

# KARAKTERISTIKE OTPADNE VODE GRADA ZAPREŠIĆA

---

**Kekić, Nina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:070871>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-03**



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

*Repository / Repozitorij:*

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



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ**  
**PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA**  
**PRERADA MLIJEKA**

**NINA KEKIĆ**

**KARAKTERISTIKE OTPADNE VODE GRADA ZAPREŠIĆA**

**ZAVRŠNI RAD**

**KARLOVAC, 2023.**



**Veleučilište u Karlovcu**

Stručni prijediplomski studij prehrambena tehnologija

Prerada mlijeka

Nina Kekić

**Karakteristike otpadne vode grada Zaprešića**

Završni rad

Mentor: dr. sc. Ines Cindrić, prof. struč. stud.

Komentor: Aleksandar Tašić, mag. ing. cheming

JMBAG studenta: 0248076089

Karlovac, 13. srpanj 2023.

## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem mentorici dr. sc. Ines Cindrić, prof. v. š. što mi je pristala biti mentorica pri pisanju završnog rada i što je izdvojila vrijeme kako bi me usmjerila, dala sugestiju te pomogla pri pisanju. Također, zahvaljujem se radnoj jedinici pročišćavanja otpadnih voda grada Zaprešića te gospodinu voditelju – tehnologu Aleksandru Tašiću, koji mi je pomagao pri eksperimentalnom dijelu završnog rada kao i pri pronalasku materijala za rad.*

*Posebnu zahvalu htjela bi uputiti svojim roditeljima koji su mi omogućili upis na prijediplomski studij i bili mi potpora kroz ove tri godine studija. Zahvaljujem se i baki i prijateljima koji su me podržavali i vjerovali u mene.*

*Prozirnost pročišćene vode je kao boja duše. Teško se probija zrak svjetlosti kroz mrak...*

## IZJAVA O AUTENTIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA

Ja, **Nina Kekić**, ovime izjavljujem da je moj završni rad pod naslovom **Karakteristike otpadne vode grada Zaprešića** rezultat vlastitog rada i istraživanja te se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio ovoga rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši autorska prava.

Sadržaj ovoga rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Karlovac, 13. srpanj 2023.

Ime i prezime studenta

---

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel prehrambene tehnologije  
Stručni prijediplomski studij prehrambena tehnologija

Završni rad

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti  
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

## KARAKTERISTIKE OTPADNE VODE GRADA ZAPREŠIĆA

*Nina Kekić*

Rad je izrađen 13. srpanj 2023.

Mentor: Dr.sc. *Ines Cindrić*, prof. struč. stud.

### Sažetak:

Otpadne vode sadrže razne štetne tvari koje onečišćuju vodu i kao takve ne smiju se ispuštati u prirodu, odnosno takva voda mora biti podvrgnuta adekvatnom procesu pročišćavanja. Najčešći način pročišćavanja otpadnih voda provodi se putem Uređaja za pročišćavanje otpadnih voda koji koristi kombinaciju mehaničkih, fizikalno – kemijskih i bioloških metoda. Mehaničkim procesom obrade otpadne vode uklanjaju se grube nečistoće i suspendirane tvari dok se daljnjom fizikalno-kemijskom obradom uklanjaju koloidne te anorganske tvari, a biološka metoda dizajnirana je za uklanjanje organskih tvari prirodnog porijekla. Cilj ovog završnog rada bio je provesti dvotjedno ispitivanje učinkovitosti pročišćavanja otpadnih voda pristiglih na Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Zaprešića. Dobiveni rezultati ukazuju na uspješno provedeno pročišćavanje pri čemu se u prvom stupnju obrade otpadnih voda količina štetnih tvari smanjila do 60%, a sekundarnom obradom moguće je uz pomoć aktivnog mulja smanjiti od 30% do 50% ukupnog dušika.

**Broj stranica: 37**

**Broj slika: 13**

**Broj tablica: 2**

**Broj literaturnih navoda: 12**

**Broj priloga: 0**

**Jezik izvornika: hrvatski**

**Ključne riječi:** otpadna voda, otpadni mulj, pročišćavanje, uređaj za pročišćavanje otpadnih voda

**Datum obrane:**

### Stručno povjerenstvo za obranu:

1. dr. sc. *Jasna Halambek*, v. pred. – *Predsjednica ispitnog povjerenstva*
2. dr. sc. *Bojan Matijević*, prof. struč.stud. – *član (zamjenik predsjednika)*
3. dr. sc. *Ines Cindrić*, prof. struč.stud. – *član mentor*
4. dr. sc. *Marijana Blažić*, prof. struč.stud. – *zamjena*

Rad je pohranjen u knjižnici Veleučilišta u Karlovcu, Trg J. J. Strossmayera 9, 4700 Karlovac, Hrvatska.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

**Karlovac University of Applied Sciences**  
**Department of Food Technology**  
**Professional Study of Food Technology**

**Final paper**

**Scientific Area: Biotechnical Sciences**  
**Scientific Field: Food Technology**

### CHARACTERISTICS OF WASTEWATER FROM THE TOWN OF ZAPREŠIĆ

*Nina Kekić*

**Final paper performed at July 13, 2023.**

**Supervisor:** Ph.D. *Ines Cindrić, college prof.*

**Abstract:**

Wastewater contains various harmful substances that pollute water and as such must not be discharged into nature, that is, such water must be subjected to an adequate purification process. The most common method of wastewater treatment is carried out through the Wastewater Treatment plant, which uses a combination of mechanical, physical-chemical and biological methods. The mechanical process of wastewater treatment removes coarse impurities and suspended substances, while further physical-chemical treatment removes colloidal and inorganic substances, and biological methods are designed for removing organic substances of natural origin. The target of this final work was to conduct a two-week test of the efficiency of wastewater treatment received at the Zaprešić City Wastewater Treatment Plant. The obtained results indicate a successful treatment, where in the first stage of wastewater treatment, the amount of harmful substances was reduced by up to 60%, and with the secondary treatment, it is possible to remove from 30 to 50% of the total nitrogen with the help of active sludge.

**Number of pages: 37**

**Number of figures: 13**

**Number of tables: 2**

**Number of references: 0**

**Original in:** Croatian

**Key words:** purification, waste sludge, waste water, waste water treatment device

**Date of the final paper defense:**

**Reviewers:**

1. Ph.D. *Jasna Halambek sen. lecturer*
2. Ph.D. *Bojan Matijević college prof.*
3. Ph.D. *Ines Cindrić, college prof.*
4. Ph.D. *Marijana Blažić, college prof.*

**Final paper deposited in:** Library of Karlovac University of Applied Sciences, Trg J. J. Strossmayera 9  
Karlovac, Croatia



## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	2
<b>2.1. Otpadne vode</b> .....	2
<b>2.1.1. Sanitarne otpadne vode</b> .....	3
<b>2.1.2. Industrijske otpadne vode</b> .....	4
<b>2.2. Kakvoća voda</b> .....	5
<b>2.2.1. Fizikalni pokazatelji</b> .....	6
<b>2.2.2. Kemijski pokazatelji</b> .....	6
<b>2.2.3. Biološki pokazatelji</b> .....	7
<b>2.3. Pročišćavanje otpadnih voda</b> .....	8
<b>2.3.1. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda</b> .....	9
<b>2.3.1.1. UPOV grada Zaprešića</b> .....	10
<b>2.3.1.2. Primarna obrada otpadnih voda na UPOV grada Zaprešića</b> .....	12
<b>2.3.1.3. Sekundarna obrada otpadnih voda</b> .....	14
<b>2.3.1.4. Tercijarna obrada otpadnih voda</b> .....	18
<b>2.3.1.5. Zbrinjavanje otpadnog mulja</b> .....	19
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	23
<b>3.1. Cilj rada</b> .....	23
<b>3.2. Instrumenti</b> .....	23
<b>3.3. Kemikalije</b> .....	23
<b>3.4. Uzorkovanje</b> .....	24
<b>3.5. Metode rada</b> .....	24
<b>3.5.1. Suspendirana tvar</b> .....	24
<b>3.5.2. Temperatura</b> .....	25
<b>3.5.3. Elektrovodljivost</b> .....	25

<b>3.5.4. pH</b> .....	25
<b>3.5.5. Otopljeni kisik</b> .....	26
<b>3.6.1. BPK<sub>5</sub> (Biološka potrošnja kisika)</b> .....	26
<b>3.6.2. KPK (Kemijska potrošnja kisika)</b> .....	27
<b>3.6.3. Ukupni fosfor (TP)</b> .....	27
<b>3.6.4. Ukupni dušik (TN)</b> .....	27
<b>3.6.4.1. Amonijak</b> .....	28
<b>3.6.4.2. Nitrati</b> .....	28
<b>3.6.4.3. Nitriti</b> .....	28
<b>3.6.5. Kloridi</b> .....	29
<b>3.6.6. Sulfati</b> .....	29
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	30
<b>5. ZAKLJUČCI</b> .....	36
<b>6. LITERATURA</b> .....	37

## 1. UVOD

Otpadna voda glavni je uzročnik mnogih bolesti te kao takva utječe i na ekosustav uslijed interakcija života u vodi i života na kopnu. Pročišćavanje otpadnih voda je izrazito kompleksno i multidisciplinarno područje kojim se bave stručnjaci raznih struka s ciljem zaštite prirode i okoliša, odnosno zdravlja svih živih bića. Ukoliko se u prirodne vodotoke nekontrolirano ispušta nepročišćena otpadna voda, ona će uzorkovati vrlo često trajnu štetu na svim ekosustavima što će posljedično dovesti do poremećaja u prirodnoj ravnoteži te moguće utjecati na smanjenje bioraznolikosti. Nepročišćena otpadna voda vrlo često sadrži i patogene mikroorganizme, štetne prezistentne kemijske spojeve, teške metale i sl. koji predstavljaju izrazito visok rizik za ljudsko zdravlje te ostavljaju na njega trajne posljedice. Svrha je dakle procesa pročišćavanja otpadnih voda u potpunosti uklanjanje tvari štetnih po okoliš i ljudsko zdravlje kada je to moguće ili barem smanjenje na onu količinu koja im ne predstavlja neposredni rizik.

Pročišćavanje otpadne vode također ima pozitivan utjecaj na ekonomiju, odnosno pozitivan učinak na njeno očuvanje. Očuvanje vodnih resursa i zaštita okoliša kroz procese pročišćavanja otpadnih voda dugoročno pridonosi održivom razvoju. Ponovno korištenje pročišćene otpadne vode u poljoprivredi ili industriji štedi vodne resurse te smanjuje pritisak na prirodne izvore vode. Pročišćavanjem otpadnih voda također dobivamo neke nusprodukte koji mogu biti korisni nakon obrade, kao što je otpadni mulj koji čini najveći dio otpada prilikom pročišćavanja. Mulj nakon prolaska nužnog tretmana obrade poput aerobne ili anaerobne digestije, stabilizacije vapnom te kompostiranja postaje stabilizirani mulj i kao takav može se iskoristiti u poljoprivredi i šumarstvu za obogaćivanje tla. Stoga, pročišćavanje otpadne vode nije samo proces kojim se pročišćuje otpadna voda kako ne bi onečišćivala okoliš i vodene sustave već je jedan od glavnih razloga očuvanje svih živih organizama.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Otpadne vode

Otpadne vode su vode koje su tijekom upotrebe promijenile svoj izvorni sastav unošenjem štetnih tvari u vodu (Tomić, 2019). Otpadne vode nastaju upotrebom vode iz raznovrsnih vodoopskrbnih sustava koji se koriste za određene namjene, pri čemu dolazi do promjene prvotnih svojstva vode, odnosno do promjene fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki. Otpadne vode smatraju se otpadnim tvarima koje su u tekućem obliku, a količina i vrsta štetnih tvari i otpada ovise o kojoj skupini otpadnih voda se radi.

Ovisno o mjestu nastanka otpadne vode možemo podijeliti na (slika 1):

- sanitarne otpadne vode,
- industrijske otpadne vode,
- oborinske vode,
- procjedne vode (Harambašić, 2019).



Slika 1. Načini onečišćenja vode (Tomić, 2019).

