

# Sustavi za tretman otpadnih voda

---

**Trbojević, Slobodan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:942269>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-23**



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

*Repository / Repozitorij:*

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



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

**Slobodan Trbojević**

**SUSTAVI ZA TRETMAN  
OTPADNIH VODA**

**ZAVRŠNI RAD**

Karlovac, 2019.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Slobodan Trbojević

**SYSTEMS FOR WASTE  
WATER TREATMENT**

FINAL PAPER

Karlovac, 2019.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

**Slobodan Trbojević**

**SUSTAVI ZA TRETMAN  
OTPADNIH VODA**

**ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

Dr.sc. Igor Peternel, v.pred.

Karlovac, 2019.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**  
Trg J.J. Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni / specijalistički studij: Stručni studij

Usmjerenje: Stručni studij Sigurnosti i zaštite

Karlovac, 2019.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Slobodan Trbojević

Matični broj: 0416606296

### **Naslov: Sustavi za tretman otpadnih voda**

Opis zadatka:

U ovom radu biti će obrađena problematika otpadnih voda, karakteristike zagađenja, karakteristike otpadnih voda, sustavi odvodnje otpadnih voda. Posebno će biti obrađeni postupci obrade i postupci pročišćavanja otpadnih voda. U drugom poglavlju bit će obrađene otpadne vode iz termo elektrana, a u trećem poglavlju otpadne vode u prehrambenoj industriji.

Zadatak zadan:

12/2018

Rok predaje rada:

02/2019

Predviđeni datum obrane:

02/2019

Mentor:  
Dr.sc.Igor Peternel, v.pred.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:  
Dr.sc.Zvonimir Matusinović, pred.

## **PREDGOVOR**

Ovom prigodom zahvaljujem svima koji su mi pomagali i bili podrška tijekom mog cjelokupnog školovanja.

Završni rad je nastao većinom od prikupljenih podataka tijekom mog studiranja, te osobnim dugogodišnjim interesom za problematiku otpadnih voda. Iskustva koja sam stekao pisanjem završnog rada proširila su moje znanje o otpadnim vodama i njihovom utjecaju na okoliš, te posljedice koje su danas vidljive u okruženju u kojem živimo.

Posebno zahvaljujem svom mentoru Dr.sc. Igoru Peternelu, v. pred. na ukazanom povjerenju, savjetima i pruženoj pomoći tijekom pisanja završnog rada bez kojeg izrada rada nebi bila moguća.

## **SAŽETAK**

Sve vode koje su iskorištene za nekakvu namjenu, bilo da je riječ o kućanskim, industrijskim ili poljoprivrednim vodama, potrebno je prikupiti, kao otpadnu vodu, te je na prikladan način obraditi i odvesti u prijemnike bez štetnih posljedica za okoliš i bez narušavanja prirodnog kružnog toka vode.

U ovom radu biti će obrađena problematika otpadnih voda, karakteristike zagađenja, karakteristike otpadnih voda, sustavi odvodnje otpadnih voda. Posebno će biti obrađeni postupci obrade i postupci pročišćavanja otpadnih voda. Nadalje bit će obrađene otpadne vode iz termo elektrana i otpadne vode u prehrambenoj industriji.

Ključne riječi: otpadne vode, sustavi za tretman otpadnih voda

## **SUMMARY**

All water used for any purpose, whether domestic, industrial or agricultural, should be collected as waste water and treated appropriately in receivers without adverse environmental effects and without disturbing the natural circulation of water.

This paper deals with wastewater issues, pollution characteristics, waste water quality and sewage systems. In particular, treatment procedures and wastewater treatment processes will be treated. Furthermore waste water from the thermo power plants and waste water in the food industry will be treated too.

Key words: waste water, waste water treatment systems

# Sadržaj

<b>1.0. OTPADNE VODE</b> .....	1
1.1. Točkasta i difuzna zagađenja.....	3
1.1.1. Karakteristike difuznog zagađenja.....	3
1.1.2. Vrste difuznog zagađenja.....	4
1.1.3. Nutrienti.....	5
1.1.3.1. Dušik.....	5
1.1.3.2. Fosfor.....	6
1.1.3.3. Eutrofikacija.....	7
1.2. Karakteristike otpadnih voda.....	8
1.2.1. Opće karakteristike kućanskih otpadnih voda.....	9
1.2.2. Opće karakteristike industrijskih otpadnih voda.....	10
1.2.3. Opće karakteristike poljoprivrednih otpadnih voda.....	11
1.2.4. Opće karakteristike voda koje se ispuštaju u okoliš.....	12
1.3. Sustavi za odvodnju otpadnih voda.....	12
1.4. Osnovni postupci obrade otpadnih voda.....	13
1.5. Postupci pročišćavanja otpadnih voda.....	14
1.5.1. Mehaničko pročišćavanje otpadnih voda.....	17
1.5.2. Biološko pročišćavanje otpadnih voda.....	19
1.5.3. Kemijsko pročišćavanje otpadnih voda.....	21
1.5.3.1. Neutralizacija.....	21
1.5.3.2. Koagulacija i flokulacija.....	23
<b>2.0. OTPADNE VODE IZ TERMOELEKTRANA</b> .....	25
<b>3.0. PREHRAMBENA INDUSTRIJA</b> .....	27
3.1. Biološki tretman.....	28
3.1.1. Biološka filtracija.....	32
3.1.2. Tretman i odlaganje mulja.....	35
3.2. Idejno rješenje uređenja uređaja za egalizaciju otpadnih voda u industriji mlijeka.....	37
<b>4.0. ZAKLJUČAK</b> .....	39
<b>5.0. LITERATURA</b> .....	40



## 1.0. OTPADNE VODE

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

Sustavi građevina, uređaja, cijevi i kanala kojima se prikupljaju, obrađuju i ispuštaju otpadne vode nazivaju se kanalizacijskim sustavima.

Materijali koji se primjenjuju u kanalizacijskim sustavima moraju zadovoljiti brojne uvjete - od toga da su otporni na različite fizikalno - kemijsko - biokemijske utjecaje otpadnih voda, okoliša u kojemu su smješteni, da ispunjavaju svoju funkciju u sklopu kanalizacijskog sustava ispravno, da svojim sastavom ne remete procese u sustavima za obradu voda, da se relativno lako mogu sanirati u slučaju kvarova i nezgoda, da se mogu što je moguće bolje reciklirati u slučaju prestanka rada pojedinog sustava ili odlagati bez važnijih utjecaja na okoliš...

Uobičajena je podjela otpadnih voda prema podrijetlu na:

- kućanske;
- industrijske.

Ponekad se, zbog svojih pojava oblika, posebno razmatra i skupina voda koja se eventualno može odvojiti od industrijskih i nazvati trećom skupinom otpadnih voda prema podrijetlu:

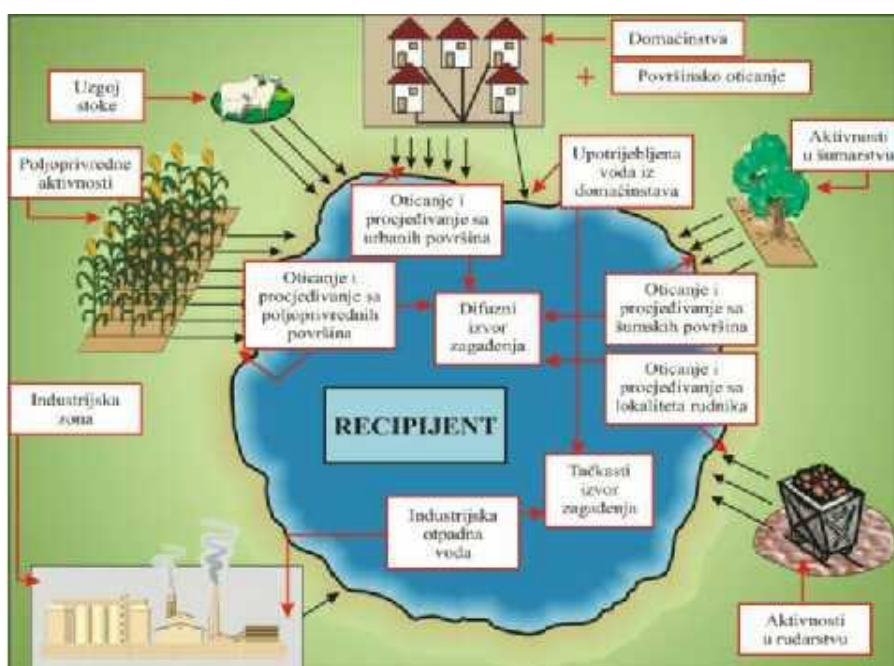
- poljoprivredne otpadne vode.

Zbog različitog sastava otpadnih voda razlikuju se i materijali koji će biti primijenjeni u izgradnji sustava za odvodnju različitih tipova otpadnih voda.

## 1.1. Točkasta i difuzna zagađenja

U dosadašnjoj praksi razmatranja i proučavanja kvaliteta voda, glavni izvori zagađenja voda, prema prostornom obuhvatu nastanka i ispuštanja, klasificiraju se u dvije osnovne kategorije: (1) točkaste izvore i (2) ne točkaste (difuzne) izvore zagađenja, slika 1. U proteklom periodu naponi na kontroli zagađenja bili su više usmjereni ka točkastim izvorima zagađenja, koje je lako identificirati, a njihovo zagađenje relativno jednostavno kvantificirati. Primjeri ovih tipova zagađenja su efluenti iz uređaja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, efluenti iz industrija i tvornica, te drugi izvori koji direktno ispuštaju zagađenje u vodoprijemnike kroz cijevi/kanale, tj. točkaste ispuste.

Difuzno zagađenje, za razliku od zagađenja koje potiče iz industrije i postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, dolazi iz difuznih (ne točkastih, rasutih) izvora. Prema BAS ISO 6107–6 (2003) difuzni izvori zagađenja površinskih ili podzemnih voda su izvori koji ne potiču iz jedne točke, već su prostorno široko rasprostranjeni.



Slika 1. Izvori zagađenja

### 1.1.1. Karakteristike difuznog zagađenja

Difuzno zagađenje je široko rasprostranjen problem, koji utiče na kvaliteta površinske i podzemne vode u ruralnim i urbanim područjima. Po svojoj pojavi ono je prostornog karaktera, u velikoj mjeri neregulirano, javlja se rjeđe i u kraćim vremenskim periodima od točkastog zagađenja. Prvenstveno nastaje kada kiša i otopljeni snijeg protječu preko zemljišta i kroz podzemlje, koji su već na neki način narušeni korištenjem prostora. Ovaj oticaj nosi zagađenje dalje i odlaže ga u najbliže površinske vode tj. jezera, rijeke, močvare, obalne vode i/ili ga ispire u podzemne vode. Difuzno zagađenje, može također poticati iz sedimenata istaloženih u jezerima, vodotocima, močvarama ili obalnim vodama, te iz atmosferskih depozicija. Difuzno zagađenje se javlja u oticaju sa urbanih površina (ulica, parking prostora, krovova, travnjaka, kućnih vrtova i sl.), u oticaju i procjednim vodama sa gradilišta i deponija, u oticaju i procjednim vodama sa poljoprivrednih površina, seoskih dvorišta, stočnih farmi, sa lokaliteta rudnika, te sa površina gdje se vrši rasad i odvija sječa šuma itd. Ukratko rečeno, difuzno zagađenje potiče od različitih izvora, od kojih je većina direktno vezana za određeni vid korištenja zemljišta.

