# Praćenje fizikalno-kemijskih parametara otpadne vode na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda - UPOV Šibenik

**Sladoljev-Jolić, Tina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:564035

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

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

*Repository / Repozitorij:*

Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**
**KEMIJSKO - TEHNOLOŠKI FAKULTET**

# PRAĆENJE FIZIKALNO - KEMIJSKIH PARAMETARA OTPADNE VODE NA UREĐAJU ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA - UPOV ŠIBENIK

**DIPLOMSKI RAD**

**TINA SLADOLJEV - JOLIĆ**
**Matični broj: 165**

**Split, listopad 2017.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**
**KEMIJSKO - TEHNOLOŠKI FAKULTET**
**DIPLOMSKI STUDIJ KEMIJSKE TEHNOLOGIJE**
**ZAŠTITA OKOLIŠA**

# PRAĆENJE FIZIKALNO - KEMIJSKIH PARAMETARA OTPADNE VODE NA UREĐAJU ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA - UPOV ŠIBENIK

**DIPLOMSKI RAD**

**TINA SLADOLJEV - JOLIĆ**
**Matični broj: 165**

**Split, listopad 2017.**

**UNIVERSITY OF SPLIT**
**FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**
**GRADUATE STUDY OF CHEMICAL TECHNOLOGY**
**ENVIRONMENTAL PROTECTION**

# MONITORING OF PHYSICO - CHEMICAL PARAMETERS OF WASTEWATER AT WASTEWATER TREATMENT PLANT - UPOV ŠIBENIK

**DIPLOMA THESIS**

**TINA SLADOLJEV - JOLIĆ**
**Parent number: 165**

**Split, October 2017.**

**TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Sveučilište u Splitu**
**Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu**
**Diplomski studij kemijske tehnologije: Zaštita okoliša**

**Znanstveno područje:** tehničke znanosti
**Znanstveno polje:** kemijsko inženjerstvo
**Tema rada** je prihvaćena na 4. sjednici Fakultetskog vijeća Kemijsko tehnološkog fakulteta 2016. godine.
**Mentor:** Izv. prof. dr. sc. Nediljka Vukojević Medvidović
**Pomoć pri izradi:**

**PRAĆENJE FIZIKALNO - KEMIJSKIH PARAMETARA OTPADNE VODE NA UREĐAJU ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA - UPOV ŠIBENIK**

Tina Sladoljev - Jolić, broj indeksa 165

**Sažetak:**

U ovom radu analizirani su rezultati praćenja fizikalno - kemijskih parametara otpadne vode s Uređaja za pročišćavanje otpadnih voda - UPOV Šibenik. Uzorci otpadne vode su uzorkovani na ulazu i izlazu iz uređaja tijekom 2016. godine. U trenutnim i kompozitnim uzorcima otpadne vode analizirani su temperatura, pH vrijednost, električna vodljivost, kloridi, taloživa tvar, raspršena tvar, KPK i $BPK_5$. Uz ove parametre praćen je i protok otpadne vode koja dolazi na uređaj. Dobiveni rezultati analizirani su na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti na ulazu i izlazu na tromjesečnoj i godišnjoj razini, te su uspoređene s Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 80/13 i Vodopravnom dozvolom. Analizirana je biorazgradljivost otpadne vode analizom omjera $BPK_5$/KPK na ulazu i izlazu. Izračunate su vrijednosti opterećenja s raspršenom tvari i opterećenja s organskom tvari koje potvrđuju da su za opterećenje uređaja važni i protok i koncentracija. Izračunato je opterećenje uređaja izraženo preko broja ekvivalentnih stanovnika.

**Ključne riječi:** otpadna voda, obrada otpadnih voda, opterećenje uređaja, broj ekvivalentnih stanovnika.

**Rad sadrži:** 92 stranice, 54 slike, 15 tablica, 20 literaturnih referenci.

**Jezik izvornika:** hrvatski.

**Sastav Povjerenstva za obranu:**

1. Prof. dr. sc. Marina Trgo — predsjednik
2. Izv. prof. dr. sc. Miroslav Labor — član
3. Izv. prof. dr. sc. Nediljka Vukojević Medvidović — mentor

**Datum obrane:** 31. listopada. 2017.

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen** u Knjižnici Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu, Ruđera Boškovića 35.

**BASIC DOCUMENTATION CARD**

**DIPLOMA THESIS**

**University of Split**
**Faculty of Chemistry and Technology Split**
**Graduate study of Chemical Technology: Environmental Protection**

**Scientific area:** Technical science
**Scientific field:** Chemical engineering
**Thesis subject** was approved by Faculty Council of Faculty of Chemistry and Technology, session no 4. from 2016. year.
**Mentor:** PhD, Nediljka Vukojević Medvidović, associate prof.
**Technical assistance:**

**MONITORING OF PHYSICO - CHEMICAL PARAMETERS OF WASTEWATER AT WASTEWATER TREATMENT PLANT - UPOV ŠIBENIK**

Tina Sladoljev- Jolić, index number 165

**Abstract:**

This paper analyzes the results of monitoring the physico - chemical parameters of wastewater from the Wastewater Treatment Plant, UPOV Šibenik. The samples of wastewater were collected at the entrance and exit of the plant during the year of 2016. In samples of wastewater collected as current and composite, following parameters were analyzed: temperature, pH, electrical conductivity, chlorides, settable solids, suspended solid, COD and $BOD_5$. In addition the waste water flow which comes to the device has also been monitored. The obtained results were compared with the minimum, maximum and average values at the entrance and exit of the plant, on a quarterly and annual level, as well as with the Regulations on limit values for wastewater emission (NN 80/13) and to the Water Management Permit. Biodegradability of wastewater express as ratio $BOD_5$/COD was analyzed. The wastewater loading with suspended solid and with the organic substance have been calculated, and they confirm that both flow and concentration are important. The load of wastewater treatment plant expressed as number of population equivalent was calculated.

**Keywords:** wastewater, wastewater treatment, wastewater loading, population equivalent.

**Thesis contains:** 92 pages, 54 figures, 15 tables, 20 references.

**Original in:** Croatian.

**Defence committee:**

1. PhD, Marina Trgo — chair person
2. PhD, Miroslav Labor, asocciate prof. — member
3. PhD, Nediljka Vukojević Medvidović, associate prof. — supervisor

**Defence date:** 31. October. 2017.

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposed** in Library of Faculty of Chemistry and Technology in Split, Ruđera Boškovića 35.

Rad je izrađen u Zavodu za inženjerstvo okoliša, Kemijsko - tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Nediljke Vukojević Medvidović te u Vodovodu i odvodnji d.o.o. Šibenik na UPOV - u Šibenik u razdoblju od travnja do listopada 2017.

*Zahvaljujem mentorici izv. prof. dr. sc. Nediljki Vukojević Medvidović, na stručnom vodstvu i pomoći koju mi je pružila tijekom izrade ovog rada.*

*Zahvaljujem se svim djelatnicima Vodovoda i odvodnje d.o.o. Šibenik. Posebna zahvala dipl. ing. građ. Zrinki Pulić što je omogućila provedbu ovog rada i mag. ing. chem. ing. Kristini Šarić na pomoći tijekom analize podataka.*

*Hvala mojoj majci što mi je omogućila školovanje.*

# ZADATAK

a) U uzorcima otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV Šibenik uzorkovanih tijekom 2016. godine pratiti temperaturu, protok, pH vrijednost, električnu vodljivost, kloride, taloživu tvar, raspršenu tvar, KPK i $BPK_5$.

b) Eksperimentalne rezultate prikazati grafički u ovisnosti o datumu uzorkovanja, te analizirati. Rezultate usporediti s Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 80/13 te s graničnim vrijednostima i dopuštenim koncentracijama ispitivanih parametara za ispust otpadnih voda u sustav javne odvodnje prema Vodopravnoj dozvoli za UPOV Šibenik.

c) Temeljem eksperimentalnih rezultata izvesti zaključke o biorazgradljivosti otpadane vode te izračunati opterećenje.

# SAŽETAK

U ovom radu analizirani su rezultati praćenja fizikalno - kemijskih parametara otpadne vode s Uređaja za pročišćavanje otpadnih voda - UPOV Šibenik. Uzorci otpadne vode su uzorkovani na ulazu i izlazu iz uređaja tijekom 2016. godine. U trenutnim i kompozitnim uzorcima otpadne vode analizirani su temperatura, pH vrijednost, električna vodljivost, kloridi, taloživa tvar, raspršena tvar, KPK i $BPK_5$. Uz ove parametre praćen je i protok otpadne vode koja dolazi na uređaj.

Dobiveni rezultati analizirani su na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti na ulazu i izlazu na tromjesečnoj i godišnjoj razini, te su uspoređene s Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 80/13 i Vodopravnom dozvolom. Analizirana je biorazgradljivost otpadne vode analizom omjera $BPK_5$/KPK na ulazu i izlazu. Izračunate su vrijednosti opterećenja s raspršenom tvari i opterećenja s organskom tvari koje potvrđuju da su za opterećenje uređaja važni i protok i koncentracija. Izračunato je opterećenje uređaja izraženo preko broja ekvivalentnih stanovnika.

**Ključne riječi:** otpadna voda, obrada otpadnih voda, opterećenje uređaja, broj ekvivalentnih stanovnika.

## SUMMARY

This paper analyzes the results of monitoring the physico - chemical parameters of wastewater from the Wastewater Treatment Plant, UPOV Šibenik. The samples of wastewater were collected at the entrance and exit of the plant during the year of 2016. In samples of wastewater collected as current and composite, following parameters were analyzed: temperature, pH, electrical conductivity, chlorides, settable solids, suspended solid, COD and $BOD_5$. In addition the waste water flow which comes to the device has also been monitored.

The obtained results were compared with the minimum, maximum and average values at the entrance and exit of the plant, on a quarterly and annual level, as well as with the Regulations on limit values for wastewater emission (NN 80/13) and to the Water Management Permit. Biodegradability of wastewater express as ratio $BOD_5$/COD was analyzed. The wastewater loading with suspended solid and with the organic substance have been calculated, and they confirm that both flow and concentration are important. The load of wastewater treatment plant expressed as number of population equivalent was calculated.

**Keywords:** wastewater, wastewater treatment, wastewater loading, population equivalent.

# SADRŽAJ


| | Str. |
|---|---|
| UVOD | 1 |
| **1. OPĆI DIO** | 2 |
| 1.1. VODOOPSKRBA I ODVODNJA OTPADNIH VODA GRADA ŠIBENIKA | 3 |
| 1.1.1.Lokacija grada Šibenika | 3 |
| 1.1.2. Povijesni osvrt na razvoj vodoopskrbnog sustava grada Šibenika | 4 |
| 1.1.3. Razvoj sustava odvodnje grada Šibenika | 5 |
| 1.2. UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA | 8 |
| 1.2.1. Opis mehaničkog pročišćavanja | 12 |
| 1.2.2. Biološko pročišćavanje otpadnih voda | 18 |
| 1.2.3. Linija obrade mulja | 19 |
| 1.2.4. Kogeneracijsko postrojenje | 20 |
| **2. EKSPERIMENTALNI DIO I REZULTATI** | 21 |
| 2.1. UZORKOVANJE OTPADNE VODE | 22 |
| 2.2. ANALIZA UZORAKA OTPADNE VODE | 28 |
| 2.2.1. Određivanje pH vrijednosti i električne vodljivosti | 28 |
| 2.2.2. Određivanje klorida | 29 |
| 2.2.3. Određivanje taložive tvari | 31 |
| 2.2.4. Određivanje raspršene tvari | 32 |
| 2.2.5. Određivanje kemijske potrošnje kisika | 34 |
| 2.2.6. Određivanje biokemijske potrošnje kisika | 36 |
| **3. RASPRAVA** | 44 |
| 3.1. FIZIKALNO - KEMIJSKA KARAKTERIZACIJA UZORAKA OTPADNE VODE S UREĐAJA ZA OBRADU OTPADNIH VODA UPOV ŠIBENIK | 45 |
| 3.1.1. Analiza parametara temperature i protoka | 45 |
| 3.1.2. Analiza pH vrijednosti | 50 |
| 3.1.3. Analiza električne vodljivosti | 54 |
| 3.1.4. Analiza klorida | 58 |
| 3.1.5. Analiza taložive tvari | 62 |
| 3.1.6. Analiza raspršene tvari | 66 |

3.1.7. Analiza kemijske potrošnje kisika 70
3.1.8. Analiza biokemijske potrošnje kisika 74
3.2. ANALIZA BIORAZGRADLJIVOSTI OTPADNE VODE 78
3.3. PRORAČUN OPTEREĆENJA UREĐAJA 80
**4. ZAKLJUČAK** 87
**5. LITERATURA** 90

# UVOD

Pitka voda je temeljni uvjet za život ljudi, biljaka i životinja. Kao bitan sastojak svih živih bića ona je medij u kojem se odvijaju svi životni procesi. Voda pokriva Zemljinu površinu i prožima Zemljinu koru. Prisutna je u atmosferi, litosferi, hidrosferi, kriosferi i biosferi. Prekriva oko 70 % Zemljine površine, a od toga 97,5 % otpada na slanu vodu a samo 2,5 % na slatku vodu. Manje od 1 % je voda dostupna za piće. Raspodjela vode na Zemlji je neujednačena, a nestašica vode najviše pogađa siromašne krajeve svijeta ograničavajući time njihov razvitak. Više od 1,2 milijarde ljudi nema pristup čistoj vodi a 2,4 milijarde ljudi nema odgovarajuće sanitarne uvijete[1].

Hrvatska je po dostupnosti i bogatstvu vodnih izvora na vrlo visokom 5. mjestu u Europi, a na 42. u svijetu[2]. Obiluje izvorima vode, površinskim i podzemnim tokovima. 90 % vodoopskrbe u Hrvatskoj osigurava se iz zaliha podzemnih voda[3].

Vodama se upravlja prema načelu održivog razvoja, kojim se zadovoljavaju potrebe sadašnje generacije bez ugrožavanja prava i mogućnosti budućih generacija da ih ostvare za sebe. Ovim načinom gospodarenja se teži da se potrošnja svježe vode i nastanak otpadne vode svede na minimum. Treba prvenstveno uspostaviti stabilnu ravnoteži između ljudskih potreba i vodnih resursa. Vodeni otisak je mjera količine vode koja se koristi za proizvodnju dobara i usluga koje koristimo. Podaci o vodenom otisku mogu poslužiti kao osnova za održivo korištenje voda[4].

Naglim porastom standarda stanovništva, kao i povećavanjem postojećih i izgradnjom novih industrijskih kapaciteta povećava se potrošnja vode, a smanjuju se rezerve čiste vode u prirodi. Zbog toga je nužno potrebna izgradnja postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda.

Grad Šibenik je izradio kanalizacijsku mrežu i uređaj za obradu otpadnih voda, UPOV Šibenik, koji trenutno radi na prethodnom stupnju pročišćavanja. Uspješan rad postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda zasniva se na kontinuiranom praćenju fizikalnih, kemijskih i bioloških parametara. U ovom radu analizirani su parametri otpadne vode na ulazu i izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Šibenik (u daljnjem tekstu UPOV Šibenik) tijekom 2016. godine.

# 1. OPĆI DIO

## 1.1. VODOOPSKRBA I ODVODNJA OTPADNIH VODA GRADA ŠIBENIKA

### 1.1.1. Lokacija grada Šibenika

Od najstarijih vremena voda je bila čimbenik koji je igrao presudnu ulogu u izboru lokacije za razvoj naselja. Tako se Šibenik, grad, luka i sjedište Šibensko - kninske županije nastanio oko Šibenskoga zaljeva (slika 1.1.), prirodno zaštićene luke, gdje se rijeka Krka ulijeva u Jadransko more[5].

Slika 1.1. Lokacija grada Šibenika[6].

Grad Šibenik je gospodarsko, turističko i kulturno središte. Područje grada karakterizira vrlo razvedena obala, tipična za dalmatinsku obalu. Šibenski arhipelag se sastoji od nekoliko manjih otoka, odvojenih kanalom, sa strmom obalom te zaštićenim uvalama. Reljef je pretežno dinarski krš, sastavljen od vapnenca i dolomita. Zbog kraškog reljefa, šibensko područje nema površinskih vodotoka. Obalnim pojasom dominira ušće rijeke Krke, koja je sastavni dio Šibenskog zaljeva. Najveći vodeni tok rijeke Krke (dug 72,5 km) važan je izvor za vodoopskrbu (slika 1.2.). U zimskom

periodu, zbog većih oborina, podzemne vode se dižu na površinu i čine močvare u nekim mjestima[7].

Slika 1.2. Rijeka Krka[8].

### 1.1.2. Povijesni osvrt na razvoj vodoopskrbnog sustava grada Šibenika

Vodoopskrba grada Šibenika datira od 1879. god. kada je izgrađen javni vodovod s izvorišta Jaruga. Investitor izgradnje vodovoda bila je Uprava državnih željeznica, kojoj je zbog upotrebe parnih lokomotiva voda predstavljala osnovno pogonsko sredstvo za rad. Zbog toga su crpna stanica, tlačni i gravitacijski vod bili osnovno sredstvo željeznice. Razvoj industrije i trgovine doveo je do porasta stanovništva, što je utjecalo na povećanje potrošnje pitke vode. Od početnih 300 priključaka, već 1906. godine broj se popeo na 1200. Grad u to vrijeme postaje jaki vojnički centar, razvija se trgovina i industrija, pojačava se prometna povezanost. Zbog lošeg stanja u kojem se nalazila vodovodna infrastruktura 1908. godine, općina Šibenik naručuje projekt rekonstrukcije vodovoda. Zbog pogrešaka u prvotnoj izvedbi projekta, sam zahvat je izrađen po izmijenjenom projektu u razdoblju od 1914. do 1918. godine. Godine 1967. zaključeno je da se mora pronaći novo rješenje za dugoročnu vodoopskrbu jer zbog turizma postoji veća potreba za vodom u ljetnim mjesecima, upravo kada je

najkritičnija izdašnost postojećih izvorišta. Uvidjelo se da je za dugoročno rješavanje vodoopskrbe primorja i zaobalja nužan zahvat vode u Visovačkom jezeru s uređajem za pročišćavanje na platou Lozovca kao ishodištem svih sustava povezanih s izvorištem Jaruga. Današnja infrastruktura rezultat je rekonstrukcija i nadogradnji prvotnog javnog vodovoda grada Šibenika[9].

Vodozahvat i crpilište na izvorištu Jaruga (slika 1.3.), smješten u području Skradinskog buka na lijevoj obali Krke, i danas je glavno izvorište za opskrbu cijele Županije. Voda se s izvorišta Jaruga transportira tlačnim cjevovodima do vodosprema Brina I i Brina II, te dalje gravitacijom do centralne vodospreme na Lozovcu[10].

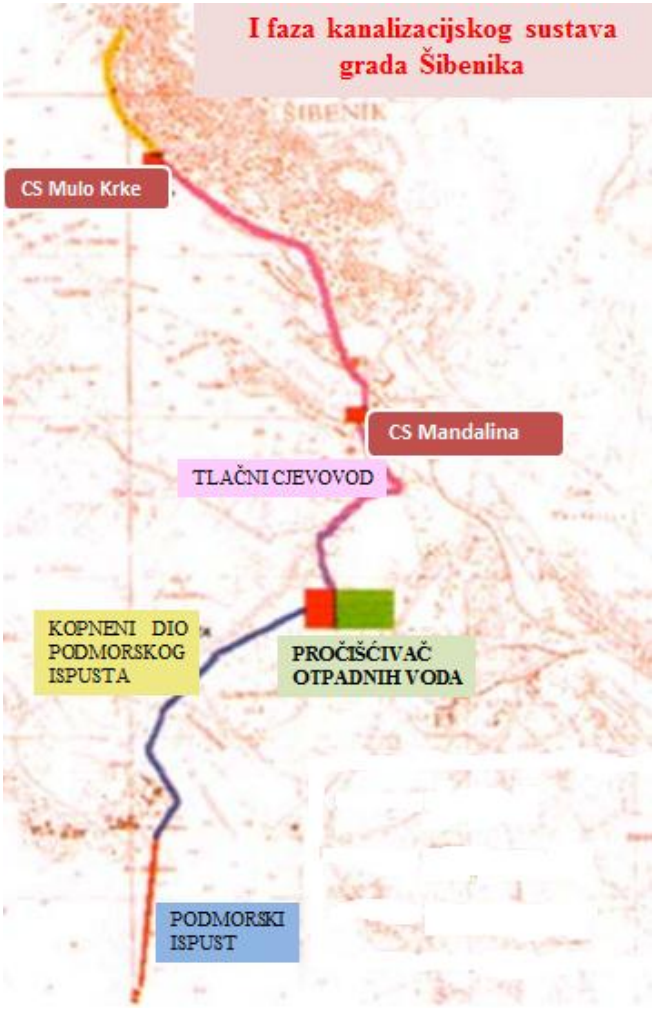
Slika 1.3. Crpilište i hidroelektrana Jaruga[11].

### 1.1.3. Razvoj sustava odvodnje grada Šibenika

Razvoj odvodnje u gradu Šibeniku, kao i u većini starih gradova u svijetu, rješavao se davno prije izgradnje prvog javnog vodovoda. Stanovništvo se koristilo bunarima i cisternama kao izvorima pitke vode, a sva odvodnja bila je rješavana ispuštanjem otpadnih voda u akvatorij gradske luke[5].

Razvoj grada Šibenika, izražen kroz broj stanovnika i razvoj industrijskih kapaciteta, doveo je do potrebe ozbiljne rekonstrukcije i nadogradnje postojećeg sustava u centralizirani sustav prikupljanja, pročišćavanja i dispozicije komunalnih otpadnih voda[12].

Godine 2000. napravljena je studija utjecaja na okoliš koja postaje glavni dokument u daljnjem razvoju odvodnje. Zbog toga je izgrađen uređaj za zbrinjavanje otpadnih voda koji će vršiti pročišćavanje otpadnih voda i njihovo ispuštanje u otvoreno more. Svi ispusti u gradsku luku (njih trideset tri) prikupljeni su i preusmjereni u kolektorske kanale. Izgrađena je crpna stanica Mulo Krka te crpna stanica Mandalina, tlačni cjevovod te kopneni i pomorski ispust. Zbog povoljne topografije, sustav je gotovo u cijelosti gravitacijski. U fazi su završni radovi na priključenju cjelokupnog grada Šibenika na kolektorski sustav[5] (slika 1.4.).




Slika 1.4. Shema kanalizacijskog sustava Šibenika[12].

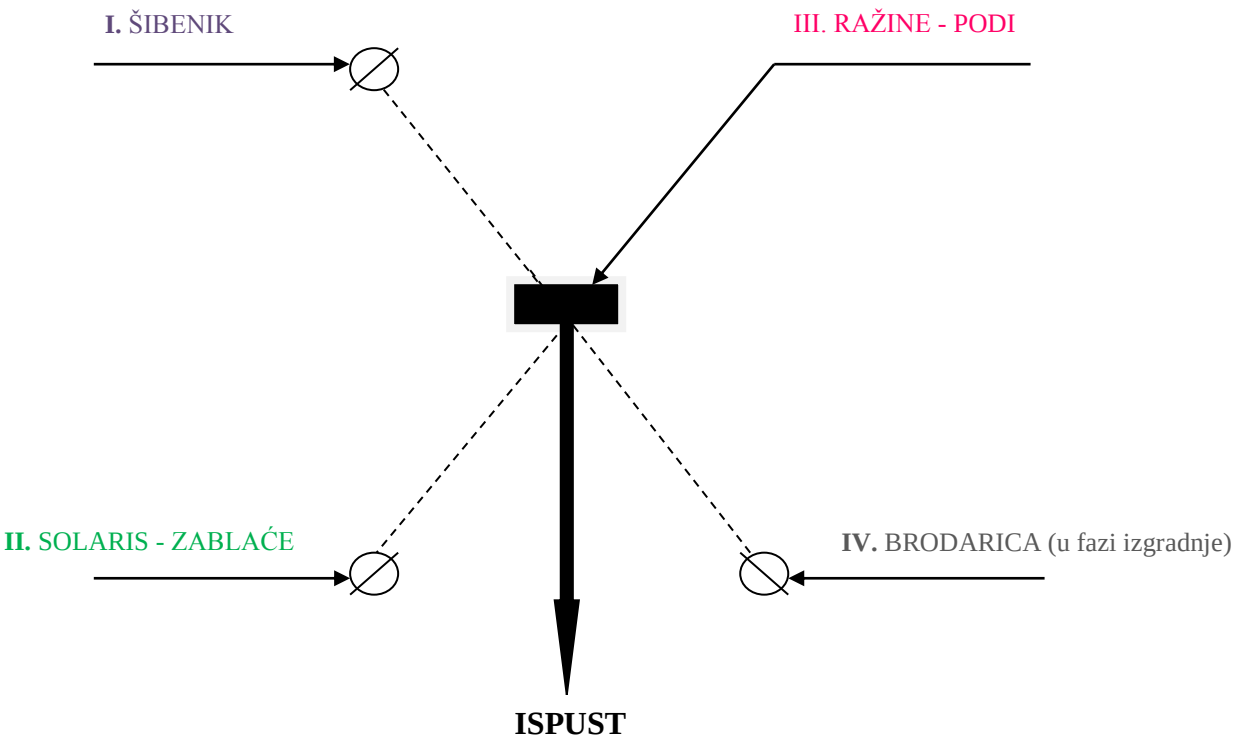
Postojeći sustav odvodnje grada Šibenika je mješovitog tipa. „Centar“ ili stari mješoviti sustav nalazi se na sjevernoj obali Šibenskog zaljeva, a novi mješoviti sustav nalazi se na novoizgrađenom području sjeverno i jugoistočno od stare gradske jezgre. Turističko naselje Solaris, ima razdjelni sustav odvodnje kojim se sve otpadne vode prikupljaju uz pomoć jedne crpne stanice te odvode izravno na UPOV Šibenik. Ostala područja jugoistočno od centra Šibenika i jugozapadno od centra nemaju izgrađene kanalizacijske sustave[7]. Postojeći raspored i karakteristike mreže su takve da sustav radi kao tri podsustava:

I. područje sjeverno od postojećeg UPOV-a, unutar Šibenskog zaljeva, ili slivno područje Šibenskog zaljeva

II. južni dio grada, izvan Šibenskog zaljeva, turističko naselje Solaris

III. industrijsko područje Ražina istočno od Šibenskog zaljeva.

Shematski prikaz sustava prikazan je na slici 1.5.




Slika 1.5. Funkcionalna shema kanalizacijskog sustava[5].

Predgrađa (dio Brodarice koji je u fazi priključivanja, Zablaće, Krapanj, Jadrtovac, Donje Polje i Vrpolje) nemaju izgrađen sustav odvodnje, nego se sva otpadna voda skuplja u septičkim jamama. Većina jama je u lošem stanju, te otpadna voda iz njih ide u okolno tlo ili more.

Crpna stanica Mandalina (slika 1.6.) crpi vodu s područja grada Šibenika prema UPOV-u. Stoga je glavna crpna stanica i jedna od najvažnijih građevina odvodnog sustava. Ova crpna stanica trenutno crpi sve otpadne vode sakupljene u gradu Šibeniku (područje unutar Šibenskog zaljeva) izravno prema UPOV-u.

Slika 1.6. Crpna stanica Mandalina.

