

Barbara WŁODARCZYK, Paweł P. WŁODARCZYK

Uniwersytet Opolski, Wydział Przyrodniczo-Techniczny, Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej, ul. R. Dmowskiego 7-9, 45-365 Opole
e-mail: barbara.wlodarczyk@uni.opole.pl, pawel.wlodarczyk@uni.opole.pl

Porównanie skuteczności elektrotleniania w mikrobiologicznym ogniwie paliwowym z katalizatorem stalowym i napowietrzania w oczyszczaniu ścieków

Technologia mikrobiologicznych ogniw paliwowych (MFC - *microbial fuel cell*), pozwalająca na bezpośrednią produkcję energii elektrycznej z surowców biodegradowalnych, może stanowić przyszłość nie tylko wytwarzania energii, ale także technologii oczyszczania ścieków. Istotną cechą tej technologii jest uzyskanie ogniw o bardzo niskich kosztach inwestycyjnych. W wysokowydajnych ogniwach paliwowych ze względu na znakomite własności katalityczne jako katalizator stosowana jest platyna. Ze względu na koszty w mikrobiologicznych ogniwach paliwowych najczęściej stosuje się elektrody węglowe lub węglowe z 1% udziałem Pt. Praca przedstawia analizę możliwości wykorzystania stali jako katalizatora elektrody paliwowej w mikrobiologicznych ogniwach paliwowych. Pomiary objęły porównanie zmian stężenia ChZT, NH_4^+ oraz NO_3^- w reaktorze bez napowietrzania, z napowietrzaniem i przy wykorzystaniu mikrobiologicznego ogniwa paliwowego. Wykazano, że katalizator stalowy może stanowić alternatywę dla katalizatorów węglowych. Czas redukcji ChZT przy wykorzystaniu mikrobiologicznego ogniwa paliwowego z katalizatorem stalowym zbliżony jest do czasu redukcji przy napowietrzaniu. Charakterystyka krzywej dla napowietrzania jest jednak bardziej korzystna dla procesu oczyszczania ścieków. Uzyskiwana gęstość prądu wynosiła ok. $0,17 \text{ mA/cm}^2$. Przeprowadzone pomiary wykazały, że mikrobiologiczne ogniwa paliwowe z katalizatorem stalowym mogą przyczynić się do rozwoju odnawialnych źródeł energii przy jednoczesnym wykorzystaniu ich do oczyszczania ścieków lub wspomaganie ich oczyszczania.

Słowa kluczowe: oczyszczanie ścieków, mikrobiologiczne ogniwa paliwowe, katalizator, odnawialne źródła energii

Wprowadzenie

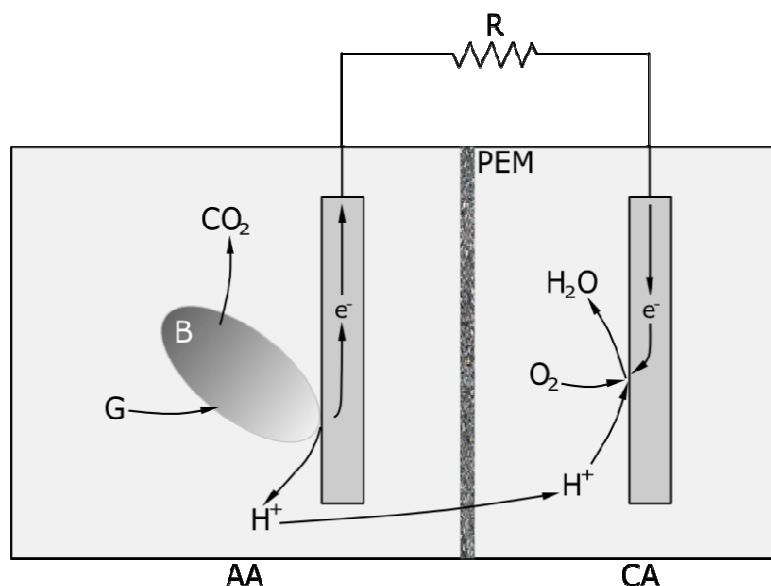
Ze względu na wzrost poziomu życia ludności w ostatnich dziesięcioleciach lawinowo wzrasta zarówno ilość odpadów, jak i zapotrzebowanie na energię. Istnieje zatem z jednej strony konieczność utylizacji zanieczyszczeń, a z drugiej rozwoju wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Jednym z bardziej obiecujących przetworników energii, które mogą wykorzystywać odnawialne źródła energii, są ogniwa paliwowe (FC - *fuel cell*), zapewniające wysoką sprawność i niski lub zerowy negatywny wpływ na środowisko. Najczęściej jako substancję czynną (paliwo) stosuje się wodór, jednak coraz częściej poszukuje się nowych paliw [1], w tym także biopaliw [2]. Połączenie biopaliw (w tym paliw z odpadów) pozwoli

