

Biološko pročišćavanje otpadnih voda grada Delnica

Jakupak, Dora

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:159:773484>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International](#)/[Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



**Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**Dora Jakupak
0058215815**

**BIOLOŠKO PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA
GRADA DELNICA**

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Tehnologija vode

Mentor: izv. prof. dr. sc. Josip Ćurko

Zagreb, 2022.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za tehnologiju vode

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Biološko pročišćavanje otpadnih voda grada Delnica

Dora Jakupak, 0058215815

Sažetak:

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) Delnice je uređaj II. stupnja pročišćavanja koji radi na principu biološke obrade otpadne vode u sekvencijalnim šaržnim reaktorima (SBR) s istovremenom aerobnom stabilizacijom mulja. Kako bi se provjerila uspješnost rada uređaja, u ovom radu analizirani su fizikalno-kemijski parametri na ulazu i izlazu UPOV-a: kemijska potrošnja kisika (KPK), biokemijska potrošnja kisika (BPK₅), suspendirane tvari, ukupni dušik i ukupni fosfor. Influent je okarakteriziran omjerima parametara te je izračunato prosječno sezonsko opterećenje UPOV-a koje je najveće u ljeti zbog povećanog turizma. Izlazne vrijednosti KPK, BPK₅ i suspendiranih tvari su ispod MDK što ukazuje da je biološko pročišćavanje otpadnih voda na UPOV-u vrlo učinkovito. Uređaj uspješno uklanja dušik i fosfor te je obrađena voda dobre kakvoće za ispušt u Delnički potok. Omjeri parametara pokazuju kako otpadna voda ima visoku biorazgradivost te bi mikroorganizmi u SBR bazenu trebali imati dovoljan izvor ugljika i hrane za uklanjanje dušika i fosfora.

Ključne riječi: komunalne otpadne vode, biološko pročišćavanje, SBR

Rad sadrži: 32 stranica, 16 slika, 3 tablice, 34 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: izv. prof. dr. sc. Josip Ćurko

Pomoć pri izradi: Nataša Štimac, dip.ing.bioteh.

Datum obrane: 29.6.2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Undergraduate thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
University undergraduate study Food Technology

Department of Food Engineering
Laboratory for Water Technology

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Food Technology

Biological wastewater treatment of the city of Delnice

Dora Jakupak, 0058215815

Abstract:

The Delnice wastewater treatment plant (WWTP) operates on the principle of biological wastewater treatment in sequential batch reactors (SBR) with simultaneous aerobic sludge stabilization. In order to verify the efficiency of the plant, this work analyzes the physico-chemical parameters in the influent and effluent of the WWTP: chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD₅), suspended solids, total nitrogen and total phosphorus. The influent was characterized based on the parameter ratios, and the average seasonal load of the WWTP was calculated. The ratios show that the highest load occurred in summer due to increased tourism. The baseline values of COD, BOD₅ and suspended solids are below the limit, indicating that the biological wastewater treatment in the WWTP is very efficient. The plant successfully removes nitrogen and phosphorus. The treated water is of good quality for discharge into the Delnički stream. The ratios of the parameters show that the wastewater has a high biodegradability and the microorganisms in the SBR have a sufficient carbon source to remove nitrogen and phosphorus.

Keywords: municipal wastewater, biological treatment, SBR

Thesis contains: 32 pages, 16 figures, 3 tables, 34 references

Original in: Croatian

Thesis is deposited in printed and electronic form in the Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: Josip Ćurko, PhD, Associate Professor

Technical support and assistance: Nataša Štimac, dipl.ing. biotех.

Thesis defended: June 29, 2022

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. GRAD DELNICE	2
2.1. LOKACIJA	2
2.2. RELJEF I KLIMA	2
2.3. RAZVOJ VODOOPSKRBNOG SUSTAVA.....	2
2.4. SUSTAV JAVNE ODVODNJE OTPADNIH VODA	3
3. UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA.....	3
3.1. OTPADNE VODE	3
3.2. UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA DELNICE	4
3.3. DOVOD OTPADNIH VODA	5
3.4. PRETHODNA OBRADA OTPADNIH VODA NA UPOV-U DELNICE	5
3.5. MEHANIČKA OBRADA NA UPOV-U DELNICE	7
3.6. BIOLOŠKA OBRADA OTPADNIH VODA	8
3.6.1. SBR TEHNOLOGIJA	9
3.6.2. UKLANJANJE DUŠIKA I FOSFORA	10
3.6.3. BIOLOŠKA OBRADA NA UPOV-U DELNICE.....	11
3.7. OBRADA MULJA.....	13
4. MATERIJALI I METODE.....	15
4.1. KONTROLA KAKVOĆE OTPADNE VODE	15
4.2. ODREĐIVANJE KEMIJSKE POTROŠNJE KISIKA.....	15
4.3. ODREĐIVANJE BIOKEMIJSKE POTROŠNJE KISIKA	16
4.4. ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE SUSPENDIRANIH TVARI	17

4.5.	ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE UKUPNOG DUŠIKA	18
4.6.	ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE UKUPNOG FOSFORA.....	19
5.	REZULTATI I RASPRAVA	19
5.1.	ANALIZA KEMIJSKE POTROŠNJE KISIKA	20
5.2.	ANALIZA BIOKEMIJSKE POTROŠNJE KISIKA	20
5.3.	ANALIZA KONCENTRACIJA SUSPENDIRANIH TVARI.....	21
5.4.	ANALIZA KONCENTRACIJA UKUPNOG DUŠIKA.....	22
5.4.	ANALIZA KONCENTRACIJA UKUPNOG FOSFORA	24
5.5.	KARAKTERIZACIJA ULAZNE OTPADNE VODE NA UPOV-U DELNICE	25
5.6.	ČETVEROGODIŠNJE OPTEREĆENJE ULAZNE OTPADNE VODE NA UPOV-U DELNICE	27
6.	ZAKLJUČAK	28
7.	POPIS LITERATURE	29

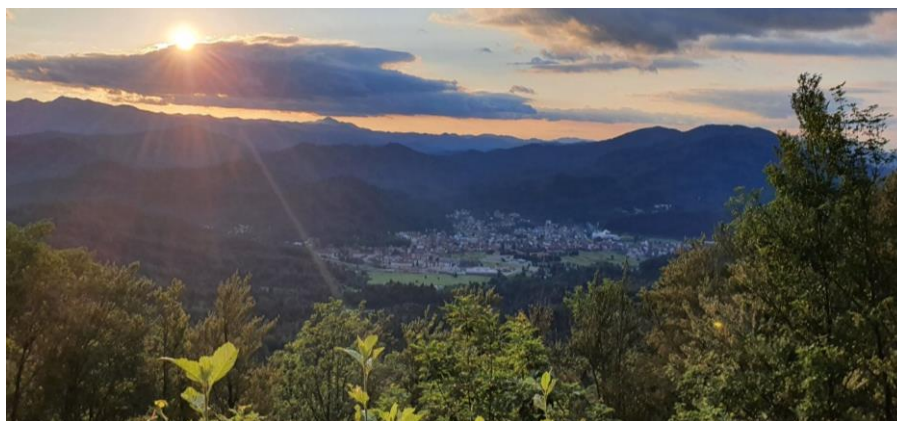
1. UVOD

Voda je jedna od najvažnijih tvari u prirodi te služi za održavanje biljnog, životinjskog i ljudskog života na Zemlji te je zato važno kako se njom upravlja. Osim svog vječnog kružnog toka, voda prolazi i određeni ciklus koji su postavili ljudi kako bi zadovoljili svoje potrebe i samim time očuvali okoliš, a to je od izvora svježe vode, njezinog crpljenja, tretmana obrade, njene distribucije i uporabe pa sve do pročišćavanja otpadne vode i njezinog povratka u okoliš. Zbog porasta broja stanovništva, gospodarskog razvoja i urbanizacije, razina onečišćenja okoliša također raste jer što se povećava potrošnja vode po stanovniku i zahtjeva sve veća uporaba u industriji, tako se i povećava količina otpadnih voda. Na globalnoj razini, više od 80 % otpadnih voda koje društvo proizvede se vrati u okoliš bez pročišćavanja ili ponovnog korištenja (HDZV, 2018). To dovodi do umiranja određene populacije zbog narušavanja prirodne ravnoteže povećanom koncentracijom otpadnih tvari kao što su teški metali, toksični sastojci, patogeni mikroorganizmi i dr. (Glancer-Šoljan i sur., 2001). Grad Delnice su do 2017. godine imale neadekvatan uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) koji je za posljedicu ostavio onečišćeni prirodni prijemnik Delnički potok. Danas, UPOV Delnice radi na principu biološkog pročišćavanja otpadnih voda u sekvencijalnim šaržnim reaktorima (SBR). U ovom završnom radu su prikazani parametri za II. stupanj pročišćavanja otpadnih voda uz parametre za III. stupanj pročišćavanja uvjetovane Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020 na ulazu i izlazu uređaja kako bi se provjerila uspješnost rada uređaja.

2. GRAD DELNICE

2.1. Lokacija

Delnice su središnje i najveće naselje Gorskog kotara i ujedno najviši grad Hrvatske na nadmorskoj visini od 698 m te spadaju pod Primorsko-goransku županiju (slika 1). Područje grada zauzima površinu od 230 km², a u svom sastavu ima 55 naselja u kojima, prema popisu stanovništva iz 2021. godine, živi 5158 stanovnika (Grad Delnice, 2015).



Slika 1. Grad Delnice (vlastita fotografija)

2.2. Reljef i klima

Reljef je tipično krški s vapnenačko-dolomitnim stijenama, dolinama, poljima i vodotocima sa završetkom u ponornim zonama. Dio vodotoka se koristi za vodoopskrbu upravo zbog više nadmorske visine, prostornog položaja i vodne snage. Gorski kotar ima 77 % vodotoka od ukupnih u županiji, 60 % jezera u koje spadaju Lokvarsko jezero, jezero Lepenica i jezero Bajer te tri vodoopskrbna rezervata, a to su sliv izvora Kupe, crnoluški sliv i sliv rječice Lokvarke. Rijeka Kupa je sa svojim pritocima najznačajniji vodotok tog područja. Goranskim područjem prolazi i razvodnica Jadranskog i Crnomorskog sliva na udaljenosti od 12 km. Uz same Delnice teče potok, tzv. Delnički Potok, koji služi kao prirodni prijemnik obrađenih otpadnih voda s UPOV-a. Delnice posjeduju specifičnu umjereno kontinentalnu klimu s elementima planinske. Prosječna godišnja temperatura zraka na tom području iznosi oko 7,7 °C (Grad Delnice, 2015).

2.3. Razvoj vodoopskrbnog sustava

Vodoopskrbni sustav grada Delnica je dio regionalnog sustava vodoopskrbe županije, s kojim je povezan preko podsustava »Lokve« - regionalni vodoopskrbni sustav Gorski Kotar“, a pokriva ga Komunalac d.o.o. Sama vodoopskrba na području Delnica je riješena manjim

sustavima koji su međusobno odvojeni i crpe vodu iz lokalnih izvorišta. Duljina javne vodoopskrbne mreže kroz područje grada Delnice iznosi 48,70 km od čega 39,10 km otpada na same Delnice, 6,61 km na naselje Crni Lug, a 2,99 km na naselje Brod na Kupi. Sveukupno je 90 % stanovništva pokriveno vodovodnom mrežom, a prosječna potrošnja pitke vode iznosi 144,99 L po stanovniku (Grad Delnice, 2015).

2.4. Sustav javne odvodnje otpadnih voda

Prema Vodopravnoj dozvoli (2018), Aglomeracija Delnice, koja obuhvaća grad Delnice i naselje Lučice, ima razdjelni sustav javne odvodnje (s.j.o.) koji se sastoji od dvije crpne stanice (CS Doli i Kuti, CS Autobusna stanica) sa sigurnosnim ispustima i od odvodnih sustava dugačkih 21 km. Crpne stanice preusmjeravaju otpadnu vodu na uređaj drugog stupnja pročišćavanja sa SBR tehnologijom i nakon toga se ispuštaju u Delnički potok (slika 2).



Slika 2. Delnički potok kao prirodni recipijent obrađenih otpadnih voda (vlastita fotografija)

Na s.j.o spojeno je 3122 ES-a što uključuje i poslovne, javne i druge objekte te drvnu industriju. Otpadne tvari iz s.j.o. i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda se odlažu na gradsko odlagalište (Vodopravna dozvola, 2018).

3. UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

3.1. Otpadne vode

Otpadne vode se dijele na kućanske otpadne vode, industrijske, otpadne vode stočnih uzgajališta i na deponijske otpadne vode. Uvjetno se otpadnim vodama smatraju oborinske i rashladne vode. Kućanske otpadne vode nazivamo još i komunalnim, gradskim ili fekalnim, a nastaju u seoskim i gradskim naseljima te njihova kakvoća ovisi o klimatskim uvjetima, načinu

življenja te sustavu vodoopskrbe i odvodnje. Industrijske otpadne vode nastaju primjenom različitih tehnoloških postupaka, a njihova kakvoća ovisi o sirovinama koje se obrađuju u industriji. Možemo ih podijeliti na otpadne vode sa sastojcima koji su biološki lako razgradljivi i na one u kojima su sastojci biološki teško razgradljivi (Glancer-Šoljan i sur., 2001).

3.2. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Delnice

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda Delnice se nalazi na sjeveroistočnom rubu naselja Delnice, na lokaciji Kalvarija, na kraju Supilove ulice. Lokacija je u zoni poslovne namjene, a s obzirom na naselje smještena je u udolini (slika 3). Izgrađen je još 1987. godine te neuspješno rekonstruiran 1995. godine. Sve kanalizirane otpadne vode gravitacijski su dotjecale na uređaj, protjecale kroz automatsku rešetku i potom preko crpne stanice bile usmjeravane na bioaeracijske bazene čija je oprema bila van funkcije do 2016. godine. Bioaeracijski bazeni su imali ulogu taložnica iz kojih se preljevna voda izvodila s uređaja do Delničkog potoka kao prirodnog recipijenta (Schendel i Milohnić, 2015).



Slika 3. Lokacija UPOV-a Delnice označena crnim krugom (vlastita fotografija)

Sadašnji UPOV Delnice, koji je počeo s radom 16.8.2017. na istoj lokaciji, se sastoji od jedne linije za automatsku grubu rešetku, kompaktnog uređaja za mehaničku predobradu, dva bazena za SBR obradu, spiralne preše za obradu mulja, spremnika mulja, stanice za pripremu polielektrolita te scrubbera za zrak i stanice za prihvata sadržaja septičkih jama. Delnice se nalaze u vodnom području rijeke Dunav, koje je u cijelosti sliv osjetljivog područja, a obrađena otpadna voda se ispušta u Delnički potok koji nije namijenjen za rekreaciju i kupanje (Schendel

i Milohnić, 2015). S obzirom na vodotok osjetljivog područja i nazivno opterećenje UPOV-a Delnice od 6600 ES, prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020, uređaj ima uvjetovan drugi (II.) stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Zagađenja koja dopijevaju u uređaj su sanitarno-potrošne otpadne vode, sadržaji septičkih i crnih jama i filtrat iz postupka strojne dehidracije mulja (Schendel i Milohnić, 2015).

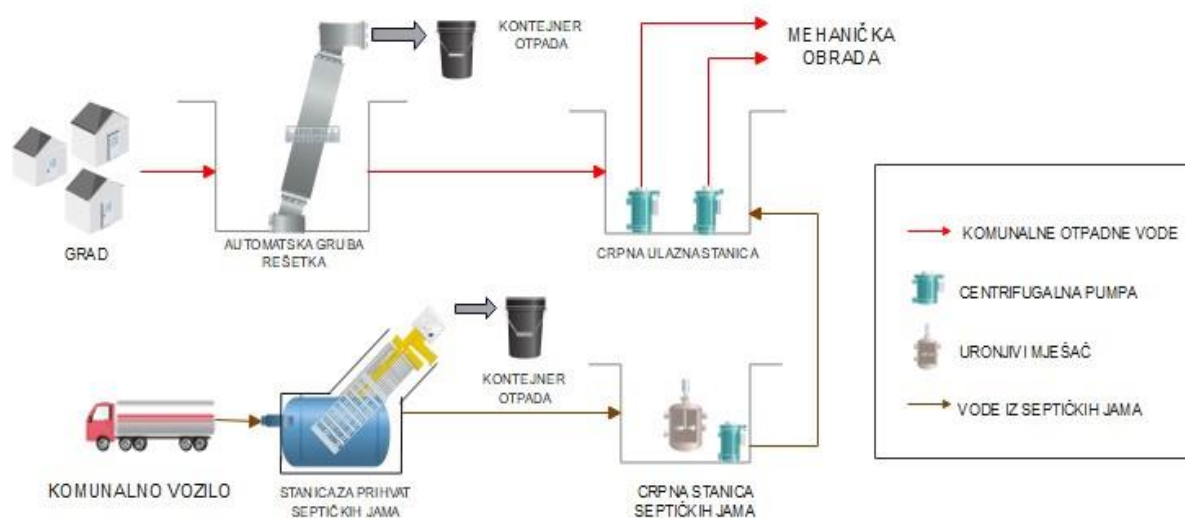
3.3. Dovod otpadnih voda

Otpadne vode grada Delnica se dovode razdjelnim sustavom odvodnje do ulaznog/razdjelnog okna gdje se vode dotoka manjeg od 80 L/s usmjeravaju u kanal automatske rešetke, a one većeg dotoka od 80 L/s prelijevaju u obilazni cjevovod. Obilazni cjevovod se aktivira kada je potrebno zaustaviti dotok na objekte mehaničke obrade, a njegove su uloge da preuzima višak oborinskih voda preko ulaznog/razdjelnog okna, sakuplja oborinske vode s ulaznog dijela uređaja, prihvaća eventualni višak otpadnih voda iz kanalizacijske crpne stanice ispred kompaktnog uređaja za mehaničku obradu i iz crpne stanice ispred SBR-reaktora (Schendel i Milohnić, 2015). Crpne stanice su zaštićene uronjenim pregradama kako bi se spriječilo istjecanje plivajućih masnoća i ostalih sadržaja. Još neke od uloga obilaznog cjevovoda su prihvaćanje svih otpadnih voda obrađenih mehaničkom obradom u slučaju kada su objekti biološkog pročišćavanja van funkcije, preuzimanje oborinskih voda s internih prometnica uređaja nakon prethodne obrade na mastolovu i oborinske krovne vode s objekata za obradu mulja. Okno obilaznog cjevovoda je opremljeno kosom rešetkom s ručnim čišćenjem veličine otvora 20 mm radi minimalne zaštite recipijenta (Schendel i Milohnić, 2015).

3.4. Prethodna obrada otpadnih voda na UPOV-u Delnice

U prethodnu obradu otpadne vode spadaju odstranjivanje krupnih tvari i izjednačivanje. Krupne tvari, kao što su krpe, plastične vrećice, lišće i druge tvari, se iz otpadne vode odstranjuju pomoću sita i rešetaka. Takva obrada je potrebna kako ne bi došlo do nepravilnog rada sustava za pročišćavanje zbog začepijivanja cjevovoda i ometanog rada same crpke. Rešetke mogu biti fine ili grube, ovisno o razmaku šipki na rešetkama (Glancer-Šoljan i sur., 2001). Na UPOV-u Delnice, otpadna voda koja razdjelnim oknom ne odlazi u obilazni cjevovod, dolazi do kanala automatske rešetke. Automatska rešetka je prvi stupanj obrade, a sadrži svijetle otvore između štapova rešetke od 20 mm te time spada u grube rešetke i postavljena je pod kutom od 75 °. Otvori omogućavaju zadržavanje značajne količine krupnog otpadnog materijala koji se odlaže u prihvatni kontejner (Schendel i Milohnić, 2015). Sustavi

prethodne obrade manjih količina otpadnih voda se čiste ručno, dok sustavi za veću količinu otpadne vode imaju automatski sustav odstranjivanja krupnih tvari s rešetki i odlaganja u spremnik (Glancer-Šoljan i sur., 2001). UPOV Delnice spada pod sustave koji obrađuju veću količinu otpadne vode pa je tako automatski rad rešetke definiran mjerenjem razine vode u kanalu ispred i iza rešetke pomoću pneumatskih nivo sondi. Pošto na s.j.o. nije priključeno cijelo stanovništvo grada, na UPOV-u mora postojati i stanica za prihvata sadržaja septičkih i crnih jama, koja se kao kompaktna jedinica sastoji od automatske fine rešetke (otvori od 6 mm) s prešom, zatvorenog spremnika u koji je ugrađena rešetka i od priključne cijevi te Perrot-spojnice za priključenje fleksibilnog crijeva komunalnog vozila. Fina rešetka zadržava sve krupne sadržaje te dio pijeska i masnoća, a tekuća frakcija gravitacijski otječe iz spremnika u crpni spremnik za doziranje medija u sustav komunalnih otpadnih voda koji je opremljen uronjenim propelernim mješačem za miješanje sadržaja spremnika i sprječavanje pojave organskih tvari na stijenkama te uronjivom kanalizacijskom crpkom za doziranje tekuće frakcije u glavnu crpnu stanicu uređaja. Zadržani materijal se kosim pužnim transporterom podiže u prešu gdje se dodatno obrađuje - preša i djelomično dehidrira te se odlaže u prihvatni kontejner. U ulaznoj crpnoj stanici koja prihvaća tekuću frakciju iz automatske grube rešetke i obrađenu tekuću frakciju iz septičkih i crnih jama, postavljene su dvije uronjive kanalizacijske crpke istog tipa i uronjeni propelerni mješač za miješanje sadržaja spremnika i sprječavanje pojave organskih nakupina na stijenkama zdenca (Schendel i Milohnić, 2015). Shematski prikaz prethodne obrade otpadne vode na UPOV-u Delnice prikazan je slici 4.



Slika 4. Shematski prikaz procesa prethodne obrade na UPOV-u Delnice (vlastita fotografija)

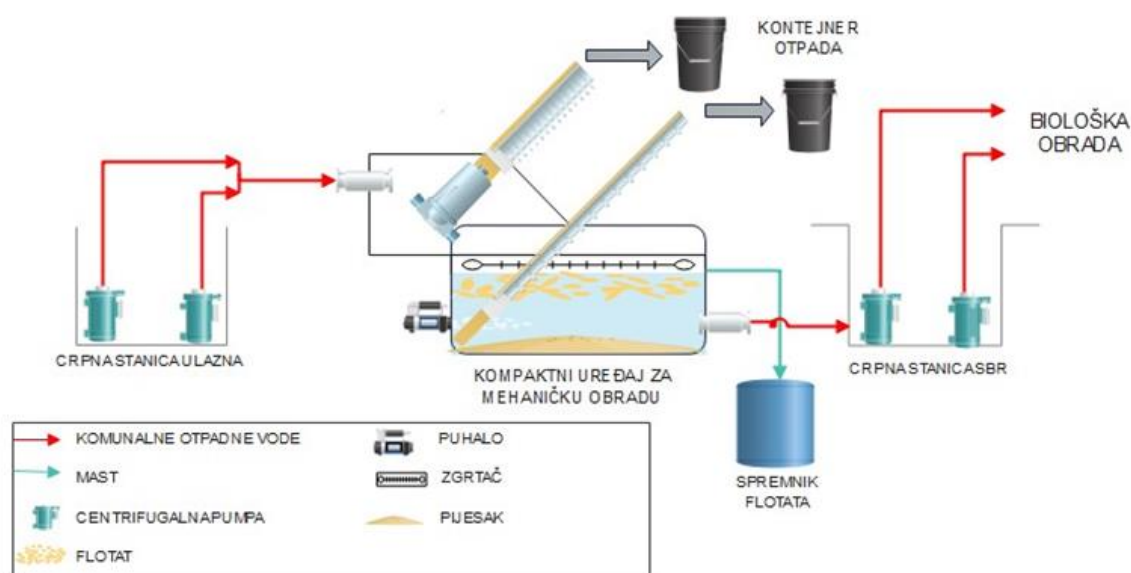
3.5. Mehanička obrada na UPOV-u Delnice

Mehanička ili primarna obrada otpadne vode obuhvaća odstranjivanje zrnatih, plivajućih i suspendiranih čestica te neutralizaciju. Sve te čestice se u otpadnim vodama, bez turbulencije, ponašaju prema zakonu gravitacije gdje se tvari veće gustoće talože na dnu, a tvari manje gustoće plivaju na površini (Glancer-Šoljan i sur., 2001). Crpna ulazna stanica UPOV-a dovodi vodu preko centrifugalnih pumpi do kompaktnog uređaja za mehaničku obradu otpadnih voda (slika 5) koji se sastoji od finog sita (otvori od 3 mm) s prešom, podužnog aeriranog pjeskolovamastolova s površinskim zgrtačem i kosog spiralnog transportera za iznos izdvojenog pijeska iz uređaja (Schendel i Milohnić, 2015).