Tablica 1. Vrste zagađenja

Točkasto zagađenje	Difuzno zagađenje
Mjerljivo kvalitativno i kvantitativno, uglavnom vezano za ljudske aktivnosti	Veoma dinamično, događa se u slučajnim intervalima, usko vezano za hidrološki ciklus
Varijabilnost vrijednosti koje su tipično manje od određenog reda veličine	Varijabilnost vrijednosti se može kretati iznad više redova veličina, jednog reda veličine i unutar nekog područja
Većina ozbiljnih utjecaja na kvalitetu voda tipično se dešava tokom ljetnih perioda kada je protok nizak.	Većina ozbiljnih utjecaja na kvalitetu voda događa se tijekom ili poslije oborina.
Ispusne točke zagađenih voda na poznatim mjestima, ispušt obično putem cjevovoda ili kanala.	Ispust zagađenih voda se obično ne može identificirati, tipično nastaje na širem prostoru.

<b>Tablica 1-nastavak</b>	
Može se kvantificirati sa tradicionalnim inženjersko-hidrauličkim tehnikama.	Teško ga kvantificirati tradicionalnim inženjersko-hidrauličkim tehnikama.
Osnovni značajni parametri kvaliteta voda su biokemijska potrošnja kisika (BPK), nutrijenti, suspendiranih čvrste materije i ponekad teški metali i sintetske organske materije.	Osnovni parametri kvaliteta voda su suspendirane čvrste materije, nutrijenti, teški metali, sintetske organske materije, pH.
Programe kontrole obično primjenjuju vladine agencije/tijela.	Programi kontrole uključuju pojedince (volontere), što nije uobičajeno u programima kontrole zagađenja kod nas.

### **1.1.2. Vrste difuznog zagađenja**

Difuzna zagađenja mogu biti različita, kao i izvori njihovog nastanka. Ipak se mogu svrstati u šest glavnih kategorija:

- Nutrijenti
- Suspendirane materije
- Kiseline i soli
- Teški metali
- Opasne i štetne materije i
- Patogeni organizmi.

Otjecaj sa urbanih površina (ulica, parking prostora, krovova, travnjaka, vrtova i sl.) može sadržavati nutrijente, teške metale, soli, suspendirane (mineralne) materije, otrovne kemikalije i mikro i makrobiološke organizme.

Otjecaj i procjedna voda sa poljoprivrednih polja, deponija otpada, područja gdje se vrši eksploatacija rudnika, miniranih područja, te šumskih rasadnika opterećena je sa nutrientima, sedimentima, pesticidima, bakterijama, otrovnim supstancama, teškim metalima i kiselinama.

Površinski oticaj i podzemna voda sa industrijskih područja može sadržavati nutrijente, kemikalije (u zavisnosti od industrijskog procesa), te ispuštena voda može biti zagrijana.

## 1.1.3.Nutrienti

### 1.1.3.1.Dušik

Dušik je pokretljivi element i u prirodi se javlja u više valentnih formi, od  $-3$  kod organskih i spojeva amonijaka, do  $+5$  kod nitrata. Promjena valentnih formi Dušika vrši se putem slijedećih biokemijskih procesa:

**Amonifikacija**, kod koje heterotrofni mikroorganizmi razlažu bjelančevine do  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  i amonijaka.

**Fiksacija**, gdje mikroorganizmi – azotofiksatori, koriste molekularni dušik, transformirajući ga u biološki dostupan oblik.

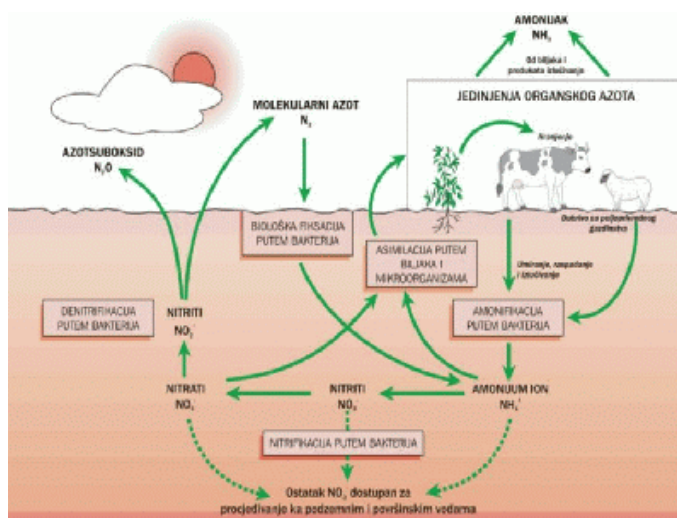
**Asimilacija**, gdje se dušikovi spojevi koriste za sintezu biomase.

**Nitrifikacija**, što predstavlja mikrobiološku oksidaciju amonijeva dušika u nitrite i nitrate, koju obavljaju autotrofni organizmi.

**Denitrifikacija**, kod koje veliki broj mikroorganizama u odsustvu rastvorenog kisika u vodi može da koristi kisik iz nitrita i nitrata, pri čemu se oni reduciraju do molekularnog dušika. Ovako se dušik iz biološki pogodne forme prevodi u oblik koji nema štetan utjecaj na okoliš.

Biokemijski ciklus dušika je vrlo kompleksan, iz razloga što se dušik može javiti u više valentnih stanja, zavisno od redoks potencijala.

Na idućoj slici prikazan je dijagram kružnog toka dušik, koji također uključuje i gubitke dušika u zraku, slika 2.

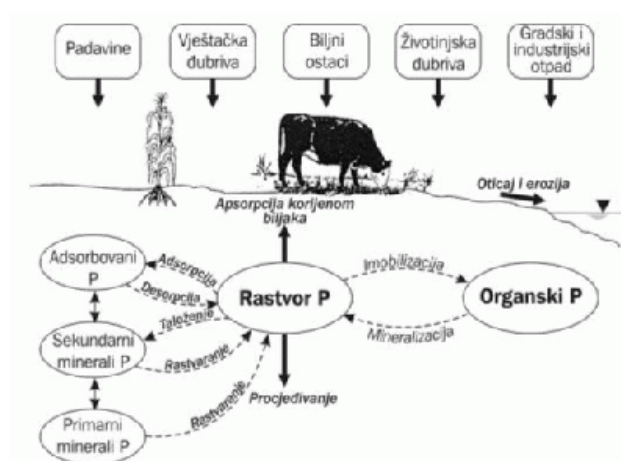


Slika 2.Kružni tok okoliša

### 1.1.3.2. Fosfor

Fosfor je veoma značajan element, koji se javlja u zemljištu u različitim organskim i neorganskim oblicima. Fosfor se i u vodi nalazi u različitim oblicima, ali je, sa stanovišta dostupnosti živom svijetu, najvažniji ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) koji nastaje oksidacijom u procesima mineralizacije organskih materija koje sadrže fosfor. Fosforni ioni u zemljištu su uglavnom vrlo nepokretni, jer se snažno apsorbiraju na okside i hidrokside željeza, aluminijske i mangana, zatim čestice glina, a sa kalcijevim ionima daju kalcij fosfate. Veća mobilnost javlja se kod nekih organskih oblika fosfora (npr. Iz prirodnog gnojiva), nego neorganskih oblika (Novotny i Chesters, 1981).

Kružni tok fosfora u razmatranom sistemu zemljište-voda-životinje-biljke prikazan je na narednoj slici 3.

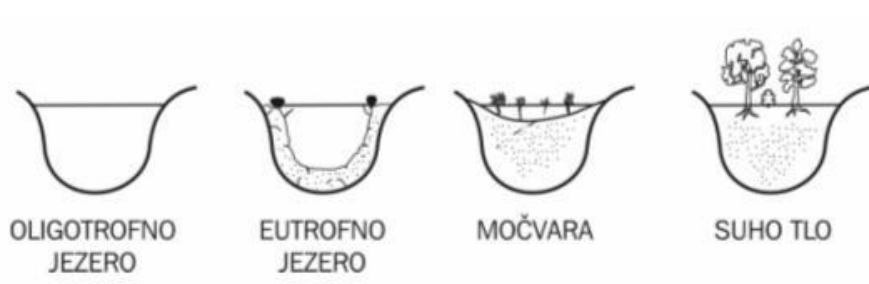


Slika 3. Kružni tok fosfora

### 1.1.3.3. Eutrofikacija

Eutrofikacija je proces obogaćivanja vode nutrijentima, što rezultira povećanom primarnom proizvodnjom, odnosno produkcijom vodenih biljaka. Ona može nepovoljno uticati na pogodnost korištenja vodnih resursa za druge namjene. Naime, povećana produkcija vodenog bilja rezultira povećanim sadržajem organskih materija, koje se bakterijski razlažu, ispuštajući neugodne mirise, trošeći raspoloživi

kisik, te utječući na razvoj drugih vodnih organizama. Stupanj potrošnje kisika, posebno u hladnijim, dubljim vodama, gdje se raspadnute organske materije mogu nakupiti, može reducirati kvalitetu ribljih staništa i podstaći razmnožavanje riba koje su prilagođene na uvjete sa manje kisika ili na toplije površinske vode. Anaerobni uvjeti mogu, također, prouzrokovati oslobađanje dodatnih nutrijenata iz područja najnižih sedimenata. Nutrijentima obogaćene vode stimuliraju produkciju algi, što povećava mutnost i obojenost vode. Prekomjerni rast biljaka može poremetiti neke rekreativne aktivnosti poput plivanja i veslanja. Eutrofikacija može nastati prirodnim i vještačkim putem. Prirodna eutrofikacija je proces koji se događa kao rezultat geološkog starenja nekog zatvorenog vodenog tijela, najčešće jezera. Hranjive materije dopijevaju u jezero sa vodom koja se u njega ulijeva. U jezerima koja sadrže malo hranjivih materija, vode imaju nizak nivo ukupno otopljenih tvari, nisku mutnost i relativno malu biološku produkciju. Ovakva jezera nazivaju se oligotrofna. Geološkim starenjem i ispiranjem sa okolnog slivnog područja, nivo hranjivih materija u jezeru postepeno raste, tako da jezero postepeno prelazi iz oligotrofnog, preko mezotrofnog u eutrofno stanje i na kraju biva potpuno zatrpano. Shematski prikaz procesa eutrofikacije prikazan je na idućoj slici 4.