na równoczesne wytwarzanie energii przy wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii. Na świecie rozwijane są różne metody zagospodarowania odpadów np. spalanie odpadów czy produkcja biogazu. Dużą część cywilizacyjnych substancji odpadowych stanowią substancje organiczne zawarte w ściekach. Istnieje możliwość spalania osadów ściekowych [3] lub np. oczyszczania ścieków z wykorzystaniem węgla aktywnego czy reakcji Fentona [4-6]. Jedną z metod oczyszczania ścieków jest również wykorzystanie do tego celu mikrobiologicznych ogniw paliwowych (MFC - *microbial fuel cell*) opracowanych już w latach sześćdziesiątych [7]. Ogniwa te spełniają nie tylko podstawową funkcję oczyszczania ścieków, ale także podczas tego procesu produkują energię elektryczną [8], zapewniając nie tylko ograniczenie wydatków na energię niezbędną np. do natleniania, ale także są dodatkowo generatorami energii [9]. Ogniwa paliwowe charakteryzują się wysoką sprawnością oraz brakiem elementów ruchomych [10]. W przypadku mikrobiologicznych ogniw paliwowych istotną cechą są również niskie nakłady finansowe. Brak ciężkich elementów ruchomych, pomijając niewielkie mieszadła zanurzone w zbiorniku, eliminuje hałas i wibracje, a przede wszystkim znacznie zmniejsza ryzyko wystąpienia awarii mechanicznych o poważnych konsekwencjach. Ogniwa MFC ponadto dają się łatwo skalować od centymetrów do metrów sześciennych. Dodatkowo mikrobiologiczne ogniwa paliwowe pozwalają na instalację ich w miejscu wytwarzania odpadów, zmniejszając koszty ich transportu. Ponadto zmniejszają przestrzeń potrzebną na infrastrukturę służącą do przesyłania, gromadzenia i utylizacji odpadów, zapewniając jednocześnie pozyskanie energii elektrycznej, umożliwiającą uniezależnienie się w dużej mierze od zewnętrznego dostawcy [11, 12].

W ogniwach mikrobiologicznych jako paliwo może być wykorzystane każde biodegradowalne źródło materii organicznej, począwszy od czystych związków, jak np. octan, glukoza czy etanol, a skończywszy na mieszaninach związków organicznych, takich jak odpady komunalne, przemysłowe odcieki ze składowisk i wiele innych [13-15]. Mikrobiologiczne ogniwo paliwowe składa się z przestrzeni anodowej oraz katodowej. Przestrzenie rozdzielone są membraną wymiany protonowej (PEM - *proton exchange membrane*), która zapewnia beztlenowe warunki pracy w przedziale anodowym [16-18]. Utlenianie materii organicznej realizują komórki mikroorganizmów, pełniąc rolę biokatalizatorów wspomaganych katalizatorem elektrody. Proces ten zachodzi w warunkach beztlenowych. Uwolnione elektrony przemieszczają się poprzez zewnętrzny obwód elektryczny (zawierający odbiornik prądu) do katody. Równocześnie protony powstałe na anodzie wędrują poprzez membranę wymiany protonowej do natlenianej katody. Na katodzie zachodzi chemiczny lub mikrobiologiczny proces redukcji, gdzie protony w połączeniu z tlenem i elektronami tworzą wodę [13, 19]. Schemat działania mikrobiologicznego ogniwa paliwowego przedstawiono na rysunku 1 [20].

