

Pročišćavanja otpadnih voda primjenom C-TECH i SBR tehnologije

Smolković, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:142286>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Josip Smolković

**PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA PRIMJENOM
C-TECH I SBR TEHNOLOGIJE**

Diplomski rad

Osijek, rujan 2023.

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 18, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski studij: Prehrambeno inženjerstvo
Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija vode i obrada otpadnih voda
Tema rada: je prihvaćena na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2022./2023. održanoj 22. svibnja 2023.
Mentor: prof. dr. sc. *Mirna Habuda-Stanić*
Pomoć pri izradi: *Zorica Kuveždić*, univ. spec. oecol.

Pročišćavanje otpadnih voda primjenom C-TECH i SBR tehnologije

Josip Smolković, 0113143782

Sažetak: Pročišćavanje otpadnih voda važan je dio brige društva o okolišu, a biološka obrada otpadnih voda je jedna od najučinkovitijih i ekonomski najisplativijih metoda pročišćavanja otpadnih voda. Na području Vukovarsko-srijemske županije komunalne otpadne vode se pročišćavaju na pet bioloških uređaja, od koji tri otpadnu vodu pročišćavaju primjenom C-TECH i SBR tehnologije. Zadatak diplomskog rada je uzorkovanjem i određivanjem kvalitete ulazne i pročišćene otpadne vode utvrditi učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda na UPOV Cerna, UPOV Otok i UPOV Ivankovo koji otpadnu vodu pročišćavaju primjenom C-TECH i SBR tehnologije. Učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda odredit će se praćenjem sljedećih parametara: pH, temperatura, suhi ostatak, otopljeni kisik, spojevi dušika, ukupni fosfor, BPK₅, KPK-Cr te suspendirane tvari.

Ključne riječi: obrada otpadnih voda, C-TECH tehnologija, SBR tehnologija, Vukovarsko-srijemska županija

Rad sadrži: 53 stranica
11 slika
14 tablica
0 priloga
22 literaturnih referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

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

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

Datum obrane: 27. rujan 2023.

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 18, 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. VIII. held on May 22. 2023.
Mentor: *Mirna Habuda-Stanić*, PhD, full prof.
Technical assistance: Zorica Kuveždić, univ. spec. oecol.

Wastewater treatment using C-TECH and SBR technology
Josip Smolković, 0113143782

Summary: Wastewater treatment is an important part of society's concern for the environment. Biological waste water treatment is one of the most efficient and economically acceptable method of waste water treatment. In the area of Vukovar-Srijem County, municipal wastewater is treated in five biological devices, three of which treat wastewater using C-TECH and SBR technology. The aim of this thesis is to determine the efficiency of wastewater treatment at UPOV Cerna, UPOV Otok and UPOV Ivankovo, which treat wastewater using C-TECH and SBR technology, by sampling and determining the quality of incoming and treated wastewater. The efficiency of wastewater treatment will be determined by monitoring the following parameters: pH, temperature, dry residue, dissolved oxygen, nitrogen compounds, total phosphorus, BOD₅, COD-Cr and suspended substances.

Keywords: wastewater treatment , C-TECH technology, SBR technology, Vukovar-Srijem County

Thesis contains: 53 pages
11 figures
14 tables
0 supplements
22 references

Original in: Croatian

Defense committee:

- | | |
|--|--------------|
| 1. <i>Dajana Gašo-Sokač</i> , PhD, full prof. | chair person |
| 2. <i>Mirna Habuda-Stanić</i> , PhD, full prof. | supervisor |
| 3. <i>Marija Stjepanović</i> , PhD assistant prof. | member |
| 4. <i>Valentina Bušić</i> , PhD, assistant prof. | stand-in |

Defense date: September 27 2023.

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

Zahvaljujem se mentorici prof.dr.sc. Mirni Habuda-Stanić na prenesenom znanju i dostupnosti prilikom izrade diplomskog rada, kao i tehnologinjama Zorici Kuvežić i Gordani Vrbat koje su mi pomogle pri izradi diplomskog rada.

Zahvaljujem se kumovima Željki i Luki Čabai koji su pružili svu informatičku pomoć i informacije vezan za oblikovanje i uređivanje rada, zahvaljujem obitelji na podršci, a najviše Kristini Poc zbog neizmjerne podrške.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. OTPADNE VODE	4
2.1.1. VRSTE ONEČIŠĆENJA OTPADNIH VODA.....	4
2.1.2. POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA OTPADNIH VODA.....	6
2.2. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA	8
2.2.1. TEHNOLOGIJE PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA	8
2.2.1.1. Rešetanje.....	8
2.2.1.2. Usitnjavanje.....	9
2.2.1.3. Taloženje	9
2.2.1.4. Koagulacija i flokulacija	9
2.2.1.5. Neutralizacija.....	10
2.2.1.6. Membranska filtracija	10
2.2.1.7. Adsorpcija.....	10
2.2.1.8. Elektrokemijska obrada	10
2.2.1.9. Biološka obrada otpadne vode.....	11
2.2.2. BIOLOŠKI REAKTORI	12
2.2.2.1. MEMBRANSKI BIOREAKTOR	12
2.2.2.2. ROTIRAJUĆI BIOLOŠKI KONTAKTOR.....	14
2.2.2.3. SBR TEHNOLOGIJA.....	14
2.2.2.4. C-TECH TEHNOLOGIJA	14
2.3. POSTUPCI OBRAD E I ZBRINJAVANJE OTPADNOG MULJA.....	22
2.3.1. OBRADA OTPADNOG MULJA.....	22
2.3.2. ODLAGANJE I ZBRINJAVANJE OTPADNOG MULJA.....	24
3. EKSPERIMENTALNI DIO	27

3.1. ZADATAK	28
3.2. MATERIJAL I METODE	28
3.2.1. FIZIKALNE METODE.....	28
3.2.2. KEMIJSKE METODE	31
4. REZULTATI I RASPRAVA	35
4.1. REZULTATI ISPITIVANJA	36
5. ZAKLJUČCI	47
6. LITERATURA	51

Popis oznaka, kratica i simbola

C-TECH	Cyclic Activated Sludge Process
SBR	Sequencing Batch Reactor
KPK	Kemijska potrošnja kisika
BPK ₅	Biološka potrošnja kisika kroz 5 dana
NN	Narodne Novine
MDK	Maksimalno dozvoljena koncentracija

1. UVOD

Otpadne vode su vode korištene za određenu namjenu i nastaju na mjest potrošnje vode, odnosno u industrijskim postrojenjima, ugostiteljskim objektima, kućanstvima i slično. Pri upotrebi otpadnim vodama mijenjaju se fizikalna, kemijska i biološka svojstva te je nužno takvu vodu na odgovarajući način sakupiti i obraditi. Bez specifične obrade otpadne vode, vrlo brzo dolazi do narušavanja prirodne ravnoteže i potencijalnog nastanka opasnosti za ljudsko zdravlje, direktnim ili indirektnim putem. Obrada ili pročišćavanje otpadnih voda podrazumijeva obradu vode odedenim procesom, a proces može biti fizikalne, kemijske ili biološke prirode. Obrada otpadne vode treba biti učinkovit proces s minimalnim ekonomskim troškovima kojim se postiže kvaliteta izlazne vode koja je u skladu s zakonskom regulativom.

Posljednjih desetljeća, zahtjevi za kvalitetom obrađene otpadne vode su veći, a sami postupci pročišćavanja postaju sve napredniji kako bi se ostvarili zakonski uvjeti.

Otpadne vode mogu sadržavati visoku razinu onečišćenja, odnosno mogu sadržavati otrovne tvari, različite bakterije ili patogene mikroorganizme, ali i veliku količinu organskih tvari koja dodatno smanjuje kvalitetu takve vode. Patogeni mikroorganizmi prisutni u otpadnim vodama mogu dospijevanjem u izvore vode za piće izazvati značajne probleme za ljudsko zdravlje, ali mogu uzrokovati i izumiranje pojedinih životinjskih vrsta i značajnog narušavanja kvalitete vodenih sustava. Kako bi se izbjegli navedeni problemi i kako bi se spriječilo onečišćenje okoliša, otpadne vode se prikupljaju i pročišćavaju. Danas se u praksi najčešće koristi biološka metode obrade otpadnih voda koje uključuju korištenje tzv. aktivnog mulja. Tehnologija aktivnog mulja podrazumijeva primjenu tekuću smjesu mikroorganizama i nerazgrađenih organskih i anorganskih tvari koja se miješa s dolaznom otpadnom vodom pri čemu prisutni mikroorganizmi vlastitim metabolizmom uklanjaju biorazgradive organske i hranjive tvari iz otpadnih voda.

Cilj ovog rada opisati rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda na području Vukovarsko-srijemske županije koji primjenjuju C-TECH i SBR tehnologiju. Uzorkovanjem i određivanjem kvalitete ulazne i pročišćene otpadne vode utvrđena je učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda na UPOV Cerna, UPOV Otok i UPOV koji primjenjuju navedene tehnologije. Učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda određena je praćenjem sljedećih parametara: pH, temperatura, suhi ostatak, otopljeni kisik, spojevi dušika, ukupni fosfor, BPK₅, KPK-Cr te suspendirane tvari.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. OTPADNE VODE

Otpadne vode su vode u kojima je došlo do promjene prvobitnog sastava, a to znači da su im promijenjena fizikalna, kemijska i biološka svojstva. Ovakve promjene nastaju uslijed korištenja vode za određene procese u tehnološkim pogonima, u kućanstvu ili u poljoprivredu tijekom obrade poljoprivrednih zemljišta. Otpadne vode mogu se podijeliti na nekoliko grupa, a to su:

- a.) Kućanske otpadne vode – ovaj tip otpadnih voda nastaje korištenjem u kućanstvima, korištenjem u hotelima, ali i sve one vode koje nastaju iz uslužnih djelatnosti (Jurac, 2023).
- b.) Industrijske otpadne vode – nastanku ovog tipa otpadnih voda uvjetuju različiti procesi koji se koriste u tehnološkim postrojenjima. Zbog velike raznolikosti tehnoloških procesa nastaju različite vrste industrijskih otpadnih voda koji posjeduju različita svojstva. Industrijske otpadne vode mogu biti biološki razgradive otpadne vode, biološki nerazgradive otpadne vode, otpadne vode koje sadrže pretežno neorganske tvari i otpadne vode koje sadrže pretežno organske tvari. Najveće količine otpadnih voda dolaze iz prehrambene industrije, industrije prerade papira, metaloprerađivačke industrije, ali i kemijske industrije (www.bp-group.hr).
- c.) Oborinske otpadne vode – Vrsta vode koja je nastala djelovanjem oborina, odnosno pri kontaktu atmosfere vode i površine tla, krovova, prometnica itd. Ovakve otpadne vode prikupljaju sve nečistoće prisutne na površini precipitacije te na taj način mogu završiti u i kanalizacijskom sustavu (Jurac, 2009).

2.1.1. VRSTE ONEČIŠĆENJA OTPADNIH VODA

Postoje različite vrste onečišćenja otpadnih voda koje dovode do smanjenja u kvaliteti vode, a mogu se grupirati:

- a.) Fizikalna onečišćenja otpadnih voda – fizikalna onečišćenja vode podrazumijevaju promjene vode uzrokovane prisutnošću boje, mutnoće, suspendiranih tvari, pojavu mirisa i okusa voda ili velike oscilacije u temperaturi vode. U fizikalna onečišćenja ubrajamo i pojavu raznih netopljivih tvari kao što su suspenzije, koloidno dispergirane tvari, ali i plivajuće tvari.

Prisutnost ovih tvari negativno utječe na vodeni sustav jer smanjuju prolazak svjetlosti. Još jedno od važnih fizikalnih onečišćenja predstavlja i prisutnost topline pri ispuštanju toplih ili vrućih voda koje su služile kao rashladna sredstva u industrijskim postrojenjima ili energetske sustava. Prisutnost temperature u takvim vodama ubrzava sve ekološke procese ukoliko dođe u kontakt s vodenim svijetom. Nagle promjene u temperaturi vode dovode i do promjene fizikalnih vrijednosti vode kao što su gustoća, površinska napetost i viskoznost, a utječe i na količinu otopljenog kisika u vodi (Velić, 2023).

b.) Kemijska onečišćenja otpadnih voda – kemijsko onečišćenje voda podrazumijeva prisutnost organskih tvari kao što su ugljikohidrati, masti ili lipidi, te prisutnost otrovnih tvari kao što su teški metali poput žive, olova ili cinka koji dospijevaju zbog otapanja određenih minerala ili dolaze u kontakt s prirodnim vodama ispiranjem zemljišta. Pokazatelji kemijskog onečišćenja otpadne vode su topljivi i netopljivi sastojci organskog i anorganskog podrijetla ili tvari koje u svom sastavu sadrže atome ugljika, dušika i fosfora. Izvori kemijskog zagađenja voda najčešće su kemijske i petrokemijske industrije, naftne industrije, poljoprivreda i sl. Kemijska onečišćenja voda mogu se detektirati analizom vode od kojih se najčešće koriste metode određivanja ukupnog organskog ugljika (TOC), određivanje prisutnosti dušika po Kjeldahlu, određivanje fosfata itd. Metoda kojom se određuje ukupni organski ugljik se koristi ukoliko ima prisutnih organskih sastojaka u vodi, a najčešće se koristi kod analiza vode koje imaju nisku razinu onečišćenja. Metodom određivanja dušika po Kjeldahlu se koristi za određivanje koncentracije organskog dušika, amonijevih spojeva i azida. Ovom metodom nije moguće odrediti dušik prisutan u obliku nitrata, nitrita ili u obliku nitrozo spojeva. Metoda za određivanje fosfora se primjenjuje za određivanje fosfora koji se nalaze u obliku ortofosfata (H_3PO_4 , PO_4^{3-} i HPO_4^{2-}).