Slika 4. Shematski prikaz procesa eutrofikacije

## 1.2. Karakteristike otpadnih voda

Materijali i oprema u kanalizacijskom sustavu izloženi su različitim utjecajima koji također ovise o brojnim faktorima - npr. poziciji pojedine cjeline u kanalizacijskom sustavu, geografskom položaju, klimatskim uvjetima, itd., u kojima se kanalizacijski sustav nalazi.

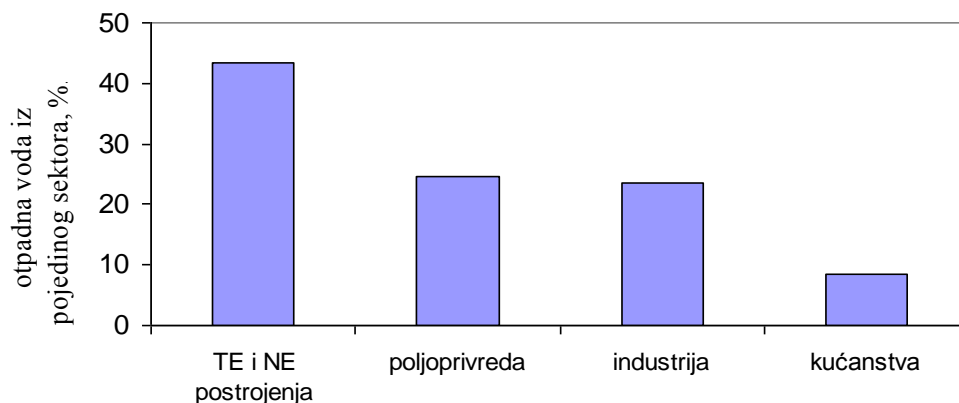
Fizikalni, kemijski i biokemijski sastav otpadnih voda je također ovisan o mnogobrojnim faktorima, između ostalog i o potrošnji vode po osobi u kućanstvu, topografskim i geografskim uvjetima kanalizacijskog sustava, tipovima industrijskih efluenta i ostalih, tzv. tuđih voda koje nekontrolirano ulaze u kanalizacijski sustav...

Fizikalne karakteristike otpadnih voda koje utječu na hidrauličko konstruiranje cjevovoda su vrlo slične karakteristikama obične, pitke vode. Međutim, agresivnost (korozivnost) takvih voda može bitno odstupati od obične vode. Može doći i do intenzivnog obraštanja stjenki mikroorganizmima, čiji produkti mogu biti korozivni po stjenke sustava, stvaranja anaerobnih uvjeta u sustavu, što pogoduje razvijanju drugih agresivnih tvari – npr.  $H_2S$  –hidrogen sulfid - sumporovodik, koji je korozivan i na cementnim i metalnim površinama. U kanalizacijski sustav mogu dospjeti i jako lužnate ili jako kisele supstance i također pokrenuti ili ubrzati korozijske procese. Otpadne vode imaju u prosjeku i povišenu temperaturu, tako da se i na taj način ubrzavaju kemijski procesi korozije materijala.

Sustavi za odvod i obradu otpadnih voda mogu biti izvori za različite tipove onečišćenja okoliša - npr. emisije kemikalija, čestica, aerosola, mikroorganizama, neugodnih mirisa pa čak i kao izvori buke - i svaki od njih mora biti kontroliran i održavan unutar zakonski predviđenih granica.

Prosječan udio pojedinih sektora ljudske djelatnosti u nastajanju otpadnih voda kreće se za SAD, a prema tome i za gotovo sve visokorazvijene zapadne zemlje, u granicama danim na slici 5.





Slika 5. Udio pojedinog sektora u stvaranju otpadnih voda

### 1.2.1. Opće karakteristike kućanskih otpadnih voda

Kućanske otpadne vode pretežno sadrže biorazgradive tvari (proteini, ugljikohidrati, lipidi), suspendirane tvari te veliki broj mikroorganizama. Stoga su najvažniji pokazatelji sastava kućanskih otpadnih voda:

- sadržaj organskih tvari;
- količina suspendiranih tvari;
- ukupni dušik i fosfor;

Broj patogenih mikroorganizama. Najčešće se iskazuje samo kao broj mikroorganizama fekalnog (tj. iz probavnog trakta ljudi i životinja) podrijetla i to kao kao broj fekalnih koliforma.

U kojem omjeru će se količine tih tvari nalaziti u otpadnoj vodi ovisi o brojnim utjecajnim parametrima - od kulturoloških značajki stanovništva, klimatskih uvjeta, ekonomske razvijenosti itd.

U razvijenim zapadnim zemljama potrošnja sanitarne (pitke) vode po stanovniku u granicama cca 150 do 500 L/dan.

Prema sadržaju kisika i stupnju razgradnje organskih otpadnih sadržaja razlikuju se:

- kod svježih kućanskih otpadnih voda razgradnja organskih otpadnih sadržaja nije napredovala i sadržaj je kisika približno jednak sadržaju kisika u vodi iz gradskog vodovoda,
- u odstajalim i trulim kućanskim otpadnim vodama je sadržaj kisika približno

jednak nuli, utrošen je na razgradnju organskih otpadnih sadržaja s tim što je u trulim kućanskim otpadnim vodama već značajno napredovala anareobna razgradnja organskih otpadnih sadržaja.

Kućanske otpadne vode sadrže znatne količine grubih zagađenja i grubo dispergiranih sadržaja. Od koloidno dispergiranih tvari i otopljenih sadržaja oko dvije trećine su organskog porijekla. Najčešće se kao pokazatelj svojstava kućanskih otpadnih voda koriste: biokemijska potrošnja kisika, sadržaj koloidno dispergiranih tvari i sadržaj mikroorganizama fekalnog porijekla (bakterije i virusi). Temperatura kućanskih otpadnih voda je povišena za oko 10 C, što ubrzava proces razgradnje organskih otpadnih sadržaja uz utrošak kisika, te je uvijek prisutna opasnost od truljenja. Opasnost je osobito izražena ljeti i u toplijim krajevima. Kućanske otpadne vode u područjima bez kanalizacijskog sustava prikupljaju se u septičkim jamama koje je potrebno povremeno prazniti.

### **1.2.2. Opće karakteristike industrijskih otpadnih voda**

Dok su kućanske otpadne vode sličnih karakteristika u većem dijelu razvijenih zemalja, industrijske otpadne vode su bitno različite, ovisno o tome u kojem, odnosno uz koji tehnološki proces ili uz koji postupak pretvorbe energije (termoelektrane, hidroelektrane, nuklearne elektrane) su nastale.

U literaturi je moguće naći veliki broj različitih podjela industrijskih otpadnih voda.

Ovdje će se spomenuti 3 podjele:

tip tehnološkog procesa uz/iz kojega nastaju. Ovo je podjela s vrlo velikim brojem podvrsta otpadne vode, jer je i vrlo velik broj različitih tipova tehnoloških procesa u kojima nastaju – najgrublje ih se može podijeliti na pretežno organske otpadne vode, pretežno anorganske te vode iz rashladnih i energetske postrojenja;

kompatibilnost s kućanskim otpadnim vodama. Neke industrijske otpadne vode mogu se miješati s kućanskim otpadnim vodama, odnosno, biološki su razgradive. Ostale industrijske otpadne vode nazivaju se nekompatibilnim, odnosno biološki nerazgradivim vodama i ne smiju se ispuštati u isti sustav kojim se odvođuju kućanske otpadne vode bez predobrade i dovođenja u "kompatibilno" stanje. Tzv.

nekompatibilne otpadne vode zagađene su otrovnim, postojanim i ostalim opasnim tvarima i bez dodatne obrade ne smiju se ispuštati u sustave javne (tj. zajedno s kućanskim i eventualno oborinskim otpadnim vodama) kanalizacije; mogućnost ponovnog korištenja u industrijskim procesima. To su industrijske otpadne vode koje je moguće u značajnom postotku, nakon provedenog prikladnog tehnološkog tretmana, ponovno iskoristiti za industrijske potrebe i tako smanjiti opterećenje kanalizacijskog sustava i, što je još značajnije, okoliša.

Najčešći parametri koji se prate u industrijskim otpadnim vodama su:

pokazatelji organskih tvari – BPK, KPK, UOU;

mikroorganizmi;

pojedinačne tvari koje su posljedica tehnološkog procesa u industrijskom pogonu, npr. teški metali, petrokemikalije, biocidi, ulja i masti, radioaktivne tvari itd.

### **1.2.3. Opće karakteristike poljoprivrednih otpadnih voda**

Oborine ili sustavi za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta ne mogu dovesti točnu količinu vode potrebnu za pojedine agrokulture na pojedinim poljoprivrednim zemljištima. Sva dovedena voda se ne može apsorbirati ili ispariti/ishlapiti s mjesta dovođenja nego će se određeni “višak” vode procijediti u dubinu do podzemnih voda ili otjecati do obližnjih površinskih voda. Taj tzv. višak vode predstavlja poljoprivredne otpadne vode.

Poljoprivredne otpadne vode potrebno je odvesti s mjesta nastajanja, dodatno obraditi i što je više moguće ponovo iskoristiti u slijedećem ciklusu navodnjavanja zemljišta.

Sastav poljoprivrednih otpadnih voda ovisi o primjenjenoj tehnologiji obogaćivanja zemljišta gnojivom, hranjivim tvarima, primjenjenim herbicidima, biocidima, fungicidima i poljoprivrednim kulturama koje se pretežno na određenim područjima uzgajaju.

#### **1.2.4. Opće karakteristike voda koje se ispuštaju u okoliš**

U Republici Hrvatskoj je Državna uprava za vode donijela *Pravilnik o graničnim vrijednostima pokazatelja, opasnih i drugih tvari u otpadnim vodama* (NN br. 40/99.) prema kojemu se propisuju granične vrijednosti pokazatelja i dopuštene koncentracije opasnih i drugih tvari za tehnološke otpadne vode, kao i za vode koje se nakon pročišćavanja ispuštaju iz sustav javne odvodnje u prirodni prijemnik (vodotoci, jezera, more).

Ukupno se kontroliraju 54 pokazatelja i tvari u vodi, a razlikuju se MDK (maksimalno dopuštena koncentracija) vrijednosti u ovisnosti o prijemniku - da li je on II, III., IV. ili V. kategorije te za slučaj kada je prvotni prijemnik otpadne vode sustav javne kanalizacije.

Kategorija pojedinog prijemnika ovisi o njegovoj procijenjenoj ekološkoj funkciji, kao i o uvjetima korištenja voda prijemnika za određene namjene (npr. kao pitka voda).

Vode I. kategorije, površinske i podzemne vode koje su još čiste, nezagađene, koje se mogu koristiti kao izvorišta pitke vode i predstavljaju "vrlo osjetljiva područja" ne primjenjuju se kao prijemnici za otpadne vode. Iznimno i pod posebnim uvjetima - na državnoj razini može se dopustiti ispuštanje otpadnih voda u ovakva područja. Povećanje broja (do V.) kategorije vode predstavlja vodu smanjene kvalitete u ekološkom smislu, odnosno, dopušteno je u takav prijemnik ispuštati jače onečišćenu otpadnu vodu.