Do najważniejszych parametrów mikrobiologicznych ogniw paliwowych należą skuteczność oczyszczania ścieków oraz gęstość prądu [11, 19]. Elementem, który może podwyższyć gęstość prądu, jest zastosowanie odpowiedniego katalizatora dla anody [21]. W MFC funkcję katalizatora utleniania przejmują mikroorganizmy,

jednak ze względu na to, że elektroda nie jest w 100% pokryta mikroorganizmami, proces elektrotleniania przebiega również na powierzchni elektrody bez udziału bakterii. Część wodoru znajdującego się w ściekach ulega, więc elektrotlenianiu bezpośrednio na powierzchni elektrody. W związku z tym znalezienie odpowiedniego katalizatora umożliwiłoby zwiększenie gęstości prądu, a tym samym przyczyniłoby się do redukcji wady MFC, którą jest właśnie niska gęstość uzyskiwanego prądu elektrycznego. Katalizator ten powinien charakteryzować się wysoką aktywnością katalityczną i niską ceną [22, 23]. Należy więc poszukiwać takich materiałów, które spełniają oba te kryteria [20, 24].



Rys. 1. Zasada działania mikrobiologicznego ogniwia paliwowego: AA - przestrzeń anodowa, CA - przestrzeń katodowa, PEM - membrana wymiany protonowej, G - glukoza, B - komórka bakterii, R - odbiornik prądu elektrycznego

Fig. 1. Principle of microbial fuel cell: AA - anodic area, CA - cathode area, PEM - proton exchange membrane, G - glucose, B - bacteria cell, R - electrical current receiver

1. Metodyka pomiarów

Metodykę zaczerpnięto z badań Hugginsa i in. [25]. W niniejszej pracy analizowano jednak ścieki komunalne oraz wykorzystano innego rodzaju materiał na anodę, stanowiący jednocześnie katalizator w procesie utleniania paliwa bezpośrednio z elektrolitu. Elektroda taka zapewnia gęstość prądu porównywalną z wykorzystaniem elektrody grafitowej [26]. Analiza obejmowała ścieki komunalne z miejskiej oczyszczalni ścieków. Pomiarów obejmowały rejestrację zmian stężenia ChZT, NH_4^+ oraz NO_3^- w ściekach komunalnych podczas ich oczyszczania w reaktorze zbiornikowym. Jako reaktor wykorzystano akwarium o pojemności 15 litrów. Do badań wykorzystano ścieki wraz z osadem czynnym z oczyszczalni ścieków

komunalnych. Wszystkie pomiary dokonano w temperaturze 20°C. Próbki pobierano w odstępach jednodniowych.

Badania wykonano w trzech seriach. Pierwsza obejmowała pomiar kontrolny, który polegał na obserwacji zmian stężeń podczas naturalnego rozkładu przy udziale bakterii osadu czynnego. Drugą serię badań przeprowadzono przy dodatkowym napowietrzaniu ścieków. Natomiast trzecia seria obejmowała wykorzystanie mikrobiologicznego ogniwa paliwowego.

W pierwszej serii dokonano pomiaru kontrolnego zmian stężeń w czasie 30 dni. Ścieki pozostawiono bez zamknięcia reaktora z dostępem do powietrza jedynie poprzez lustro ścieków. Wyniki z tej serii stanowiły odniesienie do pomiarów serii drugiej i trzeciej.

Druga seria obejmowała pomiary zmian stężeń ChZT, NH_4^+ oraz NO_3^- przy napowietrzaniu ścieków z osadem czynnym pompą akwariową o mocy 1,5 W. Wydajność pompy wynosiła 96 l/h przy stałym ciśnieniu 0,012 MPa.

