

Pročišćavanje otpadne vode konditorske industrije

Pfeifer, Alma

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:109:324362>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)/[Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-19**

REPOZITORIJ

PTF

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Alma Pfeifer

PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA KONDITORSKE INDUSTRIJE

DIPLOMSKI RAD

Osijek, travanj 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za primijenjenu kemiju i ekologiju
Katedra za ekologiju i toksikologiju
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Nastavni predmet: Tehnologija vode i obrada otpadnih voda

Tema rada je prihvaćena na XI. Redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2022./2023. održanoj 26. rujna 2023.

Mentor: *prof. dr. sc. Mirna Habuda-Stanić*

Pomoć pri izradi: *Marijana Sablijić, univ. spec. oecol.*

Pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

Alma Pfeifer, 0113143574

Sažetak: U postrojenjima konditorske industrije nastaju značajne količine otpadnih voda koje karakterizira biorazgradivost, visoke vrijednosti KPK i BPK₅ te niske razine hranjivih tvari. Industrijski pogoni priključeni na sustav javne odvodnje uglavnom imaju izgrađene uređaje za pročišćavanje otpadnih voda. Na taj način se karakteristike industrijskih izjednačavaju s karakteristikama komunalnih otpadnih voda te se one zajedno pročišćavaju na uređajima za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda. U ovom radu analizirano je pročišćavanje otpadne vode konditorske industrije u sustavu koji se sastoji od mehaničkog predtretmana, spremnika za egalizaciju, anaerobnog UASB reaktora i aerobnog biološkog reaktora. Učinkovitost pročišćavanja određena je analizom sljedećih parametara: pH, kemijska potrošnja kisika, biokemijska potrošnja kisika, ukupna ulja i masti, anionski tenzidi, neionski tenzidi, ukupni dušik i ukupni fosfor.

Ključne riječi: konditorska industrija, otpadne vode, KPK, BPK₅, fosfor, dušik

Rad sadrži: 51 stranica
24 slike
3 tablice
28 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

- | | | |
|----|-----------------------------------|---------------|
| 1. | prof. dr. sc. Dajana Gašo-Sokač | predsjednik |
| 2. | prof. dr. sc. Mirna Habuda-Stanić | član-mentor |
| 3. | doc. dr. sc. Marija Stjepanović | član |
| 4. | doc. dr. sc. Valentina Bušić | zamjena člana |

Datum obrane: 26. travnja 2024.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Applied Chemistry and Ecology
Subdepartment of Ecology and Toxicology
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program: Food Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Water technology and Wastewater Treatment

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. XI held on September 26, 2023.

Mentor: *Mirna Habuda-Stanić, PhD, Full Professor*

Technical assistance: *Marijana Sablijić, univ. spec. oecol.*

Treatment of wastewater from the confectionery industry

Alma Pfeifer, 0113143574

Summary: Confectionery industry plants are significant producers of wastewater. These wastewaters are classified as biodegradable and are characterized by high values of COD and BOD along with low levels of nutrients. Industrial plants connected to the public sewage system generally have their own wastewater treatment system. In this way, the quality of industrial effluents is matched with the quality of municipal wastewater, allowing them to be treated together at municipal facilities. This paper analyzes the treatment of wastewater from the confectionery industry in a system consisting of mechanical pre-treatment, an equalization tank, an anaerobic UASB reactor, and an aerobic biological reactor. The efficiency of the treatment was determined by analyzing the following parameters: pH, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, total oils and fats, anionic surfactants, nonionic surfactants, total nitrogen, and total phosphorus.

Key words: confectionery industry, wastewater, COD, BOD, phosphorus, nitrogen

Thesis contains: 51 pages
24 figures
3 tables
28 references

Original in: Croatian

Defense committee:

- | | |
|---|--------------|
| 1. Dajana Gašo-Sokač, PhD, Full Professor | chair person |
| 2. Mirna Habuda-Stanić, PhD, Full Professor | supervisor |
| 3. Marija Stjepanović, PhD, Assistant Professor | member |
| 4. Valentina Bušić, PhD, Assistant Professor | stand-in |

Defense date: April 26, 2024

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

Zahvaljujem mentorici, prof. dr. sc. Mirni Habuda-Stanić na ukazanom povjerenju, prenesenom znanju i savjetima koji su pisanje ovog rada učinili lakšim.

Hvala univ. spec. oecol. Marijani Sabljic i njezinom timu na pomoći i ugodnoj atmosferi prilikom provođenja eksperimentalnog dijela rada.

Veliko hvala mojim srednjoškolskim prijateljicama koje su samnom proživljavale sve dobre i loše trenutke te mi uvijek bile podrška. Hvala i mojim bivšim košarkašicama (HOH) s kojima su treninzi, putovanja, utakmice i izlasci bili pravi odmor od fakultestkih obaveza. Ništa ne bi bilo isto bez onih koje sam upoznala tijekom studiranja (d.b.o.), hvala vam za sve ove godine druženja.

Najveće hvala mojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci i razumijevanju. Hvala vam za sve odigrane partije rummikuba i yamba prije ispita!

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	4
2.1. OTPADNE VODE	5
2.1.1. Otpadne vode prehrambene industrije.....	6
2.2. POSTUPCI OBRADJE OTPADNIH VODA.....	9
2.2.1. Mehanička obrada.....	10
2.2.2. Fizikalno kemijski postupci	11
2.2.3. Biološki postupci.....	13
2.2.4. Suvremene i alternativne metode pročišćavanja otpadnih voda	15
2.3. STUPNJEVI OBRADJE OTPADNIH VODA	18
2.3.1. Prethodna (preliminarna) obrada	18
2.3.2. Primarna obrada.....	19
2.3.3. Sekundarna obrada	20
2.3.4. Tercijarna obrada	20
2.3.5. Kvartarna obrada.....	21
2.4. UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA KONDITORSKE INDUSTRIJE	21
2.4.1. Mehanički predtretman otpadne vode	24
2.4.2. Egalizacijski spremnik	24
2.4.3. Biološki predtretman otpadne vode – anaerobni UASB reaktor.....	24
2.4.4. Biološki obrada otpadne vode – aerobni reaktor.....	26
2.4.5. Kemijska obrada otpadne vode.....	27
2.4.6. Mjerna oprema, kontrola i upravljanje procesom	28
2.4.7. Obrada viška aktivnog mulj	28
2.4.8. Strojna dehidracija mulja	28

3. EKSPERIMENTALNI DIO	29
3.1. ZADATAK	30
3.2. MATERIJALI I METODE	30
3.2.1. Uzorkovanje.....	30
3.2.2. Određivanje pH vrijednosti.....	31
3.2.3. Određivanje teško hlapljivih lipofilnih tvari (ukupna ulja i masti).....	32
3.2.4. Određivanje anionskih tenzida	33
3.2.5. Određivanje neionskih tenzida	34
3.2.6. Određivanje kemijske potrošnje kisika.....	35
3.2.7. Određivanje biokemijske potrošnje kisika.....	35
3.2.8. Određivanje ukupnog fosfora.....	35
3.2.9. Određivanje ukupnog dušika.....	36
4. REZULTATI I RASPRAVA	37
4.1. Fizikalno-kemijski pokazatelji.....	38
4.2. Organski pokazatelji.....	38
4.3. Anorganski pokazatelji	43
5. ZAKLJUČCI.....	46
6. LITERATURA.....	49

Popis oznaka, kratica i simbola

KPK	Kemijska potrošnja kisika
BPK ₅	Biokemijska potrošnja kisika
TDS	Ukupno otopljene tvari
UASB	<i>Upflow anaerobic sludge blanket</i> , bioreaktor s lebdećim slojem anaerobnog mulja i uzlaznim strujanjem medija
UPOV	Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda
MDK	Maksimalno dozvoljene koncentracije
EGSB	<i>Expanded granular sludge bed</i> , bioreaktor s ekspaniranim granuliranim slojem mulja
∅	Promjer
NaDBS	Natrijeva dodecilbenzensulfonata

1. UVOD

Voda predstavlja važan prirodni resurs koji osigurava život na Zemlji. Porastom broja stanovnika, smanjila se količina dostupne pitke vode. To je dovelo do razvoja svijesti o smanjenju i kontroli onečišćenja dostupnih izvora vode. Tijekom prošlog stoljeća došlo je do značajnog razvoja tehnologije za pročišćavanje otpadnih voda, a zakonska regulativa u mnogim državama ispuštanje otpadnih voda bez obrade u vodna tijela ne dozvoljavaju.

Pod pojmom otpadne vode podrazumijevaju se sve one vode koje kanalizacijskim sustavom izlaze iz kućanstava, komercijalnih objekata, industrija, ali i oborinske vode. Otpadne vode mogu sadržavati visoke koncentracije onečišćenja organskog i anorganskog podrijetla, patogenih mikroorganizama i toksičnih kemijskih spojeva. Neobrađena otpadna voda ispuštena u vodeni ekosustav predstavlja ozbiljan ekološki problem.

Osmišljeni su brojni postupci i metode kojima se iz takve vode mogu ukloniti onečišćenja ili se njihove koncentracije mogu smanjiti na prihvatljivu razinu koja neće ugroziti okoliš u koji biva ispuštena. Stupanj pročišćavanja ovisi o veličini recipijenta te o njegovom kapacitetu razrjeđenja – što su veći, to je potreban niži stupanj pročišćavanja. Također, treba voditi brigu i o obradi te odlaganju nusproizvoda koji nastaju tijekom pročišćavanja (Riffat, 2012).

Pročišćavanje otpadnih voda prije ispuštanja u prirodne prijemnike ili u sustav javne odvodnje regulirano je Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020). Spomenuti Pravilnik postavlja ograničenja i standarde za industrijske, komunalne i ostale otpadne vode te sadrži odredbe o maksimalno dozvoljenim koncentracijama različitih onečišćujućih tvari. Pravilnik, uz druge zakone i pravne mjere, regulira upravljanje otpadnim vodama u Republici Hrvatskoj te je u skladu s Europskom Okvirnom direktivom o vodama (2000/60/EZ) i Europskom Direktivom o otpadnim vodama (91/271/EZ).

Danas ne postoji grana industrije u kojoj se ne upotrebljava voda. Voda se u prehrambenoj industriji može koristiti prilikom pranja sirovina i procesne opreme, transporta, za ekstrakciju ili za razrjeđivanje gotovog proizvoda (Begić i sur., 2022). Zbog široke primjene, količina i sastav otpadnih voda prehrambene industrije prilično se razlikuje ovisno o vrsti industrije.

Konditorska industrija proizvodi velike količine otpadne vode s visokom koncentracijom biorazgradivih organskih tvari te niskom koncentracijom hranjivih tvari. Ispuštanje otpadnih voda takvih svojstava u vodeni ekosustav dovodi do njegovog odumiranja uslijed brze potrošnje otopljenog kisika (Ozgun i sur., 2012).

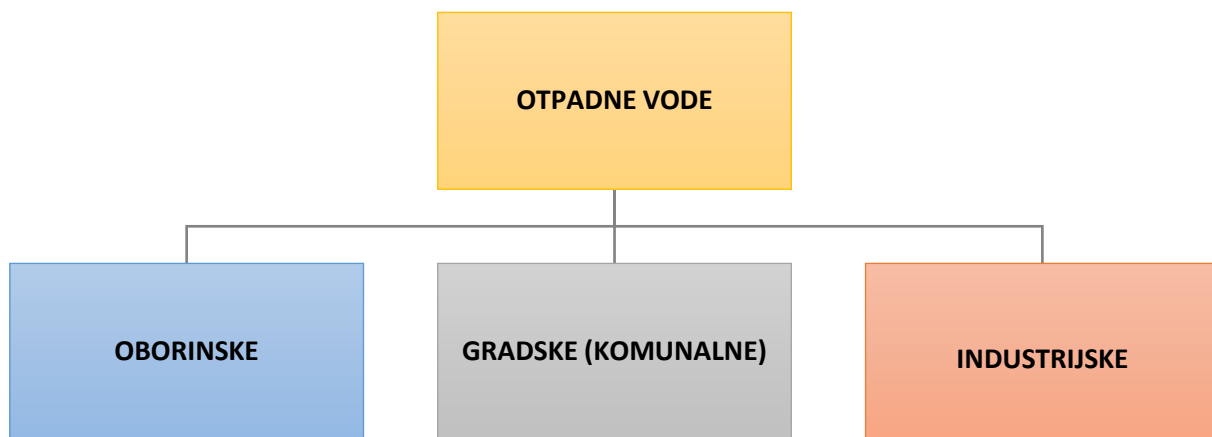
U ovom radu opisan je postupak pročišćavanja otpadne vode konditorske industrije te su prikazani rezultati pročišćavanja otpadne vode uređajem u kojemu se provodi i aerobni i anaerobni biološki tretman. Učinkovitost pročišćavanja otpadne vode određena je analizom sljedećih parametara: pH vrijednost, KPK, BPK₅, ukupna količina ulja i masti, anionski i neionski tenzidi, ukupni dušik i ukupni fosfor. Navedeni parametri analizirani su prije i nakon primjene postupka pročišćavanja.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. OTPADNE VODE

Otpadne vode su one vode čija su fizikalna, kemijska ili biološka svojstva promijenjena uslijed prisutnosti određenih tvari koje ih čine opasnima za okoliš ili za ponovnu upotrebu. Svakodnevne aktivnosti ljudi uglavnom ovise o vodi ili podrazumijevaju korištenje vode te se vodom u okoliš otpuštaju različite onečišćujuće tvari poput fecesa, urina, kozmetičkih proizvoda, detergenata, ostataka hrane, masnoća te mikroorganizama. Spomenute tvari mogu biti štetne za zdravlje ljudi, ali i za okoliš (Amoatey i Bani, 2011).