### 2.1.1. Sanitarne otpadne vode

Sanitarne otpadne vode nazivaju se još "komunalne", "fekalne" ili "gradske" vode, a nastaju u gradskim ili seoskim naseljima. Nastale sanitarne vode dolaze iz kućanstva, ugostiteljstva, školstva, zdravstva, uslužnih i drugih neproizvodnih djelatnosti. Njihova kakvoća ovisi o načinu života i navikama u kućanstvu, sustavu snabdijevanja i odvodnje te klimatskim uvjetima. Osnovno svojstvo sanitarnih otpadnih voda je biološka razgradivost, odnosno specifične su zbog svoje opterećenosti organskim tvarima koje se počinju razgrađivati kada dopiju u vodu (Tomić, 2019).

Prema stupnju biološke razgradnje razlikuju se sljedeće sanitarne otpadne vode:

- svježe otpadne vode - vode kod kojih još nije napredovala biološka razgradnja, odnosno to su one vode kod kojih koncentracija otopljenog kisika nije bitno manja od one u pitkoj vodi iz vodovoda. Svježe sanitarne otpadne vode su sivo-smeđe boje, a prolaskom kroz kanalizaciju poprimaju tamniju boju zbog napredovanja biološke razgradnje te sumporovodik vodi daje intenzivan miris (Tomić, 2019).
- odstajale vode - odstajale vode ne sadrže kisik, zbog potrošnje u biološkoj razgradnji otpadne vode.
- septičke vode - u septičkim vodama biološka razgradivost toliko je napredovala da se odvija u anaerobnim uvjetima te je uspostavljena ravnoteža između razgrađivača i organske tvari (Tomić, 2019). Septička voda nepoželjna je u kanalizacijskom sustavu iz razloga što se anaerobnom razgradnjom stvara ugljikov dioksid i sumporovodik koji oksidira u sumpornu kiselinu (Harambašić, 2019).

Sanitarna otpadna voda mutna je zbog otpadnih tvari koje se nalaze u njoj, a pojavljuju se u koloidnom i otopljenom obliku. Kemijski sastav takvih voda može se razlikovati od grada do grada. Dvije trećine tvari koje su otopljene u sanitarnim otpadnim vodama su organske tvari, odnosno bjelančevine u postotku od 40 do 60% i ugljikohidrati u postotku od 25-50% (Tomić, 2019). Razlika u temperaturi sanitarne vode i vodovodne vode proizlazi iz toga što sanitarne vode obuhvaćaju vodu iz kuhinja i kupaonica te je to razlog u prosjeku više temperature sanitarnih voda. Povišena temperatura je uzrok ubrzanog biološkog procesa razgradnje i time brže potrošnje otopljenog kisika, te kao posljedica toga dolazi do stvaranja neugodnih mirisa. U područjima gdje nisu izgrađeni kanalizacijski sustavi javlja se problem prikupljanja sanitarnih otpadnih voda u septičke jame.

Ukoliko se sanitarne otpadne vode iz septičkih jama dovode u zajednički uređaj za pročišćavanje otpadnih voda, njihov udio u kanalizacijskim vodama ne smije prelaziti 1% zbog visokih koncentracija otpadnih tvari (Tomić, 2019).

### **2.1.2. Industrijske otpadne vode**

Industrijske otpadne vode smatraju se jednim od najvećih izvora onečišćenja, a nastaju kao posljedica uporabe vode u raznim industrijama, odnosno tehnološkim procesima i proizvodnjom energije. Svaka industrija ima specifična onečišćenja, tako i voda korištena u tim industrijama ima specifična onečišćenja ovisno o industriji i procesima za koju je korištena, stoga se pročišćavanje mora prilagoditi sastavu i svojstvima industrijske otpadne vode.

Industrijske otpadne vode mogu se podijeliti u dvije temeljne skupine prema biološkoj razgradivosti:

- biološki razgradive vode – nazivaju se one otpadne vode koje sadrže povećani udio karakterističnog organskog onečišćenja prirodnog porijekla, odnosno otpadne vode u kojima su prisutni biološki lako razgradivi sastojci, kao što je prirodni otpadni materijal prehrambenih proizvoda. Organski otpad također dolazi i od kemijskih industrija u kojima se za kemijske reakcije koristi uglavnom organske tvari. Biološkom procesu obrade takvih voda prethodi posebna predobrada industrijskih otpadnih voda kojom se uklanja nastali organski industrijski otpad.
- biološki nerazgradive vode – su one otpadne vode koje sadrže povećanu koncentraciju sintetskih organskih i anorganskih spojeva, odnosno otpadne vode u kojima su prisutni biološki teško razgradivi sastojci. To su najčešće otpadne vode koje proizlaze iz različitih industrijskih procesa. Biološki nerazgradive industrijske otpadne vode sadrže i velike količine suspendiranih tvari koje se mogu ukloniti taloženjem zajedno s kemijskom flokulacijom. Pročišćavanje biološki nerazgradivih industrijskih otpadnih voda izuzetno je značajno radi kontrole toksičnih i perzistentnih tvari koje imaju tendenciju nakupljanja u živim organizmima (Harambašić, 2019).

Vode u industriji dijelimo na rashladne vode, kotlovske vode te vode kao osnovu sirovinu u proizvodnji. Vode kao takve prije korištenja potrebno je pripremiti, odnosno podvrgnuti

procesu mekšanja vode kojim djelomično ili potpuno uklanjamo tvari koje vodu čine tvrdom. U mnogim industrijama voda služi kao rashladno sredstvo, odnosno rashladni medij zbog svoje pristupačnosti kao i zbog ekonomskih razloga. Rashladne vode koriste se u mnogim industrijskim i energetske procesima za hlađenje određenog dijela sustava, točnije koriste se u svrhu odvođenja viška topline. Vode koje koristimo kao rashladno sredstvo nazivamo rashladnim vodama te ih kao takve svrstavamo u tehnološke vode, a u trenutku kada prestaju biti od koristi postaju dio industrijskih otpadnih voda. Ispuštanjem takvih voda u prirodne vodne sustave, bez prethodnog tretiranja dolazi do toplinskog onečišćenja, onečišćenja nastalim zbog povišenja ili sniženja temperature vodnog sustava od strane čovjeka. Velika količina rashladnih voda dolazi iz industrija poput termoelektrana, rafinerija nafte, kemijskih i čeličnih industrija te iz tvornica papira i celuloze. Varijacijom temperature vode dolazi do promjene fizikalnih i kemijskih svojstva vode. Od fizikalnih svojstva mijenja se gustoća, površinska napetost, topljivost, difuznost kisika te kinetička viskoznost. Dugotrajnim kruženjem rashladne vode u sustavu dovodi do pojave algi, bakterija i protozoa, te je time povećana mogućnost mikrobiološkog onečišćenja vodnih sustava prilikom ispuštanja u prirodu (Tomić, 2019). Kotlovske vode koriste se u industriji za proizvodnju pare te kao takve imaju velik toplinski kapacitet, odnosno apsorbiraju najviše topline po jedinici povećanja temperature kod zagrijavanja te ih to čini idealnim medijem za procese izmjene topline. Voda koja je osnovna sirovina u proizvodnji mora odgovarati određenim kriterijima. Takva voda mora biti bistra, prozirna i čista, bez prisustva spojeva u kojima su prisutni kalcij, magnezij, željezo i mangan, tvrdoća takve vode ne smije prelaziti 1,79 ml  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  te mora biti mikrobiološki ispravna.

## **2.2. Kakvoća voda**

Kakvoća vode jedan je od glavnih kriterija za upotrebljivost vode te prema tome razlikujemo vodu za ljudsku potrošnju, tehnološku vodu i naposljetku, otpadnu vodu kao rezultat njezina korištenja, a kakvoća vode ustanovljuje se provođenjem analiza (Tušar, 2009). Onečišćenje otpadne vode je najčešće posljedica ljudskih aktivnosti koje mijenjaju fizikalna, kemijska i biološka svojstva korištene vode. Metode pročišćavanja otpadnih voda uvelike ovisi o kakvoći otpadne vode, odnosno njezinim sastavu, svojstvima i koncentraciji onečišćujuće tvari. Zbog toga je bitno pravilno okarakterizirati kakvoću vode pomoću fizikalnih, kemijskih i bioloških pokazatelja vode.

### **2.2.1. Fizikalni pokazatelji**

Fizikalni pokazatelji određuju svojstva vode s obzirom na boju, miris, izgled, okus, temperaturu, ali njima ne možemo prosuditi upotrebljivost vode. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode su: suspendirane tvari, mutnoća, boja, okus, miris, temperatura (Harambašić, 2019). Suspendirane tvari u otpadnim vodama su krutine koje mogu biti organskog ili anorganskog porijekla. Organske tvari u otpadnim vodama čine muljevi koji se uklanjaju tijekom procesa pročišćavanja voda, a pijesak čini najveći udio anorganske tvari. Suspendirane tvari u otpadnim vodama dijelimo na taložive i netaložive. Taložive tvari su tvari koje se nakon određenog vremena sedimentiraju na dnu primarnog bazena, a netaložive tvari utječu na mutnoću i boju otpadne vode. Onečišćujuće tvari u otpadnim vodama utječu i na okus i miris otpadne vode, zbog stvaranja karakterističnih plinova (metan, sumporovodik, amonijak, itd.) koji se javljaju u odvodnji otpadne vode. Temperatura otpadne vode ovisi o godišnjem dobu, odnosno vanjskoj temperaturi zraka zbog vremena zadržavanja u taložnicama.

### **2.2.2. Kemijski pokazatelji**

Kemijski pokazatelji kojima se ocjenjuje kakvoća vode su: ukupno otopljene tvari, koncentracija vodikovih iona, alkalitet, tvrdoća, otopljeni plinovi, organske tvari, hranjive tvari, metali i ostali (Harambašić, 2019). Organsku tvar u prirodnim vodama nalazimo u dva oblika, raspršenom ili otopljenom obliku kao rezultat biokemijskih procesa te ispiranja zemljišta oborinskim vodama. Također, nalazimo masti, ugljikohidrate i bjelančevine kao najzastupljenije organske tvari u otpadnim vodama, dok u manjim količinama nalazimo pesticide i površinski aktivne tvari.

Biokemijskom potrošnjom kisika (BPK) označujemo procese razgradnje organske tvari u vodi. Naime, biološku, odnosno razgradivu tvar otpadnih voda, mikroorganizmi koriste kao hranu i time troše kisik. Potrošnjom kisika povećava se koncentracija ugljikovog dioksida što za posljedicu ima smanjenje organskog onečišćenja u otpadnoj vodi. Stupanj pročišćavanja otpadne vode koji je nastao na taj način izražavamo pomoću kemijskog pokazatelja petodnevnne biokemijske potrošnje kisika. Biokemijska potrošnja kisika je ona količina kisika koja je potrebna da se biokemijskim reakcijama organska tvar razgradi pomoću mikroorganizama te je za određivanje uvedena petodnevnna biokemijska potrošnja kisika (BPK<sub>5</sub>), koja se odvija na temperaturi od 20 °C te se izražava se u mg/l O<sub>2</sub> (Harambašić, 2019).

Najvažniji kemijski pokazatelj kakvoće vode je kemijska potrošnja kisika (KPK). Kemijska



potrošnja kisika je potrebna količina kisika za kemijsku potrošnju pogodnih tvari u otpadnim vodama. Metode određivanja kemijske potrošnje kisika temelje se na redoks reakcijama oksidacije organske tvari tijekom kojih se organske tvari koje sadrže ugljik potpuno oksidiraju na ugljikov dioksid i vodu, a organska stvar vezana uz dušik stvara amonijak. Kemijska potrošnja kisika izražava se u miligramima kisika po litri (mg/l O<sub>2</sub>). Kemijska potrošnja kisika realniji je pokazatelj onečišćenja otpadne vode od biokemijske potrošnje kisika kroz pet dana, jer je vrijednost kemijske potrošnja kisika u pravilu za 2,5 puta veća od vrijednosti biokemijske potrošnje kisika kroz pet dana (Tomić, 2019).

Vrijednostima kemijske i biokemijske potrošnje kisika izražava se ukupno opterećenje otpadnih voda, od kojih je najveća količina opterećenja upravo opterećenje organskom tvari, a te su nam vrijednosti pokazatelji prema kojima se vrši optimizacija rada uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

### **2.2.3. Biološki pokazatelji**

Biološke procjene stanja vodnih sustava temelje se na promjenama u ekosustavu koje su posljedica mijenjanja abiotičkih čimbenika, odnosno kemijskih i fizikalnih dijelova nežive prirode koji utječu na žive organizme i stanje ekosustava (Harambašić, 2019).