Kategorizacija i klasifikacija voda su određeni Državnim planom za zaštitu voda (NN br. 8/99.) i *Uredbom o klasifikaciji voda* (NN br. 77/98.)

#### **1.3. Sustavi za odvodnju otpadnih voda**

Kanalizacijski sustav odvodi otpadne tvari, ali i energiju (toplinu). Njime se odvede kućanske (sanitarne) vode, industrijske otpadne vode i poljoprivredne otpadne vode.

Ako se kućanske i industrijske (prije toga dodatno obrađene) vode usmjeravaju i odvede jednim sustavom, taj se sustav tada naziva - komunalne ili gradske otpadne vode.

Brojne su izvedbe, odnosno tipovi kanalizacijskih sustava s obzirom na prihvata i odvođenje još i oborinskih voda. Tako se razlikuju razdjelni i mješoviti sustavi za odvođenje oborinskih i otpadnih voda.

S obzirom na hidrauličke uvjete u cjevovodu razlikuju se kanalizacijski sustavi s tlakom i bez tlaka (gravitacijski). Ukoliko je riječ o tlačnim sustavima, oni se mogu, ovisno o potrebama i mogućnostima izvesti kao sustavi s pretlakom ili s podtlakom (vakuumom). Gravitacijski sustavi su opterećeniji na koroziju s unutrašnje strane cijevi zbog prisustva zraka i neujednačenog nastrujavanja vode na stijenke cijevi.

Kanalizacijski sustavi su pretežno zatvorenog tipa (u cijevima). Ponekad, pretežno izvan naseljenih područja, otpadne vode se odvođuju otvorenim kanalima.

#### 1.4. Osnovni postupci obrade otpadnih voda

U tablici 2 dan je prikaz dimenzija najčešćih nečistoća u vodama.

Tablica 2. Dimenzija najčešćih nečistoća u vodama

<i>RASPON NEČISTOĆA</i>				
Grube disperzije anorganskog i organskog porijekla, mikroorganizmi	Koloidalne disperzije		Molekularne disperzije	Plinovi
$\phi$ 1 - 10 <sup>-4</sup> cm	<u>Organske</u> Ulja, masti, huminske tvari, mikroorganizmi $\phi$ 10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-6</sup> cm	<u>Anorganske</u> Gline, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> $\phi$ 10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-6</sup> cm	Otopljene soli - ioni $\phi$ 10 <sup>-7</sup> - 10 <sup>-8</sup> cm	CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub>

Osnovni postupci obrade otpadnih voda:

- mehanička obrada (suspendirane tvari) - sustavom mehaničkih sita i rešetki, taloženjem, filtracijom;
- biološki postupci (aerobni i anaerobni), korištenjem tzv. aktivnog mulja;
- uklanjanje masti i ulja - u slučaju prisutnosti masti riječ je o separaciji tekućina-krutina, a u slučaju prisutnosti ulja može se pojaviti slučaj:

1. razdvojenih kapljevina ulje/voda,

2. mehaničkih emulzija te

3. kemijskih emulzija.

Za slučaj 1. i 2. moguće je primijeniti gravitacijsku separaciju komponenti, a za slučaj 3. mora se primijeniti dodatak kemikalija i tlačna separacija ;

- kemijski postupci - dodavanje raznih kemikalija kojima se razgrađuju ili ubrzava taloženje nepoželjnih tvari iz voda
- dezinfekcijski postupci - uništavanje mikroorganizama prije ispusta otpadnih voda.

### **1.5. Postupci pročišćavanja otpadnih voda**

Pročišćavanje otpadnih voda obuhvaća sljedeće postupke:

- izdvajanje krutih sadržaja,
- izdvajanje tekućih sadržaja,
- izdvajanje plinova,
- prevođenje opasnih dispergiranih i otopljenih sadržaja u bezopasne oblike,
- smanjivanje sadržaja mikroorganizama koji izazivaju bolesti.

Uz korištenje odgovarajuće opreme, pri tome se provode pogodni fekalni, kemijski i biološki postupci.

Najčešće provedeni postupci su prikazani u tablici 3.

Tablica 3. Najčešće provedeni postupci

ZAGAĐENJE	POSTUPCI PROČIŠĆAVANJA
GRUBA ZAGAĐENJA	IZDVAJANJE NA REŠETKAMA
GRUBO DISPERGIRANA ZAGAĐENJA	TALOŽENJE, ISPLIVAVANJE
FINO DISPERGIRANA ZAGAĐENJA	ZGRUŠAVANJE, UPAHULJIČAVANJE
BIORAZGRADIVA ZAGAĐENJA	AKTIVNI MULJ, PROKAPNICI ,OKRETNI BIOLOŠKI NOSAČI , LAGUNE
OPASNI MIKROORGANIZMI	KLORIRANJE, OZONIZACIJA, UV ZRAČENJE
DUŠIK	NITRIFIKACIJA/DENITRIFIKACIJA, IZDVAJANJE AMONIJAKA, KLORIRANJE ("KRITIČNA TOČKA"), IONSKA IZMJENA
FOSFOR	KEMIJSKO TALOŽENJE, ZGRŠAVANJE (VAPNO), BIOLOŠKI POSTUPCI
TEŠKI METALI	KEMIJSKO TALOŽENJE, IONSKA IZMJENA
NERAZGRADIVA ORGANSKA ZAGAĐENJA	ADSORPCIJA AKTIVNIM UGLJENIM, OZONIZACIJA
OTOPLJENA ANORGANSKA ZAGAĐENJA	KEMIJSKO TALOŽENJE, IONSKA IZMJENA, REVERZNA OSMOZA, ELEKTRODIJALIZA

Prema stupnju pročišćavanja razlikuju se slijedeći uređaji za pročišćavanje otpadnih voda:

- prethodno pročišćavanje
- prvi stupanj pročišćavanja
- drugi stupanj pročišćavanja
- treći stupanj pročišćavanja

**PRETHODNO PROČIŠĆAVANJE** obuhvaća opremu za izdvajanje grubih zagađenja na rešetkama, te uklanjanje grubo dispergiranih sadržaja - pijesak (tone) i masnoća (isplivava). Automatska rešetka s presom izdvojenog otpada je namijenjena mehaničkom pročišćavanju raznih vrsta otpadnih voda (komunalne, industrijske, poljoprivredne). Rešetka izdvaja iz otpadne vode gruba zagađenja dimenzija jednakih ili većih od svijetlih otvora rešetke (po izboru: 2,4,6 ili 10 mm). Nakon prešanja otpad se odlaže u plastične vreće u kojima se odvozi na gradsku deponiju.

**PRVI STUPANJ PROČIŠĆAVANJA** obuhvaća opremu za provedbu fizikalnih i/ili kemijskih postupaka kojima se uklanja minimalno 50 % dispergiranih sadržaja, a BPK5 smanjuje za minimalno 20 % u odnosu na ulaznu otpadnu vodu.

**DRUGI STUPANJ PROČIŠĆAVANJA** obuhvaća provedbu bioloških postupaka kojima se smanjuje sadržaj dispergiranih tvari i BPK5 za 70 - 90 %, te KPK za minimalno 75 % u odnosu na ulaznu otpadnu vodu.

**TREĆI STUPANJ PROČIŠĆAVANJA** obuhvaća provedbu fizikalno - kemijskih i bioloških postupaka kojima se smanjuje sadržaj hranjivih sadržaja za 80 % u odnosu na ulaznu otpadnu vodu. Danas su tehnologije obrade otpadnih voda razvijene do visokog stupnja obrade pa se u ekstremnim okolnostima, ako je nužno potrebno, pročišćene otpadne vode mogu ponovno koristiti kao vode za piće. U većini slučajeva, takav visok stupanj obrade otpadnih voda nije potreban s gledišta zaštite voda, a niti opravdan s ekonomskog stanovišta jer zahtijeva velika investicijska i operativna ulaganja.

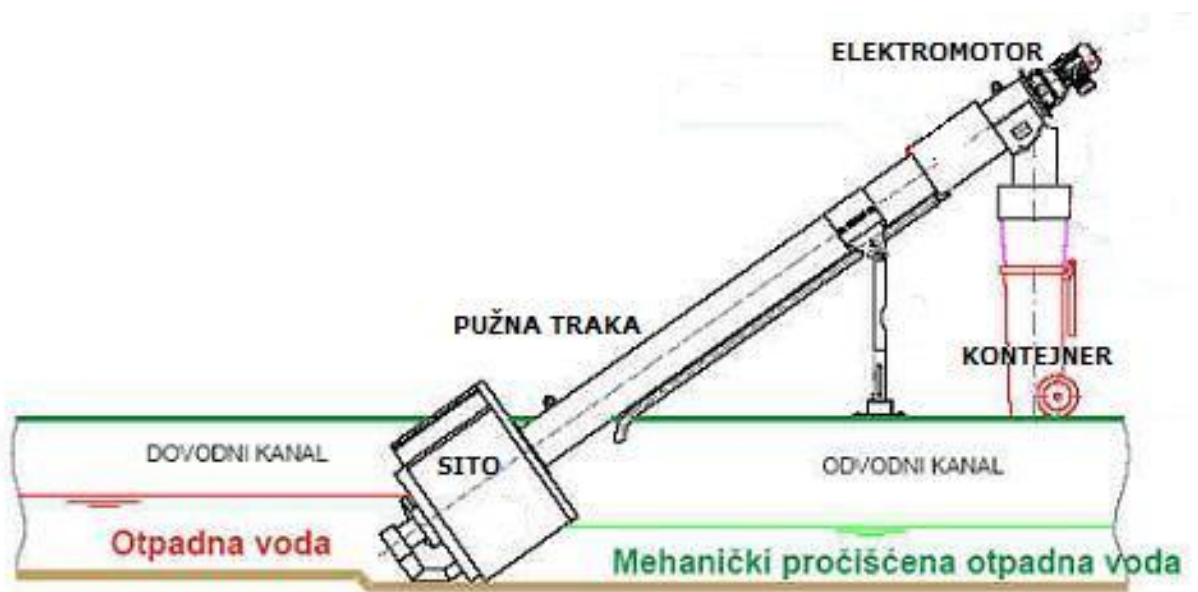


### **1.5.1. Mehaničko pročišćavanje otpadnih voda**

Prije ulaza u crpnu stanicu, otpadna voda prolaze kroz zaštitnu grubu rešetku. Na ovoj rešetki izdvaja se samo vrlo kruti i kabasti otpad koji bi mogao oštetiti crpke koje otpadnu vodu dižu 6 m do finih automatskih rešetki kojima se iz vode izdvajaju preostale nečistoće veće od 8 mm. Pijesak i zemlja, te masnoće iz otpadne vode, izdvajaju se u aeriranom pjeskolovu-mastolovu. Otpad s grube i finih automatskih rešetki, te pijesak iz pjeskolova-mastolova, zbrinjava se na gradskom odlagalištu otpada, a masti iz pjeskolova-mastolova puštaju se u crpilište primarnog mulja. U primarnim taložnicama talože prestale suspendirane organske i mineralne tvari, a u vodi ostaju samo otopljene organske i anorganske tvari. Izdvojeni primarni mulj crpi se u primarne ugušćivače mulja.

