

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: **2024-08-16**

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 BPK₅. 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 граниčnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 80/13 i Vodopravnom dozvolom. Analizirana je biorazgradljivost otpadne vode analizom omjera BPK₅/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 BOD₅. 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 BOD₅/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, associate prof. | member |
| 3. PhD, Nediljka Vukojević Medvidović, associate prof. | supervisor |

Defence date: 31. October. 2017.

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited 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 BPK₅.
- 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 BPK₅. 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 BPK₅/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, settleable solids, suspended solid, COD and BOD₅. 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 BOD₅/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 uvijete¹.

Hrvatska je po dostupnosti i bogatstvu vodnih izvora na vrlo visokom 5. mjestu u Europi, a na 42. u svijetu². Obiluje izvorima vode, površinskim i podzemnim tokovima. 90 % vodoopskrbe u Hrvatskoj osigurava se iz zaliha podzemnih voda³.

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 svježih vode i nastanak otpadne vode svede na minimum. Treba prvenstveno uspostaviti stabilnu ravnotežu 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 voda⁴.

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 more⁵.



Slika 1.1. Lokacija grada Šibenika⁶.

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 mjestima⁷.



Slika 1.2. Rijeka Krka⁸.

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 Šibenika⁹.

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 Lozovcu¹⁰.



Slika 1.3. Crpilište i hidroelektrana Jaruga¹¹.

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 luke⁵.

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 voda¹².

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 sustav⁵ (slika 1.4.).

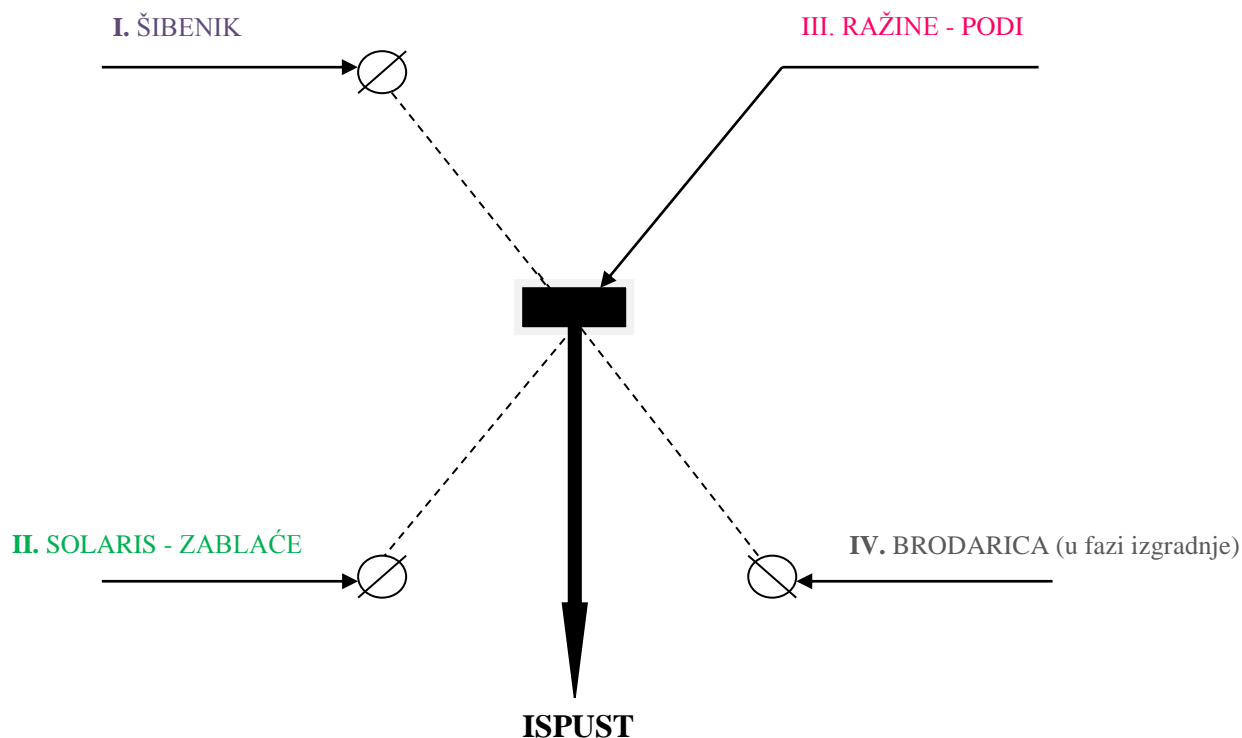


Slika 1.4. Shema kanalizacijskog sustava Šibenika¹².

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 odvođe izravno na UPOV Šibenik. Ostala područja jugoistočno od centra Šibenika i jugozapadno od centra nemaju izgrađene kanalizacijske sustave⁷. 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 sustava⁵.

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 Šibenika⁵.

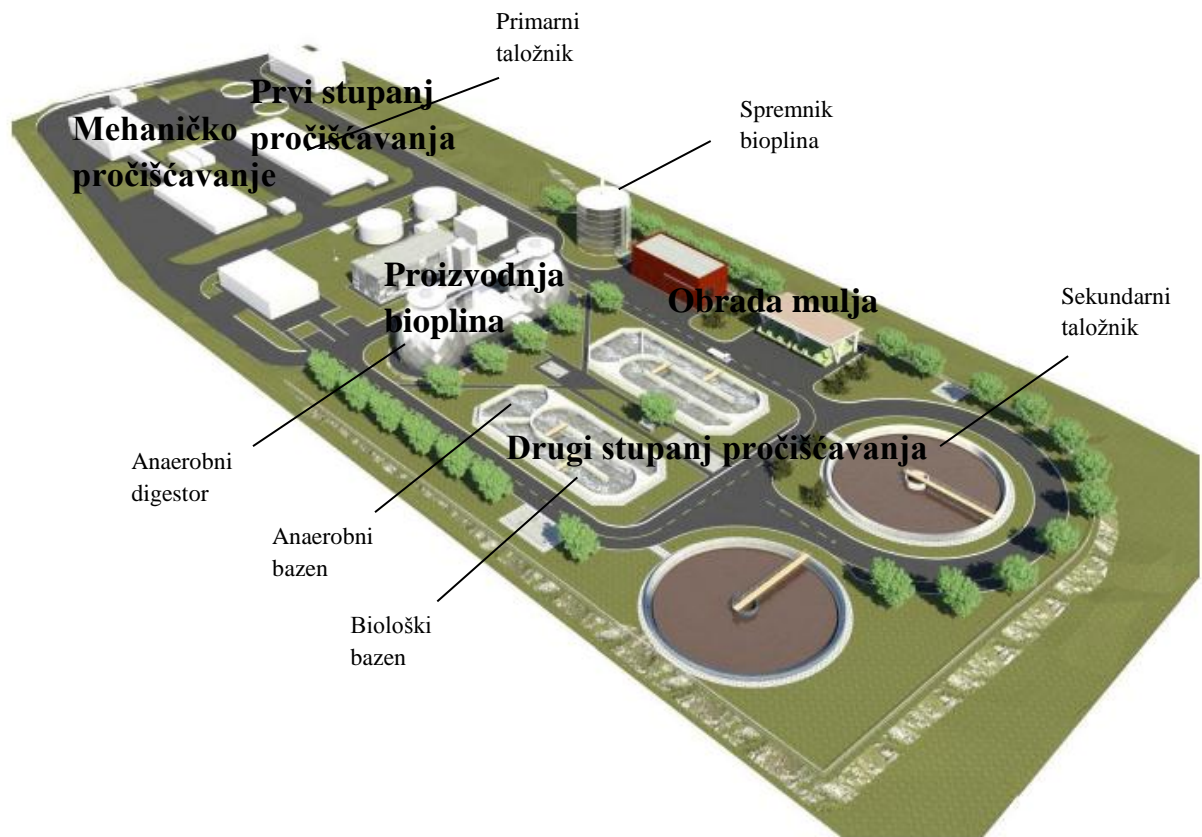
UPOV Šibenik je izgrađen na lokaciji Pećine (slika 1.7.) koja je udaljena tri kilometra od grada, a namjena mu je pročišćavanje otpadnih voda grada Šibenika i okolice prije ispuštanja u more.



Slika 1.7. Lokacija uređaja⁷.

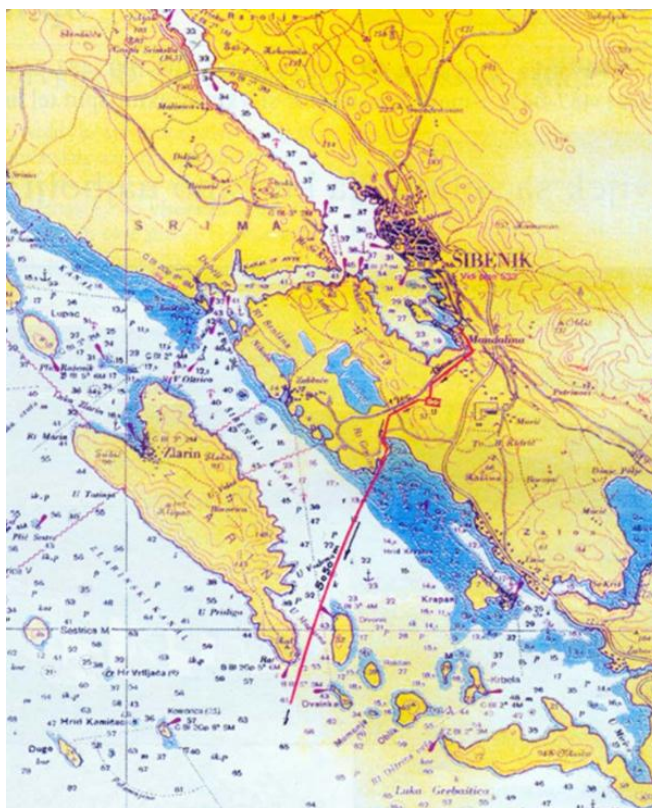
Izgradnja je predviđena u dvije faze. I. faza uređaja podrazumijeva uređaj veličine $N < 100.000$ ES uz prethodni mehanički stupanj pročišćavanja. Faza II. obuhvaća biološko pročišćavanje otpadne vode s obradom mulja anaerobnom digestijom, a dobiveni plin bi se koristio u kogeneracijskom postrojenju za proizvodnju topline potrebne za proces i proizvodnju dijela električne energije potrebne za rad UPOV-a⁵.

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 Šibenik⁷.

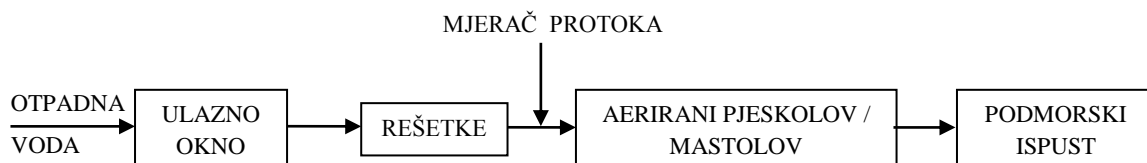
Trenutno se UPOV Šibenik sastoji od mehaničkog predtretmana na koji se nastavlja podmorski ispušt. Glavni i ispusni kanal UPOV-a (slika 1.10.) kojim se pročišćeni efluent uz pomoć gravitacije ispušta u Zlarinski kanal ima kopnenu dionicu dugačku 1 900 m i podmorsku dionicu dugačku 5 100 m. Pročišćeni efluent se ispušta difuzorima na 60 m dubine².



Slika 1.10. Shema podmorskog ispusta u otvoreno more južno od Zlarina¹².

1.2.1. Opis mehaničkog pročišćavanja

Mehaničko pročišćavanje otpadnih voda UPOV Šibenika obuhvaća ulazno okno, rešetke, mjerač protoka, pjeskolov/mastolov i podmorski ispušt. 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 prenosni 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 rešetki⁹.



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 reškama 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 odvede 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.).



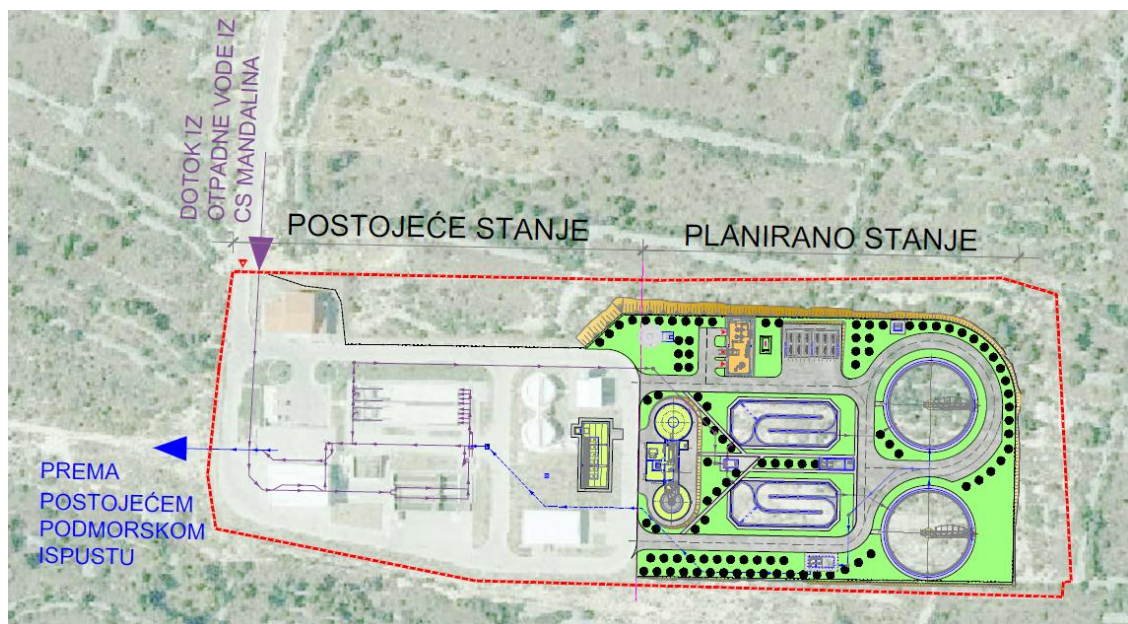
Slika 1.20. Klasirer pijeska.