Biološki pokazatelji kakvoće vode su:

- stupanj saprobnosti - saprofagi, najčešće bakterije i plijesni, organizmi su koji razgrađuju biološki razgradive spojeve, koriste ih za hranu te ispuštaju anorganske tvari. Tijekom razgradnje organske tvari troši se otopljeni kisik, što dovodi do promijene procesa od aerobnog do anaerobnog i samim time mijenja se kemijski sastav vode (Vugrin, 2019).
- stupanj biološke proizvodnje - s obzirom na hranjivost vode, možemo je podijeliti na siromašne hranjivim solima (oligotrofne), srednje bogate hranjivim solima (mezotrofne) bogate hranjivim solima (eutrofne). Stupanj biološke proizvodnje je biološki pokazatelj kakvoće vode koji ovisi o prisutnosti hranjivih soli u vodi, odnosno o trofikaciji. Kada je koncentracija hranjivih soli povećana uz ostale parametre temperaturu i zasićenost kisikom može doći do pojave trofikacije.
- mikrobiološki pokazatelji - biološki pokazatelji u velikoj mjeri ovise o prisutnosti različitih mikroorganizama kao što su bakterije, gljive, rikecije, algi, virusi i protozoa. Bakterije su

jednostanični heterotrofni i autotrofni prokarioti koji mogu biti različitog morfološkog oblika, obavljati sve životne funkcije poput disanja, hranjenja i razmnožavanja te su prisutni svugdje u okolišu. Autotrofne bakterije su bakterije koje iskorištavaju ugljikov dioksid kao izvor ugljika, dok heterotrofne bakterije iskorištavaju organske spojeve (Vugrin, 2019).

- stupanj otrovnosti - stupanj otrovnosti se određuje umjesto određivanja otrovnosti pojedinih sastojaka u slučaju kada nije propisana maksimalna dopuštena koncentracija (MDK) pojedinih onečišćivača u vodi.
- indeks razlike - indeks razlike služi da prikazivanje strukture životne zajednice matematičkim izrazom te proizlazi iz činjenice da su određene vrste zastupljene, odgovarajućeg broja jedinki, u pojedinim životnim zajednicama. Raščlambom pojedinih vrsta i njihovih populacija mogu se odrediti pravci promjene strukture životne zajednice kao utjecaj okoliša i ekosustava. Indeks razlike nije dovoljan pokazatelj za određivanje stanja vodnog sustava, ali može biti koristan za složena biološka ispitivanja kao jedan od pokazatelja promjena u ekosustavu uzorkovanih antropogenim djelovanjem (Vugrin, 2019).

### **2.3. Pročišćavanje otpadnih voda**

Pročišćavanje otpadnih voda vršimo kako bi smanjili onečišćenje do te mjere da ispuštanjem pročišćene otpadne vode u prijemnike neće ugroziti zdravlje ljudi i uzrokovati promjene u ekosustavu (Tomić, 2019).

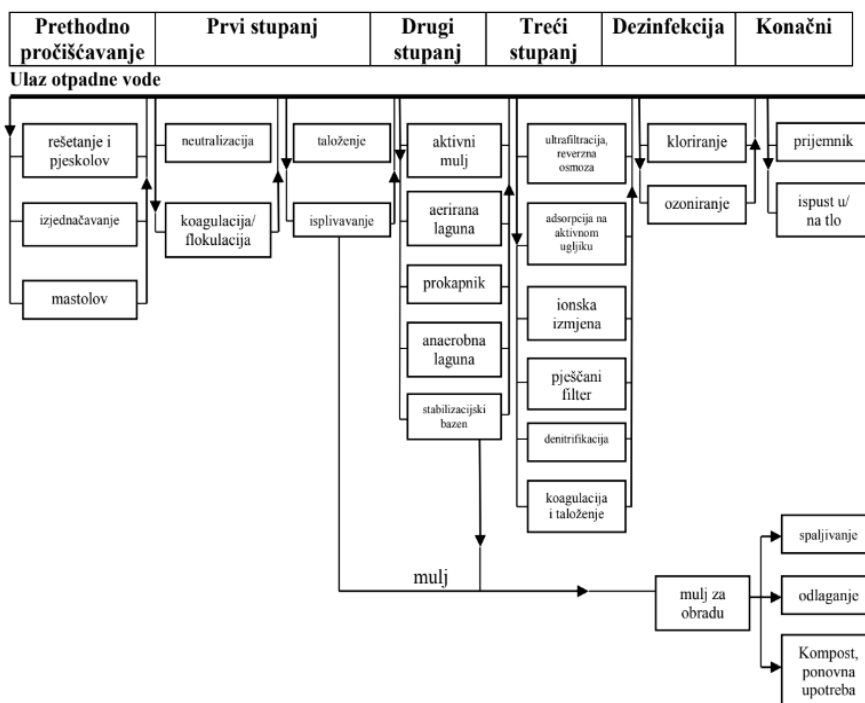
Procesi upravljanja kakvoćom dijele se prema tvarima koje treba ukloniti iz vode, a najčešće su to:

- grube nečistoće u obliku krupno plivajućih i lebdećih tvari, koje uklanjamo mehaničkim procesima
- suspendirane tvari, koje također uklanjamo mehaničkim, odnosno fizikalnim procesima
- koloidne tvari, za uklanjanje koloidnih tvari primjenjujemo kemijske procese
- otopljene anorganske tvari u obliku iona, molekula ili molekulskih skupina, te ih uklanjamo fizikalno-kemijskim procesima
- otopljene organske tvari, najčešće ih uklanjamo primjenom bioloških procesa, ali i primjenom fizikalno-kemijskih procesa (Tušar, 2009).

### 2.3.1. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda

Pročišćavanje otpadnih voda tehnološki je proces koji se provodi na uređajima za pročišćavanje. Uređaji za pročišćavanje su vodne građevine s postrojenjima namijenjenim za pročišćavanje otpadne vode prije ispuštanja u prirodne prijemnike. Uređaje za pročišćavanje otpadnih voda dijelimo prema stupnju pročišćavanja na prethodni stupanj pročišćavanja, prvi stupanj pročišćavanja, drugi stupanj pročišćavanja te treći stupanj pročišćavanja, kao što je prikazano na slici 2. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Zaprešića za sada vrši pročišćavanje otpadnih voda prethodnim stupnjem te prvim stupnjem pročišćavanja, dok je sekundarni stupanj pročišćavanja otpadnih voda trenutno u izradi. Projektiranje i optimizacija uređaja za pročišćavanje otpadnih voda složen je proces u kojem glavnu ulogu ima otpadna voda koja dolazi na uređaj, odnosno važno je poznavati svojstva i sastav otpadne vode koja se pročišćuje kako bi se mogao projektirati uređaj. Ovisno o vrsti, sastavu i porijeklu otpadnih voda koje se obrađuju, razlikujemo uređaje za pročišćavanje otpadnih voda.

Na uređajima za pročišćavanje u većini slučajeva ugrađuju se dvije tehnološke linije, linija otpadne vode i linija mulja, te u tim linijama svaki proces ima određenu tehnološku svrhu.



Slika 2. Dijelovi tehnološke linije pročišćavanja otpadnih voda (Tomić, 2019).

Kako bi se poboljšala kakvoća prirodnih vodnih sustava, pročišćavanje otpadnih voda je ključno, ali uz kakvoću i količina otpadne vode je značajan čimbenik kod projektiranja sustava za obradu otpadnih voda. Prilikom projektiranja potrebno je znati količinu otpadne vode koja pritječe u sustav kako bi se mogao izračunati potreban obujam prihvatnih spremnika, kapacitete crpki te ostalih dijelova sustava i uređaja. Za taj proračun koristi se projektna veličina "ekvivalent stanovnik", odnosno ES koji predstavlja utrošak vode jednog stanovnika neke populacije tijekom jednog dana te se dobiva na način dijeljenja ukupnog BPK<sub>5</sub> s vrijednošću koja otpada na jednog stanovnika, iznosi 60 g kisika na dan (Tomić, 2019).

Uređaji za pročišćavanje dijele se prema veličini na:

- uređaje veličine do 10 000 ES
- uređaje veličine od 10 000 do 50 000 ES
- uređaje veće od 50 000 ES (Harambašić, 2019).

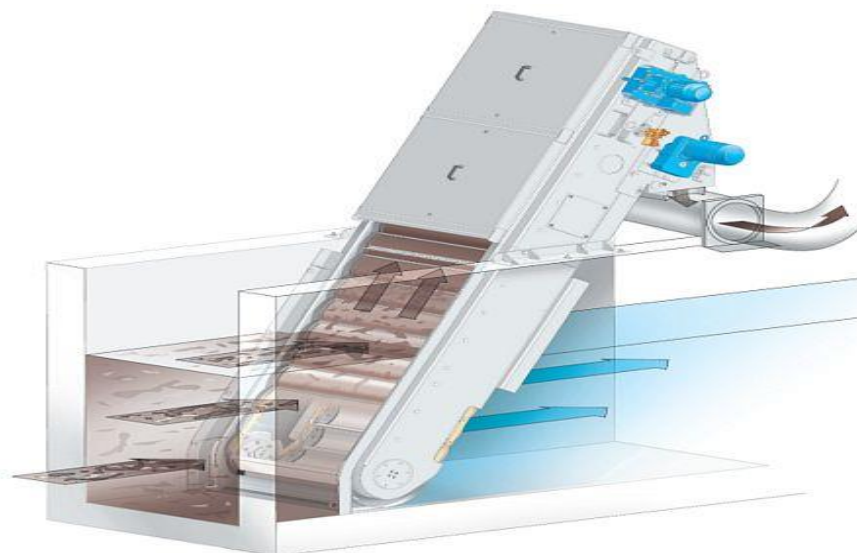
#### **2.3.1.1. UPOV grada Zaprešića**

Obrada otpadnih voda koje dotječu na Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Zaprešića započinje predobradom otpadnih voda kojom se iz vode uklanjaju grube nečistoće, odnosno krupne raspršene i plutajuće otpadne tvari primjenom fizikalnih procesa, neposredno prije prvog stupnja pročišćavanja otpadne vode. Uređaji za predobradu otpadnih voda na UPOV grada Zaprešića obuhvaćaju rešetke i sita koja odstranjuju krupne tvari iz otpadnih voda, te sjekače koji usitnjavaju otpad i spremnike za izjednačavanje otpadnih voda. Tvari koje najčešće dolaze iz kućanskih otpadnih voda su krupne, raspršene ili plivajuće tvari, poput komada drveta, plastike, lišća, tekstila te se uz pomoć rešetki i sita uspješno uklanjaju u predobradi. Kako bi se osigurao pravilan rad primarnog tretmana pročišćavanja otpadnih voda, predobrada je prvi nužni korak u obradi voda.

Rešetke za odstranjivanje krupnih tvari iz otpadnih voda nagnute su pod kutom od 60° do 80° od površine vode. Prema razmaku između šipki, rešetke dijelimo na:

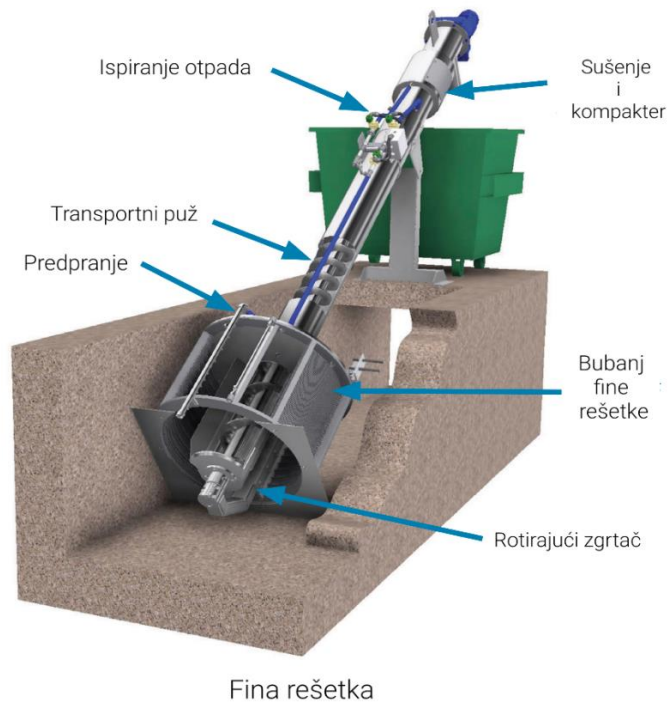
- uske ili fine rešetke s međurazmakom od 3 do 10 mm
- srednje fine rešetke s međurazmakom od 10 do 25 mm
- široke ili grube rešetke s međurazmakom od 50 do 10 mm (Tomić, 2019).

