</li> </ol>

*Tablica 1 – najčešći objekti s obzirom na način održavanja mikroorganizama*

Aerirani spremnici s aktivnim muljem izvode se kao bazeni u koje se uvodi otpadna voda i upuhuje kisik uz istovremeno miješanje čime se ubrzava dodir organskih tvari i mikroorganizama. Aktivnim muljem nazivamo masu mikroorganizama raspršenih u bazenu koji u aerobnim uvjetima razgrađuju organsku tvar.

Lagune su relativno plitki, zemljani spremnici u kojima se odvija razgradnja organskih tvari. Dio mikroorganizama u lagunama je raspršen u vodi, a dio se nalazi na dnu. Uz biološke procese u laguni se još odvijaju procesi taloženja i isplivavanja.

Prokapnici su objekti ispunjeni čvrstim materijalom (lomljenom opekom, kamenom i sl.) na kojima se nalazi opna od mikroorganizama. Mikroorganizmi razgrađuju organske tvari koje se adsorbiraju iz otpadne vode na opnu. [5]



*Slika 7 – Prokapnik*

### **3.4. Treći (III) stupanj pročišćavanja**

Trećim stupnjem pročišćavanja obavlja se strože pročišćavanje otpadnih voda koje uz drugi stupanj pročišćavanja sadrži još postupke uklanjanja fosfora, dušika i drugih onečišćujućih tvari. Zahtjev trećeg stupnja pročišćavanja je smanjenje ukupne koncentracije fosfora za 80% te ukupne koncentracije dušika za minimalno 70%. Treći stupanj pročišćavanja provodi se u raznim industrijama (pretežito prehrambenoj industriji) te su za potrebe pročišćavanja otpadnih voda određeni postupci djelomično modificirani. [5]

Treći stupanj pročišćavanja temelji se na:

- fizikalnim procesima (procjeđivanje, adsorpcija) čime se iz otpadnih voda uklanja neugodan miris, mutnoća, otopljene soli i razni mikroorganizmi
- kemijskim procesima (neutralizacija, ionska izmjena, oksidacija i redukcija, dezinfekcija, kloriranje i sl.) čime se iz otpadnih voda uklanjaju teški metali, otopljene tvari, mikroorganizmi i opasni spojevi te se mijenja pH vrijednost vode
- biološkim procesima (uklanjanje fosfora i dušika)

### **3.5. Muljevi s uređaja za pročišćivanja otpadnih voda**

Mulj se svrstava u grupu opasnog otpada te kao ostatak nakon pročišćavanja otpadnih voda čini heterogenu masu koja se sastoji od tekuće disperzione smjese koju čine krute čestice različitih veličina. [7]

Prilikom obrade gradskih otpadnih voda razlikujemo:

- primarni mulj
- biološki mulj
- tercijarni mulj
- kombinacije muljeva

#### **3.5.1. Obrada mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda**

Postupci obrade mulja vrlo se razlikuju. Način konačne obrade i odlaganja mulja odlučuje se tek nakon utvrđivanja količine mulja, njegovog podrijetla i osnovnih značajki. [7]

Obrada mulja najčešće se sastoji od postupaka:

1. stabilizacije kojom se u mulju smanjuje prisutnost organskih tvari
2. zgušnjavanja kojim se u mulju povećava koncentracija krutina, odnosno smanjenje volumena stabiliziranog mulja
3. kondicioniranja kojim se poboljšavaju uvjeti za centrifugiranje (odvajanje vode iz mulja)
4. centrifugiranja
5. kompostiranja čime se organske tvari u mulju razgrađuju do anorganskih

6. pasterizacije tj. dezinfekcije mulja
7. sušenja i spaljivanja čime isparava voda i izgaraju sve organske tvari u mulju
8. pirolize kojom se razgrađuju organske tvari na visokim temperaturama bez prisutnosti kisika