Takva pročišćena voda odlazi do **pomorskog ispusta** (slika 1.10.). Ispuštena količina vode je cca 8000 m³/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.



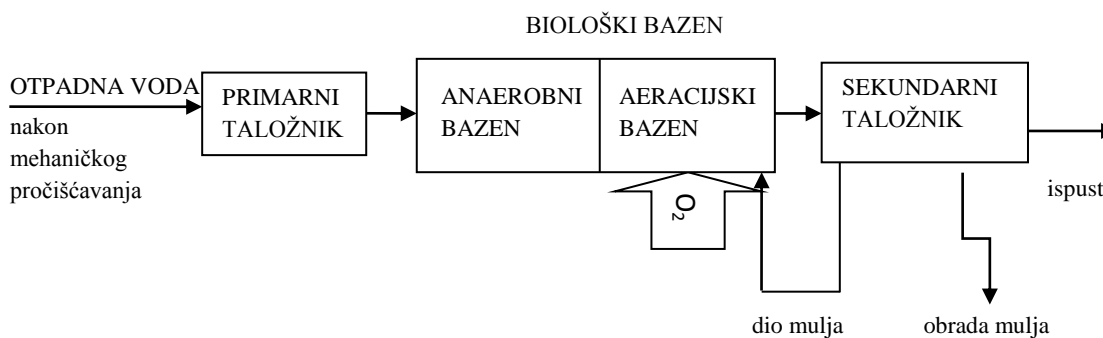
Slika 1.21. Primarni taložnik.



Slika 1.22. Prikaz postojećeg i planiranog stanja⁷.

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.

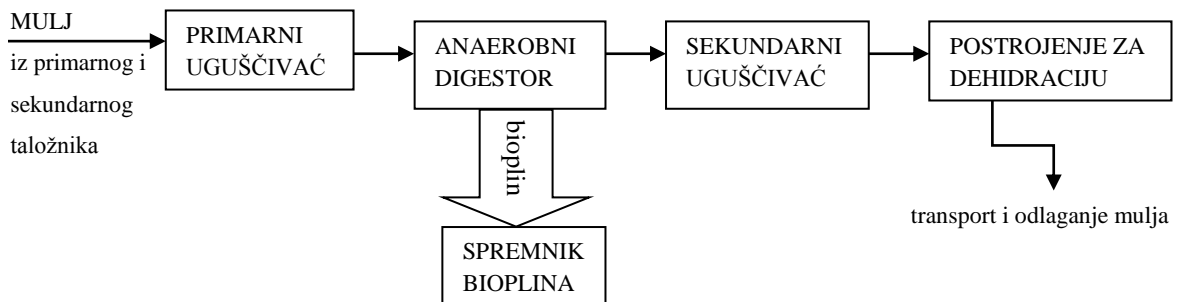
Biološki stupanj pročišćavanja otpadnih voda planira se odvijati u kombiniranom procesu pročišćavanja postupkom aktivnog mulja. U ovom stupnju pročišćavanja odstranit će se organsko onečišćenje kao i čestice raspršenih tvari. Samo pročišćavanje otpadnih voda obavljaju mikroorganizmi koji su glavni čimbenik 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 mulja⁷.

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 ugušćivač. 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. Obradeni mulj je potpuno stabiliziran te se nakon određenog vremenskog perioda transportira u sekundarne ugušćivače 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 mulja⁷.

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. $5,5 \text{ kWh/m}^3$. S obzirom na dnevnu proizvodnju bioplina i energetska vrijednost, odabirat će se kogeneracijska jedinica nazivne električne snage od 190 kW i toplinskog izlaza od 238 kW. Navedeno postrojenje ima potrošnju bioplina od $75,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Planira se svu proizvedenu električnu energiju kogeneracijskog postrojenja potrošiti unutar uređaja za počišćivanje otpadnih voda. Planirani smještaj kogeneracijske CHP jedinice je u zgradi digestije⁷.

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 BPK₅.

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 pH101, 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 kalijeve - kromata kao indikatora.

Kemikalije:

Otopina AgNO_3 koncentracije $c(\text{AgNO}_3) = 0,1 \text{ mol/L}$ - 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 kalijeve 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 natrijeve 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.

Proračun:

$$\text{mg (Cl) / L} = \frac{(V_s - V_b) \cdot c \cdot f \cdot R \cdot M(\text{Cl})}{V_a}, \text{ mg/L} \quad (2-1)$$

gdje je:

V_s - volumen AgNO_3 utrošen za titraciju uzorka, mL

V_b - volumen AgNO_3 utrošen za titraciju slijepe probe, mL

V_a - 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

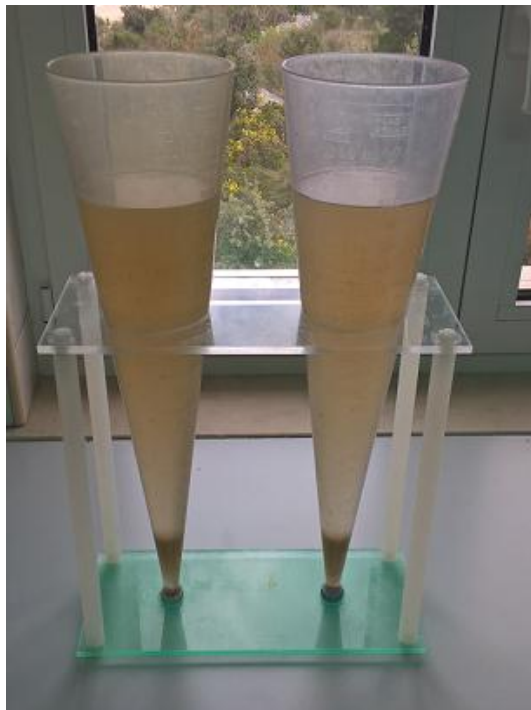
Određivanje taloživih tvari, odnosno čestica u suspenziji koje se istalože pod djelovanjem sile gravitacije tijekom određenog vremenskog perioda, provodi se u taložnicima po Imhoff-u.

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:

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



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 filtera 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 filter (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 filter postane gotovo suh, isključi se vakuum pumpa, pincetom se pažljivo skinje filter s lijevka te se filter suši na 105°C u trajanju od 1-1,5 sat (slika 2.5.b)). Filter 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:

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

gdje je:

b - masa filtra s talogom, mg

a - masa filtra prije filtriranja, mg

V - volumen uzorka, L.

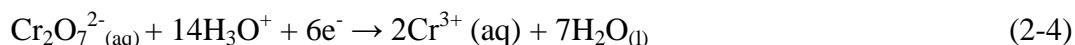
2.2.5. Određivanje kemijske potrošnje kisika

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 O₂/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 kiveteta.

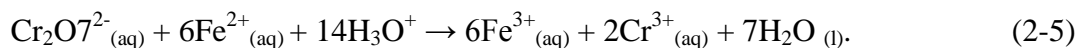
Princip određivanja bikromatnom metodom:

Oksidacija s K₂Cr₂O₇ se provodi ključanjem uzorka uz reflux u jako kiseloj otopini koja se postiže dodatkom koncentrirane H₂SO₄ i uz Ag₂SO₄ kao katalizatora koji potpomaže bolju oksidaciju organskih sastojaka. Višak bikromata titrira se amonijevim željezo(II)sulfat heksahidratom, Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O, uz indikator feroin. Oksidacija sastojaka u vodi pomoću bikromata, a zatim titracija s Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O zbiva se prema reakcijama:

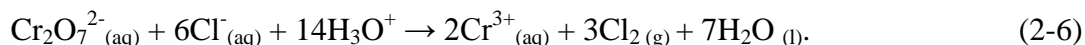
- oksidacija tvari s K₂Cr₂O₇, uz njegovu redukciju do Cr³⁺:



- titracija neizreagiranog bikromata s Fe(II) iz Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O:



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



Pri niskim koncentracijama kloridnih iona, oksidacija s bikromatom može se zanemariti, dok se pri visokim koncentracijama oksidacija sprječava dodatkom HgSO₄¹³.

Kemikalije:

- COD 0 - 1500 mg/L, HACH

Opis postupka:

Određivanje KPK provodi se u test kivetama COD TNT, 0 - 1500 mg/L O₂ (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 (Cr₂O₇²⁻) do zelenog kromatnog iona (Cr³⁺). Kada se koristi kolorimetrijska metoda od 0 - 150 mg/L, utvrđuje se preostala količina šesterovalentnog kroma (Cr⁶⁺). Kada se koriste kolorimetrijske metode od 0 - 1500 mg/L ili od 0 - 15000 mg/L, utvrđuje se proizvedena količina kromatnog iona (Cr³⁺). 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 TNT¹⁴.

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 ugriyani grijač 2 sata. Na isti način se pripremi i slijepa proba. Po završetku se ugasi grijač i pričekava 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 kolorimetrijska metoda. Na uređaju UPOV Šibenik se za određivanje BPK₅ 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 CO₂, 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 BPK₅ vrijednost¹³. Na slici 2.10. prikazana je boca s OxiTopom i instrumentalni set za određivanje BPK₅ manometarskom metodom.



a)



b)

Slika 2.10. a) Boce s Oxi Topom, b) instrumentalni set za određivanje BPK₅ manometarskom metodom¹⁵.

Kemikalije:

- Tablete NaOH
- Inhibitor nitrifikacije.

Proračun:

Prvo se izračuna očekivani BPK₅ uzorka prema vrijednosti KPK prema jednadžbi (2-7):

$$\text{OČEKIVANI BPK}_5 = 0,8 \times \text{KPK}, \quad \text{mg O}_2/\text{L} \quad (2-7)$$

Zatim se odabire potrebni volumen uzorka prema dobivenoj vrijednosti BPK₅ koje su prikazane u tablici 2.2.

Tablica 2.2. Vrijednosti potrebnih volumena uzorka prema dobivenoj vrijednosti BPK₅.

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 BPK₅ vrijednost.

Eksperimentalni podaci određivanja pH vrijednosti, temperature, električne vodljivosti, klorida, taložive tvari, koncentracije raspršene tvari, KPK i BPK₅ 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
8.3.2016.	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. - rujanj 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
čtvrtro 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 BPK₅.

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.

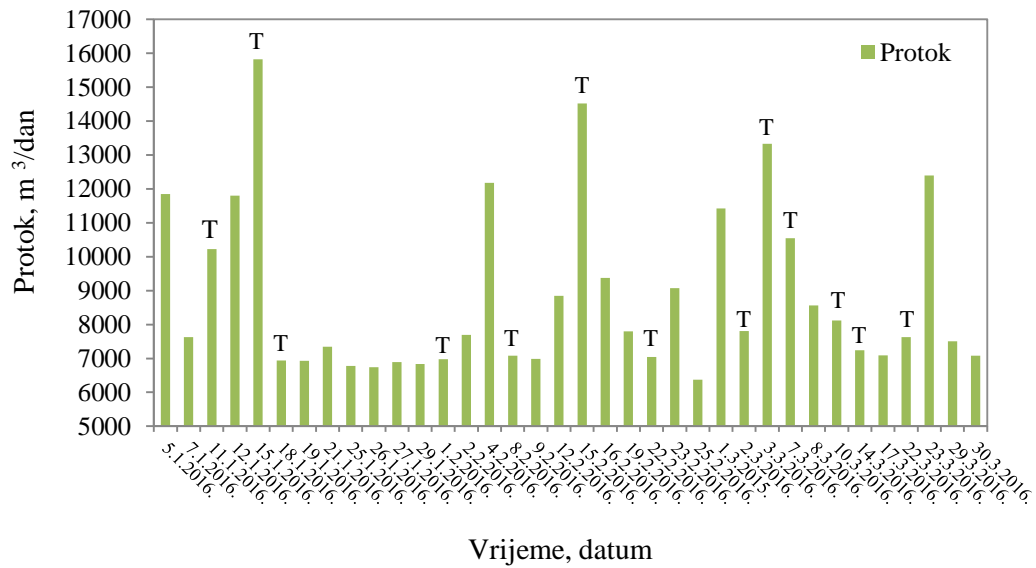
Vremensko razdoblje	Ulaz			Izlaz			T _{Pravilnik}		T _{V.D.}
	T _{min}	T _{max}	T _{sr}	T _{min}	T _{max}	T _{sr}	Pov. vode	Sus. jav. odvodnje	
prvo tromjesečje (siječanj - ožujak)	10,3	19,4	14,3	9,2	19,5	14,3	30	40	30
drugo tromjesečje (travanj - lipanj)	9,9	22,9	17,4	9,8	22,6	17,6			
treće tromjesečje (srpanj - rujanj)	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, °C, T _{max} - maksimalna vrijednost temperature u ispitivanom vremenskom razdoblju, °C, T _{sr} - srednja vrijednost temperature u ispitivanom vremenskom razdoblju, °C, T _{Pravilnik} - vrijednost temperature prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 80/13, °C ¹⁶ , T _{V.D.} - srednja vrijednost temperature prema Vodopravnoj dozvoli, °C 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 - rujanj). 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.