#### **Grubo i fino mehaničko pročišćavanje otpadnih voda sa egalizacijom**

Sirova otpadna voda pritječe na uređaj za pročišćavanje kroz dotočni kanal s grubim mehničkim rešetkama, gdje se odstranjuje veći kruti otpad. Djelomično mehnički pročišćena otpadna voda ulazi na vrlo finu automatsku rotacionu rešetku sa kompaktiranjem i ispiranjem sitnijeg otpada (oko 8 mm). Pijesak i masnoće iz otpadne vode izdvajaju se u mastolovu i pjeskolovu. Otpad s grube i fine automatske rešetke, te pijesak iz pjeskolova zbrinjavaju se na gradskom odlagalištu otpada. Fino mehnički pročišćena otpadna vode iz kompaktnog uređaja (sito, pjeskolov i mastolov) upuštaju se u poseban armirano-betonski bazen, gdje se vrši egalizacija tj. ujednačenje opterećenja i retencioniranje vršnih dotoka. U egalizacijski se bazen upuštaju i muljne vode iz zgušćivača mulja i strojne dehidracije mulja. Bazen je opremljen sustavom tlačne aeracije na dnu, putem koje se vrši miješanje otpadne vode u svrhu sprječavanja i prekidanja anaerobnih procesa. Iz egalizacionog bazena voda se pomoću crpki i pripadajućeg tlačnog cjevovoda tlači u središnji cilindar biološkog bloka, slike 6, 7 i 8.



Slika 6. Shema fine rešetke



Slika 7. Fina rešetka



Slika 8.Sito fine rešetke

### **1.5.2. Biološko pročišćavanje otpadnih voda**

Završno čišćenje otpadne vode vrši se u bioeracijskim bazenima. Sam postupak biološkog čišćenja otpadne vode odvija se pomoću aerobnih, a djelomično i anaerobnih bakterija. Ove bakterije koriste biološko i kemijsko zagađenje iz otpadne vode za svoj metabolizam i pritom ga mineraliziraju, čime otpadna voda postaje "čista". To je vrlo intenzivan prirodni proces razgradnje, koji se i inače ekstenzivno odvija u prirodi, gdje se smjesa otpadne vode i kontrolirano visoka koncentracija bioaktivnog mulja intenzivno miješa podvodnim elektromješačima, te pomoću cijevnih gumenih aeratora aerira sitnim mjehurićima zraka. Regulacija vremena aeracije i simultane denitrifikacije dušičnih spojeva vrši se kompjutorski prema unaprijed zadanim parametrima. Nakon određenog vremena zadržavanja u bioeracijskim bazenima, smjesa očišćene otpadne vode i bioaktivnog mulja u sekundarnim se taložnicama izbistri, te se očišćena otpadna voda gravitacijski odvodi u recipijent (rijeku), a bioaktivni mulj taloži se na dno. Iz sekundarnih se taložnica tako istaloženi bioaktivni mulja crpkama za povrat bioaktivnog mulja pomiješan s mehanički pročišćenim otpadnom vodom vraća u bioeracijske bazene, a povremeno se manji dio utvrđen laboratorijskim analizama, izuzima kao višak sekundarnog bioaktivnog mulja i crpi u primarne ugušćivače mulja na daljnju obradu.

Predviđen biološki dio sastavljaju bazeni za nitrifikaciju i denitrifikaciju. U središnji armirano-betonski cilindar kombi bazena tlačnim se cjevovodima dovodi egalizirana i fino mehanički pročišćena otpadna voda i aktivni povratni mulj. U ovom se bazenu vrlo brzo uspostavlja anoksično stanje. Bakterije aktivnog mulja odgovorne za denitrifikaciju počinju trošiti kisik iz prisutnih nitrata u egaliziranoj sirovoj otpadnoj vodi i mulju, pri čemu se izdvaja dušik u plinovitom stanju i uz pojačano mješanje sadržaja u cilindru ispušta se u atmosferu tj. vrši se denitrifikacija dušičnih spojeva. U središnjem cilindru odvija se i I. stupanj pojačane biološke eliminacije fosfornih spojeva. Iz anoksičnog dijela voda otječe u bioaeracijski bazen u kojem se vrši finalno biološko pročišćavanje, pretežno aerobna stabilizacija mulja, nitrifikacija dušičnih spojeva i finalna pojačana biološka eliminacija fosfora (50-75%). Osim toga, u bazenu se vrše i oksidacija organskih spojeva sa oslobađanjem energije i  $\text{CO}_2$ , te oksidacija aktivnog mulja u mineralni mulj sa oslobađanjem energije i  $\text{CO}_2$ . Sve navedeno se vrši putem aerobnih mikroorganizama (aktivnog mulja) uz umjetno unošenje potrebne količine kisika pomoću aeracijskih grana sa suvremenim membranskim aeratorima. Potrebna količina kisika se unosi upuhivanjem komprimiranog zraka proizvedenog na puhalima smještenim u kompresorskoj stanici. Regulacija unosa potrebne količine zraka vrši se automatski putem procesora, a prema mjerenim podacima koncentracije otopljenog kisika putem  $\text{O}_2$ -sonde. Nakon određenog vremena zadržavanja u bioaeracijskom bazenu smjesa očišćene otpadne vode i bioaktivnog mulja odvodi se iz bioaeracijskog bazena sa dna preko pripadajućeg površinskog preljeva na vanjskom obodu u sabirno okno te dalje sifonskim cjevovodima u središnju razdjelnu građevinu sekundarne taložnice. U središnjoj razdjelnoj građevini dolazi i do direktnog taloženja dijela najtežeg aktivnog mulja u lijevak središnjeg muljnog udubljenja i do završnog otplivavanja preostalog dušika. Finalno razdvajanje pročišćene otpadne vode i mulja vrši se u preostalom vanjskom prstenu taložnice u kojem se uspostavlja pretežno horizontalno strujanje ka preljevnim konzolnim žljebovima na vanjskom obodu taložnice. Pročišćena i izbistrena otpadna voda preljeva se preko preljevnog praga u odvodni žlijeb odakle se cjevovodom odvodi i upušta u izlazni kontrolno-mjerni žlijeb u kojem su ugrađeni kontrolno-mjerni instrumenti kao što su mjerač protoke, mjerač pH vrijednosti i

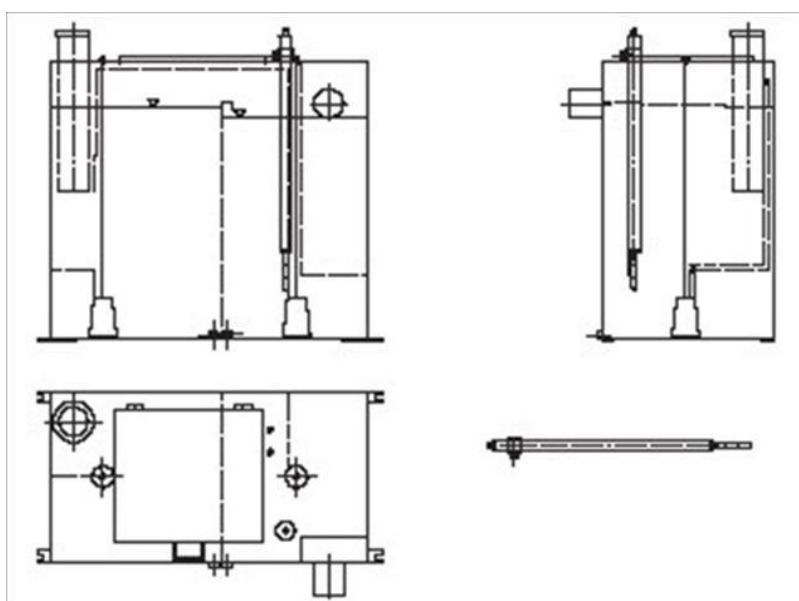
O<sub>2</sub>-sonda. Iz sekundarne taložnice se mulj vraća u biološki stupanj u svrhu održavanja potrebne koncentracije aktivnog mulja u bioaeracijskom bazenu. U procesu biološkog pročišćavanja dolazi i do nastanka viška mulja koji se usmjeruje ka klasičnom gravitacijskom zgušćivaču i spremištu viška sekundarnog mulja.

### 1.5.3. Kemijsko pročišćavanje otpadnih voda

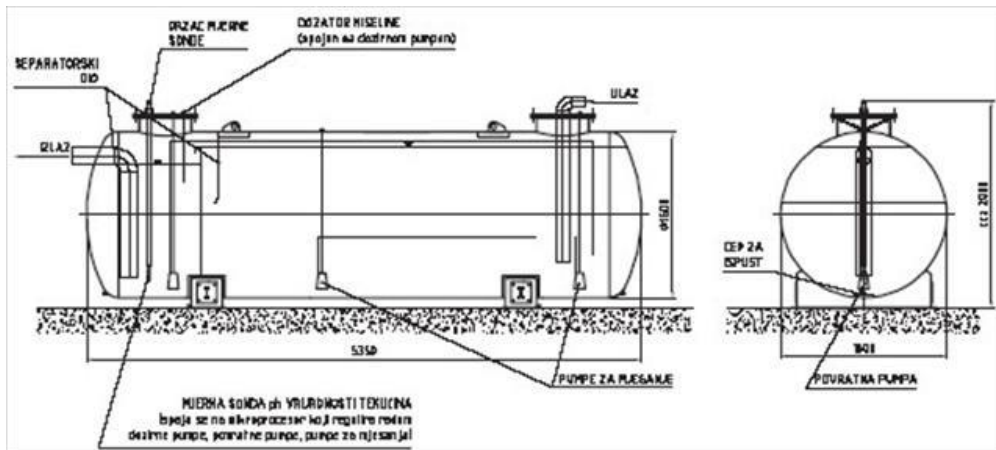
#### 1.5.3.1. Neutralizacija

Neutralizator je uređaj namijenjen korekciji Ph-vrijednosti voda koje su predviđene za ispušt u sustav odvodnje kao završna faza obrade. Isto tako uređaj je projektiran da može biti i samo jedan segment u sustavu pročišćavanja voda, slika 9.