Pod pojmom otpadnih voda podrazumijevamo sve one vode koje se odводе sustavom kanalizacijskih cijevi iz domova, ureda te industrijskih postrojenja. Podjela otpadnih voda prema podrijetlu prikazana je na **Slici 1**.



Slika 1 Podjela otpadnih voda (Amoatey i Bani, 2011)

Oborinske vode nastaju prolaskom padalina kroz atmosferu, topljenjem snijega ili otjecanjem s poljoprivrednih zemljišta i ulica. Količina i sastav ovisi o intenzitetu i učestalosti padalina kao i o gustoći prometa, načinu obrade poljoprivrednih površina, onečišćenju atmosfere, klimatskim uvjetima i slično.

Komunalne vode nastaju u gradskim i seoskim naseljima. Kvaliteta i sastav ovih voda ovisi o različitim faktorima kao što su životne navike, klimatski uvjeti te dostupnost sustava za

vodoopskrbu i odvodnju. Najčešće tvari koje se mogu pronaći u komunalnim otpadnim vodama su suspendirane čvrste tvari, organski sastojci te patogeni mikroorganizmi. Povišene koncentracije hranjivih tvari, poput dušika i fosfora, također su često prisutne u komunalnim otpadnim vodama koje u ekosustavu pospješuju proces eutrofikacije i značajno narušavaju kvalitetu prirodnih voda.

Industrijske otpadne vode nastaju kao rezultat različitih tehnoloških postupaka koji se provode u industriji, a uz ranije spomenute tvari mogu još sadržavati i teške metale te toksične spojeve (Višić i sur., 2015). Sastav industrijskih otpadnih voda ovisi o vrsti industrije i primijenjenim proizvodnim procesima (Ahmed i sur., 2022).

2.1.1. Otpadne vode prehrambene industrije

Prehrambena industrija veliki je potrošač vode. U usporedbi s ostalim prerađivačkim industrijama, prehrambena industrija troši približno 30 % od ukupne količine upotrijebljene vode (Nayyar i sur., 2021). Otpadna voda u prehrambenoj industriji nastaje kao rezultat brojnih operacija i postupaka koji se provode tijekom prerade sirovina, ali i postupaka čišćenja i sanitacije pogona, hlađenja, transporta i slično.

Otpadne vode konditorske industrije uglavnom nisu toksične za okoliš i vodeni svijet, ali su bogatije organskim tvarima te ih karakteriziraju vrijednosti KPK i BPK od 10 do 100 puta više vrijednosti nego što je to slučaj kod komunalnih otpadnih voda (Heponiemi i Lassi, 2012). Količina, koncentracija štetnih tvari i sastav otpadnih voda prehrambene industrije prije svega ovise o proizvodu koji se proizvodi te o pogonu. **Tablica 1** prikazuje karakteristike otpadnih voda različitih grana prehrambene industrije.

Tablica 1 Karakteristike otpadnih voda različitih grana prehrambene industrije (Pervez i sur., 2021)

Izvor	Karakteristike
Prerada mlijeka	BPK = 442 mg/L KPK = 8960 mg/L TDS = 253,6 mg/L pH = 7,10
Prerada mesa	BPK = 1209 mg/L KPK = 4221 mg/L Ukupni dušik = 427 mg/L pH = 6,95
Prerada maslina	BPK = 4426 mg/L KPK = 55,730-156,000 mg/L Ukupni fenol = 2439-8300 mg/L pH = 5,6
Prerada voća	BPK = 860 mg/L KPK = 919 mg/L Ukupni dušik = 40 mg/L pH = 5,5-7,2
Prerada morskih plodova	BPK = 3250 mg/L KPK = 13,180 mg/L Soli = 2-5% (w/v) pH = 5-7

Tablica 2 prikazuje prosječne vrijednosti pokazatelja onečišćenja sirove otpadne vode postrojenja za proizvodnju konditorskih proizvoda. Prosječna vrijednost KPK otpadnih voda konditorske industrije i do pet puta je veća u odnosu na pripadajuću graničnu vrijednost, dok je vrijednost BPK₅ dvostruko veća od MDK vrijednosti.

Otpadne vode drugih grana prehrambene industrije mogu imati i značajno više vrijednosti pokazatelja. Onet (2010) navodi kako u otpadnim vodama mliječne industrije vrijednost KPK iznosi i do 10251,2 mg/L, a BPK₅ 4840,6 mg/L. U istom radu navodi i da koncentracije dušika i fosfora u otpadnim vodama mliječne i mesne industrije mogu biti i do 663 mg N/L, odnosno do 153,6 mg P/L te 2743,6 mg N/L i 328,4 mg P/L što je znatno više u odnosu na prosječnu vrijednost hranjivih tvari u otpadnoj vodi konditorske industrije.

Prosječne vrijednosti pokazatelja onečišćenja nakon prolaska otpadne vode kroz UPOV, također su prikazane u **Tablici 2**, kao i učinak njihova uklanjanja. Slično istraživanje proveli su Nasr i sur. (2022) koji su otpadnu vodu iz postrojenja za proizvodnju konditorskih proizvoda podvrgnuli biološkoj obradi aktivnim muljem te pročišćavanju u dvostupanjskom UASB reaktoru. Biološka obrada aktivnim muljem smanjila je vrijednosti KPK i BPK za 96 %, dok se koncentracija ulja i masti smanjila za 80 %. Pročišćavanje otpadne vode u dvostupanjskom UASB reaktoru pokazalo se učinkovitije za uklanjanje ulja i masti čija se koncentracija smanjila za 85 %, dok su se vrijednosti KPK i BPK smanjile za 82 i 84%. Ozgun i sur. (2012) su za pročišćavanje otpadne vode konditorske industrije koristili sustav koji je uključivao sita, flotaciju otopljenim zrakom, spremnik za egalizaciju, anaerobnu obradu u EGSB reaktoru i konvencionalnu obradu aktivnim muljem. Navedeno istraživanje pokazalo je da se anaerobnom obradom u EGSB reaktoru KPK smanjila za 88 %, dok se obradom aktivnim muljem vrijednost KPK smanjila za 95 %. El Diwani i sur. (2000) osmislili su postrojenje za obradu otpadne vode konditorske industrije koje se sastojalo od spremnika za egalizaciju, spremnika za miješanje kemikalija, aeratora, taložnika, spremnika za dezinfekciju te pješčanog filtra kao glavnih dijelova. Navedenom kombinacijom postupaka pročišćavanja postignuto je smanjenje KPK i BPK vrijednosti u iznosu od 98,6 i 99,17 %.

Tablica 2 Karakteristike otpadne vode konditorske industrije na ulazu i izlazu iz UPOV-a

Pokazatelj	Prosječna vrijednost na ulazu u UPOV	Prosječna vrijednost na izlazu iz UPOV-a	Učinak uklanjanja [%]
pH	6,61	8,37	-
KPK [mg O₂/L]	3250,5	123,673	96,20
BPK₅ [mg O₂/L]	468	49,674	89,39
Ukupna ulja i masti [mg/L]	179,1	9,606	94,64
Anionski tenzidi [mg/L]	1,268	0,79	37,70
Neionski tenzidi [mg/L]	0,424	0,326	23,11
Ukupni dušik [mg N/L]	49,37	10,141	79,46
Ukupni fosfor [mg P/L]	12,155	2,737	77,48

2.2. POSTUPCI OBRADJE OTPADNIH VODA

Obrada otpadnih voda intenzivno se provodi u svijetu od kraja prošlog stoljeća iako su prvi mehanički i biološki postupci za obradu komunalnih voda osmišljeni još krajem 19. stoljeća.

Otpadne vode mogu se podvrgnuti jednom ili kombinaciji različitih procesa obrade. Izbor metode ovisi o prirodi onečišćenja i željenoj razini uklanjanja istih. Tehnologija pročišćavanja industrijskih otpadnih voda uključuje mehaničku obradu te fizikalno-kemijske i biološke postupke.

2.2.1. Mehanička obrada

Mehanička obrada je prva faza pročišćavanja otpadnih voda. Njome se uklanjaju veće krute čestice, zrnate čestice promjera većeg od 0,1 mm te ulja i masti. Upotrebom rešetki i sita, krute tvari odvajaju se od otpadne vode, a u ovoj fazi obrade u cilju pročišćavanja otpadne vode još se primjenjuju filtracija, sedimentacija i flotacija.

Filtracija je postupak u kojemu se voda propušta kroz porozni medij čija je zadaća zadržavanje nečistoća iz vode. Osim što se filtracijom postiže određena kvaliteta vode, ona također može zaštititi nizvodne procesne uređaje i opremu od mogućih oštećenja. Postupke filtracije pomoću granuliranih medija možemo podijeliti na spore i brze. Spori pješčani filtri su gravitacijski filtri koji zbog male brzine zahtijevaju veliku površinu samog filtera, a slijedom toga i veliku prostornu površinu. Danas se češće primjenjuju brzi filtri zato što zauzimaju manju površinu. Oni se s obzirom na broj filtracijskih medija mogu podijeliti na monomedijske, dvomedijske i filtere s mješovitim medijem (Begić i sur., 2022).

Sedimentacija ili taloženje podrazumijeva uklanjanje čestica pod utjecajem gravitacijske sile. Do taloženja čestica dolazi uslijed razlike u specifičnoj težini čestica i vode. Na dnu sedimentacijskog bazena, istaložene čestice stvaraju mulj koji je potrebno ukloniti, a obrađena voda se odvodi pomoću sabirnih kanala na daljnju obradu (Begić i sur., 2022).

Flotacija ili isplivavanje je postupak koji se provodi s ciljem bistrenja vode (Begić i sur., 2022). Suspendirane tvari se izdižu na površinu suspenzije uz pomoć finih mjehurića zraka. Postoje različite vrste flotacije: flotacija raspršenim zrakom, flotacija otpljenim zrakom, vakuum flotacija, elektroflotacija te biološka flotacija (Licht i sur., 2022). **Slika 2** prikazuje uređaj u kojemu se provodi flotacija – flotator.



Slika 2 Flotator

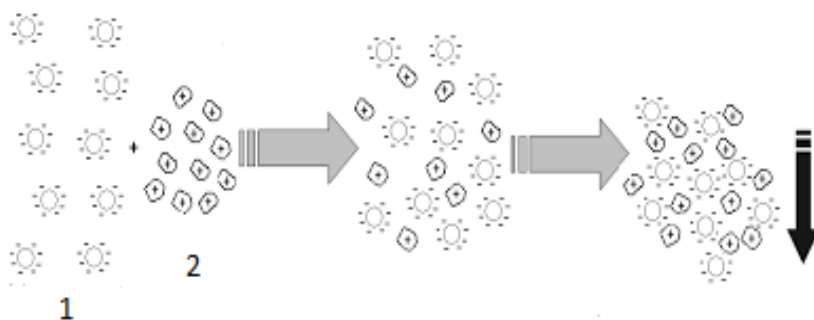
2.2.2. Fizikalno-kemijski postupci

Fizikalno-kemijski postupci koji se najčešće primjenjuju u procesima pročišćavanja otpadnih voda su: adsorpcija, koagulacija s flokulacijom, membranski procesi i ozonizacija.

Adsorpcija je postupak kojim se iz vode uklanjaju otopljene tvari (adsorbati) tako što se vežu na površinu neke čvrste tvari (adsorbensa). Kod odabira adsorbensa važno je da adsorbens ima veliku aktivnu površinu kako bi adsorpcija bila što učinkovitija. Porozna struktura adsorbensa osigurava dodatnu veliku unutarnju površinu na kojoj dolazi do dodatnog vezanja tvari iz vode, naročito onih manjih dimenzija. Aktivni ugljen, granulirani željezov hidroksid, glina, zeoliti te adsorbirajuće smole, najčešće se koriste kao adsorbensi u procesima obrade vode (Crini i sur., 2019).

Koagulacija s flokulacijom (**Slika 3**) podrazumijeva dvostupanjsku kemijsku obradu vode kojom se olakšava uklanjanje čestica koje nisu sklone prirodnom taloženju ili se taloženje tih čestica ne odvija dovoljno brzo. Glavni cilj ovog postupka je uklanjanje mutnoće i boje te izazivanje promjena koje će olakšati uklanjanje onečišćujućih tvari iz vode nekim drugim postupcima separacije. Koagulacija je pojam koji se odnosi na destabilizaciju koloidnih čestica s ciljem stvaranja uvjeta za njihovu agregaciju u veće čestice. Učinkovitost destabilizacije koloidnih čestica ovisi o odabranom

koagulantu, a najčešće će primjenjuju soli aluminija i željeza te aktivni silicij (Bhargava, 2016). Destabilizirane čestice počinju se sudarati i spajati, formirajući pri tom veće čestice koje nazivamo flokule, a ovaj proces flokulacijom. Flokulacija može biti prirodna ili potpomognuta uz dodatak flokulanata. Sredstva za flokulaciju koriste se s ciljem formiranja većih i stabilnijih flokula (Begić i sur., 2022).