Slika 5. Kompaktna stanica za mehaničku obradu (vlastita fotografija)

Sastavni dio ovog sustava je i puhalo za aeraciju koje ubrzava i pospješuje flotaciju (Schendel i Milohnić, 2015). Zrak koji se upuhuje u pjeskolov- mastolov se miješa s kapljicama ulja i masti i flotira na površinu te se flotat može izdvojiti ručno ili automatski (Glancer-Šoljan i sur. 2001). Na finom situ s prešom se iz otpadnih voda izdvajaju svi organski i anorganski materijali te dio pijeska i masnoća koji se onda kosim pužnim transporterom podižu u prešu i tamo prešaju i djelomično dehidriraju. Prešanjem se masa ovog materijala smanjuje za oko 40% u odnosu na početnu. Obradeni otpadni materijal se odlaže u prihvatni kontejner (Schendel i Milohnić, 2015).



Slika 6. Shema procesa mehaničke obrade na UPOV-u Delnice (vlastita fotografija)

U podužnom aeriranom pjeskolovu-mastolovu se na dnu taloži pijesak koji se prenosi kosim klasirom u prihvatni kontejner, dok se mast na površini, uklanja površinskim zgrtačem te prenosi u spremnik flotata (Schendel i Milohnić, 2015). Njih je potrebno ukloniti jer u crpkama za mulj izazivaju veliko habanje, a u prostoru za digestiju stvrdnjavanje mulja (Felber i Fischer, 2014). Otpadne vode se dalje gravitacijski usmjeravaju u crpnu stanicu koja se nalazi ispred SBR bazena, no mogu se i usmjeriti u obilazni cjevovod ukoliko je uređaj disfunkcionalan. U tom slučaju, otpadna voda je obrađena samo mehaničkom obradom i ispušta se u Delnički potok (Schendel i Milohnić, 2015). Nakon provedbe primarne obrade otpadne vode, ukupno organsko onečišćenje se smanjuje za 30-50 % i olakšana je provedba sekundarnog pročišćavanja. Ukoliko otpadna voda, nakon primarne obrade, nije u skladu s uvjetovanim pH-vrijednostima, može se provesti neutralizacija dodatkom lužine ili kiseline ili miješanjem alkalne i kisele otpadne vode (Glancer-Šoljan i sur., 2001). Shematski prikaz mehaničke obrade na UPOV-u Delnice je prikazan na slici 6.

3.6. Biološka obrada otpadnih voda

Biološka ili sekundarna obrada otpadnih voda uključuje biološke postupke u kojima mikroorganizmi svojim metabolizmom razgrađuju otopljene sastojke u otpadnoj vodi koji mogu biti organski (izvori ugljika i energije) i anorganski sastojci (izvori fosfora i dušika) (Glancer-Šoljan i sur., 2001). Organske tvari djelomično oksidiraju u ugljikov dioksid, a pritom

mikroorganizmi dobivaju energiju za rast i razmnožavanje svojih stanica. Osim ugljikovog dioksida, nastaju i mineralne soli topive u vodi, a one su potrebne za izgradnju stanica mikroorganizama (Felber i Fischer, 2014). Biološkom obradom se uklanjaju i suspendirane čestice koje su zaostale nakon provedbe primarne obrade otpadne vode. Ovisno o podrijetlu otpadne vode i različitom odnosu mikroorganizama prema otopljenom kisiku, sekundarna obrada može biti aerobna i anaerobna/anoksična (Glancer-Šoljan i sur., 2001). Kisik koji im je potreban, mikroorganizmi primaju kroz disanje (Felber i Fischer, 2014). Osim toga, važno je postaviti optimalne fizikalno-kemijske čimbenike, kao što su temperatura, pH-vrijednost, osmotski tlak, vrsta i koncentracija sastojaka u otpadnoj vodi kao hranjivom supstratu, parcijalni tlak plina i redoks potencijal, kako bi se poboljšala aktivnost mikroorganizama i učinkovitost biološke obrade. Mikroorganizmi koji se koriste za biološko pročišćavanje su bakterije koje imaju najveću biokemijsku aktivnost zbog svog brzog rasta i posjeduju najveći broj različitih enzima koji ubrzavaju razgradnju otopljenih sastojaka u otpadnoj vodi. Osim bakterija, koriste se i kvasci, alge, protozoe i metazoe. Svi ovi mikroorganizmi čine mikrobnu zajednicu aktivnog mulja, a njihovim međusobnim povezivanjem sa suspendiranim česticama (zaostalim od primarne obrade) u manje ili veće nakupine, nastaju pahuljice ili flokule aktivnog mulja (Glancer-Šoljan i sur., 2001).

3.6.1. SBR tehnologija

Sekvencijalni šaržni reaktori (SBR) su uređaji za biološko pročišćavanje otpadnih voda aktivnim muljem suspendirane biomase u kojima se sve metaboličke reakcije i separacija kruto-tekuće, odnosno separacija flokula aktivnog mulja i pročišćene otpadne vode, vrše u istom volumenu u određenim radnim ciklusima (Singh i Srivastava, 2011). Radni ciklusi za postupak pročišćavanja u SBR bazenima su punjenje, aerobne/anaerobne/anoksične reakcije, taloženje, dekantiranje i po potrebi odlaganje viška aktivnog mulja (AZV, 2016). Tijekom punjenja, dovodi se otpadna voda, primarno obrađena ili sirova otpadna voda, u biomasu aktivnog mulja koja je zaostala od prethodnog ciklusa. Punjenje može biti aerobno ili anaerobno, ovisno o vrsti otpadne vode (Singh i Srivastava, 2011). Nakon punjenja, u SBR bazenu se otpadna voda miješa i aerira ovisno o tome kakvi uvjeti su potrebni mikroorganizmima za njihovu aktivnost i koje spojeve je potrebno razgraditi. Tijekom aerobnih uvjeta, dolazi do razgradnje ugljikovih spojeva te nitrifikacije, tj. razgradnje amonijaka u nitrite i nitrate (Glancer-Šoljan i sur., 2001). U anaerobnim uvjetima dolazi do denitrifikacije. Denitrifikacija je proces gdje bakterije uzimaju kisik iz nitrata, gdje on postoji u vezanom

obliku, i nastaje dušik koji onda odlazi u atmosferu kao plin. Bez aeriranja otpadne vode, bakterije su prisiljene uzimati kisik iz nitrata, a to onda nazivamo anoksičnim uvjetima. Stalnim promjenama iz aerobnih u anaerobne uvjete, bakterije su pod stresom i mogu prihvatiti znatno više fosfora nego u normalnom stanju pa u ovoj fazi dolazi i do uklanjanja fosfora (Felber i Fischer, 2014). Tijekom faze taloženja, uređaj „miruje“ i stvoreni su takvi uvjeti da se formirane flokule aktivnog mulja talože na dnu bazena, dok se u gornjem dijelu formira sloj izbistrene vode (Schendel i Milohnić, 2015). Nakon taloženja, izbistrena voda se preko dekantera prazni iz bazena i tu fazu nazivamo dekantiranje. Mehanizam dekantiranja mora biti osmišljen tako da sprječava odvođenje plutajućih materijala iz bazena. Uz vodu, izdvaja se i višak istaloženog organskog mulja. Razdoblje između dekantiranja i ponovnog punjenja nazivamo faza mirovanja, a ono je potrebno ukoliko se za pročišćavanje koristi više SBR-reaktora (Singh i Srivastava, 2011). SBR tehnologija odlikuje manjim i jednostavnijim komponentama od konvencionalnih postrojenja kao što su bolja kvaliteta vode, kratki period aeracije, sve faze pročišćavanja odvijaju se u jednom volumenu, manji trošak energije te automatizacija koja smanjuje i optimizira rukovanje samog uređaja.

3.6.2. Uklanjanje dušika i fosfora

Dušikovi i fosforni spojevi uvijek su prisutni u otpadnim vodama, a njihovim ispuštanjem bez uklanjanja spomenutih spojeva dolazi do eutrofikacije i znatnih loših promjena u vodenom eko-sustavu (Singh i Srivastava, 2011). U komunalnim otpadnim vodama, dušik u najvećem dijelu potječe iz ljudskih izlučevina, odnosno urina, u obliku uree. Urea se već u kanalizaciji, tijekom odvodnje, raspada na amonijev dušik i taj proces se naziva amonifikacija. Amonifikacija se nastavlja u primarnoj obradi tako da je veći dio dušika tijekom primarnog pročišćavanja prisutan kao amonijev dušik (Felber i Fischer, 2014). Kao što je već opisano, tijekom sekundarne obrade u fazi reakcija u SBR bazenima dolazi do nitrifikacije i denitrifikacije gdje na kraju atmosferski dušik odlazi u atmosferu. Nitrifikaciju provode nitrificirajuće autotrofne bakterije koje su obvezatni aerobi, dok denitrifikaciju provode heterotrofne striktno ili fakultativno anaerobne bakterije (Singh i Srivastava, 2011). Aktivnost nitrificirajućih bakterija je jako ograničena pa je potrebno optimizirati koncentraciju otopljenog kisika iznad 1,5 mg/L u bazenu za pročišćavanje i temperaturu iznad 10 °C te pH mora biti u neutralnom području (Felber i Fischer, 2014). SBR tehnologija se, za uklanjanje dušika, pokazala kao održiva alternativa koja postavlja anaerobne, anoksične i aerobne uvjete u jednom bazenu tijekom jednog radnog ciklusa smanjujući time koncentraciju dušikovih spojeva i do

95,5 % (Singh i Srivastava, 2011).

Fosfor u otpadnim vodama postoji uvijek kao spoj s drugim elementima, npr. s kisikom kao fosfat (PO_4). U komunalnoj otpadnoj vodi, fosfat dolazi većinom iz deterdženata, sredstva za pranje te ljudskih izlučevina. Kod biološkog pročišćavanja se koriste stresni uvjeti za bakterije kako bi one mogle prihvatiti znatno više fosfora, iznad svojih metaboličkih potreba. Bakterije koje koriste fosforne spojeve za izgradnju svojih staničnih sastojaka su fosfor-akumulirajuće bakterije (PAO). Fosfat, uskladišten u PAO, se zajedno sa viškom aktivnog mulja izdvaja u zadnjoj fazi radnog ciklusa SBR uređaja (Felber i Fischer, 2014).

3.6.3. Biološka obrada na UPOV-u Delnice

UPOV Delnice koristi biološki postupak pročišćavanja s aktivnim muljem u SBR bazenima s istovremenom aerobnom stabilizacijom mulja. Osim razgradnje ugljikovih spojeva, ovaj uređaj provodi uklanjanje dušika i fosfora iako to nije nužno s obzirom na to da UPOV Delnice nije uređaj s III. stupnjem pročišćavanja zbog aglomeracije s opterećenjem manjim od 10,000 ES (Schendel i Milohnić, 2015). Povremenim anoksičnim uvjetima, koji su potrebni za denitrifikaciju, u SBR bazenima se ograničava mogućnost razvoja filamentoznih bakterija koje stvaraju probleme stvarajući napuhani ili plivajući mulj. Također, denitrifikacija izravno utječe na smanjenje troškova energije jer nije potrebna aeracija (Felber i Fischer, 2014). UPOV Delnice sadrži 2 SBR-bazena (slika 7) koji imaju pomak u fazama s međusobno usklađenim ciklusima prikazanim u tablici 1 što omogućuje rad bez retencijskog bazena ispred SBR bazena. Jedan ciklus obrade komunalnih voda na UPOV-u Delnice traje 8 sati zbog neuobičajeno visokih ulaznih podataka ($\text{BPK}_5 = 566,81 \text{ mg/L}$) koje se pripisuju dotoku septičkih i crnih jama. Otpad u septičkim jamama je proveo dugo vremena u anaerobnim uvjetima te stoga njegova razgradnja teče sporije od razgradnje tvari iz svježe komunalne otpadne vode (Schendel i Milohnić, 2015).



