

# Važnost obrade otpadnih industrijskih voda u tehnološkim procesima

---

Jurišić, Marta

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:946077>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**

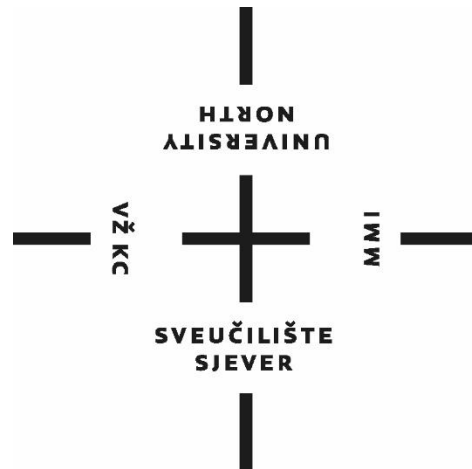


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**

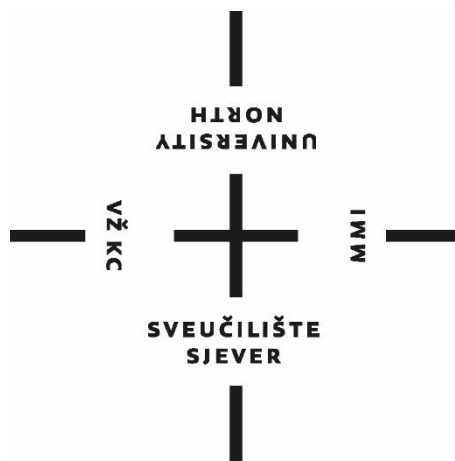


Diplomski rad broj 80/ARZO/ 2024

**Važnost obrade otpadnih industrijskih voda  
u tehnološkim procesima**

Marta Jurišić, 0011165610

Koprivnica, rujan 2024.



**Sveučilište Sjever**

Diplomski sveučilišni studij Ambalaža, recikliranje i zaštita okoliša

# Važnost obrade otpadnih industrijskih voda u tehnološkim procesima

Studentica:

Marta Jurišić, 0011165610

Mentor:

Vladislav Brkić, izv.prof.dr.sc.

Koprivnica, rujan 2024. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za ambalažu, recikliranje i zaštitu okoliša

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Ambalaža, recikliranje i zaštita okoliša

PRISTUPNIK Marta Jurišić MATIČNI BROJ 0011165610

DATUM 12.9.2024. KOLEGIJ Upravljanje okolišem

NASLOV RADA Važnost obrade otpadnih industrijskih voda u tehnološkim procesima

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU The importance of industrial wastewater treatment in technological processes

MENTOR Vladislav Brkić ZVANJE Izvanredni profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

- izv.prof. dr.sc. Krunoslav Hajdek-predsjednik
- izv. prof. dr. sc. Bojan Šarkanj-član
- izv. prof. dr. sc. Vladislav Brkić-mentor
- prof. dr. sc. Božo Smoljan - zamjenski član
- 

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 80/ARZO/2024

OPIS

U diplomskom obraditi postupke obrade otpadne industrijske vode. Također potrebno je opisati kemijska, fizikalna i biološka onečišćenja koja se nalaze u vodi te primarni, sekundarni i tercijalni stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Isto tako potrebno je opisati obradu mulja nastalog u svim procesima obrade vode. Cilj diplomskog rada treba biti važnost ekoloških izazova obrade otpadnih industrijskih voda te njihov utjecaj na okoliš.

ZADATAK URUČEN

POTPIS MENTORA

*Neizmjerne hvala mentoru izv.prof.dr.sc. Vladislavu Brkiću na stručnim i korisnim savjetima reflektiranim u ovom diplomskom radu.*

*Hvala mojim voljenima sa kojima svaka nevera postaje bonaca.*

*Marta*

## SADRŽAJ

1.	<b>Uvod</b> .....	8
2.	<b>Najčešći uzroci zagađenja otpadnih voda</b> .....	11
3.	<b>Pokazatelji onečišćenja</b> .....	13
	3.1. Fizički pokazatelji onečišćenja .....	13
	3.2. Kemijski pokazatelji onečišćenja .....	16
	3.3. Biološki pokazatelji onečišćenja .....	18
4.	<b>Tvrdoća vode</b> .....	21
5.	<b>Važnost vode u tehnološkom postrojenju</b> .....	24
6.	<b>Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda</b> .....	25
	6.1. Primarni stupanj pročišćavanja otpadnih voda .....	28
	6.2. Potpomognuto taloženje .....	30
	6.3. Drugi stupanj pročišćavanja otpadnih voda .....	32
	6.4. Treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda .....	36
7.	<b>Problemi industrijskih otpadnih voda</b> .....	48
8.	<b>Procjene vode na odlagalištima otpada</b> .....	49
9.	<b>Obrada mulja nastalog u svim procesima obrade otpadnih voda</b> .....	50
10.	<b>Obrada otpadne vode u farmaceutskoj industriji</b> .....	52
11.	<b>Obrada otpadne vode u prehrambenoj industriji</b> .....	54
12.	<b>Obrada otpadne vode u tekstilnoj industriji</b> .....	55
13.	<b>Utjecaj otpadnih industrijskih voda na okoliš</b> .....	57
14.	<b>Zaključak</b> .....	59
15.	<b>Literatura</b> .....	60
	15.1. Popis tablice .....	67
	15.2. Popis slika .....	67

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu naglasak je stavljen na postupcima obrade otpadne industrijske vode. Također, opisana su kemijska, fizikalna i biološka onečišćenja koja se nalaze u vodi te primarni, sekundarni i tercijalni stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Isto tako opisana je obrada mulja nastalog u svim procesima obrade vode. Kako bi došlo do očuvanja vode za buduće generacije te ponovne upotrebe vode javlja je kružni model gospodarenja vodama. Kružni model gospodarenja vode omogućava uštedu resursa te ponovno korištenje vode za druge svrhe.

Cilj ovog diplomskog rada je važnost ekoloških izazova obrade otpadnih industrijskih voda te njihov utjecaj na okoliš.

Budući da ne postoji savršeno rješenje koje se koristi u svim granama industrije, u ovom radu opisani su najzastupljeniji kombinirani procesi koji predstavljaju bolja tehnološka rješenja.

**KLJUČNE RIJEČI :** industrijska otpadna voda, stupnjevi pročišćenja, ušteda resursa, kružni model gospodarenja vodama.

## Abstract

This master's thesis explores treatment processes for industrial wastewater. It describes the chemical, physical, and biological impurities found in water, as well as the primary, secondary, and tertiary stages of wastewater treatment. In addition, it explores the treatment of sludge generated by all water treatment processes. To ensure water conservation for future generations and facilitate water reuse, the circular water economy model is introduced. This model enables resource savings and the reuse of water for various purposes.

This thesis aims to highlight the importance of environmental challenges, the treatment of industrial wastewater, and its impact on the environment. Since there is no perfect solution that applies to all industries, this paper describes the most common combined processes that represent better technological solutions.

Keywords: industrial wastewater, treatment stages, resource savings, circular water management model.



## 1. UVOD

Voda kao prirodni resurs javlja se u ograničenim količinama . Nažalost, ovaj resurs ključan je za egzistenciju svih živih bića na Zemlji dok se zalihe vode smanjuju. Budući da dolazi do porasta gospodarskog sektora (kao što je industrija, poljoprivreda ili energetika ) javlja se i povećana potreba za vodom. Zahvaljući fizikalno- kemijskim komponentama vode, ne postoji grana industrije u kojoj se ona ne koristi. Kako bi došlo do učinkovitog iskorištavanja industrijske otpadne vode, potrebno je postići održivo gospodarenje vodama. Brojna onečišćenja koja su prisutna u vodi štetno djeluju na žive organizme u vodi te dolazi do prekoračenja graničnih vrijednosti pitke vode. Kako bi se zadovoljili standardi ispuštene vode , industrijska otpadna voda prolazi određene stupnjeve pročišćavanja. Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda provode se kemijskim, fizikalnim ili biološkim postupkom kako bi se uklonile topljive i netopive tvari, organske tvari, otrovne tvari, radioaktivne tvari te mikroorganizmi prije ispušnja u prijamnik ili vodotok.

Danas, industrijske vode predstavljaju jedan od većih ekoloških problema iz mnogih razloga. Jedan od najvećih problema su razgradljivi i toksični spojevi koji se ne mogu ispustiti u prijamnike bez predhodne obrade. Budući da ne postoji idealna metoda obrade javljaju se kombinirane metode u integriranim sustavima. Ukoliko se otpadne vode ispuste u prirodne prijamnike bez predhodne obrade, može doći do ozbiljnog narušavanja ravnoteže u biljnom i životinjskom svijetu čije negativne posljedice zahvaćaju i ljudsko zdravlje. Uz biološke, fizikalno- kemijske te kemijske procese, važno je pridržavati se i zakonskih regulativa u tehnološkim procesima.<sup>1</sup>

Određene industrijske otpadne vode sadrže sastojke koji su otrovni ili teško razgradljivi, kao što su primerice : teški metali, kiseline, lužine , masti, mineralna ulja , sintetički i kemijski spojevi te prilikom ispuštanja u gradsku kanalizaciju, potrebno ih je obraditi određenom metodom kako bih se postigla vrijednost onečišćenja u skladu sa zakonom propisanim vrijednostima. Vrsta procesa koja se provodi prilikom pročišćavanja industrijskih otpadnih voda ovisi o načinu upotrebe vode te mjestu ispuštanja otpadne vode.<sup>1</sup>

Najčešća podjela otpadnih voda prema izvoru nastanka :

- Komunalne otpadne vode
- Industrijske otpadne vode
- Oborinske vode
- Poljoprivredne otpadne vode

Komunalne otpadne vode uključuju otpadne vode iz kućanstva kao i vode iz malih industrijskih pogona . To su vode nastale mješavinom različitih koncentracija urina, fekalija, deterženta te masnoće iz domaćinstva. Industrijske otpadne vode ovise o pojedinačnom proizvodnom procesu. To su najčešće vode razrjeđene od koncentrirane mješavine emulzija do jako biorazgradljivih kemikalija. Također, ovoj skupini voda pripadaju i procjedne vode koje nastaju procjeđivanjem kišnice kroz nepokriveni otpad koji se nalazi na odlagalištima otpada. Poljoprivredne otpadne vode zastupljene su u

različitim granama uzgoja i proizvodnje poput : mljekarstva, ribarstva, svinjogojstva... U ovu skupinu otpadnih voda ubijaju se koncentrirane otopine biorazgradljivih tvari čiji se postupak pročišćavanja vrlo malo provodi. Oborinske otpadne vode uključuju vode sa seoskih , gradskih i prigradskih površina. Ova vrsta voda najčešće je mješavina mineralnih i organskih krutina kao i otopljenih soli i nutrijenata u tragovima. <sup>2,3</sup>

Podjela otpadnih voda prema mjestu nastanka:

- Industrijske otpadne vode
- Sanitarne otpadne vode
- oborinske otpadne vode

Sanitarne otpadne vode su sve vrste voda koje služe za zadovoljavanje životnih funkcija. One se upotrebljuju u kućanstvu, uredima, sanitarnim čvorovima za radnike te uslužnim djelatnostima. Ova vrsta voda sadržava veliki broj mikroorganizma, virusa te bakterija. Prosječna temperatura otpadnih voda iznosi 11,6 C do 20.5 °C dok povišenjem temperature dolazi po ubrzavanja bioloških procesa razgranje odnosno većeg trošenja kisika što povećava opasnost od truljenja vode u na kalizacijskoj mreži. Industrijske otpadne vode koriste se u tehnološkim procesima dok njezin sastav, količina i koncentracija upravo ovisi o načinu i vrsti samog procesa. Ova vrsta vode najčešće se dijeli na biološku razgradljivu i biološki nerazgradljivu vodu. Dok se biološki razgradljive vode miješaju sa gradskim otpadnim vodama, biološki nerazgradljive vode trebaju se prethodno podvrgnuti postupcima pročišćavanja kako bih došlo do mješanja sa gradskim otpadnim vodama. Prije nego što se biološki nerazgradljive vode pomiješaju sa gradskom vodom , potrebno je kontrolirati toksične tvari, ukloniti inhibitore koji onemogućavaju rad uređaja za pročišćevanje vode te izdvojiti eksplozivne, korzivne i zapaljive tvari koje oštećuju cijevi. Oborinske otpadne vode kao što su kisele kiše nastaju od oborina te u doticaju sa nižim slojevima atmosfere znatno utječu na zagađenost tla. <sup>2,3</sup>

## 2. NAJČEŠĆI UZROCI ZAGAĐENJA OTPADNIH VODA

Kako bi se poboljšalo stanje kvakoće vode za daljnu upotrebnju, potrebno je industrijsku otpadnu vodu pročistiti. Budući da se prirodne vode najčešće koriste za namjene visoke kvakoće vode kao što je vodoopskrba stanovništva kao i proizvodnju hrane, otpadne vode se pročišćavaju kako bi se ponovne upotrebile u vodnim sustavima. Kombinacija kemijskih, fizikalnih i bioloških procesa te stupanj poročišćavanja uvelike ovise o sastavu otpadne vode koja ulazi u sustav.<sup>3</sup>

Kao što je već rečeno, najčešći onečišćivači otpadnih industrijskih voda su: teški metali, hranjive tvari, suspendirane tvari, biorazgradljive organske tvari i otopljene anorganske tvari. Teški metali kao jedni od najopasnijih anorganskih zagađivača u otpadnim vodama a javljaju se kao prirodni i antropogeni zagađivači. Prirodni izvor teških metala vidljiv je tijekom vulkanske erupcije ili erozije tla kroz ispuštanje metala: alumija, žive, arsena i bakra. Dok antropogeni zagađivači odnosno ljudsko djelovanje vidljivo je kroz najčešće tekstilnu industriju.<sup>4</sup>

Hranjive tvari koje uključuju dušik, fosfor i ugljik znatno utječu na razvoj biljnih i životinjskih vrsta. Stabilni organski spojevi kao što su površinski aktivne tvari teško je ukloniti konvencionalnim metodama obrade.<sup>2</sup>

Upravo nutrijenti djeluju kao gnojiva koji simultiraju rast algi te ostalog vodenog bilja dok ulja i masti na površini vode formiraju opasan tanki nepropustiv sloj koji smanjuje mogućnost apsorpcije kisika iz atmosfere.<sup>3</sup>

Industrijske otpadne vode koriste se u različitim granama industrije kao što su : industrija stakla, tiskarska djelatnost, farmaceutska industrija, tekstilna industrija, automobilna insustrija, rafinerije, industrije obrade metala .... Brojne antropogene djelatnosti utječu na promjenu stanja u vodnim sustavima kao što su urbanizacija,

poljoprivreda, izgradnja industrijskog pogona, rashladne vode, promet i proizvodnja energije .

Pojam onečišćenje vode podrazumijeva promjenu kvakoće vode koja nastaje unosom, ispuštom ili odlaganjem u vode hranjivih tvari u količini u kojoj se mijenja svojstva vode, a pojam zagađenje vode podrazumijeva onečišćenje veće od dopuštenog koje nastaje unosom, ispuštom ili odlaganjem u vode opasne tvari u količini većoj od dopuštene vrijednosti.

