



POREĐENJE EFIKSNOSTI TRETMANA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA  
KORIŠĆENJEM MBBR-MBR I SBR SISTEMA

COMPARATION OF THE EFFICIENCY OF MUNICIPAL WASTEWATER  
TREATMENT USING MBBR-MBR AND SBR SYSTEMS

Evdokia Galipidu<sup>1</sup>, Athanasios Stasinakis<sup>2</sup>, Jelena Radonić<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad; <sup>2</sup>Egejski univerzitet, Mitilini

Oblast – INŽINJERSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE  
SREDINE

**Kratak sadržaj** – U okviru rada ispitane su inovativne metode za prečišćavanje komunalne otpadne vode. Njihovo proučavanje izvedeno je na osnovu analiza naučnih radova drugih autora i istraživača, kao i na osnovu izvršenog eksperimenta. Opisani su eksperimentalno ispitivani sistemi i dobijeni rezultati. Prvi sistem činio je kombinaciju anaerobnog reaktora sa pokretnim biofilmom (AnMBBR) i aerobni membranski bioreaktor (AeMBR), a drugi kombinaciju sekvencijalnog šaržnog reaktora (SBR) i mikroalge *Chlorella sorokiniana*. Određena je efikasnost prečišćavanja oba sistema, kao i njihovo poređenje sa ciljem predstavljanja prednosti i nedostataka.

**Ključne reči:** Komunalne otpadne vode, AnMBBR, AeMBR, SBR, *Chlorella sorokiniana*

**Abstract** – This paper includes the study of innovative methods for municipal wastewater treatment. It is based on the performed experiment and analysis of various scientific papers by other authors and researchers. The experimentally tested systems are described and the results obtained. The first system was a combination of anaerobic moving bed biofilm reactor (AnMBBR) and aerobic membrane bioreactor (AeMBR), and the second was a combination of sequencing batch reactor (SBR) with microalgae *Chlorella sorokiniana*. Finally, the removal efficiency of each system was described and the systems were compared.

**Keywords:** Municipal wastewater, AnMBBR, AeMBR, SBR, *Chlorella sorokiniana*

### 1. UVOD

Porast broja stanovništva poslednjih godina dovodi i do generisanja velikih količina komunalnih otpadnih voda širom sveta.

Kanalizacioni sistemi postaju sve opterećeniji, a otpadna voda koja u njih dospeva sve zagađenija, kako organskim, tako i neorganskim polutantima.

### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Jelena Radonić, redovni profesor. Eksperimentalni deo master rada raden je na Egejskom univerzitetu, u Laboratoriji za kvalitet vode i vazduha.

Konvencionalni tretman otpadnih voda, sve do kasnih 80-ih godina XX veka obuhvatao je samo osnovnu primarnu i sekundarnu obradu, ali i danas predstavlja osnovu svih inovativnih sistema za prečišćavanje [1]. Tretman komunalnih otpadnih voda sa aktivnim muljem je najčešće korišćena biološka metoda za prečišćavanje. Komunalne otpadne vode se nakon obrade ispuštaju u recipijent, a osnovno pitanje inženjera zaštite životne sredine prilikom projektovanja sistema jeste koji nivoi prečišćavanja moraju biti dostignuti kako bi se izbegle negativne posledice po ljudsko zdravlje i životnu sredinu. Sve više polutanata opterećenim otpadnim vodama, ali i obavezom za ispunjavanje graničnih vrednosti za ispuštanje voda u recipijent javila se potreba za razvoj novih tehnologija.

