

# Mikrobni električni članak

---

Grgošević, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of biology / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:181:288244>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**



**ODJEL ZA  
BIOLOGIJU**  
Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Odjel za biologiju  
Preddiplomski studij biologije

Matija Grgošević

Mentor: doc.dr.sc. Goran Palijan

## **Mikrobni električni članak**

Završni rad

Osijek, 2019.godina

**TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**

**Završni rad**

**Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku**

**Odjel za biologiju**

**Preddiplomski sveučilišni studij Biologija**

**Znanstveno područje: Prirodne znanosti**

**Znanstveno polje: Biologija**

## **MIKROBNI ELEKTRIČNI ČLANAK**

Matija Grgošević

**Rad je izrađen na:** Odjel za biologiju, Zavod za kvantitativnu ekologiju

**Mentor:** dr.sc Goran Palijan, doc.

**Kratak sažetak završnog rada:** Mikrobni električni članak (MFC) je uređaj, koji uz pomoć djelovanja bakterija (katalitičkim reakcijama bakterija u anaerobnim uvjetima), pretvara kemijsku energiju organskih tvari u električnu. Pokrenut je različitim biorazgradivim supstratima koji služe kao gorivo. U ovom radu opisan je mikrobni električni članak te njegovo funkcioniranje i primjena.

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** mikrobni električni članak, egzoelektrogeni, anoda, katoda, oksidacija, redukcija

**BASIC DOCUMENTATION CARD**

**University Josip Juraj Strossmayer in Osijek**

**Bachelor's thesis**

**Department of Biology**

**Undergraduate university study programme in Biology**

**Scientific Area:** Natural sciences

**Scientific Field:** Biology

**MICROBIAL FUEL CELL**

Matija Grgošević

**Thesis performed at** the Subdepartment of Quantitative Ecology, Department of Biology

**Supervisor:** Ph. D. Goran Palijan

**Short abstract:** Microbial fuel cell (MFC) is a device that, through the action of bacteria (catalytic reactions of bacteria under anaerobic conditions), transforms the chemical energy of organic substances into electrical. It is started with various biodegradable substrates that serve as fuel. In this paper, a microbial electrical cell is described and its functioning and application.

**Original in:** Croatian

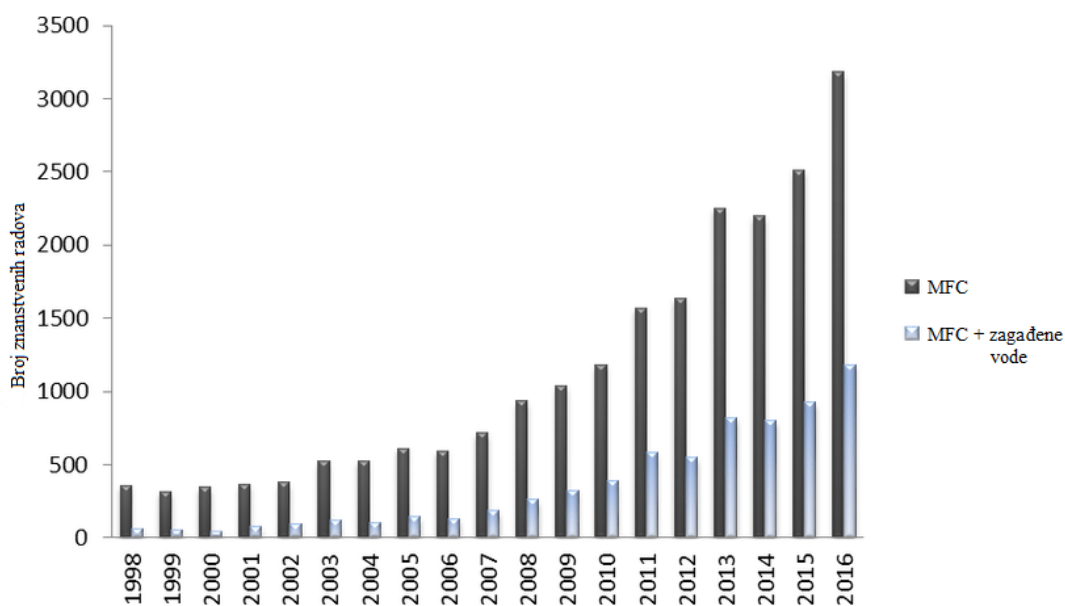
**Key words:** Microbial fuel cell, exoelectrogen, anode, catode, oxidation, reduction