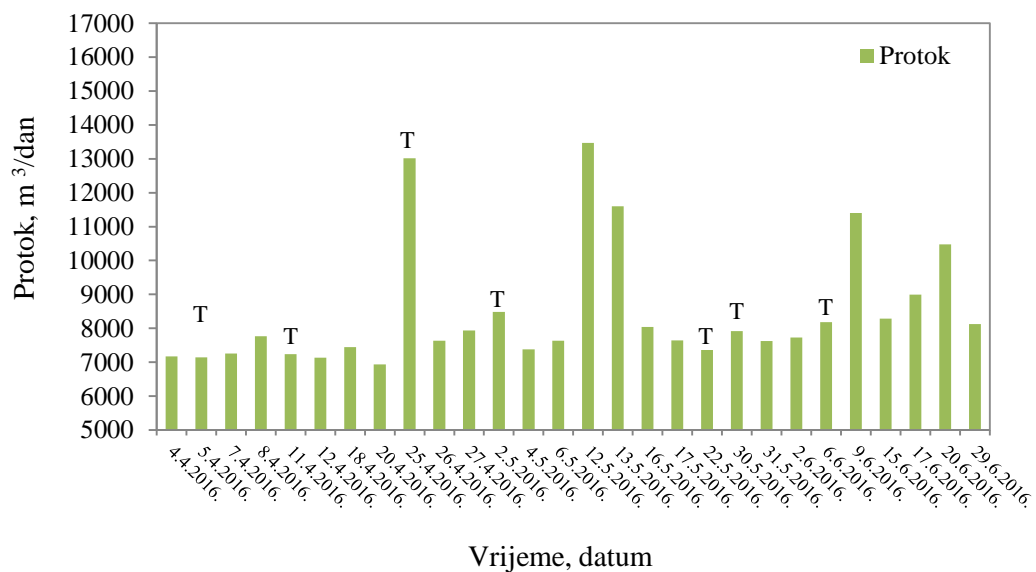
Rezultati praćenja protoka otpadne vode s UPOV-a Šibenik, prikazani u tablici 2.3., analizirani su na način da su uspoređene minimalne, maksimalne i srednje

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.

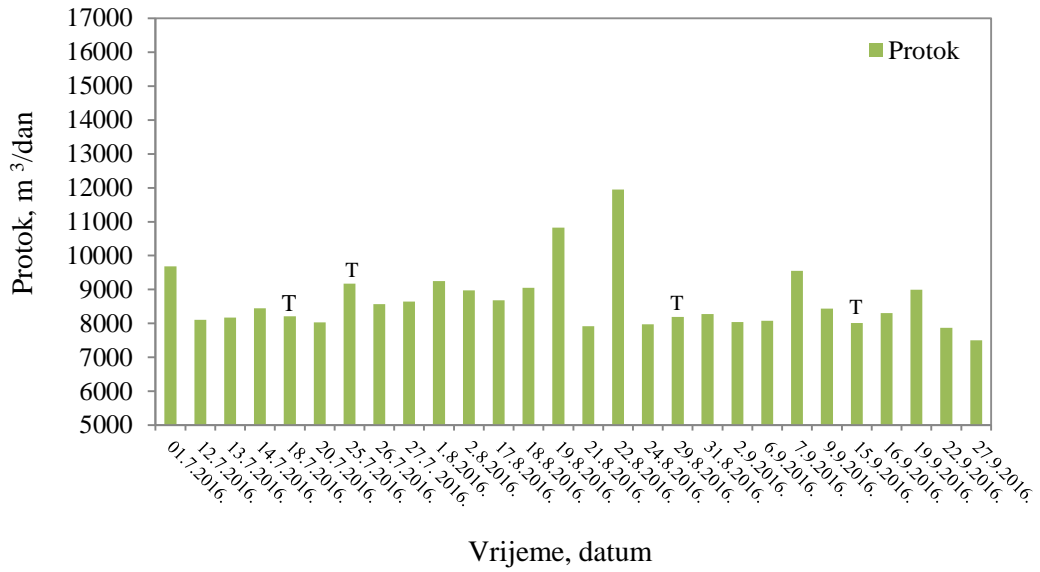


a)

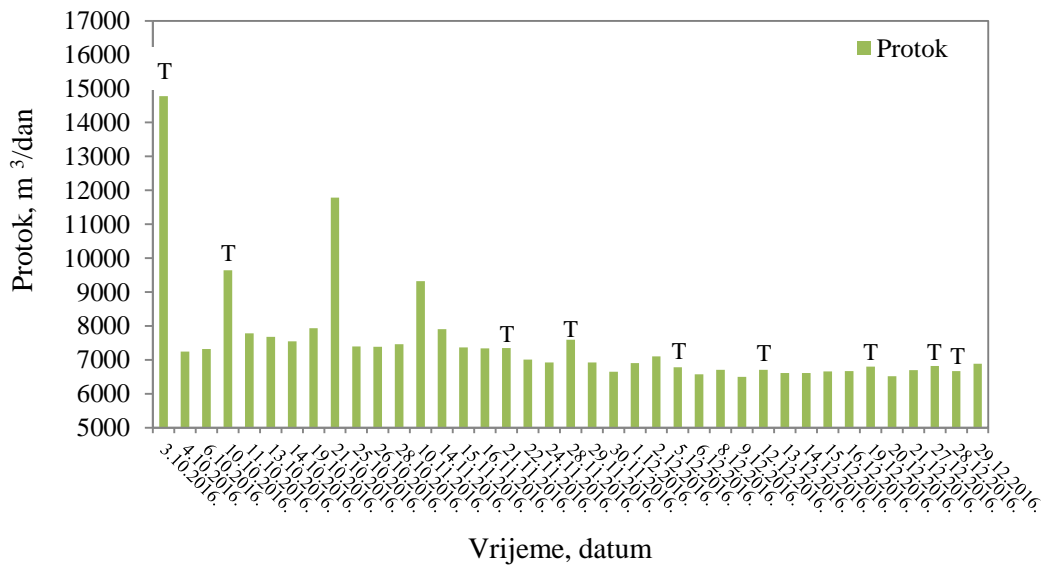


b)

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 - rujna, b) listopada - 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 - rujanj)	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 / sušno¹⁸. Prema rezultatima prikazanim u tablici 3.2.

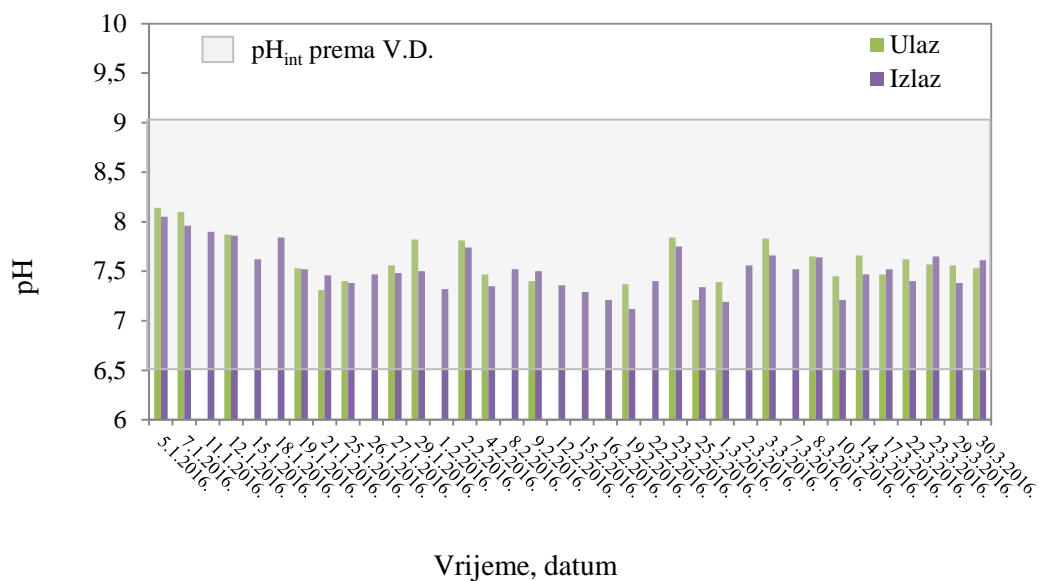
vidljivo je da se povećana količina otpadnih voda u prvom tromjesečju može povezati s povećanom količinom padalina, dok isto ne vrijedi za drugo i treće tromjesečje.

3.1.2. Analiza pH vrijednosti

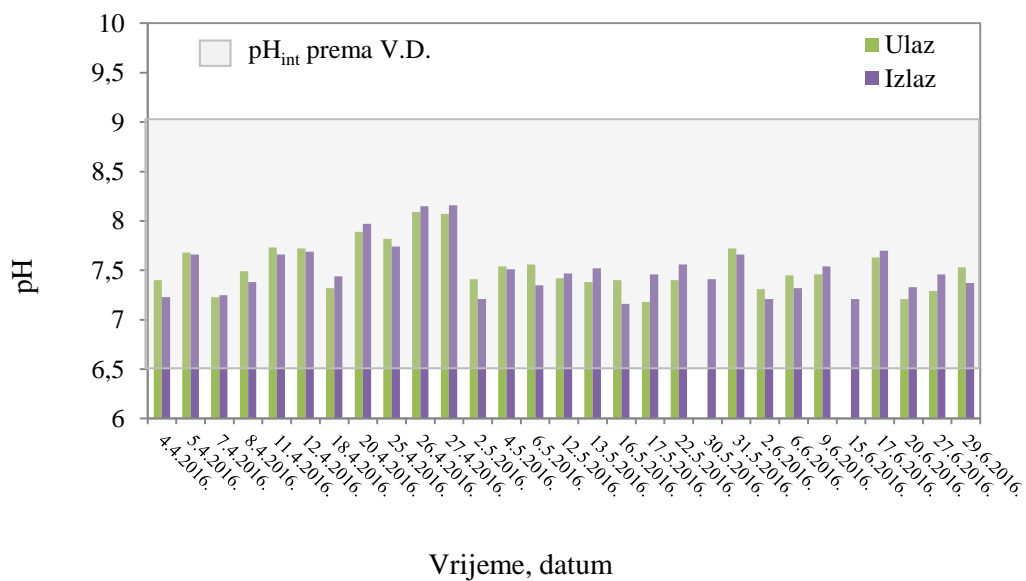
Rezultati praćenja pH vrijednosti otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisanih Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom na slikama 3.3. i 3.4. Također, rezultati su analizirani na način 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 - rujanj)	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, -.									

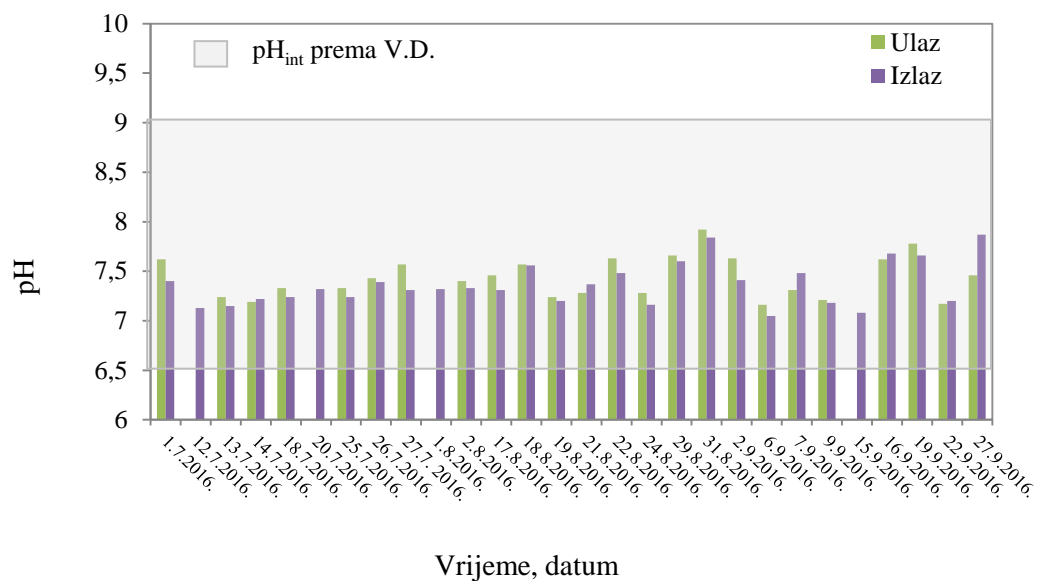


a)

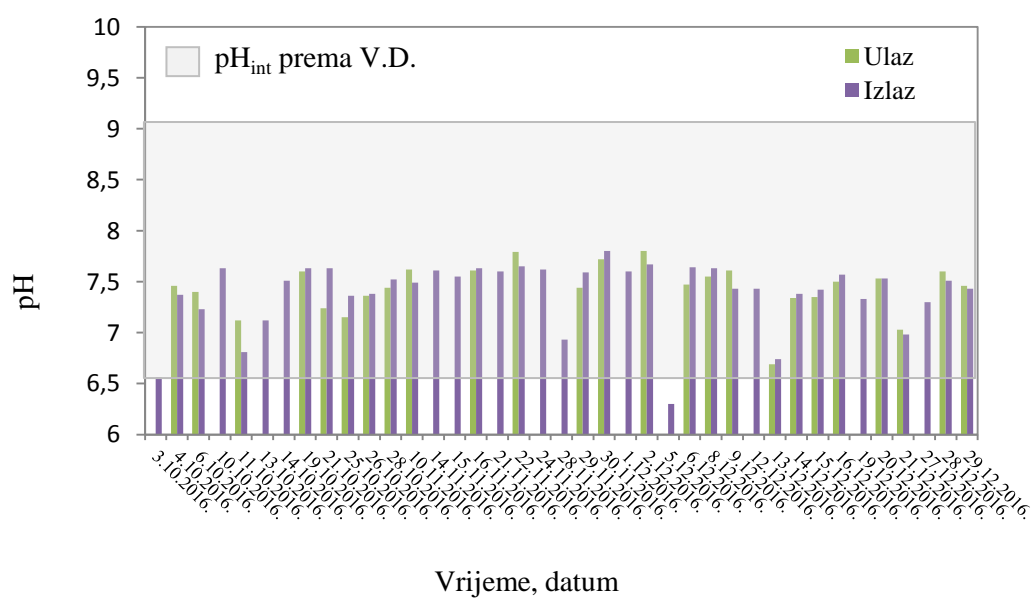


b)

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 - rujanj, 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_{\min} 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).