Slika 3 Shematski prikaz koagulacije s flokulacijom: koloidno suspendirane čestice (1), koagulant (2) (Mijatović i Matošić, 2008)

Membranskim procesima odvajaju se otopljene, koloidne i suspendirane tvari iz otopine. Membrana je selektivna barijera koja ima sposobnost propuštanja određenih sastojaka smjese, dok istodobno zadržava druge. Pokretačka sila za razdvajanje čestica može biti razlika tlaka, temperature, koncentracije ili električnog potencijala (Mai, 2013). S obzirom na veličinu pora membrane, razlikujemo mikrofiltraciju, ultrafiltraciju, nanofiltraciju i reverznu osmozu, a ovi se procesi još razlikuju i po primjenjenom transmembranskom tlaku (**Tablica 3**).

Membranski procesi u odnosu na druge procese u obradi otpadnih voda ne koriste velike količine kemikalija ili ih gotovo uopće ne koriste. Također, moguća je obrada velikih količina vode na malom prostoru, a voda koja izlazi iz procesa visoke je kvalitete. Nedostatak membranskih procesa je u tome što obrada zahtjeva prethodnu obradu vode prije njezina dolaska na membranu (Mijatović i Matošić, 2008).

Tablica 3 Membranki procesi - veličina pora i primjenjen transmembranski tlak (Mijatović i Matošić, 2004)

Proces	Veličina pora (nm)	Tlak (bar)
Mikrofiltracija	>100	0,1-2
Ultrafiltracija	5-20	1-5
Nanaofiltracija	1-5	5-20
Reverzna osmoza	<1	10-100

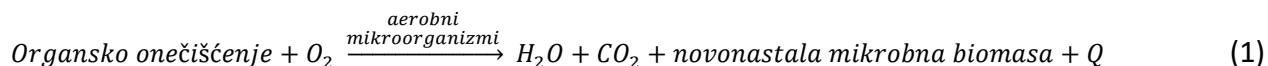
Ozonizacija se također primjenjuje u postupcima pročišćavanja otpadnih voda, a podrazumijeva primjenu ozona (O_3) prilikom obrade vode. Doziranje ozona postiže se dvojakim učinkom: (i) razgradnja organskih i anorganskih spojeva pri čemu nastaju novi spojevi koji se lakše uklanjaju iz vode te (ii) dezinfekcija vode.

Zbog visokih investicijskih troškova i visokih pogonskih troškova, ozonizacija otpadne vode primjenjuje se najčešće pri obradi industrijskih otpadnih voda specifičnog kemijskog sastava.

2.2.3. Biološki postupci

Biološki postupci obrade otpadnih voda podrazumijevaju primjenu mikroorganizama, a postupke obrade dijelimo na aerobne i anaerobne. U aerobnim postupcima sudjeluju aerobni mikroorganizmi te je za njihovo provođenje ključno aeriranje otpadne vode kako bi se uspostavila potrebna koncentracija kisika, dok se kod anaerobnih postupaka primjenjuju anaerobni mikroorganizmi te za visoku učinkovitost procesa treba spriječiti dotok kisika u sustav. Ipak, ovim postupcima zajednička je primjena mikroorganizama za razgradnju organskog onečišćenja.

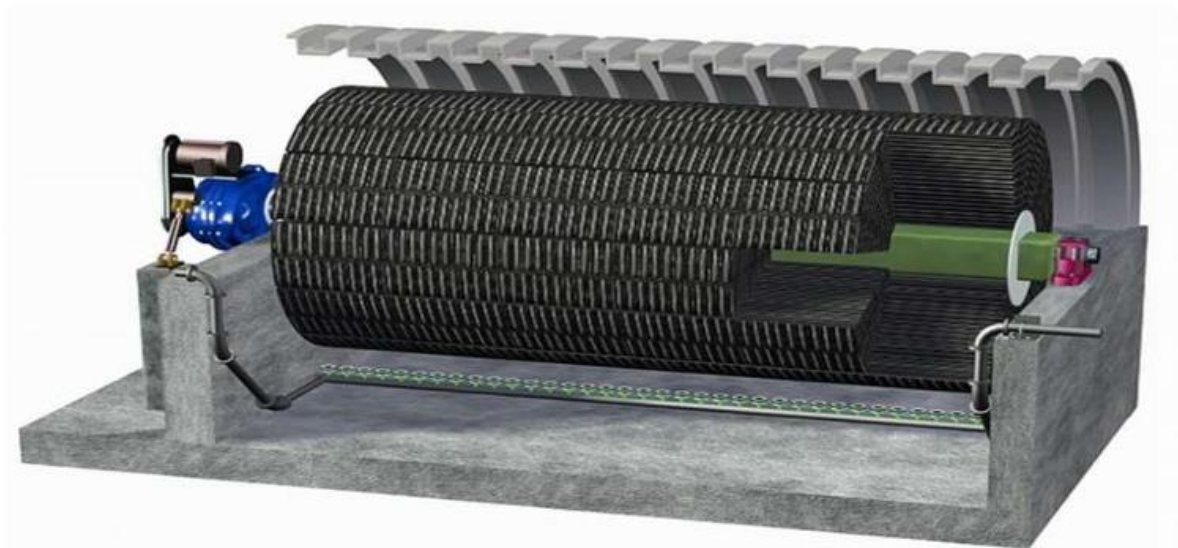
Aerobni postupak obrade može se pojednostavljeno prikazati jednadžbom (1) (Baras i sur., 1980). Molekularni kisik se u redoks reakciji koristi kao oksidans te se pojavljuje u reduciranom obliku u molekuli vode.



Mikroorganizmi koji provode aerobnu razgradnju mogu biti suspendirani u vodi ili fiksirani na nosaču (**Slika 4**). U procesima pročišćavanja otpadnih voda, najčešće se primjenjuje obrada aktivnim muljem. U tom procesu sudjeluje mnoštvo mikroorganizama koji se nalaze u pahuljici ili flokuli aktivnog mulja zajedno sa suspendiranim česticama zaostalim nakon prethodne i primarne obrade otpadne vode.

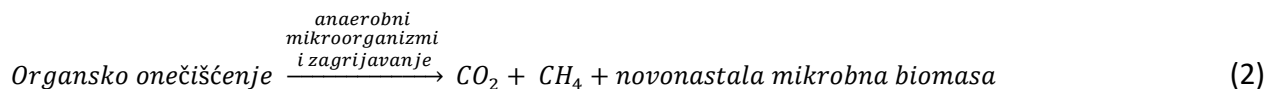
Prvi dio obrade aktivnim muljem odvija se u bioreaktoru gdje mikroorganizmi iz aktivnog mulja razgrađuju organske spojeve, dok se drugi dio, tj. odvajanje aktivnog mulja od pročišćene vode, odvija u taložniku. Jedan dio istaloženog mulja vraća se u proces kako bi se osigurala adekvatna koncentracija aerobnih mikroorganizama, a ostatak se odvodi na daljnju obradu.

Iz otpadne vode se ovim postupkom mogu ukloniti biorazgradivi spojevi te suspendirane čestice koje se apsorbiraju unutar pahuljice aktivnog mulja.



Slika 4 Okretni biološki nosač (Habuda-Stanić i sur., 2014)

Za anaerobni postupak obrade karakteristična je biološka transformacija te je prikazana jednadžbom (2) (Baras i sur., 1980).



Tijekom anaerobne razgradnje odvijaju se hidroliza, kiselinska i metanska fermentacija. Proteine, ugljikohidrate i masti razgrađuju hidrolitičke bakterije dok acidogene i acetogene bakterije potpomažu prevođenje razgrađenih organskih tvari do alkohola, aldehida, ugljikovog dioksida i vode. Metanogene bakterije, koje su obligatni anaerobi, produkte kiselinskog vrenja prevode u bioplin koji se može koristiti kao energent.

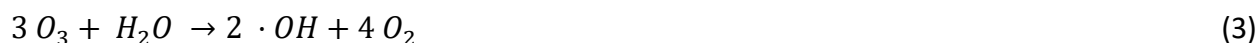
Zbog učinkovitijeg korištenja energije pohranjene u organskom onečišćenju, aerobni postupci obrade značajno su brži od anaerobnih te se stoga češće primjenjuju. Za pročišćavanje gradskih i industrijskih otpadnih voda najčešće se koriste aerobni postupci dok su anaerobni postupci namijenjeni pročišćavanju visoko onečišćenih otpadnih voda, a u velikoj mjeri se primjenjuju i u obradi biološkog mulja koji nastaje aerobnom obradom otpadnih voda (Baras i sur., 1980).

2.2.4. Suvremene i alternativne metode pročišćavanja otpadnih voda

Suvremene metode

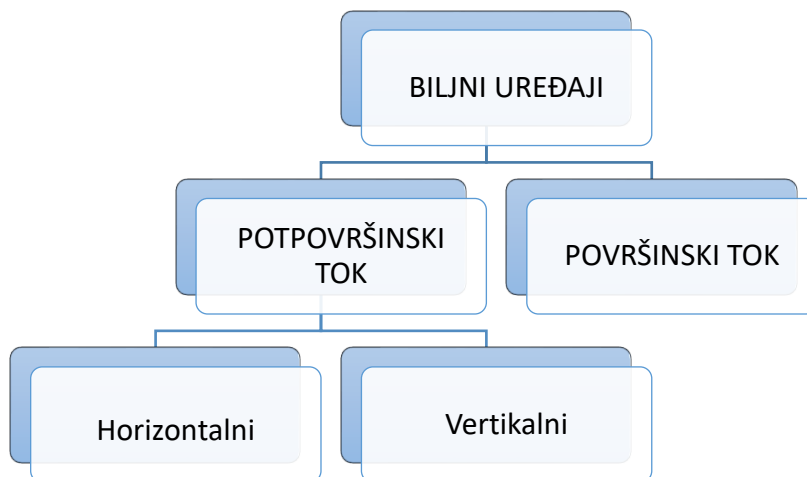
Suvremenim metodama pročišćavanja otpadnih voda, uz prethodno spomenute membranske procese i ozonizaciju, pripadaju još ultrazvuk i ultraljubičasto zračenje.

Ozonizacija, ultrazvuk i UV-zračenje svrstavamo u napredne oksidacijske procese. Oni se temelje na nastanku hidroksil radikala ($\cdot OH$) koji sudjeluju u pročišćavanju vode. Hidroksilni radikali mogu se opisati kao reaktivna, oksidirajuća i neselektivna sredstva koja imaju sposobnost reagirati s različitim tvarima. Neki od puteva nastanka $\cdot OH$ su: ozonizacija prikazana jednadžbom (3), ozonizacija unaprijeđena vodikovim peroksidom prikazana jednadžbama (4) i (5) i cijepanje molekule vodikovog peroksida UV-zračenjem prikazano jednadžbom (6) (Deng i Zhao, 2015).



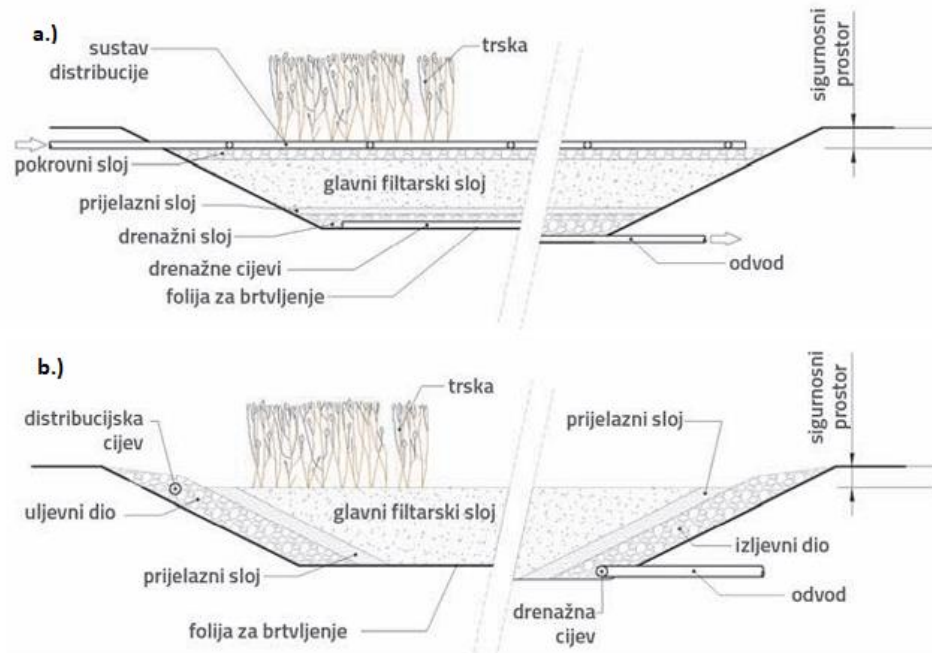
Alternativne metode

Biljni uređaji podrazumijevaju sve one uređaje za obradu otpadnih voda kod kojih biljke imaju određenu ulogu. Ovi se uređaji uglavnom primjenjuju za sekundarno pročišćavanje otpadnih voda što znači da je voda koja ulazi u biljni uređaj prošla prethodnu i/ili primarnu obradu. Biljni uređaji mogu se razlikovati po obliku, konstrukciji i karakteristikama, a osnovna podjela temelji se na režimu tečenja te je prikazana na **Slici 5**.



Slika 5 Podjela biljnih uređaja (Stanković, 2017.)

U Europi i Hrvatskoj uglavnom su zastupljeni biljni uređaji s potpovršinskim tokom. Oni uspješno uklanjaju organske, suspendirane i hranjive tvari te patogene mikroorganizme, teške metale i organska onečišćenja. Proces koji se odvija tijekom pročišćavanja vode na biljnim uređajima su adsorpcija, filtracija, precipitacija itd.