## SADRŽAJ

1.UVOD .....	1
2. MIKROBNI ELEKTRIČNI ČLANAK.....	2
3.VRSTE MIKROBNIH ELEKTRIČNIH ČLANAKA .....	4
3.1. Mikrobni električni članak s medijatorom.....	4
3.2. Mikrobni električni članak bez medijatora.....	4
3.3. Mikrobni električni članak na bazi tla.....	5
4. NASTANAK STRUJE U MIKROBNOM ELEKTRIČNOM ČLANKU....	6
4.1. Prijenos elektrona na anodu.....	6
4.2. Prijenos elektrona na katodu.....	7
4.3. Prijenos elektrona unutar strujnog kruga.....	7
5. UPOTREBA MIKROBNOG ELEKTRIČNOG ČLANKA.....	7
5.1. Tretiranje otpadnih voda.....	7
5.2. Biosenzori.....	8
6. ZAKLJUČAK.....	10
7. LITERATURA.....	11

## 1. UVOD

U posljednjim desetljećima potrošnja energije u svijetu je velika. Energetski izvori koji se troše su klasificirani u tri skupine: fosilna goriva, obnovljivi izvori i izvori nuklearne energije, u kojima obnovljivi izvori energije, koji uključuju ogroman dio potrošnje energije, se mogu razvrstati u dvije glavne skupine: nuklearna i fosilna energija. Fosilna goriva imaju negativan utjecaj na prirodu zbog emisije ugljikovog dioksida. Proizvodnja nuklearne energije uključuje radioaktivni otpad kao negativan utjecaj na okoliš. Iz toga logično slijedi da su potrošnja fosilnih goriva i radioaktivnih sirovina ozbiljna prijetnja za ljudski život zbog drastičnih posljedica, kao što su genetske mutacije od radijacije te globalno zagrijavanje i atmosfersko zagađenje od izgaranja fosilnih goriva. Međutim, razne zemlje širom svijeta uložile su značajne napore u pronalaženje upečatljivog rješenja za energetske krizu, okretajući se prema obnovljivim izvorima energije kao što su solarna energija te energija proizvedena iz vjetra i vode. Kao rezultat tih napora, jedan od posljednjih predloženih alternativnih izvora energije je gorivna ćelija (FC) koja generira energiju korištenjem metalnih katalizatora visoke vrijednosti. FC ima mnoštvo prednosti u odnosu na druge vrste proizvođača energije, npr. nema emisija plinova koji zagađuju okoliš, učinkovitost je veća, nema postojanja pokretnih dijelova, kao posljedica toga nedostatak zvučnog onečišćenja i tako dalje. Nasuprot tome, nedostaci su visoki troškovi i potreba za mnogo energije pri proizvodnji masa kao što je vodik (Rahimnejad i sur., 2015). Znanje da bakterije, kao kozmopoliti na planetu Zemlji, mogu generirati električnu struju prvi je izvijestio Potter (1911) (Pant i sur., 2009). Pomoću toga znanja dolazi do pojave mikrobne gorivne ćelije (MFC) kao obećavajući, ali izazovni izvor energije. U MFC-u, mikroorganizmi su u interakciji s elektrodama pomoću elektrona koji se ili uklanjaju ili isporučuju preko električnog kruga proizvode električnu energiju (Rabaey i sur., 2007). Zapravo MFC funkcionira kao bioelektrokemijski sustav (BES) koji pretvara biomasu spontano u električnu energiju kroz metaboličku aktivnost mikroorganizama. MFC se zbog toga smatra obećavajućom održivom tehnologijom kako bi se zadovoljile rastuće energetske potrebe, posebice korištenje otpadnih voda kao supstrata, koji može istodobno proizvoditi električnu energiju i provesti pročišćavanje otpadnih voda, čime se mogu nadoknaditi operativni troškovi uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (Lu i sur., 2009). Javlja se stvarni interes za MFC-ove koji je posljednjih godina naglo porastao, kako u pogledu broja istraživača, tako i u pogledu primjene tih sustava (Slika 1).