### 2. MBR, MBBR I SBR SISTEMI

Membranski bioreaktor (eng. *Membrane bioreactor*, MBR), reaktor sa pokretnim biofilmom (eng. *Moving bed biofilm reactor*, MBBR) i sekvencijalni šaržni reaktor (eng. *Sequencing batch reactor*, SBR) pokazali su se kao prihvatljiva inovativna rešenja. Sva tri sistema integrišu biološku degradaciju organskih materija i u odnosu na konvencionalne sisteme sa aktivnim muljem podrazumevaju, pre svega, znatno manju konstrukciju samog objekta, povećano zapreminsko opterećenje, viši kvalitet efluenta, kao i manju proizvodnju mulja. Kako sam naziv kaže, unutar MBR odvija se membranska filtracija, a unutar MBBR nalaze se pokretni bionosači koji obrazuju povoljne uslove za aklimatizaciju mikroorganizama kojima se prečišćavanje vrši. SBR po svojoj konstrukciji predstavlja veoma jednostavno rešenje. Ovakvi sistemi funkcionišu po principu uzastopnih ponavljanja ciklusa, odnosno podrazumevaju pet osnovnih koraka: punjenje, reakciju, taloženje, dekanatovanje i mirovanje. SBR sistemi mogu se kombinovati sa različitim vrstama mikrolagi, sa ciljem prečišćavanja komunalnih otpadnih voda [2].

### 3. UPOTREBA MIKROALGI U TRETMANU OTPADNE VODE

Prečišćavanje otpadnih voda upotrebom mikroalgi se prethodnih godina pokazao kao veoma efikasan tretman. Mikroalge predstavljaju različite autotrofne, prokariotske ili eukariotske organizme. Zbog svoje jednostavne ćelijske strukture lako mogu pretvoriti sunčevu energiju u hemijsku, generišući biomasu [3][4]. Pokazalo se da je tretman otpadne vode mikroalgama vrlo efikasna i

ekonomski isplativa metoda zbog sposobnosti ovih organizama da rastu u različitim tokovima otpadne vode, efikasnog iskorišćenja nutrijenata i malih potreba za energijom. Mikroalge koriste otpadnu vodu kao izvor ugljenika i nutrijenata za generisanje biomase, a istovremeno, pod određenim uslovima, redukuju jedinjenja fosfora i azota do veoma niskih koncentracija [5]. Fotoautotrofni rast je najčešći način kultivisanja mikroalgi i podrazumeva odvijanje procesa fotosinteze.

Od komercijalno eksploatisanih mikroalgi, rod *Chlorella* je posebno istaknut. *Chlorella* je zelena mikroalga koja podrazumeva nekoliko jednoćelijskih podvrsta. *Chlorella sorokiniana* je mala (prečnik 2–4,5  $\mu\text{m}$ ) jednoćelijska podvrsta, sposobna za kultivisanje u fotoautotrofnim, miksotrofnim i heterotrofnim uslovima. Razne studije pokazale su da se optimalan rast ove vrste može postići na temperaturi 35–40°C. *Chlorella sorokiniana* može se razvijati u otpadnim vodama pod uslovima koje druge vrste algi ne tolerišu. Analize su pokazale da se suva masa ove vrste sastoji od: 40% proteina, 30–38% ugljenih hidrata i 18–22% lipida. Pod ovim uslovima nivoi azota mogu biti smanjeni za 90%, a nivoi ortofosfata za 70%. Kombinacijom visokih temperatura i miksotrofnih uslova povećava se specifična stopa rasta u komunalnim otpadnim vodama. Sposobnost da se razvija veoma brzo u navedenim uslovima čini mikroalgu *C. sorokiniana* pogodnom za tretman komunalnih otpadnih voda [6].

