# Efikasnost sustava za pročišćavanje otpadne vode

**Vargović, Stjepan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:431991

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

University North Digital Repository

Sveučilište Sjever

**Diplomski rad br. 47/ARZO/2022**

# Efikasnost sustava za pročišćavanje otpadne vode

**Stjepan Vargović, 2610/336**

Koprivnica, rujan 2022

Sveučilište Sjever

**Studij Ambalaža, recikliranje i zaštita okoliša**

**Diplomski rad br. 47/ARZO/2022**

# Efikasnost sustava za pročišćavanje otpadne vode


**Student**

Stjepan Vargović, 2610/336

**Mentor**

izv. prof. dr. sc. Lovorka Gotal Dmitrović, dipl.ing.kem.tehn.



Koprivnica, rujan 2022. godine

**Sveučilište Sjever**
Sveučilišni centar Koprivnica
Trg dr. Žarka Dolinara 1, HR–48000 Koprivnica

# 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: Stjepan Vargović | MATIČNI BROJ: 0067322159

DATUM: 12.09.2022. | KOLEGIJ: Razvoj modela složenih sustava u zaštiti okoliša

NASLOV RADA: Efikasnost sustava za pročišćavanje otpadne vode

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU: Efficiency of the wastewater treatment system

MENTOR: izv.prof.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović | ZVANJE: izvanredna profesorica

ČLANOVI POVJERENSTVA:
1. izv.prof.dr.sc. Krunoslav Hajdek - predsjednik
2. izv.prof.dr.sc. Bojan Šarkanj-član
3. izv.prof.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović-mentorica
4. red.prof.dr.sc. Mario Tomiša - zamjenski član
5.

## Zadatak diplomskog rada

BROJ: 47/ARZO/2022

OPIS:

U radu objasniti vrste otpadnih voda te nabrojati metode i postupke njihove obrade. Jasno definirati razliku između mehaničkih, bioloških i fizikalno-kemijskih postupaka.
U eksperimentalnom dijelu navesti koje parametre će se obraditi te korištenjem statističkih metoda obraditi rezultate analize i izračunati efikasnost pročišćavanja za svaki od parametara.
Prikazati dobivene rezultate tablično.
Rad treba završiti zaključkom u kojem će se dati glavni zaključci o efikasnosti rada sustava za pročišćavanje otpadne vode.
Diplomski treba biti koncipiran na način:
- Uvod
- Teorijski dio: - Otpadne vode,
  - Metode i postupci obrade otpadne vode,
  - Praktični dio
- Rezultati i rasprava
- Zaključak

ZADATAK URUČEN: 15.9.2022 | POTPIS MENTORA:

SVEUČILIŠTE SJEVER

# Sažetak

Rad se bazira na sustavima za pročišćavanja otpadne vode. Na samom početku prikazan je povijesni razvoj tehnologije pročišćavanja. U radu su opisane mogućnosti pročišćavanja korištenjem različitih tehnoloških procesa i vrstama pročišćavanja. Na stvarnom primjeru obrađena je tehnologija pročišćavanja u svrhu izračunavanja efikasnosti pročišćavanja. Prikupljeni su podaci uzorkovanjem vode na ulazu i izlazu sustava za pročišćavanje vode. Podaci su obrađeni korištenjem statističkih metoda za obradu i analizu podataka. Korištenjem obrađenih podataka izračunata je efikasnost pročišćavanja za svaki analiziran parametar. Na temelju dobivenih rezultata doneseni su zaključci o efikasnosti pročišćavanja otpadne vode za svaki od parametara na Sustavu za pročišćavanje otpadne vode u Koprivnici.



Ključne riječi: *UPOV Koprivnica, dušik, KPK, $BPK_5$, fosfor, suspendirana tvar*

# Abstract

The work is based on wastewater treatment systems. At the very beginning, the historical development of purification technology is presented. The paper describes the possibilities of purification using different technological processes and types of purification. Purification technology was processed on a real example for the purpose of calculating the purification efficiency. Data were collected by sampling water at the inlet and outlet of the water treatment system. Data were processed using statistical methods for data processing and analysis. Using the processed data, the purification efficiency was calculated for each analyzed parameter. Based on the obtained results, conclusions were made about the efficiency of wastewater treatment for each of the parameters of the Wastewater Treatment System in Koprivnica.



*Key words: UPOV Koprivnica, nitrogen, COD, BOD5, phosphorus, suspended matter*

# Sadržaj


**1. Uvod** ..... 1

**2. Otpadne vode** ..... 2

**3. Metode i postupci obrade otpadne vode** ..... 4

**3.1. Povijesni razvoj obrade otpadne vode** ..... 4

**3.2. Mehanički postupci pročišćavanja otpadnih voda** ..... 6

**3.3. Biološki postupci pročišćavanja otpadnih voda** ..... 8

**3.4. Fizikalno-kemijski postupci obrade otpadnih voda** ..... 14

**4. Eksperimentalni dio** ..... 16

**4.1. UPOV Koprivnica** ..... 16

**4.2. Metode obrade otpadne vode na UPOV Koprivnica** ..... 18

**4.3. Analiza otpadne vode na UPOV Koprivnica** ..... 28

**5. Rezultati i rasprava** ..... 33

**5.1. Učinkovitost uklanjanja dušika** ..... 38

**5.2. Učinkovitost uklanjanja KPK** ..... 39

**5.3. Učinkovitost uklanjanja $BPK_5$** ..... 40

**5.4. Učinkovitost uklanjanja fosfora** ..... 41

**5.5. Učinkovitost uklanjanja suspendirane tvari** ..... 42

**6. Zaključak** ..... 43

**7. Literatura** ..... 47

Popis slika ..... 48

Tablice ..... 49

# Popis kratica

pH – pH vrijednost

$BPK_5$ – petodnevna biokemijska potrošnja kisika

KPK – kemijska potrošnja kisika

ES – ekvivalent stanovnika

SBR - Sequencing batch reactor

UPOV – Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda

MDK – maksimalna dozvoljena koncentracija

TOC-V - Total organic carbon analyzer

TNM-1 - Total nitrogen measurement

# 1. Uvod

Proces pročišćavanja otpadnih voda je glavni infrastrukturni projekt u svim razvijenim zemljama. Nažalost čovjek je sa svojom aktivnošću uništio ili zagadio većinu prirodnih zaliha voda te se u novije doba pomno počeo baviti problemom otpadnih voda. Postoje različite tehnologije pročišćavanja otpadnih voda koje se i dalje razvijaju u različitim smjerovima koristeći nove tehnologije.

Svako pročišćavanje je dobro i sigurno je da poboljšava standard života ljudi te utječe na floru i faunu te okoliš. Naravno da bi trebalo stremiti što modernijim tehnologijama koje daju sve bolje i bolje rezultate izlaznih otpadnih voda.

Veliki problem kod pročišćavanja otpadnih voda predstavlja otpadni mulj. Muljevi dobiveni procesom pročišćavanja kategorizirani su kao otpad. Još uvijek postoje problemi sa zbrinjavanjem muljeva no naziru se kvalitetna rješenja ovisno o zagađenosti samog mulja.

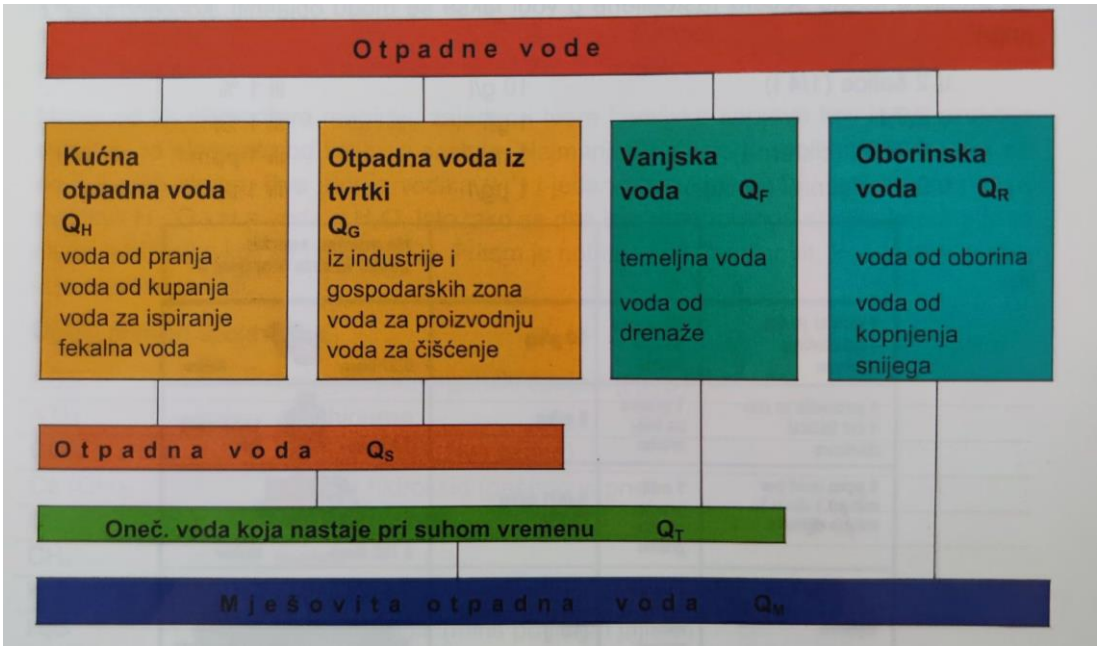
S današnjim tehnologijama moguće je postići više nego zadovoljavajuće rezultate u obradi onečišćene otpadne vode. Bitan faktor u ovom sustavu gospodarenja je pridržavanje zakonskih okvira koji su propisani.

Kontinuirani nadzor i analiza otpadnih voda bitna je iz više razloga. Praćenjem stanja ulazne i izlazne otpadne vode može se pravovremeno reagirati i spriječiti dodatna onečišćenja recipijenta. Zbog toga bi svaki uređaj za pročišćavanje otpadnih voda trebao biti opremljen laboratorijem koji omogućava testiranje uzoraka kojima se može jamčiti kvaliteta i ispravnost pročišćene otpadne vode.

Pridržavanje svih tehnoloških i zakonskih pravila uz kvalitetnu tehnologiju omogućeno je ispuštanje zadovoljavajuće pročišćene otpadne vode natrag u prirodu bez opasnih nuspojava po floru i faunu. U ovom radu bavilo se rješenjima i mogućnostima pročišćavanja otpadnih voda. Sve je prikazano na jednom stvarnom primjeru uz primjenu jedne od tehnologija pročišćavanja.

# 2. Otpadne vode

Voda koja se koristi u kućanstvima i industriji prilikom upotrebe onečišćuje se raznim tvarima. Način života u današnje vrijeme omogućuje infrastrukturu koja je svima normalna stvar te se ne obraća prevelika pažnju na otpadnu vodu koja se ispušta. U sustavu odvodnje i pročišćavanja veliku ulogu na kvalitetu otpadne vode imaju industrije koje imaju zadane propise kojih se moraju pridržavati. [1] Onečišćenja nastaju krutim i tekućim tvarima kao što su pijesak, fekalije i urea te se dijele na topive i netopive tvari. Važno obilježje otpadnih vode je njihov kemijski sastav. Razlikuju se anorganske (mineralne) tvari (pijesak, sol, metali) i organske tvari (bjelančevine, šećer, masnoće, mineralna ulja, fekalije). [2] Zbog raznolike upotrebe vode u kućanstvima i industriji otpadne vode uvijek imaju različita svojstva te u pravilu nikad nisu potpuno istog sastava (Slika 2.1.).

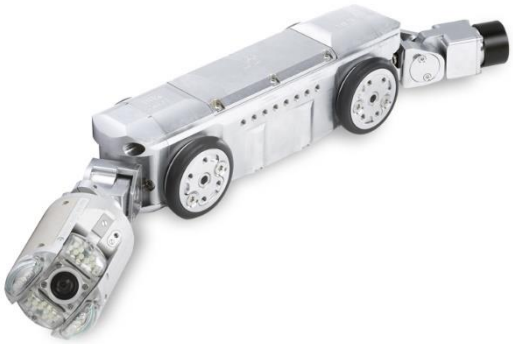



Slika 2.1. Pojmovi različitih vrsta otpadnih voda [2]

Pomoću ovog prikaza vidljivo je da se u sustavu odvodnje sva voda iz različitih izvora spaja u mješovitu otpadnu vodu te kao takva završava na uređajima za pročišćavanje. Važno je napomenuti da se neke industrijske vode posebice iz teških industrija ne smiju ispuštati u javni sustav odvodnje bez prethodnog tretmana unutar samog pogona. Vode nastale uslijed poljoprivredne djelatnosti su izrazito organski zasićene (masovni uzgoj životinja) te se kao takve moraju prije ispuštanja u sustav javne odvodnje prethodno obraditi.[3] Ukupnu količinu otpadne vode koja nastaju čine otpadne vode iz kućanstva, iz industrije i oborinske otpadne vode.[4] Sva kućanstva koja su spojena na sustava javne odvodnje, svoje otpadne vode ispuštaju u sustav. Industrijska postrojenja ukoliko nemaju svoje vlastite bunare, gotovo svu potrošenu

vodu ispuštaju u sustav javne odvodnje. Oscilacije u ispuštenoj otpadnoj vodi događaju se uslijed raznih elemenata (vikend, turistička sezona, praznici). Industrijske otpadne vode mogu se u većini slučajeva procijeniti po utrošenoj vodi u pojedinoj industriji.

Radi ocjene kakvoće otpadne vode provode se fizikalna i kemijska analiza. Najvažniji kriteriji koji daju informaciju o kakvoći otpadne vode su boja, mutnoća, miris, temperatura, taložive tvari te tvari koje se mogu isfiltrirati, pH-vrijednost, otopljene i neotopljene tvari, organske i anorganske (mineralne) tvari, mjerne vrijednosti za $BPK_5$, KPK, $NH_4$-N, $NO_3$-N, ulja, masnoće, zapaljive tvari, otrovne tvari, infektivne tvari.[2] Otpadne vode iz kućanstva onečišćene su različitim uzročnicima bolesti (bakterije, virusi, paraziti). Glavna uloga kanalizacijskog sustava je da zaprima otpadne vode te ih sigurno transportira do željenog mjesta bez da se naruši sigurnost ljudi, životinja i prirode. Kanalizacija je jedna od najvažnijih stavki izgradnje infrastrukture za bolju kvalitetu života. Kroz povijest se svjedočilo velikom ugrožavanju života bez uređene kanalizacije i zbrinjavanja fekalija. Sustavi kanalizacije su jedan od najskupljih infrastrukturnih projekata te se moraju graditi planski i kvalitetno. Sustavi moraju biti nepropusni ne samo zbog ispuštanja otpadnih vode nego i zbog prodora podzemnih ili drenažnih voda u sustav kanalizacije. Održavanje kanalizacije važno je koliko i njena izgradnja. Tehnološkim razvojem dostupno je sve više alata za lakše nadziranje i provjeru kanalizacijskih sustava kao što su mobilne kamere, razni detektori i sl. (Slika 2.2.) .



Slika 2.2. Kamera za snimanje kanalizacije IBAK T-66 [5]

# 3. Metode i postupci obrade otpadne vode

Tijekom povijesti proces obrade otpadnih voda evolvirao je sa stupnjem svijesti o potrebi zaštite voda te tehnološkom razvoju pojedinih područja. Nažalost danas u 21. stoljeću još uvijek postoji nebriga oko otpadnih voda te velika šteta koja se radi lokalnom stanovništvu pojedinih država, kao što su Indija, Siera Leone te Kenija.[6]

## 3.1. Povijesni razvoj obrade otpadne vode

Jedan od prvih zapisa o obradi otpadne vode zabilježen je u današnjem Pakistanu 1500 g. pr. Kr. Nalazi su otkriveni 40-ih g. 20. st. te je pronađeno da je u navedenom naselju svaka kuća imala vlastiti sanitarni čvor. Voda koja se koristila za pranje i kupanje, kao i kišnica, tekla je posebnim žljebovima u kanale koji su izgrađeni s odgovarajućim nagibom potrebnim za transport vode u rijeku Ind.[7]

Prvi kolektor otpadne vode pojavio se u drevnom Rimu oko 500 g. pr. Kr. U slijedećim stoljećima nekoliko puta je bio povećavan te na kraju i natkriven.[7] Preljev iz kolektora otpadnu vodu odvodio je u rijeku Tiber. Prvo „pročišćavanje“ otpadne vode putem sedimentacije te djelomična ponovna upotreba zabilježena je u 12 st. na tlu Europe. Korištenjem niza preljeva i jama dio vode se odvajao te se koristio za zalijevanje ili za umjetna jezerca.

