

The International
Year of the
Periodic Table

2019
IYPT



56. savetovanje
Srpskog hemijskog društva

KNJIGA RADOVA

56th Meeting of
the Serbian Chemical Society

PROCEEDINGS

Niš 7. i 8. juni 2019.
Niš, Serbia, June 7-8, 2019



Srpsko hemijsko društvo



**56. SAVETOVANJE
SRPSKOG HEMIJSKOG
DRUŠTVA**

**KNJIGA
RADOVA**

**56th MEETING OF
THE SERBIAN CHEMICAL SOCIETY**

Proceedings

Niš 7. i 8. juni 2019.
Niš, Serbia, June 7-8, 2019

54(082)(0.034.2)
577.1(082)(0.034.2)
66(082)(0.034.2)
66.017/.018(082)(0.034.2)
502/504(082)(0.034.2)

СРПСКО хемијско друштво. Саветовање (56 ; 2019 ; Ниш)

Knjiga radova [Elektronski izvor] = Proceedings / 56. savetovanje Srpskog hemijskog društva, Niš, 7. i 8. juni 2019. = 56th Meeting of the Serbian Chemical Society, Niš, Serbia, June 7-8, 2019 ; [urednici, editors Dušan Sladić, Niko Radulović, Aleksandar Dekanski]. - Beograd : Srpsko hemijsko društvo = Serbian Chemical Society, 2019 (Beograd : Razvojno-istraživački centar grafičkog inženjerstva TMF). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemski zahtevi: Nisu navedeni. - Dostupno i na: www.shd.org.rs/56shd.pdf. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Tekst cir. i lat. - Tiraž 6. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts ; Apstrakti. - Registar.

ISBN 978-86-7132-074-0

a) Хемија -- Зборници б) Биохемија -- Зборници в) Технологија -- Зборници г) Наука о материјалима -- Зборници д) Животна средина -- Зборници

COBISS.SR-ID 276611852

56. SAVETOVANJE SRPSKOG HEMIJSKOG DRUŠTVA

Niš, 7. i 8. juni 2019.

KNJIGA RADOVA

56th MEETING OF THE SERBIAN CHEMICAL SOCIETY

Niši Sad, Serbia, June 7-8, 2019

PROCEEDINGS

Izdaje / Published by

Srpsko hemijsko društvo / Serbian Chemical Society

Karnegijeva 4/III, 11000 Beograd, Srbija

tel./fax: +381 11 3370 467; www.shd.org.rs, E-mail: Office@shd.org.rs

Za izdavača / For Publisher

Vesna Mišković STANKOVIĆ, predsednik Društva

Urednici / Editors

Dušan SLADIĆ

Niko RADULOVIĆ

Aleksandar DEKANSKI

Dizajn korica, slog i kompjuterska obrada teksta

Cover Design, Page Making and Computer Layout

Aleksandar DEKANSKI

OnLine publikacija / OnLine publication

www.shd.org.rs/56shd.pdf

ISBN 978-86-7132-074-0

Naučni Odbor
Scientific Committee

Dušan Sladić, predsednik/chair
Vesna Mišković-Stanković
Niko Radulović
Gordana Stojanović
Snežana Tošić
Aleksandra Pavlović
Aleksandra Zarubica
Tatjana Anđelković
Miloš Đuran
Ljiljana Jovanović
Marija Sakač
Janoš Čanadi
Velimir Popsavin
Mirjana Popsavin
Katarina Anđelković
Dragica Trivić
Maja Gruden Pavlović
Tanja Ćirković Veličković
Maja Radetić



Organizacioni Odbor
Organising Committee

Niko Radulović, predsednik/chair
Aleksandar Dekanski
Danijela Kostić
Dragan Đorđević
Emilija Pecev Marinković
Marija Genčić
Ana Miltojević
Milan Stojković
Milan Nešić
Milica Nikolić
Marko Mladenović
Dragan Zlatković
Miljana Đorđević
Milena Živković
Sonja Filipović
Milica Stevanović
Jelena Aksi