Otpadna voda se po ulasku na uređaj prvotno obrađuje mehanički, a taj proces počinje odvajanjem krupnog otpada kako je prikazano na slici 3. Otklanjanje krupnih tvari ima veliku važnosti iz razloga zaštite crpki i kako bi se spriječilo nastajanje čepova, odnosno kako bi se spriječilo čepljenje cjevovoda.



Slika 3. Gruba rešetka (Mena Water, 2022).

Nakon uklanjanja grubog otpada voda dolazi do fine rešetke. Na finu rešetku ugrađuju se otvori do  $\approx 3$  mm. Otpadna voda ulazi u bubanj fine rešetke u kojem se zadržavaju preostale otpade tvari. Prilikom nakupljanja čestica u bubnju dolazi do zadržavanja tvari koje su manjeg promjera od sita koje se zadržavaju na većim česticama. Fino sito je podešeno da se bubanj počinje okretati na određenoj razini vode ispred fine rešetke. Funkcija bubnja je ta da nakupljenu otpadnu tvar podigne i ubaci u centralno korito gdje se uklanjanje materijala vrši pomoću pužnog transportera u spremnik otpada, kako je prikazano na slici broj 4.



Slika 4. Fina rešetka (Lake side, 2023).

### 2.3.1.2. Primarna obrada otpadnih voda na UPOV grada Zaprešića

Primarna obrada otpadnih voda, odnosno prvi stupanj obrade ili fizikalni procesi pročišćavanja otpadnih voda nastupaju po završetku predobrade otpadnih voda, te se uklanjaju čestice veće gustoće, kao i čestice manje gustoće koje su isplivile na površinu, prirodnim ili induciranim putem.

Kod pročišćavanja otpadnih voda primarnom obradom koristimo metode rešetanja, izravnavanja/ujednačavanja, odnosno egalizacije, miješanja, taloženja ili sedimentacije, isplivavanja ili flotacije, cijeđenja ili filtriranja i apsorpcije, a temelje se na postupcima uklanjanja grubih i plivajućih tvari iz otpadnih voda pomoću rešetka i sita raznih dimenzija. Postupak ujednačavanja ili egalizacije važan je radi poboljšanja učinkovitosti rada pročišćivača jer tijekom dana dolazi do velikih oscilacija u protoku otpadne vode. Uzrok tih oscilacija su aktivnost stanovnika i rada industrijskih pogona. Kako bi se poboljšao učinak ujednačavanja, ali i spriječilo taloženje, potrebno je predvidjeti i proces miješanja otpadnih voda. Postupak miješanja primjenjuje se iz razloga što se u mnogim fazama pročišćavanja sadržaj otpadnih voda izmiješa s dodanom kemijskom tvari ili zato da bi se čestice nastale kemijskom reakcijom održale u suspenziji. Miješanje se može ostvariti na

više načina, od kojih su neki: crpkama, miješanjem pomoću mehaničkih miješala te upuhivanjem zraka ( Tušar, 2009).

Postupkom taloženja odvajaju se suspendirane tvari iz vode. Kod taloženja često je potrebno utjecati na elektrokinetička svojstva koloidno suspendiranih tvari, odnosno provodi se postupak koagulacije kako bi se ubrzao sami proces taloženja. Najčešće se koriste gravitacijski taložnici u kojima se talože samo tvari teže od vode te one tvari koje imaju dovoljno veliku dimenziju kako bi se pod utjecajem gravitacije sedimentirale na dno taložnika (Višić i sur., 2015). Proces taloženja ovisi o vremenu zadržavanja vode u primarnom taložniku kao i o njegovoj dubini te o koncentraciji suspendiranih tvari u vodi, a primjer gravitacijskog taložnika je prikazan na slici 5.



Slika 5. Primarna taložnica (UPOV Zaprešić, 2017).

Isplivavanje ili flotacija je proces u kojem se tvari iz tekućine odvajaju uzdizanjem na površinu, gdje se naknadno i otklanjaju. Prirodno isplivavanje je isplivavanje kod kojeg je gustoća tvari manja od gustoće tekućine, dok se kod prisilnog isplivavanja pomoću raspršenog zraka mogu vezati na upuhani zrak i čestice koje imaju gustoću veću od gustoće tekućine. U pjeskolovima i mastolovima odvija se taloženje pijeska te flotacija masti i ulja, koja zbog manje gustoće isplivaju na površinu, kao što nam je prikazano na slici 6.



Slika 6. Pjeskolov i mastolov (UPOV Zaprešić, 2017).

Filtriranje je najjednostavniji proces kojim se odvaja kruta tvar od tekućine pomoću cjediljka ili pomoću filtera. Tekućina koja izlazi iz cjedila ili filtarskog sredstva naziva se filtrat, dok se ostatak zaostao na cjedilu ili filtarskom sredstvu naziva talog. Kada se koriste cjediljke, razpoznaju sve dvije vrste: površinske i dubinske cjediljke. Površinske cjediljke koriste se u tehnologiji obrade mulja ili kao završni proces obrade otpadnih voda, dok se dubinske cjediljke najčešće koriste kod pri pročišćavaju voda za piće.

Adsorpcija je proces u kojem se tijekom filtracije otopljene te koloidne tvari kroz sloj zrnatog materijala vezuju na površinu krute tvari. Kruta tvar na čijoj se površini odvija adsorpcija naziva se adsorbent, dok se tvar koja se veže na adsorbent naziva adsorbat. Kao adsorbent koristimo aktivni ugljen koji se primjenjuje u obliku praška ili granulata. Aktivni ugljen djeluje na principu da adsorbira tvari iz tekućina, a odbija samu tekućinu (Tušar, 2009).

### **2.3.1.3. Sekundarna obrada otpadnih voda**

Sekundarna obrada otpadnih voda, odnosno drugi stupanj obrade otpadnih voda naziva se još i biološkom obradom otpadnih voda iz razloga što su najviše prisutni upravo biološki procesi. Biološka obrada primjenjuje se nakon predobrade i primarne obrade otpadnih voda, a procesi se



provode pomoću mikroorganizama koji razgrađuju organske tvari.

Mikroorganizmi mogu razgraditi gotovo sve organske tvari koje im služe kao hrana te za rast i razmnožavanje, a za život zahtijevaju određene uvjete kao što su temperatura, pH te hranjive tvari (Višić i sur., 2015).

Prema vrsti mikroorganizama koji obavljaju razgradnju poznajemo dvije skupine te ih dijelimo:

1. prema potrebi za kisikom razlikujemo:

- aerobne mikroorganizme, za život im je potreban kisik otopljen u vodi
- anaerobne mikroorganizme, za život im nije potreban kisik otopljen u vodi
- fakultativne anaerobne mikroorganizme, mogu živjeti uz kisik otopljen u vodi, ali mogu živjeti i bez njega

2. prema vrsti metabolizma razlikujemo:

- autotrofne organizme, koriste sunčevu energiju i anorganske tvari te proizvode nove organske spojeve
- heterotrofne organizme, za život koriste gotove organske spojeve

Biološki procesi pri pročišćavanju otpadnih voda primjenjuju se ondje gdje su njihova onečišćenja biološki razgradiva i ne sadržavaju otrovne tvari u kritičnim količinama. Primjenjuju se biološki procesi zato da se iz otpadnih voda ukloni organski ugljik te da se smanje fosforni i dušikovi spojevi, procesi nitrifikacije i denitrifikacije, ali da se i stabilizira mulj otpadnih voda (Tušar, 2009).

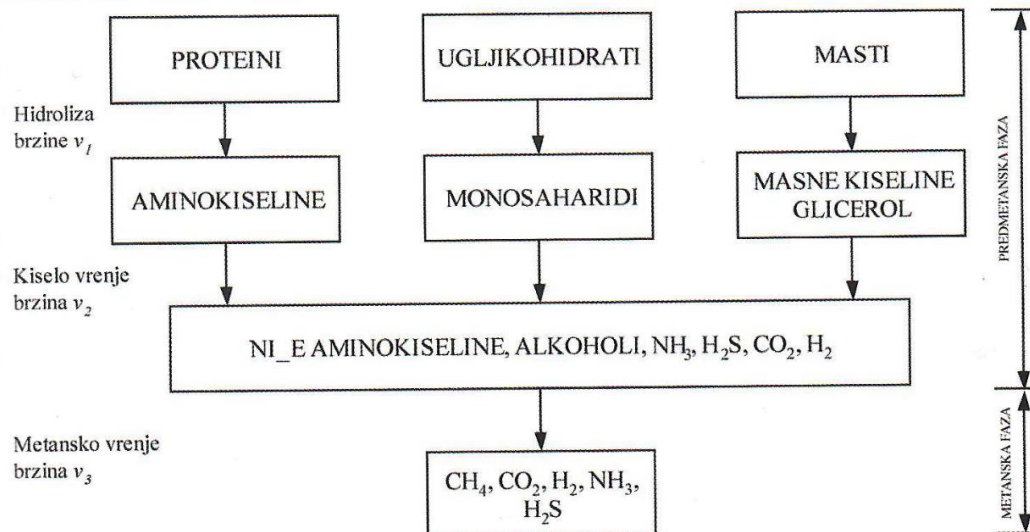
S obzirom na količinu otopljenog kisika u vodi, odvijaju se sljedeći procesi: aerobna izgradnja i razgradnja stanica, anaerobno kiselo vrenje i metanska razgradnja stanica te bakteriološka oksidacija i redukcija (Tušar, 2009). Aerobni procesi najčešće se primjenjuju pri pročišćavanju komunalnih otpadnih voda, uz pomoć njih više kultura mikroorganizama uz prisutnost kisika iz otpadnih voda uklanja organske tvari u otopljenom ili koloidnom obliku. Prilikom razgradnje organske tvari aerobni mikroorganizmi istodobno oslobađaju energiju i sintetiziraju novu biomasu (Tušar, 2009). Ako u vodi postoji dovoljno otopljenog kisika, odnosno ako su aerobni uvjeti, tada biokemijskim procesima razgradnje organske tvari kisik prima elektrone. Razgradnjom organske tvari istodobno se razmnožavaju nove stanice mikroorganizma, te kao produkt mikrobiološkog procesa razgradnje ostaje ugljikov dioksid, voda i nerazgradivi materijal. Uginućem

mikroorganizama, njihove mrtve stanice postaju hrana za žive organizme koji ih razgrađuju (Tomić, 2019). Aerobni procesi ovise o ulaznoj koncentraciji otpadnih tvari, koncentraciji mikroorganizama, vremenu kontakta supstrata s mikroorganizmima te količini raspoloživog kisika (Višić i sur., 2015).

Mikroorganizmi koji u otpadnim vodama mogu živjeti i preživljavati bez prisutnosti kisika, odnosno anaerobni mikroorganizmi pročišćavaju otpadne vode na principu bioloških anaerobnih procesa. Anaerobni procesi odvijaju se kod organski visoko opterećenih voda kao što su septičke otpadne vode.

Prema spoznajama, anaerobni procesi su složeniji te se odvijaju u fazama:

- hidroliza – anaerobi i fakultativni aerobi razgrađuju nerazgrađene organske tvari poput ugljikohidrata, masti i bjelancevina
- kiselo vrenje – razgrađene organske tvari pretvaraju se u organske kiseline, alkohole, aldehide i dr. te  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2$
- bakterije metanskog vrenja stvaraju metan i  $\text{CO}_2$ , bakterije veoma osjetljive na pH i prisutnost kisika u ovoj fazi kao što je prikazano na slici broj 7 (Tušar, 2009).



Slika 7. Biokemijski procesi anaerobne razgradnje (Tušar, 2009).

