

# ALTERNATIVNI SUSTAV PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

---

**Crnojević, Dominik**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:128:471886>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



**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 REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Dominik Crnojević

# **ALTERNATIVNI SUSTAVI PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional Undergraduate Study of Safety and Protection

Dominik Crnojević

# **ALTERNATIVE WASTEWATER PURIFICATION SYSTEMS**

Final paper

Karlovac, 2022.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Dominik Crnojević

# **ALTERNATIVNI SUSTAVI PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr. sc. Ines Cindrić, prof. v. š.

Karlovac, 2022.



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

Stručni / specijalistički studij: Stručni studij sigurnosti I zaštite

Usmjerenje: Odjel sigurnosti i zaštite

Karlovac, 2022.

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Dominik Crnojević

Matični broj: 0248065725

Naslov: Alternativni sustavi pročišćavanja otpadnih voda

Opis zadatka:

U završnom radu potrebno je dati kratki pregled osnovnih informacija o otpadnim vodama; osnovne karakteristike različitih vrsta otpadnih voda te ih povezati sa vrstama onečišćenja. U svrhu razumijevanja važnosti alternativnih procesa pročišćavanja otpadnih voda biti će dan kratki teorijski pregled konvencionalnih procesa koji se koriste prilikom pročišćavanja otpadnih voda. Fokus ovoga rada biti će stavljen na teorijsku obradu tri alternativna sustava pročišćavanja otpadnih voda: biljni uređaj, biolagune i infiltracija otpadnih voda kroz zemljište pomoću sustava nebiljnih filtera.

Mentor: dr. sc. Ines Cindrić, prof. visoke škole

Predsjednik Ispitnog povjerenstva: dr.sc. Jasna Halambek

## PREDGOVOR

Ovaj rad napisan je u svrhu istraživanja utjecaja otpadnih voda na okoliš i istraživanja alternativnih metoda pročišćavanja otpadnih voda. Posebno hvala mojoj djevojci Tamari na pomoći i podršci i mojoj mentorici dr. sc. Ines Cindrić na vođenju kroz pisanje i pomoć pri odabiru teme i oblikovanju rada.

## SAŽETAK

Ovaj završni rad daje literaturni pregled alternativnih sustava koji se primjenjuju sa svrhom pročišćavanja otpadnih voda. Otpadne vode su velik problem u svijetu, no imaju potencijal postati resursom i izvorom energije, vode, hranjivih tvari i sl. Klasični sustavi pročišćavanja otpadnih voda nisu ekološki prihvatljivi i djelotvorni kao neki novi suvremeni sustavi kojima se na prirodan način i uz manja ulaganja postižu bolji rezultati u pročišćavanju i iskorištavanju otpadnih voda. S time na umu, ovaj rad istražuje vrste procesuiranja i pročišćavanja otpadnih voda te analizira zaključke izvedene iz teorijskog pregleda teme. Alternativni sustavi pročišćavanja otpadnih voda, kao što su na primjer biljni uređaji za pročišćavanje i biolagune, predstavljaju velik napredak u održivom i ekološkom upravljanju otpadnim vodama. U vidu toga, ova tema izabrana je u svrhu istraživanja alternativnih načina za poboljšanje života svih živih bića i same planete.

Ključne riječi: alternativni sustavi, otpadne vode, zaštita okoliša

## ABSTRACT

This bachelor's thesis gives a theoretical overview of literature on the topic of alternative systems being applied to wastewater. Although wastewater presents a major problem in the world, it has the potential to become a valuable resource and source of energy, water, nutrients, etc. Classical wastewater treatment systems are neither as environmentally friendly nor as efficient as some modern systems achieving better results in wastewater treatment and utilization, and with less investment. Keeping those facts in mind, this thesis investigates the types of wastewater treatment and purification procedures, as well as analyzing the conclusions drawn from the theoretical overview of the topic. Alternative systems of wastewater treatment, such as herbal purifiers and bio-lagoons, present a major advancement in sustainable and eco-friendly wastewater management. Therefore, this topic has been chosen in order to investigate alternative measures of improving the quality of life for all living beings, as well as the planet itself.

Keywords: alternative systems, environmental protection, wastewater

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. OTPADNE VODE .....	3
2.1. Vrste onečišćenja vode .....	6
2.2. Obrada otpadnih voda .....	7
2.3. Procesi pročišćavanja otpadnih voda.....	9
2.3.1. Fizikalni procesi.....	9
2.3.2. Kemijski procesi.....	10
2.3.3. Biološki procesi.....	11
2.4. Konvencionalni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda.....	11
3. ALTERNATIVNI SUSTAVI PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA .....	17
3.1. Biljni uređaji .....	17
3.1.1. Biljni uređaji sa slobodnim vodnim licem.....	19
3.1.2. Biljni uređaji s podpovršinskim tokom .....	20
3.1.2.1. Biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom .....	20
3.1.2.2. Biljni uređaji s horizontalnim podpovršinskim tokom .....	21
3.2. Biologune .....	23
3.2.1. Tip „B“ .....	25
3.2.2. Tip „L“ .....	25
3.3. Polja za navodnjavanje.....	26
4. ZAKLJUČAK.....	30
LITERATURA.....	31
POPIS SLIKA.....	34
POPIS TABLICA.....	34



# 1. UVOD

Kvaliteta vode jedan je od najbitnijih aspekata života za sva živa bića, s obzirom na to da život nije moguć bez vode. Porastom broja stanovnika i sve većim zagađenjem okoliša već desetljećima se raspravlja o količini i kvaliteti vode koja je dostupna za uporabu. Prema današnjim procjenama 96,5% vode na Zemlji pripada slanim vodama, dok preostali dio voda, točnije 3,5%, spada u slatke vode [1]. Od ukupne količine slatke vode tek je oko 30% slatke vode iskoristivo dok je gotovo 70% zatvoreno u krutom stanju, u obliku snijega i ledenjaka u polarnim kapama [2], stoga njezin nedostatak stvara ekološke i egzistencijalne problematike u mnogim područjima svijeta.

Voda se ne koristi samo za svakodnevne osnovne potrebe ljudi i drugih živih bića, već je uvelike potrebna i u industrijskim procesima, poljoprivredi kao i drugim granama ljudskih aktivnosti. Ispuštanjem neobrađene otpadne vode bez obzira na porijeklo u prirodni recipijent, bilo putem točkastih ili disperznih ispusta, dolazi do značajne degradacije vodenoga sustava (akvatorija) u koji dospijevaju. Opasnost od zagađivanja sprječava se isključivo primjenom tehnoloških postupaka pročišćivanja otpadnih voda i to načinom prilagođenim njihovu kemijskom sastavu, ali i kvaliteti samog prijemnika. Uz to treba naglasiti da otpadne vode kojima se dobro upravlja imaju važnu ulogu u zadovoljavanju rastuće potražnje za vodom u gradovima koji se brzo šire, jačanju proizvodnje energije i industrijskog razvoja te podupiranju održive poljoprivrede, a tehnološkim razvitkom mijenja se udio energije, sirovina i vode u jediničnom proizvodu.

Sve veća potražnja za vodom zahtijeva nove pristupe prikupljanju i upravljanju otpadnim vodama. Naime, neki tipovi pročišćenih otpadnih voda koji se koriste u industriji mogu pomoći u rješavanju drugih izazova, uključujući proizvodnju hrane i industrijski razvoj. Društveni i ekološki pritisci, koji su potpomognuti političkim djelovanjem kao posljedicom istoga, posljednjih godina doveli su do sve većeg kretanja industrije prema smanjenju neadekvatnog izbacivanja otpadne vode i upravljanja njima prije ispuštanja u prirodu zbog

zakonskih propisa, odnosno političkog djelovanja na tom polju. Otpadne vode sada se smatraju potencijalnim resursom u smislu da se na njih više ne gleda isključivo kao na otpad, nego na mogući resurs u sklopu novih politika održivosti i društvene odgovornosti, a njihova uporaba ili recikliranje nakon odgovarajuće obrade mogu pružiti gospodarske i financijske benefite te pridonijeti očuvanju i zaštiti okoliša. Kontinuiranim povećanjem brige za okoliš postavljaju se sve veći zahtjevi u obliku zakonskih propisa o kontroli i obradi pojedinih emisija radi smanjenja njihova utjecaja na okoliš. Radi toga stvaratelji zagađenih vodenih površina morati će pronaći efikasnije te povoljnije sisteme prerade zagađenih vodenih površina na temelju sve većeg udjela pravnih propisa kojima se štiti prirodni okoliš.

## 2. OTPADNE VODE

Otpadne vode definiraju se kao onečišćene vode kod kojih je došlo do promjene fizikalnih, kemijskih i/ili mikrobioloških svojstava, a bez obzira na porijeklo promjene [3]. Prema mjestu nastanka otpadne vode dijele se na: kućanske (komunalne), industrijske (tehnološke), poljoprivredne i oborinske.

U kućanske otpadne vode ubrajamo vode iskorištene u kućanstvima, školstvu, zdravstvu te drugim neproizvodnim djelatnostima. Njihova kakvoća ovisi o načinu življenja, sustavu snabdijevanja i odvodnje te klimatskim uvjetima. Osnovna karakteristika im je biološka razgradivost s obzirom da organske tvari čine gotovo 2/3 ukupnih otopljenih tvari (od kojih bjelančevine čine 40-60%, a ugljikohidrati 25-50%) [4] te velik broj mikroorganizama, bakterija i virusa među kojima se nalaze i patogeni. Ovisno o stupnju biološke razgradnje kućanske otpadne vode možemo podijeliti na svježje, odstajale i trule (septičke) vode. Kod svježih komunalnih otpadnih voda koncentracija otopljenog kisika nije bitno smanjena od njegove koncentracije u vodovodnoj vodi te stoga biološka razgradnja nije uznapredovala. U odstajaloj komunalnoj otpadnoj vodi sav otopljen kisik je potrošen na biološku razgradnju, dok je kod trulih otpadnih voda biološka razgradnja toliko napredovala da se odvija anaerobno [5]. Da bi se odredila kakvoća kućanskih otpadnih voda najčešće se rabe sljedeći pokazatelji, a što je prikazano u tablici 1. čije vrijednosti valja odrediti uzrokovanjem i analizom vode za svako područje posebno:

- količina krutih tvari,
- biokemijska potrošnja kisika (BPK),
- kemijska potrošnja kisika (KPK),
- ukupan organski ugljik (UOU),
- dušik,
- fosfor,
- temperatura,
- pH vrijednost,
- ukupna ulja i masnoće,
- sadržaj mikroorganizama fekalna podrijetla.