FIZIKALNI POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA	KEMIJSKI POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA	BIOLOŠKI POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA
suspendirane tvari	Metali	stupanj saprobnosti
Mutnoća	otopljeni plinovi	stupanj biološke proizvodnje
Boja	organske tvari	mikrobiološki pokazatelj
miris	hranjive tvari	stupanj otrovnosti
temperatura	pH	
	Alkalitet	
	električna vodljivost	
	ostali kemijski parametri	

Tablica (I) prikazuje fizikalna , kemijska i biološka onečišćenja.<sup>5</sup>

## 3. POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA

### 3.1. FIZIKALNI POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA

Kao negativna promjena fizikalnih svojstva vode, vidljivo je povećanje temperature vode, pojava mutnoće vode te neugodan mirisi i okus. Ukoliko dođe do povećanja temperature vode, bez predhodnog ispusta rashladne vode iz energetskog postrojenja te hlađenja, javlja se smanjenje koncentracije otopljenog kisika u vodi a samim time i smanjenje razgranje organskih tvari. Mutnoća je posljedica prisutnosti suspendiranih tvari u vodi koje s vodom čine koloidne otopine dok je promjena boje, okusa i mirisa posljedica neke druge vrste onečišćenja.<sup>6</sup>

Najčešća podjela suspendiranih tvari :

- anorganske tvari ( pijesak , glina , ilovača)
- organske ( mikroorganizmi, čestice uginulih organizama )

Budući da se suspendirane čestice talože u vodnim sustavima ukoliko dolazi do smanjenja brzine taloženja, istaložene čestice znatno mjenjaju staništa vodnog eko sustava. Suspendirane čestice predstavljaju jezgru na kojoj se adsorbiraju molekule i ioni štetnih tvari najčešće mikroorganizami.

Pokazatelj suspendiranih tvari izražava se u količini suspendiranih tvari u jedinici obujma vode u analitičkom laboratoriju. Najčešća podjela suspendiranih tvari je netaložive i netaložive, dok se taložive čestice istalože u 60 minuta na dnu Imhoffovog ljevka.<sup>7</sup>

Mutnoća vode nastaje kao posljedica suspendiranih tvari najčešće gline i mulja, kemijskog taloga, organskog materijala i drugih čvrstih metala u vodi ali ona može biti i uzrokovana lošom kvalitetom sa izvora kao i lošim pročešćivanjem unutar distribucijskog sustava. Važno je naglasiti da zamućenost povećava i troškove obrade vode jer dolazi do rasta i razmnožavanja mikroorganizama što zahtjeva provođenje postupka dezinfekcije. Također,

povećana zamućenost vode dovodi do interferencije prodiranja svjetlosti što ugrožava eko sustav te utječe na kvalitetu vode.<sup>8</sup>

Turbidimetrija je optička analitička metoda za mjerenje mutnoće suspenzije. Provodi se fotoelektričnim mjerenjem inteziteta svjetlosti propuštanjem kroz suspenziju. Sve tvari koje se nalaze u vodi uzrokuju raspršenje snopa. Raspršeno svjetlo se detektira a što su veće rasršene upadne zrake to je količina u uzorku veća kao i mutnoća vode.<sup>9</sup>

Čista pitka voda nema miris niti okus, dok većina ljudi smatra kako je najukusnija na temperaturi do 10 do 15 °C. Mnoge strane tvari kao što su organski materijali ili anorganski spojevi znatno mjenjaju okus i miris. Svježa otpadna voda je svjetlo smeđe boje dok je odstajala tamno smeđe do crne boje. Boja se mjeri kolometrijskom metodom. Ova kvantitativna instrumentalna tehnika određuje koncentraciju obojene tvari u otopini u odnosu sa obojenošću referentne tvari poznate koncentracije. Fotoelektričnim mjerenjem , pomoću Beerovog zakona mjeri se intezitet upadne i prolazne svjetlosti.<sup>10,11</sup>

$$A = \log\left(\frac{P_0}{P}\right) = \epsilon bc$$

( Pri čemu je  $A$ =apsopcija na danoj valnoj duljini svjetlosti , $\epsilon$ =molarni aposrpcijski koeficijent ( $\frac{L}{mol.cm}$ ),  $b$ = duljina puta svjetlosti kroz uzoram (  $cm$  ),  $c$ = koncentracija tvari u otopini ( $\frac{mol}{L}$ ))

Miris u vodi može se potjecati od različitih kemijskih spojeva kao što je vidljivo u industrijskim otpadnim vodama. Također, neugodni izgled, boja i miris uzrokuju dodatno onečišćenje prijarnika.<sup>12</sup>

Koncentracija vodikovih iona, odnosno pH vrijednost, jedana je od najvažnijih fizikalnih parametara kvalitete vode. Upravo pH vrijednost odnosno negativni logaritam vodikovih iona ukazuje na kiselost tj.lužnatost otopine. Dok kisele otopine sadržavaju dodatne vodikove ione , lužnate otopine sadržavaju hidroksidne ione stoga pH viši od 7 ukazuje

na lužnatu vodu dok pH niži od 7 na kiselu. Vrijednost čistih voda također ovisi i o ugljikovom dioksidu iz atmosfere te o vrijednostima karbonata i hidrogenkarbonata . Ukoliko je pH vode nizak, u vodi se javlja biljna razgradnja. Važno je naglasiti da sigurni raspon pitke vode je 6,5 do 8,5. Manji pH sprječava stvaranje vitamina i minerala u ljudskom tijelu dok viši pH daje slani okus te iritaciju oči ( pH veći od 11).<sup>8,5</sup>

Voda je neutralna ukoliko je koncentracija H<sup>+</sup> iona jednaka koncentraciji OH<sup>-</sup> iona. Koncentracija vodikovih iona provodi se mjerenjem elektromotorne sile u ćeliji između radne i referentne elektrode. Elektromotorna sila mjeri se pH metrom.<sup>13</sup>

$$pH(x) = pH(s) + \frac{(E_x - E_s) \times F}{RT \ln_{10}}$$

*(Pri čemu je : pH(x) predstavlja pH ispitane otopine, pH(s) predstavlja pH standardne otopine,*

*F=Faradayeva konstanta, R =opća plinska konstanta= 8,31446261815324  $\frac{J}{mol * K}$ ,*

*E(x)=potencijal indikatorske elektrode izmjeren u ispitanoj otopini, E(s)= potencijal iste elektrode u standardnoj PH otopini u ćeliji s istom referentnom elektrodom i istim difuzijskim potencijalom kao kod ispitane otopine)*



### 3.2. KEMIJSKI POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA

Kemijski pokazatelji onečišćenja su : metali, otopljeni plinovi, organske tvari, hranjive tvari, pH, alkalitet, električna vodljivost i ostali kemijski parametri. Metali imaju značajan utjecaj na vodeni okoliš jer utječu na bioraznost vodenog ekosustava pa primjerice olovo koje se nalazi čak i u niskim koncentracijama podzemnih voda može znatno utjecati na živčani sustav , imunološki sustav te razvoj inteligencije kod djece. Živa, kao anorgansko onešćivalo najčešće se javlja u kombinaciji sa sumporom .Najčešći antropogeni izvori ovih metala su: raznovrsna goriva, pogoni, spalionice otpada te ložišta fosilnih goriva. U istočnoj Slavoniji, arsen se najviše pronalazi u podzemnim i površinskim vodama u obliku anorganskih spojeva koji su kancerogeni i izrazito opasni za organizam. U vodu arsen dospjeva kao posljedica erozije tla i odlagališta farmaceutske industrije te industrije boja. S druge strane, ugljikovodici na različite načine štetno djeluju za okoliš. Primjerice kroz izljevanje nafte u more dolazi do sprječavanja fotosinteze sve do ulaska u hranibeni lanac. Također, brojni pesticidi i herbicidi zajedno sa mineralnim gnojivima koriste se u poljoprivredi pri uzgoju biljaka.<sup>14</sup>

Brojni otopljeni plinovi u različitim koncentracijama nalaze se u otpadnim industrijskim vodama. Tako primjerice  $O_2$  na veće dubine dolazi iz zraka kao i prilikom procesa fotosinteze. Ukoliko dolazi do manjka kisika u stanicama organizma javlja se hipoksija. Dok ukoliko dođe do potpunog nedostatka kisika u tjelesnim stanicama , javlja se anoksemija. Histoksična anoksemija javlja se kada stanice ne mogu iskoristiti kisik zbog inhibicije staničnih dišnih enzima otrovima.<sup>15</sup>

$CO_2$  je prisutan u svim vrstama vode radi razgradnje mrtvih tvari, disanjem živih organizama te otapanjem plinova iz atmosfere.<sup>5</sup>

Organske tvari u otpadnim vodama mogu biti biorazgradljive i potpuno nebiorazgradljive. Biorazgradljive tvari najčešće proteini, masti i ugljikohidrati koji ispuštanjem u vodeni okoliš, bez prethodne obrade, dovode do iscrpljivanja prirodnog sadržaja kisika te stvaraju neugodni miris. Potpuno nebiorazgradljive tvari poput ulja, derivata nafte, otapala za čišćenje, fenola te ostalih toksičnih spojeva izazivaju degradaciju okoliša.

Biološka potrošnja kisika (BPK) predstavlja količinu kisika potrebnu za biološku razgradnju organskih tvari pomoću mikroorganizma. Najčešće se koristi petodnevna biološka potrošnja kisika (BPK<sub>5</sub>) pri temperaturi od 20 °C. Kemijska potreba za kisikom (KPK) predstavlja ukupni sadržaj (biorazgradljivih i nebiorazgradljivih) organskih i anorganskih tvari pomoću jakog oksidacijskog sredstva. Dok se kemijska potrošnja kisika određuje Bikromatnom metodom, biološka potrošnja kisika određuje se Winklerovom metodom.<sup>5</sup>

Najčešće hranjive tvari odnosno nutrijenti su: dušik i fosfor te njihove soli. Oni su nužni za proizvodnju organskih tvari poput alga, no njihova povećana koncentracija dovodi do prekomjernog rasta i razmnožavanja autotrofnih organizama. Tada može se pojaviti ozbiljan ekološki problem koji utječe na floru i faunu te dovodi do značajnih promjena u bioraznolnosti. Eutrofikacija dovodi do velikih promjena u ekološkom sustavu. Ukoliko je riječ o kontinuiranoj eutrofikaciji, može se pojaviti izdizanje sedimenta kod jezera što uzrokuje smanjenje rijetkih vrsta te povećava brojnost hipereutrofnih vrsta.<sup>16</sup>

Prvo dolazi do perioda cvjetanja algi, uginuća algi, padanja algi na dno te taloženja na dnu. Razgradnja algi omogućava razvoj bakterija. Kako se koristi kisik, količina otopljenog kisika se smanjuje te dolazi do hipoksije što najčešće dovodi do ugibanja živog svijeta u vodenom staništu odnosno stvaranju mrtvih zona.<sup>17</sup>

Alkalitet predstavlja kvalitativni kapacitet vode potreban za neutralizaciju jake kiseline do određenog pH. Ukoliko je riječ o površinskim vodama, prati se sadržaj karbonata, bikarbonata i hidroksida. Također, soli slabih kiselina kao što su borati, silikati i fosfati utječu na vrijednost alkaliteta. Ukupni alkalitet je fenolftalalenski alkalitet i određuje se titracijom s kloridnom kiselinom do primjene indikatora metiloranža iz žute u narančastu

. Upravo titracijom u vodi se određuju prisutni hidroksidi, karbonati i bikarbonati. M-vrijednost izražava utrošenu klornu kiselinu ( $c=0,1$  mol/L) potrebnu za neutralizaciju 100 mL uzorka vode uz indikator metiloranž. Dok p-vrijednost ( odnosno fenolftalenski alkalitet ) izražava ukupne hidrokside i karbonate u titraciji sa indikatorom fenolfataleonom. To je zapravo volumen utrošene klorne kiseline (  $c=0,1$  mol/L) za neutralizaciju 100 mL uzorka vode.<sup>18</sup>

Električna vodljivost predstavlja fizikalnu veličinu koja opisuje provođenje električne struje. Ona je recipročna električnom otporu te ovisi o koncentraciji iona u vodi. Konduktometar je analitički instrument koji mjeri vodljivost otopine .

### 3.3.BIOLOŠKI POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA

U biološke pokazatelje onečišćenja ubraja se : stupanj saprobnosti, stupanj biološke proizvodnje, mikrobiološki pokazatelji i stupanj otrovnosti. Stupanj saprobnosti određuje se pomoću saprobnog indeksa u biomonitoringu . On se definira kao optimum vrste te o njemu ovisi saprobnost vodenog toka.<sup>19</sup>

Pomoću mikrobiološkog pokazatelja može se pratiti brojnost i aktivnost mikroorganizma u vodi . Najčešće se prate razlagači organskih tvari te proizvođači novih organskih tvari. U vodu mikroorganizmi dolaze zbog ispiranja tla, otpadnih voda ali i probavnog sustava ljudi i životinja. Upravo zato , u otpadnim vodama mogu se naći i fekalni mikroorganizmi koji mogu biti patogeni te ujedno i uzročnici bolesti. Stupanj otrovnosti odnosno toksičnosti ukazuje na žive organizme u vodi koji izazivaju bolest, kancerogene i genetičke promjene kao i fizičke deformacije te smrt. Budući da svakim danom dolazi do razvoja kemijske industrije, ujedino se povećava i broj kemijskih spojeva a samim time povećava se broj opasnih spojeva u vodi.<sup>20</sup>

Djelovanjem čovjekove djelatnosti te ispuštanjem hranjivih tvari u otpadne vode , ispiranje poljoprivrednih površina , djelovanje umjetnih gnojiva dovodi do povišenja stupnja trofije.<sup>21</sup>

Kod hipereutrofnih vodenih susutava dolazi do prekomjernog rasta biljaka i algi te smanjenja otapanja kisika u vodi. Upravo zato smanjuje se prodiranje sunčevog svjetla u slojeve vode te nastaju mrtve zone odnosno zone u kojima vladaju nepovoljni uvjeti za život faune ispod površine vode. Smanjenje vrijednosti biološke raznolikosti znatno utječu na povećanje troškova obrade vode za piće.<sup>22</sup>

OLIGOTROFNI VODNI SUSTAV	<ul style="list-style-type: none"> <li>-stanje niske primarne produktivnosti organskih tvari</li> <li>-voda je siromašna hranjivim tvarima</li> <li>-rijetka pojava cvjetanja planktona</li> <li>-visoka koncentracija otopljenog kisika</li> <li>-zatvoren hranibeni lanac</li> </ul>
MEZOTROFNI VODNI SUSTAV	<ul style="list-style-type: none"> <li>-bogati sa otopljenim lužnatim spojevima</li> <li>-veliki udio hranjivih tvari</li> <li>-povećani broj bakterija, modrozelenih algi</li> </ul>
EUTROFNI VODNI SUSTAV	<ul style="list-style-type: none"> <li>-porast fitoplanktonske mase</li> <li>-najzastupljeniji razlagači</li> <li>-jako onečišćena mutna voda</li> <li>-nema otopljenog kisika</li> <li>- narušena ekološka ravnoteža</li> <li>-vrlo štetne posljedice</li> </ul>