Biološki proces, odnosno anaerobni proces moguće je ubrzati povišenjem temperature, ali i miješanjem sadržaja u biološkom reaktoru.

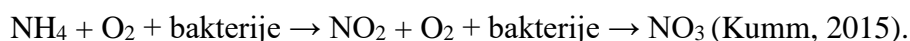
Pod pojmom "aktivni mulj" označava se složena biocenoza aerobnih i fakultativnih anaerobnih mikroorganizama, koja je sastavljena od različitih skupina bakterija i drugih organizama. Bičaći, trepetljikaši, amebe, *Podophrya fixa*, *Zooglea ramigera*, valjkasti crvi, točkaši ili kolnjaci skupine su mikroorganizama koje se mogu svrstati u aktivni mulj. Aktiviranje označava proces postupnog stvaranja aktivnog mulja u biološkom reaktoru, prilagođenog vrsti, odnosno sastavu otpadne vode (Tušar, 2009).

Nitrifikacija i denitrifikacija su dva biološka procesa koji teku jedan za drugim pod utjecajem djelovanja mikroorganizama iz vode, autotrofne strogo aerobne bakterije kod nitrifikacije, a kod denitrifikacije heterotrofne, strogo ili fakultativno anaerobne bakterije. Nitrifikacija, proces oksidacije amonijaka, biološko je uklanjanje dušika iz otpadne vode do nitritne forme, a zatim slijedi denitrifikacija, odnosno proces redukcije nitrata do plinovitog dušika, koji se iz sustava može ispuštati u atmosferu. Dušik u otpadnim vodama većinom se nalazi kao amonijak, a u manjim količinama kao nitrati i nitriti.

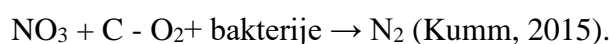
Glavni čimbenici procesa biološke nitrifikacije:

- niska koncentracija organskih tvari
- dovoljna koncentracija kisika (barem 2mg/l)
- temperatura (optimalna 20° C)
- pH vrijednost (optimalna 8-9)
- prisutnost CO<sub>2</sub>
- odsutnost otrovnih tvari (Tušar, 2009).

Nitrifikacija je biološki proces gdje nitrifikacijske bakterije pretvaraju elementarni dušik u amonijak, potom u nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), a naposljetku u nitrata (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) u aerobnim uvjetima (Paul i sur., 2018). Nitrifikacijski proces možemo prikazati sljedećom kemijskom jednačbom:



Denitrifikacija je biološki proces kod kojeg bakterije pretvaraju nitrata NO<sub>3</sub><sup>-</sup> u elementarni dušik N<sub>2</sub> u anoksičnim uvjetima (Paul i sur., 2018). Denitrifikaciju možemo prikazati sljedećom kemijskom jednačbom:



Za proces denitrifikacije se mora osigurati adekvatni anoksični bazen u kojem nema

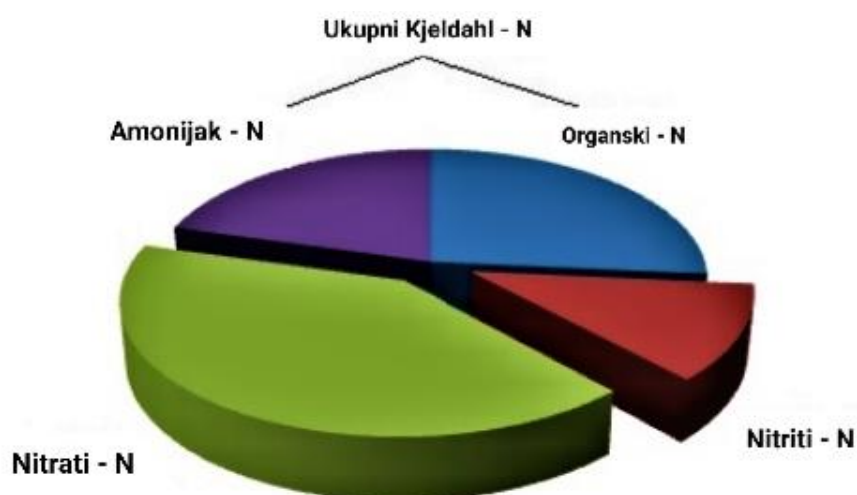
prisustva kisika, a koncentracija organske tvari je adekvatna za odvijanje procesa denitrifikacije.

Kod konvencionalnog procesa pročišćavanja uz pomoć aktivnog mulja otpadne vode moguće je ukloniti od 30 do 50 posto ukupnog dušika, a pri dodatnoj jedinici za biološku nitrifikaciju, za kojom slijedi denitrifikacija, može se dosegnuti 90-postotni učinak smanjenja dušikovih spojeva (Tušar, 2009).

#### 2.3.1.4. Tercijarna obrada otpadnih voda

Tercijarni stupanj pročišćavanja otpadnih voda odnosi se na uklanjanje dušika i fosfora do koncentracija koje su prema pravilniku o graničnim vrijednostima emisije otpadnih voda propisane za ispuštanje u površinske vode. Većina dušika u otpadnim vodama nalazi se u obliku amonijaka, a uklanjanja se procesima nitrifikacije i denitrifikacije do elementarnog dušika  $N_2$ . Proces nitrifikacije i denitrifikacije su kompleksni sa stajališta vođenja i kontrole procesa jer mogu smanjiti učinkovitost i povećati troškove procesa.

Koncentraciju dušika iskazujemo kao ukupni dušik ili kao ukupni dušik po Kjeldahlu. Ukupni Kjeldahl dušik obuhvaća amonijak i dušik vezan za organsku tvar kao na slici broj 8. Amonifikacijom organski se dušik pretvara u amonijak tijekom biološke aktivnosti. Većina organskog dušika pretvara se u amonijak u sekundarnoj obradi. Preostali udio organskog dušika će se istaložiti u sekundarnom taložniku i biti prisutan u uklonjenom mulju (Paul i sur., 2018).



Slika broj 8. Prikaz ukupnog dušika i dušika po Kjeldahlu (Paul i sur., 2018).

Postoji više procesa uklanjanja fosfora iz otpadne vode. Svi oni ovise o nastanku anaerobnih uvjeta uz potpunu odsutnost kisika i nitrata otopljenih u suspenziji aktivnog mulja i otpadne vode. Pritom su i fermentacijski proizvodi bitni, osobito kratkolančane masne kiseline kojima se potiče rast i odabir određene vrste bakterija koji ih u staničnoj strukturi mogu akumulirati kao rezervnu hranu. Taj se proces odvija u anaerobnoj fazi, a ako izvor energije služi akumulirani polifosfat koji se razgrađuje u toj fazi. Pritom se u znatnoj mjeri povećava koncentracija ortofosfata u otpadnoj vodi. Tijekom aerobne faze u kojoj se aerobnim procesima razgrađuju akumulirane masti, polifosfati se sintetiziraju ponovno, ali u većoj mjeri nego u ranijem procesu. Taj se proces popularno naziva *luxury uptake*. Uklanjanjem viška mulja uklanjanju se i fosfati s biomasom (Tušar, 2009).

Uklanjanje fosfata se također vrši i kemijski automatskim doziranjem flokulanata, a flokulanti se doziraju kako bi percipitirao fosfate (Kumm, 2015).

### **2.3.1.5. Zbrinjavanje otpadnog mulja**

U procesu pročišćavanja otpadnih voda uklanjaju se različite otpadne tvari, a mulj čini najveći dio otpada. Zbrinjavanje i obrada mulja predstavljaju značajni gospodarski problem jer je proces obrade i zbrinjavanja kompleksan i ovisi o konačnoj namjeni mulja. Prije obrade mulja potrebno ga je podvrgnuti predtretmanu. Predtretman otpadnog mulja su postupci gdje se iz mulja uklanjaju anorganske tvari, izjednačava sastav mulja i provodi proces zgrušavanja.

Stabilizacija otpadnog mulja je postupak koji se provodi kako bi se smanjio volumen mulja, reducirali neugodni mirisi i razina patogena u mulju. Metode stabilizacije mulja su kemijska stabilizacija vapnom, anaerobna digestija, aerobna digestija te kompostiranje. Nakon provedenih procesa stabilizacije postoji mogućnost korištenja stabiliziranog mulja na poljoprivredne površine i ostala zemljišta prilikom čega se može poboljšati struktura tla dodatkom 1,66 tona po hektaru zemljišta.

Zbog visokog sadržaja vode u mulju, potrebno je provesti proces dehidracije mulja. Dehidracijom se u mulju smanjuje sadržaj vlage zbog sljedećih razloga:

- Smanjenjem volumena mulja dehidracijom smanjuju se troškovi transporta do krajnjeg odlagališta
- S dehidriranim muljem lakše je rukovati nego s tekućim ili zgušnjem muljem
- Dehidracija se obično provodi prije spaljivanja mulja zbog povećanja kalorijske vrijednosti

(zbog uklanjanja viška vlage)

- Uklanjanjem viška vlage smanjuje se nastajanje neugodnih mirisa i mogućnost truljenja (Šeremet, 2016).

Kod postrojenja manjeg kapaciteta najčešće se koriste lagune, a na postrojenjima većeg kapaciteta dehidracija mulja se provodi pomoću mehaničkih uređaja kao što su centrifuge i filter preša.

Sušenje mulja je proces koji se provodi kako bi se povećao udio suhe tvari u osušenom mulju. U proces sušenja mulja ubrajamo termalno sušenje, termalnu pasterizaciju, mikrovalno sušenje, odnosno pirolizu te sve zastupljenije solarno sušenje. Solarno sušenje zahtjeva veliku površinu zemljišta, ali se pokazuje kao najprikladnije i najekonomičnije rješenje kod uređaja većeg kapaciteta.

Sustav se sastoji od vrste staklenika, gdje se tekućina (do 3% suhe tvari) ili dehidrirani mulj (minimalno 20% do 30% suhe tvari) polaže na tlo u zatvoreni prostor. Mehanički zgrtač okreće mulj do 12 puta na dan. Princip je iskorištavanje efekta isparavanja. Zbog korištenja staklenika, djelovanje sunčeve energije može se "spremiti", stoga se mogu postići veće razine isparavanja. Ventilacijski se sustav koristi za reguliranje vlage u zraku unutar staklenika radi sprječavanja zasićenosti zraka vlagom. Očekivana stopa isparavanja unutar staklenika ovisi o sunčanim danima, nagibu, brzini te frekvenciji vjetrova, a očekivana izlazna suha tvar iznosi oko 75% (Banić, 2017).

Kompostiranje mulja postupak je aerobne ili anaerobne razgradnje mulja djelovanjem mikroorganizama. Organske tvari koje nedostaju u mulju, odnosno ugljik u poželjnom omjeru C/N 20:1 do 30:1, mogu se također dopuniti miješanjem istruljenog mulja s čvrstim otpadom.

Razgradnjom organskih tvari u mulju, temperatura procesa raste od 50 °C do 70 °C što dovodi do uništenja patogenih enterobakterija. Kompostiranje u aerobnim uvjetima potpomaže razgradnji organskih tvari i rezultira povećanjem temperature neophodne za uništenje patogenih mikroorganizama te smanjuje mogućnost nastanka neugodnih mirisa (Šeremet, 2016).

Za kompostiranje mulja iskorištavaju se komadi drveta, lišća, sitno granje, odnosno sječka kako bi se poboljšalo cirkuliranje zraka unutar kompostirane hrpe, odnosno kako bi se ostvarilo povećanje specifične površine i time poboljšao proces oksidacije. Uređaj za pročišćavanje grada Zaprešića za kompostiranje koristi biostabilizator. Biostabilizator se sastoji od pet komora kako bi se osiguralo potrebno vrijeme zadržavanja komposta unutar biostabilizatora.

Načni zbrinjavanje mulja, odnosno pronalazak odgovarajućeg rješenja oko zbrinjavanja

mulja ovisi o kvaliteti i količini dobivenog otpadnog mulja na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda, regulativi te o lokalnim uvjetima i troškovima koje donosi proces zbrinjavanja otpadnog mulja.