Situacija se nakon toga stoljećima nije previše mijenjala pogotovo u većim gradovima, gdje se otpadna voda i fekalije izlijevaju direktno na ulice i uličice. Domaće i divlje životinje bile su normalna pojava na takvim ulicama gdje su se hranile ostatcima bačenim na ulicu. Zbog svega navedenog to je bilo razdoblje obilježeno raznim bolestima koje su nastale zbog osobne higijene ljudi. Situacija se počinje mijenjati u 19. st. izgradnjom raznih verzija vodovoda te samim korištenjem vode u sanitarnim čvorovima. Počinju se graditi i koristiti zatvoreni i otvoreni jarci za odvod otpadne vode. Pošto je krajem 19. st. zabilježena velika migracija stanovništva u gradove, sustavi odvodnje otpadne vode postali su nužnost. Spominje se primjer Londona koji je usporedno uz obale rijeke Temze izgradio odvodne kanale koji su prikupljali otpadnu vodu te je ispuštali u rijeku nizvodno od grada.[7] London može poslužiti kao primjer izgradnje kanalizacije koja se događala tokom 19. st. no sa druge strane može biti i primjer nebrige oko ispuštanja otpadnih voda pogotovo industrijskih otpadnih voda. Tlo i rijeka Temza bili su toliko zagađeni da je voda za piće često bila štetna kao i otpadna voda. Stanje rijeke Temze i okolnih kanala najbolje je bilo opisano fotografijom (Slika 3.1.) iz satiričnog magazina „Punch“ iz 1858. g.[7]



Slika 3.1. Crtež iz satiričnog magazina „Punch“ prikazuje iznimnu zagađenost rijeke Temze [7]

Navedeni događaji zajedno s razvojem znanosti donijele su novi način razmišljanja znanstvenika te početak rada na rješavanju problema vezanog uz otpadne vode. Početak istraživanja mikrobiologije voda seže čak u 17. st. no sam proces pročišćavanja voda nije bio otkriven na načine koje danas poznajemo. Postupak sedimentacije mulja pomoću aeracije predstavili su Edward Arden i William T. Locket 1914. g. u Manchesteru na uzorku otpadne vode iz gradske kanalizacije.[7] Ovaj način pročišćavanja uznapredovao je idućih godina te je 1920.g u Engleskog gradu Sheffildu konstruirano prvo postrojenje za pročišćavanje otpadne vode pomću sedimentacije.

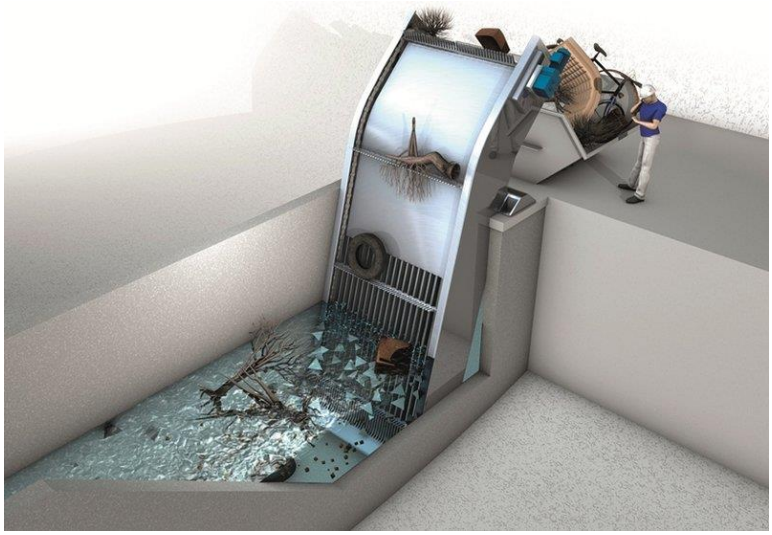
Razvojem tehnologije diljem svijeta, migracijama stanovništva iz ruralnih područja u urbana središta, tehnologija pročišćavanja otpadnih voda postala je jedna od glavnih infrastrukturnih zadaća. Saznanjima o štetnosti otpadnih voda na rezerve vode za ljudsku upotrebu prilikom nekontroliranih ispuštanja u tokove rijeka, jezera i prirodne jame razvoj tehnologije je rapidno napredovao. Radi zaštite svojih stanovnika veliki gradovi oformili su čitave odjele posvećene ispitivanju kakvoće vode za ljudsku upotrebu te odjele brinu o pročišćavanju otpadnih voda.

## 3.2. Mehanički postupci pročišćavanja otpadnih voda

Krute tvari u vodi ponašaju se sukladno načelima gravitacije ukoliko ne postoje prevelike turbulencije u vodi. Tvari veće gustoće od vode se talože na dnu a tvari manje gustoće od vode plivaju na površini.[2] Mehanički postupci koji se najčešće koriste u pročišćavanju otpadnih voda su:

- Rešetanje (usitnjavanje)
- Taloženje i isplivavanje
- Izjednačavanje i neutralizacija.

**Rešetanje** je faza pročišćavanja gdje se uklanjanju krupne tvari čvrste konstrukcije. Sam proces je dosta jednostavan te uključuje prolazak otpadne vode kroz niz rešetki raznih promjera koje postepeno odvajaju kruti otpad iz vode. Postupak je jeftin i dosta bitan zbog zaštite daljnje opreme kao što su pumpe koje jednostavno ne bi mogle prihvatiti takvu vodu. Otpad koji se odstrani na rešetkama automatski se odvaja te se elevatorima ili ručno prebacuje u za to predviđene spremnike. Na većini uređaja koriste se 3 vrste rešetki: grube (Slika 3.2.), srednje i fine. Postavljenje su uzastopno te svaka odvaja svoju zadanu gradaciju otpada. Grube rešetke imaju otvor od 50-100mm, srednje rešetke su otvora od 10-25mm te fine rešetke otvora od 3-10mm.



Slika 3.2. Gruba rešetka TrashMax [8]

Proces koji zamjenjuje korištenje niza rešetki za uklanjanje krutog otpada zove se usitnjavanje. Proces funkcionira na način da noževi sjeckaju kruti otpad na određenu gradaciju, najčešće 3-8mm. Ovaj proces se izbjegava zbog toga jer voda obrađena na ovaj način u sebi sadrži više krutih čestica nego voda koja prolazi kroz sustav rešetki.[9] To sve dovodi do povećane količine taloženog materijala koji je većinom anorganskog podrijetla.

**Taloženje** je važan proces u mehaničkom odvajanju otpada. Primjenjuje se za izdvajanje mineralnih čestica iz otpadne vode. Princip rada taložnika je baziran na gravitaciji te se odvija na način da čestice teže od vode padaju na dno taložnika te se potom izdvajaju u pripadajuće spremnike. Turbulencija vode u taložniku se smanjuje da bi proces taloženja bio što uspješniji. Muljevi i masnoće koji u taložniku isplivaju se također izdvajaju iz vode. Probleme u radu taložnika može izazvati dotok hladne vode, kao kod topljenja snijega jer je gustoća dolazne voda gušća u odnosu na onu u taložniku. Kvaliteta taloženja ovisi o vremenu zadržavanja vode te turbulencijama unutar taložnika. Izdvajanje abrazivnih čestica putem taloženja štiti opremu na uređajima, posebice crpke i pumpe. Najčešće se koriste 2 vrste pjeskolova, uzdužni i kružni. Uzdužni pjeskolovi se sastoje od minimalno dvije komore, jedna koja je u pogonu, a druga koja se čisti. Prednost takvog sustava je taloženje pijeska i odvajanje organske tvari, smanjenje obujma objekta te uklanjanje neugodnih mirisa. [10] Kružni pjeskolovi (Slika 3.3.) koriste centrifugalnu silu za ekstrakciju krutih čestica. Krute čestice se potom transportiraju i ispiru od ostataka bioloških primjesa te spremaju u spremnik.



Slika 3.3. Kružni pjeskolov [11]

**Izjednačavanje** je proces u kojem se otpadna voda zasićena određenim supstancama izjednačava u za to predviđenim spremnicima dodavanjem uobičajene otpadne vode. Ovaj proces se radi zbog zaštite samog procesa pročišćavanja koji bi mogao biti lošiji nego što je uobičajeno zbog prezasićene otpadne vode. Proces najčešće podrazumijeva izjednačavanje pH

vrijednosti te smanjenje toksičnosti vode. Industrije odrađuju proces izjednačavanja unutar svojih internih uređaja za pročišćavanje prije ispusta vode u sustav javne odvodnje. Izjednačavanje se provodi na nekoliko načina [12]:

- Miješanjem kiselih i lužnatih voda – provodi se u industriji gdje istovremeno nastaju i kisele i lužnate otpadne vode
- Filtracijom kiselih otpadnih voda – provodi se kroz filtarski sloj čije je punjenje lužnato
- Dodavanjem kemijskih sredstava (vapno, kiseline, ugljikov dioksid).

## 3.3. Biološki postupci pročišćavanja otpadnih voda

Veliki dio organskih tvari sadržanih u otpadnim vodama sastoji se od otopljenih ili jako fino disperziranih čestica koje se ne talože u taložnici.[2] Reduciranje takvih čestica u vodi je moguće pomoću bioloških postupaka. Biološko pročišćavanje otpadnih voda uvelike ovisi o karakteristikama otpadnih voda. Ukoliko su otpadne vode prezasićene toksičnim tvarima biološko pročišćavanje neće biti moguće. Proces ovisi i o tome da li otpadne vode sadrže biološka onečišćenja. Temperatura je također bitan čimbenik u procesu biološke razgradnje. Biokemijski procesi se ubrzavaju kako se diže temperatura. Svi procesi kod nižih temperatura su usporeni a pogotovo aerobni. Mikroorganizmi koriste organske tvari iz otpadne vode kao hranu te pritom razgrađuju organska onečišćenja. Prema količini otopljenog kisika u vodi i prilikama u staništu, u biološkoj obradi otpadnih voda se odvijaju sljedeći procesi:[9]

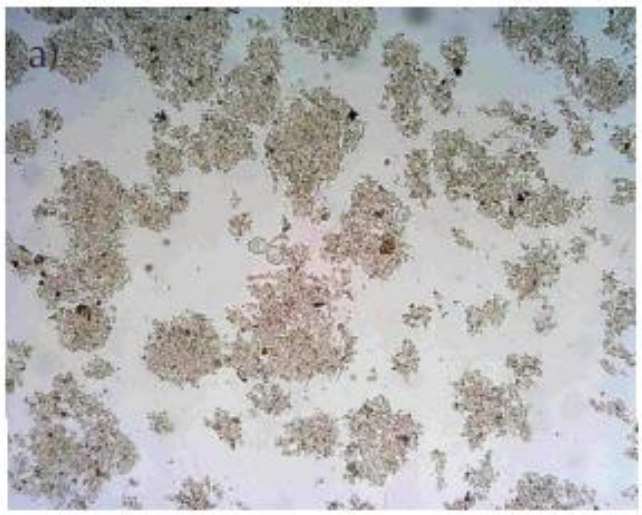
- aerobna tvorba i razgradnja stanica - Ukoliko u otpadnoj vodi postoje uvjeti mikroorganizmi upotrebljavaju organsku tvar iz otpadne vode za tvorbu novih kolonija stanica. Uz dovoljnu količinu otopljenog kisika u otpadnoj vodi biomasa se razgrađuje a kao produkt nastaju ugljikov dioksid, voda i ostatak nerazgradivog materijala. Proces završava uginućem mikroorganizama koji onda postaju hrana ostatku mikroorganizama u vodi.

- anaerobno kiselo vrenje i metanska razgradnja stanica - Kod anaerobnih uvjeta (nedostatak kisika) mikroorganizmi u otpadnoj vodi koriste ugljik iz vode kao akceptor. Anaerobna razgradnja se odvija u dvije faze kiseloj i metanskoj. Kod kiselog vrenja događaju se procesi u kojima bakterije razgrađuju organsku tvar na organske kiseline, amonijak, sumporovodik i vodu. U drugoj fazi, metanske bakterije razgrađuju organske kiseline na metan, ugljikov dioksid i vodu te se tijekom razgradnje organske tvari razmnožavaju novi mikroorganizmi.

**Bakteriološka oksidacija i redukcija** - Spojevi dušika su sastavni dio otpadne vode. Dio mikroorganizama za svoju prehranu koristi dušik umjesto ugljika. Procesom organske oksidacije dušika i amonijaka dobivano nitrite i nitrate. Proces koji se događa naziva se nitrifikacija. Da bi došlo do učinkovitog procesa nitrifikacije starost mulja mora biti veća od brzine rasta nitrificirajućih bakterija.[9]

**Obrada otpadne vode aktivnim muljem** odvija se pomoću prisustva dovoljnih količina kisika u vodi. Svi aerobni biološki postupci temelje sa na principima samo-pročišćavanja, kao temeljnog svojstva prirodnog okoliša.[13] Zbog svog visokog učinka pročišćavanja te tehnološko financijske strane proces pročišćavanja aktivnim muljem je trenutno najkorištenija tehnologija u svijetu. Pročišćavanje velikih količina otpadne vode (ovisi o veličini bio reaktora) odvija se iznimno brzo. Aktivni mulj predstavljaju mikroorganizmi čija se aktivnost može prikazati kao biološki proces, a za uspješnu kontrolu potrebno je nadzirati njihov rast, odnosno kontrolirati čimbenike koji utječu na njih.[13] Mikroorganizmi svojim djelovanjem uz prisustvo kisika razgrađuju otopljene tvari u otpadnoj vodi. Mikrobna zajednica u bio reaktorima sastoji se od bakterija, alga, protoza, metazoa i rotifera. Mikroorganizmi moraju imati određene uvjete kako bi odrađivali svoj posao. Temperatura, razina biološkog onečišćenja, razina kisika, pH vrijednosti te toksičnost vode utječu na uspješnost procesa pročišćavanja.

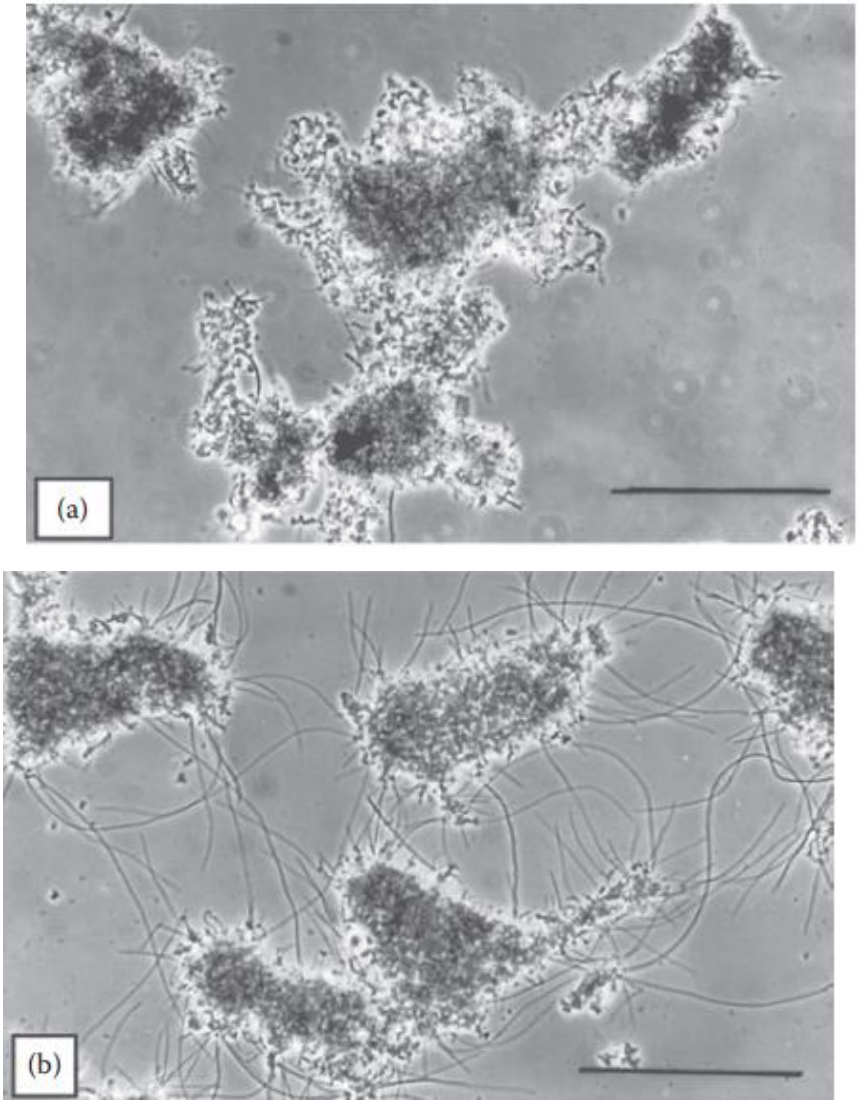
Aktivni mulj nastaje međusobnim povezivanjem mikroorganizama i suspendiranih tvari u veće ili manje nakupine zvane pahuljice (Slika 3.4).[13]




Slika 3.4. Mikrofotografija pahuljica aktivnog mulja, P=100x [13]

Najzastupljeniji mikroorganizmi u aktivnom mulju su bakterije kojih ima i do 95% te su odgovorne za oksidaciju i transformaciju većine organske tvari. Bakterije u procesu prehrane tvore tvari koje omogućuju flokulaciju tj. stvaranje muljnih pahulja.