Savetovanje podržalo / Supported by



Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia

*Ova knjiga sadrži **20 radova**
(obima od najmanje četiri stranice)
pojedinih saopštenja prezentovanih na
56. savetovanju Srpskog hemijskog društva.*

*This book contains **20 Proceedings**
of some of the contributions presented at
the 56th Meeting of the Serbian Chemical Society.*

Mikrobna gorivna ćelija – hemijska i mikrobiološka karakterizacija sedimenta

Kristina Joksimović, Ana Nikolov*, Aleksandra Žerađanin**, Nikoleta Lugonja**,
Danijela Randelović**, Gordana Gojgić-Cvijović**, Vladimir Beškoski*
Inovacioni centar Hemijskog fakulteta, Univerzitet u Beogradu,
**Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu, mogu*
***Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Univerzitet u Beogradu*

Uvod

Tokom poslednjih decenija potrošnja energije u svetu beleži veliki rast i u najvećoj meri to obuhvata energiju dobijenu iz neobnovljivih izvora, pre svega nuklearnu i fosilnu energiju. Konstantna potrošnja fosilnih goriva za posledicu ima energetske krize i zagađenje okoline. Njihova preterana upotreba i potrošnja energije dovode do zagađenja životne sredine, pojave efekta staklene bašte i klimatskih promena. Negativan uticaj fosilnih goriva na prirodu je neminovan usled velike emisije ugljen-dioksida i doprinosa globalnom zagrevanju i opštem zagađenju atmosfere¹. Da bi se obezbedila dovoljna količine energije i smanjio efekat staklene bašte, kao i emisija štetnih gasova, razvijaju se procesi za dobijanje energije koji su prihvatljivi sa ekonomskih i ekoloških aspekata i koji podrazumevaju upotrebu obnovljivih izvora energije. Potraga za boljim rešenjima energetske krize dovela je do okretanja ka obnovljivim izvorima poput sunčeve energije i energije dobijene radom vetra i vode. Ubrzo se kao jedan od alternativnih izvora energije pojavljuju gorivne ćelije kojima se generiše energija korišćenjem metala kao katalizatora, a koje pružaju mnogo prednosti od kojih su značajni izostanak emisije štetnih gasova (poput SO_x, NO_x, CO₂ i CO) i veća efikasnost. Za razliku od toga, visoka cena i činjenica da se generiše velika količina bakterijske mase su jedine mane ovih novih izvora energije². Produkciju električne energije od strane bakterija je prvi put primetio Potter 1911³. godine i to proučavanjem soja *Escherichia coli* upotrebom platinske elektrode. Iskorišćavanjem ove osobine napravljen je tip gorivnih ćelija koje su probudile interesovanje svojim velikim potencijalom, a nazivaju se mikrobne gorivne ćelije (microbial fuel cells – MFC). Iako je koncept MFC poznat više od jednog veka, još uvek je u fazi istraživanja i označava se kao tehnologija u nastajanju³. MFC su vrsta bioloških gorivnih ćelija, sistema koji konvertuju hemijsku energiju u električnu pomoću mikroorganizama. Postoji više načina konstrukcije i među njima se nalaze jednokomorne, dvokomorne i složene MFC^{3,4}. Takođe, mikroorganizmi i supstrati koji se koriste u MFC, koje ti mikroorganizmi obrađuju u hemijskim procesima, mogu da budu različitog porekla i da imaju različite karakteristike. MFC su dobri alternativni izvori energije koji svoju potencijalnu primenu nalaze u industriji biosenzora, sistemima za proizvodnju vodonika ili električne energije i postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda. U ovom radu dat je opis sedimenta korišćenog u sistemu jednokomorne MFC. Upotrebljeni sediment iz prirode je predstavljao izvor mikroorganizama i supstrata za njihov rast⁵.

