

KRZYSZTOF W. SZEWCZYK  
ANNA CIEŚLAK  
MARTA BRYK

Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

# Trójkomorowe mikrobiologiczne ogniwo paliwowe

## Wprowadzenie

Mikrobiologiczne ogniwa paliwowe (*Microbial Fuel Cells – MFC*) są to urządzenia przetwarzające energię chemiczną zawartą w substancjach organicznych bezpośrednio w energię elektryczną przy użyciu mikroorganizmów [1]. Proces ten zachodzi tak długo, jak długo dostarczane jest do układu paliwo i utleniacz. Typowe ogniwo składa się z dwóch przedziałów anodowego i katodowego przedzielonych membraną jonowymienną. W przedziale anodowym drobnoustroje utleniają substancje organiczne, zaś powstające elektrony są pośrednio lub bezpośrednio przenoszone na anodę a z niej poprzez obwód zewnętrzny przepływają na katodę. W przedziale katodowym następuje redukcja utleniacza. Powstające w przedziale anodowym protony przepływają do katody przez membranę kationitową.

Wykorzystanie mikrobiologicznych ogniw paliwowych do ciągłego wytwarzania energii związane jest z wymywaniem drobnoustrojów wraz ze strumieniem substratu przepływającym przez przestrzeń anodową. Przeciwdziałać temu można unieruchamiając drobnoustroje na powierzchni anody [2].

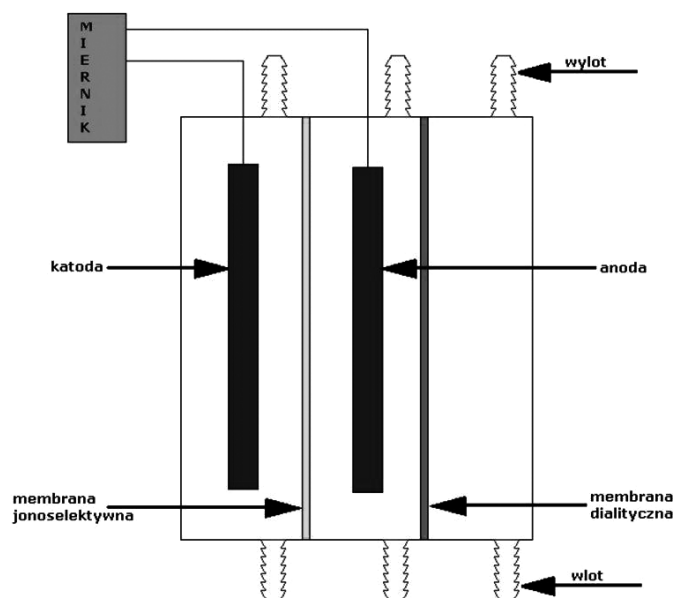
W niniejszej pracy przedstawiono wyniki wstępnych badań ogniwa paliwowego, w którym zastosowano oddzielenie przedziału anodowego, w którym znajdują się drobnoustroje, od strumienia substratu membraną półprzepuszczalną. Taka specyficzna forma unieruchomienia drobnoustrojów w przedziale anodowym przeciwdziała ich wymywaniu.

## Materiały i metody

Na rys. 1 przedstawiono schemat badanego ogniwa paliwowego. Składa się ono z trzech komór oddzielonych membranami. Urządzenie jest prostopadłością, wykonanym z polipropylenu, o wymiarach zewnętrznych: 160×160×60 mm. Objętość robocza przedziału anodowego wynosi 50 cm<sup>3</sup>. Elektrody zostały wykonane z włókniiny węglowej. Anoda ma powierzchnię 56 cm<sup>2</sup> (7×8 cm), a katoda 12 cm<sup>2</sup> (1,5×8 cm). Anoda i katoda połączone są z zewnętrznym obwodem za pomocą prętów węglowych. Pomiędzy komorą katodową i anodową umieszczono membranę kationowymienną *Ionac MC-3470* (*Sybron Chemicals Inc.*). Przed umieszczeniem w ogniwie, membrana była płukana przez pół godziny w 10% kwasie solnym. Komora anodowa jest oddzielona od komory, w której znajduje się pożywka, membraną mikrofiltracyjną wykonaną z polipropylenu o średnicy porów 0,2 μm. Membrana była zanurzona w alkoholu izopropylowym przez dwie godziny przed umieszczeniem w ogniwie. Wyznaczona doświadczalnie stała dialityczna membrany dla transportu glukozy wynosiła 0,403 ± 0,027 m/s.