Tablica (II) predstavlja oligotrofni vodni sustav,mezotrofni vodni sustav i eutrofni vodni sustav.<sup>23</sup>

Prema stupnju biološke razgradljivosti razlikuju se :

- svježe otpadne vode
- odstajale vode
- trule vode

Dok svježe otpadne vode imaju smeđo-sivu boju, ostajale otpadne vode su tamnijih boja te neugodnijih mirisa. Trule odnosno septičke vode u kanalizacijskom sustavu izazivaju koroziju betona što dovodi do oštećenja kanalizacijskih objekata. Ova vrsta voda odvija se na anaerobnom razgradnjom gdje nastaje ugljikov dioksid i sumporovodik koji oksidira u sumporovu kiselinu.<sup>24</sup>

Najčešći način ispusta septičkih voda je direktni ispust u kanalizaciju. Ovaj način nije moguć jer su lokalni kanalizacijski sustavi manjeg kapaciteta . Primjerice tijekom ljeta ispuštanje otpadnih voda je manje , dok tijekom zimskih mjeseci je veće pa ispust u kanalizacijsku mrežu zahtjeva i kolektore većeg profila. To je razlog radi kojeg se tijekom godine potrebno prvenstveno smanjiti koncentraciju organskih tvari. Kako bi došlo do dugoročnog rješenja, najčešće se koriste lagune. Lagune su mjesta na kojima se odvija pročišćenje otpadnih voda ali u prirodnim uvjetima. Odnosno lagune su vodonepropusni zemljani bazeni . Prilikom izgradnje potrebno je pripremiti tlo kako bi bilo nepropusno te kako procjedne vode ne bi ugrozile kvalitetu podzemnih voda. Lagune su ekonomične jer zahtjevaju male pogonske troškove , lako rukovođenje te uspješko uklanjanje patogenih organizama . Isto tako, lagune se ne uklapaju u estetiku okoliša, zahtjevaju veći prostor kao i pojavu neugodnih mirisa stoga se ne grade blizu naseljenih mjesta.<sup>25</sup>

## 4. TVRDOĆA VODE

Tvrdoća vode je sadržaj otopljenih soli u vodi tj. stupanj onečišćenja vode otopljenim solima. „Soli tvrdoće “ su otopljene kalijeve i magnezijeve soli jer njihovim isparavanjem vode u koltu nastaje kamenac ili tvrdi kamen kotlovac koji uzrokuje niz poteškoća . Budući da je kamenac izolator ( najčešće nastao na izmjenjivaču topline ili bojleru ) , on može smanjiti učinkovitost rada učinkovitost i do 11 %.<sup>26</sup>

Također, naslage kamenca dovode do smanjenja protoka vode, gubitka učinkovitosti te kvara pojedinih djelova. Ukoliko dolazi do porasta temperature, topljivost soli u vodi pada dok topljivost soli raste porastom temperature.<sup>26</sup>

„Njemački stupanj tvrdoće “ je jedinica za tvrdoću vode . Voda koja ima volume 1 m<sup>3</sup> te sadrži 10 g CaO odgovara jednom njemačkom stupanju. Svim ostalim solima koje su prisutne u vodi, preračunava se koncentracija u ekvivalentnu količinu CaO.

Tvrdoća vode ima podjelu s obzirom na otopljene soli :

- karbonatna tvrdoća (KT)
- nekarbonatna tvrdoća (NT)
- ukupna tvrdoća (UT)
- bazna tvrdoća (BT)
- anionska tvrdoća (AT)
- tvrdoća koja pripada slobodnom  $CO_2$  (  $TCO_2$  slob.)
- anioni silikatne kiseline (ST)

Ukupna tvrdoća vode je zbroj svih kalcijevih i magnezijevih soli u vodi ( vezanih za ugljičnu kiselinu te sumpornu, klorovodičnu, dušičnu i silikatnu kiselinu). Ukupna karbonatna tvrdoća vode je zbroj kalcijevih i magnezijevih hidrogenkarbonata i

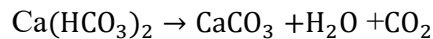
karbonata. Dok nekarbonatna tvrdoća voda su ostale kalcijeve i magnezijeve soli odnosno sulfati, nitrati i silikati.

Budući da je ukupna tvrdoća vode zbroj karbonatne tvrdoće vode i nekarbonatne tvrdoće vode, nekarbonatna tvrdoća vode izračunava se prema izrazu :

$$NT=UT-KT$$

( Pri čemu je : *NT* nekarbonatna tvrdoća vode [°nj], *UK* ukupna tvrdoća vode [°nj], *KT* označava karbonatnu tvrdoću vode [°nj] )

Prolazna tvrdoća vode sadržava kalcijeve i magnezijeve hidrogenkarbonate . Ona kuhanjem vode ( pri 100°C) prelaze u teško topljive karbonatnu i ugljičnu kiselinu.



Stalnu tvrdoću vode sačinjavaju kalcijeve i magnezijeve soli koje nakon zagrijavanja ostaju neotopljene u vodi.

Ugljična kiselina u vodi može biti slobodnog i vezanog oblika. Dok vezana ugljična kiselina sastoji se od hidrogenkarbonata tek mali njezin dio potpuno je vezan u teško topljivom kalcijevom karbinatu i magnezijevom karbonatu. Dio slobodne ugljične kiseline su hidrogenkarbonati u topljivom obliku dok preostali dio je višak slobodne ugljične kiseline koji ima korozivna svojstva.

Sadržaj slobodne ugljične kiseline uvodi računa se prema :

$$(CO_2)_{slob./22^\circ C} = \frac{UT*(KT)^2}{66}$$

( Pri čemu je :  $(CO_2)_{slob./22^\circ C}$ -slobodna ugljična kiselina ,

$UT$ -ukupna tvrdoća sirove vode ,

$KT$ -karbonatna tvrdoća sirove vode ,

66- ukupna ugljična kiselina u vodi za vrijeme ravnotežnog stanja pri  $t=22^\circ C$ )



## 5. VAŽNOST VODE U TEHNOLOŠKOM POSTROJENJU

Budući da se topljivost tvari mijenja dodavanjem različitih ionskih vrsta u vodu, topljivost plina u kapljevine izravno je razmjerna tlaku tog plina iznad kapljevine. Danas, industrijske tehnološke vode stvaraju velike izazove u tehnološkim odnosno energetskim pogonima prilikom zadovoljavanja propisa kod određivanja sastava i kvakoće vode. Vođenje kontrole u proizvodnji te upotreba kotlovne vode u parno-energetskim postrojenjima postavljaju brojne zahtjeve. Budući da prirodna voda sadrži niz otopljenih soli, mineralnih i organskih kiselina te netopljivih soli, ona se ne može bez predhodnog pročišćavanja koristiti. U postrojenju, potrebna je bistra i bezbojna voda koja ne sadrži soli kalcija i magnezija te ne uzrokuje pojavu "kamena kotlovca"

Napojna voda treba zadovoljavati sljedeće zahtjeve<sup>26</sup> :

- Ne smije sadržavati tvari koje potiču korozijsko djelovanje ( kiseline, slobodni kisik, masti, ulja...)
- Ne smije sadržavati otopljene soli koje stvaraju kamen kotlovac ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgSiO}_3$  )
- Ne smije sadržavati soli koje ometaju mirno ključanje vode u kotlu ( organske tvari kao što su natrijeva lužina i trinatrijev fosfat u većim koncentracijama od dozvoljenih . U suprotnom unastaje " pjenjenje " kotlovske vode a u kotlu stvara se nečista para sa štetnim i opasnim posljedicama.

## 6. STUPNJEVI PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

Budući da se u otpadnim vodama nalaze brojne štetne i toksične tvari organskog i anorganskog podrijetla, upravo njezino onečišćenje veliki je problem za prijamnike otpadnih voda. Kvaliteta otpadnih industrijskih voda odnosno maksimalna dozvoljena količina opasnih i toksičnih komponenta regulirana je zakonskim propisima. Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda propisuje kriterije kao i uvjete prikupljanja, pročišćavanja i ispuštanja otpadnih voda. Također, propisuje granične vrijednosti otpadnih voda prije ispuštanja u odvodnju te metodologiju uzrokovanja i ispitivanja kao i načine vođenja ispuštenih otpadnih voda.<sup>27</sup>

Kako bi se smanjili neželjeni spojevi u otpadnim vodama, provode se fizički kemijski i biološki procesi pročišćavanja otpadnih voda. Otpadne vode koriste se za brojne svrhe a ovisno o određenoj svrsi potrebno ih je dodatno pročistiti.<sup>28</sup>

U predhodni stupanj pročišćavanja otpadnih voda ubraja se<sup>28</sup> :

- rešetanje
- usitnjavanje
- ujednačavanje
- uklanjanje pijeska i masnoće
- flotacija

Proces rešetanja prvenstveno podrazumjeva uklanjanje krupnih tvari kao što su lišće, staklo, komadi drveta iz otpadnih voda. Ovaj proces odvija se kako bi zaštitio cijevi i druge uređaje pročišćavnaja. Rešetanje se, kako sam naziv naglašava, odvija na rešetkama različitih konstrukcija. Najčešća podjela rešetki, obzirom na konstrukciju rešetki su ravne i lučne rešetke.

Dok rešetke obzirom na slobodni otvor rešetke dijele se na : grube, srenje i fine. Upravo fine rešetke mogu zaustaviti i lebdeće tvari ,a njezin učinak smanjuje BPK za 5-20 %, smanjuje bakterije za 10-20 % te smanjuje KPK za 5 -10 %. Ukoliko se koriste makrosita napravljena od nehrđajućeg čelika ( sa otvorom do 3 mm), sadržaj lebdećih tvari može se smanjiti i do 35%.<sup>29</sup>

Proces usitnjavanja omogućava mehaničku pretvorbu čvrstih tvari u menje čestice radi daljnje obrade. Oavj proces koristiti se u farmaceutski, prehrambenim, kemijskim industrijama te omogućava povećanje površinu materijala radi daljne obrade.

Parametri o kojima proces usitnjavanja ovisi :

- brzina usitnjavanja
- mehanizam uređaja
- tlak
- vrijeme usitnjavanja
- odnos veličine čestitca

Upravo različite vrste uređaja omogućavaju različite rezultate usitnjavanja. Svakako ovisе o mehanizmu i principu rada kao i preciznom odnosu većina čestice kako bi na kraju procesa došlo do što homogeniziranijeg materijala. Postoje brojne vrste usitnjavanja, a najpoznatije su : mehaničko usitnjavanje ( koriste se mlinovi, rezalice ), kemijsko usitnjavanje (oslobodađanje veze unutar materijala) , ultrazvučno usitnjavanje ( najčešće korišteno kod osjetljivih materijala ) te visokotlačno usitnjavanje ( kod pripreme finih prašaka i emulzije ).<sup>30</sup>

Proces ujednačavanja odnosno egalizacija omogućava izjednačavanje toka i koncentracije zagađanja. Kada je riječ o povećanoj koncentraciji otpadnih tvari, pojedini dijelovi uređaja postaju preopterećeni. Kako bi se izbjegao slabiji učinak pročišćenja uvodi se spremnik ( najčešće bazen ) za ujednačavanje. U egalizacijskom bazenu ispuštaju se različite otpadne vode ( muljne vode, strojne dehidracije muulja ) te se mora provesti proces mješanja.

Na dnu bazena nalazi se tlačna aeracija koja omogućava provođenje anaerobnih procesa. Voda se pomoću crpki i pripadajućeg tlačnog cjevovoda tlači u središnji cilindar biološkog bloka.<sup>31</sup>

Proces uklanjanja pjeska i masnoće kao i šljunka odvija se pomoću sedimentacije. Budući da suspendirne tvari kao što su masti i ulja imaju manju gustoću od vode, one se uklanjaju u flotatorima. Mjehurići zraka spremnika urokuju njihovo prijanje uz čestice prikupljaju se na površini kako bi sliznuli po površini uređaja.<sup>32</sup>

Pjeskolov omogućava smirivanje toka vode kako bi se proveo proces taloženja pijeska dok ostale organske tvari ostaju u otpadnoj vodi. Komorni pjeskolov omogućava odvajanje pijeska te oscilaciju u dotoku dok sama količina pijeska ovisi o sistemu kanalizacije. Mješoviti sistem kanalizacije sadrži veću količinu pijeska a odvojeni sistem kanalizacije malu količinu pijeska i šljunka. Nakon automatiziranih sita, otpadna voda u pjeskolovu te mastolovu odvajaju masnoću pomoću aeracije a pijesak taloženjem. Dok se izdvojeni pijesak pomoću crpke za pijesak odvodi u klasirer pijeska te ispiru, masti se odvajaju uspremniku masti na dnu pjeskolova.<sup>33</sup>

Flotacija, odnosno isplivavanje, temeljni je tehnološki proces koji na temelji na razlici površinskih sirovina i djelovanju privlačnih sila. Kohezijske sile su privlačne sile i one djeluju između molekula vode. Njihovo djelovanje je veće i od privlačnih sila između molekula vode i minerala odnosno adhezijskih sila. Površina minerala je hidrofobna a njihove čestice su hidrofilne. Ukoliko se pomješa sirovina sa vodom te se uvede zrak, stvara se pjena hidrofobne čestice. Ta pjena se nakuplja te ispliva sa mineralnim česticama.<sup>34</sup>

Ovaj proces provodi se u flotacijskim ćelijama uz intenzivno mješanje. Kolektor povećava fleksibilnost čestice. Dok se prirodno isplivavanje ostvaruje se kada je gustoća čestice manja od gustoće tekućine, prisilno isplinjavanje odvija se pomoću raspršenog plina.<sup>34,5</sup>

Flotacija ovisi o<sup>29</sup> :

- Vremenu zadržavanja vode u spremniku
- Gustoći čestice
- Veličini i masenom protoku čestice
- Brzini proticanja
- Temperaturi vode

## 6.1.PRVI STUPANJ PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

Prvi stupanj pročišćavanja otpadnih industrijskih voda fizikalnim i/ ili kemijskim postupkom obuhvaća taloženje suspendiranih tvari te smanjenje BPK<sub>5</sub> ulaznih voda za najmanje 20 % te ukupnih suspendiranih tvari ulaznih voda za najmanje 50 %.