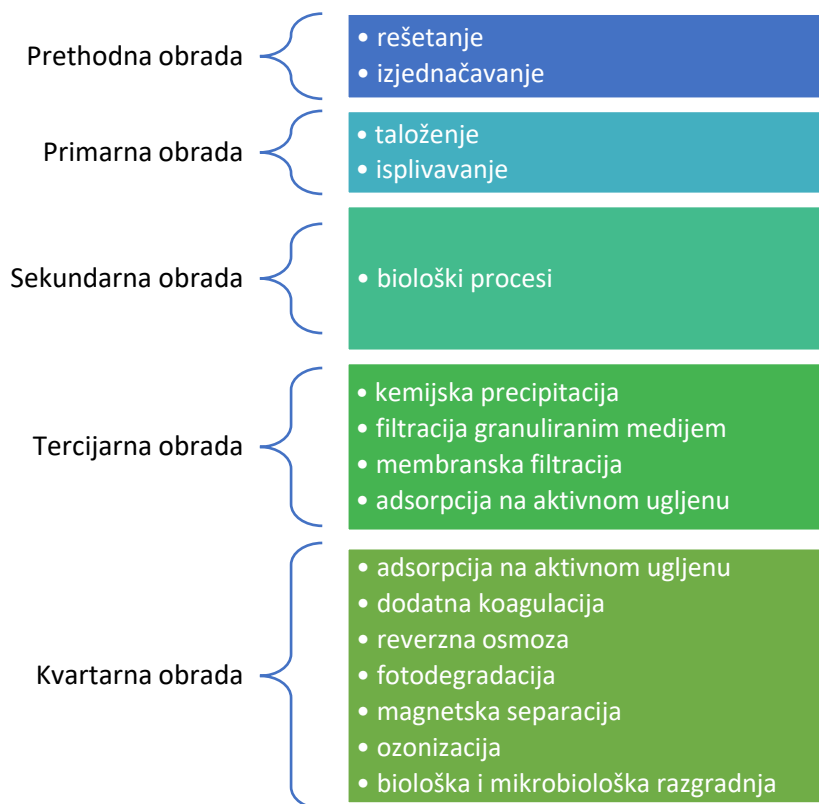


Slika 6 Biljni uređaji s potpovršinskim tokom: **a.** shematski prikaz vertikalnog filtra **b.** shematski prikaz horizontalnog filtra (Prilagođeno prema Stanković, 2017)

Slika 6 a.) prikazuje shematski prikaz vertikalnog filtra dok **Slika 6 b.)** prikazuje shematski prikaz horizontalnog filtra.

2.3. STUPNJEVI OBRADJE OTPADNIH VODA

Postupci mehaničke obrade, fizikalno-kemijski i biološki postupci kombiniraju se kako bi se osigurao traženi stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Podjela postupaka obrade otpadnih voda ovisno o učinku pročišćavanja prikazana je na **Slici 7**.



Slika 7 Podjela postupaka obrade otpadnih voda

2.3.1. Prethodna (preliminarna) obrada

Zadaća prethodne ili preliminarne obrade otpadnih voda je uklanjanje krupnih (raspršenih ili plivajućih) tvari koje mogu uzrokovati začepljenje cjevovoda te naštetiti radu pumpi i ostale opreme. Uklanjanje navedenih tvari odvija se uz pomoć rešetki (**Slika 8**) i sita. Pročišćavanjem otpadnih voda na finim rešetkama postiže se sljedeći učinak: smanjenje BPK_5 za 3 do 10 %, KPK za 5 do 10 %, bakterija za 10 do 20 % te suspendiranih tvari za 2 do 20 % (Vuković, 1994).



Slika 8 Rešetka

Brzina kojom otpadne vode utječu u postrojenja za njihovo pročišćavanje nije konstantna te ovisi o vremenskim prilikama i dinamici ljudskih aktivnosti tijekom dana. Vrijednosti protoka povećavaju se tijekom kišnog vremena, a dolazi i do promjena u koncentraciji suspendiranih krutih čestica i BPK₅. Fluktuacije spomenutih parametara otežavaju vođenje procesa, stoga prethodna obrada često uključuje provođenje egalizacije odnosno izjednačavanje protoka i ujednačavanja kvalitete otpadne vode koja ulazi u proces pročišćavanja otpadne vode (Riffat, 2012).

2.3.2. Primarna obrada

Cilj primarne obrade je uklanjanje pahuljastih, zrnatih i drugih čestica veće gustoće te plivajućih čestica manje gustoće. Postupcima neometanog taloženja uklanjaju se pijesak i šljunak. Suspendirane čestice uklanjaju se neometanim taloženjem flokulirajućih čestica osim ako su prisutne u koncentraciji većoj od 500 mg/L, tada se primjenjuje postupak slojevitog taloženja.

Sedimentacija je također moguća i uz dodatak sredstava za koagulaciju. Plivajuće čestice poput masti i ulja te suspendiranih čestica istih svojstava mogu se iz otpadnih voda ukloniti prirodnim ili umjetno potaknutim isplivavanjem na površinu. Izdvojeni sloj nečistoća ručno se odstranjuje s površine ili se otpadna voda automatski crpi s dna spremnika.

Primarnom obradom otpadnih voda vrijednost BPK_5 smanjuje se za najmanje 20 % dok se količina suspendiranih tvari smanjuje za najmanje 50 % (Višić i sur., 2015).

2.3.3. Sekundarna obrada

Sekundarna obrada podrazumijeva razgradnju organskih tvari pomoću mikroorganizama te njihovo prevođenje u biomasu ili plinove. Organske tvari mikroorganizmima služe kao hrana za rast i reprodukciju pa ih mikroorganizmi lako razgrađuju. Da bi došlo do razgradnje, potrebno je osigurati optimalne uvjete za život mikroorganizama, kao što su kisik, spojevi s ugljikom, temperatura, pH te hranjive tvari (dušik i fosfor). Efikasnost sekundarne obrade uglavnom je veća što je veća učinkovitost uklanjanja BPK_5 . Sekundarna obrada se provodi u biološkim reaktorima nakon kojeg može slijediti spremnik za taloženje ili sekundarni klarifikator.

Sekundarna obrada rezultira smanjenjem vrijednosti BPK_5 za 70 do 90 %, vrijednosti KPK za 75 % i ukupnih suspendiranih tvari za 90% (Višić i sur., 2015).

2.3.4. Tercijarna obrada

Tercijarnom obradom dodatno se uklanjaju suspendirane, hranjive i toksične tvari kako bi se povećala učinkovitost dezinfekcije, smanjila eutrofikacija te uklonile tvari koje sprječavaju i koče ponovnu upotrebu vode. Jedinične operacije koje uključuje tercijarna obrada su kemijska precipitacija, filtracija granuliranim medijem, membranska filtracija i adsorpcija na aktivnom ugljenu (Davis, 2010).

Kemijska precipitacija koristi se za uklanjanje fosfora iz sekundarno obrađenih otpadnih voda a podrazumijeva koagulaciju hidrogenfosfatnih, dihidrogenfosfatnih iona i fosfatne kiseline s ciljem nastajanja fosfatnog mulja koji je potrebno ukloniti nakon flokulacije i taloženja. Za kemijsku precipitaciju fosfora mogu se koristiti soli željeza, aluminijska ili kalcija (Tutić i sur., 2021).

Filtracija granuliranim medijem u kombinaciji s koagulacijom može smanjiti koncentraciju fosfata u izlaznoj vodi drugog stupnja obrade na 0,1 mg/L (Davis, 2010).

Mikrofiltracija i ultrafiltracija najčešće se primjenjuju kao prethodni tretman sekundarne izlazne vode s ciljem olakšavanja daljnjeg pročišćavanja reverznom osmozom (Davis, 2010).

Nakon sekundarne obrade, koagulacije, sedimentacije i filtracije, u izlaznoj vodi mogu se pronaći topljive organske tvari otporne na biološku razgradnju. Najpraktičnija metoda za njihovo uklanjanje je adsorpcija na aktivni ugljen (Davis 2010).

2.3.5. Kvarturna obrada

Nakon prethodne, primarne, sekundarne i tercijarne obrade, u otpadnim vodama još mogu biti prisutne čestice mikroplastike, nanoplastike te tzv. mikroonečišćujuće tvari u koje se ubrajaju lijekovi za ljudsku i životinjsku upotrebu, industrijske kemikalije te pesticidi. Spomenute tvari kao i njihovi bioaktivni metaboliti predstavljaju ozbiljan problem prilikom ponovne upotrebe pročišćene otpadne vode te se uklanjaju tijekom kvarterne obrade nekom od navedenih metoda: adsorpcija na aktivni ugljen, dodatna koagulacija, reverzna osmoza, fotodegradacija, magnetska separacija, ozonizacija, biološka i mikrobiološka razgradnja (Jajčinović i sur., 2018; Habuda-Stanić, 2024).

2.4. UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA KONDITORSKE INDUSTRIJE

Konditorska industrija važna je grana prehrambene industrije, a obuhvaća proizvodnju slatkiša kao što su čokolada, bomboni i žvakaće gume čiji su glavni sastojci šećer, kakao i masti. Otpadne vode u konditorskoj industriji uglavnom nastaju operacijama čišćenja. Zajda i Aleksander-Kwaterczak (2019) navode da postrojenja konditorske industrije prosječno mjesečno ispuštaju 300-500 m³ otpadne vode. Količina i sastav otpadnih voda mogu se razlikovati na sezonskoj, ali i dnevnoj bazi. Prisutnost organskih tvari u otpadnoj vodi uvjetuje kemijski sastav konditorskih proizvoda. Također, otpadna voda ima visoke vrijednosti KPK i BPK te je pretežno biorazgradiva,

a oscilirajuće pH vrijednosti i visok sadržaj dušika i fosfora mogu se pripisati sredstvima za čišćenje i dezinfekciju uređaja i površina.

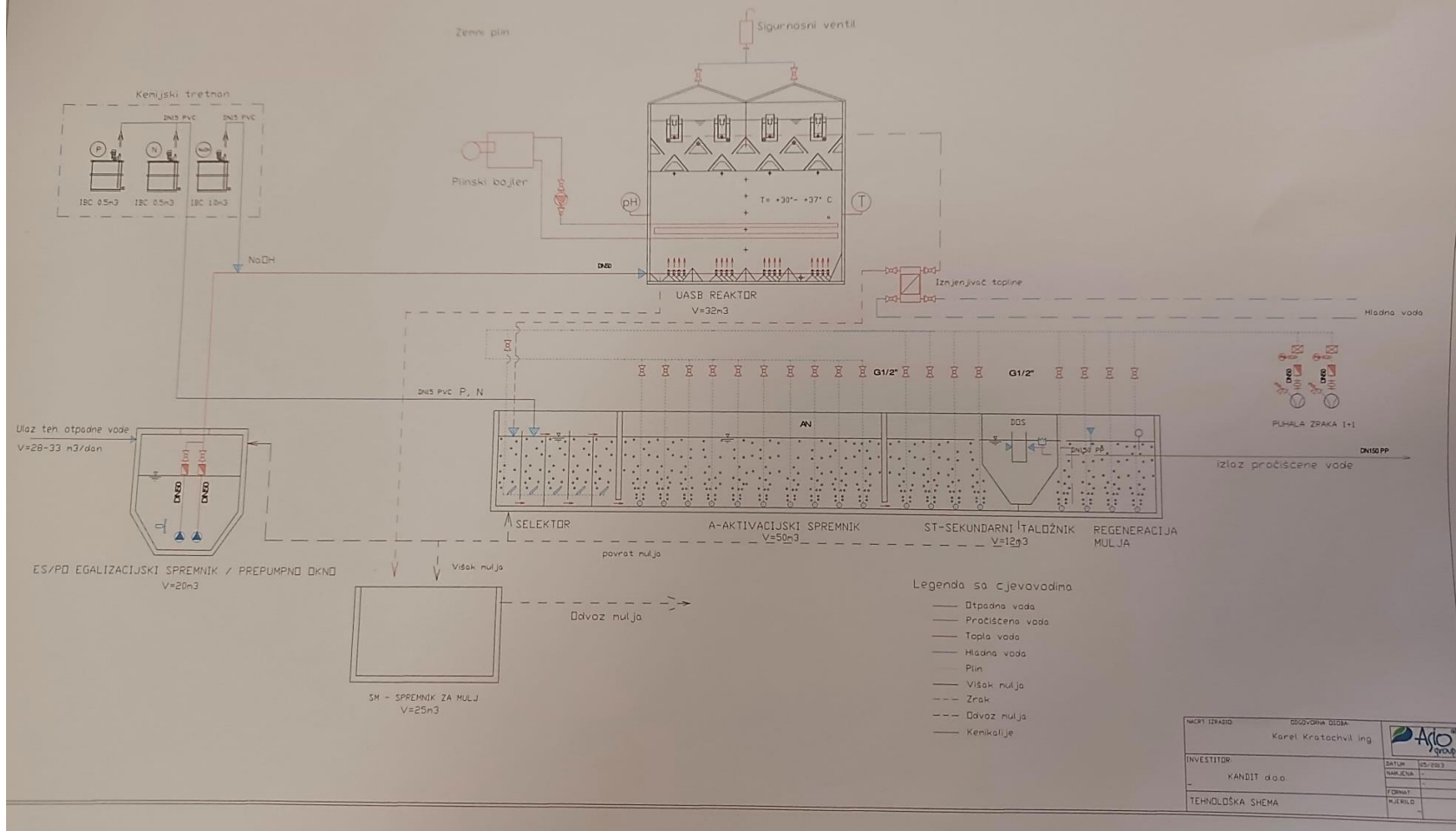
Primjer sustava za obradu otpadne vode prikazan je na **Slici 9**, tehnološka shema sustava prikazana je na **Slici 10**, a sastoji se iz sljedećih dijelova:

- Mehanički pred-tretman
- Egalizacijski spremnik
- Biološki pred-tretman – anaerobni UASB reaktor
- Biološki tretman – aerobni biološki reaktor
- Kemijski tretman
- Mjerna oprema, kontrola i upravljanje
- Tretman za mulj – strojna dehidracija



Slika 9 Postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

IUPDV - KANDIT d.o.o. Hrvatska



Slika 10 Tehnološka shema uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

2.4.1. Mehanički predtretman otpadne vode

Mehanički predtretman provodi se prije ulaska otpadne vode u anaerobni bioreaktor te podrazumijeva uklanjanje krupnih nečistoća pomoću grube rešetke s ciljem zaštite tehnološke opreme.