Metode

Materijal od koga je konstruisan jednokomorni sistem MFC se sastojao od bioloških i mehaničkih delova. Izvor mikroorganizama i supstrata predstavljao je sediment koji je uzorkovan na ušću reke Save u Dunav. Elektrode između kojih se nalazio sediment izrađene su od mrežastog inoksa sa kontaktima od inoks folije koja je izolovana oblaganjem termoskupljajućim bužirom, slika 1.



Slika 1. Izgled formirane MFC, sediment između dve inoks elektrode.

Uzorak sedimenta je okarakterisan mikrobiološkim metodama, određen je broj različitih grupa mikroorganizama i to: hemoorganoheterotrofnih aerobnih i fakultativno anaerobnih bakterija (HA) na hranljivom agaru (pepton 1,15 g; mesni ekstrakt, 3,0 g; natrijum hlorid, 5,0 g; dikalijum hidrogenfosfat, 0,3 g; agar, 18,0 g; destilovana voda, 1 L)⁶; kvasaca i spora plesni (KIP) na sladnom agaru (pepton, 5,0 g; sladni ekstrakt, 30,0 g; agar, 15,0 g i destilovana voda, 1L)⁶; ukupnih anaerobnih mezofilnih hemoorganoheterotrofnih bakterija (ANA) (hranljivi agar sa dodatkom 0,5 % glukoze)⁷; mikroorganizama koji imaju sposobnost da kao izvor ugljenika koriste dizel (UG)(amonijum nitrat, 1,0 g; dikalijum fosfat, 0,25 g; ekstrakt zemlje, 50,0 mL; agar, 16,0 g; destilovana voda, 1 L) sa dodatkom 2 g/L dizela kao izvorom ugljovodonika⁸; sulfato-redukujućih termofilnih anaerobnih bakterija (SRB) - sulfitni agar (kazein hidrolizat, 10,0 g; natrijum-sulfit, 0,5 g; gvoždje(III)-citrat, 0,5 g; agar, 15,0 g i destilovana voda, 1 L)⁹. Pre zasejavanja na sulfitni agar, uzorak sedimenta je inkubiran na 80 °C, 15 minuta.

Pored mikrobioloških parametara određene su i sledeće hemijske karakteristike: sadržaj vlage na 105°C do konstantne mase, sadržaj pepela suvim spaljivanjem na 550°C i 800°C. Sadržaj organske supstance je određen na automatskom analizatoru (Vario EL III, CHNS/O, Elementar, Hanau, Germany). Sadržaj karbonata je određivan volumetrijski.

Rezultati i diskusija

Nakon inkubacije od 24 h (bakterija) i 48 h (kvasci i spore plesni) određen je broj mikroorganizama i prikazan u tabeli 1.

Iz dobijenih rezultata može se zaključiti da u uzorku sedimenta ima najviše hemoorganoheterotrofnih aerobnih i fakultativno anaerobnih bakterija, dok najmanje ima kvasaca i plesni. Interesantno je i prisustvo mikroorganizama koji razgrađuju ugljovodonike. Mikroorganizmi koji rastu na sulfitnom agaru su od posebnog značaja. Oni su zastupljeni u anodnom delu, a upravo u tom segmentu dolazi do transfera elektrona na anodu, što obezbeđuje stvaranje razlike potencijala između anodnog i katodnog dela i generisanja struje¹⁰.

Rezultati hemijskih analiza su prikazani u tabeli 2. Procenat vlage u sedimentu (33,5 %) je optimalan za rast i razvoj mikroorganizama. Istovremeno je prisutna organska supstanca (oko 8 %) koja je neophodna kao izvor nutrijenata za prisutne mikroorganizme¹¹.

Sadržaj karbonata i organske supstance obezbeđuje bolju teksturu i permeabilnost zemljišta, što olakšava kretanje protona kroz sediment¹². Za isti uzorak određen je

elementarni sastav. Ukupnog organskog ugljenika u uzorku sedimenta ima 2,98 %, pošto 0,6 % potiče od prethodno određenog neorganskog izvora ugljenika.