Glavni elementi prvog stupnja pročišćavanja su : dovodni kanal, crpna stanica, aerirani pjeskolov-mastolov i primarni taložnik. Elementi prvog stupnja moraju zadovoljavati uvjete određene Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).<sup>34</sup>

Pomoću dovodnog kanala otpadna voda ulazi iz sustava odvodnje. On je najčešće napravljen od armiranog betona, pravokutnog poprečnog presjeka a kanali se pogu povezati u skupinu hidrauličkih objekata . Crpna staniza ima svrhu omogućiti mehanički predtretman otpadne vode kroz grube i fine rešetke. Postoje brojne vrste crpnih stanica kao što su pužne i centrifugalne ,a razlikuju se ovisno o izvedbi ( mokra i suha izvedba )<sup>35</sup>

Otpadna voda dolazi do uređaja za pročišćavanje gdje dolazi do ostranjivanja većeg krutnog otpada. Dok se pjesak i zemlja skupljaju u aeriranom pjeskoslovu-mastolovu, pijesak se zbrinjava na gradskom odlagalištu otpada ase masti ispušta u crpište primarnog mulja. Nakon što se voda mehanički pročisila, ona se ispušta u poseban armirano- betonski bazen. U tom bazenu vrši se egalizacija odnosno ujednačavanje opterećenja i

retencioniranja vršnih dotoka. Također, u bazenu se upuštaju i muljne vode kao i strojne dehidracije mulja. Egalizacijski bazen na dnu ima tlačnu aeraciju koja omogućava miješanje otpadnih voda kako bi se spriječio te prekinuo anaerobni proces.<sup>31</sup>

Na kraju, otpadna voda dovodi se do taloženika gdje dolazi do uklanjanja primarnog mulja. Na dnu taloženika prikuplja se istaloženi mulj koji se zatim zgušnjava i izdvaja kako bi se odveo na daljnu obradu. U prvom stupnju pročišćavanja otpadnih voda najčešće se koriste pravokutni i okrugli taloženici. Izbor taloženika ovisi o izboru pjeskolova-mastolova kao i o zahtjevima operativnih linija te troškovima izgradnje. Mulj sadrži slobodnu i vezanu vodu. Slobodna voda se uklanja taloženjem a vezana voda se odvaja cjeđenjem pod tlakom. Upravo taložljivost mulja ovisi o načinu vezanju vode u mulju te o odvajanju mulja pod utjecajem sile teže ili mehaničkog mješanja. Prihvatljiv način zbrinjavanja mulja, važno je ekološko pitanje. Budući da mulj siromašan fosfatom i kalijem te bogat mikroelementima, on se koristi u poljodjelstvu kako bi došlo do gospodarske dobiti. Hranjivi sastojci koji se nalaze u sirovom mulju omogućavaju daljnje korištenje mulja. Također, sirovi mulj je potrebno prvenstveno kompostirati zatim sušiti, mljeti te pakirati. Otpadna voda koja sadrži mulj koristi se najčešće za napajanje. Ukoliko ne dolazi do iskorištavanja mulja, potrebno je voditi računa o njegovom pravilnom zbrinjavanju kao opasnom otpadu.<sup>24</sup>

## 6.2.POTPOMOĢNUTNO TALOŢENJE

Potpomognuto taloŢenje omogućava uklanjanje netaloŢivih tvari odnosno koloidnih ćestica. Koloidne ćestice su ćestice dimenzija od  $10^{-9}$  do  $10^{-6}$  a njihovo potpomognuto taloŢenje odvija se uz dodatak kemijskih sredstava pomoću procesa koagulacije te flokulacije. Fizikalno -kemijski procesi koagulacija i flokulacija omogućavaju koloidno dispergiranim ćesticama, destabilizaciju te aglomeraciju u veće ćestice koje se brŹe i lakše filtriraju.<sup>5</sup>

Mjera stabilnosti koloidnih ćestica je zeta potencijal. Ţto je zeta potencijal veći to je ujedno veća sila odbijanja stoga je koloid stabilniji . Koagulacija je process kojim se destabiliziraju koloidne ćestice. Njezina svrha je smanjenje zeta potencijala , a postiŹe se dodatkom elektrolita kako bi došlo do smanjenja velićine elektrićnog dvosloja odnosno kako bi došlo do destabilizacije koloidnih ćestica . Ukoliko dolazi do udruŹavanja koloidnih ćestica u veće nakupine tj. agregate omogućava se brŹa sedimentacija. Svrha kemijske koagulacije je nastajanje dvofaznog sustava. Kako bi došlo do destabilizacije koloida, dodaju se tvari neelektriziranog naboja. Mehanizmi destabilizacije su :kompresija dvosloja, neutralizacija naboja adsorpcijom, premošćivanje i stvaranje taloga. Koagulati su sredstva koja se dodaju za kemijsku koagulaciju odnosno elektroliti i polielektroliti ĉiji naboj omogućava taloŢenje koloida. Tako je primjerice  $Al_2(SO_4)_3$  ĉak 30 puta ućikoviti u odnosu na  $AlCl_3$ . Neki od najpoznatijih koagulata su Źeljezov (III) klorid i Źeljezov (III) sulfat.<sup>36</sup>

Drugi tip destabilizacije sustava je flokulacija. Flokulacija je proces stvaranja flokula preko apsorbiranih makromolekula flokulanata.<sup>37</sup>

Ovaj proces omogućava oblikovanja velikih flokula u destabiliziranom sustavu. Budući da povećanje gradijenta brzine u masi vode dovodi do odstupanja koloidnih ćestica sa već nastalim talogom, takvi agregati lako se mogu ukloniti sedimentacijom. Primjena organskih i anorganskih flokulanata ( polimera i mineralnih soli polivalentnih kationa ) narušava se stabilnost sustava Źto dovodi do nastanka flokula te taloŢenja.

Važno je naglasiti da su oba procesa ( flokulacija i koagulacija ) vrlo zastupljena u obradi otpadne industrijske vode ali i obradi pitke vode.<sup>38</sup>

Najčešća sredstva koja se koriste za process koagulacije i flokulacije su<sup>5</sup> :

- anionske soli sa viševalentnim kationima
- sinteski organski polimeri
- prirodna sredstva

Koagulacija i flokulacija provede se u akcleratoru. Akcelerator je uređaj koji ubrzava nabijene čestice do velikih brzina. Dok su se nekoć koristili linearni akceleratori ( većih dimenzija), danas se najčešće koriste kružni akceleratori ( zbog manjeg gubitka energije ). Akceleratori ubrzavaju čestice što dovodi do razlike potencijala kako bi nabijene čestice se kretale u smjeru suprotnom naboju (najčeće elektroni prema prema potencijalu ) te povećale energiju. Kod kružnih akceleratora , koji se najčeće koriste u procesima obrade otpadnih voda, prednost je daleko veća energija u odnosu na linerane akceleratora.<sup>39</sup>



### 6.3. DRUGI STUPANJ PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

Drugi stupanj pročišćavanja otpadnih voda obuhvaća biološku obradu voda sa sekundarnim taloženjem.<sup>40</sup>

Ovaj stupanj pročišćavanja otpadnih voda smanjuje suspedirane tvari za najmanje 90% prije ispuštanja te BPK<sub>5</sub> za 70% dok KPK za 75%.<sup>35</sup>

Uređaj za biološku obradu vode obuhvaća bioeracijski bazen i sekundarni taložnik. Nakon što je otpadna voda obrađena u primarnom stupnju pročišćavanja, mehaničkom i fizikalno-kemijskom obradom u primarnom taložniku, ona sadrži veću koncentraciju biorazgradljivih organskih tvari. Upravo mikroorganizmi vrše biološku razgradnju organskih tvari odnosno koriste otpad kao izvor hrane. U bioeracijskom bazenu, vrši se postupak biološkog čišćenja otpadnih voda pomoću aerobnih i anaerobnih bakterija. Bakterije koriste kemijsko i biološko zagađenje iz vode za svoj metabolizam kako bi se pročistila otpadna voda. Ovaj prirodni proces, odvija se i u prirodi, gdje se visoka koncentracija bioaktivnog mulja mješa sa otpadnom vodom djelovanjem elektromjeha. Nakon što se otpadna voda pročisti u bioeracijskom bazenu, smjesa vode i mulja odlazi u taložnik na bistrenje. U sekundarnom taložniku, očišćena voda gravitacijski odlazi u recipijent dok biaktivni mulj se taloži na dnu. Nakon što se istaloži mulj na dnu, pomoću crpka vraća se u bioeracijski bazen gdje se mješa sa otpadnom vodom.<sup>31</sup>

S obzirom na količinu otopljenog kisika, biološka obrada otpadne vode je :

- aerobna
- anarobna

Anaerobnu biološku obradu otpadnih voda provide anaerobni mikroorganizmi pomoću anaerobne razgradnje bez prisustva kisika. Ova vrsta bakterija ima nižu stopu rasta u odnosu na aerobne mikroorganizme. Glavni stupnjevi ove vrste obrade su : hidroliza, acidogeneza i metanogeneza. Zahvaljući viskom udjelu organskog opterećenja otpadnih voda, anaerobna obrada prihvatljivo je rješenje naspram ostalih bioloških metoda. Dok

su anaerobne legune najjednostavniji anaerobni postupak , neugodni miris i velika površina razlog su ograničene upotrebe. S druge strane, anaerobni reaktori imaju visoku učinkovitost . UASB reaktor vrši mobilizaciju mikroorganizma čime se smanjuje gubitak biomase no povećava bakterijska aktivnost. Također, ova vrsta reaktora omogućava višu toleranciju mikroorganizama na toksične tvari te naglu promjenu organskog opterećenja.<sup>41</sup>

S druge strane, kod aerobne obrade otpadne vode , aerobni organizmi združeni su u mikrobnu zajednicu nazvanu aktivnim muljem. Aktivni mulj koristi otopljene organske sastojke iz vode uz kisik . Mikroorganizmi spojeni s ugljikom služe kao izvor energije dok sa dušikom i fosfatom kao izvor hrane. Aktivni mulj zapravo predstavlja zajednicu koja razgrađuje sastojke u vodi, a sastoji se od : algi, bakterija, kvasca, metaoze .Umnožavanje mikroorganizma u aktivnom ulju kao i sama učinkovitost procesa obrade otpadnih voda ovisi o: kvakoći otpadne vode, temeeraturi, pH vrijednosti, koncentraciji toksičnih sastojaka, biokemijskoj aktivnosti mikroorganizama te provedbi samoga procesa. Valja naglasiti da prilikom provedbe aerobne obrade otpadnih voda, nastaje velika količina aktivnog mulja. Taj mulj potrebno je zbrinuti na određeni naličin a sami cilj zbrinjavanja je smanjenje volumena radi smanjenja troškova obrade , prijevoza i negativnog utjecaja na okoliš. U skladu sa zakskom regulativom, procesi obrade mulja uključuju : kondicioniranje, zgrušavanje, odvajanje, stabilizaciju, kompistiranje te toplinsku obradu.<sup>42</sup>

Prilikom vođenja samog sustava, potrebno je odrediti minimalnu koncentraciju sastojka sa ugljikom, dušikom i fosforom kako bi se omogućio rast i razmnožavanje mikroorganima. Potrebno je zadovoljiti omjer  $C:N:P = 100:5:1$

Mikroorganizmi aktivnog mulja mogu biti : raspršeni u vodenom okolišu u obliku pahuljica ili se nalaziti na nosaču kao slojite biomase. Važno je naglasiti da niti mikroorganizmi raspšeni u vodenom okolišu ili oni koji se nalaze na nosaču nemaju ujednačen raspored vrsta mikroorganizma. Oni koji se nalaze na površini sloja sastoje se od više kisika namjenjenih za razgranju sastojka dok mikroorganizmi koji se nalaze središnjem sloju te površinsom sloju potrebno je manje kisika.<sup>42</sup>

Aerobna obrada otpadnih voda nije ekonomski isplativa jer zahtjeva daljnu obradu otpadnih voda, veliku potrošnju energije te nastanak velike količine mulja koji zahtjeva odlaganje. No, prilikom aerobnih procesa najčešće se koriste umjetne legune koje primjenjuju za obradu destiliranih otpadnih voda. U laguni provodi se proces pročišćavanja otpadnih voda pomoću močvarnih biljaka koje apsorbiraju organske tvari iz vode. Neke od prednosti ovog procesa su : niska cijena, niski troškovi održavanja te laka prilagodba promjene sastojka ulaznog efluenta. Najveći nedostatak ovog procesa je predobrada efluenta radi toksičnih komponenata.<sup>42</sup>

Velika prednost anaerobnog procesa bioloških postupaka je veliko smanjenje vrijednosti organskih pokazatelja ( što je vidljivo iz biološke potrošnje kisika te kemijske potrošnje kisika ), smanjeni troškovi obrade te energetska iskoristljivost nusprodukata obrade . To je ujedino i razlog najčešće primjene različitih anaerobnih procesa prilikom biološke obrade otpadnih voda.<sup>41,5</sup>

**Aktivni mulj** odnosno biološki mulj je prirodna mješovita zajednica mikroorganizma koja se nalazi u otpadnoj vodi. On se sastoji od nerazgradljive organske tvari i anorganskih tvari. Aktivni mulj se sastoji od bakterija ( oko 95%) te protozoa. Na površini aktivnog mulja nalaze se mikroorganizmi kojima je potrebno više kisika dok na dubljim slojevima se nalaze mikroorganizmi koji zahtjevaju manje kisika. Bakterije dominiraju u aktivnom mulju. Dok heterotrofne bakterije koriste organske zvari za rast i razvoj, autotrofne bakterije iz otpadnih voda oslobađaju energiju. Čak 5% biomase aktivnog mulja čini protoza. Protoza se najzastupljenija trepetljikašima i bičšašima koji su ujedino indikatori kisika u mulju. Budući da su osjetljivi na toksične tvari , prvi znak povećanja toksičnosti je smanjenje kretanje trepetljikaša. Ukoliko je povećan broj bičšaš vidljiva je velika prisutljivost organskih čestica dok velik broj pričvršćenih trepetljikaša predstavlja stabilne uvijete u aktivnom mulju.<sup>43</sup>

Također, u biološke procese otpadnih voda uključuje se :

- biooksidacija
- nitrifikacija
- denitrifikacija
- postupci uklanjanja fosfata
- anarobna obrada nastalog mulja

U aktivnom mulja nalazi se suha tvar koja se sastoji od kompleksa minerala i organskih tvari. Mineralni dio zastupljen je 10-30 % a sastoji se od fosfora i kalcija dok organski dio najčešće čine proteini . Prisustvo nitastih bakterija utječe na pahuljice aktivnog milja kao i o sposobnosti taloženja . Upravo pahuljice predstavljaju najvažniji element u procesu obrade otpadnih voda, odnosno o kvavkoći otpadne vode, koncentraciji otopljenog kisika kao i o hidrodinamičkim uvjetima sustava.<sup>45</sup>

Fizikalno- kemijski čimbenici koji utječu na organizme u aktivnom mulju su :

- pH vrijednost
- temperatura
- toksične tvari
- protok vode
- kemijska potrošnja kisika

Dok se svi biokemijski procesi brže odvijaju pri višim temperaturama ,pri povećanju od 10 °C dolazi do udvostrčenja brzine razgradnje. Tako se ljeti odvija brža razgradnja aktivnog mulja u odnosu na zimu. Optimalna temperatura je od 25 do 35 °C. Uz temperature, pH ima veliki utjecaj na organizme. Dok pH 4.5 neće imati štetan utjecaj na organizme pri temperature od 30 °C na temperature od 15 °C ista pH vrijednost ima štetan učinak na organzme. Ksenobiotici su spojevi koji sadrže toksične tvari poput arsena, bakra, kroma ,fenola, cijanida te se nalaze u otpadnoj vodi. Oni se nagomilavaju u stanicama biomase mulja te uzrokuju toksičnost organizma, Akutna toksičnost vidljiva je

vidljiva nakon kratkog vremena a prepoznaje se po intezivnom pjenjenju u reaktoru za pročišćavanje otpadne vode. Također, kronično trovanje urokuje gubitak aktivnosti organizma a vidljivo je po nagomilavanju teških metala .<sup>43</sup>

Važno je naglasiti da ukoliko je pH vrijednost niža od 5, u aktivnom mulju nalazi se gljivice i kvasci. Kvasci ukazuju na smanjen efekt pročišćavanja te bubrenje samog mulja.<sup>45,5</sup>

Nepoželjna svojstva aktivnog mulja su : naknadno taloženje, nagomilavanje odnosno povećanje mase te pjenjenje.