### **3.6. Primjer uređaja za pročišćavanje otpadnih voda**

UPOV koji se opisuje u ovom radu smješten je u blizini mosta preko rijeke Pazinčice te se koristi za potrebe pročišćavanja komunalnih otpadnih voda grada Pazina, industrijskih i otpadnih voda iz septičkih jama. Navedenim uređajem provodi se drugi stupanj pročišćavanja otpadnih voda. UPOV je izgrađen 2005. godine i pušten je u rad 6. rujna 2005. godine. [7]

#### **3.6.1. Osnovne karakteristike uređaja**

Uređaj dnevno prihvaća 400-600 m<sup>3</sup> sirove otpadne vode, a godišnji protok je oko 185.000 m<sup>3</sup>. Uređaj se sastoji od dovodnog kanala s grubom mehaničkom rešetkom, finog automatskog rotacionog sita sa kompaktiranjem i ispiranjem otpada, aeriranog mastolova i pjeskolova, egalizacijskog i bioaeracijskog bazena, sekundarne taložnice, crpišta povratnog mulja, zgušnjivača viška mulja i postrojenja za strojnu dehidraciju mulja.

Navedenim uređajem provodi se mehaničko i biološko pročišćavanje otpadnih voda pomoću aktivnog mulja s biološkom eliminacijom dušika i fosfora. [7]

### 3.6.2. Proces pročišćavanja otpadnih voda

Mehaničko pročišćavanje vrši se pomoću automatskih mehaničkih grablji, fine automatske rešetke opremljene sustavom za kompaktiranje i ispiranje otpadnih voda i aeriranog pjeskolova i mastolova.

Pomoću grube rešetke s grabljama iz otpadnih voda koje dotječu u uređaj uklanjaju se krute tvari promjera većeg od 30 mm, a pomoću finog sita krute tvari promjera većeg od 2 mm. Izlučivanje pijeska odvija se procesom taloženja, a izlučivanje masnoća puhalima i sustavima za ozračivanje kojima se postiže bolja flotacija masnoća.



*Slika 8 – Gruba rešetka s grabljama*

Ovim procesima se sprječava začepljenje cjevovoda i kvara crpki te se isto tako povećava učinak pročišćavanja otpadnih voda tj. smanjuje ulazno opterećenje.

Zatim mehanički pročišćena otpadna voda se upušta u egalizacijski bazen gdje se vrši ujednačavanje ulaznog opterećenja i retencioniranje vršnih dotoka. Egalizacijski bazen je opremljen puhalima i sustavom za tlačnu aeraciju na dnu bazena čime se provodi miješanje otpadne vode sa svrhom prekidanja i sprječavanja anaerobnih procesa.

Biološko pročišćavanje se odvija u kombiniranom bioaeracijskom bazenu, koji se sastoji od vanjskog bazena za nitrifikaciju i unutarnjeg bazena za denitrifikaciju.



*Slika 9 – Unutarnji bazen za denitrifikaciju*

U unutarnji bazen se dovodi egalizirana i mehanički pročišćena otpadna voda i povratni aktivni mulj iz sekundarne taložnice. Ovdje se provodi denitrifikacija (uklanjanje dušika), pomoću bakterija aktivnog mulja, biološka eliminacija fosfora prvog (I) stupnja. Dušikovi spojevi se u plinovitom stanju uklanjaju u atmosferu, dok se fosforini spojevi apsorbiraju u aktivni mulj i uklanjaju u krutom stanju pomoću izdvojenog mulja.



Zatim otpadna voda odlazi u bioaeracijski bazen gdje se vrši konačno biološko pročišćavanje pomoću aerobnih mikroorganizama aktivnog mulja i biološka eliminacija fosfora drugog (II) stupnja.

Bitan dio uređaja je sekundarna taložnica s ugrađenim mostom za struganje čija je funkcija struganje nataloženog mulja i skupljanje plivajućeg mulja. Iz sekundarne taložnice izbistrena otpadna voda se prelijeva preko preljevenog praga u odvodni kanal te se cjevovodom transportira u kontrolno – mjerni kanal, recipijent II kategorije i na kraju završava u rijeci Pazinčici. Iz sekundarne taložnice 80% mulja se vraća u bioaeracijski bazen radi održavanja potrebne koncentracije aktivnog mulja za biološko pročišćavanje.