Tabela 1. Mikrobiološke karakteristike sedimenta mikrobne gorivne ćelije.

Grupa mikroorganizama	Broj mikroorganizama, CFU*/g
Hemoorganoheterotrofne aerobne i fakultativno anaerobne bakterije	2,40×10 ⁵
Kvasci i spore plesni	7,90×10 ³
Ukupne anaerobne mezofilne hemoorganoheterotrofne bakterije	2,40×10 ⁴
Mikroorganizama koji imaju sposobnost da kao izvor ugljenika koriste dizel	7,10×10 ⁴
Sulfato-redukujuće termofilne anaerobne bakterije	6,47×10 ⁴

*CFU-colony forming units

Tabela 2. Hemijske karakteristike sedimenta mikrobne gorivne ćelije.

Sadržaj suve supstance, % (na 105 °C)	Sadržaj pepela, %		Sadržaj karbonata, %	Sastav sedimenta, %			
	na 550 °C	na 800 °C		C	N	H	S
66,5	93,7	92,1	4,99	3,58	0,12	0,445	0,1

Zaključak

Sediment korišćen za formiranje mikrobne gorivne ćelije je okarakterisan pomoću mikrobioloških, hemijskih i analitičkih parametara. Mikrobiološke analize sedimenta ukazuju na prisustvo različitih grupa, od kojih su najznačajniji anaerobni mikroorganizmi, prisutni u hranljivom agaru sa glukozom, kao i na sulfitnom agaru. Prisustvo ovih bakterija ukazuje da u anodnom delu može doći do transfera elektrona, koji su aktivni tokom procesa anaerobne respiracije, što doprinosi radu MFC sistema. Hemijski parametri ukazuju da je prisutna organska supstanca u sedimentu, što predstavlja izvor dostupne hrane za mikroorganizme.

Zahvalnica: Ovaj rad je finansiran u okviru projekata III 43004 i TR 32008, koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja.

Testing microbiological and chemical parameters of the sediment of microbial fuel cell

Over the past decades, energy consumption in the world has been rapidly growing and, to a large extent, encompassing energy derived from non-renewable sources, primarily nuclear and fossil energy. The negative impact of fossil fuels on nature is inevitable due to the large emissions of carbon dioxide and the contribution to global pollution and general pollution. The search for better solutions to energy crises has led to a reverse to renewable sources such as solar, wind and water energy. Recently, fuel cells which generate energy by using metals as catalysts were proposed as one of the alternative sources of energy. They offer many advantages, significant absence of harmful emissions (such as SO_x, NO_x, CO₂ and CO) and higher efficiency. On the other hand, the high price and the fact that a large amount of bacterial mass is generated are the only drawbacks of these new energy sources. The production of electricity by bacteria was first noticed by Potter in 1911 in a study of Escherichia coli strain using a platinum electrode. By using this feature, a novel type of fuel

cell, the microbial fuel cell (MFC), was created which awakened interest, with great potential. Although the concept of MFC has been known for more than a century, it is still in the early stage of research and is driven as an emerging technology. MFC is a type of biological fuel cell, a system that converts chemical energy into electrical power by microorganisms. These systems can be constructed in many ways so that there are one-chamber, two-chamber and complex MFCs. MFCs are good alternative sources of energy offering possibility of application that can be found in the biosensor industry, hydrogen or electricity production systems and wastewater treatment plants. In this paper, characterization of the sediment used in a single chamber MFC is presented.