## 6.4..TREĆI STUPANJ PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

Tercijalni stupanj pročišćavanja otpadnih voda provodi se nakon primarnog i sekundarnog stupnja. Najčešće ovaj stupanj pročišćavanja provodi se kada se u otpadnoj vodi nalaze pesticide, ioni teških metala, deterženti te radioaktivne tvari. Kako bi se postigla zadovoljavajuća kvaliteta vode prije ispusta , najčešće dolazi do kombinacije postupaka.<sup>46</sup>

Ovaj stupanj pročišćavanja provodi se kako bi se uklonile hranjive soli iz vode ( fosfor i dušik ) uz zadovoljavanje graničnih vrijednosti iz Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 153/09, 63/11, 130/11 i 56/13. Tercijalni stupanj pročišćavanja otpadnih voda provodi se kako bi se zadovoljio cilj zaštite vode ten a što jednostavniji i ekonomski isplativiji način pročistila voda za daljnu upotrebu.<sup>35</sup>

U trećem stupnju obrade otpadnih industrijskih voda provode se: fizikalni, fizikalno -kemijski i biološki postupci.

FIZIKALNI POSTUPCI	FIZIKALNO-KEMIJSKI POSTUPCI	BIOLOŠKI POSTUPCI
filtriranje	neutralizacija	uklanjanje dušika i fosfora
adsorpcija	oksidacija i redukcija	
membranski procesi	kemijsko taloženje	
	ionska izmjena	
	dezinfekcija	

Tablica (III) predstavlja fizikalne ,fizikalno-kemijske i biološke postupke pročišćavanja otpadnih voda<sup>5</sup>

Kao što je već navedeno, različiti postupci pročišćavanja provode se u različitim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda, a njihov zadatak je uklanjanje : suspendirane tvari ( odnosno čestice koje mogu začepiti kanale ), biorazgradljive organske tvari , patogene bakterije ( koje su uzročnici različitih bolesti ) te hranjive tvari tj. spojeve nitrata i fosfata kako nebi došlo do eutrofikacije odnosno visoke koncentracije neželjenih algi.<sup>42</sup>

Dodatno pročišćavanje otpadnih voda , primjenjuje se radi hranjivih soli tj. dušika i fosfora te pojave eutrofikacije. Iako nakon tercijalnog stupnja pročišćavanja kao i sustava za dezinfekciju otpadne vode nije uvijek moguće postići da otpadna voda bude zdravstveno ispravna, ipak je ukupni broj mikroorganizama smanjen za 90-98%.<sup>47</sup>

U fizikalne procese tercijalnog stupnja pročišćavanja otpadnih voda ubraja se : filtracija, adsorpcija i membranski procesi.Svrha ovih procesa je uklanjanje mirisa, boje, mutnoće te otopljenih soli iz otpadnih voda.

Filtracija je proces odvajanja disperzne faze od disperznog sredstva primjenom višeslojnog porozivnog medija. Ova mehanička operacija razdvajanja suspenzije pomoću pregrade, odnosno filtracijskog sredstva, propušta samo filtrat. Prilikom obrade otpadnih voda, koriste se brojni tlačni membranski postupci primjenom pokretačke sile razlike tlakova. Njihov zadatak je odvajanje retentate i permeate. Osnovna podjela upotrebljenih membrana ovisi o veličini pora i tlaka koji je nužan kako bi došlo do separacije. Najčešća podjela membranskih procesa je: mikrofiltracija, ultrafiltracija, nanofiltracija i reverzna osmoza. Dok se mikrofiltracija koristi za uklanjanje suspendiranih čestica, reverzna osmoza se koristi za uklanjanje organskih spojeva te iona. Ultrafiltracija se primjenjuje za koncentriranje makromolekularne otopine kod kojih je potrebno zadržati velike molekule dok manje molekule prolaze kroz pore membrane. Ovi postupci se ne koriste samo u obradi otpadnih voda, već i u metalurgiji, tekstilnoj industriji, farmaceutskoj industriji...<sup>48,49</sup>

Nanofiltracija i reverzna osmoza koriste se prilikom separacije niskomolekularnih tvari kao što su anorganske soli ili molekule šećera, glukoze i saharoze. Njihova razlika je veličina pore odnosno membrana te veličina otopljenih tvari koje je potrebno odvojiti.<sup>50</sup>

Prilikom procesa filtracije, mogu se odvojiti čvrste suspendirane čestice vrlo brzo, a udio filtracijskog kolača je manji od 5%. Također, odvajaju se sitne čestice male gustoće a filtracijski aparat zauzima malo prostora.<sup>51</sup>

Postoji 4 mehanizma membranskog blokiranja kao što su: potpuno blokiranje pora, unutarnje blokiranje pora, djelomično blokiranje pora i filtracijski kolač. Dok kod potpunog blokiranja pora, membrana u potpunosti blokira čestice, kod djelomičnog blokiranja čestica pora zatvara česticu nakon nekog vremena. Prilikom filtracije kolačem, sloj onečišćenja formira kolač te se čestice zadržavaju na površini u više slojeva.<sup>49,50</sup>

Filtracija kolačem provodi se pod hidrostatskim, sniženim ili povišenim tlakom. Dok filtracija pod hidrostatskim tlakom uporebljuje stacionarni odnosno gravitacijski filter, filtracija pod sniženim tlakom koristi uređaje sa podtlakom ispod filtracijske pregrade

poput vakuumske nuče a filtracija pod povišenim tlakom koristi zatvoreni filter kao što su cjevni filtera.

Adsorpcija također ima veliku primjenu u obradi industrijskih otpadnih voda, posebice prilikom uklanjanja teških metala, otrova, bojila i mirisa. Ova metoda odvija se između čestica krute faze u plinu ili otopini. Tijekom procesa odvajanja čestice iz plinovite faze ili otopine vežu se za površinu čvrste tvari. Adsorbat je naziv za čvrste čestice plinovite faze ili otopljene čestice u otopini, dok adsorbent je čvrsta faza na koju se čestice vežu. Također, ovaj fizikalno- kemijski proces može se odvijati na granicama faza kao što su granica krutina-plin i krutina-kapljevina. Osnovna podjela adsorpcije s obzirom na privlačne sile je: kemijska, ionska i fizikalna adsorpcija. Fizikalna adsorpcija je reverzibilna, odvija se pri niskim temperaturama te ne zahtjeva energiju aktivacije. Također, kod nje se adsorbat veže na površinu čvrstog adsorbensa dok vladaju slabe van der Waalove sile. Kemijska adsorpcija je ireverzibilna, odvija se pri visokim temperaturama te zahtjeva energiju aktivacije. Ionska adsorpcija ne oslobađa znatnu količinu topline dok nastaje vezivanjem ionskih veza elektrostatskog naboja.

Neki od faktora koji utječu na uspješnost adsorpcije su: površina adsorbensa, priroda adsorbensa, struktura i oblik molecule koji adsorbira, pH vrijednost te temperature okoline. Što je veća površina adsorbensa to više adsorbira tvari. Ukoliko je topljivost manja, adsorpcija je veća te polarne tvari jače adsorbiraju u polarnim otapalima. Sposobnost tvari za adsorpciju raste ukoliko dolazi do povećanja molekulske mase, veći broj funkcionalnih skupina, prisutnost halogenih elemenata...<sup>52</sup>

Kao adsorbenti najčešće se primjenjuju: aktivni ugljen, zeolit, silikagel i aktivna glina. Aktivni ugljen ima veliku specifičnu površinu, mikrokristaličnu strukturu, te visoki adsorpcijski kapacitet za prikupljanje organskih zagađivača. Zahvaljujući niskoj cijeni, najčešće se koristi praškasti aktivni ugljen dok granulirani aktivni ugljen ima sposobnost regeneracije odnosno višestrukog korištenja stoga se primjenjuje kod uklanjanja boje iz prehrambenih proizvoda te uklanjanja organskih spojeva tijekom senacije voda.<sup>52</sup>



Aktivni ugljen u prahu koristi se kod šaržnih postupaka , dok granulirani aktivni ugljen kod postupaka u kolonama.<sup>5</sup>

Membranski postupci baziraju se na primjeni polupropusnih membrana koje omogućavaju propuštanje vode i otopljenih tvari ali zadržavanje otpadnih tvari koje je potrebno ukloniti. Upravo membranske tehnologije koriste se u bioeracijskim bazenima kako bi povećali kakvoću vode<sup>47</sup>

Ovi procesi provde se djelovanjem tlaka kroz membranu koja je ujedino i barijera sustava. Dok se ultrafiltracija koristi za uklanjanje koloidnih čestica, ionska izmjena se koristi za ljudsku potrošnju vode. Jedan od najjednostavnijih načina pročišćavanja voda ujedino je ionska izmena jer svojom strukturom veže ione iz vode te istovremeno otpušta isti broj iona iz svoje strukture.<sup>46</sup>

Kao što je već naznačeno, prilikom ulaska otpadne vode te prolaskom vode kroz membranu, djelovanjem tlaka, ulazna struja se dijeli na permeat i retentate. Najčešća podjela membranskih procesa je : klasična filtracija i tangencijalna filtracija. Klasična filtracija omogućava potpuni prijelaz vode kroz membranu dok tangencionalna zadržava dio dok se dio odvaja zajednom sa filtriranom tvari. Pri klasičnoj filtraciji stvara se filtracijski kolač a začepljena membrana se tijekom vremena treba očistiti . Kod tangencionalne filtracije , samo dio vode prolazi kroz membranu. Kod ove vrste filtracije , javlja se turbulentno strujanje što smanjuje taloženje .Vrsta filtracije ovisi o : cijeni membrane i o filtracijskom mediju. Važni faktori filtracije su : faktor eparacije membrane, fluks permeate, permeabilnost membrane ....<sup>53</sup>

Reverzna osmoza , također je membranski postupak , koji se temelji na osmotskom tlaku. Ovaj proces filtriranja vode temeljen je na osmotskom talaku a omogućava odstranjivanje i najsitnijih onečišćenja u vodi. Tako se primjerice reverzna osmoza koristi za uklanjanje soli i minerala kako bi voda imala određenu kavlitetu propisanu standardima. Čak 99% nečistoća može se ukloniti ovim postupkom. Dok se pročišćena voda prikuplja , voda koja sadrži veću koncentraciju kontaminanata od dozvoljene se ispušta u odvod. Sustav

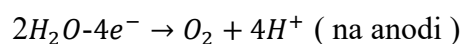
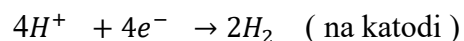
reverzne osmoze sastoji se od : filtra za odvajanje i taloženje, filtra s aktivnim ugljenom i propupropunu membranu.<sup>53</sup>

Dok je osmoza process u kojem otapalo manje koncentracije prolazi kroz polupropusnu membranu do koncentracije otopine u svrhu izjednačenja koncentracije otopljenih tvari, talk kao pokretačka sila , pokreće otapalo . S druge strane , reverzna osmoza razdvaja sve otopljene organske i anorganske tvari a temelji se na topljivosti tvari te interakciji sa membranom<sup>54</sup>

Elektrodijaliza je elektrolitički process u kojem se iz vodene ozopine uklanjanju kationi i anioni djelovanjem električnog polja i ionsektivne membrane. Dok se kation selektivna membrana je nositelj negativnog naboja, ona na sebe veže suprotni naboj odnosno pozitivno nabijene katione. S druge strane anion selektivna membrana je nositelj pozitivnog naboja i ona na sebe veže negativne nabijene anione. Kao izvor istosmjerne struje koristi se baterija ili generator.<sup>53</sup>

U odnosu na ostale membranske procese , kod elektrolize uklanjaju se otopljene tvari iz vode dok otapalo ne prolazi. Ako se uspoređi elektrodijaliza sa drugima membranskim operacijama, otapalo u membranskim procesima prolazi kroz polupropusnu membranu a suspendirane čestice se zadržavaju na membrane. Sličnost između ovih procesa je korištenje polupropusne membrane, ekonomičnost procesa, kontrola graničnih sloja membrane te problem začepjenja membrane.<sup>54</sup>

Glavni dio ovog procesa sastoji se od anionske i kationske selektivne membrane. Ioni prolaze kroz membranu djelovanjem električne struje odnosno električnog polja, a izvorna otopina se odvaja u proizvodnu vodu ( odnosno otapalo ) i diulat te elektrodnu vodu ( vodu koja prolazi direktno preko elektroda ). Djelovanjem elektrokemijske reakcije, na anodi se stvara kisik dok na katodi vodik.



Elektrode provode struju u membranskom bloku a svaki blok sadrži elektronski dio. Elektroadni dio sastoji se od para elektroda ,a na svakoj elektrodi odvija se reakcija.<sup>54</sup>

Kao što je već naznačeno , na anodi se odvija oksidacija stoga anoda je napravljena od nehrđajućeg čelika dok se na katodi odvija redukcija te je ona napravljena od tantala i slojem platine.<sup>54</sup>

Također, u kemijske procese obrade otpadnih voda ubraja se : neutralizacija, oksidacija i redukcija, kemijsko taloženje , ionska izmjena te dezinfekcija.