*Slika 10 – Sekundarni taložnik*

Navedeni UPOV također sadži zgušnjivač mulja u kojem se višak aktivnog mulja gravitacijski ugušćuje. Mulj se dehidrira pomoću centrifuge. Dehidrirani mulj se iz centrifuge ispušta u opremu za konačnu obradu mulja pomoću nehidriranog vapna te se na taj način dodatno stabilizira i ukrućuje i kao takav se odvozi. Preostala muljna voda se vraća u egalizacijski bazen na ponovno biološko pročišćavanje.



*Slika 11 – Centrifuga za obradu mulja*

Ovakvim postrojenjem za pročišćavanje otpadnih voda stupanj pročišćavanja iznosi 96,8 – 99,9%, što nam ukazuje na vrlo efikasan rad uređaja. [7]

## 4. BILJNI UREĐAJI ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

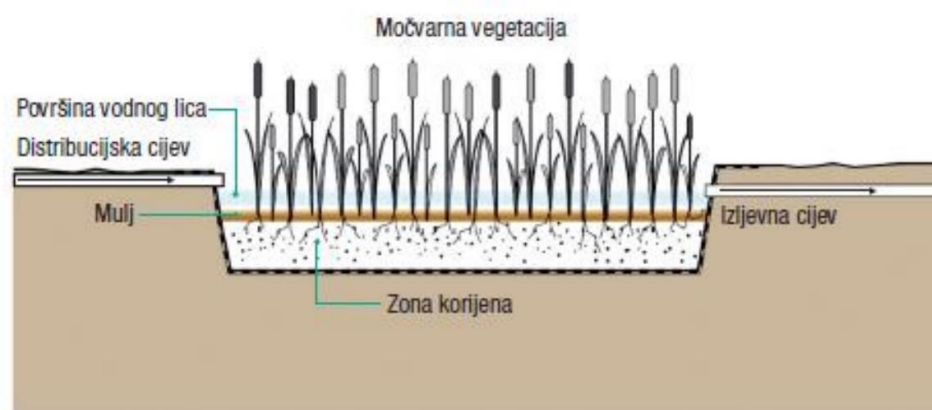
Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda su umjetni močvarni sustavi. U biljnim uređajima otpadna voda se pročišćava kombinacijom fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa prolaskom vode kroz medij koji se sastoji od biljaka, supstrata i mikroorganizama. Ovakvi uređaji, unatoč velikoj primjeni u Europi, u Hrvatskoj se još uvijek vrlo malo primjenjuju. [8]

### 4.1. Vrste biljnih uređaja

Biljne uređaje možemo podijeliti prema njihovom načinu nastanka. Razlikujemo

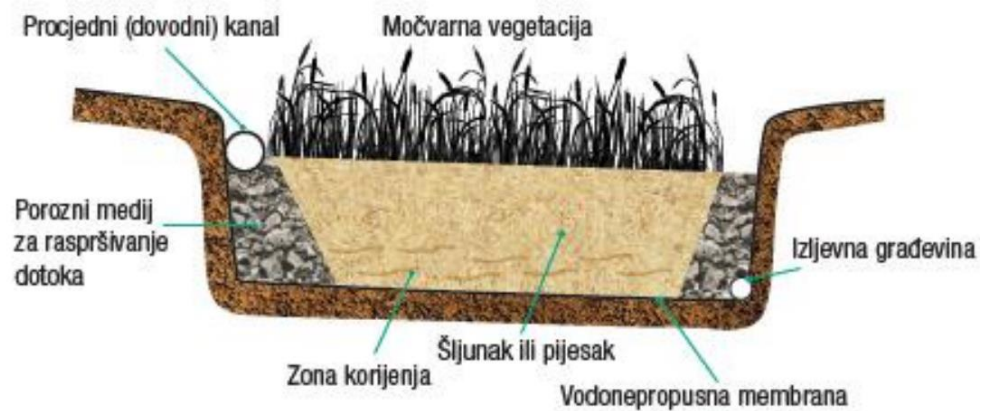
- Prirodne biljne uređaje (postojeći močvarni sustavi koji se koriste za obradu otpadnih voda na mjestima gdje su prirodno nastali)
- Umjetno izvedene biljne uređaje (biljni uređaji na mjestima gdje nisu prirodno nastali)