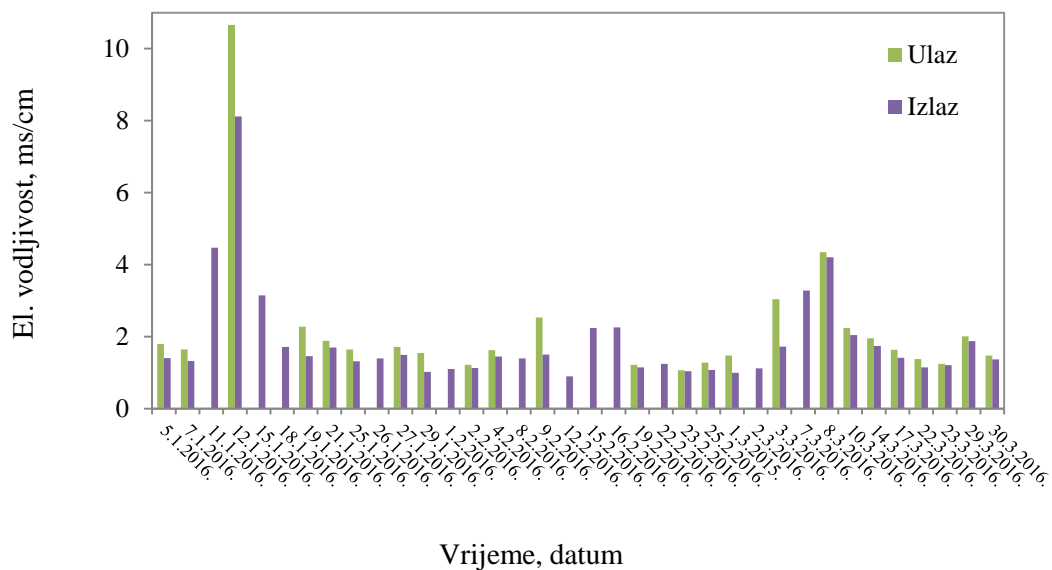
Srednja vrijednost pH otpadne vode na ulazu i izlazu iz uređaja kao i srednja vrijednost na godišnjoj razini ukazuje da se radi o neutralnim i blago lužnatim otpadnim vodama. Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti pH na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini su unutar graničnih 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

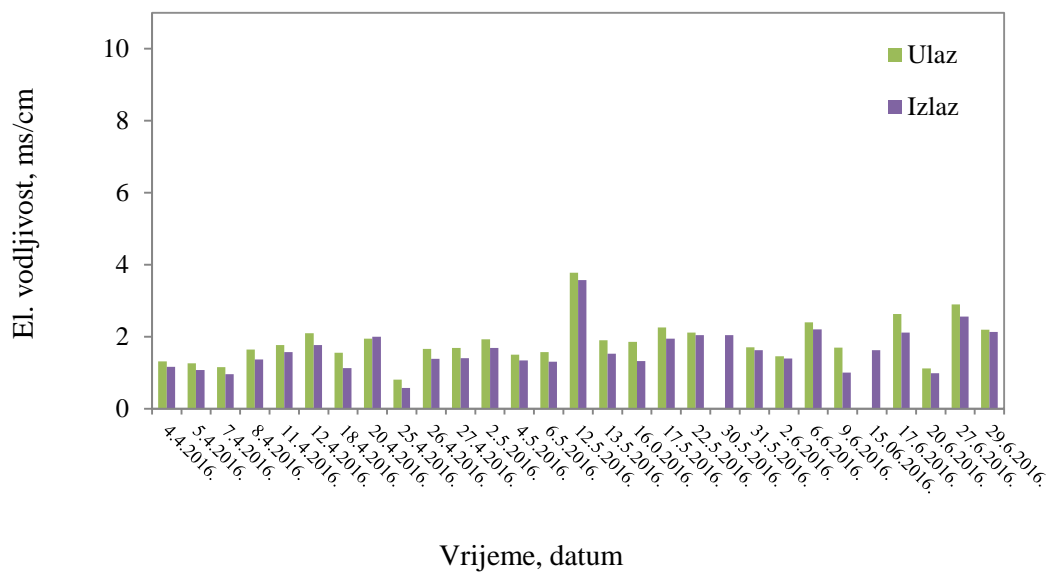
Rezultati praćenja električne vodljivosti otpadne vode na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini na slikama 3.5. i 3.6. Vrijednosti električne vodljivosti nisu propisane Pravilnikom ni Vodopravnom dozvolom. Također, rezultati su analizirani 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			K _{Pravilnik}		K _{v.D.}
	K _{min}	K _{max}	K _{sr}	K _{min}	K _{max}	K _{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 - rujanj)	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: <p style="margin-left: 40px;">K_{min} - minimalna vrijednost el. vodljivosti u ispitivanom vremenskom razdoblju, ms/cm, K_{max} - maksimalna vrijednost el. vodljivosti u ispitivanom vremenskom razdoblju, ms/cm, K_{sr} - srednja vrijednost el. vodljivosti u ispitivanom vremenskom razdoblju, ms/cm.</p>									

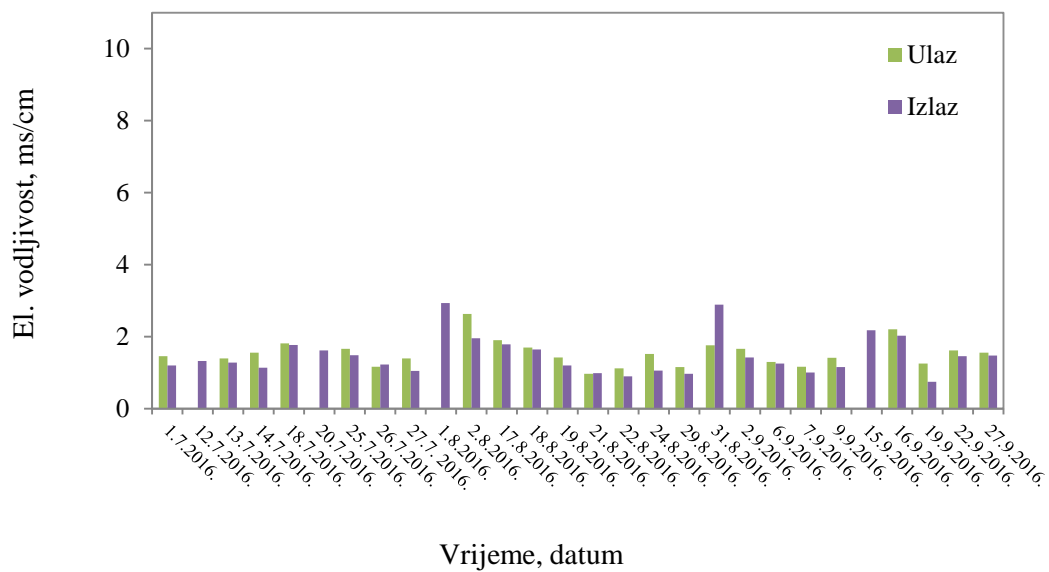


a)

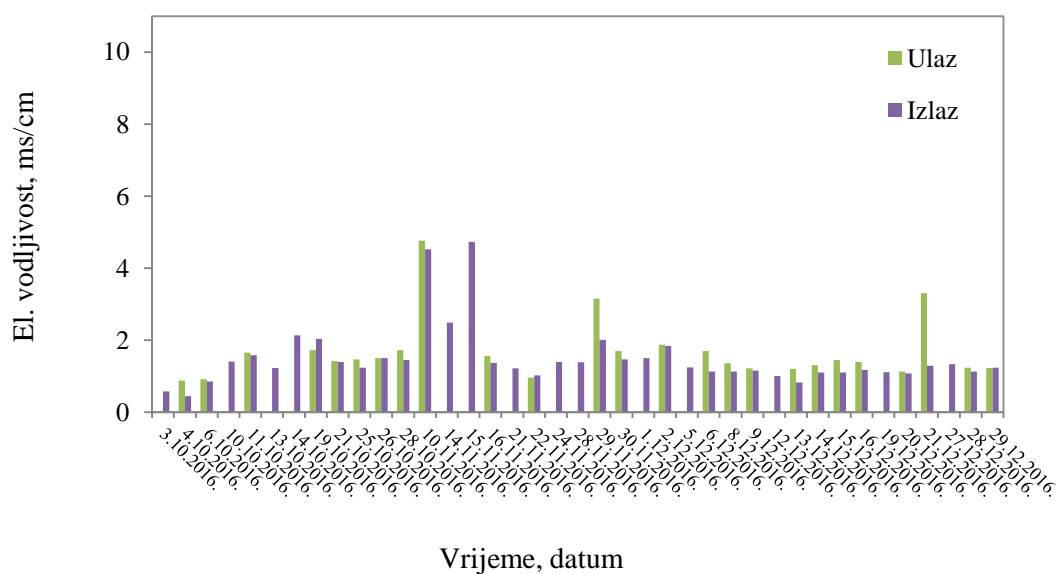


b)

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 vodljivosti¹⁹.

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

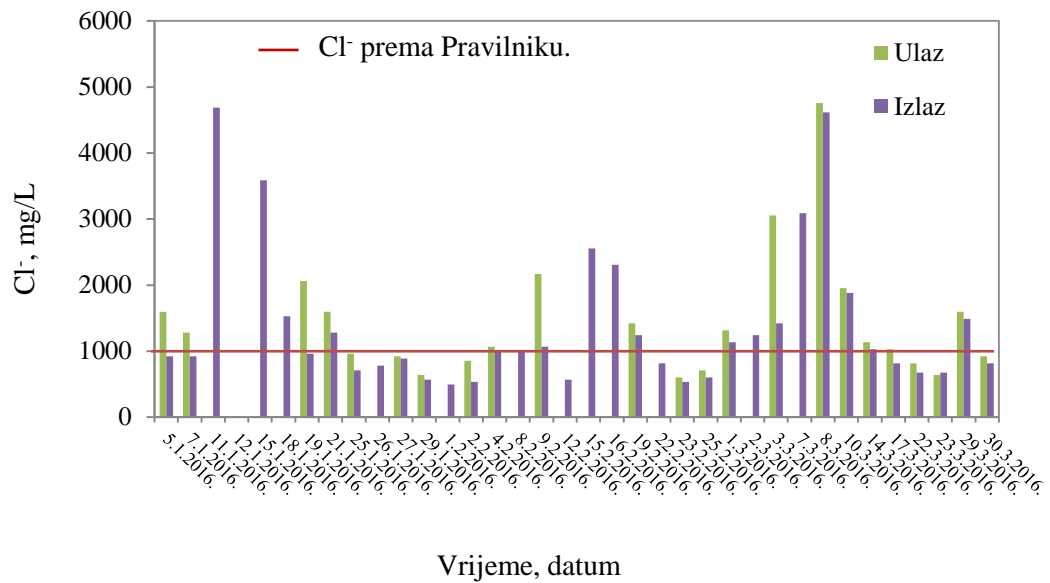
Povećana vodljivost ukazuje na prisutnost ionski otopljenih tvari u otpadnoj vodi. Najveće oscilacije i najviše vrijednosti električne vodljivosti uočene su u prvom tromjesečju. Također, povećana vodljivost ukazuje da se radi o iznimnoj bočatoj vodi, što je i za očekivati, s obzirom da se radi o mješovitom 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

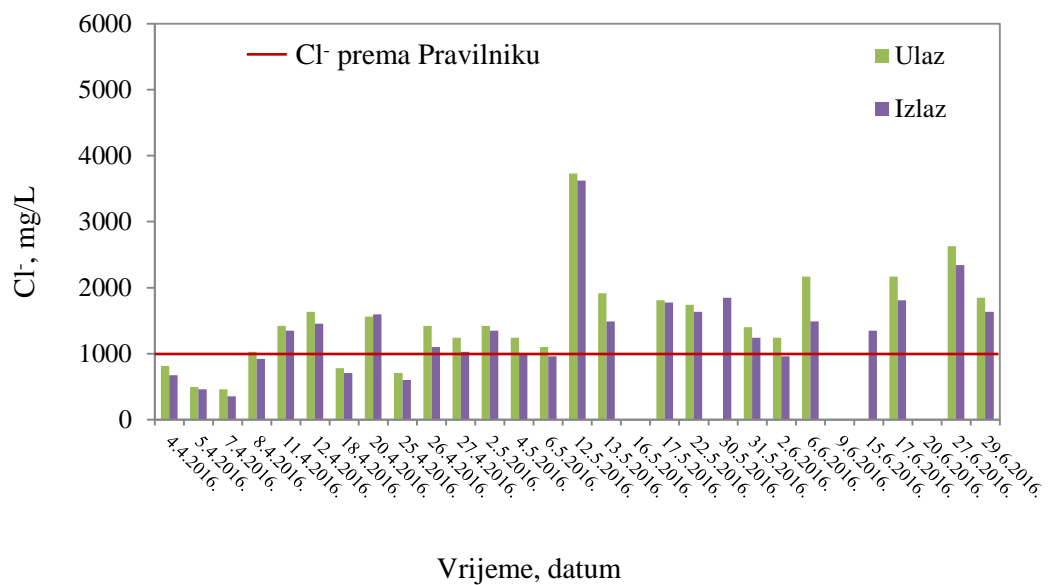
Rezultati praćenja sadržaja klorida u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisanih Pravilnikom na slikama 3.7. i 3.8. Također, rezultati su analizirani na način da su uspoređene minimalne, 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			$\gamma_{\text{Pravilnik}}$		$\gamma_{\text{v.D.}}$
	γ_{min}	γ_{max}	γ_{sr}	γ_{min}	γ_{max}	γ_{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 - rujanj)	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: γ_{min} - minimalna vrijednost klorida u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L, γ_{max} - maksimalna vrijednost klorida u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L, γ_{sr} - srednja vrijednost klorida u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L, $\gamma_{\text{Pravilnik}}$ - vrijednost klorida prema Pravilniku, mg/L.									