## 1.2. UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

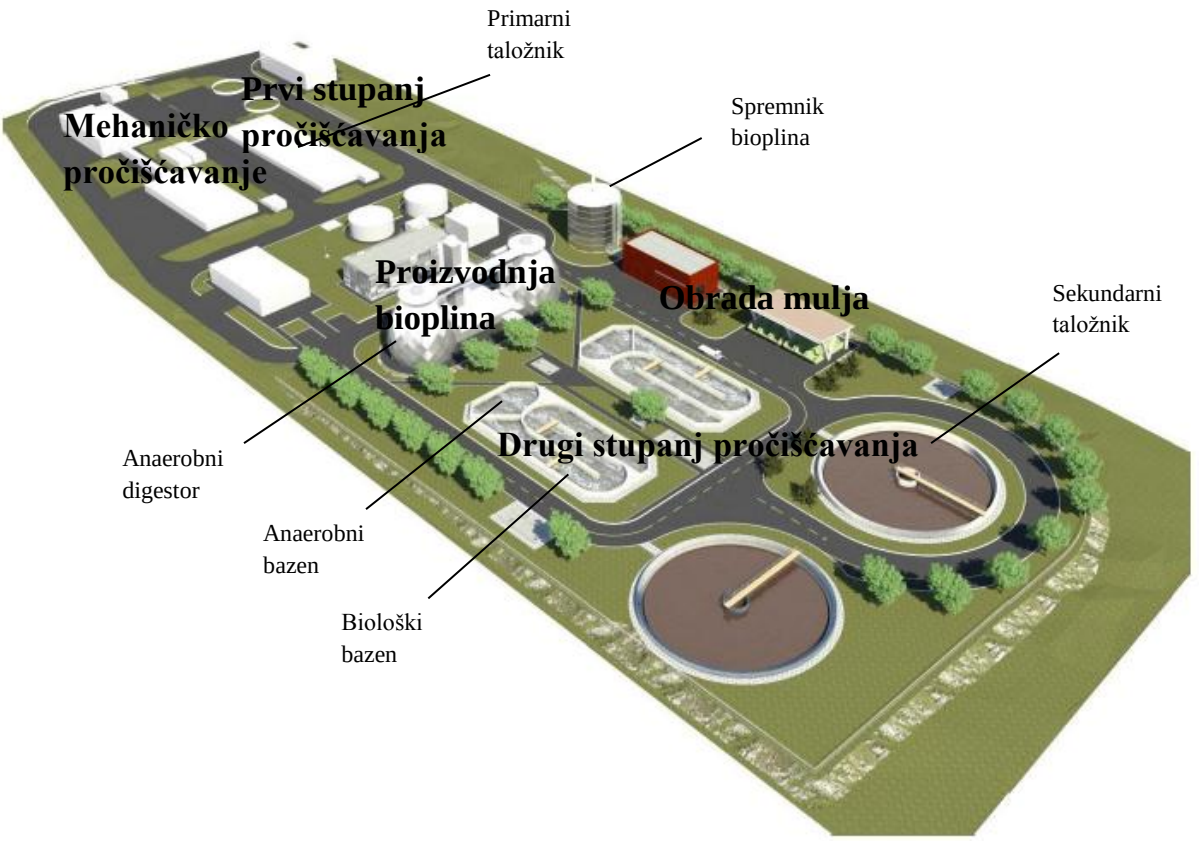
Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Šibenika (u daljnjem tekstu UPOV Šibenik) je dio cjelovitog sustava javne odvodnje grada Šibenika i jedan od ključnih objekata kanalizacijskog sustava grada Šibenika[5].

UPOV Šibenik je izgrađen na lokaciji Pećine (slika 1.7.) koja je udaljena tri kilometra od grada, a namjena mu je pročišćavanje otpadnih voda grada Šibenika i okolice prije ispuštanja u more.

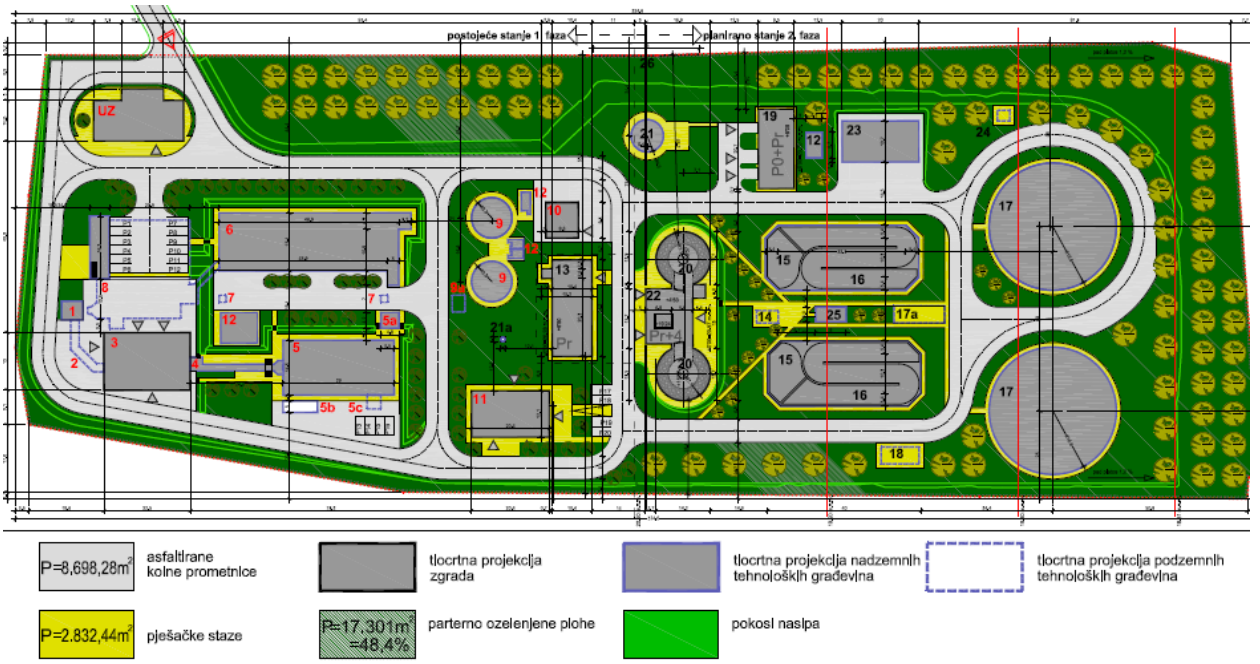
Slika 1.7. Lokacija uređaja[7].

Izgradnja je predviđena u dvije faze. I. faza uređaja podrazumijeva uređaj veličine N<100.000 ES uz prethodni mehanički stupanj pročišćavanja. Faza II. obuhvaća biološko pročišćavanje otpadne vode s obradom mulja anaerobnom digestijom, a dobiveni plin bi se koristio u kogeneracijskom postrojenju za proizvodnju topline potrebne za proces i proizvodnju dijela električne energije potrebne za rad UPOV-a[5].

Predviđena nadogradnja UPOV Šibenik na drugi stupanj pročišćavanja otpadnih voda planira se smjestiti na lokaciji postojećeg dijela UPOV-a. Njena kompjutorska vizualizacija prikazana je na slici 1.8, a položajni nacrt na slici 1.9.




Slika 1.8. Kompjutorska vizualizacija konačnog rješenja UPOV Šibenik[7].



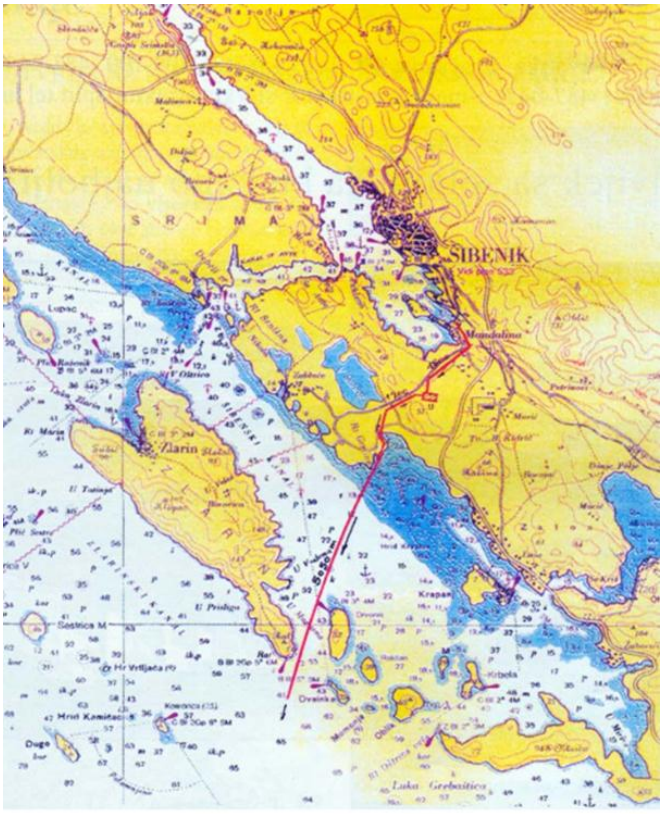

1. faza (postojeće stanje) 2. faza ( planirano stanje)

| Oznaka postojećih građevina | Opis građevina |
|---|---|
| 1 | Ulazno okno |
| 2 | Spojni kanal |
| 3 | Zgrada s finim i grubim rešetkama |
| 4 | Mjerni kanal i razdjelno okno |
| 5 | Pjeskolov- mastolov |
| 5a | Preljevno okno |
| 5b | Klasirer pijeska |
| 5c | Spremnik za masnoće |
| 6 | Primarni taložnik |
| 7 | Razdjelno okno |
| 8 | Dozažni bazen |
| 9 | Uguščivać mulja |
| 9a | Crpna stanica za ocjedne vode faza 1. |
| 10 | Radionica za održavanje |
| 11 | Zgrada kompresorke stanice |
| 12 | Biofilter |
| UZ | Upravna zgrada |

| Oznaka postojećih građevina | Opis građevina |
|---|---|
| 12 | Biofilter |
| 13 | Zgrada kompresorske stanice za 2. fazu |
| 14 | Razdjelno okno za otpadne vode |
| 15 | Anaerobni bazen |
| 16 | Aerobni bazen |
| 17 | Sekundarni taložnik |
| 17a | Transportna crpna stanica za povrat viška mulja |
| 18 | Crpna stanica sekundarnog taložnika |
| 19 | Zgrada za mehaničko ugušćivanje i strojnu dehidrataciju mulja |
| 20 | Anaerobni digestor |
| 21 | Spremnik plina |
| 21a | Baklja |
| 22 | Zgrada za obradu bioplina |
| 23 | Natkriveni plato za |
| 24 | dehidrirani mulj |
| 25 | Elektroormari |
| 26 | Sigurnosni zid bioplinskog spremnika |

Slika 1.9. Položajni nacrt UPOV-a Šibenik [7].

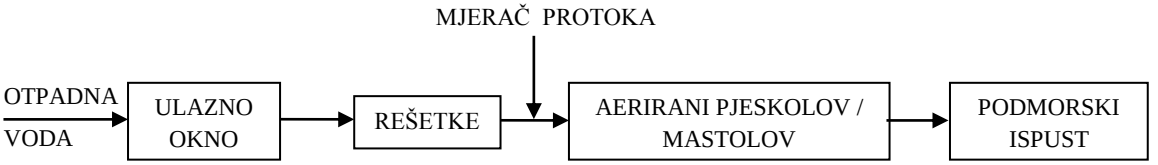
Trenutno se UPOV Šibenik sastoji od mehaničkog predtretmana na koji se nastavlja podmorski ispust. Glavni i ispusni kanal UPOV-a (slika 1.10.) kojim se pročišćeni efluent uz pomoć gravitacije ispušta u Zlarinski kanal ima kopnenu dionicu dugačku 1 900 m i podmorsku dionicu dugačku 5 100 m. Pročišćeni efluent se ispušta difuzorima na 60 m dubine[2].




Slika 1.10. Shema podmorskog ispusta u otvoreno more južno od Zlarina[12].

### 1.2.1. Opis mehaničkog pročišćavanja

Mehaničko pročišćavanje otpadnih voda UPOV Šibenika obuhvaća ulazno okno, rešetke, mjerač protoka, pjeskolov/mastolov i podmorski ispust. Shematski prikaz mehaničkog pročišćavanja otpadnih voda na UPOV Šibenik je prikazan na slici 1.11.




Slika 1.11. Shema mehaničkog pročišćavanja otpadnih voda na UPOV Šibenik.

Otpadna voda iz ulaznog okna (slika 1.12.) ulazi u **zgradu rešetki** (slika 1.13.) i to prvo na grube (slika 1.14.), a potom na fine rešetke (slika 1.15.). Veličina otvora grubih rešetki iznosi 40 mm, dok veličina otvora finih iznosi 3 mm. Za dotok vode postoje dva dovodna kanala te premosni kanal u slučaju prevelike količine vode. Mehanizam za čišćenje rešetki izvlači otpad koji potom ide u kontejnere (slika 1.16.). Otpad se odvozi i zbrinjava prema Zakonu o zbrinjavanju otpada. Ocjedna voda vraća se u kanal. Prostorija rešetki se ventilira ovisno o količini plinova u njoj.

Slika 1.12. Ulazno okno.

Slika 1.13. Zgrada rešetki[9].

Slika 1.14. Grube rešetke.

Slika 1.15. Fine rešetke.

Slika 1.16. Prostorija kontejnera.

Za mjerenje plinova postoje sonde za mjerenje $H_2S$, $CH_4$, $NH_3$, postavljene u prostor s rešetkama kao i u prostor s kontejnerima. Plinovi se mjere 24 sata dnevno. Monitoring koncentracije plinova kao i čitavog sustava UPOV-a vrši se 24 sata dnevno u upravnoj građevini. Zrak iz zgrade rešetki pročišćava se dalje na biofilteru (slika 1.17.) koji je punjen smjesom kokosovih vlakana i četinjača.

Slika 1.17. Biofilter.

**Uređaj za mjerenje protoka** (slika 1.18.) nalazi se u otvorenom kanalu nizvodno od finih rešetki.

Slika 1.18. Mjerač protoka.

**U aeriranom pjeskolov/mastolovu** (slika 1.19.) izdvajanje ulja i masti vrši se zgrtačem po površini otpadne vode. Ulja i masti se odvode u betonski bazen a potom posebnim komunalnim vozilom na obradu sukladno Zakonu o zbrinjavanju otpada.

Slika 1.19. Aerirani pjeskolov/mastolov.

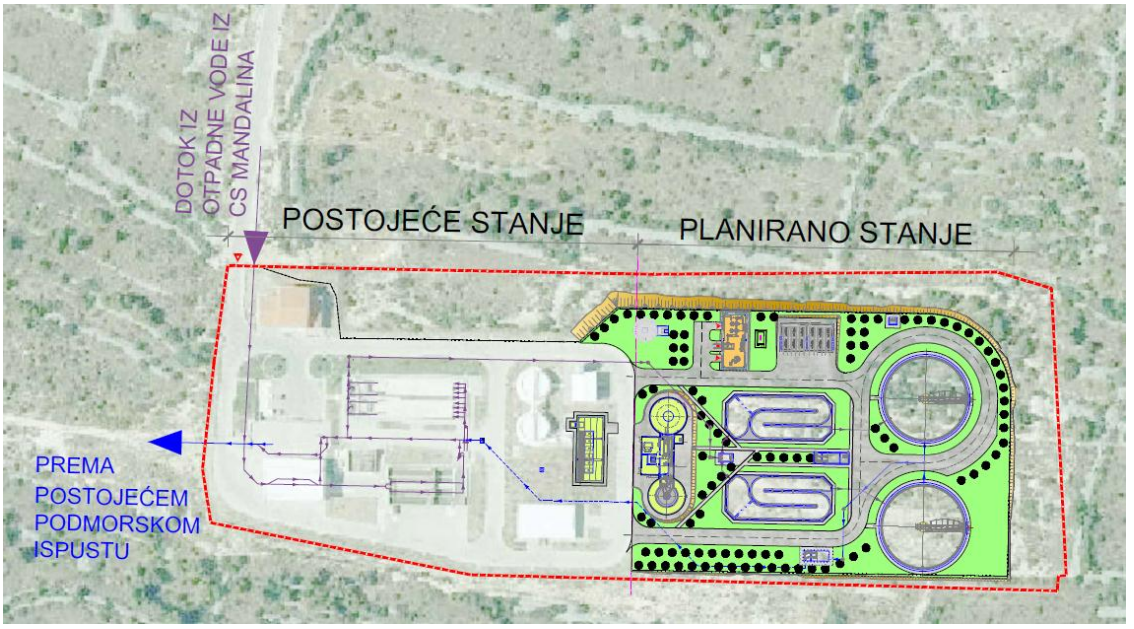
Pijesak se kupi zgrtačem po dnu bazena i uz pomoć mamut pumpi odvodi u uređaj za odvajanje i pranje pijeska (klasirer pijeska) (slika 1.20.).

Slika 1.20. Klasirer pijeska.

Takva pročišćena voda odlazi do **pomorskog ispusta** (slika 1.10.). Ispuštena količina vode je cca 8000 $m^3$/dan.

Iako je uređaj izveden za primarno pročišćavanje, uključujući primarni taložnik (slika 1.21.), trenutno radi samo mehaničko pročišćavanje. Na slici 1.22. prikazano je postojeće i planirano stanje rada UPOV-a Šibenik.

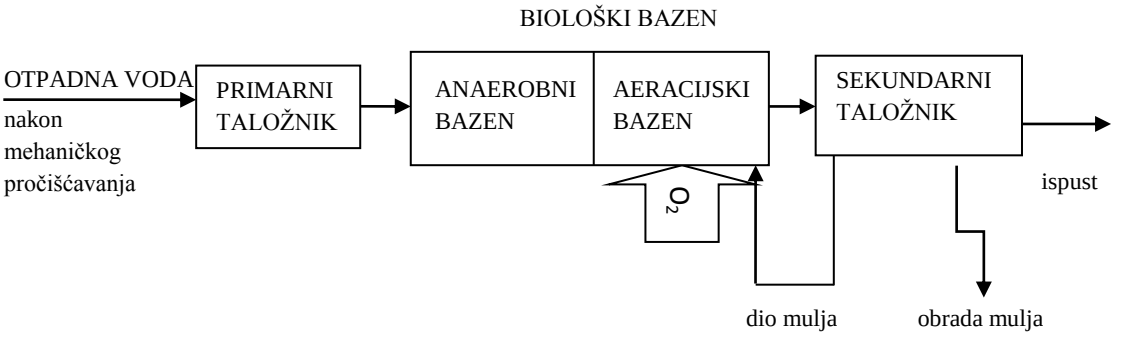
Slika 1.21. Primarni taložnik.




Slika 1.22. Prikaz postojećeg i planiranog stanja[7].

### 1.2.2. Biološko pročišćavanje otpadnih voda

Iako je mehaničko pročišćavanje već u pogonu, predviđena je nadogradnja UPOV-a na drugi (sekundarni) stupanj biološkog pročišćavanja otpadnih voda čiji je smještaj na lokaciji postojećeg dijela UPOV-a. Shematski prikaz biološkog pročišćavanja prikazan je na slici 1.23.




Slika 1.23. Shema biološkog pročišćavanja otpadne vode.

Glavna karakteristika svakog biološkog postupka s aktivnim muljem je miješanje ulazne otpadne vode s aktivnim muljem uz periodično ozračivanje u bioaeracijskim bazenima, taloženje i konačno odvajanje tekuće od krute faze u sekundarnim taložnicima.

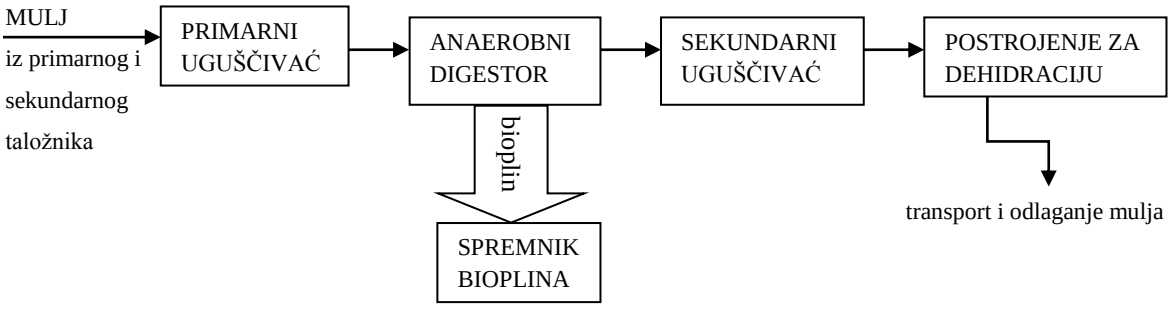
Biološki stupanj pročišćavanja otpadnih voda planira se odvijati u kombiniranom procesu pročišćavanja postupkom aktivnog mulja. U ovom stupnju pročišćavanja odstranit će se organsko onečišćenje kao i čestice raspršenih tvari. Samo pročišćavanje otpadnih voda obavljaju mikroorganizmi koji su glavni čimbenik biološke obrade i sastavni su dio aktivnog mulja. Potreban kisik unosi se u sustav upuhivanjem zraka pri dnu biobazena.

U anoksičnoj zoni biološkog stupnja intenzivnim miješanjem pomoću propelerne miješalice postiže se da bez prisustva kisika anaerobni mikroorganizmi obavljaju procese denitrifikacije te kao rezultat nastaje plinoviti dušik koji odlazi u atmosferu. Na samom ulazu u bazene biološkog stupnja odvijaju se i simultani procesi biološkog uklanjanja prisutnog fosfora koji se ugrađuje u staničnu strukturu prisutnih

mikroorganizama iz aktivnog mulja. Smjesa ozračene otpadne vode i aktivnog mulja preljeva se u sekundarni taložnik gdje se odvija smirivanje postupka uz odvajanje tekuće od krute faze. Pročišćena voda laganim strujanjem odvodi se ka obodnim preljevima i ispušta preko izlaznog kontrolnog okna u recipijent. Istaloženi aktivni mulj se crpkama vraća u aeracijski bazen na ponovni biološki postupak, dok se višak odvodi na obradu mulja[7].

### 1.2.3. Linija obrade mulja

Postupak stabilizacije mulja planira se provoditi anaerobnom digestijom. Shema obrade mulja anaerobnom digestijom prikazana je na slici 1.24.




Slika 1.24. Shema obrade mulja anaerobnom digestijom.

Obrada mulja odvija se postupkom ugušćivanja, nadalje stabilizacijom pomoću anaerobnog postupka digestiranja mulja te smanjivanjem ukupnog volumena mulja i sušenjem pomoću strojne dehidracije.

Proizvedeni mulj iz primarnog i sekundarnog taložnika se crpkama transportira u primarni uguščivač. Ugušćeni mulj transportira se u digestor gdje se odvijaju procesi anaerobne stabilizacije mulja.

Anaerobni proces se odvija u potpuno zatvorenom sustavu bez prisustva zraka pa se u tako anaerobnim uvjetima prisutni organski materijal iz mješavine primarnog i sekundarnog mulja biološki pretvara u plinove metan ($CH_4$) i ugljični dioksid ($CO_2$).

Proizvedeni bioplin odvodi se u spremnik bioplina te će se spaljivati na baklji. Obrađeni mulj je potpuno stabiliziran te se nakon određenog vremenskog perioda transportira u sekundarne uguščivače gdje će se ugustiti i postići vrijednosti od približno 5% suhe tvari. Daljnja obrada stabiliziranog mulja odvija se u postrojenju za dehidraciju gdje se volumen mulja smanjuje te postižu vrijednosti od približno 25 - 30 % suhe tvari. Dehidrirani i djelomično suhi mulj privremeno se skladišti u posebnom prostoru i eventualno kasnije distribuira na strogo kontrolirane poljoprivredne površine ili se odvozi na javno odlagalište otpada kao pokrovni sloj za kruti otpad ili kao zaseban sloj, što će biti definirano nakon analize mulja[7].

### 1.2.4. Kogeneracijsko postrojenje

Kogeneracija je postupak istovremene proizvodnje električne i korisne toplinske energije u jedinstvenom procesu. Prema planiranoj tehnologiji UPOV-a Šibenik u procesu obrade mulja stvarati će se bioplin procesom digestije. Sastav bioplina je najvećim dijelom metan i ugljični dioksid, te isti nije pogodan za ispuštanje u atmosferu. Kako je procesu obrade mulja potrebna određena temperatura (toplina) koja se mora dobiti iz vanjskog izvora, idealno rješenje iskorištenje bioplina za stvaranje potrebne topline i za proizvodnju dijela električne energije za rad UPOV-a Šibenik predviđa se ugradnja kogeneracijskog postrojenja (CHP jedinice). Dovod bioplina za rad kogeneracijske jedinice predviđen je iz spremnika bioplina preko cjevovoda i ostale potrebne opreme. Za UPOV Šibenik procijenjena dnevna proizvodnja bioplina iznosi oko 970 $m^3$. Energetska vrijednost bioplina ovih svojstava iznosi oko 60 $MJ/m^3$, tj. 5,5 $kWh/m^3$. S obzirom na dnevnu proizvodnju bioplina i energetsku vrijednost, odabirat će se kogeneracijska jedinica nazivne električne snage od 190 kW i toplinskog izlaza od 238 kW. Navedeno postrojenje ima potrošnju bioplina od 75,9 $m^3/h$. Planira se svu proizvedenu električnu energiju kogeneracijskog postrojenja potrošiti unutar uređaja za počišćivanje otpadnih voda. Planirani smještaj kogeneracijske CHP jedinice je u zgradi digestije[7].

# 2. EKSPERIMENTALNI DIO I REZULTATI

## 2.1. UZORKOVANJE OTPADNE VODE

Uzorkovanje otpadne vode se obavlja pomoću automatskog uzorkivača na ulazu i izlazu UPOV Šibenik. Provodi se trenutno i kompozitno uzorkovanje.

*Trenutnim* uzorkovanjem dobiva se trenutni uzorak. Obavlja se ručno i trenutno, na ulazu prije grube rešetke a moguće je uzeti i na ulazu u finu rešetku, iza dovodnog kanala prije (bazena) pjeskolova/mastolova, ili na sabirnom mjestu na izlazu. Uzorak se uzima po potrebi s jednog od tih mjesta. Osobito je povoljno za analizu nestabilnih parametara koji uključuju pH, otopljeni kisik, temperatura, rezidualni klor i dr.

*Kompozitnim* uzorkovanjem dobiva se kompozitni uzorak. Obavlja se sakupljanjem više uzoraka u jednu posudu, na ulaznom ili izlaznom oknu. Kompozitni uzorkivač povlači određene količine otpadne vode periodično kroz vrijeme uzorkovanja. Obično se radi o 24-satnom uzorkovanju ili 2-satnom uzorkovanju. Kompozitni uzorak se uzima iz automatskog uzorkivača svaki dan te ide na analizu fizikalno - kemijskih parametara.

a)

b)

Slika 2.1. Uzorkivač: a) na ulazu, b) na izlazu.