Kod umjetno izvedenih biljnih uređaja razlikujemo površinske i potpovršinske biljne uređaje. Površinski biljni uređaji su sustavi kod kojih vodeni medij prolazi kroz sustav izložen atmosferi gdje su rijetko zasađene različite biljne vrste.

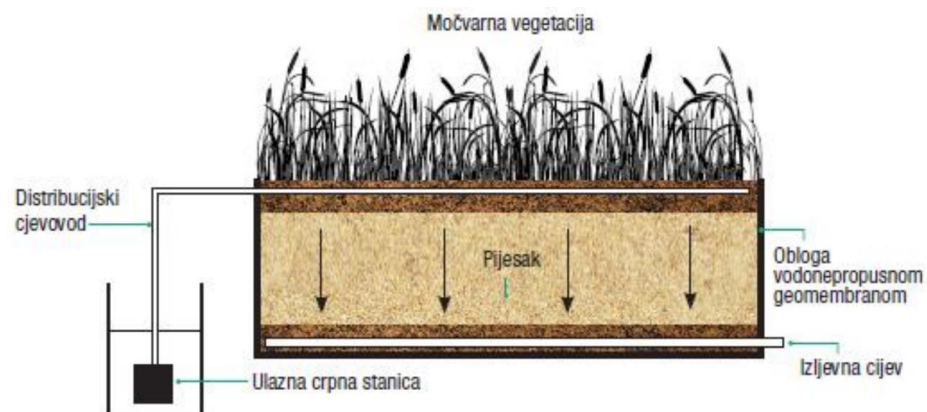


Slika 12 – Površinski biljni uređaj

U potpovršinskom biljnom uređaju, otpadna voda prolazi kroz granularni medij (supstrat) bez dodira s atmosferom. Takav uređaj sastoji se od bazena napunjenog supstratom različite granulacije. Dno bazena je pokriveno nepropusnim slojem, a na površini koja može biti suha ili mokra zasađene su odabrane biljke čije korijenje služi kao površina za razvoj mikroorganizama. Potpovršinske uređaje ovisno o načinu ulaska vode dijelimo na horizontalne i vertikalne. [8]



*Slika 13 – Potpovršinski biljni uređaj s horizontalnim tokom*



*Slika 14 – Potpovršinski biljni uređaj s vertikalnim tokom*

## **4.2. Obrada otpadne vode u biljnom uređaju**

Mehanizam obrade otpadne vode u biljnom uređaju je vrlo kompleksan proces koji najviše ovisi o sastavu otpadne vode. Poznavanje sastava otpadne vode bitan je faktor u odabiru, projektiranju i otpimiziranju rada biljnog uređaja za pročišćavanje. Kategorizacija otpadne vode provodi se ovisno o fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima otpadne vode. Fizikalna svojstva čine boja, miris i krutine koje se nalaze u otpadnoj vodi. Kemijska svojstva otpadne vode određuju organske i anorganske tvari otopljene u vodi. Biološkim svojstvima otpadne vode pridonose životinje, biljke, bakterije i virusi. [9] Osnovni mehanizmi za pročišćavanje otpadnih voda biljnim uređajima su uklanjanje suspendiranih i organskih tvari te uklanjanje dušika, fosfora i mikroorganizama. [9]