Slika 7. SBR bazeni (vlastita fotografija)

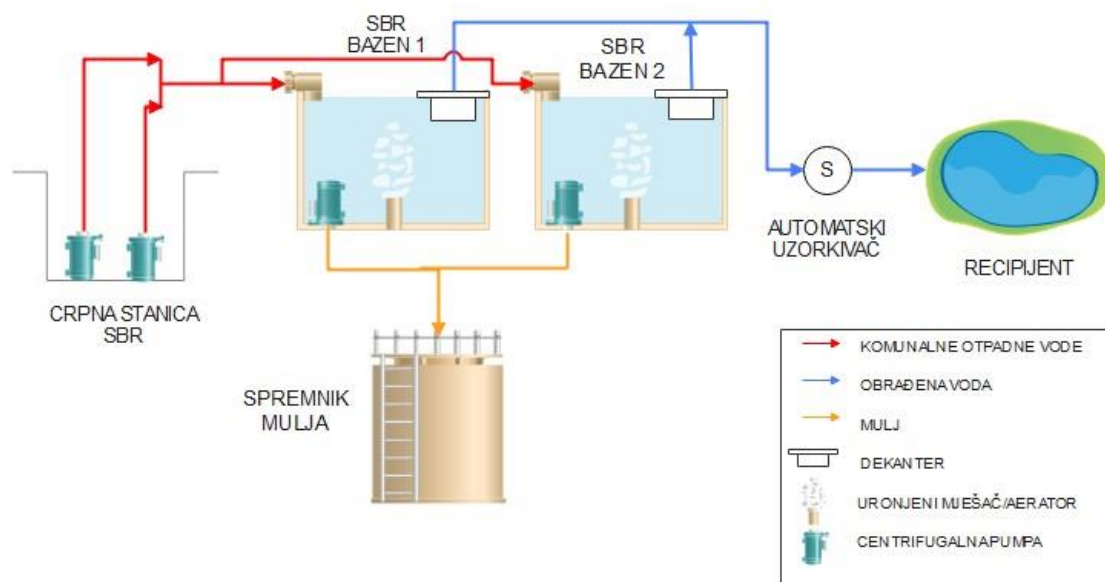
Ciklus punjenja zajedno s reakcijama traje 4 sata gdje dolazi do razgradnje ugljikovih spojeva te nitrifikacije amonijaka, ali i denitrifikacije u anoksičnim uvjetima koja traje ukupno 1 sat. Daljnja razgradnja ugljikovih spojeva do koncentracije uvjetovane II. stupnjem pročišćavanja kakvoće efluenta traje 2 sata zajedno s jednom anoksičnom fazom. Postupak taloženja traje 1 sat, kao i dekantiranje. Izdvajanje viška mulja vrši se tijekom zadnje faze dekantiranja i ne zbraja se u ukupno trajanje ciklusa (Schendel i Milohnić, 2015).

Tablica 1. Prikaz rada oba SBR-bazena s međusobno usklađenim ciklusima po satu

Sat	1	2	3	4	5	6	7	8
SBR 1	Punjenje +aeracija			anoksična faza	Aeracija	anoksična faza	Taloženje	Dekantiranje
SBR 2	Dekantiranje	Taloženje	Aeracija	anoksična faza	Punjenje +aeracija		anoksična faza	

Objekti tehnološke linije SBR-reaktora na UPOV-u Delnice su tri puhala za osiguranje zraka za SBR- bazene koja se nalaze u posebnoj prostoriji pogonsko-upravnog objekta, crpna stanica ispred SBR-bazena, oprema SBR-reaktora u koju spadaju aerator mješač, razdjelnik zraka, motor aeratora, dekanter i uronjiva kanalizacijska crpka za pražnjenje viška organskog mulja iz SBR- bazena. U crpnu stanicu gravitacijski dotječu otpadne vode nakon prethodne i mehaničke obrade i filtrat iz spiralne preše iz strojne dehidracije mulja. Aerator mješač služi za razdiobu zraka u finim mjehurićima za svaki bazen. Po jedan dekanter u svakom bazenu

služi za izuzimanje pročišćenih i izbistrenih otpadnih voda. Dekanteri su plivajućeg tipa i ovisno o razini vode u bazenima, klize po vodilicama ugrađenim u bazene. Ukoliko je povećana mutnoća pročišćene otpadne vode zbog suspendiranih čestica, voda se ne dekantira kroz prelivne zazore dekantera, već čeka idući radni ciklus (Schendel i Milohnić, 2015). Procesna shema biološkog pročišćavanja u SBR-bazenima na UPOV-u Delnice prikazana je na slici 8.



Slika 8. Shematski prikaz biološke obrade (vlastita fotografija)

3.7. Obrada mulja

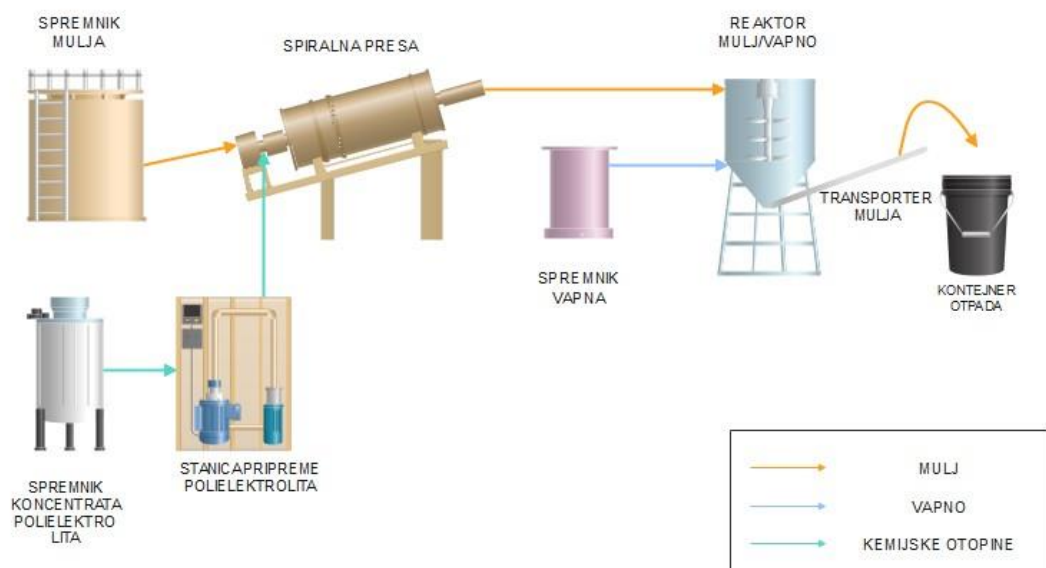
U procesima pročišćavanja otpadnih voda kao nusproizvod se izdvajaju određene količine mulja. Postoje primarni mulj koji se izdvaja iz primarnog taložnika na UPOV-ima prvog stupnja pročišćavanja i biološki mulj iz uređaja s drugim i trećim stupnjem pročišćavanja otpadnih voda. Obje vrste mulja se moraju adekvatno obraditi na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda i zbrinuti u okoliš prema propisanom pravilniku (Vouk i sur., 2015). Mulj je složenog sastava te se sastoji od različitih organskih, anorganskih tvari koje su raspršene u vodi te od patogenih mikroorganizama i raznih toksičnih spojeva. Svi ti sastojci se nakupljaju tijekom obrade otpadnih voda, zajedno s kemijskim sredstvima koja se mogu dodavati s ciljem poboljšanja učinkovitosti tehnološkog postupka. Cilj obrade otpadnog mulja na UPOV-u je smanjenje volumena mulja kako bi se smanjili troškovi naknadne obrade i prijevoza otpadnog mulja te olakšalo samo njegovo zbrinjavanje, a uz to je važno i spriječiti neželjene posljedice mulja na okoliš. Način kojim će se obrađivati otpadni mulj ovisi o svojstvima otpadne vode, o

stupnju i tehnologiji koja se koristi za pročišćavanje otpadnih voda, o svojstvima i količini samog mulja te o kapacitetu UPOV-a i o zakonskim propisima (Vouk i sur., 2015). Na UPOV-u Delnice, u prethodnoj biološkoj obradi otpadne vode mulj je aerobno stabiliziran dodavanjem kisika iz zraka uz istovremeno pročišćavanje vode u SBR bazenu. Nakon što je mulj aerobno stabiliziran, odvodi se u spremnik za mulj (slika 9) te ga nije potrebno dodatno ugušćivati, već samo homogenizirati mješačem-aeratorom. Iz spremnika, mulj se odvodi u proces strojne dehidracije na spiralnoj preši (Schendel i Milohnić, 2015).



Slika 9. Spremnik mulja (vlastita fotografija)

Za postupak strojne dehidracije mulja koristi se otopina polielektrolita pripremljena iz tekućeg koncentrata (Schendel i Milohnić, 2015). Dehidracijom se iz mulja uklanja voda, a ovisno o svojstvima zgusnutog mulja, tehnološkom postupku te o dodatku određenog kemijskog sredstva, postiže se koncentracija suhe tvari u mulju od 25 do 35 % ST (Vouk i sur., 2015). Nakon strojne dehidracije, konačna obrada mulja se vrši potpunim šaržnim miješanjem s mikroniziranim živim vapnom (CaO) jednom dnevno u reakcijskoj posudi (Schendel i Milohnić, 2015). Time se smanjuje volumen mulja, a povećava sadržaj suhe tvari u mulju (Vouk i sur., 2015). Kao krajnji produkt obrade dobivamo potpuno stabilizirani mulj s koncentracijom suhe tvari manje od 35 % ST, manje od 35 % sadržaja organskih tvari i bez patogenih organizama i neugodnih mirisa (Schendel i Milohnić, 2015). Obrađeni mulj se iznosi u odvojenu prostoriju s prihvatnim kontejnerima za odlaganje mulja kosim pužnim transporterom (Schendel i Milohnić, 2015). Prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom NN 94/13 te Uredbi o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada NN, 50/05 i 39/09 ovaj mulj se tretira kao „otpadni mulj s uređaja“. Shematski prikaz obrade mulja je prikazan na slici 10.



Slika 10. Shematski prikaz obrade mulja na UPOV-u Delnice (vlastita fotografija)

4. MATERIJALI I METODE

4.1. Kontrola kakvoće otpadne vode

Kontrola kakvoće otpadne vode se provodi kako bi se ustanovilo zadovoljava li izlazna voda vrijednosti uvjetovane vodopravnom dozvolom te samim time i uspješnost rada uređaja. S obzirom da je UPOV Delnice uređaj s II. stupnjem pročišćavanja sa SBR tehnologijom, ispituju se sljedeći fizikalno-kemijski parametri: KPK, BPK₅, suspendirane tvari, ukupni dušik i ukupni fosfor. Uzorci otpadne vode su uzeti kompozitno na ulazu i izlazu uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u Delnicama prema normama HRN ISO 5667-10:2000 i HRN EN ISO 5667-14:2016 te su analizirani u akreditiranom laboratoriju. Uzorkovanje i analize su proveli djelatnici Hidro.Lab-a d.o.o. Rijeka za razdoblje od travnja 2018. do ožujka 2022. godine, a vremenski razmak između analiza je prosječno svaka tri mjeseca. Kod analiza za rujna i prosinac 2021. korišteni su rezultati analiza koje sam provela u Komunalac-vodoopskrba i odvodnja d.o.o. Delnice, dok su ostale analize uzete iz arhive (Hidro.Lab. d.o.o.).

4.2. Određivanje kemijske potrošnje kisika

Kemijska potrošnja kisika je masena koncentracija kisika ekvivalentna količini dikromata

koju potroši otopljena i raspršena tvar kad se uzorak vode obrađuje s tim oksidansom u definiranim uvjetima (Juretić, 2016d). Tvari koje oksidiraju su većinom organskog podrijetla pa KPK-vrijednost predstavlja pokazatelj organskog onečišćenja otpadne vode (Glancer-Šoljan i sur., 2001). Analiza se provodi metodom HRN EN ISO 6060:2003 gdje se u 10 mL homogeniziranog uzorka otpadne vode u tikvici (za slijepu probu dodaje se 10 mL demineralizirane vode) dodaje standardna otopina kalijeva dikromata, kuglice za vrenje te 15 mL otopine H_2SO_4 i Ag_2SO_4 . Sve kemikalije koje se koriste za određivanje KPK su od proizvođača Kemika, iz Hrvatske. Tikvica se zatim spaja na povratno hladilo i kuha na $150\text{ }^\circ\text{C}$, 110 minuta nakon vrenja. Nakon što se uzorak ohladi na sobnu temperaturu, dodaje mu se 2-3 kapi indikatora ferroina te se titrira suvišak dikromata FAS-om do pojave crvenkasto-smeđe boje. Koncentracija KPK u $mg\ O_2/L$ se dobije razlikom volumena FAS-a za titraciju slijepa probe i volumena FAS-a za titraciju uzorka, pomnoženom s koncentracijom FAS-a i molarnom masom (8000 mg/L) i razrjeđenjem ukoliko je pripremano te to sve podijeljeno s volumenom uzorka (Juretić, 2016d). Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020, KPK iznosi maksimalno $125\text{ mg}\ O_2/L$. KPK vrijednost je uvijek veća od BPK_5 vrijednosti jer većina tvari u otpadnoj vodi brže oksidira nego što se biološki razgradi (Glancer-Šoljan i sur., 2001).