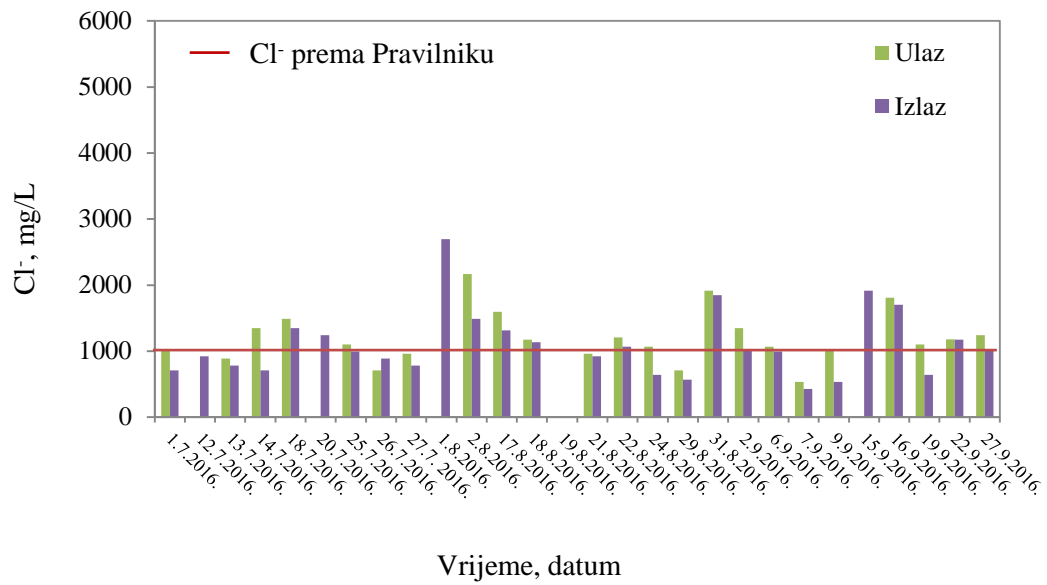


a)

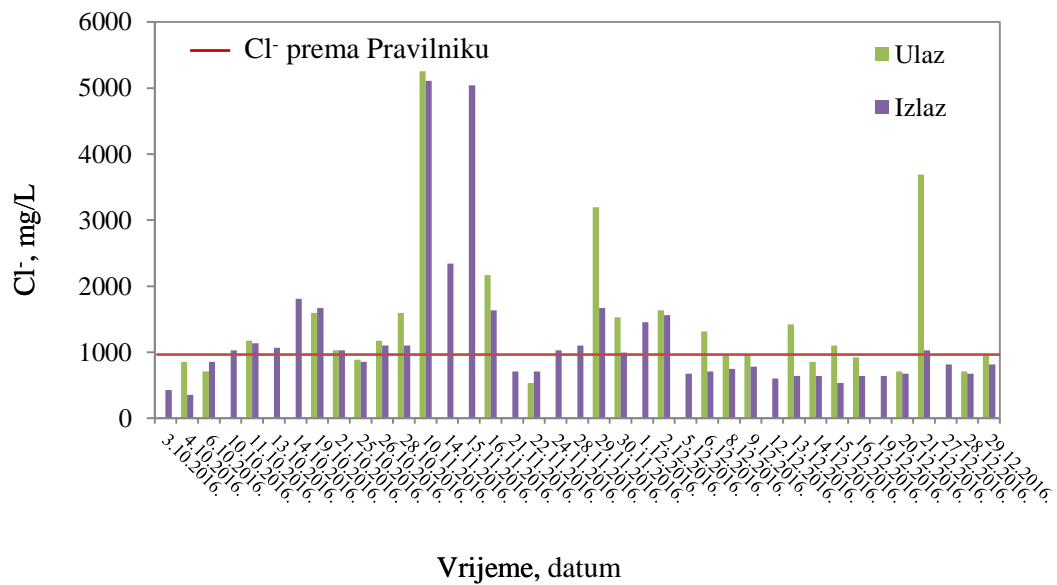


b)

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.

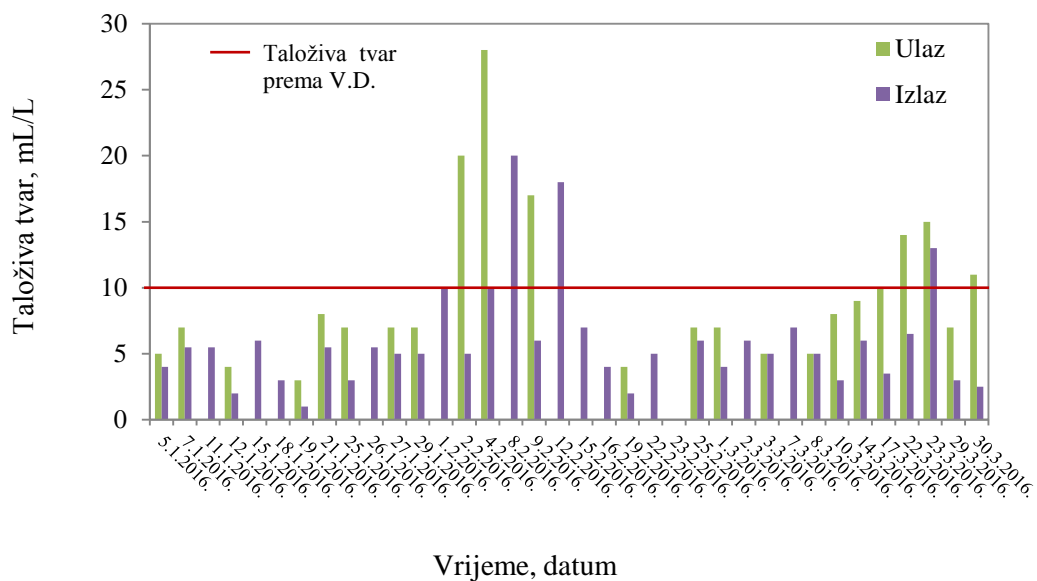
Maksimalne i srednje vrijednosti klorida na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini su izvan graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom, ali budući da je konačan ispust u more, to ne bi trebalo imati negativan utjecaj na okoliš.

3.1.5. Analiza taložive tvari

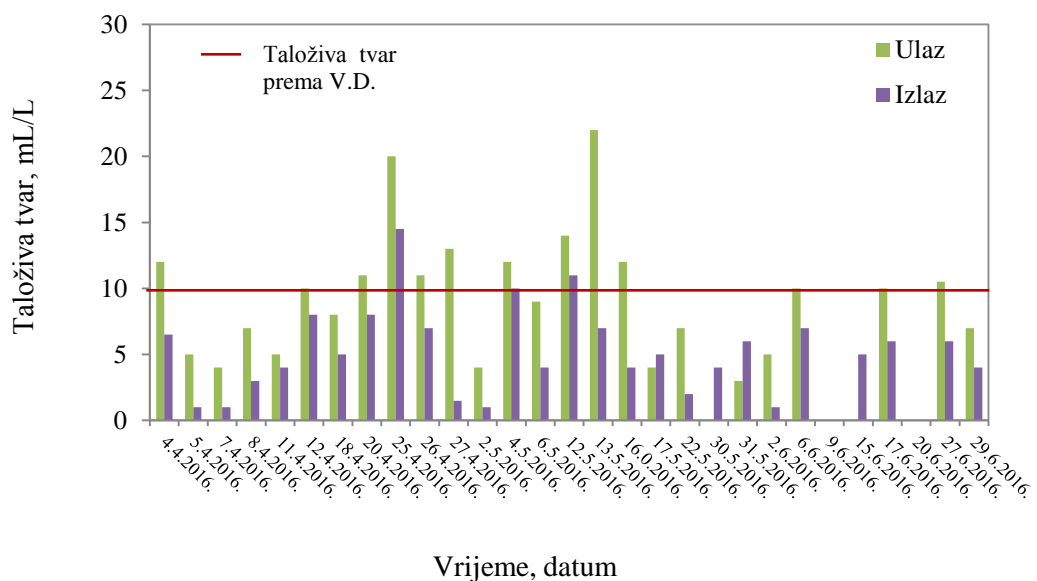
Rezultati praćenja taložive tvari u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom na slikama 3.9. i 3.10. Također, rezultati su analizirani na način 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 - rujanj)	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.									

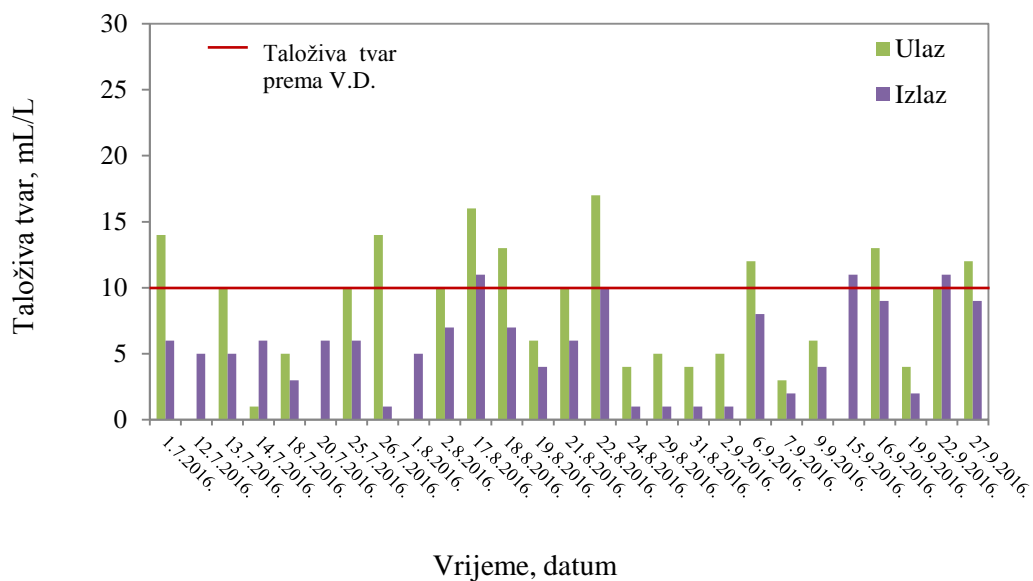


a)

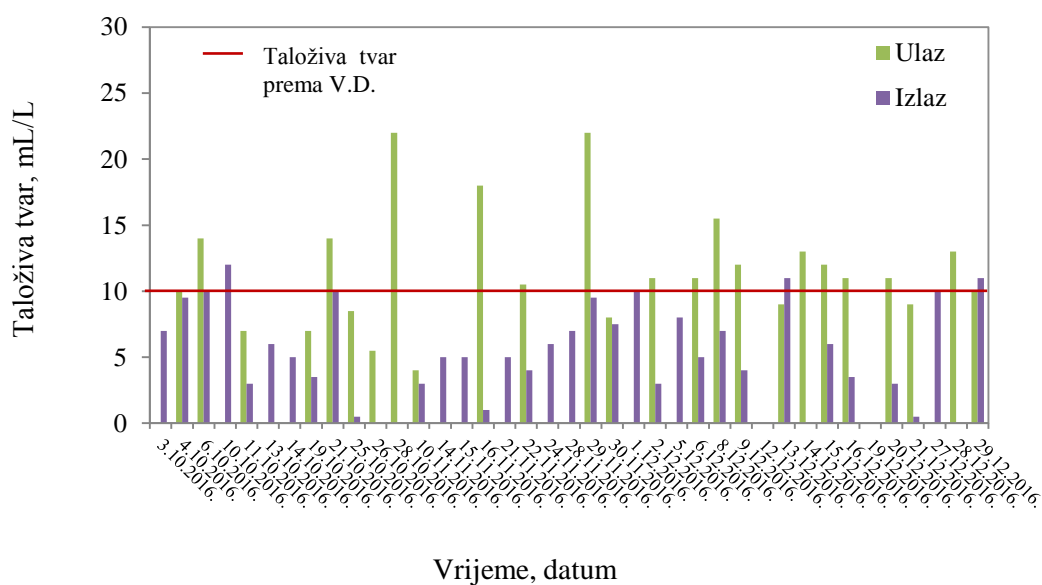


b)

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 - rujanj, b) listopad - prosinac.

Prisutnost taloživih tvari u vodnom sustavu onemogućuje prodor svjetla. 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 škrkama, 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 ($V_{\text{ulaz}} = 1 - 28 \text{ mL/L}$) i izlazu ($V_{\text{izlaz}} = 0,5 - 20 \text{ mL/L}$) 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.

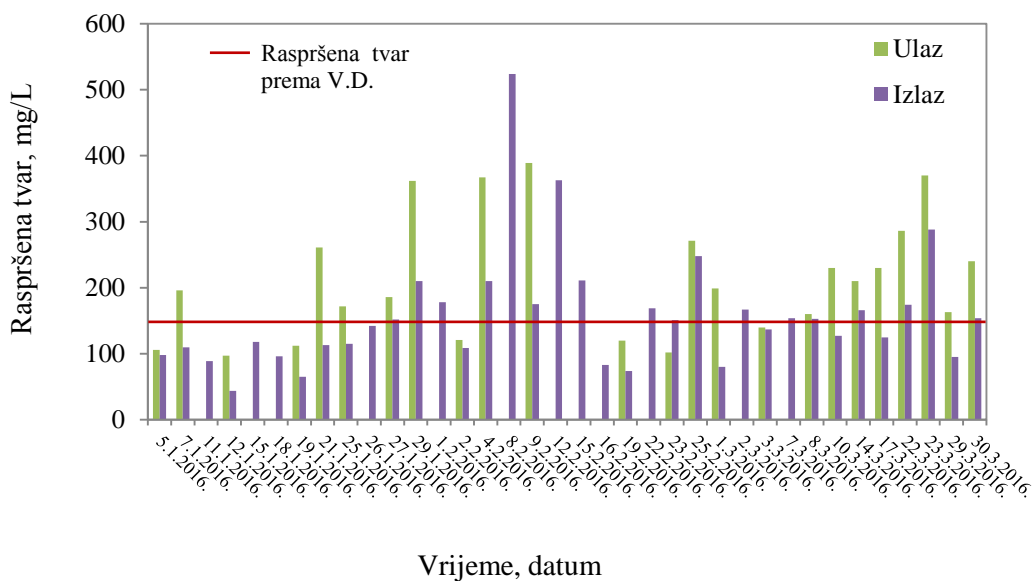
Srednje vrijednosti taložive tvari na ulazu i izlazu iz uređaja pokazuju znatna odstupanja od graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom za ispust u površinske vode, ali su unutar graničnih vrijednosti za ispust u kanalizacijski sustav i vrijednosti propisanih Vodopravnom dozvolom.