Tijekom uzorkovanja praćeni su protok i temperatura. Rezultati su sumirani u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Rezultati temperature i protoka otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik.

| Datum uzorkovanja | Opis uzorka | | | | Trenutni ili kompozitni | protok $m^3$/dan |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ulaz | T(°C) | Izlaz | T(°C) | | |
| prvo tromjesečje (siječanj 2016. - ožujak 2016.) | | | | | | |
| 5.1.2016. | mutan, žut | 13,5 | mutan, siv | 12,6 | 24 h | 11853 |
| 7.1.2016 | mutan, žutosmeđ | 11,9 | mutan, žut | 12,3 | 2 h | 7631 |
| 11.1.2016. | - | - | mutan,siv | 17,1 | trenutni | 10225 |
| 12.1.2016. | mutan, siv | 18,6 | mutan, siv | 17,9 | 24 h | 11800 |
| 15.1.2016. | - | - | jako mutan, žutosmeđ | 14,2 | trenutni | 15820 |
| 18.1.2016. | - | - | mutan, žut | 13,2 | trenutni | 6940 |
| 19.1.2016. | mutan, siv | 12,7 | mutan, siv | 12,4 | 24 h | 6928 |
| 21.1.2016. | mutan, žutosmeđ | 14,6 | mutan, žut | 13,5 | 24 h | 7348 |
| 25.1.2016. | - | 10,9 | - | 11,4 | - | 6783 |
| 26.1.2016. | - | - | mutan, sivkasti | 11,4 | 24 h | 6741 |
| 27.1.2016. | mutan, žut | 11,2 | mutan, žut | 11,4 | 24 h | 6890 |
| 29.1.2016. | mutan, žut | 12,1 | mutan, žut | 11,8 | 24 h | 6839 |
| 1.2.2016. | - | - | mutan, žut | 15,4 | trenutni | 6978 |
| 2.2.2016. | mutan, žut | 11,0 | mutan, svijetložut | 12,9 | 24 h | 7695 |
| 4.2.2016. | jako mutan, žutosmeđ | 10,6 | mutan, žućkasti | 10,2 | 24 h | 12181 |
| 8.2.1016. | - | - | jako mutan, žutosmeđ | 14,0 | trenutni | 7081 |
| 9.2.2016. | jako mutan, žutosmeđ | 15,3 | mutan, žut | 14,5 | 24 h | 6982 |
| 12.2.2016. | - | - | mutan, žutosmeđ | 15,1 | 24 h | 8849 |
| 15.2.2016. | - | - | mutan, sivkast | 14,7 | trenutni | 14518 |
| 16.2.2016. | - | - | mutan, siv | 18,8 | 24 h | 9371 |
| 19.2.2016. | mutan, žut | 15,1 | mutan, žut | 16,3 | 2 h | 7798 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 22.2.2016. | - | - | mutan, žut | 16,8 | trenutni | 7046 |
| 23.2.2016. | mutan, žućkast | 15,2 | mutan, žućkast | 12,0 | 24 h | 9072 |
| 25.2.2016. | mutan, siv | 16,1 | mutan, žut | 14,9 | 24 h | 6373 |
| 1.3.2016. | mutan, žutosmeđ | 17,1 | mutan, siv | 17,1 | 24 h | 11420 |
| 2.3.2016. | - | - | mutan, žut | 13,2 | trenutni | 7811 |
| 3.3.2016. | srednje mutan, žut | 15,3 | srednje mutan, žut | 14,7 | trenutni | 13332 |
| 7.3.2016. | - | - | mutan, žut | 15,9 | trenutni | 10550 |
| 8.3.2016. | mutan, žut | 15,1 | mutan, svijetlosiv | 15,3 | 24 h | 8561 |
| 10.3.2016. | mutan, žut | 16,8 | mutan, žut | 16,3 | trenutni | 8124 |
| 14.3.2016. | mutan, žut | 16,1 | mutan, žut | 15,6 | trenutni | 7239 |
| 17.3.2016. | mutan, žutosmeđ | 19,4 | mutan, žut | 19,5 | 24 h | 7091 |
| 22.3.2016. | mutan, žutosmeđ | 16,9 | mutan, žutosmeđ | 17,5 | trenutni | 7633 |
| 23.3.2016. | mutan, žutosmeđ | 11,7 | mutan, žut | 9,2 | 24 h | 12392 |
| 29.3.2016. | mutan, žut | 16,1 | mutan, žut | 15,2 | 2 h | 7504 |
| 30.3.2016. | mutan, žutosmeđ | 10,3 | mutan, žut | 9,2 | 24 h | 7080 |
| drugo tromjesečje (travanj 2016. - lipanj 2016.) | | | | | | |
| 4.4.2016. | mutan, žutosmeđ | 16,4 | mutan, žutosmeđ | 15,8 | trenutni | 7174 |
| 5.4.2016. | mutan, žutosmeđ | 16,8 | mutan, žut | 17,0 | 24 h | 7140 |
| 7.4.2016. | mutan, žut | 16,1 | mutan, žut | 15,8 | 24 h | 7260 |
| 8.4.2016. | mutan, žut | 17,1 | mutan, žut | 18,7 | 24 h | 7763 |
| 11.4.2016. | mutan, žut | 17,6 | mutan, žut | 18,7 | trenutni | 7242 |
| 12.4.2016. | mutan, žut | 19,2 | mutan, žut | 18,4 | 24 h | 7132 |
| 18.4.2016. | mutan, žut | 17,4 | mutan, žut | 18,2 | 24 h | 7445 |
| 20.4.2016. | jako mutan, žutosmeđ | 16,9 | mutan, žut | 18,4 | 24 h | 6934 |
| 25.4.2016. | jako mutan, smeđ | 16,4 | jako mutan, smeđ | 16,1 | trenutni | 13016 |
| 26.4.2016. | mutan, žutosmeđ | 9,9 | mutan, žut | 9,8 | 24 h | 7639 |
| 27.4.2016. | jako mutan, žut | 11,1 | mutan, svijetložut | 10,0 | 24h | 7935 |
| 2.5.2016. | slabo mutan, žut | 17,4 | slabo mutan, blijedožut | 18,1 | trenutni | 8489 |
| 4.5.2016. | mutan, smeđi | 18,0 | mutan, žut | 18,1 | 24 h | 7380 |
| 6.5.2016. | mutan, žut | 18,4 | mutan, žut | 18,7 | 24 h | 7632 |
| 12.5.2016. | mutan, žut | 19,2 | mutan, žut | 19,6 | 2 h | 13473 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 13.5.2016 | jako mutan, smeđ | 18,6 | mutan, žutosmeđ | 15,8 | 24 h | 11603 |
| 16.5.2016. | mutan, žut | 15,3 | mutan, žut | 16,1 | 24 h | 8040 |
| 17.5.2016. | mutan, žut | 20,8 | mutan, žut | 20,8 | 24 h | 7643 |
| 22.5.2016. | mutan, žut | 18,1 | mutan, žut | 18,6 | trenutni | 7358 |
| 30.5.2016. | - | - | mutan, žutosmeđ | 22,6 | trenutni | 7922 |
| 31.5.2016. | mutan, žut | 17,7 | mutan, siv | 17,2 | 2 h, 24 h | 7621 |
| 2.6.2016. | mutan, žutosmeđ | 13,7 | mutan, žut | 14,1 | 24 h | 7725 |
| 6.6.2016. | mutan, žut | 22,9 | mutan, žut | 22,1 | trenutni | 8178 |
| 9.6.2016. | mutan, žut | 19,3 | mutan, žut | 18,9 | 24 h | 11406 |
| 15.6.2016. | - | - | mutan, žut | 17,9 | 2 h | 8285 |
| 17.6.2016. | mutan, žut | 19,6 | mutan, žut | 20,4 | 24 h | 8997 |
| 20.6.2016. | mutan, žut | 19,6 | bistar, siv | 20,4 | 24 h | 10474 |
| 27.6.2016. | mutan, žutosmeđ | 21,2 | mutan, žut | 20,6 | 2 h | 8377 |
| 29.6.2016. | mutan,žut | 16,2 | mutan, siv | 15,0 | 24 h | 8130 |
| treće tromjesečje (srpanj 2016. - rujan 2016.) | | | | | | |
| 1.7.2016. | mutan, žut | 20,1 | mutan, žut | 19,1 | 24 h | 9680 |
| 12.7.2016. | - | - | mutan, smeđ | 23,9 | 24 h | 8107 |
| 13.7.2016. | mutan, žut | 28,7 | mutan, žut | 29,6 | 24 h | 8173 |
| 14.7.2016. | mutan, žut | 29,1 | mutan, žut | 28,3 | 24 h | 8449 |
| 18.7.2016. | mutan, žut | 16,1 | mutan, žut | 15,2 | trenutni | 8211 |
| 20.7.2016. | - | - | mutan | 27,7 | 24 h | 8033 |
| 25.7.2016. | mutan, žutosmeđ | 26,5 | mutan, žutosmeđ | 26,8 | trenutni | 9174 |
| 26.7.2016. | jako mutan, smeđ | 16,5 | mutan, žut | 17,3 | 24 h | 8572 |
| 27.7.2016. | mutan, siv | 16,1 | mutan, siv | 18,4 | 24 h | 8648 |
| 1.8.2016. | - | - | mutan, žutosmeđ | 19,4 | 2 h | 9250 |
| 2.8.2016. | mutan, žut | 19,1 | mutan, žut | 18,7 | 24 h | 8973 |
| 17.8.2016. | jako mutan, žutosmeđ | 24,2 | mutan, žutosmeđ | 25,3 | 24h | 8681 |
| 18.8.2016. | mutan, žut | 14,1 | mutan, žut | 10,9 | 24 h | 9051 |
| 19.8.2016. | mutan, žut | 13,9 | mutan, žut | 15,6 | 24 h | 10825 |
| 22.8.2016. | mutan, žutosmeđ | 24,3 | mutan, žutosmeđ | 25,0 | 24 h | 7918 |
| 21.8.2016. | mutan, žut | 24,3 | mutan, žut | 25,4 | 24 h | 11949 |
| 24.8.2016. | mutan, žutosmeđ | 25,4 | mutan, siv | 25,2 | 24 h | 7974 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 29.8.2016. | mutan, žut | 24,0 | mutan, žut | 23,2 | trenutni | 8195 |
| 31.8.2016. | mutan, žut | 16,2 | mutan, žut | 15,7 | 24 h | 8277 |
| 2.9.2016. | mutan, žut | 16,2 | mutan, žut | 16,8 | 24 h | 8040 |
| 6.9.2016. | mutan žutosmeđ | 24,1 | mutan, žut | 25,8 | 24 h | 8081 |
| 7.9.2016. | mutan, žut | 23,1 | mutan, žut | 22,8 | 24 h | 9551 |
| 9.9.2016. | mutan, žut | 19,1 | mutan, žut | 20,2 | 24 h | 8434 |
| 15.9.2016. | - | - | mutan, žutosmeđ | 24,7 | trenutni | 8013 |
| 16.9.2016. | mutan, žut | 16,3 | mutan, žut | 16,6 | 24 h | 8302 |
| 19.9.2016. | mutan, siv | 14,3 | mutan, siv | 14,8 | 24 h | 8995 |
| 22.9.2016. | mutan, siv | 16,5 | mutan, siv | 19,9 | 24 h | 7872 |
| 27.9.2016. | mutan, žut | 7,7 | mutan, žut | 19,3 | 24 h | 7503 |
| četvrto tromjesečje (listopad 2016. - prosinac 2016.) | | | | | | |
| 3.10.2016. | - | - | mutan, žutosmeđ | 20,9 | trenutni | 14780 |
| 4.10.2016. | mutan, žut | 14,6 | mutan, žut | 12,1 | 24 h | 7242 |
| 6.10.2016. | mutan, žut | 17,6 | mutan, žut | 14,1 | 24 h | 7316 |
| 10.10.2016. | - | - | mutan, žut | 16,9 | trenutni | 9642 |
| 11.10.2016. | mutan, žut | 11,6 | mutan, žut | 10,9 | 24 h | 7781 |
| 13.10.2016. | - | - | mutan, žut | 16,9 | 24 h | 7679 |
| 14.10.2016. | - | - | mutan, žut | 20,2 | 24 h | 7545 |
| 19.10.2016. | mutan, žut | 18,2 | mutan, žut | 18,3 | 24 h | 7938 |
| 21.10.2016. | mutan žut | 15,6 | mutan, žut | 14,1 | 24 h | 11786 |
| 25.10.2016. | mutan,žut | 16,4 | mutan, siv | 12,9 | 24 h | 7399 |
| 26.10.2016. | mutan, žut | 19,6 | mutan, žut | 19,0 | 24 h | 7384 |
| 28.10.2016. | mutan, žutosmeđ | 11,7 | mutan, siv | 8,1 | 24 h | 7462 |
| 10.11.2016. | mutan, žut | 14,8 | mutan, žut | 13,5 | 24 h | 9321 |
| 14.11.2016. | - | - | mutan, žut | 12,9 | 2 h | 7910 |
| 15.11.2016. | - | - | mutan, siv | 11,7 | 24 h | 7368 |
| 16.11.2016. | mutan, žut | 12,2 | mutan, žut | 10,9 | 24 h | 7340 |
| 21.11.2016. | - | - | mutan, žut | 14,4 | 24 h | 7351 |
| 22.11.2016. | mutan, žut | 16,8 | mutan, siv | 15,9 | 24h, trenutni | 7008 |
| 24.11.2016. | - | - | mutan, žut | 14,3 | 24 h | 6925 |
| 28.11.2016. | - | - | mutan, žut | 17,5 | trenutni | 7596 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 29.11.2016. | mutan, žutosmeđ | 10,3 | mutan, žutosmeđ | 11,0 | 24 h | 6924 |
| 30.11.2016. | mutan, svijetložut | 10,9 | mutan, svijetložut | 8,4 | 24 h | 6654 |
| 1.12.2016. | - | - | svijetložut, mutan | 14,6 | 24 h | 6902 |
| 2.12.2016. | mutan, žut | 11,2 | mutan, svijetložut | 11,5 | 24 h | 7099 |
| 5.12.2016. | - | - | mutan, svijetložut | 15,7 | trenutni | 6786 |
| 6.12.2016. | mutan, svijetložut | 11,7 | mutan, svijetložut | 11,2 | 24 h | 6577 |
| 8.12.2016. | mutan, svijetložut | 11,3 | mutan, svijetložut | 10,9 | 24 h | 6711 |
| 9.12.2016. | mutan, žut | 15,1 | mutan, žut | 14,6 | 24 h | 6502 |
| 12.12.2016. | - | - | mutan,žut | 14,5 | trenutni | 6704 |
| 13.12.2016. | mutan,svijetložut do smeđ | 11,1 | mutan, svijetložut do smeđ | 11,6 | 24 h | 6614 |
| 14.12.2016. | mutan, žut | 10,6 | srednje mutan, svijetložut | 11,6 | 24 h | 6616 |
| 15.12.2016. | mutan, svijetlo-žuto-smeđi | 11,1 | mutan, svijetlo-žuto-smeđi | 12,3 | 24 h | 6659 |
| 16.12.2016. | mutan, svijetložut | 9,9 | mutan, svijetložut | 10,5 | 24 h | 6672 |
| 19.12.2016. | - | - | mutan, žutosmeđ | 13,8 | trenutni | 6797 |
| 20.12.2016. | mutan, svijetložut | 10,2 | mutan, svijetložut | 10,3 | - | 6516 |
| 21.12.2016. | mutan, svijetložut | 15,9 | mutan, svijetložut | 15,4 | 24 h | 6693 |
| 27.12.2016. | - | - | mutan, svijetložut | 14,3 | trenutni | 6816 |
| 28.12.2016. | smeđ, svijetložut | 11,7 | mutan, svijetložut | 10,9 | trenutni | 6668 |
| 29.12.2016. | mutan, svijetložut | 12,3 | mutan, smeđe-svijetlo-žut | 13,0 | 24 h | 6882 |

## 2.2. ANALIZA UZORAKA OTPADNE VODE

U uzorcima otpadne vode na ulazu i izlazu s UPOV Šibenik svakodnevno se prati širok spektar pokazatelja na ulazu i izlazu iz postrojenja. U ovom radu analizirani su sljedeći pokazatelji: temperatura, pH vrijednost, električna vodljivost, kloridi, taloživa tvar, raspršena tvar, KPK i $BPK_5$.

### 2.2.1. Određivanje pH vrijednosti i električne vodljivosti

Određivanje pH vrijednosti i električne vodljivosti se provodi mjeračem HQ40d (slika 2.2.). Za mjerenje pH vrijednosti koristi se sonda pHC101, a za mjerenje vodljivosti sonda CD401.

Opis postupka:

Sonda se postavi u uzorak, pritisne tipka i očita se vrijednost. Između svakog novog mjerenja i nakon upotrebe sondu treba isprati destiliranom vodom i obrisati.

Slika 2.2. Prijenosni mjerni uređaj HQ40d.

### 2.2.2. Određivanje klorida

Određivanje klorida obavlja se metodom po Mohr - u. Ova metoda temelji se na titraciji sa srebrovim kloridom u neutralnoj, ili slabo kiseloj sredini uz prisutnost kalijeva - kromata kao indikatora.

Kemikalije:

Otopina $AgNO_3$ koncentracije $c(AgNO_3)$ = 0,1 mol/L - čuva se u tamnoj boci; priprema se od titrivala 100 mL na način da se titrival probije oštrim štapićem iznad tikvice od 1000 mL i nadopuni tikvicu do oznake demineraliziranom vodom. Od pripremljene otopine otpipetira se volumen od 282 mL u tikvicu od 1000 mL te nadopuni do oznake.

Kalijev kromat, indikator, priprema se na način da se otopi 10 g kalijeva kromata u destiliranoj vodi i nadopuni do 100 mL.

Opis postupka:

Budući da je u otpadnoj vodi koncentracija klorida veća, početni uzorak se razrjeđuje na način da se uzima 10 mL uzorka i nadopunjuje do 100 mL s destiliranom vodom. Ako je područje pH izvan područja 5 - 9,5, podešava se dodavanjem nitratne kiseline ili natrijeva hidroksida. Zatim se doda 1 mL indikatora i titrira do promjene boje u crvenkasto smeđu (slika 2.3.). Za kontrolu prijelaza boje, može se dodati u titriranu probu jedna kap NaCl, i obojenje bi trebalo nestati.

Slika 2.3. Određivanje klorida.

<u>Proračun:</u>

$$\text{mg (Cl) / L} = \frac{(\text{Vs} - \text{Vb}) \cdot \text{c} \cdot \text{f} \cdot \text{R} \cdot \text{M(Cl)}}{\text{Va}}, \ \text{mg/L} \qquad (2\text{-}1)$$

gdje je:

Vs - volumen $AgNO_3$ utrošen za titraciju uzorka, mL

Vb - volumen $AgNO_3$ utrošen za titraciju slijepe probe, mL

Va - volumen uzorka, mL

c - koncentracija $AgNO_3$, mol/L

f - faktor otopine $AgNO_3$

R - razrjeđenje

M - molarna masa klorida.

### 2.2.3. Određivanje taložive tvari

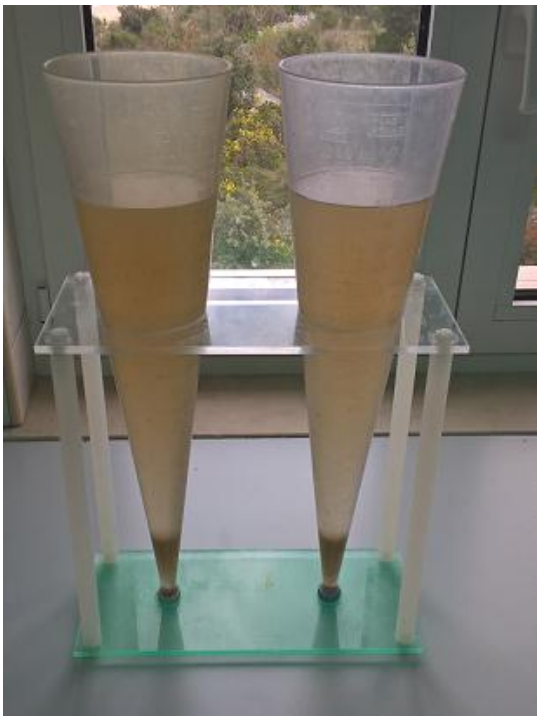
Određivanje taloživih tvari, odnosno čestica u suspenziji koje se istalože pod djelovanjem sile gravitacije tijekom određenog vremenskog perioda, provodi se u taložnicima po Imhoff-u.

Opis postupka:

U Imhoffovu konusnu čašu (slika 2.4.) ulije se odabrani uzorak vode do oznake 1L, pusti da se taloži u trajanju od 2 sata a potom se očita razina taloga.

Proračun:

$$\text{V taloga} = \frac{\text{mL taloga}}{1000\ \text{mL uzorka}}\ ,\quad \text{mL/L} \tag{2-2}$$



Slika 2.4. Imhoffov lijevak.

### 2.2.4. Određivanje raspršene tvari

Određivanje ukupne raspršene tvari provodi se metodom vakuum filtracije pri čemu se voda filtrira preko filtar papira 0,45 µm, pomoću vakuuma.

Opis postupka:

Prije određivanja, uzorci se ostave da postignu sobnu temperaturu. Filtri se namoče 2 sata u demineraliziranoj vodi kako bi se uklonile komponente topljive u vodi. Filtri se suše 1 - 1,5 sata na temperaturi 105 ˚C u alu foliji, a potom se hlade u eksikatoru i važu prije filtracije. Određeni volumen uzorka se prenese u menzuru, a razrjeđenje se uzima tako da masena količina ostatka na filteru bude 5 - 50 mg. (cca. 10 - 50 mL). Uzorak se dobro promućka te se filtrira kroz filtar (slika 2.5. a)). Tikvica se ispere s približno 20 mL destilirane vode a stjenke lijevka se isperu s još 20 mL destilirane vode. Kad filtar postane gotovo suh, isključi se vakuum pumpa, pincetom se pažljivo skine filtar s lijevka te se filtar suši na 105˚C u trajanju od 1-1,5 sat (slika 2.5.b)). Filtar se ohladi u eksikatoru (slika 2.6.a)) i važe (slika 2.6.b)).

a)

b)

Slika 2.5. a) Uređaj za filtraciju, b) sušionik.

a)

b)

Slika 2.6. a) Eksikator, b) vaga.

Proračun:

$$P = \frac{b - a}{V}, \text{ mg/L} \tag{2-3}$$

gdje je:

b - masa filtra s talogom, mg

a - masa filtra prije filtriranja, mg

V - volumen uzorka, L.

### 2.2.5. Određivanje kemijske potrošnje kisika

Kemijska potrošnja kisika (KPK) je mjera kisikovog ekvivalenta sadržaja organskih i anorganskih tvari u vodi koje su podložne oksidaciji s jakim oksidansom. Izražava se u mg $O_2$/L vode. Za određivanje kemijske potrošnje kisika koriste se dvije metode, bikromatna i permanganatna. Na uređaju UPOV Šibenik je za određivanje KPK korištena bikromatna metoda pomoću test kiveta.

Princip određivanja bikromatnom metodom:

Oksidacija s $K_2Cr_2O_7$ se provodi ključanjem uzorka uz refluks u jako kiseloj otopini koja se postiže dodatkom koncentrirane $H_2SO_4$ i uz $Ag_2SO_4$ kao katalizatora koji potpomaže bolju oksidaciju organskih sastojaka. Višak bikromata titrira se amonijevim željezo(II)sulfat heksahidratom, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, uz indikator feroin. Oksidacija sastojaka u vodi pomoću bikromata, a zatim titracija s $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ zbiva se prema reakcijama:

- oksidacija tvari s $K_2Cr_2O_7$, uz njegovu redukciju do $Cr^{3+}$:

$$Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 14H_3O^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+}\ (aq) + 7H_2O_{(l)} \qquad (2\text{-}4)$$

- titracija neizreagiranog bikromata s Fe(II) iz $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$:

$$Cr_2O7^{2-}{}_{(aq)} + 6Fe^{2+}{}_{(aq)} + 14H_3O^+ \rightarrow 6Fe^{3+}{}_{(aq)} + 2Cr^{3+}{}_{(aq)} + 7H_2O\ {}_{(l)}. \qquad (2\text{-}5)$$

Ako su u vodi prisutni kloridni ioni, oni se također mogu oksidirati s bikromatom prema reakciji:

$$Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 6Cl^-{}_{(aq)} + 14H_3O^+ \rightarrow 2Cr^{3+}{}_{(aq)} + 3Cl_{2\ (g)} + 7H_2O\ {}_{(l)}. \qquad (2\text{-}6)$$

Pri niskim koncentracijama kloridnih iona, oksidacija s bikromatom može se zanemariti, dok se pri visokim koncentracijama oksidacija sprječava dodatkom $HgSO_4$[13] .

Kemikalije:

- COD 0 - 1500 mg/L, HACH

Opis postupka:

Određivanje KPK provodi se u test kivetama COD TNT, 0 - 1500 mg/L $O_2$ (slika 2.7.). Rezultati kemijske potrošnje kisika mg/L definirani su miligramom kisika utrošenog po litri uzorka pod uvjetima ovog postupka. U ovom postupku, uzorak se zagrijava dva sata snažnim oksidacijskim sredstvom - kalijevim dikromatom. Oksidabilni organski spojevi reagiraju, reducirajući dikromatni ion ($Cr_2O_7^{2-}$) do zelenog kromatnog iona ($Cr^{3+}$). Kada se koristi kolorimetrijska metoda od 0 - 150 mg/L, utvrđuje se preostala količina šesterovalentnog kroma ($Cr^{6+}$). Kada se koriste kolorimetrijske metode od 0 - 1500 mg/L ili od 0 - 15000 mg/L, utvrđuje se proizvedena količina kromatnog iona ($Cr^{3+}$). Reagens kemijske potrošnje kisika također sadrži ione srebra i žive. Srebro služi kao katalizator, a živa se koristi kako bi se spriječile interferencije klorida.

Slika 2.7. Test kiveta COD TNT[14].

Malo prije upotrebe upali se grijač DBR200 (slika 2.8.) da se zagrije na 150˚C. Kiveta se odčepi, nagne pod kutom od 45˚ i otpipetirata se 2 mL uzorka; ako je uzorak previše mutan (a što je uobičajeno za uzorak otpadne vode na ulazu u uređaj) razrijedi se 1 mL uzorka + 1 mL destilirane vode. Kiveta se prevrti par puta da se sadržaj promiješa a zatim se stavi u prethodno ugrijani grijač 2 sata. Na isti način se pripremi i slijepa proba. Po završetku se ugasi grijač i pričeka 20 minuta da se ohladi do 120˚C ili manje.

Dok su kivete još tople okrene se svaka par puta i čeka da se ohlade na sobnu temperaturu.

Slika 2.8. DRB200 reaktor.

Slika 2.9. Spektrofotometar.

Spektrofotometar se namjesti na 620 nm valne duljine i vrijednosti KPK se izravno očitaju na spektrofotometru (slika 2.9.). Prvo se radi slijepa proba a zatim uzorak.

### 2.2.6. Određivanje biokemijske potrošnje kisika

Biokemijska potrošnja kisika $BPK_5$ predstavlja količinu kisika potrebnu za biološku razgradnju organskih tvari u vodi djelovanjem mikroorganizama pri 20°C. Izražava se u mg $O_2$ u litri vode, i označava se kao BPK. Najčešće se određuje za vrijeme inkubacije, tj. biološke razgradnje tijekom 5 dana, i stoga se označava kao $BPK_5$.

Metode za određivanje $BPK_5$ razlikuju se prema tome kako određuju koncentraciju, odnosno promjenu koncentracije kisika s vremenom. Koriste se 3 metode:

metoda razrjeđivanja, manometarska metoda i kulorimetrijska metoda. Na uređaju UPOV Šibenik se za određivanje $BPK_5$ koristi manometarska metoda.

Opis postupka određivanja manometarskom metodom:

Manometarska metoda temelji se na mjerenju pada tlaka u zatvorenoj boci uz konstantnu temperaturu, koja se održava u termostatu. Pad tlaka je povezan s utroškom kisika za biološku razgradnju organske tvari u izmjerenom volumenu otpadne vode. Mikroorganizmi troše kisik za oksidaciju organske tvari i nastaje $CO_2$, koji se apsorbira u NaOH stvarajući vakuum. Promjenu tlaka mjeri elektronski senzor tlaka na Oxi Topu pričvršćenom na boci, automatski se mjeri potrošnja kisika i pohranjuje vrijednost svakih 24 sata tijekom 5 dana, te se iz poznavanja volumena vode koja se nalazi u boci može izračunati $BPK_5$ vrijednost[13]. Na slici 2.10. prikazana je boca s OxiTopom i instrumentalni set za određivanje $BPK_5$ manometarskom metodom.

a)

b)

Slika 2.10. a) Boce s Oxi Topom, b) instrumentalni set za određivanje $BPK_5$ manometarskom metodom[15].

Kemikalije:

- Tablete NaOH
- Inhibitor nitrifikacije.

Proračun:

Prvo se izračuna očekivani $BPK_5$ uzorka prema vrijednosti KPK prema jednadžbi (2-7):

$$\text{OČEKIVANI } BPK_5 = 0{,}8 \times KPK, \quad mg\ O_2/L \tag{2-7}$$

Zatim se odabire potrebni volumen uzorka prema dobivenoj vrijednosti $BPK_5$ koje su prikazane u tablici 2.2.

Tablica 2.2. Vrijednosti potrebnih volumena uzorka prema dobivenoj vrijednosti $BPK_5$.

| Raspon $BPK_5$ mg $O_2$ /L | Volumen uzorka mL | Faktor | Broj inhibitora nitrifikacije |
|---|---|---|---|
| 0 - 40 | 432,0 | 1 | 9 |
| 0 - 80 | 365,0 | 2 | 7 |
| 0 - 200 | 250,0 | 5 | 5 |
| 0 - 400 | 164,0 | 10 | 3 |
| 0 - 800 | 97,0 | 20 | 2 |
| 0 - 2000 | 43,5 | 50 | 1 |
| 0 - 4000 | 22,7 | 100 | 1 |

Određena količina uzorka pažljivo se prelije u smeđu bocu s Oxi Top. Boca se stavi u magnetni mješač i dodaje se potreban broj kapi inhibitora reakcije. Na bocu se postavi gumeni tuljak u koji se stavljaju dvije tablete NaOH. Oxi Top se postavi na bocu i dobro učvrsti. Oxi Top se uključi i boce se stave u tremostat na 20°C i nakon 5 dana se očitava izmjerena $BPK_5$ vrijednost.

Eksperimentalni podaci određivanja pH vrijednosti, temperature, električne vodljivosti, klorida, taložive tvari, koncentracije raspršene tvari, KPK i $BPK_5$ na ulazu i izlazu iz uređaja prikazani su u tablici 2.3.

