



MD



**10. MEMORIJALNI NAUČNI SKUP IZ ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE**  
**„DOCENT DR MILENA DALMACIJA“**  
**30. - 31.03.2023.**

# KNJIGA RADOVA



# Organizatori



Univerzitet u Novom Sadu

Prirodno-matematički fakultet



Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu  
životne sredine

Департман за  
ХЕМИЈУ, БИОХЕМИЈУ И  
ЗАШТИТУ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Fondacija "Docent dr Milena Dalmacija"





**KNJIGA RADOVA**

**IZDAVAČ  
GLAVNI UREDNIK**

**10. Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine  
„Docent dr Milena Dalmacija“  
Prirodno-matematički fakultet, UNS  
dr Đurđa Kerkez, dr Dunja Rađenović,  
dr Dragana Tomašević Pilipović**

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Biblioteke Mатице српске, Нови Сад

502.17(082)

МЕМОРИЈАЛНИ научни skup из заштите животне средине "Доцент др Милена Далмација" (10 ; 2023 ; Нови Сад)

Knjiga radova [Elektronski izvor] / 10. Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine "Docent dr Milena Dalmacija", 30. - 31.03.2023, Novi Sad ; [glavni urednik Đurđa Kerkez, Dunja Rađenović, Dragana Tomašević Pilipović]. - Novi Sad : Prirodno-matematički fakultet, 2023. - 1 elektronski optički disk (CD ROM) ; 12 cm

Nasl. sa naslovnog ekrana. - Tiraž 100. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7031-623-2

а) Животна средина -- Заштита -- Зборници

COBISS.SR-ID 112515593



## Naučni odbor:

- dr Miladin Gligorić, redovni profesor u penziji, Tehnološki fakultet Zvornik, Univerzitet u Istočnom Sarajevu
- dr Olga Petrović, redovna profesorka PMF u penziji, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Jasmina Agbaba, redovna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Srđan Rončević, redovni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Dragan Radnović, redovni profesor, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Dušan Mrđa, redovni profesor PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Milena Bečelić-Tomin, redovna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Miljana Prica, redovna profesorka, FTN, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Snežana Maletić, redovna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Dejan Krčmar, redovni profesor PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Aleksandra Tubić, redovna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu

## Organizacioni odbor:

- dr Đurđa Kerkez, vanredna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Dragana Tomašević Pilipović, vanredna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Anita Leovac Mačerak, docentkinja, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Jelena Beljin, vanredna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Marijana Kragulj Isakovski, vanredna profesorka, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Vesna Pešić, docentkinja, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Dunja Rađenović, naučna saradnica, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- dr Aleksandra Kulić Mandić, istraživač-saradnica, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- MSc Marija Maletin, istraživač-saradnica, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- MSc Tijana Marijanović, istraživač-pripravnica, PMF, Univerzitet u Novom Sadu
- Nada Popsavin, stručna saradnica za odnose sa javnošću, PMF, Univerzitet u Novom Sadu



# Sadržaj



## Sekcija: Održivi razvoj (OR)

**OR-1.** Biljana Basarin, Igor Leščešen, Miroslav Vujičić, Dušanka Cvijanović, Snežana Radulović: *Linking for excellence, building competencies, and supporting climate change resilience and mitigation – ExtremeClimTwin, GreenSCENT and Restore4Life*

**OR-2.** Sandra Stamenković Stojanović: *Formulisanje i optimizacija mikrobiološkog preparata sa fitostimulativnim i biopesticidnim dejstvom*

**OR-3.** Dušan Rakić, Zita Šereš, Igor Antić, Maja Buljovčić, Jelena Živančev, Nataša Đurišić-Mladenović: *Mikroplastika i nanoplastika u životnoj sredini i metode njihove karakterizacije*

**OR-4.** Milan Bićanin: *Ekološko - tipološka pripadnost veštački podignutih sastojina crnog bora i američkog jasena u „Lipovačkoj šumi“ i ocena ekološke funkcionalnosti*