4.3. Određivanje biokemijske potrošnje kisika

Biokemijska potrošnja kisika (BPK_5) je masena koncentracija otopljenog kisika potrošenog pri specifičnim uvjetima biokemijskom, odnosno biološkom oksidacijom organskih i/ili anorganskih tvari u vodi za razgradnju organske otpadne tvari u otpadnoj vodi nakon 5 ili 7 dana (Juretić, 2016b). Biokemijska potrošnja kisika u 5 dana (BPK_5) je test prema normi HRN EN 1899-2:2004 koji se temelji na određivanju koncentracije otopljenog kisika u ispitivanom uzorku vode ili otpadne vode prije i nakon 5 dana na $20\text{ }^\circ\text{C}$ u tami. BPK_5 ima dva stadija razgradnje gdje se u prvom troši kisik za pretvorbu organskog ugljika u ugljikov dioksid, a u drugom se kisik troši za pretvorbu organskog dušika, amonija i nitrata u nitrite. Drugi stadij započinje nakon šest dana, a u nekim slučajevima i ranije s obzirom na koncentraciju amonija, nitrata te nitrificirajućih bakterija te je onda potrebno dodati nitrifikacijski inhibitor koji inhibira drugi stadij biokemijske potrošnje kisika. Postupak počinje provjerom sadržaja slobodnog klora. Ukoliko je koncentracija klora viša od $0,5\text{ mg/L}$ potrebno je dodati otopinu Na_2SO_3 (Kemika, Hrvatska). Uređaji potrebni za određivanje BPK_5 su Oxitop mjerni sustav BOD Direct Plus, proizvođača Hach Lange-Njemačka koji sadrži 1 osnovni BPK uređaj s

integriranim postoljem za boce, 6 BPK senzora, 6 BPK boca, 6 brtvenih tuljaka, 6 magnetskih štapića za miješanje. Cijeli mjerni sustav se stavlja u inkubator, model TC135S, proizvođača Lovibond Tintometer Group iz Velike Britanije. Koncentracija BPK₅ koja se očekuje na kraju mjerenja određuje volumen koji se uzima za mjerenje u BPK bocama te volumen inhibitora nitrifikacije što je prikazano u tablici 2.

Tablica 2. Parametri potrebni za određivanje koncentracije BPK₅ (Juretić, 2016b).

Očekivana koncentracija BPK ₅ [mg/L]	Volumen uzorka [mL]	Faktor f	Volumen inhibitora nitrifikacije ATH [kapi]
0-40	432	1	9
0-80	365	2	7
0-200	250	5	5
0-400	164	10	3
0-800	97	20	2
0-2000	43,5	50	1
0-4000	22,7	100	1

Najprije se odredi pH uzorka otpadne vode pH-metrom (Applikon, Nizozemska). Optimalan pH je između 6,5 i 7,5. Uzorak se dobro homogenizira te ovisno o očekivanim koncentracijama BPK₅, u BPK boce se dodaje određeni volumen uzorka otpadne vode, određeni broj kapi komercijalno dostupnog inhibitora nitrifikacije. Nakon dodavanja uzorka i inhibitora u boce, magnetske miješalice se napune sa dvije granule natrijevog hidroksida (Kemika, Hrvatska) zbog vezanja ugljikovog dioksida te se stave u boce s uzorkom. Na boce se potom postavljaju BPK senzorske glave te se sve zajedno stavlja na integrirano postolje u inkubator na 20±2°C. Boce se drže u termostatu pet dana te se nakon toga s oxy-top čepa očitaju dobivene vrijednosti. Očitane koncentracije se pomnože s faktorom razrjeđenja iz tablice 2, a rezultati se prikazuju u mg O₂/L (Juretić, 2016b). Nakon biološkog pročišćavanja, prema Pravilniku o граниčnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020, BPK₅ iznosi maksimalno 25 mg O₂/L.

4.4. Određivanje koncentracije suspendiranih tvari

Suspendirane tvari u ispustu iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda doprinose povećanju

KPK, BPK₅ i ukupnog fosfora i potrebno ih je ukloniti (Felber i Fischer, 2014). Hidro.Lab. d.o.o. provodi analizu suspendiranih tvari prema vlastitoj metodi RU-M-07, modif. HRN EN 872:2008. Ukupne suspendirane tvari u otpadnoj vodi se određuju filtracijom poznatog volumena otpadne vode kroz suhi (sušenje u sušioniku UNB400 (Memmert, Njemačka) pri 105 °C, 1 h), ohlađeni u eksikatoru i prethodno izvagani filter papir veličine pora 0,45 µm. Uzorak otpadne vode se treba u potpunosti filtrirati na aparaturi za vakuumsku filtraciju dok filter ne postane gotovo suh. Isfiltrirane tvari nakon filtracije se suše u sušioniku pri 105 °C ± 2°C do konstantne mase minimalno 1 h, a maksimalno 14-16 sati. Osušeni filter s uzorkom se potom hladi u eksikatoru i važe (Juretić, 2016a). Količinu suspendiranih tvari predstavlja masa filtra prije i nakon filtracije i sušenja, podijeljena s volumenom uzorka i pomnožena s faktorom preračunavanja. Rezultat se iskazuje u mg/L (Cybulski i Schwentner, 2012). Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020, maksimalna dopuštena koncentracija (MDK) suspendiranih čestica iznosi 35 mg/L.

4.5. Određivanje koncentracije ukupnog dušika

Koncentracija ukupnog dušika u otpadnoj vodi je zbroj koncentracija Kjeldahl-ovog dušika, dušika u obliku nitrita, nitrata, azida, oksima, nitro i nitrozo spojeva (Glancer-Šoljan i sur., 2001). Svi navedeni kemijski spojevi kao i elementarni dušik u plinovitom stanju, mogu se prevesti iz jednog oblika u drugi (Turkalj, 2018). U otpadnoj vodi koja se biološki pročišćava, tj. uključuje nitrifikaciju i denitrifikaciju, ukupni sadržaj dušika je obično ispod 20 mg/L (Cybulski i Schwentner, 2012). Analiza je provedena prema normi HRN EN 12260:2008 gdje se ukupni dušik određuje na Shimadzu aparatu sa uzorkivačem (ASS-L) za određivanje ukupnog organskog ugljika (TOC-L) i ukupnog dušika (TNM-L), zemlja porijekla Japan. Aparat radi na principu katalitičkog spaljivanja uzorka pri temperaturi većoj od 700 °C gdje dušik u uzorku oksidira do dušikovih oksida, a kvantifikacija se provodi pomoći kemiluminiscentnog detektora. Detekcijski signal je pik, a površina ispod pika se mjeri računalnim programom. Površina ispod pika je proporcionalna koncentraciji dušika u uzorku (Turkalj, 2018). Uzorak se prije stavljanja u aparat treba dobro homogenizirati te profiltrirati kroz filter veličine pora 0,45 µm na aparaturi za vakuumsku filtraciju ukoliko sadrži znatnu količinu suspendirane tvari. Mjerno područje aparata je 0,25 mg/L-100 mg/L, a ukoliko je koncentracija veća radi se adekvatno razrjeđenje. Obzirom na očekivanu vrijednost koncentracije dušika kod postavljanja mjerenja potrebno je odabrati odgovarajuću

kalibracijsku krivulju. Za potrebe metode određivanja ukupnog dušika rade se dvije kalibracije; jedna u vrijednostima od 1-10 mg/L te druga u vrijednostima od 10-100 mg/L. Rezultat se ne računa već se nalazi na ispisu. Rezultat je dobiven kao srednja vrijednost dva mjerenja uz uvjet da je koeficijent varijacije (CV) manji od 3. Ukoliko je $CV > 3$ uređaj provodi još jedno mjerenje i isključuje rezultat koji odstupa. Rezultat na ispisu je izražen u mg/L (Turkalj, 2018).

4.6. Određivanje koncentracije ukupnog fosfora

U biološki pročišćenoj vodi, još uvijek su sadržane anorganske soli, od kojih su većina fosfati koji doprinose rastu algi i zelenih biljaka u vodi (Glancer-Šoljan i sur., 2001). Određivanje fosfora se vrši spektrometrijski s amonijevim molibdatom u Hidro.Lab d.o.o. po vlastitoj metodi RU-M-23. Određivanje koncentracije fosfora provodi u dva dijela. Prvi dio postupka je digestija, tj. razaranje kiselinom, a drugi kolorimetrijsko određivanje na spektrofotometru DR900 (HACH Lange, Njemačka). Nefiltrirani uzorak, zakiseljen sumpornom kiselinom (Merck, Njemačka), uz dodatke reagensa specifičnih za ovu metodu se zagrijava u termoreктору CR 4200 (Xylem, Njemačka) na 120 °C, a vrijeme trajanja digestije je 1 sat. Digestirani uzorak se razrjeđuje te se dodaju amonijev molibdat i stanoklorid (Kemika, Hrvatska) uz snažno miješanje kako bi došlo do razvoja boje. Rezultat se očitava na spektrofotometru te je izražen u mg/L, a sama koncentracija ukupnog fosfora se dobije množenjem očitano rezultata s razrjeđenjem (Juretić, 2016c). Ukupni fosfor se određuje kako bi se uravnotežio učinak pročišćavanja otpadne vode. Kad se radi o III. stupnju pročišćavanja, ukupni sadržaj fosfora mora biti ispod 2 mg/L po Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN26/2020.

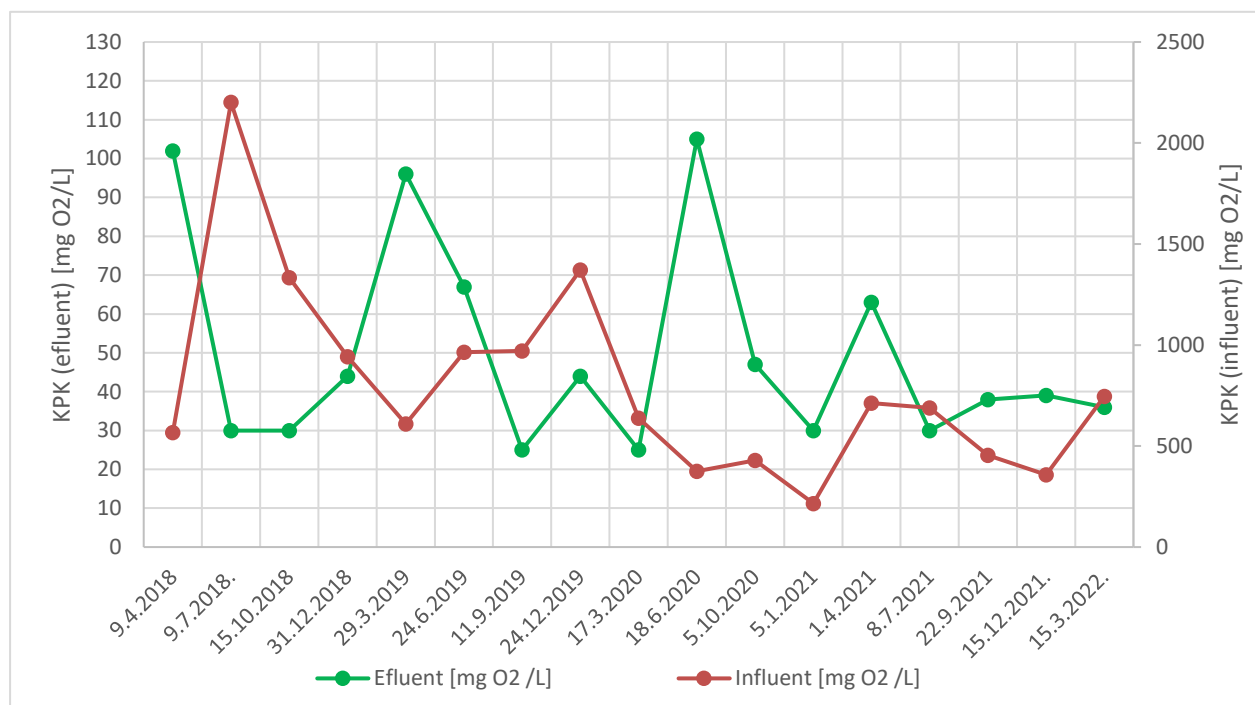
5. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom radu praćeni su osnovni parametri rada UPOV-a Delnice kroz period od travnja 2018. do ožujka 2022. Rezultati analiza za rujna i prosinac 2021. su analizirani za vrijeme moje prakse u Komunalac d.o.o. Delnice, a ostali rezultati analiza su uzeti iz arhive, koje je ustupila voditeljica UPOV-a. Fizikalni parametar koji se pratio je suspendirana tvar, a kemijski parametri su kemijska potrošnja kisika, biokemijska potrošnja kisika, ukupni dušik i ukupni fosfor. Za svaki ovaj parametar prikazane su ulazne i izlazne koncentracije te su uspoređene s MDK propisanom Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020. Kako bi se okarakterizirao influent, parametri su stavljeni u omjere te je izračunato

četverogodišnje opterećenje uređaja po sezonama.