Tablica 1. Pokazatelji sastava kućanskih otpadnih voda [13]

POKAZATELJ		KONCENTRACIJA (mg)	
		RASPON	UOBIČAJENA VRIJEDNOST
FIZIKALNI			
KRUTINE	ukupne	300 – 1200	700
	raspoložive	50 - 200	100
	suspendirane	100 - 500	200
	raspršene	250 - 850	500
KEMIJSKI			
ORGANSKE TVARI	BPK	100 - 400	250
	KPK	200 - 1000	500
	TOC	100 - 400	250
DUŠIK	ukupni dušik	15 - 90	40
	organski	5 - 40	25
	amonijak	10 - 50	25
FOSFOR	Ukupni fosfor	5 - 20	12
	organski	1 - 5	2
	anorganski	5 -15	10
pH		7 - 7,5	7,0
KALCIJ		30 - 50	40
KLORIDI		30 - 85	50
SULFATI		20 - 60	15

Za razliku od komunalnih otpadnih voda, industrijske otpadne vode se međusobno uvelike razlikuju prema sastavu, što je direktna posljedica razlike u proizvodnoj grani, ali i primijenjenim tehnološkim procesima. Specifičan kemijski sastav, koncentracija te dotok industrijske otpadne vode ovise od konkretnog tipa te modaliteta industrijskog mehanizama [6]. Industrijske otpadne vode smatraju se jednim od najvećih izvora onečišćenja voda. S obzirom da količina industrijskih otpadnih voda ovisi prije svega o tehničkoj razini procesa, može se vrlo uspješno smanjiti unapređenjem industrijskih

tehnologija. Industrijske otpadne vode s aspekta mogućnosti biološke razgradnje dijele se u dvije temeljne skupine: biološki razgradive i biološki nerazgradive otpadne vode. Biološko razgradive ili kompatibilne vode su vode koje se mogu miješati s gradskom otpadnom vodom, odnosno mogu se odvoditi sa zajedničkom kanalizacijom te se najčešće pojavljuju u prehrambenoj industriji [6]. Za razliku od biološki razgradivih ili kompatibilnih voda, biološki nerazgradive ili inkompatibilne vode su vode koje mogu sadržavati sastojke koji su otrovni, nerazgradivi ili teško razgradivi te stoga negativno interferiraju sa živim svijetom okoliša. Primjer takvih sastojaka su teški metali, kiseline, lužine, nafta i naftni derivati, masti i mineralna ulja, radioaktivni izotopi te sintetički kemijski spojevi[6]. Takve se otpadne vode koje prije miješanja s gradskom otpadnom vodom moraju podvrgnuti određenom prethodnom postupku pročišćavanja. Važno je naglasiti kako svaka industrijska grana čini specifičan problem po temeljnim sastavnicama u otpadnim vodama, a pojedine industrijske otpadne vode.

Poljoprivredne otpadne vode nastaju u procesima uzgoja i poljoprivredne proizvodnje te se rijetko provode kroz proces pročišćavanja. Ove vode smatraju se razrijeđenim do koncentriranim otopinama biorazgradivih tvari. Poljoprivredne otpadne vode u sebi sadrže razna gnojiva, hranjive tvari, herbicide, biocide i druga slična sredstva koja se u poljoprivredi koriste u svrhu obogaćivanja zemljišta. Njihov sastav ovisi o količini i vrsti primijenjenih sredstava, ali i o vrsti uzgajane kulture.

Oborinskim vodama smatraju se sve slivne vode koje se, kao dio oborina, izravno ili neizravno slijevaju s gradskih, prigradskih i seoskih površina u vodne sustave. Na njihov sastav bitno utječe onečišćenje atmosfere i zemljišta, a uglavnom je definiran razrijeđenom mješavinom mineralnih i organskih krutina, otopljenih soli i metala u tragovima [7].

## 2.1. Vrste onečišćenja vode

Postoje različite vrste onečišćenja koja dovode do stvaranja otpadnih voda i zbog toga imaju različiti utjecaj na biološko-ekološke značajke vodenog sustava, a vrste onečišćenja su sljedeće: fizičko, biološko, kemijsko i radiološko onečišćenje vode [8].

Fizičko onečišćenje vode može se prepoznati prema promjeni boje, raspršenih tvari, mirisa, okusa, mutnoće i povećanju temperature vode. Do povećanja temperature najčešće dolazi zbog ispuštanja rashladnih voda iz industrijskih i energetske objekata u površinske vode bez prethodnog hlađenja što dovodi do pada koncentracije otopljenog kisika, promjene u gustoći, površinskoj napetosti, itd. Važno je napomenuti da se razgradnja organske tvari u vodi smanjuje zbog pada koncentracije kisika koji je otopljen u vodama kod kojih je došlo do povećanja temperature, stoga dolazi do smanjenja mogućnosti samopročišćavanja voda. Ogromne količine toplih otpadnih voda (izljevi iz termoelektrana, nuklearnih centrala, željezara) snažno utječu na temperaturni režim vodenih tokova i akumulacija te mogu povećati njihovu temperaturu i za desetak stupnjeva. Najčešći uzroci fizičkog onečišćenja su industrijski i komunalni otpad, buka i vibracija te nafta i termalno onečišćenje. Osim toga, naglo topljenje snijega i porasti vodostaja uzrokovani obilnim kišama posljedica su mutnoće vode koja se sastoji od sitnih čestica koje u kombinaciji s vodom tvore koloide otopine [8].

Nadalje, biološko ili prirodno onečišćenje vode nastaje uslijed prirodnih procesa koji se odvijaju u svakom vodenom ekosistemu te je to proces mijenjanja životnog okoliša pod utjecajem živog svijeta. Biološki zagađivači su tvari u okolišu koje dolaze iz živih organizama i mogu utjecati na zdravlje čovjeka. Onečišćenje vode se sastoji od patogenih bakterija, virusa te ostalih mikroorganizama koji mogu naštetiti ljudskom zdravlju, a uključuju tvari kao što su pelud s drveća i biljaka, kukci ili dijelovi kukaca, određene gljivice pa čak i životinjska dlaka, ljuske životinjske kože, slina i urin. U većini slučajeva mikroorganizmi dopijevaju u površinske vode putem otpadnih voda iz naselja, dok u podzemne vode dopijevaju kroz oštećene kanalizacije ili neadekvatne septičke jame. Smatra se vrlo opasnim onečišćenjem, no postupcima

kloriranja, ozoniranja ili ultraljubičastim svjetlom voda se preventivno dezinficira u sustavima javne vodoopskrbe [8].

Što se tiče kemijskog onečišćenja ono se, prema kemijskoj prirodi zagađivačkih materija, dijeli na dvije vrste: organsko i anorgansko. O kemijskom onečišćenju može se govoriti kada se u vodi ustanovi prisutnost iona kojih inače nema u vodama u prirodi ili kada se ustanovi povećanje koncentracije nekih iona koji su uobičajeno u vodi prisutni u manjim količinama. Tako se kod organskog onečišćenja kvaliteta vode smanjuje zbog ulaska raznih organskih spojeva, tj. zagađujućih materija, kao što su otpadne materije iz ljudskih naselja, industrije, koncentracije minerala, metalurgije, poljoprivrede i stočarstva, a najčešće se radi o nafti i njezinim derivatima, deterdžentima, organskim pesticidima, organskim otapalima, organskim bojilima, kiselinama i fenolnim spojevima.

Kada prirodni vodotokovi dođu u kontakt s industrijskim, rudničkim ili drugim otpadnim vodama koje obično sadrže toksične elemente kao što su arsen, šesterovalentni krom, olovo, živa, kadmij, bakar te različite anorganske kiseline, lužine ili otopine njihovih soli, može se govoriti o anorganskom onečišćenju vode. U slučaju kontakta s anorganskim pesticidima ili anorganskim mineralnim gnojivima te u slučaju procjeđivanja efluenata iz odlagališta komunalnog i industrijskog otpada također se govori o anorganskom onečišćenju [8].

U slučaju doticaja podzemne vode s prirodnim radioaktivnim elementima ili umjetnim radioizotopima, a koji proizlaze iz ležišta uranskih ruda, rudnika urana, pogona za preradu uranske rude te iz nuklearne industrije, može se govoriti o radiološkom onečišćenju voda [8].

## 2.2. Obrada otpadnih voda

Komunalne, poljoprivredne, industrijske i oborinske vode danas sadrže sve veće koncentracije onečišćenja koje prirodni okoliš ne može asimilirati. Zbog toga su se pojavile različite tehnologije za pročišćavanje i obradu otpadnih voda prije njihova ispuštanja u okoliš. U svrhu zaštite kvalitete prirodnih

vodotokova potrebno je svu generiranu otpadnu vodu zbrinuti na adekvatan način. Cilj je obrada otpadnih voda kojom se količina onečišćujućih tvari svodi na maksimalno dozvoljene vrijednosti propisane zakonima [9]. Mjesto na kojem se odvijaju tehnološki procesi pročišćavanja otpadnih voda naziva se Uređajem za pročišćavanje otpadnih voda. Ovisno o podrijetlu, vrsti i sastavu otpadnih voda razlikujemo:

- uređaje za pročišćavanje industrijskih voda,
- uređaje za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda
- uređaje za pročišćavanje otpadnih voda iz drugih sustava odvodnje.