Trzecia seria obejmowała pomiary zmian stężeń ChZT, NH_4^+ oraz NO_3^- przy użyciu mikrobiologicznego ogniwa paliwowego. Jako materiał na anodę wykorzystano stal nierdzewną X5CrNi18-10/1.4301 [27], stanowiącą jednocześnie katalizator utleniania. Na materiał katody wybrano tkaninę węglową z 1% zawartością platyny. Mikrobiologiczne ogniwo paliwowe było na stałe obciążone odbiornikiem prądu elektrycznego o oporze 10 Ω . Podczas pracy ogniwa jednocześnie przeprowadzano pomiary ilości uzyskiwanej energii. Mierzono zarówno natężenie, jak i napięcie ogniwa. Moc mikrobiologicznego ogniwa wyliczano z prawa Ohma:

$$P = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \quad (1)$$

gdzie:

P - moc, W,

U - napięcie na zaciskach ogniwa, V,

I - natężenie prądu, A,

R - rezystancja, Ω .

Analizowano również gęstość uzyskiwanego prądu wynikającą z zależności

$$i = \frac{I}{A} \quad (2)$$

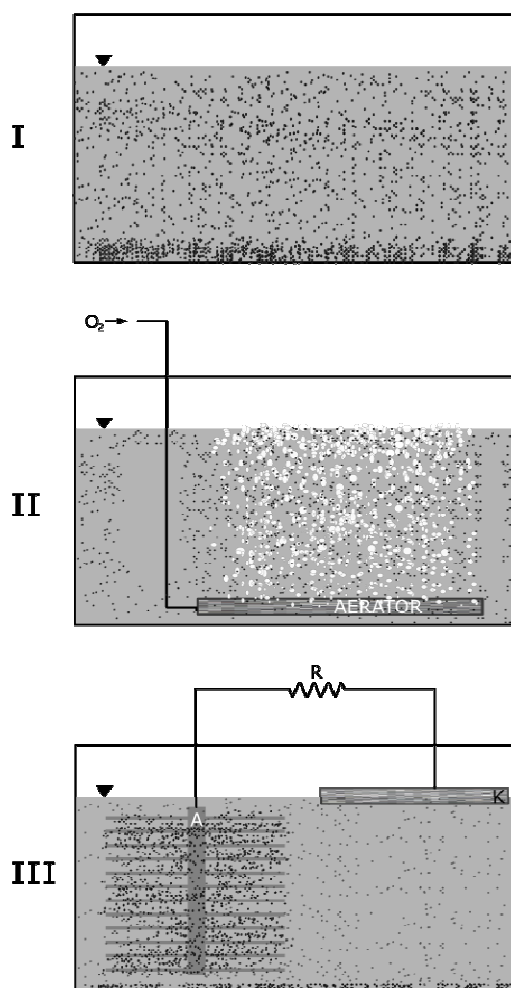
gdzie:

i - gęstość prądu, mA/cm²,

A - powierzchnia elektrody, cm².

Pomiary przeprowadzono, podobnie jak w przypadku drugiej serii, do osiągnięcia wartości stężeń z pierwszej serii po 30 dniach.

Rysunek 2 przedstawia schemat stanowiska pomiarowego (reaktorów) do oczyszczania ścieków. Parametry ścieków do analizy podano w tabeli 1.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego: I - ścieki bez napowietrzania (pomiar kontrolny), II - z napowietrzaniem, III - przy wykorzystaniu mikrobiologicznego ogniwa paliwowego

Fig. 2. Scheme of a measuring station: I - anaerobic wastewater (control measurement), II - with aeration, III - with use of a microbial fuel cell

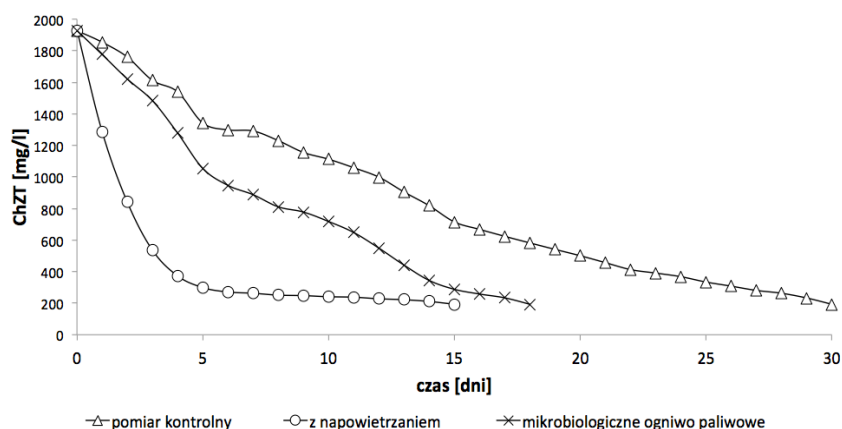
Tabela 1. Parametry analizowanych ścieków