### **4.2.1. Uklanjanje suspendiranih tvari**

Jedna od osnovnih funkcija koju biljni uređaju obavljaju je uklanjanje ukupnih suspendiranih tvari prolaskom vode kroz sustav. Gustoća vode zajedno s vegetacijom i supstratom uređaja omogućava slijeganje i filtraciju krutih čestica zbog različite gustoće. Kada otpadna voda bogata suspendiranom tvari prolazi kroz uređaj, ona se pridružuje velikoj količini interno nastalog suspendiranog materijala. Ukupna suspendirana tvar se zatim prenosi kroz uređaj te tijekom prijenosa odvijaju se procesi sedimentacije, filtracije, resuspenzije i stvaranja nove suspendirane tvari potaknute djelovanjima iznad i ispod površine vode. [8]

### **4.2.2. Uklanjanje organskih tvari**

Organske tvari su tvari koje sadrže ugljik. Osnovni spojevi koji čine organske tvari su proteini, ugljikovodici, ulja i masti. Organski spojevi vrlo su često u interakciji s močvarnim ekosustavima. Ciklus kruženja ugljika u močvarnim sustavima omogućava stvaranje spojeva potrebnih za

održavanje sustava. Mnogi mikrobiološki procesi odvijaju se uz pomoć ugljika koji ulazi u sustav te isto tako i ugljika koji nastaje prilikom procesa razgradnje spojeva koji sadrže ugljik. U pojedinim zonama biljnog uređaja odvijaju se različite reakcije kojom se razgrađuju spojevi koji sadrže ugljik kao npr. disanje u aerobnoj zoni, redukcija sulfata, nitrata, željeza u anaerobnoj zoni. [8]

#### **4.2.3. Uklanjanje dušika**

Najvažniji spojevi koji sadrže dušik u močvarnim sustavima su amonijak, nitrit, nitrat, nitrooksid, otopljeni elementarni dušik. Proces koji se događaju tijekom obrade otpadnih voda u biljnom uređaju su isparavanje, nitrifikacija, denitrifikacija, ugradnja u biljke i mikroorganizme, mineralizacija, apsorpcija, desorpcija, procjeđivanje i dr.. [8]

#### **4.2.4. Uklanjanje fosfora**

U biljnim uređajima postoje uvjeti koji omogućavaju izmjenu različitih fosfornih spojeva. Spojevi koji sadrže fosfor u biljnim uređajima uklanjaju se fizikalno – kemijskim procesima i biološkom transformacijom fosfata. Najbrži način uklanjanja fosfora iz otpadne vode je mikrobiološki (pomoću bakterija koje mogu nakupljati ili otpuštati fosfate). [8]

#### **4.2.5. Uklanjanje mikroorganizama**

U otpadnoj vodi pristupni su različiti patogeni organizmi (virusi, bakterije, plijesni, gljivice i dr.). U biljnim uređajima za obradu otpadnih voda procesom sedimentacije se akumulira znatna koncentracija patogenih mikroorganizama. Patogeni mikroorganizmi iz otpadne vode uklanjaju se taloženjem, koagulacijom i adsorpcijom u tlo. [8]

### **4.3. Prednosti biljnih uređaja**

Istraživanjima u posljednjim desetljećima utvrđene su mogućnosti biljnih uređaja. Iako ovakvi uređaji postoje već dugo, još uvijek nema cjelokupnih smjernica za njihovo optimalno projektiranje zbog nedostatka podataka o njihovim karakteristikama nakon dugogodišnjeg rada. Prednost biljnih uređaja u odnosu na tradicionalne sustave za pročišćavanje otpadnih voda su to što se mogu graditi na mjestu izvora onečišćenja, zatim niska potrošnja energije koja zahtijeva minimalne troškove zbog toga što se uglavnom koristi gravitacija te što postoji mala potreba za unosom dodatnih tvari, isplativost za ugradnju u naseljenim područjima niske gustoće i manja količina proizvedenog mulja i njegovo lakše zbrinjavanje. [8]