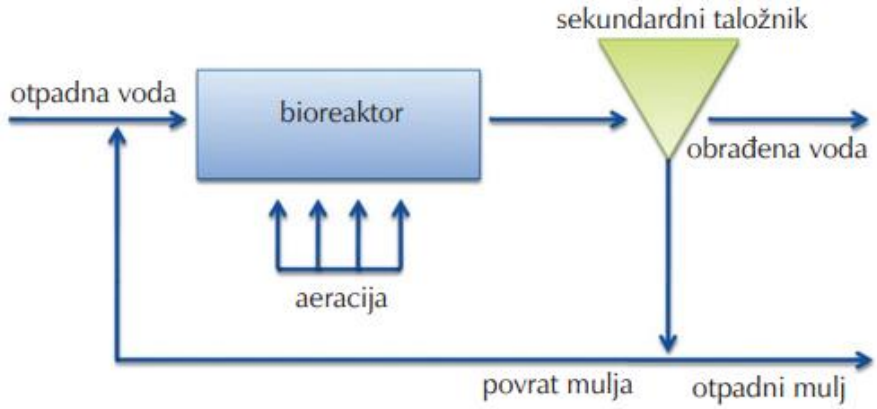
Sedimentacija pahulja se odvija pomoću gravitacije. Bakterije su mikroorganizmi te su premale i prelagane da bi samostalno sedimentirale. Nasreću, u pravim uvjetima rasta, bakterije u suspendiranim kulturama rasta rastu u kolonijama ili želatinozi koju nazivamo bioflok.[14] Na sljedećim slikama vidljive su dobro razvijene kolonije bakterija koje tvore bioflok (a), te slabo taloženje zbog neprimjerenog broja loših bakterija (b).




Slika 3.5. Mikrofotografije aktivnog mulja, a) Dobro stvorena kolonija bakterija povezana u bioflok, b) Loše stvorene kolonije zbog pretjeranog broja cjevastih bakterija [14]

Nitaste bakterije su bitne zbog povezivanja u bioflok no ako ih ima previše sposobnost njihovog taloženja se smanjuje te može doći do neželjenih posljedica. Uklanjanje organskih

tvari provodi se pomoću aerobnih mikroorganizama koji se nalaze unutar pahuljice ili na pahuljici aktivnog mulja.[13]

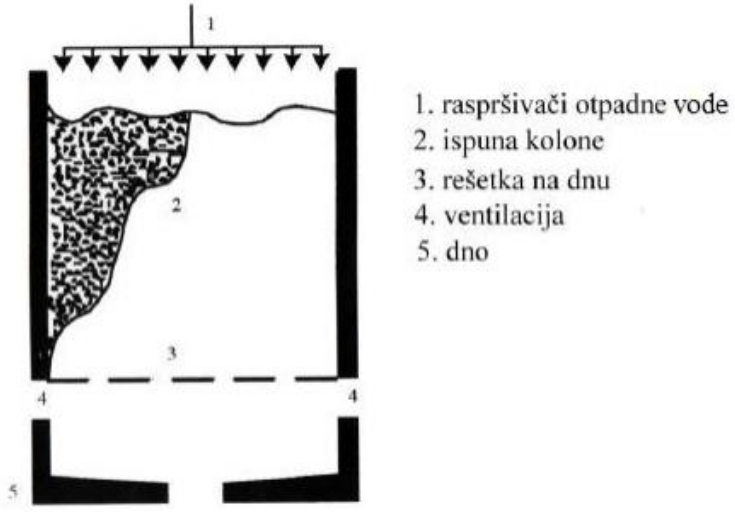



Slika 3.6. Proces obrade otpadne vode aktivnim muljem [13]

Aeracijom u bioreaktoru osigurava se dovoljna količina kisika za mikroorganizme te izmjena supstrata potrebnih za održavanje životne aktivnosti mikroorganizama. U sekundarnom taložniku razdvaja se čvrsta faza (aktivni mulj) od pročišćenog izlaznog toka.[10]

Dio aktivnog mulja vraća se u bioreaktor kao ponovni aktivator procesa a otpadni mulj se dalje obrađuje ovisno o izvedbi uređaja za pročišćavanje. Uspješnost samog procesa uvelike ovisi o mnogo faktora kao što su temperatura, razina pH, toksičnosti itd.

**Obrada otpadne vode prokapnicima** je najstarija metoda obrade otpadnih voda. Prokapnici su betonski spremnici izvedeni u kružnom obliku. Sam dizajn im je dosta jednostavan te se sastoji od rešetke, otvora za aeraciju raspršivača vode te volumskih i plošnih ispuna (Slika 3.7.)



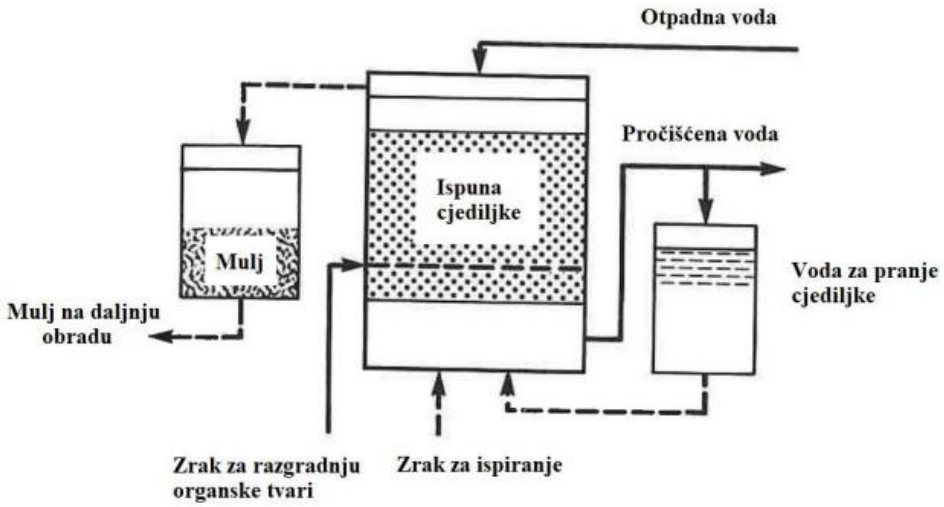

Slika 3.7. Prokapnik [12]

Volumske ispune se sastoje od granulata raznih gradacija u rasponu od 4-10 cm. Plošne ispune mogu biti tvrde ili meke te se izrađuju od folija i tkanina. U slučaju obrade otpadne vode u prokapniku mikroorganizmi rastu pričvršćeni na čvrstu površinu. [12]

Iz samog dizajna spremnika vidljivo je da se proces odvija pomoću gravitacije uz strujanje zraka. Otpadna voda dovodi se do raspršivača te se prska po površini prokapnika na kojem je nastanjena biomasa koja se sastoji od bakterija, protozoa i metazoa.

Dio biomase se postepeno odvodi sa pročišćenom vodom te se na tim mjestima nastanjuju novi organizmi. Gubitak mikrobiološke naslage naziva se ispiranje prokapnika.[9] U ovom procesu otpadna voda mora biti prethodno tretirana kako ne bi dolazilo do začepljenja raspršivača.

**Obrada otpadne vode biološkim cjediljkama** koje su uređaji u kojima se odvija proces razgradnje organske tvari s mikroorganizmima pričvršćenim na podlozi.[12]




Slika 3.8. Biološka cjediljka [12]

Za podlogu rasta mikroorganizama koriste se kuglice gline dovoljne gradacije da se spriječi začepljenost. Proces se odvija pomoću gravitacije, voda dolazi odozgo a zrak se upuhuje u kontra smjeru (Slika 3.8.).

Biološka cjediljka ima 2 faze razgradnje, aerobnu koja se odvija u gornjem dijelu te anaerobnu koja se odvija u donjem dijelu. Cjediljka istodobno djeluje i kao naknadni taložnik, što rezultira vrlo visokom kakvoćom pročišćene vode.[9]

Biološke cjediljke su najisplativije kod pročišćavanja industrijskih otpadnih voda sa visokim udjelom organske tvari. Puno su isplativije te zauzimaju mnogo manje prostora nego uređaji na principu obrade aktivnim muljem.

**Obrada otpadnih voda u lagunama** (Slika 3.9.) je prirodan proces koji se odvija bez dodavanja dodatnih komponenata. To su plitko iskopani zemljani spremnici u kojima se voda zadržava dovoljno dugo kako bi se prirodnim procesima pročistila. Kod gradnje laguna važna je njena nepropusnost radi sprječavanja onečišćenja podzemnih voda.

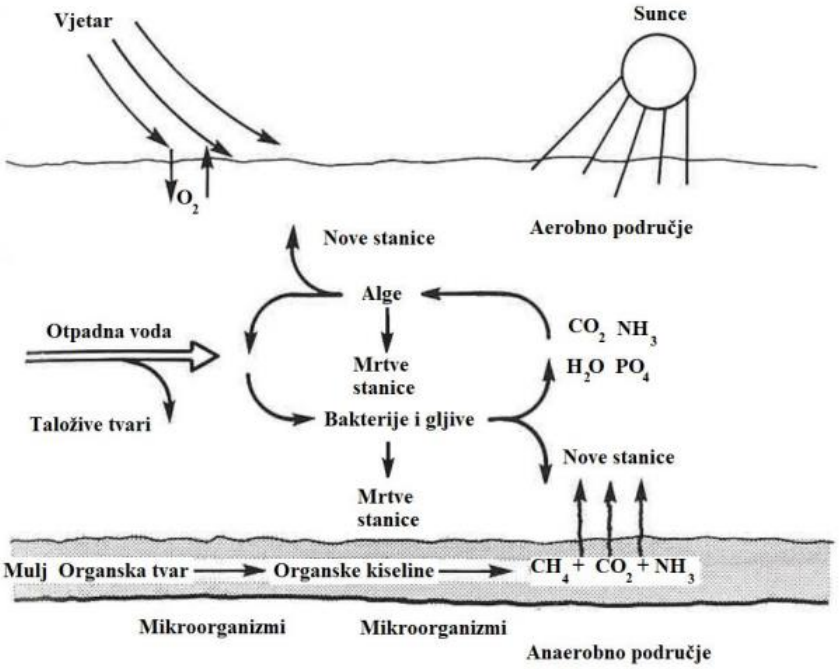


Slika 3.9. Izgled lagune [15]

Kod laguna za korištenje otpadnih voda ovisno o njezinoj dubini odvija aerobnu i anaerobnu razgradnja. Kod iznimno plitkih laguna odvija se samo aerobna faza jer je kisik dostupan u svim dijelovima lagune.

Također, u takvim tipovima lagune sunčeva svjetlost prodire do dna te se proces fotosinteze odvija u svim dijelovima. Kod dubokih laguna proces obrade otpadne vode odvija se u 2 faze (Slika 3.10.).

U površinskom dijelu sa dostupnim kisikom odvija se aerobna faza, a u dubljem dijelu bez kisika i svijetlosti odvija se anaerobna faza. Razgradnja organske tvari u lagunama je niska zbog manjeg broja mikroorganizama te se sama otpadna voda zadržava u spremnicima duže.




Slika 3.10. Procesi u lagunama [9]

U lagunama se odvija i isparavanje dijela vode što je također dio procesa pročišćavanja. Problem kod laguna je njihova sporost te taloženje mulja kojeg nakon toga treba ukloniti.

Mulj također može izazvati neugodne mirise u blizini laguna te tako narušavati kvalitetu života okolnom stanovništvu. Danas se lagune najčešće koriste u intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji pogotovo u stočarstvu.

## 3.4. Fizikalno-kemijski postupci obrade otpadnih voda

Fizikalno-kemijskim tretmanom otpadnih voda žele se prije svega ostvariti slijedeći ciljevi [2]:

- Neutralizacija kiselih i alkalnih voda
- Precipitacija anorganskih tvari
- Razdvajanje koloidalno otopljenih tvari
- Poboljšanje stupnja učinkovitosti uređaja za suspenziju, flotaciju i filtriranje.

**Neutralizacija** se provodi samo u ekstremnim situacijama jer uobičajeno mješovite komunalne otpadne vode nemaju visok udio teških metala. Udio metalnih soli se povećava u otpadnom mulju te je zbog toga proces neutralizacije potreban.

Mulj s visokim udjelom metalnih soli je veliko opterećenje za okoliš i ne može ga se koristiti za daljnju upotrebu. Za biološko pročišćavanje aerobnim putem udio pH u otpadnoj vodi mora

biti od 7.0 – 7.5. Otpadne vode iz industrija koje sadrže visok ili nizak udio pH dodaju se kiseline ili lužine radi neutralizacije takve vode.

**Precipitacija** je proces koji otopljene tvari u otpadnim vodama dodavanjem kemikalija i pomoću kemijske reakcije pretvara u neotopljene oblike.[2] Primjena precipitacije je najčešće u teškim industrijama te se često provodi zajedno s neutralizacijom. Često se provodi precipitacija fosfata u otpadnoj vodi.[2]

Izdvajanje fosfora se nekad radilo fizikalno-kemijskim postupkom, dok se danas koriste bakterije koje u određenim uvjetima vežu fosfor. Bakterije imaju to svojstvo da pod stresnim uvjetima mogu prihvatiti znatno više fosfora nego u normalnom stanju.[2]

Kod stalne promjene uvjeta iz aerobnog u anaerobno bakterije vežu povećane količine fosfora. Ovaj proces se odvija u nekom pred-tretmanu ili se u bioreaktoru umjetno stvore anaerobni uvjeti.

**Detoksikacija** je proces uništavanja ili pretvaranje otrovnih spojeva (cijanidi, kromati, nitriti i sulfidi…) ili tvari u otpadnoj vodi u spojeve koji nisu štetni.[2] Uglavnom se provodi dodavanjem tvari koje na sebe vežu otrovne spojeve te se potom sedimentiraju.[16]

**Flokulacija** podrazumijeva proizvodnju suspenzivnih flokula iz neotopljenih fino disperziranih tvari. Flokulansi su najčešće metalne soli koje u otpadnoj vodi same stvaraju flokule. Flokulacija se povremeno koristi kako bi se poboljšala loša svojstva suspenzije aktivnog mulja u bazenima za sekundarno pročišćavanje.[1]

# 4. Eksperimentalni dio

## 4.1. UPOV Koprivnica

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Koprivnici izgrađen je 2007. g. od strane poduzeća Astra International d.d. Zagreb, po sistemu ″ključ u ruke″ a na bazi međunarodnog FIDIC standarda. Uređaj je III. stupnja pročišćavanja i kapaciteta od 100.000 ES i radi na principu SBR tehnologije.

Tehnologija koja se koristi na UPOV Koprivnica (SBR) je neprekinuti postupak biološke obrade gdje se u jednom reaktoru naizmjenično odvijaju različiti procesi ukupnog procesa obrade, kao što su punjenje, aerobne reakcije, anaerobne reakcije, sedimentacija i odvođenje pročišćene vode.[18] Postrojenje se sastoji od prihvata otpadne vode preko grube rešetke, daljnu obradu putem fine rešetke i pjeskolova, 4 SBR bazena za obradu otpadne vode te 2 muljna bazena. (Slika 4.1)

Sabirno otpadne vode koja se obrađuje na UPOV Koprivnica prikupljaju se putem javne mreže odvodnje u dužini od 295 km. Mreža se proteže kroz 1 grad i 9 općina te se na njoj nalaze 34 pumpne stanice koje reguliraju protok vode prema UPOV Koprivnica.

Mreža ima 5 retencijskih bazena koji služe kao zaštita od prelijevanja vode uslijed povećanih oborina ili prirodnih katastrofa. Na mrežu su trenutno priključena 11 972 kućanstva te 905 industrijskih korisnika.