Opcije obrade i zbrinjavanja otpadnog mulja koje su u skladu sa zakonskim okvirom Europske unije i Republike su:

- odlaganje obrađenog mulja na odlagališta (posebna područja ili odlagališta krutog otpada)
- kompostiranje s organskom frakcijom krutog komunalnog otpada
- korištenje u poljoprivredi ili šumarstvu
- energetska uporaba
- obrada u centrima za gospodarenje otpadom
- privremeno skladištenje i obrada (polja s trstikom)
- ostala rješenja usklađenja zakonom (Šeremet, 2016).

*Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada* zabranjuje odlaganje mulja na odlagališta otpada. Na odlagalištima otpada zabranjeno je prihvaćanje otpada kojem masa biorazgradive komponente prelazi više od 35%, a masa biološki stabiliziranog mulja prelazi dopuštenu granicu mase biorazgradive komponente.

Otpadni mulj sadržava hranjive tvari koje pogoduju obogaćivanju tla u poljoprivredi, elemente u tragovima potrebne za rast biljaka, organske tvari koje poboljšavaju fizikalna svojstva tla, ali također pruža jednostavno i jeftino rješenja zbrinjavanja mulja. *Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08)* određuje mjere zaštite okoliša radi uspostave sustava gospodarenja muljem u svrhu sprječavanja štetnih posljedica za tlo, biljke, životinje te za čovjeka, sa svrhom ispravnog korištenja mulja. Mulj treba odgovarati karakteristikama biljka, odnosno mora zadovoljavati potrebe prihranjivanja te je nužno očuvati kakvoću tla kao i kakvoću površinskih i podzemnih voda. U poljoprivredi je dopušteno korištenje mulja koji sadrži teške metale i organske tvari u količinama koje nisu veće od dopuštenih vrijednosti te mulj koji je stabilan na način da su u njemu uništeni patogeni mikroorganizmi. Šumska tla prikladna su za korištenje obrađenog otpadnog mulja zbog visoke stope infiltracije, velike količine organskih materijala te imaju višegodišnji korijenski sustav koji je pogodan za unos hranjivih elemenata.

Organski spojevi u mulju predstavljaju znatan energetske potencijal. Energija iz mulja

može se djelomično koristiti za pokriće potreba UPOV-a za energijom. Proizvodnja bioplina je dokazana tehnologija, ali je opterećena visokim troškovima ulaganja, rada i održavanja te se stoga koristi samo u velikim UPOV-ima (Šeremet, 2016).

Tehnologija koja koristi polja s trstikom omogućuje skladištenje mulja u razdoblju od 5 godina ili više ovisno o samom projektiranom kapacitetu. Prednosti polja s trstikom su lako postavljanje, niski kapitalni troškovi, niski troškovi rada i održavanja te sigurno odlaganje mulja tijekom određenog perioda. Polja s trstikom mogu se smjestiti uz UPOV te je time olakšan transport i odlaganje.



### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

#### **3.1. Cilj rada**

Cilj rada je prikazati karakteristike otpadne vode grada Zaprešića te utvrditi karakteristične promjene opterećenja s obzirom na aktivnost stanovništva i gospodarstva u trajanju od dva tjedna.

#### **3.2. Instrumenti**

1. Termoblok LT 200 Hach Lange
2. Multimetar HQ 30 d Hach Lange – prijenosni uređaj za pH, kisik i vodljivost
3. VIS Spektrofotometar DR 3900 Hach Lange
4. Homogenizator GLH 850 Omni
5. Sušionik memret
6. Analitička vaga Kern ABJ 220-4NH
7. OxiTop box WTW
8. Magnetska miješalica CAT M5
9. Termometar Hach Lange – Pocket Pro temperaturni tester

#### **3.3. Kemikalije**

1. KPK (100-2000mg/L); LCK 514 kivetni test Hach Lange
2. Nitriti (0,015-0,6 mg/L NO<sub>2</sub>-N); LCK 341 kivetni test Hach Lange
3. Ukupni fosfor (0,5-5 mg/L PO<sub>4</sub>-P); LCK 348 kivetni test Hach Lange
4. Nitrati (0,23-13,5 mg/L NO<sub>3</sub> -N); LCK 339 kivetni test Hach Lange
5. Sulfati (40-150 mg/L); LCK 303 kivetni test Hach Lange
6. Ukupni dušik (5-40 mg/L TN); LCK 238 kivetni test Hach Lange
7. Kloridi (1-1000 mg/L); LCK 311 kivetni test Hach Lange
8. NaOH u granulama 50g ili KOH 12N 100 ml za određivanje BPK5 tlačno-manometrijskom metodom

9. Inhibitor nitrifikacije (N-aliltiourea) za određivanje BPK5 tlačno-manometrijskom metodom LZQ 087

10. 3M KCL otopina

### **3.4. Uzorkovanje**

U periodu od dva tjedna, od 06.02.2023. do 20.02.2023., provodilo se uzorkovanje kompozitnog dvadeset i četiri satnog uzorka s frekvencijom od 15 minuta pomoću automatskog uzorkivača Bouhler BU 4010. Uzorkovanje se istovremeno provodilo na ulaznim i izlaznim otpadnim vodama uređaja.

Podaci o vanjskim vremenskim uvjetima kao što su padaline i temperatura, praćeni su za vrijeme trajanja eksperimenta, u jutarnjim satima prilikom uzorkovanja te kasnije kako bi zabilježili najvišu temperaturu, iz razloga što mogu utjecati na mjerenja i konačne rezultate.

### **3.5. Metode rada**

#### **3.5.1. Suspendirana tvar**

Membranski filter papir stavi se u posudicu za vaganje tako da je strana s kvadratićima okrenuta prema dnu posudice za vaganje. Posudica za vaganje s membranskim filter papirom stavlja se u sušionik na 105 °C do konstantne mase najmanje dva sata, nakon čega se hladi u eksikatoru i važe na analitičkoj vagi. Izvagani filter papir pincetom se prenosi na uređaj za filtriranje i uključi se vakuum pumpa. Odmjereni volumen dobro promiješanog uzorka otpadne vode (25 ml) polako se filtrira. Nakon filtriranja membranski filter papir se pažljivo prenosi u posudicu pomoću pincete i suši minimalno 2 sata u sušioniku na 105 °C. Posudica s membranskim filter papirom i talogom prenese se u eksikator i hladi te se važe na analitičkoj vagi i računa se sadržaj ukupne suspendirane tvari.

Sadržaj ukupne suspendirane tvari računa se prema izrazu:

$$UST = \frac{MT * 1000}{VP}$$

$$MT = MB - MA$$

UST – sadržaj ukupne suspendirane tvari (mg/l)

MT – masa suhe tvari (g)

MA – masa posudice za vaganje s membranskim filter papirom (g)

MB – masa posudice za vaganje s membranskim filter papirom i suhom suspendiranom tvari (g)

VP – volumen uzorka (l)

### **3.5.2. Temperatura**

Temperatura uzorka otpadne vode mjeri se tako što se termometar upali te uroni u uzorak otpadne vode. Kada se temperatura stabilizira sa zaslona se očita i zabilježi temperatura ispitivanog uzorka.

### **3.5.3. Elektrovodljivost**

Na multimeter staviti nastavak za mjerenje elektrovodljivosti te prije početka mjerenja isprati elektrodu s demineraliziranom vodom i uroniti je uz miješanje u uzorak. Pritisnuti zelenu tipku desno za početak mjerenja, na zaslonu će se pojaviti "Stabilizing...", nakon stabilizacije pojavit će se znak lokota, a rezultat će se automatski spremi, odnosno zabilježiti mjerenje. Po završetku mjerenja isprati elektrodu s demineraliziranom vodom te isključiti instrument pritiskom na "power" tipku.

### **3.5.4. pH**

Na multimeter staviti nastavak za mjerenje pH te prije početka mjerenja isprati elektrodu s demineraliziranom vodom i uroniti je uz miješanje u uzorak. Pritisnuti zelenu tipku desno za početak mjerenja, na zaslonu će se pojaviti "Stabilizing...", nakon stabilizacije pojavit će se znak lokota, a rezultat će se automatski spremi, odnosno zabilježiti mjerenje. Po završetku mjerenja isprati elektrodu s demineraliziranom vodom i potom je staviti u otopinu za čuvanje elektrode KCl. Zadnji korak je isključiti instrument pritiskom na "power" tipku.

### 3.5.5. Otopljeni kisik

Na multimeter staviti nastavak za mjerenje otopljenog kisika te prije početka mjerenja isprati elektrodu s demineraliziranom vodom i uroniti je uz miješanje u uzorak. Pritisnuti zelenu tipku desno za početak mjerenja, na zaslonu će se pojaviti "Stabilizing...", nakon stabilizacije pojavit će se znak lokota, a rezultat će se automatski spremi, odnosno zabilježiti mjerenje. Po završetku mjerenja isprati elektrodu s demineraliziranom vodom te isključiti instrument pritiskom na "power" tipku.

### 3.6.1. BPK<sub>5</sub> (Biološka potrošnja kisika)

Odredi se odgovarajući volumen uzorka otpadne vode (očekivanja vrijednost prema izmjerenoj vrijednosti KPK) i prema tome se izabere faktor iz tablice 1, a prema uputstvu za upotrebu OxiTop uređaja.

Tablica 1. Tablica faktora za BPK<sub>5</sub>

Volumen uzorka (ml)	Mjerne granice (mg/L)	Faktor (samo za OxiTop)	Inhibitor nitrifikacije NTH 600 (broj kapi)
432	0 - 40	1	9
365	0 - 80	2	7
250	0 - 200	5	5
164	0 - 400	10	3
97	0 - 800	20	2
43,5	0 - 2000	50	1
22,7	0 - 4000	100	1

Smeđa boca za uzorke ispere se uzorkom otpadne vode i potpuno isprazni. Prema očekivanim mjernim granicama BPK<sub>5</sub> iz tablice 1 i pomoću pripadajućih odmjernih tikvica odmjeri se odabrana količina dobro homogeniziranog uzorka otpadne vode. U bocu s uzorkom stavi se magnet te se doda određeni broj kapi inhibitora nitrifikacije prema tablici broj 1. Na grlo boce stavi se gumeni tuljac u koji se doda par kapi KOH. Kapi ne smiju ući u uzorak! OxiTop senzor se postavi na grlo boce i dobro zatvori. Pokretanje počinje mjerenjem potrošnje kisika i pohranjuje jednu vrijednost na 24 sata tijekom 5 dana. Da bi se očitala trenutna vrijednost potrebno je pritisnuti tipku "M" jednu sekundu, a za očitavanje pohranjenih vrijednosti tijekom 5 dana pritisnuti tipku "S" jednu sekundu dok se ne prikaže vrijednost na display-u. Dobivene vrijednosti pretvaraju se u BPK<sub>5</sub> (mg O<sub>2</sub>/l) tako što se vrijednost očitana nakon 5 dana na OxiTop senzoru pomnoži s faktorom iz tablice

1.

$$\text{BPK}_5 \text{ (mg O}_2\text{/l)} = \text{očitana vrijednost} * F$$

F – faktor očitani iz tablice broj 1

### **3.6.2. KPK ( Kemijska potrošnja kisika)**

Postupak se provodi u kivetnim testovima (kivetama) prema shematskim uputama na kutiji proizvođača. Blago promućkati sadržaj kivete. 2 ml uzorka homogenizirane otpadne vode automatskom pipetom polako se doda u kivetu. Kiveta s dodanim uzorkom dobro se zatvori i protrese kako bi se otopio sav sadržaj. Pri tome treba biti oprezan jer sadržaj kivete vrlo brzo postaje vruć. Pripremljena kiveta zagrijava se u termostatu 2 sata na 148 °C. Nakon što termostat označi kraj zvučnim signalom, kiveta se izvadi i hladi na sobnoj temperaturi. Nakon 10 minuta hlađenja ponovno blago promućkati kivetu i ostaviti da se polako hladi do sobne temperature. Kivetu ohlađenu na sobnoj temperaturi obrisati izvana krpom i staviti u spektrofotometar. Očitati i zapisati izmjerenu vrijednost.