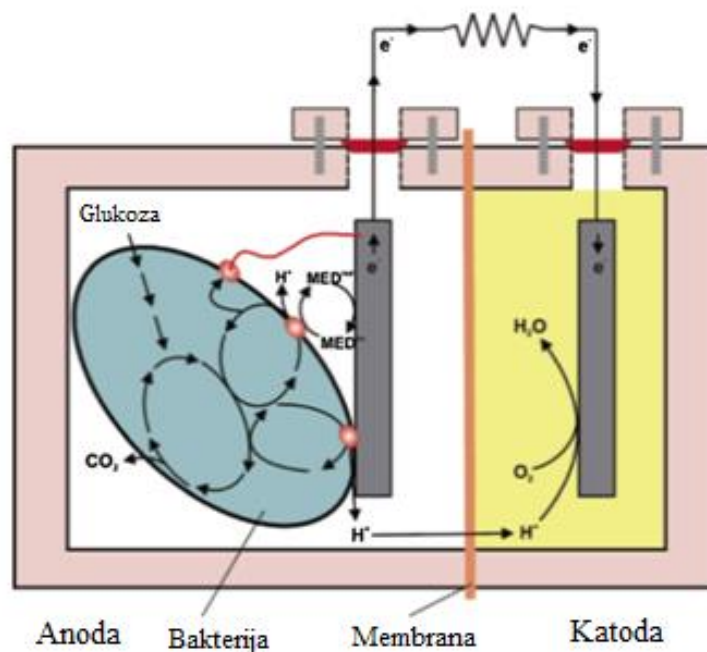
Slika 1. Broj publikacija u godni. Tamno siva boja prikazuje mikrobne gorivne ćelije, svijetlosiva boja prikazuje pročišćavanje otpadnih voda pomoću mikrobne gorivne ćelije.

Podaci se temelje na broju članaka u bazi podataka ScienceDirect u 2016. godini.

(preuzeto i prilagođeno prema Abed i sur, 2017.)

## 2. MIKROBNI ELEKTRIČNI ČLANAK

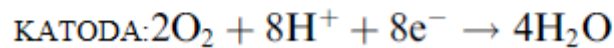
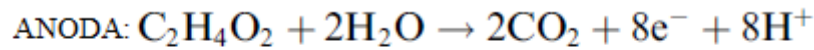
Mikrobni električni članak (MFC) je uređaj koji pretvara kemijsku energiju u električnu energiju djelovanjem mikroorganizama (Allen i Bennetto, 1993). U tlu se nalaze mnoge vrste organizama (uključujući mikroorganizme), kao što su rodovi bakterija poput *Geobacter*, *Shewanella* i *Pseudomonas*; koje imaju sposobnost prijenosa elektrona izvan njihovih stanica zbog čega se nazivaju egzoelektrogenim bakterijama (Wolińska i sur., 2014.). MFC su izgrađeni korištenjem bilo bioanoda i biokatoda (Slika 2.).



Slika 2. Prikaz mikrobnog električnog članka.  
(preuzeto i prilagođeno prema Rahimnejad i sur., 2015.)

Većina MFC-a sadrži membranu za razdvajanje odjeljaka anode (gdje se odvija oksidacija) i katode (gdje se odvija redukcija) (Slika 3). Elektroni nastali tijekom oksidacije, unutar odjeljka anode, prenose se izravno na elektrodu ili na redoks medijator. Elektronski tok se pomiče na katodu. Ravnoteža naboja sustava kompenzira se ionskim kretanjem unutar stanice, obično preko ionske membrane. Većina MFC-a koristi organski donor elektrona koji se oksidira kako bi proizveo ugljikov dioksid, protone i elektrone. Postoje i drugi donori elektrona, kao što su spojevi sumpora ili vodik (Pant i sur., 2010). Kao materijale za anode i katode se koriste ugljični anodni materijal kao što su čvrsti grafit, grafit-filc, karbonski papir, ugljični papir, ugljična spužva i pjena, i platinirane katode na bazi premazanog ugljičnog papira, obloženog grafita i titana. Međutim, metalne elektrode kao što su nehrđajući čelik i modificirani ugljik korišteni su za poboljšanje svojstava površine i modifikacija metalnih kompleksa te za poboljšanje izlazne snage i smanjenje troškova (Scott i sur., 2016.).