3.1.6. Analiza raspršene tvari

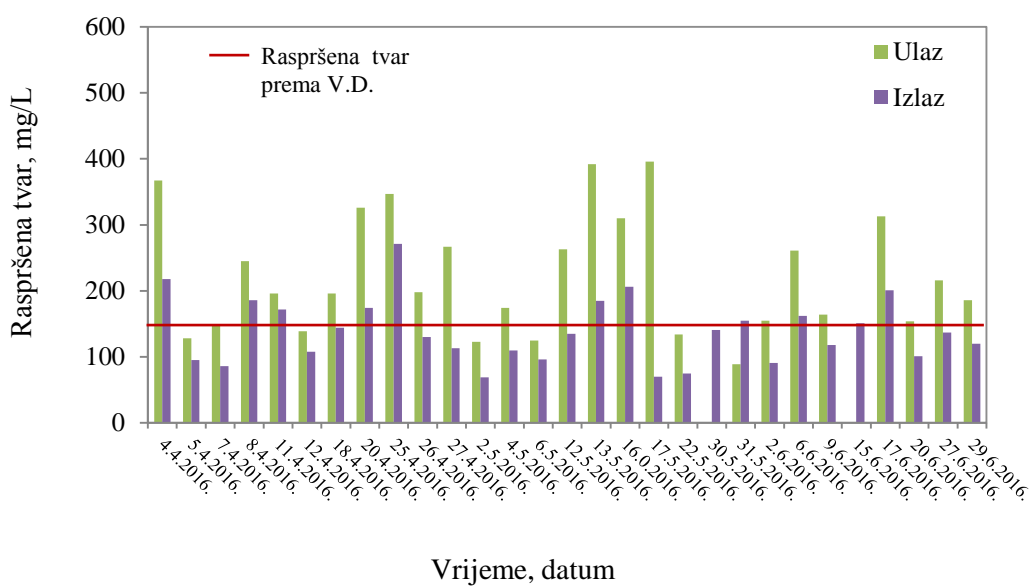
Rezultati praćenja raspršene tvari u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisanih Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom na slikama 3.11. i 3.12. Također, rezultati su analizirani na 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			$\gamma_{\text{Pravilnik}}$		$\gamma_{\text{V.D.}}$
	γ_{min}	γ_{max}	γ_{sr}	γ_{min}	γ_{max}	γ_{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 - rujanj)	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:									
<p>γ_{min} - minimalna vrijednost raspršene tvari u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L,</p> <p>γ_{max} – maksimalna vrijednost raspršene tvari u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L,</p> <p>γ_{sr} - srednja vrijednost raspršene tvari u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg/L,</p> <p>$\gamma_{\text{Pravilnik}}$ - vrijednost raspršene tvari prema Pravilniku, mg/L,</p> <p>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,</p> <p>$\gamma_{\text{V.D.}}$ - srednja vrijednost raspršene tvari prema Vodopravnoj dozvoli, mg/L.</p>									

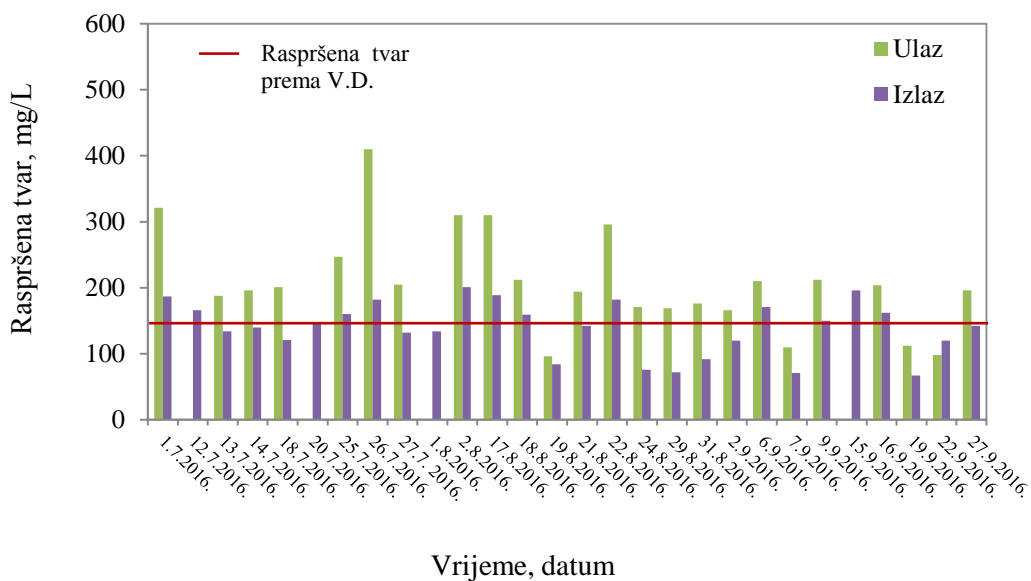


a)

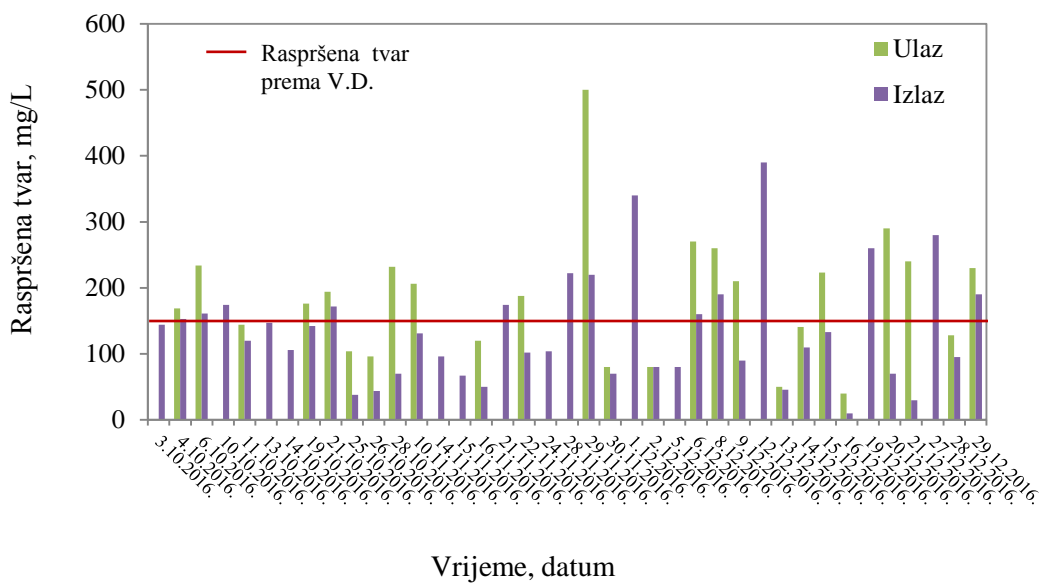


b)

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 - rujanj, 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.

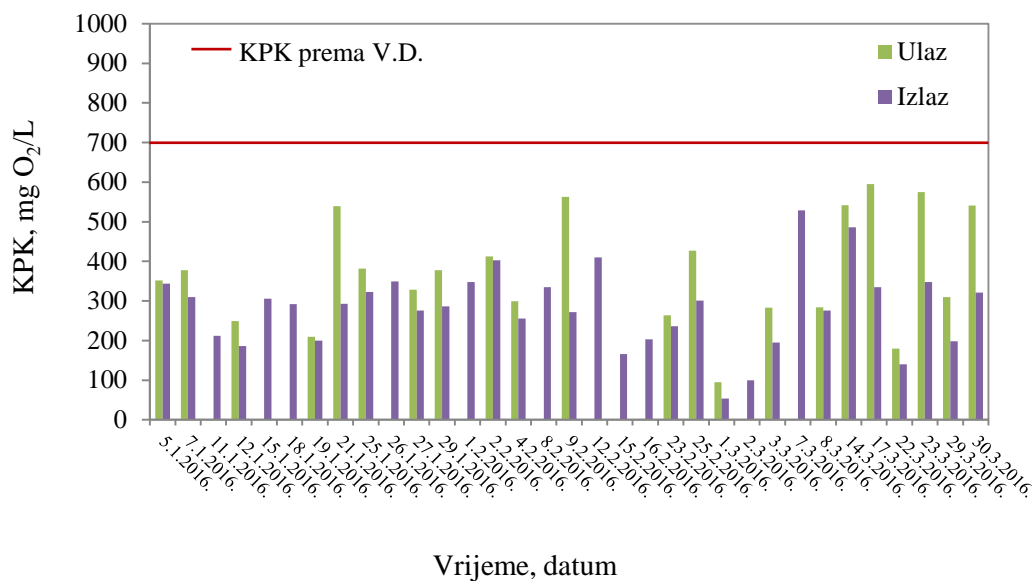
Srednje vrijednosti taložive tvari na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini prelaze granične vrijednosti propisane Pravilnikom o graničnim vrijednostima i Vodopravnom dozvolom. Povećana koncentracija raspršenih tvari ukazuje na potrebu stavljanja u funkciju primarnog taložnika.

3.1.7. Analiza kemijske potrošnje kisika

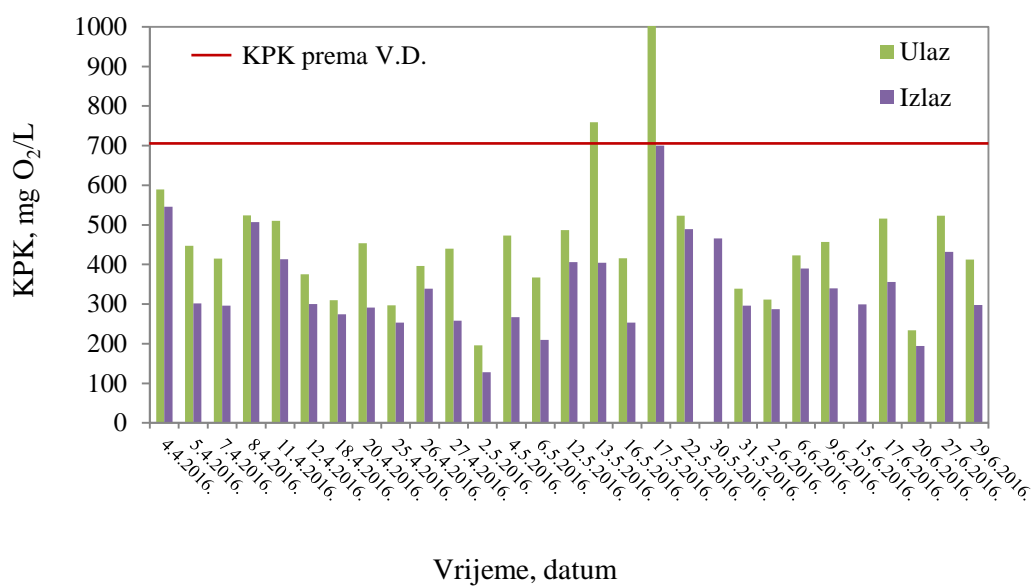
Rezultati praćenja kemijske potrošnje kisika u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom na slikama 3.13. i 3.14. Također, rezultati su analizirani 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 - rujanj)	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			
<p>gdje je:</p> <p>KPK_{min} - minimalna vrijednost KPK u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg O₂/L,</p> <p>KPK_{max} - maksimalna vrijednost KPK u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg O₂/L,</p> <p>KPK_{sr} - srednja vrijednost KPK u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg O₂/L,</p> <p>KPK_{Pravilnik} - vrijednost KPK prema Pravilniku, mg O₂/L,</p> <p>KPK_{v.D.} - srednja vrijednost KPK prema Vodopravnoj dozvoli, mg O₂/L.</p>									

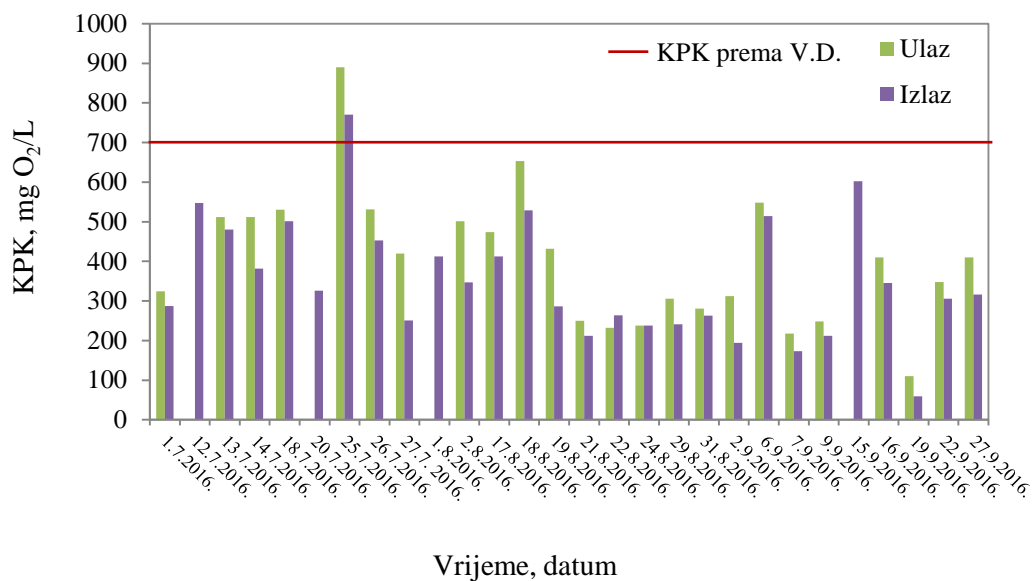


a)

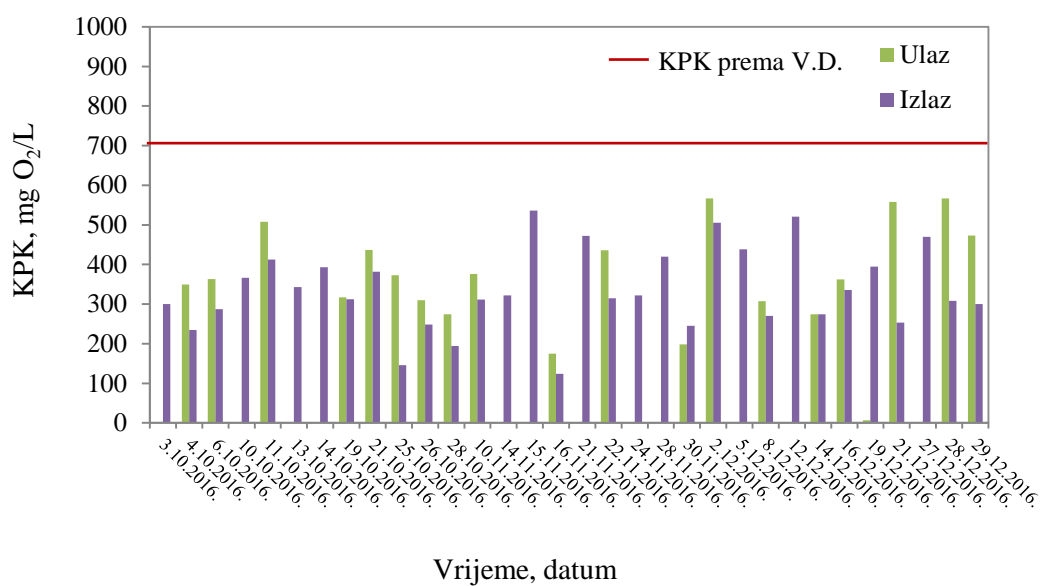


b)

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 O₂/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.