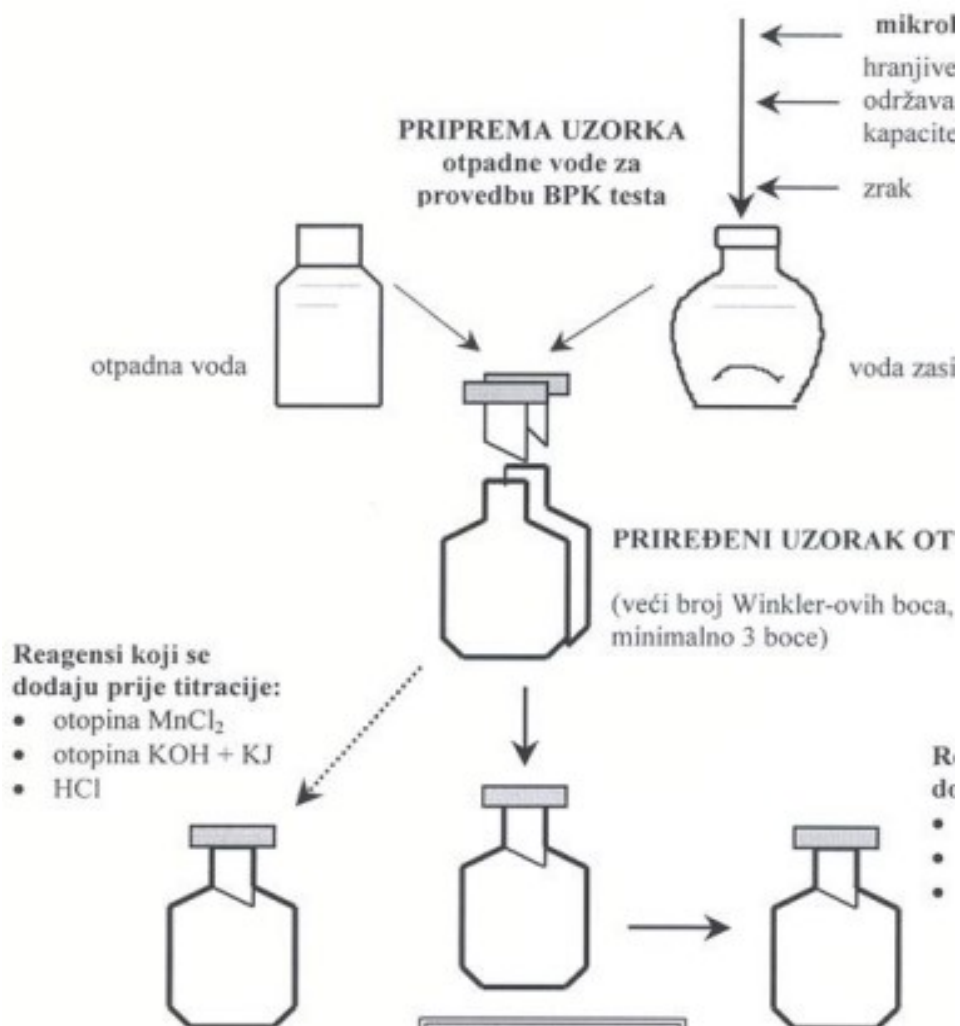
c.) Biološko onečišćenje otpadnih voda – biološko onečišćenje predstavlja prisutnost raznih mikroorganizama kao što su protozoe, gljivice, plijesni, patogene bakterije ili virusi. Mikroorganizmi se nalaze prirodno u otpadnim vodama jer otpadne vode imaju velike koncentracije organskih tvari koje mikroorganizmi koriste za sintezu energije. Neki od pokazatelja biološkog onečišćenja su bakterije roda *Vibrio cholerae*, virus Hepatitis A, protozoa *Cryptosporidium* sp (Velić, 2023).

d.) Radioaktivno onečišćenje otpadnih voda – radioaktivno onečišćenje otpadnih voda podrazumijeva prisutnost radioaktivnih tvari u vodama. Radioaktivne tvari se ugrađuju u organske molekule pri čemu mogu uzrokovati različita genetska oštećenja. Radioaktivno onečišćenje otpadnih voda može biti uzrokovano ispuštanjem radioaktivnih voda iz nuklearnih centrala ili onečišćenja uslijed nepravilnog odlaganja radioaktivnih tvari koje se koriste u medicinske svrhe i slično.

2.1.2. POKAZATELJI ONEČIŠĆENJA OTPADNIH VODA

1.) BPK_5 – Biološka potrošnja kisika je pokazatelj koncentracije otopljenog kisika u testiranom uzorku otpadne vode prije i nakon 5 dana pri temperaturi od 20 °C u tami i izražava se u mg O_2/L . Ovaj test predstavlja razliku između koncentracije otopljenog kisika koji je određen nakon pripreme uzorka i koncentracije otopljenog kisika koji je biološki potrošen nakon 5 dana u uzorku.

Glancer-Šoljan i suradnici 2001. godine su objasnili provedbu BPK_5 testa. Test se provodi s nekoliko paralelnih serija gdje koristimo uzorke otpadne vode koji su razrijeđeni s vodom koja je zasićena s O_2 i prisutna je povećana koncentracija sastojaka u kojima se nalazi dušik i fosfor. Koriste se Winklerove boce koje u sebi sadrže tekućine kako bi se uklonili mjehurići zraka. Najčešće se koristi Winklerova metoda gdje se određivanje koncentracije otopljenog kisika mjeri jodometrijskom metodom, a otopljeni kisik se odredi pomoću membranske elektrode galvanskog ili polarografskog tipa. Provedba BPK_5 testa prikazana je na **Slici 1**.



Slika 1 Provedba BPK testa

KPK – Kemijska potrošnja kisika je pokazatelj ukupne koncentracije oksidativnih sastojaka koji su prisutni u otpadnoj vodi te ukazuje na količinu organskog onečišćenja u vodi. Metoda se provodi na način da se ispitivani uzorak otpadne vode kuha u trajanju od 2h u kiseloj sredini uz dodatak koncentrirane H_2SO_4 i $K_2Cr_2O_7$ kao sredstva za oksidaciju te Ag_2SO_4 koji djeluje kao katalizator i na taj način pomaže u razgradnji i pretvorbi organskih tvari (Velić, 2023).

2.2. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Onečišćenje vode predstavlja degradaciju kvalitete vode zbog prisutnih primjesa te je prije ispuštanja otpadnih voda u okoliš nužno primijeniti tehnike pročišćavanja otpadnih voda. Procesi pročišćavanja otpadnih voda su procesi u kojima dolazi do smanjivanja svih tvari koji uzrokuju onečišćenje vode do vrijednosti njihovih koncentracija u kojima ne predstavljaju opasnost za okoliš. Kod pročišćavanja otpadnih voda je važno dovesti vodu do određenog stupnja čistoće primjenom različitih procesa obrade. Pročišćavanje otpadnih voda nužno je provoditi kako bi vrijednosti parametara kvalitete izlazne pročišćene vode bili u skladu s Pravilnikom o граниčnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).

2.2.1. TEHNOLOGIJE PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

Pročišćavanje otpadnih voda provodi se kroz nekoliko stupnjeva u cilju uklanjanja pojedinih vrsta nečistoća, a to su:

- a.) Prethodno ili mehaničko pročišćavanje
- b.) Fizikalno-kemijski postupci pročišćavanja
- c.) Biološko pročišćavanje otpadnih voda (Tušar, 2009.).

Prethodno ili mehaničko pročišćavanje podrazumijeva postupke koji se temelje na uklanjanju krupnih čestica kao što su šljunak, pijesak te masnoća. Ovakvi postupci obuhvaćaju procese poput rešetanja, usitnjavanja i taloženja.

Rešetanje

Rešetanje se koristi u obradi otpadnih voda gdje voda dolazi na rešetke ili sita na kojem zaostaju sve čvrste čestice koje se nalaze u otpadnoj vodi. Postupak rešetanja se najčešće koristi kako bi se spriječila začepljenja ili moguća oštećenja na opremi koju koristimo. Rešetanje se koristi kako bi se odvojilo čestice poput plastike, drva ili lišća koji mogu biti prisutni u vodi. Sve što zaostane na rešetkama se čisti pomoću mlaznica ili grablji (Tedeschi, 1997.).

Usitnjavanje

Usitnjavanje je proces pri kojem dolazi do usitnjavanja krupnih čestica na manje komade. Proces kao takav omogućava lakšu kasniju obradu otpadnih voda, odnosno omogućuje učinkovitiju filtraciju, taloženje te biološku obradu jer nakon usitnjavanja sitnije čestice omogućavaju lakšu dostupnost mikroorganizmima za razgradnju što dovodi do povećanja učinkovitosti procesa. Za proces usitnjavanja se najčešće koriste rotirajući noževi ili mlinovi koji dovode do razbijanja krupnijih nečistoća na manje čestice (Tedeschi, 1997, Tušar, 2009.).

Taloženje

Taloženjem se izdvajaju lako taložive tvari kao što su pijesak i šljunak iz otpadne vode. Postupak se koristi za uklanjanje čvrstih suspendiranih čestica iz otpadne vode djelovanjem gravitacijske sile što dovodi do nakupljanja i taloženja čestica na dnu taložnika. Velike čestice će se uslijed veće mase taložiti brže, a manje čestice, zbog svoje manje mase, će se sporije taložiti. Ovaj proces je vrlo učinkovit u uklanjanju teških čestica kao što je pijesak ili mulj (Tedeschi, 1997).

Fizikalno-kemijski postupci pročišćavanja otpadnih voda obuhvaćaju procese kao što su koagulacija, flokulacija, neutralizacija, membranska filtracija, adsorpcija i elektrokemijska obrada.

Koagulacija i flokulacija

Koagulacija je postupak koji se primjenjuje u cilju aglomeracije čestica kako bi se olakšalo njihovo uklanjanje iz otpadnih voda. Koagulacija se provodi s koagulantima kako bi se stvorile veće čestice i olakšalo njihovo taloženje. Kao koagulant najčešće se dodaje željezov klorid. Nakon dodatka provodi se mehaničko miješanje pri čemu dolazi do reakcije s česticama u vodi i do promijene njihovog naboja što rezultira njihovim međusobnim privlačenjem i nastankom većih nakupina. Nakon ovog procesa, slijedi proces flokulacije gdje se dodaju flokulanti kao što su polielektroliti pri čemu čestice postaju stabilnije i veće i takve čestice nazivamo flokulama. Slijedi taloženje i njihovo izdvajanje iz vode (Tedeschi, 1997).

Neutralizacija

Neutralizacija je reakcija pri kojoj dolazi do reakcije između kiseline i lužine. Proces se primjenjuje ukoliko je pH otpadne vode ili previsok ili prenizak. pH vrijednost se korigira u cilju učinkovitijeg provođenja obrade otpadnih voda. Doziranje kemijskih reagensa ovisit će o pH otpadne vode kao i o krajnjem pH kojeg želimo postići. Cilj ovog procesa je i dobivanje vode koja kao takva nakon ispuštanja neće štetiti okolišu (Tušar, 2009).

Membranska filtracija

Membranska filtracija je postupak koji koristi polupropusne membrane kako bi se uklonile čestice određenih veličina, suspendirani materijali kao i mikroorganizmi. Princip rada membrana temelji se na selektivnoj prolaznosti membrana, a to znači da na membrani zaostaju čestice dimenzije većih od pora membrana, dok ostatak prolazi kroz membranu. Kod korištenja ovog postupka, primjenjuje se tlak kojim se protiskuje vodu kroz membrane. Pročišćena voda prolazi kroz membranu, a onečišćujuće tvari zaostaju na površini membrane. Nakon prolaska vode, membrane se moraju čistiti kako bi se uklonile zaostale tvari (Elorm i Sudesh, 2020.).