5.1. Analiza kemijske potrošnje kisika

Rezultati KPK otpadne vode i obrađene vode nakon UPOV-a Delnice grafički su prikazani na slici 11 u razdoblju od travnja 2018. do ožujka 2022.



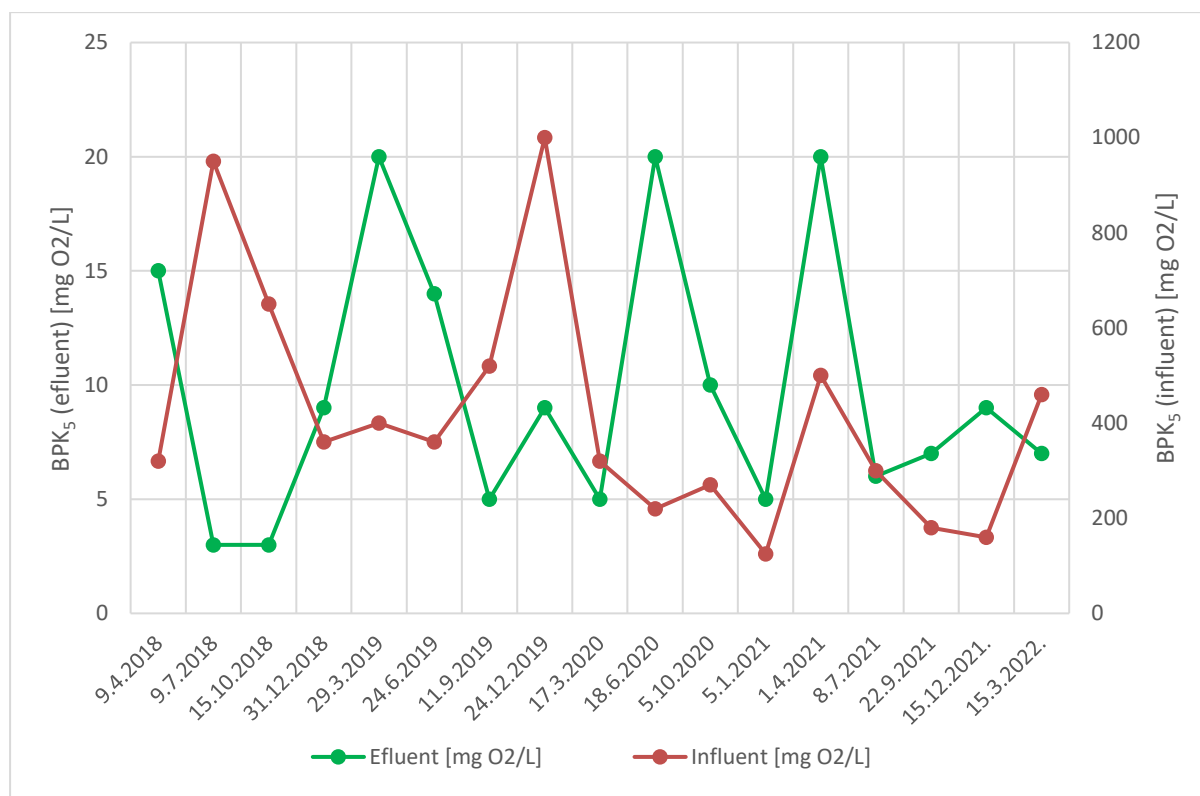
Slika 11. Grafički prikaz KPK na ulazu (influent) i izlazu (effluent) UPOV-a Delnice

Tijekom četverogodišnjeg razdoblja, ulazni KPK se nalazio u rasponu od 216 do 2201 mg/L, a izlazni od 25 do 105 mg/L. Najveća vrijednost KPK u influentu je zabilježena 9.7.2018., a u effluentu 18.6.2020. Sve izlazne vrijednosti su ispod MDK propisane Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020 koja iznosi 125 mg/L. Otpadna voda iz drvne industrije sadrži veliku količinu različitih tvari kao što su produkti razgradnje drva (celuloza i lignin), njegovi ekstrakti te teški metali. KPK vrijednost za takve otpadne vode se nalazi u rasponu od 200 do 11,000 mg O₂/L (Toczyłowska-Mamińska, 2020). S obzirom da Delnice imaju drvenu industriju, možemo pretpostaviti kako visoke vrijednosti KPK u influentu proizlaze upravo iz toga. Također, dovod septičkih jama ima značajan utjecaj na KPK.

5.2. Analiza biokemijske potrošnje kisika

Rezultati BPK₅ otpadne vode te obrađene vode nakon UPOV-a Delnice grafički su prikazani na slici 12

za razdoblje od travnja 2018. do ožujka 2022.

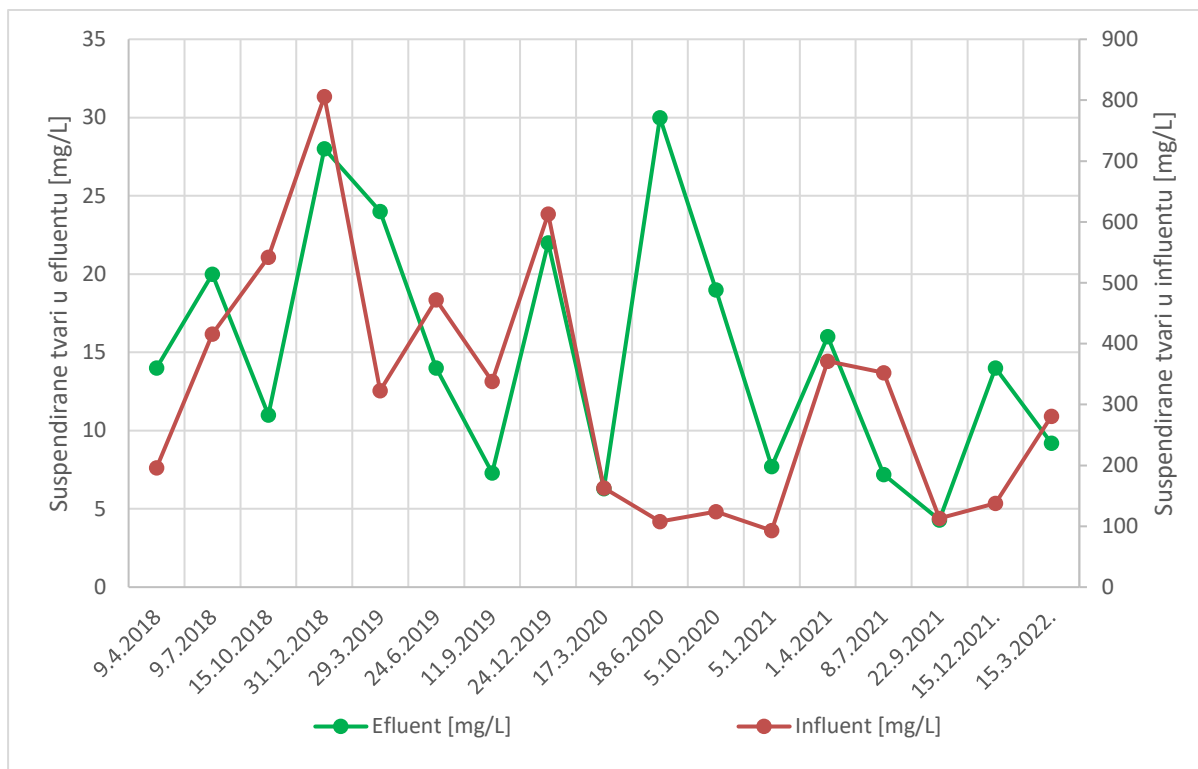


Slika 12. Grafički prikaz BPK₅ na ulazu (influent) i izlazu (effluent) UPOV-a Delnice

Biokemijska potrošnja kisika u vodi na ulazu i izlazu iz UPOV-a je bila u rasponu od 125 do 1000 mg/L za ulaznu otpadnu vodu te od 3 do 20 mg/L za obrađenu vodu. Najveća vrijednost BPK₅ za ulaz je zabilježena 24.12.2019., a za izlaz 23.3.2019., 18.6.2020. i 1.4.2021. te su te izlazne vrijednosti više od MDK koja iznosi 15 mg/L prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020. Optimalni raspon za BPK₅ u influentu je od 250 do 400 mg/L (Sperling, 2007). Više ulazne vrijednosti moguće su zbog dotoka sadržaja vode septičkih jama na UPOV Delnice.

5.3. Analiza koncentracija suspendiranih tvari

Rezultati koncentracija suspendiranih tvari na ulazu i izlazu UPOV-a Delnice grafički su prikazani na slici 13 za razdoblje od travnja 2018. do ožujka 2022.

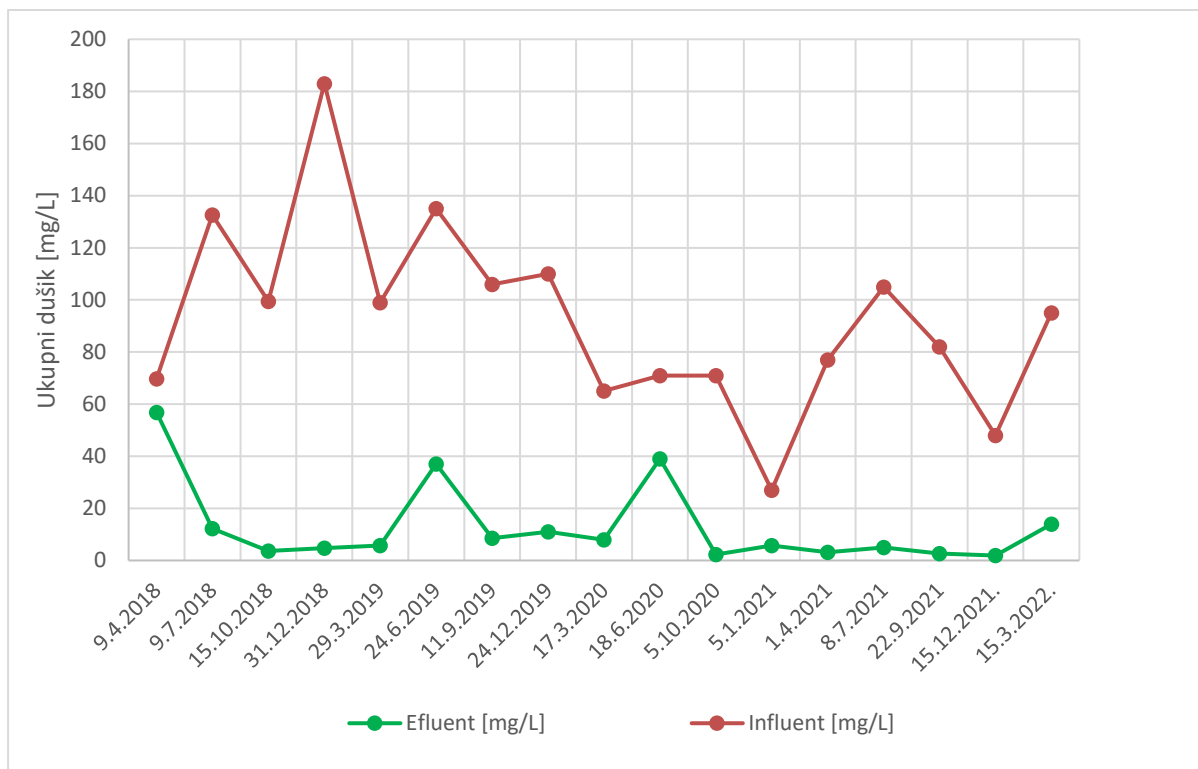


Slika 13. Grafički prikaz koncentracija suspendiranih tvari na ulazu (influent) i izlazu (efluent) UPOV-a Delnice

Koncentracija suspendiranih tvari na ulazu UPOV-a kroz četiri godine se mijenja u rasponu od 93 do 806 mg/L. Najviša vrijednost zabilježena je 31.12.2018. Izlazne koncentracije variraju u rasponu od 4,3 do 30 mg/L. Koncentracija od 30 mg/L zabilježena je 18.6.2020., ali se nalazi ispod MDK propisane Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020 koja iznosi 35 mg/L. Prema Sperlingu (2007), ulazne vrijednosti za suspendirane tvari su u rasponu od 200 do 450 mg/L pa veće koncentracije s UPOV-a Delnice možemo pripisati većem dotoku voda septičkih jama s obzirom da nisu svi stanovnici Delnica spojeni na s.j.o.