Na uređaje se u pravilu ugrađuju dvije linije: linija otpadne vode i linija mulja. Prilikom pročišćavanja otpadnih voda nastaju sljedeći produkti: pročišćena voda, krutine, otpadni mulj i plin [10]. Stupnjevi obrade koji se primjenjuju na uređajima za pročišćavanje otpadne vode najčešće se razvrstavaju kao:

1. Prethodno pročišćavanje (preliminarno)
2. Prvi stupanj pročišćavanja (primarno)
3. Drugi stupanj pročišćavanja (sekundarno)
4. Treći stupanj pročišćavanja (tercijarno).

Preliminarno pročišćavanje podrazumijeva uklanjanje krutog otpada, grubih suspendiranih tvari i većih količina površinskih nečistoća poput ulja i masti, a koriste se fizikalni procesi obrade otpadnih voda [11]. *„Industrijski pogoni koji su priključeni na sustave javne odvodnje, u pravilu, imaju izgrađene uređaje za prethodno pročišćavanje otpadnih voda. Time se kakvoća industrijskih otpadnih voda svodi na razinu kakvoće komunalnih otpadnih voda. Prikupljene komunalne otpadne vode i dijelom pročišćene industrijske otpadne vode zatim se zajednički čiste na komunalnim uređajima“* [9].

Kod primanog stupnja pročišćavanja cilj je primjenom fizikalnih i/ili kemijskih postupaka ukloniti najmanje 50% suspendiranih i dio organskih tvari te smanjiti biološku potrošnju kisika za minimalno 20% u usporedbi s ulaznom



vodom. Dalje slijedi sekundarni stupanj obrade u kojem je najčešća uporaba bioloških procesa. Ovdje je naglasak na smanjenju koncentracije otopljenih organskih i anorganskih tvari te na reduciranju ukupnih suspendiranih tvari za 90% kao i na smanjenju biološke potrošnje kisika za 70 do 90% [9].

Nakon sekundarne obrade tercijska nije nužna, no potrebna je u osjetljivim područjima i njihovim slivovima poput područja zahvaćenih eutrofikacijom, a podrazumijeva dodatno uklanjanje hranjivih tvari iz otpadnih voda kao što su dušik i fosfor za najmanje 80% primjenom bioloških i drugih postupaka [9].

### 2.3. Procesi pročišćavanja otpadnih voda

Uklanjanje otpadnih tvari iz vode postiže se primjenom fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa koji su primjenjivani u spomenutim stupnjevima pročišćavanja otpadne vode, a detaljnije su objašnjeni u nastavku.

#### 2.3.1. Fizikalni procesi

Postupci koje obuhvaćaju fizikalni procesi su rešetanje, egalizacija, miješanje, sedimentacija, flotacija, filtriranje i adsorpcija. U pravilu su to metode za uklanjanje grubih i plivajućih tvari (krupni otpad, brzo taložive krutine, ulja, masti) uz korištenje raznih rešetki, sita, taložnika za pijesak (pjeskolovi), hvatača masti i ulja (mastolovi), bazena za izjednačavanje protoka itsl. [9, 12]. Prvim se postupkom smatra rešetanje koje služi i svrsi zaštite crpki i drugih dijelova opreme uređaja za pročišćavanje, a izvodi se na grubim ili finim rešetkama, a mogu se koristiti i sita. Cilj je ukloniti plutajuće tvari poput lišća, papira, plastike itd. [13].

Dalje slijedi egalizacija, odnosno ujednačavanje, a taj je postupak važan za poboljšanje učinkovitosti rada uređaja jer protok otpadne vode tijekom dana oscilira zbog raznih aktivnosti stanovništva i industrijskih pogona.

Osim toga, postupak miješanja bitan je kako bi se otpadna voda pomiješala s kemijskim tvarima koje se dodatno doziraju ili kako bi se čestice koje su nastale kemijskom reakcijom zadržale u suspenziji.

Kod procesa sedimentacije, odnosno taloženja, koriste se gravitacijski taložnici kako bi se uklonile taložive krutine. Ovaj proces zahvaća tvari teže od vode i one tvari dovoljno velikih dimenzija da se sedimentiraju na dno taložnika pod djelovanjem gravitacije.

Što se tiče procesa flotacije, koji se naziva i isplivavanje, tvari se iz otpadne vode prvo odvajaju izdizanjem na površinu, a zatim se uklanjaju sa same površine. Do procesa može doći spontano, ali i prisilno, ovisno o gustoći onečišćene tvari pa tako na primjer masti i ulja, koja imaju manju gustoću od vode, samostalno isplivaju na površinu.

Nadalje, najjednostavnijim postupkom iz skupine fizikalnih procesa smatra se filtriranje, čiji produkt se naziva filtrat. Krutine se od tekućine razdvajaju pomoću filtarskog sredstva, tj. porozne pregrade (npr. kvarcni pijesak) [8,9].

Kod procesa adsorpcije cilj je da se otopljene i koloidne tvari vežu na sloj adsorbensa (npr. aktivni ugljen), a organska i anorganska onečišćenja uklanjaju se iz vode do niskih koncentracija [12].

### 2.3.2. Kemijski procesi

Kemijske se procese pročišćavanja nerijetko kategorizira i kao fizikalno-kemijske procese, a obuhvaćaju neutralizaciju, koagulaciju, flokulaciju i kemijsku oksidaciju. Neutralizacija podrazumijeva doziranje kiselina ili lužina kako bi se neutralizirala pH vrijednost vode. Prilikom neutralizacije nastaju nusprodukti poput mulja ili teško topljivih taloga o čijem je zbrinjavanju također potrebno voditi računa.

Tijekom koagulacije koloidne čestice se pomoću kemijskih sredstava destabiliziraju kako bi se poništio električni naboj koloida. U ovom se procesu najčešće koriste koagulant na bazi željeza i aluminija, a rezultat je međusobno povezivanje čestica različitih naboja u veće nakupine nazivane pahuljicama, a koje se tada lakše izdvajaju iz vode u obradi pomoću drugih procesa (npr. taloženjem, flotacijom itd.). Proces koagulacije usko je vezan uz proces flokulacije, odnosno oni su međuoavisni. Flokulacija se naziva još i pahuljičenje,

a cilj je sporim miješanjem izazvati spajanje raspršenih čestica u veće pahuljice kako bi se omogućilo daljnje taloženje istih.

Kako bi se voda dovela do zdravstveno prihvatljive razine potrebno je primijeniti i proces kemijske oksidacije koji podrazumijeva dezinfekciju vode primjenom različitih oksidacijskih sredstava (npr. klorini spojevi). Metode koje se najčešće koriste u ovom procesu su kloriranje, ozoniranje i dezinfekcija UV zračenjem [9, 10].

### 2.3.3. Biološki procesi

Biološki se procesi koriste u sekundarnom stupnju pročišćavanja, stoga im uvijek prethode fizikalni i/ili kemijski procesi. Služe za uklanjanje organskih otpadnih tvari kao što je npr. organski ugljik, a cilj je i reducirati koncentraciju fosfornih i dušikovih spojeva te provesti postupak biološke stabilizacije otpadnog mulja kako bi se kontroliralo, tj. zaustavilo daljnje truljenje mulja. Biološki procesi temelje se na imitaciji prirodnih procesa autopurifikacije što se postiže korištenjem mikroorganizama koji razgrađuju organske otpadne tvari hraneći se njima čime ih pretvaraju u biomasu ili plinove. Ti mikroorganizmi dijele se na aerobne (potreban im je kisik), anaerobne (žive bez kisika) i fakultativne (mogu živjeti i s kisikom i bez). Ovisno o količini kisika otopljenog u vodi biološke postupke možemo podijeliti na aerobnu izgradnju i razgradnju stanica, anaerobno kiselo vrenje i metansku razgradnju te na bakteriološku oksidaciju i redukciju (tj. nitrifikacija i denitrifikacija) [9, 10].

### 2.4. Konvencionalni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda

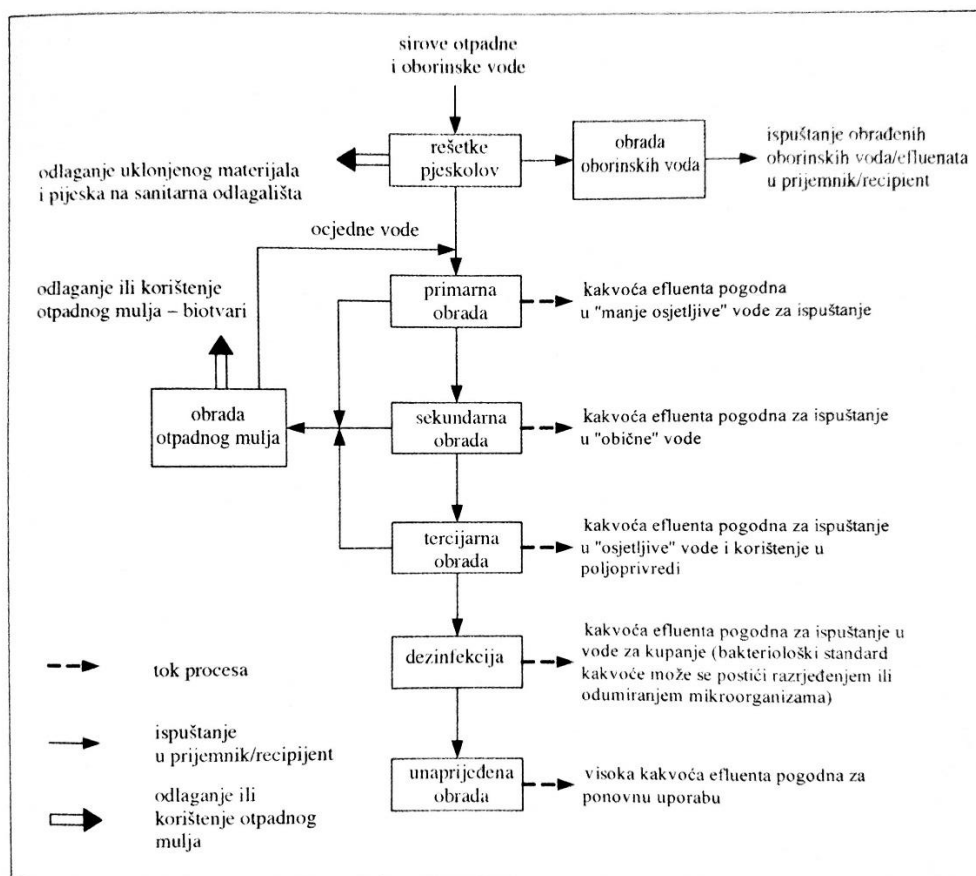
Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) kompleksi su različitih veličina što ovisi o broju stanovnika na određenom području te se sukladno tome dijele u 3 skupine:

1. uređaji veličine do 10 000 ES (ekvivalent stanovnika)
2. uređaji veličine od 10 000 - 50 000 ES
3. uređaji veći od 50 000 ES [13].

Kod planiranja izgradnje i određivanja potrebnih objekata i opreme važno je uzeti u obzir i osjetljivost područja prijemnika kod koje imamo sljedeću podjelu:

1. manje osjetljiva područja (ispuštanje otpadnih voda uz odgovarajući stupanj pročišćavanja)
2. osjetljiva područja (potreban treći stupanj pročišćavanja)
3. vrlo osjetljiva područja (zabranjeno ispuštanje otpadne vode) [13].

Tijek rada uređaja prilikom uklanjanja otpadnih tvari iz sirovih otpadnih voda (s kojima su ponekad pomiješane i oborinske) prikazan je na slici 1.



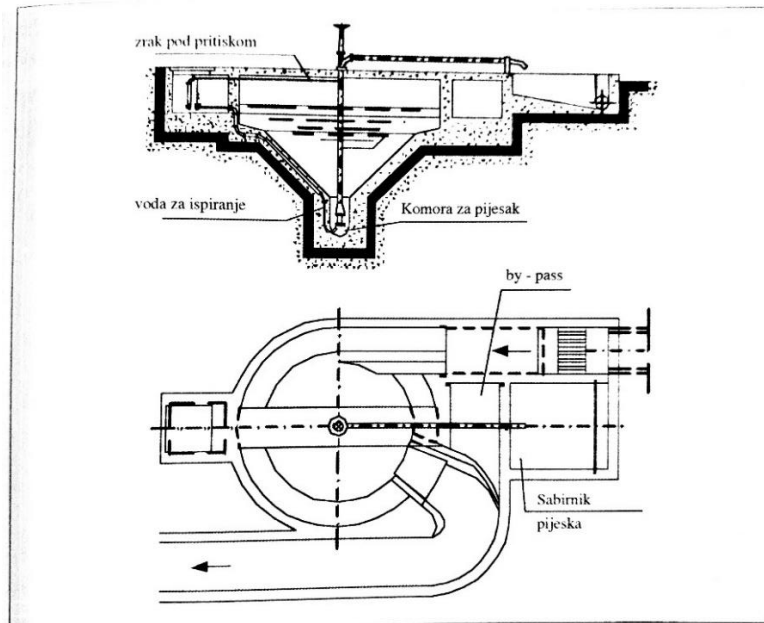
Slika 1. Shematski prikaz radnog procesa UPOV-a [13]

Kako bi se otpadne vode dovele do UPOV-a najčešće se izgrađuju crpne stanice s pužnim crpkama čiji je zadatak podizanje skupljene otpadne vode iz

sustava odvodnje (kanalizacijskih sustava) na potrebnu visinu čime se omogućuje prolazak vode kroz objekte sustava uz pomoć gravitacije.

Otpadna voda utječe u egalizacijski bazen koji služi ujednačavanju dotoka i sastava pritekla vode što doprinosi učinkovitosti rada uređaja. Na samom dotoku smještena je gruba rešetka kako bi se onemogućilo nagomilavanje i začepijivanje dijelova UPOV-a raznim otpadcima koji se nalaze u otpadnoj vodi. Na različitim se uređajima primjenjuju rešetke različitih oblika, debljina, širina, s različitim razmacima među šipkama a postoje i varijacije u načinima čišćenja i primjene dodatne opreme. Za uklanjanje manjih raspršenih čestica i plutajućih tvari koriste se sita, a ovisno o njihovoj konstrukciji moguće je ukloniti između 10 i 80% suspendiranih tvari. Ponekad se sita primjenjuju za dodatno uklanjanje i nakon 2. stupnja obrade. Otpad izdvojen pomoću rešetaka i sita sadrži 10 do 25% vode zbog čega je potrebno raznim prešama, prenosilicama i ocjeđivačima krutina izdvojiti otpad koji se uz prethodnu obradu odvozi na gradska odlagališta, a ocjedna se voda vraća na UPOV [13].

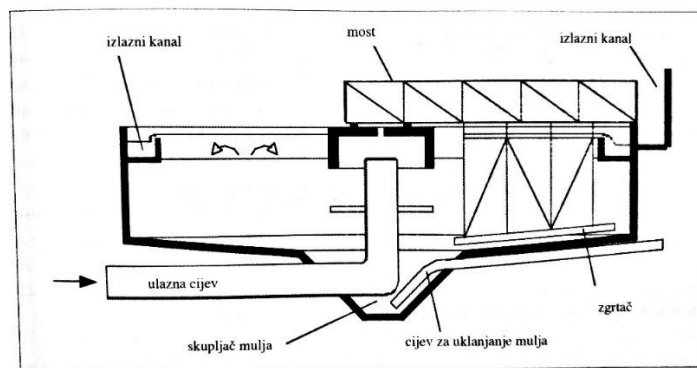
Nadalje, za uklanjanje pijeska, šljunka i drugih anorganskih tvari koje nisu biorazgradive koriste se pjeskolovi. Najčešće dolaze iza rešetaka, a izdvajanje krutina postiže se smanjenjem brzine vodotoka ili pomoću centrifugalne sile. Dijele se na pjeskolove s horizontalnim tokom, pjeskolove s kružnim tokom i na prozračene (aerirane) pjeskolove [13]. U nastavku se nalazi shematski prikaz pjeskolova s kružnim tokom.



Slika 2. Pjeskolov s kružnim tokom [13]

Za provođenje procesa flotacije koriste se mastolovi koji se nazivaju još i flotatorima. Oni služe uklanjanju raspršenih čestica čija je gustoća manja od gustoće vode, a u što spadaju ulja, masti i druge plivajuće tvari organskog podrijetla. U njima se voda zadržava 3-5 minuta te se postiže uklanjanje od 80 do 90%. Ovisno o procesu isplivavanja postoje mastolovi prirodnog isplivavanja, mastolovi umjetnog isplivavanja te mastolovi primjenjivani u kombinaciji s pjeskolovima. Zatim slijedi proces primarnog taloženja koji se provodi u prethodnom, tj. primarnom taložniku.

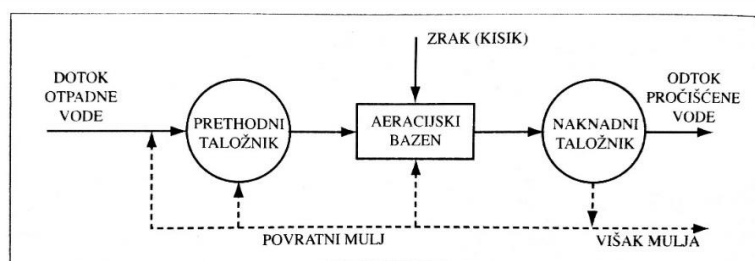
Oni su građeni od betona, a ovisno o obliku razlikujemo pravokutne (uzdužne), kružne (radijalne), ljevkaste (vertikalne) i dvokatne taložnike. U njima se uklanja 50 do 70% suspendiranih tvari i 25 do 40% raspršenih tvari, a pri obradi komunalnih otpadnih voda vrijeme zadržavanja u ovom taložniku kreće se između jednog i dva sata. Produkt taloženja primarni je mulj koji se uklanja ili crpkama prenosi na daljnju obradu ili odlaganje [13].



Slika 3. Shema kružnog taložnika [13]

Nakon ovih procesa slijedi sekundarni stupanj obrade kod kojeg se najčešće primjenjuju biološki procesi, a oni se odvijaju u aeracijskom bazenu te se primjenjuje ranije objašnjen konvencionalni postupak s aktivnim muljem.

Proces aktivnog mulja najprimjenjivaniji je aerobni biološki proces pročišćavanja u razvijenom svijetu. Aktivni mulj sačinjava se od pahuljica koje nastaju povezivanjem mikroorganizama (od kojih su 95% bakterije) i suspendiranih tvari. Nakon što se u sekundarnom taložniku aktivni mulj istaloži vraća se kao povratni mulj u aeracijski spremnik, a uvođenjem kisika i pomoću procesa nitrifikacije, denitrifikacije i uklanjanja fosfora provodi se pročišćavanje otpadne vode [14].