Gruba mehanička rešetka s razmakom između rešetki 20 mm postavlja se na ulaznu cijev \varnothing 250 u egalizacijskom spremniku. Njome se izdvajaju krupne nečistoće poput komada drveta, plastike, metala i sl. koji bi mogli oštetiti pupe i ostalu opremu. Izvlačenje rešetke obavlja se pomoću kranske dizalice te se ona prazni u prihvatnu kantu i zbrinjava u skladu s propisanim zakonima.

2.4.2. Egalizacijski spremnik

Po završetku mehaničkog predtretmana, otpadna voda gravitacijski ulazi u zatvoreni podzemni betonski spremnik. Radni volumen egalizacijskog spremnika je 20 m³. Glavne funkcije spremnika za egalizaciju su izjednačavanje koncentracije nečistoća u otpadnoj vodi te ublažavanje hidrauličkih udara.

Egalizacijski spremnik sadrži potopnu miješalicu koja miješa otpadnu vodu. Unutar spremnika nalaze se i dvije potopne pumpe, radna i rezervna koje prepumpavaju vodu u anaerobni reaktor. Pumpe kontrolira upravljačka kontrolna jedinica na osnovu senzora razine. Uz sondu za mjerenje razine, u spremniku se nalazi i sonda za mjerenje pH vrijednosti temeljem čijeg signala se provodi korekcija pH vrijednosti ulazne otpadne vode. Otpadna voda se nakon egalizacije i korekcije pH vrijednosti prepumpava u anaerobni UASB reaktor.

2.4.3. Biološki predtretman otpadne vode – anaerobni UASB reaktor

Biološki predtretman podrazumijeva razgradnju složene organske tvari na jednostavnije spojeve u uvjetima bez kisika i djelovanjem selektivnih kultura anaerobnih mikroorganizama uz odvijanje složenih biokemijskih procesa kao što su hidroliza, acetogeneza, acidogeneza i metanogeneza. Razgradnja organske tvari anaerobnim bakterijama odvija se u donjem dijelu UASB reaktora pri

čemu se KPK reducira približno 70 %, a BPK₅ 80 %. Također, dolazi do stvaranja bioplina. Otpadna voda se u anaerobnom reaktoru zadržava 24 sata.

Kontakt između otpadne vode i biomase omogućuje precizni distribucijski sustav ulazne vode te recirkulacija vode. GLS separator sprječava izdvajanje biomase, a nalazi se u gornjoj zoni reaktora. Omogućuje razdvajanje plinovite-tekuće-kruće faze. Plinovita faza se iz anaerobnog reaktora ispušta u atmosferu, mulj se zadržava u reaktoru, a tekuća faza se dalje obrađuje u aerobnom reaktoru.

Radna temperatura u anaerobnom reaktoru (**Slika 11**) iznosi 30-37 °C te osigurava mezofilne uvjete. Potrebnu radnu temperaturu u anaerobnom reaktoru osiguravaju izmjenjivači topline (IT). Jedan IT nalazi se u UASB reaktoru, a drugi u pogonskom objektu. Nakon predtretmana, otpadna voda se hladi na 22 °C te ohlađena odlazi u aerobni reaktor.



Slika 11 Anaerobni UASB reaktor uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

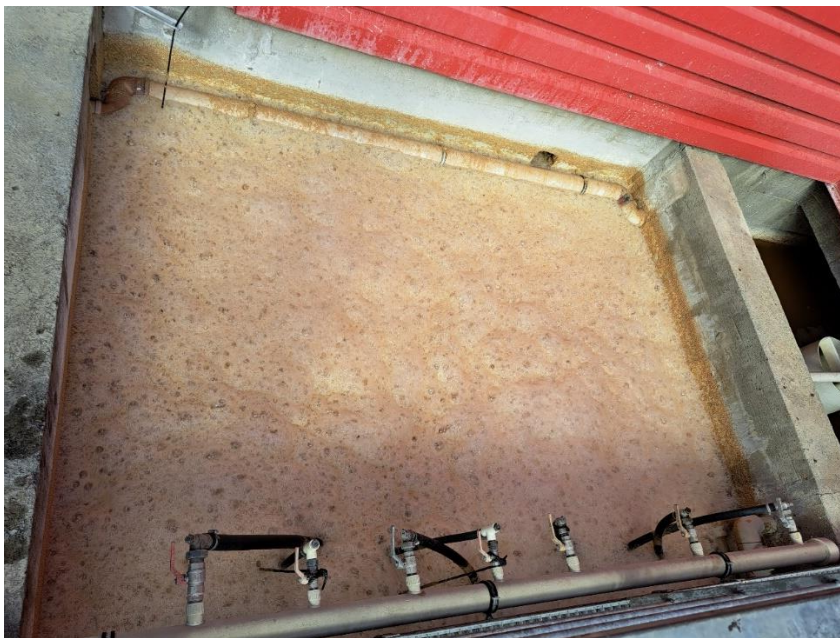
2.4.4. Biološki obrada otpadne vode – aerobni reaktor

Otpadna voda se u aerobnom dijelu uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije zadržava 37,5 sati. Aerobni reaktor, prikazan na **Slici 12**, čine:

- Selektor
- Aktivacijski reaktor
- Sekundarni taložnik
- Spremnik za regeneraciju mulja

Selektor je razdjelni spremnik u kojemu se otpadna voda iz anaerobnog reaktora miješa s aktivnim muljem iz spremnika za regeneraciju mulja uz pomoć zraka. Ovaj korak trebao bi spriječiti rast nitastih bakterija koje mogu negativno utjecati na sedimentacijska svojstva mulja. Otpadna voda iz selektora gravitacijski ulazi u aktivacijski reaktor.

Aktivacijski reaktor je aerirani spremnik u kojem završava razgradnja organske tvari iz otpadne vode. Njegov rad temelji se na principu biološke razgradnje organske tvari uz pomoć aktivnog mulja. Zbog povećanja učinkovitosti procesa, primjenjuje se aktivni mulj s većom koncentracijom i starosti tj. dio mulja iz sekundarnog taložnika vraća se u aktivacijski reaktor. Aeracija odnosno upuhivanje zraka provodi se zbog primjene aerobnih mikroorganizama, a osiguravaju je aeracijski elementi i niskotlačna puhalo zraka. Osim kisika, mikroorganizmima je potrebna i hrana, odgovarajuća pH vrijednost vode, temperatura te nutrijenti, odnosno dušik i fosfor. Nutrijenti se direktno doziraju u reaktor. Smjesa pročišćene vode i aktivnog mulja gravitacijski ulazi u sekundarni taložnik.



Slika 12 Aerobni reaktor uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

U sekundarnom taložniku razdvaja se smjesa pročišćene vode i aktivnog mulja. U ovoj fazi završava obogaćivanje otpadne vode s kisikom i miješanje vode. Aktivni mulj, odnosno mješavina otpadne vode i mikroorganizama taloži se na dnu, dok se pročišćena voda nalazi u gornjoj zoni sekundarnog taložnika. Pročišćena voda prolazi kroz kontrolno okno prema kanalizacijskoj mreži. Zračne mamut pumpe prepumpavaju ugušćeni mulj u spremnik za regeneraciju mulja odakle voda odlazi u selektor. Na taj način postiže se povećanje starosti i količine aktivnog mulja u aktivacijskom reaktoru što dodatno povećava učinkovitost pročišćavanja otpadne vode.

2.4.5. Kemijska obrada otpadne vode

Kemijska obrada otpadne vode podrazumijeva neutralizaciju otpadne vode te doziranje nutrijenata u reaktor. Neutralizacija otpadne vode provodi se na samom početku procesa doziranjem lužine u egalizacijski spremnik u cilju postizanja optimalne pH vrijednosti otpadne vode za daljnje postupke pročišćavanja. Optimalne koncentracije nutrijenata, dušika i fosfora, važne su za rast i razmnožavanje mikroorganizama prisutnih u otpadnoj vodi te njihovo učinkovito djelovanje. Doziranje lužine i nutrijenata u otpadnu vodu provodi se u skladu s rezultatima analize otpadne vode kojom se utvrđuju njene karakteristike i potreba za korekcijama.

2.4.6. Mjerna oprema, kontrola i upravljanje procesom

Uređaji za pročišćavanje otpadnih voda koji se danas nalaze u praksi opremljeni su brojnim sensorima kojima je moguće sustavno praćenje rada svih dijelova uređaja te praćenje kvalitete vode tijekom procesa. Svi senzori i mjerna oprema povezani su tzv. programirljivim logičkim kontrolerom (PLC). PLC je uređaj koji osigurava kontinuirani nadzor rada svih uređaja u procesu pročišćavanja otpadne vode te kontinuirano praćenje i optimizaciju procesnih parametara te automatsko vođenje procesa u reaktorima. PLC također omogućuje kontrolu procesa dehidracije mulja, a povezan je na osobno računalo i sistem za pohranu podataka.

2.4.7. Obrada viška aktivnog mulja

U cilju održavanja optimalne starosti i koncentracije aktivnog mulja, tijekom procesa biološke obrade, u reaktoru nastaje višak aktivnog mulja koji se tijekom 24 sata prepumpava iz aerobnog reaktora u spremnik za mulj. U spremniku se mulj odvaja od vode pri čemu se izdvojena voda vraća u selektor na početak procesa, a ugušćeni mulj se strojno dehidrira i zbrinjava u skladu sa zakonskim propisima. Uz višak aktivnog mulja iz aerobnog reaktora, zbrinjava se i višak mulja iz UASB reaktora.

2.4.8. Strojna dehidracija mulja

Dehidracija mulja obvezni je postupak obrade mulja koji se provodi s ciljem izdvajanja vode iz ostatnog aktivnog mulja i smanjenja količine mulja kako bi troškovi njegovog zbrinjavanja bili što manji. Dehidracija mulja se provodi strojno na spiralnom dehidratoru. Mulj se miješa s otopinom polielektrolita koji potpomaže stvaranje većih flokula i dobivanje većeg udjela suhe tvari u mulju nakon dehidracije. Dehidrirani ostatni mulj, sadržaja suhe tvari 18-22 % skuplja se u kontejneru za prihvatanje mulja, a izdvojena voda vraća se u egalizacijski spremnik.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak diplomskog rada je opisati postupak pročišćavanja otpadne vode koja nastaje tijekom proizvodnih procesa u konditorskoj industriji te uzorkovanjem i određivanjem kvalitete ulazne i pročišćene otpadne vode utvrditi učinkovitost pročišćavanja navedenim procesom.

Analizirano je 5 uzoraka iz egalizacijskog spremnika (prije pročišćavača) i 5 uzoraka iz kontrolnog okna (poslije pročišćavača). Učinkovitost pročišćavanja otpadne vode praćena je određivanjem vrijednosti sljedećih parametara: pH vrijednost, KPK, BPK₅, ukupna ulja i masti, anionski tenzidi, neionski tenzidi, ukupni dušik i ukupni fosfor. Navedeni parametri određeni su prije ulaska vode u uređaj za pročišćavanje i nakon izlaska iz uređaja, tj. prije ispusta u sustav javne odvodnje.

3.2. MATERIJALI I METODE

3.2.1. Uzorkovanje

Uzorci otpadne vode konditorske industrije prikupljeni su tijekom 5 dana, automatskim uzorkivačem prikazanim na **Slici 13** iz egalizacijskog spremnika te iz zadnjeg kontrolnog okna prije ispusta u javnu odvodnju.



Slika 13 Automatski uzorkivač otpadne vode

3.2.2. Određivanje pH vrijednosti

Negativan logaritam koncentracije vodikovih iona nazivamo pH vrijednost iz čega proizlazi da je $pH = -\log_{10}[H^+]$. pH vrijednost je važan parametar kvalitete, kako prirodnih tako i otpadnih voda. Skala vrijednosti koncentracije vodikovih iona kreće se od 0 do 14, a pruža nam informaciju o kiselosti odnosno lužnatosti otopine.

Vode niske pH vrijednosti mogu nagrizati metale i druge materijale, dok visoka pH vrijednost smanjuje učinkovitost dezinfekcije vode klorom te povećava količinu kisika u vodi. Visoka pH vrijednost također pospješuje taloženje soli iz vode.

Preniske ili previsoke pH vrijednosti mogu imati negativan utjecaj na rast mikroorganizama potrebnih za biološku obradu otpadnih voda.

pH vrijednost mjerena je pH-metrom „METREL“ (Slika 14), uranjanjem elektrode u čašu s uzorkom i očitavanjem vrijednosti sa zaslona uređaja.