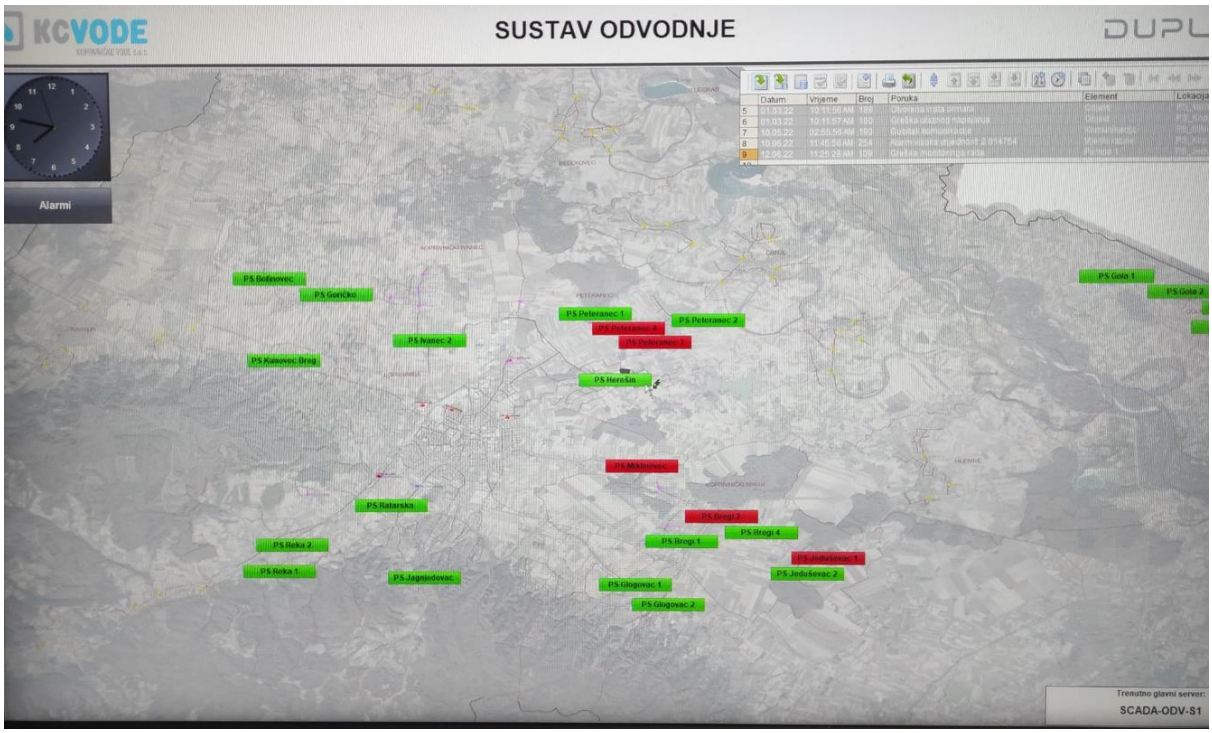
Prihvat vode 2021. g. je ukupno 2.258,356 m3, a od toga je 1.309,629 m3 otpadalo na kućanstva te 948,727 m3 na industrijske korisnike. Prema ovim podatcima može se zaključiti da na UPOV Koprivnica stiže više komunalnih otpadnih voda nego industrijskih.



Slika 4.1. UPOV Koprivnica, [17]

Nadzor pumpnih stanica vrši se putem programa SCADA (Slika 4.2.) te je u potpunosti automatiziran te se njime može upravljati na daljinu i dobivati podatke u realnom vremenu. Trenutno je u fazi izgradnje novih 10,7 km sustava javne odvodnje te 27 prepumpnih stanica i 4 retencijska bazena.

Koprivničke vode sudjeluju u procesu aglomeracije te su sredstva za izgradnju nove infrastrukture dobivena iz fondova Europske unije te uz suradnju sa Hrvatskim vodama. Izgradnja komunalne infrastrukture te mogućnost stanovnika na priključenje na sustav javne odvodnje u ruralnim područjima od iznimne je važnosti za očuvanje okoliša te poboljšanje kvalitete života stanovništva.




Slika 4.2. Sustav SCADA nadzora pumpnih stanica

## 4.2. Metode obrade otpadne vode na UPOV Koprivnica

Obrada otpadne vode na UPOV Koprivnica odvija se u 3 faze da bi na izlazu bila voda odgovarajuće kvalitete za ispuštanje u prirodni prijemnik (Slika 4.3.). Uz 3 faze obrade otpadne vode vrši se i obrada otpadnog zraka te otpadnog mulja. U nastavku je opisan cijeli proces obrade otpadne vode.



Slika 4.3. Uzorci Izlazne i ulazne otpadne vode

**Mehanička obrada otpadne vode**

Početak procesa pročišćavanja otpadne vode započinje priljevom vode iz glavnog gradskog kolektora na automatsku grubu rešetku (Slika 4.4.). Njezina uloga je uklanjanje svih krutih onečišćenja koja su veća od 50 mm. Otpad koji se odvaja na gruboj rešetki transportira u za to predviđene spremnike. Otpad se karakterizira se kao otpad ključnog broja 19 08 01 (ostatci na sitima i grabljama)[19].



Slika 4.4. Gruba rešetka na UPOV Koprivnica

Nakon automatske grube rešetke otpadna voda dolazi u kompaktni uređaj koji se sastoji od fine rešetke, pjeskolova te mastolova (Slika 4.5.). Fina rešetka odvaja onečišćenja na istom principu kao i gruba rešetka samo što je razmak lamela na njoj znatno manji te odvaja sitniji otpad.

Pomoću pjeskolova iz otpadne vode se izdvaja pijesak i sitne strugotine. Unutar pjeskolova se upuhuje zrak. Masnoće i ulja isplivavaju na površinu i izdvajaju se pomoću pumpe i skladište u pripadajući spremnik.



Slika 4.5. Vertikalni pjeskolov i mastolov na UPOV Koprivnica

Izdvojene masnoće su karakterizirane kao otpad pod ključnim brojem 19 08 10* (mješavine masti i ulja iz separatora ulje/voda, koje nisu navedene pod 19 08 09*) [19]. Ovaj otpad karakteriziran je kao opasan otpad te za njega postoje posebna pravila zbrinjavanja.

Pijesak i strugotine se pomoću horizontalnog pužnog transportera koji se kreće u suprotnom smjeru od smjera toka vode dopremaju do vertiklanog pužnog transportera. Izdvojeni pijesak i strugotine transportiraju se do za to predviđenih spremnika. Spremnik je označen ključnim brojem 19 08 02 (otpad iz pjeskolova) [19].

Za sve vrste otpada rade se karakterizacije otpada radi daljnjeg zbrinjavanja. Karakterizacija otpada (Slika 4.6.) se radi prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada, NN 114/2015. Otpadi ključnih brojeva 19 08 01 i 19 08 02 se zbrinjavaju na odlagalištu otpada „RCGO Piškornica“ jer zadovoljavaju uvjete za odlagalište neopasnog otpada prema pravilniku. Dok se otpad pod ključnim brojem 19 08 10* zbrinjava preko za to ovlaštenih oporabitelja

**ISPITNI IZVJEŠTAJ OSNOVNE KARAKTERIZACIJE ZA ODLAGALIŠTE OTPADA BROJ O/165/19**

**Količina uzorka:** 1 kg **Uzorkovanje izvršeno:** 4.2.2019.
**Početak analize:** 4.2.2019. **Završetak analize:** 20.2.2019.
**Predmet ispitivanja:** Otpad iz pjeskolova
**Uzorkovao i dostavio:** Djelatnik BIOINSTITUTA prema normi HRI CEN/TR 15310-2:2008*(Otpad)
**Podaci o naručitelju:** Koprivničke vode d.o.o., Mosna ulica 15a, Koprivnica
**Lokacija uzimanja:** Pročistač otpadnih voda Herešin - iz kontejnera
**Ključni broj otpada:** 19 08 02 otpad iz pjeskolova
**Analitički broj:** O/165/19

| 1 | Fizikalno kemijski parametri | Jedinica: | Oznaka metode: | O/165/19 | MDK*** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.1 | Fluoridi(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 10304-1:2009* | 1,6 | 150 |
| 1.2 | Kloridi(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 10304-1:2009* | < 50,0 | 15000 |
| 1.3 | Sulfati(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 10304-1:2009* | 1591,7 | 20000 |
| 1.4 | Otopljeni organski ugljik(DOC)(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN 1484:2002* | 139,7 | 800 |
| 1.5 | Ukupne otopljene krutine (TDS)(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN 15216:2008* | 690 | 60000 |
| 1.6 | Suha tvar – 105°C | % | HRN EN 14346:2007*, KO-38/90a | 76,29 | |
| 2 | Metali | Jedinica: | Oznaka metode: | | |
| 2.1 | Arsen(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | 0,18 | 2 |
| 2.2 | Antimon(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | < 0,08 | 0,7 |
| 2.3 | Barij(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | 9,32 | 100 |
| 2.4 | Kadmij(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | < 0,01 | 1 |
| 2.5 | Ukupni krom(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | 0,03 | 10 |
| 2.6 | Bakar(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | 0,35 | 50 |
| 2.7 | Živa(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 12846:2012* | < 0,00007 | 0,2 |
| 2.8 | Molibden(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | 0,05 | 10 |
| 2.9 | Nikal(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | < 0,05 | 10 |
| 2.10 | Olovo(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | < 0,05 | 10 |
| 2.11 | Selen(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | < 0,10 | 0,5 |
| 2.12 | Cink(eluat) | mg/kg suhe tvari | HRN EN ISO 11885:2010** | 4,34 | 50 |

*Metode akreditirane prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007.
**Metode iz fleksibilnog područja akreditacije prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007.
***Maksimalna dozvoljena koncentracija prema zakonskim propisima navedenim u mišljenju.
Priprema eluata: Izluživanje omjera tekuće-čvrsto (L/S) od 10 l/kg je napravljeno prema normi HRN EN 12457-4:2005*

**MIŠLJENJE: Kategorizacija otpada je provedena u skladu sa Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13; izmjene i dopune NN 73/17) te Pravilnikom o katalogu otpada (NN 90/15). S obzirom na ispitane parametre uzorak O/165/19 ZADOVOLJAVA uvjete za odlagalište neopasnog otpada prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagalište otpada (NN 114/15).**

Slika 4.6. Ispitni izvještaj osnovne karakterizacije [19]

Nakon završetka izdvajanja pijeska i strugotina otpadna voda se gravitacijski transportira u pumpnu stanicu te time započinje fizikalno-kemijska obrada otpadne vode.

**Fizikalno-kemijska obrada otpadne vode**

Zbog pojave eutrofikacije potrebno je ukloniti sav višak fosfora iz otpadnih voda. Eutrofikacija se zbog djelatnosti čovjeka u prirodi događa ubrzano. Zbog prevelikog unosa hranjiva organizmima u vodi ubrzava se proces fotosinteze, a to uzrokuje širenju algi, smanjuje se zasićenost kisika u vodi te dolazi do izumiranja životinjskih vrsta.

Budući da se biološkim procesom pročišćavanja vode fosfor ne može ukloniti do potrebnih razina koristi se kemijsko sredstvo. Na UPOV Koprivnica koristi se anorganski polimer – polialuminijev hidroksiklorid. Prema vodopravnoj dozvoli za ispuštanje onečišćujućih tvari maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) na UPOV Koprivnica je 2 mg/l. [3]

| Pokazatelji | Granična vrijednost | Najmanji postotak smanjenja onečišćenja (1) | Referentna metoda mjerenja |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Ukupni fosfor | 2 mg P/l<br>(10 000 do 100 000 ES)<br>1 mg P/l<br>(veće od 100 000 ES) | 80 | Molekularna apsorpcijska spektrofotometrija |
| Ukupni dušik (organski $N+NH_4$-N + $NO_2$-N+$NO_3$-N) (2) | 15 mg N/l<br>(10 000 do 100 000 ES) (3) 10 mg N/l<br>(veće od 100 000 ES) (3) | 70 | Molekularna apsorpcijska spektrofotometrija |

Slika 4.7. Granične vrijednosti emisija komunalnih otpadnih voda pročišćenih na uređaju trećeg (III) stupnja pročišćavanja [3]

Nakon mehaničke obrade otpadna voda se odvodi u pumpnu stanicu te preko tlačnog cjevovoda ulazi u SBR reaktore. Doziranje polimera odvija se direktno u tlačni cjevovod. Da bi se doziranje polimera odvijalo u ispravnim dozama koristi se analizator fosfora (Slika 4.8.) koji mjeri trenutnu koncentraciju fosfora u ulaznoj otpadnoj vodi.



Slika 4.8. Analizator fosfora na UPOV Koprivnica

Polimer pospješuje taloženje mulja te omogućuje stvaranje kompaktnijih flokula mulja. Izdvajanje fosfora odvija se kroz njegovo taloženje u mulj.

**Biološka obrada otpadne vode**

Voda se u SBR reaktorima u sušnom periodu zadržava od 12 - 14 h te se u njima završava proces pročišćavanja otpadnih voda. Na UPOV Koprivnica pročišćavanje otpadnih voda odvija se na principu aktivnog mulja. Mikroorganizmi iz aktivnog mulja razgrađuju onečišćujuće tvari iz otpadne vode.

Proces se sastoji od 6 faza procesa biološkog pročišćavanja. Prva faza je dotok otpadne vode u biološki bazen uz izmjeničnu aeraciju i miješanje (Slika 4.9.). Otpadna voda se miješa da bi se tvari u njoj ravnomjerno pomiješale te se aerira zbog dodavanja kisika.



Slika 4.9. Izgled SBR reaktora prilikom aeracije

Druga faza je faza naknadne reakcije u kojoj se izmjenjuju faza nitrifikacije (1) i faza denitrifikacije (2). Preduvjet za nitrifikaciju je dovoljna količina kisika, viša temperatura otpadne vode, uznapredovala razgradnja ugljika te starost mulja:

$$NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ \quad \text{Nitrosomonas}$$
$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^- \quad \text{Nitrobacter} \qquad (1)$$

U fazi nitrifikacije oksidacijom se troši puno kisika i oslobađaju se vodikovi ioni te samim time povećavaju i kiselost, odnosno smanjuju pH vrijednost. Nitrosomonas i Nitrobacter razvijaju se deset puta sporije od ostalih mikroorganizama aktivnog mulja, starost mulja mora biti veća od 8 dana. Uz fazu nitrifikacije u biološkim bazenima odvija se i faza denitrifikacije:

$$4NO_3^- + 4H^+ + 5C \rightarrow 2N_2 + 2H_2O + 5CO_2 \qquad (2)$$

Faza denitrifikacije se odvija u biološkim bazenima bez slobodnog kisika. U denitrifikaciji je kisik vezan u obliku nitrata te se takvi uvjeti nazivaju anoksični uvjeti. U procesu obrade otpadne vode jako je bitno da sav ulazni amonijak bude razgrađen, preko nitrita, nitrata u atmosferski dušik.

Nitriti su jako opasni za žive organizme. Maksimalne dozvoljene koncentracije ukupnog dušika u izlaznoj otpadnoj vodi ovisne o veličini uređaja za pročišćavanje. MDK za ukupni dušik na UPOV Koprivnica je 15 mg/l.

Treća faza je faza sedimentacije (Slika 22.) u kojoj dolazi do razdvajanja istaloženog mulja i pročišćene izbistrene vode. Faza sedimentacije na UPOV-u Koprivnica traje od 60-90 min. Za vrijeme ljetnih mjeseci, pri višim temperaturama pročišćavanje otpadnih voda je djelotvornije i zahtijeva kraće taloženje prije ispusta u prijamnik.



Slika 4.10. Izgled SBR reaktora prilikom faze sedimentacije

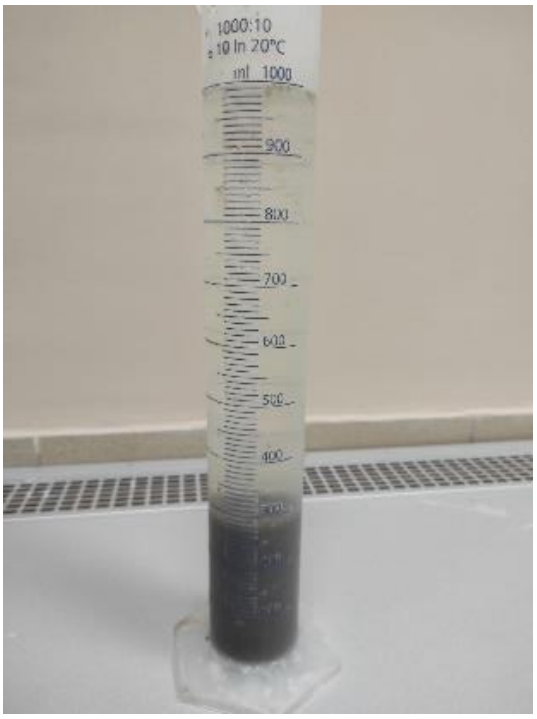
Četvrta faza je dekantiranje pročišćene vode u prirodni prijemnik. Na slici 23. prikazan je SBR reaktor prilikom faze dekantiranja. Nakon što protekne faza sedimentacije, uređaji dekanteri se spuštaju i zaranjaju u otpadnu vodu te gravitacijski odvode pročišćenu otpadnu vodu u recipijent Moždanski jarak (Slika 4.11.).

Otpadna voda Moždanskog jarka ulijeva se nakon 4,5 km u vodotok Bistru. Vodotok Bistra sa smjerom otjecanja prema istoku nakon 10 km utječe u rijeku Dravu.