Table 1. Parameters of analysed wastewater

Parametr	Wielkość
pH	6,8
ChZT, mg/l	1928
NH ₄ ⁺ , mg/l	13
NO ₃ ⁻ , mg/l	3

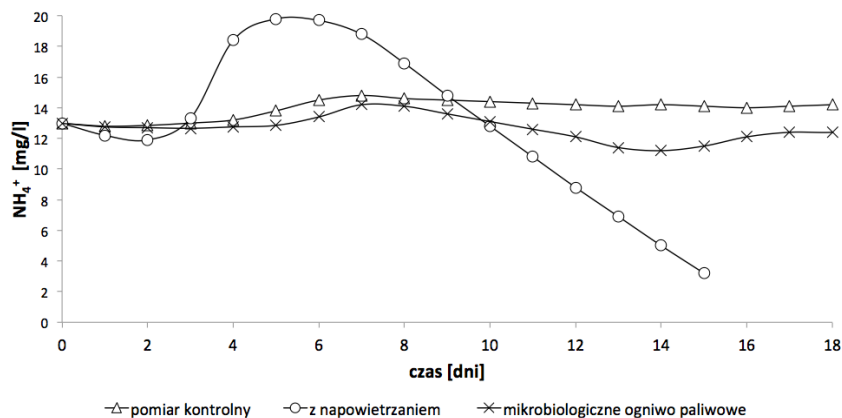
2. Wyniki badań

Wszystkie reaktory zalewano ściekami komunalnymi z osadem czynnym o początkowym stężeniu ChZT wynoszącym 1928 mg/l (rys. 2). Reaktor I pracował w trybie okresowym aż do osiągnięcia 90% skuteczności usuwania ChZT. Pomiar ten traktowano jako pomiar odniesienia (kontrolny). Przeprowadzone pomiary pozwoliły również na wyznaczenie zmian wartości stężeń NH_4^+ oraz NO_3^- w trakcie procesu oczyszczania ścieków.



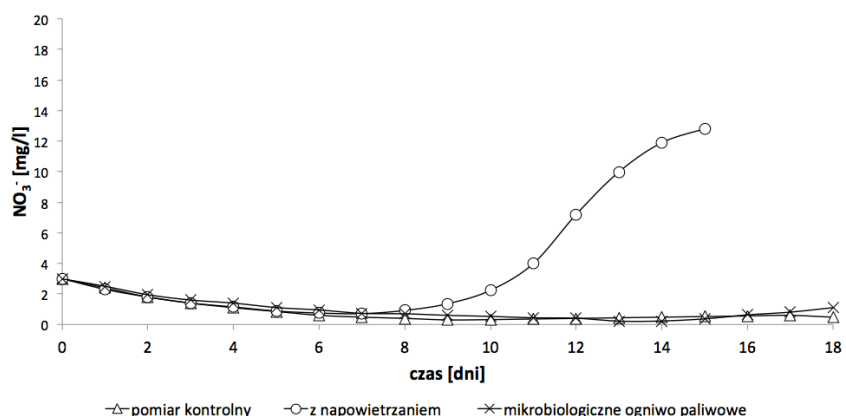
Rys. 3. Zmiana stężenia ChZT podczas oczyszczania ścieków w pomiarze kontrolnym, z napowietrzaniem oraz przy wykorzystaniu mikrobiologicznego ogniwa paliwowego

Fig. 3. Change in the COD concentration in wastewater treatment in the control measurement, with aeration and using microbial fuel cell