Slika 14 pH-metar („METREL“)

3.2.3. Određivanje teško hlapljivih lipofilnih tvari (ukupna ulja i masti)

Prisutnost značajne količine ukupnih ulja i masti u otpadnim vodama otežava njihov transport kroz cijevi. Također, povišene koncentracije ulja i masti ometaju biološku oksidaciju onečišćujućih tvari, a kao rezultat toga nastaje mulj niske kvalitete.

Za određivanje ukupnih ulja i masti primijenjena je gravimetrijska metoda koja se temelji na ekstrakciji uzorka otpadne vode zakiseljenog sumpornom kiselinom, petroleterom u aparaturi po Soxhletu prikazanoj na **Slici 15**.



Slika 15 Aparatura po Soxhletu

3.2.4. Određivanje anionskih tenzida

Anionski tenzidi koriste su za proizvodnju detergenata. Ostaci ovih spojeva putem otpadnih voda mogu završiti u površinskim vodama te se nakupljati u biljkama, životinjama i drugim vodenim organizmima. Vezanjem za proteine i peptide anionski tenzidi uzrokuju promjenu u savijanju peptidnog lanca i promjenu površinskog naboja molekule.

Anionski tenzidi u otpadnoj vodi određuju se potenciometrijskom titracijom. Postupak se temelji na reakciji stvaranja ionskog para anionskog tenzida i 1,3-didecil-2-metilimidazolijevog kationa. Titracija se provodi u kiselom mediju. Završna točka titracije određuje se pomoću ion-selektivne elektrode za ionske tenzide. Sadržaj anionskih tenzida (mg/L) izražen je u odnosu na referentni tenzid (NaDBS) u otpadnoj vodi. Uređaj koji provodi titraciju prikazan je na **Slici 16**, a sadrži ion-selektivnu elektrodu za ionske tenzide i referentnu elektrodu.



Slika 16 Titrator za određivanje sadržaja anionskih tenzida (METROHM TITRINO PLUS 848)

3.2.5. Određivanje neionskih tenzida

Neionski tenzidi primjenjuju se u emulgatorima i stabilizatorima. U površinske vode dospijevaju na isti način kao i anionski tenzidi dok vezanjem za proteine i fosfolipide membrane stanica povećavaju njezinu permeabilnost. Povećanjem permeabilnosti membrane, spojevi manje molekularne mase lakše prolaze što u konačnici može rezultirati odumiranjem stanica ili uzrokovati štetu zbog gubitka iona ili aminokiselina.

Za određivanje neionskih tenzida primjenjuje se titrimetrijsko/potenciometrijsko određivanje uz ion-selektivnu elektrodu za neionske tenzide. Određivanje se temelji na pretvorbi neionskih tenzida u pseudokationske spojeve, koji se određuju taložnom titrijom uz natrijev tetrafenilborat kao titrant. Ion-selektivna elektroda za neionske tenzide koristi se kao indikatorska elektroda. Sadržaj neionskih tenzida određuje se na temelju polioksietilenskih spojeva u otpadnoj vodi.

Uređaj koji provodi titraciju prikazan je na **Slici 16**, a sadrži ion-selektivnu elektrodu za neionske tenzide i referentnu elektrodu.

3.2.6. Određivanje kemijske potrošnje kisika

Ekvivalentna količina kisika potrebna za oksidaciju organske tvari prisutne u otpadnoj vodi uz pomoć jakog oksidacijskog sredstva naziva se kemijska potrošnja kisika (KPK).

Za određivanje KPK primjenjuje se metoda s kalijevim bikromatom. Metoda se temelji na oksidaciji organskih i anorganskih spojeva pomoću jakog oksidansa kalijevog bikromata, u jako kiseloj sredini. Kao katalizator koristi se srebrov sulfat. Višak kalijevog bikromata određuje se titracijom s feroamonijevim sulfatom. Količina prisutnih oksidabilnih tvari u otpadnoj vodi, izražena kao ekvivalent kisika, proporcionalna je količini utrošenog kalijevog bikromata.

3.2.7. Određivanje biokemijske potrošnje kisika

Biokemijska potrošnja kisika (BPK) označava potrebnu količinu kisika za biokemijsku oksidaciju organske tvari u otpadnoj vodi. Tijekom analize ne oksidiraju se sve prisutne organske tvari pa su vrijednosti BPK manje u odnosu vrijednosti KPK.

Za određivanje BPK_5 primjenjuje se metoda razrjeđenja. Temelji se na određivanju kisika otopljenog u vodi u trenutku priređivanja uzorka i nakon 5 dana pri temperaturi od 20 °C. Iz razlike u količini otopljenog kisika računa se utrošak kisika izražen u mg/L otpadne vode.

3.2.8. Određivanje ukupnog fosfora

Fosfor je neophodan nutrijent za rast algi i drugih mikroorganizama. Količinu fosfora u ispustu otpadnih voda važno je kontrolirati kako ne bi došlo do neželjenog cvjetanja algi u površinskim vodama.

Određivanje ukupnog fosfora provodi se kivetnim testom LCK 350 (Hach Company, Njemačka). Pipetom se u kivetu dodaje 0,4 mL uzorka te se kiveta čvrsto zatvori čepom i promiješa. Slijedi termostatiranje u trajanju od 15 minuta pri 175 °C. Nakon zagrijavanja, kiveta se hladi na sobnu

temperaturu. U ohlađenu kivetu dodaje se 0,5 mL reagensa B, kiveta se zatvori, dobro protrese i ostavi 10 minuta da bi se razvilo obojenje. Koncentracija ukupnog fosfora određuje se spektrofotometrom.

3.2.9. Određivanje ukupnog dušika

Dušik se u otpadnim vodama pojavljuje u obliku organskog dušika, amonijakalnog dušika, nitratnog i nitritnog dušika. Dušik, kao i fosfor, pripada nutrijentima koji uzrokuju eutrofikaciju vodenih površina. Za biološku oksidaciju amonijakalnog dušika troše se velike količine otopljenog kisika iz površinskih voda što može dovesti do odumiranja živog svijeta dok je sam amonijakalni dušik toksičan za ribe. Velike koncentracije nitrata u vodama za piće mogu kod novorođenčadi uzrokovati methemoglobinemiju ili tzv. *blue baby sindrom*.

Određivanje ukupnog dušika provodi se kivetnim testom LCK 338 LATON (Hach Company, Njemačka). Pipetom se u reakcijsku kivetu dodaje 0,2 mL uzorka, 2,3 mL reagensa A i jedna tableta B. Kiveta se zatvori i stavlja u termostat na 15 minuta pri 175 °C. Nakon zagrijavanja, kiveta se hladi na sobnu temperaturu. Ohlađena kiveta se nekoliko puta preokrene te se 0,5 mL digestiranog uzorka prenese u drugu kivetu uz dodatak 0,2 mL reagensa D. Kivetu je potrebno zatvoriti i nekoliko puta preokrenuti te ostaviti 15 minuta. Koncentracija ukupnog dušika određuje se sprektrofotometrom.

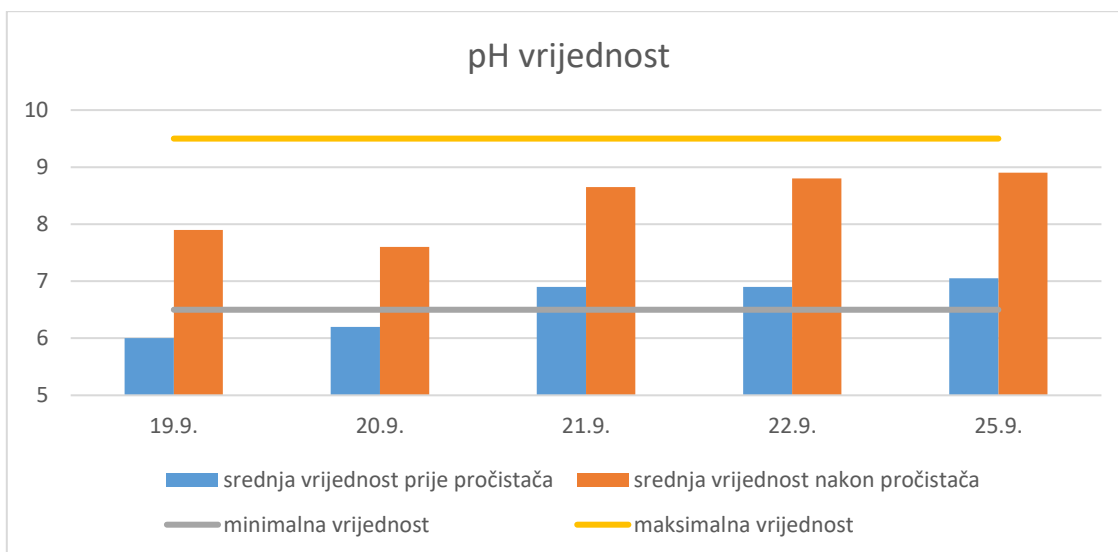
4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. FIZIKALNO-KEMIJSKI POKAZATELJI

pH vrijednost

Na **Slici 17** prikazane su prosječne pH vrijednosti u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi prije ispuštanja u sustav javne odvodnje. Najniža pH vrijednost ulazne otpadne vode bila je 6,0 dok je najviša iznosila 7,1. Nakon prolaska otpadne vode kroz uređaj za pročišćavanje otpadne vode, pH vrijednosti su porasle te su se kretale od 7,6 do 8,9.

Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) za ispuštanje u sustav javne odvodnje, minimalna pH vrijednost iznosi 6,5 dok je maksimalna 9,5. Na **Slici 17** vidljivo je da svi analizirani uzorci odgovaraju spomenutim graničnim vrijednostima.



Slika 17 Prosječne pH vrijednosti ulazne otpadne vode i izlazne vode uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

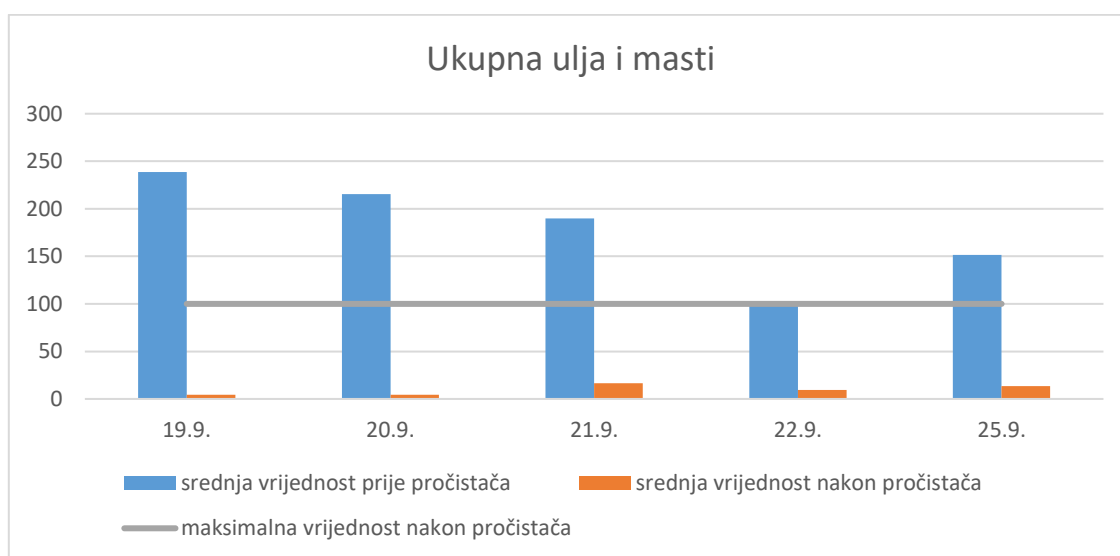
4.2. ORGANSKI POKAZATELJI

Ukupna ulja i masti

Na **Slici 18** prikazane su prosječne vrijednosti koncentracije teškohlapljivih lipofilnih tvari tj. ukupnih ulja i masti u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi prije ispuštanja u sustav javne odvodnje.

Prije prolaska otpadne vode kroz UPOV, najviša vrijednost ukupnih ulja i masti bila je 240 mg/L, a najniža 98 mg/L. Vrijednosti koncentracije ukupnih ulja i masti u uzorcima izlazne vode kretale su se od 4,3 mg/L do 16,6 mg/L, odnosno uklanjanje je bilo u rasponu od 90,61 do 98,12 %.

Prema Pravilniku o граниčnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) za ispuštanje u sustav javne odvodnje, vrijednost ukupnih ulja i masti maksimalno smije iznositi 100 mg/L. Svi analizirani uzorci nakon prolaska kroz UPOV sadže manje ukupnih ulja i masti od MDK vrijednosti propisanih Pravilnikom.