Adsorpcija

Adsorpcija se koristi za uklanjanje različitih tvari na način da se adsorbensi privlače i vežu te tvari na svojoj površini. Adsorbensi su tvari ili materijali koji imaju veliku aktivnu površinu s aktivnim grupama, a kao adsorbensi se koriste aktivni ugljen, zeoliti, sintetičke smole i drugi materijali koji imaju visoku sposobnost adsorpcije. Postupak se provodi na dva načina: (i) da se adsorbens dodaje otpadnoj vodi, miješa se kako bi se osigurao kontakt između adsorbensa i tvari koje se trebaju ukloniti iz otpadne vode te (ii) propuštanjem otpadne vode kroz kolonu sa adsorpcijskim materijalom. Tvar koja će se vezati na površinu adsorbensa se naziva adsorbat. Ovaj proces se temelji na međusobnim silama privlačenja kao što su van der Waalove sile, kemijske veze i elektrostatičke sile (Habuda-Stanić, 2011.).

Elektrokemijska obrada

U primjene elektrokemijske obrade koristi se električna energija pomoću elektroda. Elektrode su vodiči koji služe za dovođenje električne energije u otpadnu vodu. Dijelimo ih

na katodu koja je negativno nabijena i anodu koja je pozitivno nabijena i kao takve se postavljaju u otpadnu vodu. Primjenom električne energije, dolazi do elektrokemijskih reakcija na površini elektroda. Takve reakcije uključuju reakcije oksidacije i redukcije. Reakcija oksidacije može dovesti do pretvorbe organskih spojeva u jednostavnije spojeve koji se onda lakše uklone iz otpadne vode (Habuda-Stanić,2023).

Biološka obrada otpadne vode

Biološka obrada otpadnih voda podrazumijeva primjenu mikroorganizama koji razgrađuju organske otpadne tvari do njihove pretvorbe u biomasu i do plinova. Biološka obrada otpadnih voda se može provoditi na nekoliko načina, a jedan od njih je i korištenje aktivnog mulja. Otpadna voda se miješa s aktivnim muljem koji u svom sastavu sadrži mikroorganizme. Prisutni mikroorganizmi u aktivnom mulju dovode do razgradnje organske tvari pri čemu nastaju jednostavniji spojevi koje mikroorganizmi koriste u svom metabolizmu.

Biološka obrada može biti aerobna i anaerobna. U aerobnim uvjetima, prisutni mikroorganizmi koriste kisik kako bi razgradili organsku tvar pri čemu nastaje nova biomasa, dok u anaerobnim uvjetima mikroorganizmi razgrađuju organsku tvar anaerobnim procesima. Osim aerobnih i anaerobnih reakcija, može doći do bakterijske oksidacije ili redukcije prisutnih tvari u otpadnim vodama kao npr. mangana, željeza i dušikovih spojeva (Tušar, 2009).

Biološka obrada otpadne vode se provodi kroz tri stupnja obrade:

Primarna obrada otpadne vode koja za cilj ima uklanjanje grubog otpada i uklanjanje pijeska i masnoća. Čestice veće gustoće se talože, a čestice manje gustoće se nakupljaju na površini. Provedbom primarne obrade otpadne vode, dolazi do smanjenja organskog onečišćenja za preko 30 % ukupnog onečišćenja. Ovakva obrada otpadne vode se još naziva i mehaničko pročišćavanje otpadne vode gdje se osim taloženja koristi i rešetanje i usitnjavanje (Glancer-Šoljan i sur., 2001.; Tušar, 2009.).

Sekundarna obrada otpadne vode koja uključuje postupak s aktivnim muljem (Johanides i sur., 1984.)

a) Tercijarna obrada otpadne vode provodi se kad je potreban visok stup čistoće i osigurava se uklanjanje sitnih organskih molekula, uklanjanje hranjivih i toksičnih tvari (uklanjaju se ostaci dušika i fosfora). Tercijarnom obradom isto tako dolazi do uklanjanja boja, okusa i mirisa koji se mogu naći u vodi. Postupci koji se koriste u tercijarnoj obradi vode su fizikalni (adsorpcija i membranski postupci), kemijski (ionska izmjena, oksidacija, redukcija, dezinfekcija) i biološkim postupcima (Tedeschi, 1997.).

2.2.2. BIOLOŠKI REAKTORI

U biološkoj obradi otpadnih voda koriste se i različiti tzv. biološki reaktori kako bi se osigurala kvalitetna obrada i postizanje učinkovitosti otpadne vode, a neki od reaktora su membranski bioreaktori, rotirajući biološki kontaktor i sekvencijalni šaržni reaktor.

2.2.2.1. MEMBRANSKI BIOREAKTOR

Membranski bioreaktor (MBR) predstavlja kombinaciju biološke obrade s membranskom filtracijom (koristi ultrafiltraciju i mikrofiltraciju). Postupak obrade temelji se na razgradnji organske tvari prisutnih mikroorganizama u aktivnom mulju, dok s druge strane membrana odvaja zbog svoje polupropusnosti omogućava prolazak pročišćene vode, a na membrani zaostaju mikroorganizmi i sve veće prisutne tvari, organskog i anorganskog podrijetla. Kod korištenja membranskog bioreaktora, najveće prednosti su ušteda prostornog kapaciteta, redukcija troškova i rekuperacija iskorištene vode. Prilikom konstrukcije membranskog bioreaktora, važno je voditi računa o membrana koje se upotrebljavaju. Membrana može biti smještena u bioreaktor ili može biti smještena s vanjske strane bioreaktora, pri čemu se dodatno omogućava i kružni tok povrata mulja. Membrane mogu biti izgrađene od polimera ili keramike, a poželjno je da su otporne na visoke temperaturne oscilacije te nagle promjene u pH vrijednosti. Također je poželjno da imaju i što duži vijek trajanja. Membrane građene od polimera imaju nisku cijenu, no vrlo veliku osjetljivost što se tiče začepljenja pora jer posjeduju izrazita hidrofobna svojstva. Membrane od keramike posjeduju vrlo visoku kvalitetu i dug vijek trajanja, no vrlo su skupe.

Prednosti primjene membranskih bioreaktora su postizanje tercijarnog stupnja pročišćavanja, visoka izlazna kvaliteta pročišćene vode, izlazne BPK₅ i KPK vrijednosti u dozvoljenim graničnim vrijednostima propisanim Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020). Negativna strana primjene membranskih bioreaktora su visoki investicijski troškovi (Judd, 2006.).

Uvođenjem membranskog bioreaktora kao napredne tehnologije u pročišćavanju otpadnih voda predstavlja napredak s obzirom na klasično biološko pročišćavanje u sljedećim segmentima:

a.) Taloženje i obrada mulja – Problem koji se javlja kod klasičnog načina obrade vode je separacija mulja iz dobivene pročišćene vode, odnosno odvojiti čestice nastalog mulja u obliku aglomeriranih flokula, od vode. Problemi najčešće nastaju ukoliko dođe do promjene u parametrima procesa koji odstupaju od dozvoljenih vrijednosti pri čemu dolazi do težeg odvajanja mulja. Ukoliko dođe do značajnog smanjenja koncentracije kisika, a dovod supstrata ne bude dovoljno visok, vrlo brzo se razvijaju nitaste bakterije, a to znači nastanak plivajućeg mulja koji se vrlo teško odvaja iz vode. Zbog tog razloga, ovaj uređaj predstavlja napredak u obradi otpadnih voda jer kod klasičnih metoda obrade potreban je stručni nadzor kako bi se održavali parametri koji će dovesti do tvorbe flokula koje imaju vrlo veliku mogućnost taloženja.

b.) Visoka kvaliteta pročišćene vode – Obrada otpadne vode klasičnim metodama nije učinkovita kao upotreba membranskog procesa. Membrane čine prepreku između pročišćene vode i prisutnog aktivnog mulja. Proces taloženja nije dovoljno učinkovit za uklanjanje bakterija, jer bakterije su suspendirane po cijelom volumenu otpadne vode, no membranskom filtracijom vode postiže se iznimno visoka učinkovitost, odnosno pročišćena voda je kontinuirano visoke kvalitete s vrijednostima parametara unutar zakonom propisanih vrijednosti.

c.) Minimalan utjecaj mikrobiološke populacije – Ukoliko prisutni mikroorganizmi ne rastu dovoljno brzo, dolazi do njihovog ispiranja s viškom mulja prilikom odvođenja mulja. Zbog toga mogu nastati uvjeti pri kojima se mikroorganizmi neće moći dovoljno razmnožiti, a samim time neće moći razgraditi sve prisutne onečišćujuće tvari. Kod naprednih tehnologija,

kao kod primjene membranskog bioreaktora, ne postoji mogućnost nastanka navedenih nepovoljnih uvjeta jer je vrijeme zadržavanja mulja znatno duže u bioreaktoru što omogućuje nastanak dovoljnog broja mikroorganizma.

d.) Minimalne potrebe za površinom izgradnje postrojenja – U usporedbi s klasičnim postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda, izgradnja membranskog bioreaktora zahtijeva značajno manju površinu (Judd, 2011).

2.2.2.2. ROTIRAJUĆI BIOLOŠKI KONTAKTOR

Rotirajući biološki kontaktor je sustav ili reaktor u kojem se koriste rotirajući diskovi na kojima se nalaze nosači s pričvršćenim mikroorganizmima u obliku biofilma. Diskovi su postavljeni horizontalno u spremniku, a načinjeni su od plastike ili čelika. Diskovi se u spremniku okreću brzinom od 1-2 okretaja po minuti, a otpadna voda prolazi kroz sustav i na taj način dolazi do kontakta s rotirajućim diskovima na kojima se nalaze mikroorganizmi. Mikroorganizmi tako razgrađuju prisutnu organsku tvar u otpadnoj vodi do jednostavnijih spojeva koje dalje koriste za svoj rast i razvoj. Pri samom procesu pročišćavanja važno je održati zasićenost vode s kisikom, odnosno, osigurati aerobne uvjete. Višak mulja koji nastaje tijekom rada bioreaktora skuplja se na dnu i nakon toga se uklanja (Lewandowski i Boltz, 2011).

Rotirajući biološki kontaktor se najčešće koristi u obradi otpadne vode koja je nastala nakon proizvodnje antibiotika te kada je potrebno pročistiti manje količine otpadne vode. Primjenom ove tehnologije moguće je smanjiti do 50 % KPK te do 80 % BPK. Također je moguće ukloniti i značajne količine amonijevih spojeva (Štefanac i sur., 2021).

2.2.2.3. SBR TEHNOLOGIJA

SBR tehnologija podrazumijeva obradu otpadne vode primjenom sekvencijalnog šaržnog reaktora. SBR je sustav koje za svoj rad koristi aktivni mulj, a cjelokupni proces se odvija na principu punjenja i pražnjenja reaktora. Sustav u cjelini nudi mnogo prednosti u odnosu na klasične metode obrade, od kojih je najznačajnija stabilnost aktivnog mulja te mogućnost

automatizacije procesa. SBR proces se sastoji od jednog reaktora ili više međusobno povezanih reaktora koji za cilj imaju postizanje visoke kvalitete otpadne vode s minimalnim troškovima. Sustav se, kao takav, može učinkovito kontrolirati ukoliko bi došlo do promjene u protoku ili kvaliteti otpadne vode. Korištenjem tehnologije SBR-a, postiže se visoki udio biorazgradnje organskih spojeva te smanjenje koncentracije prisutnih spojeva fosfora i dušika i to do koncentracija manjih od zakonskih graničnih vrijednosti (Tušar, 2009).

Pročišćavanje otpadne vode u SBR sustavu provodi se kroz sljedeće faze:

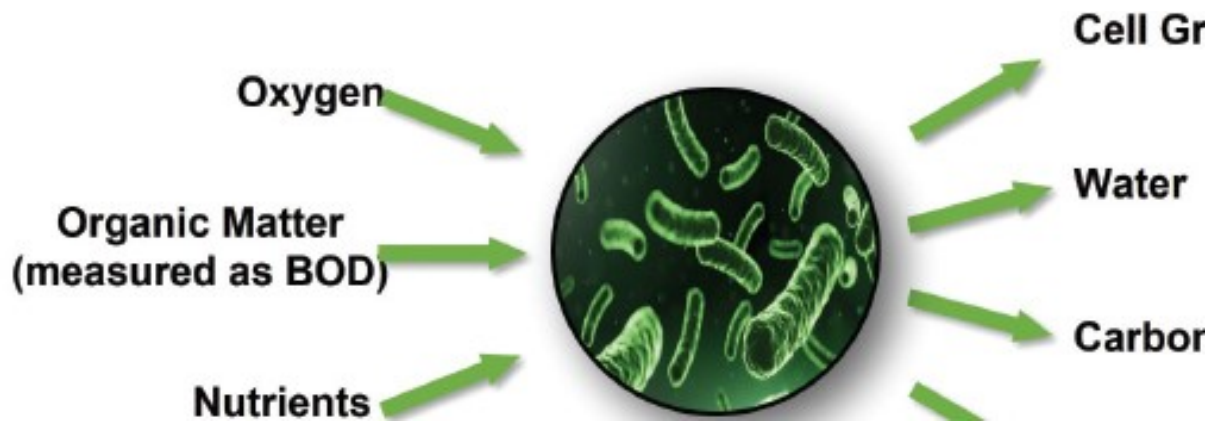
- a.) Faza punjenja
- b.) Faza u kojoj se odvijaju reakcije
- c.) Faza taloženja
- d.) Faza odvajanja i mirovanja

Faza punjenja

Faza punjenja se odvija na način da otpadna voda dolazi do spremnika SBR-a te se puni dok se ne postigne ciljani volumen što ovisi o mogućnosti sustava koliko može prihvatiti i obraditi vode. SBR sustav može biti konstruiran s kontinuiranim influentom pri čemu nije nužno imati spremnik za izjednačavanje. Kod navedene izvedbe, faze se mogu kombinirati s punjenjem u isto vrijeme, no važno je regulirati protoke influenta (dotoka) kako ne bi došlo do remećenja taložnog sloja mulja i miješanja već obrađenih slojeva (<https://sfcenvironment.com>).