Slika 3. Reakcija na anodi i katodi mikrobnog električnog članka  
(preuzeto i prilagođeno prema Rahimnejad i sur., 2015.)

### 3. VRSTE MIKROBNIH ELEKTRIČNIH ČLANAKA

#### 3.1. Mikrobni električni članak s medijatorom

Elektroni se mogu prenijeti na anodu posrednicima elektrona ili šatlovima, izravnim prijenosom elektrona povezanim s membranom, ili takozvanim nanožicama koje proizvode bakterije. Kemijski medijatori, kao što su neutralno crveno ili antrakinon-2,6-disulfonat, mogu se dodati u sustav kako bi se omogućilo proizvodnju električne energije od bakterija koje nisu u stanju inače koristiti elektrodu (Rabaey i sur., 2004.). Delaney i sur., 2008. proveli su razne kombinacije mikroorganizama i medijatora kako bi se identificirale one koje su najučinkovitije u mikrobnim električnim člancima. Njihovi rezultati su pokazali da niz kombinacija djeluje zadovoljavajuće, te da bakterija *Proteus vulgaris* u kombinaciji s nekoliko medijatora ima posebno djelovanje. Međutim, iako se pokazalo da je tionin vrlo učinkovit medijator, njegova je korisnost ograničena jer nije dovoljno stabilna za dugotrajnu upotrebu. Rezultati su pokazali i da je većina mikrobnih stanica elektrokemijski neaktivna, te je prijenos elektrona iz mikrobnih stanica na elektrodu olakšan medijatorima kao što su tionin, metil viologen, metil plavo, humusna kiselina i neutralno crveno. Negativno je to što je većina dostupnih medijatora skupa i toksična.

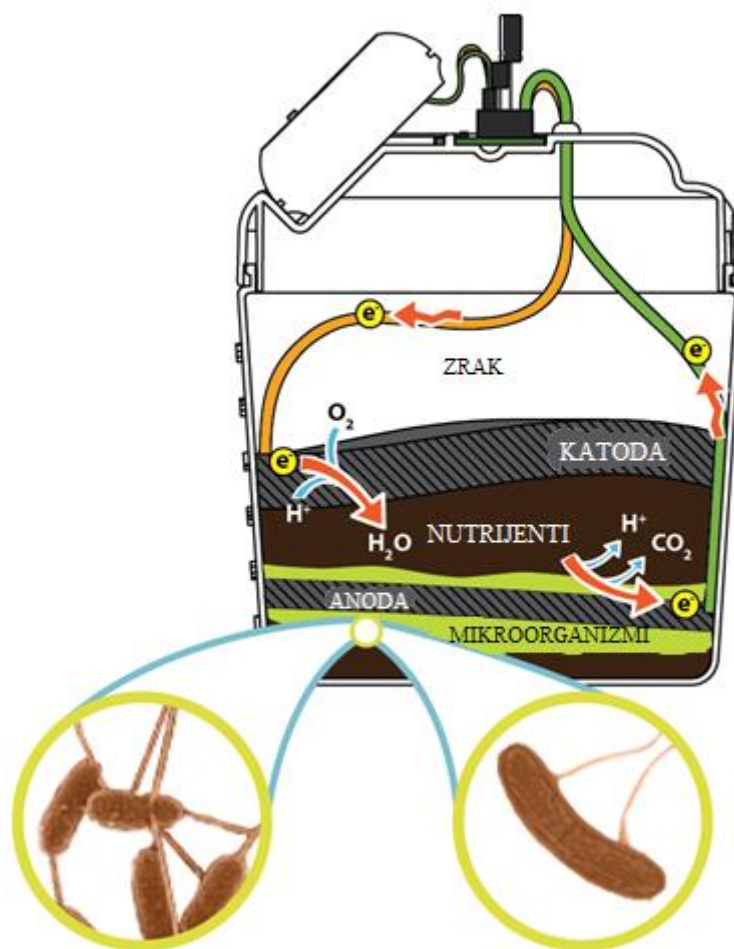
#### 3.2. Mikrobni električni članak bez medijatora