**OR-5.** Dragan Z. Troter, Dušica R. Đokić-Stojanović, Aleksandra B. Cvejić, Tatjana R. Veličković, Zoran B. Todorović, Olivera S. Stamenković, Vlada B. Veljković: *Ekološki-prihvatljiva katalitička kombinacija CaO/trietanolamin u sintezi etil-estara masnih kiselina iz otpadnih ulja suncokreta*

**OR-6.** Nataša B. Sarap, Jelena D. Krneta Nikolić, Milica M. Rajačić, Ivana S. Vukanac, Marija M. Janković, Goran Češljari, Ilija Đorđević: *Procena radioekološke situacije u životnoj sredini Mokre Gore*

## Sekcija: Voda (V)

**V-1.** Milica Svetozarević, Nataša Šekuljica, Ana Dajić, Marina Mihajlović, Zorica Knežević-Jugović, Dušan Mijin: *Continuous flow for degradation of dyes. Value added utilization of potato peel*

**V-2.** Aleksandar Jovanović, Mladen Bugarčić, Nataša Knežević, Miroslav Sokić, Vladimir Pavićević, Aleksandar Marinković: *Prečišćavanje otpadnih voda primenom MBBR Sistema*

**V-3.** Jelena Šurlan, Nikola Maravić, Zita Šereš, Nataša Đurišić-Mladenović, Biljana Pajin, Dragana Šoronja-Simović: *Uklanjanje ibuprofena, diklofenaka i karbamazepina iz otpadnih voda primenom nanofiltracije*

**V-4.** Katarina Tošić, Sara Mijaković, Sanja Milošević Govedarović, Ana Vujačić Nikezić, Anđela Mitrović Rajić, Jasmina Grbović Novaković, Bojana Paskaš Mamula: *Prirodna ruda pirofilit kao potencijalni materijal za prečišćavanje otpadnih voda*

**V-5.** Anđela Mitrović Rajić, Katarina Tošić, Sara Mijaković, Sanja Milošević Govedarović, Ana Vujačić Nikezić, Bojana Paskaš Mamula, Jasmina Grbović Novaković: *Detekcija fungicida karbendazima u vodi primenom elektrode od ugljenične paste modifikovane pirofilitom*

**V-6.** Petar Vojnović: *Hidrogeološke karakteristike područja Cerničkog polja (Istočna Hercegovina) sa posebnim osvrtom na rizik od zagađenja podzemnih vodnih resursa*

**V-7.** Marija Janković, Nataša Sarap, Vojislav Stanić, Jelena Krneta Nikolić, Milica Rajačić, Ivana Vukanac, Marija Šljivić-Ivanović: *Kontrola kvaliteta gasnog proporcionalnog brojača - radioaktivnost u vodama*

**V-8.** Aleksandra Adamović, Mirjana Petronijević, Sanja Panić, Dragan Cvetković: *Primena biougla kao adsorbenta za uklanjanje industrijskih boja iz otpadne vode*

**V-9.** Senka Ždero, Milica Ilić, Bojan Srđević, Zorica Srđević: *Analiza uticaja različitih strategija alokacije vodnih resursa na kvalitet pružanja ekosistemskih usluga*

## Sekcija: Vazduh (Va)

**Va-1.** Filip Arnaut, Vesna Cvetkov, Dragana Đurić: *Prognoziranje iznadprosečnih vrednosti kvaliteta vazduha u Novom Sadu korišćenjem Random Forest modela*

**Va-2.** Radmila Lišanin, Čedo Lalović: *Modelovanje atmosferske disperzije mikropolutanata*

## Sekcija: Sediment (S)

**S-1.** Miloš Dubovina, Dejan Krčmar, Božo Dalmacija, Đurđa Kerkez, Jasmina Nikić, Nataša Dudaković, Jasmina Agbaba: *Procena rizika tokom izmuljivanja i deponovanja sedimenta u AP Vojvodini*