Faza aeracije

Faza aeracije se može odvijati poslije faze punjenja ili u isto vrijeme, a podrazumijeva upuhivanje zraka u otpadnu vodu pomoću difuzora čime se osigurava kisik za biološke reakcije aerobnog tipa. Nakon upuhivanja, slijedi pretvorba koloidnih organskih tvari koji se nalaze u otpadnoj vodi u ugljikov dioksid i ostale nusproizvode koji omogućuju rast i razvoj mikroorganizama (**Slika 2**).



Slika 2 Aerobna biološka oksidacija tvari

Upuhivanje zraka u otpadnu vodu može se provoditi:

- 1.) Difuzorima mjehurića zraka– difuzori mjehurića zraka se često koriste za aeraciju otpadne vode, a dijele se u difuzore manjih i većih mjehurića. Difuzori većih mjehurića imaju sklonost začepljenju, dok difuzori manjih mjehurića imaju manju vjerojatnost začepljenja. Difuzorima manjih mjehurića postiže se bolji učinak jer mjehurići imaju veću ukupna površina, a ukoliko je ukupna površina veća, to je veći prijenos kisika kroz jedinicu površine.
- 2.) Miješalicom s mlaznicom –uređaj radi na principu raspršivanja zraka mlaznicama koji se potom miješa s otpadnom vodom.
- 3.) Potopnim aeratorima – uređaji koji ima rotor koji se vrti miješajući struju zraka s otpadnom vodom.

Cilj difuzora, miješalice ili aeratora je održavanje ključnih životnih uvjeta za mikroorganizme koji provode konverziju otpadnih tvari u obradi otpadnih voda (Habuda-Stanić,2023).

Faza taloženja

Za vrijeme faze taloženja zaustavlja se aeracija i miješanje otpadne vode, a flokule koje su se formirale tijekom prijašnjih faza se talože na dno spremnika. Na kraju ove faze, nastaju dva različita sloja od kojih je jedan sloj istaloženog mulja, a drugi sloj predstavljaj sloj pročišćene izlazne vode koji se nalazi iznad mulja.

Obradom vode u sekvencijalnom šaržnom reaktoru moguće je u značajnoj mjeri smanjiti koncentracije fosfora i dušika (Al-Rekab i sur., 2007).

Dijelovi i oprema SBR sustava su:

- Betonski ili čelični bazen
- Oprema za miješanje i upuhivanje zraka
- Dekanter za ispust čiste izlazne vode
- Oprema i sustav za kontrolu (mjerenje pH vrijednosti, KPK, BPK₅, stupnja razgradnje suspendiranih tvari i količine sadržaja u bioreaktoru)
- Laboratorij ili nadzorni sustav gdje se prikupljaju i obrađuju podatci koji se koriste za kontinuirano praćenje procesa.

2.2.2.4. C-TECH TEHNOLOGIJA

C-Tech je naprednija verzija SBR tehnologije od koje se razlikuje u primjeni anaerobnog selektora, koji suzbija rast bakterija koje uzrokuju nakupljanje mulja, te u unutarnjem recikliranju biomase glavne reaktorske zone.

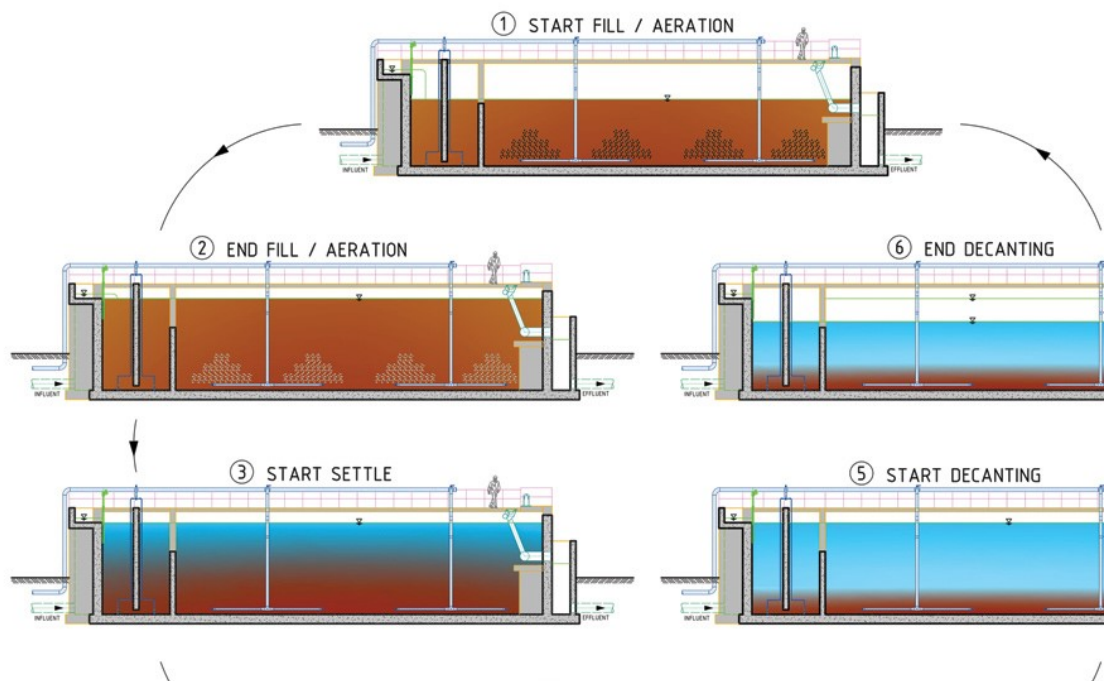
C-Tech proces pročišćava otpadnu vodu primjenom cikličkog aktivnog mulja, a navedena tehnologija omogućuje visoku učinkovitost pročišćavanja u jednom koraku biološkog procesa. Sustav C-Tech provodi se u šaržnom reaktoru kojim se osigurava potpuna obrada vode biološkim tretmanom podijeljenim u cikluse koji traju 2-4 sata.

C-Tech proces se sastoji od sljedećih faza koje se kontinuirano ponavljaju:

1) Punjenje/aeracija - punjenje otpadne vode u bazen se odvija uz miješanje. Biomasa iz glavne zone prozračivanja pomiješana je s ulaznom vodom u reaktoru. Prozračivanje se optimizira kako bi se postigla učinkovita nitrifikacija-denitrifikacija te aerobna potrošnja fosfora koji je prethodno oslobođen tijekom anaerobne faze rada. Proces se odvija uz konstantnu brzinu recikliranja aktivnog mulja iz glavne reakcijske zone u zonu na ulaznom dijelu reaktora.

II) Taloženje – zaustavlja se aeracija i dotok vode u bazen reaktora. Tijekom prvih pet minuta ove faze voda se usporeno miješa što uzrokuje laganu bio-flokulaciju pri čemu nastaje započinje i proces razdvajanja faza smjese.

III) Dekantiranje – u završnoj fazi voda miruje pri čemu se dekanter spušta u gornji dio tekućine u bazenu do naznačene referentne pozicije te dolazi do povlačenja tzv. supernatanta uz laminarni protok. Pri tome tekućina koja se odvodi ne sadrži taložene krute ili plutajuće tvari. Po završetku uklanjanja tekućine iz supernatanta, dekanter s pokretnom pregradom vraća se u svoj položaj mirovanja izvan tekućine.



Slika 3 Ciklusi SBR sustava s C-TECH tehnologijom (waterprojectsonline.com)

U mjestima Cerna, Otok i Ivankovo, otpadna voda se obrađuje primjenom SBR sustavom s C-TECH tehnologijom koji se sastoji se od sljedećih komponenti:

- a.) Gruba rešetka
- b.) Crpna stanica
- c.) Fina rešetka

- d.) Biofilter
- e.) Pjeskolov/mastolov
- f.) C-TECH aeracijski bazen s puhalima i sekundarni taložnik
- g.) Bazeni za zbrinjavanje viška mulja
- h.) Kontrolna zgrada s laboratorijem

Prvi korak u tehnologiji obrade otpadne vode djelovanjem C-TECH i SBR uređaja je mehaničko pročišćavanje gdje dolazi do odvajanja influenta od čvrstih tvari postupkom rešetanja na gruboj rešetki. Gruba rešetka je smještena ispred ulazne crpne stanice kako bi se spriječilo potencijalno uništenje crpke zbog različitih primjesa kao što su kamenje, drvo ili plastika. Razmak između šipki rešetke iznosi 30 mm. Sav zaostali otpad koji zaostane na gruboj rešetki se zbrinjava u kontejner i ono mora biti kontrolirano na adekvatan način (Stypka, 1998).



Slika 4 Gruba rešetka

Nakon grube rešetke, otpadna voda ide na ulaznu crpnu stanicu koja transportira vodu na daljnju obradu mehaničkim tretmanom gdje se odvajaju čvrste i grube čestice manjih dimenzija. Crpna stanica je spremnik koji je opremljen crpkama i regulatorima razine. Koriste se za podizanje otpadne vode s niže razine na višu.

Crpna stanica otpadnu vodu dovodi do fine rešetke gdje se uklanjaju manji čvrsti materijali i čestice koje se nalaze u otpadnoj vodi. Fina rešetka sadrži sitne otvore koje zadržavaju čvrste čestice dok voda prolazi. Sav sakupljeni materijal se odlaže u kontejner i propisano zbrinjava.



Slika 5 Fina rešetka

Nakon fine rešetke, otpadna voda koja sadrži i pijesak sitne granulacije i prisutne masnoće, dovodi se do pjeskolova ili mastolova. Pjeskolov ima dizajnirane rešetke koje propuštaju vodu, a zadržavaju čestice veće gustoće kao što je pijesak, šljunak ili kamen. U pjeskolovu se odvijaju procesi taloženja gdje se koristi gravitacijska sila pri se čemu teže čestice skupljaju na rešetkama. Uklanjanje pijeska doprinosi očuvanju kvalitete vode koja se tretira u kasnijim fazama obrade. Osim odvajanja pijeska, dolazi do izdvajanja molekula masnoća i svih ostalih nečistoća koje posjeduju manju gustoću od gustoće vode. Potom dolazi do aglomeracije na površini otpadne vode. Proces plutanja molekula masnoće odvija se aeracijom ili upuhivanjem zraka na dno pjeskolova. Masnoće se skupljaju nakon izdvajanja i odlažu u kontejner (Burger i sur., 2011).



Slika 6 Pjeskolov

C-TECH bazeni koriste se za biološko pročišćavanje otpadne vode. Uz nabrojane mehaničke predtretmane, koristi se aktivni mulj koji sadrži protozoe i bakterije koji vrše konverziju organskih tvari u jednostavnije spojeve koji onda služe za njihov rast i razvoj. Dva C-TECH bazena služe kao aeracijski bazen s puhalima i kao sekundarni taložnik. Voda u bazenu aerira kako bi se održali aerobni uvjeti te smanjilo onečišćenje otpadne vode organskim tvarima i spojevima dušikom (sfcenvironment.com).

Sadržaj kisika u C-TECH bazenima se kontinuirano prati pomoću sonde te se pri padnu koncentracije kisika u otpadnoj vodi uključuje aeracijski sustav koji upuhuje zrak na dnu bazena. Postoje dva radna puhalna i jedno rezervno za oba C-TECH bazena. Nakon pročišćavanja otpadna voda odlazi u ulaznu komoru C-TECH bazena gdje se odvodi na mjesto izlaza efluenta s uređaja.



Slika 7 C-TECH bazen koji djeluje kao aeracijski sustav i sekundarni taložnik

Opisani pogon kao dio procesa sadrži i biofilter kojim se sprječava širenja neugodnih mirisa u okoliš. Biofilter uklanja nepoželjni miris iz zraka s grube rešetke, crpne stanice, fine rešetke te pjeskolova. Nakon prolaska kroz biofilter, neugodni mirisi su odstranjeni, a izlazni plin s biofiltera je CO₂.



Slika 8 Biofilter za uklanjanje neugodnih mirisa

2.3. POSTUPCI OBRADJE I ZBRINJAVANJE OTPADNOG MULJA

Otpadni mulj nastaje kao nusprodukt u procesima pročišćavanja otpadnih voda. Mulj koji zaostaje u uređajima nakon obrade otpadne vode je potrebno dodatno obraditi i na primjeren način zbrinuti kako ne bi došlo do stvaranja potencijalne opasnosti za okoliš (Vouk i sur., 2011).