### **3.6.3. Ukupni fosfor (TP)**

Postupak se provodi u kivetnim testovima (kivetama) prema shematskim uputama na kutiji proizvođača. Uzorak je potrebno profiltrirati i homogenizirati. Skinuti s čepa kivete foliju i čep odložiti sa strane. U kivetu dodati 0,5 ml uzorka homogenizirane i filtrirane otpadne vode i staviti čep tako da se njegov sadržaj isprazni u kivetu. Promućkati. Kivetu staviti u termostat na 100 °C kroz 60 minuta. Nakon toga ohladiti na sobnu temperaturu, protresti i dodati 0,2 ml reagensa B. Na kivete staviti čep s reagensom C. Promućkati da se sadržaj čepa otopi i ostaviti 10 minuta. Pripremljenu kivetu s uzorkom obrisati krpom i staviti u spektrofotometar na očitavanje. Zapisati izmjerenu vrijednost.

### **3.6.4. Ukupni dušik (TN)**

Postupak se provodi u kivetnim testovima (kivetama) prema shematskim uputama na kutiji proizvođača. Uzorak je potrebno profiltrirati i homogenizirati. U veliku epruvetu iz seta doda se 0,5

ml uzorka homogenizirane i filtrirane otpadne vode, 2,0 ml reagensa A i jedna tableta reagens B. Veliku epruvetu promućkati i staviti u termostat na 60 minuta na 100°C. Nakon zvučnog signala izvaditi epruvete i ohladiti ih na sobnu temperaturu. Nakon hlađenja u epruvetu dodati reagens C i promućkati. U kivetu dodati 0,5 ml otopine iz velike epruvete i 0,2 ml reagens D. Promućkati i ostaviti 15 minuta. Pripremljenu kivetu s uzorkom obrisati krpom i staviti u spektrofotometar na očitavanje. Zapisati izmjerenu vrijednost.

#### **3.6.4.1. Amonijak**

Postupak se provodi u kivetnim testovima (kivetama) prema shematskim uputama na kutiji proizvođača. Uzorak je potrebno profiltrirati i homogenizirati. S čepa kivete skine se zaštitna folija i čep sa sadržajem odloži se sa strane. U kivetu se doda 0,2 ml homogeniziranog i filtriranog uzorka otpadne vode. Čep se stavi na kivetu suprotnom stranom od one na koju je bio stavljen kako bi se sadržaj iz čepa usuo u kivetu i dobro zatvori te protrese kako bi se otopio sav sadržaj. Pripremljena kiveta se ostavi na sobnoj temperaturi 15 min nakon čega se obriše krpom i stavi u spektrofotometar na očitavanje. Zapisati izmjerenu vrijednost.

#### **3.6.4.2. Nitrati**

Postupak se provodi u kivetnim testovima (kivetama) prema shematskim uputama na kutiji proizvođača. Uzorak je potrebno profiltrirati i homogenizirati. U kivetu dodati 1 ml homogeniziranog i filtriranog uzorka otpadne vode i 0,2 ml otopine A. Kiveta s dodanim uzorkom dobro se zatvori i protrese. Pripremljena kiveta ostavi se na sobnoj temperaturi 15 min nakon čega se obriše krpom i stavi u spektrofotometar na očitavanje. Zapisati izmjerenu vrijednost.

#### **3.6.4.3. Nitriti**

Postupak se provodi u kivetnim testovima (kivetama) prema shematskim uputama na kutiji proizvođača. Uzorak je potrebno profiltrirati i homogenizirati. S čepa kivete skine se zaštitna folija i čep sa sadržajem se odloži sa strane. U kivetu se doda 2 ml homogeniziranog i filtriranog uzorka otpadne vode. Čep se pričvrsti na kivetu suprotnom stranom od one na koju je bio stavljen kako bi se sadržaj iz čepa usuo u kivetu. Kiveta s dodanim uzorkom dobro se zatvori i protrese kako bi se otopio sav sadržaj. Pripremljena kiveta ostavi se na sobnoj temperaturi 10 min nakon čega se obriše

krpom i stavi u spektrofotometar na očitavanje. Zapisati izmjerenu vrijednost.

### **3.6.5. Kloridi**

Postupak se provodi u kivetnim testovima (kivetama) prema shematskim uputama na kutiji proizvođača. Uzorak je potrebno profiltrirati i homogenizirati. U kivetu se doda 0,1 ml homogeniziranog i filtriranog uzorka otpadne vode (očekivano je više od 70 mg/l klorida). Kiveta s dodanim uzorkom dobro se zatvori i mućka te se očitava za 3 minute. U spektrofotometru prvo se podesi mjerenje ranga prema kiveti sa slijepom probom na isti način kao i ostale kivete. Pripremljena kiveta s uzorkom obriše se krpom i stavi u spektrofotometar na očitavanje. Zapisati izmjerenu vrijednost.

### **3.6.6. Sulfati**

Postupak se provodi u kivetnim testovima (kivetama) prema shematskim uputama na kutiji proizvođača. Uzorak je potrebno profiltrirati i homogenizirati. U kivetu se polagano (mogućnost prskanja zbog velikog volumena) doda 5 ml uzorka otpadne vode i sadržaj jedne žličice reagensa A. Žličica je dio kivetnog seta! Kiveta s dodanim uzorkom dobro se zatvori i mućka 2 minute. Pripremljena kiveta obriše se krpom i stavi u spektrofotometar na očitavanje. Zapisati izmjerenu vrijednost.

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom djelu završnog rada bit će prikazani rezultati ispitivanja provedeni u Laboratoriju otpadnih voda UPOV Zaprešić. Kod ispitivanja pratili smo određene parametre kao što su temperatura, pH, otopljeni kisik, elektrovodljivost, suspendirana tvar, ukupni dušik, ukupni fosfor, KPK, nitrati, nitriti, sulfati, kloridi te BPK<sub>5</sub>, no osnovni parametri koji nam prikazuju opterećenje vode su suspendirana tvar, KPK, BPK<sub>5</sub>, ukupni dušik te ukupni fosfor. Praćeni su i vanjski parametri koji mogu utjecati na rezultate, a to su temperatura zraka koja je povezana sa temperaturom vode, padaline i slično.

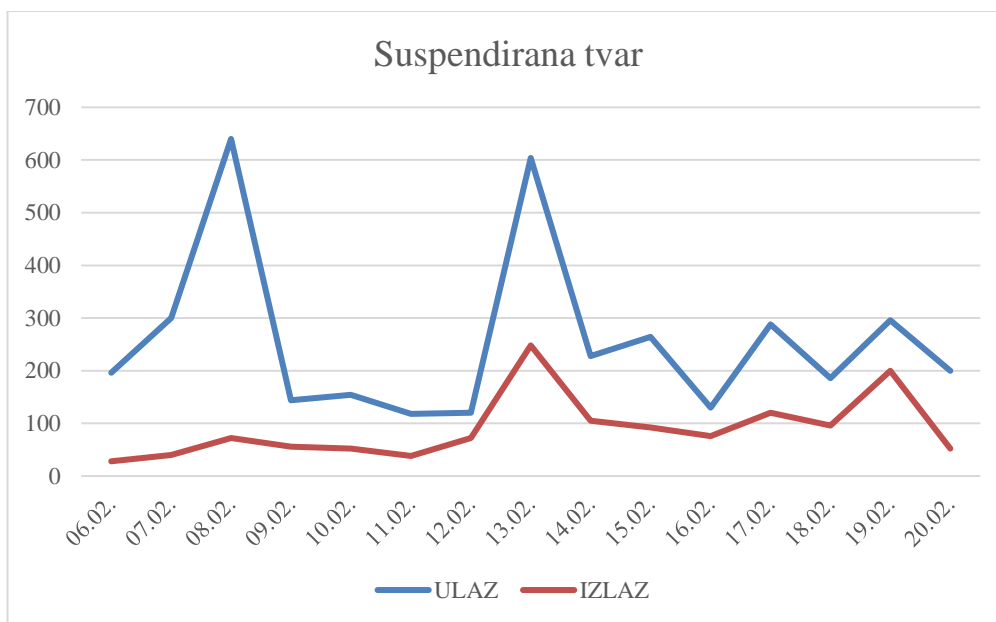
Tablica 2. Tablica vremenskih parametra

DATUM	06.02.	07.02.	08.02.	09.02.	10.02.	11.02.	12.02.	13.02.	14.02.	15.02.	16.02.	17.02.	18.02.	19.02.	20.02.
PADALINE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAKSIMALNA TEMPERATURA ZRAKA (°C)	4	4	6	5	6	7	6	7	7	7	7	7	7	7	8
MINIMALNA TEMPERATURA ZRAKA (°C)	-1	-1	1	0	1	2	0	2	2	3	3	3	3	3	4
TEMPERATURA VODE (°C)	10,6	10,2	10,9	10,9	11,1	11,3	10,9	11	11,2	11,5	11,5	11,6	11,6	11,6	11,8

### Suspendirana tvar

Pod slikom broj 9 slijedi prikaz rezultata ulaza i izlaza otpadne vode u linearnom grafu kroz odgovarajuće dane u tjednu. Mjerenjem suspendirane tvari u uzorcima otpadne vode na ulazu i izlazu pročišćivača daje nam uvid o učinkovitosti procesa pročišćavanja otpadnih voda, odnosno daje nam postotak pročišćavanja prvog stupnja.



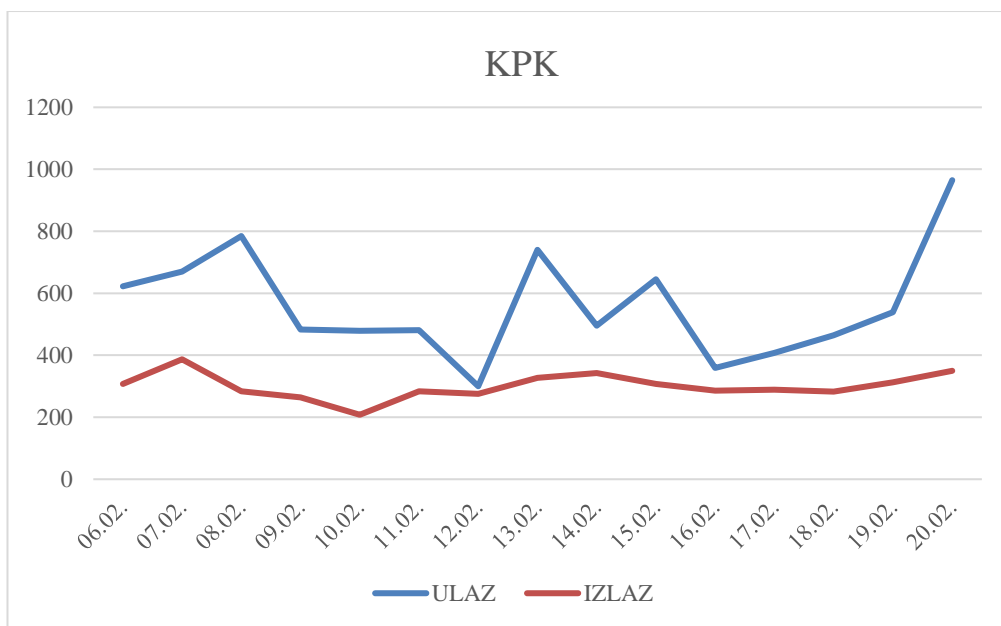


Slika 9. Prikaz parametra ukupne suspendirane tvari uzorka ulazne i izlazne otpadne vode pročišćivača grada Zaprešića u promatranom razdoblju

Iz slike 9 razvidno je da je opterećenje otpadnih voda najveće početkom tjedna te se fluktuacija ustaljuje kako se pomiče kraj tjedna. Ovakav nalaz može se objasniti s povećanom aktivnošću industrije koja rezultira naglim porastom suspendiranih tvari u otpadnim vodama. S obzirom da suspendirana tvar u otpadnoj vodi prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) na temelju članka 70. stavka 4. Zakona o vodama (NN66/2019) mora biti umanjena u odnosu na ulaznu vodu za 50% prije ispuštanja, dobiveni rezultati su u skladu s propisanim Zakonom.

#### Kemijska potrošnja kisika (KPK)

Pod slikom broj 10 slijedi prikaz rezultata ulaza i izlaza otpadne vode u linearnom grafu kroz odgovarajuće dane u tjednu. Kemijska potrošnja kisika je uz pokazatelj TOC (total organic carbon), ukupni organski ugljik, su najznačajniji parametara u optimiranju rada nekog uređaja.