5.4. Analiza koncentracija ukupnog dušika

Rezultati koncentracija ukupnog dušika na ulazu i izlazu otpadne vode na UPOV-u Delnice grafički su prikazani na slici 14 za razdoblje od travnja 2018. do ožujka 2022.



Slika 14. Grafički prikaz koncentracija ukupnog dušika u vodi na ulazu (influent) i izlazu (effluent) UPOV-a Delnice

U četverogodišnjem razdoblju, ulazne vrijednosti za ukupni dušik se kreću od 27 do 132,61 mg/L, a izlazne vrijednosti od 1,9 do 56,87 mg/L. Najviša koncentracija u influentu je zabilježena u srpnju 2018., a u efluentu u travnju 2018. Osim te izlazne koncentracije u travnju, sve su ispod propisanog MDK koji iznosi 15 mg/L prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020, no ukupni dušik se ne ograničava s obzirom da je UPOV Delnice uređaj s drugim stupnjem pročišćavanja.

Uklanjanje dušika se provodi nitrifikacijom i denitrifikacijom. Nitrifikacija je proces oksidacije koji zahtjeva prisutnost kisika, tj. aerobne uvjete. Prvi dio nitrifikacije provode bakterije roda *Nitrosomonas* koje oksidiraju amonijak u nitrite, a drugi dio nitrifikacije provode bakterije roda *Nitrobacter* koje oksidiraju nitrite u nitrate. *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* spadaju u autotrofne bakterije (Curtin i sur., 2011). Denitrifikacija je redukcijski proces bez prisutnosti kisika u tzv. anoksičnim uvjetima, koji provode heterotrofne bakterije, najčešće roda *Pseudomonas*. One reduciraju nitrate u dušikov oksid i plinoviti dušik (Curtin i sur., 2011). Prema rezultatima s UPOV-a Delnice može se zaključiti kako UPOV ima nitrifikacijsku i denitrifikacijsku sposobnost kroz cijelu godinu. Veće izlazne vrijednosti za ukupni dušik u ljeti 2019. i 2020.

možemo pripisati nedovoljnom izvoru ugljika s obzirom da su i KPK i BPK vrijednosti bile niže.

5.4. Analiza koncentracija ukupnog fosfora

Koncentracije ukupnog fosfora na ulazu i izlazu UPOV-a Delnice su prikazani na slici 15 za razdoblje od travnja 2018. do ožujka 2022.



Slika 15. Grafički prikaz koncentracija ukupnog fosfora na ulazu (influent) i izlazu (effluent) UPOV-a Delnice

Koncentracije ukupnog fosfora na ulazu i izlazu uređaja kreću se u rasponu od 2,06 do 14,8 mg/L za ulaz i od 0,96 do 11,4 mg/L za izlaz. Najveće koncentracije zabilježene su u srpnju 2018. za jednu i drugu vrijednost. Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020 propisana je MDK od 2 mg/L, no koncentracija fosfora se samo prati s obzirom na stupanj pročišćavanja UPOV-a Delnice. Prema Wangu i sur. (2017), koncentracije ukupnog fosfora su znatno veće u toplijim mjesecima nego u hladnijim što je i slučaj za rezultate s UPOV-a Delnice. Do sezonskih varijacija koncentracija ukupnog fosfora može doći i zbog veće ili manje upotrebe izvora fosfora kao što su deterdženti za pranje rublja i posuđa,

gelovi za tuširanje i dr., a ta upotreba se povećava u toplijim mjesecima (Wang i sur., 2017).

5.5. Karakterizacija ulazne otpadne vode na UPOV-u Delnice

Koncentracije kemijske potrošnje kisika (KPK), biokemijske potrošnje kisika (BPK₅), ukupnog dušika (TN) i ukupnog fosfora (TP) u influentu stavljene su u omjere, kako bi se procijenila funkcionalnost trenutnog tretmana obrade otpadne vode na UPOV-u Delnice, koji su prikazani u tablici 3 s njihovim ukupnim prosječnim vrijednostima i standardnom devijacijom.

Tablica 3. Karakteristike influenta prikazane u omjerima zajedno s njihovim ukupnim prosječnim vrijednostima i standardnim devijacijama za razdoblje od travnja 2018. do ožujka 2022.

DATUM	KPK/BPK ₅	KPK/TN	KPK/TP	BPK ₅ /KPK	BPK ₅ /TN	BPK ₅ /TP
9.4.2018.	1,77	8,14	55,59	0,56	4,59	31,37
9.7.2018.	2,32	16,60	148,72	0,43	7,16	64,19
15.10.2018.	2,05	13,40	159,45	0,49	6,54	77,75
31.12.2018.	2,62	5,15	94,87	0,38	1,97	36,22
29.3.2019.	1,53	6,16	46,21	0,66	4,04	30,30
24.6.2019.	2,68	7,15	86,62	0,37	2,67	32,32
11.9.2019.	1,87	9,16	104,86	0,54	4,91	56,16
24.12.2019.	1,37	12,46	128,13	0,73	9,09	93,46
17.3.2020.	1,99	9,82	61,35	0,50	4,92	30,77
18.6.2020.	1,70	5,28	56,14	0,59	3,10	32,93
5.10.2020.	1,59	6,04	70,56	0,63	3,80	44,41
5.1.2021.	1,73	8,00	104,85	0,58	4,63	60,68
1.4.2021.	1,43	9,26	95,32	0,70	6,49	66,84
8.7.2021.	2,30	6,56	70,02	0,44	2,86	30,49
22.9.2021.	2,53	5,55	64,45	0,40	2,20	25,50
15.12.2021.	2,24	7,46	81,36	0,45	3,33	36,36
15.3.2022.	1,62	7,85	91,65	0,62	4,84	56,51
Pr. vrijednost	1,70	7,99	73,62	0,59	4,72	43,94
St. devijacija	0,11	0,20	25,50	0,04	0,18	17,78

Omjer različitih tvari u otpadnim vodama utječe na odabir i funkciju tretmana obrade otpadne vode (Henze i sur., 1997). Omjer BPK₅/KPK ukazuje na biorazgradivost otpadne vode te se prema njemu može procijeniti koji tretman će biti pogodan za obradu otpadne vode. Omjer BPK₅/KPK se nalazi u rasponu od 0 do 1. Lako biološki razgradiva otpadna voda ima omjer BPK₅/KPK veći od 0,6 te je ta voda pogodna za biološko pročišćavanje. Ukoliko je omjer manji

od 0,3 radi se o otpadnoj vodi koja je zagađena tvarima koje mikroorganizmi ne mogu razgraditi ili se u njoj nalaze toksične tvari te nije pogodno biološko tretiranje takve otpadne vode. Omjer koji se nalazi između 0,3 i 0,6 govori kako je potrebno dodatno naciepljivanje kulturom mikroorganizama jer će proces razgradnje tvari biti relativno spor (Abdalla i sur., 2014). Kao i omjer BPK_5/KPK , KPK/BPK_5 omjer je pogodan za procjenu biorazgradivosti i tretmana obrade otpadne vode. Omjeri KPK/BPK_5 manji od 2,5 ili 3,0 smatraju se niskim te govore kako je biorazgradivost visoka te je to dobar indikator za biološki tretman otpadne vode. Omjeri između 2,5 i 4,0 su srednji omjeri sa niskom količinom tvari koja nije biološki razgradljiva te je potrebno provjeriti hoće li biološki tretman biti izvediv. Visok omjer KPK/BPK_5 je veći od 3,5 ili 4,0 te ukazuje na teško razgradivu tvar i potreban je fizikalno-kemijski tretman obrade (Sperling, 2007). Rezultati s UPOV-a pokazuju graničnu vrijednost za omjer BPK_5/KPK koja iznosi $0,59 \pm 0,04$ te je ta voda pogodna za biološko pročišćavanje, no ipak postoji mogućnost dodatnog naciepljivanja mikroorganizama u slučaju spore razgradnje otpadnih tvari. No, s obzirom da je prosječni omjer KPK/BPK_5 $1,70 \pm 0,11$, može se zaključiti kako je biorazgradivost visoka te je otpadna voda koja dolazi na UPOV Delnice pogodna za biološki tretman.

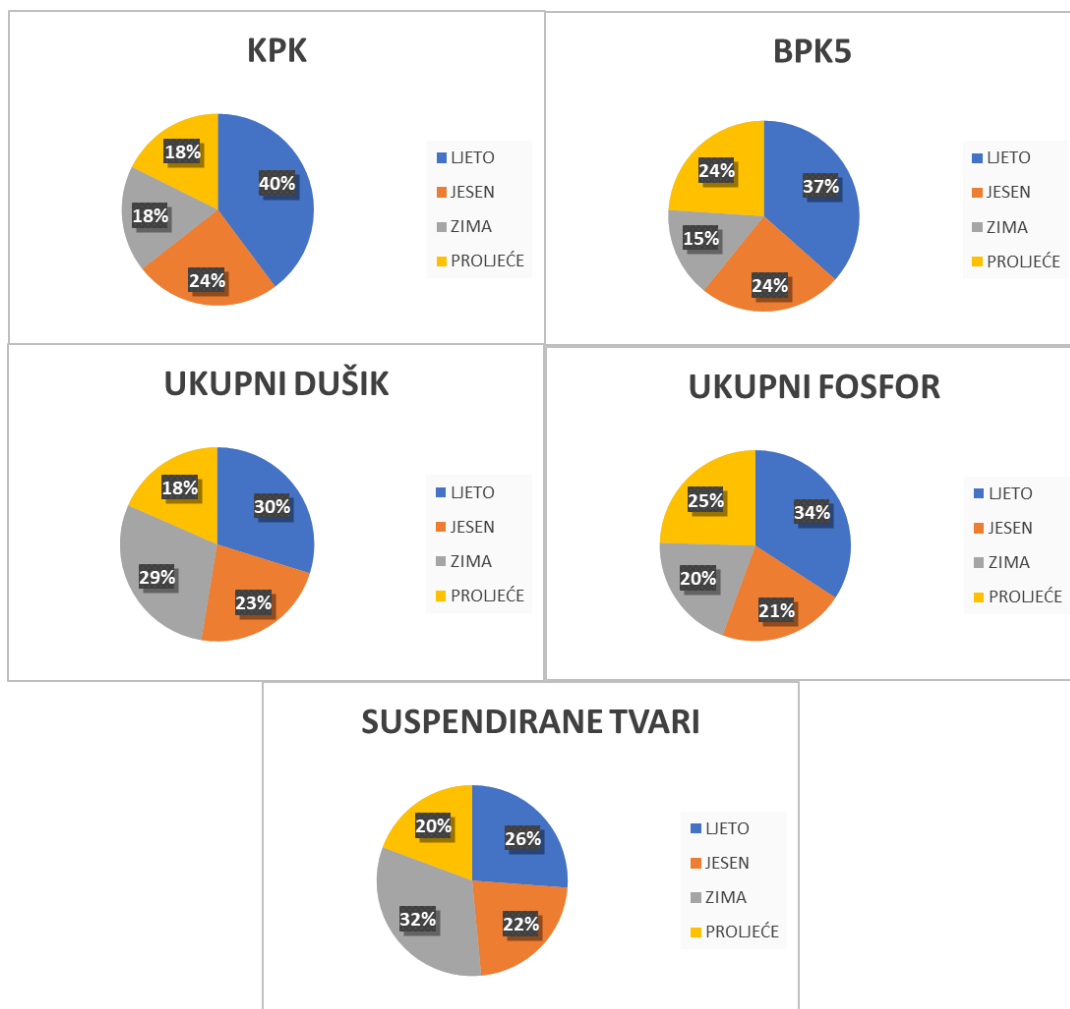
Kako je određena količina organske tvari potrebna za denitrifikaciju, omjer KPK/TN je važan za uspješnost procesa te se njime može procijeniti sadrži li ulazna otpadna voda dovoljne količine biorazgradivog ugljika za provedbu denitrifikacije ili je potrebno dodati vanjski izvor ugljika. Ako je omjer ugljika i dušika u sirovoj otpadnoj vodi nizak (od 6 do 8), to znači da će denitrifikacija biti polovična ili će se jako slabo odvijati pa će uklanjanje dušika biti reducirano. Time će doći do nagomilavanja produkta nitrifikacije, nitrata i nitrita, koji se neće dalje prevoditi u plinoviti dušik denitrifikacijom (Henze i sur., 1997). Visok omjer KPK/TN (od 12 do 16) pogoduje denitrifikaciji zbog povećane količine izvora ugljika (Sperling, 2007). Optimalan omjer KPK/TN je između 8 i 12. Prosječan omjer KPK/TN na UPOV-u Delnice iznosi $7,99 \pm 0,20$ te spada u optimalan omjer i bakterije koje provode nitrifikaciju i denitrifikaciju bi trebale imati dovoljan izvor ugljika za svoje funkcije što dodatno govori i omjer BPK_5/TN koji u prosjeku iznosi $4,72 \pm 0,18$. Prema Henze i sur. (1997) niski omjer BPK_5/TN je od 3 do 4, visoki od 6 do 8, a optimalan omjer je od 4 do 6. Također, prema Winkleru (2013), kada u uređaj za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda s visokim udjelom industrijskih otpadnih voda dolazi otpadna voda s omjerom BPK_5/TN od 2,45, taj omjer je nažalost prenizak da bi se mogla dogoditi denitrifikacija pa je potrebno dodati vanjske izvore ugljika.