2.3.1. OBRADA OTPADNOG MULJA

Nakon obrade otpadnih voda može nastati nekoliko vrsta mulja i to:

a) Primarni mulj - koji se skuplja iz primarnog taložnika

Primarni mulj može sadržavati anorganske tvari (glina, pijesak ili oksidi metala), organske tvari (ugljikohidrati, masti i proteini), ali i teško razgradive tvari kao što su npr. gume. Ovakva vrsta mulja nastaje nakon 1. stupnja pročišćavanja otpadne vode i sakuplja se u taložniku. Mulj je produkt akumulacije krutih tvari uslijed primjene fizikalnih, kemijskih i bioloških reakcija.

b) Biološki mulj - koji se skuplja iz biološkog reaktora

Biološki mulj predstavlja sustav u kojem se nalaze žive bakterije koje su bile upotrijebljene za pretvorbu organskih tvari u energiju, nalazi se u biološkom reaktoru iz kojeg se izdvaja nakon provedbe obrade otpadnih voda.

a.) Tercijarni mulj – mulj koji nastaje nakon završetka 3. stupnja obrade otpadne vode

U svom sastavu sadrži ostatke primijenjenih kemijskih sredstava.

Otpadni mulj u svom sastavu sadrži veliki udio organskih tvari (do 70 %), mineralne tvari (od 30-50 %), dušika (do 4 %) i fosfora (do 3 %), a njegova obrada se sastoji od nekoliko postupaka:

1.) Zgrušnjavanje – Proces pri kojem dolazi do povećanja udjela krutih čestica na način da se uklanja određeni dio tekuće faze djelovanjem gravitacijske sile, centrifugalne sile ili primjenom flotacije pri čemu se smanjuje ukupni volumen mulja. Ovakvim pristupom dolazi do velike uštede pri kasnijoj obradi mulja, a u postupku zgrušnjavanja koncentracija suhe tvari se smanjuje na 2-12%. Općenito smanjivanje volumena može se postići i prirodnim procesima (sušenjem na otvorenim deponijama) ili čak primjenom filter preša ili vakuum filtera (Tušar, 2009.).

Postoje 3 osnovna načina zgrušnjavanja, a to su:

- Gravitacijsko zgrušnjavanje – Mulj se gravitacijskim djelovanjem uvodi u taložnik
- Zgrušnjavanje primjenom isplivavanja – Primjenjuje se kad mulj posjeduju malu gustoću s česticama koje mogu vrlo lako isplivati. Provodi se način su čestice zraka otopljene u mulju i na takav način vežu čestice mulja na površinu.
- Mehaničko zgrušnjavanje – Provodi se primjenom rotacijskih bubnjeva i djelovanjem centrifuga

2.) Stabilizacija – Proces kojim se sprječava truljenje prisutnog mulja, dolazi do uklanjanja neugodnih mirisa i smanjuje se broj prisutnih patogenih mikroorganizama, a ono se može provesti na 2 načina:

a.) Kemijska stabilizacija – Dodaje se vapno, klor ili neki drugi oksidansi

b.) Biološka stabilizacija – Može biti aerobna i anaerobna.

Aerobna stabilizacija provodi pomoću aerobnih mikroorganizama koji se nalaze u spremniku u koji se upuhuje zrak uz aktivno miješanje.

Anaerobna stabilizacija se sastoji od kiselog vrenja i metanskog vrenja. Kiselo vrenje se događa djelovanjem prisutnih mikroorganizama koji provode razgradnju organskih tvari u jednostavnije organske spojeve. Metansko vrenje se odvija gdje bakterije metanskog vrenja provode konverziju organske tvari do razgradnih produkata kao što je metan, CO₂, voda i NH₃

3.) Dehidracija – Postupak u kojem dolazi do uklanjanja molekula vode postupkom sušenja mulja. Dehidracija mulja se može provodi prirodnim cijeđenjem, sušenjem na velikim poljima, ili djelovanjem centrifuga (Tušar, 2009.).

2.3.2. ODLAGANJE I ZBRINJAVANJE OTPADNOG MULJA

Odlaganje otpadnog mulja mora biti u skladu s propisanim zakonskim regulativama. Općenito, troškovi zbrinjavanja su ekonomski vrlo visoki, a mulj se zbrinjava na nekoliko načina kao što su:

- a.) U građevinarstvu
- b.) Obradeni mulj se odlaže na odlagalištu koja su predviđena za to
- c.) Na poljoprivredna i nepoljoprivredna zemljišta
- d.) Suspaljivanje mulja
- e.) Izvoz

Zbrinjavanje otpadnog mulja na odlagalištima je predstavljao tek privremeni način zbrinjavanja jer nije zadovoljavao EU Direktivu (1999/31/ EEZ) kojom je zahtijevano smanjene biorazgradivog otpada. Mulj koji je nastao na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda sadrži veću količinu biorazgradive tvari i više od 5 % nastalog ukupnog organskog ugljika što nije u skladu s odredbama EU Direktive, a samim time nije moguće odlaganje takvog mulja.

Mulj se može zbrinuti i na poljoprivrednim zemljištima jer u svom sastavu sadrži veliku količinu hranjivih tvar koje predstavljaju izvor energije za rast i razvoj biljaka.

Mulj može djelovati kao poboljšivač kvalitete tla, no u tom slučaju važno je mulj aplicirati na poljoprivredna zemljišta na kojima ne rastu kulture što se koriste za prehranu ljudi ili ishranu životinja.

Ovakav način zbrinjavanja mulja je ekonomski najpovoljniji, smanjuje troškove korištenja umjetnih gnojiva jer mulj djeluje kao izvor dušika, a sadrži topljive amonijeve spojeve. Nedostatak ovakvog način zbrinjavanja mulja je da su količine mulja, koji se mogu odlagati na određenom poljoprivrednom zemljištu, ograničene.

Mulj se također može odlagati na nepoljoprivredna zemljišta koja služe za uzgoj cvijeća ili uzgoj prirodne vegetacije.

Mulj je moguće zbrinuti i u građevinarstvu. Građevinska industrija troši značajne količine prirodnih resursa, a spaljivanjem mulja nastaje pepeo koji se može koristiti u betonskoj industriji.

Osim navedenih načina zbrinjavanja, ukoliko mulj iznad 50 % suhe tvari, može se spaljivati pri čemu nastaje toplinska energija.

Mulj se također koristi i potencijali izvor fosfora kojeg je moguće iz mulja izdvojiti spaljivanjem (Habuda-Stanić, 2023).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak diplomskog rada je uzorkovanjem i određivanjem kvalitete ulazne i pročišćene otpadne vode utvrditi učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda na UPOV Cerna, UPOV Otok i UPOV Ivankovo koji otpadnu vodu pročišćavaju primjenom C-TECH i SBR tehnologije. Učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda odredit će se praćenjem sljedećih parametara: pH, temperatura, suhi ostatak, otopljeni kisik, spojevi dušika, ukupni fosfor, BPK₅, KPK-Cr te suspendirane tvari.

3.2. MATERIJAL I METODE

Učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda određena je pomoću fizikalnih i kemijskih analiza koje se provode u laboratoriju.

3.2.1. FIZIKALNE METODE

- 1.) Mjerenje pH i elektrovodljivosti – Mjerenje pH se treba odraditi u što kraćem roku zbog mogućih fizikalnih ili bioloških reakcija u uzorku vodu. Za mjerenje koristimo elektrodu koja se uranja u uzoraka te se očitava pH i elektrovodljivost pri danoj temperaturi.
- 2.) Mjerenje koncentracije otopljenog kisika – Mjerenje se provodi na način da uronimo elektrodu u uzorak i očitamo vrijednost izmjerene koncentracije otopljenog kisika i rezultat izrazimo u mgO₂/L
- 3.) Taloživa tvar – Mjerenje se provodi na Imhoffovom stošcu gdje stavimo 1000mL uzorka i nakon 2 sata očitamo vrijednost taložive tvari u mL/L.

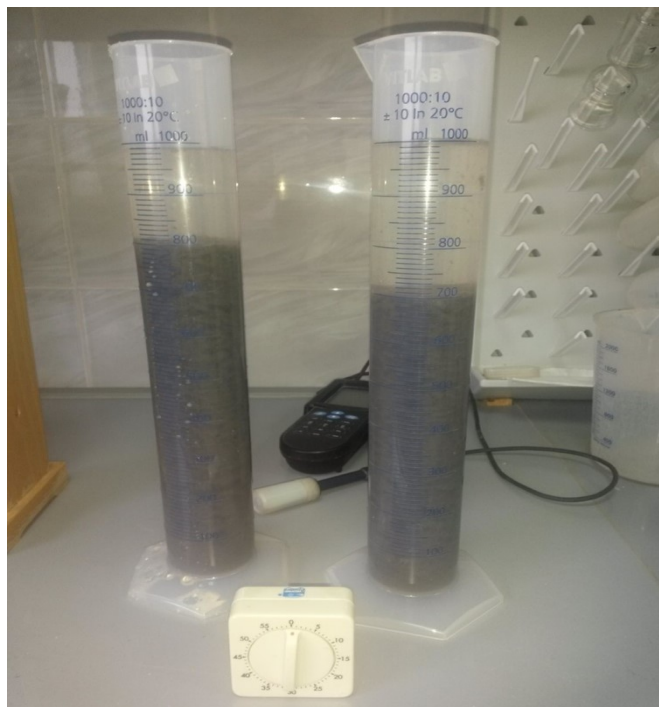


Slika 9 Mjerenje taložive tvari u Imhoffovom stošu

- 4.) Volumen istaloženog mulja – Za mjerenje koristimo menzure u koju ulijemo 1000 mL uzorka i ostavimo da se istaloži djelovanjem gravitacijske sile kroz 30 minuta nakon čega se izmjeri vrijednost takvog istaloženog mulja u mL/L.
- 5.) Brzina taloženja – Mjerenje brzine taloženja izvodimo na način gdje u menzuru ulijemo 500 mL uzorka mulja i 500 mL uzorka otpadne vode sa izlaza. Zatim svake minute kroz vremenski period od 5 minuta očitavamo volumen mulja.
- 6.)



Slika 3 Postavljena aparatura za mjerenje brzine taloženja



Slika 4 Mjerenje brzine taloženja

Brzina taloženja se mjeri na način da se svaka očitana vrijednost oduzima od prethodne na sljedeći način:

Tablica 1 Postupak mjerenja brzine taloženja

MINUTA		VOLUMEN	RAZLIKA VOLUMENA
1		X1	1000-X1 = Y1
2		X2	X2-X1= Y2
3		X3	X3-X2= Y3
4		X4	X4-X3= Y4
5		X5	X5-X4= Y5

Koristimo prikazanu Tablicu 2 gdje tražimo dva najveća rezultata koji se zbrajaju. Najveća vrijednost pomnoži se s izrazom $(\frac{36}{1000} = \frac{x}{2} \cdot \frac{60}{100})$ i kao rezultat imamo brzinu taloženja izraženu u m/h.

- 7.) Suha tvar - Za mjerenje suhe tvari koji se analizator vlage gdje stavimo 5 g uzorka (mulja) i očitamo izmjerenu vrijednost koja može biti u % ili u g/L.
- 8.) Suspendirana tvar – Metoda koja se koristi za određivanje svih raspršenih i suspendiranih krutina u prisutnim uzorcima. Mjerenje se provodi na način da filtriramo 500 mL uzorka preko izvaganog filtra od staklenih vlaknaca ili korištenjem Buchnerovog lijevka. Nakon filtracije, osušimo filtar na 105 °C u trajanju od 2 sata, stavljamo ga u eksikator i hladimo 2 sata i na kraju važno. Nakon toga odredimo razliku prije i poslije filtriranja uzorka vode. Rezultat se izrazi u mg/L.
- 9.) Temperatura – Mjeri se na način da termometar stavimo u vodu, očitamo temperaturu nakon vremenskog razdoblja pri kojem je temperatura konstantna i rezultat izrazimo u °C.
- 10.) Miris i boja – Miris se određuje organoleptički. Intenzitet mirisa raste proporcionalno s povećanjem temperature pa se zato koriste više temperature za određivanje. Miris se izražava u usporedbi s nekim sličnim ili poznatim materijalom. Boja ovisi o pH vrijednosti uzorka i povećava se povišenjem temperature. Zbog toga, kada se daje rezultat za boju, navodi se i pH vode pri kojem se odredio intenzitet boje (Kuveždić, 2016).

3.2.2. KEMIJSKE METODE

- 1.) Određivanje kemijske potrošnje kisika - parametar koja se definira kao masena koncentracija kisika koja je potrebna da se, pri određenim uvjetima, oksidiraju suspendirane i otopljene tvari u vodi.