Slika 4. Shematski prikaz konvencionalnog postupka s aktivnim muljem [13]

U slučajevima kada pročišćena otpadna voda nakon sekundarne obrade ne odgovara određenim uvjetima, kada osjetljivost područja prijemnika to zahtjeva ili kada je namjera ponovno korištenje otpadne vode u tehnološke ili

poljodjelske svrhe potreban je i tercijaran stupanj obrade. U ovom stupnju je u novije doba, zbog naglaska na održivi razvoj, sve češća primjena alternativnih sustava koji će biti objašnjeni u nastavku [13].



### 3. ALTERNATIVNI SUSTAVI PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

Posljednjih desetljeća regulatorna tijela u industrijaliziranim regijama su nastojala poboljšati kvalitetu vode za lokalnu opskrbu naprednijim oblicima pročišćavanja otpadnih voda, kao što je biološko uklanjanje hranjivih tvari. Međutim, sve sofisticiranija sredstva za obradu imaju trošak veće potrošnje resursa (npr. energija, kemikalije, infrastruktura) i povišenih emisija iz okoliša (npr. ispuštanje stakleničkih plinova u atmosferu). Stoga postoji potreba za detaljnom procjenom životnog ciklusa niza mogućnosti pročišćavanja otpadnih voda (s različitim kapacitetima za uklanjanje dušika i fosfora), što uključuje i šire posljedice i učinke njihove izgradnje i rada na okoliš. Jedno od rješenja svakako su alternativni sustavi pročišćavanja koji su financijski, ekološki i estetski prihvatljiviji te bazirani na prirodnim procesima [15]. Ti sustavi pročišćavanja uključuju biljne uređaje (umjetne močvare), biolagune, polja za navodnjavanje i infiltraciju otpadnih voda kroz zemljište (podzemna filtracija) [16]. U nastavku rada bit će dani pregledi spomenutih sustava.

#### 3.1. Biljni uređaji

Istraživanja uporabe močvarnih biljaka u procesu pročišćavanja otpadnih voda započeta su 1952. godine na institutu Max Planck u Njemačkoj, zahvaljujući hidrobotaničarki Käthe Seidel. Razvijen je sustav koji imitira prirodne močvare, tj. izgradnjom biljnih uređaja, koji se nazivaju još i umjetnim močvarama, zajedničkim djelovanjem vode, biljaka, životinja i mikroorganizama te uz pomoć bioloških, fizikalnih i kemijskih procesa (npr. sedimentacija, adsorpcija itsl.) provodi se postupak pročišćavanja otpadnih voda. Umjetne se močvare nazivaju biljnim pročišćivačima, tj. uređajima, a istraživanja istih provode se i danas [16,17]. Biljni uređaji koriste se diljem svijeta u obradi svih vrsta otpadnih voda, no najčešće služe za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda manjih naselja, farmi, turističkih naselja, organski onečišćenih otpadnih voda manjih tvornica (prehrambena i tekstilna industrija) te procjednih voda odlagališta otpada [16]. Njihova je zadaća sekundarni ili tercijarni stupanj

pročišćavanja što znači da je otpadna voda prije mehanički djelomice očišćena od krutina i plivajućih tvari, dok se u biljnom uređaju dodatno pročišćuje od sitnijih čestica, organskih tvari i mikroorganizama [15]. Kako bi se postigli principi pročišćavanja na biljnim uređajima potrebna je izgradnja jednog ili više bazena pod blažim nagibom koji su na dnu obloženi nepropusnim materijalom, a za tu su funkciju nerijetko u upotrebi folija i ilovača. Na nepropusni materijal dodaje se supstrat kako bi se omogućila sadnja biljaka (trska, šaš, rogoz,...). Otpadna se voda u takvim uvjetima obrađuje kombinacijom fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa koji oponašaju prirodu, a u tablici 2 vidljivi su bitniji mehanizmi uklanjanja onečišćivača [16].

*Tablica 2. Pregled mehanizama uklanjanja [16]*

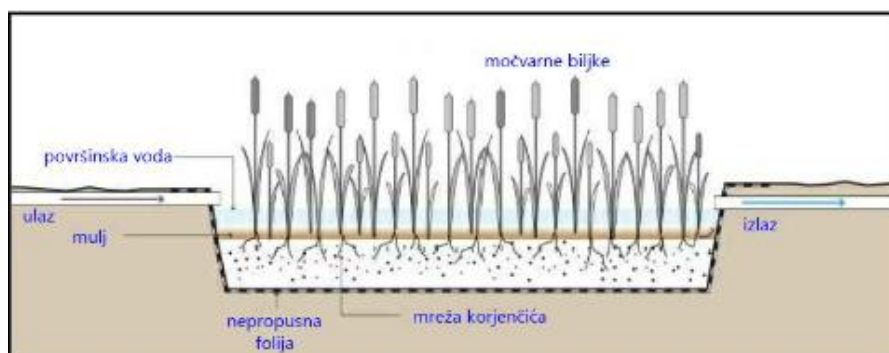
<b>TVARI SADRŽANE U OTPADNOJ VODI</b>	<b>MEHANIZMI UKLANJANJA</b>
Ukupne suspendirane tvari	Sedimentacija i filtracija
Organske tvari (mjerene kao BPK)	Biološka degradacija i sedimentacija
Organski zagađivači (npr. pesticidi)	Adsorpcija, isparavanje, fotoliza (biološka i nebiološka degradacija)
Dušik	Sedimentacija, nitrifikacija /denitrifikacija, mikrobiološka razgradnja
Fosfor	Sedimentacija, filtracija, adsorpcija biljkama i mikroorganizmima
Metali	Sedimentacija, adsorpcija biljkama, mikrobiološki oksidacijsko/ redukcijski procesi
Patogeni	Sedimentacija, filtracija, prirodno odumiranje, UV zračenje, antibiotsko djelovanje iz korijena biljke

Biljke koje se najčešće koriste dobro podnose različite vremenske uvjete, a preporuča se korištenje autohtonih močvarnih vrsta. Neke od njih su:

trska, žuta perunika, lopoč, rogoz, šaš, obični oblič, uspravni ježinac i vodena leća [11]. Ovisno o protoku vode kroz uređaj dijele se na sustave s vertikalnim i sustave s horizontalnim protokom te na biljne uređaje sa slobodnim vodnim licem. Ti se sustavi razvrstavaju još i na podpovršinske, u što ubrajamo one s vertikalnim i horizontalnim protokom, dok se sustav sa slobodnim vodnim licem svrstava u površinske [15]. Ove vrste biljnih uređaja detaljnije su objašnjene u nastavku.

### 3.1.1. Biljni uređaji sa slobodnim vodnim licem

Ovi uređaji najčešće se koriste kao tercijarni stupanj pročišćavanja, a od biljaka su većinom u upotrebi trska, rogoz i šaš. Strukturirani su tako da se sastoje od plitkih međusobno povezanih bazena i kanala [11, 15]. Zbog sprječavanja procjeđivanja otpadnih voda u podzemlje, dno i pokosi bazena oblažu se vodonepropusnim slojem, a materijali koji su najčešće u upotrebi su geomembrana i glina. S obzirom da se geomembrana uglavnom radi od plastike, financijski je isplativija i češće se upotrebljava. Na vodonepropusni sloj postavlja se sloj zemlje u koju se sade već spomenute biljke te se potom sustav poplavljuje [11]. Važno je da se osigura jednakomjeran dotok otpadne vode duž cijelog sustava kako ne bi došlo do smanjenja kvalitete pročišćavanja [17]. Na slici 6 vidljiv je shematski prikaz primjera plitkog bazena koji se gradi kao dio sustava biljnog uređaja sa slobodnim vodnim licem.



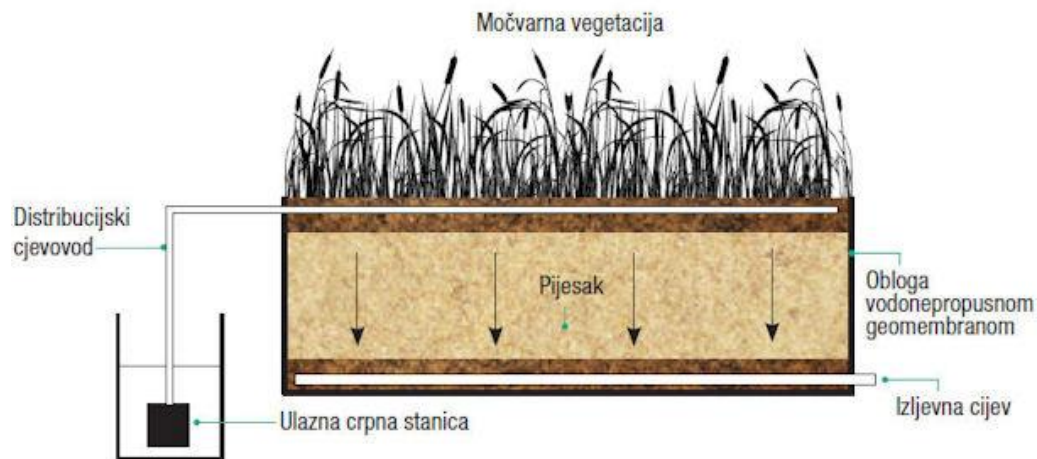
Slika 5. Biljni uređaj sa slobodnim vodnim licem [7]

### 3.1.2. Biljni uređaji s podpovršinskim tokom

Poput uređaja sa slobodnim vodnim licem, ovi uređaji se također sastoje od kanala i međusobno povezanih bazena koji su obloženi nepropusnim materijalom. Ispunjavaju se materijalom različite granulacije (supstratom), kao što su na primjer šljunak, pijesak i kamen sitnije granulacije [11]. Kroz supstrat prolazi korijenje zasađenih biljaka za koje se primaju mikroorganizmi. Nadalje, do procesa filtracije, adsorpcije, taloženja i biološke razgradnje organskih tvari dolazi prilikom prolaska otpadne vode kroz supstrat te se na taj način uklanjaju otpadne tvari [17].