Do przestrzeni anodowej wprowadzono mikroorganizmy z osadu czynnego. Wykorzystano beztlenowy osad hodowany w warunkach laboratoryjnych przez ok. 2 miesiące.

Jako pożywkę stosowano wodny roztwór zawierający glukozę 10 g/dm<sup>3</sup>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0,25 g/dm<sup>3</sup>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0,25 g/dm<sup>3</sup>, NH<sub>4</sub>Cl 0,5 g/dm<sup>3</sup> oraz NaHCO<sub>3</sub> 4,7 g/dm<sup>3</sup>. Rolę katolitu spełniał roztwór o składzie: K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> 2,46 g/dm<sup>3</sup>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 2,04 g/dm<sup>3</sup>, którego pH było ustawiane na 7 poprzez dodatek 20% roztworu NaOH. Pożywka jak i roztwór katolitu były okresowo wymieniane.

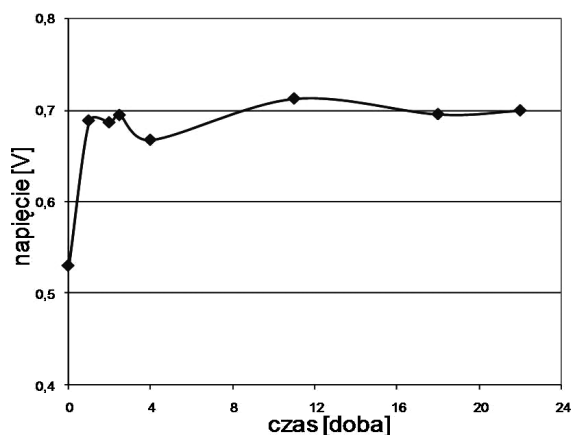


Rys. 1. Schemat trójkomorowego mikrobiologicznego ogniwa paliwowego

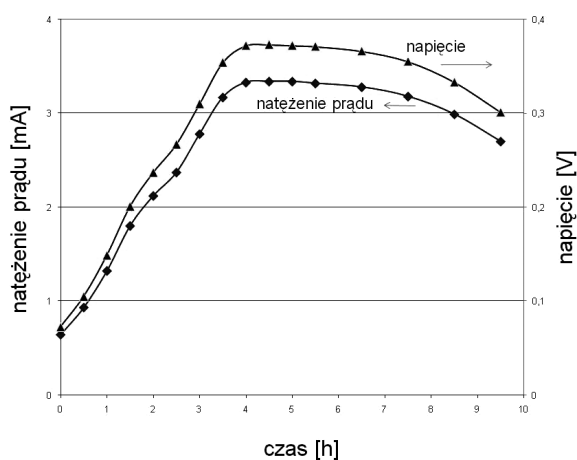
## Wyniki i dyskusja

Na rys. 2 przedstawiono zmiany napięcia w obwodzie otwartym w czasie, po wprowadzeniu osadu beztlenowego do ogniwa. Po początkowym okresie adaptacji uzyskano napięcie ok. 0,7 V, które utrzymywało się na niezmiennym poziomie przez ponad trzy tygodnie.

Ogniwo zasilano pożywką o różnym stężeniu glukozy: od 4 do 10 g/dm<sup>3</sup>. Zmieniano także stężenie katolitu (2,46 g/dm<sup>3</sup> i 5,0 g/dm<sup>3</sup> K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>). Stwierdzono, że napięcie uzyskiwane w ogniwie nie zależy od stężenia glukozy w pożywce oraz stężenia katolitu w badanym zakresie stężeń. Świadczy to o tym, że etapem decydującym o wytwarzaniu energii elektrycznej są przemiany mikrobiologiczne. Szybkość przenikania glukozy przez membranę do przestrzeni anodowej uwidoczniła się jedynie w stanach nieustalonych. Na rys. 3 przedstawiono zmiany napięcia i natężenia prądu wytwarzanego w ogniwie obciążonym zewnętrznym oporem 100 Ω po dodaniu świeżej porcji pożywki. W początkowym okresie, w wyniku przenikania glukozy do komory anodowej następuje wzrost zarówno natężenia przepływu prądu jak i wytwarzanej różnicy poten-



Rys. 2. Zależność napięcia otwartego obwodu od czasu trwania hodowli



Rys. 3. Zmiany natężenia prądu i napięcia dla ogniwa obciążonego, po doprowadzeniu świeżej pożywki

cjałów. Jest to związane ze wzrostem aktywności drobno-ustrojów wraz ze zwiększaniem się stężenia glukozy w przestrzeni anodowej. Następnie obserwuje się stabilizację mocy wytwarzanej w ogniwie, aż do wyczerpania pożywki.