Omjer organskih sastojaka i ukupnog fosfora (KPK/TP) je neophodan za rad sustava za

uklanjanje fosfora (Šipalo, 2018). S obzirom da SBR omogućuje istovremeno uklanjanje dušika i fosfora, omjer KPK/TN mora biti visok kako bi omjer KPK/TP imao utjecaj na uklanjanje fosfora (Henze i sur., 1997). Bez obzira na omjer KPK/TN, optimalan omjer KPK/TP u influentu kod komunalne otpadne vode bi trebao biti najmanje od 35 do 45. Niski omjeri za KPK/TP iznose od 20 do 35, a visoki od 45 do 60 kako navode Henze i sur. (1997). Broughton i sur. (2008) navode kako je omjer KPK/TP od samo 15 dovoljan za postizanje 100 % uklanjanja fosfora u aerobno/anaerobnim uvjetima. Iz rezultata UPOV-a može se zaključiti da je prosječni omjer KPK/TP, koji iznosi $73,62 \pm 25,50$, i više nego dovoljan za učinkovito uklanjanje fosfora dok standardna devijacija upućuje na veliku raspršenost i neravnomjernost rezultata. Bez obzira na to, i najmanji i najveći omjer KPK/TP spadaju u visoke omjere te su dovoljni za uklanjanje fosfora. Prema Henze i sur. (1997), optimalan omjer BPK₅/TP iznosi od 15 do 20. Ako je omjer niži, znači da nedostaje hlapivih masnih kiselina za biološko uklanjanje fosfora. BPK je važan izvor hrane za uspješno uklanjanje, a bez toga fosfor se ne može ukloniti (Curtin i sur., 2011). Omjer BPK₅/TP na UPOV-u Delnice iznosi $43,94 \pm 17,78$ što govori kako mikroorganizmi imaju dovoljno izvora hrane za uklanjanje fosfora.

5.6. Četverogodišnje opterećenje ulazne otpadne vode na UPOV-u Delnice

Opterećenje ulazne otpadne vode u razdoblju od četiri godine prikazano je po sezonama (proljeće, ljeto, jesen i zima). Prema grafičkom prikazu (slika 16) se vidi da je za svaki parametar, osim za suspendirane tvari, najveći udio opterećenja u ljetnim mjesecima što se može pripisati povećanoj aktivnosti industrije ili ljetnom turizmu na području grada Delnica.



Slika 16. Grafički prikaz opterećenja otpadne vode kemijskom potrošnjom kisika, biokemijskom potrošnjom kisika, ukupnim dušikom, i ukupnim fosforom i suspendiranom tvari tijekom četiri godine grupirano po sezonama (proljeće, ljeto, jesen i zima)

6. ZAKLJUČAK

Na temelju analiza fizikalno-kemijskih parametara na UPOV-u Delnice za razdoblje od travnja 2018. do rujna 2021. možemo izvesti sljedeće zaključke:

1. Visoke ulazne vrijednosti KPK, BPK₅ i suspendiranih tvari rezultat su povećanog dotoka otpadnih voda iz septičkih i crnih jama. Izlazne vrijednosti KPK, BPK₅ i suspendiranih tvari iz UPOV-a Delnice su ispod MDK po čemu možemo zaključiti da je biološko pročišćavanje otpadnih voda na UPOV-u vrlo učinkovito te je obrađena voda dobre kakvoće za ispus u prirodni recipijent Delnički potok.

2. UPOV Delnice ima nitrifikacijsku i denitrifikacijsku sposobnost tijekom cijele godine te uspješno uklanja fosfor. Veće koncentracije ukupnog dušika u efluentu posljedica su niskih KPK i BPK₅ vrijednosti zbog nedovoljnog izvora ugljika za nitrificirajuće i denitrificirajuće bakterije dok veće koncentracije ukupnog fosfora u efluentu tijekom ljetnih mjeseci možemo pripisati povećanoj upotrebi izvora fosfora (deterdženti za pranje suđa i rublja, gelovi za tuširanje).
3. Prema omjerima KPK/BPK i BPK/KPK, otpadna voda koja dolazi na UPOV Delnice ima visoku biorazgradivost i pogodna je za biološko pročišćavanje. Gledajući omjere KPK/TN i BPK/TN, mikroorganizmi u SBR bazenu bi trebali imati dovoljan izvor ugljika za nitrifikaciju i denitrifikaciju, a prema visokim omjerima KPK/TP i BPK/TP, fosfor-akumulirajuće bakterije imaju dovoljan izvor hrane za uspješno uklanjanje fosfora iz otpadne vode.
4. Tijekom četverogodišnjeg razdoblja, za svaki kemijski parametar (KPK, BPK₅, ukupni fosfor i ukupni dušik) najveći udio opterećenja je bio u ljetnim mjesecima što je posljedica povećanog turizma i moguće povećane aktivnosti drvne industrije.

7. POPIS LITERATURE

Abdalla K. Z., Hammam G. (2014) Correlation between Biochemical Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand for Various Wastewater Treatment Plants in Egypt to Obtain the Biodegradability Indices. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, vol. 13(1).

AZV (2016) Sekvencijalni šaržni reaktor SBR. AZV- Azuvoda d.o.o., Rijeka.

Broughton A., Pratt S., Shilton A. (2008) Enhanced biological phosphorus removal for highstrength wastewater with a low rbCOD:P ratio. *Bioresource Technol*, vol. 99.

Curtin K., Duere S., Fitzpatrick B., Meyer P. (2011) Biological Nutrient Removal. *Minnesota Pollution Control Agency*.

Cybulski B., Schwentner G. (2012) Priručnik za operativnu analizu za uređaje za pročišćavanje otpadnih voda. 2. izd., F. Hirthammer, München/Oberhaching.

Felber H., Fischer M. (2014) Priručnik za tehničke voditelje uređaja za pročišćavanje. 17. izd., F. Hirthammer, München/Oberhaching.

Glancer-Šoljan M., Landeka-Dragičević T., Šoljan V., Ban S. (2001) Biološka obrada otpadnih voda (Interna skripta). Kugler d.o.o., Zagreb.

Grad Delnice (2015) Strateški razvojni plan grada Delnica 2015.-2020. (Nacrt), Delnice. https://delnice.hr/DOKUMENTI_ODLUKE/startegija_razvoja/GV%2049.%20Strategija_Grad%20Delnice_GV.pdf. Pristupljeno 20. listopada 2021.

HDZV (2018) Odgovor je u prirodi. Glasnik 13, 32. HDZV- Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb. http://hdzv.hr/wp-content/uploads/2019/06/Glasnik_Hrvatskog_drustva_za_zastitu_voda/Glasnik_br_32_HDZV.pdf. Pristupljeno 20. listopada 2021.

Henze M., Harremoës P., Jansen J. C., Arvin E. (1997) Wastewater treatment- Biological and Chemical Processes. 2. izd., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.

HRN EN 12260:2008 Kakvoća vode -- Određivanje dušika -- Određivanje vezanog dušika (UN_v) nakon oksidacije u dušične okside (EN 12260:2003).

HRN EN 1899-1:2004 Kakvoća vode -- Određivanje biokemijske potrošnje kisika nakon n dana (BPK_n) -- 1. dio: Metoda razrjeđivanja i nacjepljivanja uz dodatak alitiouree (ISO 5815:1989, modified; EN 1899-1:1998).

HRN EN 872:2008 Kakvoća vode -- Određivanje suspendiranih tvari -- Metoda filtriranjem kroz filtar od staklenih vlakana (EN 872:2005).

HRN EN ISO 5667-14:2016 Kvaliteta vode -- Uzorkovanje -- 14. dio: Upute za osiguravanje kvalitete i kontrolu kvalitete pri uzorkovanju i rukovanju uzorcima vode iz

okoliša (ISO 5667-14:2014; EN ISO 5667-14:2016).

HRN ISO 5667-10:2000 Kakvoća vode -- Uzorkovanje -- 10. dio: Smjernice za uzorkovanje otpadnih voda (ISO 5667-10:1992).

HRN ISO 6060:2003 Kakvoća vode -- Određivanje kemijske potrošnje kisika (ISO 6060:1989).

Juretić A. (2016a) Određivanje suspendiranih tvari (Radna uputa). RU-M-07, Hidro.Lab. d.o.o., Rijeka.

Juretić A. (2016b) Određivanje biokemijske potrošnje kisika, BPK₅ (Radna uputa). RU-M-17, Hidro.Lab. d.o.o., Rijeka.

Juretić A. (2016c) Određivanje ukupnog fosfora (Radna uputa). RU-M-23, Hidro.Lab. d.o.o., Rijeka.

Juretić A. (2016d) Određivanje kemijske potrošnje kisika (Radna uputa). RU-M-16, Hidro.Lab. d.o.o., Rijeka.

Mijatović I., Matošić M. (2019) Tehnologija vode (Interna skripta). Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Pravilnik (2020) Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda. Narodne novine 26, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_03_26_622.html .

Schendel T. M., Milohnić N. (2015) Rekonstrukcija uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Delnice (Strojarsko-tehnoški projekt). „PRONGRAD BIRO“ d.o.o., Zagreb.

Singh M., Srivastava R.K. (2011) Sequencing batch reactor technology for biological wastewater treatment (a review). Asia-Pacific Jnl of Chem. Eng, 6: 3-13.

Sperling M. (2007) Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. Water Intelligence

Online, vol. 6.

Šipalo T. (2018) Utjecaj omjera C/P na biološko uklanjanje fosfora u anoksično/aerobnom procesu (diplomski rad), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

Toczyłowska-Mamińska R. (2020) Wood-Based Panel Industry Wastewater Meets Microbial Fuel Cell Technology. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(7):2369.

Turkalj M. (2018) Određivanje ukupnog dušika (Radna uputa). RU-M-95, Hidro.Lab. d.o.o., Rijeka.

Uredba (2005) Uredba o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada. Narodne novine 50, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2005_04_50_963.html.

Vodopravna dozvola (2018) Vodopravna dozvola za ispuštanje otpadnih voda. KLASA:UP/I-325-04/17-5/0000522, Hrvatske vode, Rijeka.

Vouk D., Nakić D., Štirmer N., Serdar M. (2015) Korištenje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u betonskoj industriji. ITG d.o.o., Zagreb.

Wang X., Kvaal K., Ratnaweera H. (2017) Characterization of influent wastewater with periodic variation and snow melting effect in cold climate area. *Computers & Chemical Engineering*, vol. 106.

Winkler M. (2013) Optimal nutrient ratios for wastewater treatment (Practice report). Laboratory Process and Analysis, Hach Lange.

Zakon (2013) Zakon o održivom gospodarenju otpadom. Narodne novine 94, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_07_94_2123.html

Izjava o izvornosti

Ja Dora Jakupak izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.



Vlastoručni potpis