#### 3.1.2.1. Biljni uređaj s vertikalnim podpovršinskim tokom

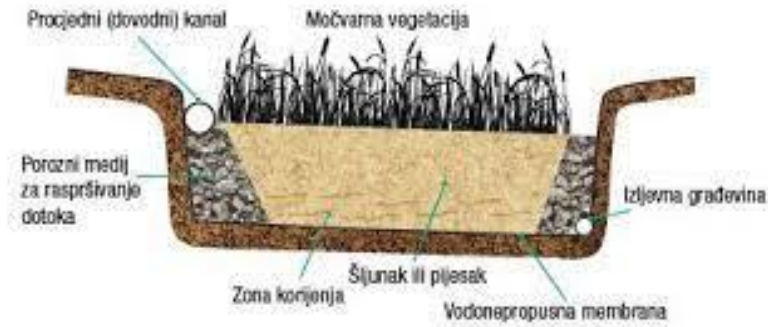
Karakteristični slojevi i supstrati čine strukturu ovih uređaja. Slojevi su postavljeni sljedećim redoslijedom: površinski sloj sa supstratom od krupnog šljunka, središnji filtarski sloj sa supstratom od pijeska srednje do krupne granulacije (ujedno i najdeblji sloj) i pridneni drenažni sloj sa supstratom od krupnog šljunka [18]. Spomenuti slojevi vidljivi su na shematskom prikazu biljnog uređaja s vertikalnim podpovršinskim tokom prikazanom na slici 6. Pomoću distribucijskih cijevi koje mogu biti na površini supstrata ili u samom površinskom sloju, prvotno izbistrena otpadna voda distribuira se po površini cijelog uređaja. Buše se sitni otvori na određenim razmacima kroz koje se otpadna voda pod utjecajem gravitacije slijeva kroz cijeli biljni uređaj pri čemu dolazi do njezinog pročišćivanja. Pročišćena voda u zadnjem sloju pomoću odvodnih drenažnih cjevovoda otječe iz uređaja do kontrolnog okna [18]. Za postizanje nitrifikacije i aerobnih uvjeta razgradnje organskih tvari bitno je da je osigurano prozračivanje središnjeg sloja tijekom mirovanja između dva dotoka otpadne vode [17]. Distribucijski dijelovi također su vidljivi na slici 6.



Slika 6. Biljni uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom [17]

### 3.1.2.2. Biljni uređaji s horizontalnim podpovršinskim tokom

Kao i uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom i ovi se sastoje od tri sloja. Prvi sloj koji se nalazi na mjestu gdje se ulijeva otpadna voda sastoji se od supstrata krupnije granulacije (pijesak, šljunak, kamen), dok se središnji filtarski dio, ujedno i glavni, sastoji od šljunčanog supstrata. Zadnji sloj koji se nalazi na izljevnom dijelu također se sastoji od supstrata krupnije granulacije (šljunak i kamen) [11]. U ovim uređajima voda teče horizontalno pri čemu se čestice i mikroorganizmi filtriraju i degradiraju dok se kisik najvećim dijelom pomoću biljaka prenosi u vodeni medij. Horizontalan tok vode ostvaruje se pomoću gravitacije, a za to je zaslužan nagib uređaja od oko 1%. Autohtona vegetacija ima važnu ulogu u sustavu te se zbog korijena koji u cijelosti prodire u filtarski sloj najčešće koristi trska. Redovno održavanje sustava je bitno zbog ustajale vode koja nastaje u prijašnjim fazama pročišćivanja. Ovi sustavi često se koriste za obradu komunalnih voda, posebice u područjima bez komunalne infrastrukture zbog svoje karakteristične jednostavnosti [15].



Slika 7. Biljni uređaji s horizontalnim podpovršinskim tokom [18]

Tablica 3. Prednosti i nedostaci uređaja s vertikalnim i horizontalnim protokom [11]

	<b>PREDNOSTI</b>	<b>NEDOSTATCI</b>
<b>VERTIKALNI PROTOK</b>	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
<b>HORIZONTALNI PROTOK</b>	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

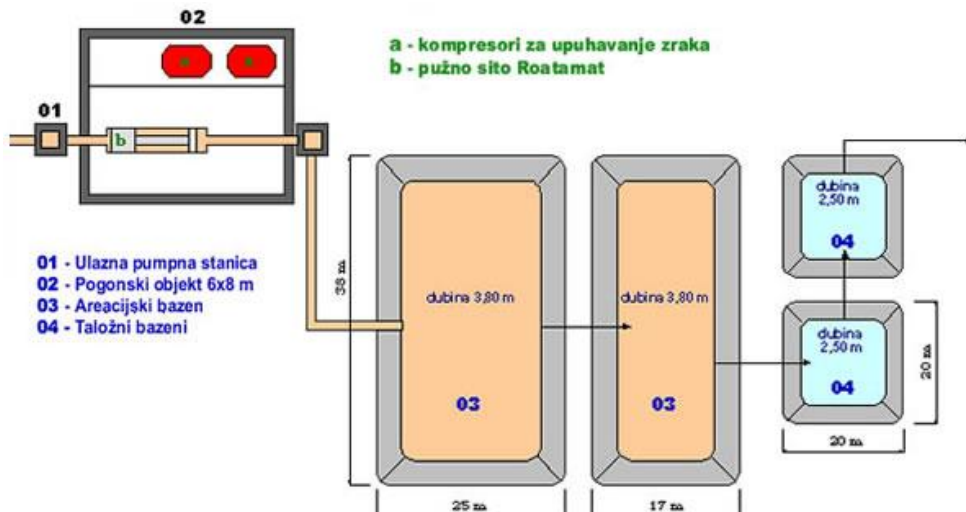
### 3.2. Biolagune

Biolagune nazivaju se još i aeracijskim jezerima te su to mješoviti aerobni reaktori slični kompaktnim uređajima koji pospješuju prirodno opskrbljivanje sustava kisikom, a najčešće se koriste za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda iz naselja i gradova i za industrijske otpadne vode iz prehrambene industrije, tj. za otpadnu vodu s pretežito organskim onečišćenjima [15, 6]. U njima se odvija nisko opterećen biološki proces s povratom ili bez povrata aktivnog mulja, a osim biološke razgradnje u lagunama se odvijaju i procesi taloženja, isplivavanja, isparavanja i procjeđivanja. Vodonepropusni su bazeni, a ovisno o dubini bazena odvijaju se aerobni i anaerobni procesi. U plitkim lagunama organske tvari razgrađuju se aerobnim putem s obzirom da je osigurana dovoljna količina kisika kroz cijelu lagunu kao i prodiranje sunčeve svjetlosti što omogućava fotosintezu, dok se u dubokim lagunama aerobni procesi odvijaju samo na površini, a u dubini anaerobni [15]. Kako bi se voda opskrbila dovoljnom količinom kisika koriste se mehanički aeratori (uređaji za prozračivanje) čime se održavaju aerobni organizmi pomiješani s vodom te se tako postiže visoka razina degradacije. Aeratori su i velik trošak ovih sustava jer je za njihov rad potrebna električna energija, ali i ulaganja u redovito održavanje. Mehanička aeracija zaslužna je i za efikasnije pročišćavanje, kraće vrijeme hidrauličke retencije (HRT) te za uklanjanje patogenih organizama [15]. Hidraulička retencija odnosi se na područje u slivu vodotoka predviđeno za vremenski kraće zadržavanje vode kako bi se osigurala zaštita od poplava pa se retencijama količina vode propušta u vodotok dulje vrijeme [19].

Što se tiče same konstrukcije, kompleks se sastoji od sljedećih objekata koji su shematski prikazani na slici 8:

1. pogonski objekt sa kompaktnim postrojenjem za fino mehaničko pročišćavanje vode sa aeriranim pjeskolovom i mastolovom, kompresorima i upravljačkim ormarom (na shemi: 02);
2. prva aeracijska laguna sa aeracijskim sustavom i povratom ili bez povrata aktivnog mulja (na shemi: 03);

3. druga aeracijska laguna za dovršetak procesa razgradnje organske tvari (na shemi: 03);
4. prva i druga taložna laguna za taloženje viška mulja i prelijevanje čiste vode u recipijent (na shemi: 04) [6].



Slika 8. Shematski prikaz biolagune [20]

Biolagune dijelimo na dva tipa, tip „B“ (s povratom aktivnog mulja) i tip „L“ (bez povrata aktivnog mulja). Kod oba tipa primjenjuje se patentirani aeracijski sustav, tzv. „aeracijski lanci“ koji plivaju na površini ovješeni o plovke, a njihov je zadatak da pri dnu upuhuju komprimirani zrak posebnim aeratorima. Kroz aeratore zrak jednolično dolazi te se lanci pokreću u ritmu od minuta do dvije lijevo i desno zbog čega su troškovi izgradnje manji jer su potrebne jednostavnije građevine, a omogućeni su i svi potrebni biološki procesi. Uobičajena dubina bazena je 2-4 metara [21]. Nadalje, nakon aeracije ukupan se volumen vode i mulja prebacuje u najčešće dvije posebne taložne lagune u kojima dolazi do mineralizacije zbog daljnje razgradnje dušikovih spojeva. U pravilu se međusobno izmjenjuju u funkciji i služe i kao spremnici mulja. Svake 2-4 godine jedna se taložna laguna isključi iz protoka te se voda prebaci u drugu kako bi se preostali mulj prirodno osušio i kasnije odveo na odlagalište. Nakon ispitivanja mulj se može koristiti u poljoprivredi [21]. Glavne prednosti biolaguna koje se često ističu su prihvaćanje promjenjivih biokemijskih i hidrauličkih opterećenja s velikim rasponom oscilacija, vrlo visok stupanj



pročišćavanja (do 98%) jer je proces najbliži prirodnoj autopurifikaciji, do 30% niža cijena izgradnje i opremanja od konvencionalnog uređaja te znatno jeftinije održavanje [6]. U nastavku slijedi opis dviju spomenutih vrsta biolaguna.