**S-2.** Nina Đukanović, Jelena Beljin, Tijana Zeremski, Jelena Tričković, Srđan Rončević, Nadežda Stojanov, Snežana Maletić: *Ispitivanje potencijala biljaka za fitoremedijaciju zagađenog sedimenta*

**S-3.** Dunja Rađenović, Nataša Slijepčević, Jelena Beljin, Slaven Tenodi, Dejan Krčmar, Đorđe Pejin, Dragana Tomašević Pilipović: *Procena rizika sedimenta iz Kanala Begej zagađenog teškim metalima*

## Sekcija: Upravljanje otpadom (UO)

**UO-1.** Tatjana Dujković, Ivana Pajčin, Vanja Vlajkov, Marta Loc, Mila Grahovac, Jovana Grahovac: *Rafinat iz proizvodnje šećera kao osnova medijuma za proizvodnju biokontrolnih agenasa na bazi *Bacillus velezensis**

**UO-2.** Ida Zahović, Jelena Dodić, Zorana Trivunović: *Karakterizacija otpadnog glicerola iz proizvodnje biodizela*

## Sekcija: Zemljište (Z)

**Z-1.** Marina Vukin, Radomir Mandić, Goran Knežević, Mladen Antić: *Istraživanje edafskih karakteristika pošumljenih površina u cilju tipološke klasifikacije staništa i ocene stanja životne sredine kompleksa 'Stepin lug' – Beograd*



## PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA PRIMENOM MBBR SISTEMA

Aleksandar Jovanović<sup>1</sup>, Mladen Bugarčić<sup>1</sup>, Nataša Knežević<sup>2</sup>, Miroslav Sokić<sup>1</sup>, Vladimir Pavićević<sup>3</sup>, Aleksandar Marinković<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franš d'Eperea 86, Beograd, [a.jovanovic@itnms.ac.rs](mailto:a.jovanovic@itnms.ac.rs)*

<sup>2</sup>*Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "VINČA" - Institut od nacionanog značaja, Mike Petrovića Alasa 12-14, Beograd*

<sup>3</sup>*Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, Beograd*

### Izvod

Procesi prečišćavanja otpadnih voda, koji su do sada korišćeni, pokazuju ograničenu mogućnost efikasnog uklanjanja nutrijenata. Ispuštanje netretiranih ili nedovoljno tretiranih otpadnih voda u recipijente, kao što su reke, jezera i mora, može ugroziti akvatične ekosisteme izazivanjem procesa eutrofikacije. Stoga je neophodno tretirati otpadne vode, kako sanitarne tako i industrijske, i ukloniti iz njih štetne materije. U ovom radu je prikazano biološko uklanjanje azota kao nutrijenta iz otpadnih voda primenom nekonvencionalnih metoda tretmana otpadnih voda – MBBR (eng. *Moving bed biofilm reactor*). Biće prikazane njihove modifikacije i prednosti koje ovakvi procesi nude u odnosu na standardni tretman aktivnim muljem, koji se najčešće koristi. Prednosti korišćenja MBBR reaktorskih sistema se ogleda u mogućnosti njihove primene u tretmanu različitih tipova industrijskih otpadnih voda, mogućnosti upotrebe nosača u konsektivnim reakcijama prečišćavanja što uzrokuje niže operativne troškove procesa i time ih čini veoma pogodnim za denitrifikaciju otpadnih voda. Unapređeni procesi biološkog uklanjanja azota pomoću različitih tipova mikroorganizama biće praćeni sa stanovišta efikasnosti samog procesa. Cilj ovog rada jeste predstavljanje inženjerskih osnova u primeni ovih procesa u daljim eksperimentalnim istraživanjima.