## 5. ZAKLJUČAK

Svakodnevnim gospodarskim, industrijskim i poljoprivrednim aktivnostima te korištenjem vode za sanitarne potrebe zagađujemo vodu i ispuštanjem takve vode štetno djelujemo na okoliš. Cilj UN-a i Europske unije je da se sva otpadna voda proizvedena ljudskim djelatnostima pročisti prije njenog ispuštanja u prirodu. U tu svrhu se izvide uređaji za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) te biljni uređaji za pročišćavanje čija upotreba još nije uvelike zaživjela. Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda se međusobno razlikuju prema tehnologiji i stupnju pročišćenja te uređaji s većim stupnjem pročišćavanja sadrže i tehnologije uređaja s manjim stupnjem pročišćavanja. Također treba istaknuti i biljne uređaje za pročišćavanje otpadnih voda u vidu umjetnih močvarnih sustava u kojima se kombinacijom fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa prolaskom vode kroz medij pročišćava otpadna voda. U vidu očuvanja, zaštite i sprječavanja štetnih djelovanja na kakvoću i kvalitetu vode postoji još puno prostora za napredak, posebice u Republici Hrvatskoj koja se pogledu tog problema nalazi pri europskom dnu.



## 6. LITERATURA

### Knjige:

- 1) N. Kuspilić, E. Ocvirk – Hidrotehničke građevine (skripta) [1]
- 2) B. Tušar – Pročišćavanje otpadnih voda [2]
- 3) B. Tušar – Ispuštanje i pročišćavanje otpadnih voda [4]
- 4) Ž. Vuković – Pročišćavanje otpadnih voda [5]
- 5) N. Ružinski, A. Anić Vučinić – Obrada otpadnih voda biljnim uređajima [8]

### Internet izvori:

- 1) Izvješće komunalne otpadne vode 2021.,  
[https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/022\\_reg\\_oneciscivaca/Izvjesca/Izvje%C5%A1%C4%87e\\_komunalne%20otpadne%20vode\\_2021\\_web.pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/022_reg_oneciscivaca/Izvjesca/Izvje%C5%A1%C4%87e_komunalne%20otpadne%20vode_2021_web.pdf) [3]
- 2) Zaštita voda – prezentacija, <https://www.slideshare.net/akrap/zatita-voda-7> [6]
- 3) Obrada otpadnih voda - <https://www.usluga-odvodnja.hr/hr/djelatnosti/obrada-otpadnih-voda/> [7]
- 4) Biljni uređaji za pročišćavanje -  
<https://repositorij.pmf.unizg.hr/islandora/object/pmf%3A1866/datastream/PDF/view> [9]
- 5) UN-ovi globalni ciljevi – napredak u tretiranju otpadnih voda -  
<https://www.sdg6data.org/en/indicator/6.3.1> [10]
- 6) UN-ovi globalni ciljevi – napredak u kvaliteti svjetske vode -  
<https://www.sdg6data.org/en/indicator/6.3.2> [11]

## 7. SAŽETAK

Završnim radom obradio sam temu uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. U prvom poglavlju rada opisani se osnovni problemi svijeta vezani uz otpadne vode i osnovni pokazatelji kvalitete vode. U radu se zatim govori o konvencionalnim uređajima za pročišćavanju otpadnih voda, njihovoj podjeli i načinu radu. Isto tako je opisan jedan uređaj za pročišćavanje otpadnih voda zajedno sa svojim najbitnijim dijelovima i mehanizmima rada. Sukladno s time opisani su i biljni uređaji za pročišćavanje voda, u kojima je također opisan proces pročišćavanja te su za kraj navedene prednosti takvih uređaja u odnosu na konvencionalne uređaje.

**Ključne riječi:** pročišćavanje, otpadna voda, zagađenje, uređaj, zaštita voda

## 8. ABSTRACT

In my final paper, I dealt with the topic of wastewater treatment devices. In the first chapter of the paper, the basic problems of the world related to wastewater and the basic indicators of water quality are described. The paper then discusses conventional wastewater treatment devices, their division and mode of operation. A wastewater treatment device is also described along with its most important parts and working mechanisms. Accordingly, plant-based water purification devices are described, in which the purification process is also described, and finally the advantages of such devices compared to conventional devices are mentioned.

**Key words:** purification, wastewater, pollution, device, water protection