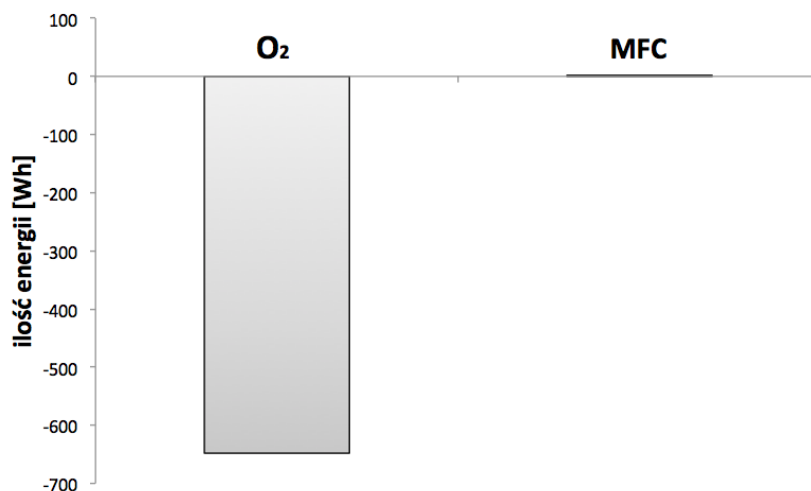
Rys. 4. Zmiana stężenia NH_4^+ podczas oczyszczania ścieków w pomiarze kontrolnym, z napowietrzaniem oraz przy wykorzystaniu mikrobiologicznego ogniwa paliwowego

Fig. 4. Change in the concentration of NH_4^+ in wastewater treatment in the control measurement, with aeration and using microbial fuel cell



Rys. 5. Zmiana stężenia NO_3^- podczas oczyszczania ścieków w pomiarze kontrolnym, z napowietrzaniem oraz przy wykorzystaniu mikrobiologicznego ogniwa paliwowego

Fig. 5. Change in the concentration of NO_3^- in wastewater treatment in the control measurement, with aeration and using microbial fuel cell



Rys. 6. Ilość energii potrzebnej do zasilania pompy napowietrzającej oraz uzyskanej w mikrobiologicznym ogniwie paliwowym: O₂ - napowietrzanie, MFC - mikrobiologiczne ogniwo paliwowe

Fig. 6. The amount of energy needed to aeration and obtained from MFC: O₂ - aeration, MFC - microbial fuel cell

3. Dyskusja i wnioski

We wszystkich przypadkach uzyskano 90% skuteczności usuwania ChZT (193 mg/l), jednak czas potrzebny na osiągnięcie tej wartości w każdym przypadku był różny (rys. 3). W przypadku pomiaru kontrolnego czas na uzyskanie 90% sku-

teczności wyniósł 30 dni. Dla reaktora z napowietrzaniem czas ten wyniósł 15 dni, natomiast dla reaktora z ogniwem paliwowym 18 dni. W przypadku reaktora z napowietrzaniem (rys. 2 - II) największą szybkość usuwania ChZT uzyskano w pierwszych czterech dniach od rozpoczęcia pomiaru. Czas uzyskania 90% skuteczności redukcji ChZT w przypadku reaktora z mikrobiologicznym ogniwem paliwowym był dłuższy od reaktora z napowietrzaniem tylko o trzy dni (rys. 3).

W kwestii zmian wartości stężeń NH_4^+ pomiary wykazały, że, wykorzystując reaktor z napowietrzaniem, prawie całkowicie wyeliminowano NH_4^+ . Natomiast dla reaktora bez napowietrzania oraz z mikrobiologicznym ogniwem paliwowym stężenie NH_4^+ zasadniczo nie zmieniało się w czasie. Można zauważyć, że dla reaktora bez napowietrzania wartość ta nawet nieznacznie wzrosła. Pomiary zmian wartości stężeń NO_3^- w czasie wykazały, że w reaktorze bez napowietrzania praktycznie wyeliminowano tę wartość. Przy zastosowaniu reaktora z mikrobiologicznym ogniwem paliwowym wartość stężenia NO_3^- udało się wyeliminować w ciągu 15 dni, jednak w czasie kolejnych 3 dni stężenie NO_3^- wzrosło do około połowy wartości początkowej (1,64 mg/l). Wzrost stężenia NH_4^+ wywołany jest przyłączeniem jonu wodorowego do cząstki amoniaku (pojawiającego się np. podczas procesu gnilnego) [28], natomiast wzrost stężenia NO_3^- (rys. 4 i 5) spowodowany jest procesem nitryfikacji podczas rozwoju bakterii [29-31].