#### 4. MATERIJALI I METODE

Sistem MBBR-MBR sastojao se iz serijski postavljenog anaerobnog reaktora sa pokretnim biofilmom (AnMBBR) i aerobnog membranskog bioreaktora (AeMBR). Influent se, pomoću pumpe, uvodio u AnMBBR. Unutar AnMBBR nalazili su se sunderasti bionosači koji su kontinualno mehanički mešani. AnMBBR imao je radnu zapreminu od 3 l i bio je hermetički zatvoren. Mezofilni uslovi (35 °C) postizali su se pomoću grejača. Izlazna struja (efluent AnMBBR) se prirodnim tokom prenosila u vakuum bocu spojenu sa rezervoarom za prikupljanje biogasa. Delom prečišćena voda je potom ulazila u AeMBR radne zapremine 10 l. AeMBR je bio spojen sa uređajem za aeraciju stvarajući tako povoljne uslove za razvoj aerobnih bakterija. Takođe, aerobni reaktor bio je opremljen onlajn sistemom za praćenje koncentracije rastvorenog kiseonika. Unutar AeMBR odvijala se mikrofiltracija, a reaktor je bio izložen konstantnoj sobnoj temperaturi. Uzorci su se uzimali dva puta nedeljno iz influenta i efluenta oba reaktora i merili su se pH vrednost i temperatura, dok se zapremina biogasa merila jednom nedeljno, kao prosečna dnevna vrednost. Dalje su vršene analize COD,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , TP i TSS.

Drugi izvedeni eksperiment sastojao iz jednog sekvencijalnog šaržnog reaktora (SBR) u vidu erlenmajera, zapremine 2 l. Sadržaj reaktora kontinualno se mešao pomoću magneta i održavao na temperaturi  $24 \pm 2$  °C. Radna zapremina reaktora bila je 1,2 l i sadržao je mikroalgu *Chlorella sorokiniana*. HRT, odnosno hidraulično vreme zadržavanja, bilo je 2 dana. Na kraju svakog eksperimentalnog ciklusa, nakon taloženja biomase na dnu reaktora, 0,6 l prečišćene vode uklanjalo se i u sistem se dodavala jednaka količina centrifugirane

komunalne otpadne vode. Uzorci su kolektovani iz influenta i efluenta i analizirani su na koncentracije COD,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , TP i optičku gustinu. Temperatura, pH vrednost i rastvoreni kiseonik mereni su svakodnevno. Mikroalge koriste ugljen-dioksid i procesom fotosinteze proizvode kiseonik koji bakterije mogu koristiti za uklanjanje organske materije i nutrijenata. Kao izvor svetlosti iznad svakog reaktora postavljene su fluorescentne lampe (16h svetla faza/8h tamna faza).

#### 5. REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu izvršenih eksperimenata i analiza u laboratorijskim uslovima oba sistema, AnMBBR-AeMBR i SBR sa mikroalgom, pokazala su se kao veoma dobro rešenje za redukciju organskog zagađenja (COD) i azota. Nakon tretmana u anaerobnom reaktoru (AnMBBR), hemijska potrošnja kiseonika smanjena 46,8%, odnosno došlo je do uklanjanja 46,8% organske materije. Unutar aerobnog reaktora (AeMBR) procenat uklanjanja dostigao je vrednost 87,7%. Kombinacija anaerobnog reaktora sa pokretnim biofilmom (AnMBBR) i aerobnog membranskog bioreaktora (AeMBR) uspešno je smanjila koncentraciju organske materije za 93,5%.  $\text{NH}_4\text{-N}$  najvećim delom uklonio u aerobnom reaktoru (AeMBR) zbog mogućnosti odvijanja procesa nitrifikacije koji zahteva prisustvo kiseonika. Ukupna efikasnost uklanjanja  $\text{NH}_4\text{-N}$  korišćenjem MBBR-MBR sistema iznosi 99,4%.

U sekvencijalnom šaržnom reaktoru (SBR) sa mikroalgom *Chlorella sorokiniana* efikasnost uklanjanja iznosila je 80,8% za COD, 99,9% za  $\text{NH}_4\text{-N}$  i 28,1% za TP.