**Ključne reči:** azot, nosači biofilma, mikrobiološki tretman, novi reaktorski sistemi

### Uvod

Ispuštanje otpadnih voda sa visokom vrednošću hemijske potrošnje kiseonika (HPK) i visokom koncentracijom nutrijenata, pre svega azota, može imati različiti efekat na akvatične organizme [1, 2]. Povišeni sadržaj nutrijenata direktno se odražava na povišenu biološku potrošnju kiseonika (BPK), što može da prouzrokuje eutrofikaciju, odnosno cvetanja vode. Eutrofikacija ugrožava akvatične ekosisteme, ali i potencijalne izvore pijaće vode. Takođe, ispuštanje neprečišćenih otpadnih voda u reke, jezera i mora može da deluje toksično na žive organizme i da smanji količinu dostupnog kiseonika, te je neophodno razvijati adekvatne strategije prečišćavanja otpadnih voda [3].

Kako standardi za kvalitet vode postaju sve strožiji (European Commission, 2020) [4], a voda biva „opterećena” novim i kompleksnijim zagađujućim materijama, konvencionalni procesi za tretman otpadnih voda imaju sve veće poteškoće da zadovolje potreban kvalitet efluenta.



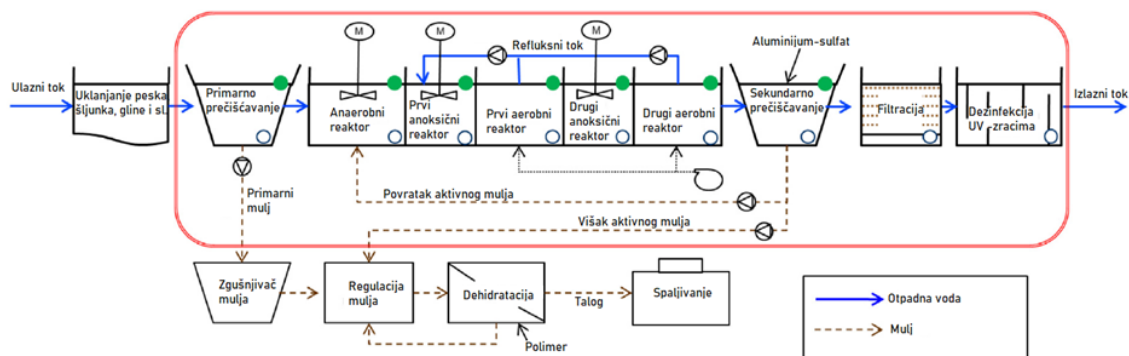
Kao potencijalno rešenje ovog problema javljaju se novi reaktorski sistemi poput MBBR (eng. *Moving bed biofilm reactor*) [5]. Ovi procesi predstavljaju modifikaciju procesa tretmana otpadnih voda korišćenjem aktivnog mulja (eng. *activated sludge process* - ASP) koji se najčešće koristi u ovu namenu. Njihova prednost u odnosu na proces u kom se koristi aktivni mulj ogleda se prevashodno u većoj fleksibilnosti i većem broju mogućnosti kada se radi o dizajnu i kontroli procesa u zavisnosti od karakteristika otpadnih voda i potrebnog tretmana za zadovoljavanje predviđenih standarda. MBBR procesi zahtevaju manje prostora, čime se umanjuju kapitalne investicije i operativni toškovi, a zbog jednostavnije kontrole procesa, potrebno je manje radne snage, u odnosu na ASP [5].

### **Eksperimentalni deo**

MBBR tehnologija je razvijena devedesetih godina prošlog veka u Norveškoj sa ciljem da se iskoriste prednosti gajenja mikroorganizama u formi biofilma [6]. Dakle, ovo je proces u kome biomasa raste na biofilmovima koji su fiksirani na pokretnim nosačima. Nosači su plastični, najčešće prečnika 1 - 2 cm, gustine bliske gustini vode ( $\sim 950 \text{ kg/m}^3$ ). Oko 50 - 70% zapremine reaktora je ispunjeno ovim nosačima sa biofilmovima [7]. Upotreba biofilмова je poželjan metod za procese u kojima su neophodni organizmi sa ograničenim rastom, kao što su nitrifikatori. MBBR sistem može da se sastoji i od više reaktora sa kontinualnim mešanjem. Mešanje može biti postignuto mehaničkom mešalicom ukoliko se u reaktoru obavlja anaeroban ili anoksičan proces, ili aeracijom ukoliko se radi o aerobnom procesu.