In order to start MFC-related measurements, it is necessary to characterize the sediment that will be used for the construction of the cell and further work. This implies a certain microbiological and analytical characterization of the sediment. The microbiology of particular sediment comprises of the determination of the number of different groups of microorganisms: total chemoorganoheterotrophic aerobic and optional anaerobic bacteria, yeast and mold, total anaerobic mesophilic chemoorganoheterotrophic bacteria, microorganisms having the ability to use carbon and diesel as sources of carbon and sulphate-reducing thermophilic anaerobic bacteria. In addition to microbiological methods, some of the basic chemical parameters of the sediment are also determined: quantity of dry matter and percentage of moisture, percentage of ash and organic matter. Also, an elemental organic microanalysis was performed, as well as estimation of the percentage of carbonates in the sediment.

From the obtained results it can be concluded that the sediment sample contains mostly chemoorganoheterotrophic aerobic and optional anaerobic bacteria, and only traces of yeast and mold. Interestingly, the presence of microorganisms that break down hydrocarbons, has been found. Microorganisms that grow on sulphite agar are of particular importance. They are populated in the anodic region, and precisely there the transfer of electrons to the anode occurs, which ensures the creation of a potential difference between the anode and the cathode and the generation of current.

The obtained results for moisture, dry and organic substance in the sediment show that it is an optimal environment for the growth and development of microorganisms. At the same time, chemical parameters indicate that organic matter is present in the sediment, which is the source of available food for the microorganisms.

The sediment used to form the microbial fuel cell was successfully characterized by microbiological and chemical-analytical parameters. Microbiological analyses of sediments indicate the presence of all types of microorganisms, of which the most important are anaerobic microorganisms present in the nutrient agar with glucose, as well as on sulphite agar. The presence of these bacteria indicates that in the anodic region electron transfer can be established within their metabolic pathways, which is essential for the operation of the MFC system.

Literatura

1. A. Faria, L. Gonçalves, J. M. Peixoto, L. Peixoto, A. G. Brito, G. Martins, *J. Cleaner Prod.*, **140** (2017), 971-976. (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.027>)
2. M. Rahimnejad, A. Adhami, S. Darvari, A. Zirepour, S. Oh, *Chem. Eng. J.*, **5** (2015), 745-756. (<https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.03.031>)
3. M.C. Potter, *Proc. Roy. SOC.*, **84** (1911), 260-276. (<https://doi.org/10.1098/rspb.1911.0073>)
4. I. A. Ieropoulos, J. Greenman, C. Melhuish, J. Hart, *Int. J. Adv. Rob. Syst. International.*, **37** (2005), 238-245. (<https://eprints.uwe.ac.uk/5896>)

5. C. Santoro, C. Arbizzani, B. Erable, I. Ieropoulos, *J. Power Sources*, **356** (2017), 225-244. (<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.03.109>)
6. E. B. Logan, *Microbial Fuel Cells*; Published by John Wiley & Sons, New Jersey, 2008, p. 216 (ISBN 978-0-470-23948-3)
7. G. Gojgić-Cvijović, M.M. Vrvic, *Praktikum za mikrobiološku hemiju*, Centar za hemiju, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Beograd, 2003, p. 139. (ISBN 86-81405-15-2)
8. V. P. Beškoski, S. Takemine, T. Nakano, L. Slavković Beškoski, G. Gojgić - Cvijović, M. Ilić, S. Miletić, M. M. Vrvic, *Chemosphere*, **91** (2013), 1408-1415. (<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.12.079>)
9. C. Löser, H. Seidel, A. Zehnsdorf, U. Stottmeister, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **49** (1998), 631–636. (<https://doi.org/10.1007/s002530051225>)
10. P. H. Clarke, *J. Gen. Microbiol.*, **8** (1958), 397-407. (<https://DOI:10.1099/00221287-8-3-397>)
11. A. Angelov, S. Bratkova, A. Loukanov, *Energy Convers. Manage.*, **67** (2013), 283-286. (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.024>)
12. V. P. Beškoski, G. Gojgić-Cvijović, J. Milić, M. Ilić, S. Miletić, B. Jovančičević, M.M.Vrvic, *Hem. Ind.*, **66** (2012), 275-289. (<https://doi.org/10.2298/HEMIND110824084B>)