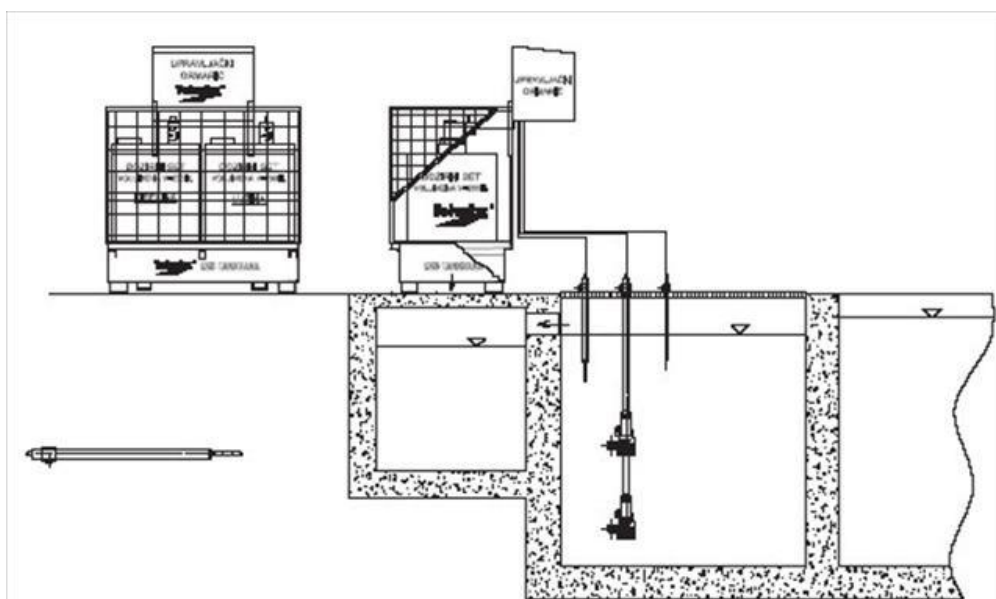
Oprema uređaja omogućava potpuno automatski režim rada, a svako odstupanje Ph-faktora u obrađivanoj tekućini bilježi pisac na pokretnoj papirnoj traci koji je smješten u upravljačkom ormariću. Unutar upravljačkog ormarića smješten je i transponder uređaj (mikroprocesor) koji upravlja sondom, dozirnim pumpama i mješalicom. Prvo programiranje i namještanje transponder uređaja vrši TEHNIX d.o.o., slika 10. U slučaju potrebe upravljanja pumpama mješalicama moguće je i analogno uz pomoć 1 0 2 preklopnika smještenih na vratima upravljačkog ormarića, slika 11 i 12.



Slika 9. Neutralizator



Slika 10. Uređaji za neutralizaciju tipa „TEHNIX“



Slika 11. Kompaktne samostalne jedinice sa svom potrebnom dozirnom, upravljačkom i mjernom tehnikom za kemijsku obradu voda.



Slika 12. Izgled upravljačke jedinice

Nakon aeracije i završne oksidacije amonijaka dolazi do porasta pH do 8,5. pH se snižava sulfatnom kiselinom na pH od 7 -7,3.

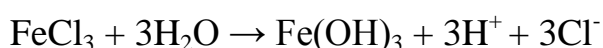
### ***1.5.3.2. Koagulacija i flokulacija***

Koloidi u vodi su gline, alumosilikati, ulja, humusne tvari, bakterije.

**Koagulacija** - dodavanje otopine željeznog (III) klorida za kompleksijsko taloženje arsena i za ukрупnjavanje koloidnih čestica, slika 13.

**Flokulacija** - dodavanje otopine anionskog polielektrolita u svrhu poboljšanja efekata koagulacije, slika 14.

Sredstva za flokulaciju su soli aluminija i željeza



Sustav primarne obrade obuhvaća procese taloženja, koagulacije, flokulacije i flotacije. Koloidne disperzije posjeduju isti naboj (najčešće negativan) zbog kojeg se međusobno odbijaju, te se zbog toga teško uklanjaju iz vode. Uklanjaju se procesima koagulacije/ flokulacije otpadne vode. Čestice se neutraliziraju pri čemu nastaju pahulje koje se dodatno povezuju pomoću flokulanta i na taj način im se poboljšava sposobnost taloženja. Flotacija je proces isplivavanja koji se koristi zasebno ili kao nastavak procesu koagulacije/flokulacije. Prirodno isplivavanje zahtjeva duže vrijeme zadržavanja otpadne vode u spremniku. Da bi se proces isplivavanja plivajućih čestica iz vode ubrzao dodaje se zrak na dnu spremnika. Kapljice masti i ulja ili nastale flokule se izdvajaju na površini tvoreći sloj zrak/čestica. Izdvojeni sloj se s površine odstranjuje automatski pomoću strugača.



**Koagulacija/flokulacija**



**Flotacijska jedinica**

**Slika 13. Postrojenje za koagulaciju**

Prirodni flokulanti su škrob, ekstrakt algi, ekstrakt sjemena lana.



**Slika 14. Bazen za flokulaciju**



## 2.0. OTPADNE VODE IZ TERMOELEKTRANA

Pregled vrsta i sustava otpadnih voda iz termoelektrana (koje inače spadaju u skupinu industrijskih otpadnih voda, prema osnovnoj podjeli otpadnih voda) u Republici Hrvatskoj dan je u tablici 4.

Obično se u sklopu termoelektrana ne nalaze kompleksni sustavi za tretman otpadnih voda, no, neki od njih su priključeni na javnu kanalizacijsku mrežu, gdje se obavlja dodatna obrada, ako je potrebno.

U tablica 4 dati su kvalitativni podaci o otpadnim vodama termoelektrana HEP-a.

Tablica 4. Kvalitativni podaci o otpadnim vodama termoelektrana HEP-a

TE HEP-a	Izvor vode	Vrsta otpadne vode	Sustav obrade	Ispust	Kontrola kakvoće otpadnih voda
<b>TE Plomin 1 i 2</b>	Bubić jama	tehnološke vode	uređaj za pročišćavanje otpadnih tehnoloških voda	u Čepić kanal preko kojeg se ulijevaju u Plominski zaljev	Vodopravnom dozvolom regulirana su redovita kvartalna mjerenja koja izvode ovlaštene laboratoriji. Evidentirani podaci dostavljaju se Hrvatskim vodama, Vodnogospodarskom odjelu određene županije
		oborinske vode s odlagališta ugljena	lamelni taložnik		
	Bubić jama (pričuva - vodovod)	zaujljene vode	separacija ulja		
	more	sanitarne vode	BIO-uređaj		
<b>TE Rijeka</b>	javni vodovod	rashladna voda	bez obrade	podvodni ispusti u more	
		tehnološke vode	uređaj za predobradu		
	more	zaujljene vode	separacija ulja	površinski ispust u more	
		sanitarne vode	BIO-uređaji		
<b>TE Sisak</b>	rijeka Sava	rashladna voda	bez obrade	oborinskom kanalizacijom u Savu	
	javni vodovod	tehnološke vode	uređaj za predobradu		
		sanitarne vode	separacija ulja		
rijeka Sava	tehnološka voda iz KPV	neutralizacija i taloženje	u Savu		
<b>TE-TO Zagreb</b>	bunari (na području TE-TO Zagreb)	ostala tehnološka voda		uređaj za predobradu	
		zaujljene vode	separator ulja + mehaničke barijere uz dodavanje koagulatora ulja		
	rijeka Sava	sanitarne i oborinske vode	bez obrade	u Savu	
<b>EL-TO Zagreb</b>	javni vodovod	rashladna voda	bez obrade		
	bunari	sanitarne vode	bez obrade		
		tehnološke vode	uređaj za predobradu	u gradsku kanalizaciju	
<b>KTE Jertovec</b>	rijeka Krapina	zaujljene vode	separacija ulja		
		rashladna voda za tornjeve	hladenje i recirkulacija		
	javni vodovod	tehnološke vode	uređaj za predobradu	u otvoreni kanal prema potoku Jertovec (pritok Krapine)	
	rijeka Krapina	sanitarne i fekalne vode	BIO-uređaj		
<b>PTE i TE-TO Osijek</b>	rijeka Drava	otpadna voda iz KPV	neutralizacija i taloženje	u gradsku kanalizaciju	
		ostala otpadna voda	lagune za taloženje		
		zaujljene vode	separacija ulja		
	javni vodovod	oborinske vode s čistih površina	bez obrade	u kanal Palčić prema Dravi	
		rashladna voda za tornjeve	hladenje i recirkulacija		
javni vodovod	sanitarne vode	bez obrade	u gradsku kanalizaciju		

Kao što se može vidjeti iz tablice 4, procesi za tretman otpadnih voda su:

- predtretman;

- mehanička separacija;
- separacija ulja (kagulacija ulja);
- biološka obrada;
- neutralizacija i sedimentacija;
- taloženje na lamelnom taložniku;
- filtracija na granuliranom aktivnom ugljenu.

Budući da je kvaliteta otpadnih voda različita od elektrane do elektrane te čak od jednog sektora do drugog sektora unutar jedne termoelektrane, ipak se te vode, prema najbitnijim karakteristikama i mjestu nastanka mogu podijeliti na sljedeće skupine:

Ispusti vode iz rashladnih tornjeva;

Ispusti vode iz kotla;

-Voda iz sustava regeneracija ionskih izmjenjivača za demineralizaciju/umekšavanje vode;

-Voda od pranja filtera;

-Otopine za čišćenje;

-Proizvedena voda za primjenu u pogonu;

-Voda opterećena korozivnim inhibitorima i biocidima.

Sva izvorišta otpadnih voda vode se obično u zajednički bazen prije obrade ili slanja direktno u javnu kanalizacijsku mrežu.

Jedna od bitnih karakteristika otpadnih voda je ciklička priroda njihovoga nastajanja (ispuštanje rashladne vode, bojlerske vode, otpadne vode od regeneracije ionskih masa..) Stoga kvaliteta i sastav prikupljene vode u zajedničkom bazenu može varirati ovisno o vremenu kada se bazen puni kojim tipom otpadne vode. Ponekad je potrebno razdvojiti tokove otpadnih voda u 2 ili više bazena i svaku od pojedinih vrsta otpadnih voda zasebno obrađivati.

Značaj obrade otpadnih voda iz termoelektrana najbolje potvrđuje podatak da je gotovo polovica ukupno nastalih otpadnih voda (podatak za SAD) pripada otpadnim vodama iz elektrana.

### 3.0. PREHRAMBENA INDUSTRIJA

Prehrambena industrija je poznata kao veliki potrošač vode i ujedno kao generator velikih količina zagađenih otpadnih voda. Prosječna potrošnja vode u odnosu na proizvod često je u omjeru 10:1 (kod kemijske industrije je taj omjer 5:1). Visoka potrošnja vode je uvjetovana strogim higijenskim mjerama i visokom kontrolom kvalitete proizvoda.

Zajedničko za sve otpadne tokove iz prehrambene industrije je prisutnost uglavnom:

- organskih spojeva koja se lako biološki razgrađuju,
- imaju tendenciju prelaska u kiselo stanje i
- sklone su brzom fermentiranju.

Efluenti iz prehrambene industrije su kompleksnog sadržaja sa visokim sadržajima suspendiranih i razgrađenih materija najvećim dijelom organskog porijekla. Uglavnom se prečišćavaju biološkim metodama obrade pri čemu im često nedostaje dušika i fosfora koji se moraju dodavati u sistem pročišćavanja. Njihov puni tretman najčešće zahtijeva kombinaciju mehaničkih, kemijskih i bioloških procesa, slika 15.