Uzyskana średnia gęstość prądu w mikrobiologicznym ogniwie paliwowym w okresie 18 dni wyniosła 0,17 mA/cm². Całkowita ilość energii wyprodukowana w MFC w ciągu 18 dni wyniosła 0,56 Wh.

Uzyskane wyniki pomiarów wykazały, że istnieje możliwość zastosowania katalizatora ze stali nierdzewnej (X5CrNi18-10/1.4301) w mikrobiologicznym ogniwie paliwowym do oczyszczania ścieków komunalnych. Uzyskiwana ilość energii w procesie oczyszczania ścieków jest co prawda niewielka, pozwala jednak na zaoszczędzenie 100% energii potrzebnej do napowietrzania zbiorników (rys. 6).

Literatura

- [1] Włodarczyk P., Włodarczyk B., Powering fuel cells with crude oil, *Journal of Power Technologies* 2013, 93(5), 394-397.
- [2] Milewski J., Lewandowski J., Biofuels as fuels for high temperature fuel cells, *Journal of Power Technologies* 2013, 93(5), 347-353.
- [3] Bień J., Gandor M., Badania kinetyki spalania komunalnych osadów ściekowych w atmosferze wzbogaconej tlenem, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2011, 14(3), 233-244.
- [4] Dąbek L., Ozimina E., Picheta-Oles A., Wykorzystanie węgla aktywnego i nadtlenu wodoru w oczyszczaniu ścieków przemysłowych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2013, 14(2), 181-189.
- [5] Toledo L.C., Silva A.C.B., Augusti R., Lago R.M., Application of Fenton's reagent to regenerate activated carbon saturated with organochloro compounds, *Chemosphere* 2003, 50, 8, 1049-1054.

- [6] Jelonek P., Neczaj E., Wstępne badania nad podczyszczaniem odcieków składowiskowych metodą Fentona, *Inż. Ochr. Środow.* 2014, 17(3), 493-502.
- [7] Davis J.B., Yarbrough H.F., Preliminary experiments on a microbial fuel cell, *Science* 1962, 137, 615-616.
- [8] Jadhav G.S., Ghangrekar M.M., Performance of microbial fuel cell subjected to variation in pH, temperature, external load and substrate concentration, *Bioresour. Technol.* 2009, 100(2), 717-723, DOI:10.1016/j.biortech.2008.07.041.
- [9] Chaudhuri S.K., Lovley D.R., Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells, *Nat. Biotechnol.* 2003, 21, 1229-1232.
- [10] O'Hayre R., Cha S.-W., Colella W., Prinz F.B., *Fuel Cell Fundamentals*, John Wiley & Sons, Hoboken 2005.
- [11] Sikora A., Sikora R., *Mikrobiologiczne ogniwa paliwowe*, *Biotechnologia monografie* 2005, 2(2), 68-77.
- [12] Logan B.E., Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells, *Nat. Rev. Microbiol.* 2009, 7, 375-381.
- [13] Wang X., Feng Y.J., Lee H., Electricity production from beer brewery wastewater using single chamber microbial fuel cell, *Water Sci. Technol.* 2008, 57, 1117-1121.
- [14] Logan B.E., Regan J.M., Electricity - producing bacterial communities in microbial fuel cells, *Trends Microbiol.* 2006, 14, 512-518.
- [15] Pant D., Van Bogaert G., Diels L., Vanbroekhoven K., A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production, *Bioresour. Technol.* 2010, 101, 1533-1543.
- [16] Rabaey K., Verstraete W., Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation, *Trends Biotechnol.* 2005, 23, 291-298.
- [17] Zhang X., Cheng S., Huang X., Logan B.E., Improved performance of single-chamber microbial fuel cells through control of membrane deformation, *Biosens. Bioelectron.* 2010, 25, 1825-1828.
- [18] Logan B.E., Hamelers B., Rozendal R., Schroder U., Keller J., Verstraete W., Rabaey K., Microbial fuel cells: Methodology and technology, *Environ. Sci. Technol.* 2006, 40(17), 5181-5192, DOI: 10.1021/es0605016.
- [19] Liu H., Ramnarayanan R., Logan B.E., Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell, *Environ. Sci. Technol.* 2004, 38 2281-2285.
- [20] Włodarczyk P., Włodarczyk B., Possibility of using Ni-Co alloy as catalyst for microbial fuel cell, *Conference proceedings, 21st International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA*, P1.132, 2014.
- [21] Twigg M.V., *Catalyst Handbook*, Wolfe Publishing Ltd., 1989.
- [22] Bockris J.O'M., Reddy A.K.N., *Modern Electrochemistry*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York 2000.
- [23] Larminie J., Dicks A., *Fuel Cell System Explained*, John Wiley & Sons Ltd., 2003.
- [24] Włodarczyk P., Włodarczyk B., Electrooxidation of hydrazine with copper boride catalyst, *Conference proceedings, 21st International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA*, P1.131 (2014).
- [25] Huggins T., Fallgren P.H., Jin S., Ren Z.J., Energy and performance comparison of microbial fuel cell and conventional aeration treating of wastewater, *J. Microb. Biochem. Technol.* 2013, S6:002, DOI: 10.4172/1948-5948.S6-002.
- [26] Włodarczyk P., Włodarczyk B., Analysis of the possibility of using stainless steel and copper boride alloy as catalyst for microbial fuel cell fuel electrode, *Archiv. of Waste Managem. Environ. Protect.* 2015, 17, 1, 111-118.
- [27] PN-EN 10088-1:2007 Gatunki stali odpornych na korozję.
- [28] Bielański A., *Chemia ogólna i nieorganiczna*, PWN, Warszawa 1981.
- [29] Logan B.E., *Microbial Fuel Cells*, John Wiley & Sons, 2008.