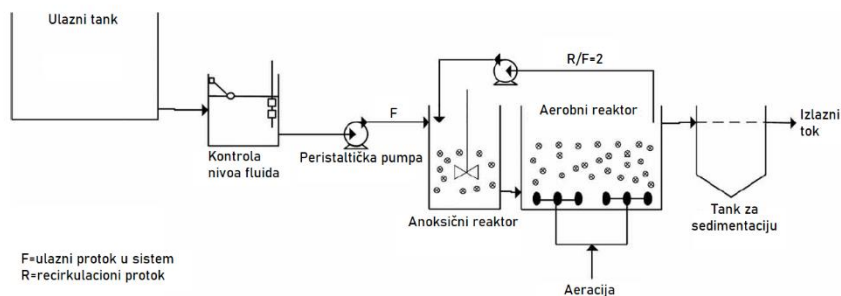
Pored prethodno navedenih, prednosti ovog sistema u odnosu na konvencionalni proces aktivnog mulja jesu i: visoka koncentracija i specifična površina biomase (bez neophodne recirkulacije biomase), nema problema sa zapušavanjem i podizanjem mulja sa dna bioreaktora, kao i manje hidrauličko vreme zadržavanja [7]. Može da se upotrebljava kao samostalni sistem za tretman otpadnih voda, ili u kombinaciji sa drugim sistemom, npr. da se unapredi već postojeće postrojenje sa procesom aktivnog mulja. Poređenje MBBR i ASP u pilot studijama pokazala su da je uklanjanje azota u MBBR-u nešto slabije u odnosu na ASP, dok je sa druge strane uklanjanje fosfora značajno bolje. MBBR može postići potpunu nitrifikaciju kada se koristi za oksidaciju ugljenika i amonijaka, pri čemu se 75% potreba kiseonika ovog procesa koristi za oksidaciju amonijaka, a 25% za oksidaciju i nitrata i nitrita [5].

Najsloženiji oblik MBBR procesa je petostepeni Bardenfo (eng. *Bardenpho*) proces koji se sastoji iz anaerobnog, anoksičnog, aerobnog, drugog anoksičnog i drugog aerobnog reaktora (slika 1.) respektivno. Nakon ovih 5 faza efluent podleže sedimentaciji, filtraciji i dezinfekciji UV zračenjem [8].



Slika 1. Šema petostepenog Bardenfo procesa [8]

Ulazni odnos ugljenika i azota (C/N) može da utiče na distribuciju heterotrofnih bakterija i nitrifikatora u biofilmovima, ali i na potrošnju supstrata i kiseonika. Kako bakterije koje vrše denitrifikaciju zahtevaju stabilan ugljenični supstrat, utvrđeno je da je za uklanjanje azota iz otpadnih voda sa visokim sadržajem organskih i azotnih jedinjenja, konfiguracija MBBR sistema sa prednitrifikacijom najoptimalnija (slika 2.). To podrazumeva da ulazni fluid prvo nailazi na anoksični reaktor, a tek nakon njega u aerobni reaktor u kome se vrši nitrifikacija, nakon čega se fluid recirkulacijom vraća u prethodni anoksični reaktor, da bi se izvršila denitrifikacija [6].