Tablica 2.3. Eksperimentalni podaci praćenja odabranih parametara u uzorcima otpadne vode uzorkovanih na ulazu i izlazu iz uređaja UPOV Šibenik.

| Datum uzorkovanja | pH | | Temperatura, °C | | El. vodljivost, ms/cm | | Koridi, mg/L | | Raspršena tvar, mg/L | | Taloživa tvar, mL/L | | KPK, mg $O_2$/L | | BPK, mg $O_2$/L | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ulaz | izlaz | ulaz | izlaz | ulaz | izlaz | ulaz | izlaz | ulaz | izlaz | ulaz | izlaz | ulaz | izlaz | ulaz | izlaz |
| prvo tromjesečje (siječanj 2016. - ožujak 2016.) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.1.2016. | 8,14 | 8,05 | 13,5 | 12,6 | 1,80 | 1,41 | 1597,5 | 923 | 106 | 98 | 5 | 4 | 352 | 344 | 150 | 130 |
| 7.1.2016. | 8,10 | 7,96 | 11,9 | 12,3 | 1,65 | 1,33 | 1279 | 923 | 196 | 110 | 7 | 5,5 | 378 | 310 | 145 | 120 |
| 11.1.2016. | - | 7,90 | - | 17,1 | - | 4,47 | - | 4686 | - | 89 | - | 5,5 | - | 212 | - | 140 |
| 12.1.2016. | 7,87 | 7,86 | 18,6 | 17,9 | 10,66 | 8,12 | 12780 | 9656 | 97 | 44 | 4 | 2 | 249 | 186 | 70 | 60 |
| 15.1.2016. | - | 7,62 | - | 14,2 | - | 3,15 | - | 3585,5 | - | 118 | - | 6 | - | 306 | - | 120 |
| 18.1.2016. | - | 7,84 | - | 13,2 | - | 1,72 | - | 1526,5 | - | 96 | - | 3 | - | 292 | - | 190 |
| 19.1.2016. | 7,53 | 7,52 | 12,7 | 12,4 | 2,28 | 1,46 | 2059 | 958,5 | 112 | 65 | 3 | 1 | 210 | 200 | 135 | 120 |
| 21.1.2016. | 7,31 | 7,46 | 14,6 | 13,5 | 1,89 | 1,70 | 1597,5 | 1278 | 261 | 113 | 8 | 5,5 | 539 | 293 | 200 | 120 |
| 25.1.2016. | 7,40 | 7,38 | 10,9 | 11,4 | 1,65 | 1,32 | 958,5 | 710 | 172 | 115 | 7 | 3 | 382 | 323 | 210 | 180 |
| 26.1.2016. | - | 7,47 | - | 11,4 | - | 1,40 | - | 781 | - | 142 | - | 5,5 | - | 349 | - | 120 |
| 27.1.2016. | 7,56 | 7,48 | 11,2 | 11,4 | 1,72 | 1,50 | 923 | 887,5 | 186 | 152 | 7 | 5 | 328 | 276 | 140 | 100 |
| 29.1.2016. | 7,82 | 7,50 | 12,1 | 11,8 | 1,55 | 1,03 | 639 | 568 | 362 | 210 | 7 | 5 | 378 | 286 | 160 | 150 |
| 1.2.2016. | - | 7,32 | - | 15,4 | - | 1,11 | - | 497 | - | 178 | - | 10 | - | 348 | - | 130 |
| 2.2.2016. | 7,81 | 7,74 | 11,0 | 12,9 | 1,22 | 1,13 | 852 | 532,5 | 121 | 109 | 20 | 5 | 412 | 403 | - | 80 |
| 4.2.2016. | 7,47 | 7,35 | 10,6 | 10,2 | 1,63 | 1,45 | 1065 | 994 | 367 | 210 | 28 | 10 | 299 | 256 | 125 | 90 |
| 8.2.2016. | - | 7,52 | - | 14,0 | - | 1,40 | - | 994 | - | 524 | - | 20 | - | 335 | - | 250 |
| 9.2.2016. | 7,40 | 7,50 | 15,3 | 14,5 | 2,54 | 1,51 | 2165,5 | 1065 | 389 | 175 | 17 | 6 | 563 | 272 | 210 | 110 |
| 12.2.2016. | - | 7,36 | - | 15,1 | - | 0,90 | - | 568,5 | - | 363 | - | 18 | - | 410 | - | 260 |
| 15.2.2016. | - | 7,29 | - | 14,7 | - | 2,24 | - | 2556 | - | 211 | - | 7 | - | 166 | - | 85 |
| 16.2.2016. | - | 7,21 | - | 18,8 | - | 2,26 | - | 2307,5 | - | 83 | - | 4 | - | 203 | - | 100 |
| 19.2.2016. | 7,37 | 7,12 | 15,1 | 16,3 | 1,22 | 1,15 | 1420 | 1242,5 | 120 | 74 | 4 | 2 | - | - | - | - |
| 22.2.2016. | - | 7,40 | - | 16,8 | - | 1,25 | - | 816,5 | - | 169 | - | 5 | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23.2.2016. | 7,84 | 7,75 | 15,2 | 12,0 | 1,07 | 1,04 | 603,5 | 532,5 | 102 | 151 | - | - | 264 | 236 | 130 | 120 |
| 25.2.2016. | 7,21 | 7,34 | 16,1 | 14,9 | 1,28 | 1,08 | 710 | 603,5 | 271 | 248 | 7 | 6 | 427 | 301 | 210 | 175 |
| 1.3.2015. | 7,39 | 7,19 | 17,1 | 17,1 | 1,48 | 1,00 | 1313,5 | 1136 | 199 | 80 | 7 | 4 | 95 | 54 | 25 | 10 |
| 2.3.2016. | - | 7,56 | - | 13,2 | - | 1,12 | - | 1242,5 | - | 167 | - | 6 | - | 100 | | 65 |
| 3.3.2016. | 7,83 | 7,66 | 15,3 | 14,7 | 3,04 | 1,73 | 3053 | 1420 | 140 | 137 | 5 | 5 | 283 | 195 | 140 | 110 |
| 7.3.2016. | - | 7,52 | - | 15,9 | - | 3,28 | - | 3088,5 | - | 154 | - | 7 | - | 529 | - | 160 |
| 8.3.2106. | 7,65 | 7,64 | 15,1 | 15,3 | 4,35 | 4,21 | 4757 | 4615 | 160 | 153 | 5 | 5 | 284 | 276 | 85 | 60 |
| 10.3.2016. | 7,45 | 7,21 | 16,8 | 16,3 | 2,24 | 2,05 | 1952,5 | 1881,5 | 230 | 127 | 8 | 3 | - | - | - | - |
| 14.3.2016. | 7,66 | 7,47 | 16,1 | 15,6 | 1,96 | 1,75 | 1136 | 1029,5 | 210 | 166 | 9 | 6 | 542 | 486 | 210 | 170 |
| 17.3.2016. | 7,47 | 7,52 | 19,4 | 19,5 | 1,64 | 1,42 | 1029,5 | 816,5 | 230 | 125 | 10 | 3,5 | 595 | 335 | 220 | 160 |
| 22.3.2016. | 7,62 | 7,40 | 16,9 | 17,5 | 1,38 | 1,15 | 816,5 | 674,5 | 286 | 174 | 14 | 6,5 | 180 | 140 | 563 | 449 |
| 23.3.2016. | 7,57 | 7,65 | 11,7 | 9,2 | 1,25 | 1,21 | 639 | 674,5 | 370 | 288 | 15 | 13 | 575 | 348 | 110 | 100 |
| 29.3.2016. | 7,56 | 7,38 | 16,1 | 15,2 | 2,01 | 1,88 | 1597 | 1491 | 163 | 95 | 7 | 3 | 310 | 198 | 160 | 100 |
| 30.3.2016. | 7,53 | 7,61 | 10,3 | 9,2 | 1,48 | 1,37 | 923 | 816,5 | 240 | 154 | 11 | 2,5 | 541 | 321 | 210 | 180 |
| drugo tromjesečje (travanj 2016. - lipanj 2016.) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.4.2016. | 7,40 | 7,23 | 16,4 | 15,8 | 1,32 | 1,17 | 816,5 | 674,5 | 367 | 218 | 12 | 6,5 | 589 | 546 | 170 | 160 |
| 5.4.2016. | 7,68 | 7,66 | 16,8 | 17,0 | 1,27 | 1,08 | 497 | 461,5 | 128 | 95 | 5 | 1 | 447 | 302 | 225 | 180 |
| 7.4.2016. | 7,23 | 7,25 | 16,1 | 15,8 | 1,16 | 0,96 | 461,5 | 355 | 147 | 86 | 4 | 1 | 415 | 296 | 190 | 120 |
| 8.4.2016. | 7,49 | 7,38 | 17,1 | 18,7 | 1,65 | 1,37 | 1029,5 | 923 | 245 | 186 | 7 | 3 | 524 | 507 | 140 | 80 |
| 11.4.2016. | 7,73 | 7,66 | 17,6 | 18,7 | 1,77 | 1,58 | 1420 | 1349 | 196 | 172 | 5 | 4 | 510 | 413 | 310 | 300 |
| 12.4.2016. | 7,72 | 7,69 | 19,2 | 18,4 | 2,10 | 1,77 | 1633 | 1455,5 | 139 | 108 | 10 | 8 | 375 | 300 | 210 | 150 |
| 18.4.2016. | 7,32 | 7,44 | 17,4 | 18,2 | 1,56 | 1,13 | 781 | 710 | 196 | 144 | 8 | 5 | 310 | 274 | 155 | 120 |
| 20.4.2016. | 7,89 | 7,97 | 16,9 | 18,4 | 1,95 | 2,00 | 1562 | 1597,5 | 326 | 174 | 11 | 8 | 454 | 291 | 240 | 220 |
| 25.4.2016. | 7,82 | 7,74 | 16,4 | 16,1 | 0,81 | 0,58 | 710 | 603,5 | 347 | 271 | 20 | 14,5 | 297 | 253 | 140 | 120 |
| 26.4.2016. | 8,09 | 8,15 | 9,9 | 9,8 | 1,67 | 1,39 | 1420 | 1100,5 | 198 | 130 | 11 | 7 | 396 | 339 | 150 | 170 |
| 27.4.2016. | 8,07 | 8,16 | 11,1 | 10,0 | 1,69 | 1,41 | 1242,5 | 1029,5 | 267 | 113 | 13 | 1,5 | 440 | 258 | 360 | 160 |
| 2.5.2016. | 7,41 | 7,21 | 17,4 | 18,1 | 1,93 | 1,69 | 1420 | 1349 | 123 | 69 | 4 | 1 | 196 | 128 | 110 | 95 |
| 4.5.2016. | 7,54 | 7,51 | 18,0 | 18,1 | 1,51 | 1,35 | 1242,5 | 994 | 174 | 110 | 12 | 10 | 473 | 267 | 230 | - |
| 6.5.2016. | 7,56 | 7,35 | 18,4 | 18,7 | 1,58 | 1,31 | 1100,5 | 958,5 | 125 | 96 | 9 | 4 | 367 | 210 | 160 | 100 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12.5.2016. | 7,42 | 7,47 | 19,2 | 19,6 | 3,78 | 3,58 | 3727,5 | 3621 | 263 | 135 | 14 | 11 | 487 | 406 | 150 | 130 |
| 13.5.2016. | 7,38 | 7,52 | 18,6 | 15,8 | 1,91 | 1,53 | 1917 | 1491 | 392 | 185 | 22 | 7 | 759 | 404 | 60 | 50 |
| 16.5.2016. | 7,40 | 7,16 | 15,3 | 16,1 | 1,86 | 1,33 | - | - | 310 | 206 | 12 | 4 | 416 | 253 | 210 | 165 |
| 17.5.2016. | 7,18 | 7,46 | 20,8 | 20,8 | 2,26 | 1,95 | 1810,5 | 1775 | 396 | 70 | 4 | 5 | 1027 | 700 | 200 | 80 |
| 22.5.2016. | 7,40 | 7,56 | 18,1 | 18,6 | 2,12 | 2,05 | 1739,5 | 1633 | 134 | 75 | 7 | 2 | 523 | 489 | 40 | 180 |
| 30.5.2016. | - | 7,41 | - | 22,6 | - | 2,05 | - | 1846 | - | 141 | - | 4 | - | 466 | - | 190 |
| 31.5.2016. | 7,72 | 7,66 | 17,7 | 17,2 | 1,71 | 1,63 | 1400,5 | 1242,5 | 89 | 155 | 3 | 6 | 339 | 296 | 200 | 180 |
| 2.6.2016. | 7,31 | 7,21 | 13,7 | 14,1 | 1,46 | 1,40 | 1242,5 | 958,5 | 155 | 91 | 5 | 1 | 311 | 287 | 120 | 100 |
| 6.6.2016. | 7,45 | 7,32 | 22,9 | 22,1 | 2,40 | 2,21 | 2165,5 | 1491 | 261 | 162 | 10 | 7 | 423 | 390 | 150 | 120 |
| 9.6.2016. | 7,46 | 4,54 | 19,3 | 18,9 | 1,70 | 1,01 | - | - | 164 | 118 | - | - | 457 | 340 | 110 | 90 |
| 15.06.2016. | - | 7,21 | - | 17,9 | - | 1,63 | - | 1349 | - | 151 | - | 5 | - | 299 | - | 100 |
| 17.6.2016. | 7,63 | 7,70 | 19,6 | 20,4 | 2,63 | 2,12 | 2165,5 | 1810,5 | 313 | 201 | 10 | 6 | 516 | 356 | - | - |
| 20.6.2016. | 7,21 | 7,33 | 19,6 | 20,4 | 1,12 | 0,99 | - | - | 154 | 101 | - | - | 234 | 194 | 110 | 80 |
| 27.6.2016. | 7,29 | 7,46 | 21,2 | 20,6 | 2,90 | 2,56 | 2627 | 2343 | 216 | 137 | 10,5 | 6 | 523 | 432 | - | - |
| 29.6.2016. | 7,53 | 7,37 | 16,2 | 15,0 | 2,20 | 2,14 | 1846 | 1633 | 186 | 120 | 7 | 4 | 412 | 298 | - | - |
| treće tromjesečje (srpanj 2016. - rujan 2016.) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.7.2016. | 7,62 | 7,40 | 20,1 | 19,1 | 1,46 | 1,20 | 1029,5 | 710 | 321 | 187 | 14 | 6 | 324 | 287 | 19 | 19 |
| 12.7.2016. | - | 7,13 | - | 23,9 | - | 1,33 | - | 923 | - | 166 | - | 5 | - | 547 | - | 80 |
| 13.7.2016. | 7,24 | 7,15 | 28,7 | 29,6 | 1,40 | 1,28 | 887,5 | 781 | 188 | 134 | 10 | 5 | 512 | 480 | 200 | 190 |
| 14.7.2016. | 7,19 | 7,22 | 29,1 | 28,3 | 1,56 | 1,14 | 1349 | 710 | 196 | 140 | 1 | 6 | 512 | 382 | 180 | 120 |
| 18.7.2016. | 7,33 | 7,24 | 16,1 | 15,2 | 1,82 | 1,77 | 1491 | 1349 | 201 | 121 | 5 | 3 | 530 | 501 | 130 | 90 |
| 20.7.2016. | - | 7,32 | - | 27,7 | - | 1,62 | - | 1242,5 | | 148 | - | 6 | - | 326 | - | 220 |
| 25.7.2016. | 7,33 | 7,24 | 26,5 | 26,8 | 1,67 | 1,49 | 1100,5 | 994 | 247 | 160 | 10 | 6 | 890 | 770 | 300 | 280 |
| 26.7.2016. | 7,43 | 7,39 | 16,5 | 17,3 | 1,17 | 1,23 | 710 | 887,5 | 410 | 182 | 14 | 1 | 531 | 453 | - | - |
| 27.7. 2016. | 7,57 | 7,31 | 16,1 | 18,4 | 1,40 | 1,05 | 958,5 | 781 | 205 | 132 | - | - | 420 | 251 | 130 | 15 |
| 1.8.2016. | - | 7,32 | - | 19,4 | - | 2,94 | - | 2698 | - | 134 | - | 5 | - | 412 | - | 9 |
| 2.8.2016. | 7,40 | 7,33 | 19,1 | 18,7 | 2,63 | 1,96 | 2165,5 | 1491 | 310 | 201 | 10 | 7 | 501 | 347 | 4 | 9 |
| 17.8.2016. | 7,46 | 7,31 | 24,2 | 25,3 | 1,91 | 1,79 | 1597,5 | 1313,5 | 310 | 189 | 16 | 11 | 474 | 412 | 120 | 30 |
| 18.8.2016. | 7,57 | 7,56 | 14,1 | 10,9 | 1,70 | 1,65 | 1171,5 | 1136 | 212 | 159 | 13 | 7 | 653 | 529 | 200 | 140 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19.8.2016. | 7,24 | 7,20 | 13,9 | 15,6 | 1,43 | 1,20 | - | - | 96 | 84 | 6 | 4 | 432 | 286 | 170 | 120 |
| 21.8.2016. | 7,28 | 7,37 | 24,3 | 25,0 | 0,97 | 0,99 | 958,5 | 923 | 194 | 142 | 10 | 6 | 250 | 212 | 100 | 80 |
| 22.8.2016. | 7,63 | 7,48 | 24,3 | 25,4 | 1,12 | 0,90 | 1207 | 1065 | 296 | 182 | 17 | 10 | 232 | 264 | 100 | 75 |
| 24.8.2016. | 7,28 | 7,16 | 25,4 | 25,2 | 1,52 | 1,06 | 1065 | 639 | 171 | 76 | 4 | 1 | 238 | 238 | 160 | 115 |
| 29.8.2016. | 7,66 | 7,60 | 24,0 | 23,2 | 1,16 | 0,97 | 710 | 568 | 169 | 72 | 5 | 1 | 306 | 241 | 150 | 120 |
| 31.8.2016. | 7,92 | 7,84 | 16,2 | 15,7 | 1,76 | 2,89 | 1917 | 1846 | 176 | 92 | 4 | 1 | 281 | 263 | 110 | 85 |
| 2.9.2016. | 7,63 | 7,41 | 16,2 | 16,8 | 1,67 | 1,43 | 1349 | 1029,5 | 166 | 120 | 5 | 1 | 312 | 194 | 140 | 85 |
| 6.9.2016. | 7,16 | 7,05 | 24,1 | 25,8 | 1,30 | 1,26 | 1065 | 994 | 210 | 171 | 12 | 8 | 548 | 514 | 180 | 160 |
| 7.9.2016. | 7,31 | 7,48 | 23,1 | 22,8 | 1,17 | 1,01 | 532,5 | 426 | 110 | 71 | 3 | 2 | 218 | 173 | 120 | - |
| 9.9.2016. | 7,21 | 7,18 | 19,1 | 20,2 | 1,42 | 1,16 | 1029,5 | 532,5 | 212 | 150 | 6 | 4 | 248 | 212 | 110 | 85 |
| 15.9.2016. | - | 7,08 | - | 24,7 | - | 2,18 | - | 1917 | - | 196 | - | 11 | - | 602 | - | 220 |
| 16.9.2016. | 7,62 | 7,68 | 16,3 | 16,6 | 2,21 | 2,03 | 1810,5 | 1704 | 204 | 162 | 13 | 9 | 410 | 345 | 180 | 140 |
| 19.9.2016. | 7,78 | 7,66 | 14,3 | 14,8 | 1,26 | 0,75 | 1100,5 | 639 | 112 | 67 | 4 | 2 | 110 | 59 | 65 | 16 |
| 22.9.2016. | 7,17 | 7,20 | 16,5 | 19,9 | 1,62 | 1,46 | 1180,5 | 1171,5 | 98 | 120 | 10 | 11 | 348 | 306 | - | 130 |
| 27.9.2016. | 7,46 | 7,87 | 7,7 | 19,3 | 1,56 | 1,48 | 1242,5 | 1029,5 | 196 | 142 | 12 | 9 | 410 | 316 | 210 | 170 |
| četvrto tromjesečje (listopad 2016. - prosinac 2016.) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.10.2016. | - | 6,56 | - | 20,9 | - | 0,58 | - | 426 | - | 144 | - | 7 | - | 300 | - | 180 |
| 4.10.2016. | 7,46 | 7,37 | 14,6 | 12,1 | 0,88 | 0,45 | 852 | 355 | 169 | 153 | 10 | 9,5 | 349 | 235 | 90 | 75 |
| 6.10.2016. | 7,40 | 7,23 | 17,6 | 14,1 | 0,92 | 0,86 | 710 | 852 | 234 | 161 | 14 | 10 | 363 | 287 | 160 | 130 |
| 10.10.2016. | - | 7,63 | - | 16,9 | - | 1,41 | - | 1029,5 | - | 174 | - | 12 | - | 366 | - | 180 |
| 11.10.2016. | 7,12 | 6,81 | 11,6 | 10,9 | 1,66 | 1,59 | 1171,5 | 1136 | 144 | 120 | 7 | 3 | 508 | 412 | 200 | 180 |
| 13.10.2016. | - | 7,12 | - | 16,9 | - | 1,23 | - | 1065 | - | 147 | - | 6 | - | 343 | - | 150 |
| 14.10.2016. | - | 7,51 | - | 20,2 | - | 2,14 | - | 1810,5 | - | 106 | - | 5 | - | 393 | - | 160 |
| 19.10.2016. | 7,60 | 7,63 | 18,2 | 18,3 | 1,73 | 2,04 | 1597,5 | 1668,5 | 176 | 142 | 7 | 3,5 | 317 | 312 | 60 | 40 |
| 21.10.2016. | 7,24 | 7,63 | 15,6 | 14,1 | 1,43 | 1,40 | 1029,5 | 1029,5 | 194 | 172 | 14 | 10 | 437 | 382 | - | - |
| 25.10.2016. | 7,15 | 7,36 | 16,4 | 12,9 | 1,47 | 1,24 | 887,5 | 852 | 104 | 38 | 8,5 | 0,5 | 373 | 146 | 160 | 25 |
| 26.10.2016. | 7,36 | 7,38 | 19,6 | 19,0 | 1,51 | 1,51 | 1171,5 | 1100,5 | 96 | 44 | 5,5 | 0 | 310 | 248 | 110 | 90 |
| 28.10.2016. | 7,44 | 7,52 | 11,7 | 8,1 | 1,73 | 1,45 | 1597,5 | 1100,5 | 232 | 70 | 22 | 0 | 274 | 194 | - | - |
| 10.11.2016. | 7,62 | 7,49 | 14,8 | 13,5 | 4,77 | 4,53 | 5254 | 5112 | 206 | 131 | 4 | 3 | 376 | 311 | 150 | 100 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14.11.2016. | - | 7,61 | - | 12,9 | - | 2,49 | - | 2343 | - | 96 | - | 5 | - | 322 | - | 70 |
| 15.11.2016. | - | 7,55 | - | 11,7 | - | 4,73 | - | 5041 | - | 67 | - | 5 | - | 536 | - | 80 |
| 16.11.2016. | 7,61 | 7,63 | 12,2 | 10,9 | 1,57 | 1,37 | 2165,5 | 1633 | 120 | 50 | 18 | 1 | 175 | 124 | 110 | 45 |
| 21.11.2016. | - | 7,60 | - | 14,4 | - | 1,22 | - | 710 | - | 174 | - | 5 | - | 472 | - | 150 |
| 22.11.2016. | 7,79 | 7,65 | 16,8 | 15,9 | 0,96 | 1,03 | 532,5 | 710 | 188 | 102 | 10,5 | 4 | 436 | 315 | 120 | 150 |
| 24.11.2016. | - | 7,62 | - | 14,3 | - | 1,40 | - | 1029,5 | - | 104 | - | 6 | - | 322 | - | - |
| 28.11.2016. | - | 6,93 | - | 17,5 | - | 1,39 | - | 1100,5 | - | 222 | - | 7 | - | 420 | - | 190 |
| 29.11.2016. | 7,44 | 7,59 | 10,3 | 11,0 | 3,16 | 2,01 | 3195 | 1668,5 | 500 | 220 | 22 | 9,5 | - | - | - | - |
| 30.11.2016. | 7,72 | 7,80 | 10,9 | 8,4 | 1,70 | 1,47 | 1526,5 | 994 | 80 | 70 | 8 | 7,5 | 198 | 245 | 10 | 15 |
| 1.12.2016. | - | 7,60 | - | 14,6 | - | 1,51 | - | 1455,5 | - | 340 | - | 10 | - | - | | - |
| 2.12.2016. | 7,80 | 7,67 | 11,2 | 11,5 | 1,88 | 1,84 | 1633 | 1562 | 80 | 80 | 11 | 3 | 567 | 505 | 100 | 80 |
| 5.12.2016. | - | 6,30 | - | 15,7 | - | 1,25 | - | 674,5 | - | 80 | - | 8 | - | 438 | - | 160 |
| 6.12.2016. | 7,47 | 7,64 | 11,7 | 11,2 | 1,71 | 1,13 | 1313,5 | 710 | 270 | 160 | 11 | 5 | - | | - | - |
| 8.12.2016. | 7,55 | 7,63 | 11,3 | 10,9 | 1,37 | 1,13 | 958,5 | 745,5 | 260 | 190 | 15,5 | 7 | 307 | 270 | 140 | 100 |
| 9.12.2016. | 7,61 | 7,43 | 15,1 | 14,6 | 1,22 | 1,16 | 958,5 | 781 | 210 | 90 | 12 | 4 | - | - | - | - |
| 12.12.201. | - | 7,43 | - | 14,5 | - | 1,07 | - | 603,5 | - | 390 | - | - | - | 521 | - | 100 |
| 13.12.2016. | 6,69 | 6,74 | 11,1 | 11,6 | 1,21 | 0,83 | 1420 | 639 | 50 | 46 | 9 | 11 | - | - | - | - |
| 14.12.2016. | 7,34 | 7,38 | 10,6 | 11,6 | 1,31 | 1,11 | 852 | 639 | 141 | 110 | 13 | 0 | 274 | 274 | 280 | 170 |
| 15.12.2016. | 7,35 | 7,42 | 11,1 | 12,3 | 1,45 | 1,11 | 1100,5 | 532,5 | 223 | 133 | 12 | 6 | - | - | - | - |
| 16.12.2016. | 7,50 | 7,57 | 9,9 | 10,5 | 1,40 | 1,18 | 923 | 639 | 40 | 10 | 11 | 3,5 | 362 | 336 | - | - |
| 19.12.2016. | - | 7,33 | - | 13,8 | - | 1,12 | - | 639 | - | 260 | - | - | 7 | 395 | 7 | 290 |
| 20.12.2016. | 7,53 | 7,53 | 10,2 | 10,3 | 1,13 | 1,08 | 710 | 674,5 | 290 | 70 | 11 | 3 | - | - | - | 7 |
| 21.12.2016. | 7,03 | 6,98 | 15,9 | 15,4 | 3,31 | 1,29 | 3692 | 1029,5 | 240 | 30 | 9 | 0,5 | 558 | 253 | 220 | 210 |
| 27.12.2016. | - | 7,30 | - | 14,3 | - | 1,37 | - | 816,5 | - | 280 | - | 10 | - | 470 | - | 140 |
| 28.12.2016. | 7,60 | 7,51 | 11,7 | 10,9 | 1,24 | 1,13 | 710 | 674,5 | 128 | 95 | 13 | 0 | 567 | 308 | 160 | 90 |
| 29.12.2016. | 7,46 | 7,43 | 12,3 | 13,0 | 1,23 | 1,24 | 958,5 | 816,5 | 230 | 190 | 10 | 11 | 473 | 300 | 50 | 310 |

# 3. RASPRAVA

## 3.1. FIZIKALNO - KEMIJSKA KARAKTERIZACIJA UZORAKA OTPADNE VODE S UREĐAJA ZA OBRADU OTPADNIH VODA UPOV ŠIBENIK

Fizikalno - kemijska karakterizacija otpadne vode na ulazu i izlazu iz uređaja za obradu otpadnih voda UPOV Šibenik (u daljnjem tekstu UPOV Šibenik) tijekom 2016. godine provedena je praćenjem sljedećih parametara: temperature, protoka, pH vrijednosti, električne vodljivosti, klorida, taložive tvari, raspršene tvari, KPK i $BPK_5$.