### 3.2.1. Tip „B“

Biolagune tipa „B“ su biolagune s povratom aktivnog mulja, što je glavna karakteristika koja ih razlikuje od biolaguna tipa „L“. Sustav se sastoji od dvije zone, aerobna zona koja je blizu površine vode i anaerobna zona u dubini. Što se tiče same izgradnje, prilikom projektiranja važno je razmotriti dva kriterija: HRT, odnosno vrijeme zadržavanja i srednju dubinu jezera. Kod ovog je tipa vrijeme zadržavanja između 4 i 10 dana, a srednja dubina trebala bi biti usklađena s aeracijskim sustavom i potrebom za aerobnim slojem koji je obično dubok 2 metra da bi plinovi iz muljevitog dna koji nastaju anaerobnim raspadom mogli oksidirati. Tako je srednja dubina najčešće između 1 i 2,5 metra [15]. Bitan čimbenik kod ovih biolaguna su alge koje fotosintezom stvaraju kisik potreban za aerobno pročišćavanje otpadne vode, a zajedno s bakterijama glavna su komponenta vode koja prolazi kroz sustav. Sustav se kisikom opskrbljuje i mehaničkim aeratorima [15].

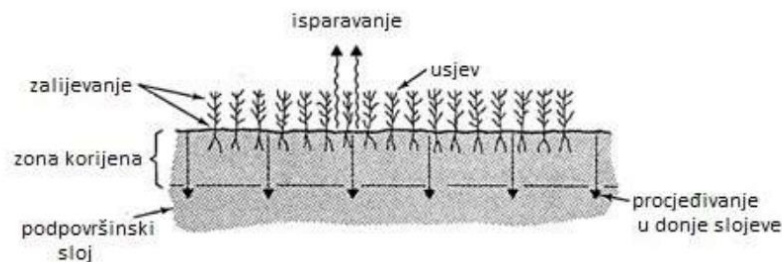
### 3.2.2. Tip „L“

Kod ovog tipa nema povrata mulja, a baziraju se na aerobnim procesima. Kisik se osigurava pomoću mehaničkih aeratora. Ti aeratori pomažu i u održavanju biomasa i čvrstih čestica raspršenih u tekućini u suspenziji čime se pospješuje kontakt bakterija (koje su sadržane u biomasi i zaslužne su za degradaciju) i mulja. Najčešće se projektiraju s manjom HRT, od 2 do 4 dana, a dio sustava često su i taložna jezera jer kvaliteta obrađene vode u ovim biolagunama nije zadovoljavajuća za izravno ispuštanje. Može se izgraditi skupina manjih taložnih jezera kod kojih je HRT oko 2 dana i potrebo je redovito uklanjati mulj, no može se izgraditi i jedno samostalno taložno jezero kod kojeg je HRT 10 dana i daje mogućnost dugotrajnog skladištenja mulja [15]. Što se

tiče aeratora preferira se korištenje više manjih nego manje većih kako bi se postigla ujednačenost miješanja, a pozicioniranje bi trebalo biti dobro promišljeno kako bi se izbjegle mrtve zone. Za izbjegavanje mrtvih zona preporuča se i projektiranje jezera sa zaobljenim rubovima [15].

### 3.3. Polja za navodnjavanje

Ova metoda vrlo je korisna u području poljoprivrede. Kako bi se maksimizirala iskoristivost otpadnih voda sve se više koriste u poljoprivredi u svrhu navodnjavanja, a usput se provodi i proces pročišćavanja. Na taj način smanjuje se i potrošnja pitke vode za navodnjavanje. Smatra se najboljim načinom za pročišćavanje otpadnih voda zemljištem te ima jednostavnu primjenu, a ujedno je i najstariji način pročišćavanja voda [22]. Za ovaj proces koriste se prethodno pročišćene otpadne vode ili efluenti prvog i drugog stupnja pročišćenosti [15]. Na površinu tla koje je prekriveno vegetacijom otpadna voda se kontrolirano nanosi raspršivanjem, a pročišćuje se fizikalnim, kemijskim i biološkim procesima tijekom prolazanja kroz tlo, tj. pročišćava se filtracijom. Uloga biljaka u ovom procesu jest održavanje određenog stupnja infiltracije, kontrola erozije i smanjenje količine hranjivih tvari u otpadnoj vodi, a odabir vegetacije je bitan. Odabrana kultura trebala bi moći izdržati ekstremno vlažne uvjete, smanjiti eroziju, biti u mogućnosti iskoristiti određenu količinu hranjivih tvari iz vode koja se pročišćuje i imati razvijenu otpornost na različite koncentracije tvari u otpadnim vodama, a najčešće se u ovu svrhu biraju različite vrste trava [22, 16]. Tako se otpadna voda pročišćava biljkama i procjeđivanjem kroz zemljište. Na slici 9 nalazi se shematski prikaz presjeka polja za navodnjavanje na kojem su označeni dijelovi sustava i smjer dovođenja otpadne vode (zalijevanje) koja se zatim procjeđuje u donje slojeve tijekom čega dolazi do procesa filtracije.

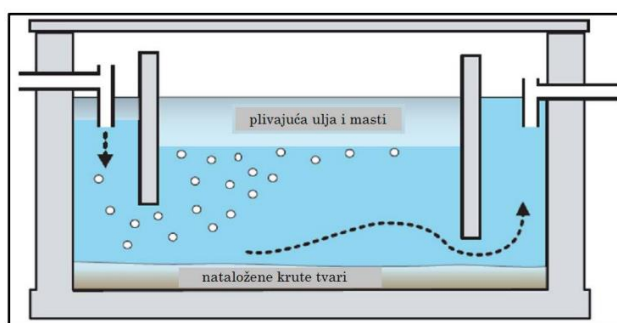


Slika 9. Pročišćavanje otpadne vode navodnjavanjem zemljišta [22]

Ovim se sustavom tjedno pročisti otprilike nekoliko centimetara vode, a za sprječavanje površinskog otjecanja bitan je i nagib samog zemljišta koji ne smije biti viši od 15%. Voda koja se procijedi u podzemne slojeve može doći u površinske vode i prihranjivati ih. Ako se pročišćena voda želi ponovno koristiti ne procjeđuje se u podzemne vode već se koristi sustav za infiltraciju otpadnih voda kroz zemljište [22]. Taj sustav će biti detaljnije objašnjen u sljedećem poglavlju. Pročišćavanje navodnjavanjem zemljišta visoke je učinkovitosti, a omogućava i potencijalno prihranjivanje podzemnih voda te ekonomski povrat kroz prodaju uroda. U području poljoprivrede time se smanjuje potreba za radnom snagom i energijom, a prednost ovog sustava svakako je i zamjena pitke vode koja se koristi za navodnjavanje otpadnom vodom. Ovom metodom smanjuje se i potreba za korištenjem umjetnih gnojiva s obzirom da razni nutrijenti poput dušika i fosfora koji se nalaze u otpadnoj vodi hrane biljke. Međutim, može doći i do prekomjerne gnojidbe i prevelikog rasta usjeva zbog previsokih koncentracija dušika, povećanja količine soli u tlu, erozije na površinama s velikom nagibom i neadekvatnom zaštitom od erozije, a nedostatak je svakako i smanjena mogućnost pročišćavanja tijekom kišnog vremena. Prilikom korištenja ove metode potrebno je pripaziti na vrstu otpadne vode, nivo prethodnog pročišćavanja, fizikalno-kemijske parametre navodnjavanog tla i odabir kulture koja će se uzgajati [22].

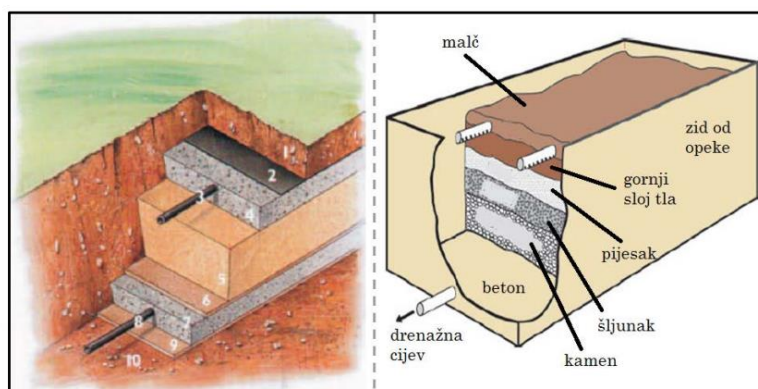
### 3.4. Infiltracija kroz zemljište

Ova metoda je, uz navodnjavanje zemljišta, najzastupljenija metoda pročišćavanja otpadnih voda zemljištem. Pridonosi smanjenju ovisnosti o oborinskim vodama i uspješnosti uroda zahvaljujući hranjivim tvarima koje se nalaze u otpadnoj vodi. Kao i kod navodnjavanja koriste se otpadne vode prethodno pročišćene do određene zadovoljavajuće razine [15]. Za potrebe infiltracije razvijeni su sustavi nebiljnih filtera- pješčani i šljunčani. Ti filteri omogućuju kontroliranu odvodnju otpadne vode i navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta, a postoji nekoliko vrsta zemljanih filtera. Najčešće je u upotrebi filter s vertikalnim tečenjem u kombinaciji s postrojenjem za prethodno pročišćavanje otpadne vode (mastolovi, septičke jame itsl.). Otpadna voda se kontrolirano izliva na površinu filterskog medija te se kroz nezasićenu filtersku zonu pročišćuje mehaničkim, biološkim i kemijskim procesima. Kao što je već rečeno, prije ulaska u filtersko tijelo otpadna se voda pročišćuje u uređaju za prethodno pročišćavanje. Time se uklanjaju krute tvari poput kuhinjskog otpada i otopljeni lipidi. Prethodno pročišćavanje potrebno je kako bi se smanjila mogućnost začepjenja filtera i kako bi se uklonili neugodni mirisi. U ovu svrhu koriste se već spomenuti mastolovi i septičke jame. Zadaća mastolova je separiranje masnog otpada (masti i ulja) koji isplivava na površinu dok se na dnu spremnika talože krutine, a u sredini spremnika ostaje pročišćena voda. Ta voda zatim se ispušta u drugi spremnik iz kojeg, pomoću malih cijevi, ulazi u filterski medij [15]. Prvi spremnik u kojem se odvija opisan postupak separiranja shematski je prikazan na slici 10.