Kemijsko taloženje provodi se pomoću dodataka kako bih došlo do zadovoljavajuće kvakoće vode. Ovaj proces se provodi kako bi ioni teško otopljenih soli istaložili. Kemijsko taloženje se može provesti mješanjem otopina, isparavanjem otapala, promjenom pH ili promjenom temperature. Na topljivost soli utječe : ionska jakost, stvaranje topljivih kompleksa, te stvaranje soli manje topljivosti.<sup>5</sup>

Ionska izmjena je tehnološki proces koji se odvija između dviju faza , krutine i otopine elektrolina. Ovaj reverzibilni proces provodi se pomoću ionskih izmjenjivača koji predstavljaju krutine , napravljene od različitih kopolimera te umreženih u trodimenzionalnu strukturu. Ionski izmjenjivači imaju sposobnost vezivanja iona iz otopine i u isto vrijeme oslobađati istu količinu iona. Najčešća podjela ionskih izmjenjivača je : jako kiseli kationski izmjenjivači te slabo kiseli kationski izmjenjivači, slabo bazni anionski izmjenjivači i jako bazni anionski izmjenjivači. Ionski izmjenjivač sastoji se od imobiliziranih iona na koga su vezane pokretni ioni suprotnog naboja. Kada ionski izmjenjivač dođe u kontakt sa otopinom elektrolita, ioni suprotnog naboja prodiru dok se ne postigne stanje ravnoteže . U ovom procesu izmjena iona je u ekvivalentnim količinama pa je stehiometrijski broj iona koji je opušten u otopinu jednak broju nanovo vezanih iona na ionskom izmjenjivaču. Proces regeneracije omogućava ionskom izmjenjivaču smanjenje nabijenosti te izjednačavanje tlaka kako bih voda nesmetano prolazila. Također, ovaj proces se može provoditi istostrujno i protustrujno ovisno o smjeru strujanja vode. Kada koncentracija otopine za regeneraciju prije ulaza u filtra postane izjednačena sa onom na izlasku , završen je proces regeneracije. Budući da je

regeneracija vrlo skup proces ( zahtjeva veći utrošak kemikalija ), u praksi se najčešće provodi nepotpuna regeneracija.<sup>56,57,</sup>

Što se tiče tehnika dezinfekcije vode , najčešća podjela je na : dezinfekciju klorom , dezinfekcija UV zračenjem i dezinfekcija ozonom. Svrha dezinfekcije je uklanjanje patogenih mikroorganizama poput bakterija, virusa i parazita kako ne bih došlo do širenja zaraze. Postoje brojni izvori UVzračenja pri kojima se dio materijala koristi kao fotoelektrizatori . Oni apsorbiraju ultraljubičasti dio spektra a u ovom slučaju koriste se fotokatalitičke reakcije : UV-A i UV-B.<sup>57</sup>

Također, koriste se i germicidne lampe koje sadrže dostatnu energiju za uništenje DNA patogenih organizama u vodi.<sup>57,58,59</sup>

Ozon u vodi raspada se na hidroksilne radikale koji su jako oksidacijsko sredstvo. Proces kojim se uspješno uklanja loš miris, boja i anorganske tvari te dolazi do raspada organskih tvari u vodi naziva se ozonizacija. Iako ovaj proces zahtjeva visoke troškove investicije, potrošnju energije za stvaranje ozona on također sadrži mogućnost nastanka potencijalno opasnih produkata. Danas , ovaj proces se sve više istražuje te se primjenjuje oksidacija vodikovim peroksidom te njihova kombinacija sa drugim reagensima. Ovaj proces raspadom ne stvara štetne produkte već isključivo vodu i kisik. Također, kombinacija ozonizacije i vodikovog peroksida omogućava veću učinkovitost obrade otpadne vode. Tako primjerice prilikom pročišćavanja otpadnih voda iz farmaceutске industrije , ozonizacijom se uklanja 34 %KPK.<sup>60,61</sup>

Najraširenija metoda dezinfekcije otpadnih voda je kloriranje . Kloriranje ima visoku primarnu učinkovitost, a zahvaljujući niskoj cijeni uvelike je rasprostranjeno u kemijskoj industriji.

Defizekcija klorom može se obaviti neposredno prije filtriranja i nakon taloženja. Tako primjerice provođenjem ovog procesa dolazi do kontrole biološkog rasta, uklanjanja željeza i mangana, uklanjanja okusa i mirisa... No, kloriranje se ipak provodi kao zadnji korak dezifekcije otpadnih voda. Kod predkloriranja klor se dodaje u vodu već kada voda uđe u postrojenje pročišćavanja. Također, dodavanjem klora u miješalicu prilikom procesa mješanja dolazi do jednolikog dispergiranja klora. Kloru treba dosta vremena za deaktivaciju svih prisutnih mikroorganizama stoga što je klor duže u kontaktu sa mikroorganizmima to je postupak učinkovitiji. Ukoliko je veća koncentracija klora, postupak je isto tako učinkovitiji. Važno je naglasiti da ukoliko klor dođe u kontakt sa očima, nosnom šupljinom i dišnim sustavom u većoj koncentraciji od dozvoljene, najčešće se javljaju zdravstveni problemi. Ukoliko je čovjek dugo izložen kloriranoj vodi, postoji mogućnost povećanog rizika raka mokraćnog mjehura i debelog crijeva. Stoga, s klorom treba pažljivo rukovati a koncentracija ne smije prelaziti više od 1000ppm. Također, plinoviti klor jedan je od najskupljih oblika klora koji se koristi za pročišćavanje vode.<sup>62</sup>

Kao negativne posljedice kontakta klora i čovjeka, vidljivo je crvenilo, osip, nadražaj kože. Ipak, važno je naglasiti da puno opasnije odmah ne vidljive posljedice koje se događaju u našem organizmu nakon udisanja klora iz voda. Tako su primjerice brojna novija istraživanja povezana sa izloženosti djece u bazenu te njihovoj povezaosti sa astmom. Danas kod filtera za vodu za piće, učinkovitost filtera je čak 99% protiv opasnog klora te uklanjanja kontaminata koji sadrži voda kao što su olovo i živa.<sup>62</sup>

Proces kloriranja najčešće se provodi sa :

- elementarnim klorom
- hipokloritnom kiselonom
- hipoklorit ionom
- klorovim dioksidom
- natrijevim i kalcijevim hipokloritom

Kao što je već rečeno, neke od prednosti dezifekcije sa klorom su : jednostavna nabava elementarnog klora, mogućnost transporta, jednostavno rukovanje kao i

doziranje. Što se tiče nedostataka pH vrijednost snažno utječe na učinkovitost kloriranja te nastanak štetnih nusprodukata. Tako primjerice, ukoliko klor reagira sa amonijakom troši se znatna količina kloriranja te nastaju štetni nusprodukti.<sup>5</sup>

U biološke procese obrada otpadnih voda ubraja se uklanjanje dušika i fosfata iz voda. Budući da je fosfor element koji se nalazi u okolišu, povećana koncentracija fosfora u mnogim vodenim ekosustavima narušava kvaliteta vode koja je najviše vidljiva preko prekomjernog rasta alga. Također, povišena koncentracija ubrzava eutrofikaciju a njezino smanjenje može se postići ionskom izmjenom i adsorpcijom. Oporabljeni fosfor iz otpadnih voda koristi se u poljoprivredi a daje veću učinkovitost u odnosu na umjetna goriva. Biljni uređaji koji se temelje na primjeni močvarnih biljaka. Važno je naglasiti da primjenom tehnologije aktivnog mlja najčešće dolazi do uklanjanja organskog onečišćenja. Kao ekološki prihvatljiva tehnologija najčešće se koristi EBPR koja omogućava izmjenu anarobnih i aerobnih uvjeta koji omogućuju akumulaciju fosfata<sup>63</sup>

Biološki mehanizam ERB („poboljšano biološko uklanjanje fosfora”) temelji se na P-akumulirajućim bakterijama, koje imaju sposobnost korištenja jednostavnih ugljikovih spojeva kao izvor energije.<sup>64</sup>

Što se tiče uklanjanja fosfata iz otpadnih voda najčešće se provodi nitrifikacija jer doprinosi smanjenju pH vrijednosti dok denitrifikacija povećava pH vrijednosti. Nitrifikacija je autotrofni proces a bakterije koriste energiju za rast koju dobivaju oksidacijom dušikovih spojeva. Suprotni proces je denitrifikacija. Nju pokreću anoksični uvjeti poput mikroorganizama koje troše kisik dok je nitrat akceptora elektrona. Ukoliko dolazi do prilagođavanja okološnih uvjeta kroz koncentraciju kisika, ugljika i dušika povećava se učinkovitost uklanjanja dušikovih spojeva<sup>65</sup>

Važno je naglasiti da uklanjanje dušika i fosfora iz otpadnih voda omogućava dopuštenu koncentraciju za ispušt u prirodni tok.

Tako primjerice ukoliko je riječ o aerobnoj biološkoj obradi , minimalna koncentracija sastojaka s ugljikom , dušikom i fosforom je :

$$C:N:P = 100:5:1$$

S druge strane, ukoliko je riječ o anaerobnoj biološkoj obradi, minimalna koncentracija sastojaka s ugljikom , dušikom i fosforom je :

$$C:N:P = 100: 0,5: 0,02$$

Kao što je već naznačeno, biološki procesi uklanjanja dušika iz otpadnih voda , provode se nitrifikacijom i denitrifikacijom. Mikroorganizmi, biljke, bakterije imaju važnu ulogu u tom ciklusu jer one omogućavaju prelazak dušika iz jednog oblika u drugi . Tako se primjerice putem nitrifikacije odvija oksidacija amonijaka u nitrit te oksidacija intrita u nitrat .

Ove reakcije prvo vode tri skupine mikroorganizama <sup>65</sup>:

- mikroorganizmi koji oksidiraju amonijev ion
- mikroorganizmi koji oksidiraju ione nitrita
- mikroorganizmi koji u potpunosti oksidiraju amonijak tj. mikroorganizmi koji u jednom koraku oksidiraju

S druge strane, denitrifikacija je proces u kojem dolazi do redukcije nitrata preko nitrita , dušikovog monoksida i dušikovog oksida do molekularnog dušika. Zapravo, biološki proces denitrifikacije sastoji se od dva ključna procesa : denitratacije i denitritacije. Upravo ova metoda najčešće se koristi kod uklanjanja nitrata u otpadnim vodama iz rafinerije metala ( primjerice kod čelika i željeza ) kako bi se proizvela nukelana energija. Budući da prilikom denitrifikacije otpadne vode nastaje velika količina dušikovih spojeva te da je ovo vrlo spor process postoje brojni parametri kojima se može povećati brzina denitrifikacije do optimalnog procesa. Tako primjerice , brzina denitrifikacije ovisi o okolišnim čimbenicima (pH vrijednosti, temperature, koncentraciji otopljenog kisika ), koncentraciji supstrata u influentu, vrsti bioreaktorskog sustava, hidrauličkom zadržavaju....

Kao primjer može se uzeti pH vrijednost otpadne vode. Budući da mikroorganizmi tijekom denitrifikacije imaju najveću aktivnost u neutralnom do slabo lužnatom području, no prilikom njihovog rasta pH se mijenja koncentracija dok ne stabilizira. Budući da dolazi do razgradnje ugljika do organskih kiselina, tijekom procesa koriste se bakterije a prilikom redukcije nitrata stvara se lužnato područje. Također, optimalna temperatura za proces denitrifikacije je oko 30 °C. Tako je primjerice u raspon 25-30 °C zabilježen pad temperature na 10-20 °C te se javlja i pad denitrifikacije za 60% .<sup>66</sup>

Kao diskontinuirani proces obrade, koristi se SBR, bioreaktor u kojem se svaki proces obrade provodi zasebno. Dakle, SBR provodi proces nitrifikacije i denitrifikacije nakon što se otpadna voda iz sabirnog bazena preusmjeri na procese pročišćavanja. Ovaj reaktor napravljen je od čelika ili betona kako bi se spriječila pojava korozije, a sastoji se od: biološkog reaktora, upravljačkog sustava, cikličkog načina rada, aeracije te mjesta za formiranje taloga. Automatsko upravljanje sustava omogućava fazu punjenja, taloženja, pročišćavanja vode te ponovnog punjenja. Nakon što voda u reaktoru dođe do određene razine, provodi se proces nitrifikacije gdje aerobne bakterije oksidiraju organske tvari te pretvaraju amonijev kation u nitrate. Zatim slijedi denitrifikacija odnosno redukcija nitrata i nitrita u plinoviti dušik. Na kraju taloženje odnosno nastajanje biološkog taloga na dnu reaktora. Nakon započinje novi ciklus koji može trajati nekoliko sati do nekoliko dana ovisno o potrebama obrade otpadnih voda. Aktivni mulj u ovom biorektoru predstavlja mješavinu mikroorganizama koji su odgovorni za razgradnju organskih tvari. Isto tako, prilikom faze dekantiranja, aktivni mulj se taloži na dnu uređaja a pomoću crpki se odvaja od pročišćene vode. Zatim slijedi proces dekantiranja, a aktivni mulj se ispušta u okoliš kao krajnji product obrade ili koristi u daljne procese zbrinjavanja.

SBR reaktor se koristi kao biološki postupak pročišćavanja otpadnih voda zbog: visoke učinkovitosti organskih tvari, prilagodljivosti različitim uvjetima obrade, dobre kvalitete pročišćene vode, manje konstrukcije, lakog upravljanja...

Važno je i naglasiti da pomoću ovog reaktora uklanjaju se brojne organske tvari i dušični spojevi kao što su amonijevi kationi i nitriti....



## 7. PROBLEMI INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

Kao što je već navedeno onečišćene industrijske vode sadeže brojne teške metale, kiseline, lužine te masti . One nastaju tijekom provođenja tehnoloških procesa te proizvodnje energije. Glavna podjela je na biološki razgradljive otpadne vode ( koje se mogu miješati s kućanskim vodama ) te biološki nerazgradljive otpadne vode ( koje se ne smiju miješati sa kućanskim vodama ). Biološki razgradljive otpadne vode sadrže organske tvari koje su potrebne za različite kemijske reakcije , dok kod nerazgradljivih otpadnih voda potrebna je predhodna obrada radi velikog sadržaja suspendiranih tvari. Budući da velika količina rashladnih voda koja se koristi u energetskim procesima sadži dušične spojeve , povećana koncentracija dušika u otpadnim vodama jedan je od većih problema. Uz njih, javlja se problem procjednih voda koje nastaju usred biokemijskih procesa a sadrže visoku koncentraciju organskih i anorganskih tvari te brojnih štetnih tvari koje imaju toksičan utjecaj. Također, procjedne vode imaju vrlo neugodan miris, a kako bi se zadovoljila propisana kvakoća ove vrste voda potrebno je primjeniti kombinacije metoda. Odlagališta isto tako sadrže različite količine otpadnih voda koje ovise o : svojstvima otpada, načinu zbrinjavanja, razini uređenosti odlagališta, karakteristikama terena...<sup>67,68</sup>

## 8. PROCJEDNE VODE NA ODLAGALIŠTIMA OTPADA

Procjedne vode sadržavaju spojeve sa dušikom ( u organskom vezanom obliku ili amonijaku ), spojeve sa fosfatom, teške metale ( kao što su živa, aluminij, srebro, arsen ), katione (koji prilikom reagiranja sa vodom stvaraju brojne komplekse ), anione, pesticide te brojne specifične organske spojeve (aromatske ugljikovodike, fenole ). Prilikom obrade procjednih voda koriste se : konvencionalne metode i napredne metode obrade voda.

Konvencionalna metoda obuhvaća : biološku obradu, fizikalno -kemijsku obradu, adsorpciju te stripiranje.

Napredne metode obrade obuhvaćaju : membranske metode (nanofiltraciju, mikrofiltraciju, ultrafiltraciju te reverznu osmozu ) te elektrokemijske metode.