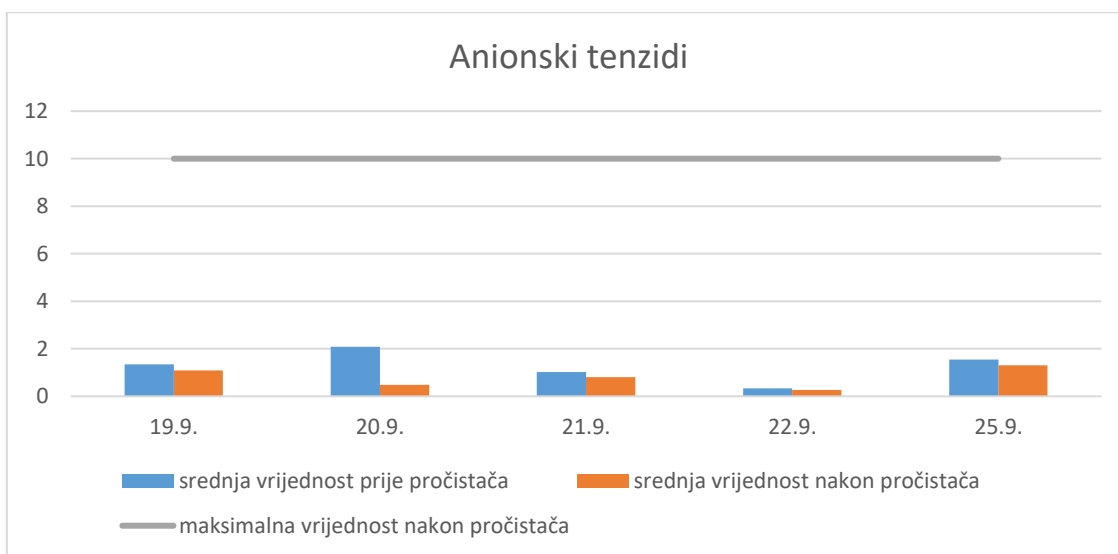
Slika 18 Prosječne vrijednosti koncentracija ukupnih ulja i masti u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

Anionski tenzidi

Na **Slici 19** prikazane su prosječne vrijednosti koncentracije anionskih tenzida u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije prije ispuštanja u sustav javne odvodnje. Najniža vrijednost koncentracije anionskih tenzida u ulaznoj otpadnoj vodi iznosila je 0,33 mg/L dok je najviša iznosila 2,12 mg/L. Nakon prolaska otpadne vode kroz uređaj za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije, vrijednosti anionskih tenzida

kretale su se od 0,25 mg/L do 1,32 mg/L, odnosno uklanjanje je bilo u rasponu od 8,94 do 78,16 %.

Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) za ispuštanje u sustav javne odvodnje, vrijednost koncentracije anionskih tenzida maksimalno smije iznositi 10 mg/L. Svi analizirani uzorci, i prije i nakon prolaska kroz UPOV, sadrže manje anionskih tenzida od MDK vrijednosti propisanih Pravilnikom.

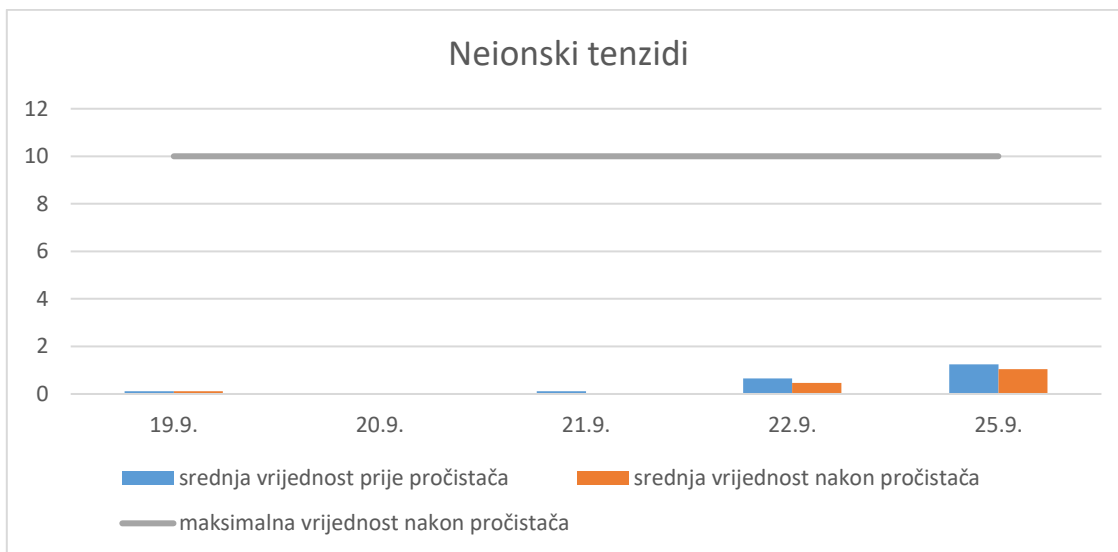


Slika 19 Prosječne vrijednosti koncentracija anionskih tenzida u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

Neionski tenzidi

Na **Slici 20** prikazane su prosječne vrijednosti koncentracije neionskih tenzida u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije prije ispuštanja u sustav javne odvodnje. U jednom uzorku (20.09.2023.) nisu pronađeni neionski tenzidi dok je najviša koncentracija u ulaznoj otpadnoj vodi iznosila 1,25 mg/L. Nakon prolaska otpadne vode kroz UPOV, vrijednosti koncentracije neionskih tenzida kretale su se od 0 mg/L do 1,10 mg/L, odnosno uklanjanje je bilo u rasponu od 0 do 100 %. Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) za ispuštanje u sustav javne odvodnje, vrijednost

koncentracije neionskih tenzida maksimalno smije iznositi 10 mg/L. Svi analizirani uzorci, i prije i nakon prolaska kroz UPOV, sadrže manje neionskih tenzida od MDK vrijednosti propisanih Pravilnikom.

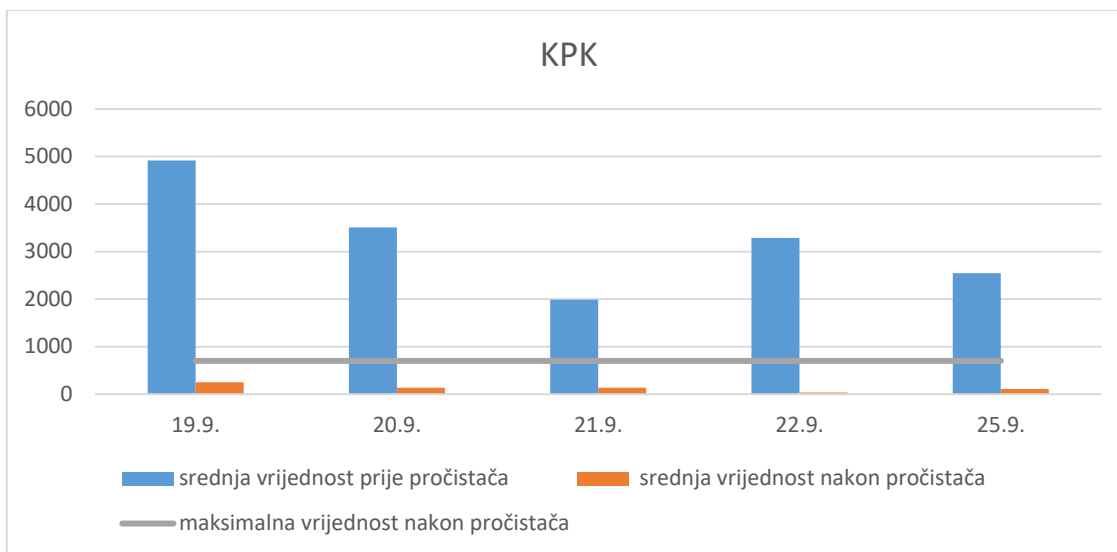


Slika 20 Prosječne vrijednosti koncentracija neionskih tenzida u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

Kemijska potrošnja kisika

Na **Slici 21** prikazane su prosječne vrijednosti koncentracije KPK u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije prije ispuštanja u sustav javne odvodnje.

Najviša vrijednost koncentracije KPK u ulaznoj otpadnoj vodi bila je 4935 mg O₂/L dok je najniža iznosila 1985 mg O₂/L. Nakon prolaska otpadne vode kroz UPOV, vrijednosti koncentracije KPK kretale su se od 35 mg O₂/L do 248,65 mg O₂/L, odnosno uklanjanje je bilo u rasponu od 94,92 do 98,93 %. Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) za ispuštanje u sustav javne odvodnje, vrijednosti koncentracije KPK maksimalno smiju iznositi 700 mg O₂/L. Svi analizirani uzorci izlazne vode u skladu su s navedenim Pravilnikom.



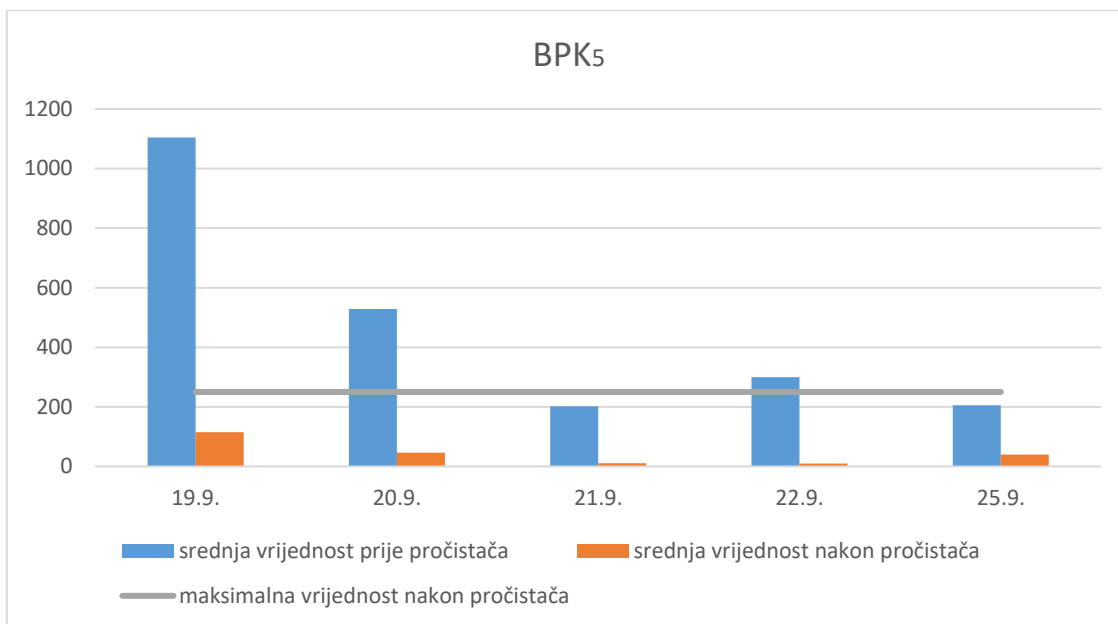
Slika 21 Prosječne vrijednosti koncentracija KPK u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

Biokemijska potrošnja kisika

Na **Slici 22** prikazane su prosječne vrijednosti koncentracije BPK₅ u ulaznoj otpadnoj vodi i otpadnoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije prije ispuštanja u sustav javne odvodnje.

Najviša vrijednost koncentracije BPK₅ u ulaznoj otpadnoj vodi iznosila je 1120 mg O₂/L dok je najniža bila 200 mg O₂/L. Nakon prolaska otpadne vode kroz uređaj za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije, vrijednosti koncentracije BPK₅ kretale su se od 10 mg O₂/L do 140,94 mg O₂/L, odnosno uklanjanje je bilo u rasponu od 80,48 do 96,67 %.

Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) za ispuštanje u sustav javne odvodnje, vrijednost koncentracije BPK₅ maksimalno smije iznositi 250 mg O₂/L. Svi analizirani uzorci izlazne vode u skladu su s navedenim Pravilnikom.

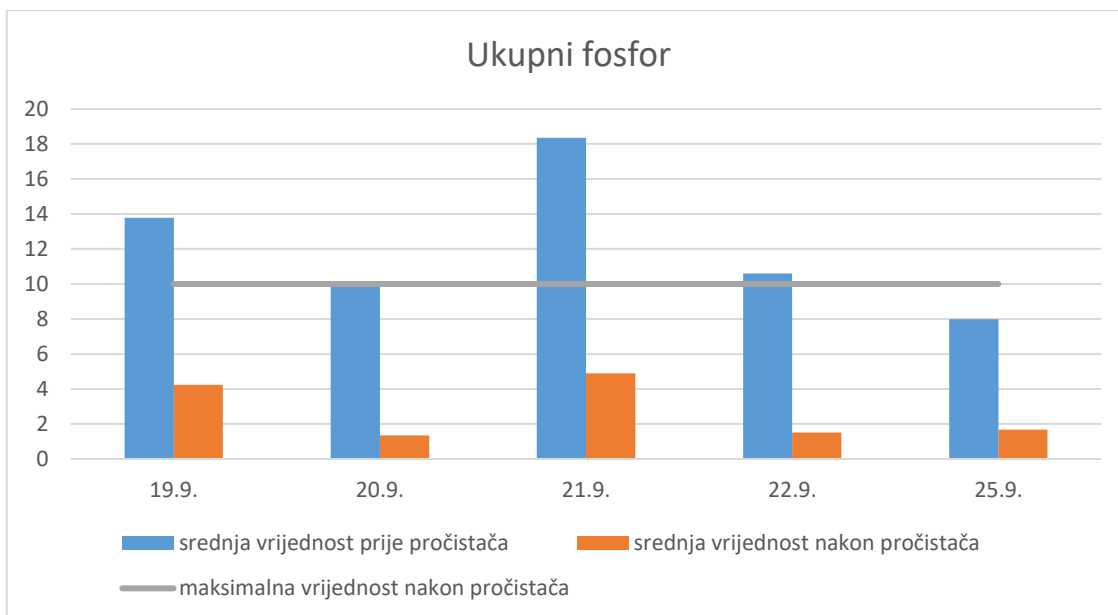


Slika 22 Prosječne vrijednosti koncentracija BPK₅ u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