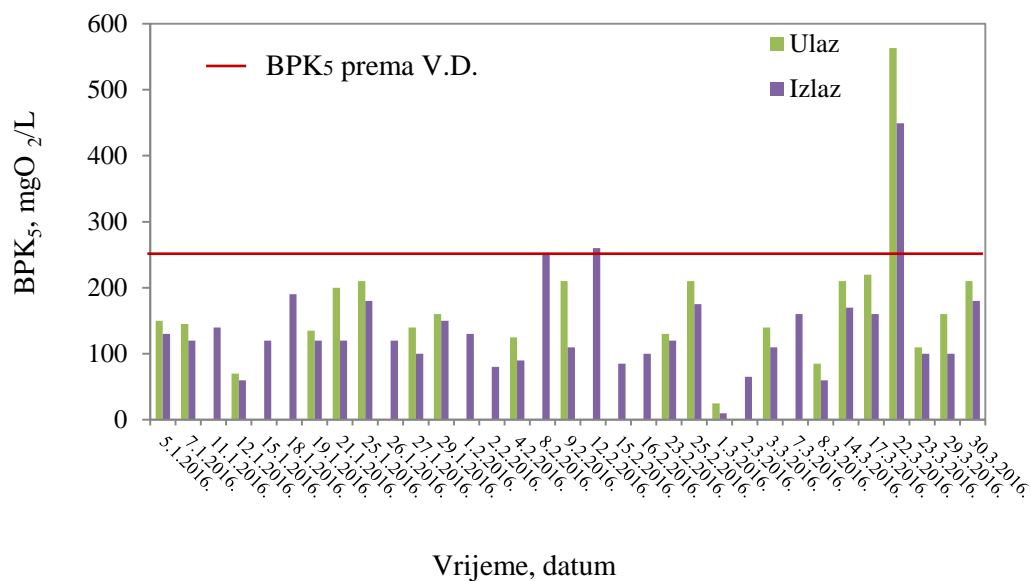
Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti KPK na ulazu i izlazu iz uređaja na tromjesečnoj i godišnjoj razini su daleko izvan graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom, ali su unutar vrijednosti propisanih Vodopravnom dozvolom.

3.1.8. Analiza biokemijske potrošnje kisika

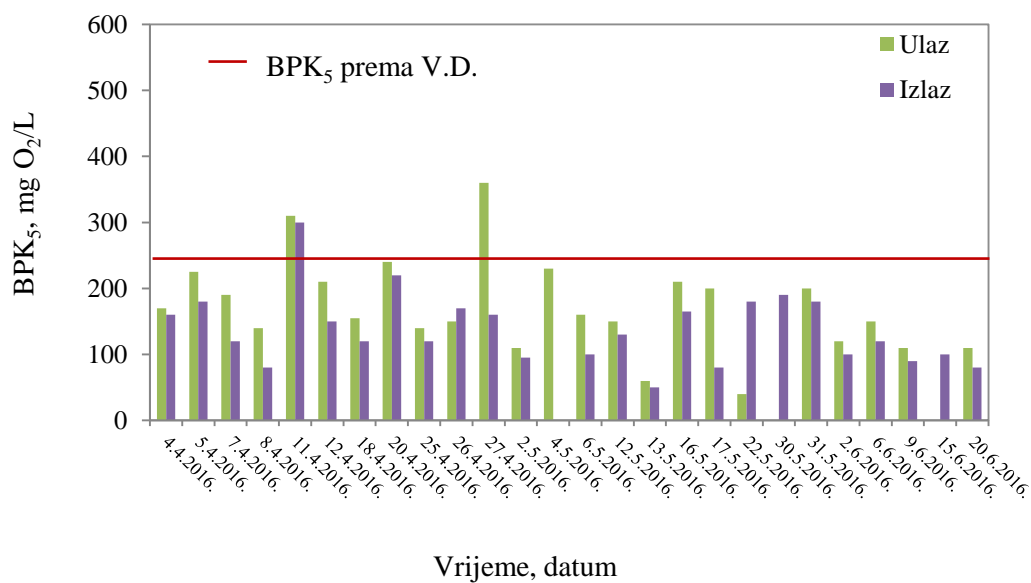
Rezultati praćenja biokemijske potrošnje kisika u otpadnoj vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a Šibenik, dati u tablici 2.3., grafički su prikazani na tromjesečnoj razini i uspoređeni s graničnim vrijednostima propisane Pravilnikom i Vodopravnom dozvolom na slikama 3.15. i 3.16. Također, rezultati su analizirani 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 ₅ Pravilnik		BPK ₅ V.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 - rujanj)	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			
<p>gdje je:</p> <p>BPK_{5min} - minimalna vrijednost BPK₅ u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg O₂/L,</p> <p>BPK_{5max} - maksimalna vrijednost BPK₅ u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg O₂/L,</p> <p>BPK_{5sr} - srednja vrijednost BPK₅ u ispitivanom vremenskom razdoblju, mg O₂/L,</p> <p>BPK_{5Pravilnik} - vrijednost BPK₅ prema Pravilniku, mg O₂/L,</p> <p>BPK_{5V.D.} - srednja vrijednost BPK₅ prema Vodopravnoj dozvoli, mg O₂/L.</p>									

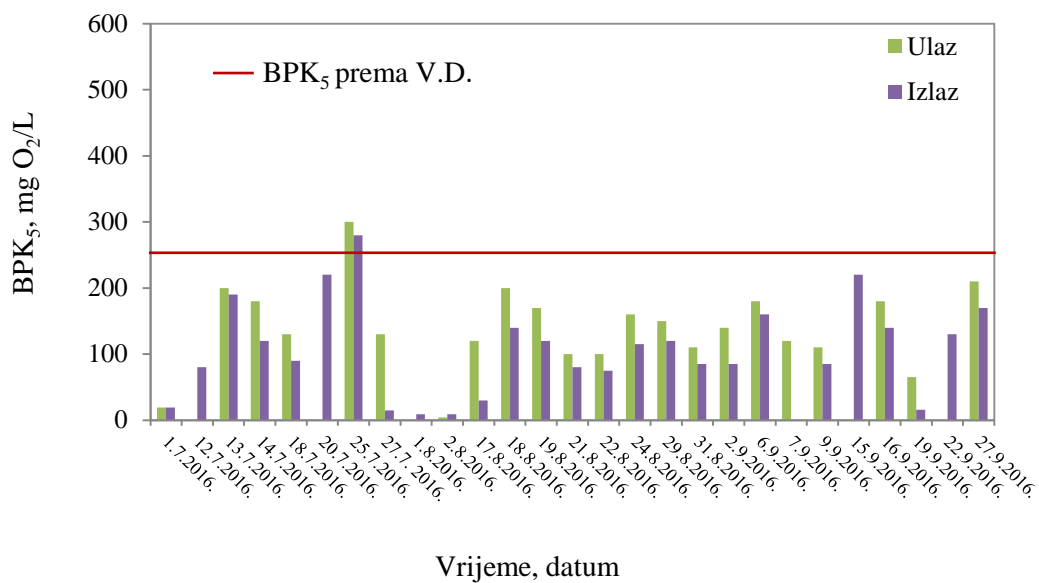


a)

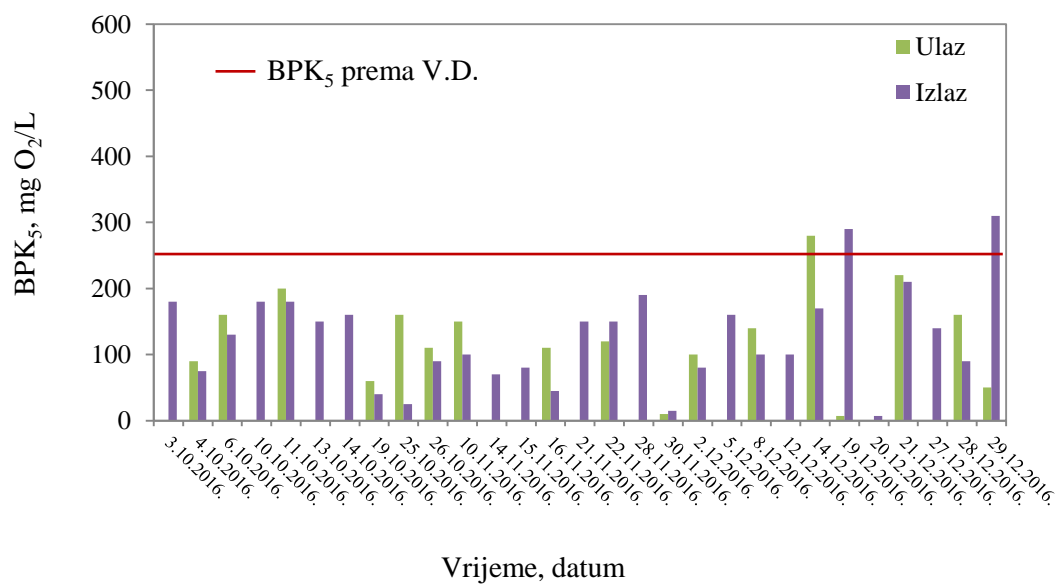


b)

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 BPK₅ na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujan, b) listopad - prosinac.

Vrijednosti BPK₅ u uzorcima otpadnih voda osciliraju u širokom rasponu minimalnih i maksimalnih vrijednosti (BPK₅ ulaz = 4 - 563 mg O₂/L; BPK₅ izlaz = 9 - 449 mg O₂/L)

Najveće vrijednosti BPK₅, kao i srednje vrijednosti, uočene su u prvom (siječanj - ožujak) i drugom (travanj - lipanj) tromjesečju. Srednje vrijednosti BPK₅ pokazuju smanjenje vrijednosti na izlazu što ukazuje da proces obrade ima utjecaja.

Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti BPK₅ 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 BPK₅/KPK, a rezultati su dati u tablici 3.11.

Tablica 3.11. Izračunati omjer BPK₅/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 - rujanj)	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 BPK₅/KPK za neobrađenu komunalnu otpadnu vodu kreću se u rasponu od 0,3 do 0,8. Ako omjer BPK₅/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 BPK₅/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.

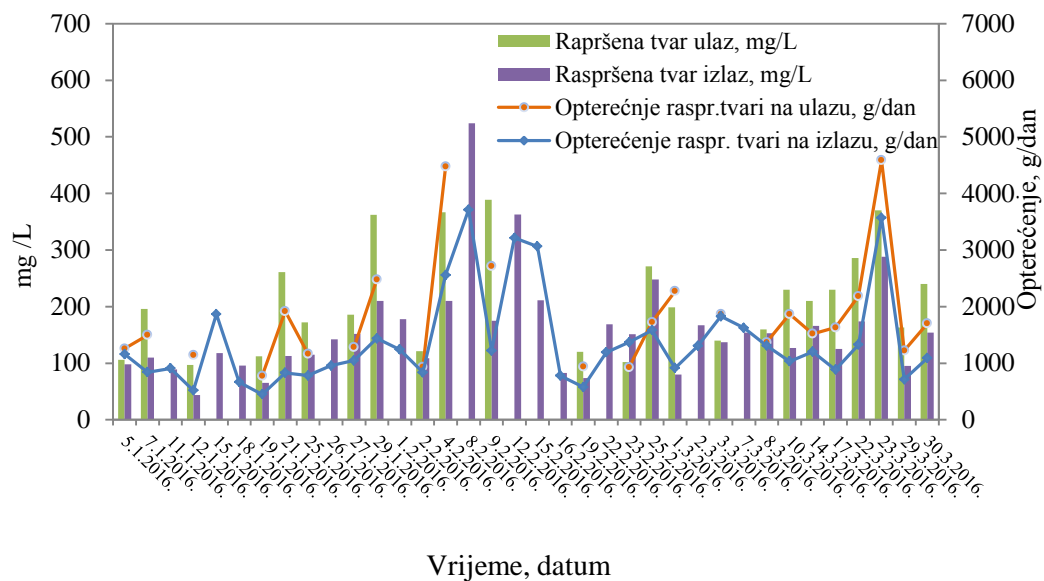
3.3. PRORAČUN OPTEREĆENJA UREĐAJA

Radi uvida u stvarno opterećenje uređaja, rezultati određivanja raspršene tvari i BPK₅ preračunati su na vrijednost opterećenja, prema općenitoj jednadžbi:

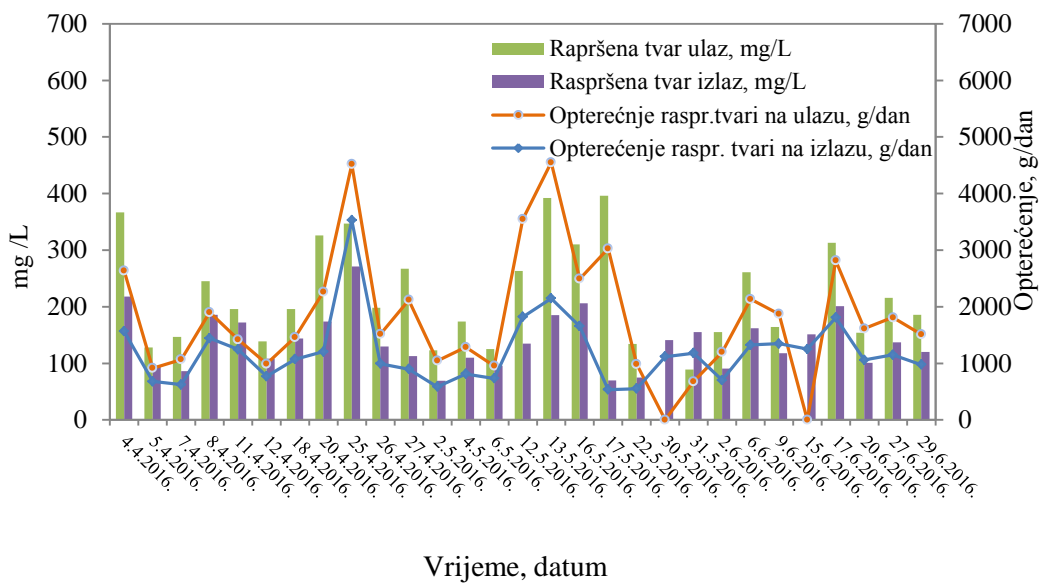
$$\text{Opterećenje} = \text{protok} \cdot \text{koncentracija} \quad (3-1)$$

$$[\text{g/h}] \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad [\text{g}/\text{m}^3]$$

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.