Slika 10. Prikaz mastolova [15]

Sam sustav filterskog tijela sastoji se od vodonepropusnih sanduka koji su popunjeni pijeskom i šljunkom te se voda protjecanjem kroz nezasićenu zonu infiltrira. Otpadna se voda pomoću električnih crpki ili mehaničkog sifona ravnomjerno izlijeva na površinu filtera. Kako bi se osigurao dotok kisika u filterski medij potrebno je ispuniti cijelu filtersku površinu. Pročišćena voda skuplja se u drenažnoj mreži. Najviše se koriste dvije vrste vertikalnih filterskih tijela prikazane na slici 11. Na prikazu lijevo filtersko je tijelo prekriveno zemljanim slojem (1) kako bi se osigurala izolacija od smrzavanja u periodima nižih temperatura. Ispod tog sloja dolazi razdvajajući sloj (geotekstil) (2), zatim slijede distribucijska cijev (3), distribucijski sloj (4), pješčani filter (5), razdvajajući pješčani sloj (6), drenažni sloj (7), drenažna cijev (8), učvršćena potpora (9) i izvorna zemlja (10). Na prikazu desno nalazi se sanduk napravljen od opeke i betona koji je prekriven malčom – organskim pokrivačem tla [15].



Slika 11. Presjek dviju vrsta vertikalnih filterskih tijela [15]

Što se tiče samog funkcioniranja sustava, mehanički procesi do kojih dolazi su filtriranje i sedimentacija. Dolazi i do degradacije koja se ostvaruje pomoću mikroorganizama koji se nalaze na dnu filtera. Ovako pročišćena otpadna voda često se koristi za navodnjavanje parkova, usjeva, šuma, drveća, groblja, pojaseva uz cestu itsl. [2]

## 4. ZAKLJUČAK

- Značaj konvencionalnih uređaja u procesu pročišćavanja ne može se poreći posebice kada su u pitanju industrijske otpadne vode.
- Alternativni sustavi pročišćavanja zahtijevaju prethodno mehaničko pročišćavanje otpadnih voda što je ujedno i razlog nemogućnosti potpunog izbacivanja konvencionalnih sustava iz upotrebe.
- Glavni atribut alternativnih sustava je činjenica da se temelje na imitaciji prirodnih procesa čime se isti ne remete te je naglasak na očuvanju okoliša
- Trošak izgradnje jedinica i samog kasnijeg funkcioniranja alternativnih sustava u usporedbi s izgradnjom konvencionalnih je manji.
- Alternativni sustavi pročišćavanja predstavljaju ekološki prihvatljiv i moderan način za pročišćavanje i iskorištavanje otpadnih voda, što vodi boljoj i održivijoj budućnosti.

## LITERATURA

[1] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Hrvatska enciklopedija: Voda, <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=65109>, pristupljeno 16.02.2022.

[2] Tolić, S.: Značaj vode i vodnih resursa za opstanak planete Zemlje, Zdravlje za sve, [http://zdravljezasve.hr/html/zdravlje1\\_ekologija2.html](http://zdravljezasve.hr/html/zdravlje1_ekologija2.html), pristupljeno 10.04.2022.

[3] WYG International Ltd, Studija o procjeni zahvata na okoliš EU Projekt Rivijera Biograd – Sustav javne vodoopskrbe te odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Biograd, (2019.), Zagreb

[4] Tedeschi, S.: Zaštita voda. Zagreb (1997.): Hrvatsko društvo građevinskih inženjera.

[5] Bupić, M., Milić, L.: Brodski uređaj za obradu fekalnih voda s osvrtom na postupke ozračivanja i bistrenja, Naše more, 45 (3-4,5-6)/98, str. 115-126, <https://hrcak.srce.hr/clanak/307271>, pristupljeno 10.04.2022.

[6] Adanić, D.: Industrijske otpadne vode, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Odjel sigurnosti i zaštite (2017.), Karlovac, <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka:620>, pristupljeno 11.04.2022.

[7] Ovčariček, S.: Kućanske otpadne vode, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Odjel sigurnosti i zaštite (2017.), Karlovac, <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A663>, pristupljeno 11.04.2022.

[8] Črnek, N.: Onečišćenje i zaštita voda, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Odjel sigurnosti i zaštite (2018.), Karlovac, <https://zir.nsk.hr/islandora/object/vuka:1024>, pristupljeno 11.04.2022.

[9] Višić, K., Vojnović, B., Pušić, T.: Problematika zbrinjavanja i pročišćavanja otpadnih voda – zakonski propisi, Tekstil, 64 (3-4), 2015., str. 109-121, <https://hrcak.srce.hr/166601>, pristupljeno 13.04.2022.

- [10] Klemar, L.: Obrada otpadnih muljeva iz procesa pročišćavanja otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet (2018.), Sisak, <https://zir.nsk.hr/islandora/object/simet%3A172>, pristupljeno 13.04.2022.
- [11] Dikić, N.: Obrada otpadnih voda biljnim uređajima, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet (2016.), Osijek, <https://repozitorij.unios.hr/islandora/object/ptfos%3A1083>, pristupljeno 16.04.2022.
- [12] Apalović, U.: Primjena adsorpcije u pročišćavanju otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet (2020.), Sisak, <https://zir.nsk.hr/islandora/object/simet:328>, pristupljeno 16.04.2022.
- [13] Tušar, B.: Pročišćavanje otpadnih voda, Zagreb, Kigen d.o.o., 2009.
- [14] Vuković Domanovac, M.: Osvježimo znanje: Proces s aktivnim muljem, Kemija u industriji, 70 (3-4), str. 192-193, <https://hrcak.srce.hr/256308>, pristupljeno 04.05.2022.
- [15] Kraljević, L.: Alternativni sustavi pročišćavanja otpadnih voda, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku (2017.), Osijek, <https://dabar.srce.hr/en/islandora/object/gfos%3A578>, pristupljeno 20.04.2022.
- [16] Šperac, M., Kaluđer, J., Šreng, Ž.: Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, (2013.) 4(7), 76-86., Osijek, <https://hrcak.srce.hr/112486>, pristupljeno 21.04.2022.
- [17] Jurman, L. A.: Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet (2017.), Zagreb, <https://zir.nsk.hr/en/islandora/object/pmf%3A1866>, pristupljeno 21.04.2022.
- [18] Karlović, M.: Biljni pročišćivači otpadnih voda, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Odjel lovstva i zaštite prirode (2021.), Karlovac, <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka:2101>, pristupljeno 22.04.2022.
- [19] Buntić, I.: Hidraulički proračun retencije, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije (2019.), Split, <https://zir.nsk.hr/islandora/object/gradst:1483>, pristupljeno 25.04.2022.



[20] Interplan ekološki inženjering: Biologuna (2022), <https://www.interplan.hr/biologuna/>, pristupljeno 25.04.2022.

[21] Nadilo, B.: Najsuvremeniji uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, Građevinar, 64 (2012) 6, str. 493-503, <http://www.casopis-gradjevinar.hr/arhiva/issue/163>, pristupljeno 02.05.2022.

[22] Obradović, D., Šperac, M.: Pročišćavanje otpadnih voda navodnjavanjem zemljišta, Voda za sve: zbornik radova 7. međunarodnog znanstveno-stručnog skupa Voda za sve (2018.), Osijek, str. 212-222, <https://repozitorij.ptfos.hr/islandora/object/ptfos:1621>, pristupljeno 05.0

## POPIS SLIKA

<i>Slika 1. Shematski prikaz radnog procesa UPOV-a.....</i>	<i>12</i>
<i>Slika 2. Pjeskolov s kružnim tokom.....</i>	<i>14</i>
<i>Slika 3. Shema kružnog taložnika .....</i>	<i>15</i>
<i>Slika 4. Shematski prikaz konvencionalnog postupka s aktivnim muljem.....</i>	<i>15</i>
<i>Slika 5. Biljni uređaj sa slobodnim vodnim licem.....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 6. Biljni uređaji s vertikalnim podpovršinskim tokom .....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 7. Biljni uređaji s horizontalnim podpovršinskim tokom .....</i>	<i>22</i>
<i>Slika 8. Shematski prikaz biolagune .....</i>	<i>24</i>
<i>Slika 9. Pročišćavanje otpadne vode navodnjavanjem zemljišta .....</i>	<i>27</i>
<i>Slika 10. Prikaz mastolova.....</i>	<i>28</i>
<i>Slika 11. Presjek dviju vrsta vertikalnih filterskih tijela.....</i>	<i>29</i>

## POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Pokazatelji sastava kućanskih otpadnih voda.....</i>	<i>4</i>
<i>Tablica 2. Pregled mehanizama uklanjanja.....</i>	<i>18</i>
<i>Tablica 3. Prednosti i nedostaci uređaja s vertikalnim i horizontalnim protokom.....</i>	<i>22</i>