4.3. ANORGANSKI POKAZATELJI

Ukupni fosfor

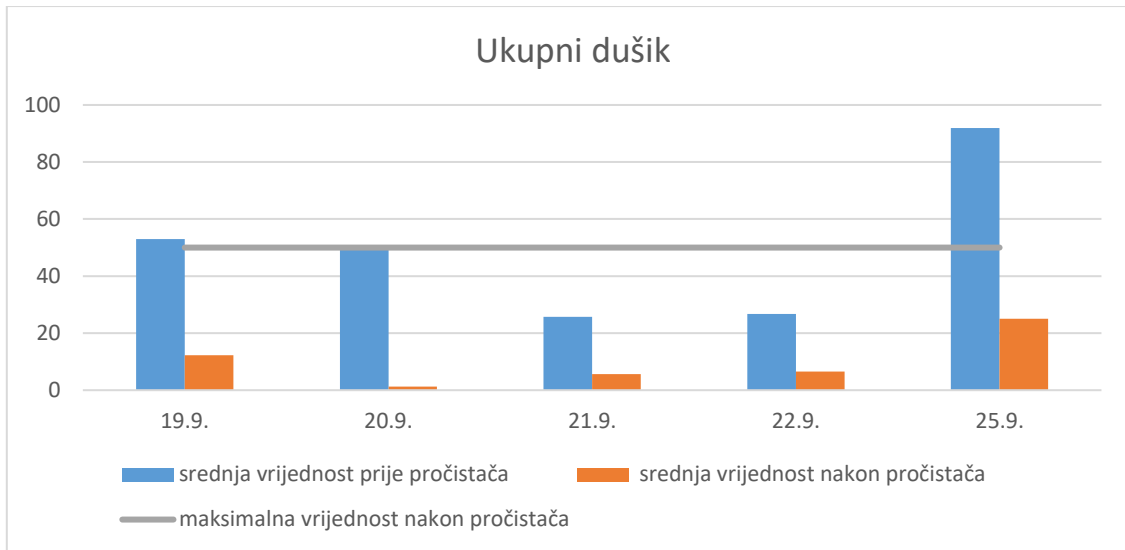
Na **Slici 23** prikazane su prosječne vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije prije ispuštanja u sustav javne odvodnje. Najviša koncentracija u ulaznoj otpadnoj vodi iznosila je 18,7 mg P/L dok je najniža bila 7,98 mg P/L. Nakon prolaska otpadne vode kroz uređaj za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije, koncentracija ukupnog fosfora kretala se od 1,34 mg P/L do 4,9 mg P/L, odnosno uklanjanje je bilo u rasponu od 69,16 do 86,67 %. Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) za ispuštanje u sustav javne odvodnje, vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora maksimalno smiju iznositi 10 mg P/L. U svim analiziranim uzorcima izlazne vode koncentracija ukupnog fosfora bila je manja od MDK vrijednosti propisanih Pravilnikom.



Slika 23 Prosječne vrijednosti koncentracija ukupnog fosfora u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

Ukupni dušik

Na Slici 24 prikazane su prosječne vrijednosti koncentracije ukupnog dušika u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije prije ispuštanja u sustav javne odvodnje. Najviša koncentracija ukupnog dušika u ulaznoj otpadnoj vodi iznosila je 94 mg N/L dok je najniža bila 25,6 mg N/L. Nakon prolaska otpadne vode kroz uređaj za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije, koncentracija ukupnog dušika kretala se od 1,28 mg N/L do 5,61 mg N/L, odnosno uklanjanje je bilo u rasponu od 72,19 do 97,44 %. Prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) za ispuštanje u sustav javne odvodnje, vrijednosti koncentracije ukupnog dušika maksimalno smiju iznositi 50 mg N/L. U svim analiziranim uzorcima izlazne vode koncentracija ukupnog dušika bila je manja od MDK vrijednosti propisanih Pravilnikom.



Slika 24 Prosječne vrijednosti koncentracija ukupnog dušika u ulaznoj otpadnoj vodi i izlaznoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije

5. ZAKLJUČCI

Pogon za proizvodnju konditorskih proizvoda ispušta velike količine otpadne vode koje se zbog visokog sadržaja organskih tvari klasificiraju kao biorazgradiva. Organske tvari tijekom razgradnje troše velike količine kisika, a smanjenjem udjela kisika narušava se ravnoteža sustava u koji takva voda biva ispuštena.

Prije otpuštanja u sustav javne odvodnje, sirova otpadna voda djelomično se pročišćava uređajem sastavljenim od grube rešetke, egalizacijskog spremnika, anaerobnog UASB reaktora i aerobnog reaktora kao glavnih dijelova.

U ovom radu ispitana je učinkovitost pročišćavanja otpadne vode koja nastaje tijekom proizvodnih procesa u konditorskoj industriji. Učinkovitost je ispitana analizom ulaznih i izlaznih uzoraka otpadne vode, odnosno, određivanjem sljedećih parametara: pH vrijednost, KPK, BPK₅, ukupna ulja i masti, anionski i neionski tenzidi, ukupni dušik i ukupni fosfor.

Na temelju rezultata istraživanja može se zaključiti sljedeće:

- Sastav sirove otpadne vode konditorske industrije oscilira tijekom dana i tjedna.
- Sirova otpadna voda konditorske industrije blago je kisela s prosječnom pH vrijednošću 6,61. U dva navrata izmjerena pH vrijednost sirove otpadne vode bila je niža od minimalno dozvoljene vrijednosti, dok su pH vrijednosti svih ostalih analiziranih uzoraka otpadne vode na izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije bile u skladu s Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).
- Srednje vrijednosti ukupnih ulja i masti u ulaznoj vodi najčešće su bile znatno više od maksimalno dozvoljenih koncentracija, dok su vrijednosti ukupnih ulja i masti u izlaznoj pročišćenoj vodi bile su u skladu s Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020). Maksimalno dozvoljena koncentracija ukupnih ulja i masti u izlaznoj vodi iznosi 100 mg/L. Uklanjanje ukupnih ulja i masti bilo je u rasponu od 90,61 do 98,12 %.
- Vrijednosti anionskih tenzida u ulaznoj otpadnoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije bile su niže od maksimalno dozvoljenih 10 mg/L u svim uzorcima i kretale su se u rasponu od 0,33 mg/L do 2,12 mg/L dok je raspon izlaznih

vrijednosti bio od 0,25 mg/L do 1,32 mg/L. Uklanjanje anionskih tenzida bilo je u rasponu od 8,94 do 78,16 %.

- Vrijednosti neionskih tenzida u ulaznoj otpadnoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije bile su niže od maksimalno dozvoljenih 10 mg/L u svim uzorcima, dok u pojedinim uzorcima njihova prisutnost nije detektirana. Najviša ulazna vrijednost neionskih tenzida iznosila 1,25 mg/L. Raspon izlaznih vrijednosti bio je od 0 mg/L do 1,10 mg/L. Uklanjanje neionskih tenzida bilo je u rasponu od 0 do 100 %.
- Vrijednosti KPK u ulaznoj otpadnoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije bile su u rasponu od 1985 mg O₂/L do 4935 mg O₂/L, a vrijednosti na izlazu od 35 mg O₂/L do 248,65 mg O₂/L. Granična vrijednost KPK na izlazu iznosi 700 mg O₂/L. Uklanjanje KPK bilo je u rasponu od 94,92 do 98,93 %.
- Vrijednosti BPK₅ u ulaznoj otpadnoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije bile su u rasponu od 200 mg O₂/L do 1120 mg O₂/L, a vrijednosti na izlazu od 10 mg O₂/L do 140,94 mg O₂/L. Granična vrijednost BPK₅ na izlazu iznosi 250 mg O₂/L. Uklanjanje BPK₅ bilo je u rasponu od 80,48 do 96,67 %.
- Raspon ulaznih vrijednosti ukupnog fosfora u ulaznoj otpadnoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije bio je od 7,98 mg P/L do 18,7 mg P/L, dok su se izlazne vrijednosti kretale od 1,34 mg P/L do 4,9 mg P/L. Maksimalno dozvoljena koncentracija ukupnog fosfora na izlazu je 10 mg P/L. Uklanjanje fosfora bilo je u rasponu od 69,16 do 86,67 %.
- Raspon ulaznih vrijednosti ukupnog dušika u ulaznoj otpadnoj vodi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije bio je od 25,6 mg N/L do 94 mg N/L, dok su se izlazne vrijednosti kretale od 1,28 mg N/L do 5,61 mg N/L. Maksimalno dozvoljena koncentracija ukupnog dušika na izlazu je 50 mg N/L. Uklanjanje dušika bilo je u rasponu od 72,19 do 97,44%.
- Vrijednosti svih analiziranih parametara izlazne otpadne vode s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda konditorske industrije bile su u skladu s graničnim vrijednostima propisanim Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).

6. LITERATURA

- Ahmed J, Thakur A, Goyal A: Industrial Wastewater and Its Toxic Effects. U *Chemistry in the Environment*, str. 1-14. The Royal Society of Chemistry, 2022.
- Amoatey P, Bani R: Wastewater Management. In *Waste Water – Evaluation and Management*, str. 379-398. InTechOpen, 2011.
- Baras J, Brković-Popović I, Knežić L, Popović M, Blagojević N: *Obrada otpadnih voda, II deo - biološka obrada*. Savez hemičara i tehnologa Srbije, Beograd, 1980.
- Begić S, Cvrk R, Habuda-Stanić M: Postupci pripreme vode za industriju. In *scan*, Tuzla, 2022.
- Bhargava A: Physico-Chemical Waste Water Treatment Technologies: An Overview. *International Journal of Scientific Research and Education* 4:5, 2016.
- Crini G, Lichtfouse E, Wilson L, Morin-Crini N: Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1):195-213., 2019.
- Davis ML: Tertiary treatment. In *Water and Wastewater Engineering*, str. 26-1-26-18. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2010.
- Deng Y, Zhao R: Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Current Pollution Reports* 1:167-176, 2015.
- El Diwani G, El Abd H, Hawash S, El Ibiari N, El Rafei S: Treatment of Confectionery and Gum Factory Wastewater Effluent. *Adsorption Science and Technology* 18(9):813-821, 2000.
- Habuda-Stanić M, Kalajdžić B, Nujić M: Tehnologija vode i obrada otpadnih voda (interna skripta). Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2014.
- Habuda-Stanić M: Reciklirana voda i poljoprivreda – rješenje ili problem. U *Zbornik radova 59. hrvatskog i 19. međunarodnog Simpozija agronoma*, str. 41-49. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, 2024.
- Heponiemi A, Lassi U: Advanced Oxidation Processes in Food Industry Wastewater Treatment – A Review. U *Food Industrial Processes – Methods and Equipment*, str. 313-338. InTech, 2012.
- Jajčinović I, Borošić M, Brnardić I, Grčić I, Kurajica S: Usporedba pripreme fotokatalizatora nanošenjem TiO₂ na nosač različitim metodama. U *Proceedings Book 17th International Foundrymen Conference Hi-Tech casting solution and knowledge based engineering*, str. 135-143. Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak, 2018.
- Licht K, Halkijević I, Posavčić H: Pregled metoda za uklanjanje teških metala iz voda. *Hrvatske vode* 30:81-94, 2022.

- Mai Z: Membrane processes for water and wastewater treatment: study and modeling of interactions between membrane and organic matter. Disertacija. Ecole Centrale, Paris, 2013.
- Mijatović I, Matošić M: Tehnologija vode. Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2008.
- Nasr FA, Abdelfattah I, El Shafai SA: Cost Effective Management of Confectionery Industrial Wastewater. *Egyptian Journal of Chemistry* 65(5):391-399, 2022.
- Nayyar D, Nawaz T, Noore S, Singh AP: Food Processing Wastewater Treatment: Current Practices and Future Challenges. U *Pollution Control Technologies*, str. 177-208. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021.
- Onet C: Characteristics of the Untreated Wastewater Produced by Food Industry. *Analele Universității din Oradea, Fascicula: Protecția Mediului*. 15:709-714, 2010.
- Ozgun H, Karagul N, Dereli RK, Ersahin ME, Coskuner T, Ciftci DI, Ozturk I, Altinbas M: Confectionery industry: a case study on treatability-based effluent characterization and treatment system performance. *Water Science & Technology* 66(1):15-20, 2012.
- Pervez MN, Mishu MR, Stylios GK, Hasan SW, Zahao Y, Cai Y, Zarra T, Belgiorno V, Naddeo V: Sustainable Treatment of Food Industry Wastewater Using Membrane Technology: A Short Review. *Water*. 13(23):3450, 2021.
- Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 26/2020
- Riffat R: Sustainable wastewater treatment and engineering. In *Fundamentals of wastewater treatment and engineering*, str. 1-13. CRC Press, 2012.
- Stanković D: Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda. *Građevinar* 69(8):639-652, 2017.
- Tutić A, Zeko-Pivač A, Dragičević Ladeka T, Šiljeg M, Habuda-Stanić M: Uklanjanje i uporaba fosfora iz otpadnih voda. *Hrvatske vode* 29(115):33-41, 2021.
- Višić K, Vojnović B, Pušić T: Problematika zbrinjavanja i pročišćavanja otpadnih voda – zakonski propisi. *Tekstil* 64:109-121, 2015.
- Vuković Ž: Osnove hidrotehnike. Prvi dio, Druga knjiga, Aquamarin, Zagreb, 1994.
- Zajda M, Aleksander-Kwaterczak U: Wastewater Treatment Methods for Effluents from the Confectionery Industry – an Overview. *Journal of Ecological Engineering* 20(9):293-304, 2019.