Metoda se zasniva na mjerenju koncentracije kisika na spektrofotometru pomoću kivete i test reagensa na način da uzmemo 2 mL uzorka (s ulaza ili izlaza), stavimo u kivetu, začepimo i promućkamo. Nakon toga, kivete se stavljaju u digital reactor block pri temperaturi od 150 °C u trajanju od 2 sata. Nakon toga slijedi hlađenje do sobne temperature i kad se dostigne željena temperatura, u spektrofotometru se izmjeri koncentracija kisika u mg/L.

- a. LCK 1414 – sadrži koncentriranu sumpornu kiselinu 90 %, živa-sulfat i srebro-sulfat

- b. LCK 515 – COD (koncentrirana sumporna kiselina 90 %, živa-sulfat i srebro-sulfat)
- c. LCK 313 – COD (koncentrirana sumporna kiselina 90 %, živa-sulfat i srebro-sulfat)

2.) Biološka potrošnja kisika kroz 5 dana (BPK 5) – definirana je kao masena koncentracija otopljenog kisika koji je potreban pri određenim uvjetima za biološku oksidaciju organskih i anorganskih tvari u vodi. Mjerenje BPK₅ provodi se u vakuumskim bocama s čepom u inkubatoru pri temperaturi od 20 °C kroz vremenski period od 5 dana. Volumen uzorka se odredi prema očekivanoj koncentraciji i s obzirom na volumen se odredi količina nitrificirajućeg reagensa i NaOH.

3.) Određivanje amonijaka (NH₃-IZLAZ) – LCK 305 (NaOH)

Ova metoda se provodi na način da se otvori kiveta, dodamo 0,5 mL uzorka propipetom (s izlaza), skine se folija s čepa, zatvori i protrese. Nakon 15 minuta se radi mjerenje u spektrofotometru.

4.) Određivanje amonijaka (NH₃-ULAZ) -LCK 305 (NaOH)

Metoda koja se provodi tako da otvorimo kivetu, dodamo 0,2 mL uzorka propipetom (sa ulaza) skine se folija, zatvori i protrese te nakon 15 minuta se radi mjerenje u spektrofotometru.

5.) Određivanje nitrata (NO₃-N) sa izlaza – LCK 339

LCK 339 sadrži 60 % sumpornu kiselinu i 33 % fosforu kiselinu. Metoda se radi tako da se otvori kiveta, dodamo 1 mL uzorka otpadne ode s izlaza propipetom i 0,2mL reagensa, zatvori se i protrese te nakon 15 minuta obavi se mjerenje u spektrofotometru.

6.) Određivanje ukupnog dušika s ulaza i izlaza – LCK 238

LCK 238 je otopina natrijeva hidroksida, a metoda se provodi na način da dodamo uzorak u kivetu, zatvorimo, kivetu zagrijavamo određeno vrijeme i nakon toga hladimo na sobnu temperaturu. Nakon toga, provodi se mjerenje u spektrofotometru.

7.) Određivanje ukupnog fosfora s ulaza i izlaza - LCK 348

Metoda se provodi tako da se propipetom doda 0,5 mL otpadne vode, zatvori se čep, kiveta s uzorkom se stavi u digitalni blok reaktor gdje se zagrijava pri temperaturi od 120 °C kroz vremenski period od 30 minuta. Nakon toga, kiveta se hladi na sobnu temperaturu, doda se 0,2 mL reagensa i nakon vremenskog perioda od 10 minuta radi se mjerenje na spektrofotometru (Kuveždić, 2016).

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. REZULTATI ISPITIVANJA

UPOV Ivankovo

Analiza otpadnih voda na UPOV Ivankovo su se provodila jednom mjesečno tijekom 2021. godine, a dobiveni rezultati prikazani su u **Tablici 3 i 4**.

Tablica 2 Analiza otpadne vode na UPOV-u Ivankovo tijekom 2021. godine, 1 dio

DATUM	pH ulaz	pH izlaz	Boja ulaz	Boja izlaz	Miris ulaz	Miris izlaz	BPK ₅ ulaz (mg O ₂ /L)	BPK ₅ izlaz (mg O ₂ /L)	KPK ulaz (mg O ₂ /L)	KPK izlaz (mg O ₂ /L)	Uk. N ulaz mg/L	Uk. N izlaz mg/L
MDK		6,5-9		bez		bez		≤ 25		≤ 125		≤ 15
18.06.2021.	8,2	7,9	ima	nema	ima	nema	5,1	6	62	15	10	6,4
01.07.2021.	7,6	7,5	nema	nema	nema	nema	13,9	8	27	17	19	8
11.08.2021.	8,1	7,9	ima	nema	ima	nema	14	4,2	89	30	24	17
02.09.2021.	7,9	8,4	nema	nema	ima	nema	43	5,4	192	119	26	13
13.10.2021.	7,6	7,2	ima	nema	ima	nema	126	46,1	226	135	38	2,9
05.11.2021.	7,4	8,2	ima	nema	ima	nema	41,4	11,6	92,5	11,6	21	10
09.12.2021.	7,8	8,2	ima	nema	ima	nema	43,6	7,7	87,2	29,1	13	10

Tablica 3 Analiza otpadne vode na UPOV-u Ivankovo tijekom 2021. godine, 2.dio

DATUM	Ukupni P ulaz (mg/L)	Ukupni P izlaz (mg/L)	Susp. tvari ulaz (mg/L)	Susp. tvari izlaz (mg/L)	Taložive tvari ulaz (mg/L)	Taložive tvari izlaz (mg/L)	Ukupna tvar sušena na 105 °C ulaz (mg/L)	Ukupna tvar sušena na 105 °C izlaz (mg/L)	Otopljeni O ₂ ulaz (mg O ₂ /L)	Otopljeni O ₂ izlaz (mg O ₂ /L)
MDK		≤ 2		≤ 35						
18.06.2021.	1,4	1	25	11	7	≤ 0,1	715	576	5,3	10,7
01.07.2021.	2,6	1,5	24	11	0,1	≤ 0,1	606	557	1,5	10,1
11.08.2021.	3,3	0,81	43	16	≤ 0,1	≤ 0,1	645	577	≤ 1	10,6
02.09.2021.	2,9	0,77	42	15	≤ 0,1	≤ 0,1	584	575	≤ 1	12,8
13.10.2021.	3,7	2,8	59	23	2,5	≤ 0,1	490	323	≤ 1	7,9
05.11.2021.	4,4	1,4	36	4	30	≤ 0,1	655	597	1,6	8,2
09.12.2021.	1,1	0,42	66	35	≤ 0,1	≤ 0,1	500	424	7,8	12,2

Iz **Tablice 3 i 4** vidljivo je da su vrijednosti analiziranih parametra u većini mjerenja bila u skladu s Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).

4. Rezultati i rasprava

Odstupanje vrijednosti zabilježeno je dana 11.8.2021. kada je koncentracija ukupnog dušika iznosila 17 mg/L što je iznad maksimalno dozvoljene koncentracije ukupnog dušika prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) iznosi 15 mg/L.

Također, 13.10.2021. BPK₅ i KPK vrijednosti nisu bile u skladu s propisanim Pravilnikom. Dobivena vrijednost za BPK₅ je iznosila 46,1 mg O₂/L, što u značajnoj mjeri prelazi maksimalno dopuštenu koncentraciju koja iznosi ≤ 25 mg O₂/L.

Osim povećanih koncentracija BPK₅, na isti dan je zabilježena i povišena koncentracija KPK koja je iznosilo 135 mg O₂/L. Maksimalno dopuštena granica iznosi ≤ 125 mg O₂/L.

Analiza otpadnih voda na UPOV Ivankovo su se provodila jednom mjesečno tijekom 2022. godine, a dobiveni rezultati prikazani su u **Tablici 5 i 6**.

Tablica 5 Analiza otpadne vode na UPOV-u Ivankovo tijekom 2022. godine, 1 dio

DATUM	pH ulaz	pH izlaz	Boja ulaz	Boja izlaz	miris ulaz	miris izlaz	BPK ₅ ulaz (mg O ₂ /L)	BPK ₅ izlaz (mg O ₂ /L)	KPK ulaz (mg O ₂ /L)	KPK izlaz (mg O ₂ /L)	Uk. N ulaz mg/L	Uk. N izlaz mg/L
MDK		6,5-9		bez		≤ 0,5		≤ 25		≤ 125		≤ 15
05. 01.2022.	8	8,1	nema	nema	nema	nema	24	3,9	64	< 30	12	11
04. 02.2022.	7	7,9	ima	nema	lma	nema	304	20	548	109	25	18
22. 03. 2002.	7,8	7,6	ima	nema	lma	nema	36	3,7	102	37	28	14
14. 04. 2022.	7,9	7,7	ima	nema	lma	nema	13,7	2,8	33	< 30	13	7,1
06, 05. 2022.	8	7,9	ima	nema	lma	nema	34	3,9	92	< 30	24	6,9
09. 06. 2022.	7,5	7,8	ima	nema	lma	nema	56,6	7,5	160	< 30	21	3,3
07. 07. 2022.	7,6	7,7	ima	nema	lma	nema	23	3,9	63	< 30	16	1,5
12. 08. 2022.	7,9	8	ima	nema	lma	nema	47,2	7,7	87,4	66,9	42	9
09. 09. 2022.	7,8	7,8	ima	nema	lma	nema	53	7,6	209	45	22	7,1
07. 10. 2022.	8	7,9	ima	nema	lma	nema	96	4,4	185	< 30	81	1,8
04.11. 2022.	7,8	7,8	ima	nema	lma	nema	40	4,6	103	< 30	36	1,3
02. 12. 2022.	7,7	7,8	ima	nema	lma	nema	64	15	174	37	14	3,1

Tablica 6 Analiza otpadne vode na UPOV-u Ivankovo tijekom 2022. godine, 2.dio

DATUM	Ukupni P ulaz (mg/L)	Ukupni P izlaz (mg/L)	Susp. tvari ulaz (mg/L)	Susp. tvari izlaz (mg/L)	Taložive tvari ulaz (mg/L)	Taložive tvari izlaz (mg/L)	Otopljeni O ₂ ulaz (mg O ₂ /L)	Otopljeni O ₂ izlaz (mg O ₂ /L)
MDK		≤ 2		≤ 35		≤ 0,5		
05. 01.2022.	1,3	0,81	12	6	< 0,1	< 0,1	2,9	5,7
04. 02.2022.	3,2	2,8	405	6	20	< 0,1	1,6	6,9
22. 03. 2002.	10	1,5	84	27	100	< 0,1	1,6	10,9
14. 04. 2022.	2,4	0,47	50	25	12	< 0,1	3,9	9,4
06. 05. 2022.	4,6	1,4	51	27	6	< 0,1	< 1	11
09. 06. 2022.	2,5	1,5	55	11	7	< 0,1	2	9,6
07. 07. 2022.	2,6	2	62	15	2	< 0,1	< 1	9,3
12. 08. 2022.	4,8	4,4	88	13	10	< 0,1	< 1	8,1
09. 09. 2022.	11	5	42	10	60	< 0,1	2,2	11,3
07. 10. 2022.	25	2,9	90	33	30	< 0,1	< 1	9,3
04.11. 2022.	8,6	2,5	96	20	35	< 0,1	< 1	9,3
02. 12. 2022.	8,7	0,76	120	5	55	< 0,1	< 0,1	2,2

Analizom ispitivanih uzoraka na UPOV Ivankovo, 2022. godine, svi dobiveni rezultati, koji su prikazani u **Tablici 5** i **Tablici 6**, bili su unutar graničnih vrijednosti određenih Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020), a to znači da nisu pokazivali nikakva odstupanja od zadanih granica i svi rezultati su bili unutar dozvoljenih vrijednosti. Nije bilo prisutnosti u boji, vrijednosti taložive tvari sa izlaza su bile ≤ 0,5, s prosjekom od <0,1 mg/L, vrijednost pH je iznosila u rasponu 7,6 do 8,1, vrijednost BPK₅ sa izlaza je bila ≤ 25 mg O₂/L, rezultati KPK su bili unutar granica od ≤ 125 mg O₂/L, uzorci nisu imali pozitivne vrijednosti za miris i koncentracije suspendiranih tvari su bili u rasponu između 5 mg/L i 33 mg/L.