Postrojenja za pred tretman ili puni tretman otpadnih voda se uglavnom koriste kod najvećih pogona prehrambenog sektora kao što su :

- Industrija proizvodnje i prerade mlijeka
- Industrija piva
- Industrija šećera i škroba i
- Destilacijski i fermentacijski procesi.

Najčešće korištene metode pred tretmana otpadnih voda prehrambene industrije:

- Egalizacija – izjednačavanje toka i koncentracije zagađenja
- Sita i rešetke za odvajanje suspendiranih materija

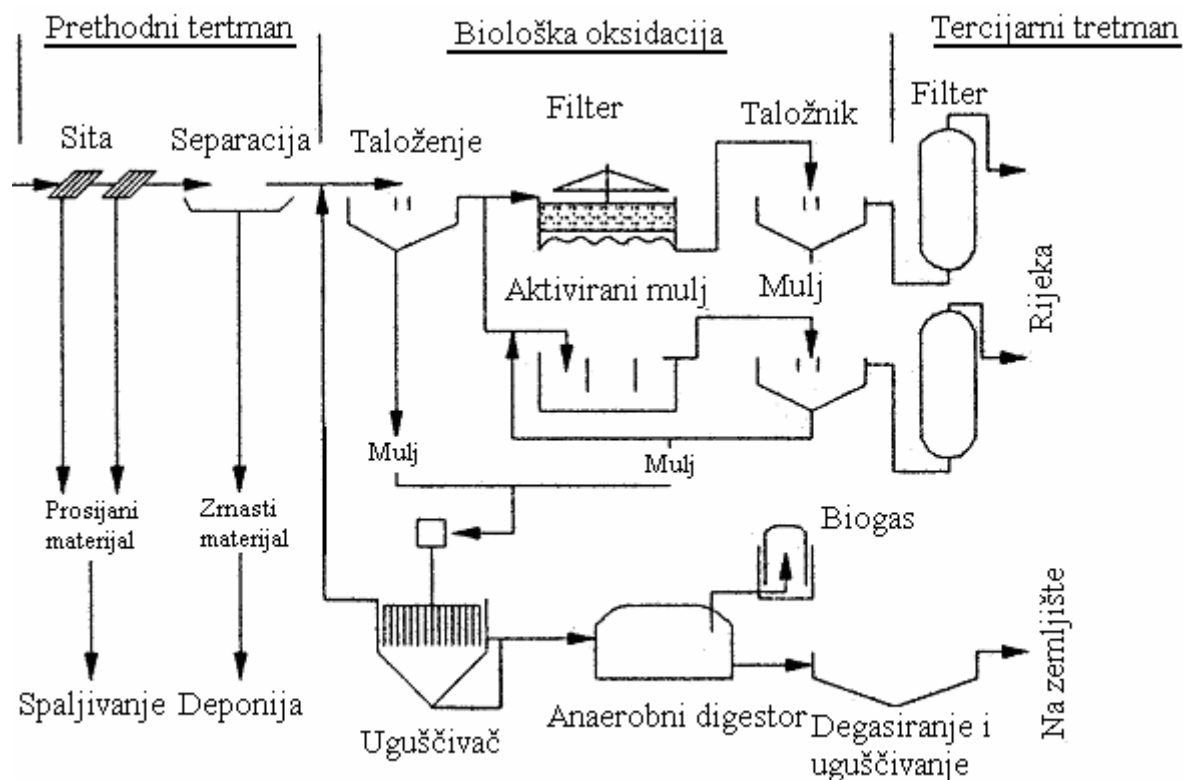
- Uklanjanje ulja i masti
- Taloženje
- Flotacija
- Kemijska obrada

### **3.1. Biološki tretman**

Otpadne vode prehrambene industrije sadrže uglavnom zagađenje organskog porijekla. U otpadnoj vodi se biološko zagađenje može nalaziti u razgrađenom, koloidnom i suspendiranom (nerazgrađenom) obliku. Dio organskog zagađenja uklanja se mehaničkim, kemijskim ili fizičko-kemijskim procesima pročišćavanja otpadnih voda. Međutim, biološki procesi zbog svoje efikasnosti i ekonomičnosti, predstavljaju danas najbolju metodu za uklanjanje organskog zagađenja iz otpadnih voda prehrambene industrije. Biološke metode pročišćavanja otpadnih voda koriste fundamentalne principe kruženja materije. Mnoge vrste mikroorganizama su aktivne u razgradnji organske materije vršeći tako stabilizaciju organskog otpada.

Dijele se na :

- aerobne, anaerobne i fakultativnim.
- Aerobni mikroorganizmi trebaju molekularni kisik za svoje procese metabolizma.
- Anaerobni organizmi žive bez prisutnosti kisika i crpe energiju iz organske materije.
- Fakultativni organizmi mogu djelovati u prisustvu kao i u odsustvu kisika.
- U procesima za biološku obradu otpadnih voda većina mikroorganizama je fakultativnog tipa.



Slika 15. Tretman voda u prehrambenoj industriji

Shodno vrstama mikroorganizama koji sudjeluju u procesu, u prečišćavanju otpadnih voda biološkim metodama koriste se:

- aerobni procesi biološkog pročišćavanja i
- anaerobni procesi biološkog pročišćavanja.

### **Aerobni biološki procesi pročišćavanja**

Danas se u obradi otpadnih voda najčešće koriste aerobni biološki procesi i to:

- postupak aktivnog mulja,
- biološka filtracija,
- bio-diskovi i
- aerobne / fakultativne lagune.

### **Procesi pročišćavanja vode sa aktivnim muljem**

Uklanjanje organskog zagađenja iz otpadne vode pomoću aerobnih mikroorganizama. Mikroorganizmi, uglavnom bakterije, protozoe i metazoe nalaze se na želatinoznim pahuljicama mulja u bazenu za aeraciju, gdje se uz pomoć kisika u

procesu metabolizma mikroorganizama osigurava razgradnja organskog zagađenja. Izdvojeni mulj u taložniku vraća se u recirkulaciju, slika 16.

## Opterećenja

Različiti sistemi obrade sa aktivnim muljem razlikuju se po opterećenju biomase sa organskim zagađenjem na dan.

Koriste se slijedeći sistemi:

- visoko opterećeni aktivni mulj  $C_m > 0,5$  kg BPK5/ kg mulja na dan
- srednje opterećeni aktivni mulj  $C_m = 0,2-0,5$   
“
- nisko opterećeni aktivni mulj  $C_m = 0,07 - 0,2$   
“
- vrlo nisko opterećeni aktivni mulj  
( produžena aeracija )  $C_m < 0,07$

Kod aktivnog mulja se često koristi i termin opterećenje zapremine bazena sa organskom materijom • visoko opterećenje  $C_{vol} > 1,5$  kg BPK5 po  $m^3$  zapremine aerotanka

- srednje opterećenje : BPK5 =  $0,6 - 1,5$  kg/ $m^3$
- nisko opterećenje : BPK5 =  $0,35 - 0,6$  kg/ $m^3$
- produžena aeracija :  $C_{vol} < 0,35/m^3$



Slika 16. Bazen za konvencionalni tretman

### **Kontaktna stabilizacija**

Biološki uređaj sa aktivnim muljem pogodan za prečišćavanje manjih količina otpadne vode 200 – 2000 m<sup>3</sup>/dan. Sastoji od dva koncentrično postavljena rezervoara dubine oko 4 m i pregradom unutarnjeg rezervoara 4 – 9 m i vanjskog 10-20 m. Vanjski rezervoar ima ulogu aeracionog bazena. Prostor između zidova u ovom rezervoaru je podijeljen na tri komore : za aeraciju, reaeraciju i aerobnu stabilizaciju mulja. Centralni dio ili unutarnji bazen ima ulogu taložnika, slika 17.



Kontaktna stabilizacija

Slika 17. Bazen za kontaktnu stabilizaciju

### **Tehnologija pročišćavanja otpadne vode se sastoji od tri osnovne operacije :**

aeracije-taloženja-reaeracije mulja kako slijedi:

- aeracija ulazne otpadne vode sa povratnim aktivnim muljem,
- zadržavanje do dobivanja pročišćene vode
- taloženje i odvajanje faza pročišćene vode i mulja.
- Pročišćena voda se ispušta.
- reaeracija mulja iz taložnika sa ispuštanjem viška mulja u aerobni stabilizator.

Period aeracije : 2 – 3 sata

Period reaeracije mulja : 4 – 6 sati

#### **3.1.1. Biološka filtracija**

Kod biološke filtracije organsko zagađenje iz otpadne vode se razgrađuje pri aerobnim uvjetima putem mikroorganizama koji se nalaze vezani na filterskom mediju u obliku fine prevlake ili filma. Debljina filma raste uslijed rasta mikroorganizama sve dok vanjski sloj ne apsorbira svu organsku materiju i uzrokuje da unutarnji sloj koji je uz medij, pređe u endogenu fazu i počne gubiti sposobnost prijanjanja uz filterski medij. Biološki filteri ( percolating filters) su okrugli betonski bazeni pregrade 6 – 50 m u kojima se nalazi ispuna od prirodnog ili vještačkog



materijala na čijoj se površini formira film od mikroorganizama koji vrše razgradnju organskog zagađenja iz otpadne vode koja rosi filter, slika 18.



Slika 18. Izgled biofiltera

Organsko opterećenje biofiltera se izražava kao  $\text{kgBPK}_5 / \text{m}^3$  ispune.

Hidrauličko opterećenje biofiltera je vrlo važan tehnološki parametar i izražava se kao:

$\text{M}^3$  otpadne vode /  $\text{m}^2$  poprečne površine ili po  $\text{m}^3$  ispune

**Primjenom plastične ispune za biofiltere moguće je graditi biofiltere i do visine od 12 m.**

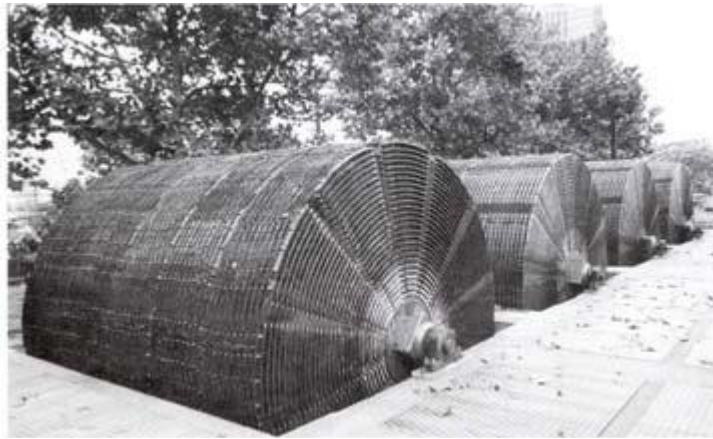
Zahvaljujući velikoj visini i dužem vremenu prolaza vode kroz ispunu biofiltera, moguće je obrađivati:

- visokoopterećene tokove prehrambene industrije kao što su:
- pivovare, mljekare,

- pogoni za preradu voća i povrća,
- klaonice i industrije mesa,
- vinarije i sl.