Slika 4.11. Izgled uređaja za odvodnju pročišćene vode

Peta faza je faza izvlačenja viška mulja iz SBR reaktora u muljne bazene. Svakodnevno u svakoj fazi pred kraj naknadne reakcije djelatnici na UPOV-u mjere količinu mulja u biološkim bazenima (Slika 4.12.)




Slika 4.12. Istaloženi mulj na UPOV Koprivnica

Za optimalno vođenje procesa potrebna je određena količina aktivnog mulja. Sav višak mulja koji nastaje, odvodi se u petoj fazi naknadne reakcije u silose na daljnju obradu mulja.

Suvišak mulja koji nastaje ima ispod 1% suhe tvari. U tablici 4.1. su prikazane vrijednosti suhe tvari i količine mulja u sva tri aktivna bazena za vrijeme naknadne reakcije.

Tablica 4.1. Određivanje suhe tvari i volumena mulja u SBR reaktorima.

| DATUM | VRIJEME | SBR | % | % SUHE TVARI | VOLUMEN MULJA/ml |
|---|---|---|---|---|---|
| 01.06.2022. | 09:45 | 3 | 86 | 0,66 | 490 |
| 01.06.2022. | 13:18 | 4 | 88 | 0,59 | 510 |
| 01.06.2022. | 16:44 | 2 | 94 | 0,53 | 510 |
| 01.06.2022. | 21:11 | 3 | 93 | 0,63 | 600 |
| 02.06.2022. | 11:15 | 4 | 87 | 0,56 | 500 |
| 02.06.2022. | 14:42 | 2 | 89 | 0,47 | 480 |
| 02.06.2022. | 18:31 | 3 | 93 | 0,55 | 500 |
| 02.06.2022. | 21:04 | 4 | 94 | 0,72 | 470 |
| 03.06.2022. | 19:37 | 3 | 94 | 0,64 | 560 |
| 04.06.2022. | 22:51 | 2 | 95 | 0,61 | 570 |
| 05.06.2022. | 02:25 | 3 | 93 | 0,59 | 530 |
| 05.06.2022. | 08:26 | 2 | 89 | 0,53 | 420 |
| 05.06.2022. | 11:57 | 3 | 83 | 0,66 | 450 |
| 05.06.2022. | 16:30 | 4 | 87 | 0,52 | 430 |
| 05.06.2022. | 19:57 | 2 | 95 | 0,59 | 440 |
| 06.06.2022. | 22:16 | 2 | 96 | 0,51 | 510 |
| 07.06.2022. | 13:08 | 3 | 89 | 0,58 | 560 |
| 07.06.2022. | 16:34 | 4 | 94 | 0,56 | 490 |
| 07.06.2022. | 19:44 | 2 | 94 | 0,47 | 410 |
| 07.06.2022. | 23:31 | 3 | 91 | 0,52 | 510 |
| 08.06.2022. | 14:22 | 4 | 93 | 0,51 | 490 |
| 08.06.2022. | 17:11 | 3 | 92 | 0,47 | 500 |
| 08.06.2022. | 22:28 | 2 | 90 | 0,45 | 400 |
| 09.06.2022. | 15:14 | 4 | 89 | 0,49 | 460 |
| 10.06.2022. | 12:12 | 3 | 92 | 0,48 | 450 |
| 10.06.2022. | 16:19 | 2 | 94 | 0,47 | 410 |
| 10.06.2022. | 22:38 | 4 | 90 | 0,48 | 420 |
| 11.06.2022. | 08:17 | 2 | 9 | 0,51 | 480 |
| 11.06.2022. | 22:11 | 3 | 91 | 0,58 | 490 |
| 12.06.2022. | 22:52 | 4 | 91 | 0,52 | 480 |
| 13.06.2022. | 02:08 | 2 | 89 | 0,48 | 460 |
| 14.06.2022. | 14:12 | 2 | 93 | 0,52 | 400 |
| 14.06.2022. | 17:36 | 3 | 94 | 0,49 | 410 |
| 14.06.2022. | 20:19 | 4 | 95 | 0,50 | 420 |
| 15.06.2022. | 11:06 | 2 | 85 | 0,50 | 440 |
| 16.06.2022. | 00:27 | 3 | 90 | 0,48 | 420 |
| 16.06.2022. | 15:08 | 4 | 84 | 0,71 | 440 |
| 16.06.2022. | 18:38 | 2 | 88 | 0,64 | 430 |
| 16.06.2022. | 22:06 | 3 | 91 | 0,47 | 410 |
| 17.06.2022. | 11:08 | 4 | 82 | 0,68 | 400 |
| 17.06.2022. | 14:38 | 2 | 85 | 0,58 | 400 |
| 17.06.2022. | 18:08 | 3 | 92 | 0,48 | 390 |
| 18.06.2022. | 02:07 | 2 | 90 | 0,64 | 410 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 18.06.2022. | 09:06 | 4 | 88 | 0,69 | 430 |
| 18.06.2022. | 22:09 | 2 | 91 | 0,61 | 400 |
| 19.06.2022. | 13:08 | 3 | 82 | 0,51 | 420 |
| 20.06.2022. | 03:12 | 4 | 84 | 0,56 | 400 |
| 20.06.2022. | 20:38 | 3 | 98 | 0,54 | 440 |
| 21.06.2022. | 03:34 | 2 | 92 | 0,58 | 430 |
| 21.06.2022 | 09:43 | 4 | 89 | 0,69 | 430 |
| 21.06.2022. | 13:08 | 2 | 87 | 0,52 | 400 |
| 21.06.2022. | 16:39 | 3 | 91 | 0,66 | 460 |
| 22.06.2022. | 00:38 | 2 | 93 | 0,56 | 410 |
| 22.06.2022. | 07:41 | 4 | 90 | 0,61 | 440 |
| 22.06.2022. | 20:39 | 2 | 91 | 0,58 | 410 |
| 23.06.2022. | 11:42 | 3 | 84 | 0,70 | 450 |
| 23.06.2022. | 15:11 | 4 | 87 | 0,62 | 480 |
| 23.06.2022. | 22:05 | 3 | 90 | 0,68 | 430 |
| 24.06.2022. | 01:03 | 4 | 89 | 0,67 | 450 |
| 24.06.2022. | 12:08 | 4 | 84 | 0,69 | 440 |
| 24.06.2022. | 15:38 | 2 | 87 | 0,55 | 470 |
| 25.06.2022. | 08:08 | 4 | 89 | 0,71 | 440 |
| 25.06.2022. | 11:39 | 2 | 83 | 0,66 | 440 |
| 25.06.2022. | 15:06 | 3 | 85 | 0,50 | 420 |
| 25.06.2022. | 23:10 | 2 | 90 | 0,68 | 450 |
| 26.06.2022. | 02:34 | 3 | 89 | 0,64 | 420 |
| 26.06.2022. | 09:39 | 2 | 85 | 0,49 | 390 |
| 26.06.2022. | 13:06 | 3 | 81 | 0,67 | 400 |
| 26.06.2022. | 16:52 | 4 | 84 | 0,60 | 370 |
| 27.06.2022. | 23:58 | 4 | 91 | 0,63 | 390 |
| 28.06.2022. | 17:35 | 3 | 90 | 0,68 | 490 |
| 29.06.2022. | 11:10 | 2 | 84 | 0,61 | 440 |
| 29.06.2022. | 13:37 | 3 | 88 | 0,70 | 480 |
| 29.06.2022. | 17:08 | 4 | 94 | 0,62 | 460 |
| 30.06.2022. | 15:16 | 2 | 88 | 0,62 | 440 |
| 30.06.2022. | 21:19 | 4 | 94 | 0,65 | 430 |

U ljetnim mjesecima se radi s nižim količinama aktivnog mulja, zbog veće brzine razgradnje. Suha tvar je u razdoblju od 1.06. – 31.06.2022. iznosila od 4,5 mg/l - 7,2 mg/l u prikazanim danima.

Šesta faza je faza praznog hoda u kojoj SBR reaktor čeka ponovni prihvat onečišćene otpadne vode. U zadnjoj fazi ostatak vode i aktivnog ulja u bazenu se naizmjenice miješa i aerira.

**Obrada otpadnog mulja**

Faza obrade mulja započinje transportom mulja u muljne bazene. Na UPOV Koprivnica koriste se 3 silosa za aerobnu stabilizaciju otpadnog mulja.

Aerobnom stabilizacijom mulj se dodatno razgrađuje te se time povećava postotak suhe tvari. Aerobna stabilizacija odvija se pomoću miješalica i kompresorskim upuhivanjem zraka.

Nakon što se mulj dodatno ugusti dehidrira se u mehaničkoj centrifugi. Na taj način dobiva se otpadni mulj sa 25% suhe tvari koji je spreman za daljnju obradu ili odlaganje.

Otpadni mulj se do odvoza privremeno pohranjuje u spremnik (Slika 4.13.), koji se kategorizira kao otpad ključnog broja 19 08 05 (muljevi od obrade komunalnih voda). Trenutno se mulj zbrinjava u suradnji sa poduzećem Komunalac d.o.o. na kompostani u neposrednoj blizini UPOV Koprivnica.



Slika 4.13. Dehidrirani mulj

**Obrada otpadnog zraka**

Onečišćeni zrak iz kompaktne jedinice mehaničkog pred-tretmana i pumpne stanice dotoka pročišćava se na biofilteru (Slika 4.14.). Biofilter je uređaj sa organskom ispunom koji na prirodan način pročišćava zrak.

Biološki proces razgradnje rezultira ostatkom tvari u obliku $CO_2$, vode i čestica koje se nakon određenog vremena razgrade. Time se u atmosferu ispušta pročišćeni zrak koji je nastao u procesu.



Slika 4.14. Uređaj za pročišćavanje zraka na UPOV Koprivnica

## 4.3. Analiza otpadne vode na UPOV Koprivnica

Analiza vode na Uređaju za pročišćavanje otpadnih voda grada Koprivnice vrši se svakodnevno. Provode se analize ulazne otpadne vode te analize izlazne pročišćene otpadne vode u internom laboratoriju Koprivničkih voda d.o.o.

Dva puta mjesečno kontrolu vrši ovlašteni laboratorij prema parametrima iz Vodopravne dozvole. Od prosinca 2021. godine kontrolu vrši Zavod za javno zdravstvo Koprivničko – križevačke županije.

Parametri koji se kontroliraju su: kemijska potrošnja kisika (KPK), biokemijska potrošnja kisika (BPK5), ukupni dušik, ukupni fosfor i suspendirana tvar. Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/20) maksimalne dozvoljene koncentracije (MDK) onečišćujućih tvari s obzirom na veličinu uređaja su slijedeće:

- KPK – 125mg/l,
- $BPK_5$ – 25mgl/l,
- ukupni dušik - 15mg/l,
- ukupni fosfor - 2mg/l i
- ukupna suspendirana tvar - 35mg/l.

Otpadna ulazna te izlazna voda se tokom dana skuplja u automatskim uzorkivačima. Ulazni uzorkivač u određenim vremenskim intervalima tijekom dana uzorkuje i skuplja otpadnu vodu. Izlazna voda tokom dekantiranja se također uzorkuje.

Za laboratorijsku analizu uzimaju se kompozitni uzorci. Kompozitni uzorak je uzorak koji se dobiva miješanjem sve otpadne vode koja je uzorkovana u protekla 24 h i pohranjena je u automatskom uzorkivaču (Slika 4.15.).



Slika 4.15. Uzorkivač otpadne vode na UPOV Koprivnica

U laboratoriju na UPOV Koprivnica određuju se parametri:

- Ukupni fosfor
- Ukupni dušik
- Kemijska potrošnje kisika
- Biokemijska potrošnje kisika
- Suspendirana tvar
- Koncentracija nitrata
- Koncentracija amonijaka
- Koncentracija nitrita

Kod metode **određivanja ukupnog fosfora** u otpadnoj vodi koristi se uređaj spektrofotometar Hach Lange DR 5000. Koristi se spektrofotometrijska metoda za mjerni rang od 0-0,8 mg/l ukupnog fosfora u analiziranoj otpadnoj vodi.

Uzorak se homogenizira uređajem IKA Digital Ultra Turrax T18. Nakon što se uzorak u potpunosti homogeniziramo tj. izjednači mu se sadržaj dodaje mu se reagense. Reagensi koji se koriste za određivanje ukupnog fosfora su otopina amonijevog molibdata te otopina kositrovog klorida.

Nakon digestije uzorka na temperaturi od 100°C uzorak se hladi na sobnu temperaturu te se određuje koncentracija na spektrofotometru. Ovu metodu koristi i analizator fosfora za određivanje ukupnog fosfora u ulaznoj otpadnoj vodi.

U laboratoriju se koriste dva načina određivanja **ukupnog dušika** u otpadnoj vodi. Prvi način je putem gotovih kivetnih testova, a drugi način se obavlja na uređaju TOC-V *(engl. Total organic carbon analyzer)* s jedinicom za određivanje dušika TNM-1 *(engl. Total nitrogen measurement)*.

Kod korištenja gotovih kivetnih testova uzorak vode se homogenizira te se dodaju gotovi pripremljeni reagensi, voda se zagrijava na 100°C te se potom hladi na sobnu temperaturu i nakon 15 min očitava se rezultat na spektrofotometru. Kod korištenja uređaja TOC-V uzorak se homogenizira te se analizira putem zadanih baždarnih krivulja koje su unijete u uređaj.

**Kemijska potrošnja kisika** predstavlja utrošak kalijevog-dikromata ($K_2Cr_2O_7$) potrebnog za oksidaciju organske tvari u vodi izraženog kao mg/l $O_2$. Kemijska potrošnja kisika određuje se spektrofotometrijski kao nestanak narančaste boje kalijevog-dikromata pri valnoj duljini od 445 nm iz baždarnog dijagrama napravljenog prema standardu kalijevom-hidrogen-ftalatu.

Uzorak se homogenizira te se u njega dodaju reagensi. Nakon toga uzorak se digestira 2 h na 148°C te se potom hladi na sobnu temperaturu.

U procesu analize uzorka koriste se slijedeći reagensi: otopina srebrovog sulfata i živinog(II) sulfata. Metoda određivanja KPK je bitna za određivanje BPK5.

Na temelju dobivenih vrijednosti KPK priprema se uzorak za određivanje biokemijske potrošnje kisika. Biokemijska potrošnja kisika kroz 5 dana ($BPK_5$) najčešće iznosi 50% vrijednosti izmjerenih koncentracija KPK.

$BPK_5$ se mjeri pomoću Oxi-Topova WTW. To je uređaj koji mjeri potrošnju kisika unutar 5 dana na 20°C u reguliranim uvjetima. Kod pripreme uzorka za analizu koristi se natrijev-hidroksid.

Jedan od bitnih parametara koji se prate na UPOV Koprivnica je određivanje suspendirane tvari u otpadnoj vodi. Maksimalna dozvoljena koncentracija suspendirane tvari u izlaznoj pročišćenoj otpadnoj vodi je 35 mg/l. Uzorak otpadne vode se profiltrira preko filter papira i suši se na 105°C do konstantne mase.

Zbog praćenja odvijanja procesa nitrifikacije odnosno denitrifikacije uz navedene parametre redovito se kontroliraju i koncentracije nitrata, nitrita i amonijaka. Ukoliko se proces dobro odvija odnosno mikro-organizmi obavljaju svoju ulogu gotovo sav amonijak sadržan u ulaznoj otpadnoj vodi prelazi u fazi nitrifikacije u nitrite odnosno nitrate i fazi denitrifikacije do atmosferskog dušika.

**Metoda određivanja nitrata** radi se pomoću uređaja spektrofotometra Hach Lange DR 5000. UV/VIS spektrofotometrijskom analizom, mjerenjem apsorbancije na karakterističnoj valnoj duljini za nitrate (220 nm).

Kalibracijska krivulja za nitrate slijedi Beer – Lambertov zakon. Beer – Lambertov zakon daje funkcijski odnos između veličine mjerene apsorpcijskom metodom i veličine koja se određuje tj. koncentracije. Beerov zakon može se prikazati kao (1) [20]:

$$A = \log (P_o/P) = \varepsilon bc \quad (1)$$

gdje je:

A - apsorbancija na danoj valnoj duljini svjetlosti,

ε - molarni apsorpcijski koeficijent,

b - duljina puta svjetlosti kroz uzorak a

c - koncentracija tvari u otopini.

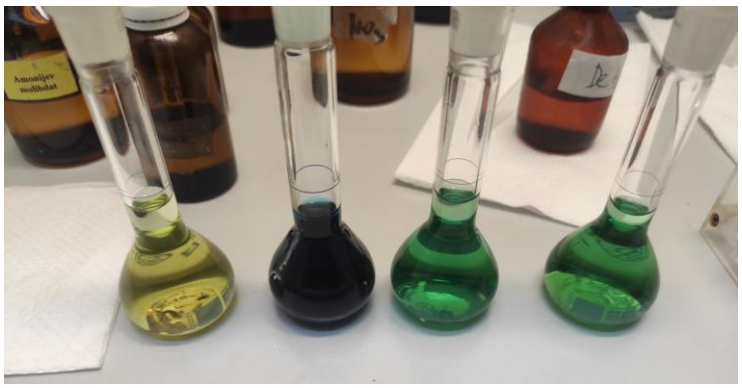
Reagens za određivanje nitrata ovom metodom je otopina kloridne kiseline.