UPOV Otok

Analiza otpadnih voda na UPOV Otok su se provodila jednom mjesečno tijekom 2021. godine, a dobiveni rezultati prikazani su u **Tablici 7 i 8.**

Tablica 7 Analiza otpadne vode na UPOV-u Otok tijekom 2021. godine 1. dio

DATUM	pH ulaz	pH izlaz	Boja ulaz	Boja izlaz	Miris ulaz	Miris izlaz	BPK ₅ ulaz (mg O ₂ /L)	BPK ₅ izlaz (mg O ₂ /L)	KPK ulaz (mg O ₂ /L)	KPK izlaz (mg O ₂ /L)	Uk. N ulaz mg/L	Uk. N izlaz mg/L
MDK		6,5-9						≤ 25		≤ 125		≤ 15
29. 01. 2021.	6,7	6,8	ima	ima	ima	ima	20,9	14,8	71,8	68	3,86	2,83
23. 02. 2021.	7,2	7,7	ima	ima	ima	ima	-	10,4	119	35,9	15,7	15
26. 03. 2021.	6,9	7,1	ima	ima	ima	ima	25	16	71,3	49,6	35,3	14,8
29. 04. 2021.	7,7	7,7	nema	nema	nema	nema	1,8	2,3	36	18	14	13
07. 05. 2021.	7,7	7,9	nema	nema	nema	nema	2,5	2,3	81	19	14	13
09.06. 2021.	7,4	7,3	ima	ima	nema	nema	57,5	15,7	261	184	18	17
02. 07. 2021.	8,2	7,9	ima	ima	ima	nema	69	21	103	57	28	19
11. 08. 2021.	7,6	8,2	ima	nema	ima	nema	64	7,2	277	116	73	37
03. 09. 2021.	7,8	7,8	ima	ima	ima	ima	40	37	216	196	64	57
08. 10. 2021.	7,3	7,3	ima	ima	ima	ima	72	65	151	143	25	11
04. 11. 2021.	7,3	7,2	ima	nema	ima	nema	66,9	34	168	149	51	16
10. 12. 2021.	7,6	8,2	ima	nema	ima	nema	48	6,7	120	23,3	37	10

Tablica 8 Analiza otpadne vode na UPOV-u Otok tijekom 2021. godine, 2. dio

DATUM	Ukupni P ulaz (mg/L)	Ukupni P izlaz (mg/L)	Susp. tvari ulaz (mg/L)	Susp. tvari izlaz (mg/L)	Taložive tvari ulaz (mg/L)	Taložive tvari izlaz (mg/L)	Ukupna tvar sušena na 105 °C ulaz (mg/L)	Ukupna tvar sušena na 105 °C izlaz (mg/L)	Otopljeni O ₂ ulaz (mg O ₂ /L)	Otopljeni O ₂ izlaz (mg O ₂ /L)
MDK		≤ 2		≤ 35						
29. 01. 2021.	1,36	1,17	40	40	-	-	-	-	-	-
23. 02. 2021.	4,8	1,2	26,4	9,4	-	-	-	-	-	-
26. 03. 2021.	2,1	1,1	22,4	16,4	-	-	-	-	-	-
29. 04. 2021.	0,94	0,82	18	17	≤ 0,1	≤ 0,1	593	573	2,2	2,8
07. 05. 2021.	1,6	1,6	30	18	≤ 0,1	≤ 0,1	726	634	1,7	6,3
09.06. 2021.	2,5	1,8	122	64	2	0,2	876	774	< 1	< 1
02. 07. 2021.	3,8	3	56	27	1	≤ 0,1	726	617	2,5	1,5
11. 08. 2021.	6,6	4,2	65	30	≤ 0,1	≤ 0,1	869	647	< 1	3,6
03. 09. 2021.	9,1	9	22	18	1,5	1,5	717	621	2,9	1,2
08. 10. 2021.	2,7	1,7	115	57	0,4	1,2	444	452	< 1	4,2
04. 11. 2021.	4,4	1,9	42	15	1,3	≤ 0,1	646	474	< 1	2,2
10. 12. 2021.	3,3	1,1	53	33	250	≤ 0,1	464	293	3,4	10,7

Analizom otpadnih voda na UPOV Otoku 2021. godine utvrđene su određene nesukladnosti koje odstupaju od zadanih maksimalnih vrijednosti Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) i kako slijedi:

- 9.6.2021., kad je utvrđena nesukladnost u rezultatima što se odnosi na KPK koji je iznosio 184 mg O₂/L dok je propisana maksimalna dozvoljena granica za KPK ≤ 125mg O₂/L, na ukupni dušik koji je iznosio 17 mg/L, a Pravilnikom je dozvoljeno ≤ 15 mg/L , na ukupnu suspendiranu tvar koja je iznosila 64 mg/L, a Pravilnikom je dopušteno ≤ 35 mg/L,
- 2.7.2021., gdje ukupni dušik je bio iznad dopuštenih granica s rezultatom od 19 mg/L, ukupni fosfor čiji je rezultat iznosio 3 mg/L, dok je Pravilnikom je maksimalno dopuštena koncentracija fosfora ≤ 2 mg/L
- 11.8.2021., utvrđene su povišene koncentracije ukupnog dušika u koncentraciji od 19 mg/L i ukupnog fosfora u iznosu od 4,2mg/L
- 3.9.2021., dolazi do odstupanja u KPK koji je iznosio 196 mg O₂/L i BPK₅ koji je iznosio 37 mg O₂/L što predstavlja značajno odstupanja od zadanih vrijednosti,
- 8.10.2021., kad je došlo to odstupanja u KPK koji je iznosio 143 mg O₂/L, BPK₅ koji je iznosio 65 mg O₂/L i ukupnoj suspendiranoj tvari što je za rezultat imalo 54mg/L,
- 4.11.2021., rezultat analize je pokazao nesukladnost s KPK gdje je rezultat iznosio 149 mg O₂/L, BPK₅ koji je pokazao odstupanjem s rezultatom od 34 mg O₂/L i ukupnim dušikom gdje je rezultat analize iznosio 16mg/L.
-

Tablica 9 Analiza otpadne vode na UPOV-u Otok tijekom 2022. godine 1. dio

DATUM	pH ulaz	pH izlaz	Boja ulaz	Boja izlaz	ris ulaz	Miris izlaz	BPK ₅ ulaz (mg O ₂ /L)	BPK ₅ izlaz (mg O ₂ /L)	KPK ulaz (mg O ₂ /L)	KPK izlaz (mg O ₂ /L)	Uk. N ulaz mg/L	Uk. N izlaz mg/L
MDK		6,5-9		bez		bez		≤ 25		≤ 125		≤ 15
05.01.2022.	7,8	8,3	ima	nema	ima	nema	61	20	142	118	11	32
04.02.2022.	7,7	7,8	ima	nema	Ima	nema	52,7	23,4	168	70,3	16	6,9
18.03.2022.	7,6	8	ima	nema	Ima	nema	69	3,7	129	45,4	25	4,4
14.04.2022.	7,9	7,8	ima	nema	Ima	nema	22,2	4,5	48	< 30	13	3,5
06.05.2022.	7,6	8	ima	nema	Ima	nema	81	5,4	201	27	27	6,1
09.06.2022.	7,3	8	ima	nema	Ima	nema	58,5	5,3	136	40,9	24	6,2
08.07.2022.	7,6	7,5	ima	nema	Ima	nema	55	9,8	101	73	26	3,2
12.08.2022.	7,8	8,1	ima	nema	Ima	nema	56	7,8	176	80	58	9,5
09.09.2022.	7,8	7,8	ima	nema	Ima	nema	28	3,5	167	< 30	13	9,4

4. Rezultati i rasprava

07.10.2022.	7,7	7,9	ima	nema	Ima	nema	44	4,9	86	< 30	38	4,9
04.11.2022.	7,8	7,9	ima	nema	Ima	nema	57	6,1	142	< 30	63	2,7
02.12.2022.	7,6	7,9	ima	nema	Ima	nema	119	2	321	< 30	53	2,8

Tablica 10 Analiza otpadne vode na UPOV-u Otok tijekom 2022. godine, 2.dio

DATUM	Ukupni P ulaz (mg/L)	Ukupni P izlaz (mg/L)	Susp. tvari ulaz (mg/L)	Susp. tvari izlaz (mg/L)	Taložive tvari ulaz (mg/L)	Taložive tvari izlaz (mg/L)	Otopljeni O ₂ ulaz (mg O ₂ /L)	Otopljeni O ₂ izlaz (mg O ₂ /L)
MDK		≤ 2		≤ 35				
05.01.2022.	0,95	3	28	9	< 0,1	< 0,1	< 1	23,6
04.02.2022.	1	0,95	5	12	1	< 0,1	1,7	7,2
18.03.2022.	2,5	0,04	43	15	< 0,1	< 0,1	1	10,2
14.04.2022.	3,2	1	52	14	20	< 0,1	5,6	8,6
06.05.2022.	4,9	1,8	43	10	7	< 0,1	1,3	9,1
09.06.2022.	3,5	1,9	56	13	10	< 0,1	1,1	7,1
08.07.2022.	2,2	3,9	54	19	4	< 0,1	1,1	4,2
12.08.2022.	4,1	4,9	128	20	100	< 0,1	< 1	9,1
09.09.2022.	9,7	7,5	20	16	50	< 0,1	4,6	10,5
07.10.2022.	13,1	2	58	34	25	< 0,1	1,6	9,9
04.11.2022.	10,7	5	126	31	35	< 0,1	< 1	8,6
02.12.2022.	6,3	0,13	22	16	10	< 0,1	< 1	2,2

Rezultati analize uzoraka otpadne vode za UPOV Otok, prikazani su u **Tablici 9 i 10**, pokazuju da su sve dobivene vrijednosti unutar dozvoljenih graničnih vrijednosti ispitivanih parametara. Boja nije bila prisutna u uzorcima, vrijednosti taložive tvari su iznosile <0,1 mg/L, pH sa izlaza je bio u rasponu 7,5-8,3, KPK sa izlaza se kretao u vrijednostima od 30 mg O₂/L do 118 mg O₂/L, vrijednosti BPK₅ sa izlaza su bile u vrijednostima od 2 mg O₂/L do maksimalnih 23,4 mg O₂/L, a suspendirana tvar sa izlaza u prosjeku je iznosila 17 mg/L. U izlaznim uzorcima nije bilo prisutnog mirisa.

Sve izlazne vrijednosti praćenih parametara na UPOV-u Otok tijekom 2022. godine bile su u skladu s MDK vrijednostima Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).

UPOV Cerna

Analiza otpadnih voda na UPOV Otok su se provodila jednom mjesečno tijekom 2021. godine, a dobiveni rezultati prikazani su u **Tablici 11 i 12.**

Tablica 11 Analiza otpadne vode na UPOV-u Cerna tijekom 2021. godine 1. dio

DATUM	pH ulaz	pH izlaz	Boja ulaz	Boja izlaz	Miris ulaz	Miris izlaz	BPK ₅ ulaz (mg O ₂ /L)	BPK ₅ izlaz (mg O ₂ /L)	KPK ulaz (mg O ₂ /L)	KPK izlaz (mg O ₂ /L)	Uk. N ulaz mg/L	Uk. N izlaz mg/L
MDK		6,5-9						≤ 25		≤ 125		≤ 15
23.02.2021.	7,4	7,5	ima	ima	ima	ima	95,8	12,7	261	< 30	43,1	10
26.03.2021.	7	7	ima	nema	ima	nema	7,3	< 3	59,9	< 30	45,9	7,1
19.04.2021.			-	nema	-	nema						
21.04.2021.	-	7,9	-	nema	-	nema	-	9,3	-	74	-	9
23.04.2021.	-	8	-	nema	-	nema	-	6,3	-	61	-	13
25.04.2021.	-	7,9	-	nema	-	nema	-	10,1	-	43	-	6,3
27.04.2021.	-	7,9	-	nema	-	nema	-	7,9	-	57	-	7
29.04.2021.	-	7,8	-	nema	-	nema	-	8,2	-	17	-	6,5
01.05.2021.	-	7,7	-	nema	-	nema	-	4,5	-	36	-	7,4
10.06.2021.	-	7,8	ima	nema	ima	nema	-	8,9	-	30	-	6,9
30.06.2021.	7,3	7,8	-	-	-	-	241	22	444	54	69	11
02.07.2021.	-	-	ima	nema	ima	nema	-	7,9	-	47	-	-
11.08.2021.	7,4	7,7	ima	nema	ima	ima	445	13,8	649	40,4	78	11
02.09.2021.	7,9	7,8	nema	nema	nema	nema	132	14,1	224	65	85	8,9
30.09.2021.	8,1	7,6	ima	nema	ima	nema	40	2,6	283	149	85	9,3

Tablica 12 Analiza otpadne vode na UPOV-u Cerna tijekom 2021. godine, 2. dio

DATUM	Ukupni P ulaz (mg/L)	Ukupni P izlaz (mg/L)	Susp. tvari ulaz (mg/L)	Susp. tvari izlaz (mg/L)	Taložive tvari ulaz (mg/L)	Taložive tvari izlaz (mg/L)	Ukupna tvar sušena na 105 °C ulaz (mg/L)	Ukupna tvar sušena na 105 °C izlaz (mg/L)	Otopljeni O ₂ ulaz (mg O ₂ /L)	Otopljeni O ₂ izlaz (mg O ₂ /L)
MDK		≤ 2		≤ 35						
23.02.2021.	4,2	1,8	90	5,6	-	-	-	-	-	-
26.03.2021.	3,21	0,54	10,4	< 3	-	-	-	-	-	-
19.04.2021.									-	
21.04.2021.	-	2,5	-	14	-	< 0,1	-	580	-	10,6
23.04.2021.	-	2,2	-	11	-	< 0,1	-	625	-	10,4
25.04.2021.	-	2,7	-	22	-	< 0,1	-	537	-	10,4
27.04.2021.	-	2,8	-	17	-	< 0,1	-	544	-	9,2
29.04.2021.	-	1,7	-	13	-	< 0,1	-	618	-	9,9

4. Rezultati i rasprava

01.05.2021.	-	1,1	-	12	-	< 0,1	-	587	-	9,7
10.06.2021.	-	2,3	-	13	-	< 0,1	-	583	-	9,5
30.06.2021.	8	5	148	38	6	< 0,1	946	713	<1	3,7
02.07.2021.	-	5	-	7	-	-	-	-	-	-
11.08.2021.	14,3	8,9	192	40	250	< 0,1	1056	671	<1	10,5
02.09.2021.	8,6	6,3	58	35	< 0,1	< 0,1	777	614	<1	< 1
30.09.2021.	12	4,1	52	11	< 0,1	< 0,1	775	572	<1	8
08.10.2021.	8,3	5,1	234	34	3	< 0,1	739	577	<1	9,1
05.11.2021.	9,9	4,9	200	35	10	< 0,1	893	614	<1	9,4
09.12.2021.	7,8	4,6	280	4	35	< 0,1	885	612	1,5	7,7

Na osnovi prikazanih rezultata u **Tablici 11 i 12** za analizu voda na UPOV Cerna, vidljiva su odstupanja i nesukladnosti koje odudaraju od maksimalnih dopuštenih koncentracija prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).