Slika 2. Šematski prikaz MBBR sistema sa prednitrifikacijom [6]

### Biolško uklanjanje azota

Proces uklanjanja azota se uglavnom sastoji iz dve faze, nitrifikacije i denitrifikacije. Azot se oksidacijom prisutnih organskih materija prvo prevodi u amonijačna jedinjenja. Potpuna nitrifikacija podrazumeva oksidativno prevođenje amonijačnog azota u nitrate pomoću hemoautotrofnih bakterija. Ovaj proces se sastoji iz nitritacije i nitratacije, odnosno amonijačni azot se prvo prevodi do nitrita, a zatim i do nitrata. Nitrifikaciju uglavnom obavljaju dve grupe bakterija, jedna koja oksiduje amonijak i amonijačna jedinjenja do nitrita (eng. *ammonia oxidizing bacteria* - AOB) i druga koja oksiduje nitrite do nitrata (eng. *nitrite oxidizing bacteria* - NOB). Obe grupe bakterija koriste ugljenik(IV)-oksid, kao primarni izvor ugljenika i kiseonik, kao krajnji akceptor elektrona. Nitrifikacija zahteva striktno aerobne uslove, što se omogućava aeracijom.

Denitrifikacija uključuje heterotrofne bakterije koje zahtevaju anaerobne ili anoksične uslove. Ove bakterije koriste nitrate kao akceptore elektrona i pretvaraju ih u gasoviti azot, koji odlazi iz tečne faze [9].

U procesu nitrifikacije, oksidacija amonijaka do nitrita je korak koji određuje brzinu reakcije. Oksidacija nitrita u nitrat se dešava brzo u prisustvu molekuskog kiseonika. Oksidacija amonijaka do nitrita se odvija u dva koraka, gde se kao intermedijer javlja hidroksilamin. U prvom koraku se amonijak oksiduje do hidroksilamina delovanjem amonijak monooksigenaze (AMO), a drugi korak, oksidovanje hidroksilamina do nitrita uz katalizaciju hidroksilamina oksidoreduktazom (HAO). Jedan od atoma kiseonika iz  $\text{NO}_2^-$  se dobija iz vode, a drugi iz molekula kiseonika. Iako je amonijak izvor energije za nitrifikatore, oni neće celokupnu količinu amonijačnog azota koristiti prilikom nitrifikacije, već se jedan deo koristi za ćelijski rast kao izvor azota [10].

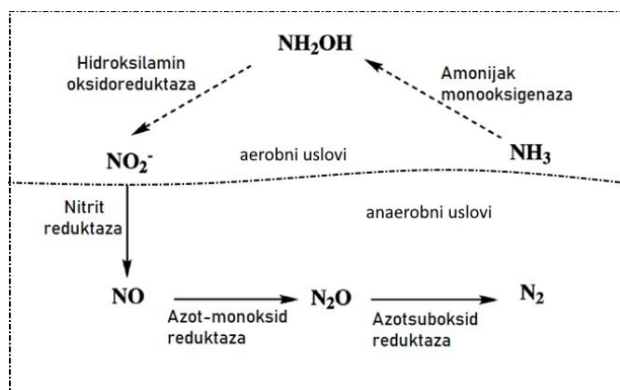
AOB se mogu prepoznati po Gram-negativnom višeslojnom ćelijskom zidu i biću koji služi za kretanje. Za sada je otkriveno 5 rodova AOB koji pripadaju beta i gama klasama Proteobacteria. Četiri roda pripadaju beta ( $\beta$ ) klasi i to su *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio* i *Nitrosolobus*, peti rod je *Nitrosococcus* koji pripada gama klasi Proteobakterija [10].

Do sada otkrivene NOB pripadaju rodovima *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* i *Nitrospina*. *Nitrobacter* je prvobitno smatrana najvažnijom NOB, međutim, otkriveno je *Nitrobacter* dominantan pri niskim sadržajima neorganskog ugljenika, dok je *Nitrospira* dominantnija pri višim koncentracijama neorganskog ugljenika [10].