### 3.1.1. Analiza parametara temperature i protoka

Rezultati praćenja temperature otpadne vode s UPOV-a Šibenik, prikazani u tablici 2.3., analizirani su na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti temperatura na ulazu i izlazu na tromjesečnoj i godišnjoj razini, te su uspoređene s Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 80/13 (u daljnjem tekstu Pravilnik)[16] i Vodopravnom dozvolom KLASA UP/I-325-04/14-05/374 (u daljnjem tekstu Vodopravna dozvola)[17]. Rezultati su prikazani u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Analiza praćenja temperature otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV Šibenik.

| Vremensko razdoblje | Ulaz | | | Izlaz | | | $T_{Pravilnik}$ | | $T_{V.D.}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $T_{sr}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $T_{sr}$ | Pov. vode | Sus. jav. odvodnje | |
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 10,3 | 19,4 | 14,3 | 9,2 | 19,5 | 14,3 | 30 | 40 | 30 |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 9,9 | 22,9 | 17,4 | 9,8 | 22,6 | 17,6 | | | |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 7,7 | 29,1 | 19,8 | 10,9 | 29,6 | 21,1 | | | |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 9,9 | 19,6 | 13,3 | 8,1 | 20,9 | 13,6 | | | |
| Srednja vrijednost na godišnjoj razini | 9,5 | 22,8 | 16,2 | 9,5 | 23,0 | 16,7 | | | |

gdje je:

$T_{min}$ - minimalna vrijednost temperature u ispitivanom vremenskom razdoblju, $^oC$,

$T_{max}$ - maksimalna vrijednost temperature u ispitivanom vremenskom razdoblju, $^oC$,

$T_{sr}$ - srednja vrijednost temperature u ispitivanom vremenskom razdoblju, $^oC$,

$T_{Pravilnik}$ - vrijednost temperature prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 80/13, $^oC$[16],

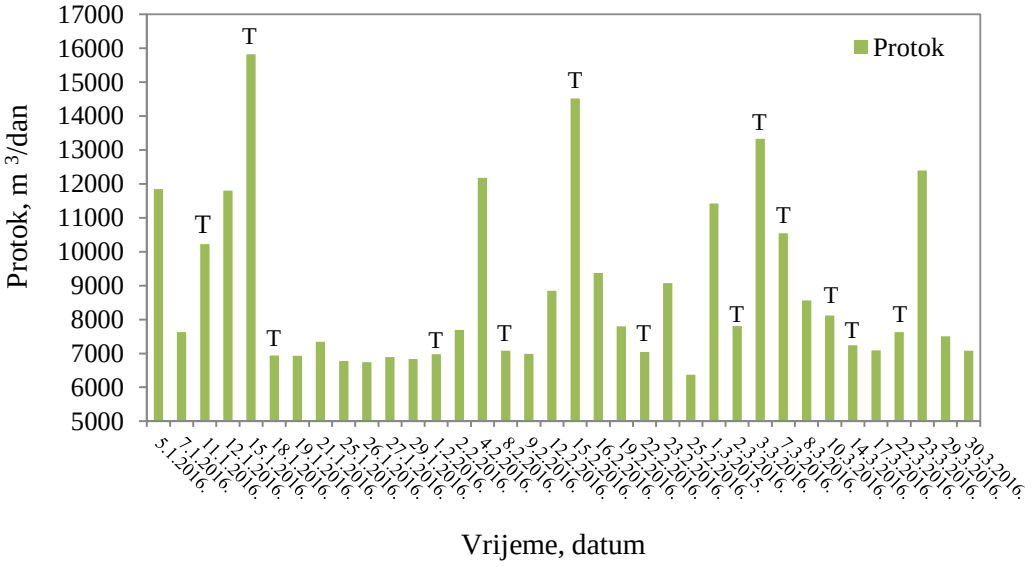
$T_{V.D.}$ - srednja vrijednost temperature prema Vodopravnoj dozvoli, $^oC$[17].

Rezultati pokazuju da temperature otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV-a osciliraju u širokom rasponu minimalnih i maksimalnih temperatura, ovisno o tome da li se uzima trenutni ili kompozitni uzorak. Najveće oscilacije su uočene u trećem tromjesečju (srpanj - rujan). Također, srednja vrijednost temperature otpadne vode na ulazu i izlazu iz uređaja je najveća u trećem tromjesečju, što je i očekivano jer se radi o toplom dijelu godine kad su temperature iznad prosječnih. Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti temperatura na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini su ispod graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom. To dalje ukazuje da ispuštanjem otpadnih voda u recipijent nema opasnosti od termalnog onečišćenja.

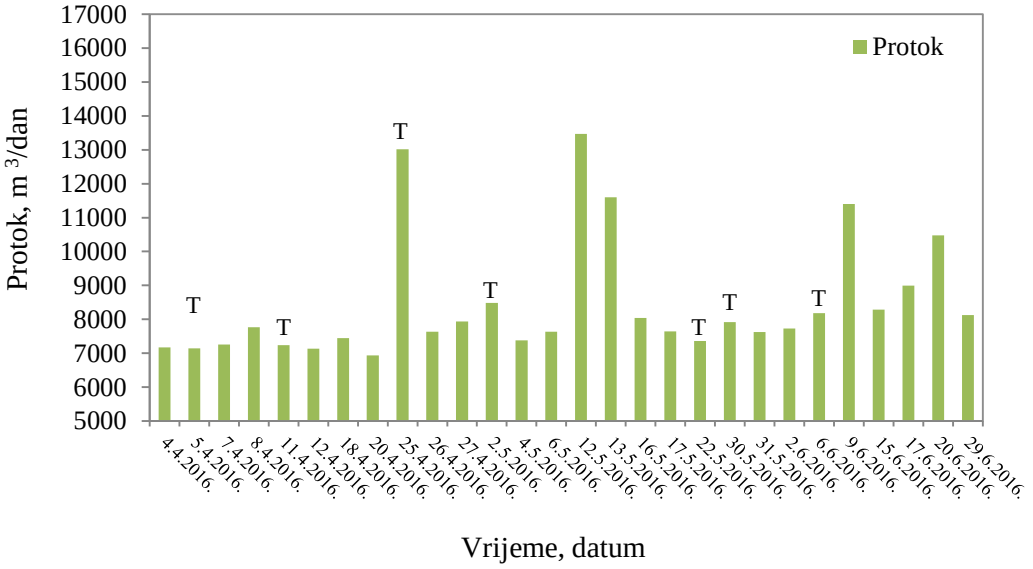
Rezultati praćenja protoka otpadne vode s UPOV-a Šibenik, prikazani u tablici 2.3., analizirani su na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje

vrijednosti protoka na tromjesečnoj i godišnjoj razini. Rezultati su uspoređeni u tablici 3.2.

Grafička ovisnost rezultata praćenja protoka na tromjesečnoj razini prema načinu uzorkovanja (trenutni ili kompozitni uzorak) prikazana je na slikama 3.1. i 3.2.

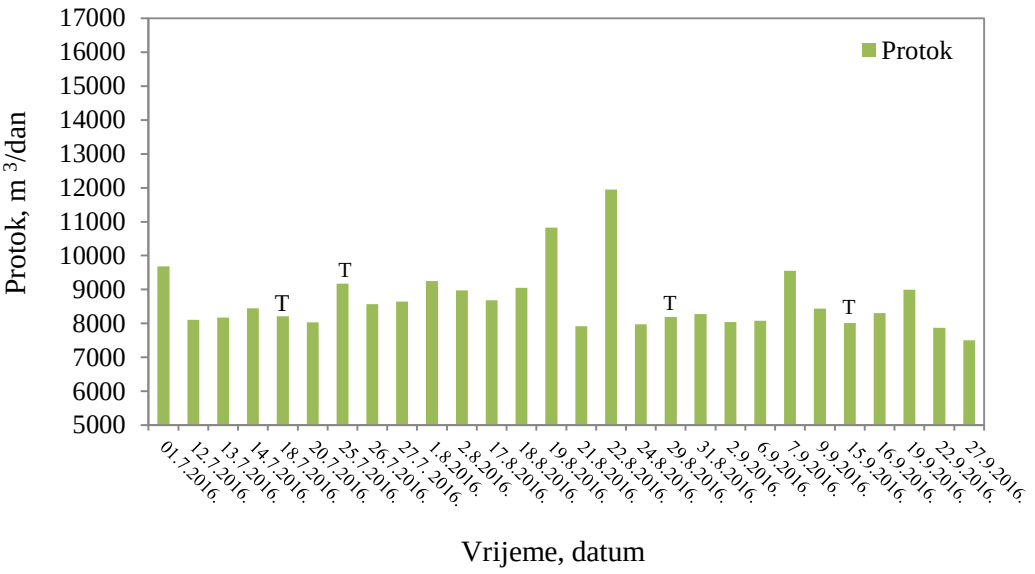



a)

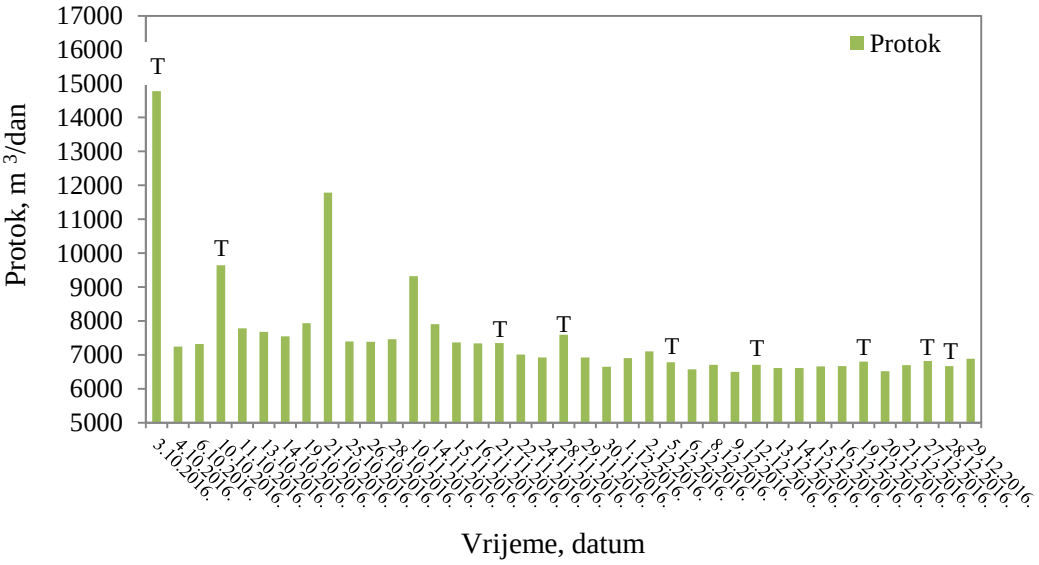



b)

Slika 3.1. Promjena protoka na ulazu u postrojenje u razdoblju: a) siječanj - ožujak, b) travanj - lipanj.




a)




b)

Slika 3.2. Promjena protoka na ulazu u postrojenje u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

Tablica 3.2. Analiza praćenja protoka otpadne vode na uređaju UPOV Šibenik.

| Vremensko razdoblje | Protok, $m^3$/dan | | |
|---|---|---|---|
| | $\dot{V}_{min}$ | $\dot{V}_{max}$ | $\dot{V}_{sr}$ |
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 6373 | 15820 | 8847 |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 6934 | 13473 | 8466 |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 7503 | 11949 | 8676 |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 6502 | 14780 | 7502 |
| srednja vrijednost na godišnjoj razini | 6828 | 14006 | 8373 |
| gdje je: $V_{min}$ - minimalna vrijednost protoka u ispitivanom vremenskom razdoblju, $m^3$/dan, $V_{max}$ - maksimalna vrijednost protoka u ispitivanom vremenskom razdoblju, $m^3$/dan, $V_{sr}$ - srednja vrijednost protoka u ispitivanom vremenskom razdoblju, $m^3$/dan. | | | |

Rezultati pokazuju da vrijednosti protoka otpadne vode na uređaju UPOV Šibenik osciliraju u širokom rasponu. Najveće oscilacije su uočene u prvom (siječanj - ožujak) i četvrtom tromjesečju (listopad - prosinac). U drugom i trećem tromjesečju su oscilacije nešto manje ali je srednja vrijednost na tromjesečnoj razini nešto povećana, a što se može povezati sa povećanom količinom otpadnih voda koja nastaje tijekom turističke sezone.

Prema izvješćima Hrvatskog hidrološkog zavoda, na području Republike Hrvatske najviše kiše u sjevernim i kopnenim područjima pada u jesen i proljeće, a južnije uz Jadran i na otocima pretežno zimi. U 2016. godini na području Šibenika najviše padalina je bilo u prvom tromjesečju (siječanj - ožujak), a zatim u četvrtom tromjesečju (u studenom i listopadu dok je prosinac bio sušan). Drugo i treće tromjesečje je bilo normalno / sušno[18]. Prema rezultatima prikazanim u tablici 3.2.

vidljivo je da se povećana količina otpadnih voda u prvom tromjesečju može povezati s povećanom količinom padalina, dok isto ne vrijedi za drugo i treće tromjesečje.

### 3.1.2. Analiza pH vrijednosti

Rezultati praćenja pH vrijednosti otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisanih Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom na slikama 3.3. i 3.4. Također, rezultati su analizirani na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti pH otpadne vode na ulazu i izlazu na tromjesečnoj i godišnjoj razini, te granične vrijednosti propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom u tablici 3.3.

Tablica 3.3. Analiza praćenja pH vrijednosti otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV Šibenik.

| Vremensko razdoblje | Ulaz | | | Izlaz | | | $pH_{Pravilnik}$ | | $pH_{V.D.}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $pH_{min}$ | $pH_{max}$ | $pH_{sr}$ | $pH_{min}$ | $pH_{max}$ | $pH_{sr}$ | Pov. vode | Sus. jav. odvodnje | |
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 7,21 | 8,14 | 7,61 | 7,12 | 8,05 | 7,52 | 6,5 - 9 | 6,5 - 9,5 | 6,5 - 9 |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 7,18 | 8,09 | 7,53 | 7,16 | 8,16 | 7,51 | | | |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 7,16 | 7,92 | 7,43 | 7,05 | 7,87 | 7,36 | | | |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 6,69 | 7,80 | 7,43 | 6,30 | 7,80 | 7,39 | | | |
| Srednja vrijednost na godišnjoj razini | 7,06 | 7,99 | 7,50 | 6,90 | 7,97 | 7,45 | | | |

gdje je:

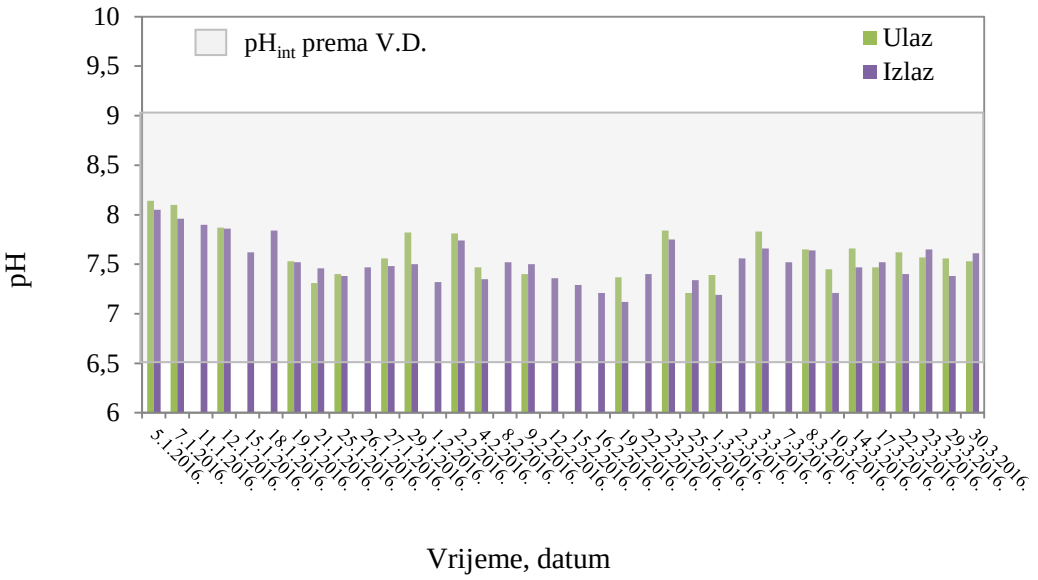
$pH_{min}$ - minimalna vrijednost pH u ispitivanom vremenskom razdoblju, -

$pH_{max}$ - maksimalna vrijednost pH u ispitivanom vremenskom razdoblju, -

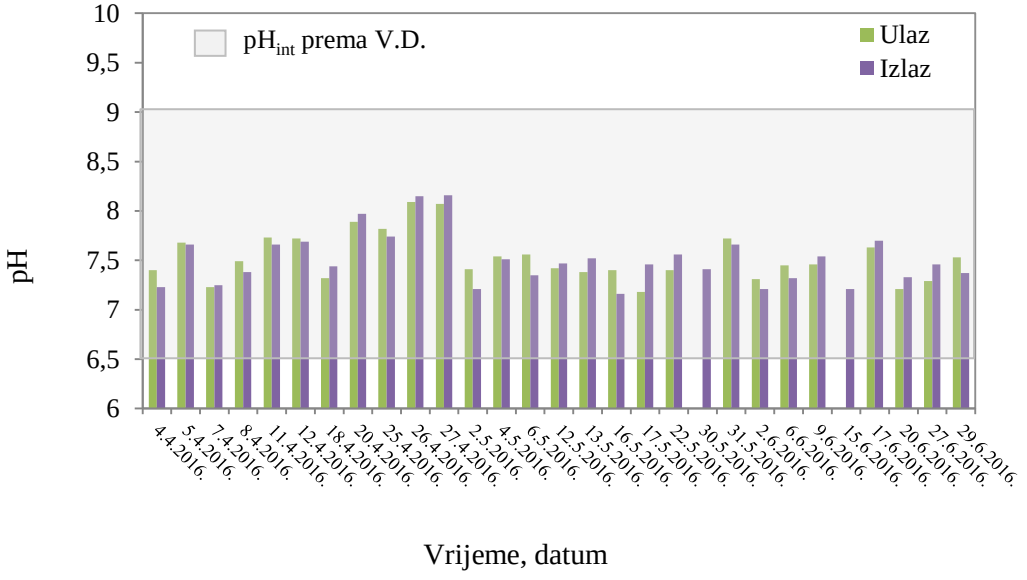
$pH_{sr}$ - srednja vrijednost pH u ispitivanom vremenskom razdoblju, -

$pH_{Pravilnik}$ - vrijednost pH prema Pravilniku, -

$pH_{V.D.}$ - srednja vrijednost pH prema Vodopravnoj dozvoli, -.

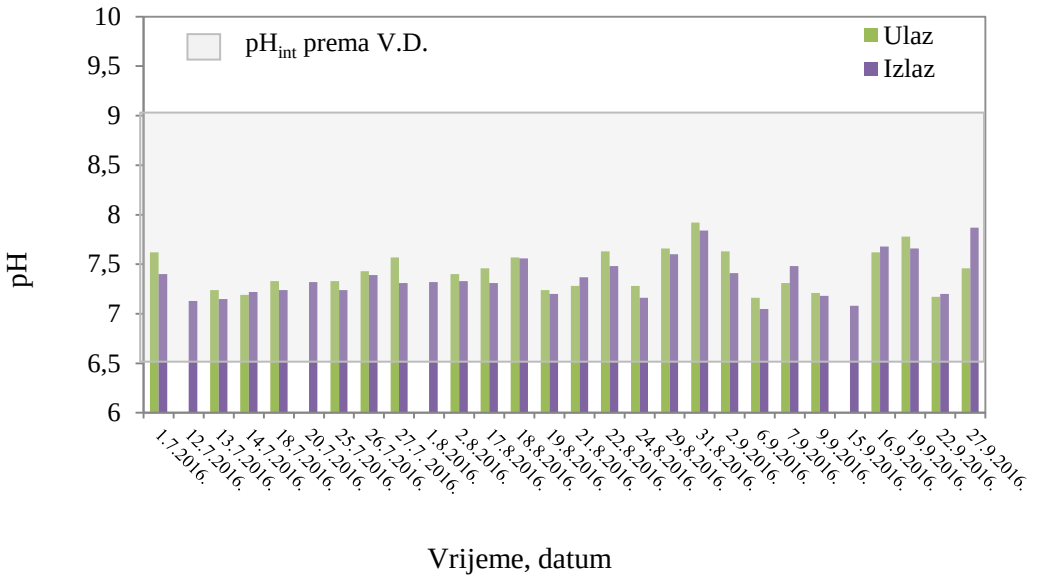



a)

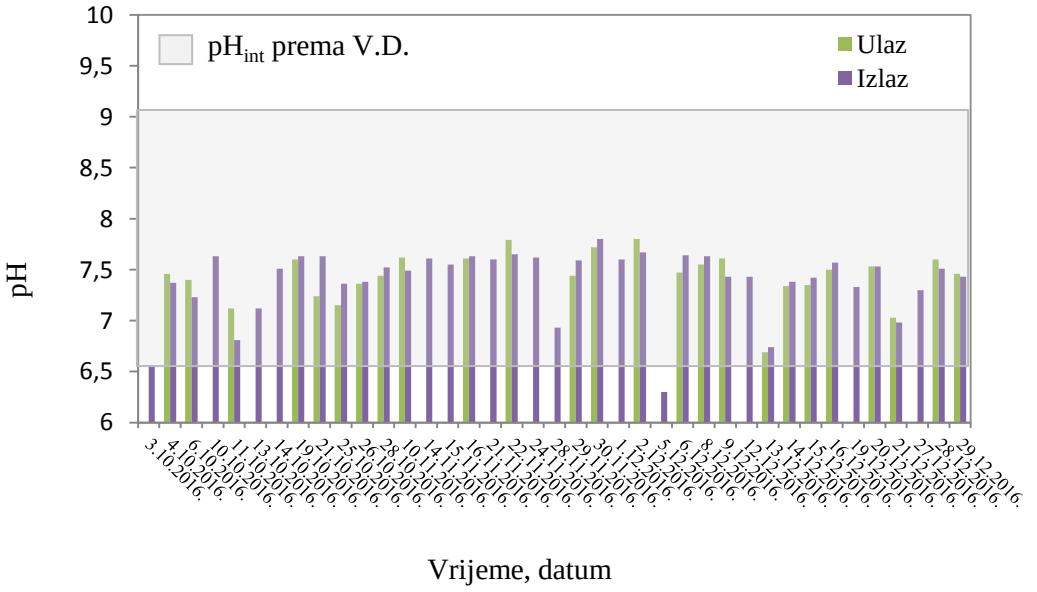



b)

Slika 3.3. Promjena pH vrijednosti na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) siječanj - ožujak, b) travanj - lipanj.




a)




b)

Slika 3.4. Promjena pH vrijednosti na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

Rezultati pokazuju da pH vrijednost otpadne vode na ulazu ($pH_{min}$ ulaz = 6,69; $pH_{max}$ ulaz = 8,14) i izlazu ($pH_{max}$ izlaz = 6,30; $pH_{max}$ izlaz = 8,16) iz UPOV-a blago osciliraju u rasponu minimalnih i maksimalnih vrijednosti. Najveće oscilacije su uočene u četvrtom tromjesečju (listopad - prosinac).

Srednja vrijednost pH otpadne vode na ulazu i izlazu iz uređaja kao i srednja vrijednost na godišnjoj razini ukazuje da se radi o neutralnim i blago lužnatim otpadnim vodama. Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti pH na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini su unutar graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom, što ukazuje da nije potreban proces obrade otpadnih voda u smislu podešavanja pH vrijednosti.

### 3.1.3. Analiza električne vodljivosti

Rezultati praćenja električne vodljivosti otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini na slikama 3.5. i 3.6. Vrijednosti električne vodljivosti nisu propisane Pravilnikom ni Vodopravnom dozvolom. Također, rezultati su analizirani na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti električne vodljivosti otpadne vode na ulazu i izlazu na tromjesečnoj i godišnjoj razini u tablici 3.4.

Tablica 3.4. Analiza praćenja vrijednosti električne vodljivosti otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV Šibenik.

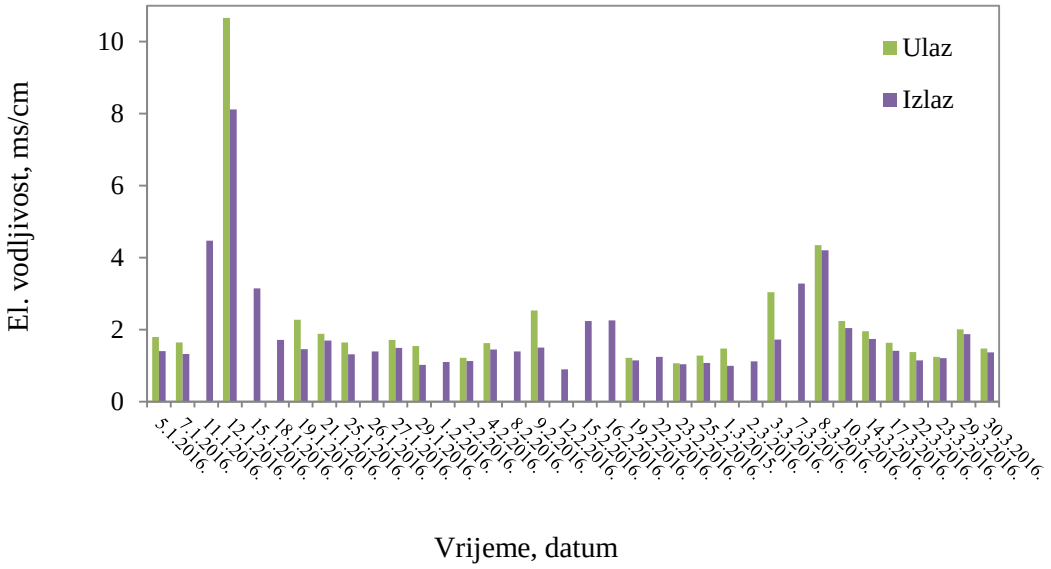
| Vremensko razdoblje | Ulaz | | | Izlaz | | | $\kappa_{Pravilnik}$ | | $\kappa_{V.D.}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\kappa_{min}$ | $\kappa_{max}$ | $\kappa_{sr}$ | $\kappa_{min}$ | $\kappa_{max}$ | $\kappa_{sr}$ | Pov. vode | Sus. jav. odvodnje | |
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 1,07 | 10,66 | 2,20 | 0,90 | 8,12 | 1,87 | - | - | - |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 0,81 | 3,78 | 1,85 | 0,58 | 3,58 | 1,62 | | | |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 0,97 | 2,63 | 1,54 | 0,75 | 2,94 | 1,47 | | | |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 0,88 | 4,77 | 1,68 | 0,45 | 4,73 | 1,49 | | | |
| srednja vrijednost na godišnjoj razini | 0,93 | 5,46 | 1,82 | 0,67 | 4,84 | 1,61 | | | |

gdje je:

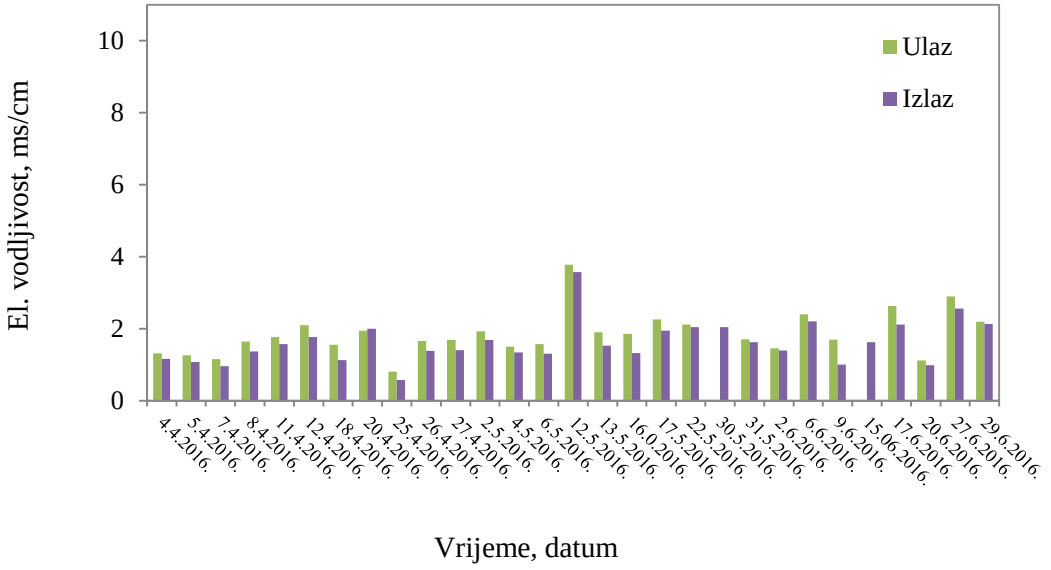
$\kappa_{min}$ - minimalna vrijednost el. vodljivosti u ispitivanom vremenskom razdoblju, ms/cm,

$\kappa_{max}$ - maksimalna vrijednost el. vodljivosti u ispitivanom vremenskom razdoblju, ms/cm,

$\kappa_{sr}$ - srednja vrijednost el. vodljivosti u ispitivanom vremenskom razdoblju, ms/cm.