Najveći broj nesukladnosti zabilježen je kod parametra koncentracija ukupnog fosfora gdje MDK iznosi ≤ 2 mg/L, a analize su pokazivale nesukladnosti se odnose na sljedeće datume: 9.12.2021. (4,6 mg/L), 5.11.2021. (4,9 mg/L), 8.10.2021. (5,1 mg/L), 30.9.2021. (4,1 mg/L), 2.9.2021. (6,3 mg/L), 11.8.2021. (8,9 mg/L), 2.7.2021. (5 mg/L), 30.6.2021. (5 mg/L), 10.6.2021. (2,3 mg/L), 25.4.2021. (2,7 mg/L), 23.4.2021. (2,2 mg/L), te 21.4.2021. (2,5 mg/L).

Svaki od dobivenih rezultata ne zadovoljava MDK koji je propisan Pravilnikom s obzirom na koncentraciju ukupnog fosfora u vodi koja je bila uzorkovana na izlazu.

Prosječne vrijednosti za pH dobivene analizom su iznosile 7,7 , koncentracije BPK₅ sa izlaza su bile u prosjeku od 10,7 mg O₂/L , vrijednosti za KPK sa izlaza su bile u prosjeku od 54,5 mg O₂/L, za ukupni dušik sa izlaza je prosjek iznosio 9,2 mg/L, dok je za ukupni fosfor sa izlaza prosjek iznosio 3,5 mg/L što pokazuje da proces nije učinkovit pri uklanjanju fosfora.

Tablica 13 Analiza otpadne vode na UPOV-u Cerna tijekom 2022. godine 1. dio

DATUM	pH ulaz	pH izlaz	Boja ulaz	Boja izlaz	Miris ulaz	Miris izlaz	BPK ₅ ulaz (mg O ₂ /L)	BPK ₅ izlaz (mg O ₂ /L)	KPK ulaz (mg O ₂ /L)	KPK izlaz (mg O ₂ /L)	Uk. N ulaz mg/L	Uk. N izlaz mg/L
MDK		6,5-9		bez		bez		≤ 25		≤ 125		≤ 15
05. 01.2022.	7,8	7,7	ima	nema	lma	nema	37,2	14,9	79,5	64	41	4,3
04. 02.2022.	6,9	7,3	ima	nema	lma	nema	304	23	833	92,8	30	14
04. 03. 2022.	7,5	7,8	ima	nema	lma	nema	58	17	119,1	55,7	31	8,5
14. 04. 2022.	7,8	7,9	ima	nema	lma	nema	52,7	4,3	111	36	39	7,1
06. 05. 2022.	8	7,3	ima	nema	lma	nema	61	17	123	81	46	5,3
09. 06. 2022.	7,8	7,5	ima	nema	lma	nema	58,4	6,2	237	< 30	36	2,3
08. 07. 2022.	7,8	7,8	ima	nema	lma	nema	79	3,6	215	< 30	45	6,7
12.08. 2022.	7,7	7,7	ima	nema	lma	nema	302	5,6	470	54,8	29	1,9
09. 09. 2022.	7,7	7,8	ima	nema	lma	nema	20	8,2	54	35	31	11
07. 10. 2022.	7,8	8	ima	nema	lma	nema	40	3,5	81	< 30	31	10
04. 11. 2022.	7,7	7,9	ima	nema	lma	nema	39	4	112	< 30	47	4,6
02. 12. 2022.	7,4	7,7	ima	nema	lma	nema	310	5,2	656	< 30	30	2,8

Tablica 14 Analiza otpadne vode na UPOV-u Cerna tijekom 2022. godine, 2. dio

DATUM	Ukupni P ulaz (mg/L)	Ukupni P izlaz (mg/L)	Susp. tvari ulaz (mg/L)	Susp. tvari izlaz (mg/L)	Taložive tvari ulaz (mg/L)	Taložive tvari izlaz (mg/L)	Otopljeni O ₂ ulaz (mg O ₂ /L)	Otopljeni O ₂ izlaz (mg O ₂ /L)
MDK		≤ 2						
05. 01.2022.	3,1	2,4	104	6	0,5	< 0,1	< 1	9
04. 02.2022.	3,7	0,72	575	25	17	< 0,1	3,2	8,1
04. 03. 2022.	4,8	2,7	56	33	20	< 0,1	< 1	7,5
14. 04. 2022.	3	1,8	74	19	25	< 0,1	1,9	9,7
06. 05. 2022.	4,5	1,9	75	21	50	< 0,1	< 1	7,6
09. 06. 2022.	4,3	1,8	82	19	45	< 0,1	1	5,2
08. 07. 2022.	4,9	2,7	95	3,1	3	< 0,1	< 1	10,7
12.08. 2022.	5	4,7	585	14	100	< 0,1	< 1	8,3
09. 09. 2022.	9,2	4,9	40	11	250	< 0,1	2,1	9,4
07. 10. 2022.	12	2,7	100	23	60	< 0,1	< 1	7,3
04. 11. 2022.	7,1	2	126	34	40	< 0,1	< 1	5,7
02. 12. 2022.	29	0,8	1685	26	450	< 0,1	< 1	2

Analiziranim uzorcima na UPOV Cerna, prikazani su rezultati u **Tablici 13 i 14**.

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da UPOV Cerna i nadalje ne ispunjava zahtjeve Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) s obzirom na povišene izlazne koncentracije ukupnog fosfora.

Izlazna voda bila je bez mirisa, svi rezultati taložive tvari sa izlaza su bile unutar graničnih vrijednosti, a prosjek je iznosio $<0,1$ mL/L, vrijednosti pH sa izlaza su se nalazile u rasponu 7,3-8 dok je prosjek iznosio 7,7. Vrijednosti KPK sa izlaza u prosjeku su bile 59,9 mg O₂/L u rasponu od 30 mg O₂/L do maksimalnih 92,8 mg O₂/L, za BPK₅ sa izlaza je prosjek bio 9,4 mg O₂/L u rasponu od 3,6 mg O₂/L do 17 mg O₂/L, ukupna suspendirana tvar je bila u prosjeku od 19,5 mg/L i nije bilo prisutnog mirisa ni u jednom uzorku čime su vrijednosti Pravilnika u potpunosti zadovoljene.

5. ZAKLJUČCI

U ovom radu ispitana je učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda na UPOV Cerna, UPOV Otok i UPOV Ivankovo koji otpadnu vodu pročišćavaju primjenom C-TECH i SBR tehnologije. Uzorkovanje i analiza vode provedeni su tijekom 2021. i 2022. godine.

Učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda na navedenim uređajima praćena je analizom sljedećih parametara: pH, temperatura, suhi ostatak, otopljeni kisik, spojevi dušika, ukupni fosfor, BPK₅, KPK-Cr te suspendirane tvari.

Na osnovi rezultata istraživanja provedenih u ovom radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. primjena C-TECH i SBR tehnologija došlo je do poboljšanja u kvalitete otpadne vode na UPOV-u Ivankovo, UPOV-u Otok i UPOV-u Cerna.
2. Na UPOV-u Ivankovo tijekom 2021. godine u izlaznim uzorcima zabilježena su odstupanja od MDK vrijednosti Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) sljedećih parametara: (i) ukupna koncentracija dušika, (ii) BPK₅ vrijednosti i (iii) KPK vrijednosti.
3. Na UPOV-u Ivankovo tijekom 2022. godine svi analizirani parametri imali su vrijednosti u skladu s MDK vrijednostima Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).
4. Na UPOV-u Otok tijekom 2021. godine u izlaznim uzorcima zabilježena su odstupanja od MDK vrijednosti Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) sljedećih parametara: (i) KPK vrijednosti, (ii) BPK₅ vrijednosti, (iii) ukupna koncentracija dušika, (iv) ukupna koncentracija fosfora.
5. Na UPOV-u Otok tijekom 2022. godine svi analizirani parametri imali su vrijednosti u skladu s MDK vrijednostima Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).
6. Na UPOV-u Cerna tijekom 2021. godine u izlaznim uzorcima zabilježena su odstupanja od MDK vrijednosti Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN

26/2020) zbog povišenih izlaznih koncentracija ukupnog fosfora, a ista problematika zabilježena je i u izlaznim uzorcima 2022. godine.

7. Primjena C-TECH i SBR tehnologije se pokazala uspješnom pri uklanjanju većine analiziranih onečišćujućih tvari. Poboljšanje učinka tehnologije zabilježeno je na svim uređajima tijekom 2022. godine.
8. Daljnje optimiranje procesa pročišćavanja otpadnih voda potrebno je na UPOV-u Cerna kako bi izlazne koncentracije ukupnog fosfora bile ispod MDK vrijednosti zadanih Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020).

6. LITERATURA

- Al-Rekabi S.W., Qiang H., Qiang W. W.: Review on sequencing batch reactors. *Pakistan Journal of Nutrition* 6(1): 11-19, 2007.
- Burger R., Diwbl S., Nopers I.: A consistent modelling methodology for secondary settling tanks in wastewater treatment. *Water Research*. Volumen 45, Issue 6, Pages 2247-2260, 2011.
- Elorm O.E., Sudesh R.: Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review. *Membranes*. Volume 10, Issue 5, 2020.
- Glancer-Šoljan M., Landeka Dragičević T., Šoljan V., Ban S.: Biološka obrada otpadnih voda. Interna skripta, Kugler d.o.o., 2001.
- Habuda-Stanić M.: Uklanjanje aniona arsena iz podzemne vode na funkcionaliziranim adsorbensima. Doktorska disertacija, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2011.
- Habuda-Stanić M.: Tehnologija vode i obrada otpadnih voda, Prezentacije. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Zavod za primijenjenu kemiju i ekologiju, 2023.
- Hey T., Väänänen J., Heinen N., la Cour Jansen J., Jönsson K.: Potential of combining mechanical and physicochemical municipal wastewater pre-treatment with direct membrane filtration. *Environmental Technology*, Volume 38, 2017.
- Jurac Z.: Otpadne vode. Karlovac, 2009.
- Lewandowski Z., Boltz J.P.: Biofilms in Water and Wastewater Treatment, *Treatise on Water Science*, Volume 4, 529-470, 2011.
- Kuveždić Z.: Utjecaj godišnjih doba na učinkovitost biološke obrade otpadnih voda grada Vinkovaca. Specijalistički rad, Osijek, 2016.
- Piotrowski R.: Two-Level Multivariable Control System of Dissolved Oxygen Tracking and Aeration System for Activated Sludge Processes. *Water Environment Research*, vol 87, numb 1, 2015.
- Judd S., Judd C.: *The MBR Book*, 1. izdanje, Elsevier, 2006.
- Judd S., Judd C.: *The MBR Book*, 2. izdanje, Elsevier, 2011.

Stypka A.: General description of the activated sludge process. Factors influencing sludge settling parameters and solid flu in the activated sludge process, 16-35. Stockholm, 1998.

Tedeschi S.: Zbrinjavanje mulja otpadnih voda, prezentacija. Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku.

Tušar B.: Pročišćavanje otpadnih voda, "Kigen" Zagreb, 2009.

Štefanac T., Grgas D., Marjanović B., Landeka Dragičević T. (2022). Primjena i modeliranje sustava s biofilmom u obradi otpadnih voda. *Kemija u industriji*, 71 (5-6), 317-325.

Velić, N. : Pokazatelji onečišćenja otpadnih voda, prezentacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Zavod za primijenjenu kemiju i ekologiju, 2023.

Vouk D., Malus D. i Tedeschi S. (2011). Muljevi s komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. *Građevinar*, 63 (04.), 341-349.

<https://www.bp-group.hr/industrijske-otpadne-vode/>

<https://sfcenvironment.com/c-tech-process>

https://waterprojectsonline.com/custom_case_study/c-tech/