Maksymalna moc ogniwa wyniosła 1,26 mW. Gęstość wytwarzania energii na jednostkę objętości komory anodowej wyniosła 25,2 W/m<sup>3</sup>. Mniejszą wartość (5 W/m<sup>3</sup>) uzyskali Kim i in. [3] w ogniwie rurowym, w którym anoda wykonana z węgla aktywowanego umieszczona była centralnie. Z kolei Li i in. [4] zbudowali ogniwo rurowe z anodą wykonaną z włókniiny węglowej stanowiącą zewnętrzną powierzchnię cylindra, w którym uzyskali gęstość mocy 18,2 W/m<sup>3</sup>. Dane literaturowe dla innych konstrukcji mikrobiologicznych ogniwo-

wych wskazują na dużą zmienność gęstości wytwarzanej mocy od 0,2 do 115 W/m<sup>3</sup> [5]. Gęstość objętościowa wytworzenia energii w ogniwie zależy nie tylko od konstrukcji urządzenia, ale także od materiału z jakiego wykonano elektrody. W badanym ogniwie gęstość mocy na jednostkę powierzchni anody wyniosła 222 mW/m<sup>2</sup>. Jest to wielkość nieco większa niż zwykle uzyskiwana dla mikrobiologicznych ogniwo paliwowych z niemodyfikowanymi elektrodami węglowymi [6, 7]. Logan i in. [8] zastosowali elektrody wykonane z cienkich włókien węglowych o powierzchni właściwej 9600 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> i uzyskali gęstość energii 2 400 mW/m<sup>2</sup>, zatem dziesięć razy większą niż w badanym ogniwie. Jednak gęstość objętościowa wytwarzania energii wyniosła 73 W/m<sup>3</sup>, była zatem jedynie trzy razy większa od uzyskanej w niniejszej pracy. Z kolei, dzięki chemicznej modyfikacji powierzchni elektrod węglowych Chen i Logan [9] uzyskali gęstość wytwarzania energii 1970 mW/m<sup>2</sup>.

Mikrobiologiczne ogniwa paliwowe są nadal w stadium badań laboratoryjnych. Przytoczone dane wskazują, że dzięki interdyscyplinarnemu ujęciu obejmującemu zarówno inżynierię materiałową, elektrochemię i inżynierię bioreaktorów możliwy jest dalszy wzrost efektywności i mocy tych urządzeń.

### Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdziły efektywność zaproponowanego rozwiązania konstrukcyjnego. Stwierdzono, że beztlenowe bakterie z osadu czynnego są zdolne do produkowania energii elektrycznej wykorzystując jako substrat cukry proste. W ogniwie uzyskano różnicę potencjałów o wartości do 760 mV. Napięcie to utrzymywało się na stałym poziomie. Gęstość wytwarzania energii w odniesieniu do objętości komory anodowej wyniosła 25,2 W/m<sup>3</sup>.

### LITERATURA

1. K.W. Szczyk: „Na Pograniczu Chemii i Biologii” tom XV, Poznań, Wydawnictwo Naukowe UAM, 2006.
2. D.R. Lovley: Curr. Opin. Biotech. **19**, nr 6, 564, (2008).
3. J.R. Kim, G.C. Premier, F.R. Hawkes, R.M. Dinsdale, A.Guwy: J. Power Sources **187**, nr 2, 393 (2009).
4. Z. Li, X. Zhang, Y. Zeng, L. Lei: Bioresource Technol. **100**, nr 9, 2551 (2009).
5. T.H. Pham, P. Aelterman, W. Verstraete: Trends Biotechnol. **27**, nr 3, 168 (2009).
6. K. Rabaey, W. Verstraete: Trends Biotechnol. **23**, nr 6, 291 (2005).
7. B.H. Kim, I.S. Chang, G.M. Gadd: Appl. Microbiol. Biotechnol. **76**, nr 3, 485 (2007).
8. B. Logan, S. Cheng, V. Watson, G. Estad: Environ. Sci. Technol. **41**, nr 9, 3341 (2007).
9. S. Cheng, B.E. Logan: Electrochem. Commun. **9**, nr 3, 492 (2007).