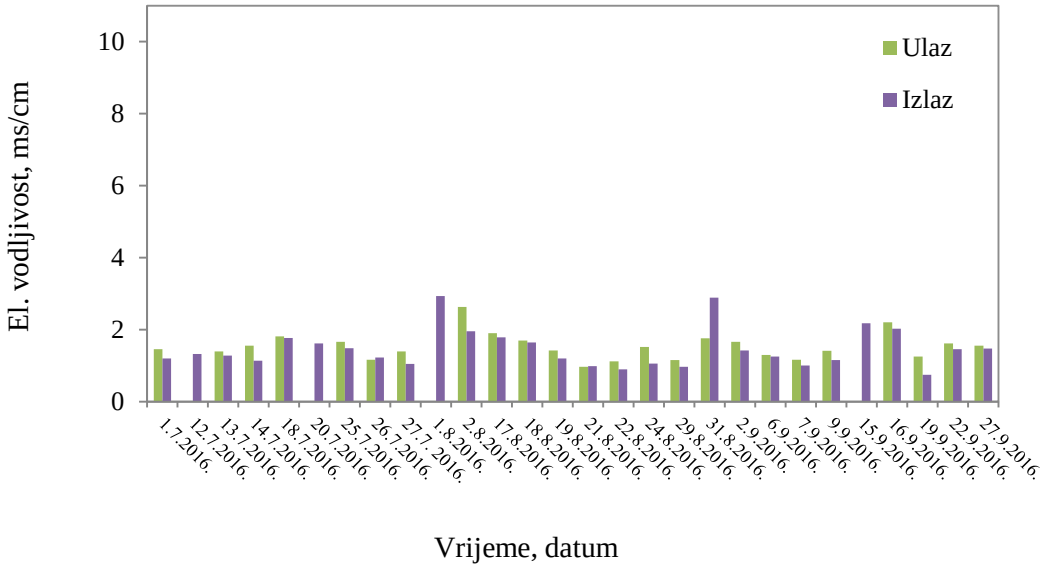



a)

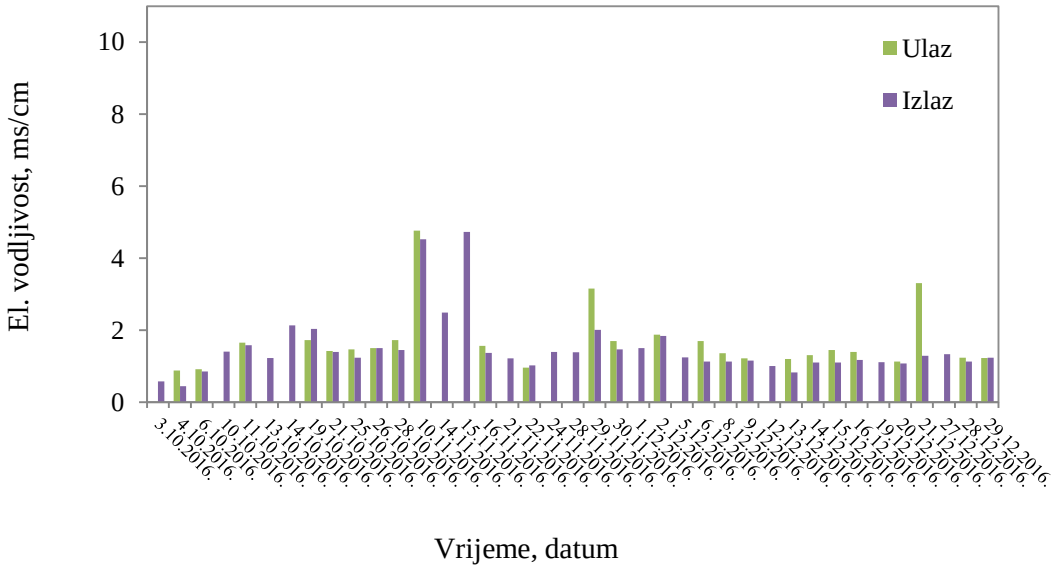



b)

Slika 3.5. Promjena električne vodljivosti na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) siječanj - ožujak, b) travanj - lipanj.




a)




b)

Slika 3.6. Promjena električne vodljivosti na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

Električna vodljivost otpadne vode ovisi o koncentraciji svih iona i o njihovoj pokretljivosti pod utjecajem električnog polja te je u tom smislu jedan od prvih pokazatelja opterećenja otpadnih voda.

Tablica 3.5. Vrste voda po parametru električne vodljivosti[19].

| Vrsta vode | Električna vodljivost ms/cm |
|---|---|
| Ultračista | < 0,00005 |
| Pitka | < 1 |
| Mineralna | 1 - 3 |
| Boćata | > 1 |
| Morska | > 5 |

Povećana vodljivost ukazuje na prisutnost ionski otopljenih tvari u otpadnoj vodi. Najveće oscilacije i najviše vrijednosti električne vodljivosti uočene su u prvom tromjesečju. Također, povećana vodljivost ukazuje da se radi o iznimnoj boćatoj vodi, što je i za očekivati, s obzirom da se radi o mješovitom sustavu u priobalju u kojem je upliv morske vode značajan. Srednje vrijednosti električne vodljivosti otpadne vode na ulazu i izlazu značajno ne odstupaju, ali se uočava lagani pad vrijednosti na izlazu.

### 3.1.4. Analiza klorida

Rezultati praćenja sadržaja klorida u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisanih Pravilnikom na slikama 3.7. i 3.8. Također, rezultati su analizirani na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti klorida u otpadnim vodama na ulazu i izlazu na tromjesečnoj i godišnjoj razini, te granične vrijednosti propisane Pravilnikom u tablici 3.6. Vrijednosti klorida nisu propisane Vodopravnom dozvolom.

Tablica 3.6. Analiza praćenja vrijednosti klorida u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV Šibenik.

| Vremensko razdoblje | Ulaz | | | Izlaz | | | $\gamma_{Pravilnik}$ | | $\gamma_{V.D.}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\gamma_{min}$ | $\gamma_{max}$ | $\gamma_{sr}$ | $\gamma_{min}$ | $\gamma_{max}$ | $\gamma_{sr}$ | Pov. vode | Sus. jav. odvodnje | |
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 604 | 12780 | 1911 | 497 | 9656 | 1613 | - | 1000 | - |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 462 | 3728 | 1499 | 355 | 3621 | 1337 | | | |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 533 | 2166 | 1201 | 426 | 2698 | 1093 | | | |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 533 | 5254 | 1477 | 355 | 5112 | 1190 | | | |
| Srednja vrijednost na godišnjoj razini | 533 | 5982 | 1522 | 408 | 5272 | 1308 | | | |

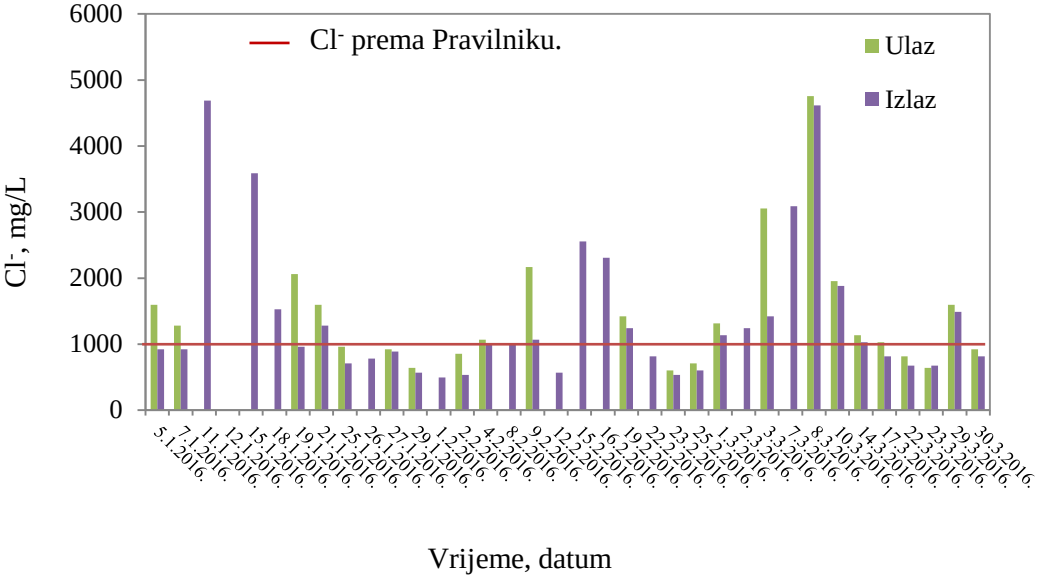
gdje je:

$\gamma_{min}$ - minimalna vrijednost klorida u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L,

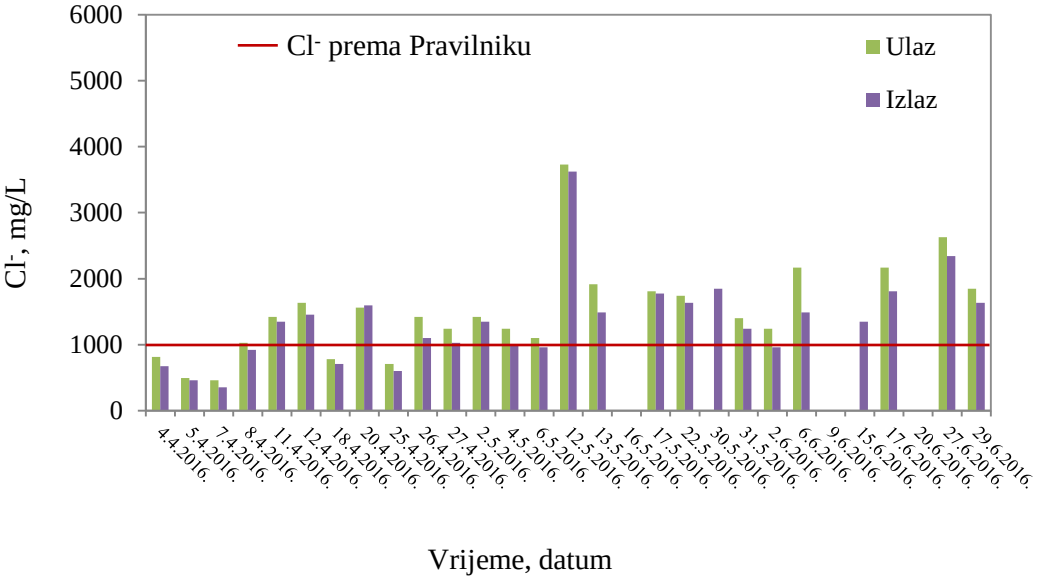
$\gamma_{max}$ - maksimalna vrijednost klorida u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L,

$\gamma_{sr}$ - srednja vrijednost klorida u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L,

$\gamma_{Pravilnik}$ - vrijednost klorida prema Pravilniku, mg/L.

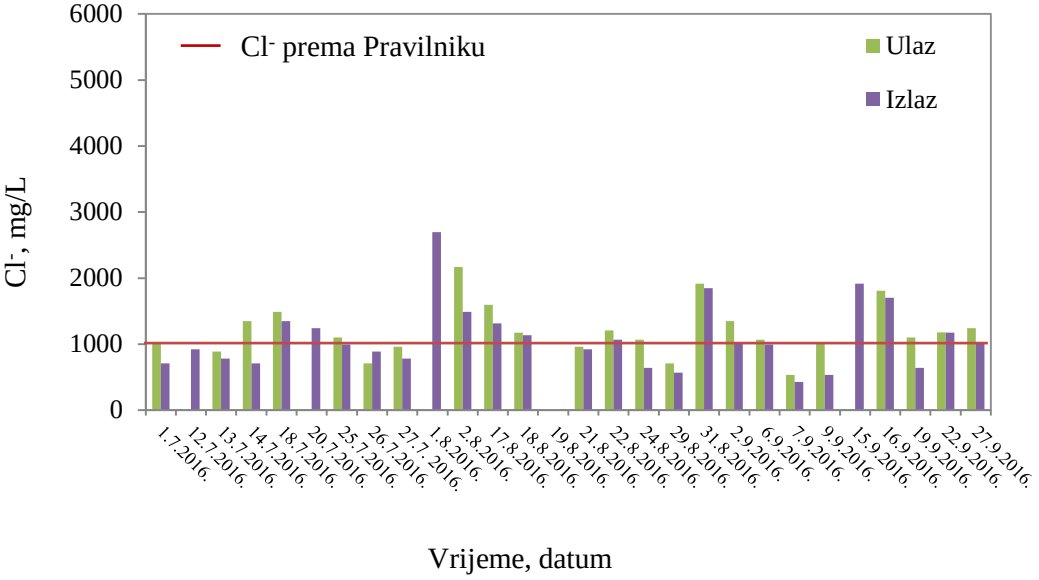



a)

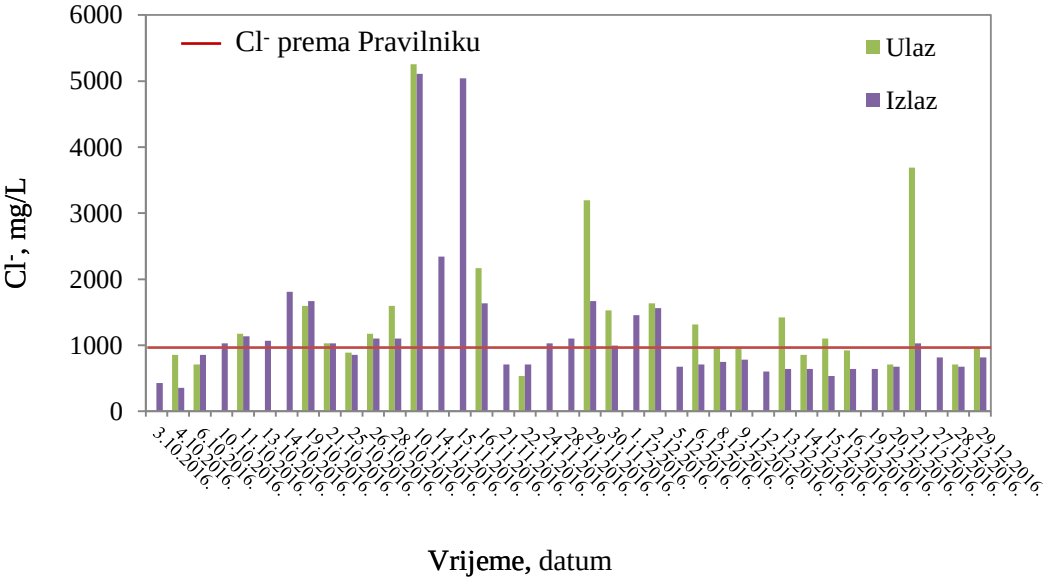



b)

Slika 3.7. Promjena klorida na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) siječanj - ožujak, b) travanj - lipanj. *Napomena: na grafu su izostavljene vrijednosti za dan 12.1.2016. budući da su dobivene vrijednosti zbog velike plime i rekonstrukcija bile značajno povećane.*




a)




b)

Slika 3.8. Promjena klorida na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

Povećan sadržaj klorida u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu ukazuje na utjecaj mora. Povećan sadržaj jako ovisi o plimi, ukazuje na proboje mreže odvodnje osobito na dijelovima gdje je obala za vrijeme plime ispod razine mora. Povećana koncentracija klorida ometa rad uređaja (utjecaj na koroziju), ali će negativno utjecati i na proces biološke obrade koji se planira nadograditi na uređaju.

Rezultati pokazuju da vrijednosti klorida otpadne vode na ulazu i izlazu izrazito osciliraju ( min vrijednost = 355 mg/L; max vrijednost = 12780 mg/L). Najveće oscilacije uočene su u prvom (siječanj - ožujak) i četvrtom tromjesečju (listopad - prosinac), kada su i zabilježene najveće padaline.

Srednja vrijednost klorida na ulazu i izlazu iz uređaja je najveća u prvom tromjesečju. Srednje vrijednosti klorida otpadne vode na ulazu i izlazu uređaja neznatno odstupaju, uočava se mali pad vrijednosti klorida na izlazu što ukazuje da proces obrade ima utjecaja, ali ne u dostatnoj mjeri s obzirom da su granične vrijednosti na izlazu još uvijek prekoračene.

Maksimalne i srednje vrijednosti klorida na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini su izvan graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom, ali budući da je konačan ispust u more, to ne bi trebalo imati negativan utjecaj na okoliš.

### 3.1.5. Analiza taložive tvari

Rezultati praćenja taložive tvari u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom na slikama 3.9. i 3.10. Također, rezultati su analizirani na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti klorida u otpadnim vodama na ulazu i izlazu na tromjesečnoj i godišnjoj razini, te granične vrijednosti propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom u tablici 3.7.

Tablica 3.7. Analiza praćenja taložive tvari u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV Šibenik.

| Vremensko razdoblje | Ulaz | | | Izlaz | | | $V_{Pravilnik}$ | | $V_{V.D.}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $V_{min}$ | $V_{max}$ | $V_{sr}$ | $V_{min}$ | $V_{max}$ | $V_{sr}$ | Pov. vode | Sus. jav. odvodnje | |
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 3 | 28 | 9 | 1 | 20 | 6 | 0,5 | 10 | 10 |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 3 | 22 | 9 | 1 | 15 | 5 | | | |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 1 | 17 | 9 | 1 | 11 | 5 | | | |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 4 | 22 | 12 | 0,5 | 12 | 6 | | | |
| Srednja vrijednost na godišnjoj razini | 3 | 22 | 10 | 1 | 15 | 6 | | | |

gdje je:

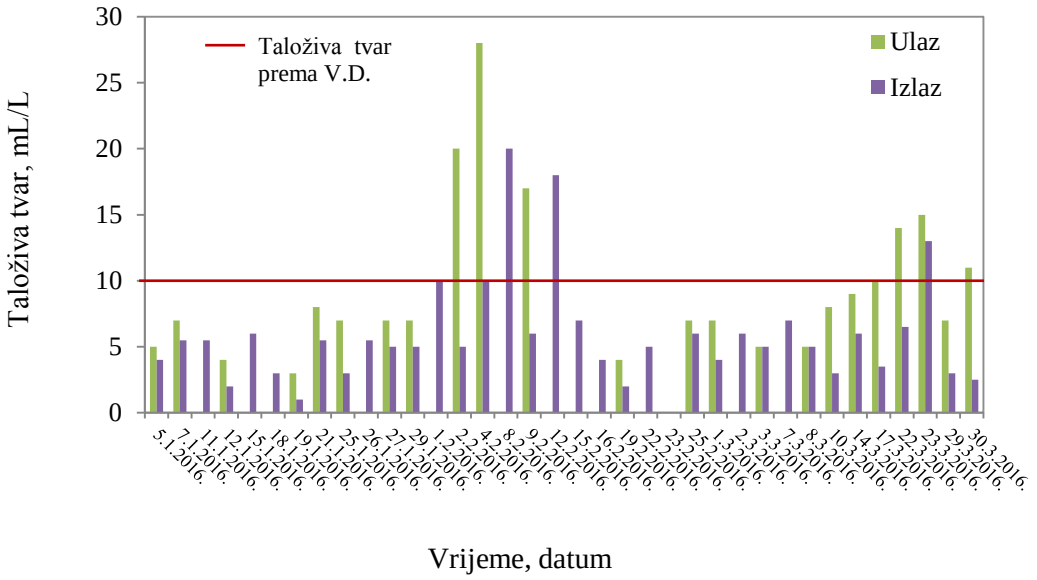
$V_{min}$ - minimalna vrijednost taložive tvari u ispitivanom vremenskom razdoblju, mL/L,

$V_{max}$ - maksimalna vrijednost taložive tvari u ispitivanom vremenskom razdoblju, mL/L,

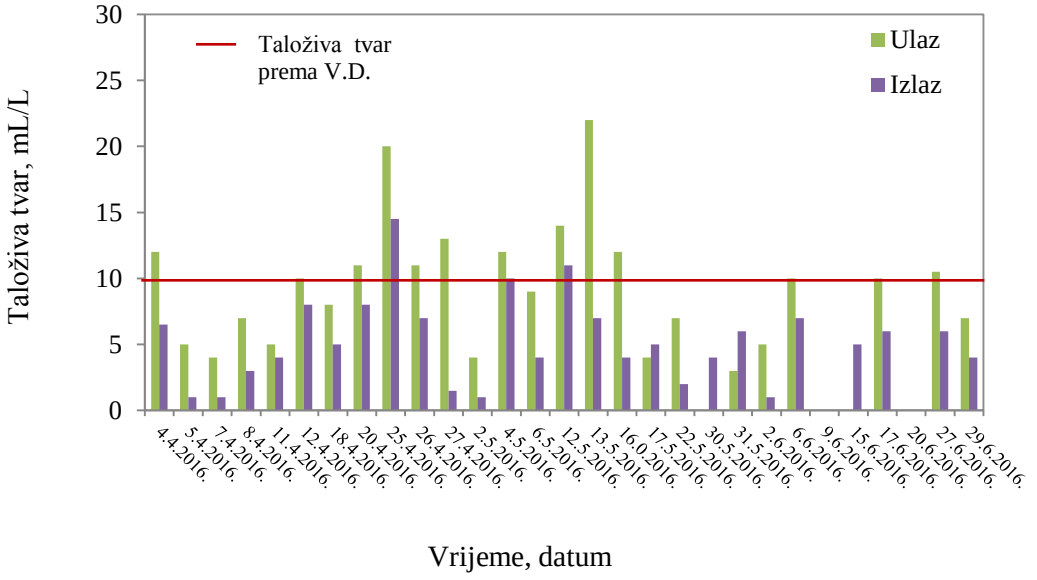
$V_{sr}$ - srednja vrijednost taložive tvari u ispitivanom vremenskom razdoblju, mL/L,

$V_{Pravilnik}$ - vrijednost taložive tvari prema Pravilniku, mL/L,

$V_{V.D.}$ - srednja vrijednost taložive tvari prema Vodopravnoj dozvoli, mL/L.

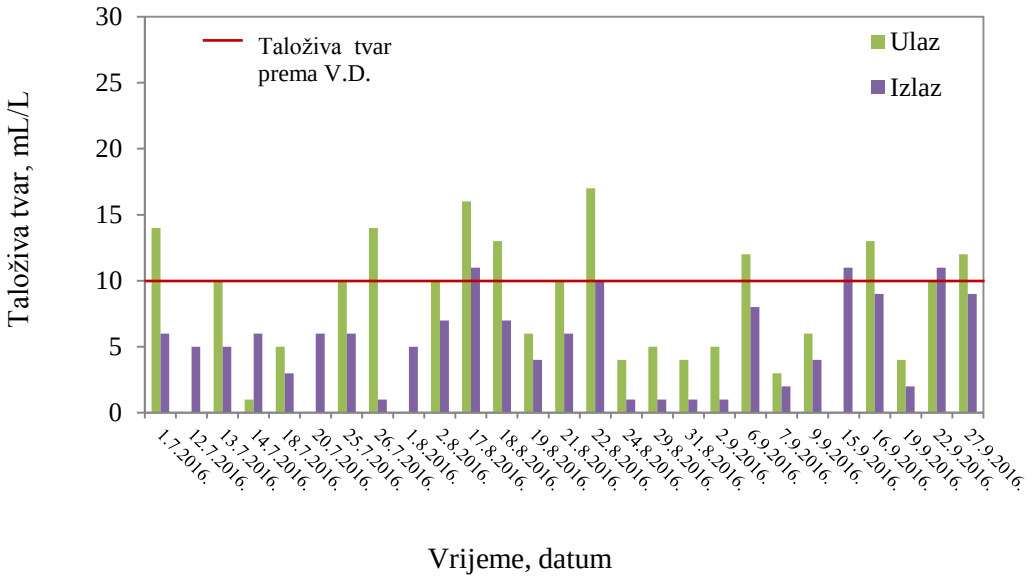



a)

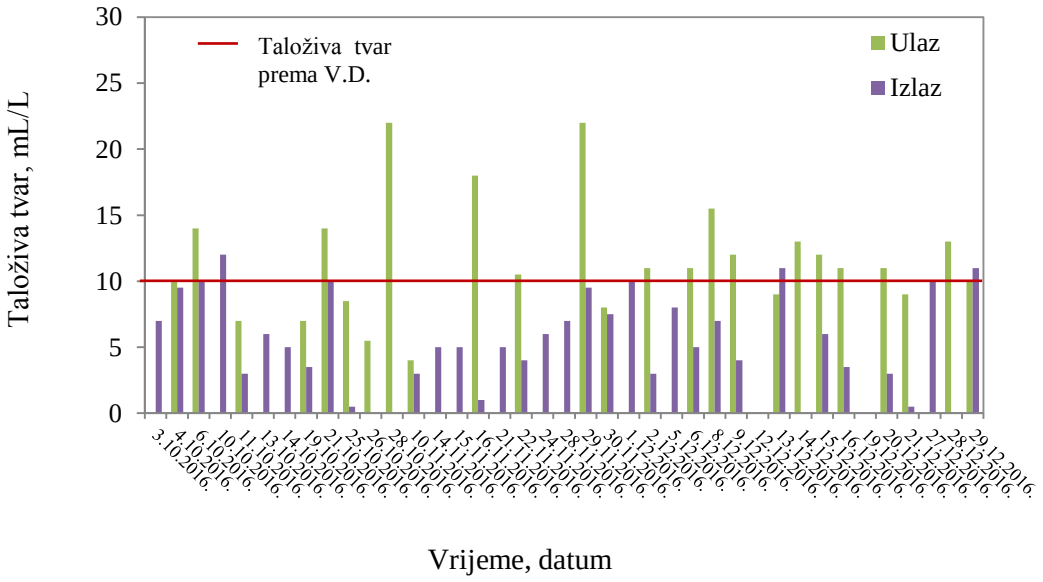



b)

Slika 3.9. Promjena koncentracije taložive na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) siječanj - ožujak, b) travanj - lipanj.




a)




b)

Slika 3.10. Promjena koncentracije taložive tvari na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

Prisutnost taloživih tvari u vodnom sustavu onemogućuje prodor svijetla. Samim time se smanjuje proces fotosinteze u ekosustavu što se odražava i na smanjenu količinu kisika. Drugi bitan utjecaj je ugrožavanje dišnog sustava viših organizama jer se talože na ribljim škrgama, što smanjuje respiracijske mogućnosti i izaziva uginuće riba. S obzirom da se efluent iz UPOV-a nastavlja na podmorski ispust i ispušta na dubini od 60 m važno je analizirati taloživu tvar na izlazu.

Rezultati pokazuju da vrijednosti taložive tvari otpadne vode na ulazu ($V_{ulaz}$ = 1 - 28 mL/L) i izlazu ($V_{izlaz}$ = 0,5 - 20 mL/L) iz UPOV-a osciliraju u širokom rasponu minimalnih i maksimalnih vrijednosti, neovisno o načinu uzorkovanja (trenutni ili kompozitni). Najveće oscilacije uočene su u prvom tromjesečju (siječanj - ožujak).

Srednje vrijednosti taložive tvari u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz uređaja su najveće u prvom i četvrtom tromjesečju, kada je zabilježena i najveća količina padalina. Uočava se pad vrijednosti na izlazu što ukazuje da proces obrade ima utjecaja.

Srednje vrijednosti taložive tvari na ulazu i izlazu iz uređaja pokazuju znatna odstupanja od graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom za ispust u površinske vode, ali su unutar graničnih vrijednosti za ispust u kanalizacijski sustav i vrijednosti propisanih Vodopravnom dozvolom.

### 3.1.6. Analiza raspršene tvari

Rezultati praćenja raspršene tvari u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisanih Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom na slikama 3.11. i 3.12. Također, rezultati su analizirani na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti raspršene tvari u otpadnim vodama na ulazu i izlazu na tromjesečnoj i godišnjoj razini, te granične vrijednosti propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom u tablici 3.8.