### **Rotirajući biodiskovi (rotating biological contactors)**

Proces prečišćavanja vode sa rotirajućim biodiskovima je proces sa vezanom kulturom mikroorganizama gdje medij rotira na čvrstom nosaču u bazenu sa otpadnom vodom. Mikroorganizmi se nalaze vezani na velikim diskovima od sintetike koji rotiraju na jednoj osovini sa elektromotorom, uronjeni oko 40 % u bazenu sa vodom. Obično su diskovi 3-3,5 m u prečniku i rotiraju sa perifernom brzinom od 0,3 m/s, slika 19 i 20.



Slika 19. Biodiskovi na otvorenom



Slika 20. Natkriveni biodiskovi

## **Lagune**

Lagune su plitki, prostrani, zemljani bazeni u kojima se uglavnom prirodnim putem razgrađuje organsko zagađenje iz otpadne vode. Koriste se uglavnom tamo gdje postoji raspoloživo zemljište i pogodni klimatski uvjeti. Čišćenje u lagunama je vrlo blisko postupku samopročišćavanja vode u prirodnim vodnim sistemima. Uz biološke procese u lagunama se istovremeno odvija i taloženje i isplivavanje u vodi prisutnih materija. U zavisnosti od organskog opterećenja, dubini vode u laguni i klimatskim uvjetima, razgradnja organske materije se odvija putem aerobnih ili anaerobnih procesa uz fotosintezu algi.

Lagune mogu biti:

- aerobne (prirodna aeracija),
- fakultativne (aerobno-anaerobne) i
- aerirane.

Također, lagune mogu biti sa :

- kontinuiranim ispustom,
- kontroliranim ispustom ili sa
- zadržavanjem (bez ispuštanja u površinske vode).

### **3.1.2. Tretman i odlaganje mulja**

Procesi tretmana efluenta generiraju nastajanje čvrstih materija. Pri procesima tretmana otpadnih voda nastaju različite vrste otpadnih muljeva koje je potrebno odgovarajuće tretirati i sigurno odložiti. U prosijeku oko 70-80% organskog karbona se kod biološkog prečišćavanja pretvara u suhe čvrste materije. Taloci i muljevi su visoko toksični zagađivači koji zagađuju okolinu i izazivaju neugodne mirise. Oni mogu biti opasni jer apsorbiraju i akumuliraju patogene organizme i toksine. Spaljivanje se smatra kao ekološki najbolja solucija za rješavanje taloga i muljeva iz procesa obrade otpadnih voda. Ugušćivanje taloga i muljeva može znatno smanjiti. Najčešće se koristi stabilizacija mulja putem anaerobne digestije pri čemu se

dobije koristan biogas i stabilizirani muljni ostatak koji se može odlagati na deponije ili koristiti u poljoprivredi i proizvodnji komposta. Najpodesnije vrste otpada za daljnje kondicioniranje su one koji sadrže visoku koncentraciju vlaknastih materija, kao što su otpadi iz prerade povrća i iz industrije papira, koji sadrže ove materije i do 5%.

### **Obrada mulja**

Primarni i višak sekundarnog bioaktivnog mulja u primarnim se ugušćivačima ujednačeno zgušćuje, a volumen mulja se smanjuje za 4-5 puta u odnosu na ulazne količine. Tako pripremljeni primarno zgusnuti mulj uz dodatak vrlo male količine flokulanta - polielektrolita za poboljšanje flokulacije, a time i dehidracije, mulj se mehanički dehidrira na centrifugama. Izdvojena se muljna voda s centrifuga i primarnih ugušćivača vraća na ulaz u crpnu stanicu na ponovno pročišćavanje. Po izlasku dehidriranog mulja iz centrifuga u mješaču za kemijsku stabilizaciju dehidriranom mulju dodaje se manja količina kalcijevog oksida - živo vapno, čime je djelomično stabiliziran. Konačna stabilizacija dehidriranog mulja završava nakon jednomjesečnog odležavanja na platou za zriobu mulja. Mulj je uz prethodno obavljene analize mulja i poljoprivrednog tla, moguće koristiti u poljoprivrednoj proizvodnji zdravstveno ispravne hrane ili komposta, čime se poboljšavaju ukupni efekti pročišćavanja otpadnih voda. Postiže se održivi razvoj, zatvara se kružni tok tvari u prirodi, tj., tvar se vraća na njezino ishodište.

### **Odlaganje mulja**

Spaljivanje nije najprihvatljiviji metoda odlaganja taloga u Europi uslijed visokih troškova i u usporedbi sa drugim metodama. Spaljivanje u fluidiziranom sloju je efikasnije uslijed boljeg miješanja. Jedan od najvećih problema sa spaljivanjem je nastajanje dioksina, furana i drugih ostataka iz reakcija na nižim temperaturama.

### **Korištenje mulja u poljoprivredne svrhe**

Najpopularniji način odlaganja mulja. Prerađeni otpadni mulj predstavlja izvor hranljivih materija za biljke i služi za kondicioniranja tla. Mulj je dobar izvor inertnih

organskih materija. Većina nitrogena koji potiču iz digestiranog mulja je u obliku amonijaka, koji je dobro razgradiv.

### **3.2. Idejno rješenje uređenja uređaja za egalizaciju otpadnih voda u industriji mlijeka**

Mljekara je dužna za svoje tehnološke otpadne vode ispuniti uvjete za ispuštanje u javnu kanalizaciju. Uvjeti su propisani Vodopravnom dozvolom i Dozvolbenim nalogom.

Kao ulazni uvjeti koristi se izvješće o ispitivanju otpadne vode dobiveno od investitora prema kojem su najvažniji parametri:

pH..... 6.60

ukupna tvar sušena..... 636 mg/l

ukupno mulja .... 6.06 mg/l

temperatura..... 32.5 °C

Kako navedeni podaci odgovaraju uvjetima za ispuštanje u javnu kanalizaciju planira se u I fazi samo egalizacija otpadne vode, dok je u II fazi moguće postaviti i opremu za neutralizaciju ukoliko će se ukazati potreba. Prema podacima investitora treba računati sa 273 m<sup>3</sup>/h i 11.3 m<sup>3</sup>/h.

#### **Tehnički opis**

Sirova otpadna voda iz dolaznog cjevovoda u količini 11.3 m<sup>3</sup>/h ulazi u crpni šaht volumena vode 7.5 m<sup>3</sup> od kuda se potopljenim crpkama prebacuje u egalizacijski bazen volumena vode 43.2 m<sup>3</sup>. Potopljene crpke su dvije (jedna radna, jedna pričuvna – sa naizmjeničnim radom) sa ugrađenim kominutorom (usitnjivačem). Svaka crpka ima svoju tlačnu cijev sa nepovratnim ventilom što olakšava održavanje i servisiranje.

Egalizacijski bazen je pravokutnog presjeka, pokriven nagaznom rešetkom na i nosačima (sve vruće cinčano). Na podu egalizacijskog bazena nalazi se mlazna mješalica sa usisom zraka koja neprekidno miješa i aerira vodu u bazenu kako bi se sastav vode egalizirao i spriječilo taloženje. Izlaz iz egalizacijskog bazena je kontrolno okno za uzimanje uzoraka preko spojne cijevi na kojoj se nalazi elektromagnetski ventil. Elektromagnetski ventil je upravljani preko nivo plovaka (otvara se kada je bazen pun, a zatvara kada se bazen ispraznio).

Mjerenje pH se obavlja sondom koja se nalazi u mjernom oknu, a na panelu postoji mogućnost očitavanja trenutnog pH i pH u zadnjih 30 dana. U mjernom oknu je moguće i uzimanje uzoraka za analizu. Upravljanje opremom jeste iz komandnog samostojećeg elektroormara, slika 21.

Ukoliko se tijekom rada bazena za egalizaciju ukaže potreba za neutralizaciju otpadne vode (pH izvan područja 5.5-9) tada se na planirani plato treba postaviti

oprema za neutralizaciju. Najbolje sredstvo za neutralizaciju će tada trebati odrediti laboratorijskim pokusom.

### **Specifikacija opreme i radova**

Potopljene crpke,  $Q= 6 \text{ l/s}$ ,  $H=6 \text{ m}$ ,  
sa usitnjivačem, sa vodilicama

Tlačni cjevovod sa nepovratnim ventilom, 2 kom

Mješalica, propelerska, sa usisom zraka i kompresorom

Čelična cijev, za spoj egalizacijskog  
bazena i izlaznog šahta, inox

Nagazna rešetka  $F= 15 \text{ m}^2$  sa nosivim  
profilima I 200 i kopčama, sve vruće cinčano

pH sonda sa pretvornikom za mjerenje,  
mjernim kabelom i armaturom

Elektrokomandni ormar, samostojeći sa upuštačima,  
PLC, upravljački panel, pomoćni releji,  
nivo sklopke i priključna kutija u crpnom šahtu i  
egalizacijskom bazenu



Slika 21. Egalizacijski bazen

## **4.0. ZAKLJUČAK**

Najveće potencijalno zlo koje danas prijete čovječanstvu je zagađenje vode, zraka i tla. Četiri petine svjetskog stanovništva zagađenu vodu i nečistu sredinu u kojoj živi plaća vlastitim životom. Svrha odvodnje i izgradnje odvodnih sustava je sakupljanje otpadnih i ostalih suvišnih voda, njihovo odvođenje izvan naseljenih mjesta, pročišćavanje do željenog stupnja čistoće i ispuštanje u vodoprijemnik koji će ih moći primiti. Izgradnja kanalizacije ima ogroman utjecaj na podizanje kulturnog i higijenskog standarda čovjeka, stvaranje boljih životnih uvjeta i većeg blagostanja. Odvodnja otpadnih voda je vrlo važna komunalna djelatnost, pored toga što je odraz civilizacijskog dosega bitna je i zbog održavanja kvalitete i zdravstvene ispravnosti voda na željenom visokom nivou. Na taj način podižemo kvalitetu svakodnevnog života na višu razinu, a naš grad činimo ljepšim i poželjnijim mjestom za život.

## 5.0. Literatura

- [1] Jurac,Z.,Otpadne vode,Veleučilište u Karlovcu,Karlovac,2009,ISBN 978-953-7343-24-8.
- [2] Jurac,Z.,Kemijsko biološke opasnosti, Veleučilište Karlovcu,Karlovac,2010, ISBN 978-953-7343-39-2.
- [3] [www.odvodnja.hr](http://www.odvodnja.hr)
- [4] [www.heis.com.ba](http://www.heis.com.ba)
- [5] [www.pbf.hr](http://www.pbf.hr)
- [6] [www.prvimaj.hr](http://www.prvimaj.hr)
- [7] [www.tehnix.hr](http://www.tehnix.hr)
- [8] [www.vvk.hr](http://www.vvk.hr)
- [9] Tehnologija za zaštitu okoliša ; HUBER technology (katalog)