- [30] Ren Z., Yan H., Wang W., Mench M.M., Regan J.M., Characterization of microbial fuel cells at microbially and electrochemically meaningful time scales, *Environ. Sci. Technol.* 2011, 45(6), 2435-2441.
- [31] Łomotowski J., Szpindor A., *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*, Arkady, Warszawa 2002.

Comparison of Electrooxidation Efficiency in Microbial Fuel Cell with a Steel Catalyst and Aeration in Wastewater Treatment

Technology of microbial fuel cells (MFC), allowing for the direct production of electricity from biodegradable materials can provide the future of not only energy production, but also wastewater treatment technologies. The fuel for microbial fuel cells can be every source of biodegradable organic matter. Furthermore, these cells can be easily scaled from centimetres to cubic meters. In addition, microbial fuel cells allow for their installation at the site of waste generation, and therefore reducing transport costs, while reducing the space occupied by the infrastructure used for the transfer, storage and disposal of waste. They can provide the acquisition of electricity enabling partial independence from the outside supplier. An important feature of this technology is to provide cells with very low investment costs. In high efficiency fuel cells - because of its excellent catalytic properties - platinum is used as the catalyst. Due to the costs of microbial fuel cells, carbon (or carbon with 1% of Pt) electrodes are most common. The paper presents an analysis of the possibilities of using stainless steel as the fuel electrode catalyst in microbial fuel cells. The most important parameters of microbial fuel cells are the efficiency of wastewater treatment and the current density. The element that can increase both these parameters is the use of a suitable catalyst for the anode. The catalyst should have high catalytic activity and low price. It is therefore necessary to search for materials that meet both of these criteria. The presented measurements include a comparison of changes in the concentration of COD, NH_4^+ and NO_3^- in the reactor without aeration, with aeration and with using a microbial fuel cell. It has been shown that the steel catalyst may be an alternative for carbon catalysts. The reduction time for COD with the use of microbial fuel cell with the steel catalyst is similar to the reduction time with aeration. However, the characteristics of the curve for aeration is more advantageous for the wastewater treatment process. The obtained current density was approx. 0.17 mA/cm^2 . The measurements showed that microbial fuel cells with steel catalyst may contribute to the development of renewable energy sources while being used for wastewater treatment plant or assisting their purification.

Keywords: wastewater treatment, microbial fuel cells, catalyst, renewable energy sources