Tablica 3.8. Analiza praćenja raspršene tvari u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV Šibenik.

| Vremensko razdoblje | Ulaz | | | Izlaz | | | $\gamma_{Pravilnik}$ | | $\gamma_{V.D.}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\gamma_{min}$ | $\gamma_{max}$ | $\gamma_{sr}$ | $\gamma_{min}$ | $\gamma_{max}$ | $\gamma_{sr}$ | Pov. vode | Sus. jav. odvodnje | |
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 97 | 389 | 212 | 44 | 524 | 157 | 35 | c | 150 |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 89 | 396 | 223 | 69 | 271 | 139 | | | |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 96 | 410 | 209 | 67 | 201 | 139 | | | |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 40 | 500 | 184 | 10 | 390 | 135 | | | |
| srednja vrijednost na godišnjoj razini | 81 | 424 | 207 | 48 | 347 | 143 | | | |

gdje je:

$\gamma_{min}$ - minimalna vrijednost raspršene tvari u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L,

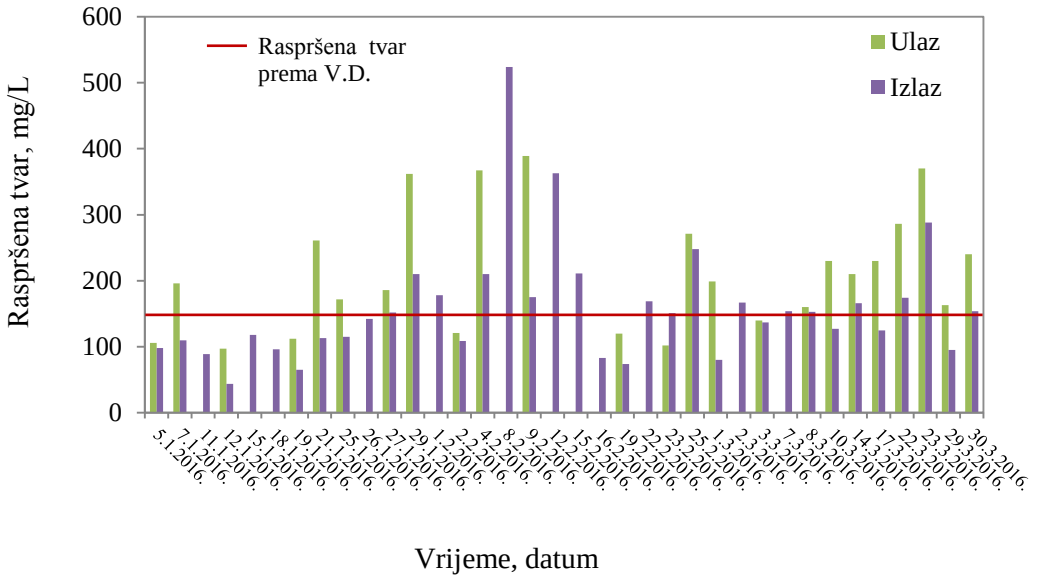
$\gamma_{max}$ – maksimalna vrijednost raspršene tvari u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L,

$\gamma_{sr}$ - srednja vrijednost raspršene tvari u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L,

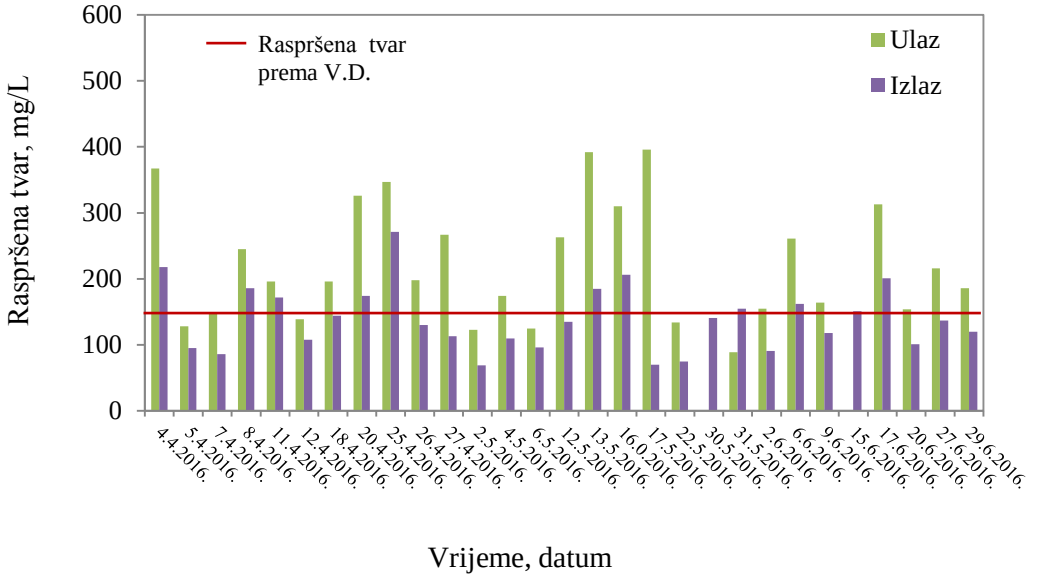
$\gamma_{Pravilnik}$ - vrijednost raspršene tvari prema Pravilniku, mg/L,

c- granična vrijednost emisije određuje se u otpadnoj vodi u slučaju ako raspršene tvari štetno djeluju na sustav javne odvodnje i/ili na proces pročišćavanja uređaja, a određuje ju pravna osoba koja održava objekte sustava javne odvodnje i uređaja,

$\gamma_{V.D.}$ - srednja vrijednost raspršene tvari prema Vodopravnoj dozvoli, mg/L.

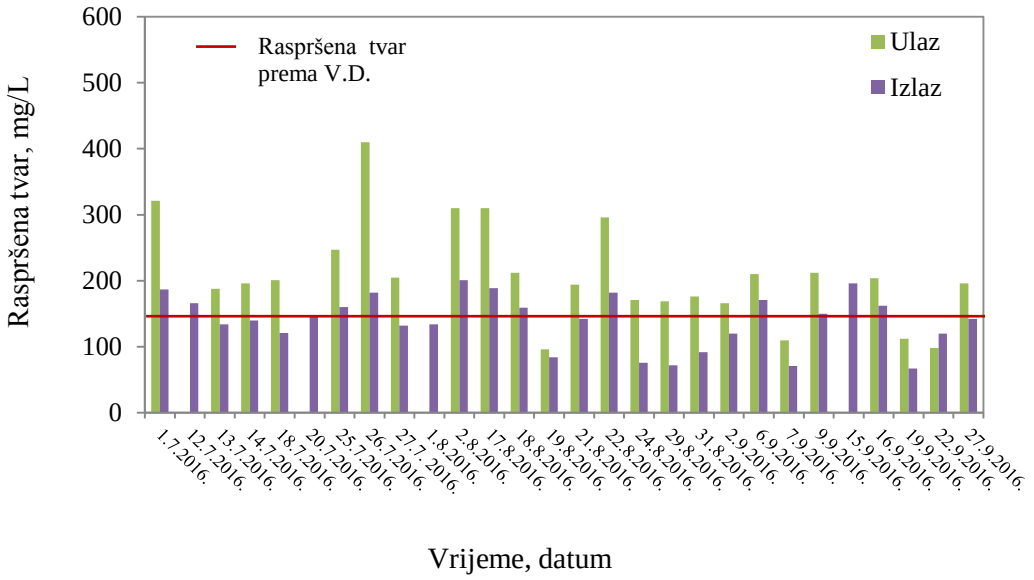



a)

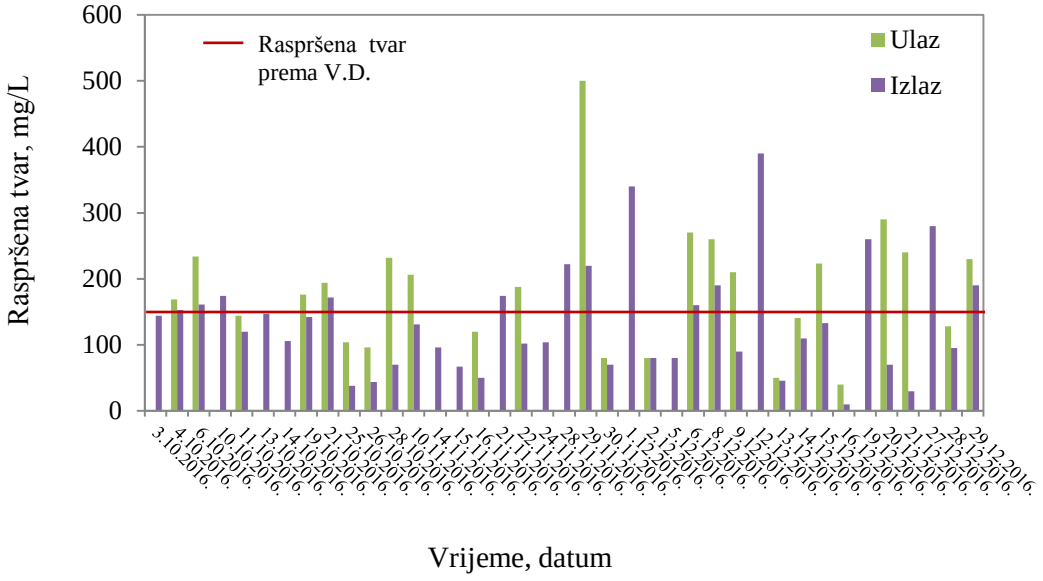



b)

Slika 3.11. Promjena koncentracije raspršene tvari na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) siječanj - ožujak, b) travanj - lipanj.




a)




b)

Slika 3.12. Promjena koncentracije raspršene tvari na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

Povećan sadržaj raspršene tvari u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu utječe na mutnoću otpadne vode. Rezultati pokazuju da vrijednosti raspršene tvari otpadne vode na uređaju UPOV Šibenik osciliraju u širokom rasponu, neovisno o načinu uzorkovanja (trenutni ili kompozitni uzorak). Najveće oscilacije uočene su u prvom (siječanj - ožujak) i četvrtom ( listopad - prosinac) tromjesečju. Također, srednje vrijednosti taložive tvari u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz uređaja su najveće u prvom i četvrtom tromjesečju, kada je zabilježena i najveća količina padalina. Uočava se pad vrijednosti na izlazu što ukazuje da proces obrade ima utjecaja.

Srednje vrijednosti taložive tvari na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini prelaze granične vrijednosti propisane Pravilnikom o graničnim vrijednostima i Vodopravnom dozvolom. Povećana koncentracija raspršenih tvari ukazuje na potrebu stavljanja u funkciju primarnog taložnika.

### 3.1.7. Analiza kemijske potrošnje kisika

Rezultati praćenja kemijske potrošnje kisika u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom na slikama 3.13. i 3.14. Također, rezultati su analizirani na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti kemijske potrošnje kisika u otpadnim vodama na ulazu i izlazu na tromjesečnoj i godišnjoj razini, te granične vrijednosti propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom u tablici 3.9.

Tablica 3.9. Analiza praćenja kemijske potrošnje kika u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV Šibenik.

| Vremensko razdoblje | Ulaz | | | Izlaz | | | $KPK_{Pravilnik}$ | | $KPK_{V.D.}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $KPK_{min}$ | $KPK_{max}$ | $KPK_{sr}$ | $KPK_{min}$ | $KPK_{max}$ | $KPK_{sr}$ | Pov. vode | Sus. jav. odvodnje | |
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 95 | 595 | 372 | 54 | 529 | 281 | 125 | 700 | 700 |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 196 | 1027 | 453 | 128 | 700 | 345 | | | |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 110 | 890 | 404 | 59 | 770 | 354 | | | |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 7 | 567 | 362 | 124 | 536 | 336 | | | |
| srednja vrijednost na godišnjoj razini | 102 | 770 | 398 | 91 | 634 | 329 | | | |

gdje je:

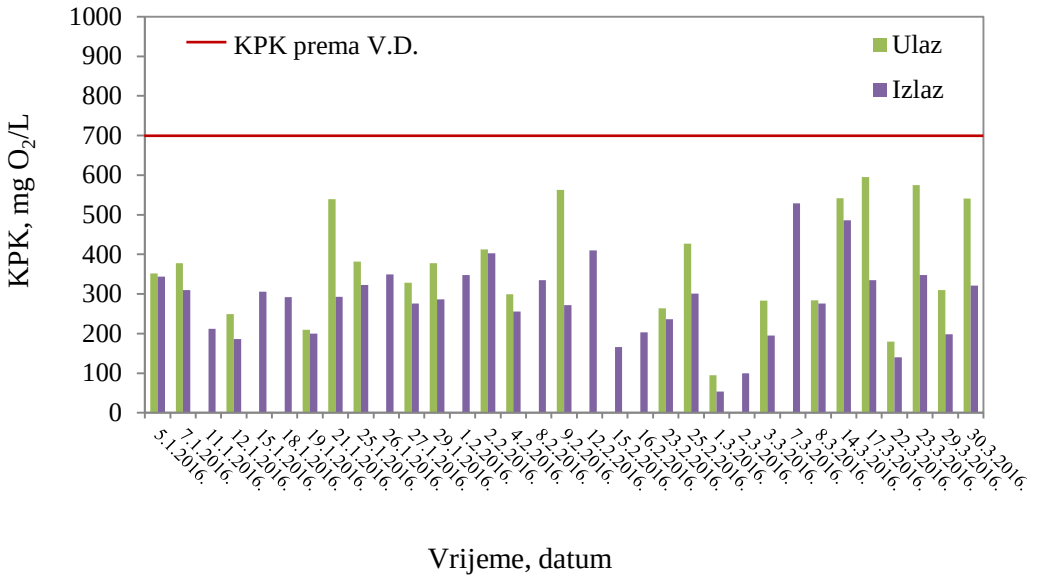
$KPK_{min}$ - minimalna vrijednost KPK u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg $O_2$/L,

$KPK_{max}$ - maksimalna vrijednost KPK u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg $O_2$/L,

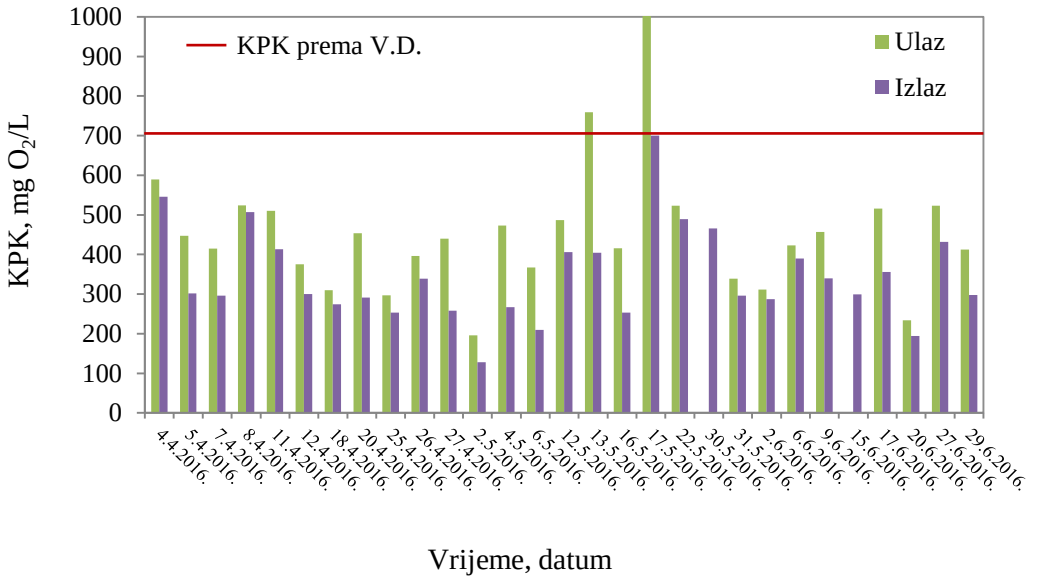
$KPK_{sr}$ - srednja vrijednost KPK u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg $O_2$/L,

$KPK_{Pravilnik}$ - vrijednost KPK prema Pravilniku, mg $O_2$/L,

$KPK_{V.D.}$ - srednja vrijednost KPK prema Vodopravnoj dozvoli, mg $O_2$/L.

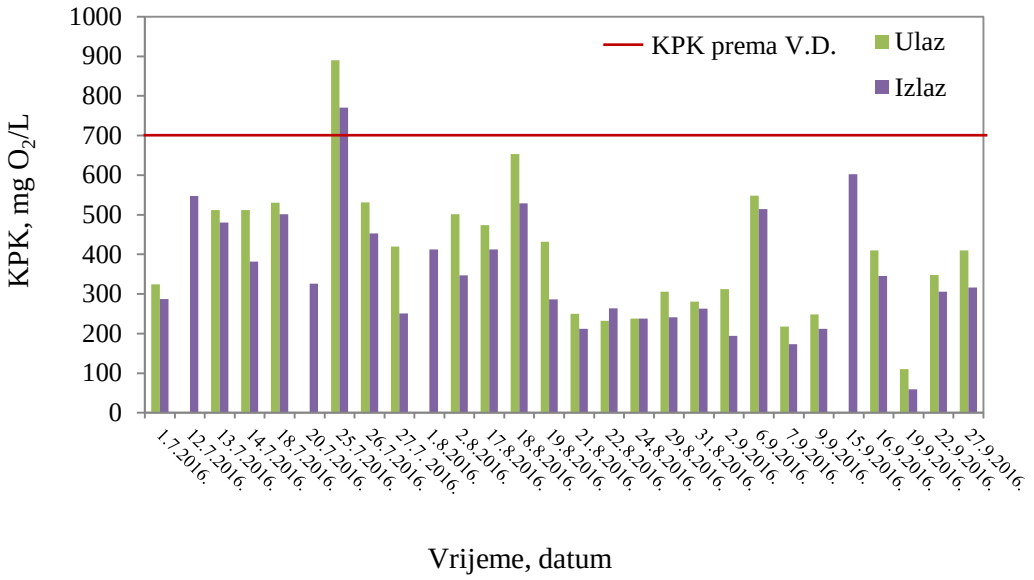



a)

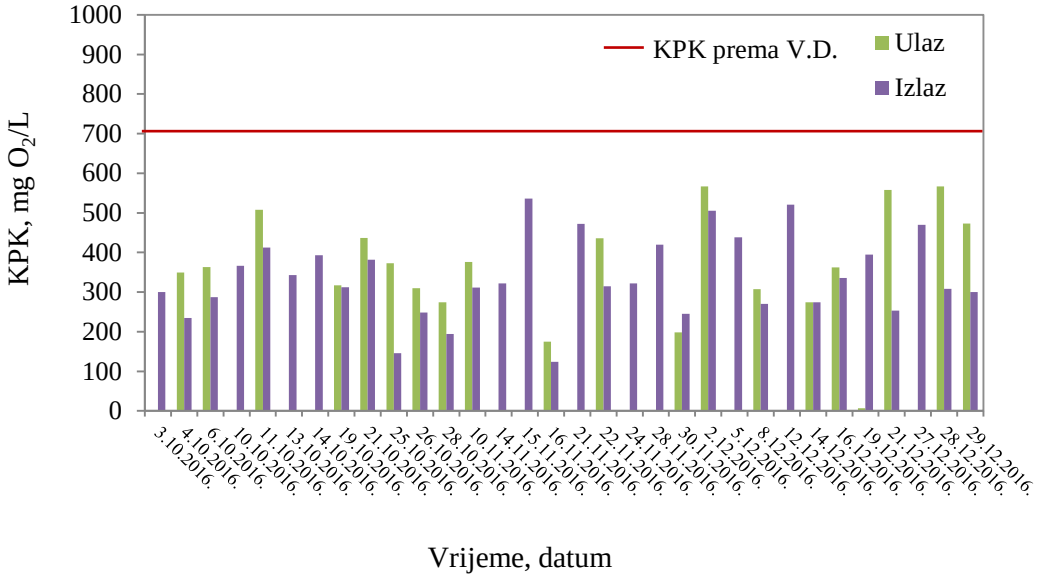



b)

Slika 3.13. Promjena KPK na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) siječanj - ožujak, b) travanj - lipanj. *Napomena: na grafičkom prikazu vrijednost ulaza za dan 17.5.2016. iznosi 1027 mg $O_2$/L, te je prikazana na priloženi način radi boljeg grafičkog prikaza.*




a)




b)

Slika 3.14. Promjena KPK na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

Vrijednost KPK u uzorcima otpadnih voda osciliraju. Povećane vrijednosti ukazuju na prisutnost i organskih i anorganskih tvari podložnih oksidaciji s bikromatom. Najveće vrijednosti KPK, kao i srednje vrijednosti, uočene su u trećem (srpanj - rujan) i drugom (travanj - lipanj) tromjesečju.

Srednje vrijednosti KPK otpadne vode na ulazu i izlazu uređaja odstupaju, uočava se smanjenje vrijednosti na izlazu što ukazuje da proces obrade ima utjecaja.

Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti KPK na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini su daleko izvan graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom, ali su unutar vrijednosti propisanih Vodopravnom dozvolom.

### 3.1.8. Analiza biokemijske potrošnje kisika

Rezultati praćenja biokemijske potrošnje kisika u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom na slikama 3.15. i 3.16. Također, rezultati su analizirani na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti biokemijske potrošnje kisika u otpadnim vodama na ulazu i izlazu na tromjesečnoj i godišnjoj razini, te granične vrijednosti propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom u tablici 3.10.

Tablica 3.10. Analiza praćenja biokemijske potrošnje kisika u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV Šibenik.

| Vremensko razdoblje | Ulaz | | | Izlaz | | | $BPK_{5Pravilnik}$ | | $BPK_{5V.D.}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $BPK_{5min}$ | $BPK_{5max}$ | $BPK_{5sr}$ | $BPK_{5min}$ | $BPK_{5max}$ | $BPK_{5sr}$ | Pov. vode | Sus. jav. odvodnje | |
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 25 | 563 | 172 | 10 | 449 | 137 | 25 | 250 | 250 |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 40 | 360 | 173 | 50 | 300 | 138 | | | |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 4 | 300 | 140 | 9 | 280 | 108 | | | |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 7 | 280 | 125 | 7 | 310 | 126 | | | |
| srednja vrijednost na godišnjoj razini | 19 | 376 | 153 | 19 | 335 | 127 | | | |

gdje je:

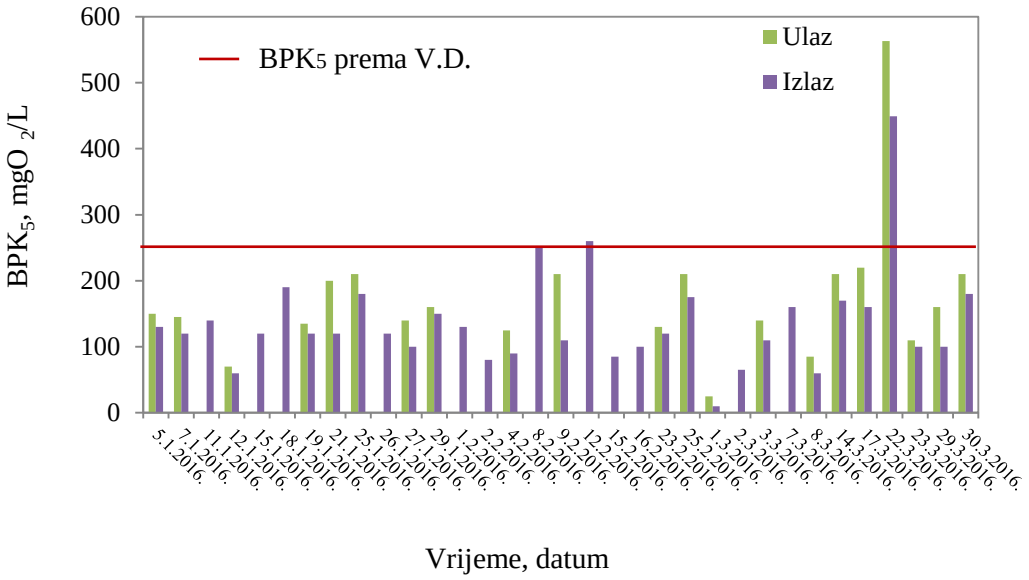
$BPK_{5min}$ - minimalna vrijednost $BPK_5$ u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg $O_2$/L,

$BPK_{5max}$ - maksimalna vrijednost $BPK_5$ u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg $O_2$/L,

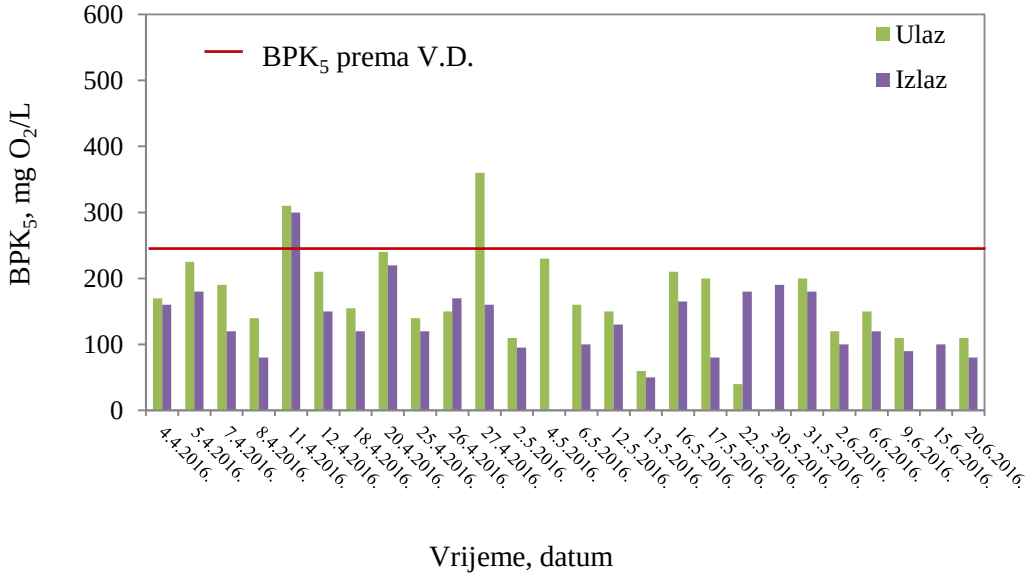
$BPK_{5sr}$ - srednja vrijednost $BPK_5$ u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg $O_2$/L,

$BPK_{5Pravilnik}$ - vrijednost $BPK_5$ prema Pravilniku, mg $O_2$/L,

$BPK_{5V.D.}$ - srednja vrijednost $BPK_5$ prema Vodopravnoj dozvoli, mg $O_2$/L.

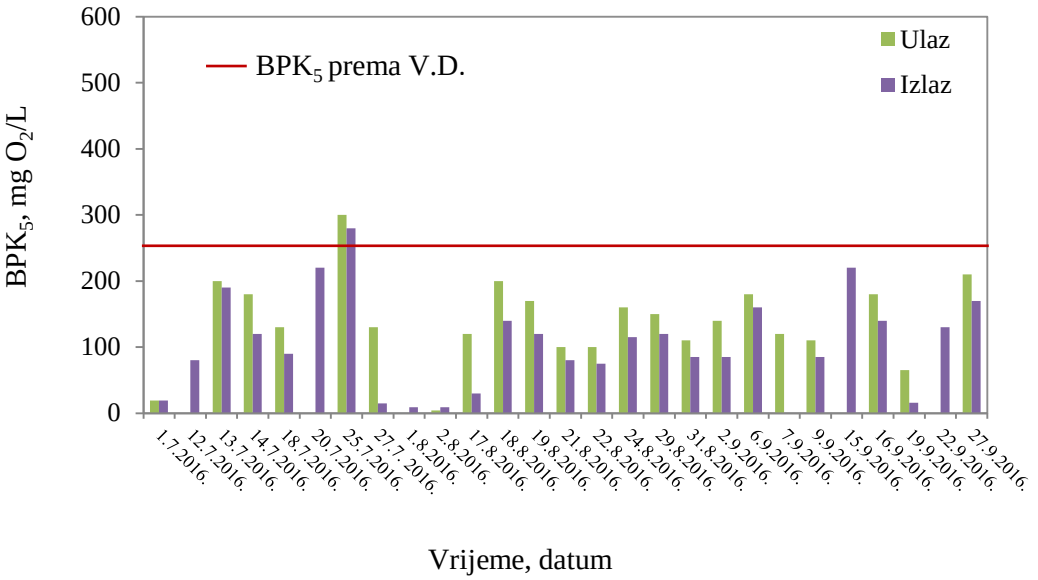



a)

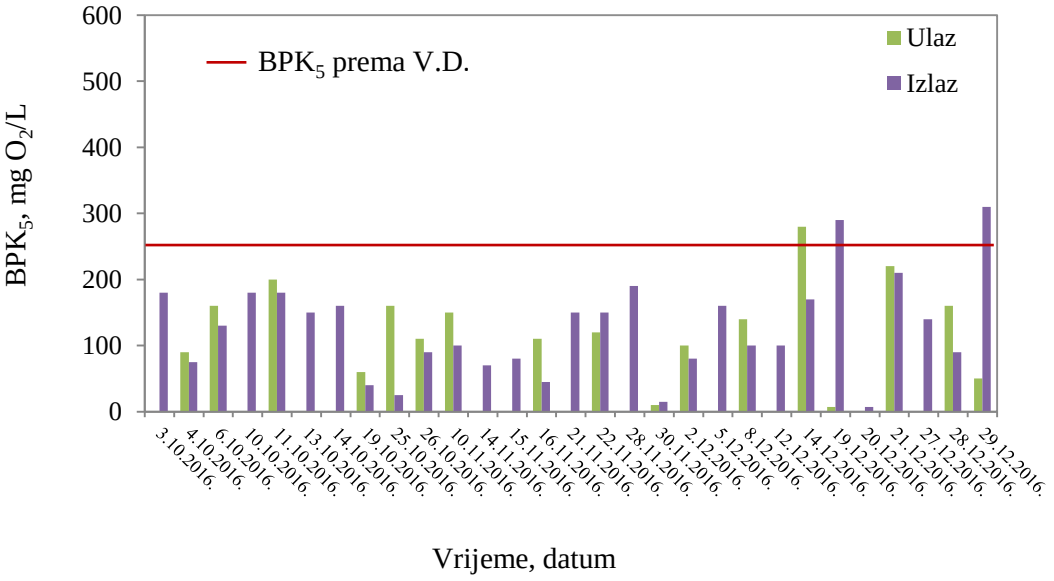



b)

Slika 3.15. Promjena $BPK_5$ na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) siječanj - ožujak, b) travanj - lipanj.




a)




b)

Slika 3.16. Promjena $BPK_5$ na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

Vrijednosti $BPK_5$ u uzorcima otpadnih voda osciliraju u širokom rasponu minimalnih i maksimalnih vrijednosti ($BPK_5$ ulaz = 4 - 563 mg $O_2$/L; $BPK_5$ izlaz = 9 - 449 mg $O_2$/L)

Najveće vrijednosti $BPK_5$, kao i srednje vrijednosti, uočene su u prvom (siječanj - ožujak) i drugom (travanj - lipanj) tromjesečju. Srednje vrijednosti $BPK_5$ pokazuju smanjenje vrijednosti na izlazu što ukazuje da proces obrade ima utjecaja.

Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti $BPK_5$ na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini su daleko izvan graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom, ali su unutar vrijednosti propisanih Vodopravnom dozvolom. Dobiveni rezultati su i očekivani s obzirom na činjenicu da UPOV Šibenik radi samo uz prethodni stupanj pročišćavanja otpadnih voda.

## 3.2. ANALIZA BIORAZGRADLJIVOSTI OTPADNE VODE

Da bi dobili uvid u biorazgradljivost otpadne vode i odabir metode obrade otpadnih voda, izračunat je omjer $BPK_5$/KPK, a rezultati su dati u tablici 3.11.

Tablica 3.11. Izračunati omjer $BPK_5$/KPK.

| Vremensko razdoblje | $BPK_5$ ulaz | $BPK_5$ izlaz | KPK ulaz | KPK izlaz | $BPK_5$/KPK ulaz | $BPK_5$/KPK izlaz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 172 | 137 | 372 | 281 | 0,46 | 0,49 |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 173 | 138 | 453 | 345 | 0,38 | 0,40 |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 140 | 108 | 404 | 354 | 0,35 | 0,31 |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 125 | 126 | 362 | 336 | 0,35 | 0,38 |

$BPK_5$ - srednja vrijednost biokemijske potrošnje kisika u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg $O_2$/L,
KPK - srednja vrijednost kemijske potrošnje kisika u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg $O_2$/L.

Tipične vrijednosti omjera $BPK_5$/KPK za neobrađenu komunalnu otpadnu vodu kreću se u rasponu od 0,3 do 0,8. Ako omjer $BPK_5$/KPK iznosi 0,5 ili više, smatra se da je otpadna voda biološki razgradljiva i da se može pročišćavati biološkim postupkom. U slučaju da omjer ima vrijednosti 0,4 - 0,5, otpadna voda je srednje biorazgradljiva. Ako je omjer manji od 0,3 otpadna voda nije biorazgradljiva i sadrži toksične komponente koji djeluju negativno na mikroorganizme. Omjeri $BPK_5$/KPK se mijenjaju sa stupnjem obrade otpadne vode i to:

| | $BPK_5$/KPK |
|---|---|
| neobrađena otpadna voda | 0,3 - 0,8 |
| nakon primarnog taloženja | 0,4 - 0,6 |
| konačni efluent | 0,1 - 0,3 |

Dobivene vrijednosti ukazuju da se otpadna voda na izlazu mora podvrgnuti biološkoj obradi.

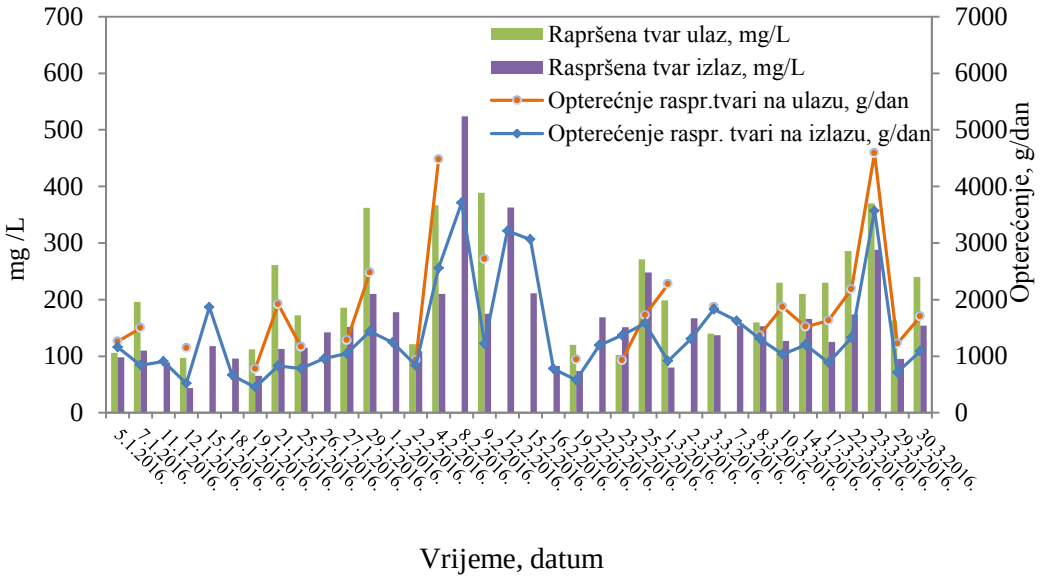
## 3.3. PRORAČUN OPTEREĆENJA UREĐAJA

Radi uvida u stvarno opterećenje uređaja, rezultati određivanja raspršene tvari i $BPK_5$ preračunati su na vrijednost opterećenja, prema općenitoj jednadžbi:

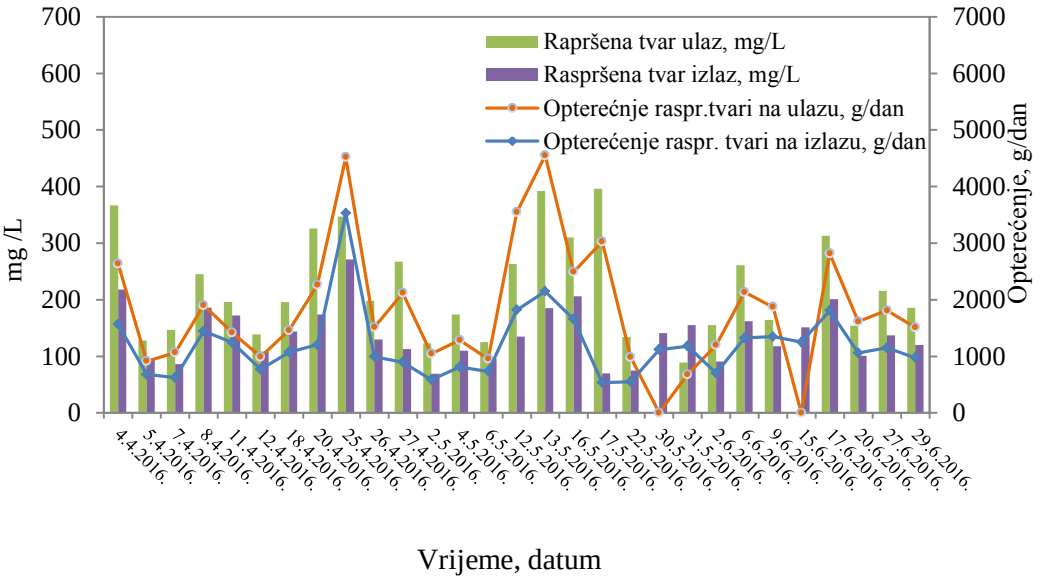
$$\text{Opterećenje} = \text{protok} \cdot \text{koncentracija} \qquad (3\text{-}1)$$

$$[g/h] \qquad [m^3/h] \quad [g/m^3]$$

Izračunate vrijednosti opterećenja s raspršenom tvari date su na slikama 3.17 i 3.18., a izračunate vrijednosti opterećenja s organskom tvari na slikama 3.19. i 3.20.

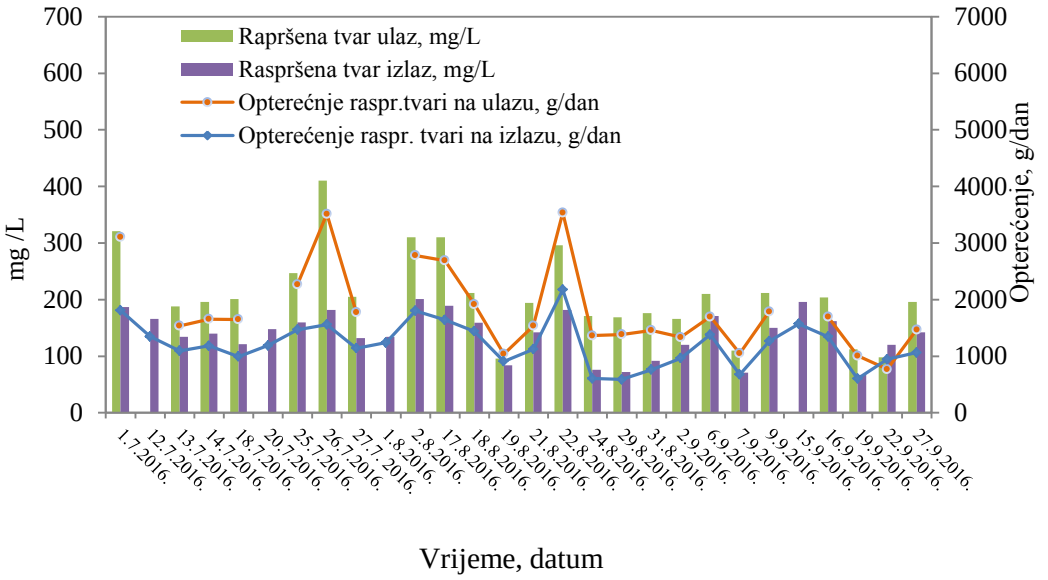



a)

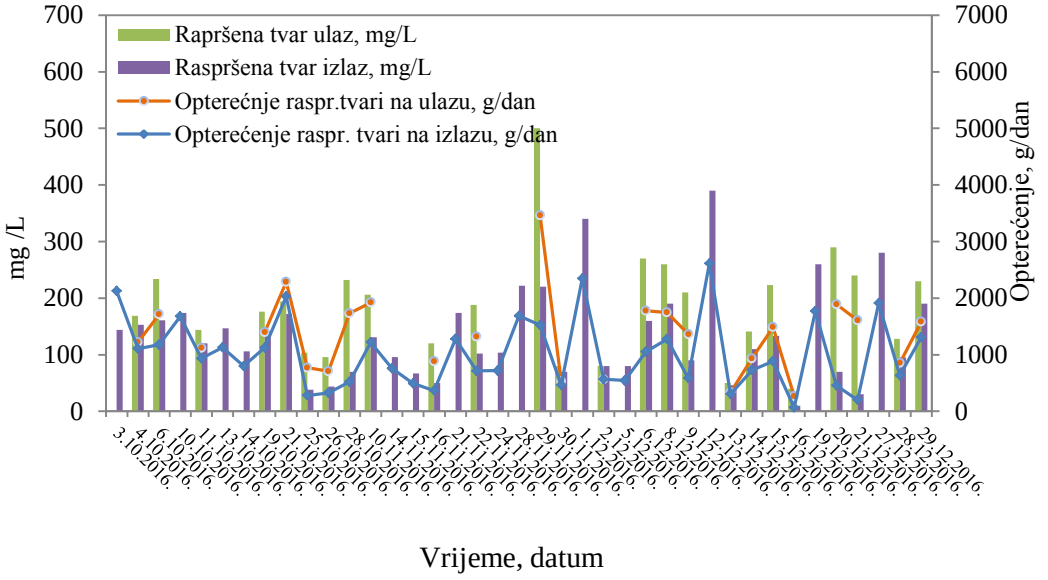



b)

Slika 3.17. Usporedni prikaz rezultata određivanja raspršene tvari i opterećenja s raspršenom tvari na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) siječanj - ožujak, b) travanj - lipanj.

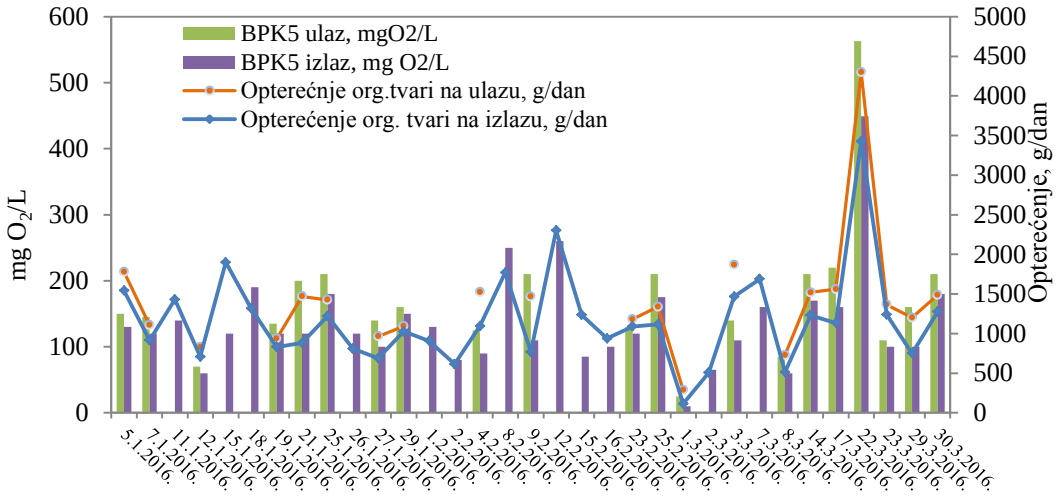



a)

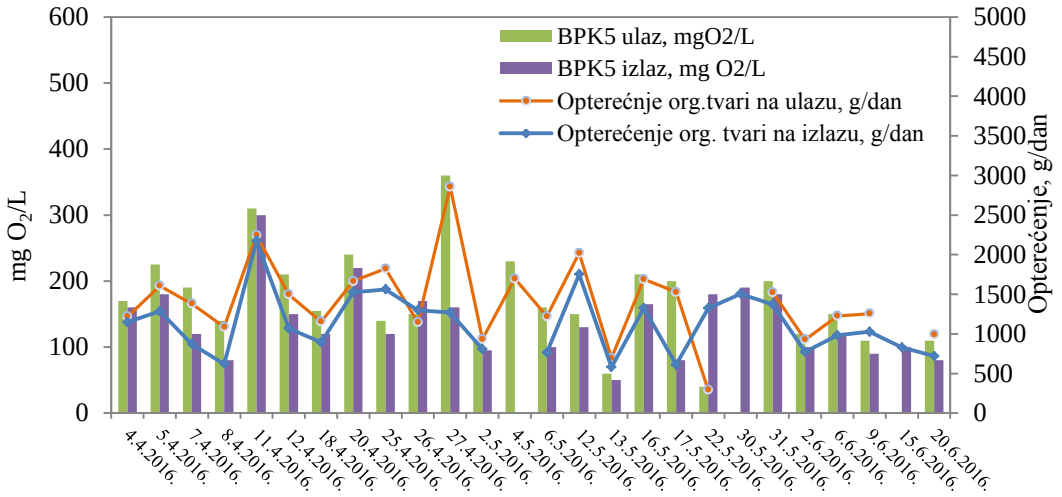



b)

Slika 3.18. Usporedni prikaz rezultata određivanja raspršene tvari i opterećenja s raspršenom tvari na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

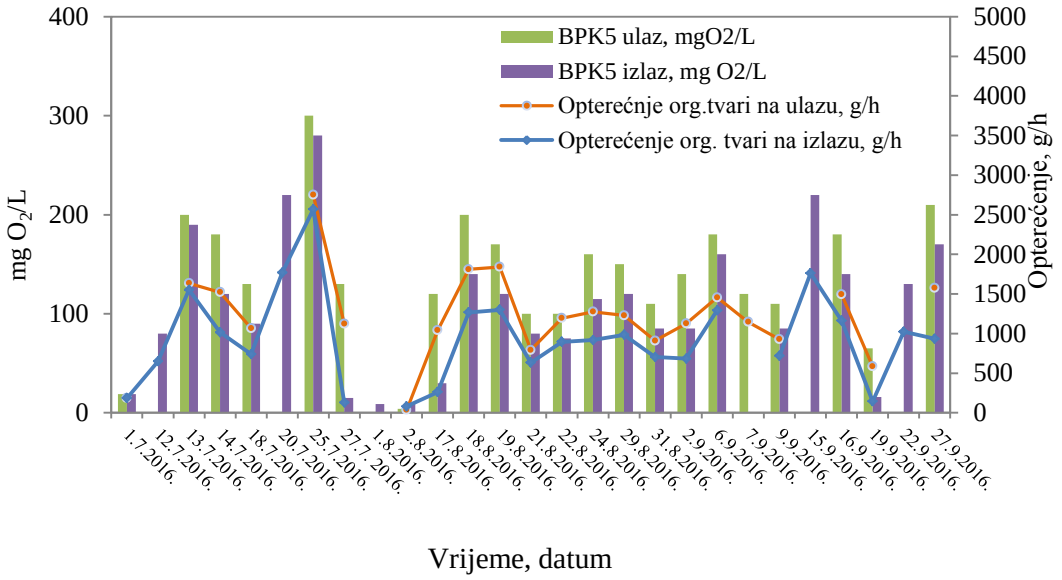



a)

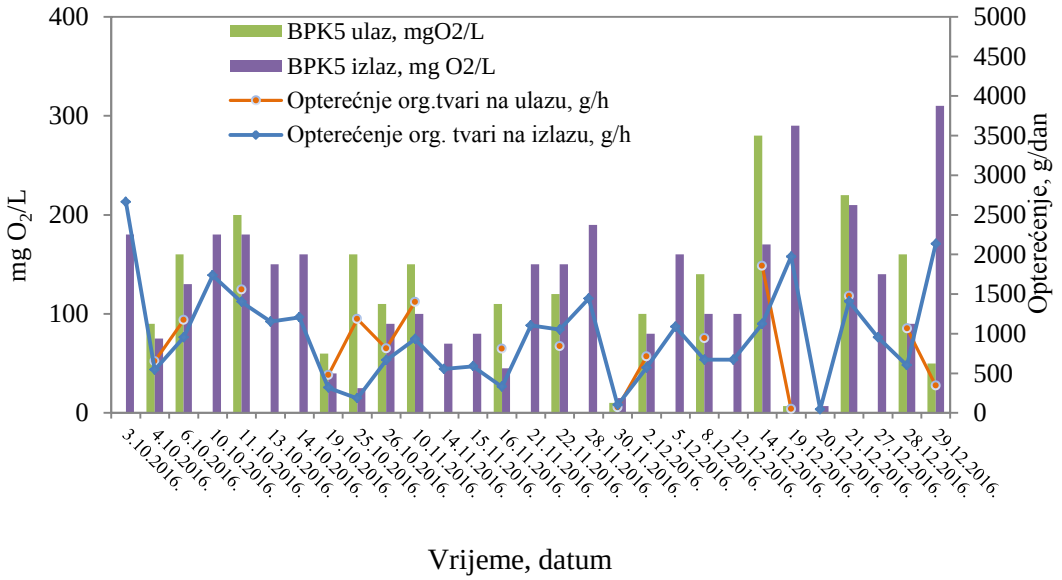



b)

Slika 3.19. Usporedni prikaz rezultata određivanja $BPK_5$ vrijednosti i opterećenja organskom tvari na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) siječanj - ožujak, b) travanj - lipanj.




a)




b)

Slika 3.20. Usporedni prikaz rezultata određivanja $BPK_5$ vrijednosti i opterećenja organskom tvari na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

Rezultati pokazuju oscilacije opterećenja s raspršenom i organskom tvari a koje ukazuju da su opterećenja izravno ovisna o sastavu i količini otpadnih voda koje dolaze na Uređaj. U vrijeme povećanog protoka opterećenje je znatno više od vrijednosti tijekom prosječnog protoka. Isto tako, u uzorcima u kojima su vrijednosti raspršene tvari i $BPK_5$ povećane, uočava se znatno veće opterećenje.

Kako na UPOV Šibenik uz gradske otpadne vode mogu dospijevati i vode iz industrijskih pogona, rezultati dnevnog praćenja raspršene tvari i $BPK_5$ preračunati su na broj ekvivalentnih stanovnika (ES). Broj ES označava jedinicu opterećenja kojom se brojčano izražava ukupno opterećenje otpadne vode kao broj stanovnika koji proizvodi otpadnu vodu s istim ukupnim onečišćenjem. S obzirom da otpadna voda iz kućanstva sadrži prosječno biorazgradljive organske tvari izražene kao $BPK_5$ a iznosi 60 g $O_2$/st. dan, odnosno 70 g raspršene tvari/ st. dan, izračunata su opterećenja otpadnih voda UPOV Šibenik izraženog preko broja ES.

Rezultati su prikazani u tablici 3.12.

Tablica 3.12. Opterećenja otpadnih voda na UPOV Šibenik izražena preko broja ekvivalentnih stanovnika (ES).

| Vremensko razdoblje | $Protok_{sr.}$ $m^3$/dan | Raspršena tvar $_{sr.}$ mg/L | Opterećenje rasprš.tvari, $\cdot 10^{-3}$ g/dan | $BPK_{5sr.}$ $mgO_2/L$ | Opterećenje org.tvari, $\cdot 10^{-3}$ g/dan | ES rasprš. tvari | ES org.tvari |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| prvo tromjesečje (siječanj - ožujak) | 8847 | 212 | 1876 | 172 | 1522 | 26800 | 25366 |
| drugo tromjesečje (travanj - lipanj) | 8466 | 223 | 1888 | 173 | 1465 | 26971 | 24417 |
| treće tromjesečje (srpanj - rujan) | 8676 | 209 | 1813 | 140 | 1215 | 25900 | 20250 |
| četvrto tromjesečje (listopad - prosinac) | 7502 | 184 | 1380 | 125 | 938 | 19714 | 15633 |
| srednja vrijednost na godišnjoj razini | 8373 | 207 | 1733 | 153 | 1281 | 24757 | 21350 |

*Napomena:* Opterećenje = koncentracija · protok
[g/h] [g/$m^3$] [$m^3$/h]

ES rasprš. tvari = opterećenje rasprš. tvari / 70 g raspršene tvari/ st. dan

ES org. tvari = opterećenje org. tvari / 60 g $O_2$/st. dan

Pri izračunavanju ukupnog opterećenja štetnom tvari izraženom preko broja ekvivalentnih stanovnika uzima se veća vrijednost ES - a. Ukupni ES na UPOV Šibenik tijekom 2016. godine iznosi ES = 26 971, a što je u okviru projektne vrijednosti za prvu fazu izgradnje.

# 4. ZAKLJUČAK

Na temelju eksperimentalnih rezultata analize uzoraka otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV Šibenik tijekom 2016. godine mogu se izvesti slijedeći zaključci:

- Vrijednosti rezultata temperature, pH, vodljivosti, klorida, taložive tvari, raspršene tvari, KPK i $BPK_5$ osciliraju u širokom rasponu minimalnih i maksimalnih vrijednosti, što je posljedica mješovitog sustava s kojeg otpadna voda dolazi na uređaj.
- Vrijednosti rezultata temperature ispod su graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom. To dalje ukazuje da ispuštanjem otpadnih voda u recipijent nema opasnosti od termalnog onečišćenja.
- Rezultati praćenja protoka ukazuju da padaline nemaju značajan utjecaj na neravnomjernosti u protoku, dok je značajniji utjecaj turističke sezone.
- Vrijednosti rezultata pH su ispod graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom.
- Povećane vrijednosti električne vodljivosti ukazuju da se radi o boćatoj vodi.
- Povećane vrijednosti klorida ukazuju na utjecaj mora i upliva morske vode u kanalizacijski sustav. Povećana koncentracija klorida uzrokuje pojačanu koroziju i negativno će utjecati i na proces biološke obrade koji se planira nadograditi na uređaju.
- Srednje vrijednosti taložive tvari otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV-a pokazuju znatna odstupanja od graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom za ispust u površinske vode, ali su unutar graničnih vrijednosti za ispust u kanalizacijski sustav te vrijednosti propisanih Vodopravnom dozvolom.
- Srednje vrijednosti raspršene tvari na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini prelaze granične vrijednosti propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom. To ukazuje na povećanu mutnoću otpadne vode te na potrebu stavljanja u funkciju primarnog taložnika kojim bi se iz otpadne vode uklonila raspršena tvar i time olakšao drugi stupanj biološke obrade.
- Srednje vrijednosti KPK i $BPK_5$ na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini su daleko izvan graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom, ali su unutar vrijednosti propisanih Vodopravnom dozvolom.
- Analizom biorazgradljivosti otpadne vode dobivene su vrijednosti koje ukazuju da se otpadna voda nakon postojeće obrade može podvrgnuti biološkoj obradi.

- Vrijednosti rezultata opterećenja s raspršenom tvari i opterećenja s organskom tvari potvrđuju da su za opterećenje uređaja važni i protok i koncentracija.
- Izračunato je opterećenje otpadnih voda izraženo preko broja ekvivalentnih stanovnika (ES) u iznosu od ES = 26 971, što je u okviru projektne vrijednosti za prvu fazu izgradnje.

# 5. LITERATURA

1. D. Mayer, *Voda od nastanka do upotrebe*, Prosvjeta, Zagreb, 2004.

2. S. Tedeschi, *Zaštita voda*, HGDI, Zagreb, 1997.

3. Hrvatske vode, *Strategija upravljanja vodama*, Zagreb, ožujak. 2009.

4. A.Y. Hoekstra, A. K. Chapagain, M. M. Aldaya, M. M. Mekonnen, *The Water Footprint Assessment Manual*, Earthscan Ltd, London, 2011.

5. A. Grubelić, *Razvoj vodoopskrbe i odvodnje šibenske regije*,Vodovod i odvodnja d.o.o., Šibenik, 2016.

6. URL:https://www.google.hr/maps/place/%C5%A0ibenik/@43.7395913,15.8638278,10828m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x13352615d088d09d:0x400ad50862bcc20!8m2!3d43.7350196!4d15.8952045 (7.6.2017.)

7. Idejni projekt, *Dogradnja i rekonstrukcija Uređaja za pročišćavanje otpadnih voda aglomeracije Šibenik*, Hidroing d.o.o., Osijek, svibanj. 2015.

8. URL:http://www.apartmani-caleta-sibenik.com/images/visit/krka3.jpg (7.6.2017.)

9. URL:http://www.vodovodsib.hr/povijest/ (9.6.2017.)

10. URL:http://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/plan_vodoopskrbe_sibensko-kninske_zupanije_tekst.pdf (9.6.2017.)

11. URL:https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana_Jaruga#/media/File:Krka01049.JPG (9.6.2017.)

12. B. Nadilo, *Kanalizacijski sustav grada Šibenika*, Građevinar **55** (2003) 10.

13. J. Perić, N. V. Medvidović, I. Nuić, *Inženjerstvo otpadnih voda*, Priručnik za laboratorijske vježbe, Kemijsko - tehnološki fakultet Split, 2012.

14. URL:https://uk.hach.com/cod-tnt-0-1500-mg-l-o-sub-2-sub/product?id=24929257874# (9.7.2017.)

15. URL:http://www.ru-ve.hr/proizvod/biolo-scaron-ka-potro-scaron-nja-kisika-bpk-samo-testiranje-90-198 (9.7.2017.)

16. Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda Narodne novine 80/13.

17. Vodopravna dozvola KLASA UP/I-325-04/14-05/374

18. URL:http://klima.hr/spi.php?id=postaja&Godina=&Mjesec=&Code=SIBENIK (14.7.2017.)

19. URL:https://hr.wikipedia.org/wiki/Kakvo%C4%87a_vode#Elektri.C4.8Dna_vodljivost (14.7.2017.)

20. J. Perić, N. V. Medvidović, *Inženjerstvo otpadnih voda,* Recenzirani nastavni materijal, Kemijsko - tehnološki fakultet Split, 2014.