**Amonijak** se u otpadnoj vodi na UPOV Koprivnica određuje prema Salicilat -citratnoj metodi na spektrofotometru Hach Lange DR 5000. Mjerenje koncentracije amonijaka vrši se kod 655 nm.

Reagensi koji se koriste prilikom određivanja amonijaka u otpadnoj vodi su: salicilat-citratna otopina i otopina natrijevog hidroksida i izosana. Ulazna otpadna voda ima visoke vrijednosti ukupnog dušika.

Skoro sav ukupni dušik izražen je u amonijaku. Biološkim postupkom obrade otpadne vode amonijak oksidacijom prelazi u nitrite i nitrate.

Izlazna voda po svom sastavu na UPOV Koprivnica ima male koncentracije nitrata, te neznatne koncentracije nitrita i amonijaka.



Slika 4.16. Rezultat određivanja amonijaka

Prva tikvica s lijeve strane obojana žutom bojom predstavlja slijepu probu (Slika 4.16.). Slijepa proba su reagensi za određivanje amonijaka uz dodatak destilirane vode.

Ostale tri tikvice su uzorci različitih otpadnih voda. Što je intenzitet boje jači to je i koncentracija amonijaka u uzorku veća.

**Mjerenje koncentracije nitrita** je važno zbog praćenja odvijanja procesa nitrifikacije. Metoda za određivanje se radi na uređaju spektrofotometar Hach Lange DR 5000. Sulfanilna kiselina se diazotira nitritnom kiselinom u diazo sol, koja sa na pH 2 – 2,5 spaja s naftil-aminom dajući crveno-ljubičastu azo boju.

Jačina boje je proporcionalna koncentraciji nitrita. Apsorbancija kompleksa mjeri se spektrofotometrom na 520 nm.

Reagensi koji se koriste za određivanje nitrita su: otopina K-Na-tartarata, koncentrirana octena kiselina, sulfanilna kiselina i naftil-amin. U tablici 4.2. su prikazane izmjerene vrijednosti nitrata, amonijaka i nitrita u izlaznoj otpadnoj vodi po svakom SBR reaktoru.

Od studenog 2021. g. UPOV Koprivnica radi sa tri SBR-bazena zbog promjene u radu i dužini trajanja ciklusa. Mjerene vrijednosti amonijaka i nitrita su jako male, što je dokaz dobre razgradnje i pročišćavanja otpadne vode. Oscilacije nitrata su povezane s dolaznim onečišćenjem.

Tablica 4.2. Koncentracija mjerenih vrijednosti u SBR reaktorima

| | SBR-1 - mg/l | | | SBR-2 – mg/l | | | SBR-3 – mg/l | | | SBR-4 – mg/l | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Datum | NO3- | NH3 | NO2- | NO3- | NH3 | NO2- | NO3- | NH3 | NO2- | NO3- | NH3 | NO2- |
| 23.4.2021. | 2,2 | 0,03 | 0,4 | 0,1 | 0,09 | 0,03 | 0,2 | 0,02 | 0,05 | 0,1 | 0,03 | 0,03 |
| 12.5.2021 | 0,2 | 0,01 | 0,08 | 0,1 | 0,02 | 0,05 | 0,2 | 7 | 0,13 | 0,1 | 0,03 | 0,06 |
| 14.7.2021. | 0,5 | 0,06 | 0,36 | 0,7 | 0,05 | 0,58 | 0,7 | 0,08 | 0,68 | 1,5 | 0,07 | 0,7 |
| 28.7.2021. | 1,7 | 0,04 | 0,66 | 2 | 0,05 | 0,66 | 0,3 | 0,03 | 0,07 | 2,2 | 0,05 | 1,27 |
| 31.8.2021. | 5,2 | 0,04 | 0,03 | 5,6 | 0,03 | 0,02 | 2,7 | 0,03 | 0,02 | 2,6 | 0,03 | 0,03 |
| 2.12.2021. | | | | 5 | 0,02 | 0,27 | 4,1 | 0,41 | 0,34 | 0,2 | 0,33 | 0,15 |
| 14.1.2022. | | | | 6,72 | 0,03 | 0,06 | 6,34 | 0,01 | 0,07 | 6,17 | 0,05 | 0,09 |
| 18.2.2022. | | | | 0,32 | 0,04 | 0,04 | 0,34 | 0,02 | 0,06 | 2,1 | 0,02 | 0,11 |

# 5. Rezultati i rasprava

Zbog praćenja samog procesa pročišćavanja otpadnih voda potrebno je praćenje rezultata mjerenja. Mjerenjem se pravovremeno uočavaju problemi u procesu te se održava i kvalitetna razina pročišćavanja.

Na UPOV-u nema klasičnog mjerača protoka otpadnih voda, te se dotok vode na uređaj mjeri preko računalnog programa „SCADA“. Računalni program radi na principu mjerenja razine zapunjenosti SBR reaktora. U tablici 5.1. prikazani su ukupni dotoci otpadne vode za travanj, svibanj i lipanj 2022. godine na UPOV Koprivnicu.

Tablica 5.1. Dotok otpadne vode

| Mjesec | Dotok ($m^3$/mj.) | vode iz individualnih sustava ($m^3$/mj.) |
|---|---|---|
| Travanj | 147396 | 275,2 |
| Svibanj | 141947 | 224,7 |
| Lipanj | 155737 | 222,3 |
| **SUMA** | **445080** | **722,2** |

Najintenzivnija oborine su u lipnju (Tablica 5.1.). Uz dotok otpadne vode koja mješovitim sustavom javne odvodnje dolazi na UPOV, na njemu se zbrinjavaju i otpadne vode iz individualnih sustava.

Individualni sustavi su septičke i sabirne jame koje imaju kućanstava i stambene zgrade. Tijekom tri mjeseca na UPOV je dovezeno 722,2 $m^3$ otpadnih voda iz septičkih jama što je samo 0,16% ukupnog prihvata otpadne vode. Iako su to male količine, otpadna voda septičkih jama je visoko biološki opterećena te je kao takva odlična prihrana cjelokupnog mikrobiološkog sustava. Ukupni prihvat otpadne vode u promatrana tri mjeseca iznosio je 445.080 $m^3$ (Tablica 5.1.).

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Grada Koprivnice je uređaj III. stupnja i nalazi se na samom vrhu u R Hrvatskoj po veličini. U tablici 5.2. prikazane su izmjerene ulazne i izlazne vrijednosti u razdoblju od 1.04. - 1.07.2022. g. za parametre:

- Ukupan dušik
- KPK
- $BPK_5$
- Ukupan fosfor
- Suspendirana tvar

Tablica 5.2. Vrijednosti parametara na ulazu i izlazu u sustav za pročišćavanje za razdoblje od 1.04. – 1.07.

| Datum | $N_{uk}$ (mgN/l) | | $P_{uk}$ (mgP/l) | | KPK (mgO2/l) | | $BPK_5$ (mgO2/l) | | Suspendirana tvar (mg/l) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ulaz | izlaz | ulaz | Izlaz | ulaz | izlaz | ulaz | izlaz | ulaz | izlaz |
| 01.04.2022. | 36,40 | 2,24 | 3,78 | 0,68 | 278,00 | 12,40 | 110,00 | 3,00 | 112 | 2 |
| 04.04.2022. | **62,20** | 1,82 | 4,12 | 0,05 | 291,00 | 16,30 | 220,00 | 2,00 | 312 | 3 |
| 05.04.2022. | 38,90 | 0,90 | **10,90** | 0,23 | **730,00** | 14,30 | **290,00** | 2,00 | 180 | 2,4 |
| 06.04.2022. | **76,60** | 2,00 | 8,28 | 0,09 | **744,00** | 12,30 | **260,00** | 2,00 | 268 | 2,7 |
| 07.04.2022. | 42,20 | 1,20 | 7,19 | 0,17 | 623,00 | 16,80 | **270,00** | 1,00 | 190 | 2,4 |
| 08.04.2022. | **53,30** | 2,40 | 6,98 | 0,45 | 420,00 | 18,20 | **280,00** | 2,00 | 195 | 1,8 |
| 11.04.2022. | **61,30** | 4,75 | 6,12 | 0,55 | 410,00 | 15,40 | **260,00** | 3,00 | 210 | 2,2 |
| 12.04.2022. | **67,60** | 6,24 | 6,24 | 0,26 | 489,00 | 28,30 | 250,00 | 2,00 | 220 | 1,9 |
| 13.04.2022. | 48,40 | 5,25 | 5,12 | 0,14 | 450,00 | 21,20 | 210,00 | 4,00 | 180 | 2 |
| 14.04.2022. | **52,70** | 6,19 | 5,23 | 0,31 | 432,00 | 18,40 | 180,00 | 2,00 | 190 | 3 |
| 15.04.2022. | **61,40** | 9,42 | 5,78 | 0,55 | 389,00 | 24,50 | 190,00 | 3,00 | 200 | 4 |
| 19.04.2022. | 39,50 | 10,30 | 4,60 | 0,58 | 240,00 | 23,20 | 140,00 | 2,00 | 210 | 2,9 |
| 20.04.2022. | 45,20 | 6,30 | 4,14 | 0,33 | 343,00 | 18,90 | 194,00 | 4,00 | 202 | 3,6 |
| 21.04.2022. | 39,40 | 4,56 | 4,12 | 0,68 | 370,00 | 19,40 | 160,00 | 3,00 | 190 | 2,2 |
| 22.04.2022. | 38,20 | 5,21 | 4,22 | 0,58 | 391,00 | 18,90 | 180,00 | 2,00 | 180 | 3,1 |
| 25.04.2022. | 37,00 | 5,32 | **11,60** | 0,65 | 635,00 | 18,40 | 230,00 | 2,00 | 170 | 3,3 |
| 26.04.2022. | 38,00 | 5,90 | 4,36 | 0,48 | 578,00 | 22,40 | 170,00 | 3,00 | 190 | 2 |
| 27.04.2022. | 42,20 | 4,20 | 5,17 | 0,51 | 312,00 | 21,30 | 150,00 | 2,00 | 224 | 3 |
| 28.04.2022. | **51,30** | 2,12 | 5,68 | 0,61 | 478,00 | 12,40 | 230,00 | 1,00 | 235 | 4 |
| 29.04.2022. | **55,40** | 1,91 | 5,12 | 0,39 | 464,00 | 18,40 | 240,00 | 3,00 | 168 | 5 |
| 02.05.2022. | **62,20** | 2,19 | 5,24 | 0,47 | 432,00 | 17,70 | **260,00** | 2,00 | 289 | 4,5 |
| 03.05.2022. | **70,50** | 2,40 | 3,49 | 1,29 | 403,00 | 22,40 | 220,00 | 1,00 | 312 | 4,1 |
| 04.05.2022. | **64,40** | 3,29 | 8,90 | 1,58 | 367,00 | 16,40 | 90,00 | 1,00 | 334 | 3,8 |
| 05.05.2022. | **68,80** | 2,80 | 8,66 | 1,36 | **1010,00** | 25,80 | 110,00 | 1,00 | 265 | 3,6 |
| 06.05.2022. | **60,00** | 2,60 | 7,10 | 1,17 | **921,00** | 28,40 | 130,00 | 2,00 | 118 | 4,1 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 09.05.2022. | **65,50** | 2,80 | 6,80 | 0,54 | 624,00 | 26,40 | 180,00 | 3,00 | 245 | 5,1 |
| 10.05.2022. | **72,40** | 3,21 | 4,80 | 0,26 | 540,00 | 23,40 | **272,00** | 2,00 | 339 | 6 |
| 11.05.2022. | **53,00** | 1,90 | 7,86 | 1,46 | 610,00 | 16,60 | **392,00** | 2,00 | 228 | 12 |
| 12.05.2022. | **72,40** | 2,42 | 8,42 | 1,52 | **724,00** | 28,90 | **280,00** | 1,00 | 356 | 7 |
| 13.05.2022. | **64,20** | 0,46 | 7,33 | 0,68 | **748,00** | 23,40 | **260,00** | 2,00 | 412 | 7 |
| 16.05.2022. | **71,20** | 4,80 | 7,45 | 0,72 | 698,00 | 21,20 | 240,00 | 3,00 | 447 | 8 |
| 17.05.2022. | **94,70** | 6,80 | 6,94 | 0,87 | **898,00** | 27,70 | **300,00** | 2,00 | 312 | 6 |
| 18.05.2022. | **62,20** | 7,90 | 7,12 | 0,68 | **712,00** | 24,30 | **290,00** | 2,00 | 245 | 4 |
| 19.05.2022. | **58,40** | 6,80 | 6,98 | 0,74 | 512,00 | 18,40 | 180,00 | 1,00 | 225 | 5 |
| 20.05.2022. | **61,30** | 3,20 | 5,23 | 1,32 | 538,00 | 21,20 | 200,00 | 2,00 | 189 | 7,1 |
| 23.05.2022. | **64,40** | 3,40 | 7,89 | 1,65 | 512,00 | 17,40 | 170,00 | 1,00 | 196 | 5 |
| 24.05.2022. | **87,20** | 2,40 | 5,42 | 0,55 | 413,00 | 12,40 | 160,00 | 3,00 | 261 | 3 |
| 25.05.2022. | 49,50 | 6,50 | 7,97 | 1,48 | 385,00 | 16,98 | 233,00 | 4,00 | 294 | 2 |
| 26.05.2022. | **61,60** | 7,10 | 6,45 | 1,32 | 454,00 | 18,40 | 190,00 | 2,00 | 231 | 3 |
| 27.05.2022. | 35,50 | 5,80 | 6,86 | 1,27 | 428,00 | 24,40 | 200,00 | 1,00 | 217 | 4 |
| 31.05.2022. | 37,80 | 2,40 | 5,41 | 0,97 | 365,00 | 21,20 | 160,00 | 2,00 | 118 | 5 |
| 01.06.2022. | 41,20 | 2,30 | 7,45 | 1,70 | 478,00 | 17,40 | 180,00 | 2,00 | 145 | 7 |
| 02.06.2022. | 49,20 | 3,10 | 5,11 | 1,07 | 395,00 | 16,80 | 190,00 | 1,00 | 165 | 8 |
| 03.06.2022. | 38,40 | 1,20 | 4,94 | 1,08 | 342,00 | 18,30 | 200,00 | 2,00 | 159 | 9 |
| 06.06.2022. | 29,20 | 0,68 | 4,89 | 1,02 | 278,00 | 19,30 | 210,00 | 2,00 | 184 | 3 |
| 07.06.2022. | 40,70 | 1,90 | 4,93 | 0,94 | 316,00 | 21,20 | 130,00 | 1,00 | 174 | 2 |
| 08.06.2022. | 26,30 | 1,50 | 5,90 | 0,81 | 370,00 | 16,71 | 163,00 | 1,00 | 182 | 1 |
| 09.06.2022. | 34,40 | 2,70 | 6,21 | 0,68 | 412,00 | 12,30 | 160,00 | 2,00 | 224 | 2,4 |
| 10.06.2022. | **51,30** | 2,90 | 5,31 | 0,89 | 451,00 | 16,30 | 140,00 | 3,00 | 245 | 1,9 |
| 13.06.2022. | 49,20 | 2,80 | 6,43 | 1,13 | 478,00 | 21,30 | 180,00 | 3,00 | 124 | 3,4 |
| 14.06.2022. | 29,30 | 3,10 | 6,21 | 0,89 | 321,00 | 14,50 | 160,00 | 2,00 | 217 | 5,4 |
| 15.06.2022. | **62,20** | 4,80 | 8,45 | 1,24 | 604,00 | 19,30 | 190,00 | 1,00 | 265 | 4,8 |
| 17.06.2022. | **59,90** | 5,10 | 7,12 | 1,14 | 562,00 | 17,40 | 170,00 | 2,00 | 178 | 5,1 |
| 20.06.2022. | **51,20** | 2,60 | 4,62 | 1,03 | 531,00 | 16,30 | 140,00 | 2,00 | 163 | 3,9 |
| 21.06.2022. | 42,20 | 3,80 | 4,98 | 1,10 | 521,00 | 16,30 | 160,00 | 1,00 | 212 | 4,1 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23.06.2022. | **68,80** | 4,90 | 5,04 | 1,45 | 512,00 | 21,20 | 120,00 | 3,00 | 245 | 5,2 |
| 24.06.2022. | **59,60** | 4,10 | 6,12 | 1,21 | 495,00 | 16,40 | 180,00 | 2,00 | 233 | 6,1 |
| 27.06.2022. | **68,80** | 4,24 | 8,45 | 1,11 | 412,00 | 15,10 | 140,00 | 2,00 | 198 | 7,1 |
| 28.06.2022. | **91,60** | 6,90 | 9,35 | 1,33 | 348,00 | 12,40 | 120,00 | 2,00 | 191 | 10 |
| 29.06.2022. | **123,00** | 5,70 | 9,75 | 1,70 | 280,00 | 8,51 | 172,00 | 1,00 | 218 | 14 |
| 30.06.2022. | **84,40** | 6,20 | 8,12 | 1,45 | 367,00 | 13,40 | 140,00 | 1,00 | 207 | 9 |

Prosječne vrijednosti (aritmetičke sredine) po mjesecima ulazne otpadne vode za navedene parametre izračunate su i prikazane u tablici 5.3.