Denitrifikacija predstavlja redukovanje nitrita/nitrata u gasoviti azot. Nitriti/nitrtati se ponašaju kao krajnji akceptori elektrona u odsustvu kiseonika, pa ovaj proces zahteva anoksične uslove. Većina denitrifikatora su heterotrofi i zahtevaju prisustvo ugljeničnog supstrata. Neke od pronađenih bakterija za koje je utvrđeno da imaju sposobnost da vrše denitrifikaciju su *Pseudomonas denitrificans*, *P. aerogenes*, *P. aureofaciens*, *Alcaligenes faecalis*, *Alcaligenes eutrophus*, *Bacillus azotoformans*, *Kingella denitrificans* [11].

*Nitrosomonas europaea* je hemolitoautotrofna bakterija sposobna da vrši nitrifikaciju koristeći amonijak kao donor elektrona. Ova osobina čini *Nitrosomonas europaea* dobrim kandidatom za uklanjanje azota iz otpadnih voda [12]. Ćelije *Nitrosomonas europaea* dobijaju energiju oksidirajući amonijak u nitrit u dva koraka. Inicijalna reakcija prevođnja amonijaka u hidroksilamin je katalizovana amonijak-monooksigenazom i zahteva prisustvo kiseonika. Hidroksilamin oksidoreduktaza katalizuje oksidaciju hidroksilamina u nitrit (slika 3.). Nakon toga, bakterija koja bi mogla da se koristi za proces denitrifikacije jeste *Pseudomonas aeruginosa*. Ona poseduje kompletan set enzima za denitrifikaciju koji redukuju nitrit u molekularni azot preko azot-oksida (NO) i azot-oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Ovi oksidi azota funkcionišu kao alternativni akceptori elektrona i omogućavaju *Pseudomonas aeruginosa* da raste u anaerobnim uslovima [13].





Slika 3. Šema metaboličkog puta *Nitrosomonas europaea* i *Pseudomonas aeruginosa*

Optimalna temperatura nitrifikacije je između 25 i 35°C, optimalna pH vrednost je 7,5 - 9,8, a odstupanje od optimalne pH vrednosti će smanjiti brzinu uklanjanja azota za oko 50%. Nitrifikacijom se uklanjaju i alkalna jedinjenja, pa će ovaj proces uticati i na smanjenje pH vrednosti. Najveća zabeležena brzina nitrifikacije ostvarena je pri nivou rastvorenog kiseonika većem od 2 mg/dm<sup>3</sup>. Za denitrifikaciju, optimalna pH vrednost je između 6,5 i 9, a optimalni nivo rastvorenog kiseonika je niži od 0,5 mg/dm<sup>3</sup>, ukoliko se u reaktoru nalazi više od 1 mg/dm<sup>3</sup> rastvorenog kiseonika, denitrifikacija se inhibira [9].

### Zaključak

Unapređeni procesi biološkog uklanjanja nutrijenata, kao što su konsektivna nitrifikacija i denitrifikacija, ili skraćeno uklanjanje azota, javljaju se kao alternativa konvencionalnim procesima uklanjanja nutrijenata. Da bi se primenili ovakvi procesi zahteva se dobra optimizacija i visok nivo kontrole procesa. Konvencionalni proces aktivnog mulja nije najbolje rešenje, pa se za primenjivanje unapređenih procesa biološkog uklanjanja nutrijenata koriste modifikacije procesa aktivnog mulja među kojima su i MBBR. Napredak MBBR-a u odnosu na konvencionalni proces aktivnog mulja ogleda se u većoj fleksibilnosti, većem nivou kontrole procesa i manjem prostoru neophodnom za realizovanje ovakvih procesa. Ovakvi sistemi, u kombinaciji sa unapređenim biološkim uklanjanjem nutrijenata značajno će smanjiti operativne troškove postrojenja. Njihov nedostatak je što su relativno skoro otkriveni i nisu dovoljno istraženi. Iako se neki procesi unapređenog biološkog uklanjanja nutrijenata primenjuju u postrojenjima za tretman otpadnih voda, njihovi mehanizmi nisu uvek i u potpunosti razjašnjeni. Imajući ovo u vidu, jasno je da je neophodno dalje eksperimentalno istraživanje ovih procesa u cilju bolje optimizacije i primene u postrojenjima, da bi se zadovoljili svi zakonom propisani parametri u efluentu uz što manje operativne troškove.