Nakon provedenog postupka obrade procjednih voda na odlagalištu otpada, dobivene rezultate potrebno je usporediti sa dozvoljenim vrijednostima koje propisuje Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija procjednih voda iz odlagališta neotpadnih voda kako bi se pročišćene vode mogle ispustiti u površinske vode.<sup>69</sup>

## 9. OBRADA MULJA NASTALOG U SVIM PROCESIMA OBRADNE OTPADNE VODE

Kao što već navedeno primarni mulj nastaje nakon primarnog stupnja pročišćavanja. Primarni mulj se sastoji od anorganskih i organskih tvari ( lako i teško razgradljivih ) te mikroorganizama ( gljivice, bakterije). Sekundarni odnosno biološki mulj nastaje nakon procesa iz biološkog reaktora. Ova vrsta mulja sadrži živu masu bakterija. Tercijalni mulj nastaje nakon trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda te sadrži brojne kemikalije koje su primjerice dodane pri koagulaciji. Aktivni mulj nastaje prilikom biološke obrade , a nastaje međusobnim povezivanjem bakterija ,alga koje imaju različiti naboj sa suspendiranim česticama u flokule . S aktivnim mulje, provodi se aerobni postupak uklanjanaj organskih čestica iz otpadnih voda.<sup>70</sup>

Iskorištenje mulja predstavlja bitan ekološki problem današnjice. Iako je mulj siromašan s fosfatom i kalcijem, bogat je drugim korisnim mikroelementima. Dušik se u sirovom mulju nalazi u obliku amonijaka ili nitrata te predstavlja vrlo opasni otpad. Ukoliko se ne obradi ten a neadekvatni način odbaci u okliš, njegov miris je najneugodniji u odnosu na ostale muljeve.<sup>24</sup>

Svrha obrade mulja smanjenje volumena te poboljšanje učinka obrade otpadne vode.

Kod primarnog stupnja pročišćavanja otpadnih voda javljaju se anarobni procesi obrade mulja.

Najčešća podjela anarobnih procesa obrade je :

- hidroliza
- kiselo vrenje
- vodikova i acetogena faza
- metanogena faza

**Anaerobni procesi obrade mulja** provode se u anaerobnim reaktorima. Iako su skuplji reaktori od aerobnih reaktora, njihova učinkovitost je također veća. Intenzitet mješanja reaktora znatno ubrzava proces. Dok su ipak vidljivi određeni elementi u tragovima kao što su : teški metali, klorirani ugljikovodici, organske kiseline, spojevi sumpora... Nastali mulj nema neugodnih mirisa te je prikladan za odlaganje a dolazi i do ujednačavanja karakteristika mulja.<sup>71</sup>

Anaerobna digestija je proces razgradnje organskih tvari pomoću anaerobnih mikroorganizama bez prisustva kisika. Bioplinsko postrojenje je postrojenje u kojem se provodi anaerobna digestija sa svrhom nastanka bioplina kao obnovljivog izvora energije. Isto tako, svrha anaerobne digestije je razgradnja supstrata odnosno kodigestijakoj omogućava ravnotežu hranjivih tvari te smanjenje toksičnih tvari. Nastanak potencijalno korisnih plinova, , provođenje učinkovitijeg procesa te povećanje prinosa metana, samo su neki od ciljeva anaerobne digestije.<sup>46</sup>

Ovaj složeni biokemijski proces treba se odvijati uz optimalne uvjete kako nebi nastale negativne posljedice .

**Aerobni procesi obrade mulja** odnosno aerobna stabilizacija popraćena je jakim neugodnim mirisom radi čega sanitarna stajališta nisu adekvatni izbor. Kako bi došlo do uklanjanja neugodnog mirisa provodi se oksidacija organske tvari ili direktno uništavanje mikroorganizama. Ukoliko dolazi do povećanja temperature te dodavanjem vapna ( koji mijenja pH vrijednost na 12 ) mikroorganizmi ne opstaju. Nastali bioplina , u ovom procesu obrade mulja, ima energetska svojstva koja se mogu koristiti samo prilikom pročišćavanja otpadnih voda. Pravilnikom o gospodarenju muljem

Sukladno sa Pravilnikom o gospodarenju mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi te Pravilnikom o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada, obrađeni mulj može se koristiti na travnjacima za ispašu stoke, tlo na kojem se said voće i povrće, tlo krških polja, skeletnom tlu krša...<sup>72</sup>

## 10. OTPADNA VODA U FARMACEUTSKOJ INDUSTRIJI

Farmaceutska industrija je grana kemijske industrije čija je temeljna zadaća proizvodnja farmaceutskih sirovina, lijekova te sredstava za zaštitu zdravlja. Sastav otpadnih farmaceutskih voda ovisi dakle o polaznoj sirovini, postupcima proizvodnje te procesima otpadnih produkta tespecifičnim onečišćenjima iz proizvodnje kao što su : katalizatori , organska otapala, aditivi te međuproducti.<sup>73</sup>

Danas, farmaceutici su najčešće prozvedeni kemijskom sintezom u višenamjenskim postrojenjima. Upravo njihova proizvodnja vrlo je kompleksna te uključuje veliki broj stupnjevitih reakcija kako bi nastao farmaceutski spoj. Važno je naglasiti da nakon svakog stupnja reakcije nastaju i međuproducti koji se obrađuju separacijskim tehnikama kako bi se koristili u danjem procesu proizvodnje. Odabir odgovarajuće proizvodne tehnologije jedan je od ključnih čimbenika koji utječe na kvalitetu proizvoda ali i pravilan izbor ambalažnog materijala koji znatno utječe na farmaceutsku supstancu.<sup>74</sup>

Jedna od prednosti otpadnih farmaceutskih voda je poznati sastav koji omogućava već na samom početku kategorizaciju onečišćenja. No, važno je naglasiti da je najbolji način smanjenje onečišćenja na samom početku proizvodnje farmaceutskih pripravka što će rezultirati i sprječavanje nastanka onečišćenja u otpadnoj farmaceutskoj vodi. Minimalizacija onečišćenja može se provesti kroz poboljšanje procese proizvodnje načine upravljanja procesa ali i kroz zamjenu otrovnih kemikalija te njihovu redovitu kontrolu. Tako primjerice modernizacija postojećeg procesa smanjuje količinu nastalog otpada ali i samnjuje rizik od neželjenih reakcija. Kod obrade otpadne farmaceutske vode najčešće se provode biološki postupci. Zahvaljući ekonomskoj isplativosti, ekološkoj svijesti ova vrsta procesa omogućava obradu otpadnih voda pomoću mikroorganizama koji razgrađuju organske tvari. Najkorišteniji biološki postupak je postupak sa aktivnim

muljem . Zahvaljući niskim investicijskim troškovima te jednostavnoj izvedbi no visokoj učinkovitosti ovaj postupak pročišćenja jako je zastupljen u obradi industrijskih otpadnih voda. Zatim membranski bioreaktori u kombinaciji sa tradicionalnim procesima pročišćavanja i membranskim procesima separacije, drugi su zastupljenosti bioloških procesa obrade otpadnih voda. Iako membranski reaktori imaju vrlo visoke troškove investicije, kvaliteta otpadne vode te mali prostorni zahtjevi samo su neki od razloga zastupljenosti ovog reaktora.

Ukoliko otpadna farmaceutska voda ne sadrži visoku koncentraciju organskih spojeva, može se provesti anaerobna obrada otpadne vode u anarobnom reaktoru. Tako primjerice, ovaj biološki proces ne može u potpunosti uništiti bakterijsku floru.<sup>75</sup>

Budući da jedna metoda obrade otpadnih industrijskih voda najčešće nije dovoljna koriste se hibridne tehnologije koje omogućavaju veću učinkovitost procesa. Tako primjerice, ukoliko otpadana voda sadrži pesticide prvenstveno se provodi proces ozonizacije a zatim biološka obrada sa aktivnim muljem.<sup>75,76</sup>

## 11. OBRADA OTPADNE VODE IZ PREHRAMBENE INDUSTRIJE

Prehrambena industrija je gospodarska djelatnost odnosno sektor svjetskog gospodarstva koji prerađuje sirovine, životinjskog i biljnog podrijetla, u gotove proizvode. Prehrambena industrija je grana industrije koja prerađuje hranu te prati kvakoću proizvoda uz suvremene metode pakiranja i skladištena. Iako je najveći dio procesa automatiziran, mnogobrojni parametri utječu na kvalitetu krajnjeg produkta.<sup>77</sup>

U procesima prehranbene tehnologije koristi se velika količina vode za pranje i hlađenje prehrambenih proizvoda. Isto tako prilikom obrade povrća, potrebna je velika količina vode za blanširanje i hlađenje. Prilikom prerade voća i povrća stvara se otpadna voda ispiranjem, sortiranjem, ljuštenjem, kuhanjem. Ta otpadna voda ima visoku biološku potrošnju kisika iz voća ili povrća. Zato postrojenja za obradu otpadnih voda prehrambene industrije najčešće imaju predhodnu obradu kao što je flotacija a zatim slijedi sekundarna biološka obrada. Kod biološke obrade najčešće se koriste aerobne i anarobne legune te jedinice sa aktivnim muljem.<sup>78</sup>

Reverzna osmoza u prehranbenoj industriji koristi se za koncentriranje otopine soli i organskih tvari kao i kod demineralizacije vode. Isto tako kod koncentriranih otopina makromolekula koristi se ultrafiltracija. Primjerice, ultrafiltracija se koristi u mljekastvu kod koncentriranja proteina sirutke, kod bistrenja voćnih sokova te kod pročišćavanja otpadnih prehrambenih voda.<sup>79,80</sup>

Uključujući čestice veće od 0,1 μm provodi se separacija koloida i suspenzija najčešće kod sterilizacije i bistrenja napistaka kao što su voćni sokovi i pivo te kod pročišćavanja tehnoloških voda. Kombinacija mikrofiltracije sa reverznom izmjenom ili ionskom izmjenom također je vrlo zastupljen su ovom dijelu proizvodnje.<sup>80</sup>

## 12. OBRADA OTPADNIH VODA U TEKSTILNOJ INDUSTRIJI

Tekstilna industrija smatra se jednim od najvećih zagađivača okoliša. Budući da masovna proizvodnja kao i masovna kupnja u tekstilnoj industriji u zadnjih desetak godina je znatno porasla, samo očuvanje prirodnih resursa ipak je jedna od globalnih tema današnjice.

Važno je naglasiti da prilikom proizvodnih procesa u tekstilnoj industriji koristi se velika količina otpadne vode koja sadrži brojne organske i anorganske kemikalije. Ta otpadna voda koristi se u brojnim procesima kao što su: bijeljenje, pranje, bojanje te dorada i oplemenjivanje tiska. Upravo ta količina otpadne vode kao i onečišćenje zraka dovodi do globalnog zagrijavanja, povećanja otpada, iscrpljivanja resursa... U tekstilnoj industriji, tijekom procesa ispiranja uz prethodno pranje, otpadna voda koja sadrži sirova vlakna na koje je navezana nečistoća koja smeta prilikom bojanja predstavlja brojne probleme. Isto tako, ulja, masti, biljni ostaci koji se nalaze kao nečistoća u otpadnoj vodi sadrže visoke KPK vrijednosti, visoki sadržaj čvrstih tvari, mutnoću.. U procesima tiska koriste se raznovrsna pomoćna sredstva te bojila koja se sastoje od uree te površinski aktivnih tvari a prilikom postupka zbrinjavanja ili otpuštanja otpada u vodotoke znatno se povećava KPK vode kao i što se javlja promjena mirisa, količina dušika.

Kod obrade otpadne vode koriste se kemijski, fizikalno-kemijski i biološki postupci obrade otpadne vode koji se najčešće kombiniraju. Tako primjerice prilikom mehaničkog procesa uklanjanju se grube tvari kao što su kamenje i drvo a prilikom fizikalno kemijskih postupaka uklanjaju se teški metali i bojila te se provodi bistrenje vode.<sup>81</sup>

Napredni oksidacijski procesi koji omogućavaju uklanjanje obojenja te biorazgradljivih organskih komponenti su: oksidacija ozonom, oksidacija ozonom uz vodikov peroksid i ultraljubičasto zračenje.



Prilikom procesa ozoniranja, koristi se reaktivan plin ozon koji je ujedino i oksidacijsko sredstvo. Budući da se ozon dobro otapa u vodi, ovaj process može se provoditi pomoću koronalnog pražnjenja te UV zračenja. Ozoniranje uklanja pesticide i organske tvari te umanjuje organsko opterećenje za sekundarnu biološku obradu. Također, ovim postupkom smanjuje se toksičnost tekstilnih boja te se povećava njihova biorazgradljivost.<sup>82</sup>

Oksidacija ozonom uz vodikov peroksid zajedno sa UV zračenjem smanjuje dekoliranje obojenih otpadnih voda i stopu mineralizacije organskih spojeva. Budući da je vodikov peroksid na tržištu jako dostupan a njegovim raspadom ne nastaju štetni produkti ovaj način obrade otpadnih tekstilnih voda vrlo je zastupljen. Također, vodikov peroksid može se dobro skladištiti te predstavlja jeftin izvor  $\text{OH}^-$  radikala. Korištenje UV zračenja također se ubrzava raspad ozona u vodi te dolazi do nastanka visoko reaktivnih hidroksilnih radikala. Ukoliko vodikov peroksid sporo ulazi u reakciju sa molekulom ozona, hidroperoksidni ion vrlo brzo reagira sa molekulom ozona i nastaje brzi raspad u vodi.

Ukoliko dolazi do kombinacije nekoliko mehanizama kao što je : fotoliza sa UV zračenjem, direktna ozonacija te djelovanje hidroksid radikala javlja se veća učinkovitost obrade otpadnih tekstilnih voda.<sup>83</sup>

## 13. UTJECAJ INDUSTRIJSKE OTPADNE VODE NA OKOLIŠ

Kao što je već navedeno, osnovni prirodni resurs bez kojeg nema života na Zemlji je voda. Budući da je drastičnim porastom industrije kao i broja stanovništva povećala potrebu za kvalitetom vode, velika količina vode crpi se i iz podzemna. Trajno kruženje vode u hidrološkom ciklusu putem oborina kao što su kiša, snijeg tuče te njezino isparavanje omogućava prodiranje kroz tlo u podzemne vode koje kasnije završavaju u riječnim vodotocima, jezerima i morima. Iz otpadnih voda koje nastaju u kućanstvu, procesima proizvodnje energije, poljoprivrede potrebno je provesti određene postupke pročišćavanja koje se temelje na Državnom planu za zaštitu voda koji uključuje određene mjere zaštite vode koje uključuje smanjenje točkastih i raspršenih izvora onečišćenja. Također, na Državnom planu za zaštitu voda naznačeni su propisane mjere koje pridonose smanjenju onečišćenja. Budući da se kroz otpadnu vodu, koja nije zadovoljila predhodne stupnjeve pročišćavanja, brojni metali, ostaci pesticida, kozmetički proizvodi unose se u okoliš. Veliki dio navedenih komponenti sastoji se od nerazgradljivih onečišćujućih tvari.<sup>14</sup>

Ukoliko ne dođe do ponovne upotrebe vode, samnjuju se izvori pitke vode što dovodi do crpljenja podzemnih voda, emisije nutrijenata, ovisnosti o klimatskim promjenama te korištenju vodenih resursa. Isto tako ponovna upotreba otpadne industrijske vode može biti vrlo opasna za ljudsko zdravlje bez predhodne obrade te uvažavanja propisanih normi i pravilnika. Kako bi se ovaj prirodni resurs očuvao na pravilan način potrebno je preći iz linearnog modela na kružni model gospodarenja vodama.