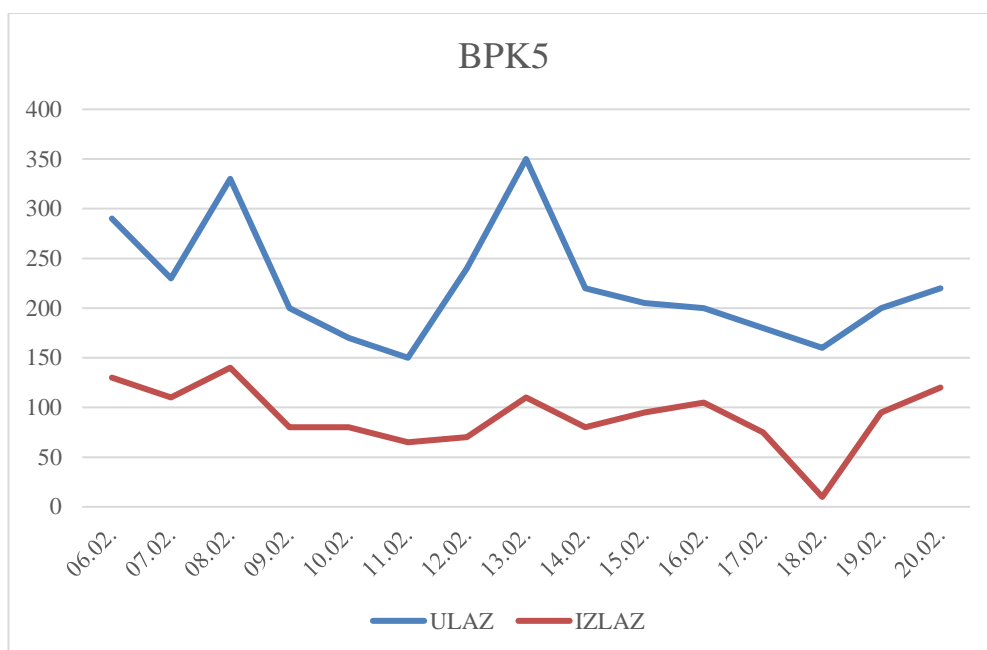


Slika 10. Prikaz parametra kemijske potrošnje kisika uzorka ulazne i izlazne otpadne vode pročišćivača grada Zaprješića u promatranom razdoblju

Iz navedenih rezultata (slika 10) vidljivo je učestalo ponavljanje maksimalne vrijednosti KPK, odnosno maksimalnog opterećenja sredinom tjedna koje je povezano s povećanom aktivnošću industrija. Stoga je potrebno izvršiti povećanu kontrolu u tom periodu kako bi biološki stupanj pročišćavanja bio maksimalno funkcionalan. Bitno je naglasiti da tijekom provođenja eksperimentalnog djela nije bilo padalina, kao što je vidljivo iz tabličnog prikaza broj 2, koje bi mogle uzrokovati efekt razrjeđenja.

#### Biološka potrošnja kisika (BPK<sub>5</sub>)

Pod slikom broj 11 slijedi prikaz rezultata ulaza i izlaza otpadne vode u linearnom grafu kroz odgovarajuće dane u tjednu. Omjer KPK i BPK<sub>5</sub> je 1: 2 do 1:2,5.

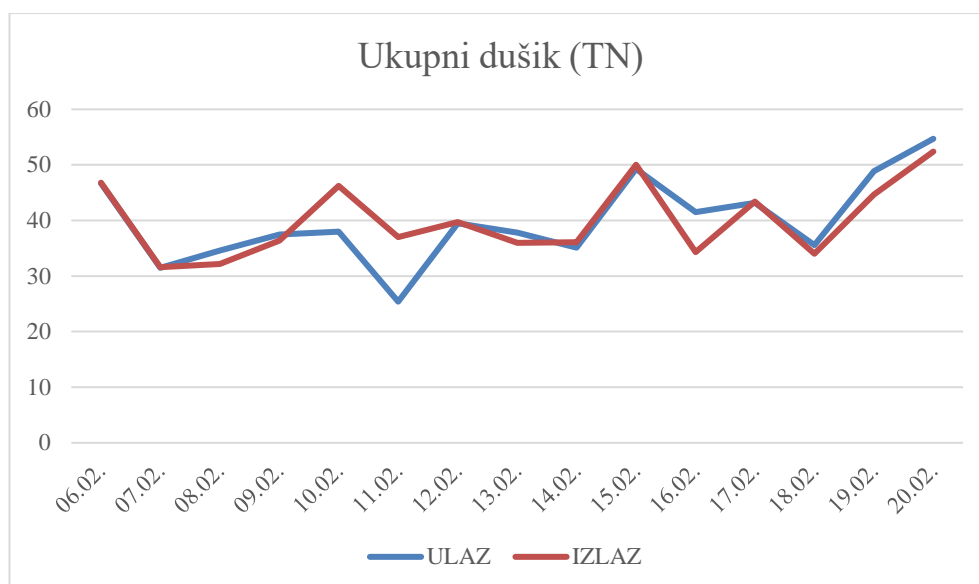


Slika 11. Prikaz parametra biološke potrošnje kisika uzorka ulazne i izlazne otpadne vode pročišćivača grada Zaprješića u promatranom razdoblju

Postotak smanjenja ulaznog biološkog opterećenja je najčešće između 50% i 60% što je značajno iznad zakonski propisane obaveze od 20% za prvi stupanj pročišćavanja. Rezultati petodnevne biokemijske potrošnje kisika najveću mikrobiološku aktivnost pokazuju sredinom tjedna iskazane kako maksimalne vrijednosti BPK<sub>5</sub>.

#### Ukupni dušik (TN)

Pod slikom broj 12 slijedi prikaz rezultata ulaza i izlaza otpadne vode u linearnom grafu kroz odgovarajuće dane u tjednu.

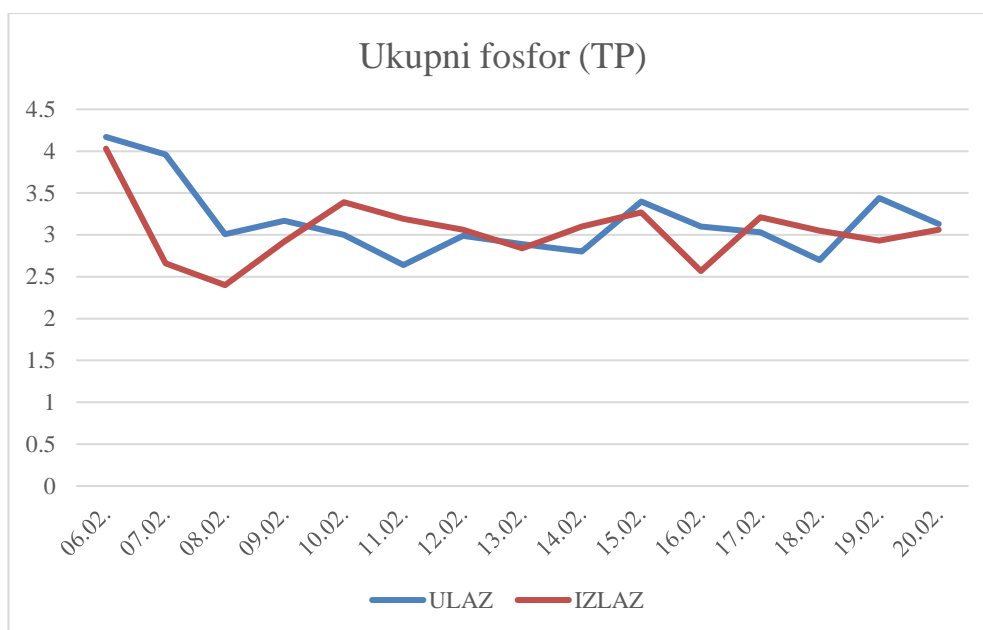


Slika 12. Prikaz parametra ukupnog dušika uzorka ulazne i izlazne otpadne vode pročišćivača grada Zaprješića u promatranom razdoblju

Kada se rade pojedini procesi na liniji obrade mulja stvara se otpadna voda koja preko internog sustava odvodnje pročišćivača dolazi na početak uređaja. To je glavni razlog navedenih odstupanja. Rezultati mjerenja ukupnog dušika uvelike ovise i o vremenu koje prođe između provedenog uzorkovanja analize, stoga je mogućnost pogreške značajna, odnosno odvija se proces difuzije gdje se koncentracija dušika u otpadnoj vodi izjednačava s koncentracijom dušika u zraku prilikom otvaranja posude s uzorkom.

#### Ukupni fosfor (TP)

Pod slikom broj 13 slijedi prikaz rezultata ulaza i izlaza otpadne vode u linearnom grafu kroz odgovarajuće dane u tjednu.



Slika 13. Prikaz parametra ukupnog fosfora uzorka ulazne i izlazne otpadne vode pročišćivača grada Zaprješića u promatranom razdoblju

Otpadna voda s procesa linije otpadnog mulja dovodi te preko internog sustava odvodnje na početak uređaja i time koncentracija ukupnog fosfora varira, odnosno može biti veća na ulazu nego na izlazu uređaja. Koncentracija fosfata tijekom druge polovice tjedna raste, a s time je i stupanj pročišćavanja veći. Smanjenje fosfora prilikom svih relevantnih mjerenja u prosjeku iznosi 7% što možemo prepisati uklanjanju fosfora koji završava u primarnom mulju.

## 5. ZAKLJUČCI

- Dobiveni rezultati kod kojih je vidljiva frekventna promjena opterećenja se temelje na dvotjednom uzorkovanju i ispitivanju otpadnih voda, a moguće je zaključiti da se pojavljuju i druge promjene opterećenja u ovisnosti doba na koje utječe temperatura, padaline i ostali parametri
- Na temelju rezultata možemo zaključiti da će do maksimuma opterećenja doći sredinom radnog tjedna zbog najviše ljudske aktivnosti koje utječu na nastanak otpadne vode
- Maksimalna dobivena vrijednosti kemijske potrošnje kisika na ulazu je bila 965 mg O<sub>2</sub>/l, a minimalna je bila 300 mg O<sub>2</sub>/l te je iz dobivenih koncentracija kemijske potrošnje kisika na ulazu uređaja za pročišćavanje voda vidljivo je značajno odstupanje vrijednosti što za posljedicu ima udarna opterećenja na biološki rad uređaja
- Zbog složenosti procesa pročišćavanja otpadnih voda potrebno je konstantno praćenje i vođenje procesa

## 6. LITERATURA

1. Banić, I. (2017): Obrada i zbrinjavanje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Završni rad, Politehnika Pula - visoko tehnička škola s pravom javnosti, Pula
2. Harambašić, D. (2019): Usporedba učinkovitosti uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u kontinentalnom i primorskom dijelu Hrvatske u razdoblju od sedam godina, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet, 1-5.
3. Kumm, A. (2015): Važni analitički parametri pogona za obradu otpadnih voda, *Stručno – poslovni skup s međunarodnim sudjelovanjem*, Zbornik radova, Beslić, M., Ban, D. (ur.), Šibenik
4. Lake side (2023). Lake side, equipment corporation, Raptor Fine Screen, <https://www.lakeside-equipment.com/product/fine-screen/>, (07.03.2023.).
5. Mena water (2022): Water and Wastewater Treatment, Perforated Belt Screen, <https://mena-water.com/products/perforated-belt-screen/>, (07.03.2023.).
6. Paul, G., McGinley, P., Hanson, G., Tomaro, D., Olmarou, B., Luke, D., Saltes, J. (2018)- Nutrient Removal – Total Nitrogen Study Guide, Medison
7. Šeremet, D., (2016): Mogućnosti zbrinjavanja viška aktivnog mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet
8. Tomić, H. (2019): Obrada otpadnih voda, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 13-15.
9. Tušar, B. (2009): Pročišćavanje otpadnih voda, ur. Lihtar, N., Zagreb
10. UPOV Zaprešić (2017): Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Zaprešiću, <https://vio.vio-zapresic.hr/wp-content/uploads/sites/2/2017/06/prociscavanje-28-1-1024x768.jpg>, (09.03.2023.)
11. Vugrin, K. (2019): Pokazatelji kakvoće vode i metode određivanja, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet
12. Višić, K., Vojnović, B., Pušić, T. (2015): Problematika zbrinjavanja i pročišćavanja otpadnih voda – zakonski propisi, *Tekstil*, 64 (3-4), str. 109-121, (09.03.2023.)