### Zahvalnica

Ovaj rad je podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (Ugovor br. 451-03-47/2023-01/200023; 451-03-9/2023-14/200017; 451-03-68/2022-47/200214)

## Literatura

- [1] Dolomatov, S. I., Shekk, P. v., Zukow, W., & Kryukova, M. I. (2011). Features of nitrogen metabolism in fishes. In *Reviews in Fish Biology and Fisheries* (Vol. 21, Issue 4, pp. 733–737). <https://doi.org/10.1007/s11160-011-9212-z>
- [2] Zarrinmehr, M. J., Farhadian, O., Heyrati, F. P., Keramat, J., Koutra, E., Kornaros, M., & Daneshvar, E. (2020). Effect of nitrogen concentration on the growth rate and biochemical composition of the microalga, *Isochrysis galbana*. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(2), 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.11.003>
- [3] Conley, D. J., Paerl, H. W., Howarth, R. W., Boesch, D. F., Seitzinger, S. P., Havens, K. E., Lancelot, C., & Likens, G. E. (2009). Ecology. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science (New York, N.Y.)*, 323(5917), 1014–1015. <https://doi.org/10.1126/science.1167755>
- [4] European Commission (2020). *Directive (EU) 2020/2184*. <https://eurlex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
- [5] Leyva-Díaz, J. C., Monteoliva-García, A., Martín-Pascual, J., Munio, M. M., García-Mesa, J. J., & Poyatos, J. M. (2020). Moving bed biofilm reactor as an alternative wastewater treatment process for nutrient removal and recovery in the circular economy model. *Bioresource Technology*, 299, 122631. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122631>
- [6] Torkaman, M., Borghei, S. M., Tahmasebian, S., & Andalibi, M. R. (2015). Nitrogen removal from high organic loading wastewater in modified Ludzack-Ettinger configuration MBBR system. *Water Science and Technology : A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 72(8), 1274–1282. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.343>
- [7] Andreottola, G., Foladori, P., Ragazzi, M., & Tatàno, F. (2000). Experimental comparison between MBBR and activated sludge system for the treatment of municipal wastewater. *Water Science and Technology*, 41(4–5), 375–382. <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0469>
- [8] Kyung, D., Kim, M., Chang, J., & Lee, W. (2015). Estimation of greenhouse gas emissions from a hybrid wastewater treatment plant. *Journal of Cleaner Production*, 95, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.032>
- [9] Dutta, A., & Sarkar, S. (2015). Sequencing Batch Reactor for Wastewater Treatment: Recent Advances. In *Current Pollution Reports* (Vol. 1, Issue 3, pp. 177–190). <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0016-y>
- [10] Ge, S., Wang, S., Yang, X., Qiu, S., Li, B., & Peng, Y. (2015). Detection of nitrifiers and evaluation of partial nitrification for wastewater treatment: A review. *Chemosphere*, 140, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.02.004>
- [11] Knowles, R. (1982). Denitrification. *Microbiological Reviews*, 46(1), 43–70. <https://doi.org/10.1128/mr.46.1.43-70.1982>

- [12] Yingling, B., & Zhengfang, Y. (2013). Application of an Integrated Statistical Design for Optimization of Culture Condition for Ammonium Removal by *Nitrosomonas europaea*. *PLoS ONE*, 8(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060322>
- [13] Arai, H. (2011). Regulation and function of versatile aerobic and anaerobic respiratory metabolism in *Pseudomonas aeruginosa*. *Frontiers in Microbiology*, 2(MAY), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2011.00103>





**ISBN: 978-86-7031-623-2**