Mikrobni električni članci bez posrednika koriste elektrokemijski aktivne bakterije za prijenos elektrona na elektrodu (elektroni se prenose izravno iz bakterijskog respiratornog enzima na elektrodu). Među elektrokemijski aktivnim bakterijama su *Shewanella putrefaciens*, *Aeromonas hydrophila* i druge. Neke bakterije mogu prenijeti svoje proizvedene elektrone pomoću pila koji se nalaze na vanjskim membranama. MFC-ovi bez posrednika su manje dobro karakterizirani tip ionsko izmjenjivačke membrane, kao što je soj bakterija koji se koristi

u nekom sustavu. Mikrobni električni članci bez posrednika mogu raditi u pročišćavanju otpadnih voda (Kim i sur., 1999.).

### 3.3 Mikrobni električni članak na bazi tla

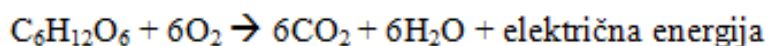
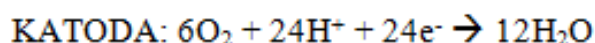
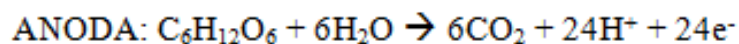
Mikrobni električni članci na bazi tla imaju iste osnovne principe MFC-a, pri čemu tlo djeluje kao medij bogat hranjivim tvarima, inokulum i membrana za izmjenu protona. Anoda se nalazi na određenoj dubini u tlu, dok katoda leži na vrhu tla i izložena je zraku. Tlo prirodno obiluje raznim mikroorganizmima, uključujući egzoelektrogenske bakterije potrebne za MFC-ove, i puno je složenih šećera i drugih hranjivih tvari koje su se nakupile iz propadanja biljnog i životinjskog materijala. Štoviše, aerobni mikrobi koji su prisutni u tlu djeluju kao kisikov filter, slično skupim PEM materijalima koji se koriste u laboratorijskim MFC sustavima, koji uzrokuju smanjenje redoks potencijala tla s većom dubinom (Imologie i sur., 2017.).



Slika 4. Mikrobni električni članak na bazi tla.  
(preuzeto i prilagođeno prema Imologie i sur., 2017.)

## 4. NASTANAK STRUJE U MIKROBNOM ELEKTRIČNOM ČLANKU

Kada mikroorganizmi konzumiraju tvar kao što je šećer u aerobnim uvjetima, oni proizvode ugljikov dioksid i vodu. Međutim, kada kisik nije prisutan, oni proizvode ugljični dioksid, protone i elektrone (Slika 5.) (Lal, 2013.).



Slika 5. Reakcije u mikrobnom električnom članku.

(preuzeto i prilagođeno prema Lal, 2013.)

### 4.1. Prijenos elektrona na anodu

Mikrobni električni članci koriste anorganske i organske medijatore kako bi ušli u lanac prijenosa elektrona stanica. Medijator prolazi kroz izvanstanične lipidne membrane i bakterijsku vanjsku membranu; tada počinje oslobađanje elektrona iz prijenosnog lanca elektrona koji bi inače bili različitim nosačima. Tada reducirani medijator izlazi iz stanice opterećene elektronima koja prelazi na elektrodu odnosno anodu. Oslobađanje elektrona reciklira medijator u njegovo izvorno oksidirano stanje, spremno za ponavljanje postupka. To se može dogoditi samo u anaerobnim uvjetima; ako je kisik prisutan, prikupit će elektrone jer ima veću elektronegativnost. U MFC, anoda je terminalni akceptor elektrona prepoznata od strane bakterija u anodnoj komori. Stoga je mikrobna aktivnost jako ovisna o redoks potencijalu anode. Kako bi se ova struja pretvorila u korisnu električnu energiju, egzoelektrogeni se moraju smjestiti u električni članak. Medijator i mikroorganizam, kao što je kvasac, pomiješani su zajedno u otopini kojoj je dodan supstrat kao što je glukoza. Ova smjesa se stavlja u zatvorenu komoru kako bi se zaustavio ulazak kisika, što prisiljava mikroorganizam na anaerobno disanje. Elektroda se stavlja u otopinu da djeluje kao anoda (Bennetto i sur., 1983.).