#### 6. ZAKLJUČAK

Biološko prečišćavanje otpadne vode odnosi se na uklanjanje organskog zagađenja i nutrijenata (fosfora i azota) i zasnovano je na prisustvu mikroorganizama koji, za održavanje u životu, razmnožavanje, rast i odumiranje, koriste znatan deo organskih i manji deo neorganskih materija iz otpadne vode. Mikrobiološki procesi mogu biti aerobni i anaerobni, ali zavise i od drugih parametara poput temperature, pH vrednosti, mešanja, koncentracije rastvorenog kiseonika i drugo [1,7].

Pokazalo se da je za sistem MBBR-MBR potrebna znatno veća količina energije kako bi se omogućio rad pumpe, grejač AnMBBR, aeracija AeMBR i onlajn praćenje koncentracije rastvorenog kiseonika, dok je za SBR sistem sa mikroalgom potrebno obezbediti rad lampi koje omogućavaju proces fotosinteze i magnetno mešanje.

Prednosti MBBR-MBR sistema su generisanje biogasa u anaerobnom reaktoru (AnMBBR) koji bi se mogao iskoristiti za proizvodnju električne energije i mogućnost upotrebe krajnjeg efluenta za navodnjavanje i drugo. Zkeri navodi da bi se količina dobijenog biogasa mogla iskoristiti samo u slučaju jako zagađenih komunalnih otpadnih voda ili otpadnih voda iz industrije, dok je za sprovedena laboratorijska ispitivanja koncentracija generisanog biogasa izuzetno niska. Biomasa korišćene mikroalge u SBR sistemu bi se, zbog velike količine proteina, mogla iskoristiti kao sirovina za proizvodnju stočne hrane [8].

U poređenju sa SBR sistemom postavljenim u vidu erlenmajera u kome se odvijaju sve faze prečišćavanja, serijski postavljen anaerobni, zatim aerobni reaktor zahteva znatno više prostora i veći broj obučenog osoblja za rad, što automatski povećava i operativne troškove.

## 7. LITERATURA

- [1] Povrenović D, Knežević M. 2013. Osnove tehnologije prečišćavanja otpadnih voda. Tehničko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [2] Koraj K. 2017. Napredno biološko uklanjanje u obradi otpadne vode. Diplomski rad, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- [3] Abdel-Raouf N, Al-Homaidan A.A, Ibraheem I.B.M. 2012. Microalgae and wastewater treatment. Saudi Journal of Biological Sciences.
- [4] Pereira I, Rangel A, Chagas B, Moura B, Urbano S, Sassi R, Camara F, Castro C. 2021. Microalgae Growth under Mixotrophic Condition Using Agro-Industrial Waste: A Review. Biotechnological Applications of Biomass. IntechOpen. 2021. 13.
- [5] Marchão L, Fernandes J.R, Sampaio A, Peres J.A, Tavares P.B, Lucas M.S. 2021. Microalgae and immobilized TiO<sub>2</sub>/UV-A LEDs as a sustainable alternative for winery wastewater treatment. Water Research.
- [6] Lizzul A, Lekuona-Amundarain A, Purton S, Campos L. 2018. Characterization of *Chlorella sorokiniana*, UTEX 1230. Biology.
- [7] Sperling M. 2007. Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. IWA Publishing, London, UK.
- [8] Zkeri E, Iliopoulou A, Katsara A, Korda A, Aloupi M, Gatidou G, Fountoulakis M.S, Stasinakis A.S. 2021. Comparing the use of a two-stage MBBR system with a methanogenic MBBR coupled with a microalgae reactor for medium-strength dairy wastewater treatment. Bioresour. Technology.

### Kratka biografija:

Evdokia Galipidu rođena je u Solunu, 1997. god. Diplomirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2020. godine iz oblasti Inženjerstva zaštite životne sredine

Athanasios Stasinakis je vanredni profesor i direktor Laboratorije za kvalitet vode i vazduha na Egejeskom univerzitetu.

Jelena Radonić je doktorirala iz oblasti inženjerstvo zaštite životne sredine i redovni je profesor na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu od 2020. godine.