Tablica 5.3. Prosjeci opterećenja ulazne otpadne vode

| Mjeseci | KPK (mg $O_2$/l) | $BPK_5$ (mg $O_2$/l) | Ukupni fosfor (mgP/l) | Ukupni dušik (mgN/l) | Suspendirana tvar (mg/l) |
|---|---|---|---|---|---|
| Travanj | 453,35 | 210,70 | 5,94 | 49,36 | 201,30 |
| Svibanj | 585,43 | 215,10 | 6,78 | 63,68 | 268,24 |
| Lipanj | 423,65 | 162,25 | 6,47 | 55,05 | 196,45 |
| **MDK** | **700** | **250** | **10,0** | **50,0** | / |

Najveće izmjerene vrijednosti KPK bile su u mjesecu svibnju. Prilikom praćenja dotoka otpadne vode zabilježena je situacija dotoka obojane vode na uređaj (Slika 5.1). Kontrolom i pregledom dolazne otpadne vode određena je koncentracija KPK od 1010mg/l, dok je $BPK_5$ bio 110mg/l što je dokaz velikog kemijskog onečišćenja.



Slika 5.1. Obojana otpadna voda

Ovakav dotok je produkt ispuštanja industrijskih voda u sustav javne odvodnje bez prethodnih tretmana. Razina industrijske proizvodnje je niska te su zbog toga i sami ulazni parametri otpadne vode relativno niski. Prema Pravilniku maksimalna dozvoljena koncentracija KPK otpadne vode koja se ispušta u sustav javne odvodnje je 700mg/l.[3] Prekoračenje je bilo u svibnju 2022.

Prosječne vrijednosti izlazne vode po svim prikazanim parametrima su ispod maksimalnih dozvoljenih koncentracija (MDK) otpadnih voda što je pokazatelj da je učinkovitost pročišćavanja na UPOV Koprivnica zadovoljavajuća (Tablica 5.4.).

Tablica 5.4. Prosječne vrijednosti izlazne otpadne vode

| Mjeseci | KPK($mgO_2$/l | $BPK_5$($mgO_2$/l | Ukupni fosfor (mgP/l) | Ukupni dušik (mgN/l) | Suspendirana tvar (mg/l) |
|---|---|---|---|---|---|
| travanj | 18,57 | 2,4 | 0,41 | 4,41 | 2,83 |
| svibanj | 21,57 | 1,9 | 1,04 | 3,87 | 5,2 |
| lipanj | 16,52 | 1,8 | 1,15 | 3,53 | 5,62 |
| **MDK** | **125** | **25** | **2** | **15** | **35** |

## 5.1. Učinkovitost uklanjanja dušika

U tablici 7. prikazane su izlazne i ulazne koncentracije ukupnog dušika te postotak uklanjanja. Minimalna vrijednost ukupnog dušika u ulaznoj otpadnoj vodi iznosi 26,30 mgN/l i izmjerena je u lipnju 2022. g. za vrijeme dotoka razrijeđene otpadne vode. Dok je minimalna vrijednost u izlaznoj vodi izmjerena u koncentraciji od 0,46 mgN/l što je daleko ispod propisanih graničnih vrijednosti.

Ulazna otpadna voda toga dana imala je vrijednost ukupnog dušika od 64,20 mgN/l te je samim time zabilježeno i maksimalno % uklanjanje od 99,28%. Približno visoka postotna uklanjanja dušika evidentirana su u sušnom periodu koje je trajalo 2 tjedna.

Prilikom oborina koncentracija ukupnog duška na ulazu je niža, proces pročišćavanja je kraći te je i učinkovitost pročišćavanja otpadne vode smanjena. Tome svjedoči maksimalna izmjerena koncentracija ukupnog dušika na izlazu od 10,30 mgN/l prilikom dnevnog dotoka od 12.391 $m^3$ na dan 19.04.2022. g. Efikasnost uklanjanja ukupnog dušika računa se prema (2):

$$\%uklanjanja = \frac{N_{uk}\,(ulaz) - N_{uk}(izlaz)}{N_{uk}(ulaz)}\ x\ 100 \qquad (2)$$

Tablica 5.5. Opisna statistika efikasnosti uklanjanja ukupnog dušika

| **PARAMETAR** | $N_{uk}$ – ulaz(mgN/l) | $N_{uk}$ – izlaz(mgN/l) | % uklanjanja $N_{uk}$ |
|---|---|---|---|
| min | 26,30 | 0,46 | 73,92 |
| max | 123,00 | 10,30 | 99,28 |
| aritmetička sredina | 56,15 | 3,93 | 92,59 |
| median | 55,40 | 3,21 | 93,77 |
| mod | 62,2 | 2,4 | / |
| raspon varijacije | 96,70 | 9,84 | 25,36 |
| standardna devijacija | 17,73 | 2,143 | 4,52 |

Efikasnost pročišćavanja vode od ukupnog dušika je >73%. Može se zaključiti da su **pri različitim vanjskim uvjetima zadovoljeni kriteriji o količini ukupno uklonjenog dušika iz otpadne vode** sukladno zakonskoj regulativi. Iz vrijednosti Mod-a i aritmetičke sredine (Tablica 5.5.) od 62,20mg/l i 56.15mg/l vidljivo je da su vrijednosti ulaznog dušika u promatranom razdoblju često prelazila MDK (50mgN/l), što upućuje na **nepoštivanje i prekoračenje industrija u ispuštanjima u sustav javne odvodnje**.

## 5.2. Učinkovitost uklanjanja KPK

Kemijska potrošnja kisika (KPK) u vodi obuhvaća sve topljive organske tvari u vodi bez obzira jesu li biorazgradive, te prisutne anorganske soli. Ona obuhvaća sve spojeve koji se mogu oksidirati jakim kemijskim oksidansom. Postotak uklanjanja KPK je viši od 90% tijekom cijelog promatranog razdoblja. Najmanji postotak uklanjanja zabilježen je u mjesecu travnju od 90,33% (Tablica 5.6.). Toga dana evidentiran je povišen dotok i razrijeđena otpadna voda. Za vrijeme velikih količina oborina, otpadna voda se kraće pročišćava te ciklus obrade vode se smanjuje. Efikasnost pročišćavanja od organske tvari (3):

$$\%uklanjanja = \frac{KPK(ulaz) - KPK(izlaz)}{KPK(ulaz)}\ x\ 100 \qquad (3)$$

Tablica 5.6. Opisna statistika efikasnosti uklanjanja organske tvari

| **PARAMETAR** | KPK – ulaz($mgO_2$/l) | KPK – izlaz($mgO_2$/l | % uklanjanja KPK |
|---|---|---|---|
| min | 240 | 8,51 | 90,33 |
| max | 1010 | 28,90 | 98,35 |
| aritmetička sredina | 489,08 | 18,93 | 95,85 |
| median | 451 | 18,40 | 96,02 |
| mod | 478 | 21,2 | 95,67 |
| raspon varijacije | 770 | 20,39 | 8,01 |
| standardna devijacija | 163,093 | 4,457 | 1,36 |

Usprkos velikom udarnom opterećenju i visokim ulaznim vrijednostima postotak uklanjanja organske tvari u mjesecu travnju bio je >98 %. Iz vrijednosti srednjih vrijednosti (moda, medijana i aritmetičke sredine) može se zaključiti da **industrije poštuju MDK za organsku tvar propisan Pravilnikom** [3]. Raspon varijacija je visok kao i kod $N_{uk}$ što opet ukazuje na povremene udare onečišćene otpadne vode.

## 5.3. Učinkovitost uklanjanja $BPK_5$

Biokemijska potrošnja kisika obuhvaća biološki razgradljive organske tvari, koje se oksidiraju djelovanjem mikroorganizama uz prisutnost kisika. Postotak uklanjanja biološki razgradljive organske tvari se izračunava prema (4):

$$\%uklanjanja = \frac{BPK_5(ulaz) - BPK_5(izlaz)}{BPK_{5w}(ulaz)}\ x\ 100 \qquad (4)$$

Postotak uklanjanja biološki razgradljive organske tvari su bile > 97%. Najniži postotak uklanjanja $BPK_5$ bio je početkom mjeseca travnja i iznosio je 97,27% (Tablica 5.7.). Vjerojatni razlog tome su velike količine oborina tog mjeseca koje su razrijedile otpadnu vodu, a te uzrokovale skraćenje procesa pročišćavanja.

Tablica 5.7. Opisna statistika za $BPK_5$

| **PARAMETAR** | $BPK_5$-ulaz($mgO_2/l$) | $BPK_5$ – izlaz($mgO_2/l$) | % uklanjanja $BPK_5$ |
|---|---|---|---|
| min | 90 | 1 | 97,27 |
| max | 392 | 4 | 99,64 |
| aritmetička sredina | 196,33 | 2,03 | 98,89 |
| median | 180,00 | 2,0 | 98,92 |
| mod | 180,00 | 2 | 98,89 |
| raspon varijacije | 302 | 3,0 | 2,37 |
| standardna devijacija | 57 | 0,809 | 0,53 |

Najviše zabilježene ulazne vrijednosti $BPK_5$ bile su u dužen sušnom periodu kada je zamijećen i najveći postotak uklanjanja. Najniže vrijednosti $BPK_5$ iznosile su $90mgO_2/l$. Vrijednost srednjih vrijednosti (aritmetička sredine, medijan i mod) izlaza se poklapaju i nalaze se unutar dopuštenih granica. Kod ulaznih vrijednosti pojavljuju se desni ekstremi.

## 5.4. Učinkovitost uklanjanja fosfora

Uz parametre ukupan dušik, KPK i $BPK_5$ jedan od najvažnijih parametara koji se prati je i ukupan fosfor. Uklanjanje ukupnog fosfora izračunava se prema (6):

$$\%uklanjanja = \frac{P_{uk}\,(ulaz) - P_{uk}(izlaz)}{P_{uk}(ulaz)}\ x\ 100 \qquad (6)$$

Biološkim putem se fosfor ne može ukloniti do propisanih 2mgP/l zato se primjenjuje fizikalno-kemijski postupak uklanjanja. Ulaznoj vodi dodaje se polimer aluminij hidroksi klorida (PAC). Fosfor se ugrađuje u flokulu mulja i na taj način se izdvaja iz otpadne vode. U tablici 5.8. prikazane su vrijednosti opisne statistike učinkovitosti.

Tablica 5.8. Opisna statistika učinkovitosti uklanjanja ukupnog fosfora

| **PARAMETAR** | $P_{uk}$ – ulaz(mgP/l) | $P_{uk}$ – izlaz(mgP/l) | % uklanjanja $P_{uk}$ |
|---|---|---|---|
| min | 3,49 | 0,05 | 63,04 |
| max | 11,60 | 1,7 | 98,91 |
| aritmetička sredina | 6,4 | 0,87 | 86,02 |
| median | 6,21 | 0,87 | 85,90 |
| mod | 4,14 | 0,68 | / |
| raspon varijacije | 8,11 | 1,65 | 35,88 |
| standardna devijacija | 1,742 | 0,445 | 7,01 |

U mjesecu travnju postotak uklanjanja ukupnog fosfora bio najveći i iznosio je 98,91 %. Tako visoka učinkovitost pročišćavanja postignuta je pri dotoku opterećene opadne vode, pri vrijednostima KPK od 744 $mgO_2$/l i gotovo najvišoj vrijednosti fosfora u ulaznoj otpadnoj vodi od 8,28mgP/l.

Najniže vrijednosti efektivnosti uklanjanja ukupnog fosfora bile su početkom mjeseca svibnja od 63,04 % (zbog nepravilnosti u radu crpki za doziranje polimera). Iako je postotak uklanjanja ukupnog fosfora bio manji, granične vrijednosti izlaznog fosfora su bile ispod MDK od 2mgP/l.

Najviša izmjerena vrijednosti fosfora u izlaznoj vodi iznosila je 1,7mgP/l (Tablica 5.8.). Iz vrijednosti moda zaključuje se da **nije bilo stalnih prekoračenja u ispuštanjima industrijskih otpadnih voda**.

Raspon varijacija vrijednosti ulaznog fosfora je velik što upućuje na oscilacije u ulaznoj otpadnoj vodi. Mod vrijednosti izlaznog fosfora su male, što upućuje na konstantne niže

vrijednosti fosfora u izlaznoj vodi. Median i aritmetička sredina $P_{uk}$ izlaza su jednakih vrijednosti, 0,87 mgP/l što je daleko ispod MDK.

## 5.5. Učinkovitost uklanjanja suspendirane tvari

Prilikom mjerenja uklanjanje suspendirane tvari bilo je iznimno visoko. Uklanjanje suspendirane tvari izračunava se na način (7):

$$\%uklanjanja = \frac{ST(ulaz) - ST(izlaz)}{ST(ulaz)}\ x\ 100 \qquad (7)$$

Prosječno uklanjanje bilo je >97% (Tablica 5.9.). Najmanji postotak uklanjanja bio je krajem lipnja i iznosio je 93,58%, pri dotoku otpadne vode s najvišom koncentracijom dušika od 123mgN/l.

Tablica 5.9. Učinkovitost uklanjanja suspendirane tvari

| **PARAMETAR** | ST – ulaz(mg/l) | ST – izlaz(mg/l) | % uklanjanja ST |
|---|---|---|---|
| min | 112 | 1 | 93,58 |
| max | 447 | 14 | 99,45 |
| aritmetička sredina | 222,75 | 4,56 | 97,82 |
| median | 210 | 4 | 98,22 |
| mode | 190 | 3 | 98,85 |
| raspon varijacije | 335 | 13 | 5,87 |
| standardna devijacija | 65,61 | 2,560 | 1,35 |

Najveći postotak uklanjanja suspendirane tvari bio je početkom mjeseca lipnja i iznosio je 99,45%. Kod praćenja ulaza otpadne vode vidljiv je veliki raspon varijacije od 335mg/l.

Velika količina oborina „čisti“ kanalizaciju te su vrijednosti suspendirane tvari tada veće. Vrijednost koja se ponavlja je visokih 98,85%. Raspon varijacija % uklanjanja je niska što govori o konstantnoj visokoj učinkovitosti pročišćavanja.

# 6. Zaključak

Pročišćavanje otpadnih voda važan je faktor u očuvanju flore, faune te zaliha vode za ljudsku upotrebu. Kada se promatra povijesni razvoj u obradi otpadnih voda zaključak je da su naši preci shvaćali važnosti pročišćavanja voda.[7]

Jedan od prvih zapisa o obradi otpadne vode zabilježen je u današnjem Pakistanu 1500 g. pr. Kr. Svaka kuća imala je sanitarni čvor. Otpadna voda odvodila se kanalima u rijeku Ind.[7]

Prvo „pročišćavanje“ otpadne vode putem sedimentacije te djelomična ponovna upotreba zabilježena je u 12 st. na tlu Europe. Korištenjem niza preljeva i jama dio vode se odvajao te se koristio za zalijevanje ili za umjetna jezerca.

Nažalost, u Srednjem vijeku većina otpadnih voda, otpada i fekalija izlijevaju se na ulice. Domaće životinje i glodavci hranili su se ostatcima bačenim na ulicu, što je i uzrokovalo širenje kuge koja je u to vrijeme opustošila Europu.

U 19. st. situacija se počinje mijenjati. Počinje izgradnja vodovoda i kanalizacije u vidu (uglavnom) otvorenih sustava odvodnje.

Nažalost rijeke su glavni recipijenti za prihvat otpadne vode i otpada općenito. Na primjer, grad London koristio je rijeku Temzu koja je postala toliko zagađena da je zbog mirisa bilo nemoguće uopće prolaziti pored nje.

Već u 17. st. započinje istraživanje mikrobiologije, međutim tek početkom 20. st. Edward Arden i William T. Locket razvili su postupak sedimentacije mulja pomoću aeracije te je 1920. g. u Sheffildu (Engleska) izgrađeno prvo postrojenje za pročišćavanje otpadne vode pomoću sedimentacije.

Čista voda je esencijalna tvar za život na zemlji. Ukoliko ne bi postojalo upravljanje sustavima pročišćavanja i zakonskim okvirima vezanim uz ispuštanje otpadnih voda zalihe vode za ljudsku potrošnju bile bi znatno manje nego sada.