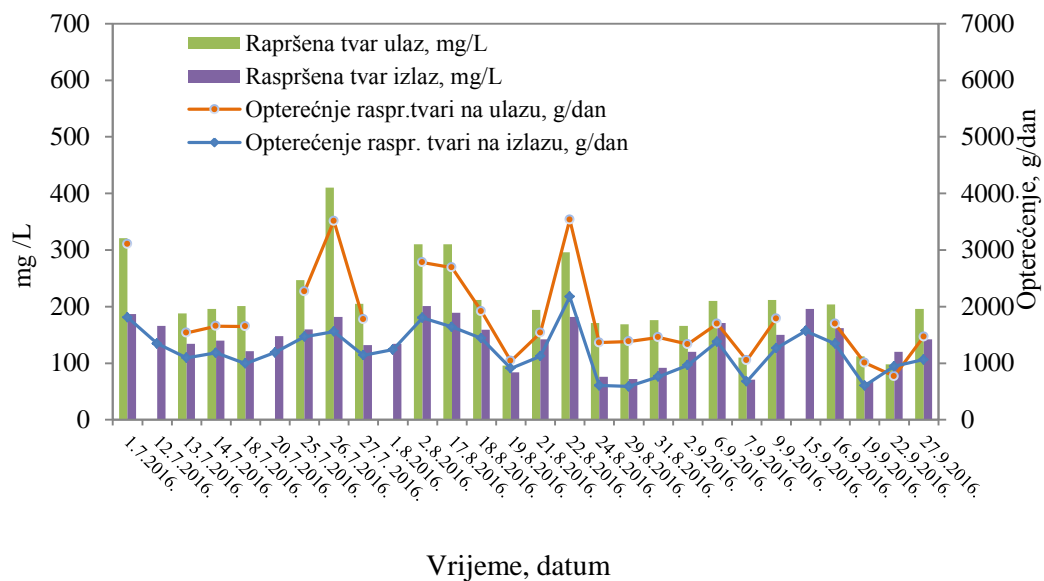


a)

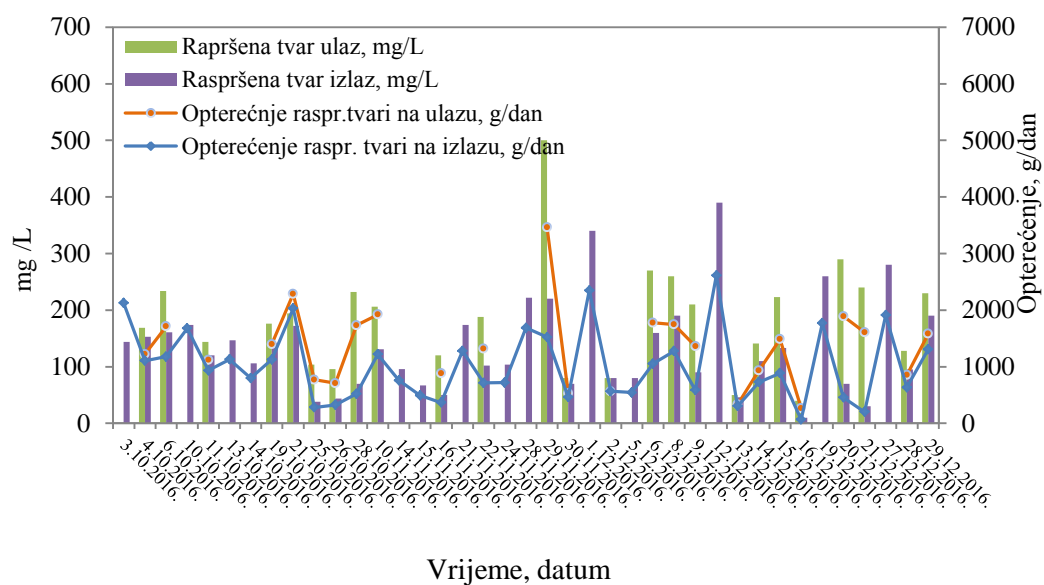


b)

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.

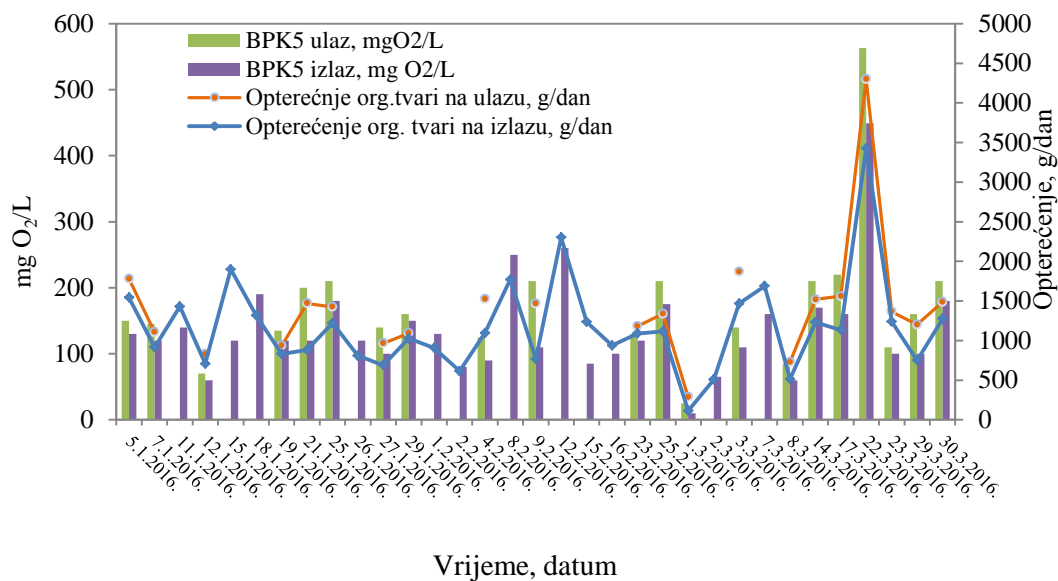


a)

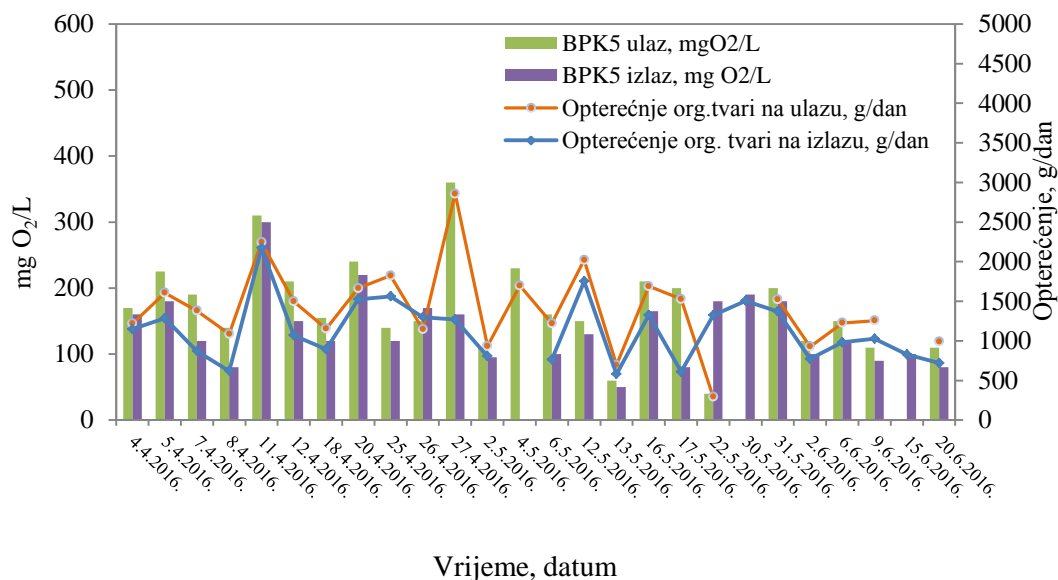


b)

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

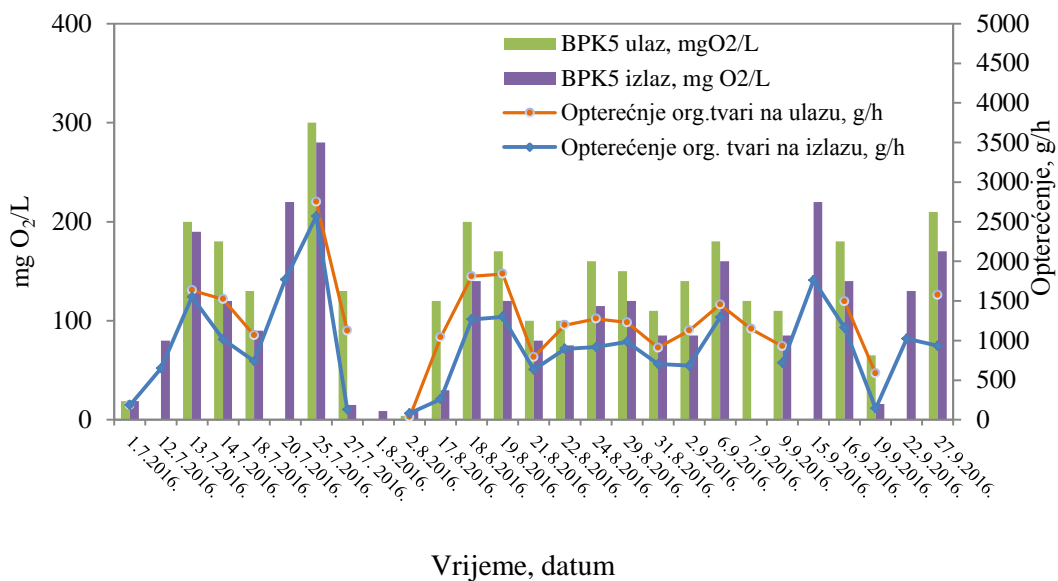


a)

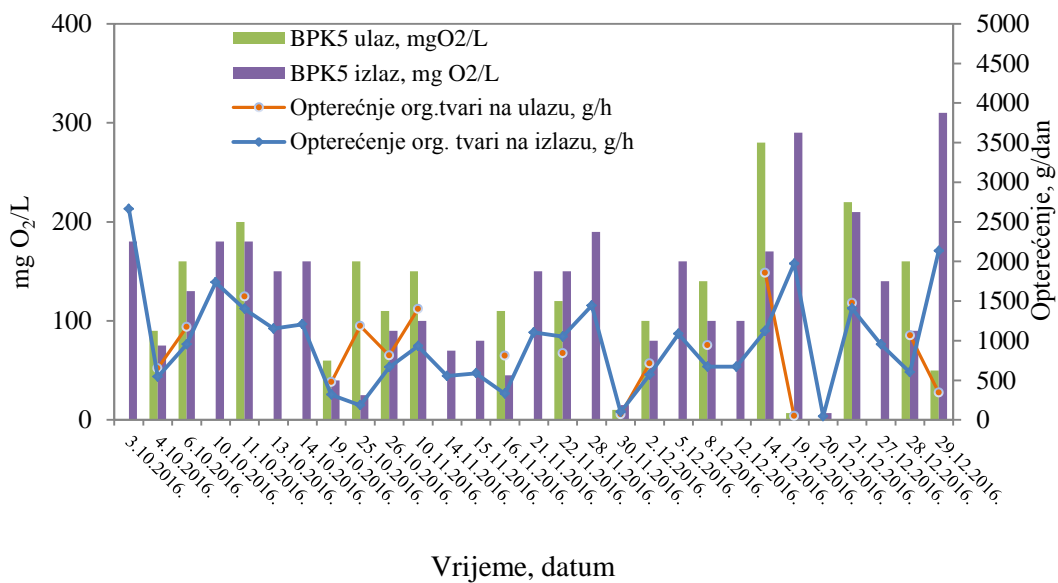


b)

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 BPK₅ vrijednosti i opterećenja organskom tvari na ulazu i izlazu iz postrojenja u razdoblju: a) srpanj - rujna, b) listopada - 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 BPK₅ 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 BPK₅ 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 BPK₅ a iznosi 60 g O₂/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, ·10 ⁻³ g/dan	BPK _{5sr.} mgO ₂ /L	Opterećenje org.tvari, · 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 - rujanj)	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

$$\frac{[g/h]}{[g/m^3]} \cdot [m^3/h]$$

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

ES org. tvari = opterećenje org. tvari / 60 g O₂/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 BPK₅ 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 bočatoj 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 ispušt u površinske vode, ali su unutar graničnih vrijednosti za ispušt 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 BPK₅ 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%27a_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.