## **4.2. Prijenos elektrona na katodu**

U drugoj komori MFC-a nalazi se pozitivno nabijena katoda. To je ekvivalent sakupljača kisika na kraju transportnog lanca elektrona, izvan stanice. Otopina je oksidacijsko sredstvo koje pokupi elektrone na katodi. Kao i kod lanca elektrona u stanici kvasca, to može biti mnoštvo molekula kao što je kisik, iako je prikladnija opcija kruti oksidirajući agens, koji zahtijeva manje volumena (Bennetto, 1990.).

## **4.3. Prijenos elektrona unutar strujnog kruga**

Žica ili neki drugi električki vodljivi put spaja dvije elektrode. Dovršavanje kruga i spajanje dviju komora je solni most ili membrana za ionsku izmjenu. Ovo posljednje obilježje omogućuje produkciju protona, kao što je opisano u slici 5., da prođe od anodne komore do katodne komore. Reducirani medijator prenosi elektrone iz stanice na elektrodu. Ovdje se medijator oksidira dok elektrone prebacuje na elektrodu. Oni zatim prolaze preko žice na drugu elektrodu, koja djeluje kao sakupljač elektrona. Odavde prelaze na oksidirajući materijal. Također, protoni koji nastaju u anodnom odjeljku oksidacijom organskog supstrata se premještaju od anode do katode preko protonske izmjenjivačke membrane kao što je sulfonirani tetrafluoroetilen. Prijeći će iz većeg gradijenta koncentracije u anodi u niži u katodi. Tada se kombinira s kisikom, ali da bi se to dogodilo, potreban je elektron i nastaje voda kao produkt (Bennetto, 1990.).

# **5. UPOTREBA MIKROBNOG ELEKTRIČNOG ČLANKA**

Glavne primjene MFC-a razvile su se posljednjih desetljeća te se razvrstavaju u sljedeće oblike:

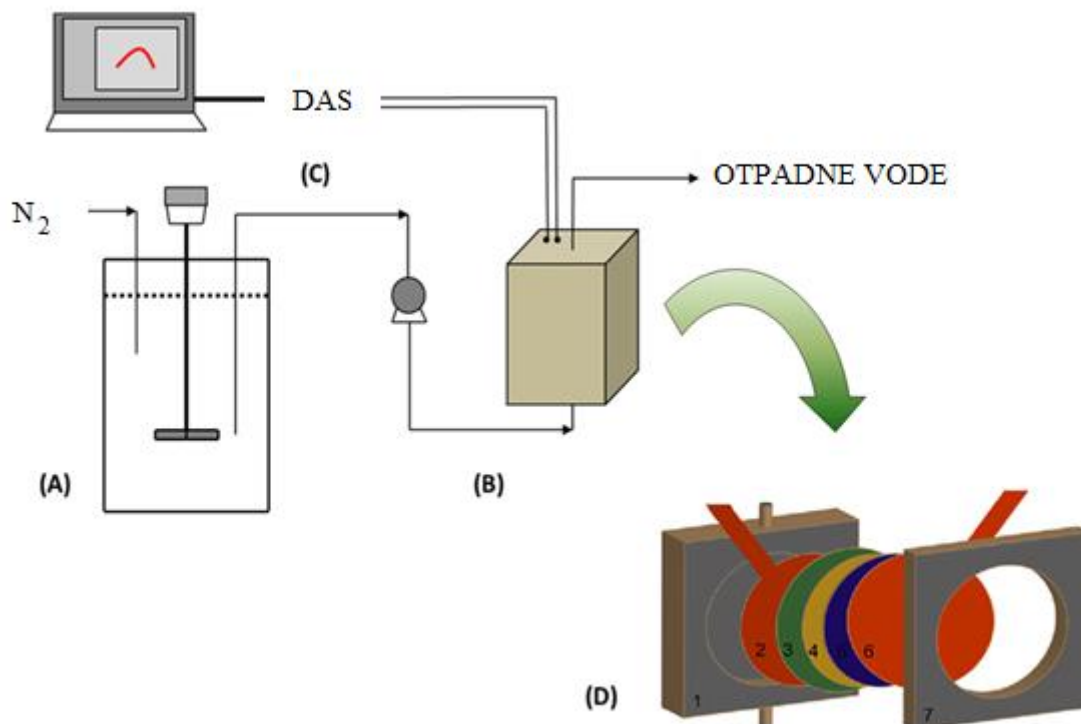
## **5.1. Tretiranje otpadnih voda**

Otpad se generira u mnogim oblicima iz različitih izvora na razini industrijske proizvodnje i prisutan je u tekućim, plinovitim i krutim oblicima. Među najčešćim vrstama otpada, kućne otpadne vode imaju značajan i negativan utjecaj na okoliš. Otpadna voda sadrži fizičke, kemijske i biološke sastojke koji uzrokuju različite probleme za ljude kao i za prihvatna okruženja. Otpadne vode sadrže sastojke koji potiču rast mikroorganizama (kontaminacija patogenom) kontaminirajući slatkovodne izvore. Patogeni ispuštaju emisije u okoliš kao što su

staklenički plinovi. Emije stakleničkih plinova uzrokuju ekološke neuravnoteženosti kroz eutrofikaciju i hipoksiju (Scott i sur., 2016.). Razni znanstvenici su koristili MFC te su došli do mnogih spoznaja; MFC uklanja dušične i organske tvari iz procjednih voda, specifičnim metodama uklanja i sulfide. MFC se koriste u obradi vode za prikupljanje energije koristeći anaerobnu digestiju. Proces također može smanjiti patogene (Rahimnejad i sur., 2015.).

## **5.2. Biosenzori**

Biosenzor je analitički uređaj koji se koristi za detekciju kemijske tvari koja kombinira biološku komponentu s fizikalno-kemijskim detektorom (Turner i sur., 1987.). Struja generirana iz mikrobnog električnog članka izravno je proporcionalna energetskom sadržaju otpadne vode koja se koristi kao gorivo. MFC-ovi mogu mjeriti koncentraciju otopljenih tvari u otpadnoj vodi to jest mogu djelovati kao biosenzor. Otpadne vode se uobičajeno procjenjuju prema vrijednostima biokemijske potrošnje kisika (BOD). BOD vrijednosti se određuju inkubiranjem uzoraka tijekom 5 dana s odgovarajućim izvorom mikroba, obično aktivnog mulja prikupljenog iz postrojenja za otpadne vode. MFC-tip BOD senzora može dati BOD vrijednosti u stvarnom vremenu. Kisik i nitrati su poželjni akceptori elektrona preko elektrode, smanjujući stvaranje struje iz MFC-a. MFC BOD senzori podcjenjuju BOD vrijednosti u prisutnosti tih akceptora elektrona. To se može izbjeći inhibicijom aerobnog i nitratnog disanja u MFC-u koristeći terminalne inhibitore oksidaze kao što su cijanid i azid. Takvi BOD senzori su komercijalno dostupni.



Slika 6. Shematski prikaz MFC BOD senzora. (A) spremnik pod utjecajem; (B) mikrobnii električni članci; (C) sustav za prikupljanje podataka i računala (DAS); (D) pojedivosti o MFC konfiguraciji - 1: tijelo MFC; 2: ugljenična anodna tkanina sa sakupljačem struje; 3: nafionska membrana; 4: sloj katalizatora; 5: osnovni sloj ugljika; 6: tkanina s katodnim ugljikom sa sakupljačem struje; 7: okvir katode.

(preuzeto i prilagođeno prema Kharkwal i sur., 2017.)

## **6. ZAKLJUČAK**

Mikrobni električni članak idealni je sustav koji istovremeno može stvarati struju i pročišćavati okoliš ili zagađenu vodu upotrebom različitih supstrata. MFC je pravo rješenje za današnji svijet u kojem se cijene obnovljivi izvori energije koji ne narušavaju okoliš. Iako je broj radova i znanstvenika porastao na temu mikrobnog električnog članka, potrebno je još istraživanja tog područja kako bi se omogućila šira primjena ovog izuma koji će osigurati manje zagađenje okoliša.