Priroda i njezin ekosustav jesu bio-filter te u nekoj mjeri uspijevaju pročistiti dio otpadnih voda koje su nastale uslijed djelovanja čovjeka. No, nemarom čovjeka, izbjegavanjem skupih rješenja u industrijama otežava se borba koju priroda vodi.

Prilikom pročišćavanja postoje razne tehnologije i razni procesi. Fokus ovog rada bio je na tehnologiji SBR pročišćavanja.

*Sequencing batch reactor* (SBR) je tehnološki proces pročišćavanja gdje je svaki reaktor zasebna jedinica u kojoj se odvija cjelokupni proces biološkog pročišćavanja. U reaktoru se odvijaju procesi punjenja, aerobne reakcije, anaerobne reakcije, sedimentacije i odvođenja pročišćene vode. Reaktori rade na principu aktivnog mulja te svaki reaktor ima zasebni sustav

aeracije. Produkt biološke obrade otpadne vode je pročišćena otpadna voda i proizvedeni aktivni mulj.

U radu je dokazana učinkovitost pročišćavanja ovom tehnologijom. U 61 mjerenju pročišćene vode nije zabilježeno niti jedno prekoračenje zakonski dopuštenih vrijednosti što dokazuje učinkovitost ove tehnologije.

Učinkovitost pročišćavanja uvelike ovisi o ulaznim opterećenjima. U području rada promatranog uređaja ne postoje teške industrije što uvelike utječe na ulazne vrijednosti otpadne vode.

Industrijski ispusti koji prelaze zakonski dozvoljene razine onečišćenja mogu poremetiti proces pročišćavanja. Prilikom mjerenja parametara zabilježeno je 39 dana prekoračenja dopuštenih razina ukupnog dušika u ulaznoj vodi i to u razdoblju mjerenja od 01.04. do 01.07.2022.

Iako se, prema dobivenim mjerenjima, industrije ne pridržavaju zakonskih propisa o ispuštanju ukupnog dušika u sustav, otpadna voda se na uređaju uspješno pročišćuje. U periodu mjerenja od 01.04. do 01.07. izmjerene su povećane vrijednosti drugih mjerenih parametara. Zabilježeno je prekoračenje ukupnog fosfora u 2 dana, KPK-a 8 dana i $BPK_5$ 12 dana u ulaznoj otpadnoj vodi što uzrokuje otežano pročišćavanje.

Mjerenje vrijednosti pročišćavanja bile su u razinama dopuštenih granica unatoč sporadičnim skokovima pojedinih parametara zabilježenih u ulaznoj otpadnoj vodi. Koncentracija fosfora i dušikovih spojeva bitna je zbog očuvanje prirodne ravnoteže, jer prevelike količine uzrokuju eutrofikaciju.

Eutrofikacija je starenje vodenih sustava, ona se događa prirodnim putem te utjecajem čovjeka. Pretjeranim unosom fosfora i dušika u vodene sustave ubrzava se proizvodnja organskih tvari fotosintezom.

Kod procesa eutrofikacije u vodenim sustavima specifičan je brz rast algi te smanjenje zasićenosti vode kisikom. Uslijed toga polako izumire životinjski svijet vodenog sustava te se vodeni sustavi pretvaraju u bare.

Koncentracije fosfora u izlaznoj vodi iz sustava za pročišćavanje vode su u zakonski dopuštenim granicama.

Koliko veliki udari utječu na proces pročišćavanja vidljivo je na mjerenja KPK u razdoblju od 05.05. - 06.05.2022. g. kada su ulazne vrijednosti bile višestruko veće od MDK. Iz podataka izlaznih parametara KPK od tih dana vidljiva je smanjena učinkovitost pročišćavanja. Zbog toga je vrlo bitno da se industrije pridržavaju zadanih propisa.

Najveći problemi javljaju se prilikom ulaza otpadne vode koja je visoko kemijski opterećena. U takvim slučajevima može doći do izumiranja kolonija mikroorganizama u bazenima sustava te do usporavanja ili u najgorem slučaju zaustavljanja procesa pročišćavanja, jer iako je biološki način pročišćavanja najsvrsishodnija metoda obrade otpadne vode radi svoje ekonomičnosti i dobrih rezultata osjetljiv je na neke čimbenike.

Čimbenici koji utječu na proces su:

- temperatura,
- pH-vrijednost,
- otopljeni kisik,
- intenzitet miješanja i
- nastajanje pahuljica.

Optimalna temperatura iznosi 20 – 30 °C. U slučaju niže temperature smanjuje se aktivnost mikroorganizama, dok kod se kod viših temperatura smanjuje topljivost kisika u vodi. Najopasnije su nagle promjene temperature vode, jer se mikroorganizmi ne stignu prilagoditi promjeni okoliša.

Optimalna pH vrijednost je od blago kisele do blago lužnate, odnosno u vrijednosti od pH 6 – 8. Otopljeni kisik je rezultat odnosa utrošenog kisika i dovedene količine iz zraka, a njegova preporučena vrijednost u biološkim sustavima za pročišćavanje vode je od 1,5 – 2,5 mg/l. Koncentracija otopljenog kisika može se povećati korištenjem metode aeracije, odnosno upuhivanjem čistog kisika u vodu te se na taj način koncentracija otopljenog kisika može povisiti na 10 mg/l.

Uzorkovanje i analize korištene u ovom radu, rađeni su u toplijim mjesecima godine te su svi podatci vezani uz toplije vremenske uvjete. Analiza podataka pokazuje da je proces pročišćavanja otežan i kod manjeg prihvata vode zbog poremećaja količina voda u bazenima te u samom dotoku hranjiva za mikroorganizme. Dugotrajni sušni periodi loše utječu na efikasnost pročišćavanja.

Padaline imaju veliki učinak na kvalitetu pročišćavanja i u pozitivnom smislu i u negativnom smislu jer razrjeđuju onečišćenu otpadnu vodu, no s druge strane skraćuju proces pročišćavanja. Rezultati mjerenja pokazuju da su neke od mjerenih vrijednosti bile najviše prilikom većih oborina. Kao primjer služe mjerenja od 19.04.2022. kada je uslijed padalina dotok vode bio 12.391$m^3$, vrijednost mjerenog ulaznog ukupnog dušika je bila 39,50mgN/l a mjerena vrijednost izlaznog ukupnog dušika 10,30mgN/l što je najviša zabilježena vrijednost unutar mjerenja.

Proces pročišćavanja se skraćuje zbog velikog dotoka uslijed oborina te volumena bazena sustava za pročišćavanje. Na sreću, uslijed razrjeđivanja s oborinskim vodama otpadna voda prilikom većih oborina nije teško opterećena.

Prema rezultatima istraživanja, zaključuje se da je sustav za pročišćavanja vode, UPOV Koprivnica dobro organiziran te da obavlja djelatnost prema propisanim zakonskim okvirima. Na uređaju se redovito provode interne kontrole otpadne vode te zakonski propisane kontrole od strane ovlaštenih laboratorija.

# Literatura


[1] Tušar B., (2004) Ispuštanje i pročišćavanje otpadne vode, Croatiaknjiga, Zagreb

[2] Felber H. i Fischer M., (2014) Priručnik za tehničke voditelje uređaja za pročišćavanje, F. Hirthammer Verlag GmbH, Munchen

[3] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, 26/2020, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike

[4] Zakon o vodama, Narodne novine 84/2021,

[5] https://www.ibak.de/en/produkte/ibak_show/frontenddetail/product/t-66, pristupljeno 15.04.2022.

[6] https://www.wsup.com/blog/the-devastating-impact-of-poor-wastewater-management/, pristupljeno 15.04.2022.

[7] Wiesmann U., Choi I.S. i Dombrowski E.M., (2007) Fundamentals of biological wastewater treatment, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

[8] Tedeschi S., (1997) Zaštita voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb

[9] http://loveco.hr/gruba-resetka-trashmax/, pristupljeno 15.04.2022.

[10] Tušar B., (2007) Uređaji za pročišćavanje otpadne vode, Hrvatska vodoprivreda, Zagreb

[11] http://loveco.hr/kruzni-pjeskolovi-hrsf/ , pristupljeno 15.04.2022.

[12] Štrkalj A., (2014) Onečišćenje i zaštita voda. Nastavni materijali, Metalurški fakultet, Sisak.

[13]Vuković Domanovac M., (2021) Proces aktivnim muljem, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb

[14] Leslie Grady C.P., Daigger G.T., Love N.G., Filipe C.D.M., (2011) Biological Waste Water Treatment (Third Edition), IWA Publishing, London

[15] https://de-fos.hr/ , pristupljeno 16.04.2022.

[16] Haandel A.C. i Lubbe J.G.M., (2012) Handbook of Biological wastewater treatment – Design and optimisation of activated sludge systems (second edition), IWA publishing, London

[17] https://www.kcvode.hr/upov/ , pristupljeno 16.04.2022.

[18] https://www.kcvode.hr/tehnoloski-proces/ , pristupljeno 16.04.2022.

[19] Pravilnik o katalogu otpada, NN 90/2015, Ministarstvo zaštite okoliša i prirode

[20] https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=Beerov+zakon, pristupljeno 22.04.2022

# Popis slika

Slika 2.1. Pojmovi različitih vrsta otpadnih voda [2] ..... 2
Slika 2.2. Kamera za snimanje kanalizacije IBAK T-66 [5] ..... 3
Slika 3.1. Crtež iz satiričnog magazina „Punch“ prikazuje iznimnu zagađenost rijeke Temze [7] ..... 5
Slika 3.2. Gruba rešetka TrashMax [8] ..... 6
Slika 3.3. Kružni pjeskolov [11] ..... 7
Slika 3.4. Mikrofotografija pahuljica aktivnog mulja, P=100x [13] ..... 9
Slika 3.5. Mikrofotografije aktivnog mulja, a) Dobro stvorena kolonija bakterija povezana u bioflok, b) Loše stvorene kolonije zbog pretjeranog broja cjevastih bakterija [14] ..... 10
Slika 3.6. Proces obrade otpadne vode aktivnim muljem [13] ..... 11
Slika 3.7. Prokapnik [12] ..... 11
Slika 3.8. Biološka cjediljka [12] ..... 12
Slika 3.9. Izgled lagune [15] ..... 13
Slika 3.10. Procesi u lagunama [9] ..... 14
Slika 4.1. UPOV Koprivnica, [17] ..... 16
Slika 4.2. Sustav SCADA nadzora pumpnih stanica ..... 17
Slika 4.3. Uzorci Izlazne i ulazne otpadne vode ..... 18
Slika 4.4. Gruba rešetka na UPOV Koprivnica ..... 18
Slika 4.5. Vertikalni pjeskolov i mastolov na UPOV Koprivnica ..... 19
Slika 4.6. Ispitni izvještaj osnovne karakterizacije [19] ..... 20
Slika 4.7. Granične vrijednosti emisija komunalnih otpadnih voda pročišćenih na uređaju trećeg (III) stupnja pročišćavanja [3] ..... 21
Slika 4.8. Analizator fosfora na UPOV Koprivnica ..... 21
Slika 4.9. Izgled SBR reaktora prilikom aeracije ..... 22
Slika 4.10. Izgled SBR reaktora prilikom faze sedimentacije ..... 23
Slika 4.11. Izgled uređaja za odvodnju pročišćene vode ..... 24
Slika 4.12. Istaloženi mulj na UPOV Koprivnica ..... 24
Slika 4.13. Dehidrirani mulj ..... 27
Slika 4.14. Uređaj za pročišćavanje zraka na UPOV Koprivnica ..... 28
Slika 4.15. Uzorkivač otpadne vode na UPOV Koprivnica ..... 29
Slika 4.16. Rezultat određivanja amonijaka ..... 31
Slika 5.1. Obojana otpadna voda ..... 37

# Tablice

Tablica 4.1. Određivanje suhe tvari i volumena mulja u SBR reaktorima. .....25
Tablica 4.2. Koncentracija mjerenih vrijednosti u SBR reaktorima .....32
Tablica 5.1. Dotok otpadne vode .....33
Tablica 5.2. Vrijednosti parametara na ulazu i izlazu u sustav za pročišćavanje za razdoblje od 1.04. – 1.07. .....34
Tablica 5.3. Prosjeci opterećenja ulazne otpadne vode .....37
Tablica 5.4. Prosječne vrijednosti izlazne otpadne vode .....38
Tablica 5.5. Opisna statistika efikasnosti uklanjanja ukupnog dušika .....38
Tablica 5.6. Opisna statistika efikasnosti uklanjanja organske tvari .....39
Tablica 5.7. Opisna statistika za $BPK_5$ .....40
Tablica 5.8. Opisna statistika učinkovitosti uklanjanja ukupnog fosfora .....41
Tablica 5.9. Učinkovitost uklanjanja suspendirane tvari .....42

3.9% Results of plagiarism analysis from 2023-09-23 18:00 UTC

Diplomski rad - Stjepan Vargović-23.09..docx

Date: 2023-09-23 17:53 UTC

All sources 18 | Internet sources 18

| | | | |
|---|---|---|---|
| ☑ | [0] | repozitorij.unpr.uniri.hr/islandora/object/unpr:903/datastream/PDF/download | 1.6% 12 matches<br>1 documents with identical matches |
| ☑ | [2] | www.bib.irb.hr/309980/download/309980.WTehnologije_obrade_vode.pdf | 0.8% 6 matches |
| ☑ | [3] | docplayer.net/76376783-Inzenjerstvo-otpadnih-voda.html | 0.8% 6 matches |
| ☑ | [4] | www.itf.unist.hr/index.php/nastavni-materijali-diplomskog/category/144-inzenjerstvo-otpadnih-voda?download=2839:inzenjerstvo-otpadnih-voda-prirucnik-za-laboratorijske-vjezbe | 0.8% 4 matches |
| ☑ | [5] | arhiv.sisnet.hr/hrvatsvaljevda.vanjske/diplomski-sveucilisni-studij-metalurgija/3-godina-preddiplomskog-studijskog-smjera-i-zastita-voda/at_download/file | 0.8% 5 matches |
| ☑ | [6] | www.bib.irb.hr/1118796/download/1118796.MOLEKULARNA_ONKOLOGIJA.pdf | 0.3% 2 matches |
| ☑ | [7] | dr.nsk.hr/islandora/object/vuk:264/preview | 0.3% 1 matches |
| ☑ | [8] | repozitorij.pbf.unizg.hr/islandora/object/pbf:4185/datastream/PDF/view | 0.3% 6 matches<br>1 documents with identical matches |
| ☑ | [10] | core.ac.uk/download/pdf/198170483.pdf | 0.3% 2 matches |
| ☑ | [11] | dr.nsk.hr/islandora/object/fkit:626/datastream/PDF/download | 0.3% 2 matches |
| ☑ | [12] | core.ac.uk/download/pdf/197865502.pdf | 0.3% 4 matches |
| ☑ | [13] | dr.nsk.hr/islandora/object/fkit:228/preview | 0.3% 2 matches |
| ☑ | [14] | dr.nsk.hr/islandora/object/kfzkc:783/datastream/PDF/view | 0.3% 2 matches |
| ☑ | [15] | repozitorij.pfos.hr/islandora/object/pfos:2173/datastream/PDF/view | 0.3% 2 matches |
| ☑ | [16] | www.bib.irb.hr/988156/download/988156/Vad_dd_2015.pdf | 0.3% 2 matches |
| ☑ | [17] | www.itf.unist.hr/index.php/component/mtree/2/repozitorij-doktorske-disertacije?download=5053:mladen-perilli,-modeliranje-pokazatelja-onecisenja-komunalne-otpadne-vode-grada-splita | 0.3% 2 matches |
| ☑ | [18] | docplayer.rs/122215683-Spektrofotometrijsko-odredivanje-helpca-u-farmaceutskom-pripravku.html | 0.3% 2 matches |
| ☑ | [19] | tr-ex.me/translation/croatian-english/kapacitet | 0.3% 1 matches |

61 pages, 11336 words

PlagLevel: 3.9% selected / 3.9% overall

42 matches from 20 sources, of which 20 are online sources.

Settings

Data policy: Compare with web sources, Check against the Plagiarism Prevention Pool

Sensitivity: Low

Bibliography: Consider text

Citation detection: Highlighting only

Whitelist: --

Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE
SJEVER

**IZJAVA O AUTORSTVU**
**I**
**SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski 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, STJEPAN VARGOVIĆ *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica ~~završnog~~/diplomskog *(obrisati nepotrebno)* rada pod naslovom EFIKASNOST SUSTAVA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNE VODE *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
*(upisati ime i prezime)*
STJEPAN VARGOVIC
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, STJEPAN VARGOVIĆ *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom ~~završnog~~/diplomskog *(obrisati nepotrebno)* rada pod naslovom EFIKASNOST SUSTAVA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNE VODE *(upisati naslov)* čiji sam autor/ica.

Student/ica:
*(upisati ime i prezime)*
STJEPAN VARGOVIĆ
(vlastoručni potpis)