Kružni model gospodarenja vodama teži ka smanjenju potrošnje vode te njezinoj ponovnoj upotrebi. Ponovna upotreba zahtjeva analizu kemijskih, bioloških i fizikalnih pokazatelja kvakoće voda. Recikliranje otpadne vode omogućava održiv izvor kao što su energija, hranjive tvari i biomulj koji su vežan potencijal u kružnom gospodarenju.<sup>84</sup>

Linerni odnosno tradicionalni oblik gospodarstva zamjenjuje radi održljivosti okoliša odnosno usmjerenja prema održljivosti. U kružnom obliku gospodarstva sagledavaju se dugoročne posljedice što rezultira sagledavanjem cjelokupne vrijednosti. Kružno gospodarstvo odnosno “zatvoreni ciklus” omogućava očuvanje resursa, u ovom slučaju vode, za buduće generacije.<sup>85</sup>

## 14. ZAKLJUČAK

Industrijske otpadne vode su tekućine koje nastaju tijekom tehnoloških procesa u brojnim granama industrije kao što su : farmaceutska industrija, prehrambena industrija, tekstilna industrija... Njihovim ispuštanjem u okoliš, bez predhodnog pročišćenja, dovodi do značajnih promjena koje su vidljive u biljnom i životinjskom svijetu . U ovom diplomskom radu , opisani su fizikalni, kemijski i biološki postupci pročišćenja otpadnih voda dok odgovarajući stupanj pročišćenja ( primarni, sekundarni ili tercijalni stupanj ) ovisi o podrijetlu i karakteristikama otpadnih voda te daljnjim potrebama. Isto tako, prije samog ispuštanja voda u prirodni prijamnik potrebno je zadovoljiti propisane vrijednosti propisane zakonom .Odabir samog procesa pročišćavanja otpadne vode ovisi o ekonomskim te tehnološkim mogućnostima kao i o podrjetlu onečišćenja. Danas u brojnim granama industrije, najčešće se koriste kombinirani procesi pročišćavanja otpadnih voda koji zapravo predstavljaju jedan od boljih tehnoloških rješenja. Kombinirana metoda pročišćavanja zadovoljava određenu kvalitetu pročišćene vode dok napredni procesi pročišćavanja predstavljaju izazove koje je potrebno u budućnosti još bolje istražiti.

## 15.LITERATURA

- 1) D. Vujević, A. Mikić, S. Lenček, D. Dogančić, S. Zavrtnik, V. Premur, A. Anić Vučinić, Integrirani pristup rješavanja problematike industrijskih otpadnih voda, Znanstveni rad, Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet<sup>1</sup>, Lotus 91 d.o.o Varaždin<sup>2</sup>, Varaždinska županija, Upravni odjel za prostorno uređenje i graditeljstvo<sup>3</sup>, Zagreb, 2019.
- 2) N. Dikić, Obrada otpadnih voda biljnim uređajima, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2016.
- 3) A. Klasnić, Vode u mesnoj industriji, Specijalistički diplomski rad, Sveučilište u Karlovcu, Karlovac, 2015.
- 4) M. Marić, Teški metali u vodi, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Zagreb, 2020.
- 5) I. Nuić, Inertna skripta Kemijsko-tehnološki fakultet, Zavod za inženjersvo okoliša, Split, 2020.
- 6) K. Haviđić, Utjecaj kemijske regeneracijefotokatalizatora na učinkovitost razgradnje diklofenaka u vodi UV-A/ TiO<sub>2</sub> procesom, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjersva i tehnologije, Zagreb 2015.
- 7) I. Bekavac- Basić, Određivanje ukupnih suspendiranih čestica u prirodnim i otpadnim vodama, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 2019.
- 8) A. Matić, Usporedba fizikalno-kemijskih parametara pitkih voda grada Zagreba i grada Rijeke u 2020. godini, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet, 2021, Rijeka.
- 9) N. Bolf, Mjerenje mutnoće – turbidimetrija i nefelometrija, Mjerna i regulacijska tehnika, Fakultet kemijskog inženjersva i tehnologije, Zagreb, 2020.

- 10) <https://www.enciklopedija.hr/clanak/kolorimetrija> (preuzeto 1.7.2024)
- 11) <https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=Beerov+zakon> (preuzeto 1.7.2024)
- 12) A. Tomas, Otpadne vode- karakteristika, zaštita, zakonska regulative, Završni rad, Veleučilište Karlovac, Karlovac,2016.
- 13) I. Piljac, Elektroanalitičke metode, Teorijske metode, Teorijske osnove, mjerne naprave i primjena , RMC, Zagreb, 1995.
- 14) D. Damjanović, Otpadne vode i utjecaj čovjeka i okoliš, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2019.
- 15) <https://www.enciklopedija.hr/clanak/anoksija> ( preuzeto 13.7.2024)
- 16) M. Vurek, Utjecaj eksperimentalne eutrofikacije na markozoobentos u sedrotvorenom sustavu Plitvičkih jezera, Doktorska dizertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno- matematički fakultet, Zagreb,2018.
- 17) A. Colnar, Uloga fosfat-uklanjajućih bakterija u biološkom pročišćivanju otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2010.
- 18) A. Horvat, S.Babić, D.Mutavdžić Pavlović, Uvod u kemiju okoliša , Interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije, Zagreb, 2020.
- 19) I. Krajnović, Ličinke diptera ekološki pokazatelj kvalitete vode, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno- tehnološki fakultet u Osijeku, Osijek, 2016.
- 20) M. Lacković, Mikrobiološka analiza vode na području grada Jastrebarskog , Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2015.
- 21) M. Miliša, M.G.Udovič, P. Žutinić, Izrada kriterija za određivanje stupnja trofije stajčica i tekućica, Interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb , 2020.
- 22) D. Mijatović, Uklanjanje fosfata iz vode adsorpcijom na modificiranu ljusku suncokreta, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno -tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2021.
- 23) <https://www.enciklopedija.hr/clanak/oligotrofija> (preuzeto 25.7.2024.)

- 24) L.Klemar, Obrada otpadnih muljeva iz procesa pročišćavanja otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2018.
- 25) M.Rudeš, Zbrinjavanje mulja septičkih jama, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, 2018.
- 26) J. Zelić, Praktikum iz procesa anorganske industrije, Sveučilište u Splitu, Kemijsko -tehnološki fakultet u Splitu, Split, 2013.
- 27) [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_06\\_80\\_1681.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_80_1681.html): Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 3/16) (preuzeto 2.8.2024.)
- 28) P. Kašner, Obrada otpadnih voda iz farmaceutske industrije, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjersva i tehnologije, Zagreb, 2016.
- 29) M. Ostožić, Obrada otpadnih voda tehnologijom sekvencionog šaržnog reaktora, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2016.
- 30) M.Brdar, Načini usitnjavanja i pakiranja mljevene kave, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2023.
- 31) S. Trbojević, Sustavi za tretman otpadnih voda, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2019.
- 32) P.Parać, Konvencionalni i biljni pročištači otpadnih voda : prednosti i nedostaci, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2015.
- 33) B.Sablić, Uređaji za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda na području općine Medulin, Završni rad, Politehnika Pula-Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti, Pula, 2017.
- 34) <https://www.enciklopedija.hr/clanak/flotacija> (preuzeto 8.8.2024)
- 35) V. Babić, Idealno rješenje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda aglomeracije Rab, Diplomski rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2023.
- 36) J. Bošnjak, Optimalizacija koagulacije obrade tekstilne otpadne vode, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjersva i tehnologije, Zagreb, 2020.

- 37) A.Kraš, Optimalizacija predobrade sekundarnog efluenta otpadne vode za termičku obradu nusproizvoda životinjskog podrijetla za nanofiltraciju, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjersva i tehnologije, Zagreb, 2017.
- 38) K. Andlar, Metode uklanjanja teških metala iz otpadnih voda, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjersva i tehnologije, Zagreb, 2016.
- 39) I. Pejić, Linearni akceleratori i njihova primjena, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku, Osijek, 2013.
- 40) P. Orehovački, Okolišni asprekti primjene nanokompozitnih fotokatalizatora uz simularno Sunčevo zračenje za uklanjanje farmaceutika iz vode, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjersva u Zagrebu, Zagreb 2017.
- 41) V. Oreščanin, Karakterizacija i postupci obrade otpadne vode nastale tijekom proizvodnje etanola iz melase, Pregledni članak, Zagreb, 2017.
- 42) M.Martinović, Obrada otpadnih voda tehnologijom membranskog bireaktora, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno - tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2016.
- 43) A.Ptiček, Utjecaj fizikalno-kemijskih čimbenika na organizme u aktivnom mulju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2011.
- 44) M.Vuković Domanovac, Proces sa aktivnim muljem, Znanstveni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjersva i tehnologije, Zagreb, 2021.
- 45) M. Duić Sertić, Uloga mikrofaune u procjeni kvalitete aktivnog mulja, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno -matematički fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2012.
- 46) U.Apalović, Primjena adsorpcije u procesima pročišćavanja vode, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2020.
- 47) L.Klemar, Obrada otpadnih muljeva iz procesa pročišćavanja otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2018.



- 48) Procesi prijenosa i separacije, Inertna skripta, Zavod za mehaničko i toplinsko inženjerstvo, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2020.
- 49) N. Kovač, Obrada komunalne otpadne vode ultrafiltracijom, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2017.
- 50) K. Košutić, Membranske tehnologije obrada otpadnih voda, Zbirka nastavnih tekstova, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2020.
- 51) <https://www.enciklopedija.hr/clanak/filtracija> (preuzeto 10.8.2024)
- 52) E. Pollak, Adsorpcija mravlje kiseline na aktivnom ugljenu u koloni, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2019.
- 53) M. Domiter, Membranski procesi u obradi voda, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2015.
- 54) M. Štros, Elektrodijaliza-pregled stanja, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2017.
- 55) I. Mijatović, M. Matošić, Tehnologija voda-inertna skripta, dopunjeno izdanje, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 2012.
- 56) L. Baranović, Ionski izmjenjivači i njihova primjena u demineralizaciji vode, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, 2020.
- 57) N. Jović, Primjena LED izvora zračenja u obradi otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2022
- 58) Bayarri, B., Abellán, M. N., Giménez, J., Esplugas, S., Study of the wavelength effect in the photolysis and heterogeneous photocatalysis, *Catalysis Today*, 129 (2007) 231-239.
- 59) Koutchma, T., *Basic Principles of UV Light Generation u: Food Plant Safety*, Elsevier, 2014., str. 3-6.
- 60) P. Kašner, Obrada otpadnih voda iz farmaceutske industrije, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
- 61) D. Vujević, Uklanjanje organskih tvari iz obojenih otpadnih voda primjenom naprednih oksidacijskih procesa, Disertacija, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2017.

- 62) N. Omerdić, Kloriranje vode, Stručni prikaz, Zagreb, 2020.
- 63) A. Tutić, A. Zako-Pivač, T. Dragičević, M. Šiljeg, M. Habuda Stanić, Uklanjanje i uporaba fosfora iz otpadnih voda, Pregledni članak, Sveučilište Josipa Jusia Strossmayera, Osijek, 2021.
- 64) S. Giro, Uklanjanje fosfata iz otpadne vode fosfat-akumulirajućim bakterijama i crvenicom, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2012.
- 65) M. Mitrović, T. Rezić, Primjena mikroorganizma u procesima uklanjanja dušikovih spojeva iz otpadnih voda, Stručni rad, Institut Ruđera Boškovića, Prehrambeno-biotehnološki fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2023.
- 66) M. Ugrina, Denitrifikacija sinteske otpadne vode s visokom koncentracijom nitrata, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 2022.
- 67) K. Ljaljić, Nitrifikacija i denitrifikacija u procesu obrade otpadnih voda, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2023.
- 68) S. Tolić, I. Kos-Vukšić, J. Krivohlavek, S. Šikić, Analiza i usporedba različitih vrsta procjednih voda s odabranih odlagališta na području Republike Hrvatske i njihov utjecaj na okoliš, Zagreb, 2016.
- 69) A. Buzdovačić, Obrada procjene odlaganja otpada primjenom šaržnog hibridnog procesa korištenjem prirodnog zeolite, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, 2018.
- 70) I. Banić, Obrada i zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Puli, Pula, 2017.
- 71) Anaerobni postupci pročišćavanja otpadnih voda i stabilizacija mulja, Interna skripta, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije, Sveučilište Zagreb, Zagreb, 2018.
- 72) I. Belalov Dovečer, Analiza mogućnosti zbrinjavanja mulja s UPOV-a Varaždinska i Međimurska županija, Diplomski rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2022.

- 73) M.Šabić, M. Vuković Domanovac, Z.Fridrik Blažević, E.Meštrović, Kinetika bioremedicije farmaceutske industrije otpadne vode, Stručni rad, Kemijska industrija, Zagre, 2015.
- 74) S.Zrnčević, Farmaceutici i metode obrade otpadne vode iz farmaceutske industrije, Pregledni članak, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- 75) P. Kašner, Obrada otpadnih voda iz farmaceutske industrije, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
- 76) M.Vuković Domanović, M.Šabić Runjevec, N.Janton, D.Kučić Grgić, Bioremedicija farmaceutske otpadne vode, Pregledni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije, Zagreb, 2019.
- 77) <https://tehnika.lzmk.hr/prehrambena-industrija/> (preuzeto 20.8.2024)
- 78) M.Tonžetić, Otpadne vode u prehrambenoj industriji, Završni rad, Sveučilište u Karlovcu, Karlovac, 2020.
- 79) B.Tušar, Ispuštanje i pročišćavanje otpadne vode s zakonskom regulativom, Croatia knjiga, Zagreb, 2024.
- 80) M.Joskić, Obrada otpadne vode šećera mikrofiltracijom, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet u Osijeku, 2016, Osijek.
- 81) J.Bošnjak, Optimalizacija koagulacije obrade tekstilne otpadne vode, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Kemijsko tehnološki fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2020.
- 82) K.Wolff, Održive tehnologije u obradi otpadnih voda tekstilne industrije, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 2020.
- 83) M.Mijatović, UV zračenje za obradu obojenih otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Karlovcu, Karlovac, 2016.
- 84) L.Ključec, Analiza indeksa kvakoće efluenta za ponovnu uporabu obrađene otpadne vode, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, 2019.
- 85) S.Bulić, Kružno gospodarstvo, Završni rad, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Pula, 2019.

### 15.1.POPIS TABLICA :

- 1) Tablica (I) prikazuje fizikalna, kemijka i biološka onečišćenja<sup>5</sup>
- 2) Tablica(II) predstavlja oligotrofni vodni sustav,mezotrofni vodni sustav i eutrofni vodni sustav.<sup>23</sup>
- 3) Tablica (III)predstavlja fizikalne ,fizikalno-kemijske i biološke postupke pročišćavanja otpadnih voda<sup>5</sup>

### 15.2.POPIS SLIKA :

- 1) Turnitin postotak

---

ORIGINALITY REPORT

---

**13%**

SIMILARITY INDEX

**12%**

INTERNET SOURCES

**1%**

PUBLICATIONS

**3%**

STUDENT PAPERS

---

MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

---

Slika (I) prikazuje Turnitin postotak

## IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, MARIJA JURISIC (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom VAŽNOST OBRANE OTPADNIH INDUSTRIJSKIH VOĐA U TEHNOLOŠKIM PROCESIMA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Marija Jurisic  
(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.