## 7. LITERATURA

Allen, R.M.; Bennetto, H.P. (1993). "Microbial fuel cells: Electricity production from carbohydrates". *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 39–40: 27–40.

Bennetto, H. Peter; Stirling, John L; Tanaka, Kazuko; Vega, Carmen A (1983). "Anodic reactions in microbial fuel cells". *Biotechnology and Bioengineering*. 25 (2): 559–68.

*Bennetto, H. P. (1990). Electricity Generation by Micro-organisms. Biotechnology Education. 1 (4): 163–168.*

Delaney, G. M.; Bennetto, H. P.; Mason, J. R.; Roller, S. D.; Stirling, J. L.; Thurston, C. F. (2008). "Electron-transfer coupling in microbial fuel cells. 2. Performance of fuel cells containing selected microorganism-mediator-substrate combinations". *Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Biotechnology*. **34**: 13–27.

Imologie, Simeon. (2017). Performance of a Single Chamber Soil Microbial Fuel Cell at Varied External Resistances for Electric Power Generation. *Journal of Renewable Energy and Environment*. 3. 53-58.

Kharkwal, Shailesh & Chao Tan, Yi & Lu, Min & Ng, How. (2017). Development and Long-Term Stability of a Novel Microbial Fuel Cell BOD Sensor with MnO<sub>2</sub> Catalyst. *International Journal of Molecular Sciences*. 18. 276. 10.3390/ijms18020276.

Kim, B.H.; Kim, H.J.; Hyun, M.S.; Park, D.H. (1999). "Direct electrode reaction of Fe (III) reducing bacterium, *Shewanella putrefaciens*". *J Microbiol Biotechnol*. **9**: 127–131

Lal D. Microbes to generate electricity. *Indian J Microbiol*. (2013.);53(1):120–122.

Lu, Z.; Chang, D.; Ma, J.; Huang, G.; Cai, L.; Zhang, L. (2015). "Behavior of metal ions in bioelectrochemical systems: A review". *Journal of Power Sources*. **275**: 243–260.

Lu, N., Zhou, S.-G., Zhuang, L., Zhnag, J.-T., Ni, J.-R., (2009). Electricity generation from starch processing wastewater using microbial fuel cell technology. *Biochem. Eng. J*. 43, 246–251.

Pant, D., et al. A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresour. Technol*. (2009), doi:10.1016/j.biortech.2009.10.017

Pant, D.; Van Bogaert, G.; Diels, L.; Vanbroekhoven, K. (2010). "A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production". *Bioresource Technology*. **101** (6): 1533–43.



Rabaey, K.; Boon, N.; Siciliano, S. D.; Verhaege, M.; Verstraete, W. Biofuel cells select for microbial consortia that self-mediate electron transfer. *Appl. Environ. Microbiol.* 2004, 70, 5373- 5382.

Rabaey, K., Rodríguez, J., Blackall, L.L., Keller, J., Gross, P., Batstone, D., Verstraete, W., Nealon, K.H., (2007). Microbial ecology meets electrochemistry: electricitydriven and driving communities. *ISME J.* 1, 9–18.

Rahimnejad, M., Adhami, A., Darvari, S., Zirepour, A., Oh, S. (2015): Microbial fuel cell as new tehnology for bioelectricity generation: A review. Faculty of Engineering, Alexandria University, 22 El-Guish Road, El-Shatby, Alexandria.

Scott, K., Hao Yu, E. (2016.) An introduction to microbial fuel cells. U: Microbial Electrochemical and Fuel Cells. Fundamentals and Applications. Keith Scott, Eileen Hao Yu, Woodhead Publishing.

Turner, Anthony; Wilson, George; Kaube, Isao (1987). Biosensors:Fundamentals and Applications. Oxford, UK: Oxford University Press. str. 770.

Wolińska, A., Stępniewska, Z., Bielecka, A., Ciepielski, J. (2014): Bioelectricity Production from Soil Using Microbial Fuel Cells. Department of Biochemistry and Environmental Chemistry, Institute of Biotechnology, The John Paul II Catholic University of Lublin, Konstantynów 1 I, 20-708 Lublin, Poland.